

1. Κλιματική αλλαγή

1.1 Ορισμός κλιματικής αλλαγής

Ο όρος «κλιματική αλλαγή» χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει οποιαδήποτε διακύμανση ή αλλαγή στα κλιματικά χαρακτηριστικά του πλανήτη μας. Ειδικότερα, αφορά την μεταβολή, συστηματική ή σταδιακή, σε στοιχεία του κλίματος καθολικά σε περιοχές της γης ή σε ολόκληρο τον πλανήτη που διαρκεί και διατηρείται σε μεγάλη χρονική περίοδο (Benson, 2008). Η κλιματική αλλαγή μπορεί εξίσου να χαρακτηριστεί ως η μεταβολή του καιρού που αφορά συγκεκριμένα την ένταση των καιρικών φαινομένων. Παράλληλα, οι μακροπρόθεσμες αυτές αλλαγές στις παγκόσμιες καιρικές συνθήκες σχετίζονται κυρίως με την αύξηση της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της δραστηριότητας καταιγίδας, με χαρακτηριστικά όπως πολύ θερμά καλοκαίρια, ξηρασία και αδιάκοπες βροχές με απόρροια αυτών οι συχνές πλημμύρες (Benson, 2008).

Τα αίτια της κλιματικής αλλαγής αποδίδονται αρχικά σε φυσικές εσωτερικές διεργασίες ή σε εξωτερικές δυνάμεις. Βασικό αίτιο της όμως στο οποίο αποδίδεται και η ραγδαία αλλαγή των τελευταίων 100 χρόνων είναι η ανθρωπογενής παρέμβαση στη σύνθεση της ατμόσφαιρας και στη χρήση της γης (VijayavenkataRaman *et al.*, 2012). Η έμφαση των επιστημόνων και των ατόμων στην κλιματική αλλαγή στηρίζεται στο γεγονός πως η ίδια αποτελεί τον σημαντικότερο παγκόσμιο περιβαλλοντικό κίνδυνο, ο οποίος αν δεν ανατραπεί θα προκαλέσει αρνητικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις σε όλο τον πλανήτη. Συνοπτικά, μερικές από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη που θα απειλήσει με αφανισμό αρκετούς ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς, η αύξηση της οξύτητας των υδάτων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων με διαφορετική επίδραση στις διάφορες περιοχές του πλανήτη.

1.2 Αίτια

Η αύξηση των επιπέδων των αερίων του θερμοκηπίου, ο ορισμός των οποίων θα αναλυθεί παρακάτω, αποτελεί την πρώτη αιτία της κλιματικής αλλαγής, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε περαιτέρω θέρμανση, η οποία, με τη σειρά της, θα μπορούσε να έχει αντίκτυπο στο κλίμα του κόσμου, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ένα φαύλο κύκλο (VijayavenkataRaman *et al.*, 2012). Συνεχίζοντας, η κλιματική αλλαγή μπορεί επίσης να προκαλείται από έναν ενδογενή φυσικό εξαναγκασμό, που εμφανίζεται ως αλλαγές στις τροχιακές μεταβλητές της Γης, ή ηλιακές εκπομπές και άλλες φυσικές εσωτερικές διαδικασίες του κλιματικού συστήματος της Γης (Benson, 2008). Οι δύο παραπάνω βασικές αιτίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, με την πρώτη που αφορά τους εξωγενείς παράγοντες να πρωταγωνιστεί στην πυροδότηση της κλιματικής αλλαγής.

Σύμφωνα με τους VijayavenkataRaman *et al.*, (2012), η απαρχή της κλιματικής αλλαγής και της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα τοποθετείται στο ξέσπασμα της Βιομηχανικής Επανάστασης, καθώς τότε μέσω των εργοστασίων προστέθηκαν σημαντικές ποσότητες αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Greenhouse Gas - GHGs). Σημειώνεται πως αέρια θερμοκηπίου θεωρούνται το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το μονοξείδιο του δινιτρογόνου ή οξείδιο του αζώτου (N_2O), τα αέρια αλογονάνθρακες και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) (Benson, 2008). Ειδικότερα, έχει αναφερθεί στην τρίτη έκθεση αξιολόγησης για την κλιματική αλλαγή 2001, ότι οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και οξειδίου του αζώτου αυξήθηκαν κατά περίπου 31%, 151% και 17%, αντίστοιχα, μεταξύ 1750 και 2000 (VijayavenkataRaman *et al.*, 2012).

Ωστόσο, η σημαντικότερη αιτία για τις επιδράσεις των εξωτερικών ανθρωπογενών και φυσικών παραγόντων στο κλίμα συνήθως σχετίζεται στην σχετική βιβλιογραφία με την έννοια της ακτινοβολίας. Η ακτινοβολητική πίεση (radiative pressure) ορίζεται ως μία κατάσταση που διαταράσσει την ισορροπία της υπέρυθρης ακτινοβολίας μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται από τον Ήλιο και της ακτινοβολίας

που εξέρχεται από τη Γη (Benson, 2008). Αποτελεί στην ουσία ένα μέτρο της επιρροής που έχει ένας παράγοντας στην αλλαγή της ισορροπίας της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας στο σύστημα της Γης-ατμόσφαιρας και είναι ένας δείκτης της σημασίας του παράγοντα ως δυνητικού μηχανισμού αλλαγής του κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) AR4 report).

Σύμφωνα με τον Benson (2008), τα είδη της ακτινοβολίας χωρίζονται σε θετική και αρνητική. Η θετική ακτινοβολία προκαλεί κυρίως τη σχετική θέρμανση της επιφάνειας της Γης και οφείλεται σε αυξανόμενα επίπεδα αερίων του θερμοκηπίου ενώ η αρνητική ακτινοβολία τείνει να επιφέρει την ψύξη της επιφάνειας της Γης. Οι αλλαγές στις τροχιακές μεταβλητές, η ηλιακή έξοδος ή η εκρηκτική ηφαιστειακή δραστηριότητα, είναι φυσικοί εξωτερικοί παράγοντες που μπορούν επίσης να προκαλέσουν ακτινοβολική πίεση (Benson, 2008). Ο συστηματικός λογαριασμός αυτών των παραγόντων που επιβάλλουν το κλίμα και των διαφορών τους σε ένα χρονικό διάστημα απαιτείται για την κατανόηση των κλιματικών αλλαγών στο παρελθόν στο πλαίσιο των φυσικών παραλλαγών και να προβλέψουμε τη φύση των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών (Benson, 2008). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος της βιόσφαιρας, οι οποίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε θερμική πίεση, αλλαγή στα πρότυπα βροχοπτώσεων, αύξηση της στάθμης της θάλασσας, εισβολή αλμυρού νερού, απώλεια βιοποικιλότητας, ξηρασία, απώλεια ενδιαιτημάτων και εξάντληση και ρύπανση των γλυκών υδάτων (Benson, 2008).

Η έρευνα του Benson (2008) δείχνει ότι η ακτινοβολητική πίεση που προκαλείται από τα αέρια του θερμοκηπίου είναι η κύρια αιτία της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες, τα GHG παγιδεύουν τη θερμική ενέργεια του Ήλιου και επιβάλλουν την ανακατανομή της παγιδευμένης ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη κοντά στην επιφάνεια της Γης, ρυθμίζοντας έτσι τη θερμοκρασία της Γης (Benson, 2008). Τα GHG, ειδικά το CO₂, είναι οι κύριοι μη κλιματικοί παράγοντες που οδηγούν στην κλιματική αλλαγή (Benson, 2008). Η συνεχής συσσώρευση αυτών των αερίων αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στις κλιματολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα (Benson, 2008).

1.3 Επιπτώσεις

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο όρος «κλιματική αλλαγή» συγχέεται με εκείνο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και του φαινομένου του θερμοκηπίου (Benson, 2008). Παρ' αυτά, θα πρέπει αν υπογραμμιστεί πως η κλιματική αλλαγή συνάδει μόνο με οποιαδήποτε διαφοροποίηση στα σύγχρονα κλιματικά συστήματα, είτε λόγω ενδογενών παραγόντων είτε ως εξωγενών δραστηριοτήτων, με αποτέλεσμα την αύξηση σε μια χρονική περίοδο της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών της Γης, που είναι γνωστή ως υπερθέρμανση του πλανήτη (Benson, 2008). Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως η υπερθέρμανση του πλανήτη δεν αποτελεί ταυτόσημο όρο με την κλιματική αλλαγή αλλά πρόκειται στην πραγματικότητα για επίπτωση- συνέπεια αυτής.

Το κλίμα της Γης παρουσιάζει συνεχείς αλλαγές σε όλη την ιστορία της ύπαρξης της. Μόλις τα τελευταία 650.000 χρόνια υπήρξαν επτά κύκλοι παγετώδους προόδου και υποχώρησης, με το απότομο τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων πριν από περίπου 7000 χρόνια να σηματοδοτεί την αρχή της σύγχρονης κλιματικής εποχής - και του ανθρώπινου πολιτισμού (VijayavenkataRaman *et al.*, 2012). Οι περισσότερες από αυτές τις κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε πολύ μικρές παραλλαγές στην τροχιά της Γης που αλλάζουν την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει ο πλανήτης μας (VijayavenkataRaman *et al.*, 2012) και που παραπάνω χαρακτηρίστηκαν ως ενδογενείς παράγοντες.

Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) έχει υιοθετήσει τη φράση **κλιματική μεταβλητότητα** για αλλαγές που προκαλούνται από τον άνθρωπο σε κλιματικά στοιχεία (Benson, 2008). Η κλιματική μεταβλητότητα- απόρροια της κλιματικής αλλαγής- είναι συνήθως φυσικής προέλευσης, που προκύπτει κυρίως από μικρές διακυμάνσεις στις πολύπλοκες διεργασίες που μετακινούν τη θερμότητα και τη μάζα μεταξύ της ατμόσφαιρας, των θαλάσσιων υδρόβιων οικοσυστημάτων και των επιφανειών της γης (Benson, 2008). Για παράδειγμα, το El Niño – Southern Oscillation (ENSO) προκαλείται από την αποδυνάμωση των αληγών ανέμων στο νότιο τμήμα του Ειρηνικού Ωκεανού και έχει επηρεάσει σταθερά τις περιφερειακές διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της

θερμοκρασίας σε πολλές από τις τροπικές περιοχές, τους υποτροπικούς και κάποιους μεσαίου γεωγραφικού πλάτους περιοχές, που οδηγούν σε θερμότερα επεισόδια σε αυτές τις περιοχές (Benson, 2008). Οι αληγείς άνεμοι μεταφέρουν θερμότερο αέρα δυτικά, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας και αυξημένη βροχόπτωση (Benson, 2008).

Παράλληλα με τα παραπάνω αποτελέσματα των ενδογενών αιτιών της κλιματικής αλλαγής και σύμφωνα με αναφορές της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), οι άνθρωποι αλλάζουν το φυσικό κλίμα της Γης και επιδρούν εξίσου σε αυτό. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο, εάν αφεθεί και συνεχιστεί αμείωτα, θα μπορούσε να έχει βαθιές και ανεπανόρθωτες συνέπειες για την οικονομία και την ποιότητα ζωής των μελλοντικών γενεών (Benson, 2008). Παράδειγμα αυτών είναι η κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων, η οποία αυξάνεται σταθερά από την προ-βιομηχανική περίοδο, προκαλώντας μια συνολική αύξηση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως του CO₂, γεγονός το οποίο όπως σημειώθηκε σε προηγούμενη ενότητα χαρακτηρίζεται καταστροφικό για το κλίμα (Benson, 2008).

Τα στοιχεία για την ταχεία αλλαγή του κλίματος (IPCC Fourth Assessment Report) είναι αξιοσημείωτα (VijayavenkataRaman *et al.*, 2012):

- (1) Αύξηση της στάθμης της θάλασσας: Η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε περίπου 17 εκατοστά (6,7 in.) τον προηγούμενο αιώνα. Το ποσοστό της τελευταίας δεκαετίας, ωστόσο, είναι σχεδόν διπλάσιο από τον περασμένο αιώνα.
- (2) Αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας: Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αύξησης της θερμοκρασίας έχει συμβεί από τη δεκαετία του 1970, με τα 20 θερμότερα χρόνια από το 1981 και με τα 10 θερμότερα χρόνια να συμβαίνουν τα τελευταία 12 χρόνια.
- (3) Θέρμανση των ωκεανών: Οι ωκεανοί έχουν απορροφήσει μεγάλο μέρος της αυξημένης θερμότητας, με τα επιφανειακά 700 μέτρα (περίπου 2300 πόδια) του ωκεανού δείχνοντας θέρμανση 0,302° Φαρενάιτ από το 1969.

- (4) Συρρίκνωση των πάγων: Τα φύλλα πάγου της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής έχουν μειωθεί σε μάζα. Τα δεδομένα από το πείραμα ανάκτησης βαρύτητας και κλίματος της NASA δείχνουν ότι η Γροιλανδία έχασε 150-250 km³ (36-60 κυβικά μίλια) πάγου ετησίως μεταξύ 2002 και 2006, ενώ η Ανταρκτική έχασε περίπου 152 km³ (36 κυβικά μίλια) πάγου μεταξύ του 2002 και του 2005.
- (5) Ελάττωση του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής: Τόσο η έκταση όσο και το πάχος του πάγου της Αρκτικής έχει μειωθεί γρήγορα τις τελευταίες δεκαετίες.
- (6) Παγετώδης υποχώρηση: Οι παγετώνες υποχωρούν σχεδόν παντού σε όλο τον κόσμο - συμπεριλαμβανομένων των Άλπεων, των Ιμαλαίων, των Άνδεων, των Βραχωδών, της Αλάσκας και της Αφρικής.
- (7) Οξίνιση των ωκεανών: Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, η οξύτητα της επιφάνειας των ωκεανών έχει αυξηθεί κατά περίπου 30%. Η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που απορροφάτε από το ανώτερο στρώμα της υδάτινης στήλης των ωκεανών αυξάνεται κατά περίπου 2 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως.