



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ  
ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ  
ΕΡΓΩΝ**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»**

*Αναστασία Μπαϊρακτάρη*

Αθήνα, Ιούνιος 2015

Επιβλέπων: Καθηγητής Κ. Μέμος



## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το έτος 2015.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα και με υποστήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της.

Οι αρχικές μου ευχαριστίες απευθύνονται στους καθηγητές μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, που με την πολυετή πείρα τους και την υπομονή τους, προσπάθησαν να μας μεταδώσουν, εν μέρει τις πολύτιμες γνώσεις τους και το έναυσμα για συνεχή και περαιτέρω έρευνα για τις εξελίξεις στην επιστήμη μας. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Μέμο, που μου εμπιστεύτηκε την έρευνα αυτού του θέματος της διπλωματικής εργασίας και για την υποστήριξη και την καθοδήγησή του σε στιγμές που μου φάνηκαν αδιέξοδες.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου, που υπήρξαν συνοδοιπόροι στο επίπονο ταξίδι της αναζήτησης πληροφοριών και απόκτησης γνώσης.

Τέλος, ένα μεγάλο «ευχαριστώ» στα αγαπημένα μου πρόσωπα, στους γονείς μου και στον αδερφό μου, που αποδέχθηκαν όλες τις επιλογές μου και μου παρείχαν στήριξη όλο αυτό το διάστημα, ώστε να καταφέρω να εκπληρώσω τους στόχους μου.



**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

Ευχαριστίες.....	3
Abstract .....	7
Περίληψη .....	9
1.Εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή.....	11
1.1 Γενικά.....	11
1.2. Κλιματική Αλλαγή.....	12
1.3. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	18
1.4. Κλιματική Αλλαγή και Κατακρημνίσεις.....	23
1.5. Κλιματική Αλλαγή και Άνεμοι.....	25
1.6. Τα Σενάρια Εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου (SRES).....	27
1.7. Κλιματικά μοντέλα.....	30
1.8. Βεβαιότητα και Αξιοπιστία των Κλιματικών Μοντέλων.....	32
1.9. Η Κλιματική Αλλαγή ανά περιοχές της γης .....	33
1.9.1 Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία.....	33
1.9.2 Αφρική .....	34
1.9.3 Βόρεια Αμερική .....	34
1.9.4 Κεντρική Αμερική και Καραϊβική.....	35
1.9.5.Νότια Αμερική .....	36
1.9.6 Ευρώπη και Μεσόγειος.....	36
1.9.7. Ασία .....	37
1.9.8. Αρκτική .....	38
1.9.9. Ανταρκτική .....	38
2. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές παραμέτρους.....	39
2.1. Άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως.....	41
2.1.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη μέση στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως.....	46
2.1.2. Θερμική διαστολή του θαλάσσιου ύδατος .....	47
2.1.3. Τήξη των πάγων των οροσειρών .....	48

---

2.1.4. Τήξη των πάγων της Γροιλανδίας .....	50
2.1.5. Το στρώμα πάγου της Ανταρκτικής.....	51
2.1.6. Εκτιμώμενη μελλοντική άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως.....	52
2.2. Ανεμογενή κύματα .....	55
2.3. Μετεωρολογική παλίρροια .....	56
2.4. Ακραία καιρικά φαινόμενα .....	59
2.4.1. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ακραία καιρικά φαινόμενα .....	60
3. Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην παράκτια ζώνη .....	65
3.1. Μελλοντικές εκτιμήσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα .....	70
4. Η άλλη άποψη .....	77
5. Σύνοψη – Συμπεράσματα .....	81
6. Βιβλιογραφία.....	87

## **Abstract**

The purpose of this study is the presentation of climate change and records how physical parameters / processes and sizes directly affect the coastal zone. The rising of the sea level, the strengthening of the storm surge, and the most frequent occurrence of extreme climatic phenomena requires research because it may create fertile soil erosion of coastal areas, which may consequently result in floods and landslides.

The majority of the scientific research argues that the intense climate change observed over the last 50 years is the result of anthropogenic activity. With the burning of fossil fuels for energy production, the concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) increases resulting in the observed increase of the average global temperature. However, there is another scientific school of thought, who question or dispute the causal link – being the relationship between the concentration of carbon dioxide and the increase in temperature – and instead argue that the climate change occurring is part of the natural evolution of the climate.

The preparation of the following work was based primarily on the results of research by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The Intergovernmental Panel on Climate Change with the use of theoretical climate simulation models aimed to interpret the impact of external factors, such as the anthropogenic activity on climate change. The climate models in conjunction with the emission scenarios SRES (Special Reports on Emissions Scenarios, 2000), try to create a more complete picture of the future evolution of the climate. However, the reliability of the results can be challenged as not all physical processes / parameters can be fully understood. The results, therefore, cannot be an exact configuration of all the parameters / processes involved in the evolution of the climate.

### *Structure of Work*

Initially, the first chapter analyses the term climate change and sets out the climate prediction models and scenarios of greenhouse gas emissions in accordance with the Intergovernmental Panel on Climate Change. The end of the first chapter also discusses future estimates of climate change in regions of the world by 2100, according to the IPCC; followed by the consequences of climate change and their future assessments by 2100. The second chapter refers to the causes of change in the average sea level, the storm surge and the extreme weather events that dominate and influence the climatic conditions all over the world. Subsequently, it lists the alternative view on the absence of climate change, and finally the fourth chapter focuses on work on climate impacts in Greece.





## Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της κλιματικής αλλαγής και η καταγραφή των συνεπειών που φέρει στις φυσικές παραμέτρους και στα μεγέθη που επηρεάζουν άμεσα την παράκτια ζώνη. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η ενίσχυση της μετεωρολογικής παλίρροιας, η συχνότερη εμφάνιση ακραίων κλιματικών φαινομένων χρήζουν έρευνας γιατί ενδεχομένως δημιουργούν εύφορο έδαφος για τη διάβρωση των παράκτιων περιοχών με άμεση συνέπεια την εμφάνιση πλημμυρικών και κατολισθητικών φαινομένων.

Η πλειονότητα της επιστημονικής κοινότητας υποστηρίζει ότι η έντονη μεταβολή του κλίματος που παρατηρείται τα τελευταία 50 χρόνια είναι αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Με την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, αυξάνεται η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) με αποτέλεσμα να παρατηρείται άνοδος της τιμής της μέσης θερμοκρασίας παγκοσμίως. Ωστόσο υπάρχει και μία άλλη επιστημονική ομάδα, μέλη της οποίας αμφισβητούν τη σχέση αίτιου – αποτελέσματος στη σχέση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και της αύξησης της τιμής της θερμοκρασίας, ενώ υποστηρίζουν ότι η κλιματική αλλαγή που παρατηρείται είναι μέρος της φυσικής εξέλιξης του κλίματος.

Η εκπόνηση της ακόλουθης εργασίας βασίστηκε κυρίως στα αποτελέσματα των ερευνών της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή με τη χρήση θεωρητικών μοντέλων προσομοίωσης του κλίματος προσπάθησε να ερμηνεύσει τις επιπτώσεις της δράσης των εξωτερικών παραγόντων, όπως η ανθρωπογενής δραστηριότητα στην κλιματική αλλαγή. Τα κλιματικά μοντέλα σε συνδυασμό με τα σενάρια εκπομπών SRES (Special Reports on Emissions Scenarios, 2000), προσπαθούν να δημιουργήσουν μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη μελλοντική εξέλιξη του κλίματος. Ωστόσο η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αμφισβητείται καθώς δεν μπορούν να κατανοηθούν πλήρως όλες οι φυσικές διεργασίες επομένως δεν μπορεί να γίνει ακριβής παραμετροποίηση όλων των παραμέτρων που συμμετέχουν στην εξέλιξη του κλίματος.

### Δομή της εργασίας

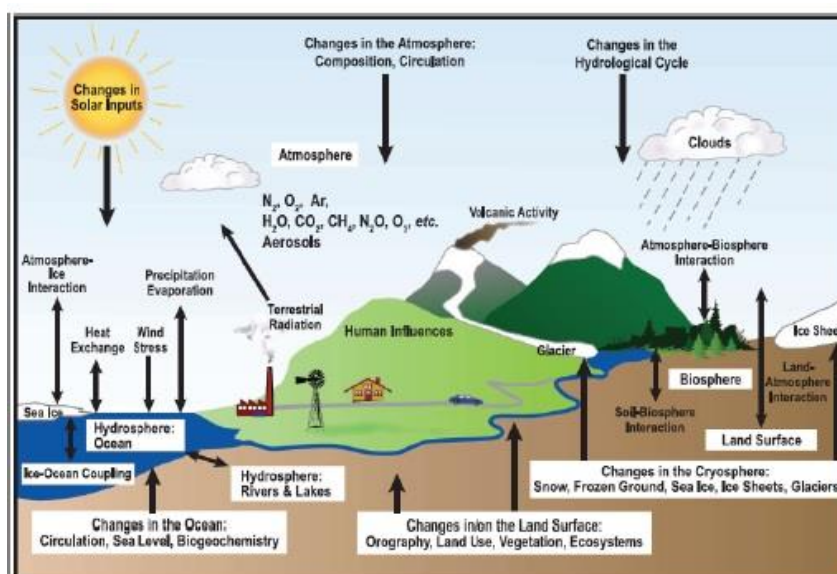
Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται ο όρος της κλιματικής αλλαγής και παρατίθενται τα κλιματικά μοντέλα πρόβλεψης και τα σενάρια εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για τη Κλιματική Αλλαγή. Επίσης στο τέλος του πρώτου κεφαλαίου, γίνεται αναφορά στις μελλοντικές εκτιμήσεις της κλιματικής αλλαγής ανά περιοχές της γης μέχρι το 2100, σύμφωνα με την IPCC. Ακολουθούν οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και οι μελλοντικές εκτιμήσεις τους μέχρι το 2100. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις αιτίες που προκαλούν μεταβολή στη μέση στάθμη της θάλασσας, στη μετεωρολογική παλίρροια και στα ακραία καιρικά φαινόμενα που κυριαρχούν και επηρεάζουν τις κλιματικές συνθήκες σε όλο τον πλανήτη. Στη συνέχεια παρατίθενται η εναλλακτική άποψη της μη ύπαρξης κλιματικής αλλαγής και τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο εστιάζεται η εργασία στις μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις στον ελλαδικό χώρο.



## 1.Εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή

### 1.1 Γενικά

Για το σχεδιασμό και την υλοποίηση τεχνικών έργων, ο μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του το κλίμα και τον καιρό που επικρατεί στην εκάστοτε περιοχή. Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία η διαφορά μεταξύ καιρού και κλίματος βρίσκεται στη χρονική διάρκεια της μέτρησης των φαινομένων. Ο καιρός αναφέρεται στις συνθήκες θερμοκρασίας, ανέμου, πίεσης, νεφελωμάτων και υγρασίας που επικρατεί σε μία περιοχή για μικρό χρονικό διάστημα, ενώ το κλίμα είναι η μέση καιρική κατάσταση, που επικρατεί στην ίδια περιοχή, για μεγάλη χρονική περίοδο και ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή. Το παγκόσμιο κλίμα αποτελεί ένα σύνθετο ενεργό σύστημα αλληλεπίδρασης πολλών παραγόντων, που χαρακτηρίζουν αφενός την κύρια πηγή ενέργειας (την ηλιακή ακτινοβολία) και αφετέρου ένα μεγάλο αριθμό γήινων χαρακτηριστικών και φαινομένων όπως η σύσταση της ατμόσφαιρας, οι άνεμοι, τα θαλάσσια ρεύματα, η βροχή και οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Το κλίμα της γης, όπως είναι αναμενόμενο δεν υπήρξε ποτέ σταθερό αλλά συνεχώς μεταβαλλόταν εξαιτίας της παρουσίας παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων. Ωστόσο τα τελευταία 50 χρόνια, έχουν παρουσιαστεί σημαντικές διαφοροποιήσεις πέρα του φυσιολογικού, οι οποίες αποτελούν έναυσμα για επιπλέον έρευνα και μελέτη των αιτιών που τις προκαλούν. Η ευρέως διαδεδομένη αιτία της κλιματικής μεταβολής των τελευταίων χρόνων θεωρείται η ανθρώπινη παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον, με την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας σε συνδυασμό με την πληθώρα των βιομηχανικών και γεωργικών δραστηριοτήτων. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1.1** που ακολουθεί το κλιματικό σύστημα επηρεάζεται από δεκάδες εξωτερικούς παράγοντες.



**Εικόνα 1.1:** Εκτίμηση της γήινης ετήσιας και παγκόσμιας μέσης ενεργειακής ισορροπίας (Πηγή: IPCC)

Σύμφωνα με την Παναγουλιά Δ. το κανονικό κλίμα της γης χαρακτηρίζεται ως η μέση χρονική εκτίμηση των μετεωρολογικών στοιχείων, για χρονική περίοδο 30 ετών.

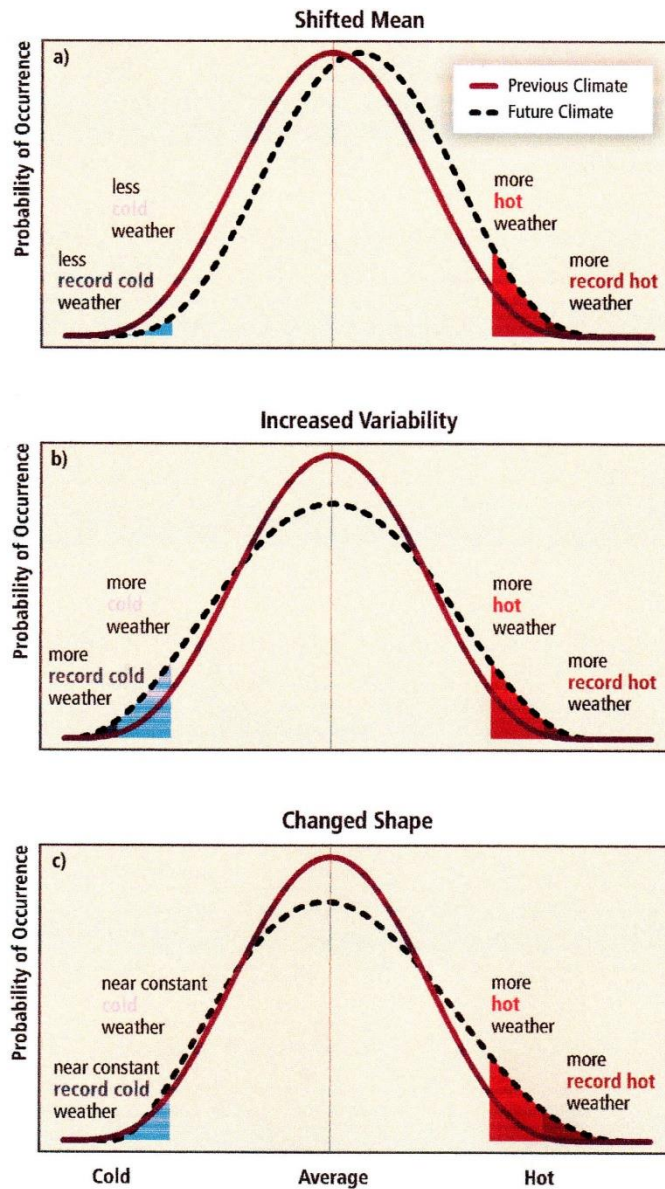
Επομένως ο όρος *κλιματική αλλαγή*, παραπέμπει στη διαφοροποίηση του κανονικού κλίματος μιας περιοχής ή ολόκληρου του πλανήτη, ως αποτέλεσμα της μεταβολής των μετεωρολογικών στοιχείων που προαναφέρθηκαν, και η μεταβλητότητα των οποίων εκτείνεται σε βάθος χρόνου.

## 1.2. Κλιματική Αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα στις μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Οι αλλαγές των μετεωρολογικών συνθηκών που παρατηρούνται μπορεί να οφείλονται είτε σε μία απλή μετατόπιση της κατανομής πιθανότητας της μελετώμενης κλιματικής μεταβλητής προς μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές, είτε με αύξηση της μεταβλητότητας της κλιματικής μεταβλητής, η οποία ερμηνεύεται με πλάτυνση της καμπύλης κατανομής, είτε με αλλαγή στο σχήμα της καμπύλης κατανομής πιθανότητας, χωρίς μετατόπιση της μέσης. Στην **Διάγραμμα 1.1** που ακολουθεί φαίνεται πως για παράδειγμα μπορούν να εκφραστούν οι αλλαγές στη μεταβλητή της θερμοκρασίας, με την κατανομή πιθανότητας. Όπως είναι αναμενόμενο το είδος της αλλαγής που θα συμβεί εξαρτάται από την ίδια την κλιματική μεταβλητή, την περιοχή και την εποχή που κάθε φορά μελετάται. Επομένως το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής είναι άμεσα συνδεδεμένο με τα γεωλογικά, γεωγραφικά, υδρολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά μίας περιοχής. Για παράδειγμα το κλάσμα της μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας μίας περιοχής προς την αλλαγή της παγκόσμιας μέσης τιμής είναι συνήθως κοντά στη μονάδα, εν αντιθέσει με το κλάσμα των βροχοπτώσεων το οποίο μπορεί να εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ παγκοσμίως μπορεί να υπάρχει μία τάση για ξηρασία ή προς ένα πιο υγρό κλίμα, σε κάποιες περιοχές να επικρατεί η αντίθετη τάση λόγω τοπικών ιδιομορφιών. (Πηγή: The Diversity and Range of Extremes, της Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011).

Επειδή επικρατεί η άποψη ότι η κύρια αιτία των κλιματικών αλλαγών είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες που φέρουν επιπτώσεις στο κλίμα, όπως για παράδειγμα η τροποποίηση της ατμοσφαιρικής σύνθεσης, στη Σύμβαση - Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας την από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια. Η έννοια της κλιματικής αλλαγής είναι ευρέως συνυφασμένη με την αύξηση της παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη και ειδικότερα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που αποτελεί εν γένει τον πρωτεύοντα μηχανισμό της παγκόσμιας θέρμανσης. Σύμφωνα με την τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης (AR4) της Διακυβερνητικής

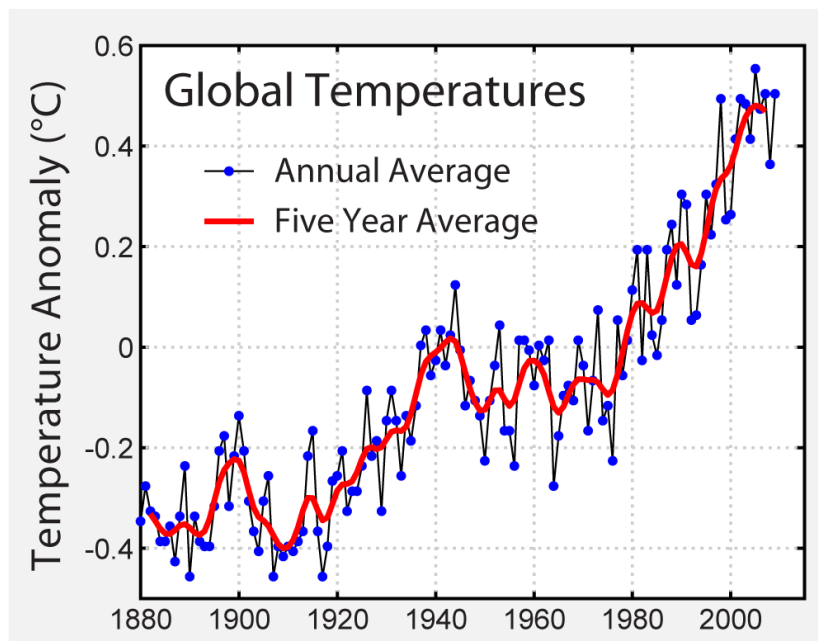
Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) η πιθανότητα, η αύξηση της θερμοκρασίας του κλιματικού συστήματος να οφείλεται στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, είναι μεγαλύτερη από 95%.



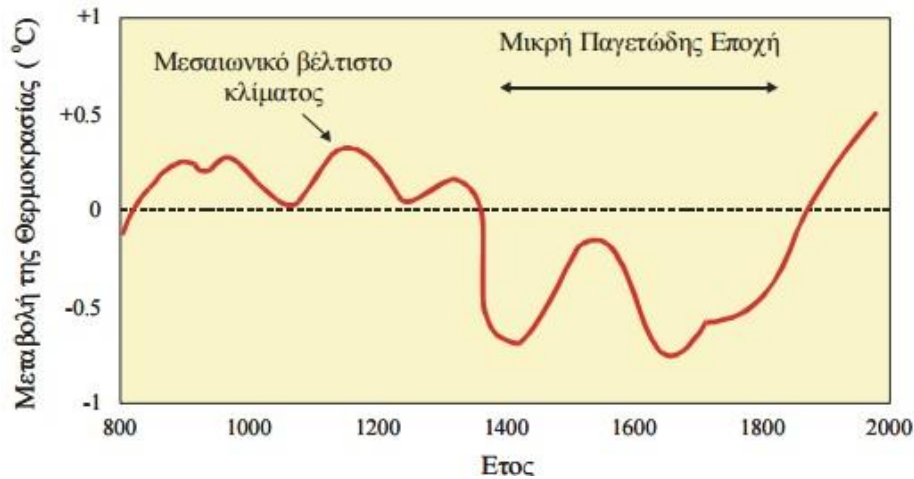
**Διάγραμμα 1.1:** α) Απλή μετατόπιση της κατανομής πιθανότητας της θερμοκρασίας, προς μεγαλύτερες τιμές, με μετατόπιση της θέσης της μέσης τιμής, β) Αύξηση της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας, που εκφράζεται με πλάτυνση της καμπύλης κατανομής χωρίς μετατόπιση της μέσης τιμής, γ) Αλλαγή στο σχήμα της καμπύλης κατανομής πιθανότητας, χωρίς μετατόπιση της μέσης. (Πηγή: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011)

Η IPCC είναι μια επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, η οποία ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO, World Meteorological Organization). Ο σκοπός της επιτροπής είναι η έρευνα και η αξιολόγηση των παραγόντων που προκαλούν την κλιματική αλλαγή καθώς επίσης και των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων μελλοντικών κινδύνων. Συντονίζει επιστήμονες από ολόκληρο τον κόσμο και έχει δημοσιεύσει πέντε εκθέσεις Αποτίμησης Έρευνας (Assessment Reports) για ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής.

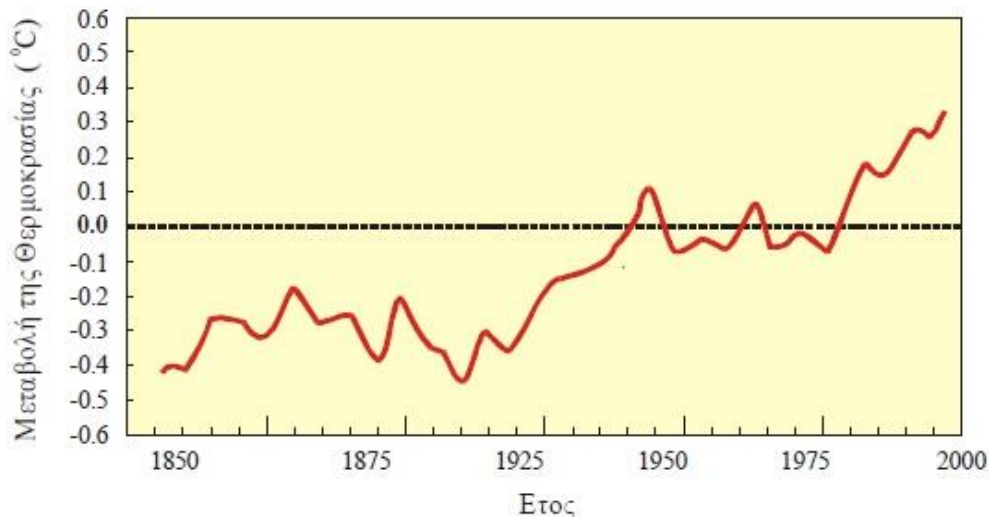
Ο όρος παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη (global warming) αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας αλλά και του νερού των ωκεανών εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας κυρίως των τελευταίων 50 ετών. Σύμφωνα με τις επιστημονικές έρευνες που διεξάγει η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) του ΟΗΕ, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά  $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και αναμένεται ενδεχομένως να αυξηθεί κατά 1.4 - 5.8 $^{\circ}\text{C}$  εντός της χρονικής περιόδου 1990-2100, αναλόγως του ρυθμού εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου. Στα **Διαγράμματα 1.2, 1.3, 1.4** που ακολουθούν, φαίνεται η μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας από το 1850 έως το 2005, σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί.



**Διάγραμμα 1.2:** Μεταβολές στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το 1856 έως το 2005 (Πηγή: NASA).



**Διάγραμμα 1.3:** Διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας τα τελευταία 1200 χρόνια στην Ευρώπη (Πηγή: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων)



**Διάγραμμα 1.4:** Μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη από το 1850 έως το 1997. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει τη μέση θερμοκρασία της γης από το 1961 έως το 1990 (Πηγή: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων).

Στο **Διάγραμμα 1.4** φαίνεται ότι τη χρονική περίοδο 1940 – 1965 σημειώθηκε πτώση της θερμοκρασίας κατά  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  στο Βόρειο ημισφαίριο, ψύξη που υπερκαλύφθηκε από θέρμανση του Νότιου ημισφαιρίου με άνοδο της θερμοκρασίας κατά  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  τη χρονική περίοδο 1965-2000.

Οι παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα της Γης, μπορεί να είναι είτε φυσικοί είτε ανθρωπογενείς. Κατά βάση, το κλίμα είναι το αποτέλεσμα της απορρόφησης και της αναδιανομής της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ του σύμπαντος και της γης. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την ενέργεια η οποία κινεί τα καιρικά φαινόμενα και διαμορφώνει το κλίμα στη γη. Περίπου το ένα τρίτο της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τις διαφορετικές συστατικές του

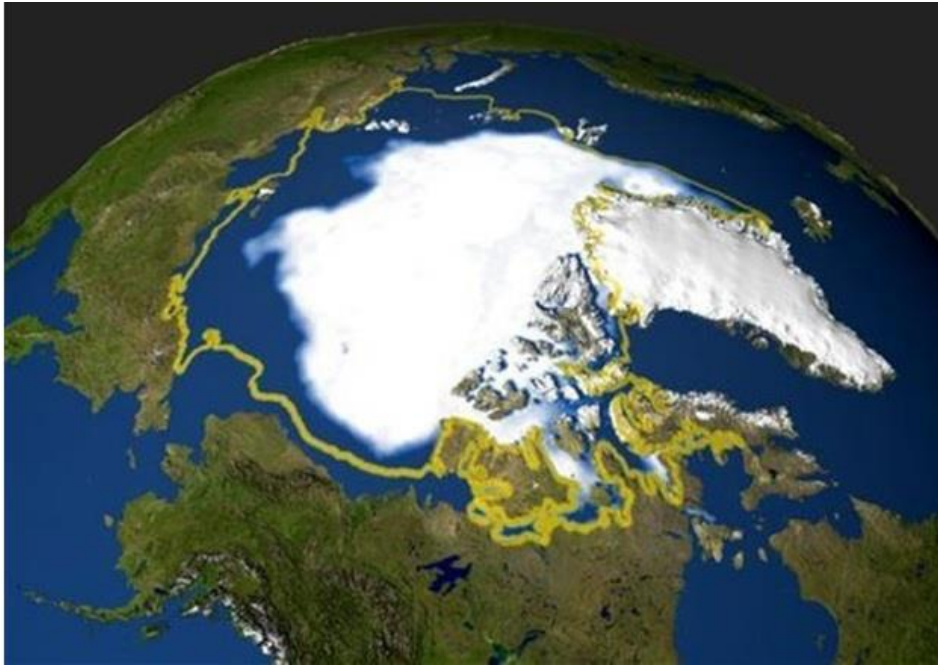
κλιματικού συστήματος: την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την ξηρά και τις διάφορες μορφές ζωής. Εκτός από την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, η γη εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία προς το διάστημα. Η λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην εξερχόμενη και την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προσδιορίζει το παγκόσμιο κλίμα. Οποιαδήποτε αλλαγή στους παράγοντες που επιδρούν τόσο στην εισερχόμενη όσο και την εξερχόμενη ακτινοβολία ή στον μηχανισμό αναδιανομής της ενέργειας οδηγούν σε αλλαγή του κλίματος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την αναδιανομή ενέργειας συνοψίζονται παρακάτω:

- **Ηλιακή ακτινοβολία**

Οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία φθάνει στη γη, μπορεί να οφείλονται τόσο στην ηλιακή δραστηριότητα, όσο και σε βραδείες μεταβολές της γεωμετρίας της τροχιάς της γης, συμπεριλαμβανομένων και αλλαγών στην κλίση του άξονα της γης. Ο πρώτος, ο οποίος αναφέρθηκε στη μετατόπιση του άξονα περιστροφής της γης, ήταν ο Charles H. Hargood (1958), ο οποίος χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα χιλιάδων χρονολογήσεων με τη χρήση της μεθόδου  $C_{14}$ , των κλιματολογικών γεγονότων των τελευταίων 100.000 ετών, απέδειξε ότι το εξωτερικό κέλυφος της Γης είχε "γλιστρήσει" πάνω από το εσωτερικό της, αλλάζοντας τη σχετική θέση των πόλων, τρεις φορές κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου.

Πρόσφατες δορυφορικές μετρήσεις του γήινου βαρυτικού πεδίου, απέδειξαν ότι ο βόρειος γεωγραφικός πόλος μετατοπίζεται προς τη Γροιλανδία κατά περίπου 10 cm/yr, τα τελευταία 100 χρόνια. Σύμφωνα με τον dr.Jianli Chen (2013), η μετατόπιση της θέσης του Βόρειου Πόλου στα νότια άλλαξε το 2005, όπου παρατηρήθηκε εκτροπή κατεύθυνσης προς την ανατολή. Η ομάδα του dr.Jianli Chen, χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες GRACE της NASA υπολόγισε ότι από το 2005 έως το 2013 η αλλαγή της εκτροπής της θέσης του Βόρειου Πόλου είναι της τάξεως των 1.2 m. Η αλλαγή αυτή ενδεχομένως να οφείλεται στην ανακατανομή της μάζας του πλανήτη λόγω της υπερθέρμανσης του και όχι τόσο από τις μετατοπίσεις των τεκτονικών πλακών. Στην **Εικόνα 1.2** που ακολουθεί διαγράφεται η μετατόπιση του Βόρειου Πόλου βάσει της χαρτογράφησης της κατανομής της μάζας του πλανήτη Γη, σύμφωνα με τις δορυφορικές εικόνες της NASA.





**Εικόνα 1.2:** Ο βόρειος γεωγραφικός πόλος μετατοπίζεται προς τη Γροιλανδία κατά περίπου 10cm το χρόνο (Πηγή NASA)

- **Ατμοσφαιρική σύσταση**

Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα της επίδρασης της σύστασης της ατμόσφαιρας στη διαμόρφωση του κλίματος είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο θα αναλυθεί στη συνέχεια. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οφείλεται κυρίως στις εκπομπές κάποιων αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο, τα οποία “παγιδεύουν” την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία στη γη. Αντίθετη είναι η δράση των αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία εκπέμπονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές και τα οποία αντανακλούν ή/και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του μηχανισμού, αποτελούν οι εκρήξεις των ηφαιστίων, οι οποίες εκτοξεύουν μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων στα ψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να παραμείνουν εκεί για πολλά χρόνια οδηγώντας σε ψύξη την κατώτερη ατμόσφαιρα, ιδιαίτερα αισθητή στο ημισφαίριο στο οποίο έγινε η έκρηξη.

- **Αλλαγές στη χρήση γης**

Οι άνθρωποι με σκοπό να ικανοποιήσουν προσωπικές τους ανάγκες, έχουν την τάση να αντικαθιστούν τα δάση με καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τη βλάστηση με τσιμέντο ή ασφαλτο επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο, το μηχανισμό που η επιφάνεια της γης απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και κατ’ επέκταση θερμαίνει την ατμόσφαιρα. Αυτές οι επεμβάσεις, όπως είναι αναμενόμενο, επηρεάζουν επίσης και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής καθώς η ποσότητα του νερού των κατακρημνίσεων

συναπτά πλέον εμπόδιο κατά την απορρόφηση του από το έδαφος. Επομένως άμεσο αποτέλεσμα των ανθρωπογενών αυτών παρεμβάσεων, είναι η αυξημένη συχνότητα εμφάνισης των πλημμυρικών φαινομένων, στο οποίο θα γίνει αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.

### 1.3. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι ένα φυσικό και αναγκαίο φαινόμενο για την ύπαρξη και διατήρηση ζωής πάνω στον πλανήτη Γη. Παρόλα αυτά, το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει πλέον ευρέως ταυτιστεί με την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η απειλή του φαινομένου προέρχεται από την υπερβολή του, η οποία οφείλεται κατά κόρον στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων. Έχει εξακριβωθεί ότι οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με ορισμένα αέρια γνωστά και ως θερμοκηπικά αέρια (Green House Gases, GHG), επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη γη, ενώ αντίθετα απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα συγκεκριμένα αέρια, καλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν περίπου κατά 35 °C χαμηλότερη και η ύπαρξη ζωής θα ήταν αδύνατη, τουλάχιστον με τη μορφή που υπάρχει σήμερα. Η **Εικόνα 1.3** που ακολουθεί, αποτελεί μία γραφική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1.3: Σχηματική παράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η αύξηση των εκπομπών των θερμοκηπικών αερίων και ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα από τον άνθρωπο έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τις ανθρωπογενείς

εκπομπές θερμοκηπικών αερίων, σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη του φαινομένου του θερμοκηπίου παίζει και η συνεχής εκτεταμένη καταστροφή των τροπικών δασών τα οποία συμβάλουν σημαντικά στην ισορροπία των κυριότερων θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, καθώς αυτά ρυθμίζουν κυρίως τις ποσότητες των υδρατμών και του οξυγόνου του πλανήτη. Στον **Πίνακα 1.1** που ακολουθεί, καταγράφονται τα κυριότερα αέρια της ατμόσφαιρας που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς και η συνεισφορά τους σε αυτό.

**Πίνακας 1.1:** Αέρια του θερμοκηπίου και η συνεισφορά τους στο φαινόμενο. (Πηγή: SRES - IPCC)

<b>Αέρια</b>	<b>Συνεισφορά (%)</b>
Διοξείδιο του Άνθρακα	>60
Μεθάνιο	15-20
Υποξείδιο του Αζώτου	7-9
Χλωροφθοράνθρακες	
CFC 11	0.7-0.75
CFC 12	0.75-0.85
CFC 22	0.40-0.50

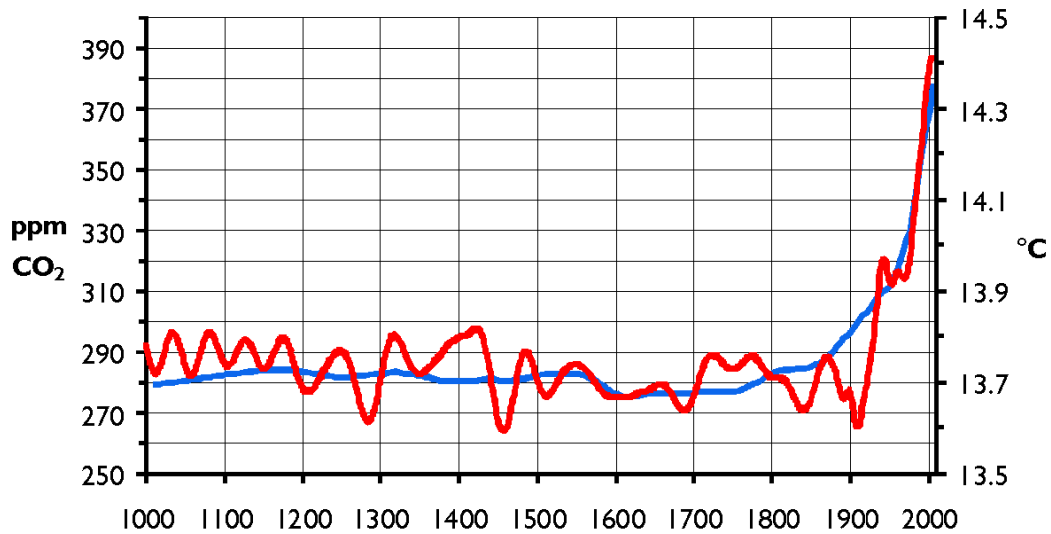
Σύμφωνα με πρόσφατες μετρήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας (WMO) του ΟΗΕ, η συγκέντρωση των αερίων των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, εκείνων δηλαδή που επηρεάζουν κατά κόρον τη ζωή του ανθρώπου, αυξάνεται κατά 450 εκατομμύρια τόνους μεθανίου ετησίως. Οι συγκεντρώσεις σε διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο έχουν αυξηθεί κατά 31% και 150% αντίστοιχα από το 1750, ενώ βρίσκονται στα υψηλότερα επίπεδα των τελευταίων 650.000 ετών (**Πίνακας 1.2**). Εκτιμάται ότι τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλεται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποψίλωσης των τροπικών δασών και της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Στα διαγράμματα που ακολουθούν αρχικά φαίνεται ο ρυθμός μεταβολής του διοξειδίου του άνθρακα σε διάρκεια 1000 ετών και η συσχέτιση του με την άνοδο της θερμοκρασίας, ενώ στη συνέχεια καταγράφονται οι συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων, τη χρονική περίοδο 1975 – 2015.

**Πίνακας1.2:** Καταγραφή της μεταβολής της ποσότητας των κύριων θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, για τη χρονική περίοδο 1750-1998 (Πηγή: *Contribution of Working Group I, Climate Change 2007, IPCC*)

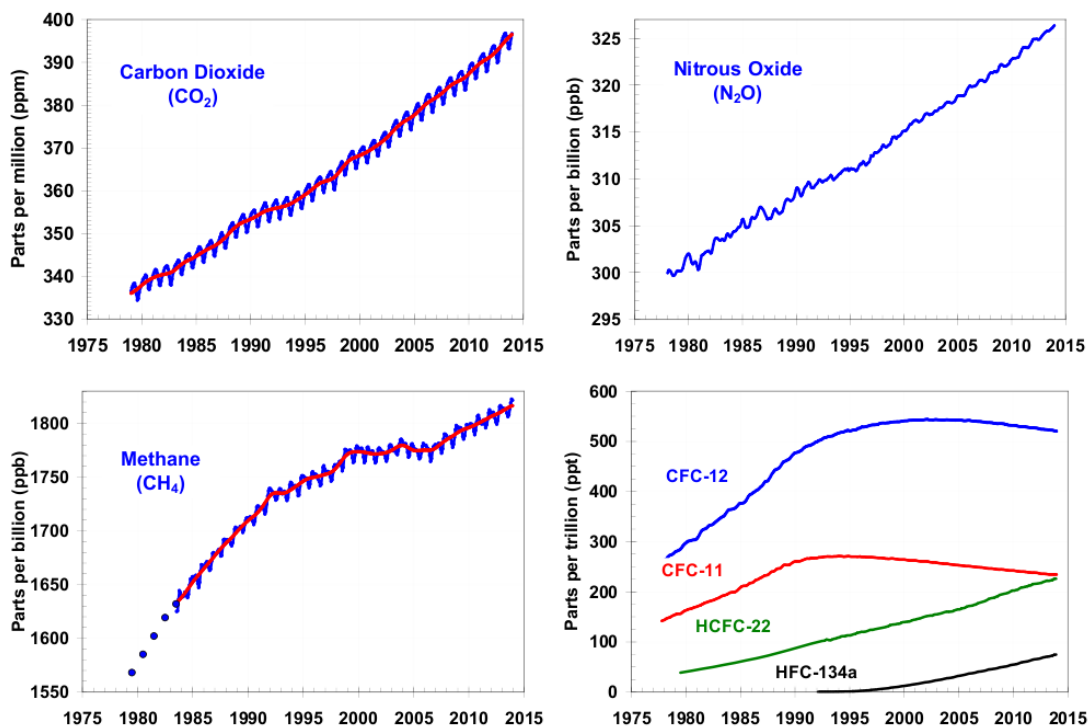
Αέρια	Επίπεδο 1988	Επίπεδο 1750	Ποσοστό αύξησης	Συνεισφορά στο φαινόμενο [W/m <sup>2</sup> ]
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	365 ppm	278 ppm	31%	1,46
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	1,745 ppb	0,7 ppb	150%	0,48
Υποξείδιο του Αζώτου (N <sub>2</sub> O)	314ppb	297 ppb	16%	0,15

Το **Διάγραμμα 1.5** που ακολουθεί, μαρτυρά τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η άνοδος της θερμοκρασίας σχετίζεται άμεσα με την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα καθώς οι μέσες ετήσιες τιμές και των δύο μεταβλητών ακολουθούν την ίδια κατανομή. Ωστόσο δεν έχει επαληθευτεί ακόμη εάν όντως η αύξηση του CO<sub>2</sub> προκαλεί την άνοδο της τιμής της θερμοκρασίας παγκοσμίως ή απλώς συντελεί στην άνοδο της. Ό,τι και από τα δύο να συμβαίνει το μόνο σίγουρο είναι ότι αυτές οι δύο μεταβλητές είναι άμεσα συνδεδεμένες μεταξύ τους.

Στη συνέχεια στο **Διάγραμμα 1.6** φαίνονται οι ανοδικές τάσεις των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου από το 1975 έως σήμερα, σύμφωνα με την 4<sup>η</sup> Ειδική Έκθεση για την Κλιματική Αλλαγή που συνέταξε η IPCC.



**Διάγραμμα 1.5:** Τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> τα τελευταία 1000 χρόνια (μπλε καμπύλη, άξονας τιμών αριστερά) σε σύγκριση με τη διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας παγκοσμίως (κόκκινη γραμμή, άξονας τιμών δεξιά). (Πηγή: AR4- IPCC)



**Διάγραμμα 1.6:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των θερμοκηπτικών αερίων κατά τη χρονική περίοδο 1975-2015 (Πηγή: AR4 - IPCC)

Σύμφωνα με την επιστημονική μελέτη της IPCC και από τα προηγούμενα διαγράμματα, η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα κατά 36% κατά τη διάρκεια των 1000 ετών, επιφέρει άνοδο της θερμοκρασίας της τάξεως των 0.8 °C. Μετά το 2005, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου βρίσκονται στην κορυφή των προβλεπόμενων εκτιμήσεων και αν δεν υπάρξουν άμεσες πολιτικές δράσεις, πιθανότατα, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να φτάσει στο ανώτερο εύρος των προβλέψεων. Αναφορικά με τις διαστάσεις που θα έχει ενδεχομένως η άνοδος της θερμοκρασίας ως το τέλος του αιώνα, η IPCC εξετάζει τέσσερα πιθανά σενάρια εκπομπής αερίων (SRES), χωρίς ωστόσο να καταγράφει τις πιθανότητες εμφάνισής τους. Στα σενάρια αυτά θα γίνει αναφορά στη συνέχεια.

Επομένως βάσει των σεναρίων SRES η IPCC εκτιμά ότι είναι πιθανό η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας της γης να αυξηθεί από 0.3 °C στο πιο αισιόδοξο σενάριο και έως 4.8 °C στο δυσμενέστερο ως το τέλος του αιώνα σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1986-2005. Η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις προβολές αυτές εξαρτάται προφανώς κατά κύριο λόγο από τις ποσότητες των θερμοκηπικών αερίων που θα εκλυθούν στην ατμόσφαιρα εντός των προσεχών δεκαετιών. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας έχει ήδη αυξηθεί κατά περίπου 0.8 °C από την προβιομηχανική εποχή.

Η αύξηση αυτή της μέσης τιμής της θερμοκρασίας παγκοσμίως εκτιμάται από τους επιστήμονες ότι είναι ικανή να προκαλέσει πληθώρα αρνητικών επιπτώσεων σε αρκετές φυσικές μεταβλητές όπως για παράδειγμα στη μέση στάθμη της θάλασσας, στην ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων και στη μεταβολή των μετεωρολογικών συνθηκών (κατεύθυνση και ένταση πνοής ανέμου). Επίσης σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να είναι αιτία εξαφάνισης ποικίλων βιολογικών ειδών κυρίως της παράκτιας ζώνης. Σύμφωνα με τον Thomas Stocker, 2008 τα κύματα καύσωνα πιθανόν να γίνουν συχνότερα και να διαρκούν περισσότερο, ενώ ταυτόχρονα η άνοδος της θερμοκρασίας θα προκαλέσει ισχυρότερη βροχόπτωση στις περιοχές που είναι σήμερα υγρές και ασθενέστερη στις περιοχές που είναι σήμερα ξηρές. Όσον αφορά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, η οποία είναι μια από τις σοβαρότερες συνέπειες της αύξησης της θερμοκρασίας, η IPCC εκτιμά ότι η στάθμη της θάλασσας πιθανότατα θα ανέβει κατά μέσο όρο από 26 - 82 cm έως το έτος 2100, αναλόγως την άνοδο της θερμοκρασίας.

Διεθνείς μελέτες καταδεικνύουν ότι στην περιοχή της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής όπου βρίσκεται η Ελλάδα εντός του παρόντα αιώνα, θα παρατηρηθεί σημαντική μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε συνδυασμό με την άνοδο της θερμοκρασίας. Αυτές οι κλιματικές συνθήκες θα επηρεάσουν περισσότερο τις γόνιμες και πυκνοκατοικημένες παράκτιες και χαμηλού υψόμετρου περιοχές, οι οποίες θα επηρεαστούν άμεσα και από την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Σύμφωνα με δεδομένα παλιρροιογράφων, υπολογίζεται ότι η άνοδος της μέσης στάθμης παγκοσμίως είναι της τάξεως του 1.7mm/yr και ειδικότερα στην περιοχή της Μεσογείου της τάξεως του 1.1 – 1.3 mm/yr (Marcos and Tsimplis 2008). Κατά τη διάρκεια της συνεχούς αυξανόμενης διάρκειας θερμών και ξηρών καλοκαιριών, αναμένεται ενίσχυση των κυκλωνικών και αντικυκλωνικών φαινομένων στην περιοχή των

ελληνικών θαλασσών. Εκτός από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές μεταβλητές (θερμοκρασία, κατακρημνίσεις και άνεμοι), η μεταβολή του κλίματος αναμένεται να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις και στην υγεία των ανθρώπων τόσο άμεσες όσο και έμμεσες. Η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με την αύξηση της έντασης και της συχνότητας των ακραίων καιρικών φαινομένων έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα τη διάβρωση των παράκτιων περιοχών και την υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων. Η κακή ποιότητα του νερού δημιουργεί πρωτίστως εύφορο έδαφος για τη μετάδοση διαφόρων ασθενειών, όπως για παράδειγμα η ελονοσία και σε συνδυασμό με τη μείωση του εδάφους έχει ζημιογόνες επιπτώσεις για τη γεωργία και τον τουρισμό καθώς και στο ακραίο σενάριο μπορεί να προκαλέσει ομαδική μετανάστευση των πληθυσμών.

#### 1.4. Κλιματική Αλλαγή και Κατακρημνίσεις

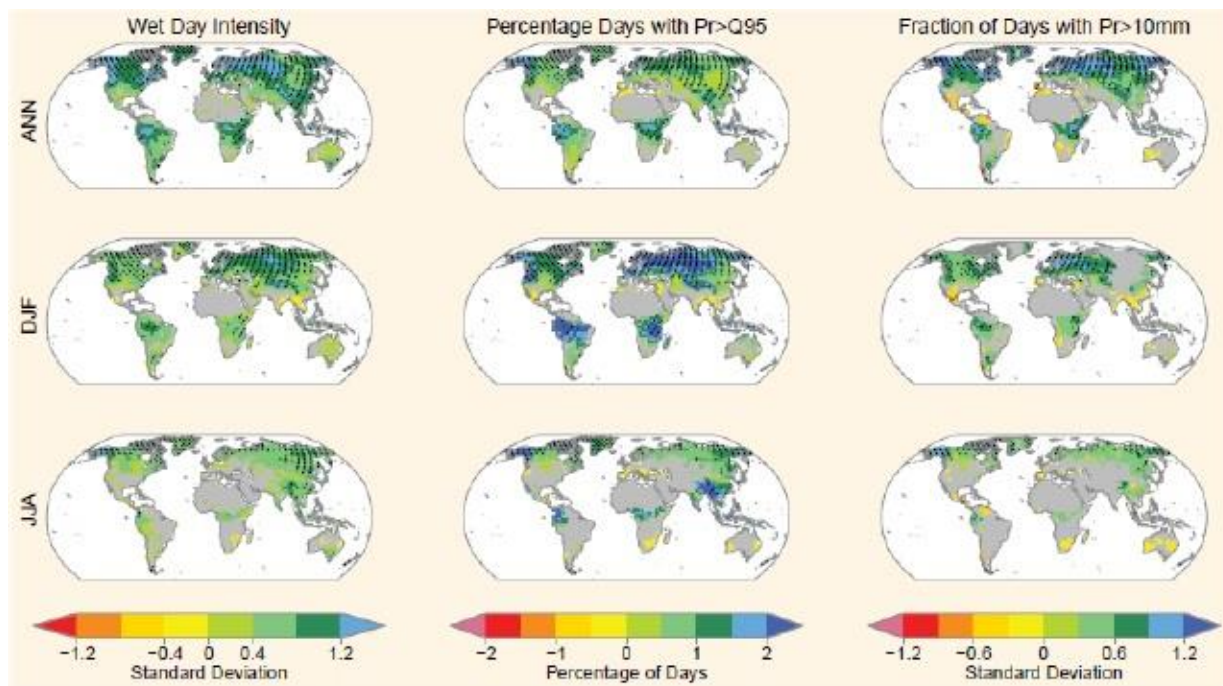
Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), η αύξηση της μέσης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας από 0.3 °C – 4.8 °C παγκοσμίως, και κατ' επέκταση η άνοδος της τιμής της θερμοκρασίας των υδάτων επιδρά άμεσα στον υδρολογικό κύκλο του νερού, καθώς μεταβάλλει τη μέση στάθμη της θάλασσας και επηρεάζει την ένταση, τη συχνότητα και την ποσότητα των κατακρημνίσεων και της εξάτμισης του νερού σε διάφορες περιοχές. Σύμφωνα με τους Alexander et al. 2006, οι κατακρημνίσεις επηρεάζονται απευθείας από τον υδρολογικό κύκλο και τις συγκεντρώσεις των υδρατμών καθώς όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο εντονότερη είναι και η εξάτμιση, επομένως ισχυρότερες και συχνότερες οι κατακρημνίσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί από την επιφάνεια των θαλάσσιων λεκανών κάθε λεπτό εξατμίζεται ένα δις. κυβικών μέτρων νερού, το οποίο διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα όπου και παραμένει για περίπου μία βδομάδα. Στη συνέχεια με τη μορφή κατακρημνίσεων επιστρέφει στη γη τροφοδοτώντας τα υδάτινα οικοσυστήματα και ακολουθώντας ξανά τον υδρολογικό του κύκλο. Επομένως όσο η θερμοκρασία αυξάνεται, αυξάνεται και ο αριθμός των υδρατμών που παραμένουν στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πιο συχνές και πιο έντονες βροχοπτώσεις.

Όπως είναι αναμενόμενο, το μέγεθος της αλλαγής του φαινομένου αυτού είναι αβέβαιο και διαφέρει από περιοχή σε περιοχή με αποτέλεσμα άλλες περιοχές της γης να γίνονται υγρότερες και άλλες ξηρότερες. Παρόλα αυτά, τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν

ότι κατά το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα θα παρατηρηθεί αύξηση της συχνότητας των έντονων φαινομένων κατακρημνίσεως ειδικά στις τροπικές περιοχές (μεγάλα γεωγραφικά πλάτη) και στα μεσαία πλάτη το χειμώνα (Kharin et al., 2007; Kim et al., 2010; Tebaldi et al., 2006). Επίσης σύμφωνα με τους Tebaldi et al., 2006 πιθανολογείται ότι σε κάποιες περιοχές του πλανήτη, προβλέπεται ότι ναι μεν θα αυξηθεί η συχνότητα των πιο έντονων βροχοπτώσεων αλλά ταυτόχρονα θα μειωθούν οι ήπιες με αποτέλεσμα να

μειωθεί η συνολική ποσότητα νερού. Με βάση τα σενάρια εκπομπών της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, είναι πιθανό ότι σπάνια φαινόμενα πολύ έντονων κατακρημνίσεων που έχουν χρόνο επανεμφάνισης 20 χρόνια θα εμφανίζονται πιο συχνά στο τέλος του 21ου αιώνα, με χρόνο επανεμφάνισης πλέον από 5 -15 χρόνια σε αρκετές περιοχές της γης. (Tebaldi et al., 2006)

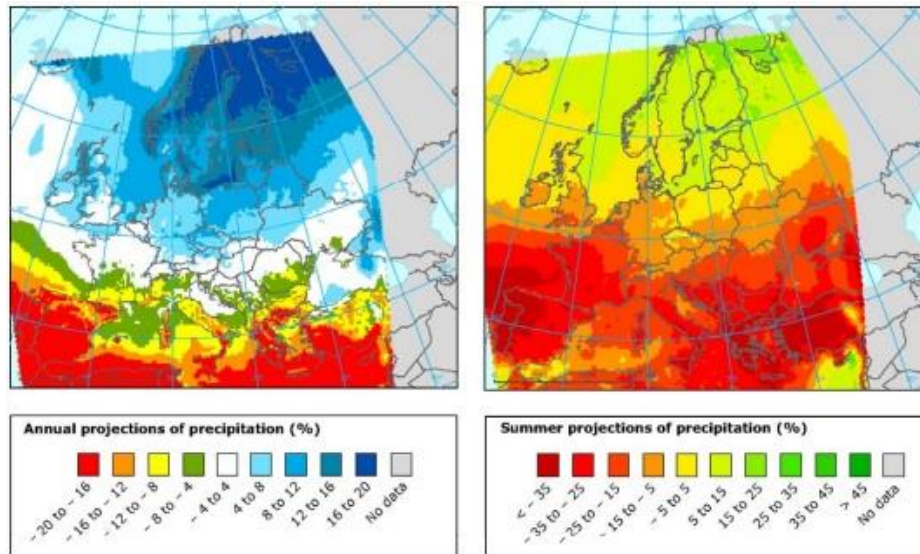
Στην **Εικόνα 1.4** που ακολουθεί φαίνονται οι προβλεπόμενες αλλαγές για το χρονικό διάστημα 2081-2100, όσον αφορά την ένταση των κατακρημνίσεων και τα ποσοστά των βροχερών ημερών σύμφωνα με την IPCC. Στην πρώτη στήλη φαίνεται η μελλοντική ένταση των υγρών ημερών σε όλο τον πλανήτη. Στη δεύτερη στήλη ακολουθεί το ποσοστό των 5% πιο βροχερών ημερών του έτους και στην τρίτη στήλη το ποσοστό των ημερών με κατακρήμνιση μεγαλύτερη των 10mm, προς το σύνολο των ημερών του έτους. Τα ποσοστά αυτά προκύπτουν από τη διαφορά των ποσοστών της περιόδου 2081-2100 μείον τα αντίστοιχα ποσοστά της περιόδου 1980-1999. Επίσης να αναφερθεί ότι η 1η γραμμή δείχνει την αλλαγή στο σύνολο του έτους, η 2<sup>η</sup> γραμμή για τους μήνες Δεκέμβριο – Ιανουάριο - Φεβρουάριο (DJF) και η 3η για τους μήνες Ιούνιο – Ιούλιο -Αύγουστο (JJA). (Πηγή: SREX)



**Εικόνα 1.4:** Προβλεπόμενες ετήσιες και εποχιακές αλλαγές στις τιμές ημερήσιας κατακρήμνισης (σε mm) για την περίοδο 2081-2100.



Επίσης στην **Εικόνα 1.5** που ακολουθεί φαίνεται η πρόβλεψη της μεταβολής του ετήσιου αλλά και του καλοκαιρινού όγκου κατακρημνίσεων στην Ευρώπη για τη χρονική περίοδο 2071-2100, με σημείο αναφοράς τα αντίστοιχα δεδομένα 1961-1990. Όπως διαφαίνεται και στην εικόνα παρατηρείται σημαντική αύξηση στο Βορρά και σημαντική μείωση στα νότια, όσον αφορά τον ετήσιο όγκο κατακρημνίσεων. Συγκεκριμένα στην Ευρώπη προβλέπεται μείωση κατά την καλοκαιρινή περίοδο.



**Εικόνα 1.5:** Αριστερά οι μελλοντικές προβλέψεις του φαινομένου των κατακρημνίσεων παγκοσμίως και δεξιά στην περιοχή της Ευρώπης για το χρονικό διάστημα 2071-2100.

## 1.5. Κλιματική Αλλαγή και Άνεμοι

Στην ενότητα που ακολουθεί γίνεται αναφορά στις μεταβολές της ταχύτητας των ανέμων σε διάφορες περιοχές της γης. Σύμφωνα με τους McVicar et al., 2008, οι άνεμοι είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τόσο τις φυσικές διεργασίες όσο και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει αφενός τον υδρολογικό κύκλο του νερού και κατ' επέκταση την ποσότητα αλλά και την ταχύτητα της διαδικασίας της εξάτμισης και αφετέρου την ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς οι ακραίες τιμές της μπορεί να αποτελέσει μεγάλη απειλή για την ανθρώπινη ασφάλεια, τόσο στη ναυσιπλοΐα όσο και στην κατασκευή παράκτιων έργων και ψηλών κτιρίων. Σύμφωνα με τους McInnes et al., 2009b οι άνεμοι στα μεσαία πλάτη μπορούν να προκαλέσουν άνοδο της στάθμης της θάλασσας τοπικά και κατ' επέκταση αλλαγή στα χαρακτηριστικά ενός κύματος με έμμεσο αποτέλεσμα την αλλαγή των δραστηριοτήτων της στεριάς. Οι επιπτώσεις και το μέγεθος αυτών που πιθανόν να προκαλέσουν οι άνεμοι

μελετώνται σε συνδυασμό με τα φαινόμενα που σχετίζονται, όπως τους τροπικούς και έξωτροπικούς κυκλώνες, τις καταιγίδες και τους ανεμοστρόβιλους. Λόγω των περιορισμένων σε αριθμό μετρήσεων και των ελλιπών προσομοιώσεων των κλιματικών μοντέλων η αβεβαιότητα που ακολουθεί τους υπολογισμούς των μέσων και μεγίστων ταχυτήτων των ανέμων σε διάφορες περιοχές του πλανήτη είναι αρκετά μεγάλη. Συγκεκριμένα σύμφωνα με τις μελέτες της SREX για το δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα, με εξαίρεση την Ανταρκτική και την κεντρική και ανατολική Αυστραλία (Turner et al., 2005 and McVicar et al. 2008) παρατηρήθηκαν σημαντικές μειώσεις στις μέσες και ακραίες τιμές της ταχύτητας. Ωστόσο επειδή οι εκτιμήσεις αυτές προκύπτουν από την ανάλυση σχετικών φαινομένων, η βεβαιότητα τους είναι αρκετά χαμηλή. Οι μεταβολές, που παρατηρήθηκαν στους τροπικούς κυκλώνες παγκοσμίως, ήταν στατιστικά ασήμαντες, ωστόσο σημαντική ήταν εμφάνιση πιο εντατικών ανεμοθυελλών από το 1980.

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακα 1.3**) φαίνονται συνολικά και συνοπτικά οι παρατηρούμενες και οι προβλεπόμενες αλλαγές σε κάθε μία από τις κλιματικές μεταβλητές που έγινε αναφορά, συνοδευόμενες από την βεβαιότητα και την πιθανότητα εμφάνισης τους (Πηγή: SREX).

**Πίνακας 1.3:** Συνοπτικά οι παρατηρούμενες και προβλεπόμενες αλλαγές όσον αφορά τη θερμοκρασία, τις κατακρημνίσεις και τους ανέμους (Πηγή: SREX).

Κλιματικές μεταβλητές	Παρατηρούμενες αλλαγές από το 1950	Αναμενόμενες αλλαγές μέχρι το 2100
<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>	Πολύ πιθανή μείωση των κρύων ημερών και νυχτών με αντίστοιχη αύξηση των ζεστών παγκοσμίως. Μεσαία βεβαιότητα στην αύξηση της διάρκειας και στον αριθμό των θερμών περιόδων στις περισσότερες περιοχές. Χαμηλή ή μέτρια βεβαιότητα για τις τάσεις των ακραίων θερμοκρασιακών μεταβλητών λόγω της έλλειψης στοιχείων στις περισσότερες περιοχές της γης.	Προβλέπεται μείωση της συχνότητας και του μεγέθους των κρύων ημερών/νυκτών και αύξηση των θερμών αντίστοιχα παγκοσμίως. Πολύ πιθανή αύξηση της διάρκειας, της συχνότητας και / ή της έντασης των θερμών περιόδων ή κυμάτων καύσωνα στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη.
<b>ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ</b>	Πιθανή σημαντική αύξηση του αριθμού των έντονων βροχοπτώσεων σε περισσότερες περιοχές συγκριτικά με αυτές που ίσως υπάρξουν σημαντικές μειώσεις. Έντονες διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή.	Πιθανή αύξηση της συχνότητας εμφάνισης των φαινομένων των ακραίων βροχοπτώσεων κυρίως στις τροπικές περιοχές και στις περιοχές υψηλών γεωγραφικών πλατών του πλανήτη, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις περιοχές μεσαίων πλατών.
<b>ΑΝΕΜΟΙ</b>	Χαμηλή βεβαιότητα για τις τάσεις λόγω της έλλειψης στοιχείων.	Χαμηλή βεβαιότητα στις προβλέψεις για ακραίους ανέμους λόγω της έλλειψης στοιχείων (εξαιρούνται οι άνεμοι των τροπικών κυκλώνων).

## 1.6. Τα Σενάρια Εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου (SRES)

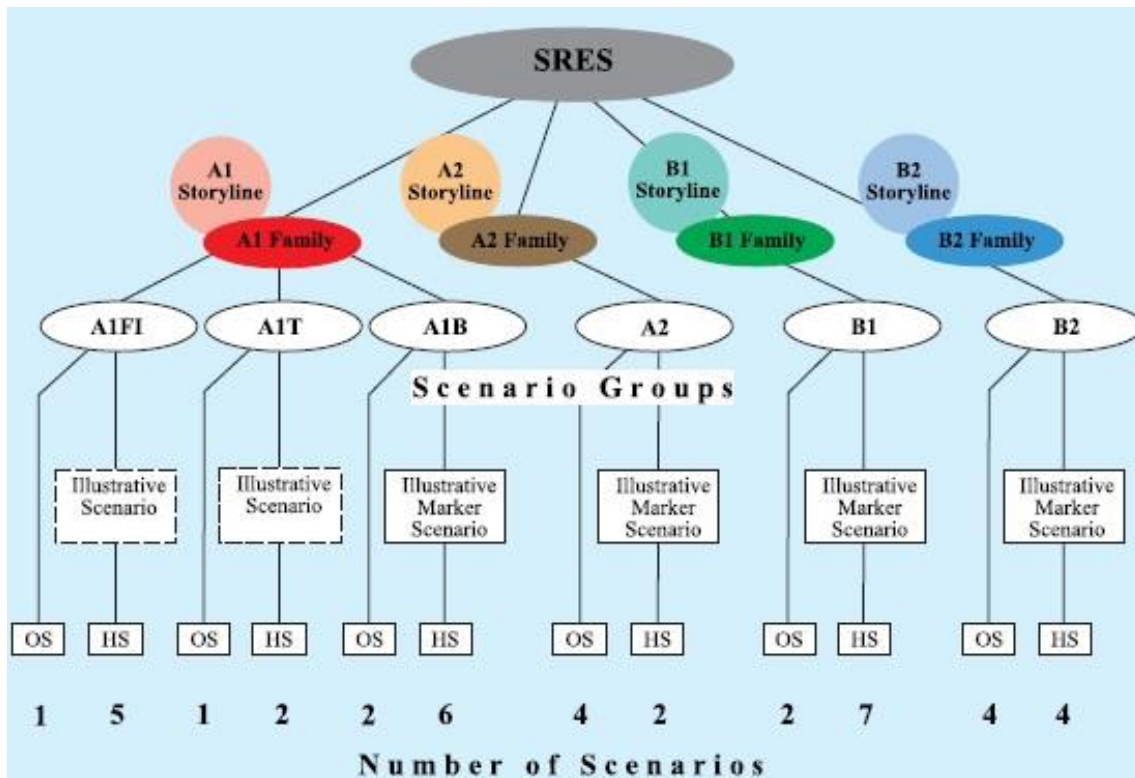
Στις επόμενες παραγράφους γίνεται η γενική περιγραφή των σεναρίων εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου (GHG), όπως αυτά έχουν οριστεί από την 4η Ειδική Έκθεση (AR4) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τη Κλιματική Μεταβολή (IPCC). Τα σενάρια αυτά (SRES: Special Report on Emissions Scenarios), στοχεύουν στον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C παγκοσμίως, σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία της προβιομηχανικής εποχής. Το σημείο που χρήζει αναφοράς σχετικά με τα συγκεκριμένα σενάρια είναι η μεγάλη αβεβαιότητα πραγματοποίησης αυτών, καθώς γίνεται απλώς

πρόγνωση των μελλοντικών ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GHG), βάσει των ήδη καταγεγραμμένων συγκεντρώσεων GHG στην ατμόσφαιρα. Τα σενάρια αυτά, καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από τις εν δυνάμει πηγές των μελλοντικών εκπομπών, όπως για παράδειγμα οι δημογραφικές, οι τεχνολογικές και οι οικονομικές εξελίξεις, χωρίς όμως κανένα από τα σενάρια αυτά να συμπεριλαμβάνει τυχόν μελλοντικές πολιτικές μέσω των οποίων θα αντιμετωπίζεται άμεσα η κλιματική μεταβολή.

Επειδή τα μελλοντικά επίπεδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως είναι παράγωγο ενός πολύ περίπλοκου δυναμικού συστήματος, που καθοδηγείται από διαφορετικές μεταξύ τους δυνάμεις, όπως η αύξηση του πληθυσμού, η κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος, για αυτό το λόγο οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις καθίστανται σχεδόν αδύνατες. Ωστόσο σύμφωνα με την IPCC, τα σενάρια αυτά αποτελούν θεωρητικά χρήσιμα εργαλεία για επιστημονικές αξιολογήσεις, βοηθώντας στην κατανόηση της πολύπλοκης συμπεριφοράς των συστημάτων, και την ανάλυση των κλιματικών αλλαγών. Η **Εικόνα 1.6** που ακολουθεί, είναι μία σχηματική αναπαράσταση των τεσσάρων «οικογενειών» των Σεναρίων Εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου, ενώ στον **Πίνακα 1.4** παρατίθενται συνοπτικά. Τα σενάρια αυτά διαμορφώνονται με βάση διαφορετικές παραδοχές όσον αφορά τη χρήση ενέργειας, αύξηση του πληθυσμού, οικονομική δραστηριότητα αλλά με την κοινή παραδοχή ότι δεν θα υπάρξει κοινή παγκόσμια συμφωνία για τη δραστική μείωση των εκπεμπόμενων αερίων που προκαλούν την κλιματική αλλαγή. Οι έξι οικογένειες σεναρίων που χρησιμοποιήθηκαν στα Πορίσματα του IPCC (Third Assessment Report (TAR) και Fourth Assessment Report (AR4)), είναι οι A1FI, A1B, A1T, A2, B1, και B2. Σύμφωνα με την IPCC κανένα από τα σενάρια δεν είναι πιο πιθανό από τα υπόλοιπα.

**Πίνακας 1.4:** Τα διαφορετικά Σενάρια Εκπομπών (SRES) σε παγκόσμια και περιοχική διάσταση, ανάλογα με την οικονομική ή περιβαλλοντική τους έμφαση, σύμφωνα με τις προβλέψεις της κλιματικής αλλαγής (IPCC 2007).

	Παγκόσμια Ολοκλήρωση (Global interation) (1)	Περιοχικότητα (Regionalism) (2)
Οικονομία (A)	A1B, A1FI, A1T	A2
Περιβάλλον (B)	B1	B2

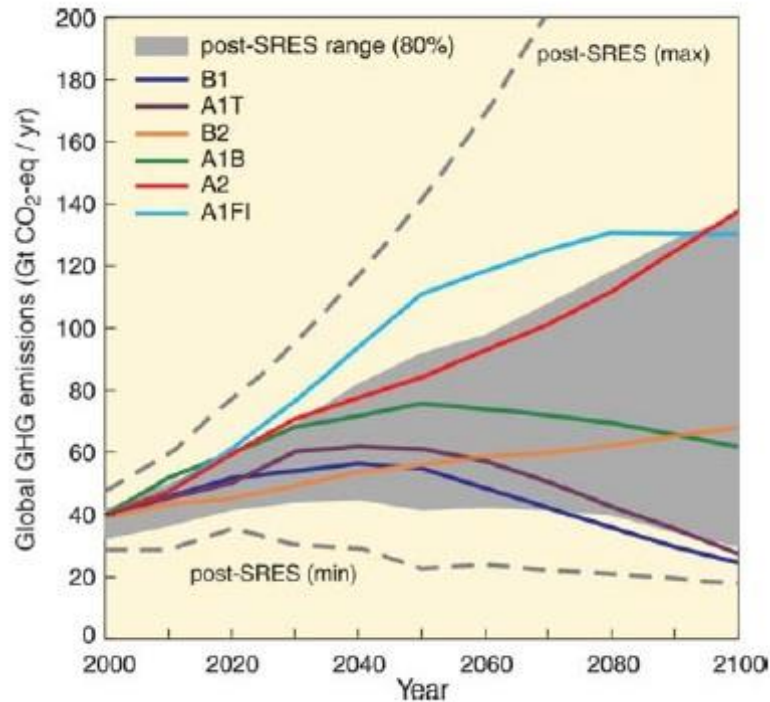


**Εικόνα 1.6:** Σχηματική απεικόνιση των Σεναρίων Εκπομπής Αερίων του Θερμοκηπίου (SRES). Τέσσερις βασικές οικογένειες των Σεναρίων, A1,A2,B1,B2.

Περιληπτικά το σενάριο **A1** αναφέρεται σε μία γρήγορη παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη μέχρι το 2050 η οποία στη συνέχεια μειώνεται. Βασικά στοιχεία του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η σύγκλιση μεταξύ αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων περιοχών, η δημιουργία υποδομών και οι αυξανόμενες πολιτιστικές και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Τα επιμέρους σενάρια του A1 αφορούν το είδος της ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί και συγκεκριμένα το **A1B** (Balanced energy) αναφέρεται στην υιοθέτηση ισορροπίας μεταξύ της χρήσης ορυκτών πρώτων υλών και των υπόλοιπων πηγών ενέργειας. Το **A1F1** (Fossil-fuel Intensive) αντιπροσωπεύει την αποκλειστική χρήση ορυκτών πρώτων υλών (πετρέλαιο, κάρβουνο, φυσικό αέριο) στην παραγωγή ενέργειας, και τέλος το **A1T** (high Techrenewables) αντιπροσωπεύει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εις βάρος των ορυκτών πρώτων υλών.

Το σενάριο **A2** αναφέρεται σε μία ετερογενή οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη σε τοπικό και όχι σε παγκόσμιο και ομοιογενές επίπεδο όπως το A1. Το σενάριο **B** αντιπροσωπεύει μία συγκλίνουσα παγκόσμια οικονομία, η οποία υποστηρίζει την προστασία του περιβάλλοντος με την εισαγωγή καθαρών πηγών ενέργειας και μειώνει την κατασκευαστική βιομηχανία. Τα επιμέρους τμήματα του B, τα **B1** και **B2** έχουν τον ίδιο κεντρικό πυρήνα με τα A1 και A2 αντίστοιχα με τη διαφορά ότι τα μέσα επίτευξής τους είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

Στο **Διάγραμμα 1.7** που ακολουθεί, φαίνονται οι προβλέψεις των μελλοντικών συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, συγκεκριμένα του διοξειδίου του άνθρακα, για τη χρονική περίοδο 2000 - 2100, σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπής των αερίων, όπως τα έχει ορίσει η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC).

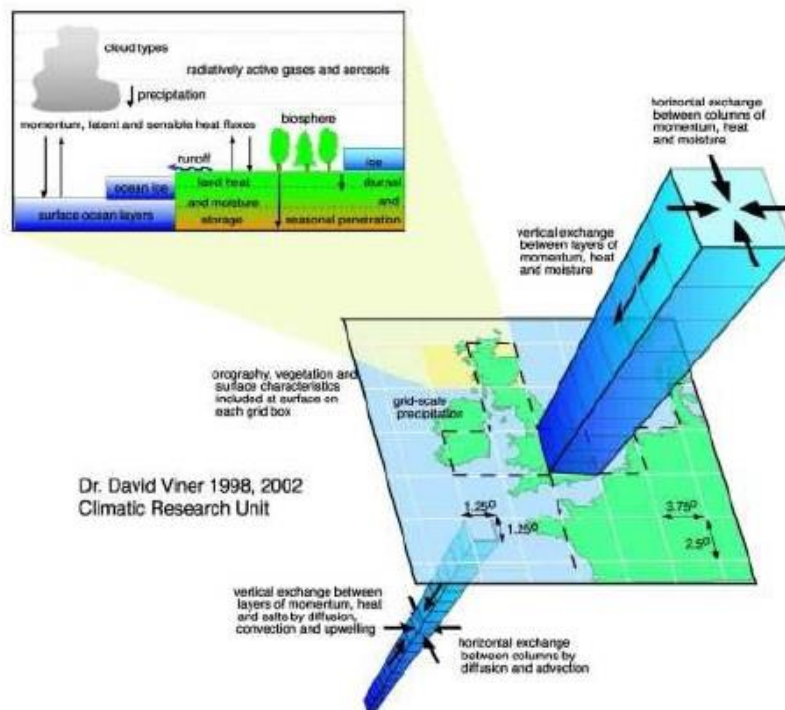


**Διάγραμμα 1.7:** Μελλοντικές προβλέψεις των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου για τη χρονική περίοδο 2000-2100.

## 1.7. Κλιματικά μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως για την πρόγνωση της κλιματικής αλλαγής είναι τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (General Circulation Models, GCMs), τα οποία διακρίνονται σε ατμοσφαιρικά GCMs, σε ωκεάνια GCMs και σε μοντέλα σύζευξης ατμόσφαιρας – ωκεανών (Coupled General Circulation Models - CGCMs). Τα Κλιματικά Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (GCMs) βασίζονται στους θεμελιώδεις νόμους της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας που διέπουν τη συμπεριφορά του κλιματικού συστήματος και τις αλληλεπιδράσεις των επιμέρους τμημάτων του. Δηλαδή οι βιογεωχημικοί κύκλοι αρκετών στοιχείων της ατμόσφαιρας και ιδίως εκείνων που σχετίζονται με την άνοδο της θερμοκρασίας (θερμοκηπικά αέρια, GHG), όπως για παράδειγμα ο κύκλος του νερού, του άνθρακα, του αζώτου, καθώς και η δράση των ωκεανών, η συμπεριφορά της επιφάνειας του εδάφους, του πάγου και του παγοκαλύμματος εκφράζονται μέσα από μαθηματικές εξισώσεις σε συνδυασμό με τα δεδομένα που εκφράζουν την εκάστοτε μεταβλητή ξεχωριστά. Οι μεταβλητές που περιγράφουν την κατάσταση της

ατμόσφαιρας περιλαμβάνουν επίσης και τη θερμοκρασία, την πίεση, τη συγκέντρωση των υδρατμών, τη συμπεριφορά των ανέμων καθώς και το ποσοστό νερού και πάγου στα σύννεφα. Κατά τη διαδικασία εκτέλεσης ενός μοντέλου, η υδρόγειος διακριτοποιείται με έναν τρισδιάστατο κάνναβο (**Εικόνα 1.7**) και στη συνέχεια ορίζονται οι τιμές των προαναφερθέντων μεταβλητών σε κάθε σημείο του καννάβου. Ο κάνναβος είναι χωρικής ανάλυσης της τάξεως του  $0.5^{\circ} - 4^{\circ}$  για τα στοιχεία της ατμόσφαιρας και σε έναν άλλο της τάξεως του  $0.2^{\circ} - 2^{\circ}$  για τα στοιχεία των ωκεανών. Η χωρική αυτή ανάλυση αφορά τα μοντέλα CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) όπου  $1^{\circ}$  γεωγραφικού πλάτους αντιστοιχεί σε περίπου 69 μίλια ή 111km (Taylor et al., 2012).



**Εικόνα 1.7:** Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας των κλιματικών μοντέλων GCMs (Πηγή: IPCC).

Εισάγοντας στα μοντέλα GCMs τις συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων, εκείνα μπορούν να προσομοιάσουν τις επιπτώσεις τους στο κλίμα. Ανατρέχοντας στην παράγραφο 1.6, η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται κυρίως από τις μελλοντικές κοινωνικοπολιτικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή, τη μεταβολή του πληθυσμού καθώς και στην ανάπτυξη της τεχνολογίας. Επειδή οι προαναφερθέντες παράγοντες είναι δύσκολο να προβλεφθούν, οπότε και οι εν λόγω προβλέψεις των μοντέλων είναι επισφαλείς. Ωστόσο τα κλιματικά μοντέλα της νέας γενιάς δε βασίζονται πλέον στα κοινωνικοοικονομικά σενάρια της IPCC αλλά παραμετροποιούν τις συνθήκες θερμοκρασίας και της επιφάνειας του εδάφους της εκάστοτε περιοχής. Τα μοντέλα GCMs καθίσταται ικανότερα στην προσομοίωση της θερμοκρασίας από ότι της βροχόπτωσης και για μεγάλες χωρικά περιοχές και χρονικές

περιόδους. Επίσης είναι πιο ικανά στην πρόβλεψη της μέσης τιμής των συγκεκριμένων μεταβλητών από ότι της διασποράς τους (Randall et al., 2007, Barsugli et al., 2009, Flato et al., 2013).

## 1.8. Βεβαιότητα και Αξιοπιστία των Κλιματικών Μοντέλων

Υπάρχουν πολλές πηγές αβεβαιότητας στην πρόβλεψη του κλίματος παγκοσμίως. Η κύρια πηγή αβεβαιότητας είναι η μεταβλητότητα των φυσικών διεργασιών και η λανθασμένη προσέγγιση τους μέσω των μεθόδων της κλασικής στατιστικής. Το κλίμα όπως αποδεικνύεται από όλες τις παλαιοκλιματικές μελέτες δεν ήταν ποτέ σταθερό αλλά μεταβαλλόταν ακανόνιστα σε όλες τις χρονικές κλίμακες κατά τη διάρκεια όλης της ιστορίας του πλανήτη. Επομένως η χρήση ντετερμινιστικών προσεγγίσεων για το χαρακτηρισμό του κλίματος να μην είναι βολική για την εισαγωγή των δεδομένων στα μοντέλα πρόβλεψης της κλιματικής αλλαγής αλλά δεν περιλαμβάνει την πολυπλοκότητα του κλιματικού συστήματος. Επίσης ούτε οι προγνώσεις βάσει σεναρίων, έστω και αν στηρίζονται στα πιο σύγχρονα κλιματικά μοντέλα, προβλέπουν τη φυσική μεταβλητότητα του παρελθόντος στο σύνολο της. Λόγω της συσχέτισης της κλιματικής μεταβλητότητας με την αβεβαιότητα, η αβεβαιότητα των προβλέψεων προέρχεται από τις παρατηρήσεις του παρελθόντος. Από την άλλη πλευρά η χρήση των πιθανοτικών μεθόδων μπορούν να περιγράψουν και να εξηγήσουν την αέναη κίνηση του κλίματος. Επιπλέον το φαινόμενο Hurst μπορεί να δώσει τις κατάλληλες τροποποιήσεις στην κλασική στατιστική, καθώς μπορεί να συσχετίσει δύο ή και περισσότερα φυσικά φαινόμενα / μεταβλητές μεταξύ τους, ώστε η κλασική στατιστική στη συνέχεια να είναι σε θέση να περιλαμβάνει την έννοια της κλιματικής μεταβλητότητας.

Για τους προαναφερθέντες λόγους, σύμφωνα με την IPCC η βεβαιότητα που χρησιμοποιείται από τους μελετητές για να χαρακτηρίσουν τις μεταβλητές χωριστά (Πίνακας 1.3) καθώς και τα ακραία καιρικά φαινόμενα (Κεφάλαιο 2.4) και που φαίνονται στον Πίνακα 2.8 (βλ. τέλος της διπλωματικής εργασίας) είναι οι ακόλουθες:

- Υψηλή βεβαιότητα
- Μέτρια βεβαιότητα
- Χαμηλή βεβαιότητα

Όταν εμφανίζεται υψηλή βεβαιότητα στην εμφάνιση ενός φαινομένου, αναφέρεται και το ποσοστό εμφάνισής του. Δηλαδή:

- Προφανώς σίγουρο με πιθανότητα εμφάνισης 99% - 100%
- Πολύ πιθανό, με πιθανότητα εμφάνισης 90% - 100%
- Πιθανό, με πιθανότητα εμφάνισης 66% - 100%
- Περισσότερο από το πιθανό, με πιθανότητα 50% - 100%



- Εξίσου πιθανό με το απίθανο, με πιθανότητα 33% - 66%
- Απίθανο, με πιθανότητα εμφάνισης 0% -33%
- Πολύ απίθανο, με πιθανότητα εμφάνισης 0% - 10%
- Εξαιρετικά απίθανο, με πιθανότητα εμφάνισης 0% - 1%

## 1.9. Η Κλιματική Αλλαγή ανά περιοχές της γης

Οι επιστημονικές ομάδες της IPCC βασιζόμενες στα κλιματικά μοντέλα και τα σενάρια πρόγνωσης των αερίων του θερμοκηπίου, προσπαθούν να προβλέψουν μελλοντικά τις συνθήκες που θα επικρατούν στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη λόγω της κλιματικής αλλαγής (Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change, 2014). Προσομοιάζοντας τις συνθήκες θερμοκρασίας, υετού και επιφάνειας εδάφους των διαφόρων περιοχών του πλανήτη, καταλήγουν στις μελλοντικές προβλέψεις των συνθηκών που θα επικρατούν στις ευρύτερες περιοχές του πλανήτη. Επειδή όπως έχει προαναφερθεί, τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής που αναμένονται να πραγματοποιηθούν στο μέλλον είναι αβέβαια καθώς το σύμπαν είναι ένα πολυκλαδικό σύστημα πολλών παραγόντων, επομένως εξίσου αβέβαιες είναι και οι προβλέψεις των συνθηκών και των καιρικών φαινομένων που θα επικρατούν σε κάθε ήπειρο της Γης.

### 1.9.1 Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία

Οι μέχρι πρότινος κλιματικές παρατηρήσεις για την Αυστραλία μαρτυρούν άνοδο της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα και αύξηση της συχνότητας και της έκτασης των θερμών ημερών σε ολόκληρη την ήπειρο. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις αναμένεται μείωση αυτών κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου και ειδικά στο νότιο τμήμα της ηπείρου. Η αναμενομένη αυτή μείωση των χειμερινών κατακρημνίσεων οφείλεται ιδίως στις κινήσεις των πόλων και στις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του θαλάσσιου ύδατος στον Ινδικό ωκεανό, η οποία είναι η κύρια αιτία του σχηματισμού των μουσώνων για την περίοδο Δεκέμβριος – Απρίλιος (England et al., 2006). Γενικά, προβλέπεται μείωση κατά 5% στο μεγαλύτερο τμήμα της Δυτικής και Ανατολικής Αυστραλίας, ενώ ενδέχεται αύξηση της εμφάνισης των ακραίων καιρικών φαινομένων. Οι παράκτιες περιοχές της Αυστραλίας, σύμφωνα με τα μελλοντικά σενάρια της ανόδου της θάλασσας, έρχονται αντιμέτωπες με τον αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών, αν και είναι μικρός συγκριτικά με τις υπόλοιπες χώρες του κόσμου (Slingo et al., 2011). Η μείωση του υετού της τάξεως του 20% που παρατηρήθηκε το χειμώνα της δεκαετίας του 1960, οδήγησε σε μείωση κατά 50% στις εισροές των φραγμάτων της περιοχής.

Όσον αφορά τη Νέα Ζηλανδία, αναμένεται συνεχιζόμενη άνοδος της θερμοκρασίας καθώς και αύξηση των κατακρημνίσεων στις δυτικές περιοχές κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης. Το φθινόπωρο και το καλοκαίρι αναμένεται ότι η ποσότητα του υετού θα παραμείνει σταθερή, ενώ την άνοιξη η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι μικρότερη συγκριτικά με τις υπόλοιπες εποχές. Η άνοδος της θερμοκρασίας προβλέπεται να είναι της τάξεως του 70% της παγκόσμιας ανόδου και ενδέχεται να εντατικοποιηθούν τα ακραία καιρικά φαινόμενα με πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας ή ξηρασίας διπλάσια σύμφωνα με το A1B σενάριο εκπομπής αερίων της IPCC (Reisinger et al., 2010).

### 1.9.2 Αφρική

Η Αφρική χωρίζεται σε πέντε ζώνες: στην έρημο Σαχάρα, στη Δυτική Αφρική, στην Ανατολική Αφρική, στη Νότια Αφρική και στο τμήμα της που βρέχεται από τη Μεσόγειο. Η 5<sup>η</sup> αυτή ζώνη επηρεάζεται και από τις συνθήκες που επικρατούν στη Μεσόγειο θάλασσα. Γενικά για την Αφρική αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις της IPCC η Σαχάρα προβλέπεται να παραμείνει ξηρή ενώ ενδέχεται στην περιοχή της Γκάνα (Δυτική Αφρική) να παρατηρηθεί αύξηση της βροχόπτωσης σε συνδυασμό με συνεχή και πολύ έντονη ηλιοφάνεια. Τα πιο συνηθισμένα ακραία καιρικά φαινόμενα που εμφανίζονται και επηρεάζουν το κλίμα της Αφρικής είναι οι μουσώνες, το φαινόμενο El Niño, οι τροπικοί κυκλώνες οι οποίοι επηρεάζουν κυρίως την ανατολική Αφρική και τις παράκτιες περιοχές της Μαδαγασκάρης και τέλος οι έξωτροπικοί κυκλώνες που επηρεάζουν το νότιο τμήμα της. Στο μέλλον αναμένεται να παρατηρηθεί μία μικρή καθυστέρηση στην έναρξη των βροχοπτώσεων εξαιτίας των μουσώνων με ταυτόχρονη αύξηση της διάρκειας τους. Επίσης αναμένεται αύξηση της συχνότητας εμφάνισης των βροχοπτώσεων στο ανατολικό και νότιο τμήμα της Αφρικής. Σύμφωνα με τους McSweeney et al., 2010 ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας αναμένεται να είναι υψηλότερος στο βόρειο παρά στο νότιο τμήμα της Αφρικής με τη μέση ετήσια τιμή της να έχει αυξηθεί κατά 1°C από το 1960.

### 1.9.3 Βόρεια Αμερική

Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής καταγράφηκε μία σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε συνδυασμό με μία μείωση του όγκου του πάγου της περιοχής. Ειδικότερα η άνοδος αυτή της θερμοκρασίας σημειώθηκε στην Αλάσκα, στον Καναδά, στη Γροιλανδία και στο βορειοδυτικό τμήμα της Αμερικής κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης, ενώ στο βορειοανατολικό και κεντρικό της τμήμα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Zhang et al., 2011b). Ο αριθμός των κρύων νυχτών και ημερών μειώθηκε σημαντικά στα μέσα του περασμένου αιώνα καθώς ο

αντίστοιχος αριθμός θερμών αυξήθηκε. Με βάση τα μελλοντικά σενάρια SRES της IPCC προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας για το Κεντρικό και Νοτιοδυτικό κομμάτι των Ηνωμένων Πολιτειών, της τάξεως των 4 °C – 4.5°C. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής τα δεδομένα είναι ασαφή για τα τελευταία 50 χρόνια (Zhang et al., 2011b), ωστόσο παρατηρείται αύξηση των φαινομένων ακραίων βροχοπτώσεων ειδικά πάνω από την Κεντρική και Βορειοανατολική Αμερική (Senevirathe et al., 2012). Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, οι κατακρημνίσεις κατά τη χειμερινή περίοδο έχουν αυξηθεί στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής, λόγω της υγρασίας της ατμόσφαιρας. Παρομοίως, και οι κατακρημνίσεις κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου παρουσιάζουν αύξηση της συχνότητας τους στην Βορειοανατολική Αμερική, στην Αλάσκα και στο βόρειο τμήμα του Καναδά. Η αυξημένη βροχόπτωση που παρατηρείται στον Κόλπο του Μεξικού και στις ανατολικές ακτές της Βόρειας Αμερικής είναι προϊόν της δράσης των κυκλώνων. Είναι πολύ πιθανό τα επόμενα χρόνια, το βόρειο τμήμα της Αμερικής να δεχθεί ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνίσεων οι οποίες αναμένεται να οφείλονται στη δράση των έξωτροπικών κυκλώνων της περιοχής.

#### 1.9.4 Κεντρική Αμερική και Καραϊβική

Το κλίμα τόσο της Κεντρικής Αμερικής όσο και της Καραϊβικής είναι αποτέλεσμα της δράσης των φαινομένων El Niño, στο οποίο οφείλονται οι ξηρές περίοδοι και στο La Niña, στο οποίο οφείλονται οι υγρές περίοδοι. Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις της IPCC η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αναμένεται να αυξηθεί κατά 2 °C – 3 °C κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Vengara et al., 2007; Rauscher et al., 2008; Karmalkar et al., 2011). Η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερη στην περιοχή της κεντρικής Αμερικής από ότι στην Καραϊβική ανεξαρτήτως εποχής. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις, προβλέπεται σημαντική μείωση.

Συγκεκριμένα, από τον Οκτώβριο μέχρι το Μάρτιο αναμένεται μείωση του υετού στο βόρειο τμήμα της κεντρικής Αμερικής, περιλαμβανομένου και του Μεξικού. Την ίδια περίοδο αναμένεται ότι στην Καραϊβική ο υετός θα μειωθεί στο νότιο τμήμα της, ενώ θα αυξηθεί στο βόρειο. Από τον Απρίλιο μέχρι το Σεπτέμβριο προβλέπεται ότι θα σημειωθεί σημαντική μείωση των κατακρημνίσεων σε όλη την κεντρική Αμερική. Αυτή η προβλεπόμενη μείωση μπορεί να οφείλεται είτε στη δράση των τροπικών κυκλώνων, είτε στη δράση των ENSO (El Niño & La Niña), η μελλοντική δράση των οποίων μέχρι στιγμής δεν μπορεί να προβλεφθεί. Επιπρόσθετα, όσον αφορά τις αποδόσεις των καλλιεργειών, παρατηρείται μείωση στην απόδοση, ειδικότερα για τις καλλιέργειες αραβοσίτου, σόγιας και σίτου, που είναι οι τρεις βασικές καλλιέργειες των Ηνωμένων Πολιτειών. Τέλος, όσον αφορά τις πλημμύρες των ποταμών, οι περισσότερες μελέτες έδειξαν μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά την πιθανότητα εμφάνισής τους. Παρόλα αυτά, παγκόσμια μοντέλα

(IPCC) προβλέπουν σημαντική αύξηση της συχνότητας των πλημμυρών για το νότιο, το ανατολικό και το βορειοδυτικό τμήμα της κεντρικής Αμερικής κυρίως κατά το δεύτερο μισό του αιώνα (Slingo et al., 2011).

### 1.9.5. Νότια Αμερική

Οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί για την περιοχή της νότιας Αμερικής και ειδικότερα για την περιοχή νότια του Αμαζονίου, καταλήγουν με βεβαιότητα στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας θα αυξηθεί, οπότε κατ' επέκταση και ο αριθμός των ζεστών νυχτών. Όσον αφορά το φαινόμενο του υετού, προβλέπεται αύξηση των βροχοπτώσεων επί το πλείστον, ενώ μείωση στην περιοχή της κεντρικής Χιλής και στο νότιο άκρο της ηπείρου. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρξει μείωση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια των ξερών περιόδων στα ανατολικά του Αμαζονίου, νότια και ανατολικά της Βραζιλίας. Ωστόσο κατά τη διάρκεια των υγρών περιόδων προβλέπεται ενίσχυση των ακραίων βροχοπτώσεων με αυξημένο κίνδυνο για πλημμύρες, ειδικά στο δεύτερο μισό του αιώνα (Slingo et al., 2011). Επίσης σύμφωνα με τον Slingo et al., 2011 προβλέπεται ότι η Αργεντινή θα χάσει τεράστιες αγροτικές παράκτιες εκτάσεις λόγω της αναμενόμενης αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας.

### 1.9.6 Ευρώπη και Μεσόγειος

Στην Ευρώπη από το 1950 έχει παρατηρηθεί μία μείωση των ψυχρών ημερών και νυχτών με αντίστοιχη αύξηση των θερμών. Τα κύματα καύσωνα που εμφανίζονται σε συνδυασμό με της συνθήκες ξηρασίας που επικρατούν δημιουργούν εύφορο έδαφος για την άνοδο της θερμοκρασίας (Vautard et al., 2007; Senevirathe et al., 2010; Hirschi et al., 2011). Επιπρόσθετα αρκετές έρευνες των τελευταίων τεσσάρων χρόνων, υποστηρίζουν ότι η συχνότητα και η ένταση των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης θα αυξηθούν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις της IPCC ενδέχεται ότι στις περιοχές της Ευρώπης αλλά και της Μεσογείου θα αυξηθούν οι κατακρημνίσεις κατά τη χρονική περίοδο Οκτώβριο – Μάρτιο, εξαιτίας της αύξησης της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της δράσης των εξωτροπικών κυκλώνων. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (Απρίλιος - Σεπτέμβριος) αναμένεται σταθερότητα στον αριθμό των βροχοπτώσεων στις περιοχές της Ευρώπης, ενώ αξιοσημείωτη μείωση στην περιοχή της Μεσογείου. Όπως είναι αναμενόμενο η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα θα συνεχίσει να αυξάνεται, με σημαντική άνοδο κατά τη χειμερινή περίοδο στη βόρεια Ευρώπη, σε αντίθεση με τις περιοχές της κεντρικής Ευρώπης και της Μεσογείου, όπου αναμένονται πιο ζεστά καλοκαίρια. Οι περιοχές που παρουσιάζουν τη μέγιστη θερμοκρασιακή άνοδο βρίσκονται στο νοτιότερο κομμάτι της Μεσογείου. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις, προβλέπεται μία άνοδος στις περιοχές της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης και μείωση στη Μεσόγειο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

### 1.9.7. Ασία

Η Ασία είναι η μεγαλύτερη από τις έξι ηπείρους της γης. Με σκοπό να γίνει η ανάλυση και η πρόγνωση των συνθηκών διαβίωσης στις περιοχές της ηπείρου, χωρίζεται η Ασία σε τέσσερις ζώνες: την κεντρική και βόρεια Ασία, την ανατολική Ασία (Κίνα), τη δυτική Ασία και τη νότια.

Η ζώνη της κεντρικής και βόρειας Ασίας εκτείνεται από το οροπέδιο του Θιβέτ μέχρι την Αρκτική και επηρεάζεται κυρίως από τα καιρικά φαινόμενα που προέρχονται από τα δυτικά και τα νότια της περιοχής. Οι προσομοιώσεις της IPCC δείχνουν μια πολύ σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας στη βόρεια Ασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ στην κεντρική Ασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις, αναμένεται αύξηση της συχνότητας εμφάνισης τους στη βόρεια Ασία ειδικότερα κατά τη χειμερινή περίοδο και μείωση κατά τη θερινή περίοδο (άνοιξη - καλοκαίρι). Σύμφωνα με τους Seneviratne et al., 2012 τα ακραία φαινόμενα βροχοπτώσεων θα αυξηθούν και στις δύο περιοχές, αλλά πιο έντονα θα είναι στην περιοχή της βόρειας Ασίας.

Η περιοχή της ανατολικής Ασίας εκτείνεται από την ανατολική Κίνα έως την περιοχή της κεντρικής Ιαπωνίας. Οι καιρικές συνθήκες της ανατολικής Ασίας επηρεάζονται κυρίως από τη δράση των μουσώνων, καθώς το καλοκαίρι είναι μία βροχερή περίοδος για τις περιοχές αυτές. Από το 1970 έχει παρατηρηθεί μία αποδυνάμωση αυτού του φαινομένου λόγω της εν λόγω κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με τους Christensen et al., 2007 υπάρχει μεγάλη πιθανότητα τα κύματα καύσωνα να γίνουν συχνότερα και εντονότερα με μεγαλύτερη διάρκεια εμφάνισης το καλοκαίρι. Οι ετήσιες κατακρημνίσεις θα αυξηθούν κατά τη διάρκεια της θερινής αλλά και της χειμερινής περιόδου, καθώς επίσης και τα ακραία καιρικά φαινόμενα (βροχόπτωση και αέρας) λόγω της δράσης των κυκλώνων. Τη χρονική περίοδο Μάιο – Ιούλιο τα ακραία καιρικά φαινόμενα βροχοπτώσεων είναι πιθανόν να αυξηθούν στις περιοχές της ανατολικής Ασίας, ενώ στην Ιαπωνία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Η περιοχή της δυτικής Ασίας εκτείνεται από τη Μεσόγειο προς τις δυτικές παρυφές της νότιας Ασίας, και περιλαμβάνει τη Μέση Ανατολή, την Αραβική Χερσόνησο και άλλες μεγάλες περιοχές της άγονης ερήμου. Βάσει των προσομοιώσεων της IPCC αναμένεται επιπλέον άνοδος της θερμοκρασίας με κάποιες διαφοροποιήσεις ανά περιοχές όσον αφορά τις κατακρημνίσεις. Προβλέπεται μείωση των βροχοπτώσεων τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όσο και κατά τη διάρκεια του χειμώνα με τις περιοχές της Μεσογείου να εμφανίζονται περισσότερο ξηρές. Η αναμενόμενη αυτή ξηρασία προκαλεί μεταβολές στις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό της χώρας που πιθανόν θα οδηγήσουν σε μία αύξηση των κατακρημνίσεων στην Αραβική χερσόνησο.

Τέλος το κλίμα των περιοχών της νότιας Ασίας επηρεάζεται κατά κόρον από τη δράση των μουσώνων. Την περίοδο Ιούνιος – Σεπτέμβρης το κλίμα επηρεάζεται από τη δράση των θερινών μουσώνων του Ινδικού ωκεανού, ενώ η ετήσια βροχόπτωση της νοτιοανατολικής Ινδίας και της Σρι Λάνκας οφείλεται στη

δράση των χειμερινών μουσώνων. Όλες οι προβλέψεις για την περιοχή της νότιας Ασίας δείχνουν άνοδο της θερμοκρασίας το χειμώνα κατά τη διάρκεια κυρίως τη νύχτα (Kumar et al., 2011a; Kumar et al., 2012), ενώ το καλοκαίρι προβλέπεται αύξηση των πολύ ζεστών ημερών και νυχτών. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις τα αποτελέσματα των ερευνών είναι αβέβαια. Ωστόσο προβλέπεται μία αύξηση λόγω της δράσης των θερινών μουσώνων, σε όλες τις περιοχές της νότιας Ασίας εκτός των περιοχών της Ινδονησίας, οι οποίες γειτονεύουν με τον Ινδικό ωκεανό.

### **1.9.8. Αρκτική**

Μελέτες που έχουν γίνει για την περιοχή της Αρκτικής δείχνουν ότι η θερμοκρασία που επικρατεί αυτή την εποχή είναι η υψηλότερη θερμοκρασία των τελευταίων 2000 χρόνων (Kaufman et al., 2009), με ρυθμό ανόδου της, της τάξεως του 1°C / δεκαετία τα τελευταία 30 χρόνια. Προβλέπεται ότι μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα (2081 - 2100) η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα αυξηθεί κατά 5 °C, ενώ κατά 7 °C πάνω από τον Αρκτικό ωκεανό. Οι επιστήμονες υποστηρίζουν αύξηση των φαινομένων των κατακρημνίσεων στην περιοχή της Αρκτικής κατά μέσον όρο κατά 25%, και ειδικότερα κατά 15% κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου.

### **1.9.9. Ανταρκτική**

Σύμφωνα με τις μελέτες και τις προσομοιώσεις της IPCC για την περιοχή της Ανταρκτικής, μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα, αναμένεται άνοδος της μέσης θερμοκρασίας με μικρότερο βέβαια ρυθμό από ότι παγκοσμίως και ακόμη μικρότερο από το ρυθμό που προβλέπεται για την περιοχή της Αρκτικής. Αυτό οφείλεται κυρίως στη θερμοκρασία της επιφάνειας των ωκεανών που την καλύπτουν, καθώς αυτά θερμαίνονται πιο αργά από ότι το εσωτερικό της ηπείρου. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία θα παρουσιαστεί αύξηση και των κατακρημνίσεων της τάξεως του 20% ή μεγαλύτερη στην ανατολική κυρίως Ανταρκτική. Ωστόσο οι μελέτες αυτές είναι απλώς προσπάθειες των επιστημόνων να προβλέψουν τις μελλοντικές συνθήκες στην περιοχή της Ανταρκτικής καθώς ο τρόπος δράσης και η εξέλιξη των φαινομένων ENSO είναι αβέβαια.

Όλα τα σενάρια πρόβλεψης των μελλοντικών συνθηκών ανά ήπειρο βασίζονται στα αποτελέσματα και τις προσομοιώσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC).

## 2. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές παραμέτρους

Η κλιματική αλλαγή εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται αισθητή και σε άλλες φυσικές μεταβλητές όπως για παράδειγμα στη μεταβολή της μέσης στάθμης της θάλασσας και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε περιοχή (τοπικοί άνεμοι), καθώς επίσης και στη δράση των θαλάσσιων ρευμάτων και κατ' επέκταση στη δράση των κυμάτων, στην παλίρροια καθώς και στην ενίσχυση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα η εμφάνιση των κυματικών καταιγίδων. Επειδή όλες οι προαναφερθείσες μεταβλητές επηρεάζουν άμεσα την παράκτια ζώνη, ο μηχανικός υποχρεούται να λαμβάνει υπόψιν του τυχόν μεταβολές των παραμέτρων αυτών τόσο στο στάδιο του σχεδιασμού όσο και της υλοποίησης των έργων με σκοπό τη μέγιστη δυνατή αντοχή του έργου στην υδραυλική φόρτιση. Ο μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του το χαρακτηριστικό ύψος κύματος, την καμπυλότητα και την περίοδο αιχμής των κυμάτων της περιοχής μελέτης τη δεδομένη χρονική στιγμή αλλά και να προβλέπει τις μελλοντικές εκτιμήσεις των συγκεκριμένων παραμέτρων. Οι πιο συνηθισμένες μορφές αστοχίας των παράκτιων έργων είναι:

1. Η αστάθεια της θωράκισης ενός παράκτιου έργου,
2. Στην παροχή υπερπήδησης των κυμάτων που προκαλεί αστάθεια στη λιμενολεκάνη και
3. Στη διάβρωση του πόδα του κυματοθραύστη.

Ωστόσο για να αποφευχθούν οι ζημιογόνες επιπτώσεις της μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων στις παράκτιες περιοχές πρέπει η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά ενός παράκτιου τεχνικού έργου, όπως για παράδειγμα το ύψος στέψης του έργου να επαναπροσδιορίζονται εκ νέου αναλόγως την περιοχής μελέτης (η ζωή του έργου είναι συνήθως 100 χρόνια). Επίσης παρατηρείται πως η Ευρωπαϊκή Ένωση με τις Διατάξεις που ορίζει στα κράτη – μέλη προωθεί τη χρησιμοποίηση ήπιων μεθόδων προστασίας των παράκτιων περιοχών, έργων φιλικότερων προς το περιβάλλον και αναλόγως του προβλήματος που έχει να αντιμετωπίσει η εκάστοτε περιοχή δύναται να γίνει συνδυασμός σκληρών και ήπιων μορφών έργων προστασίας.

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι ο πρωτεύων παράγοντας που επηρεάζει τη ζωή στις παράκτιες περιοχές και οι αιτίες ανόδου καθώς και οι μελλοντικές προβλέψεις μέχρι το 2100 θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια. Η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με την κυματική δράση της κάθε περιοχής, αυξάνει τα φαινόμενα της κυματικής υπερπήδησης ενός τεχνικού έργου προστασίας της παράκτιας ζώνης (κυματοθραύστες, πρόβολοι, κ.ο.κ) και κατ' επέκταση την πιθανότητα πλημμύρας ή διάβρωσης τόσο του ίδιου του έργου όσο και της παράκτιας ζώνης που αυτό προστατεύει. Η κυματική υπερπήδηση επιβαρύνεται από την πνοή των ανέμων και ειδικά όταν αυτοί είναι θαλάσσιοι και εγκάρσιοι στο έργο. Όπως είναι αναμενόμενο, το ύψος, η περίοδος και η διεύθυνση των κυμάτων εξαρτώνται από την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου (**εξισώσεις 2.2, 2.3**). Σύμφωνα με τους Gonzalez, Escrivá and

De Rouck (2002), η υπερπήδηση σε λογαριθμική κλίμακα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου. Η αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος, καθώς και η αλλαγή των χαρακτηριστικών στοιχείων ενός κύματος (περίοδος επανεμφάνισης  $T$  και κατεύθυνση), έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την ενίσχυση της κυματικής ενέργειας του κύματος. Βάσει της **εξίσωσης 2.1** της κυματικής ενέργειας που ακολουθεί, αποδεικνύεται ότι όσο αυξάνεται το χαρακτηριστικό ύψος κύματος κάθε περιοχής, αυξάνεται εκθετικά και η ενέργεια του. Η αυξημένη αυτή ενέργεια σε συνδυασμό με την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας έχει ως αποτέλεσμα το κύμα να συναντά το τεχνικό έργο προστασίας της παράκτιας ζώνης σε υψηλότερο σημείο από το σημείο στέψης με αποτέλεσμα να το υπερπηδά.

**Εξίσωση 2.1:**  $E = \rho * g * H^2 / 8$  όπου:

$\rho$ : η πυκνότητα του νερού,

$g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας και

$H$ : το χαρακτηριστικό ύψος κύματος κάθε περιοχής.

Οι **εξισώσεις 2.2 και 2.3** που ακολουθούν προέρχονται από τις εξισώσεις JONSWAP (Hasselmann et al., 1973).

**Εξίσωση 2.2:**  $H = 0.0016 * g^{-0.5} * X^{0.5} * U$

**Εξίσωση 2.3:**  $f_p = 3.5 * g^{0.67} * X^{-0.33} * U^{-0.33}$

Όπου  $H$ : το χαρακτηριστικό ύψος κύματος της περιοχής

$g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας

$X$ : το ανάπτυγμα πελάγους (fetch)

$U$ : η ταχύτητα του ανέμου

$f_p$ : η μέγιστη τιμή της συχνότητας

Το 1980 ο Donelan στις εξισώσεις αυτές που συνδέουν το χαρακτηριστικό ύψος κύματος και την περίοδο επαναφοράς του κύματος με την ταχύτητα του αέρα, εισήγαγε και την έννοια της διεύθυνσης του αέρα, **εξισώσεις 2.4, 2.5.**



$$\text{Εξίσωση 2.4: } H = 0.0036 \cdot g^{-0.62} \cdot F^{0.38} \cdot (U \cdot \cos\varphi)^{1.24}$$

$$\text{Εξίσωση 2.5: } fp = 1.85 \cdot g^{0.77} \cdot F^{-0.23} \cdot (U \cdot \cos\varphi)^{-0.54}$$

Όπου  $\varphi$ : η γωνία διεύθυνσης ανέμου και κύματος

και  $F$ : το ανάπτυγμα πελάγους στην ίδια διεύθυνση με τα κύματα

Όπως παρατηρείται και στις τέσσερις προαναφερθείσες εξισώσεις (**εξίσωση 2.2, 2.3, 2.4, 2.5**) το χαρακτηριστικό ύψος κύματος είναι ανάλογο με την ταχύτητα του ανέμου που τα προκαλεί.

Σύμφωνα με την IPCC (Trenberth et al., 2007) παρατηρείται μία τάση αύξησης του χαρακτηριστικού ύψους κύματος και του μέγιστου ύψους κύματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις περιοχές μεσαίου γεωγραφικού πλάτους όπως είναι για παράδειγμα στις περιοχές του Β. Ατλαντικού Ωκεανού, του Β. Ειρηνικού Ωκεανού, δυτικά της υποτροπικής ζώνης του Ν. Ατλαντικού, ανατολικά του Ινδικού ωκεανού και της Σινικής θάλασσας (νότια Κίνα). Αντίθετα οι επιστήμονες αναμένουν μείωση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος στις περιοχές δυτικά του Ειρηνικού ωκεανού, στη θάλασσα της Τασμανίας και νότια του Ινδικού ωκεανού. Εκτιμάται ότι η μέγιστη τιμή του ύψους κύματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα αυξάνεται με ρυθμό της τάξεως των 0.4m / δεκαετία στην περιοχή του Β. Ατλαντικού. Η επιδείνωση αυτή της κυματικής δράσης σε αυτές τις περιοχές πιθανότατα να οφείλεται στη μετατόπιση των κυματικών καταιγίδων προς το βορρά και την εμφάνιση συχνότερων ανέμων με ταχύτητα μεγαλύτερη των 15 m/s (IPCC 2007a). Στις υπόλοιπες περιοχές του πλανήτη οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι μέχρι το τέλος του αιώνα δε θα παρατηρηθεί καμία αξιοσημείωτη αλλαγή στην κατεύθυνση και στην ταχύτητα των τοπικών ανέμων παγκοσμίως.

## 2.1. Άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως

Το επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας καθορίζεται από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Το φαινόμενο της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας σε σχέση με τη στεριά, επίκλυση ή απόσυρση, μπορεί να χαρακτηριστεί ως τοπικό ή ως παγκόσμιο φαινόμενο, αναλόγως τις αιτίες και τους μηχανισμούς που το προκάλεσαν. Οι μηχανισμοί που επηρεάζουν σε παγκόσμια κλίμακα τη στάθμη της θάλασσας (ευστατισμός) μπορεί να οφείλονται σε διάφορα αίτια όπως για παράδειγμα στη μεταβολή του όγκου των ωκεάνιων υδάτων λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (κλιματική αιτία), στη μεταβολή της χωρητικότητας των ωκεάνιων λεκανών κυρίως μέσα από την ισοστατική τροποποίηση της λιθόσφαιρας (τεκτονική αιτία), στην αργή πλήρωση των ωκεάνιων λεκανών με ιζήματα, με ρυθμό περίπου 3mm/100 έτη (ιζηματολογική αιτία) καθώς και σε μεταβολές της πυκνότητας

του θαλασσινού νερού που μεταβάλουν τον όγκο του. Σε τοπικό επίπεδο οι μηχανισμοί που μεταβάλουν τη στάθμη της θάλασσας μπορεί να οφείλονται στις ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις των τεκτονικών πλακών της κάθε περιοχής ή στις ισοστατικές κινήσεις του στερεού φλοιού της γης, με επαναφορά του χέρσου στα προηγούμενα ύψη με την υποχώρηση των παγετώνων ή των θαλάσσιων υδάτων στις ωκεάνιες λεκάνες (Walcott 1972; Clark et al., 1978).

Επίσης σύμφωνα με τον N.A.Morner (2000), οι μεταβολές στη μέση στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως μπορεί να οφείλονται στην παραμόρφωση του θαλάσσιου γεωειδούς. Ο όρος *γεωειδές* αναφέρεται στην ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου έλξης και περιστροφής της Γης που πλησιάζει περισσότερο στη μέση στάθμη της θάλασσας (Mean Sea Level - MSL). Το μέσο επίπεδο στάθμης της θάλασσας θεωρείται ότι έχει διορθωθεί από τις επιδράσεις των μεταβολών της πυκνότητας του θαλάσσιου ύδατος, των παλιρροιών και των ρευμάτων. Σύμφωνα με τον N.A.Morner η παραμόρφωση του θαλάσσιου γεωειδούς οφείλεται στην ταχύτητα περιστροφής της γης γύρω από τον άξονα της και στη βαρύτητα της γης. Οποιαδήποτε μεταβολή σε έναν από αυτούς τους μηχανισμούς μεταβάλλει οριζόντια ή κατακόρυφα το γεωειδές της στάθμης της θάλασσας.

Οι πρώτες παρατηρήσεις και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως, διεξήχθησαν από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) και συγκεκριμένα από τους Warrick and Oerlemans το 1990. Στην πρώτη αυτή εκτίμηση (FAR: First Assessment Report) έγινε αναφορά στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα συγκριτικά με τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και την αύξηση του ρυθμού ανόδου της κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα, λόγω της θερμικής διαστολής του νερού των ωκεανών και της τήξης των πάγων ανεξαρτήτως του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η δεύτερη αναφορά σχετικά με την παγκόσμια στάθμη της θάλασσας επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα της πρώτης (Warrick et al., 1996).

Οι μετρήσεις αυτές, της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας σχετικά με τη στεριά γίνονται είτε με ειδικά όργανα, τους παλιρροιογράφους είτε με τη δορυφορική υψομετρία. Ο παλιρροιογράφος είναι ένα όργανο που αποτελείται από έναν καταγραφικό αυτογραφικό μηχανισμό και έναν πλωτήρα. Ο πλωτήρας τοποθετείται μέσα σε έναν ειδικό σωλήνα στη θάλασσα ώστε να προστατεύεται από τους κυματισμούς. Ο παλιρροιογράφος καταγράφει την κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα εξαιτίας της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας, μέσω του αυτογραφικού μηχανισμού που διαθέτει. Στη συνέχεια αναλύονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα, προσδιορίζεται η μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ.) και δίνεται υψόμετρο σε σταθερό σημείο της στεριάς που έχει τοποθετηθεί ο παλιρροιογράφος. Ο συνδυασμός της επιλογής των τεκτονικά σταθερών θέσεων παλιρροιογράφων και η εξαγωγή μέσου όρου καταγραφών από πολυάριθμους σταθμούς καταλήγει σε εκτιμήσεις παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας με πολύ χαμηλή αβεβαιότητα. Συγκεκριμένα στην περιοχή των ελληνικών θαλασσών, υπάρχουν 27 παλιρροιογράφοι από

τους οποίους μόνο οι 4 είναι ικανοί να παρέχουν μετρήσεις για χρονικές περιόδους μεγαλύτερες των 40 ετών. Αυτοί είναι ο σταθμός της Θεσσαλονίκης, του Κατάκολου, της Αλεξανδρούπολης και της Λέρου.

Όσον αφορά τις παρατηρήσεις της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας μέσω της μεθόδου της δορυφορικής υψομετρίας, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η αξιοπιστία των δορυφορικών δεδομένων στις παράκτιες περιοχές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την «επιμόλυνση» του σήματος εξαιτίας της στεριάς. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τις παράκτιες περιοχές με πολύπλοκες ακτογραμμές όπως για παράδειγμα οι παράκτιες περιοχές του Αιγαίου και οι ανατολικές περιοχές του Ιονίου. Επομένως δεδομένα που καταγράφονται μέχρι και λίγα δεκάδες χιλιόμετρα από την ακτή δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα. Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων των παλιρροιογράφων και της δορυφορικής υψομετρίας που έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα, μαρτυρούν άνοδο της στάθμης της θάλασσας με ρυθμό 1.8 mm/year (Bindoff et al., 2007). Δορυφορικές μετρήσεις των τελευταίων 15 χρόνων δίνουν αύξηση του ρυθμού στα 3 mm/year (Bindoff et al., 2007). Η μεταβολή αυτή της στάθμης της θάλασσας τα τελευταία 5.000 χρόνια θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα της θερμικής διαστολής του θαλάσσιου ύδατος, της τήξης των πάγων των οροσειρών καθώς και αυτών της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας, παράγοντες οι οποίοι θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια.

Η σημερινή τιμή άνοδου της μέσης παγκόσμιας στάθμης εκτιμάται στα 1–2 mm/year (Bindoff et al., 2007) αλλά στο μέλλον αναμένεται να αυξηθεί, καθώς η ποσότητα του νερού των ωκεανών θα αυξηθεί εξαιτίας της τήξης των πάγων των οροσειρών και των παγετώνων εν όψει της αναμενόμενης κλιματικής αλλαγής (Church et al., 2001). Στον **Πίνακα 2.1** που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά τα επίπεδα της θαλάσσιας στάθμης και ο ρυθμός άνοδου της σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα του παρελθόντος με τις πηγές προέλευσης τους. Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 2.1** σύμφωνα με την IPCC προβλέπεται ότι η άνοδος της στάθμης μέχρι το 2100 θα κυμανθεί μεταξύ των 0.2m και των 2m αναλόγως των εκάστοτε ισχυόντων σεναρίων SRES που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 1.

Σύμφωνα με την ημι-εμπειρική σχέση μεταξύ της αύξησης της τιμής της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της θαλάσσιας στάθμης του Rahmstorf, 2007 προκύπτει ότι για κάθε 1°C αντιστοιχεί άνοδος της θαλάσσιας στάθμης της τάξεως των 10–30 cm. Έτσι, υιοθετώντας τις προβλέψεις των σεναρίων SRES (IPCC 2007) για τη μελλοντική εκτίμηση της τιμής της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (1.4 – 5.8°C), η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης υπολογίζεται από 0.5 m σε 1.4 m. Η δυσμενέστερη εξέλιξη προβλέπεται από την μελέτη των Pfeffer et al. (2008) με πιθανή άνοδο μεταξύ 0.8 m και 2 m, υποστηρίζοντας πως στην αναφορά του IPCC (2007) δεν είχε επιτυχώς προσομοιωθεί η δυναμική εξέλιξη (η μείωση) των παγετώνων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, άποψη η οποία υποστηρίζεται και από άλλους ερευνητές (Rohling et al., 2009; Grinsted et al., 2010).

Σε αντίθεση με τους Pfeffer, Rohling, και Grinsted νέες έρευνες αποδεικνύουν ότι οι θαλάσσιοι πάγοι της Ανταρκτικής δε συνεισφέρουν στην άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας καθώς είναι αρκετά

παχύτεροι από ότι υπολόγιζαν οι ερευνητές μέχρι σήμερα. Στην παράγραφο 2.1.5 γίνεται αναφορά στις νέες αυτές μελέτες.

**Πίνακας 2.1:** Στοιχεία θέσης της θαλάσσιας στάθμης και του ρυθμού αύξησής της όπως προκύπτουν από τα γεωλογικά στοιχεία του παρελθόντος, εκτιμήσεις και ενόργανες μετρήσεις των τελευταίων δεκαετιών. (Πηγή: Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής - Τράπεζα της Ελλάδος).

Χρονική περίοδος	Θέση ΘΣ	Ρυθμός αύξησης ΘΣ	Πηγή προέλευσης δεδομένων
120 ka (προηγούμενη μεσοπαγετώδης)	+ 4–9 m		Stirling <i>et al.</i> , 1998; McCulloch and Esat, 2000; Kopp <i>et al.</i> , 2009
120 ka (προηγούμενη μεσοπαγετώδης)		1.6 m/100y 16 mm/y	Rohling <i>et al.</i> , 2008
40–41 ka (θερμή περίοδος κατά την τελευταία παγετώδη)		20 mm/y (μέγιστος μέσα σε 1000y)	Siddall <i>et al.</i> , 2003
21–3 ka	- 120 m		Waelbroeck <i>et al.</i> 2002; Siddall <i>et al.</i> , 2003; Peltier and Fairbanks, 2006
1900–σήμερα		1.8 mm/y	Bindoff <i>et al.</i> , 2007
τελευταία 15 χρόνια		3 mm/y	Bindoff <i>et al.</i> , 2007
σήμερα		1-2 mm/y	Bindoff <i>et al.</i> , 2007
πρόβλεψη επόμενων 100 χρόνων	0.2–2 m		IPCC 2007, Pfeffer <i>et al.</i> , 2008

Η τελική θαλάσσια στάθμη των 0.85 m καταλήγει από την πιθανή ύπαρξη ανασταλτικών παραγόντων που θα εμποδίζουν την επιπλέον άνοδο, όπως για παράδειγμα η εξάντληση των υπόγειων υδάτων και η μείωση της αποτελεσματικότητας των ωκεανών στην απορρόφηση της ηλιακής θερμότητας λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Church *et al.*, 2011). Στο σημείο αυτό χρησιμοποιείται η λέξη πιθανή, καθώς είναι δύσκολο να προβλεφθεί η χασοτική συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων σε μία θεωρητική υπόθεση που είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη.

Στον **Πίνακα 2.2** που ακολουθεί φαίνονται οι εκτιμήσεις της αναφοράς της IPCC του 2013, όσον αφορά τη συμβολή των επιμέρους κλιματικών συνιστωσών στο ρυθμό μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης.

Σύμφωνα με τις παρακάτω εκτιμήσεις ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (ως σύνολο των επιμέρους κλιματικών συνιστωσών) έχει υπερδιπλασιαστεί για το διάστημα 1993-2010, σε σχέση με το διάστημα 1901-1990. Στη σύγκριση των ίδιων χρονικών διαστημάτων επιπλέον παρατηρείται από τις μετρήσεις ότι η συνεισφορά της κλιματικής συνιστώσας της θερμικής διαστολής σχεδόν τετραπλασιάζεται,

ενώ σχεδόν διπλασιάζεται και η συνεισφορά από το λιώσιμο των πάγων κατά τη πιο πρόσφατη χρονική περίοδο 1993-2010.

**Πίνακας 2.2:** Οι επιμέρους κλιματικές συνιστώσες (mm) του ρυθμού μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης και οι αντίστοιχες τιμές από τις παρατηρήσεις βάση την αναφορά του IPCC 2013

Source	1901–1990	1971–2010	1993–2010
<b>Observed contributions to global mean sea level (GMSL) rise</b>			
Thermal expansion	–	0.8 [0.5 to 1.1]	1.1 [0.8 to 1.4]
Glaciers except in Greenland and Antarctica <sup>a</sup>	0.54 [0.47 to 0.61]	0.62 [0.25 to 0.99]	0.76 [0.39 to 1.13]
Glaciers in Greenland <sup>a</sup>	0.15 [0.10 to 0.19]	0.06 [0.03 to 0.09]	0.10 [0.07 to 0.13] <sup>b</sup>
Greenland ice sheet	–	–	0.33 [0.25 to 0.41]
Antarctic ice sheet	–	–	0.27 [0.16 to 0.38]
Land water storage	–0.11 [–0.16 to –0.06]	0.12 [0.03 to 0.22]	0.38 [0.26 to 0.49]
<b>Total of contributions</b>	–	–	<b>2.8 [2.3 to 3.4]</b>
<b>Observed GMSL rise</b>	<b>1.5 [1.3 to 1.7]</b>	<b>2.0 [1.7 to 2.3]</b>	<b>3.2 [2.8 to 3.6]</b>
<b>Modelled contributions to GMSL rise</b>			
Thermal expansion	0.37 [0.06 to 0.67]	0.96 [0.51 to 1.41]	1.49 [0.97 to 2.02]
Glaciers except in Greenland and Antarctica	0.63 [0.37 to 0.89]	0.62 [0.41 to 0.84]	0.78 [0.43 to 1.13]
Glaciers in Greenland	0.07 [–0.02 to 0.16]	0.10 [0.05 to 0.15]	0.14 [0.06 to 0.23]
<b>Total including land water storage</b>	<b>1.0 [0.5 to 1.4]</b>	<b>1.8 [1.3 to 2.3]</b>	<b>2.8 [2.1 to 3.5]</b>
<b>Residual<sup>c</sup></b>	<b>0.5 [0.1 to 1.0]</b>	<b>0.2 [–0.4 to 0.8]</b>	<b>0.4 [–0.4 to 1.2]</b>

Notes:

<sup>a</sup> Data for all glaciers extend to 2009, not 2010.

<sup>b</sup> This contribution is not included in the total because glaciers in Greenland are included in the observational assessment of the Greenland ice sheet.

<sup>c</sup> Observed GMSL rise – modelled thermal expansion – modelled glaciers – observed land water storage.

Σύμφωνα με τις πρώτες προβλέψεις της IPCC το 1990, είχε εκτιμηθεί πως η άνοδος της τιμής της θερμοκρασίας τη χρονική περίοδο 1990-2005 θα ήταν της τάξεως του 0.15 – 0.30°C / δεκαετία, γεγονός που επιβεβαιώθηκε από την παρατηρούμενη αύξηση που ήταν της τάξεως του 0.2 °C / δεκαετία, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της εμπιστοσύνης στις βραχυπρόθεσμες μελέτες. Όλα τα κλιματικά μοντέλα υπέδειξαν ότι ακόμη και αν σταματήσει εντελώς η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία θα συνεχίσει να αυξάνεται με ρυθμός 1 °C / δεκαετία. Για αυτό το λόγο στον **Πίνακα 2.3** που ακολουθεί, χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς οι χρονοσειρές της χρονικής περιόδου 1980-1999 για την εκτίμηση της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας την τελευταία δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

Οι εκτιμήσεις της άνοδου της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως για το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα βασίζονται στην αύξηση της θερμοκρασίας εκείνη τη χρονική στιγμή. Σύμφωνα λοιπόν με το πιο συντηρητικό σενάριο (B1) την τελευταία δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα, η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί από 1.1°C έως και 2.9 °C, ενώ με βάση το δυσμενέστερο σενάριο A1F1, η αύξηση πιθανόν να κυμαίνεται από 2.4°C σε 6.4 °C (**Πίνακας 2.3**). Αντίστοιχα, η προβλεπόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης για το 2090-2099, σε σχέση με αυτήν της περιόδου 1980-1999, σύμφωνα με το σενάριο B1 αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 0.18 m έως 0.38 m και για το A1F1 σενάριο από 0.26 m έως και 0.59 m.

**Πίνακας 2.3:** Εκτιμήσεις για την αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας για τη χρονική περίοδο 2090-99 σε σχέση με την περίοδο 1980-99, για τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών (SRES) των αερίων του θερμοκηπίου (IPCC 2007).

<i>Σενάρια</i>	<i>Αλλαγή ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (°C)</i>		<i>Ανύψωση θαλάσσιας στάθμης (μέτρα)</i>
	<i>Καλύτερη πρόβλεψη</i>	<i>Εύρος κύμανσης</i>	<i>Εύρος κύμανσης</i>
<b>A1B</b>	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
<b>A1FI</b>	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59
<b>A1T</b>	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
<b>A2</b>	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
<b>B1</b>	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
<b>B2</b>	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43

Το πολύ μεγάλο εύρος μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαφόρων ερευνών μαρτυρά τη δυσκολία των υπεύθυνων φορέων να προβλέψουν τη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας τόσο σε τοπική, όσο και σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς αυτή διαφοροποιείται από περιοχή σε περιοχή και από εποχή σε εποχή.

### 2.1.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη μέση στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως

Η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας επηρεάζεται από τις μεταβολές στην ποσότητα του επίγειου νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος και στην επιφάνεια της γης. Οι ανθρώπινες επεμβάσεις, όπως η οικοδόμηση φραγμάτων, η υπερβολική κατανάλωση υπόγειου νερού, η αποψίλωση των δασών, η καταστροφή των υγροτόπων και η τήξη των μόνιμα παγωμένων εδαφών, σε συνδυασμό με τις διάφορες φυσικές διαδικασίες μπορούν να επηρεάσουν αρκετά τον υδρολογικό κύκλο. Πέραν της αβεβαιότητας σχετικά με τη συμβολή αυτών των παραγόντων στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, σύμφωνα με την IPCC η υδρολογική συμβολή είναι της τάξεως των 0.4 - 0.75 mm/yr με μια μέση εκτίμηση περίπου 0,1 mm/yr και κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών η συμβολή θα μπορούσε να είναι περίπου 0.5 cm.

Επιπλέον οι παράκτιες φυσικές διαδικασίες όπως η καθίζηση, η πρόσχωση και η διάβρωση, καθώς επίσης και τα τεκτονικά φαινόμενα είναι ειδικές περιπτώσεις που μπορούν να συνεισφέρουν θετικά ή αρνητικά στην ενίσχυση της τάσης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, κυρίως όμως ως τοπικό φαινόμενο. Για παράδειγμα αρκετά μέρη της Σκανδιναβίας, παρουσιάζουν πτώση της μέσης στάθμης της θάλασσας της τάξεως του 1m/αιώνα, ως αποτέλεσμα της ισοστατικής κίνησης του στερεού φλοιού της γης από την τελευταία εποχή των παγετώνων. Δηλαδή τμήματα της Σκανδιναβίας ακόμη υψώνονται μετά το τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων, ως αντίδραση στο λιώσιμο των πάγων όπου προηγουμένως πίεζαν

με το βάρος τους το έδαφος. Με εξαίρεση τους σεισμούς και τα τσουνάμι, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ταχύτερες ολικές αλλαγές (Broerse et al., 2011) και τις μετασεισμικές παραμορφώσεις, που προκαλούν τοπικές μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας (Watson et al., 2010), οι τεκτονικές διεργασίες προκαλούν μεταβολές στη μέση στάθμη της θάλασσας με πολύ αργό ρυθμό της τάξεως του 0.1mm/yr (Moucha et al., 2008).

Σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (AR4) της IPCC στις αιτίες που οφείλονται οι ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως προστίθενται άλλες τρεις, σύμφωνα με τις οποίες οφείλεται η ξαφνική και ανησυχητική μεταβολή των τελευταίων 50 χρόνων και οι οποίες ενεργοποιήθηκαν από τη απότομη άνοδο της θερμοκρασίας. Οι αιτίες αυτές είναι πρωτίστως η θερμική διαστολή του θαλάσσιου ύδατος, η τήξη των πάγων της ξηράς και εν συνεχεία της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής. (White et al., 2005; Miller and Douglas, 2007; Zhang and Church, 2012). Η πιο διαδεδομένη παρανόηση γύρω από την αλλαγή του κλίματος είναι πως η τήξη του θαλάσσιου πάγου αποτελεί την κύρια αιτία ανόδου της στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η άποψη αυτή είναι λανθασμένη, δεδομένου ότι ο πάγος επιπλέει και ήδη εκτοπίζει τη μάζα του νερού (θεωρία της άνωσης). Ωστόσο, η τήξη αυτή μπορεί να οδηγήσει σε έμμεσες συνεισφορές στο επίπεδο της θάλασσας, μέσω της μείωσης της λευκαύγειας (ικανότητα ανάκλασης της επιφάνειας – albedo). Αυτό θα έχει ως συνέπεια τη μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση την τήξη του πάγου της ξηράς. Επιπλέον, η συνεχιζόμενη τήξη των πλωτών παγόβουνων θα επιτρέψει την ταχύτερη ροή των πάγων της ξηράς στους ωκεανούς, παρέχοντας έτσι μια πρόσθετη συμβολή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Bindoff et al., 2007).

Αναλυτικότερα από το 1880 η μέση στάθμη της θάλασσας έχει ανυψωθεί κατά 17 cm (κατά μέσο όρο 0.13 mm/y). Έρευνες αποδεικνύουν ότι η τήξη των πάγων στην Ανταρκτική και στη Γροιλανδία επιταχύνουν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και συγκεκριμένα την έχουν ανεβάσει περισσότερο από 11mm. Τη δεκαετία του 1990, η τήξη των παγοκαλυμμάτων στους πόλους ήταν υπεύθυνη για το 10% της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ενώ σήμερα το ποσοστό ανέρχεται σε πάνω από 30%.

### **2.1.2. Θερμική διαστολή του θαλάσσιου ύδατος**

Ο πρωτεύων παράγοντας που συνεισφέρει στην άνοδο της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας είναι η διαστολή και η επέκταση του όγκου του νερού των ωκεάνιων λεκανών, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας. Αφού αρχικά αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, ακολουθεί η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων, με το νερό των ωκεανών να ζεσταίνεται, και κατ' επέκταση την πυκνότητα του να ελαττώνεται, με αποτέλεσμα τη μέση στάθμη της θάλασσας να αυξάνεται (Church et al., 2011a). Οι διακυμάνσεις αυτές στη στάθμη οφείλονται να μεν στην πυκνότητα του νερού αλλά επίσης και στην

αλατότητα του, με το συγκεκριμένο κριτήριο να επηρεάζει μόνο τοπικά το φαινόμενο της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας και όχι παγκοσμίως (Church et al., 2010). Για το λόγο αυτό οι διακυμάνσεις της μέσης στάθμης της θάλασσας είναι εντονότερες στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, όπου το θαλασσινό νερό είναι πιο ζεστό. Πολλές θεωρητικές έρευνες και μελέτες αποδεικνύουν τη σπουδαιότητα της θερμικής διαστολής για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, ποσοτικοποιώντας τα αποτελέσματα τους αλλά η ύπαρξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου που θα τα καταγράψει είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη καθώς δε γνωρίζουμε επακριβώς πως λειτουργούν οι μηχανισμοί της φύσης. Μελέτες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή υποστηρίζουν στην Ειδική αναφορά της ότι η θερμική διαστολή του νερού θα είναι υπεύθυνη για τη μελλοντική άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας σε ποσοστό 70 με 75%. Η ωκεάνια διαστολή κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών έχει υπολογιστεί ότι έχει συμβάλει περίπου κατά 2 με 7 cm στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Όπως είναι αναμενόμενο η τήξη των πάγων της στεριάς αλλά και της Γροιλανδίας ενισχύουν την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως αλλά σε μικρότερο βαθμό. Ερευνητικά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί προσομοιάζοντας τον κύκλο του νερού υποδεικνύουν ότι στο μέλλον οι πάγοι της Ανταρκτικής θα σταματήσουν να ενισχύουν την άνοδο της στάθμης των ωκεανών καθώς θα δεχθούν νέα περίοδο ψύχους, με αποτέλεσμα να επιβραδυνθεί το λιώσιμο των πάγων παρά την αύξηση της θερμοκρασίας παγκοσμίως.

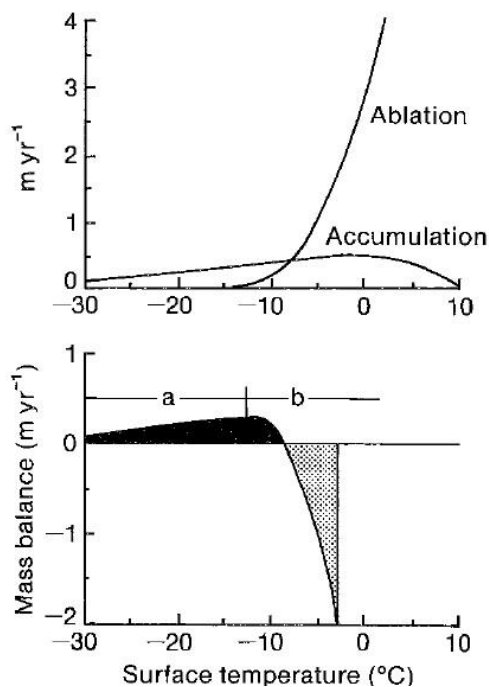
### **2.1.3. Τήξη των πάγων των οροσειρών**

Η πιο απτή και προσιτή επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι το λιώσιμο των πάγων και των παγοκαλυμμάτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα παγοκαλύμματα είναι μεγάλοι όγκοι πάγων έκτασης 50.000 km<sup>2</sup> έκτασης γης και καλύπτουν συνολικά περίπου το 10% της επιφάνειας της γης εκτός από την Αυστραλία. Σύμφωνα με το National Snow & Ice Data Center (NSIDC) τα παγοκαλύμματα αποτελούν τη μεγαλύτερη δεξαμενή γλυκού νερού, καθώς αποτελούνται σε ποσοστό 75% από αυτό. Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, τα παγοκαλύμματα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής ήταν πυκνά και ευσταθή, γεγονός που δεν ισχύει πλέον, καθώς το θεωρούμενο ως ευσταθές άκρο των πάγων της Γροιλανδίας άρχισε να υποχωρεί συμβάλλοντας στην άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε χρόνο μεγαλύτερο ποσοστό του πάγου λιώνει σε σχέση με αυτό που μπορεί να αντικατασταθεί. Όσο η ατμοσφαιρική θερμοκρασία αυξάνεται ή οι υψηλές θερμοκρασίες διαρκούν για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και/ή η βροχόπτωση δεν είναι επαρκής τότε τα παγοκαλύμματα χάνουν σημαντική ποσότητα από τη μάζα τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του φαινομένου είναι το όρος Κιλιμάντζαρο στην Αφρική. Παρόλο που βρίσκεται σε μία τροπική χώρα, το όρος Κιλιμάντζαρο είναι αρκετά ψηλή κορυφή έτσι ώστε να εμφανίζονται και να διατηρούνται εκεί πάγοι εδώ και πολλούς αιώνες. Παρόλα αυτά κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, ο όγκος του όρους



μειώθηκε περίπου κατά 80%. Εάν ο ρυθμός αυτός της τήξης του πάγου διατηρηθεί τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κάθε ίχνος πάγου σε αυτό να εξαφανιστεί, όπως συνέβη στην Αλάσκα, στα Ιμαλάια και στις Άνδεις (Meehl et al., 2007). Η απώλεια αυτή στην πραγματικότητα άρχισε να υφίσταται από τη μικρή εποχή των Παγετώνων (Grove, 1988) και στη συνέχεια έγινε παγκόσμια ανησυχία στα μέσα του 20ου αιώνα. Στη Γροιλανδία παρατηρείται σημαντικό μέρος της μάζας των παγοκαλυμμάτων να απομακρύνεται από τη μάζα και να καταλήγει στη θάλασσα, σε αντίθεση με την Ανταρκτική όπου το ποσοστό είναι σχεδόν μηδαμινό. Τα **Διάγραμματα 2.1** που ακολουθούν, απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της ισορροπίας της μάζας των στρωμάτων πάγου στην επιφάνεια της γης, η οποία όπως είναι λογικό να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Η απομάκρυνση μέρος των παγοκαλυμμάτων αφορά περιοχές με ετήσιο μέσο όρο θερμοκρασίας μεγαλύτερο των  $-15$  με  $-10^{\circ}\text{C}$ . Η υποχώρηση του πάγου εκδηλώνεται με το αρνητικό ισοζύγιο μάζας, το οποίο δηλώνει ότι λιώνει περισσότερος πάγος από αυτόν που αντικαθίσταται ετησίως (Meehl et al., 2007). Στο δεύτερο διάγραμμα φαίνεται ότι η συσσώρευση πάγου αυξάνεται με τη θερμοκρασία, φθάνει σε ένα μέγιστο στην περιοχή του σημείου πήξεως και στη συνέχεια μειώνεται.

Η πρώτη δημοσιευμένη εκτίμηση για τη συμβολή της υποχώρησης του πάγου (παγετώνες και στρώματα πάγου) στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι του Meier (1984). Μετά το Meier ακολούθησαν και άλλες μελέτες υπολογισμού της συμβολής των πάγων στην άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας με τελικό συμπέρασμα της τάξεως του  $1.2 \pm 0.6 \text{ mm/yr}$  ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας.



**Διάγραμματα 2.1:** Σχέση μεταξύ ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και απομάκρυνση, μέσω εξάτμισης ή μέσω αποκοπής, τμήματος του παγοκαλύμματος. Στην 1<sup>η</sup> περίπτωση το ισοζύγιο της μάζας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Ανταρκτική), ενώ στη 2<sup>η</sup> περίπτωση μειώνεται.

#### 2.1.4. Τήξη των πάγων της Γροιλανδίας

Το στρώμα πάγου της Γροιλανδίας είναι το δεύτερο μεγαλύτερο μετά από αυτό της Ανταρκτικής και καλύπτει το 80% της έκτασης του νησιού. Η άνοδος της θερμοκρασίας πιθανόν να προκαλέσει ταχύτερη τήξη του στρώματος πάγου στη Γροιλανδία έναντι από αυτό της Ανταρκτικής, λόγω της ύπαρξης πιο θερμού παγοκαλύμματος στην πρώτη περίπτωση. Στην Ανταρκτική, οι θερμοκρασίες είναι αρκετά κάτω του σημείου τήξεως, ώστε ακόμη και με κάποια παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, οι θερμοκρασίες θα μπορούσαν να παραμείνουν αρκετά χαμηλά για να αποτρέψουν μια εκτενή τήξη. Σύμφωνα με τις εκθέσεις που έχουν δημοσιευτεί από το 1982 και έπειτα (Radok et al., 1982; Kostecka and Williams, 1988; Braithwaite and Oleson, 1989) από διάφορα πανεπιστήμια (Oregon State University) και ερευνητικά προγράμματα, οι επιστήμονες γνώριζαν ότι το στρώμα πάγου που καλύπτει την επιφάνεια του νησιού λειπταίνει, και ιδιαίτερα στο νοτιοδυτικό του άκρο (Weidick, 1984). Στον **Πίνακα 2.4** που ακολουθεί καταγράφεται η σχέση του ρυθμού απομάκρυνσης του πάγου της Γροιλανδίας σε σχέση με την κλιματική αλλαγή. Η μέθοδος και η έρευνα των Ambach and Kuhn (1989) καταγράφει τη σχέση αλληλεπίδρασης του ρυθμού απώλειας όγκου των παγοκαλυμμάτων σε σχέση με τα φυσικά φαινόμενα, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η ακτινοβολία. Η θερμοκρασία αν και θεωρείται πρωτεύων παράγοντας που επηρεάζει το συγκεκριμένο φαινόμενο, ωστόσο αποδεικνύεται ότι εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν και οι αλλαγές στον εποχιακό κύκλο, στη βροχόπτωση και στη νέφωση. Σύμφωνα με τους Reeh and Gundestrup, 1985 μπορεί να παρατηρηθεί συσσώρευση του χιονιού και του πάγου στην περιοχή της Γροιλανδίας, παρόλη την αύξηση της θερμοκρασίας. Εάν αυξηθεί η ετήσια βροχόπτωση ομοιόμορφα κατά 5% ανά °C, η βροχόπτωση μπορεί να αντισταθμίσει περίπου το 30% των επιπτώσεων που μπορεί να προκαλέσει η αύξηση της θερμοκρασίας.

**Πίνακας 2.4:** Εκτίμηση του ισοζυγίου μάζας των στρωμάτων πάγων της Γροιλανδίας, σε σχέση με τη θερμοκρασία, τον υετό και τη νέφωση (Πηγή: IPCC 2009).

Source	T (+1°C)	P (+5%)	C (+5%)	Remarks
Ambach & Kuhn (1989)	+0.31	-0.13		Analysis of EGIG data
Bindschadler (1985)	+0.45			EGIG data/retreating margin
Braithwaite and Olesen (1990)	+0.36 to +0.48			Energy balance calculation
Oerlemans (1990)	+0.37	0.11	-0.06	Energy balance Model

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα, αναμένεται με τα σημερινά δεδομένα υετού και νέφωσης ότι στην περιοχή της Γροιλανδίας και αβεβαιότητας της τάξεως των  $0.3 \pm 0.2 \text{ mm/yr/}^{\circ}\text{C}$  η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί κατά  $0.23 \pm 0.16 \text{ mm/yr}$ . Επομένως όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρείται ότι η τήξη των πάγων της Γροιλανδίας επηρεάζει λιγότερο την άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας από ότι η απομάκρυνση των πάγων της στεριάς και κατ' επέκταση από ότι η θερμική διαστολή του ωκεάνιου ύδατος.

### 2.1.5. Το στρώμα πάγου της Ανταρκτικής

Η Ανταρκτική είναι μία πολύ ψυχρή ήπειρος με το μεγαλύτερο μέρος της να καλύπτεται από πάγο, λόγω της σχετικά ελάχιστης ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται. Η σταθερότητα του παγοκαλύμματος της Ανταρκτικής ακόμη αμφισβητείται καθώς έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, αμφισβητούν την προσαρμοστικότητα του στρώματος πάγου της μετά την τελευταία παγετώδη-μεσοπαγετώδη περίοδο. Φαίνεται ότι το παγοκάλυμμα της Ανταρκτικής έχει άμεση σχέση και αλληλεπίδραση με το κλίμα της περιοχής, καθώς ο θαλάσσιος πάγος της Ανταρκτικής επεκτείνεται ετησίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα του λιώνει το καλοκαίρι. Αυτός ο πάγος σχηματίζεται από το νερό του ωκεανού και επιπλέει σε αυτό, οπότε δε συμβάλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η έκταση του θαλάσσιου πάγου γύρω από την Ανταρκτική έχει παραμείνει εν γένει σταθερή τις τελευταίες δεκαετίες, αν και οι αλλαγές στο πάχος του δεν είναι ξεκάθαρες. Αντιθέτως υπάρχουν όλο και περισσότερες ενδείξεις ότι τα θαλάσσια στρώματα πάγου της Δυτικής Ανταρκτικής μπορεί να εμφανίσουν σημαντική μείωση της μάζας τους με πιθανές σημαντικές συνέπειες για το επίπεδο της θάλασσας. Οι Budd and Smith (1985) και στη συνέχεια οι Giovinetto and Bentley (1985) προσπάθησαν να υπολογίσουν τον όγκο του παγοκαλύμματος που καταγράφεται την καλοκαιρινή περίοδο στην Ανταρκτική και εκτίμησαν ότι συνείφερε σε άνοδο στάθμης της θάλασσας της τάξεως των  $0.6 \text{ mm/yr}$ . Παρόλα αυτά, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα στο μέγεθος του παγοκαλύμματος της, εξαιτίας της ανάκλασης της ακτινοβολίας στον πάγο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μεγάλο σφάλμα κατά τη διαδικασία υπολογισμού του πάχους του παγοκαλύμματος μέσω της δορυφορικής υψομετρίας.

Αρκετές μέθοδοι και έρευνες πραγματοποιούνται με σκοπό να διερευνήσουν τη συσχέτιση του όγκου του παγοκαλύμματος της Ανταρκτικής με τη θερμοκρασία, αν και μέχρι πρότινος δεν υπάρχουν συγκεκριμένα αποτελέσματα. Μία επισκόπηση των επιστημονικών μελετών που εξέταζαν δεδομένα από το 1992 έως το 2006 υποδεικνύουν ότι μία λογική εκτίμηση για τις καθαρές απώλειες του πάγου ανέρχεται στους 50 γιγατόνους πάγου ανά έτος (αντιστοιχεί σε  $0,14 \text{ mm}$  άνοδο της στάθμης της θάλασσας). Ωστόσο σύμφωνα με μία έρευνα που δημοσιεύθηκε στο Nature Geoscience, μία νέα πρωτοποριακή χαρτογράφηση σε προηγουμένως απρόσιτες περιοχές της Ανταρκτικής αποκάλυψε, ότι οι

θαλάσσιοι πάγοι που καλύπτουν την ήπειρο είναι παχύτεροι από ό,τι πίστευαν οι ειδικοί μέχρι τώρα. Δύο ερευνητικές ομάδες που αποτελούνταν από επιστήμονες από το Ηνωμένο Βασίλειο, τις ΗΠΑ και την Αυστραλία, ανέλυσαν μια περιοχή της Ανταρκτικής εκτάσεως 500.000 m<sup>2</sup>, με τη βοήθεια ενός ρομπότ, γνωστού με το όνομα "SeaBed". Το υποβρύχιο αυτό ρομπότ ανέλυσε τα στρώματα πάγου σε βάθος 20-30 μέτρων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές της Ανταρκτικής και οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι το πάχος του πάγου είναι παχύτερο απ' ό,τι υπολόγιζαν, καθώς επίσης και ότι το 76% των χαρτογραφημένων πάγων ήταν "παραμορφωμένο", που σημαίνει ότι τεράστιες πλάκες πάγου συγκρούστηκαν με άλλες και δημιούργησαν πιο πυκνά σώματα πάγου. Εν ολίγοις, καμία έρευνα δεν καταλήγει σε κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα στο εάν το παγοκάλυμμα της Ανταρκτικής και ιδίως της Δυτικής Ανταρκτικής συμβάλει θετικά ή αρνητικά στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Συνοψίζοντας, οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι μία μελλοντική αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αυξημένη συσσώρευση πάγου στην περιοχή της Ανταρκτικής, με αποτέλεσμα να φέρει αρνητική συμβολή στην αλλαγή της στάθμης της θάλασσας.

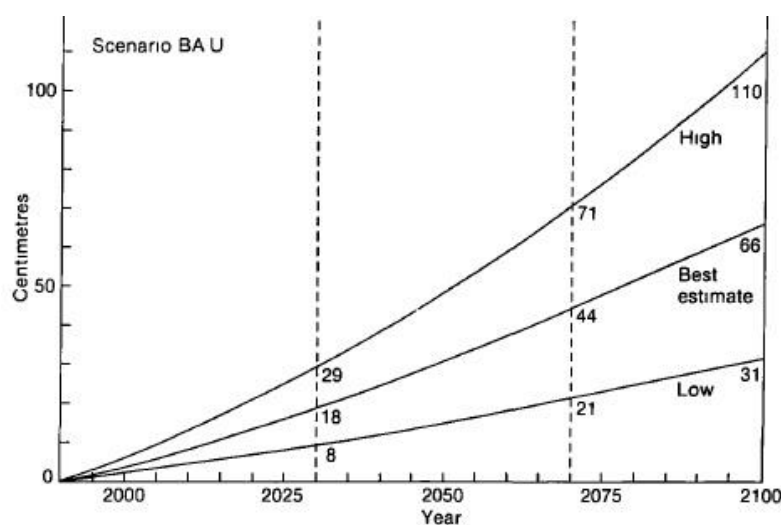
### **2.1.6. Εκτιμώμενη μελλοντική άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως**

Αν και έχουν καταγραφεί οι παράγοντες που μέχρι πρότινος έχουν επιδράσει στις μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως, ωστόσο δεν έχει εκτιμηθεί ακόμη με ακρίβεια η επίδραση τους στη μελλοντική άνοδο της θάλασσας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συνθήκες που επικρατούν σε κάθε χρονική στιγμή δεν είναι οι ίδιες, δεδομένου ότι η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και από περίοδο σε περίοδο. Επομένως διαφέρει και η θερμοκρασία. Εάν παρθούν ως δεδομένα τα μέχρι πρότινος καταγεγραμμένα στοιχεία, τότε η προβλεπόμενη μελλοντική άνοδος της θάλασσας θα είναι μεταξύ 10-30cm στις επόμενες 4 δεκαετίες. Σύμφωνα όμως με την IPCC, σε κάθε Σενάριο από τις Εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (SRES), που έχει προαναφερθεί, αντιστοιχεί και ένα διάγραμμα που αναπαριστά τη μεγαλύτερη, τη χαμηλότερη και τη μέση εκτίμηση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως. Στον **Πίνακα 2.5** που ακολουθεί καταγράφεται η επίδραση που θα έχουν όλοι οι κλιματικοί παράγοντες που αναλύθηκαν προηγουμένως, δηλαδή η θερμική διαστολή του νερού των ωκεανών, η τήξη των πάγων της στεριάς και των παγοκαλυμμάτων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας για τη χρονική περίοδο 1985-2030 σύμφωνα με το σενάριο A1 της IPCC. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι οι εκτιμήσεις είναι υπολογισμένες σε cm.

**Πίνακας 2.5:** Οι παράγοντες που επηρεάζουν την άνοδο της Μ.Σ.Θ (cm), και η επίδραση τους κατά την περίοδο 1985-2030, σύμφωνα με το σενάριο A1 (IPCC 2007).

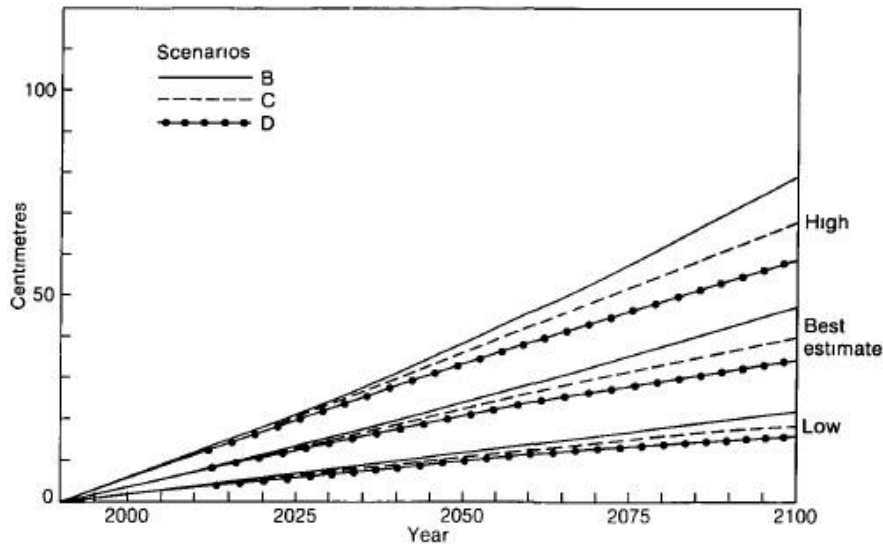
	<b>Thermal Expansion</b>	<b>Mountain Glaciers</b>	<b>Greenland</b>	<b>Antarctica</b>	<b>TOTAL</b>
HIGH	14.9	10.3	3.7	0.0	28.9
BEST ESTIMATE	10.1	7.0	1.8	-0.6	18.3
LOW	6.8	2.3	0.5	0.8	8.7

Επίσης στα **Διαγράμματα 2.2, 2.3** που ακολουθούν, καταγράφονται οι εκτιμήσεις συνολικά της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως για τη χρονική περίοδο 1990-2100. Οι εκτιμήσεις και εδώ, είναι υπολογισμένες σε cm. Στην **Διάγραμμα 2.2** παρατηρείται ότι σύμφωνα με το σενάριο A1, η καλύτερη εκτίμηση της ανόδου της Μ.Σ.Θ για το έτος 2030 είναι τα 18 cm, η χαμηλότερη τιμή προκύπτει ότι είναι τα 8 cm και η υψηλότερη τα 29cm. Στην ίδια εικόνα καταγράφονται και οι αντίστοιχες τιμές για το έτος 2070, με την καλύτερη εκτίμηση τα 44cm.



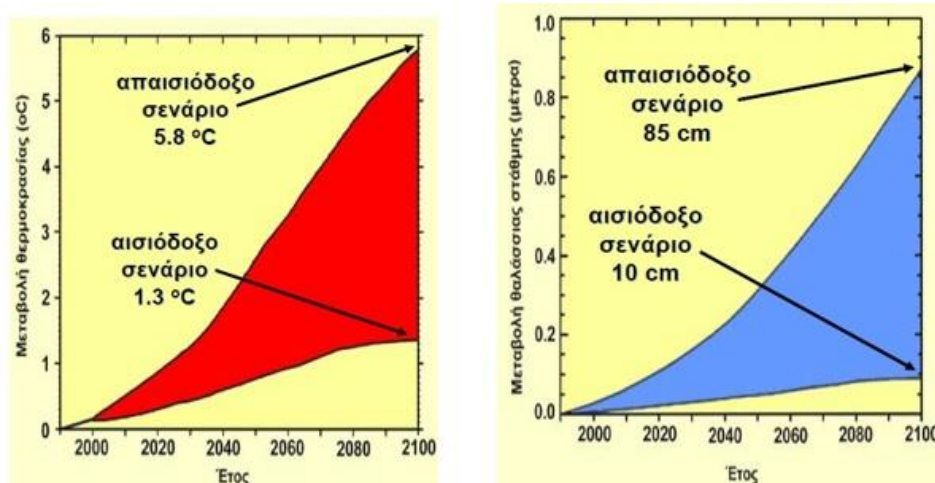
**Διάγραμμα 2.2:** Εκτίμηση της ανόδου της Μ.Σ.Θ, κατά τη χρονική περίοδο 1990-2100, σύμφωνα με το σενάριο A1

Αντίστοιχα με το **Διάγραμμα 2.2**, στο **Διάγραμμα 2.3** καταγράφονται πάλι η βέλτιστη, η χαμηλότερη και η υψηλότερη εκτίμηση της ανόδου της Μ.Σ.Θ για τη χρονική περίοδο 1990-2100 για όλα τα σενάρια. Το σενάριο B αντιστοιχεί στο σενάριο A2 της IPCC, το σενάριο C στο σενάριο B1` της IPCC και το σενάριο D στο σενάριο B2 της IPCC. Παρατηρείται ότι το σενάριο A1 είναι το δυσμενέστερο σενάριο που μπορεί να πραγματοποιηθεί.



**Διάγραμμα 2.3:** Εκτίμηση της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας, κατά τη χρονική περίοδο 1990-2100, για τα σενάρια A2, B1, B2 της IPCC

Εν κατακλείδι στα **Διαγράμματα 2.4** φαίνονται οι τιμές της μεταβολής της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως σύμφωνα με το αισιόδοξο B1 και απαισιόδοξο σενάριο A1 εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής της Κλιματικής Αλλαγής.



**Διαγράμματα 2.4:** Διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με το αισιόδοξο και απαισιόδοξο σενάριο της IPCC.

Συνοψίζοντας παρατηρείται σημαντική άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως, λόγω της μέχρι πρότινος κλιματικής αλλαγής, πέραν των μειώσεων στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Αύξηση της Μ.Σ.Θ πάνω από 1m θεωρείται απίθανο να συμβεί, ακόμη και στην περίπτωση πραγματοποίησης του δυσμενέστερου σεναρίου (A1) σύμφωνα με την IPCC, στο οποίο εκτιμάται ότι θα πραγματοποιηθεί άνοδος 3 με 6 φορές γρηγορότερη από την ήδη παρατηρηθείσα των τελευταίων 100 χρόνων. Οποιαδήποτε και να είναι η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας τα επόμενα χρόνια, το μόνο σίγουρο είναι ότι θα φέρει σημαντικές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές και το περιβάλλον γενικότερα. Η διάβρωση των ακτών, οι πλημμύρες παράκτιων περιοχών, η υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων καθώς και η απώλεια οικοτόπων για τα ψάρια, πουλιά και φυτά, είναι κάποιες από τις επιπτώσεις που πιθανόν να προκληθούν από την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως. Επίσης αρκετές χώρες όπως το Μπαγκλαντές, το Βιετνάμ, η Κίνα και η Ινδία είναι ευάλωτες στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, με μεγάλο μέρος του πληθυσμού τους να ζει σε επικίνδυνες παράκτιες περιοχές, όπως δέλτα ποταμών, των οποίων το σύστημα συνδέεται με τον ωκεανό. Επιπλέον σύμφωνα με τον Nicholls et al., 1999 αρκετοί κάτοικοι διαφόρων νησιωτικών κρατών, όπως για παράδειγμα των Φιλιππίνων και της Ινδονησίας θα αναγκαστούν να μεταναστεύσουν δεδομένου ότι εκτοπίζονται λόγω της εισχώρησης της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές. Ένα άλλο πρόβλημα που έχουν να αντιμετωπίσουν τα νησιωτικά έθνη είναι η απώλεια του διαθέσιμου γλυκού νερού, καθώς η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ωθεί σε υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων.

## 2.2. Ανεμογενή κύματα

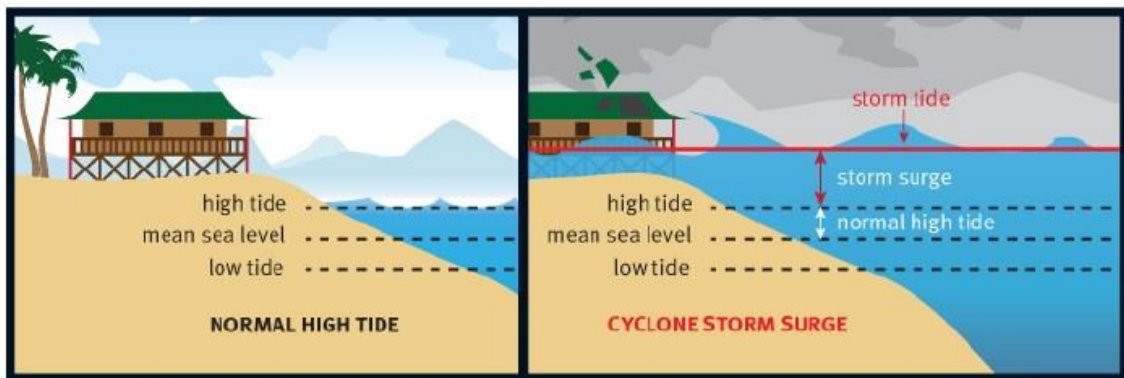
Η δημιουργία ενός θαλάσσιου κύματος οφείλεται κυρίως στη δράση του ανέμου. Τα μόρια του νερού μέσω της τριβής με τα μόρια του αέρα απορροφούν την κινητική ενέργεια του ανέμου με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κύματος, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται τόσο από το πλάτος της θαλάσσιας περιοχής στην οποία σχηματίζεται, όσο και από την ένταση του ανέμου που επικρατεί. Σε φυσιολογικές συνθήκες στην ανοικτή θάλασσα τα θαλάσσια κύματα μπορούν να φθάσουν το ύψος των 6m, όπως για παράδειγμα στη Μεσόγειο αλλά και τα 18m, όπως παρατηρείται στον Ατλαντικό και στον Ειρηνικό Ωκεανό. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις, ιδίως όταν επικρατούν ακραία καιρικά φαινόμενα τα κύματα μπορούν να ξεπεράσουν το ύψος των 20 και 30 μέτρων.

Εφόσον η κλιματική αλλαγή έχει μεταβάλει τη μέση στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως αλλά και την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων, προκύπτει εύλογα το συμπέρασμα ότι θα έχουν μεταβληθεί και τα χαρακτηριστικά του κύματος αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Neil et al., 2009 και από τις κλιματικές ενδείξεις των τελευταίων 12.000 ετών, έχει παρατηρηθεί μία αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος ( $H_s$ ) της τάξεως του 40% λόγω της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας. Η ενίσχυση των ανέμων αλλά και η παρουσία ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα κυκλώνες, το φαινόμενο El Nino, καταιγίδες φέρουν άμεση επίδραση στην αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος. Επειδή η

τιμή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος είναι επακόλουθο πολλών παραγόντων, τα κλιματικά μοντέλα εμφανίζουν δυσκολία στην παραμετροποίηση της εκάστοτε μεταβλητής. Ωστόσο σύμφωνα με την Ειδική αναφορά της IPCC προβλέπεται μία αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος σε αρκετές περιοχές μέσω γεωγραφικών πλατών που θα είναι επακόλουθο της ενίσχυσης της εμφάνισης των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο (Meehl et al., 2007b). Επίσης σύμφωνα με τους Hemer et al., 2014 προβλέπεται άνοδος του χαρακτηριστικού ύψους κύματος στις περιοχές της Ινδονησίας και στις ανατολικές ακτές της Αυστραλίας λόγω της ενίσχυσης των δυτικών ανέμων στο Νότιο ωκεανό. Εν ολίγοις, οι αλλαγές στο χαρακτηριστικό ύψος κύματος αντανακλά κυρίως τις αλλαγές στους ανέμους παγκοσμίως.

### 2.3. Μετεωρολογική παλίρροια

Μετά την άνοδο της θάλασσας ένα άλλο φυσικό φαινόμενο που επηρεάζεται από τη μεταβολή του κλίματος παγκοσμίως και με τη σειρά του απειλεί τις παράκτιες περιοχές είναι η μετεωρολογική παλίρροια (storm surge). Η μετεωρολογική παλίρροια αποτελεί σημαντικό υπαίτιο παράγοντα πρόκλησης πλημμυρικών φαινομένων, παρόλα αυτά είναι δύσκολο να προβλεφθεί λόγω της πολυπλοκότητας της.



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών της παλίρροιας (αστρονομική και μετεωρολογική)

Ο όρος *Μετεωρολογική παλίρροια* (storm surges) αναφέρεται στην ανύψωση της στάθμης της θάλασσας υπό την παρουσία μίας θύελλας ή καταιγίδας. Σύμφωνα με τον Κουτίτα, 1998 το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας οφείλεται στην επίδραση του ανέμου και των χαμηλών βαρομετρικών

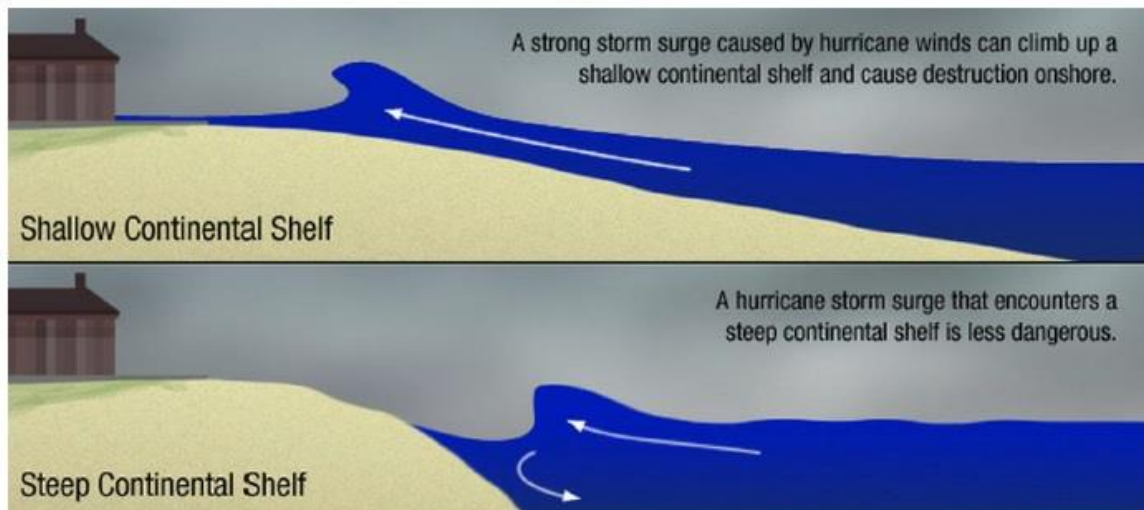
συστημάτων. Όταν η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται σε μία περιοχή, τότε παρατηρείται άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας με σκοπό να αποκατασταθεί η υδροστατική ισορροπία (Pirazzoli, 2000).



Οι επιπτώσεις της μετεωρολογικής παλίρροιας στην παράκτια ζώνη είναι ανάλογες της ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα από τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, την τοπογραφία της περιοχής καθώς και από το σχήμα της ακτογραμμής. Συγκεκριμένα όσον αφορά τη συνιστώσα της ατμοσφαιρικής πίεσης, όσο μεγαλύτερη είναι η πτώση της πίεσης τόσο υψηλότερη είναι η άνοδος της θάλασσας στάθμης. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διαφορά μεταξύ της χαμηλής πίεσης που επικρατεί στο κέντρο του κυκλώνα/θύελλα και της υψηλότερης περιβαλλοντικής πίεσης έξω από τον πυρήνα. Αναφορικά σε περιοχές όπου δεν εμποδίζεται η ροή του νερού επικρατεί ο γενικός κανόνας πως για κάθε mbar πτώσης της τιμής της ατμοσφαιρικής πίεσης αντιστοιχεί άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 1 cm.

Όσον αφορά την ένταση και την κατεύθυνση του ανέμου έχει παρατηρηθεί ότι στις ανοιχτές θάλασσες όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο υψηλότερη είναι η μετεωρολογική παλίρροια. Ωστόσο στις ακτές και στις κλειστές λεκάνες έχει παρατηρηθεί ότι θύελλες χαμηλότερης ταχύτητας με προσανατολισμό του ανέμου κάθετα στις ακτές, προκαλούν μεγαλύτερα και εντονότερα παλιρροϊκά φαινόμενα.

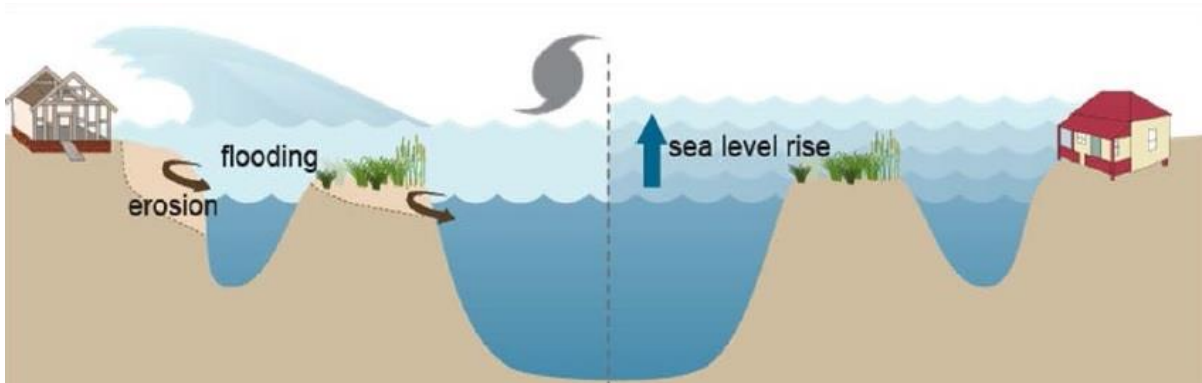
Επιπλέον όσον αφορά το σχήμα της ακτογραμμής, η παλίρροια είναι μεγαλύτερη όταν η θύελλα συναντήσει κοίλη έναντι κυρτής ακτογραμμής. Η βαθυμετρία και η τοπογραφία της περιοχής επηρεάζουν επίσης το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας καθώς έχει παρατηρηθεί ότι στα μεγάλα βάθη, το φαινόμενο δε γίνεται αντιληπτό. Επίσης το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας είναι εντονότερο σε πλατιές υφαλοκρηπίδες με ήπια κλίση, σ' αντίθεση με τις απότομες υφαλοκρηπίδες μικρού πλάτους (**Εικόνα 2.2**).



**Εικόνα 2.2:** Επίδραση της υφαλοκρηπίδας στο μέγεθος της μετεωρολογικής παλίρροιας.

Τέλος η ποσότητα της μετεωρολογικής παλίρροιας που παράγεται από έναν κυκλώνα, μπορεί να επηρεαστεί και από την αστρονομική παλίρροια, αναλόγως τη χρονική στιγμή που ο κυκλώνας θα προσπέσει στη στεριά. Εάν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή η μετεωρολογική παλίρροια συμπίπτει με την υψηλή στάθμη της αστρονομικής παλίρροιας, τότε η πρώτη ενισχύεται σημαντικά. Σε αντίθετη περίπτωση, η έκταση των βλαβών μπορεί να είναι περιορισμένες.

Οι επιπτώσεις της Μετεωρολογικής παλίρροιας στη φύση κυμαίνονται από μεγάλες έως ολέθριες και ειδικά σε περιοχές όπου κυριαρχούν τροπικοί κυκλώνες, όπως για παράδειγμα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Neddman and Keim, 2011). Στον ελλαδικό χώρο οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο από το φαινόμενο αυτό είναι οι δελταϊκές ακτές του Εύηνου στο Μεσολόγγι, του Καλαμά στην Ηγουμενίτσα, του Αχελώου, του Μόρνου στον Κορινθιακό, του Πηνειού και του Αλφειού στην Ηλεία, του Αλιάκμονα και του Αξιού στο Θερμαϊκό, του Στρυμόνα στην Αμφίπολη, του Νέστου και του Έβρου, όπως και οι δελταϊκές περιοχές στο Μαλλιακό, στον Αμβρακικό, στο Λακωνικό, στο Μεσσηνιακό και στον Αργολικό κόλπο (Πηγή: Τράπεζα της Ελλάδος). Αποτέλεσμα ενός storm surge είναι η τροποποίηση της μορφολογίας του εδάφους της παράκτιας ζώνης είτε με τοποθέτηση είτε με εκτόπιση ιζήματος, η αλλοίωση του παράκτιου περιβάλλοντος αλλά και η καταστροφή καλλιεργειών, δασών ή και οικοτόπων που βρίσκονται πάνω σε αυτή. Όταν το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας συνδυαστεί με την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, τα αποτελέσματα είναι πλέον ορατά στους κατοίκους των παράκτιων περιοχών (**Εικόνα 2.3**).



**Εικόνα 2.3:** Συνδυασμός της δράσης του φαινομένου της άνοδου της μέσης στάθμης της θάλασσας και της μετεωρολογικής παλίρροιας (Πηγή: Global Conference on Global Warming, 2015).

Επειδή η μετεωρολογική παλίρροια είναι ένα σύνθετο φαινόμενο πολλών παραγόντων, οι προβλέψεις για τη δράση της ακολουθούν τις προβλέψεις των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κυμάτων, της αύξησης της θερμοκρασίας και τις προβλέψεις των ανέμων (Κεφάλαιο 1.5). Οι περιοχές που είναι πιο ευπαθείς στο φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας είναι οι περιοχές του Β. Ατλαντικού, της Αυστραλίας και της Ινδονησίας, οι οποίες συνδυάζουν την άνοδο της θερμοκρασίας με την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων είτε αυτά είναι άνεμοι ή θαλάσσια ρεύματα είτε είναι καταιγίδες.

## 2.4. Ακραία καιρικά φαινόμενα

Ο όρος ακραίο καιρικό / κλιματικό φαινόμενο αναφέρεται στα μετεωρολογικά εκείνα φαινόμενα, στα οποία παρατηρούνται οι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές που εμφανίζονται σε μια περιοχή. Ένα καιρικό φαινόμενο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ακραίο είτε λόγω της έντασης, είτε λόγω της διάρκειας, είτε λόγω της συχνότητας επανεμφάνισής του. Οι συνέπειες ενός ακραίου καιρικού φαινομένου είναι κυρίως ανάλογες της έντασης και της συχνότητας επανεμφάνισής του στην ίδια περιοχή. Σύμφωνα με τις μελέτες παγκόσμιων οργανισμών γύρω από το θέμα της κλιματικής αλλαγής και της επίδρασης της στην εμφάνιση των ακραίων καιρικών φαινομένων, οι περισσότερες προβλέπουν ότι φαινόμενα όπως τα κύματα καύσωνα, οι ραγδαίες βροχοπτώσεις καθώς και οι έντονες θύελλες αναμένεται να εμφανιστούν εντονότερα και συχνότερα τα επόμενα χρόνια. Ειδικότερα αναμένεται ότι η θερμοκρασία στην Ελλάδα θα αυξηθεί κατά 7-10 °C και οι βροχοπτώσεις θα μειωθούν κατά 30% – 40% κατά την περίοδο 2071 – 2100, σύμφωνα με την επιστημονική μελέτη που διεξάχθηκε από το Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ).

Αποτέλεσμα των ακραίων καιρικών φαινομένων είναι η εκδήλωση φυσικών καταστροφών όπου αυτά εμφανίζονται, η ένταση των οποίων είναι ανάλογη της προσαρμοστικότητας του περιβάλλοντος και των έμβιων οργανισμών καθώς και της ύπαρξης εξωτερικών παραγόντων που να το ενισχύουν ή να το αποδυναμώνουν όπως για παράδειγμα η ύπαρξη ανθρώπινης παρέμβασης, σεισμοί, ηφαιστειακές εκρήξεις κ.ο.κ. Επιπλέον ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο μπορεί να είναι αποτέλεσμα δύο ή περισσότερων ήπιων φαινομένων, όπως για παράδειγμα, μεγάλη πιθανότητα πλημμύρας εμφανίζεται όταν ένα κορεσμένο σε υγρασία έδαφος δέχεται έντονη βροχόπτωση.

Αν και συνήθως, οι πλημμύρες και η ξηρασία αναφέρονται ως ακραία καιρικά φαινόμενα που ενδεχομένως οι άνθρωποι θα τεθούν να αντιμετωπίσουν στο μέλλον, ωστόσο δεν είναι ακραία καιρικά φαινόμενα αυτά κάθε αυτά αλλά άμεσες συνέπειες τους. Στα ακραία καιρικά φαινόμενα σύμφωνα με την πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), "Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change" (2014), ανήκουν οι μουσώνες, το φαινόμενο El Nino, οι κυκλώνες και οι εξωτροπικοί κυκλώνες, φαινόμενα τα οποία καταγράφονται στον **Πίνακα 2.7** με τις μελλοντικές τους εκτιμήσεις μέχρι το έτος 2100. Επίσης στον **Πίνακα 2.8**, στο τέλος της εργασίας γίνεται καταγραφή των ακραίων κλιματικών φαινομένων με τις περιοχές του πλανήτη που επηρεάζουν και τις εκτιμώμενες προβλέψεις μέχρι το 2100.

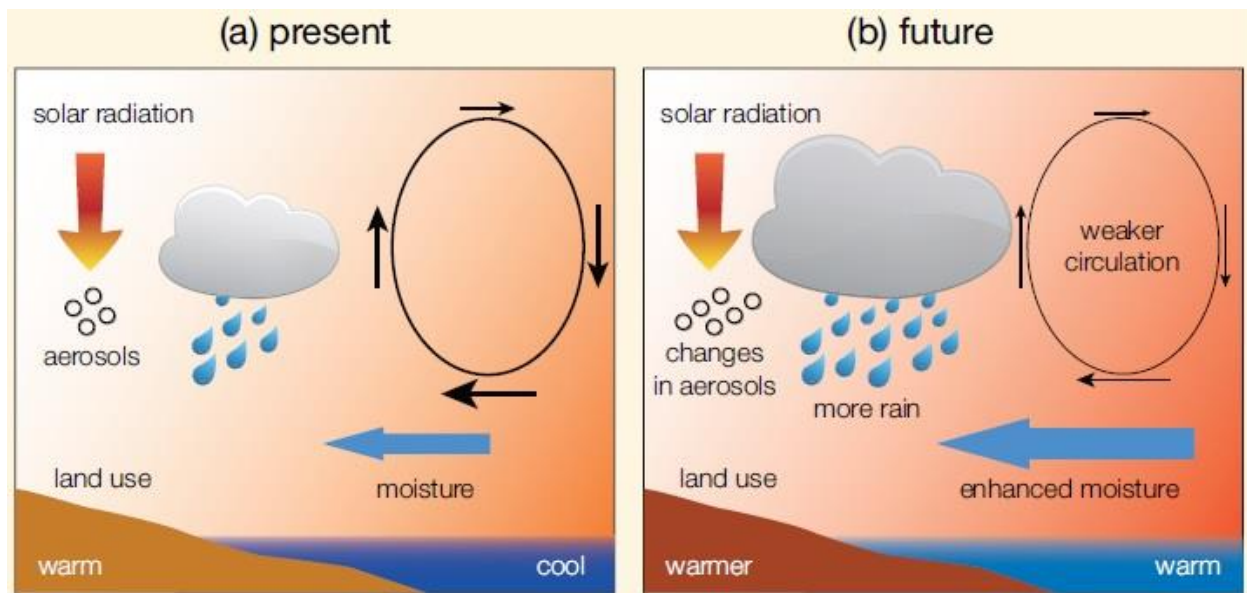
### 2.4.1. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ακραία καιρικά φαινόμενα

Στην παράγραφο αυτή γίνεται προσπάθεια πρόβλεψης των ακραίων κλιματικών φαινομένων βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της πέμπτης έκθεσης για την κλιματική αλλαγή της IPCC. Όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 2.8** το φαινόμενο των μουσώνων επηρεάζει κυρίως την Ασία, την Αυστραλία, την Αμερική και την Αφρική και είναι αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας και κατ' επέκτασης και πίεσης μεταξύ των ηπείρων και των ωκεανών. Άμεση συνέπεια της δράσης τους, κυρίως των θερινών μουσώνων, είναι οι σφοδρές βροχοπτώσεις σε πολλές περιοχές του κόσμου, στις οποίες οφείλεται η ύπαρξη και η ανάπτυξη της βλάστησης τους. Η ένταση και η διάρκεια του φαινομένου των μουσώνων είναι συνδυασμός διαφόρων παραγόντων, όπως η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ηπείρων και ωκεανών, η κάλυψη και η χρήση γης των ηπείρων, καθώς και η συγκέντρωση των αιωρημάτων της ατμόσφαιρας.

Παρόλο που η έναρξη του φαινομένου οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ηπείρων και ωκεανών, ωστόσο η διάρκεια και η ένταση τους οφείλονται στην περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία και στην κυκλοφορία του αέρα αντίστοιχα. Στα τέλη του 1970, έχει καταγραφεί ότι οι θερινοί μουσώνες της Ανατολικής Ασίας εμφανίστηκαν αποδυναμωμένοι και περιορισμένοι, λόγω κυρίως των μεταβολών στην κυκλοφορία του αέρα. Αυτό είχε ως συνέπεια την αύξηση της ξηρασίας στη Βόρεια Κίνα και των πλημμυρών στον ποταμό Yangtze στη Νότια Κίνα.

Σύμφωνα με τις μελλοντικές προβλέψεις που δημοσιεύτηκαν στην 5η Έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), εικάζεται ότι το φαινόμενο των μουσώνων θα προκαλέσει εντονότερη βροχόπτωση σε μεγαλύτερες σε έκταση περιοχές εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας και κατ' επέκταση της αύξησης της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Παρόλα αυτά, οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην ένταση και στη μεταβλητότητα του φαινομένου είναι περίπλοκες και αβέβαιες.

Επίσης τον 20<sup>ο</sup> αιώνα παρατηρήθηκε μία σχέση επίδρασης του φαινομένου El Nino στη δράση των μουσώνων της Αυστραλίας, του Δυτικού Ειρηνικού ωκεανού και της Νότιας Αμερικής. Όσον αφορά τη δράση των μουσώνων στη Βόρεια Αμερική, οι ενδείξεις για τις τάσεις του φαινομένου είναι αβέβαιες, αλλά επικρατεί η άποψη της αύξησης των βροχοπτώσεων, ενώ στην Ινδία και στην Αφρική δεν έχουν παρατηρηθεί συστηματικές μακροπρόθεσμες τάσεις μέχρι στιγμής.



**Εικόνα 2.4:** Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας στον κύκλο των μουσώνων.

Η ανωτέρω εικόνα, **Εικόνα 2.4** είναι μία σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας στο κύκλο των μουσώνων. Όπως είναι ευρέως γνωστό, η ξηρά θερμαίνεται γρηγορότερα από τη θάλασσα και το ποσοστό θέρμανσης της είναι ανάλογο με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο είναι ανάλογο με την κάλυψη και τις χρήσεις γης της περιοχής.

Επίσης η κυκλοφορία των μουσώνων εκτός της υγρασίας και των χρήσεων γης, επηρεάζεται και από την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς οι αλλαγές στη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας επηρεάζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης και μέρος της οποίας διανέμεται αλλού.

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με τα κλιματικά μοντέλα της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), προβλέπεται ότι η βροχόπτωση λόγω του φαινομένου των μουσώνων θα αυξηθεί κατά 5% - 15% παγκοσμίως, βάσει των σεναρίων εκπομπής αερίων. Η έναρξη του φαινομένου, προβλέπεται να γίνεται νωρίτερα και ο τερματισμός πιθανόν να καθυστερεί, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση των περιόδων των μουσώνων. Ωστόσο μελλοντικές προβλέψεις για την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων είναι αβέβαιες, καθώς με το πέρασμα των χρόνων το φαινόμενο συνδέεται όλο και περισσότερο με το φαινόμενο του El Niño. Το μόνο σίγουρο σύμφωνα με την έκθεση της IPCC είναι ότι οι περισσότερες περιοχές του κόσμου στο μέλλον θα πληγούν από το φαινόμενο των ακραίων καταιγίδων.

Στον **Πίνακα 2.7** που ακολουθεί καταγράφονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα με τις βεβαιότητες των μελλοντικών τους προβλέψεων, ενώ στον **Πίνακα 2.8** (βλ. στο τέλος της εργασίας) συνδυάζονται με τις περιοχές του πλανήτη που επηρεάζουν.

**Πίνακας 2.7:** Οι παρατηρούμενες και οι προβλεπόμενες αλλαγές των ακραίων καιρικών φαινομένων βάση της IPCC, 2012.

<b>Ακραία καιρικά φαινόμενα</b>	<b>Παρατηρούμενες αλλαγές από το 1950</b>	<b>Αναμενόμενες αλλαγές μέχρι το 2100</b>
<b>ΜΟΥΣΩΝΕΣ</b>	Χαμηλή βεβαιότητα για τις τάσεις λόγω ανεπάρκειας δεδομένων.	Χαμηλή βεβαιότητα λόγω ανεπάρκειας δεδομένων.
<b>ΕΙ Νινο</b>	Μέτρια βεβαιότητα από τις παρελθοντικές τάσεις προς πιο συχνή εμφάνιση του φαινομένου σε περιοχές του Ειρηνικού Ωκεανού κοντά στον Ισημερινό. Ανεπαρκείς ενδείξεις για πιο συγκεκριμένες δηλώσεις.	Χαμηλή βεβαιότητα λόγω ανεπάρκειας δεδομένων.
<b>ΤΡΟΠΙΚΟΙ ΚΥΚΛΩΝΕΣ</b>	Χαμηλή βεβαιότητα στις μακροχρόνιες παρατηρούμενες ισχυρές ανοδικές τάσεις, λαμβάνοντας υπόψιν τις παρελθοντικές μεταβολές στην αποδοτικότητα των παρατηρήσεων.	Πιθανή μείωση ή καμία αλλαγή στη συχνότητα εμφάνισης των τροπικών κυκλώνων. Πιθανή αύξηση της μέσης μέγιστης ταχύτητας του ανέμου, αλλά όχι σε όλες τις λεκάνες. Πιθανή αύξηση των ισχυρών βροχοπτώσεων που σχετίζονται με τροπικούς κυκλώνες.
<b>ΕΞΩΤΡΟΠΙΚΟΙ ΚΥΚΛΩΝΕΣ</b>	Πιθανή αύξηση των φαινομένων. Χαμηλή βεβαιότητα στις αλλαγές της έντασης σε διάφορες περιοχές.	Πιθανές αλλαγές στη δραστηριότητα των εξωτροπικών κυκλώνων τοπικά. Χαμηλή βεβαιότητα στις μελλοντικές προβλέψεις λόγω μη αξιοπιστίας των κλιματικών μοντέλων. Μέτρια βεβαιότητα στη μείωση των αριθμών των καταιγίδων στις περιοχές μεσαίων γεωγραφικών πλατών

Ακραία καιρικά φαινόμενα	Παρατηρούμενες αλλαγές από το 1950	Αναμενόμενες αλλαγές μέχρι το 2100
<b>ΞΗΡΑΣΙΕΣ</b>	Μέτρια βεβαιότητα ότι ορισμένες περιοχές του κόσμου έχουν βιώσει πιο έντονη και πιο μακρά περίοδη ξηρασία, ιδίως στη Νότια Ευρώπη και τη Δυτική Αφρική. Επίσης, εντοπίζονται και αντίθετες τάσεις.	Μέτρια βεβαιότητα στην προβλεπόμενη αύξηση της διάρκειας και της έντασης της ξηρασίας σε ορισμένες περιοχές του κόσμου συμπεριλαμβανομένης της Νότιας Ευρώπης, της Μεσογείου, της Κεντρικής Ευρώπης, της Βόρειας και Κεντρικής Αμερικής, του Μεξικό, της Βορειοανατολικής Βραζιλίας και της Νότιας Αφρικής. Συνολικά χαμηλή βεβαιότητα λόγω ανεπαρκούς συμφωνίας μεταξύ των διαφόρων προβλέψεων.
<b>ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ</b>	Τα διαθέσιμα στοιχεία είναι περιορισμένα για την αξιολόγηση των παρατηρούμενων αλλαγών σε συχνότητα και ένταση σε τοπική κλίμακα. Επιπρόσθετα, υπάρχει μικρή βεβαιότητα και για την τάξη της παγκόσμιας κλίμακας, λόγω ασυμφωνίας μοντέλων. Συνολικά έχουμε μικρή βεβαιότητα. Υψηλή βεβαιότητα στην τάση για πρόωρη εμφάνιση των ακροτάτων της άνοιξης για ροές ποταμών που τροφοδοτούνται από το λιώσιμο του χιονιού και τους παγετώνες.	Χαμηλή βεβαιότητα στις παγκόσμιες προβλέψεις των αλλαγών για συχνότερη εμφάνιση πλημμυρών λόγω ανεπαρκών αποδεικτικών στοιχείων. Μεσαία βεβαιότητα (με βάση τη φυσική αιτιολόγηση) για τις προβλεπόμενες αυξήσεις των ισχυρών βροχοπτώσεων που δημιουργούν τοπικές πλημμύρες σε ορισμένες λεκάνες απορροής. Πολύ πιθανή η πρόωρη εμφάνιση ροών αιχμής στα ποτάμια την άνοιξη από το λιώσιμο του χιονιού και τους παγετώνες.
<b>ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ</b>	Χαμηλή βεβαιότητα στις παγκόσμιες τάσεις για μεγάλες κατολισθήσεις σε ορισμένες περιοχές. Πιθανή αυξημένη τήξη των παγετώνων με πιθανές προκύπτουσες φυσικές επιπτώσεις.	Υψηλή βεβαιότητα ότι οι αλλαγές στην εκδήλωση ισχυρών βροχοπτώσεων επηρεάζουν τις κατολισθήσεις. Τα κύματα καύσωνα και η τήξη των παγετώνων θα επηρεάσουν φαινόμενα όπως οι αστάθειες των πρηνών, κινήσεις εδαφικών μαζών και υπερχειλίσεις λιμνών.

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2.7 στα ακραία καιρικά φαινόμενα ανήκουν εμμέσως και τα φαινόμενα της ξηρασίας και της πλημμύρας. Ως ξηρασία χαρακτηρίζεται η σημαντική μείωση του διαθέσιμου νερού κατά τη διάρκεια μιας αξιοσημείωτης χρονικής περιόδου και εκτείνεται σε μεγάλη περιοχή (Τσακίρης, 1995). Όπως είναι λογικό η ύπαρξη και η διάρκεια των περιόδων της ξηρασίας επηρεάζει την ύπαρξη ζωής σε πολλές περιοχές του πλανήτη, τις κοινωνικό-οικονομικές δραστηριότητες του ανθρώπου, καθώς και διάφορα στοιχεία του περιβάλλοντος, όπως παραδείγματος χάριν τα οικοσυστήματα. Ανάλογα με την επιλογή των υδρολογικών παραμέτρων και μεταβλητών ενδιαφέροντος, η ξηρασία διακρίνεται σε μετεωρολογική, υδρολογική και γεωργική.

Ως *μετεωρολογική ξηρασία* σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), χαρακτηρίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται μείωση ίση ή μεγαλύτερη του 40% του ετήσιου υετού μιας περιοχής και διαρκεί συνήθως περισσότερο από δύο έτη.

Ως *υδρολογική ξηρασία* χαρακτηρίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται υδρολογικό έλλειμα σε μία περιοχή και ως *γεωργική* είναι το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζονται χαμηλά ποσοστά εδαφικής υγρασίας.

Ως πλημμύρα χαρακτηρίζεται το φυσικό φαινόμενο που εμφανίζεται όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή τεχνητού), δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο του νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού μπορεί να προέρχονται είτε από την τοπική βροχόπτωση, είτε από την υπερχειλίση ενός ποταμού, είτε από τη θραύση κάποιου φράγματος, είτε τέλος από την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές (Μαμάσης, 2007). Επίσης μπορεί να είναι προϊόν ατμοσφαιρικών διαταραχών, που συνοδεύονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις για σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ξαφνικές πλημμύρες προέρχονται ανάλογα με την περιοχή εμφάνισης τους, είτε από ραγδαίες καταιγίδες, είτε από τυφώνες στην ζώνη των τροπικών. Οι ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα και παρατηρείται ταχεία ανύψωση νερού, το οποίο στο πέρασμα του προκαλεί μεγάλες καταστροφές σε κατασκευές ή παρασύρει οτιδήποτε συναντήσει λόγω της ερμητικότητας του. Οι ξαφνικές πλημμύρες, είναι η κύρια αιτία διάβρωση των εδαφών καθώς εξαιτίας της ποσότητας και της ορμητικότητας του νερού που φέρει, το έδαφος δεν προλαβαίνει να απορροφήσει αξιόλογη ποσότητα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καταστροφικές κατολισθήσεις (λασποροές).

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τους συχνότερους και καταστρεπτικότερους τύπους φυσικών καταστροφών και σύμφωνα με τη μελέτη των Downton, et al., 2001 επηρεάζουν το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων και δημιουργούν τις περισσότερες ζημιές από όλες τις φυσικές καταστροφές σε ετήσια βάση. Σύμφωνα με τους παγκόσμιους ασφαλιστικούς οργανισμούς, οι πλημμύρες κατέχουν το ποσοστό του 26% στην παγκόσμια κλίμακα καταστροφών, το 8% του συνόλου των θανάτων και 27% του οικονομικού κόστους που προκαλούνται από τις φυσικές καταστροφές για την περίοδο 1950-2002 (MunichRe, 2005).

Σύμφωνα με την επιστημονική μελέτη της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του πλανήτη, τόσο θα αυξάνεται και ο κίνδυνος για πιθανές πλημμύρες και



περιόδους ξηρασίας σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (Wetherald and Manabe, 2002; Table SPM2 in IPCC, 2007).

Στον Ελληνικό χώρο οι πλημμύρες οφείλονται κατά πλείστον σε καταρρακτώδεις βροχές, που συνοδεύουν τη διέλευση υφέσεων (κυκλώνες). Ένα σπανιότερα εμφανιζόμενο είδος πλημμύρας στην Ελλάδα είναι η παράκτια πλημμύρα, η οποία είναι αποτέλεσμα του κυματισμού της θάλασσας ή μιας μεγάλης λίμνης. Ο κυματισμός προκαλείται συνήθως από τους ισχυρούς ανέμους που πνέουν στην περιοχή, ενώ σπάνια με μηδαμινή εμφάνιση στην Ελλάδα, μπορεί να εμφανιστούν και θαλάσσια κύματα βαρύτητας (Tsunami). Διαδίδονται στην επιφάνεια της θάλασσας με ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το πάχος του νερού της θάλασσας και είναι της τάξεως των 200 m/sec. Κατά την διάδοσή τους μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες νερού και προκαλούν σημαντικές καταστροφές σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

### **3. Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην παράκτια ζώνη**

Οι παράκτιες περιοχές, ειδικά χαμηλού υψομέτρου και ήπιων κλίσεων πλήττονται περισσότερο από την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, την αύξηση της μετεωρολογικής παλίρροιας και την ενίσχυση των ακραίων καιρικών φαινομένων. Επειδή η φύση είναι ένα δύσκολο δυναμικό σύστημα σύμφωνα με τον Ε. Δουκάκη, ο ταυτόχρονος συνδυασμός του κατακλυσμού της παράκτιας ζώνης λόγω ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας και της διάβρωσης προσεγγίζεται ικανοποιητικά με το συνδυασμό του νόμου του Bruun και της ιστορικής οπισθοχώρησης της περιοχής. Σύμφωνα με το νόμο του Bruun, άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά  $\chi$  εκατοστά προκαλεί οπισθοχώρηση της ακτογραμμής κατά  $\chi$  μέτρα. Ωστόσο τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων θεωρούνται αβέβαια.

Η παράκτια διάβρωση είναι αποτέλεσμα της δράσης όλων των φυσικών συνιστωσών του κλίματος όπως, του ανέμου, της θερμοκρασίας, της θάλασσας αλλά και των βροχοπτώσεων που συναντώνται στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Εξαιτίας της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας και των χαρακτηριστικών των κυμάτων (χαρακτηριστικό ύψος, περίοδος επαναφοράς και κατεύθυνση του κύματος) μεταβάλλεται και το μέγεθος των ιζημάτων που μεταφέρονται στην ακτή λόγω της δράσης των κυμάτων. Αρχικά τα κύματα καταιγίδας εξαιτίας της ορμής τους, διαβρώνουν την παραλία και μεταφέρουν την άμμο στα ανοικτά. Στη συνέχεια μια ποσότητα από αυτή την άμμο εναποτίθεται σε υποθαλάσσιους αναβαθμούς κοντά στην παραλία, ενώ η υπόλοιπη μεταφέρεται στα βαθιά νερά, όπου πλέον καθίσταται αδύνατη η επαναφορά της στη στεριά. Τα κύματα σε ήρεμο καιρό τείνουν να επαναφέρουν την άμμο που βρίσκεται στους αναβαθμούς στην παραλία όπου ακολουθεί η δράση του ανέμου που μεταφέρει τους ψιλούς κόκκους άμμου στη στεριά και διαμορφώνει τους αμμόλοφους. Οποιαδήποτε παρέμβαση στη χερσαία και θαλάσσια μετακίνηση της άμμου, όπως για παράδειγμα η υλοποίηση παράκτιων κατασκευών, θα μπορούσε να προκαλέσει απώλεια του εδάφους.

Επομένως όπως εύλογα προκύπτει, με την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας και την εμφάνιση ισχυρών καταιγίδων, ανυψώνονται γρηγορότερα τα επίπεδα νερού, με αποτέλεσμα τα παράκτια ρεύματα να είναι ορμητικότερα και να γίνεται ταχύτερη απώλεια μεγαλύτερων σε έκταση εδαφών της παράκτιας ζώνης. Επίσης το μέγεθος της διάβρωσης των παράκτιων περιοχών εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως (Ε. Δουκάκης, 2005):

- Την απόσταση της παράκτιας περιοχής από το κέντρο της καταιγίδας
- Τα ύψη κύματος της καταιγίδας
- Τα χαρακτηριστικά του κύματος (Hs, T, κατεύθυνση)
- Την ταχύτητα μετακίνησης και τη διάρκεια της καταιγίδας
- Το στάδιο της αστρονομικής παλίρροιας κατά τη διάρκεια των καταιγίδων
- Τη γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης

Όσον αφορά τις κυματικές καταιγίδες, έχει παρατηρηθεί ότι οι πιο καταστροφικές είναι οι χειμερινές καταιγίδες και οι τροπικοί κυκλώνες (τυφώνες), οι οποίες πλήττουν περισσότερο τις περιοχές του Β. Ατλαντικού, του Β. Ινδικού και του Β. Ειρηνικού ωκεανού.

Επιπλέον η τρωτότητα μιας περιοχής εκτός από τη δράση των κυματικών καταιγίδων εξαρτάται και από τη μορφολογία, το υψόμετρο και ειδικότερα την κλίση της ακτής σε συνδυασμό με τη λιθολογική της σύσταση. Το είδος των πετρωμάτων της παράκτιας περιοχής καθορίζει τους ρυθμούς διάβρωσης της στη δράση των κυματισμών. Οι ρυθμοί διάβρωσης μίας περιοχής κυμαίνονται από πολύ υψηλοί σε αργιλικά μαλακά εδάφη έως χαμηλοί σε ασβεστολιθικά και άλλα συμπαγή πετρώματα. Συνήθως οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως περιοχές υψηλής τρωτότητας είναι οι δελταϊκές περιοχές, οι οποίες είναι παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου όπου γίνεται εναπόθεση χαλαρών μη συνεκτικών ιζημάτων είτε μέσω θαλάσσης είτε μέσω ποταμών. Στην αντιδιαμετρική θέση με τις δελταϊκές περιοχές, στην κατάταξη της τρωτότητας των παράκτιων ζωνών ανήκουν οι βραχώδεις περιοχές, οι οποίες είναι κυρίως αλπικά πετρώματα χαμηλής τρωτότητας.

Εκτός του φαινομένου της πλημμύρας, η μεταβολή του κλίματος και των κλιματικών παραμέτρων αυξάνει και τον κίνδυνο κατολίσθησης μίας περιοχής. Αν και με το πρώτο άκουσμα του φυσικού φαινομένου της κατολίσθησης, το μυαλό όλων πάει στις ορεινές περιοχές του πλανήτη ωστόσο αν αναλογιστούμε το πλήθος των ελληνικών θαλασσών που βρίσκονται στον πόδα απότομων πρανών, όπως για παράδειγμα η τουριστική παραλία «ναυάγιο» της Ζακύνθου ή ο «Μύρτος» στην Κεφαλονιά.

Οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι οι κλίσεις των πρανών, η διάβρωση της περιοχής, οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως για παράδειγμα η κατασκευή ενός οδικού δικτύου, οι βροχοπτώσεις, τα κλιματικά χαρακτηριστικά (κατεύθυνση και ένταση τοπικών ανέμων), τα φυσικά φαινόμενα όπως οι σεισμοί και τέλος τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των

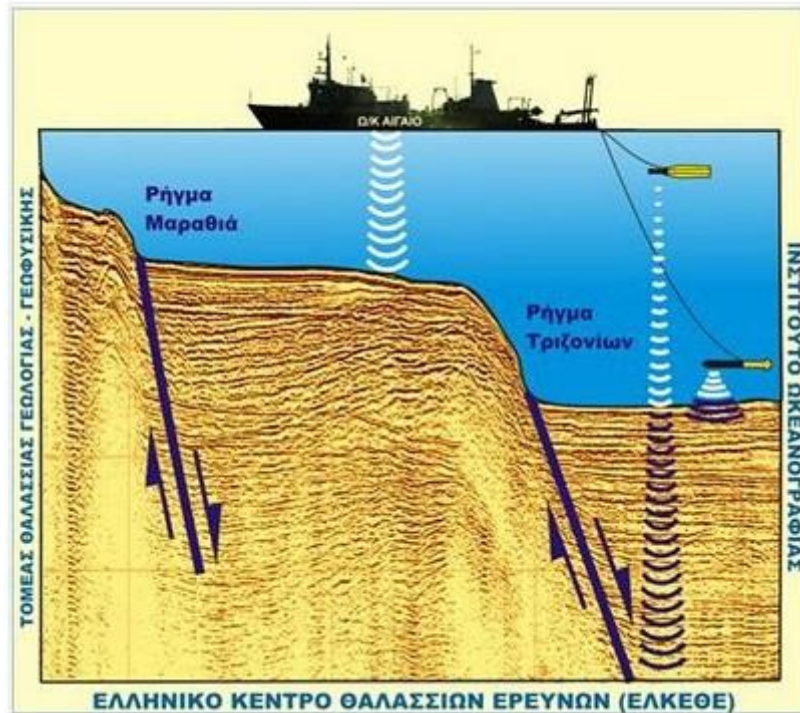
σχηματισμών. Ναι μεν οι κατολισθήσεις οφείλονται κυρίως στις ενδογενείς φυσικές διεργασίες ωστόσο είναι συνδυασμός πολλών παραγόντων. Γενικά, οι επιστήμονες υποστηρίζουν πως η αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας σε συνδυασμό με το λιώσιμο των παγετώνων οδηγούν στην ανακατανομή της σχετικής πίεσης στον πυθμένα της θάλασσας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ηφαιστειακή δραστηριότητα και κατ' επέκταση να αυξάνεται ο κίνδυνος δημιουργίας σεισμών.

Σύμφωνα με την UNESCO τα αίτια των κατολισθήσεων (1994) χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είτε αυτόνομα είτε συνδυαστικά οδηγούν στη γένεση των αστοχιών και στη μετακίνηση εδαφικών μαζών. Οι δύο βασικές κατηγορίες των κατολισθητικών αιτιών είναι: οι Προκαταρκτικοί παράγοντες (Causal factors) και οι Παράγοντες εναύσματος (Triggering factors), οι οποίοι αποτελούν την τελική αφορμή μετακίνησης της οριακά σταθερής μάζας. Οι δύο βασικές αυτές κατηγορίες κατολισθητικών αιτιών διαμορφώνουν τις ακόλουθες τέσσερις ομάδες:

- Οι εδαφικές συνθήκες
- Οι γεωμορφολογικές συνθήκες
- Οι φυσικές συνθήκες
- Οι ανθρωπογενείς συνθήκες

Στον **Πίνακα 3.1** που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τα φαινόμενα κατολίσθησης κάθε περιοχής.

Επίσης εκτός από τα συνήθη φαινόμενα κατολίσθησης εμφανίζονται και τα φυσικά φαινόμενα υποθαλάσσιας κατολίσθησης, τα οποία απειλούν τις παράκτιες περιοχές με τη δημιουργία τσουνάμι. Στον Ελλαδικό χώρο, το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται έντονο στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου και ειδικότερα στην παράκτια περιοχή της Αιγιαλείας και του Ξυλόκαστρου. Ο Κορινθιακός κόλπος είναι μία από τις πιο σειсмоγενείς περιοχές της Ελλάδας με ενεργά ρήγματα, κατακόρυφες και οριζόντιες παραμορφώσεις και χερσαίες και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις (**Εικόνα 3.1**). Σύμφωνα με το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) οι κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις οφείλονται στα ενεργά ρήγματα της περιοχής και δημιουργούν τις απότομες πλαγιές. Η δράση των υποθαλάσσιων ρηγμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή βύθιση του βυθού του Κορινθιακού κόλπου με ρυθμό 3.6mm/έτος. Ταυτόχρονα ο βυθός του Κόλπου διαμορφώνεται και από τη μεγάλη προσφορά φερτών υλών και ιζημάτων από τα ορεινά ποτάμια Σεληνούντα, Κερυνίτη και Βουραϊκού της περιοχής. Τα υλικά αυτά αποτίθενται στο βυθό με ρυθμό 2.5 mm/έτος με αποτέλεσμα εντέλει ο βυθός του Κόλπου να βαθαίνει με ρυθμό 1-1.5 mm/έτος. Οι απότομες αυτές υποθαλάσσιες πλαγιές του κόλπου ευνοούν την εκδήλωση υποθαλάσσιων κατολισθήσεων και κατ' επέκταση τη δημιουργία τσουνάμι.



Εικόνα 3.1: Τα ρήγματα Μαραθιά και Τριζονίων του Κορινθιακού κόλπου.

Επίσης σύμφωνα με τους Wiczorek και Glade (2005), ο όγκος των κατακρημνίσεων επηρεάζει πολύ τον όγκο των κατολισθήσεων και σύμφωνα με τους Asch (1996) και τους Buman Dehn (1998), οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την ποσότητα της βροχοπτώσεως της περιοχής (**Πίνακας 3.2**). Από τον ακόλουθο πίνακα φαίνεται πως οι επιφανειακές εδαφικές κινήσεις σχετίζονται με βροχοπτώσεις μικρότερης διάρκειας ενώ οι βαθύτερες κινήσεις σχετίζονται με υψηλότερες συγκεντρώσεις βροχής σε επίπεδο μήνας- έτους.

Πίνακας 3.2: Κατηγοριοποίηση κατολίσθησης βάσει του μεγέθους της βροχοπτώσεως (Πηγή: Τράπεζα της Ελλάδος, 2011)

	Λασποροές, Εδαφοροές, (Debris flows)	Ολισθήσεις	Βαθείες ολισθήσεις
Βάθος επιφανείας αστοχίας	Επιφανειακές	2-10 m	10-40m
Κλιματικό έναυσμα	Καταιγίδα υψηλής έντασης	Αυξημένη συσσώρευση βροχής σε επίπεδο ημέρας - μήνα	Υψηλή συγκέντρωση βροχής σε επίπεδο μήνα - έτους

Πίνακας 3.1: Καταγραφή των Προκαταρκτικών και των Παραγόντων εναύσματος των κατολισθητικών φαινομένων (Πηγή: Τράπεζα της Ελλάδος, 2011)

<b>A. ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b>	Πρόκαταρκτικοί παράγοντες (Causal factors)
Πλαστικό, χαμηλής αντοχής υλικό	
Ευαίσθητο υλικό	
Υλικό επιρρεπές σε θραύση	
Αποσαθρωμένο υλικό	
Διατμημένο υλικό	
Ρωγματωμένο ή διακλασμένο υλικό	
Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)	
Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)	
Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα	
Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία	
<b>B. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>	
Τεκτονική ανύψωση	
Ανύψωση λόγω ηφαιστείων	
Επίδραση παγετώνων	
Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρσανούς	
Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρσανούς	
Διάβρωση της βάσης του πρσανούς από παγετώνια	
Διάβρωση των πλευρών του πρσανούς	
Εσωτερική διάβρωση	
Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρσανούς	
Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση, κ.τ.λ.)	
<b>Γ. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>	
Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση	
Γρήγορο λιώσιμο χιονιού	
Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση	
Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων	
Σεισμοί	
Εκρήξεις ηφαιστείων	
Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων	
Λιώσιμο παγωμένου εδάφους	
Αποσάθρωση λόγω παγετού	
Αποσάθρωση από διάγκωση και συρρίκνωση εδαφών	
<b>Δ. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>	
Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρσανούς	
Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρσανούς	
Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμιευτήρες	
Άρδευση	
Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων	
Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κ.τ.λ.)	
Αποψίλωση	
Λατομεία και μεταλλεία	
Δημιουργία χωματερών	
Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, κ.τ.λ.)	

Παράγοντες ενδύματος (Triggering factors)

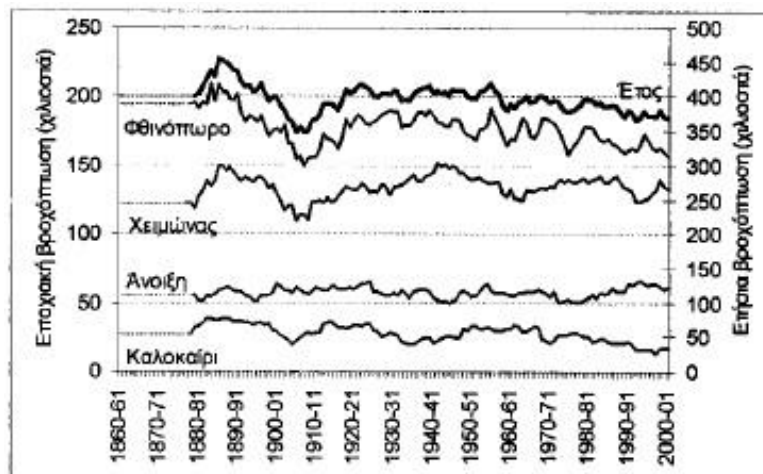
Πρόκαταρκτικοί παράγοντες (Causal factors)

Η συσχέτιση του φαινομένου των κατολισθήσεων με την ποσότητα της βροχόπτωσης και την ένταση των ανέμων, καθιστά τις κατολισθήσεις εξαρτώμενες από το εκάστοτε κλιματικό καθεστώς της περιοχής και επομένως ευπαθείς σε πιθανές αλλαγές του. Ωστόσο οι μελλοντικές προβλέψεις του φαινομένου, δεν ακολουθούν τις προβλέψεις των κατακρημνίσεων παγκοσμίως εξαιτίας της μεγαλύτερης συσχέτισης των κατολισθήσεων με τα τοπικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής μελέτης (σύσταση πετρωμάτων, τοπογραφία της περιοχής).

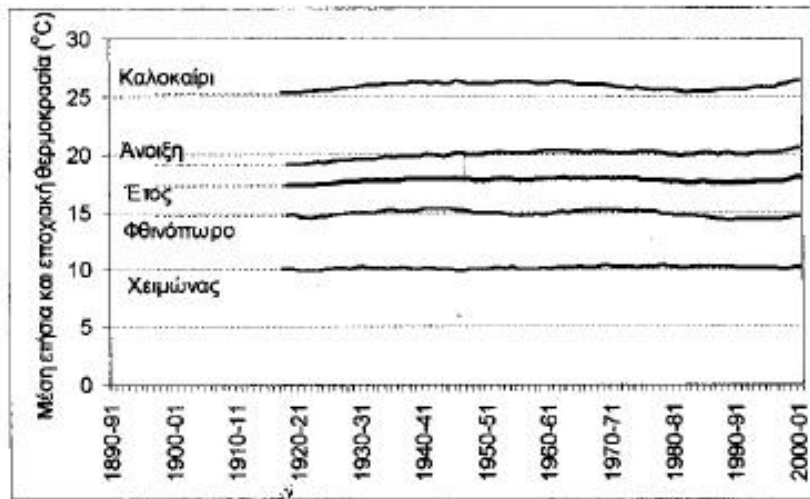
### 3.1. Μελλοντικές εκτιμήσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

Κρίνεται αναγκαίο μετά τη μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παράκτια ζώνη παγκοσμίως, να γίνει αναφορά στις επιπτώσεις που θα φέρει και στον ελλαδικό χώρο βασιζόμενοι σε ποικίλες μελέτες που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία δέκα χρόνια. Επειδή σχεδόν οι περισσότερες έρευνες βασίζονται στα υποθετικά σενάρια εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου SRES, ευλόγως προκύπτει το συμπέρασμα ότι στις έρευνες αυτές από την αρχή έχει εισαχθεί η αβεβαιότητα των συγκεκριμένων σεναρίων. Επίσης επειδή η κάθε ερευνητική ομάδα προσπαθεί να προβλέψει τις μελλοντικές συνθήκες που θα επικρατούν στην Ελλάδα μέχρι το 2100 βάσει διαφορετικών κλιματικών μοντέλων, πολύ συχνά παρουσιάζονται έντονες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων τους. Στην παράγραφο αυτή γίνεται προσπάθεια για τη συλλογή και παράθεση των πιο λογικών και μη καταστροφολογικών σεναρίων για τις μελλοντικές συνθήκες στον ελλαδικό χώρο.

Γενικά, στα **Διαγράμματα 3.1, 3.2, 3.3** που ακολουθούν, καταγράφονται οι μέσες ετήσιες και εποχιακές βροχοπτώσεις αλλά και οι μέσες ετήσιες και εποχιακές θερμοκρασίες στην Αθήνα για το χρονικό διάστημα 1890-2001 σύμφωνα με τις μετρήσεις του Αστεροσκοπείου Αθηνών. Παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές των φαινομένων είναι αρκετά σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Όσον αφορά τις μεταβολές της μεταβλητής της βροχόπτωσης στην Αθήνα, οι πιο αξιόλογες μεταβολές παρουσιάζονται στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και στις αρχές του 20<sup>ου</sup> (**Διάγραμμα 3.1**). Εν αντιθέσει με τη βροχόπτωση, η θερμοκρασία όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 3.2** για το χρονικό διάστημα 1890-2001 παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα, ανεξαρτήτως του φαινομένου της αστικοποίησης που εμφανίστηκε την περίοδο εκείνη στην πόλη της Αθήνας.

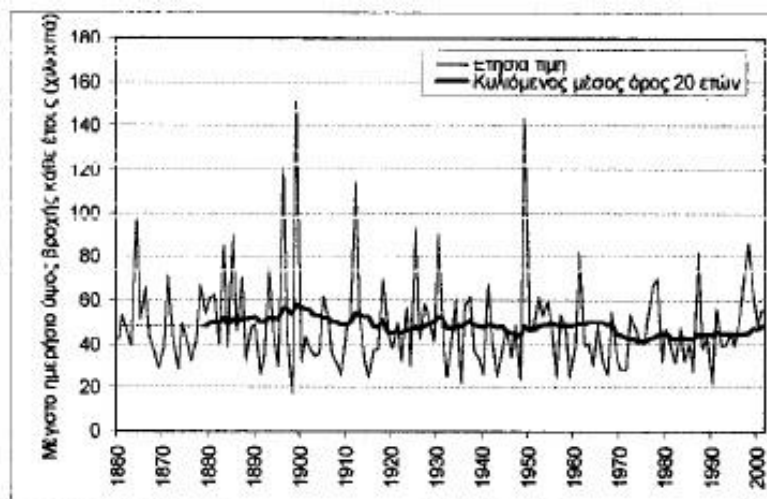


**Διάγραμμα 3.1:** Μεταβολή των μέσων τιμών της εποχιακής και της ετήσιας βροχόπτωσης στην Αθήνα (σταθμός Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών).



**Διάγραμμα 3.2:** Μεταβολή των κλιματικών μέσων τιμών της εποχιακής και της ετήσιας θερμοκρασίας στην Αθήνα (σταθμός Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

Στο **Διάγραμμα 3.3** καταγράφεται το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης που παρατηρήθηκε στην πόλη της Αθήνας τη χρονική περίοδο 1860 – 2000. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα των ισχυρών βροχοπτώσεων με εντυπωσιακά ακραίες θερμοκρασίες εμφανίστηκαν όπως φαίνεται τις δεκαετίες του 1860, 1890, 1910, 1950 στην πόλη της Αθήνας. Παρόλο που τα φαινόμενα αυτά εμφάνιζαν ακραίες τιμές, ωστόσο οι μέσες τιμές ήταν σταθερές. Όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας, η έντονη αστικοποίηση στην περιοχή της Αθήνας, δεν προκάλεσε έντονα καιρικά φαινόμενα όπως για παράδειγμα καταιγίδες και πλημμύρες.



**Διάγραμμα 3.3:** Μεταβολή του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής, το οποίο αποτελεί δείκτη πλημμύρας και καταιγίδων στην Αθήνα (σταθμός Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)

Ανεξαρτήτως των παραπάνω διαγραμμάτων, οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι λόγω της γεωγραφικής της θέσης (στη μεταβατική ζώνη μεταξύ του ξηρού κλίματος της Β. Αφρικής και του βροχερού τμήματος της κεντρικής Ευρώπης), η Ελλάδα και κατ' επέκταση οι ελληνικές ακτές, καθίστανται ιδιαίτερα τρωτές στα φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής εξαιτίας κυρίως της δημιουργίας κυκλωνικών φαινομένων.

Σύμφωνα με το Εθνικό Στρατηγικό πλαίσιο αναφοράς, ΕΣΠΑ 2007-2013, τα κλιματικά μοντέλα δίνουν συγκρουόμενα στοιχεία για την εξέλιξη του κλίματος πάνω από τη λεκάνη της Μεσογείου και ειδικότερα πάνω από τις ελληνικές ακτές. Η μέση θερμοκρασία της Ελλάδας αναμένεται να αυξηθεί κατά 0.9°C έως 2 °C μέχρι το 2100, αναλόγως το σενάριο εκπομπής αερίων που θα τηρηθεί. Αναμένεται επίσης ότι η θερμοκρασιακή αύξηση κατά τη θερινή περίοδο θα είναι ελαφρώς υψηλότερη από ότι η χειμερινή (Climatic Changes in Mediterranean). Επίσης σύμφωνα με έρευνα της WWF προβλέπεται πως στη Θεσσαλονίκη, στην Πάτρα, στη Λαμία και στη Λάρισα οι ημέρες καύσωνα θα αυξηθούν κατά 20 στον αριθμό.

Όσον αφορά την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, προβλέπει άνοδο της τάξεως των 0.2 – 0.85 m παγκοσμίως μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα (αισιόδοξο σενάριο SRES). Επειδή η φύση είναι ένα σύνθετο σύστημα πολλών μεταβλητών, η προβλεπόμενη αυτή μεταβολή δε θα είναι ίδια σε όλες τις περιοχές της γης (Tsimpilis, 2005; Mörner, 2005). Η διαφοροποίηση της στάθμης θα είναι ορατή τόσο μεταξύ της Δυτικής και Ανατολικής Μεσογείου, όσο και μεταξύ του Αιγαίου και του Ιονίου πελάγους, και θα είναι αποτέλεσμα ποικίλων παραγόντων όπως για παράδειγμα της επίδρασης της ενεργούς τεκτονικής της περιοχής και των φυσικών φαινομένων που επηρεάζουν το κλίμα της εκάστοτε περιοχής. Επίσης επειδή το Ιόνιο Πέλαγος επηρεάζεται κυρίως από την ανταλλαγή θαλάσσιων μαζών με τον Ατλαντικό είναι πιο εύκολο στα κλιματικά μοντέλα να προσομοιάσουν με ακρίβεια τις συνθήκες που επικρατούν εκεί από ότι στο Αιγαίο το οποίο επηρεάζεται κυρίως από τη σύνδεση του με τη Μαύρη Θάλασσα μέσω του στενού των Δαρδανελίων, οι ανταλλαγές των οποίων πιθανόν να είναι δύσκολο να παραμετροποιηθούν επαρκώς από τα κλιματικά μοντέλα. Παρόλα αυτά για τις ανάγκες του ερευνητικού προγράμματος THALIS-CCSEAWAVS έγινε προσπάθεια εκτίμησης της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στον ελλαδικό χώρο από το Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, με χρήση δορυφορικής υψομετρίας των τελευταίων 20 ετών αλλά και ενός ωκεάνιου κλιματικού μοντέλου υψηλής διακριτοποίησης.

Οι τάσεις που προβλέφθηκαν είναι:

- στο Νότιο Αιγαίο +4.6mm/yr (η υψηλότερη τάση)
- στο Βόρειο Αιγαίο +4.3mm/yr
- στο Βόρειο Ιόνιο +2.4mm/yr και
- στο Νότιο Ιόνιο +2.8mm/yr



Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η ασφαλέστερη εκτίμηση της επικινδυνότητας μιας περιοχής από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας καθορίζεται από πολλούς παράγοντες με κυριότερο την ενεργό τεκτονική της περιοχής. Δηλαδή, περιοχές που εντάσσονται σε τεκτονικά ενεργές ζώνες, μπορεί να εξουδετερώνουν τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας εάν βρίσκονται σε σχετικά ανερχόμενα τμήματα ενεργών ρηγμάτων ή αντιθέτως να ενδυναμώνουν τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας εάν βρίσκονται σε σχετικά κατερχόμενα τμήματα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η παράκτια ζώνη της Βόρειας Πελοποννήσου, από την Κόρινθο μέχρι την Πάτρα, όπως και τα νησιά Κρήτη και Ρόδος.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με μελέτες (Lambeck 1995) έχει αποδειχθεί πως:

- οι δυτικές ακτές της Κρήτης ανυψώνονται με ρυθμό με 0.9 – 4.0 mm/y,
- οι ανατολικές ακτές της Κρήτης με ρυθμό 0.7 – 2 mm/y και
- οι ανατολικές ακτές της Ρόδου με ρυθμό 1.2 – 1.9 mm/y.
- οι βόρειες ακτές της Πελοποννήσου με ρυθμό 1 – 1.3 mm/y
- οι νότιες ακτές της Στερεάς Ελλάδας βυθίζονται με ρυθμό 1 – 1.3 mm/y
- οι περιοχές της νότιας Πελοποννήσου στο νότιο άκρο της Αργολικής Χερσονήσου, του Λακωνικού Κόλπου και στον Αστακό παρατηρείται καθίζηση με ρυθμό 0.8 - 1.5 mm/y

Οι παγκόσμιες προβλέψεις ανόδου της στάθμης της θάλασσας μέχρι το 2099 κυμαίνονται από 0.2 - 0.85 m ενώ οι πιο ακραίες προβλέψεις φτάνουν τα 1.5 και 2 m. Οι προβλέψεις αυτές ισοδυναμούν με ρυθμό ανόδου της τάξεως των 2.2 - 6.5 mm/y και στις πιο ακραίες προβλέψεις με ρυθμό 16 – 22 mm/y. Συγκρίνοντας επομένως τους ρυθμούς τεκτονικής ανύψωσης με τους πιθανούς ρυθμούς ανόδου της θαλάσσιας στάθμης προκύπτει ότι οι δευτεροί υπερτερούν των πρώτων και άρα στις συγκεκριμένες περιοχές θα παρατηρηθεί σχετική άνοδος της στάθμης της θάλασσας ηπιότερη από άλλες περιοχές λόγω της τεκτονικής τους δράσης. Έτσι, για παράδειγμα μια μέση τιμή ανόδου της στάθμης της θάλασσας της τάξης των 4.3 mm/y θα μειωθεί στα 3.5 mm/y με την αφαιρετική δράση μιας μέσης τιμής τεκτονικής ανύψωσης 0.8 mm/y.

Επίσης ένας άλλος παράγοντας, ο οποίος μπορεί να επηρεάσει την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας είναι η μεταβολή της στερεοπαροχής σε δέλτα ποταμών, όπου στη συνέχεια τροποποιούν την παράκτια ζώνη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το δέλτα του Σπερχειού, το οποίο από την εποχή της μάχης των Θερμοπυλών μέχρι σήμερα προσαύξησε την παράκτια ζώνη του Μαλιακού Κόλπου κατά 2–3 χιλιόμετρα (Maroukian & Lagios, 1987; Ψωμιάδης, 2010). Αντίθετα, εάν η στερεοπαροχή μειωθεί η επίκλυση της θάλασσας προς την παράκτια περιοχή θα είναι πιο έντονη. Τέλος η τρωτότητα μιας περιοχής λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας καθορίζεται από την μορφολογία και το υψόμετρο της ακτής καθώς και από την σύσταση των πετρωμάτων της. Η σύσταση των πετρωμάτων καθορίζει τους

ρυθμούς διάβρωσης της περιοχής, καθώς αυτοί είναι γρηγορότεροι στα αργιλικά εδάφη, από ότι στα ασβεστολιθικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, της αιτίας αυτής αποτελεί η Πελοπόννησος, στην οποία εμφανίζεται ορατή διαφοροποίηση της διάβρωσης των ακτών της βόρειας και δυτικής της πλευράς (Κορινθιακός Κόλπος) με αυτές της ανατολικής Πελοποννήσου. Εκτός της ύπαρξης των υποθαλάσσιων ρηγμάτων στην περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου, επίσης η συγκεκριμένη περιοχή, όπως έχει προαναφερθεί στην παράγραφο 3, αποτελείται από μαλακά υλικά και λάσπη, σε αντίθεση με την ανατολική που αποτελείται από πιο συμπαγή πετρώματα. Όσον αφορά το κίνδυνο πλημμυρών, σύμφωνα με έρευνες που έχουν διεξαχθεί από διάφορους παγκόσμιους οργανισμούς, η πιθανότητα εμφάνισης τους στον ελλαδικό χώρο είναι αυξημένος. Αυτό οφείλεται στην πιθανή αύξηση των έντονων βροχοπτώσεων κατά τη χειμερινή περίοδο σύμφωνα με τα μοντέλα προσομοιώσεως της IPCC. Σύμφωνα με την έρευνα που διεξήγαγε η Τράπεζα της Ελλάδος, και ως δεδομένα τα αποτελέσματα και συμπεράσματα της έρευνας της IPCC, περιλαμβανομένου και του σεναρίου A1B, τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της πλημμύρας παρουσιάζεται στις περιοχές με το κόκκινο χρώμα στον ακόλουθο χάρτη. Στις περιοχές αυτές ανήκουν και οι βόρειες ακτές της Κρήτης.



**Εικόνα 3.2:** Χάρτης απεικόνισης των παράκτιων περιοχών που θα κατακλυστούν (κόκκινο χρώμα) από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1m (Πηγή: Τράπεζα της Ελλάδος, 2011).

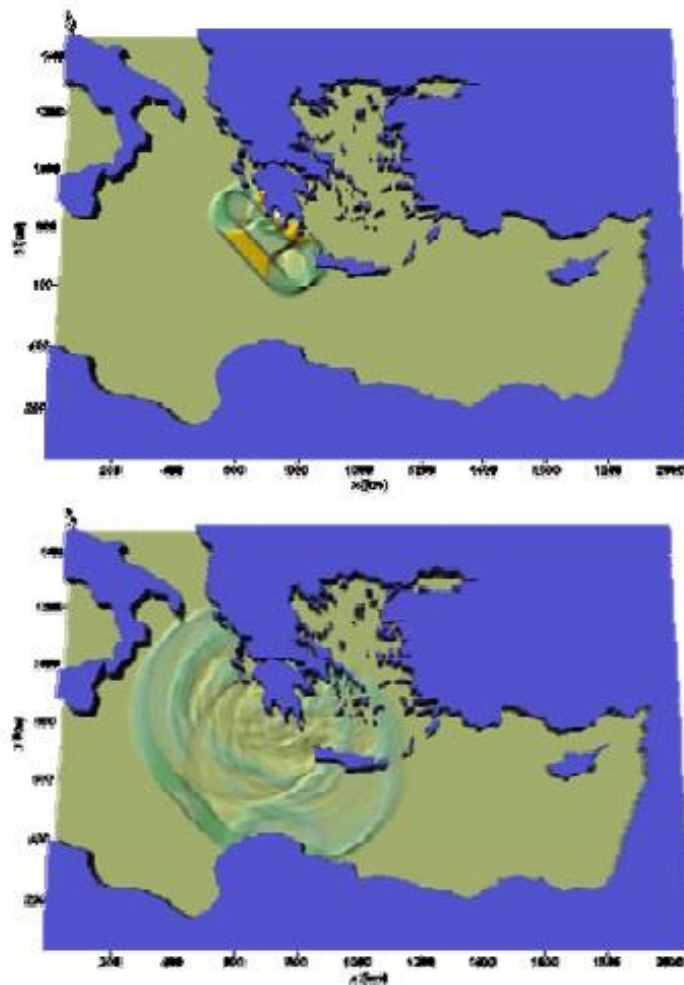
Σύμφωνα με αντίστοιχη έρευνα που διεξήγαγε το τμήμα Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας, σε συνεργασία με το τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου, Θεσσαλονίκης, στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος (CCSEAWAVS: Estimating the effects of climate change on sea level and wave climate of the Greek seas, coastal vulnerability and safety of coastal and marine structures), η πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων συνδυάζεται με το φαινόμενο της Μετεωρολογικής Παλίρροιας και του τύπου των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή των ελληνικών θαλασσών. Η ερευνητική ομάδα του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου χρησιμοποίησε σαν σημείο αναφοράς τις συνθήκες που επικρατούσαν στον ελλαδικό χώρο τη χρονική περίοδο 1951-2000 και στη συνέχεια κατηγοριοποίησε τους ανέμους που έπνεαν στην περιοχή εκείνη την περίοδο. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1951-2000, η αναλογία κυκλωνικών και αντικυκλωνικών καταστάσεων είναι 80% με 20% αντίστοιχα, ενώ αναμένεται μεταβολή του ποσοστού της τάξεως των 55% με 45% αντίστοιχα κατά τη χρονική περίοδο 2051-2100.

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα μελέτη, τη χρονική περίοδο 2005-2012 παρατηρήθηκαν 16 φαινόμενα μετεωρολογικής παλίρροιας (storm surges) πάνω από τις ελληνικές θάλασσες (Tolika K, Anagnostopoulou C, Krestenidis Y., 2014) (**Πίνακας 3.4**). Επίσης σύμφωνα με τους Prinios et al., 2014 παρατηρείται μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης των φαινομένων storm surges στην ακτογραμμή του Β. Αιγαίου και του Β. Ιονίου και μικρότερη στην ακτογραμμή της Κρήτης.

**Πίνακας 3.4:** Οι ημερομηνίες και οι περιοχές που παρατηρήθηκαν τα 16 φαινόμενα storm surges στην Ελλάδα κατά τη χρονική περίοδο 2005-2012

	Date	Location
1	15/2/2005	Kavala
2	4/12/2008	Aitoliko
3	21/12/2009	Samos
4	28/12/2009	Tinos
5	1/1/2010	Halkida, Halkidiki
6	2/1/2010	Lesvos
7	4/1/2010	Mesologi
8	6/1/2010	Volos
9	7/1/2010	Xios- Zakynthos - Hleia
10	20/10/2010	Parga
11	19/2/2011	Messinia - Crete
12	7/1/2012	Rio - Crete - Tinos
13	6/2/2012	Arkadia
14	19/4/2012	Fokida
15	20/4/2012	Santorini
16	29/10/2012	Samos - Ftiotida

Στο σημείο αυτό, κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί ο αυξημένος κίνδυνος δημιουργίας tsunamis στις Δυτικές ακτές της Πελοποννήσου. Αυτό οφείλεται τόσο στην ύπαρξη υποθαλάσσιων ρηγμάτων και ασταθών πρνανών στην περιοχή, όσο και στην αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Η **Εικόνα 3.3** που ακολουθεί είναι μία σχηματική αναπαράσταση της γένεσης και μετάδοσης ενός τσουνάμι της ΝΔ Πελοποννήσου και των περιοχών που πιθανόν θα επηρεάσει.



**Εικόνα 3.3:** Σχηματική απεικόνιση της γένεσης ενός τσουνάμι στη ΝΔ Πελοπόννησο (Πηγή: Karambas et al.)

Συγκεκριμένα όσον αφορά το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στο Βόρειο Αιγαίο και στο Ιόνιο πέλαγος, οι Galiatsou P and Prinos P, 2014 βασιζόμενοι στις χρονοσειρές της χρονικής περιόδου 1950 - 1999 κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για το χρονικό διάστημα 2000 - 2049 θα παρατηρηθεί μία αύξηση της τιμής του. Ειδικότερα προβλέπουν ότι στο λιμάνι της Μυτιλήνης το χαρακτηριστικό ύψος κύματος θα αυξηθεί κατά 19% και 22% για περιόδους επαναφοράς 50 και 100 χρόνων αντίστοιχα και στο Ιόνιο πέλαγος προβλέπεται άνοδος του χαρακτηριστικού ύψους κύματος κατά 15% και 17% για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς. Ανάλογη αύξηση θα εμφανιστεί και στην περιοχή του Θρακικού πελάγους της

τάξεως του 14% και 15.5% για περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα. Την τελευταία πενήνταετία του 21ου αιώνα (2050-2099) εκτιμάται ότι θα παρατηρηθεί μία σημαντική μείωση των ακραίων τιμών του χαρακτηριστικού ύψους κύματος σε σχέση με τις παρατηρήσεις της χρονικής περιόδου 2000 - 2049. Συγκεκριμένα, στη Μυτιλήνη αναμένεται μείωση κατά 9% και 8% για περιόδους επαναφοράς 50 και 100 χρόνων αντίστοιχα και στο Ιόνιο πέλαγος κατά 8% για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς. Στο Θρακικό πέλαγος αναμένεται μείωση κατά 14% και 11% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος της περιόδου 2000 – 2049 για περιόδους επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα. Αντιθέτως, οι επιστήμονες αναμένουν αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος στην περιοχή των Χανίων, στην Κρήτη κατά 6% και 8% για περιόδους επαναφοράς 50 και 100 ετών αντίστοιχα. Όσον αφορά τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς που αφορούν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο χαρακτηριστικό ύψος κύματος για το Νότιο Αιγαίο, τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο ακριβή.

Τέλος όσον αφορά τη συνιστώσα της βροχόπτωσης, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των μελετών είναι αβέβαια αλλά συμφωνούν όλα σε μία υπερκείμενη μείωση. Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη από τη WWF η ανατολική και νότια Ελλάδα και συγκεκριμένα η Λαμία, η Λάρισα, ο Βόλος, η Θεσσαλονίκη και η Αθήνα πιθανότατα να δεχθούν μία σημαντική μείωση στη μέση ετήσια βροχόπτωση. Ωστόσο αναμένεται να αυξηθούν οι ακραίες βροχοπτώσεις κατά 10-20%.

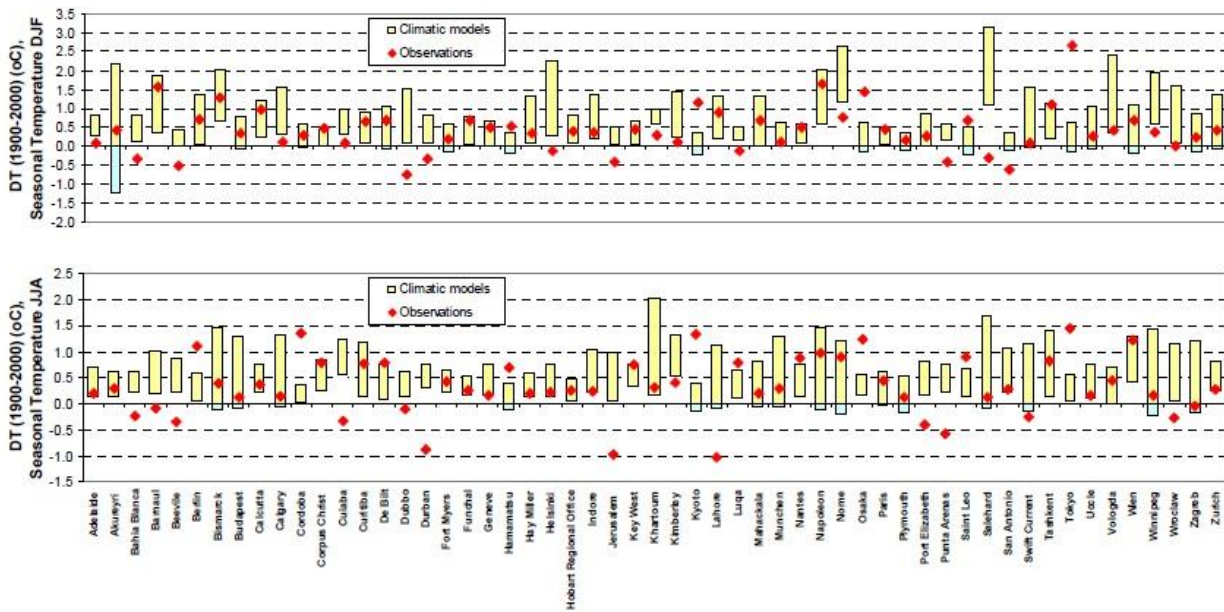
#### 4. Η άλλη άποψη

Όπως είναι αναμενόμενο από τη συζήτηση για τις κλιματικές αλλαγές δε λείπουν και οι αντιπαραθέσεις. Ναι μεν η πλειοψηφία της επιστημονικής κοινότητας αποδέχεται την επιδείνωση των κλιματικών αλλαγών εξαιτίας κυρίως της ανθρωπογενούς παρέμβασης, εντούτοις υπάρχουν και οι επιστήμονες, οι λεγόμενοι σκεπτικιστές της κλιματικής αλλαγής, οι οποίοι υποστηρίζουν ότι είναι περιττό να γίνεται αναφορά στο όρο της κλιματικής αλλαγής, καθώς η λεγόμενη μεταβολή του κλίματος είναι μία φυσική διαδικασία που υφίσταται εδώ και εκατομμύρια χρόνια. Για το λόγο αυτό, οι επιστημονικοί όροι που αφορούν τη διάσταση της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών της στερούνται ακρίβειας καθώς θα πρέπει να καθορίζεται σαφώς το χρονικό διάστημα, το οποίο εξετάζεται κάθε φορά.

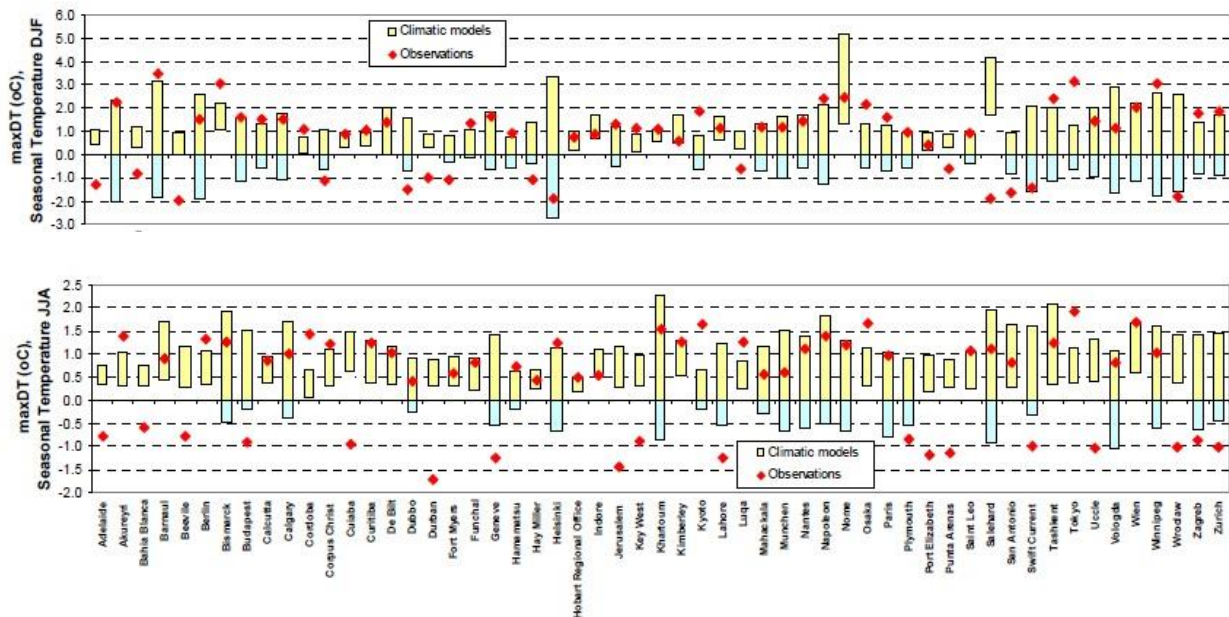
Ένα επιχείρημα στο οποίο στηρίζουν την άποψη τους οι σκεπτικιστές είναι η συνεισφορά των θερμοκηπικών αερίων και ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα στην αύξηση της θερμοκρασίας. Σε αντίθεση με τα ποσοστά συνεισφοράς των αερίων του θερμοκηπίου (Πίνακας 1.1) από την IPCC και τη θεώρηση ευρέως ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι το βασικό αέριο του φυσικού αυτού φαινομένου, αποδεικνύεται πλέον ότι το βασικό στοιχείο του φαινομένου είναι οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας. Οι υδρατμοί συνεισφέρουν κατά 95% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα κατά 5%. Εκτιμάται ότι ο πιθανός διπλασιασμός της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα θα επιφέρει αύξηση της

ισχύος που δέχεται η γη από τον ήλιο κατά 2%, ποσοστό που αντιστοιχεί σε αύξηση μόνο κατά 4 watt/m<sup>2</sup>. Δηλαδή, από 340 watt/m<sup>2</sup> που δέχεται η γη σήμερα, θα γίνει αποδέκτης 344 watt/m<sup>2</sup>. Επομένως οι σύγχρονες μελέτες ερευνούν για την επίπτωση που θα φέρει η μικρή αυτή αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας παγκοσμίως. Επίσης εκτιμάται ότι μόνο το 2.5% - 3% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται σε ανθρωπογενή δραστηριότητα, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό εκλύεται από φυσικές διεργασίες όπως για παράδειγμα η έκλυση CO<sub>2</sub> από την επιφάνεια των ωκεανών ή η ηφαιστειακή δραστηριότητα (Koutsoyiannis 2011). Επομένως η ηλιακή ακτινοβολία, η τροχιά της γης, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η ατμοσφαιρική σύνθεση και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ατμόσφαιρας – ξηράς και θάλασσας είναι οι βασικές πηγές ανόδου της θερμοκρασίας.

Ένα επιπλέον επιχείρημα των σκεπτικιστών είναι η ντετερμινιστική προσέγγιση των κλιματολογικών και υδρολογικών φαινομένων με αποτέλεσμα τα συμπεράσματα των μελετών να μη συνάδουν με την πραγματικότητα. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.8 η προσέγγιση των φαινομένων βάσει των στατιστικών μοντέλων υποτιμούν τη συσχέτιση και τις αλληλεπιδράσεις των διαφόρων φυσικών συνιστωσών για την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής. Στα **Διαγράμματα 4.1 και 4.2** που ακολουθούν παρατίθεται τμήμα των αποτελεσμάτων από τη μελέτη των Koutsoyiannis D et al., 2008b, στην οποία έγινε έλεγχος σε διαφορετικά κλιματικά μοντέλα της IPCC, σε 55 διαφορετικές περιοχές ελέγχου με μεγάλες διαθέσιμες χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Όπως αποδεικνύεται οι προβλέψεις της IPCC που αφορούν τα ακραία κλιματικά φαινόμενα δεν είναι συμβατές με την πραγματικότητα, καθώς είναι σχεδόν αδύνατο να προβλέψουν με μαθηματικές εξισώσεις το μέλλον, σε ένα τόσο πολύπλοκο και χαοτικό σύστημα που είναι η φύση (Tsaknias et al. 2011). Ενώ όταν γίνεται προσπάθεια προσέγγισης του μέλλοντος βάσει μεγάλων χρονοσειρών των φυσικών μεταβλητών σε συνδυασμό με τη χρήση του φαινομένου Hurst, τότε τα αποτελέσματα ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα. Η μακροσκοπική μελέτη των ακραίων κλιματικών φαινομένων αποδεικνύει ότι οι τιμές των ακραίων φαινομένων ακολουθούν μία εμμονή ή αλλιώς το φαινόμενο Hurst. Δηλαδή έχουν την τάση να εμφανίζονται σε ομάδες. Σύμφωνα με τους Koutsoyiannis et al., 2010 η μελέτη των κλιματικών και υδρολογικών φαινομένων μέσω της στοχαστικής κλίμακας (Simple Scaling Stochastic - SSS) ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα λόγω του γεγονότος ότι η υπόθεση βασίζεται στις κλιματικές διακυμάνσεις σε διάφορες χρονικές κλίμακες, δηλαδή συμπεριφορά Hurst – Kolmogorov.

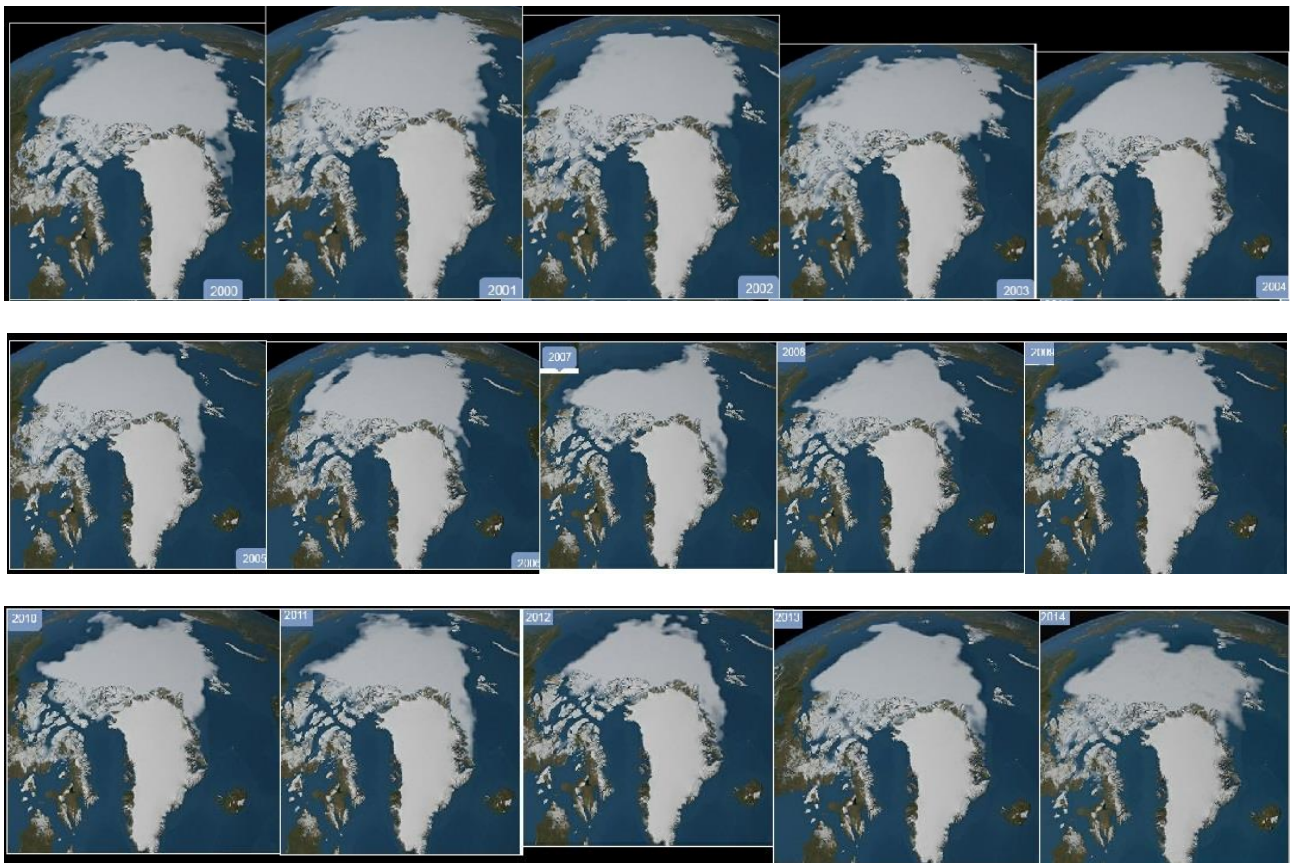


**Διαγράμματα 4.1:** Αλλαγές στην 30ετή μέση τιμή της θερμοκρασίας των 55 σταθμών ελέγχου, σε σύγκριση με την πρόβλεψη των μοντέλων της IPCC (Πηγή: Koutsoyiannis D et al. 2008b).



**Διαγράμματα 4.2:** Αλλαγές στην 30ετή μέση τιμή της βροχόπτωσης των 55 σταθμών ελέγχου, σε σύγκριση με την πρόβλεψη των μοντέλων της IPCC (Πηγή: Koutsoyiannis D et al. 2008b).

Σύμφωνα με τις δορυφορικές εικόνες που διαθέτει η NASA παρατηρούνται σημαντικές αυξομειώσεις στον όγκο των πάγων στην περιοχή της Αρκτικής με την πάροδο του χρόνου. Συγκεκριμένα οι ακόλουθες εικόνες δείχνουν τη διαδοχική εξέλιξη των πάγων για τη χρονική περίοδο 2000 – 2014. Από τις εικόνες φαίνεται ότι η μεγαλύτερη μείωση του όγκου των πάγων της Αρκτικής που παρατηρήθηκε την τελευταία δεκαετία, γίνεται το 2007 και ακολουθεί μια διαδοχική αύξηση του όγκου τους μέχρι το 2009. Από το 2010 έως το 2012 παρατηρείται πάλι μία αισθητή μείωση του όγκου τους ενώ από το 2013 έως το 2014 μία αύξηση. Οι εικόνες αυτές έχουν ληφθεί όλες το μήνα Αύγουστο ώστε να απεικονίζεται το ναδύρ του όγκου τους πριν αρχίσουν να σχηματίζονται ξανά οι πάγοι. Επίσης οι φωτογραφίες αυτές αποδεικνύουν ότι η πιστοποιημένη ή κατ' άλλους διαφαινόμενη κλιματική αλλαγή όχι μόνο δε φέρει καταστροφικές συνέπειες στη γη αλλά αποδεικνύουν πως οι πάγοι στην περιοχή της Αρκτικής, περιοχή στην οποία η θερμοκρασία αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς από ότι παγκοσμίως, δεν παρουσιάζουν μονάχα μείωση αλλά και αύξηση του όγκου τους με την πάροδο του χρόνου.



**Εικόνα 4.1:** Διαδοχική εξέλιξη του όγκου των πάγων της Αρκτικής για τη χρονική περίοδο 2000-2014 (Πηγή: NASA)



Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να γίνει αναφορά στη λεγόμενη νέα παγετώδη περίοδο, στην οποία αναμένεται να εισέλθει η γη. Η τελευταία Εποχή των Παγετώνων έληξε περίπου πριν 15.000 χρόνια, ενώ γεωλογικά ευρήματα αποδεικνύουν ότι το φαινόμενο αυτό ακολουθεί δύο περιοδικούς κύκλους εμφάνισης, το βασικό κύκλο με περίοδο περίπου 100.000 χρόνων και ένα δεύτερο με περίοδο 400.000 ετών.

Προκειμένου οι ερευνητές να εκτιμήσουν πότε η γη θα περάσει σε μία νέα Εποχή Παγετώνων, ανέλυσαν δεδομένα που χρονολογούνταν στα περίπου 780.000 χρόνια και η μελέτη αυτή απέδειξε ότι ο πλανήτης ενδέχεται να περάσει σε μία νέα παγετώδη κατάσταση τα επόμενα 1.500 χρόνια. Για να συμβεί όμως αυτό, η ερευνητική ομάδα του πανεπιστημίου McGill του Καναδά εκτιμά ότι η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να μειωθεί στα 240ppm (σήμερα ανέρχεται στα 340ppm). Υποστηρίζουν επίσης ότι ακόμη και αν σταματούσε άμεσα η καύση ορυκτών καυσίμων, η εμφάνιση μιας νέας Εποχής Παγετώνων δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί σε φυσική χρονική κλίμακα.

## 5. Σύνοψη – Συμπεράσματα

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αναμφίβολα αποτελεί μήλο της έριδος στην επιστημονική κοινότητα καθώς η πλειονότητα των ερευνητών υποστηρίζει την ύπαρξη της και ως αιτία της κλιμάκωσης της, τη ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 50 χρόνια εξαιτίας της ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Οι υποστηρικτές αυτής της άποψης ισχυρίζονται ότι η βιομηχανία και η καθημερινή καύση υδρογονανθράκων για την παραγωγή ενέργειας οδηγούν στην αύξηση τη συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα με αποτέλεσμα να δεσμεύεται στη γη περισσότερη υπέρυθη ακτινοβολία και να εμποδίζεται η διαφυγή της στο διάστημα. Η ενέργεια αυτή έχει ως αντίκτυπο τη συνεχιζόμενη αύξηση της θερμοκρασίας και την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο θα συνεχίσει να εντείνεται όλο και περισσότερο εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης.

Από την άλλη οι σκεπτικιστές της κλιματικής αλλαγής υποστηρίζουν ότι η ανησυχητική διάσταση της κλιματικής μεταβολής των ημερών μας είναι περιττό να υφίσταται καθώς η μεταβολή του κλίματος που παρατηρείται είναι απλώς μία φυσική εξέλιξη του και δεν αποκλείεται μετά από μία χρονική περίοδο να επικρατήσει μία αντίρροπη πτωτική τάση της θερμοκρασίας. Επίσης ισχυρίζονται πως τα μελλοντικά σενάρια πρόβλεψης βάσει των κλιματικών μοντέλων προσομοίωσης δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα εξαιτίας της χαοτικής διάστασης της φύσης και του κλίματος. Η εμπειρική μελέτη των σημερινών κλιματικών δεδομένων βασίζεται στην ανάπτυξη ενός τεράστιου δικτύου μετρήσεων, γεγονός που δεν ισχύει στην πραγματικότητα καθώς οι μετρήσεις των κλιματικών παραμέτρων οργανώθηκαν μόλις το 1960 παγκοσμίως. Επομένως η κλιματολογία στηρίζεται στη στατιστική ανάλυση των μετρήσεων

των τελευταίων δεκαετιών καθώς στοιχεία για τις περιόδους που δεν υπάρχουν μετρήσεις προκύπτουν μέσα από δύσκολες και έμμεσες παρατηρήσεις.

Παρόλη την έρευνα και την ανάλυση της επιστημονικής κοινότητας, καμία από τις δύο αυτές απόψεις δεν έχει αποδειχθεί μέχρι σήμερα με απόλυτη βεβαιότητα. Ωστόσο επειδή οι μέχρι πρότινος μελέτες έχουν αποδείξει ότι με τη συνεχιζόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, η μέση στάθμη της θάλασσας ακολουθεί μία αυξητική τάση από την προβιομηχανική εποχή, εκτιμάται ότι και για τα επόμενα 50-60 χρόνια θα συνεχίζει να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό. Επομένως ο μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής και των τυχόν μεταβολών στις κλιματικές παραμέτρους που αυτή προκαλεί και επηρεάζουν την αντοχή στην υδραυλική φόρτιση των έργων προστασίας των παράκτιων περιοχών με αποτέλεσμα να απειλούνται οι παράκτιες περιοχές. Για να αποφεύγονται οι ζημιογόνες αυτές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές πρέπει η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά ενός παράκτιου τεχνικού έργου, όπως για παράδειγμα το ύψος στέψης του έργου να επαναπροσδιορίζονται εκ νέου αναλόγως την περιοχής μελέτης.

Στην εργασία αυτή έγινε προσπάθεια καταγραφής των συνεπειών που φέρει η κλιματική αλλαγή στις φυσικές παραμέτρους που επηρεάζουν άμεσα την παράκτια ζώνη για τη χρονική περίοδο 2000 - 2100. Ειδικότερα, μελετήθηκε η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας, η δράση της μετεωρολογικής παλίρροιας, η μεταβολή των χαρακτηριστικών των κυματισμών καθώς και η ενίσχυση και εντατικοποίηση των ακραίων καιρικών φαινομένων τόσο παγκοσμίως όσο και τοπικά στον ελλαδικό χώρο. Οι μελλοντικές προβλέψεις που παρουσιάστηκαν βασίστηκαν στις Ειδικές Εκθέσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) βάσει των σεναρίων εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα (SRES).

Συγκεκριμένα, μέχρι το 2100 η θερμοκρασία επίκειται να αυξηθεί από 0.3°C σύμφωνα με το αισιόδοξο σενάριο της IPCC έως 4.8°C στη δυσμενέστερη περίπτωση παγκοσμίως. Η άνοδος της τιμής της θερμοκρασίας αναμένεται να επηρεάσει τη συχνότητα των φαινομένων βροχόπτωσης και ιδίως των ακραίων φαινομένων καθώς θα αυξηθεί η συγκέντρωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να επηρεαστεί ο υδρολογικός κύκλος του νερού. Αναμένονται συχνότερες βροχοπτώσεις σε αρκετές περιοχές της γης και ιδίως στις περιοχές μεσαίου γεωγραφικού πλάτους καθώς και αύξηση του όγκου των κατακρημνίσεων στο Βορρά σε αντίθεση με το νότο. Όσον αφορά την κλιματική συνιστώσα του ανέμου, οι προβλέψεις για τις μελλοντικές συνθήκες παγκοσμίως είναι χαμηλής βεβαιότητας λόγω έλλειψης στοιχείων.

Οι μεταβολές των τριών προαναφερθέντων βασικών συνιστωσών του κλίματος επηρεάζουν με τη σειρά τους τη μέση στάθμη θάλασσας, τη δράση της μετεωρολογικής παλίρροιας και τη συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων. Η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας επηρεάζεται απευθείας από την αύξηση της θερμοκρασίας καθώς η κύρια αιτία μεταβολής της είναι η θερμική διαστολή του

ύδατος και ακολουθεί η τήξη των πάγων των οροσειρών και της Γροιλανδίας. Η τήξη των πάγων στην περιοχή της Ανταρκτικής έχει αποδειχθεί ότι δε συντελεί στην άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας καθώς τελευταίες μετρήσεις απέδειξαν ότι τα στρώματα πάγου της περιοχής είναι παχύτερα στην πραγματικότητα από ότι υπολόγιζαν οι ερευνητές. Επίσης η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας διαφοροποιείται από περιοχή σε περιοχή του πλανήτη αναλόγως της ενεργούς τεκτονικής της εκάστοτε περιοχής. Οι περιοχές που εντάσσονται σε τεκτονικά ενεργές ζώνες αναλόγως τη θέση που βρίσκονται, σε ανερχόμενα ή κατερχόμενα τμήματα ενεργών ρηγμάτων εξουδετερώνουν ή ενισχύουν αντίστοιχα την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Ένας τελευταίος παράγοντας στον οποίο οφείλεται η μεταβολή της μέσης στάθμης της θάλασσας είναι οι ισοστατικές κινήσεις του στερεού φλοιού της γης από την τελευταία εποχή των παγετώνων. Δηλαδή τμήματα περιοχών της γης υψώνονται μετά το τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων, ως αντίδραση στο λιώσιμο των πάγων όπου προηγουμένως πίεζαν με το βάρος τους το έδαφος.

Όσον αφορά το φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας, οι προβλέψεις είναι αβέβαιες εξαιτίας της πολυπλοκότητας του φαινομένου. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζεται τόσο από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή δράσης τους, όσο και από την ταχύτητα των ανέμων και τη στάθμη της θάλασσας τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Επομένως οι μελλοντικές εκτιμήσεις της δράσης μίας κυματικής καταιγίδας ακολουθούν τις προβλέψεις των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κυμάτων, την αύξηση της θερμοκρασίας και τις προβλέψεις των ανέμων (Κεφάλαιο 1.5). Η βασική αιτία δημιουργίας μίας κυματικής καταιγίδας είναι η διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ του κέντρου του κυκλώνα (χαμηλή) και της περιβαλλοντικής πίεσης έξω από τον πυρήνα (υψηλή). Όσο χαμηλότερη είναι η ατμοσφαιρική πίεση σε μία περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας σε εκείνη την περιοχή εξαιτίας της διατήρησης της υδροστατικής πίεσης σταθερή. Επίσης οι επιπτώσεις μίας κυματικής καταιγίδας στις παράκτιες περιοχές είναι εντονότερες όσο πλατύτερες και ήπιες κλίσης είναι οι περιοχές και όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου που την παρασύρει. Τέλος η ποσότητα της μετεωρολογικής παλίρροιας που παράγεται από έναν κυκλώνα, ενισχύεται σημαντικά από την υψηλή στάθμη της αστρονομικής παλίρροιας. Οι περιοχές που είναι πιο ευπαθείς στο φαινόμενο της μετεωρολογικής παλίρροιας είναι οι περιοχές του Β. Ατλαντικού, της Αυστραλίας και της Ινδονησίας, οι οποίες συνδυάζουν την άνοδο της θερμοκρασίας με την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (Μουσώνες, El Nino).

Τέλος όσον αφορά τα ακραία καιρικά φαινόμενα, προβλέπεται ότι το φαινόμενο των μουσώνων θα προκαλέσει εντονότερη βροχόπτωση σε μεγαλύτερες σε έκταση περιοχές εξαιτίας της θέρμανσης του πλανήτη. Συγκεκριμένα, αναμένεται αύξηση του αριθμού των βροχοπτώσεων που οφείλονται στους μουσώνες σε ποσοστό 5-15% μέχρι το 2100. Η έναρξη του φαινομένου, εκτιμάται ότι θα γίνεται νωρίτερα και ο τερματισμός πιθανόν να καθυστερεί, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση των περιόδων των μουσώνων.

Ωστόσο οι μελλοντικές προβλέψεις για την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων είναι αβέβαιες, καθώς με το πέρασμα των χρόνων το φαινόμενο αυτό συνδέεται όλο και περισσότερο με το φαινόμενο του El Niño. Το μόνο σίγουρο κατά τους επιστήμονες είναι ότι οι περισσότερες περιοχές του κόσμου στο μέλλον θα πληγούν από το φαινόμενο των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Ειδικότερα στον Ελλαδικό χώρο, οι επιστημονικές ομάδες προβλέπουν αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.9 - 2 °C και συγκεκριμένα στη Θεσσαλονίκη, στην Πάτρα, στη Λαμία και στη Λάρισα αναμένεται αύξηση των θερμών ημερών κατά 20 στον αριθμό. Στον **Πίνακα 5.1** που ακολουθεί έγινε προσπάθεια καταγραφής των μελλοντικών εκτιμήσεων μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων στον ελλαδικό χώρο.

**Πίνακας 5.1:** Μελλοντική εκτίμηση των κλιματικών παραμέτρων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 2000-2100

Κλιματικές μεταβλητές	Αναμενόμενες μεταβολές μέχρι το 2100
<b>ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ</b>	<p><b>A) Αιτίες:</b></p> <p>1) Μεταβολή μέσης στάθμης της θάλασσας Συγκεκριμένα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ν. Αιγαίο: ρυθμός ανόδου +4.6 mm/yr</li> <li>- Β. Αιγαίο: ρυθμός ανόδου +4.3 mm/yr</li> <li>- Β. Ιόνιο : ρυθμός ανόδου + 2.4 mm/yr</li> <li>- Ν. Ιόνιο : ρυθμός ανόδου +2.8 mm/yr</li> </ul> <p>2) Ενεργός τεκτονική της εκάστοτε περιοχής Συγκεκριμένα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Δυτικές ακτές της Κρήτης: ρυθμός ανόδου 0.9 - 4 mm/yr</li> <li>- Ανατολικές ακτές της Κρήτης: ρυθμός ανόδου 0.7 - 2 mm/yr</li> <li>- Ανατολικές ακτές της Ρόδου: ρυθμός ανόδου 1.2 - 1.9 mm/yr</li> <li>- Βόρειες ακτές της Πελοποννήσου: ρυθμός ανόδου 1 - 1.3 mm/yr</li> <li>- Νότιες ακτές Στερεάς Ελλάδας: ρυθμός καθίζησης 1 - 1.3 mm/yr</li> <li>- Νότιες ακτές Πελοποννήσου στο νότιο άκρο της Αργολικής χερσονήσου, ο Λακωνικός κόλπος και ο Αστακός: ρυθμός καθίζησης 0.8 - 1.5 mm/yr</li> </ul> <p><b>B) Τελική στάθμη της μέσης στάθμης της θάλασσας:</b> Αφαίρεση του ρυθμού ανόδου της θάλασσας και του ρυθμού ανόδου / καθίζησης της στεριάς.</p> <p><i>Παγκόσμια εκτίμηση ανόδου από 0.2-0.85 m</i></p>

Κλιματικές μεταβλητές	Αναμενόμενες μεταβολές μέχρι το 2100
ANEMOI	Τη χρονική περίοδο 2051 - 2100 αναμένεται μεταβολή των κυκλωνικών και αντικυκλωνικών καταστάσεων. Συγκεκριμένα: από 80% κυκλωνικές και 20% αντικυκλωνικές καταστάσεις που ίσχυαν τη χρονική περίοδο 1951 – 2000, εκτιμάται ότι θα μεταβληθούν σε 55% κυκλωνικές και 45% αντίστοιχα
STORM SURGES	Μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης φαινομένων μετεωρολογικής παλίρροιας στην ακτογραμμή του Β. Αιγαίου και του Β. Ιονίου και ελάχιστη στις ακτές της Κρήτης
TSUNAMIS	Αυξημένος κίνδυνος στις δυτικές ακτές της Πελοποννήσου
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΎψΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (Hs) -περίοδος 2000-2049-	<p>Τη χρονική περίοδο <b>2000 - 2049</b> αναμένεται αύξηση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος βάσει των χρονοσειρών της περιόδου <b>1950 - 1999</b>. Συγκεκριμένα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Μυτιλήνη: αύξηση κατά 19% και 22% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα.</li> <li>- Ιόνιο πέλαγος: αύξηση κατά 15% και 17% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα.</li> <li>- Θρακικό πέλαγος: αύξηση κατά 14% και 15.5% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα.</li> <li>- Νότιο Αιγαίο: αβέβαιες μετρήσεις</li> </ul>

Κλιματικές μεταβλητές	Αναμενόμενες μεταβολές μέχρι το 2100
<p style="text-align: center;"><b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΎψΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (Hs)</b> -περίοδος 2050-2100-</p>	<p>Τη χρονική περίοδο <b>2050 - 2100</b> αναμένεται σημαντική μείωση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος σε σχέση με τη χρονική περίοδο <b>2000 - 2049</b>. Συγκεκριμένα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Μυτιλήνη: μείωση κατά 9% και 8% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα.</li> <li>- Ιόνιο πέλαγος: μείωση κατά 8% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη.</li> <li>- Θρακικό πέλαγος: μείωση κατά 14% και 11% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα.</li> <li>- Χανιά (Κρήτη): αύξηση κατά 6% και 8% του χαρακτηριστικού ύψους κύματος που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 50 και 100 έτη αντίστοιχα.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ</b></p>	<p>Αναμένεται:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Μείωση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης</li> <li>2) Αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων κατά 10 - 20%</li> </ol>

## 6. Βιβλιογραφία

- Διεθνής βιβλιογραφία

- Ablain, M., A. Cazenave, G. Valladeau, and S. Guinehut, 2009: *A new assessment of the error budget of global mean sea level rate estimated by satellite altimetry over 1993–2008*. *Ocean Sci.*, 5, 193–201.
- Adams, P. N., D. L. Inman, and N. E. Graham, 2008: *Southern California deep-water wave climate: Characterization and application to coastal processes*. *J. Coast. Res.*, 24, 1022–1035.
- Allan, J. C., and P. D. Komar, 2006: *Climate controls on US West Coast erosion processes*. *J. Coast. Res.*, 22, 511–529.
- Allen, M. R., D. J. Frame, C. Huntingford, C. D. Jones, J. A. Lowe, M. Meinshausen, and N. Meinshausen, 2009: *Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne*. *Nature*, 458, 1163–1166.
- Alley, R. B., S. Anandakrishnan, T. K. Dupont, B. R. Parizek, and D. Pollard, 2007: *Effect of sedimentation on ice-sheet grounding-line stability*. *Science*, 315, 1838–1841.
- Anagnostopoulou C., Tolika K., Tegoulas I., Velikou K. & Vagenas C., 2013: *Assessment of Ensembles regional climate models for the representation of monthly wind characteristics in the Aegean Sea (Greece): Mean and extremes analysis*.
- Andrade, C., H. O. Pires, R. Taborda, and M. C. Freitas, 2007: *Projecting future changes in wave climate and coastal response in Portugal by the end of the 21st century*. *J. Coast. Res.*, SI 50, 263–257.
- Anschütz, H., et al., 2009: *Revisiting sites of the South Pole Queen Maud Land Traverses in East Antarctica: Accumulation data from shallow firn cores*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 114, D012204.
- Arendt, A., et al., 2012: *Randolph Glacier Inventory [v2.0]: A dataset of global glacier outlines. Global Land Ice Measurements from Space, Boulder CO, USA. Digital Media*.
- Arthern, R., D. P. Winebrenner, and D. G. Vaughan, 2006: *Antarctic snow accumulation mapped using polarization of 4.3-cm wavelength microwave emission*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 111, D06107.
- Bahr, D. B., and V. Radić, 2012: *Significant contribution to total mass from very small glaciers*. *Cryosphere*, 6, 763–770.
- Bahr, D. B., M. Dyurgerov, and M. F. Meier, 2009: *Sea-level rise from glaciers and ice caps: A lower bound*. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L03501.
- Bales, R. C., et al., 2009: *Annual accumulation for Greenland updated using ice core data developed during 2000–2006 and analysis of daily coastal meteorological data*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 114, D06116.
- Bamber, J., and R. Riva, 2010: *The sea level fingerprint of recent ice mass fluxes*. *Cryosphere*, 4, 621–627.
- Bamber, J. L., and W. P. Aspinall, 2013: *An expert judgement assessment of future sea level rise from the ice sheets*. *Nature Clim. Change*, 3, 424–427.
- Bamber, J. L., R. E. M. Riva, B. L. A. Vermeersen, and A. M. LeBrocq, 2009: *Reassessment of the potential sea-level rise from a collapse of the West Antarctic Ice Sheet*. *Science*, 324, 901–903.
- Banks, H. T., and J. M. Gregory, 2006: *Mechanisms of ocean heat uptake in a coupled climate model and the implications for tracer based predictions of ocean heat uptake*. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07608.
- Barrand, N. E., et al., 2013: *Computing the volume response of the Antarctic Peninsula ice sheet to warming scenarios to 2200*. *J. Glaciol.*, 55, 397–409.

- Beckley, B. D., et al., 2010: Assessment of the Jason-2 Extension to the TOPEX/ Poseidon, Jason-1 sea-surface height time series for global mean sea level monitoring. *Mar. Geodesy*, 33, 447–471.
- Bengtsson, L., S. Koumoutsaris, and K. Hodges, 2011: Large-scale surface mass balance of ice sheets from a comprehensive atmosphere model. *Surv. Geophys.*, 32, 459–474.
- Biancamaria, S., A. Cazenave, N. M. Mognard, W. Llovel, and F. Frappart, 2011: Satellite-based high latitude snow volume trend, variability and contribution to sea level over 1989/2006. *Global Planet. Change*, 75, 99–107.
- Bindoff, N. L., et al., 2007: Observations: Oceanic climate change and sea level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 385–432.
- Bindschadler, R. A., et al., 2013: Ice-sheet model sensitivities to environmental forcing and their use in projecting future sea level (The SeaRISE Project). *J. Glaciol.*, 59, 195–224.
- Bintanja, R., G. J. van Oldenborgh, S. S. Drijfhout, B. Wouters, and C. A. Katsman, 2013: Important role for ocean warming and increased ice-shelf melt in Antarctic sea-ice expansion. *Nature Geosci.*, 6, 376–379.
- Bittermann, K., S. Rahmstorf, M. Perrette, and M. Vermeer, 2013: Predictability of 20th century sea-level rise from past data. *Environ. Res. Lett.*, 8, 014013.
- Bjork, A. A., et al., 2012: An aerial view of 80 years of climate-related glacier fluctuations in southeast Greenland. *Nature Geosci.*, 5, 427–432.
- Blum, M. D., and H. H. Roberts, 2009: Drowning of the Mississippi Delta due to insufficient sediment supply and global sea-level rise. *Nature Geosci.*, 2, 488–491.
- Boening, C., J. K. Willis, F. W. Landerer, R. S. Nerem, and J. Fasullo, 2012: The 2011 La Niña: So strong, the oceans fell. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L19602.
- Boretti, A., 2011: The measured rate of rise of sea levels is not increasing and climate models should be revised to match the experimental evidence. *R. Soc. Publish. eLett.*, July 12, 2011.
- Boretti, A., 2012a: Short term comparison of climate model predictions and satellite altimeter measurements of sea levels. *Coast. Eng.*, 60, 319–322.
- Boretti, A., 2012b: Is there any support in the long term tide gauge data to the claims that parts of Sydney will be swamped by rising sea levels? *Coast. Eng.*, 64, 161–167.
- Boretti, A. A., 2012c: Discussion of Natalya N. Warner, Philippe E. Tissot, “Storm flooding sensitivity to sea level rise for Galveston Bay, Texas”, *Ocean Eng.* 44 (2012), 23–32. *Ocean Eng.*, 55, 235–237.
- Boretti, A., and T. Watson, 2012: The inconvenient truth: Ocean levels are not accelerating in Australia or over the world. *Energy Environ.*, 23, 801–817.
- Boretti, A., 2013a: Discussion of Christine C. Shepard, Vera N. Agostini, Ben Gilmer, Tashya Allen, Jeff Stone, William Brooks and Michael W. Beck. Reply: Evaluating alternative future sea-level rise scenarios, *Nat. Hazards*, 2012 doi:10.1007/ s11069-012-0160-2. *Nat. Hazards*, 65, 967–975.
- Boretti, A., 2013b: Discussion of J.A.G. Cooper, C. Lemckert, Extreme sea level rise and adaptation options for coastal resort cities: A qualitative assessment from the Gold Coast, Australia. *Ocean Coast. Manage.*, 78, 132–135.



- Boretti, A. A., 2013c: Discussion of “Dynamic System Model to Predict Global Sea- Level Rise and Temperature Change” by Mustafa M. Aral, Jiabao Guan, and Biao Chang. *J. Hydrol. Eng.*, 18, 370–372.
- Bougamont, M., et al., 2007: The impact of model physics on estimating the surface mass balance of the Greenland ice sheet. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L17501.
- Bouttes, N., J. M. Gregory, and J. A. Lowe, 2013: The reversibility of sea-level rise. *J. Clim.*, 26, 2502–2513.
- Box, J. E., 2002: Survey of Greenland instrumental temperature records: 1873–2001. *Int. J. Climatol.*, 22, 1829–1847.
- Box, J. E., 2013: Greenland ice sheet mass balance reconstruction. Part II: Surface mass balance (1840–2010). *J. Clim.*, 26, 6974-6989.
- Box, J. E., and W. Colgan, 2013: Greenland ice sheet mass balance reconstruction. Part III: Marine ice loss and total mass balance (1840–2010). *J. Clim.*, 26, 6990- 7002.
- Box, J. E., L. Yang, D. H. Bromwich, and L. S. Bai, 2009: Greenland ice sheet surface air temperature variability: 1840–2007. *J. Clim.*, 22, 4029–4049.
- Box, J. E., X. Fettweis, J. C. Stroeve, M. Tedesco, D. K. Hall, and K. Steffen, 2012: Greenland ice sheet albedo feedback: Thermodynamics and atmospheric drivers. *Cryosphere*, 6, 821–839.
- Box, J. E., et al., 2013: Greenland ice sheet mass balance reconstruction. Part I: Net snow accumulation (1600–2009). *J. Clim.*, 26, 3919-3934.
- Bracegirdle, T. J., W. M. Connolley, and J. Turner, 2008: Antarctic climate change over the twenty first century. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 113, D03103.
- Braithwaite, R. J., and O. B. Olesen, 1989: Calculation of glacier ablation from air temperature, West Greenland. In: *Glacier Fluctuations and Climatic Change* [J. Oerlemans (ed.)]. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, pp. 219–233.
- Brierley, C., M. Collins, and A. Thorpe, 2010: The impact of perturbations to ocean-model parameters on climate and climate change in a coupled model. *Clim. Dyn.*, 34, 325–343.
- Broerse, D. B. T., L. L. A. Vermeersen, R. E. M. Riva, and W. van der Wal, 2011: Ocean contribution to co-seismic crustal deformation and geoid anomalies: Application to the 2004 December 26 Sumatra-Andaman earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 305, 341–349.
- Boé, J. Terray, L. Habets, F. Martin, 2007: Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydrometeorological studies. *Int. J. Climatol.*, Vol. 27, pp. 1643-1655.
- Booij, N., Ris, R. C., Holthuisen, L.H., 1999: A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions. 1. Model Description and Validation. *J. Geophys. Res.*, Vol. 104, pp. 7649-7666.
- Brown, S.J., Caesar, J., Ferro, C.A., 2008: Global changes in extreme daily temperature since 1950. *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D05, p. 115.
- Bruun, P. (1962). Sea-level-rise as a cause of shore erosion, *Journal of Waterways and Harbors Division (ASCE)* 88, pp117-130
- Caires, S., Swail, V.R., Wang, X.L. ,2006:. Projection and analysis of extreme wave climate. *J. Climate*, Vol. 19, No. 21, pp.5581-5605.
- Chen J.L., Wilson C.R & Tapley B.D: Contribution of ice sheet and mountain glacier melt to recent sea level rise, 2013

- Chen J.L., Wilson C.R., Ries J. C. & Tapley B. D., 2013: *Rapid ice melting drives Earth's pole to the east*.
- Church, J. A., and N. J. White, 2006: *A 20th century acceleration in global sea-level rise*. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01602.
- Church, J. A., and N. J. White, 2011: *Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century*. *Surv. Geophys.*, 32, 585–602.
- Church, J. A., N. J. White, and J. M. Arblaster, 2005: *Significant decadal-scale impact of volcanic eruptions on sea level and ocean heat content*. *Nature*, 438, 74–77.
- Church, J. A., P. L. Woodworth, T. Aarup, and W. S. Wilson, (eds.) 2010: *Understanding Sea-Level Rise and Variability*. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA, 428 pp.
- Church, J. A., D. Monselesan, J. M. Gregory, and B. Marzeion, 2013: *Evaluating the ability of process based models to project sea-level change*. *Environ. Res. Lett.*, 8, 015051.
- Church, J. A., J. M. Gregory, N. J. White, S. M. Platten, and J. X. Mitrovica, 2011a: *Understanding and projecting sea level change*. *Oceanography*, 24, 130–143.
- Church, J. A., et al., 2001: Changes in sea level. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noquer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 639–693.
- Church, J. A., et al., 2011b: *Revisiting the Earth's sea-level and energy budgets from 1961 to 2008*. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L18601.
- Chylek, P., J. E. Box, and G. Lesins, 2004: *Global warming and the Greenland ice sheet*. *Clim. Change*, 63, 201–221.
- Clark, J. A., and C. S. Lingle, 1977: *Future sea-level changes due to West Antarctic ice sheet fluctuations*. *Nature*, 269, 206–209.
- Clarke, P. J., D. A. Lavallee, G. Blewitt, T. M. van Dam, and J. M. Wahr, 2005: *Effect of gravitational consistency and mass conservation on seasonal surface mass loading models*. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L08306.
- Cogley, G., 2009a: *Geodetic and direct mass-balance measurements: Comparison and joint analysis*. *Ann. Glaciol.*, 50, 96–100.
- Cogley, G., 2012: *The future of the world's glaciers*. In: *Future Climates of the World*, 2nd ed. [A. Henderson-Sellers and K. McGuffie (eds.)]. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, and Philadelphia, PA, USA, pp. 197–222.
- Cogley, J. G., 2009b: *A more complete version of the World Glacier Inventory*. *Ann. Glaciol.*, 50, 32–38.
- Colberg, F., and K. L. McInnes, 2012: *The impact of future changes in weather patterns on extreme sea levels over southern Australia*. *J. Geophys. Res. Oceans*, 117, C08001.
- Coles, S. G., and J. A. Tawn, 1990: *Statistics of coastal flood prevention*. *Philos. Trans. R. Soc. London A*, 332, 457–476.
- Connolley, W. M., and T. J. Bracegirdle, 2007: *An Antarctic assessment of IPCC AR4 coupled models*. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22505.

Conrad, C. P., and B. H. Hager, 1997: Spatial variations in the rate of sea level rise caused by the present-day melting of glaciers and ice sheets. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 1503–1506.

Cook, A. J., and D. G. Vaughan, 2010: Overview of areal changes of the ice shelves on the Antarctic Peninsula over the past 50 years. *Cryosphere*, 4, 77–98.

Coles, S., 2001: *An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values*, Springer, London, 209 pages.

De Rouck J., Geeraerts J., Troch P., Kortenhaus A., Pullen T., Franco L.: *New Results on Scale Effects for Wave Overtopping at Coastal Structures*

Dickinson, R., Errico, R., Giorgi, F., Bates, G., 1989: A regional climate model for the western United States. *Clim. Chang.*, Vol. 15, No. 3, pp. 383-422.

Durman, C., Gregory, J., Kassell, D., Jones, R., Murphy, J., 2001: A comparison of extreme European daily precipitation simulated by a global and a regional climate model for present and future climates. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 127, pp.1005-1015.

Easterling David R., et al., 2000: *Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts*

Frías, M.D, Mínguez, R., Gutiérrez, J.M., Méndez, F.J. (2012): Future regional projections of extreme temperature in Europe: A nonstationary seasonal approach. *Clim. Chang.*, Vol. 113, pp. 371-392.

Galiatsatou P. & Prinos P.: *Analysing the Effects of Climate Change on Wave Height Extremes in the Greek Seas*.

Gerald A. Meehl, Francis Zwiers, Jenni Evans, Thomas Knutson, Linda Mearns & Peter Whetton: *Trends in Extreme Weather and Climate Events: Issues Related to Modeling Extremes in Projections of Future Climate Change*.

Gudmundsson, L., Bremnes, J.B., Haugen, J.E., Engen Skaugen, T. (2012). Technical Note: Downscaling RCM precipitation

IPCC 2013: *Climatic change 2013, The Physical Science Basis*

IPCC 2013: *Sea Level Change*

IPCC scenarios

IPCC special report: emissions scenarios

IPCC special report: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*

Kokkinos D., Prinos P. & Galiatsatou P., 2014: *Assessment of Coastal Vulnerability for Present and Future Climate Conditions in Coastal Areas of the Aegean Sea*.

Koutsoyiannis D. & Efstratiadis A., Georgakakos K.P., 2005: *Uncertainty Assessment of Future Hydroclimatic Predictions: A Comparison of Probabilistic and Scenario – Based Approaches*.

Koutsoyiannis D., Efstratiadis A., Mamassis N. & Christofides A., 2008: *On the credibility of climate predictions*

Krestenitis Y., Androulidakis Y., Kombiadou K., Makris C. & Baltikas V., 2014: *Modeling storm surges in the Mediterranean Sea under the A1B climate scenario*.

Marcos, M. and Tsimplis, M.N., 2008: *Coastal sea level trends in Southern Europe*, *Geophysical Journal International*, 175(1), 70-82

Martinez-Asensio, A., M. Marcos, M.N. Tsimplis, D. Gomis, S. Josey, G. Jorda, 2014: Impact of the atmospheric climate modes on Mediterranean sea level variability, *Global Planet*, 118, 1-15

Meehl, G. A., et al., 2005: How much more global warming and sea level rise? *Science*, 307, 1769–1772.

Meehl, G. A., et al., 2007: Global climate projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 755–828.

Meehl, G. A., et al., 2012: Relative outcomes of climate change mitigation related to global temperature versus sea-level rise. *Nature Clim. Change*, 2, 576–580.

Meier, M. F., 1984: Contribution of small glaciers to global sea level. *Science*, 226, 1418–1421.

Meier, M. F., et al., 2007: Glaciers dominate eustatic sea-level rise in the 21st century. *Science*, 317, 1064–1067.

Meinshausen, M., et al., 2011: The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Clim. Change*, 109, 213–241.

Menéndez, M., and P. L. Woodworth, 2010: Changes in extreme high water levels based on a quasi-global tide-gauge data set. *J. Geophys. Res. Oceans*, 115, C10011.

Menéndez, M., F. J. Méndez, I. J. Losada, and N. E. Graham, 2008: Variability of extreme wave heights in the northeast Pacific Ocean based on buoy measurements. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L22607.

Mercer, J. H., 1978: West Antarctic ice sheet and CO<sub>2</sub> greenhouse effect: A threat of disaster. *Nature*, 271, 321–325.

Mernild, S. H., and G. E. Liston, 2012: Greenland freshwater runoff. Part II: Distribution and trends, 1960–2010. *J. Clim.*, 25, 6015.

Mernild, S. H., G. E. Liston, C. A. Hiemstra, and J. H. Christensen, 2010: Greenland ice sheet surface mass-balance modeling in a 131-yr perspective, 1950–2080. *J. Hydrometeorol.*, 11, 3–25.

Merrifield, M. A., and M. E. Maltrud, 2011: Regional sea level trends due to a Pacific trade wind intensification. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L21605.

Mikolajewicz, U., M. Vizcaíno, J. Jungclaus, and G. Schurgers, 2007a: Effect of ice sheet interactions in anthropogenic climate change simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L18706.

Mikolajewicz, U., M. Groger, E. Maier-Reimer, G. Schurgers, M. Vizcaíno, and A. Winguth, 2007b: Long-term effects of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions simulated with a complex earth system model. *Clim. Dyn.*, 28, 599–634.

Miller, L., and B. C. Douglas, 2007: Gyre-scale atmospheric pressure variations and their relation to 19th and 20th century sea level rise. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L16602.

Milly, P. C. D., A. Cazenave, and M. C. Gennero, 2003: Contribution of climate-driven change in continental water storage to recent sea-level rise. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 100, 13158–13161.

Milly, P. C. D., et al., 2010: Terrestrial water-storage contributions to sea-level rise and variability. In: *Understanding Sea-Level Rise and Variability* [J. A. Church, P. L. Woodworth, T. Aarup and W. S. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA, pp. 226–255.

Milne, G. A., and J. X. Mitrovica, 1998: Postglacial sea-level change on a rotating Earth. *Geophys. J. Int.*, 133, 1–19.

Milne, G. A., W. R. Gehrels, C. W. Hughes, and M. E. Tamisiea, 2009: Identifying the causes of sea-level change. *Nature Geosci.*, 2, 471–478.

Mitrovica, J. X., N. Gomez, and P. U. Clark, 2009: The sea-level fingerprint of West

Morton, I.D., Bowers, J., Mould, 1997: *Estimating return period wave heights and wind speeds using a seasonal point process model*. Coast. Eng., Vol 31, No 1-4, pp. 211-219.

M. Monirul Qader Mirza, 2003: *Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?*

Paul A. Hwang, William J. Teague & Gregg A. Jacobs, David W. Wang, 2015: *A statistical comparison of wind speed, wave height, and wave period derived from satellite altimeters and ocean buoys in the Gulf of Mexico region*

Pfeffer, W. T., J. T. Harper, and S. O'Neel, 2008: Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise. *Science*, 321, 1340–1343.

Phillips, T., H. Rajaram, and K. Steffen, 2010: Cryo-hydrologic warming: A potential mechanism for rapid thermal response of ice sheets. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L20503.

Phillips, T., H. Rajaram, W. Colgan, K. Steffen, and W. Abdalati, 2013: Evaluation of cryo-hydrologic warming as an explanation for increased ice velocities in the wet snow zone, Sermeq Avannarleq, West Greenland. *J. Geophys. Res.*, 118, 1241–1256.

Pokhrel, Y. N., N. Hanasaki, P. J. F. Yeh, T. J. Yamada, S. Kanae, and T. Oki, 2012: Model estimates of sea-level change due to anthropogenic impacts on terrestrial water storage. *Nature Geosci.*, 5, 389–392.

Pokhrel, Y. N., N. Hanasaki, P. J. F. Yeh, T. J. Yamada, S. Kanae, and T. Oki, 2013: Overestimated water storage Reply. *Nature Geosci.*, 6, 2–3.

Pollard, D., and R. M. DeConto, 2009: Modelling West Antarctic ice sheet growth and collapse through the past five million years. *Nature*, 458, 329–332.

Polvani, L. M., M. Previdi, and C. Deser, 2011: Large cancellation, due to ozone recovery, of future Southern Hemisphere atmospheric circulation trends. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L04707.

Price, S. F., A. J. Payne, I. M. Howat, and B. E. Smith, 2011: Committed sea-level rise for the next century from Greenland ice sheet dynamics during the past decade.

Tolika K., Anagnostopoulou C., Krestenitis Y., 2014: *Relationship between atmospheric circulation types and storm surges over the Greek seas*.

Varavut Limpasuvan & Dennis L. Hartmann, 1999: *Wave maintained Annular Modes of Climate Variability*

Warrick R., Oerlemans J.: *Sea Level Rise, IPCC 2009*

White, N. J., J. A. Church, and J. M. Gregory, 2005: Coastal and global averaged sea level rise for 1950 to 2000. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L01601.

- **Ελληνική βιβλιογραφία**

Αναγνωστοπούλου Χ., Τολικά Κ., Βελίκου Κ., Τεγούλιας Ι., Βαγενάς Χ.: *Κλιματικές Μεταβολές και Μετεωρολογική Παλίρροια στο Αιγαίο. Μελέτη των επεισοδίων μετεωρολογικής παλίρροιας σε συνδυασμό με τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας*, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Αθήνα 2014.

Αναγνωστόπουλος Γ., 2009: *Διερεύνηση της Αξιοπιστίας των Κλιματικών Μοντέλων μέσω της Σύγκρισης τους με ιστορικές χρονοσειρές*.

Ανδρουλιδάκης Γ., Κοντός Γ., Κρεστενίτης Γ. & Γεωργακόπουλος Γ., 2009: *Επικινδυνότητα πλημμυρών στην Παράκτια Ζώνη της Ανατολικής Μεσογείου*

Γαλιατσάτου Π., 2009: Στατιστικές μέθοδοι προσομοίωσης ακραίων γεγονότων επιμέρους εφαρμογές σε μετεωρολογική παλίρροια, βροχόπτωση και κύμα.

Διαμάντη Π., 2014: Παράκτιες πλημμύρες στις ελληνικές ακτές και κλιματική αλλαγή.

Δουκάκης Ε., 2007: Φυσικές Καταστροφές και Παράκτια Ζώνη

Δουκάκης Ε.: Οι επιπτώσεις των Κλιματικών Αλλαγών στη Χερσαία Ζώνη του Κόλπου του Ναυπλίου

Δουκάκης Ε.: Μέθοδοι προσδιορισμού του ρυθμού μεταβολής των ακτογραμμών.

Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων: Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα του ελλαδικού χώρου.

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο αναφοράς – ΕΣΠΑ 2007 – 2013: Δράση Εθνικής Εμβέλειας «Συνεργασία», Πράξη Ι: «Συνεργατικά έργα μικρής και μεσαίας κλίμακας».

Ζάνης Π. & Τουρπάλη Κ.: Κλιματικά μοντέλα

Καραμπάς Θ.Β., Κρεστενίτης Ι.Ν., Σακελλαρίου Δ., Χασιώτης Θ., Μαλιαρός Δ.: Πρόληψη και Διαχείριση Θαλάσσιων Κινδύνων στην Παράκτια Ζώνη (CORI-INTERREG III B/ ARCHIMED): Κίνδυνοι από τσουνάμι και πλημμύρες

Κατσαφάδος Π., Μαυροματίδης Η., 2010, “Αρχές Κλιματολογίας- Μετεωρολογίας”

Κόκκινος Δ., Γαλιατσάτου Π., Πρίνος Π.: Δείκτης Τρωτότητας σε Κατάκλιση Παράκτιων Περιοχών του Αιγαίου πελάγους, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Αθήνα 2014.

Κοσμά Δ. & Πολυζώη Γ.: Περιβαλλοντικά συστήματα με εφαρμογές στη στατιστική: Κλιματική Αλλαγή: Δείκτες και Γεγονότα

Λυκουργιώτης Σ. & Στείρος Ε.: Μετεωρολογική παλίρροια και κίνδυνος πλημμυρών παράκτιων περιοχών στο Αιγαίο.

Λυκούσης Β., Σακελλαρίου Δ., Αλεξανδρή Σ., Ρουσάκης Γ., Νομικού Π., Μπάλλας Δ., ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε: Ο Ρόλος των Υποθαλάσσιων Κατολισθητικών Φαινομένων στη Διαμόρφωση, Εξέλιξη και Δυναμική της Παράκτιας Ζώνης του Δ. Κορινθιακού Κόλπου

Μαμούτος Ι., Τράγου Ε. & Κακαγιάννης Γ.: Εκτιμήσεις ανόδου της μέσης στάθμης των ελληνικών θαλασσών, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Αθήνα 2014.

Μπατελής Σ. & Μόσχου Ε.: Κλιματική αλλαγή, Δυναμική Hurst – Kolmogorov και Αβεβαιότητα

Νίκου Μ., 2014: Οι επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στο Σχεδιασμό του Χώρου. Εφαρμογή στη Νότιο Περίο.

Ξανθοπούλου Θ. & Κουτσογιάννης Δ., «Ενημερωτικό Δελτίο» Τ.Ε.Ε – 2206, 8/7/2002: Κλιματική επιδείνωση: Αντικειμενικές αδυναμίες αξιόπιστης πρόβλεψης και ελαφρότητες της ατεκμηρίωτης προφητείας

Ορφανού Λ., 2012: Αλλαγές στις ακραίες κλιματικές καταστάσεις και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον

Παπαδοπούλου Μ., 2012: Επικινδυνότητα παράκτιων περιοχών λόγω ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας

Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ., Βασιλάκης Ε., 2011: Μεταβολές της Στάθμης της Θάλασσας και Επιπτώσεις στις ακτές

Νασσοπούλου Ι., Πούλος Σ.Ε, Καρύμπαλης Ε., Γάκη – Παπαναστασίου Κ.: *Μελέτη της τρωτότητας των βόρειων ακτών (Αντίρριο - Ερατεινή) του δυτικού Κορινθιακού κόλπου ως προς την αναμενομένη άνοδο τη θαλάσσιας στάθμης*

Παπανικολάου Δ. & Διακάκης Μ.: *Μεταβολές στην ένταση και την κατανομή των φυσικών καταστροφών*

Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ. & Βασιλάκης Ε.: *Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές.*

Παπαποστόλου Χ., 2008: *Οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής των νέων Μουδανιών.*

Παράσχος Α., 2012: *Κλιματική αλλαγή και στάθμη της θάλασσας*

Παυλόπουλος Κ., *Μεταβολές της Θαλάσσιας Στάθμης στο Αιγαίο τα τελευταία 6000 χρόνια: Αποτελέσματα από καταγραφές σε ιζήματα και beachrocks σε παράκτια περιβάλλοντα*, 9<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας 2009.

Πετρέλη Β.Ν., 2012: *Διερεύνηση των μοντέλων εκτίμησης της μετακίνησης της ακτογραμμής*

Πρίνος Π.: *Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις ελληνικές θάλασσες και παράκτιες περιοχές – το πρόγραμμα Θαλής - CCSEAWAVS*, Έκτο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Αθήνα 2014.

Σαμαρίνας Νικηφόρος, 2012: *Έρευνα στάσεων και αντιλήψεων για την κλιματική αλλαγή και τα ακραία καιρικά φαινόμενα στη Μαγνησία.*

Σκρέτα Α., Λειβαδίτης Γ. & Πούλος Σ.Ε.: *Γεωμορφολογική Εξέλιξη της Παράκτιας Ζώνης της Αιγιαλείας στο ανώτερο ολόκαινο: φυσικές παράμετροι και ανθρωπίνη παρέμβαση.*

Δρ. Τακβόρ Σουκισιάν: *Ωκεάνια κυκλοφορία και το φαινόμενο El Niño*

Τολικά Κ., Αναγνωστοπούλου Χ., Τεγούλιας Ι., Βελίκου Κ., Βαγενάς Χ., *Κλιματικές Μεταβολές και Μετεωρολογική Παλίρροια στο Αιγαίο, Δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (10x10km) του μοντέλου RegCM3: Συγκρίσεις και μελλοντικές προβολές στην Ελληνική Περιοχή*, Thalys Annual Meeting \_2015, Thessaloniki 2-3 February 2015.

Τόλικα Κ., 2005: *Εκτιμώμενες κλιματικές αλλαγές στον ελληνικό χώρο κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα με τη χρήση κλιματικών μοντέλων.*

Τούρπαλη Κλ.: *Σενάρια Εκπομπών σύμφωνα με το IPCC*

Χαραλαμπάκης Μ., Χασιώτης Θ. & Στεφάτος Α.: *Γεω-επικινδυνότητες και η Επίδραση τους σε Παράκτιες Περιοχές. Παράδειγμα: Η περιοχή Ξυλόκαστρου στον Κορινθιακό Κόλπο και τα αποτελέσματα της προσβολής από tsunami.*

Χρονόπουλος Κ., 2010: *Παλαιογεωγραφική αναπαράσταση του ελληνικού αρχιπελάγους τα τελευταία 150.000 χρόνια με τη χρήση του ARCGIS / ARCVIEW.*

- **Πηγές Διαδικτύου**

<http://www.carbonbrief.org/blog/2013/06/extra-water-or-more-heat-whats-driving-sea-level-rise/>

<https://geographyas.info/coasts/sea-level-change/>

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch10s10-es-8-sea-level.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch10s10-es-8-sea-level.html)

<http://www.climate.org/topics/sea-level/index.html>

<http://www.naftemporiki.gr/story/781367/yxoxorei-stathero-tmima-tou-pagokalummatos-tis-groilandias>

<http://www.news.gr/perivallon/planhths-gh/article/193801/pio-pahy-to-stroma-pagoy-sthn-antarktikh.html>

<http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=512770>

<http://www.nasa.gov/>

[https://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](https://www.wmo.int/pages/index_en.html)

[http://myithaka.nl/climategr/?page\\_id=478](http://myithaka.nl/climategr/?page_id=478)

[http://www.e-nautilia.gr/blog-post\\_3905/](http://www.e-nautilia.gr/blog-post_3905/)

<http://www.tovima.gr/world/article/?aid=168044>

<http://www.econews.gr/2014/08/05/klimatiki-allagi-ellada-116838/>

<http://www.thepressproject.gr/article/67043/Ola-osa-prepei-na-kserete-gia-tin-klimatiki-allagi>

<http://www.geodifhs.com/nea/-201121>

<http://www.watersave.gr/index.php/2013-11-08-12-09-28/46-2013-11-08-12-27-08>

<http://wiki.litusgo.com/index.php>

<http://newpost.gr/post/97640/i-klimatiki-allagi-kathysterei-tin-epoxi-ton-pagetnon>

<http://www.hcmr.gr/gr/indexel.php>

[http://politesfokidas.blogspot.gr/2010/03/blog-post\\_28.html](http://politesfokidas.blogspot.gr/2010/03/blog-post_28.html)

<http://climatechange.edu.gr/>