



**ΘΕΜΑΤΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**Κλιματική Αλλαγή:
Διεπιστημονικές Προσεγγίσεις**

**7^{ος}
τόμος**

Επιμέλεια
Ευάγγελος Ι. Μανωλάς
Ευάγγελος Δ. Πρωτοπαπαδάκης

**ΕΚΔΟΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΟΥ Δ.Π.Θ.**

Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
7^{ος} Τόμος: Κλιματική Αλλαγή: Διεπιστημονικές Προσεγγίσεις

Έκδοση Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Επιμέλεια: Ευάγγελος Ι. Μανωλάς & Ευάγγελος Δ. Πρωτοπαπαδάκης

ISSN: 1791-7824

ISBN: 978-960-9698-11-5

Copyright © 2015

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων,
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ορεστιάδα

Ημερομηνία Έκδοσης: Δεκέμβριος 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Αλκιβιάδης Ν. Δερβιτσιώτης ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ, ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	1
Ευάγγελος Δ. Πρωτοπαπαδάκης Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ, Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΚΑΙ Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΟΥ ΜΟΝΑΧΙΚΟΥ ΚΑΒΑΛΑΡΗ	10
Μιχαήλ Κ. Μαντζανάς ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ. ΑΡΧΑΙΟΕΛΛΗΝΙΚΕΣ - ΒΥΖΑΝΤΙΝΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	17
Χρήστος Α. Τσέκος Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΗΘΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	27
Αικατερίνη Ε. Ζέρβα & Γεώργιος Ε. Τσαντόπουλος Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	33
Βαρδής-Δημήτρης Ανεζάκης ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΣΑΦΟΥΣ ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	45
Παναγιώτης Τσιαμαντάς ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΚΙΝΔΥΝΟ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΑΛΓΕΒΡΑ ΚΑΙ ΜΠΕΥΖΙΑΝΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ	66
Κωνσταντίνος Δεμερτζής & Λάζαρος Ηλιάδης ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟΚΑΤΑΚΤΗΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΑΣΙΑΤΙΚΟΥ ΚΟΥΝΟΥΠΙΟΥ ΤΙΓΡΗΣ (AEDES ALBORICTUS)	82
Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου, Απόστολος Μανώλης & Γεώργιος Βαρσάμης Η ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΟΣ: ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	96
Χρήστος Καραχρήστος & Σπυρίδων Γαλατσίδας ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	110
Αντώνιος Παπαδημητρίου Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΧΕΡΣΑΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	121

Αναστασία Κ. Πασχαλίδου

ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ:
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΡΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ 133

Μαρία Γεωργουσίδου

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟΝ ΤΟΥΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ 143

Ευάγγελος Ι. Μανωλάς

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 21ο ΑΙΩΝΑ 161

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο 7^{ος} τόμος της σειράς *Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων* με τίτλο «Κλιματική Αλλαγή: Διεπιστημονικές Προσεγγίσεις» περιέχει τα κείμενα 14 εισηγήσεων που παρουσιάστηκαν στην επιστημονική διημερίδα με τον ίδιο τίτλο, την οποία διοργάνωσε το Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης στην Ορεστιάδα στις 12 και 13 Μαΐου 2015.

Η κλιματική αλλαγή είναι πολυσύνθετο πρόβλημα. Αφορά πλειάδα επιστημών, τη φυσική, τη χημεία, την οικολογία, τη φιλοσοφία, την πολιτική επιστήμη, την κοινωνιολογία, την ψυχολογία. Αν και στο μέλλον μπορεί να ανακαλυφθούν τεχνολογίες που θα διευκολύνουν τη μετάβαση σε περισσότερες φιλικές προς το περιβάλλον οικονομίες, εντούτοις, δεν έχουμε χρόνο να περιμένουμε να δούμε τι θα συμβεί. Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής απαιτεί ριζικές αλλαγές στη συμπεριφορά μας όχι μόνο σε προσωπικό αλλά και σε πλανητικό επίπεδο.

Ο ανά χείρας τόμος θίγει πολλά από τα παραπάνω ζητήματα ώστε να μπορέσει ο αναγνώστης να διαφωτιστεί περισσότερο όχι μόνο για την πολυπλοκότητα του προβλήματος αλλά και για τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά η πρόκληση της κλιματικής αλλαγής.

Ευχαριστούμε θερμά όλους τους κριτές που αξιολόγησαν τις εργασίες του τόμου. Επίσης, ευχαριστούμε θερμά όλους τους συγγραφείς για τα κείμενα τους αλλά και τη συνεργασία τους κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας αυτής της έκδοσης.

Ευάγγελος Ι. Μανωλάς

Ευάγγελος Δ. Πρωτοπαπαδάκης

Ορεστιάδα, Δεκέμβριος 2015

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ, ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Αλκιβιάδης Ν. Δερβιτσιώτης
Αναπληρωτής Καθηγητής
Τμήμα Νομικής
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή. Οι παράγοντες της κλιματικής αλλαγής. Η θεσμική διάσταση της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι διεθνείς συμβάσεις και οι διεθνείς πολιτικές. Η Σύμβαση της Νέας Υόρκης και το πρωτόκολλο του Κυότο. Η Ευρωπαϊκή διάσταση και η νέα διάσκεψη στο Παρίσι.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, πρωτόκολλο του Κυότο, δίκαιο προστασίας φυσικού περιβάλλοντος

Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Σε μερικές ημέρες, από τη δημοσίευση του τόμου, στον οποίο περιλαμβάνεται η εργασία αυτή, πρόκειται να διεξαχθεί στο Παρίσι η σύνοδος κορυφής των Ηνωμένων Εθνών. Κυρίαρχο θέμα είναι η κλιματική αλλαγή, συζήτηση η οποία δεν διεκόπη το τελευταίο χρονικό διάστημα, αν και διεξάγεται υπό τη σκιά της αποτυχίας που συνόδευσε την αντίστοιχη διάσκεψη της Κοπεγχάγης η οποία έλαβε χώρα πριν έξι έτη.

Σκοπός της διάσκεψης των Παρισίων είναι η διαμόρφωση συμφώνου, το οποίο, με νομικά δεσμευτικό τρόπο για τα συμβαλλόμενα κράτη, φιλοδοξεί να παρέμβει ρυθμιστικά και να περιορίσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Υποστηρίζεται ότι τα αέρια του θερμοκηπίου συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη εμποδίζοντας έτσι την αειφόρο ανάπτυξη. Ήδη διαπιστώθηκε ότι το 2014 ήταν το θερμότερο έτος από το 1880, έτος από το οποίο άρχισε η καταγραφή της θερμοκρασίας, ενώ ο Μάρτιος του τρέχοντος έτους (2015) ήταν ο θερμότερος Μάρτιος από μετρήσεως της θερμοκρασίας.

Στα ανησυχητικά στοιχεία τα οποία αθροιζόμενα συνθέτουν το ζήτημα περιλαμβάνονται ιδίως η αύξηση της θερμοκρασίας στους ωκεανούς, ο ταχύς ρυθμός τήξης των πάγων στην Ισλανδία, η συχνότερη εμφάνιση καύσωνα στα αστικά κέντρα. Περισσότερο ανησυχητικές εμφανίζονται οι πληροφορίες ότι η τήξη των πάγων στην Ανταρκτική αποδυναμώνει τη βαρύτητα της Γης ή ότι η κλιματική αλλαγή αποσυντονίζει τις μέλισσες, έντομα απολύτως αναγκαία, για τη γονιμοποίηση φυτών και φύσης. Η σχετική συζήτηση, που διεξάγεται ανεπισημως, εμφανίζει ίσως διαβαθμισμένη και κλιμακούμενη αξιοπιστία, εντάσσει στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και στοιχεία εμφανώς ετερόκλητα μεταξύ τους, όπως η θνησιμότητα των πιγκουίνων και της πολικής αρκούδας, αλλά και αύξηση των γεννήσεων κοριτσιών και η αύξηση της εγκληματικότητας.

Ωστόσο εξακολουθούν να είναι μετρήσιμα μεγέθη και είναι δυνατό να αποδοθούν στην κλιματική αλλαγή στοιχεία που ανάγονται στη μείωση των δασών, στην ελάττωση των πληθυσμών των ιχθύων, αλλά και στην εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως οι καταιγίδες τύπου «El Niño».

Πλησίον αυτών των στοιχείων είναι δυνατή η παράθεση ενός ακόμη ανησυχητικού στοιχείου, ήτοι η αύξηση των προσφύγων λόγω της κλιματικής αλλαγής (Περί των προσφύγων εν γένει βλ. αντί άλλων Π. Νάσκου-Περράκη 1991). Πρόκειται κυρίως για κατοίκους νήσων και νησίδων, οι οποίες εξαφανίζονται λόγω της ανόδου της στάθμης των θαλασσιών υδάτων.

Οι σχετικές συζητήσεις υπό την αιγίδα του Ο.Η.Ε δεν παρουσιάζουν πλέον την αρχική δυναμική, όταν δεν αποτυγχάνουν, όπως η διάσκεψη της Βαρσοβίας το 2013. Η στασιμότητα και η έλλειψη προόδου στην θέσπιση δεσμευτικής διεθνούς σύμβασης αποδίδεται στις διαφωνίες που αναπτύσσονται μεταξύ των πλουσίων και των ανερχόμενων οικονομιών. Η ανωτέρω διαπίστωση δεν είναι καθολικής σημασίας, διότι συμβαίνουν και ευτυχή περιστατικά που προάγουν-έστω προσωρινά-το νομικό πλαίσιο και επιτρέπουν την συνέχεια των συζητήσεων. Σε αυτά ανήκει αναμφισβήτητα η συμφωνία της Λίμα. Συγκεκριμένα, το μόλις τεσσάρων (4) σελίδων πόρισμα της διάσκεψης της Λίμα, στο οποίο απέληξαν οι διεργασίες δύο εβδομάδων ζητεί από τις εκατόν ενενήντα Πολιτείες, που συμμετείχαν, να διαμορφώσει και να υποβάλλει η κάθε μία το σχέδιό της για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Τα σχέδια αυτά, ακολούθως, πρόκειται να αποτελέσουν τη βάση για να επιτευχθεί παγκόσμια συμφωνία, καθώς πρέπει, το κάθε ένα, να ορίζει με τρόπο σαφή και κατανοητό τις δεσμεύσεις της χώρας για τη μείωση της έκλυσης των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στην οπωσδήποτε σύντομη ανάπτυξη που ακολουθεί, επιχειρείται η σε αδρές γραμμές παρουσίαση των πραγματικών διαστάσεων του θέματος και αμέσως μετά οι προσπάθειες για τη θεσμική αντιμετώπισή του.

Η κλιματική αλλαγή ως παράγων απειλής

Είναι τόσο κοινός και γνωστός ο αφορισμός «ότι οι σύγχρονες απειλές είναι η ανισότητα των εισοδημάτων, τα χρέη των κυβερνήσεων και η κλιματική αλλαγή», ώστε έχουν απωλεσθεί τα ίχνη αυτού, ο οποίος τον διατύπωσε.

Αν και η ανωτέρω διαπίστωση συμπυκνώνει τρεις από τις σημαντικότερες απειλές κατά της ανθρωπότητας, δείχνει να προσπερνά, ή να αερολογεί με τρόπο, που ενδεχομένως υποβαθμίζει, θέματα όπως η απειλή από αλόγιστη χρήση της πυρηνικής ενέργειας (βλ. Α. Δερβιτσιώτη, 2013), η αύξηση του πληθυσμού της γης, η επάρκεια και η διαφαινόμενη εξάντληση των ενεργειακών διαθεσίμων, η ανάγκη για αύξηση της ενέργειας από ήπιες και ανανεώσιμες πηγές, οι απειλές στην ατμόσφαιρα, η μόλυνση στην θάλασσα και στην στεριά. Όλα τα ανωτέρω στοιχειοθετούν απειλή για την ύπαρξη της ανθρωπότητας και συγχρόνως την υπέρτατη δοκιμασία του πολιτισμού (βλ. Γ. Γραμματικάκη, 2014).

Ιδιαίτερος ανησυχητική είναι η παραγωγή ραδιενεργών καταλοίπων τα οποία επιδρούν επί του φυσικού περιβάλλοντος και επί του ανθρώπου με τρόπο, ο οποίος καθιστά την αποδοχή της πυρηνικής ενέργειας πρόωπη και εν τέλει αναξιόπιστη, καθώς απαιτούνται εκατοντάδες έτη για την εξουδετέρωση της ραδιενέργειας.

Εξάλλου το υψηλό, σχεδόν απαγορευτικό, κόστος, που απαιτείται να καταβληθεί για την εκμετάλλευση της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας μεταθέτει στο μέλλον,

τόσο την ανάπτυξη των αντίστοιχων δικτύων, όσο και τη χρήση τους. Πλησίον των ανωτέρω μορφών ήπιας και ανανεώσιμης ενέργειας υπάρχει επίσης η ενέργεια από τα επιφανειακά ύδατα, από τις υπόγειες δεξαμενές θερμών υδάτων (γεωθερμικά πεδία) καθώς και από τα θαλάσσια κύματα. Αν και οι ανωτέρω μορφές ενέργειας θεωρούνται ακόμη ακριβές, πρέπει να επαναφέρουμε διαρκώς στο νου μας ότι «αν επανέλθουν στην υπηρεσία της ανθρώπινης επιβίωσης ο ήλιος, ο άνεμος, η γη, η θάλασσα και το νερό ανανεώνουμε τους δεσμούς του ανθρώπου με τη φύση» (Έτσι ο Γ. Γραμματικάκης, 2014).

Παρά ταύτα η λεγόμενη «ενεργειακή κρίση» οφείλεται στη μετατροπή μεγάλου μέρους της ενέργειας σε θερμότητα. Αυτή με τη σειρά της προκαλεί θερμική μόλυνση, η οποία είναι ήδη αντιληπτή στις μεγάλες πόλεις, οι οποίες έχουν διαφορά θερμοκρασίας από την ύπαιθρο.

Η κατάσταση αυτή έχει προκαλέσει φόβους ότι η Γη πλησιάζει στο σημείο της ανόδου της μέσης θερμοκρασίας της κατά δύο βαθμούς Κελσίου. Η πρόβλεψη αυτή, φαινομενικά αθώα, βασίζεται στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από την καύση του πετρελαίου και του κάρβουνου. Στο διοξείδιο του άνθρακα αποδίδεται η ευθύνη για την παραμονή της θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Τα δεδομένα αυτά οδηγούν στην υπόθεση ότι η άνοδος της θερμοκρασίας της Γης κατά δύο βαθμούς θα οδηγήσει σε νέο κατακλυσμό, «χωρίς αυτήν τη φορά ορατή τη δυνατότητα κατασκευής μιας κιβωτού για την επιβίωση του είδους» (βλ. Γ. Γραμματικάκη, 2014). Ο κατακλυσμός αυτός θα προκληθεί από την τήξη των πάγων της Ανταρκτικής, με συνέπεια την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας.

Εκτός του διοξειδίου του άνθρακα αυξημένες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν επίσης αέρια, με βλαπτική επίδραση στη ζωή, όπως το μεθάνιο ή τα οξείδια του αζώτου. Εκτός των δεδομένων που κωδικώς αποκαλούνται «φαινόμενο του θερμοκηπίου» αξίζουν επίσης προσοχής τα σχετικά με την «τρύπα του όζοντος». Πρόκειται για την παρατηρούμενη μείωση της πυκνότητας του όζοντος κυρίως πάνω από την Ανταρκτική και δευτερευόντως την Αρκτική. Το όζον προστατεύει τη Γη από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Βασικός υπεύθυνος για τη μείωση της πυκνότητας του όζοντος είναι οι χλωροφθοράνθρακες που βρίσκονται ως προωθητικά αέρια στα σπρέυ και ως ψυκτικά υγρά στα ψυγεία. Η υπεριώδης ακτινοβολία επιδρά επί των χλωροφθορανθράκων και τους διασπά με συνέπεια την απελευθέρωση χλωρίου, το οποίο επιτίθεται και καταστρέφει το όζον (Γ. Γραμματικάκης, 2014). Οι χλωροφθοράνθρακες εκτιμάται ότι συμβάλλουν επίσης και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς παγιδεύουν τη θερμότητα.

Αξίζει να σημειωθεί το οξύμωρο, ήτοι η απειλή να προέρχεται από το στοιχείο που συνετέλεσε στη διαμόρφωση της ζωής. Η παρουσία διοξειδίου του άνθρακα στη γήινη ατμόσφαιρα βοήθησε να διαμορφωθεί η κατάλληλη θερμοκρασία για την ανάπτυξη της ζωής. Η αύξηση της πυκνότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σήμερα απειλεί τη ζωή (Γ. Γραμματικάκης, 2014).

Αντίστοιχη επιβάρυνση με αυτή της ατμόσφαιρας παρατηρείται στους ωκεανούς καθώς και στους ποταμούς αλλά και στα δάση, καθώς και στο έδαφος. Τα προϊόντα του πετρελαίου ρυπαίνουν, από διάφορες αιτίες, όχι μόνο τις παράκτιες περιοχές αλλά και μεγάλες εκτάσεις της ανοικτής θάλασσας. Άμεση συνέπεια της ρύπανσης αυτής είναι η αδυναμία του πλαγκτόν να μετασχηματίσει το διοξείδιο του άνθρακα σε οξυγόνο, διαδικασία ανάλογη με αυτή που διενεργείται από τα φυτά στη στεριά. Η ολοένα αυξανόμενη χρήση της τεχνολογίας συμβάλλει τα μέγιστα στη ρύπανση

καθώς σκουπίδια, τοξικά απόβλητα και μεγάλες ποσότητες αζώτου καταλήγουν είτε στη θάλασσα είτε σε χωματερές με συνέπεια τη μόλυνση του υπεδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα. Την ίδια στιγμή η καταστροφή των δασών λαμβάνει ανεξέλεγκτες διαστάσεις. Η αντιμετώπιση του πολύπλοκου προβλήματος προϋποθέτει κινητοποίηση σε τοπικό – κρατικό αλλά και σε διεθνές – υπερκρατικό επίπεδο.

Το Δίκαιο Προστασίας του Περιβάλλοντος

Η ανεξάντλητη ποικιλία των περιβαλλοντικών αγαθών και ο τεράστιος αριθμός των προσβολών του περιβάλλοντος θέτουν, ήδη αφετηριακά, σε δοκιμασία τον νομοθέτη. Υπό το πρίσμα της εσωτερικής νομοθεσίας, ήτοι του άρθρου 24 του Συντάγματος και του ν.1650/1986 το περιβάλλον ορίζεται ως «το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων, που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες».

Υπό τον ανωτέρω ορισμό του Έλληνα νομοθέτη καθίσταται σαφές ότι προστατεύεται τόσο το φυσικό περιβάλλον, δηλαδή ο περιβάλλον τον άνθρωπο χερσαίος, θαλάσσιος και εναέριος χώρος με την σε αυτόν χλωρίδα, πανίδα και τους φυσικούς πόρους, όσο και το πολιτιστικό περιβάλλον, ήτοι τα ανθρωπογενή στοιχεία πολιτισμού, όπως αυτά διαμορφώθηκαν από τη δράση του ανθρώπου και συνθέτουν την ιστορική, καλλιτεχνική και την εν γένει πολιτιστική κληρονομιά της χώρας (βλ. Α. Τάχου, 1995).

Ο Έλληνας νομοθέτης δεν προστατεύει μόνο το φυσικό περιβάλλον που σχηματίζεται από τα φυσικά αγαθά, το νερό, τη θάλασσα, τον αέρα, τη χλωρίδα και την πανίδα και, γενικά, ό,τι περιβάλλει τον άνθρωπο, άρα κάθε στοιχείο του οποίου η ύπαρξη δεν οφείλεται στη δράση του ανθρώπου. Στην έννοια του περιβάλλοντος περιλαμβάνεται επίσης και ό,τι έχει διαμορφώσει η ανθρώπινη δραστηριότητα, άρα όχι μόνο τα μνημεία αλλά και τις κατασκευές. Πρόκειται για τα αποτελέσματα της επίδρασης του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον (Ι. Καράκωστας, 2000).

Είναι επίσης σαφές ότι η αρχική σύλληψη της προστασίας του περιβάλλοντος οργανώθηκε σε σχέση με τον άνθρωπο και την προστασία άλλων (εννόμων) αγαθών του όπως η ζωή, η υγεία και η ποιότητα ζωής του.

Ακόμη και η ιδιοκτησία του ανθρώπου είναι δυνατό να οριοθετήσει προστασία του από το περιβάλλον, διάσταση η οποία είναι ήδη γνωστή από τις διατάξεις του «γειτονικού δικαίου» του Αστικού Κώδικα.

Ωστόσο γίνεται δεκτό, ιδίως από τη νομολογία του ΣτΕ ότι το περιβάλλον προστατεύεται σε συσχετισμό με τον άνθρωπο αλλά και ως αυτοτελές αγαθό (Ι. Καράκωστας, 2000). Η ανθρωποκεντρική έννοια του περιβάλλοντος αν και προηγήθηκε, δεν επισκίασε την οικολογική έννοια του περιβάλλοντος, δηλαδή την προστασία του ως αυτοτελούς αγαθού (Κ. Ρέμελης, 1989, Αλ. Σακελλαρόπουλος, 1982).

Η προσβολή του περιβάλλοντος λαμβάνει το χαρακτηριστικό της ρύπανσης, της μόλυνσης και της υποβάθμισης, έννοιες οι οποίες υποδηλώνουν την ποσοτική και ποιοτική διαφοροποίηση της προσβολής με την υποβάθμιση να ανάγεται σε βλάβη της υγείας των ανθρώπων.

Εξάλλου το περιβάλλον είναι έννομο αγαθό που διακρίνεται διότι αν και διαθέτει συλλογικό χαρακτήρα είναι πρωτίστως αγαθό πρωτογενές μοναδικό και

αναντικατάστατο, εφόσον η προστασία του φυσικού περιβάλλοντος προϋποτίθεται για την επιβίωση κάθε φυσικού προσώπου αλλά και κάθε λαού, καθώς η προστασία αποβλέπει σε όφελος όχι μόνο της παρούσας γενιάς αλλά και των επομένων (Α. Τάχος, 1995).

Η προστασία εκτείνεται σε ευρύ φάσμα καθώς αποβλέπει στην προστασία του ανθρώπου από τη φύση, επίσης αποβλέπει στην προστασία της φύσης με τρόπο ώστε να υπάρχει οικολογική ισορροπία σε κάθε χώρα αλλά και παγκόσμια. Κατ' ουσίαν στο εσωτερικό δίκαιο η προστασία του περιβάλλοντος συγκρούεται καταρχάς με την επίσης συνταγματικά προστατευόμενη οικονομική ελευθερία. Αντιστοίχως στο διεθνή χώρο η προστασία του περιβάλλοντος εμφανίζεται ως ανασταλτικός παράγων σε ό,τι οι αγορές αντιλαμβάνονται ως ελευθερία τους.

Σε κάθε περίπτωση όμως το δίκαιο προστασίας του περιβάλλοντος διαθέτει διεθνή χαρακτηριστικά, καθώς για λόγους, οι οποίοι ανάγονται στην επιστήμη της φυσικής, η ρύπανση δεν αντιλαμβάνεται τα σύνορα των Πολιτειών, αλλά κινείται από χώρα σε χώρα. Το χαρακτηριστικό αυτό εξηγεί επαρκώς την ανάγκη διεθνούς ή και υπερκρατικής συνεργασίας για την αντιμετώπιση οικολογικών καταστροφών (Ι. Καράκωστας, 2000).

Υπό την ανωτέρω εκδοχή δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι οι κανόνες δικαίου που πηγάζουν από το διεθνές ή και το υπερεθνικό (ευρωπαϊκό) δίκαιο αυξάνουν.

Τα χαρακτηριστικά του δικαίου προστασίας περιβάλλοντος καθορίζονται από ορισμένες, ως επί το πλείστον νέες αρχές οι οποίες, αν και αντιφατικές μεταξύ τους, εμπλουτίζουν το δημόσιο δίκαιο στην εθνική και στη διεθνή καθώς και στην υπερεθνική διάστασή του.

Πρόκειται για την α) αρχή της πρόληψης, β) αρχή ο ρυπαίνων πληρώνει, γ) αρχή της δημοσιότητας, δ) αρχή της αποτελεσματικότητας και ε) την αρχή ότι εν αμφιβολία προηγείται η προστασία του περιβάλλοντος.

Ειδικότερα η αρχή της πρόληψης σημαίνει ότι η δράση της διοίκησης αποβλέπει στην αποτροπή της παράνομης ενέργειας. Η αρχή ο ρυπαίνων πληρώνει ισχύει κατ' εξαίρεση -σε σχέση με την αρχή της πρόληψης- και σημαίνει ότι αν σημειωθεί βλάβη, αυτή αντιμετωπίζεται εκ των υστέρων κατασταλτικά. Η αρχή της δημοσιότητας σημαίνει ότι η δράση των αρμόδιων διοικητικών οργάνων είναι φανερή. Με την εν λόγω αρχή διασπάται η αρχή της μυστικότητας που κατά το κλασσικό διοικητικό δίκαιο διέπει τη δράση της δημόσιας διοίκησης. Η αρχή της αποτελεσματικότητας συνεπάγεται την άμεση εφαρμογή του Συντάγματος με σκοπό την λυσιτελή προστασία του περιβάλλοντος (Α. Τάχος, 1995).

Οι διεθνείς συμβάσεις προστασίας του περιβάλλοντος

Για να καταστεί αντιληπτό το εύρος της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος πρέπει να σημειωθεί ότι πολλοί από τους σχετικούς κανόνες περιλαμβάνονται σε διατάξεις διεθνών συνθηκών, οι οποίες (επι)κυρώνονται κατά τη διαδικασία του άρθρου 28 του Συντάγματος. Πρόκειται για διαδικασία η οποία αξιώνει την ψήφιση της διεθνούς σύμβασης από τη Βουλή των Ελλήνων με τη διαδικασία του τυπικού νόμου και με την απόλυτη πλειοψηφία ή την ειδική αυξημένη πλειοψηφία των τριών πέμπτων του όλου αριθμού των βουλευτών. Το σύνολο σχεδόν της ελληνικής νομοθεσίας για την προστασία του θαλασσιού περιβάλλοντος προέρχεται από

διεθνείς συμβάσεις. Ενδεικτικά να σημειωθεί η σύμβαση περί προστασίας της Μεσογείου θάλασσας από τη ρύπανση, η οποία ισχύει στην Ελλάδα ως ν.855/1978.

Από το Διεθνές Δίκαιο αντλείται η προστασία των εσωτερικών υδάτων καθώς και των υγροτόπων και των υδροβιοτόπων. Πρόκειται για το νδ.191/1974 όπως τροποποιήθηκε με το ν.1751/1988 και το ν.1950/1991. Με τα ανωτέρω υιοθετήθηκε η συνθήκη Ραμσάρ.

Το τρίτο μέρος της διεθνούς νομοθεσίας για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος αφορά την ενέργεια. Πρόκειται για τη συνθήκη για τον χάρτη ενέργειας στη Λισσαβόνα (1994) η οποία ισχύει ως ν.2476/1997.

Ο ν.1938/1991 μεταφέρει στην Ελληνική έννομη τάξη τις συμβάσεις της Βιέννης (1986) για την έγκαιρη γνωστοποίηση και για την αρωγή σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος.

Το τέταρτο μέρος αφορά τα απόβλητα. Πρόκειται για τη σύμβαση της Βασιλείας (1989) ήδη ν.2203/1994 για τον έλεγχο των κινήσεων και την επεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων.

Το πέμπτο μέρος της διεθνούς προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος αφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Πρόκειται για τη σύμβαση προστασίας της στοιβάδας του όζοντος, η οποία καταρτίστηκε στη Βιέννη (1985) και συνοδεύεται από τα πρωτόκολλα του Μόντρεαλ (1987), του Λονδίνου (1990) και της Κοπεγχάγης (1992) θεσπίσματα τα οποία ισχύουν στην Ελλάδα με το ν.1818/1988, το ν.2110/1992 και το ν.2262/1994.

Η προστασία της φύσης και της άγριας ζωής αποτελεί την έκτη ενότητα στην οποία κατατάσσονται ιδίως η σύμβαση στο Παρίσι (1972) για την προστασία της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς (ν.1126/1981), η σύμβαση για την προστασία των φυτών (Ρώμη 1951) η οποία κυρώθηκε με το ν.2014/1992, η σύμβαση για τη διεθνή εμπορία άγριων ειδών που απειλούνται με εξαφάνιση (Ουάσιγκτον 1973) η οποία ισχύει στην Ελλάδα ως ν.2055/1992, η σύμβαση για τη διατήρηση της άγριας ζωής και του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρώπης (Βέρνη 1979) η οποία κυρώθηκε με το ν.1335/1983.

Η έβδομη ενότητα είναι ιδιαίτερος σημαντική καθώς αφορά στην προστασία κοινών σε όλους αγαθών. Εδώ εντάσσεται η Συνθήκη για την Ανταρκτική (Ουάσιγκτον 1959) η οποία κυρώθηκε με το ν.1629/1986. Στην ενότητα αυτή εντάσσεται το πρωτόκολλο στη Συνθήκη της Ανταρκτικής για την προστασία του περιβάλλοντος (Μαδρίτη 1991) και η σύμβαση για τη διατήρηση των θαλάσσιων πόρων της Ανταρκτικής (Καμπέρα 1980) οι οποίες κυρώθηκαν με το ν.2293/1995 και ν.1660/1986 αντιστοίχως.

Το όγδοο μέρος της διεθνούς νομοθεσίας για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος αφορά στην κλιματική αλλαγή. Πρόκειται για τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή η οποία συνήφθη στη Νέα Υόρκη το 1992. Η εν λόγω σύμβαση κυρώθηκε με το ν.2205/1994. Δυνάμει της ανωτέρω σύμβασης διεξάγονται σε τακτά χρονικά διαστήματα συνέδοι του Ο.Η.Ε με αντικείμενο την κλιματική αλλαγή. Το πλέον γνωστό αποτέλεσμα των συνόδων αυτών είναι το Πρωτόκολλο του Κυότο ήδη ν.3017/2002.

Η Ευρωπαϊκή διάσταση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (εφεξής Ε.Ε.) εντάσσει την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος στο πλαίσιο της προώθησης της οικονομικής ανάπτυξης. Η κοινοτική περιβαλλοντική πολιτική αποτελεί κυρίαρχη προτεραιότητα της ευρωπαϊκής ολοκλήρωσης. Υπό την ανωτέρω βεβαιότητα εκπονήθηκε το «Πέμπτο Κοινοτικό Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον», κυρίαρχος στόχος του οποίου είναι η αιεφόρος ανάπτυξη (Γρ. Τσάλτας- Χ. Πλατιάς, 2010). Στο πλαίσιο του ανωτέρω Πέμπτου Προγράμματος και του επομένου Έκτου Προγράμματος ανάμεσα στις άλλες θεματικές περιλαμβάνεται η στρατηγική για τη μείωση ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων. Έτσι οι στόχοι προβλέπουν ανάμεσα σε άλλα τη μείωση κατά 10% των περιπτώσεων θνησιμότητας εξαιτίας του όζοντος, τη μείωση όξινων επικαθίσεων κατά 74% και 39% στα δάση και στην επιφάνεια των εσωτερικών υδάτων αντιστοίχως. Η επίτευξη των στόχων αυτών προϋποθέτει μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου και της αμμωνίας κατά 60% και 27% αντιστοίχως, σε σχέση με την τιμή εκπομπής του 2000.

Η Ε.Ε. εμφορείται από την αντίληψη της ορθολογικής αντιμετώπισης του περιβάλλοντος στο πλαίσιο της αρχής της αιεφόρου ανάπτυξης. Η Ε.Ε. ενέκρινε το Πρωτόκολλο του Κυότο με την 2002/358 ΕΚ του Συμβουλίου την 23^η Απριλίου 2002. Σκοπός της κλιματικής πολιτικής της Ε.Ε είναι η επίτευξη εκπομπής αερίων στην Ευρώπη με χαμηλότερες τιμές κατά 20% σε σύγκριση με τις αντίστοιχες του 1990. Ως προς τη συνέχιση της διαδικασίας που προβλέπει το Πρωτόκολλο του Κυότο η Ε.Ε. ετάχθη υπέρ της διαμόρφωσης και έγκρισης νέας συμφωνίας για την κλιματική αλλαγή, η οποία θα αντικαταστήσει το Πρωτόκολλο του Κυότο (Γρ. Τσάλτας- Χ. Πλατιάς, 2010).

Ήδη στο προοίμιο της ενοποιημένης απόδοσης της Συνθήκης για την Ευρωπαϊκή Ένωση και της Συνθήκης για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης τονίζεται η αφοσίωση στην αρχή της αιεφόρου ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος, έννοιες οι οποίες διαπλέκονται με την οικονομική και κοινωνική πρόοδο της Ευρώπης. Περαιτέρω η Συνθήκη της Λισσαβόνας περιλαμβάνει τα άρθρα 191-193 στα οποία ορίζεται ότι η πολιτική της Ένωσης συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, και της υγείας του ανθρώπου στην ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων και στην προώθηση μέτρων για την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος (άρθρο 191). Ειδική νομοθετική διαδικασία προβλέπεται για τη θέσπιση μέτρων που επηρεάζουν την ποσοτική διαχείριση των υδάτινων πόρων και την επιλογή των κρατών μελών μεταξύ διαφορετικών πηγών ενέργειας (άρθρο 192). Σε κάθε περίπτωση τα κράτη-μέλη μπορούν να θεσπίζουν μέτρα ενισχυμένης προστασίας (άρθρο 193).

Η δευτερογενής ευρωπαϊκή νομοθεσία, πριν από τη Συνθήκη της Λισσαβόνας, περιέλαβε μέτρα για την κλιματική αλλαγή και την προστασία της στοιβάδας του όζοντος. Ενδεικτικά να σημειωθούν ο κανονισμός 3093/1994 ΕΚ για τον περιορισμό των ουσιών που μειώνουν το όζον, η απόφαση 1999/58 ΕΚ της Επιτροπής με την οποία ορίζονται οι επιτρεπόμενες εκπομπές αερίων για την αποτροπή της κλιματικής αλλαγής. Επίσης οι οδηγίες 1999/30 ΕΚ και 1999/32 ΕΚ όριζαν την ελάττωση εκπομπών διοξειδίων του αζώτου και του θείου σε επίπεδα σαφώς πιο αυστηρά από τα προβλεπόμενα στα πρωτόκολλα Της Σύμβασης περί διασυνοριακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλη απόσταση (Ι. Καράκωστας, 2000).

Η Ε.Ε. με την έκδοση της Πράσινης Βίβλου από την Επιτροπή καθόρισε το πλαίσιο για τις πολιτικές, που αφορούν το κλίμα και την ενέργεια, με ορίζοντα το έτος 2030.

Η δευτερογενής ευρωπαϊκή νομοθεσία μετά την αποδοχή του Πρωτοκόλλου του Κυότο επιλαμβάνεται και ρυθμίζει ευρύ φάσμα θεμάτων σχετικών με την εκπομπή αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα εκδόθηκε η οδηγία 2009/28 ΕΚ σχετικά με την προώθηση χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οδηγία 2003/87 ΕΚ με την οποία καθορίζεται ανώτατο όριο εκπομπών, η οδηγία 2009/29 ΕΚ η οποία τροποποιούσε την προηγούμενη. Επίσης εκδόθηκε η απόφαση 406/2009 ΕΚ με την οποία καθορίζονται οι στόχοι μείωσης των αερίων θερμοκηπίου ανά κράτος-μέλος. Ο κανονισμός 443/2009 ΕΚ όρισε τα όρια εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από τα καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα ενώ η οδηγία 2009/33 ΕΚ προέβλεψε την προώθηση καθαρών και ενεργειακώς αποδοτικών οχημάτων οδικών μεταφορών. Η οδηγία 2009/30 ΕΚ διευθετεί το ζήτημα της ποιότητας των καυσίμων περιορίζοντας την περιεκτικότητα σε άνθρακα. Η οδηγία 2009/31 ΕΚ δημιουργεί το πλαίσιο για τη δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα.

Ο κανονισμός 714/2009 ΕΚ θέτει τους όρους πρόσβασης στο δίκτυο για τις διασυνοριακές ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας και ο κανονισμός 715/2009 ΕΚ σχετικά με τους όρους πρόσβασης στα δίκτυα μεταφοράς φυσικού αερίου. Αξίζει να σημειωθεί επίσης η οδηγία 2010/31 ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Επίμετρο

Παρά την εργώδη νομοθετική προσπάθεια της Ε.Ε. για τον περιορισμό της εκπομπής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην κλιματική αλλαγή η κατάσταση δεν βελτιώνεται. Τόσο στο εσωτερικό της Ε.Ε. όσο και στις οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη δρουν δυνάμεις, οι οποίες παρεμβάλλουν προσκόμματα. Αυτές οι δυνάμεις είναι τόσο ισχυρές ώστε κορυφαία (γερμανική) αυτοκινητοβιομηχανία παραπλανούσε για μεγάλο χρονικό διάστημα ως προς τους εκπεμπόμενους ρύπους.

Μολονότι σχεδόν όλοι αντιλαμβάνονται, ότι μόνο η διαμόρφωση παγκόσμιας περιβαλλοντικής διακυβέρνησης μπορεί να θέσει δεσμευτικό πλαίσιο για την αειφόρο ανάπτυξη, δεν είναι πολλοί αυτοί που συναινούν στην επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Η παλαιότερη επισήμανση ότι η προστασία του περιβάλλοντος συνολικά προϋποθέτει την οργάνωση της οικονομικής ανάπτυξης στη βάση της αρχής της αειφορίας, παραμένει όσο ποτέ άλλοτε επίκαιρη.

Το υφιστάμενο οικονομικό μοντέλο ανάπτυξης πρέπει να μεταβληθεί.

Οι σχετικές προσπάθειες πέραν της μείωσης των εκπομπών αερίων πρέπει να στρέψουν την προσοχή τους εξίσου στις εμπορικές συμφωνίες Ειρηνικού και Ατλαντικού οι οποίες προτάσσουν την οικονομική επέκταση εταιρειών από την προστασία του περιβάλλοντος των κρατών.

Βιβλιογραφία

- Γραμματικάκης, Γ. (2014). Η Κόμη της Βερενίκης. Νέα Αναθεωρημένη έκδοση. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Δερβιτσιώτης, Α. (2013). Περιβάλλον και πυρηνική ενέργεια. Σε: Ε.Ι. Μανωλάς, Ε.Δ. Πρωτοπαπαδάκης, Γ.Ε. Τσαντόπουλος (Επιμ), 5^{ος} Τόμος, Διεθνής Περιβαλλοντική Πολιτική: Αναμετρήσεις με το Μέλλον, *Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων*, σελ. 1-8.

- Καράκωστας, Ι. (2000) Περιβάλλον και Δίκαιο. Αθήνα-Κομοτηνή: Εκδόσεις Αντ. Ν. Σάκκουλα.
- Καστοριάδης, Κ. (1990). Οι ομιλίες στην Ελλάδα. Αθήνα: Εκδόσεις Ύψιλον.
- Νάσκου-Περράκη, Π. (1991) Το νομικό καθεστώς των προσφύγων στη διεθνή και ελληνική έννομη τάξη. Η Σύμβαση της Γενεύης του 1951 περί του καθεστώτος των προσφύγων. Αθήνα-Κομοτηνή: Εκδόσεις Αντ. Ν. Σάκκουλα.
- Μανωλάς, Ε.Ι., Πρωτοπαπαδάκης, Ε.Δ., Τσαντόπουλος, Γ.Ε. (Επιμ) (2013). 5^{ος} Τόμος: Διεθνής Περιβαλλοντική Πολιτική: Αναμετρήσεις με το Μέλλον, *Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων*.
- Ρέμελης, Κ. (1989). Η προστασία του περιβάλλοντος από τις βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις. Αθήνα-Κομοτηνή: Εκδόσεις Α. Σάκκουλα.
- Σακελλαρόπουλος, Α. (1982). Σκέψεις για το πρόβλημα του περιβάλλοντος από νομική σκοπιά. Σε: Τιμητικός Τόμος του ΣτΕ 1929-1979, Τομ. ΙΙ. Αθήνα-Κομοτηνή: Εκδόσεις Α. Σάκκουλα.
- Τάχος, Α. (1995). Δίκαιο Προστασίας του Περιβάλλοντος. Δ΄ Έκδοση. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σάκκουλα.
- Τσάλτας, Γ., Πλατιάς, Χ. (2010). Ευρωπαϊκή Ένωση και Περιβάλλον. Ανατομία μιας Κοινής Ευρωπαϊκής Πολιτικής. Αθήνα: Εκδόσεις Ι. Σιδέρης.

Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ, Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΚΑΙ Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΟΥ ΜΟΝΑΧΙΚΟΥ ΚΑΒΑΛΑΡΗ

Ευάγγελος Δ. Πρωτοπαπαδάκης
Επικουρος Καθηγητής Εφαρμοσμένης Ηθικής
Τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής, Ψυχολογίας
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
eprotopa@ppp.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί τον μείζονα και τον πλέον απτό κίνδυνο όχι μόνον για την ευημερία, αλλά και για την ίδια την επιβίωση τόσο του είδους μας όσο και πλείστων άλλων, ζωικών και φυτικών. Παράλληλα συνιστά και πολυεπίπεδο ηθικό ζήτημα, αφού η σχετική συζήτηση διεξάγεται υπό το πρίσμα εννοιών όπως η κοινωνική και η διαγενεακή δικαιοσύνη. Στο δοκίμιο αυτό θα εξετάσω το πλέον συνεκτικό κατά τη γνώμη μου ηθικό επιχείρημα υπέρ της μη λήψης των απαραίτητων για την ανάσχεση της κλιματικής αλλαγής μέτρων από τα μη ανεπτυγμένα και αναπτυσσόμενα κράτη, αυτό που επικαλείται την έννοια της δικαιοσύνης και των ίσων ευκαιριών στην οικονομική ανάπτυξη. Θα ισχυρισθώ πως η εν λόγω συλλογιστική αποτελεί ερμηνευτική προσέγγιση μιας εκδοχής της θεωρίας των παιγνίων, συγκεκριμένα αυτής που αποκαλείται δίλημμα των φυλακισμένων ή, ακόμη ειδικότερα, περίπτωση του μοναχικού καβαλάρη. Θα προσπαθήσω να αποδείξω πως στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής η θεωρία των παιγνίων δεν μπορεί να τύχει εφαρμογής, τουλάχιστον όχι χωρίς σημαντικές παραχωρήσεις ή στρεβλώσεις. Κατά συνέπεια, θα καταλήξω, σε ό,τι αφορά το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής η επιδίωξη της δικαιοσύνης και των ίσων ευκαιριών δεν είναι συμβατή με την υιοθέτηση σολιμιστικών στάσεων.

Λέξεις κλειδιά: *Κλιματική αλλαγή, θεωρία των παιγνίων, δίλημμα των φυλακισμένων, προοπτική του μοναχικού καβαλάρη, δικαιοσύνη*

Η κλιματική αλλαγή θα αποτελούσε το κατ' εξοχήν *οικουμενικό* ηθικό ζήτημα, εάν δεν υπήρχε το παράλληλο της πυρηνικής απειλής. Αυτά τα δύο ζητήματα, τα οποία κατά πολλούς τρόπους και για πολλούς λόγους προσομοιάζουν το ένα στο άλλο είναι για την ηθική *άλλης τάξεως*. Οι ιδιαιτερότητες που τα διακρίνουν τα τοποθετούν σε εντελώς άλλη βάση από τα τυπικά ηθικά προβλήματα, αυτά με τα οποία οι ηθικοί φιλόσοφοι έχουν άχρι τούδε συνηθίσει να απασχολούνται. Συγκεκριμένα, η ηθική ανέκαθεν καλούταν να επιλύσει συγκρούσεις αξιών και συμφερόντων. Οι συγκρούσεις αυτές, ωστόσο, παγίως αφορούν μεμονωμένα άτομα, καθώς και συγκεκριμένες κοινωνικές και εθνοτικές ομάδες – οι συγκρούσεις αυτές είναι, με άλλα λόγια, κατά το μάλλον ή ήττον οριοθετημένες ως προς την έκτασή τους. Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, αντιθέτως, για να περιορισθούμε στο θέμα αφήνοντας στην άκρη την απειλή του πυρηνικού ολέθρου, είναι αδύνατον να οριοθετηθούν τόσο τοπικά, όσο και χρονικά, αφού επηρεάζει όλα τα έμβια όντα, τους

οργανισμούς και τα οικοσυστήματα του πλανήτη, και τούτο όχι για πεπερασμένο χρονικό διάστημα, αλλά στο διηνεκές. Κάπως αφοριστικά – αλλά χωρίς ίχνος υπερβολής – θα μπορούσε να ισχυρισθεί κάποιος πως δεν υπάρχει στον πλανήτη γωνιά κατάλληλη ώστε να κρυφτεί κανείς από την κλιματική αλλαγή, και πως η πλέον κατάλληλη στιγμή να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα είναι πάντοτε αυτή που μόλις πέρασε.

Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου προβλήματος έγκειται στο ότι η κλιματική αλλαγή συνιστά ηθικό ζήτημα οικουμενικό και διαγενεακό. Πέραν τούτου, στο πλαίσιο του αίρεται η κλασική διάκριση θύματος και θύτη, αφού οι υπαίτιοι της κλιματικής αλλαγής είναι βέβαιο πως θα πληρώσουν το τίμημα εξ ίσου με τους αθώους – η κλιματική αλλαγή αποτελεί τρόπον τινά έγκλημα κατά της ανθρωπότητας, το οποίο, όμως, διαπράττει η ίδια η ανθρωπότητα εις βάρος της. Οι επιπτώσεις της αντικατοπτρίζουν τα αποτελέσματα της άσκησης κυριαρχικών δικαιωμάτων εκ μέρους των κρατών, αλλά ταυτόχρονα συνιστούν θρυαλλίδα στα ίδια τα θεμέλια της κυριαρχίας τους. Περαιτέρω, δεδομένου του γεγονότος πως η κλιματική αλλαγή αφορά άμεσα όλους τους κατοίκους του πλανήτη, η ηθική διευθέτηση του ζητήματος απαιτεί την εξισορρόπηση απροσμέτρητων συμφερόντων και την επίλυση ποικίλων συγκρούσεων αξιών. Νομίζω τα παραπάνω αρκούν ώστε να καταδείξουν το μέγεθος της πρόκλησης που η κλιματική αλλαγή συνιστά για την ηθική σκέψη¹.

Η κλιματική αλλαγή είναι πρωτίστως και κυρίως ηθικό ζήτημα, και μόνον δευτερευόντως νομικό και πολιτικό, και τούτο διότι τα αίτια της εμφάνισης και ύπαρξής της εντοπίζονται σε ενέργειες στις οποίες οι άνθρωποι πιστεύουν πως επιτρέπεται να προβαίνουν και σε πρακτικές που θεωρούν είτε πως δικαιούνται, είτε πως, ακόμη περισσότερο, έχουν καθήκον να μετέρχονται. Για να το δείξω αυτό, επιτρέψτε μου να ξεκινήσω από δυο αυθαίρετες υποθέσεις: θα θεωρήσω, ορισμένως, πως η κλιματική αλλαγή οφείλεται αποκλειστικά και μόνον στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, και πως οι εκπομπές αυτές οφείλονται αποκλειστικά και μόνον στην χρήση γαιάνθρακα στην βιομηχανία και την παραγωγή ενέργειας. Το ενδεχόμενο οι υποθέσεις μου αυτές να είναι αβάσιμες, όπως θα φανεί στην συνέχεια, δεν απειλεί διόλου την εγκυρότητα του συλλογισμού μου.

Επί τη βάσει των ανωτέρω, είναι προφανές πως εάν θέλουμε να περιορίσουμε την έκταση της κλιματικής αλλαγής ή, ακόμη, και να αναστρέψουμε την πορεία του φαινομένου, οφείλουμε να απαγορεύσουμε την χρήση γαιάνθρακα στην παραγωγή. Ο γαιάνθρακας, όμως, δεν είναι *μια ακόμη* καύσιμη ύλη: είναι η κύρια. Και τούτο για δύο πολύ καλούς λόγους: αφ' ενός η σχετική με τον εντοπισμό και την χρήση του έρευνα μετρά ήδη αιώνες ιστορίας, και αφ' ετέρου οι ποσότητές του είναι επαρκείς. Συνεπεία αυτών, ο γαιάνθρακας είναι η πιο φτηνή πηγή ενέργειας που διαθέτουμε. Αντιθέτως, η λεγόμενη πράσινη ενέργεια, δηλαδή κυρίως η αιολική και η ηλιακή, είναι πάρα πολύ ακριβότερη, αφού απαιτεί τεράστιες επενδύσεις και η τεχνολογία της δεν είναι ακόμη ώριμη². Η πραγματικότητα αυτή περιγράφει ένα συγκριτικό μειονέκτημα για όσους αποφασίσουν να εγκαταλείψουν τον γαιάνθρακα προς χάριν

¹ Για την κλιματική αλλαγή ως την «απόλυτη ηθική καταγίδα» βλέπε Stephen Gardiner (2012). *A Perfect Moral Storm. The Ethical Tragedy of Climate Change*. Oxford: Oxford University Press.

² Για μια καλή ανάλυση των δυσχερειών – και της αύξησης του κόστους – που επί του παρόντος συνεπιφέρει η μετάβαση στην πράσινη ενέργεια βλέπε Ralph Sims, Hans-Holger Rogner και Ken Gregory (2003). *Carbon Emission and Mitigation Cost Comparisons Between Fossil Fuel, Nuclear and Renewable Energy Resources for Electricity Generation*. *Energy Policy*. Vol. 31, σσ. 1315–1326, ιδίως σ. 1318 κ.ε.

της πράσινης ενέργειας και, αντιστοίχως, ένα διόλου ευκαταφρόνητο πλεονέκτημα για όσους δεν το πράζουν. Οι πρώτοι δεν θα είναι ούτε κατ' ελάχιστον ανταγωνιστικοί σε σχέση με τους δεύτερους: τα προϊόντα που θα παράγουν και οι υπηρεσίες που θα παρέχουν αναπόφευκτα θα είναι κατά πολύ ακριβότερα από τα αντίστοιχα εκείνων που θα χρησιμοποιούν γαιάνθρακα. Αυτό, όμως, φαίνεται να είναι ένα πολύ κακό επιχείρημα υπέρ της χρήσης γαιάνθρακα, άπαξ και η ακριβή παραγωγή καθώς και, συνακόλουθα, η χαμηλή ανταγωνιστικότητα, είναι πολύ μικρότερα κακά από την καταστροφή του πλανήτη λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το όλο ζήτημα θα μπορούσε να συνιστά τυπική περίπτωση *τραγωδίας των κοινών*, για την – θεωρητική, τουλάχιστον – διευθέτηση της οποίας φαίνεται να αρκεί η προσφυγή σε στοιχειώδη αφαιρετική σκέψη και η υιοθέτηση σφαιρικότερης οπτικής. Ωστόσο, η κατάσταση δεν έχει έτσι. Θα είχε, εάν όλοι οι ενδιαφερόμενοι εκκινούσαν από την ίδια αφετηρία, όπως συμβαίνει στην σχετική αναλογία του Hardin³. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει, όμως. Οι ανεπτυγμένες χώρες έχουν ήδη επί τρεις αιώνες βασισθεί στον φθινό γαιάνθρακα ώστε να θεμελιώσουν την οικονομική τους ισχύ, και οι συνέπειες για αυτές θα είναι αμελητέες. Οι αναπτυσσόμενες χώρες, από την άλλη πλευρά, πολλές από τις οποίες, σημειωτέων, άργησαν να μπουν στην κούρσα της ανάπτυξης διότι κατά την διάρκεια των τριών αυτών αιώνων καταδυναστεύονταν από τις (σήμερα) ανεπτυγμένες, θα υποστούν δραματικές συνέπειες στην ανάπτυξή τους που τώρα ξεκινά, αφού θα πρέπει να την τροφοδοτήσουν με την πάρα πολύ ακριβότερη πράσινη ενέργεια. Οι χώρες αυτές, συνεπώς, εύλογα θεωρούν πως έχουν δικαίωμα στην χρήση γαιάνθρακα ώστε να αναπτυχθούν όπως και οι πρώτες, και οι κυβερνήσεις τους ενίοτε διατείνονται πως η μη συμμόρφωσή τους με διεθνείς νόμους περί μετάβασης στην πράσινη ενέργεια αποτελεί καθήκον προς τους πολίτες τους. Η θέση αυτή νομιμοποιεί την προσφυγή στο δίλημμα των φυλακισμένων, στην πλέον περιώνυμη εκδοχή της θεωρίας των παιγνίων⁴.

Στην τυπική του μορφή, όπως αυτή αποκρυσταλλώθηκε από τον Albert Tucker, το δίλημμα των φυλακισμένων συνίσταται στα εξής⁵: δύο μέλη συμμορίας συλλαμβάνονται και φυλακίζονται σε διαφορετικά κελιά, δίχως την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι διωκτικές αρχές δεν διαθέτουν επαρκή τεκμήρια ώστε να στοιχειοθετήσουν κατηγορητήριο για την κύρια κακουργηματική τους δράση, αλλά μπορούν να επιβάλουν και στους δυο ποινή ενός έτους φυλάκισης για πλημμέλημα. Προσφέρουν, λοιπόν, σε κάθε έναν από τους κρατούμενους την δυνατότητα είτε να προδώσει τον συνεργό του καταθέτοντας πως εκείνος, ο συνεργός, διέπραξε το κακούρημα, είτε να σιωπήσει. Στην περίπτωση που και ο ένας και ο άλλος επιλέξουν να καταθέσουν εις βάρος του συνεργού τους, θα τους επιβληθεί ποινή διετούς κάθειρξης. Εάν ο ένας καταθέσει και ο άλλος σιωπήσει, αυτός που θα καταθέσει θα αφεθεί ελεύθερος, ενώ εκείνος που θα σιωπήσει θα υπομείνει τριετή κάθειρξη. Εάν και οι δυο σιωπήσουν, θα τους επιβληθεί φυλάκιση ενός έτους για άσχετο πλημμέλημα.

³ Βλέπε το περίφημο έργο *The Tragedy of the Commons* του Garrett Hardin (1968) στο *Science – New Series*. Vol. 162, No. 3859, σσ. 1243-1248.

⁴ Για μια καλή ανάλυση του τρόπου με τον οποίον η θεωρία των παιγνίων τυγχάνει εφαρμογής στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής βλέπε, μεταξύ άλλων, Rony Smead και Ronald Sandler (2013). *Game Theory and The Ethics of Global Climate Change*. *Philosophy and Public Issues – New Series*. Vol. 3, No. 1, σσ. 13-23.

⁵ Η πλέον αναλυτική και οξυδερκής πραγμάτευση του διλήματος των φυλακισμένων πιστώνεται κατά την γνώμη μου στον Nicholas Measor (1985). *Games Theory and the Nuclear Arms Race*. Στο Singer, Peter (Ed.). *Applied Ethics*. Oxford: Oxford University Press, σσ. 229-255.

	A		
		Ομολογία	Σιωπή
B	Ομολογία	-2, -2	0, -3
	Σιωπή	-3, 0	1, 1

Είναι προφανές πως το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα και για τους δυο βρίσκεται στο κάτω δεξί παράθυρο, αυτό στο οποίο συναντάται η σιωπή αμφοτέρων. Παρότι, ωστόσο, είναι προς συμφέρον και των δυο να συνεργασθούν σιωπώντας, τον κάθε έναν ξεχωριστά τον συμφέρει να καταδώσει τον συνεργό του. Ο φυλακισμένος A, φέρ' ειπείν, εάν σιωπήσει κινδυνεύει να τιμωρηθεί περισσότερο από τον συνεργό του στην περίπτωση που ο B καταθέσει, ενώ, εάν καταθέσει, στην χειρότερη περίπτωση θα υποστεί την ίδια τιμωρία.

Στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής, το δίλημμα των κυβερνήσεων είναι λίγο πιο σύνθετο από αυτό των φυλακισμένων. Και τούτο διότι, ενώ οι φυλακισμένοι στην καλύτερη περίπτωση *δεν θα στερηθούν* κάτι, την ελευθερία τους, τα κράτη έχουν όχι μόνον να μην χάσουν, *αλλά και να κερδίσουν*. Συγκεκριμένα, τα κράτη οι κυβερνήσεις των οποίων θα επιλέξουν να μην περάσουν στην πράσινη ενέργεια αλλά να παραμείνουν στην χρήση γαιάνθρακα, *δεν θα διατηρήσουν απλώς την προηγούμενη κατάστασή τους, αλλά θα την βελτιώσουν*, και τούτο διότι αφ' ενός θα ενισχύσουν την οικονομική τους θέση για τους λόγους που αναλύσαμε προηγουμένως, αφ' ετέρου θα απολαύσουν τα οφέλη από το γεγονός πως τα υπόλοιπα κράτη θα χρησιμοποιούν πλέον πράσινη ενέργεια. Ας μου επιτραπεί για λόγους οικονομίας να χρησιμοποιήσω την σχετική αγγλόφωνη ορολογία: θα αποκαλέσω την επιλογή της πράσινης ενέργειας *go green*, και την αντίστοιχη της παραμονής στον γαιάνθρακα *free ride*. Το σχήμα θα μπορούσε, συνεπώς, να διαμορφωθεί ως εξής:

	A		
		Go green	Free ride
B	Go green	+5, +5	+5, +15
	Free ride	+15, +5	0, 0

Οι τιμές στον πίνακα είναι μεν αυθαίρετες, αλλά θα μπορούσαν να δικαιολογηθούν ως εξής: σε ό, τι αφορά το επάνω αριστερό κελί, στην περίπτωση που όλες οι κυβερνήσεις καταλήξουν στην *go green* επιλογή, θα προκύψει αμοιβαίο κέρδος για όλους, το οποίο συμβολίζω με +5 θεωρώντας πως αυτό είτε θα είναι αδιόρατο για τους περισσότερους, αφού είτε θα συνίσταται στην μη επιδείνωση της κατάστασης, είτε θα αποκαλύπτεται τόσο βαθμιαία μέσα στον χρόνο, που πάλι θα είναι ανεπαίσθητο. Στην περίπτωση που όλοι επιλέξουν να διακινδυνεύσουν την παραβίαση των συμπεφωνημένων (κάτω δεξί κελί), θεωρώ πως η κατάσταση θα

παραμείνει ως έχει – δηλαδή θα χειροτερεύει διαρκώς, όπως ακριβώς συμβαίνει, αλλά δεν θα προκύψει άμεση επιδείνωσή της – για τον λόγο αυτό δίνω στην εκδοχή αυτή μηδενική απόδοση. Όποιος, πάλι, επιλέξει να συνεχίσει να μολύνει (τα κελιά επάνω δεξιά και κάτω αριστερά, αντίστοιχα), θα είναι πολλαπλά κερδισμένος, αφού αφ' ενός θα μπορέσει να επιδιώξει και να υποστηρίξει την ραγδαία οικονομική του ανάπτυξη, αφ' ετέρου θα απολαύσει τους καρπούς της υιοθέτησης της πράσινης ενέργειας από τους άλλους⁶. Το γεγονός αυτό θεωρώ πως δικαιολογεί την αναγνώριση τριπλάσιας απόδοσης στην επιλογή της μη συμμόρφωσης στην περίπτωση που οι υπόλοιποι επιλέξουν να συμμορφωθούν. Βλέπουμε πως, παρότι η πλέον συμφέρουσα επιλογή για όλους βρίσκεται στο επάνω αριστερό κελί, για το κάθε κράτος ξεχωριστά είναι πολύ πιο συμφέρον να παραστήσει τον μοναχικό καβαλάρη και να παραμείνει στην μη καθαρή ενέργεια, και τούτο διότι εάν οι υπόλοιποι παίκτες υιοθετήσουν την πράσινη ενέργεια, ο μοναχικός καβαλάρης θα ωφεληθεί δραματικά, ενώ εάν δεν το πράξουν δεν θα υποστεί καμία ζημία, τουλάχιστον όχι διαφορετική ή μεγαλύτερη από αυτήν που ούτως ή άλλως υφίσταται⁷.

Εάν, όμως, οι μοναχικοί καβαλάρηδες πάντοτε κερδίζουν ή, τουλάχιστον, δεν χάνουν, και εάν αυτό είναι εις γνώσιν όλων των παικτών, τότε η κλιματική αλλαγή δεν έχει να φοβάται τίποτα, σε αντίθεση με εμάς: ουδείς θα επιλέξει να μεταβεί στην καθαρή μεν αλλά ακριβή πράσινη ενέργεια, αφού θα γνωρίζει πως εάν παραμείνει στον βρώμικο αλλά φθηνό γαιάνθρακα στην χειρότερη περίπτωση δεν θα χάσει τίποτα απολύτως, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες θα κερδίσει είτε αρκετά, είτε πάρα πολύ. Όλοι, στο τέλος της ημέρας, θα έχουν αποφασίσει να παραστήσουν τους μοναχικούς καβαλάρηδες.

Ακριβώς έτσι θα είχαν τα πράγματα, εάν το δίλημμα των φυλακισμένων περιέγραφε με πιστότητα την κατάσταση. Όμως κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει. Κατά τη γνώμη μου το δίλημμα αυτό δεν είναι κατάλληλο ώστε να διαχειρισθεί κατά τρόπο ικανοποιητικό ενδεχόμενα όπως η κλιματική αλλαγή, συνεπώς οι κυβερνήσεις που διαμορφώνουν την στρατηγική τους επί τη βάσει αυτού θα όφειλαν να το εγκαταλείψουν και να αναζητήσουν κάποιο άλλο, ένα καταλληλότερο πρότυπο λήψης αποφάσεων. Υπάρχουν ορισμένοι καλοί λόγοι που συνηγορούν στην ακαταλληλότητα του διλήμματος των φυλακισμένων για την χάραξη περιβαλλοντικών πολιτικών, και έχουν ήδη επισημανθεί από άλλους⁸.

Το συγκεκριμένο παίγνιο προϋποθέτει πως οι φυλακισμένοι βρίσκονται σε απομόνωση, ώστε να μην γνωρίζει ο ένας τι έχει πράξει ο άλλος – αυτό, ωστόσο, δεν ισχύει σε ό, τι αφορά την υιοθέτηση της πράσινης ενέργειας. Επί πλέον, προφανέστατα, σε ό, τι αφορά την κλιματική αλλαγή, δεν μπορούμε να κάνουμε λόγο για δύο *μόνον* εμπλεκόμενους, οι οποίοι οφείλουν να συνυπολογίσουν κατά την λήψη της απόφασής τους την ενδεχόμενη επιλογή του άλλου μέρους. Αντιθέτως, το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής εμπλέκει πολλούς παίκτες ή ομάδες παικτών⁹.

⁶ Βλέπε, μεταξύ άλλων, Marvin Soroos (1994). Global Warming, Environmental Security and the Prisoner's Dilemma. *Journal of Peace Research*. Vol. 31, No. 3, σσ. 317-332, ιδίως σ. 326 κ.ε.

⁷ Βλέπε, μεταξύ άλλων, Edward Parson και Hugh Ward (1998). *Games and Simulations*. Στο: Steve Rayner και Elizabeth Malone (Eds). *Human Choice and Climate Change*. Columbus: Battelle Press, ιδίως σ. 107 κ.ε.

⁸ Βλέπε, για παράδειγμα, τις σχετικές επισημάνσεις του Scott Barrett (2003) στο έργο του *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford: Oxford University Press, ιδίως σ. 139 κ.ε.

⁹ Βλέπε Karen Pittel και Dirk T. G. Rubbelke (2012). *Transitions in the Negotiations on Climate Change: From Prisoner's Dilemma to Chicken and Beyond*. *International Environmental Agreements*. Vol. 12, σσ. 23-39.

Πέραν τούτου, το σημαντικότερο είναι πως στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής δεν υπάρχουν μοναχικοί καβαλάρηδες, οι οποίοι θα απολαμβάνουν την βόλτα τους την ώρα που οι υπόλοιποι θα συμμορφώνονται. Είναι προφανές και στον πλέον αδαή πως η κλιματική αλλαγή δεν επιτρέπει την αποκομιδή κερδών εις βάρος των κοροϊδών: εάν ο πλανήτης καταστραφεί, θα καταστραφεί το ίδιο και για τους μοναχικούς καβαλάρηδες και για τους υπόλοιπους¹⁰.

Το πρόβλημα στην συλλογιστική αυτή κατά την γνώμη μου εντοπίζεται στην αντίληψη πως ο πλανήτης μας είναι – και πως έτσι πρόκειται ή θα έπρεπε να παραμείνει – κατακερματισμένος σε ποικίλες επικράτειες, ορισμένες εκ των οποίων ενδέχεται να δικαιούνται και, συνεπώς, δύνανται να αξιώνουν να τους επιτρέπεται μια μοναχική βόλτα. Και πράγματι, εάν υιοθετήσει κάποιος την οπτική του κατακερματισμού, φαίνεται πως η Κίνα, φέρ' ειπείν, νομιμοποιείται ηθικώς να αξιώνει την εξαίρεσή της από την μετάβαση στην πράσινη ενέργεια, αφού, ας πούμε, οι οικονομίες των κρατών του δυτικού κόσμου γιγαντώθηκαν βασισμένες στον γαιάνθρακα κατά το παρελθόν. Φαίνεται, δηλαδή, πως εάν υποχρεωθεί να εγκαταλείψει τον γαιάνθρακα τώρα που επιτέλους βρίσκεται σε φάση οικονομικής ανάπτυξης, η Κινεζική οικονομία θα αδικηθεί και θα ζημιωθεί σε σχέση με άλλες, ήδη ανεπτυγμένες και ώριμες. Πρότασή μου είναι, ωστόσο, τουλάχιστον στο πλαίσιο της ηθικής συζήτησης, πάνω στην οποία, όπως ήδη ισχυρίστηκα, θα θεμελιωθεί το νομικό και πολιτικό παγκόσμιο πρόταγμα, να εγκαταλειφθεί η οπτική του κατακερματισμένου πλανήτη προς χάριν εκείνης της γης ως παγκόσμιας κοινόκτητης επικράτειας. Θεωρώ πως – σε ό, τι έχει να κάνει με την κλιματική αλλαγή – η οπτική που αντιλαμβάνεται σύγκρουση διακριτών συμφερόντων είναι εξόχως αστιγματική και, συνεπώς, πεπλανημένη. Εκείνη, αντιθέτως, που αναγνωρίζει μια παγκόσμια κοινόκτητη επικράτεια ανταποκρίνεται καλύτερα στην πραγματικότητα. Μια τέτοια οπτική, όμως, δεν αφήνει χώρο σε διλήμματα όπως αυτό των φυλακισμένων, ούτε, βέβαια, σε μοναχικούς καβαλάρηδες.

Βιβλιογραφία

- Barrett, S. (2003). *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford: Oxford University Press.
- Gardiner, S. (2012). *A Perfect Moral Storm. The Ethical Tragedy of Climate Change*. Oxford: Oxford University Press.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science – New Series*. Vol. 162, No. 3859, pp.1243-1248.
- Lozano, R. (2007). Collaboration as a pathway for sustainability. *Sustainable Development*. Vol. 15, No. 6, pp. 370-381.
- Measor, N. (1985). Games theory and the nuclear arms race. In: Singer, P. (Ed). *Applied Ethics*. Oxford: Oxford University Press.
- Parson, E., Ward, H. (1998). Games and simulations. In: Rayner, S., Malone, E. (Eds). *Human Choice and Climate Change*. Columbus: Battelle Press.
- Pittel, K., Rubbelke, D.T.G. (2012). Transitions in the negotiations on climate change: From prisoner's dilemma to chicken and beyond. *International Environmental Agreements*. Vol. 12, pp. 23–39.

¹⁰ Για μια καλή ανάλυση της ανάγκης για συνεργασία ώστε να θεραπευθεί η σχετική αβελτηρία βλέπε, μεταξύ άλλων, Rodrigo Lozano (2007). *Collaboration as a Pathway for Sustainability*. *Sustainable Development*. Vol. 15, No. 6, σσ. 370-381.

- Sims, R., Rogner, H.-H., Gregory, K. (2003). Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy Resources for electricity generation. *Energy Policy*. Vol. 31, pp. 1315–1326.
- Smead, R., Sandler, R. (2013). Game theory and the ethics of global climate change. *Philosophy and Public Issues – New Series*. Vol. 3, No.1, pp. 13-23.
- Soroos, M. (1994). Global warming, environmental security and the prisoner's dilemma. *Journal of Peace Research*. Vol. 31, No. 3, pp.317-332.

**ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.
ΑΡΧΑΙΟΕΛΛΗΝΙΚΕΣ - ΒΥΖΑΝΤΙΝΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ ΚΑΙ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**

Μιχαήλ Κ. Μαντζανάς

Επίκουρος Καθηγητής

Ανωτάτη Εκκλησιαστική Ακαδημία Αθηνών

E-mail: mic.mantzas@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αν κανείς προστρέξει στα αρχαία και στα βυζαντινά κείμενα, θα παρατηρήσει *mutatis mutandis*, ότι σύγχρονοι οικολογικοί προβληματισμοί, έχουν επισημανθεί από την αρχαία και από τη βυζαντινή σκέψη. Πολλοί σύγχρονοι οικολογικοί συλλογιστικοί όροι, δε φαίνεται να αφίστανται των επιδράσεων της αρχαίας και της βυζαντινής συλλογιστικής. Κατά τούτο, θα αποπειραθούμε να εστιάσουμε στη συμβολή των αρχαιοελληνικών επισημάνσεων και της βυζαντινής σκέψης, στις έννοιες μεταβλητότητα και κλιματική αλλαγή. Ιδιαίτερος, όσον αφορά στην ηρακλείτεια και στην αριστοτελική ερμηνεία της έννοιας της μεταβολής, καθώς και στον βυζαντινό πολιτικό τακτικισμό, απέναντι στην ερμηνευτική της αρχής της μεταβολής και της σχέσης της προς το θείο και ανθρώπινο ον. Αξίζει να επισημανθεί, ότι η ιδιαιτερότητα της βυζαντινής σκέψης, συνίσταται στο γεγονός της προβολής των εννοιών της φύσης, της σχέσης του κόσμου και των όντων προς την έννοια του θείου, καθώς και της έννοιας της μεταβολής, η οποία κατά την κοινωνιολογική και ιστορική προσέγγιση του Durkheim, προάγει την αρχή της κοινωνικής εξέλιξης, σύμφωνα με την οποία, το ανθρώπινο ον εξελίσσεται διαρκώς, μεταβάλλεται αϊδίως και αποβαίνει ένα καινού ον. Εφόσον λοιπόν, το ανθρώπινο ον και ο κόσμος διέπονται από μεταβλητότητα, αρχή την οποία υποστηρίζει και η αρχαιοελληνική και η βυζαντινή σκέψη, η κλιματική αλλαγή, ως απόρροια της φυσικής σχέσης ανθρώπου φύσης ή ως αποκύημα πρωτίστως φυσικών διεργασιών, με ελάχιστη ανθρώπινη συμβολή, όπως θα αποπειραθούμε να αποδείξουμε, είναι μεν ορθολογιστικά μια φυσική κανονικότητα, όμως ηθικά, ερμηνεύεται ως απόπειρα σύνθεσης της υπέρβασης του συμφέροντος και των αυξημένων ανθρώπινων αναγκών. Στην εργασία μας θα αποπειραθούμε να απαντήσουμε στη συλλογιστική απορία: στην αέναη διαμάχη προς επέλευση πρωτογενούς ηθικού πλεονάσματος, μεταξύ των αρχών του ορθολογισμού και του συμφέροντος, ποιο από τα δύο υπερτερεί ή πρέπει να υπερέχει;

Λέξεις κλειδιά: *Μεταβλητότητα, κλιματική αλλαγή, αρχαία σκέψη, βυζαντινή προσέγγιση, ανθρωποκεντρισμός, ορθολογισμός, συμφέρον, οικολογική κρίση*

Ο Stephen M. Gardiner, συγγραφέας του έργου A Perfect Moral Storm: the Ethical Tragedy of Climate Change (Oxford 2011), απεικονίζει ανάγλυφα και με τον παραστατικότερο τρόπο, την οικολογική συλλογιστική πάνω στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Η κύρια συνεισφορά αυτού του έργου του Gardiner, στο πεδίο της περιβαλλοντικής φιλοσοφίας, έγκειται στη διεξοδική ανάλυση των διαφόρων

χαρακτηριστικών της κλιματικής αλλαγής, καθώς και στους λόγους που μας εμποδίζουν στη λήψη ηθικών αποφάσεων για την επίλυση του εν λόγω προβλήματος. Ο *Gardiner* συγκεκριμένα, χαρακτηρίζει την αλλαγή του κλίματος ως μια «τέλεια ηθική καταίγιδα», ως ένα πολύπλοκο και πολυδιάστατο φαινόμενο, που δεν μπορεί να κατανοηθεί πλήρως μέσω επιστημονικής, οικονομικής, ή νομικής προσέγγισης, ή χωρίς την επίκληση ηθικών προβληματισμών, οι οποίοι αφορούν στις σχέσεις μεταξύ των σύγχρονων και των παρεπόμενων γενεών. Ο *Gardiner* ιδιαιτέρως, αποσαφηνίζει την κύρια ηθική πρόκληση της κλιματικής αλλαγής και ερμηνεύει τις αιτίες της στασιμότητας των υφιστάμενων προσεγγίσεων στο πρόβλημα, που δεν αναγνωρίζουν την κεντρικότητα της ηθικής στάσης στην κλιματική πρόκληση. Ο *Gardiner* στο προαναφερθέν έργο του, εγκυβρίζει την παγκόσμια διακυβέρνηση ως προς το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, για θεσμική ανεπάρκεια, καθώς και για υποκριτικό ηθικισμό και συμφεροντολογική χρησιμοθηρία. Σύμφωνα με τον *Gardiner*, εκείνο που συνιστά την αληθινή τραγωδία της κλιματικής αλλαγής, έγκειται στην έλλειψη και στη διάθεση διεθνούς συνεργασίας, όσον αφορά στη διαγενεακή διάσταση της αλλαγής του κλίματος.

Από τους παραπάνω προβληματισμούς επιγεννάται η απορία: το κλίμα συμπορεύεται με τις ανάγκες της κάθε γενιάς ή η κάθε γενιά πρέπει να συμπορεύεται με το κλίμα; Επειδή εκ των πραγμάτων, φαίνεται να κατισχύει η πρώτη παραδοχή-αρχή, επιγεννάται το δίλημμα της μετάθεσης των ευθυνών, της εκπομπής αερίων, της εξαγοράς ρύπων των ισχυρών από τις ανίσχυρες χώρες, οπότε και η μετάλλαξη του κλίματος αποτελεί απόρροια της ισχύουσας, παρούσης στασιμότητας και της μελλοντικής αβεβαιότητας.

Η αρχαία ελληνική φιλοσοφία, όπου και παρατηρείται μια σύνθεση της οντολογίας, της κοσμολογίας και του πανθεισμού (MacBride 2014, 370–378), όπως θα αναγνωρίσουμε, αποπειράθηκε να απαντήσει σε ζητήματα της σχέσης του ηθικώς κατά φύσει ζην σε συνάρτηση προς την πρακτική ηθική του ανθρωπίνου βίου. Όπως θα αποδειχθεί παρακάτω, οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι απάντησαν μέσω των θεωριών τους για τη μεταβολή και την κίνηση, στους ανακύπτοντες σύγχρονους οικολογικούς προβληματισμούς, άρα αποφάνθηκαν προτερόχρονα, αν και έμμεσα στο ζήτημα της μεταβλητότητας και της κλιματικής αλλαγής. Η φιλοσοφική απόφαση σχετικά με το πρόβλημα της μεταβολής, σύμφωνα με τους αρχαίους Έλληνες φιλόσοφους, αφορούσε στις έννοιες θεά τύχη – ευκαιρία – χρόνος – καιρός (καιροσκοπισμός). Αυτοί οι όροι συνθέτουν την ιστορική πραγματικότητα, η οποία ταυτίζεται με την κατάλληλη στιγμή της συγκεκριμένης ύπαρξης (ώρα–ωραίος – ώριμος) (O’Conaill 2014, 284–300). Κατά τον Πλούταρχο (Ziegler 1951, 636–962), τον Ηράκλειτο και τον Αριστοτέλη, ο χρόνος συνάπτεται με την κίνηση. Ιδιαιτέρως στη φιλοσοφία του Ηρακλείτου, αναπτύσσονται κατά κόρον οι έννοιες της μεταβολής (Μανιάτης 2001, 47-184), της αλλαγής, της ταυτότητας (Μανιάτης 2001, σσ. 187-193), της ενότητας των αντιθέτων (Graham 2008, 169–188) και του λόγου (Μανιάτης 2001, 287- 294) και επισημαίνονται διαδοχικές γενέσεις και καταστροφές του κόσμου, καθώς και μια νέα εκ του παλαιού κόσμου ανακύπτουσα κοσμική ταυτότητα. Πού συνίσταται λοιπόν η επιγενόμενη νέα ταυτότητα του κόσμου; Τα αίτια της ηρακλείτειας μεταβολής είναι: 1) ο χρόνος – καιρός – ώρα, 2) ο κάματος – κούραση – κόπωση – εξάντληση από το ταυτόσημο, που συνεπάγεται την πλήρωση και την αέναη μεταβολή του ίδιου σε κάτι καινοφανές (Μανιάτης 2001, 83- 104).

Στην αρχαία ελληνική φιλοσοφική σκέψη, επισημαίνεται η σύνδεση ανθρώπου-φύσης με τα έμβια και άβια όντα, αλλά και η σύναψη με την ευρύτερη έννοια του περιβάλλοντος και της φύσης. Αυτή η συσχέτιση ανθρωπίνων και θείων όντων,

φαίνεται στην αρχαιοελληνική σκέψη, *mutatis mutandis*, να εξαντλείται στην κλασική σχέση της εξασφάλισης – της συντήρησης και της οικονομίας (Κουτράκου 1992, 138). Γεννάται το ερώτημα: ποιος νόμος κατισχύει στη δημιουργία, στην εξέλιξη και στη μεταβολή του κόσμου; Η τυχόν απάντηση στην πηγή αυτού του προβληματισμού, θα συνεπιφέρει πιθανόν και την προσέγγιση στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Πολλοί αρχαίοι διανοητές αποπειράθηκαν, αλλά και σύγχρονοι μελετητές αποπειρώνται να απαντήσουν στο καθοριστικό ερώτημα του βίου, κατά πόσο, δηλαδή υπαγόμαστε στον σιδερένιο ντετερμινιστικό νόμο της αιτιώδους συνάφειας, στην επήρεια της τύχης ή στην καθοριστική συμβολή της ελευθερίας της βούλησης. Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής που υπάγεται; Κατά John Rawls (Griffin & Solum 1994, 549–842), η αθλητική ικανότητα, όπως και η υψηλή νοητική ευφυΐα είναι αποτέλεσμα τύχης. Κατά Alexander Pope, όπως επισημαίνει στο φιλοσοφικό του ποίημα - *Δοκίμιον περί του ανθρώπου* -, εκφράζοντας ντεϊστικές απόψεις (ο Θεός δημιούργησε μεν τον κόσμο, αλλά δεν παρεμβαίνει πλέον στη λειτουργία του), πρέπει ν' ακολουθείται ο δρόμος του Θεού, ο οποίος είναι η Πρώτη Αιτία όλων των πραγμάτων και όλα αποτελούν τμήμα ευρύτερου σχεδίου (Sherburn 1958, 388-406, Rousseau 1966, 409-418).

Τι ισχύει λοιπόν με το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής; Αποτελεί η λύση του προβλήματος απόρροια τύχης, σύμπτωσης ή σχεδιασμού; Ας υποθέσουμε, ότι η τύχη ορίζεται ως ιστορία. Ας εκλάβουμε τη σύμπτωση, ως δύο τύχες που τέμνονται. Αμέσως εκ των δύο ανωτέρω παραδοχών, επιγεννάται η απορία για τη σχέση και των δύο παραπάνω εννοιών, με την έννοια της συχνότητας. Αν δεχθούμε, ότι η τύχη, λογικά, προηγείται της σύμπτωσης, κατά συνέπεια ασπαζόμαστε την παραδοχή, ότι η τύχη αποτελεί το γεγονός της έναρξης ή μη μιας κατάστασης. Εκ του ασπασμού των ανωτέρω παραδοχών, επιγεννάται το αξίωμα, ότι τύχη αποτελεί το γεγονός, ότι γεννηθήκαμε τη συγκεκριμένη εποχή, με τη συγκεκριμένη τεχνολογία και σύμπτωση, ότι υφίσταται το συγκεκριμένο κλίμα, για το οποίο έχουμε και προσωπικό μερίδιο ευθύνης. Άρα, κατά συνέπεια προκύπτει, ότι την τύχη την πλάθουμε μόνοι μας, στο σημείο της αποδοχής του καταλογισμού της κατά βούληση ελεύθερης πράξης. Πώς όμως συνάπτεται το πρόβλημα της τύχης με το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής; Μήπως το κλίμα τυχαία ή συμπτωματικά ακολουθεί την αναπόφευκτη εξελικτική του πορεία, αφού, όπως διαφαίνεται η αλόγιστη χρήση του θέλω της προόδου, που είναι απόρροια της αναπόφευκτης φυσικής εξέλιξης και των αναγκών του σύγχρονου βίου, υπερκερνά τον περιβαλλοντικό σεβασμό και την ηθική του πρέπει της οικολογικής συνείδησης; Στη σύντομη αναφορά μας, στη σχέση τύχης και σύμπτωσης, ας επικαλεστούμε την παραίτηση του Koestler: «ας αισθανθούμε τα ρεύματα που φυσάνε μέσα από τις ρωγμές του αιτιακού συγκροτήματος. Ας προσέξουμε κάπως περισσότερο τα συγκλίνοντα φαινόμενα» (Koestler 1976, 99).

Οι παραπάνω αφορισμοί του Koestler, φαίνεται να ισχύουν στη θεωρία του Charles Darwin, όπως αυτή αποτυπώνεται στο βιβλίο του *Καταγωγή των ειδών* (Origin of Species) Eldredge 2006, 32–53). Σε αυτό το έργο ο Darwin, αποπειράθηκε να απαντήσει στο προαναφερθέν ερώτημα για τη σχέση τύχης, βούλησης και προσαρμογής. Συγκεκριμένα η δαρβινική θεωρία, περιγράφει τη βασική διαδικασία και εξηγεί, τη διαδικασία της εξέλιξης των ειδών του ζωικού βασιλείου, μέσω της φυσικής επιλογής. Απαντά στο ερώτημα, πώς υφίστανται τόσο διαφορετικοί τύποι ζωής (άνθρωποι, ζώα, φυτά), με διαφορετικά είδη να προσαρμόζονται στα μέρη του περιβάλλοντος, όπου ζουν και πώς αλλάζουν συνέχεια, καθώς και πώς οι διαφορετικοί τύποι ζωής, κατέληξαν να είναι όπως είναι και πώς εξακολουθούν να μεταβάλλονται. Δίδεται δηλαδή απάντηση, στο πρόβλημα της κοινής καταγωγής και

της εξέλιξης με την πάροδο των χιλιετιών, μέσα από τη διαδικασία της φυσικής επιλογής. Στη φύση επιβιώνουν, μόνο εκείνα τα είδη του ζωικού και φυτικού βασιλείου, τα οποία προσαρμόζονται στο εκάστοτε περιβάλλον, όπως αυτό διαμορφώνεται από τα παντοειδή γεωλογικά, φυσικά, χημικά κ.ά. φαινόμενα. Η εξέλιξη κατά Darwin, δεν ωθείται συνειδητά, νοηματικά ή θειστικά, παρά πρόκειται για μια απρόσωπη-τυφλή και αυτοματοποιημένη διαδικασία. Κατά Darwin, μέσω της θεωρίας της προσαρμογής, οι καλύτερα προσαρμοσμένοι οργανισμοί επιβιώνουν και μεταβιβάζουν τα χαρακτηριστικά τους στους επιγενέστερους, οπότε και ισχύει η επικράτηση του προσαρμοστικότερου, του δυνατότερου καθώς και του ευφυέστερου οργανισμού.

Όλα τα παραπάνω, επιγεννούν διαφόρων ειδών προβληματισμούς, ως προς το εξέταση ζήτημα της μεταβλητότητας και της κλιματικής αλλαγής. Και πάνω απ' όλα, αναδύεται η αναζήτηση της σχέσης του προβλήματος της μεταβολής, με τη θεωρία του Ωφελιμισμού (utilitarianism). Κατά την ηθική θεωρία του Ωφελιμισμού: «η ηθική ορθότητα ή η ηθική επιληψιμότητα της συμπεριφοράς του ανθρώπου, δεν κρίνεται βάσει των προθέσεων του, αλλά υπολογίζεται από την ωφέλεια ή τη βλάβη των συνεπειών της, από το κατά πόσο δηλαδή, συμβάλλει ή δε συμβάλλει στη γενική ευδαιμονία» (Πελεγρίνης 2005, 656). Μια πράξη δηλαδή, είναι καλή, εφόσον συμβάλλει και στην ευτυχία των άλλων και κακή, εφόσον συνεπάγεται την κακοδαιμονία τους.

Γεννάται το ερώτημα-απάντηση, στη σχέση μεταβλητότητας και Ωφελιμισμού: Μήπως η κλιματική αλλαγή, αποτελεί τυχαία απόρροια της φυσικής μετακίνησης – αλλαγής, από παγετώδεις σε ημιπαγετώδεις περιόδους και δε διαδραματίζει στη μεταβλητότητά της, καθοριστικό ρόλο η ανθρώπινη βούληση; Αμέσως αναδύεται το ερώτημα: ποια η σχέση φυσικής και ηθικής; Συνδέεται η φυσική εξέλιξη-επιλογή με την ηθική; Κατά αρχαιοελληνική παραδοχή, το φυσικό είναι και ηθικό. Υφίσταται όμως και το αντίστροφο, δηλαδή είναι το ηθικό και φυσικό; Μήπως η αλλαγή στο κλίμα, αποτελεί τμήμα του σχεδίου της φύσης και της φυσικής μετάβασης, από παγετώδεις σε ημιπαγετώδεις περιόδους; Από τα παραπάνω, γεννάται το εύλογο ερώτημα: Είναι φυσικά ή ανθρωπογενή τα αίτια της κλιματικής αλλαγής; Και πώς από τις πολλές ανεπαίσθητες μικρές μεταβολές, επιγεννάται μια καθοριστικά συναθροιστική αλλαγή;

Κατά τον Ηράκλειτο, «το κύριο γνώρισμα κάθε πτυχής του όντος, εκείνο το οποίο χαρακτηρίζει το καθετί από αυτά που συνθέτουν, ό,τι συλλήβδην θεωρούμε πραγματικότητα, είναι η αέναη μεταβολή. Ο σπόρος μετατρέπεται σε φυτό, που στη συνέχεια μεταβάλλεται διαρκώς, μέχρι να ξεραθεί στο τέλος. Ο πάγος λιώνει και μετατρέπεται σε νερό, το οποίο ακολούθως μπορεί να εξατμιστεί και να μεταβληθεί σε αέρα. Η μέρα μετατρέπεται σε νύχτα και η νύχτα σε μέρα και ούτω καθεξής. Κανένα πράγμα στον κόσμο, σύμφωνα με τον Ηράκλειτο, δε μένει σταθερό, καμία πτυχή του όντος, κανένα κομμάτι της πραγματικότητας δεν παραμένει αναλλοίωτο. Τα πάντα ρει» (Πελεγρίνης 2010, 82.) Έτσι κατά τον Ηράκλειτο, έχουμε μια ακατάπαυστη αλλαγή των πάντων, μια συνεχή μεταβολή.

Κατά τον Πλάτωνα: «τα αισθητά πράγματα υπόκεινται σε συνεχείς μεταβολές, ανάλογες προς τις συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά στο περιβάλλον όπου βρίσκονται. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του τραπέζιού, το οποίο παρατηρώντας το κάθε φορά ανάλογα προς τον φωτισμό, ο οποίος υπάρχει στο περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται, προσλαμβάνει διάφορες αποχρώσεις ανάλογα προς

την οπτική γωνία από την οποία το βλέπουμε, οπότε εμφανίζεται με διάφορα σχήματα και ούτω καθεξής» (Πελεgrίνης 2010, 79).

Κατά αριστοτελική παραδοχή, στον κόσμο της φύσης, εμπεριέχεται ως *sine qua non*, η έννοια και η διαδικασία της διαλεκτικής (Σιάσος 1989, 405-415). Η διαλεκτική αφορά στις έννοιες του χρόνου, της μεταβολής και της κίνησης. Η φύση σχετίζεται με την ενέργεια, η οποία συνάπτεται με το χρόνο και την κίνηση (Αριστοτέλη, *Φυσικά (Φυσικής Ακροάσεως)* 200b12-15). Θα αποπειραθούμε να αποδείξουμε, την αριστοτελική συμβολή, στο ζήτημα της μεταβλητότητας και της κλιματικής αλλαγής, σε συνάρτηση με την αριστοτελική ανάλυση για την έννοια του χρόνου (Πελεgrίνης 2005, 381). Κατά Σφενδόνη-Μέντζου: «η αριστοτελική σύλληψη του δυνάμει απείρου, δίνει στον χρόνο τον δυναμικό του χαρακτήρα. Το εν ενεργεία άπειρο, είναι αυτό του οποίου η απειρότητα, υπάρχει ή είναι δοσμένη ολόκληρη ταυτόχρονα, ενώ το δυνάμει άπειρο, είναι αυτό του οποίου η απειρότητα, ξετυλίγεται μέσα στο χρόνο και δεν είναι ποτέ παρούσα ως σύνολο» (Σφενδόνη-Μέντζου 2010, 200). Το άπειρο κατά τον Αριστοτέλη, δεν είναι αυτό πέρα από το οποίο δεν υπάρχει κάτι άλλο, αλλά αυτό, το οποίο υπερβαίνει πάντα κάθε όριο (Αριστοτέλη, *Φυσικά (Φυσικής Ακροάσεως)* 207a.). Κατά Αριστοτέλη, το άπειρο δεν μπορεί να υπάρχει ως ενέργεια ον και ουσία και ως αρχή (Αριστοτέλη, *Φυσικά (Φυσικής Ακροάσεως)* 204a.) Κατά Σφενδόνη-Μέντζου, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, «με κανέναν τρόπο δε θα μπορέσουμε να κατανοήσουμε τον χρόνο, κατά συνέπεια και τη μεταβολή, με όρους της απεριόριστης σειράς των διακεκριμένων στιγμών. Για να τον κατανοήσουμε, πρέπει να τον εκλάβουμε σαν μία συνεχή ροή. Εκείνο που συνδέει στην αριστοτελική φιλοσοφία, το πριν και το μετά είναι το νυν, το οποίο δεν είναι μία χωριστή στιγμή ή σημείο μέσα στον χρόνο, αλλά βρίσκεται πάντοτε σε μία κατάσταση μετάβασης, καθώς είναι το τέλος του παρελθόντος και η αρχή του μέλλοντος» (Σφενδόνη-Μέντζου, 201, Αριστοτέλη, *Φυσικά (Φυσικής Ακροάσεως)* 222a.) Επομένως κατά Prigogine, στον Αριστοτέλη, «μιλάμε για μια εσωτερική εμπειρία της ροής του χρόνου, μια εσωτερική επίγνωση της ροής του, από το παρελθόν προς το μέλλον. Όλοι θυμόμαστε πράγματα, που συνέβησαν στο παρελθόν και προσμένουμε τα μελλοντικά γεγονότα, κατά την ανθρώπινη διάκριση του πριν και του μετά» (Σφενδόνη-Μέντζου, 202). Κατά τούτη την παραδοχή βαίνοντας, ο Σταγειρίτης φιλόσοφος εξετάζει την έννοια του χρόνου και της μεταβολής του χρόνου σε σχέση με την ψυχή-συνείδηση (Αριστοτέλη, *Φυσικά (Φυσικής Ακροάσεως)* 223a). «Για τον Αριστοτέλη ο χρόνος είναι πραγματικός και συνδέεται στενά με την κίνηση και την μεταβολή» (Σφενδόνη-Μέντζου, 204.) Ο αριστοτελικός χρόνος (Αριστοτέλη, *Φυσικά (Φυσικής Ακροάσεως)* 218b-219a, 219b) «αποτελεί τον εγγενή χαρακτήρα της κίνησης/μεταβολής, που επιτρέπει τη μέτρηση διαδοχικών καταστάσεων, οι οποίες έχουν έναν ξεκάθαρο προσανατολισμό προς το μέλλον (Σφενδόνη-Μέντζου, 204). Σύμφωνα με τους αριστοτελικούς ορισμούς της κίνησης (Αριστοτέλη, *Φυσικά (Φυσικής Ακροάσεως)* 201a) «η σύνδεση του χρόνου με την κίνηση/μεταβολή, δηλαδή, με την έννοια της μετάβασης από το δυνάμει στο εν ενεργεία, οδηγεί κατευθείαν στην καρδιά του αριστοτελικού μοντέλου της φύσης και αποκαλύπτει τη χρονική δομή του φυσικού κόσμου. Το δυνάμει αποβαίνει αναπόσπαστο συστατικό της συνέχειας και του απείρου και κατά συνέπεια του χρόνου (Σφενδόνη-Μέντζου, 205). Κατά Σφενδόνη-Μέντζου, «στον Αριστοτέλη, ο πραγματικός χρόνος είναι μια ανεξάντλητη δυνατότητα, η οποία δεν υπάρχει ποτέ εν ενεργεία στην ολότητά της. Έχει κατά τούτο, τα χαρακτηριστικά του πραγματικού συνεχούς και του δυνάμει απείρου, το οποίο, όπως επισημαίνει ο Σταγειρίτης, βρίσκεται συνεχώς σε μία διαδικασία πραγμάτωσης και ποτέ δεν μπορεί να υπάρξει ως όλον. Εξ αυτού, προικίζεται με έναν δυναμικό χαρακτήρα, εφόσον ο χρόνος συνυφαίνεται με τη

συνεχή κίνηση και μεταβολή, η ουσία της οποίας, είναι η μετάβαση από την εν δυνάμει, στην εν ενεργεία κατάσταση» (Σφενδόνη-Μέντζου, 206). Ακόμη και στην ανάλυση του πολιτικού φαινομένου, ο Αριστοτέλης (Corkum 2008, 65–92), επισημαίνει, τη χρηστικότητα της έννοιας της μεταβολής των πολιτευμάτων (Πλάγγεσης 2012, 142-144).

Μια επιγενέστερη θεώρηση της έννοιας της μεταβολής και της σχέσης με το χρόνο, μας την παραδίδει ο ι. Αυγουστίνος: «αν ρωτούσαν τον Αυγουστίνο τι είναι ο χρόνος, τότε εκείνος θα έλεγε πως δεν είναι σε θέση να απαντήσει, κι ας ήξερε καλά μέσα του πότε κάτι είναι παρελθόν, πότε είναι παρόν, πότε είναι μέλλον, πότε είναι νωρίς και πότε είναι αργά, πότε έπεται και πότε είναι ταυτόχρονο, πότε κάτι τρέχει γρήγορα και πότε πηγαίνει σιγά, παρόλο που σύμφωνα με εκείνον ένας άνθρωπος είναι εξοικειωμένος με τις διακρίσεις του χρόνου, οπότε και είναι ανέφικτη κάθε προσπάθεια να μετρηθεί ο χρόνος. Μπορούμε σύμφωνα με τον Αυγουστίνο να φανταστούμε τον χρόνο σαν ένα ανεξάντλητο ρεύμα που κυλάει και δε σταματάει ποτέ» (Πελεγρίνης 2010, 115).

Όπως απορρέει από τα παραπάνω, η αρχαιοελληνική φιλοσοφική παραδοχή για τη μεταβλητότητα, εισηγείται τις αρχές της αέναης μετατροπής των πραγμάτων, της μετάλλαξης της σταθερότητας σε νέα ταυτότητα και της εξέλιξης. Επιπροσθέτως, η αρχαιοελληνική φιλοσοφία, εισηγείται την επιγέννηση, από την αρχή και τη διαδικασία της μεταβολής, της έννοιας και της αρχής της μεταστοιχείωσης, εκ του παλαιού, ενός νέου όντος και πράγματος.

Στη Βυζαντινή σκέψη, η έννοια της φύσης, εμπεριέχει και την έννοια του φυσικού κόσμου. Ακόμη και η συμβολική γλώσσα της Βίβλου, όσον αφορά στο συμβολισμό της Γενέσεως, της δημιουργίας - κατά τον Μέγα Βασίλειο –των έξι ημερών, εμφορείται από μια υπερβατική χρήση και από μια μεταφυσική ερμηνεία, αφού η φύση αποτελεί επιγέννημα και απόρροια της θείας δημιουργίας (Κουτράκου, 135). Ενώ, όπως προαναφέραμε, στην αρχαία ελληνική φιλοσοφική σκέψη, η σύνδεση ανθρώπου-φύσης, εξαντλείται στην κλασική σχέση της εξασφάλισης – της συντήρησης και της οικονομίας, στη βυζαντινή σκέψη και πρακτική, χρωματίζεται με μια χρηστική διάσταση (Κουτράκου, 138). Η χρηστικότητα της έννοιας φύση, κατά τη βυζαντινή περίοδο, αφορούσε ακόμη και σε πολιτικά θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, όπως αφορούσε και στη συνείδηση των καταστροφών, που συνεπιφέρουν στη φύση οι πόλεμοι και η κακή διαχείριση κρίσεων, εκ μέρους μη ένθεων ηγεμόνων. Μια άλλη βυζαντινή οπτική της περιβαλλοντικής κρίσης, είναι, ότι αποτελεί ένα είδος θείας τιμωρίας (Κουτράκου, 140-141). Η χρηστική αντίληψη περί της φύσης, όπως και η συνεπιφερόμενη κλιματική αλλαγή μέσω των σεισμών, λιμών, των καταποντισμών ή ακόμη και ως απόρροια της εικονομαχίας, αποδεικνύουν, ότι «ο βυζαντινός άνθρωπος, μέσα από τη θεώρηση του φυσικού περιβάλλοντος, είτε ως έκφραση θείκης προνοίας, είτε ως ένδειξη θείας οργής, αποκτούσε συνείδηση της επίδρασης του περιβάλλοντος στη ζωή του. Διατηρούσε με αυτό, μια μεταβαλλόμενη σχέση καταστροφής-προστασίας, που κατέληγε σε τελική ανάλυση, σε μια σχέση αυτοκαταστροφής-αυτοπροστασίας, και τελικά, σε μια σχέση αλληλεξάρτησης, κατά τον Ευστάθιο Θεσσαλονίκης» (Κουτράκου, 141).

Τηρουμένων των αναλογιών, παρατηρεί κανείς, ότι η έννοια και η πρακτική της πράσινης αντίληψης, του οικοσεβασμού, της βιοποικιλότητας και της οικολογικής συνείδησης, που διέπει τη βιβλική, χριστιανική και βυζαντινή σκέψη, έχει εμβολιάσει και τις άλλες θρησκείες.

Κατά Μανωλά και Σούτσα, οι αρχές της μη βίας, της συμπόνιας και της αγάπης, προς όλες τις υπάρξεις, αποτελούν τις βασικές αρχές της διδασκαλίας, της θρησκευτικής σκέψης των μοναχών βουδιστών. Στη διδασκαλία του κομφουκιανισμού, άνθρωπος και φύση, βρίσκονται σε πλήρη αρμονία. Ο άνθρωπος κατά τον Κομφουκιανισμό, αποτελεί τμήμα της φύσης, δεν είναι ο κύριος της φύσης, δεν είναι ο αφέντης που ελέγχει τη φύση, αντιθέτως, άνθρωπος και φύση είναι ένα, μια αναπόσπαστη μονάδα (Μανωλάς & Σούτσας 2015, 168-169). Κατά το Χριστιανισμό: «οι δύο σημαντικοί άξονες του Χριστιανισμού για τη φύση, είναι η ενότητα της δημιουργίας και η αγαθότητα της πλάσης. Όμως, η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας στη Δύση αποδυνάμωσαν τις χριστιανικές αξίες. Η συμπεριφορά του ανθρώπου προς τη φύση, ήταν στην πραγματικότητα απολυταρχική συμπεριφορά και όχι υποταγή και υπευθυνότητα, όπως περιγράφει η Γένεση» (Μανωλάς & Σούτσας 2015, 165). Στο Κοράνι, το ιερό βιβλίο του Ισλαμισμού, ο άνθρωπος έχει εξέχουσα θέση μέσα στη δημιουργία του κόσμου, καθώς έχει οριστεί από το Θεό ως διαχειριστής του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο ζει. Σύμφωνα με το Κοράνι, ο άνθρωπος είναι ο «Khalifa» (βοηθός), είναι δηλαδή εκείνος, στον οποίο ο Θεός έχει εμπιστευθεί την προστασία της Γης (Μανωλάς & Σούτσας 2015, 166). Ο Ινδουισμός, είναι μια θρησκεία, η οποία «κηρύττει απέραντο σεβασμό, προς το φυσικό κόσμο που μας περιβάλλει. Όλες οι ζωντανές υπάρξεις, είναι δημιουργήματα του Θεού και η στάση του ανθρώπου απέναντί τους, θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από σεβασμό και συμπόνια. Και αυτό, γιατί η ψυχή μπορεί να επανεμφανιστεί με άλλη μορφή ζωής». Οι Ινδουιστές καταφεύγουν στην χορτοφαγία, λόγω αυτής τους της πεποίθησης, περί της ιερότητας της ζωής. Ο Ινδουιστής ασκητής (sadhur), ο οποίος χαίρει του απόλυτου σεβασμού, από όλους του Ινδουιστές, ζει εκτός κοινωνίας, προχωρώντας σε έναν πολύ λιτό τρόπο ζωής. Στον Ινδουισμό, είναι πολύ έντονη η πεποίθηση, ότι η αληθινή ευτυχία, είναι προϊόν εσωτερικής προελεύσεως (είναι κάτι που βρίσκεται μέσα στον άνθρωπο) και δεν επιτυγχάνεται με τη χρήση των υλικών αγαθών (Μανωλάς & Σούτσας 2015, 167).

Ο υπερθεματισμός της έννοιας της μεταβολής, από την αρχαία και τη βυζαντινή σκέψη, αποδεικνύει τη δυσαναλογία από τις δύο σκέψεις, στον τρόπο προσέγγισης του προβλήματος της μεταβολής. Όμως, τόσο η προβολή της έννοιας της αρχαιοελληνικής προαίρεσης, όσο και η επίταξη της έννοιας της βυζαντινής ακρασίας και της έλλειψης εγκράτειας, ως προς το συμφέρον, δε φαίνεται να συμβάλλουν αυτόνομα και ανεξάρτητα, στην επίλυση του ζητήματος της μεταβλητότητας και της κλιματικής αλλαγής. Η συμβολή των δύο αυτών διαφορετικών τρόπων σκέψης, έγκειται, στην προβολή των αρχών της αντιρρόπησης, όπως και του χρησιμοθηρισμού, όσον αφορά στον τρόπο σχέσης του ανθρώπου, απέναντι στη σωτηρία της φύσης. Η απαίτηση σύγκλισης των δύο αυτών διαφορετικών τρόπων σκέψης, καθώς και η θυσία της ανεξαρτησίας τους, ως προς τις περί φύσης αντιλήψεις τους, στο βωμό της σωτηρίας της φύσης, μπορεί να συμβάλλει στην επίλυση του προβλήματος, της υπέρμετρης χρησιμοθηρίας της φύσης και της εκ ταύτης επιγενόμενης κλιματικής αλλαγής.

Σύγχρονα, παρεπόμενα χαρακτηριστικά παραδείγματα, της σχέσης της ακρασίας με τη συνεχή μεταβολή (climate change) (Low & Gleeson, 1998 2,180-181) όπως αναδύονται στα σύγχρονα φυσικά φαινόμενα, (Attfield 2010, 6, 176, 190) αποτελούν: η αύξηση της εκπομπής των αερίων και της έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, όπως και της θερμοκρασίας, η άστατη και παράλογη μεταβολή των καιρικών φαινομένων, η αστείρευτη αλλοίωση των πάγων, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η υπερθέρμανση του πλανήτη (Victor 2011). Η εκ

τούτων των αιτιών, επιγενόμενη κλιματική αλλαγή, αποτελεί την πρώτιστη αιτία απώλειας της βιοποικιλότητας, με σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις (Brown 2011).

Τι ισχύει, κατά τη στιγμή της συγγραφής του άρθρου μας; Η διάσκεψη των 196 χωρών υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, για την κλιματική αλλαγή στη Λίμα και ακολούθως, στη διάσκεψη του Παρισιού (Νοέμβριος 2015), εξήγαγε τα εξής συμπεράσματα: «Απαιτείται συμφωνία μεταξύ των υπερδυνάμεων ΗΠΑ και ΚΙΝΑ και με τις φτωχές χώρες. Η βιομηχανία στις αναπτυγμένες χώρες, πρέπει να στραφεί στην καθαρή ενέργεια και να παρασχεθεί κλιματική υποστήριξη, στις αναπτυσσόμενες χώρες. Υφίσταται έλλειψη σαφούς, διαφανούς και κατανοητού τρόπου μείωσης της έκλυσης αερίων, που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (40%-70% έως το 2050) και του περιορισμού αύξησης της θερμοκρασίας στους 2 βαθμούς Κελσίου.

Τα αποτελέσματα της διάσκεψης, για την κλιματική αλλαγή στη Λίμα, ή αλλιώς στην έκκληση για κλιματική δράση, δεν ήταν τα αναμενόμενα, δεδομένης, της ελάχιστης συμφωνίας, πριν την τελική του Παρισιού και της μη ανάδυσης διάθεσης, για συνεννόηση και για συμβιβασμούς, με αποτέλεσμα, τη μη επέλευση κοινής γραμμής πλεύσης, ως προς την παροχή ασφαλιστικών δικλείδων προστασίας του παγκόσμιου κλίματος. Υφίσταται έλλειψη, ικανοποιητικών κατευθυντήριων γραμμών, όσον αφορά στις χώρες, οι οποίες θα έπρεπε να προσδιορίσουν τα κριτήρια, βάσει των οποίων, θα έπρεπε να καταθέσουν τους στόχους τους, μέχρι το Νοέμβριο του 2015, ώστε να είναι συγκρίσιμοι και κηδεμονεύσιμοι. Εξίσου, υφίσταται έλλειψη πληροφοριών, για τη μεθοδολογία συλλογής στοιχείων, το έτος αναφοράς, την περίοδο δέσμευσης και τους σχετικούς τομείς. Εξίσου, επικρατεί υποκρισία, ως προς την τακτική και όσον αφορά στην πρακτική της μείωσης των εκπομπών του άνθρακα» (Φύση και ζωή – Φιλοδοσική Αθηνών 2015, 31, Lockwood 2009, Lean 2010, 111-122).

Συμπερασματικά, αποτιμούμε ότι, δεν απαιτείται κινδυνολογία, αλλά κοινές και διαφοροποιημένες ευθύνες και αντίστοιχες δράσεις. Η φιλοσοφία απαντά, στο πώς πρέπει να ζούμε. Είμαστε τα αποτελέσματα των επιλογών μας, καταδικασμένοι ελεύθεροι, όπως υποστηρίζει ο J. P. Sartre. Εφόσον, το ανθρώπινο ον και ο κόσμος, διέπονται από αναπόφευκτη μεταβλητότητα, όπως επισημαίνεται στην αρχαία και στη βυζαντινή σκέψη, η κλιματική αλλαγή είναι μεν ορθολογιστικά μια φυσική κανονικότητα, μια φυσική συνέχεια, που συνιστά και μια νέα ταυτότητα, όμως ηθικά, αν μπορούμε να αποδεχθούμε, σύζευξη ηθικής και φυσικής, συγκρούεται με τη λογική σύνθεση της υπέρβασης του συμφέροντος και των αυξημένων φυσικών αναγκών (ενέργεια-τροφή κτλ.). Συνήθως, τα διλήμματα βρίσκονται μεταξύ Συμπληγάδων, οπότε, ας αποφασίσει κατά πρωτεύοντα ρόλο, όπως και το διενεργεί, η φύση. Είναι δυνατόν, το ηθικό που απορρέει από τις ανθρώπινες απόπειρες προστασίας της φύσης, αν τελικά υφίστανται, να υπερισχύσει του φυσικού, από την προστασία δηλαδή, της ίδιας της φύσης, εκ των έσω, από τις αυτόνομες δηλαδή εφεδρείες της; Δεν συνιστά η θέση μας μοιρολατρία ή φαταλισμό, αλλά επισήμανση, ότι η ίδια η φύση παρέχει τις λύσεις. Η ίδια η φύση ανεξαρτήτως των βουλήσεών μας, ανανεώνεται, εξελίσσεται, μεταβάλλεται, αρχές τις οποίες διέτυπωσαν και οι αρχαίοι και οι βυζαντινοί στοχαστές. Εμείς, απλώς παρατηρούμε, ενεργούμε και συμβάλλουμε, στα κατά τη φύση επιλεγόμενα, εξελισσόμενα και μεταβαλλόμενα. Εκείνο, που θα πρέπει να κατισχύει στη θεώρησή μας, όσον αφορά στη σχέση φύση-περιβάλλον και μεταβολή, είναι η κατά Mills παραίτηση: «να σε ενδιαφέρουν οι ποικιλομορφίες της ατομικότητας, αλλά και οι τρόποι με τους οποίους συντελούνται οι κοινωνικές μεταβολές. Χρησιμοποίησε αυτά που βλέπεις, αλλά και αυτά που

φαντάζεσαι ως τα σημαντικότερα εργαλεία για την κατανόηση του κόσμου που σε περιβάλλει» (Μανωλάς 2011, 119-120).

Αποκύημα των παραπάνω επισημάνσεων, αποτελεί η συνειδητοποίηση της απουσίας και η εννόηση της ένδειας, καθώς και της αδυναμίας εποπτευσιμότητας, της καθομολογούμενης μεταβλητότητας του κλίματος. Η αποδοχή της αποπομπής των ευθυνών μας, λόγω φυσικής εξέλιξης ή υπέρμετρης ωφελμιστικής χρησιμοθηρίας, δε μας απαλλάσσει, αλλά στην πραγματικότητα λοιδωρεί και εκμαυλίζει το μέλλον μας. Εκείνο που δε μας επιτρέπεται στη σχέση μας με τη φύση, είναι να εθελουφλούμε ή να διαβάζουμε λάθος τα επιγενόμενα των βουλήσεών μας. Η φύση δεν ανέχεται παρά φύσει σενάρια εργασίας και δεν κηδεμονεύεται από υλιστικά νοητικά πειράματα, δηλαδή από σχεδιασμένες φανταστικές πραγματικότητες, με σκοπό την αποκάλυψη των υλόφρονων συναισθημάτων μας. Οπότε, ή θα περιμένουμε καρτερικά να θρηνήσουμε τα αποκυήματα της κομορμιστικής ακηδίας και της τελματώδους αμέλειάς μας, από την παραμέληση της φύσης ή υπεύθυνα θα συνθέσουμε ένα νευραλγικά διυλισμένο και καθολικά αποδεκτό, νομικά άρρηκτο και αναμφισβήτητο καταστατικό προστασίας και ελέγχου της κλιματικής αλλαγής.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Αριστοτέλους, Φυσικά-(Φυσικής Ακροάσεως) (1973). *Physics Scriptorum Classicorum Bibliotheca oxoniensis*. Ed. W.D. Ross. Oxford: Oxford University Press.
- Καίσιερ, Α. (1976). *Οι Ρίζες της Σύμπτωσης*. Αθήνα: Εκδόσεις Χατζηνικολή.
- Κουτράκου, Ν.Α. (1992). *Φύση και άνθρωπος στο Βυζάντιο. Αντιλήψεις και ιδεολογήματα*. Σε: Λ. Μπαρτζελιώτης (εκδ). *Άνθρωπος και Φύση*. Αθήνα: Διεθνές Κέντρο Φιλοσοφίας και διεπιστημονικής έρευνας. Σειρά: Διεπιστημονικές Εκδηλώσεις. Νο. 2, σελ.130-141.
- Μανιάτης, Γ. (2001). *Η Μεταβολή και η Ταυτότητα στη Φιλοσοφία του Ηρακλείτου*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.
- Μανωλάς, Ε., Σούτσας, Κ. (2015). *Θρησκείες του κόσμου και οικολογία*. Σε: Μανωλάς, Ε. (Επιμ), *Περιβαλλοντική Πολιτική: Θεωρία και Πράξη*. Τόμος προς Τιμήν του Αλκιβιάδη Δερβιτσιώτη, Ορεστιάδα: Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, σελ. 164-171.
- Μανωλάς, Ε. (2011). *Χρήση και σημασία της αυτοβιογραφικής κοινωνιολογίας στην τριτοβάθμια εκπαίδευση*. *Νέα Παιδεία*. τ. 139, σελ. 119-125.
- Πελεγρίνης, Θ.Ν. (2005). *Λεξικό της Φιλοσοφίας*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- Πελεγρίνης, Θ.Ν. (2010). *Εισαγωγή στην Φιλοσοφία*. Αθήνα: Πεδίο.
- Πλάγγεσης, Γ. (2012). *Η θεωρία της μεταβολής των πολιτευμάτων και το ιδεώδες της άριστης πολιτείας στα Πολιτικά του Αριστοτέλη*. *Φιλοσοφείν*. τ. 6, σελ. 142-162.
- Σιάσος, Λ. (1989). *Η Διαλεκτική στη Φανέρωση της Φύσης*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Πουρναρά.
- Σφενδόνη-Μέντζου, Δ. (2008). *Aristotle's Theory of Time in Relation to the 'Time Arrow' of Ilya Prigogine*. *Proceedings of the International Conference "Aristotle and the Aristotelian Tradition"*, Lecce -June 12-14, pp. 391-404. (Η αριστοτελική θεωρία του χρόνου σε σχέση με "το βέλος του χρόνου" του Ilya Prigogine, στο *Ο Αριστοτέλης σήμερα. Πτυχές της αριστοτελικής φυσικής*

φιλοσοφίας υπό το πρίσμα της σύγχρονης επιστήμης, Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2010, (σσ. 193-216).

Φύση και ζωή – Φιλοδοσική Αθηνών, τ. 174, Αθήνα (2015).

II. Ξενόγλωσση

- Attfield, R. (2010). *Environmental Ethics*. Cambridge: Polity Press.
- Brown, L. (2011). *World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse*. New York: Earth Policy Institute.
- Corkum, P. (2008). Aristotle on ontological dependence. *Phronesis*. Vol. 53, No. 1, pp. 65-92.
- Eldredge, N. (2006). Confessions of a Darwinist. *The Virginia Quarterly Review*. Vol. 82, No. 2, pp. 32-53.
- Gardiner, S.M. (2011). *A Perfect Moral Storm: The Ethical Tragedy of Climate Change*. Oxford: Oxford University Press.
- Graham, D.W. (2008). Heraclitus: flux, order, and knowledge. In: Curd, P., Graham, D.W. (Eds). *The Oxford Handbook of Presocratic Philosophy*. New York: Oxford University Press, pp.169-188.
- Griffin, S., Solum, L. (Eds) (1994). Symposium of John Rawls's Political Liberalism. *Chicago Kent Law Review*. Vol. 69, pp. 549-842.
- Lean, J. (2010). Cycles and trends in solar irradiance and climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. Vol. 1, No. 1, pp. 111-122.
- Lockwood, M. (2009). Solar Change and Climate: An update in the light of the current exceptional solar minimum. *Proceedings of the Royal Society. Series A*, 466 (2114), pp. 303-329.
- Low, N., Gleeson, Br. (1998). *Justice, Society, and Nature: An Exploration of Political Ecology*. London: Routledge.
- MacBride, F. (2014). How truth depends on being. *Analysis*. Vol. 74, No. 3, pp. 370-378.
- O'Conaill, D. (2014). Ontic structural realism and concrete objects. *The Philosophical Quarterly*. Vol. 64, No. 255, pp. 284-300.
- Rousseau, G. (1966). A New Pope Letter. *Philological Quarterly*. Vol. 45, No. 2, pp. 409-418.
- Sherburn, G. (1958). Letters of Alexander Pope, Chiefly to Sir William Trumbull. *Review of English Studies*. NS 9, pp. 388-406.
- Victor, D. (2011). *Global Warming Gridlock*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ziegler, K. 1951. Plutarchos von Chaironeia. *Paulys Realenzyklopädie* 21.1, pp. 636-962.

Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΗΘΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

Χρήστος Α. Τσέκος

Διδάσκων στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Ηθική Φιλοσοφία»

Τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής, Ψυχολογίας

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

E-mail: ca.tsekos@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του καινοφανούς Φιλοσοφικού κλάδου της Περιβαλλοντικής Ηθικής και του φαινομένου των κλιματικών αλλαγών. Αρχικά, αφού δοθεί ένας γενικός ορισμός του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, επιχειρείται μια ανάλυση των αιτίων που δημιούργησαν το φαινόμενο αυτό, όπως και μια ανάλυση των επιπτώσεών του. Στη συνέχεια παρατίθεται μια ανάλυση της σημασίας διαμόρφωσης μιας νέας περιβαλλοντικής ηθικής, προκειμένου να αντιμετωπιστούν δραστικά τα περιβαλλοντικά προβλήματα (όπως η κλιματική αλλαγή), καθώς και η συνακόλουθη ανάγκη αναπροσανατολισμού των αξιών προς ένα περισσότερο οικοκεντρικό - φυσιοκεντρικό κοσμοείδωλο. Τέλος, υποστηρίζουμε πως η νέα αυτή περιβαλλοντική ηθική μέσω της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης μπορεί να μεταλαμπαδευθεί σε αρκετές κοινωνικές ομάδες, ώστε μέσω της δημιουργίας οικολογικών συνειδήσεων να αρχίσει η άμβλυνση των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Λέξεις κλειδιά: *Κλιματική αλλαγή, Περιβαλλοντική Ηθική, Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, αξίες, τεχνολογία*

Παγκόσμια κλιματική αλλαγή: ένας ορισμός του φαινομένου

Το φαινόμενο της αλλαγής του παγκόσμιου κλίματος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα σύγχρονα προβλήματα διεθνώς και η σοβαρότητα της κατάστασης αυτής καταδεικνύεται χαρακτηριστικά από τη συχνή πραγματοποίηση διεθνών συσκέψεων και συναντήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο σχετικά με το θέμα αυτό.

Η κλιματική αλλαγή, όπως έχει καθιερωθεί να λέγεται το φαινόμενο αυτό, σχετίζεται με την υπερβολική παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου – κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και άλλων, όπως του μεθανίου και των χλωροφθορανθράκων –, τα οποία συντελούν στην παγίδευση της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται από τη Γη (φαινόμενο του θερμοκηπίου) και συνακόλουθα στην παγκόσμια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη με ό,τι αυτή η αύξηση συνεπάγεται.

Τα αίτια και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Ας αναφερθούμε στη συνέχεια λίγο πιο αναλυτικά στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Όπως προαναφέρθηκε, βασική αιτία του φαινομένου αυτού είναι η υπερβολική αύξηση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Όπως είναι γνωστό, τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου (δηλαδή CO₂, CH₄, O₃ και CFC_s) απορροφούν μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη Γη και την επανεκπέμπουν προς αυτήν με αποτέλεσμα να παγιδεύεται θερμότητα στην ατμόσφαιρα και έτσι να δημιουργείται το λεγόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» (Τσέκος & Ματθόπουλος 2011). Κύριες πηγές εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αποτελούν οι καύσεις ορυκτών καυσίμων (δηλαδή λιθάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου) που λαμβάνουν χώρα στις μεταφορές, στην παραγωγή ηλεκτρισμού και σε άλλους βιομηχανικούς σκοπούς (Κουϊμτζής κ.ά. 1998, Καρβούνης & Γεωργακέλλος 2003). Επίσης, βασική αιτία επιδείνωσης του προβλήματος αυτού (η οποία όμως συχνά παραβλέπεται) αποτελεί και η αποψίλωση δασικών εκτάσεων, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως δεξαμενές απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα.

Πιο συγκεκριμένα, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) σε μελέτη της το 2001 ανακοίνωσε ότι από τα μέσα του 18^{ου} αιώνα το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 31%, ενώ το 2011 η Διεθνής Επιτροπή Ενέργειας (IEA) προέβλεψε ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα θα αυξηθούν κατά 63% μέχρι το έτος 2030 (IEA 2011). Αυτή η αύξηση, σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ενέργειας, θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 0.5°C και 2°C μέχρι το 2050, ενώ σχετικά με το ίδιο θέμα η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή προέβλεψε ότι η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη θα αυξηθεί μεταξύ 1.5°C και 6°C μέχρι το 2100.

Όσον αφορά τις πιθανολογούμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, αυτές θα μπορούσαν να συνοψισθούν ως ακολούθως (Καρβούνης & Γεωργακέλλος 2003, Κουϊμτζής κ.ά. 1998):

- α) Ακραία καιρικά φαινόμενα που παρατηρούμε συχνά να εμφανίζονται τις τελευταίες δεκαετίες, όπως είναι οι θύελλες, οι τυφώνες, οι ανεμοστρόβιλοι και οι σχεδόν κατακλυσμιαίες βροχοπτώσεις.
- β) Άνοδος της στάθμης της θάλασσας από 15 έως 95 εκατοστά μέχρι το τέλος του αιώνα. Κατά συνέπεια, αρκετές παραλιακές περιοχές θα απειληθούν (αρκετές βέβαια ήδη απειλούνται) άμεσα με πλημμύρες, όπως συνέβη στην περίπτωση των νησιών Τουβαλού στον Ειρηνικό Ωκεανό. Στην περίπτωση αυτή οι κάτοικοι του μικροσκοπικού νησιωτικού αυτού συμπλέγματος αναγκάστηκαν να μεταναστεύσουν στη γειτονική Αυστραλία εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας που απειλούσε άμεσα την ίδια τους την επιβίωση.
- γ) Βλάβες σε ευαίσθητα οικοσυστήματα, όπως είναι τα τροπικά δάση και οι κοραλλιογενείς περιοχές εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας και της μείωσης των βροχοπτώσεων.
- δ) Μετακίνηση των ζωνών βροχοπτώσεων από τον Ισημερινό προς βορρά και ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης μεταξύ του 20^{ου} και του 40^{ου} παραλλήλου.

Συμπερασματικά, η κλιματική αλλαγή είναι ήδη παρούσα σε δύο επίπεδα: αρχικά σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, αφού έχει αρχίσει ήδη να επηρεάζει σημαντικά τις

ζωές ορισμένων κατοίκων του πλανήτη μας που έχουν αρχίσει να μετατρέπονται στους λεγόμενους οικο-πρόσφυγες, και επιπλέον, σε καθαρά οικολογικό επίπεδο, αφού η κλιματική αλλαγή προκαλεί τόσο σημαντικές αλλαγές στη λειτουργία των οικοσυστημάτων του πλανήτη, ώστε να απειλεί ακόμη και την ίδια τη φέρουσα ικανότητα των οικοσυστημάτων αυτών.

Προτάσεις για την άμβλυνση του προβλήματος και ο ρόλος της Περιβαλλοντικής Ηθικής

Τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα, κατά τη γνώμη μας, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται περισσότερο με όρους αιτίων και όχι με όρους συμπτωμάτων. Ας γίνουμε, όμως, πιο σαφείς: η κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλούνται, όπως προαναφέρθηκε, εξαιτίας των αυξημένων εκπομπών αερίων. Όσο, όμως, οι κυβερνήσεις και οι πολίτες ανά τον κόσμο επιμένουν να αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αυτό μόνον ως τεχνικής φύσεως πρόβλημα, θα αδυνατούν να το αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά, διότι η πάγια τακτική έως τώρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν κυρίως να αναπτυχθούν κατάλληλες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες (δηλαδή καταλύτες, φίλτρα κλπ), όπως επίσης και να επιβάλλονται πρόστιμα σε όσους ρυπαίνουν. Έγκειται, δηλαδή, η μακροχρόνια επίλυση του προβλήματος αυτού στην εφαρμογή λύσεων μόνον τεχνικού χαρακτήρα; Ας μας επιτραπεί να αμφιβάλλουμε, αφού τα δεδομένα που παρουσιάζουν διεθνείς ανεξάρτητες αρχές που ασχολούνται με το ζήτημα αυτό (όπως η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή) μόνο ενθαρρυντικά δεν είναι.

Ας εξετάσουμε, όμως, τα πράγματα βαθύτερα. Η επιστήμη και η τεχνολογία αναμφίβολα αποτελούν μέσα για την αναβάθμιση της ποιότητας της ζωής και του βιοτικού επιπέδου της ανθρωπότητας. Ωστόσο, από τη βιομηχανική επανάσταση και έπειτα η απερίσκεπτη χρήση της τεχνολογίας έχει ήδη αρχίσει να απειλεί την ίδια μας την ύπαρξη. Θαμπωμένη, θα λέγαμε, η ανθρωπότητα από τα υλικά αγαθά που η σύγχρονη τεχνολογία απλόχερα της προσέφερε, έχει μετατραπεί σε κοινωνία της οποίας το κυρίαρχο *modus vivendi* συνοψίζεται στο ρητό «καταναλώνω, άρα υπάρχω». Αυτός ο σύγχρονος υλιστικός ευδαιμονισμός και η ανάγκη ικανοποίησης αυτών των επίπλαστων, συχνά, αναγκών γιγάντωσαν εν πολλοίς τα σύγχρονα οικολογικά προβλήματα διαμέσου της τεράστιας ζήτησης σε πρώτες ύλες και της ταυτόχρονης παραγωγής κάθε είδους αποβλήτων. Η ληστρική αυτή εκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων (των ορυκτών καυσίμων στη συγκεκριμένη περίπτωση) και η συνεχής παραγωγή αποβλήτων έχουν φθάσει στο σημείο ν' απειλούν την ίδια την ομοιοστατική ικανότητα των οικοσυστημάτων, δηλαδή την ικανότητα που έχουν να αποκαθιστούν μόνα τους τις βλάβες τους.

Το παράδειγμα της κλιματικής αλλαγής δεν είναι το μοναδικό της απερίσκεπτης χρήσης της επιστήμης και της τεχνολογίας από την ανθρωπότητα. Ας αναλογισθούμε για του λόγου το αληθές την καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος, την τεράστια βλάβη που προκαλούν οι πετρελαιοκηλίδες στα θαλάσσια οικοσυστήματα και την όξινη βροχή, προκειμένου να αντιληφθούμε τις ολέθριες επιπτώσεις της απόλυτα δεσποτικής και κυριαρχικής ιδεολογίας του ανθρώπου απέναντι στον κόσμο που τον περιβάλλει.

Θεωρούμε, λοιπόν, ως αναγκαίο τον αναπροσανατολισμό των αξιών προς ένα περισσότερο οικοκεντρικό - φυσιοκεντρικό κοσμοείδωλο δεδομένου ότι η εφαρμογή

μόνο τεχνικών μέτρων (τεχνολογίες αντιρρύπανσης) και οικονομικών εργαλείων (πρόστιμα για τους ρυπαίνοντες) για την αντιμετώπιση των σύγχρονων οικολογικών προβλημάτων δεν φαίνεται να αποδίδει καρπούς. Ασφαλώς δεν αρνούμαστε, βέβαια, τη σημασία της τεχνολογίας και της οικονομίας στην επίλυση του προβλήματος αυτού (θα ήταν αφέλεια άλλωστε), αλλά θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα η σημασία της Περιβαλλοντικής Ηθικής, όπως και της Φιλοσοφίας εν γένει, στη «χαρτογράφηση» του νέου τοπίου απέναντι στον κόσμο που μας περιβάλλει (Πρωτοπαπαδάκης 2008). Χωρίς να προτείνουμε την πλήρη απόρριψη των «δυτικών» αξιών, είναι προφανές πως η διεθνής τάση για συνεχή οικονομική μεγέθυνση με παράλληλη πίστη στις απεριόριστες δυνατότητες της φύσης να απορροφά τους «κραδασμούς» που ο ανθρώπινος παράγοντας δημιουργεί, έχει ήδη δημιουργήσει τρομακτικά προβλήματα και δεν μπορεί πλέον να συνεχισθεί. Στο κρίσιμο σημείο που βρισκόμαστε μόνον μια αναϊεράρχηση των φιλοσοφικών αξιών των σύγχρονων ανθρώπινων κοινωνιών μπορεί να δώσει μακροπρόθεσμες λύσεις μέσω της «επέκτασης» της ηθικής και σε άλλες οντότητες εκτός του ανθρώπου, όπως τα ζώα, τα φυτά, τα οικοσυστήματα και άλλα ένυλα δημιουργήματα του ανθρώπινου πολιτισμού. Στο νέο αυτό αξιακό σύστημα τα ζώα, τα φυτά και τα οικοσυστήματα (φυσικό περιβάλλον), όπως και τα δημιουργήματα το ανθρώπου (ανθρωπογενές περιβάλλον) δεν αποκτούν αξία λόγω της χρήσης τους (εργαλειακή αξία), αλλά αντίθετα χρήζουν σεβασμού και προστασίας ως έχοντα εγγενή αξία (αυταξία).

Πιθανώς, εν προκειμένω, να αναρωτηθεί κάποιος: μήπως είναι η συγκεκριμένη ηθική ένα κάλεσμα προς τη μισανθρωπία, αφού η στοχοθεσία της είναι ξεκάθαρα μη ανθρωποκεντρική; Η απάντηση μας: η νέα αυτή ηθική έχει ασφαλώς ως γνώμονα τις ανθρώπινες ανάγκες, αλλά παράλληλα σέβεται και τις υπόλοιπες μορφές ζωής και τα υπόλοιπα μη έμβια στοιχεία της φύσης. Ενδεικτικά αυτής της νέας ηθικής είναι τα λόγια του Skolimowski:

“Ο οικολογικός ανθρωπισμός βλέπει τον άνθρωπο ως μέρος μιας γενικότερης δομής: της φύσης και του σύμπαντος. [...] Ο φυσικός κόσμος τότε θα επενδυθεί την ίδια «αξία», όπως ο ανθρώπινος κόσμος. Από την άλλη πλευρά, η οικολογική ισορροπία γίνεται μέρος της ανθρώπινης ισορροπίας. Το αποτέλεσμα είναι η συγχώνευση οικολογίας και ανθρωπισμού”.

Άλλωστε ειρήσθω εν παρόδω ότι ο σεβασμός εκ του φόβου παύει να ισχύει, όταν εκλείψει ο φόβος (π.χ. τα πρόστιμα), ενώ η συνειδητή οικολογική συμπεριφορά όχι μόνο δεν παύει, όταν εκλείψει ο φόβος, αλλά δίδει τη δυνατότητα βαθύτερης, άρα και ουσιαστικότερης οικολογικής συμπεριφοράς.

Ας βιώσουμε, λοιπόν, στην ουσία του το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, γιατί δεν είναι μακριά από την αλήθεια όποιος προβλέψει ότι αυτή τη φορά καμία Κιβωτός δεν θα σώσει την ανθρωπότητα.

Οι τρεις άξονες της νέας ηθικής

Οι τρεις άξονες της νέας περιβαλλοντικής ηθικής θα πρέπει να είναι, κατά τη γνώμη μας, οι ακόλουθοι:

- α) Σεβασμός για τον άνθρωπο ως άτομο και ως μέλος του κοινωνικού συνόλου, καθώς και σεβασμός για τα δημιουργήματά του, δηλαδή για το ανθρωπογενές περιβάλλον (π.χ. πολιτισμικό περιβάλλον).

β) Σεβασμός για τη βιοτική συνιστώσα του περιβάλλοντος (ζωικοί και φυτικοί οργανισμοί, π.χ. δικαιώματα ζώων).

γ) Σεβασμός για την αβιοτική συνιστώσα του περιβάλλοντος (μη έμβια φύση, π.χ. νερό, έδαφος, κλπ).

Ο ρόλος της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης

Η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση αποτελεί μια άριστη ευκαιρία, προκειμένου να μεταλαμπαδευθούν οι αξίες της νέας περιβαλλοντικής ηθικής. Άλλωστε, η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση έχει τρεις όψεις, οι οποίες είναι (Palmer 1998): α) η γνωστική που σχετίζεται με την ανάπτυξη εννοιών και εξήγηση διαδικασιών (δηλαδή γνώσεις), β) η συναισθηματική που σχετίζεται με άμεση αισθητηριακή εμπειρία του περιβάλλοντος και γ) η ηθική που σχετίζεται με την καλλιέργεια αξιών για τη δημιουργία ενός νέου περιβαλλοντικού ήθους. Όπως είναι γνωστό άλλωστε, οι τρεις αυτές όψεις της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης στηρίζονται στον κατά Πλάτωνα τριμερή διαχωρισμό της ψυχής σε γνωστικό, συναισθηματικό και βουλητικό. Ευνόητο, λοιπόν, καθίσταται ότι μέσω της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης είναι δυνατόν να εμπλουτισθεί πολύπλευρα η οικολογική συνείδηση του ανθρώπου.

Ο ρόλος της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης στη δημιουργία οικολογικών συνειδήσεων καθίσταται σημαντικότερος, εάν αναλογισθούμε ότι απευθύνεται κυρίως σε μαθητές που θα αποτελέσουν τους αυριανούς πολίτες που θα είναι φυσικά και οι λήπτες των αυριανών αποφάσεων. Εάν δεν «επενδύσουμε» εκεί (δηλαδή κυρίως στη νέα γενιά), ώστε να αναμένουμε κάποια σημαντική αλλαγή στο μέλλον, τότε από πού μπορούμε άραγε να αντλήσουμε αισιοδοξία; Άλλωστε είναι αυτονόητο ότι «εξ απαλών ονύχων» διαπλάθεται η ανθρώπινη προσωπικότητα.

Θα πρέπει να αναφερθεί στο σημείο αυτό και το ότι σύμφωνα με τη Διάσκεψη της Τιφλίδας, που ήταν μια από τις βασικότερες διασκέψεις για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, αναφέρεται ρητά ότι η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση διακρίνεται σε: α) εκπαίδευση για το ευρύ κοινό, β) εκπαίδευση ιδιαίτερων επαγγελματικών κλάδων και γ) επιμόρφωση ειδικών επαγγελματιών και επιστημόνων (Σκαναβή 2004). Πιστεύουμε, λοιπόν, ότι η διάδοση και η ισχυροποίηση της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης σε όλο και περισσότερες κοινωνικές ομάδες (και όχι μόνο στους νεαρούς μαθητές φυσικά) μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο καλλιέργειας ενός νέου περιβαλλοντικού ήθους που τόσο πολύ είναι αναγκαίο.

Συμπεράσματα

Θεωρούμε ότι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποτελεί μια πρόκληση για τη σύγχρονη περιβαλλοντική ηθική για μια επανατοποθέτηση του προβλήματος σε μια εντελώς διαφορετική βάση: αυτή του ιδεολογικού και ηθικού πυρήνα του προβλήματος που, κατά τη γνώμη μας, σχετίζεται με το χώρο των αξιών. Όσο αφήνουμε τα «μονόχορδα» της τεχνολογίας, της οικονομίας κ.λπ. να μας παρέχουν μαγικές λύσεις για τα προβλήματά μας, παραμελώντας συστηματικά τη δημιουργία αλλαγών στο αξιακό μας σύστημα, δεν μπορούμε να περιμένουμε μακροπρόθεσμες λύσεις. Τα επιστημονικά δεδομένα ήδη επαληθεύουν το συμπέρασμα αυτό, αφού η κατάσταση, όσον αφορά παγκόσμια αλλαγή του κλίματος, κάθε άλλο παρά βελτιώνεται. Όσοι δεν μπορούμε να συμφιλιωθούμε με αυτήν την πραγματικότητα, ας δημιουργήσουμε «με λογισμό και μ' όνειρο» (για να θυμηθούμε το μεγάλο ποιητή

μας Σολωμό) ένα περισσότερο βιώσιμο μέλλον βασισμένο σε μια νέα οικολογική ηθική. Μια ηθική που θα δώσει φτερά στην ελπίδα για τη σωτηρία της ανθρωπότητας από τον Αρμαγεδδώνα μιας οικολογικής συντέλειας, όπου απειλούν να μας ρίξουν κάποια οργανωμένα συμφέροντα και η ανθρώπινη απεισκευσία.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά, Κ. (1998). Χημεία Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Καρβούνης, Σ., Γεωργακέλλος, Δ. (2003). Διαχείριση του Περιβάλλοντος. Επιχειρήσεις και Βιώσιμη Ανάπτυξη. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.
- Πρωτοπαπαδάκης, Ε.Δ. (2008). Περιβαλλοντική Ηθική: Ο Άρνε Νες και η Βαθιά Οικολογία. Αθήνα-Κομοτηνή: Εκδόσεις Αντ. Ν. Σάκκουλα.
- Skolimowski, H. (1984). Οικοφιλοσοφία: Καινούρια Τακτική για τη Ζωή. Αθήνα: Κάλβος.
- Σκαναβή, Κ. (2004). Περιβάλλον και Κοινωνία. Μια Σχέση σε Αδιάκοπη Εξέλιξη. Αθήνα: Καλειδοσκόπιο.
- Τσέκος, Χ.Α., Ματθόπουλος, Δ.Π. (2011). Αρχές Περιβαλλοντικών Επιστημών. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

II. Ξενόγλωσση

- International Energy Agency (2011). Are we entering a golden age of gas? World Energy Outlook. Paris: OECD/IEA.
- Palmer, J.A. (1998). Environmental Education in the 21st Century. London and New York: Routledge.

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Αικατερίνη Ε. Ζέρβα

Υποψήφια Διδάκτωρ

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: azerva@fmenr.duth.gr

Γεώργιος Ε. Τσαντόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: tsantopo@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πολιτικές προσαρμογής και μετριασμού για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο τις τελευταίες δεκαετίες. Οι ήδη εμφανείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής συμβάλλουν στην διερεύνηση τους όλο και περισσότερο από τους ερευνητές. Παρ' όλα αυτά, οι πολιτικές αυτές διερευνώνται ξεχωριστά, με μεγαλύτερη βαρύτητα να δίνεται στην πολιτική μετριασμού, σε σχέση με την πολιτική προσαρμογής, τόσο από τους ερευνητές όσο και από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Οι ερευνητές, στην διερεύνηση της πολιτικής προσαρμογής αναφέρονται περισσότερο στην πολιτική προσαρμογής της διακυβέρνησης μεταξύ των δημόσιων και ιδιωτικών φορέων ενώ η διερεύνηση της πολιτικής προσαρμογής των πολιτών είναι περιορισμένη.

Σκοπός της εργασίας είναι να διερευνήσει τις μεθόδους και τις προοπτικές της πολιτικής προσαρμογής για την ενίσχυση της ευαισθητοποίησης και της κοινωνικής μάθησης των πολιτών σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Ειδικότερα, θα επισημάνει τον καθοριστικό ρόλο και τη συμβολή της περιβαλλοντικής επικοινωνίας στην ανάπτυξη και στη χάραξη πολιτικής προσαρμογής του κοινωνικού συνόλου στην κλιματική αλλαγή.

Λέξεις κλειδιά: Πολιτική μετριασμού, πολιτική προσαρμογής, εμπλεκόμενοι φορείς, ευαισθητοποίηση, κοινωνικό σύνολο

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί αναμφισβήτητα ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα στον πλανήτη με ήδη εμφανείς επιπτώσεις οι οποίες έχουν απασχολήσει πολλαπλές φορές τον ερευνητικό χώρο. Με βάση την παραδοχή

αυτή, πραγματοποιήθηκε πληθώρα ερευνών περιβαλλοντικής πολιτικής με σκοπό την ελαχιστοποίηση ή την επιβράδυνση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Οι έρευνες αυτές αφορούν κυρίως τον μετριασμό των παραγόμενων ρύπων όλων των χωρών και την προσαρμογή των πολιτών στις νέες αλλαγές αλληλοσυμπληρώνοντας η μια την άλλη. Παρ' όλα αυτά στη διεθνή κοινότητα οι πολιτικές προσαρμογής και μετριασμού διερευνώνται ξεχωριστά χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η αλληλένδετη μεταξύ τους σχέση. Το ίδιο συμβαίνει και στην προβολή των θεμάτων αυτών από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης (Liu et al. 2008). Με την έννοια του μετριασμού αναφέρονται συνήθως, στην ανθρωπογενή παρέμβαση για τη μείωση των πηγών ή την ενίσχυση των σχεδίων μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Ενώ ως προσαρμογή εννοούν την προσαρμογή των φυσικών ή των ανθρώπινων συστημάτων σε ένα νέο ή μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Παράλληλα, την τελευταία δεκαετία οι Barnet και ο O' Neil (2010) εισήγαγαν μια νέα υπόθεση ως ορισμό την «κακή» προσαρμογή. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, ως κακή προσαρμογή αναφέρουν τα υποτιθέμενα ή τα λανθασμένα μέτρα που λαμβάνονται για την αποφυγή ή την επιβράδυνση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Τα μέτρα αυτά μπορούν να επιφέρουν τα αντίθετα αποτελέσματα και να επηρεάσουν δυσμενώς την κλιματική αλλαγή ή να αυξήσουν την ευπάθεια. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να υπάρξει ένα κοινό πλαίσιο ετοιμότητας για την προσαρμογή που να προσδιορίζεται και θα απαρτίζεται από διάφορους εμπλεκόμενους φορείς. Οι φορείς αυτοί αποτελούνται τόσο από την σύμπραξη της πολιτικής ηγεσίας με την θεσμική οργάνωση, την προσαρμογή στη λήψη αποφάσεων και συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων όσο και από τη διαθέσιμη επιστημονική γνώση και τους πόρους χρηματοδότησης της δημόσιας στήριξης για την προσαρμογή (Ford & King 2015). Όμως, η δημιουργία αυτού του κοινού πλαισίου δεν είναι εύκολη υπόθεση. Μεταξύ των παραγόντων αυτών, που συχνά αγνοούνται ως σημαντικοί περιοριστικοί παράγοντες, συγκαταλέγεται η έλλειψη ευαισθητοποίησης και ενημέρωσης, η εμπιστοσύνη, οι διαθέσιμοι χρηματικοί πόροι και η πολιτική δέσμευση (Clar et al. 2013). Επιπρόσθετα, ένας άλλος παράγοντας που επιβραδύνει την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και την ένταξη σε κοινό πλαίσιο με την πολιτική μετριασμού είναι η αβεβαιότητα του βαθμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής που ενισχύει την διαφωνία των εμπλεκόμενων φορέων σχετικά με τις αξίες, τους κανόνες και τις αρχικές στρατηγικές πολιτικής, κάνοντας την προσαρμογή δύσκολη (Perry 2015).

Στην Ευρώπη, τις δυο τελευταίες δεκαετίες η κατάσταση σχεδιασμού προσαρμογής σε ορισμένες χώρες βρισκόνταν σε πρώιμο στάδιο καθώς η Ευρωπαϊκή πολιτική είχε επικεντρωθεί αποκλειστικά στη δημιουργία και την εφαρμογή της πολιτικής του μετριασμού για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ενώ η έννοια της προσαρμογής αποτελούσε ταμπού. Αντίθετα, ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και η Φιλανδία, είχαν αρχίσει να ασχολούνται με την υλοποίηση και αξιολόγηση πολιτικών προσαρμογής (Hange et al. 2013).

Η διερεύνηση και η εφαρμογή της πολιτικής προσαρμογής έγινε αισθητή σε ευρωπαϊκό πλαίσιο αργότερα και κυρίως από τα μέσα του 1990, με την ανάδειξη της πολιτικής προσαρμογής από τους ερευνητές, τις κυβερνήσεις και την UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) που αναγνώρισαν την αναγκαιότητα των μέτρων μετριασμού και προσαρμογής (Evans et al. 2014). Στη συνέχεια, από την Ευρωπαϊκή Ένωση εγκρίθηκαν επτά εθνικές στρατηγικές οι οποίες αφορούσαν έξι βασικές εφαρμογές που σχετίζονται με την διευκόλυνση της ανάπτυξης μιας εθνικής στρατηγικής προσαρμογής, την επιστημονική και τεχνική υποστήριξη που απαιτείται για την ανάπτυξη και την εφαρμογή μιας τέτοιας

στρατηγικής, τον ρόλο της στρατηγικής πληροφόρησης, επικοινωνίας και ευαισθητοποίησης για την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων και τη στρατηγική που ασχολείται με την ένταξη και το συντονισμό με άλλους τομείς (Biesbroek et al. 2010).

Στην παρούσα εργασία, θα προσπαθήσουμε να αποτυπώσουμε μερικούς προβληματισμούς σχετικά με την εφαρμογή της πολιτικής προσαρμογής και μετριασμού στην κλιματική αλλαγή, τους υπάρχοντες περιοριστικούς παράγοντες που αφορούν την εφαρμογή της, τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για τη συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων της προσαρμογής, τις ήδη υπάρχουσες εφαρμόσιμες στρατηγικές προσαρμογής σε ευρωπαϊκό πλαίσιο και τη συμβολή της περιβαλλοντικής επικοινωνίας για την εξομάλυνση των περιοριστικών φραγμών της εφαρμογής της.

Περιοριστικοί παράγοντες στην εφαρμογή της πολιτικής προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή

Οι περιορισμοί για την εφαρμογή της πολιτικής προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες που αφορούν είτε την αβεβαιότητα του βαθμού των επιπτώσεων είτε άλλους ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την κλιματική αλλαγή. Οι παράγοντες που αφορούν τον βαθμό αβεβαιότητας των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής οφείλονται κατά κύριο λόγο στην πολυπλοκότητα του προβλήματος καθώς αναφέρονται σε πολλαπλές κλίμακες και πρέπει να περιλαμβάνει πολλαπλά επίπεδα διακυβέρνησης. Επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το γεγονός ότι τα προβλήματα της προσαρμογής δεν εμφανίζονται μεμονωμένα αλλά εξαρτώνται από ένα πλαίσιο κοινωνικών, δημογραφικών, πολιτικών και οικονομικών αλλαγών (Hanger et al. 2012).

Οι ενδογενείς παράγοντες αφορούν την κοινωνία και ως εκ τούτου εξαρτώνται από την ηθική, τη γνώμη, τη στάση απέναντι στην επικινδυνότητα και τον πολιτισμό (Adger et al. 2009) και οι εξωγενείς αφορούν τις κλιματολογικές συνθήκες και αλλαγές. Στον πρώτο τομέα, των ενδογενών παραγόντων σημαντικό ρόλο έχει η δημιουργία στοχευόμενης και ειδικής περιβαλλοντικής επικοινωνιακής παρέμβασης (Boon 2014) τόσο μεταξύ των πολιτών για τη διαμόρφωση των απόψεων και γνώσεων όσο και για την σύνδεση της επιστημονικής κοινότητας με την πολιτική διακυβέρνηση και των ενδιαφερόμενων φορέων ώστε να λάβουν μια κοινή στρατηγική πολιτική προσαρμογής. Όσον αφορά τη διαμόρφωση της αντίληψης των πολιτών και τη λήψη αποφάσεων, υπάρχει έκτακτη ανάγκη και είναι απαραίτητη η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και τη συμμετοχή τους στην προσαρμογή ώστε να δημιουργήσουν την προσωπική τους ανθεκτικότητα (Howes 2014) στις μελλοντικές κλιματικές αλλαγές. Λόγω του γεγονότος ότι οι πολίτες αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα στην ενημέρωση για τον τρόπο με τον οποίο θα προσαρμοστούν ή θα βοηθήσουν στο μετριασμό υπό συνθήκες αβεβαιότητας και κάτω από μη σταθερά καιρικά φαινόμενα όπως είναι οι τυφώνες, οι ξηρασίες και οι πλημμύρες (Collier et al. 2014).

Παρ' όλα αυτά η ενημέρωση και η δημιουργία μιας ενιαίας στρατηγικής πολιτικής προσαρμογής δεν είναι εύκολη και απαιτείται η συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων φορέων. Ο σχεδιασμός της ενιαίας στρατηγικής πολιτικής προσαρμογής παρεμποδίζεται λόγω των διαφορετικών πεποιθήσεων και λόγω των

διαφορετικών στρατηγικής περιβαλλοντικής επικοινωνίας που ακολουθεί κάθε χώρα για την προβολή και ενημέρωση της έκθεσης προσαρμογής (Folke et al. 2015).

Όσον αφορά τους εξωγενούς παράγοντες, ο περιοριστικός παράγοντας που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων και τη δημιουργία στρατηγικής πολιτικής είναι αλλαγές στη διαχείριση φυσικών πόρων. Οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές ενδέχεται να αλλάξουν τους τρόπους διαχείρισης των διαχειριζόμενων περιοχών και κατά συνέπεια την αναδιαμόρφωση των διαχειριστικών μορφών. Γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον Barron και τους συνεργάτες του (2009), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι πιθανώς να υπάρξουν λόγω των κλιματικών αλλαγών αρκετές αλλαγές στην διαχείριση των οικοσυστημάτων που θα προέλθουν από ορισμένες επιπτώσεις όπως οι εξής: 1) τα κλιματικά μοτίβα του παρελθόντος δεν θα συμπίπτουν με τα μελλοντικά διαχειριστικά σχέδια, 2) οι αλλαγές στο κλίμα θα καθορίζουν τις επιρροές του περιβάλλοντος και τις μελλοντικές τάσεις για την κατανομή των ειδών και των οικοτόπων τους και 3) οι ειδικές δράσεις διαχείρισης μπορεί να βοηθήσουν στην αύξηση της ανθεκτικότητας κάποιων φυσικών πόρων αλλά ενδέχεται να προκαλέσουν θεμελιώδεις αλλαγές στα είδη του περιβάλλοντος που προϋπάρχουν οι οποίες μπορεί να είναι αναπόφευκτες.

Προϋποθέσεις για το σχεδιασμό πολιτικής προσαρμογής στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Η περιβαλλοντική επικοινωνία γενικότερα, είναι μια σύγχρονη ευρύτερη έννοια η οποία αποτελεί περίπλοκη περιβαλλοντική μελέτη με κατευθυντήρια προς την κατεύθυνση να διευρύνει τη σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον (Strongman 2012). Σύμφωνα με τον Cox (2013) ως περιβαλλοντική επικοινωνία μπορεί να θεωρηθεί ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνούμε, αλληλεπιδρούμε και προβάλλουμε τα περιβαλλοντικά προβλήματα με τους γύρω μας. Αυτή αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο στο οποίο συμμετέχουν επιστήμονες από διάφορους κλάδους και επιστημονικά πεδία: π.χ. επικοινωνιολόγοι, φιλόσοφοι, κοινωνιολόγοι, δημοσιογράφοι (Corpora & Karris 2000). Η περιβαλλοντική επικοινωνία ειδικότερα, που ασχολείται με την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής εστιάζει κυρίως στη χρήση της γλώσσας για τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ της επιστημονικής γνώσης και της κοινής γνώμης (Moser & Dilling 2011) με σκοπό την εφαρμογή στρατηγικών πολιτικής σε τοπική και εθνική κλίμακα. Αυτές οι στρατηγικές πολιτικής αφορούν κυρίως τις προτεινόμενες και προσαρμοσμένες δράσεις που έχουν αναληφθεί για τη μείωση των κινδύνων για την προσαρμογή στις επιπτώσεις ή να επωφεληθούν από τις δυνατότητες που συνδέονται με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή (Fussel 2007) και πρόκειται να ακολουθήσουν οι πολίτες για την προσαρμογή τους στην κλιματική αλλαγή. Οι πολιτικές αυτές, είναι διαμορφωμένες με βάση παλαιότερες έρευνες και δράσεις που ακολουθήθηκαν σε εθνικό και τοπικό επίπεδο οι οποίες θεωρήθηκαν ελλειμματικές και πιθανώς απαιτείται η χρήση επικοινωνίας από ποικίλους εμπλεκόμενους φορείς με έμφαση στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Hoomweg et al. 2011) σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Επομένως, οι τοπικές και επιστημονικές γνώσεις μπορούν να ενσωματωθούν ώστε να δημιουργήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση των πολύπλοκων δυναμικών κοινωνικο-οικολογικών συστημάτων (Reed 2008) και σε συνδυασμό με τους περιφερειακούς φορείς να αυξήσει την ευαισθητοποίηση των πολιτών για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και να ενθαρρύνει τη δράση (Frommer 2013). Παράλληλα όμως, η ενσωμάτωση αυτή των διαφορετικών φορέων

απαιτεί κάποιες προϋποθέσεις ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες και προσαρμοσμένες δράσεις για τις απαιτήσεις του κάθε φορέα οι οποίες αφορούν κυρίως την διαφορετική αντίληψη των γεγονότων και των εννοιών. Καθώς ο καθένας από τους εμπλεκόμενους φορείς υποστηρίζεται από διαφορετικές αντιλήψεις για την προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής που πιθανώς οφείλεται στην ύπαρξη διαφορετικών νοητικών μοντέλων που κατέχουν και μεταφράζουν τους περιβαλλοντικούς όρους.

Με βάση τα νοητικά μοντέλα διακρίνονται σε πέντε διαφορετικές κατηγορίες που αφορούν τους φορείς της αυτοδιοίκησης, τους πολιτικούς, τους ερευνητές, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και το κοινωνικό σύνολο (Banazza et al. 2010). Με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η δημιουργία μιας ενιαίας στρατηγικής πολιτικής περιβαλλοντικής επικοινωνίας και κατά επέκταση ενιαίας δράσης για την αντιμετώπιση και προσαρμογή των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Επομένως, τα νοητικά μοντέλα των επιμέρους φορέων αποτελούν την πρωταρχική προϋπόθεση για την ανάπτυξη στρατηγικών επικοινωνίας και τη δημιουργία ενός ενιαίου επικοινωνιακού μοντέλου με έμφαση στην προσαρμογή των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

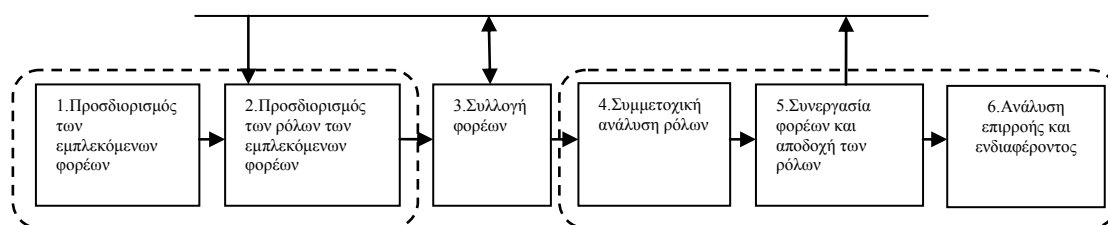
Συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων για τον σχεδιασμό πολιτικής προσαρμογής

Ο σχεδιασμός πολιτικής προσαρμογής, σε συνάρτηση με τον τρόπο που διαδραματίζονται τα σενάρια για το κλίμα, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί περιλαμβάνουν την προσέγγιση και την αξιολόγηση της προσαρμογής, τις χωρικές και χρονικές κλίμακες, τη διαθεσιμότητα της τεχνικής και οικονομικής ικανότητας, την πληροφόρηση για το σενάριο και το είδος προσαρμογής που εξετάζεται σε κάθε περίπτωση (Dessai et al. 2005). Όσον αφορά την πληροφόρηση του σεναρίου για την προσαρμογή της κλιματικής αλλαγής, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η αντίληψη του κινδύνου της κοινής γνώμης στη λήψη αποφάσεων η οποία επιδρά σημαντικά στη δημιουργία και ανάπτυξη προγραμμάτων προσαρμογής (Boykoff et al. 2013) σε τοπική, εθνική και διεθνή κλίμακα. Επίσης, σύμφωνα με τους Nalau et al. (2015), διαπιστώθηκε ότι η ευθύνη της τοπικής κοινωνίας για τη συμμετοχή σε δράσεις προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή εξαρτάται από τη λήψη αποφάσεων της διεθνούς διακυβέρνησης με την τοπική και εθνική αυτοδιοίκηση.

Το γεγονός αυτό μαρτυρά την σημαντικότητα της σύνδεσης της κοινής γνώμης με τους ενδιαφερόμενους τοπικούς και εθνικούς καθώς και τους φορείς της παγκόσμιας διακυβέρνησης. Η προσαρμοστική διακυβέρνηση ως διεθνής φορέας δημιουργίας στρατηγικών πολιτικής και προγραμμάτων προσαρμογής θα πρέπει να συνδέει τα άτομα, τους οργανισμούς, τους φορείς και τα πανεπιστημιακά ιδρύματα σε πολλαπλά οργανωτικά επίπεδα.

Η σύνδεση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τη δημιουργία μιας μεθόδου ταυτοποίησης των ενδιαφερόμενων η οποία είχε αναπτυχθεί και παλαιότερα από τους Ballejos και Montagna (2008) χωρίς να συμπεριλαμβάνει το τέταρτο βήμα και βελτιώθηκε στην συνέχεια με την προσθήκη ενός έκτου βήματος από τον André και τους συνεργάτες του το 2012 (Σχήμα 1). Μέσω της μεθόδου αυτής επιτυγχάνεται η ανάλυση των διαφορετικών διαστάσεων και κριτηρίων των ενδιαφερόμενων φορέων καθώς και η ανάλυση των ρόλων, τα συμφέροντα και η επιρροή. Τα ενδιάμεσα βέλη που χρησιμοποιήθηκαν τονίζουν την ενημέρωση κάθε βήματος στο επόμενο σε μια

επαναληπτική διαδικασία (Andrè et al. 2012). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και αναπτύχθηκε σε δυο αστικές περιφέρειες στη Στοχόλμη και στο Γκέτεμποργκ με μεγάλη επιτυχία λόγω των πολλαπλών χρήσεων που αποκαλύπτει το πλαίσιο για τους συμβαλλόμενους φορείς, τους ρόλους και τις ευθύνες, γεγονός που μαρτυρά την αποτελεσματική της εφαρμογή σε τοπική κλίμακα.



Σχήμα 1. Μέθοδος ταυτοποίησης των εμπλεκόμενων φορέων. (Andrè K., Simonsson L., Swartling A., G, Linner B. (2012). Method Development for Identifying and Analysing Stakeholders in Climate Change Adaptation Processes. Journal of Environmental Policy and Planning, Vol. 14, pp. 243-261)

Επομένως, για την πλήρη επιτυχή σύνδεση απαιτείται η συνεργασία των αρμοδίων φορέων σε τοπική κλίμακα με τη λήψη αποφάσεων για δράσεις στην προσαρμογή με τη συμμετοχή της τοπικής κοινωνίας. Καθώς έχει διαπιστωθεί ομόφωνα από την πλειοψηφία των προσπαθειών προσαρμογής ότι για να υπάρξουν επιτυχή αποτελέσματα θα πρέπει οι δράσεις να πραγματοποιηθούν σε τοπική κλίμακα (Funt 2015). Οι δράσεις σε τοπική κλίμακα βασίζονται σε τρεις πτυχές που αφορούν, την αυξημένη προσοχή στην τοπική προσαρμογή, τη σύνδεση της πολιτικής προσαρμογής και μετριασμού με τις άλλες τοπικές ανησυχίες, και την ενεργή δράση με βάση τις κοινοτικές δράσεις (Bond 2010). Για να υλοποιηθούν και να επιτευχθούν με επιτυχία οι πτυχές αυτές, θα πρέπει η τοπική αυτοδιοίκηση και κατά επέκταση η κοινή γνώμη να ενημερωθεί για το πρόγραμμα προσαρμογής και την ανάπτυξη των τοπικών δράσεων. Για την ενημέρωση αυτή και την αντιμετώπιση των επικοινωνιακών περιορισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω απαιτείται η δημιουργία στρατηγικής πολιτικής επικοινωνίας διαμορφωμένη σε τοπική κλίμακα.

Εφαρμοσμένες στρατηγικές πολιτικής προσαρμογής σε διεθνή και εθνική κλίμακα

Για την εφαρμογή των στρατηγικών πολιτικής στην προσαρμογή των πολιτών στην κλιματική αλλαγή υπάρχουν αρκετοί περιοριστικοί φραγμοί που εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες στους οποίους συμπεριλαμβάνονται οι ψυχολογικοί φραγμοί, η αποτελεσματική προβολή και επικοινωνία καθώς και τα κενά γνώσης των πολιτών (Carlot & Jacobson 2015). Σύμφωνα με τους Pill-Sihrona et al. (2015) που επικεντρώθηκαν στην προσαρμογή της κλιματικής αλλαγής στη Φιλανδία, τη Σουηδία και τη Νορβηγία, οι οποίες αποτέλεσαν το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη της έρευνας της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και χάραξης πολιτικής προσαρμογής, διαπιστώθηκε ότι η επικοινωνιακή πολιτική ήταν λιγότερο αποτελεσματική και ότι η περαιτέρω μετάφραση των πληροφοριών για τα σενάρια

της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή θα μπορούσε να βελτιώσει τη χρήση πληροφοριών για το κλίμα.

Παρά τους πολλούς περιοριστικούς παράγοντες η Φιλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν από τις πρώτες χώρες που δημοσίευσαν κάποιο σχέδιο στρατηγικής προσαρμογής για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Στην Καλιφόρνια επίσης, στα πλαίσια προσαρμογής της χώρας, η κυβέρνηση παρά το υψηλό επίπεδο ευαισθητοποίησης και ανησυχίας της κοινής γνώμης έχει επικεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό μόνο στην ανταλλαγή πληροφοριών, στην αξιολόγηση των επιπτώσεων και στον προγραμματισμό (Davis & Chornesky 2014).

Άλλες χώρες εστιάστηκαν στην επικοινωνία είτε σχετικά με την προσαρμογή και την προστασία ενάντια στις τοπικές πλημμύρες (Bruine de Bruin et al. 2014), η οποία είχε επιτυχή εφαρμογή, είτε σε στρατηγικές πολιτικής επικοινωνίας σχετικά με την ορθολογική χρήση της ύδρευσης και άρδευσης. Στην Αγγλία και στην Ουαλία εφάρμοσαν πρακτικές προσαρμογής της ύδρευσης μέσω των δημόσιων εταιριών ύδρευσης οι οποίες ακολούθησαν ένα μοντέλο στρατηγικής που βασιζόταν σε τέσσερις συνιστώσες, την ευαισθητοποίηση και την ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, τη στρατηγική πολιτική, την χωρική κλίμακα και το βαθμό αντίληψης από τρεις διαφορετικές ομάδες παραγόντων που επηρεάζουν τα ποσοστά ευαισθητοποίησης (Arnell & Delaney 2006). Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής εφάρμοσαν στρατηγικές πολιτικής προσαρμογής για την διερεύνηση των ποσοστών ανησυχίας των αγροτών για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Arbuckle et al. 2014) και για την ελαχιστοποίηση της άρδευσης των γεωργικών περιοχών από τους αγρότες μέσω προγραμμάτων που εφάρμοσε το Υπουργείο Γεωργίας με εναλλακτικές μορφές άρδευσης νέων τεχνολογιών που βοηθούν στην μείωση της τρωτότητας του εδάφους και της ξηρασίας (Caricco et al. 2015). Ενώ σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες με ιδιωτικά δάση εφαρμόστηκαν στρατηγικές πολιτικής προσαρμογής για τη λήψη μέτρων για την προσαρμογή στη διαχείριση των δασών στην κλιματική αλλαγή από τους δασοκτήμονες της Πορτογαλίας, της Γερμανίας και της Σουηδίας (Blennow et al. 2012).

Στην Ελλάδα, δεν έχει εφαρμοστεί καμία στρατηγική πολιτική προσαρμογής τόσο σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο που να αφορά την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την προσαρμογή του στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αλλά ούτε εφαρμόστηκαν τα προγραμματισμένα μέτρα πολιτικής προστασίας για την υλοποίηση έργων προσαρμογής στις μελλοντικές κλιματικές επιπτώσεις.

Συμβολή της περιβαλλοντικής επικοινωνίας στην πολιτική προσαρμογής

Για την αντιμετώπιση των περιοριστικών παραγόντων που αφορούν την εφαρμογή της στρατηγικής πολιτικής προσαρμογής απαιτείται η λήψη κάποιων καθοριστικών αποφάσεων σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Η λήψη των αποφάσεων αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατανόηση των περιβαλλοντικών όρων και εννοιών τόσο από τους ενδιαφερόμενους φορείς της τοπικής και εθνικής αυτοδιοίκησης όσο και από την κοινή γνώμη. Τις περισσότερες φορές η κατανόηση των γνώσεων αυτών στις δύο αυτές κατηγορίες πολιτών συμπίπτει και χαρακτηρίζεται από αποχή συμμετοχής σε περιβαλλοντικές δράσεις που αφορούν την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (Haijar et al. 2014). Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην ύπαρξη του χάσματος μεταξύ των ερευνητών και των πολιτών που αφορά τη διατύπωση και την κατανόηση των

περιβαλλοντικών εννοιών που αφορούν την προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η επιστημονική πληροφόρηση των πολιτών για την προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Risbey 2008). Για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση του χάσματος αυτού, προτείνεται από τον Lemos et al. (2012), η δημιουργία ενός εννοιολογικού μοντέλου. Για την δημιουργία αυτή διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο η δημιουργία στοχευόμενης και προσαρμοσμένης στρατηγικής περιβαλλοντικής επικοινωνίας ανάλογα με την περίπτωση και την κλίμακα εφαρμογής. Η προσαρμογή της εφαρμογής της περιβαλλοντικής επικοινωνίας εξαρτάται από τη γεωγραφική περιοχή και τις απόψεις και γνώσεις του δείγματος που δηλώνει την ανάγκη για στοχευόμενες και συμπραξόμενες επικοινωνιακές παρεμβάσεις. Σύμφωνα με τον Boon (2014), οι παράγοντες αυτοί αποτελούν ένα μοντέλο υποτιθέμενης επιρροής της αντίληψης κινδύνου της κλιματικής αλλαγής το οποίο εξαρτάται από τις γνώσεις των πολιτών για την κλιματική αλλαγή, την εμπιστοσύνη στους επικοινωνιολόγους της κλιματικής αλλαγής, την εμπειρία τους σε φυσικές καταστροφές και την γεωγραφική περιοχή. Επίσης, εξαρτάται από την μορφή μετάδοσης των επιστημονικών γνώσεων στην τοπική κοινωνία η οποία προκαλεί ανησυχία σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα ενσωματωθούν οι περιβαλλοντικοί όροι στους τοπικούς πληθυσμούς με πολιτικές συζητήσεις και ανάπτυξη διαλόγου για την κλιματική αλλαγή (Fernades –Liamazares et al. 2015) λόγω της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει το θέμα της κλιματικής αλλαγής. Παρ' όλα αυτά, η επικοινωνία των αβεβαιοτήτων είναι σημαντική για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη δημιουργία στρατηγικών πολιτικής που αφορούν την προσαρμογή, ιδίως οι αβεβαιότητες που μεταβάλλουν την ανθρώπινη δραστηριότητα για την κλιματική αλλαγή (Van Pelt et al. 2015).

Λαμβάνοντας υπόψη τη σοβαρότητα και την πολυπλοκότητα της λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με την προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και τη λήψη δράσεων απαιτείται η δημιουργία ενός νέου μοντέλου επικοινωνίας που θα αφορά την συνεργασία των επιστημόνων τόσο σε εθνικό όσο σε διεθνή επίπεδο (Pidgeon & Fischhoff 2011) για την εξομάλυνση των περιοριστικών επικοινωνιακών παραγόντων μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας και της κοινής γνώμης. Η επικοινωνιακή στρατηγική αυτή, θα πρέπει να συνδυάζει τη δημιουργία ενός νέου εννοιολογικού μοντέλου προσαρμοσμένο στο μορφωτικό δημογραφικό επίπεδο των πολιτών σχετικά με την κλιματική αλλαγή σε εθνικό και τοπικό επίπεδο.

Συμπεράσματα – προτάσεις

Η πολιτική προσαρμογής και μετριασμού στην κλιματική αλλαγή είναι αλληλένδετες έννοιες και η εφαρμογή της μιας επηρεάζει άμεσα την εφαρμογή της άλλης. Παρά ταύτα, στην συγκεκριμένη εργασία διαπιστώθηκε ότι, παρ' όλου που η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή θεωρήθηκε σημαντική από το 1980 για την κοινωνία (Pielke et al. 2007), η πλειοψηφία των ερευνών που αφορούν την αντιμετώπιση ή την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αναφέρονται στη δημιουργία στρατηγικών πολιτικών μετριασμού παρά στη δημιουργία πολιτικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Το γεγονός αυτό, πιθανώς να οφείλεται στην άποψη ορισμένων ερευνητών της κλιματικής αλλαγής ότι η μεγαλύτερη προσέγγιση των ερευνητών σε πολιτικές προσαρμογής μπορεί να μειώσει το ενδιαφέρον των πολιτών για τον μετριασμό και την μείωση των ποσοστών των ρύπων (Caricco et al. 2015). Παράλληλα, παραμένουν αναπάντητα πολλαπλά ερωτήματα για την προσαρμογή των πολιτών στην κλιματική αλλαγή και ιδίως για τους ευπαθείς

πληθυσμούς (Agers et al. 2014). Για την απάντηση των ερωτημάτων αυτών αλλά και για τη διαμόρφωση πολιτικών προσαρμογής απαιτείται αρχικά η συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων με τους ερευνητές σε διεθνή, εθνική και τοπική κλίμακα ώστε να συζητηθούν και να αναλυθούν τα ερευνητικά θέματα προσαρμογής μέσω προσαρμοσμένων στρατηγικών επικοινωνίας για τη γεφύρωση του χάσματος έρευνας και πολιτικής (Naess et al. 2011). Ο στόχος θα είναι η δημιουργία ενός αποτελεσματικού διαλόγου που θα βοηθήσει στη δημιουργία και στη βελτίωση πολιτικών προσαρμογής για την ευαισθητοποίηση των πολιτών που αφορούν τις πιθανές ανησυχητικές επιπτώσεις στην κοινωνία (De la Vega – Leinert et al. 2008). Μέσω του διαλόγου θα ενισχυθεί η ανταλλαγή απόψεων, αντιλήψεων και αποφάσεων των εμπλεκόμενων φορέων και η διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων (Few et al. 2006). Στη συνέχεια, μπορεί να εφαρμοστεί η στρατηγική επικοινωνίας που αφορά την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με τις δράσεις για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή μέσω της αλληλεπίδρασης σε εθνικό και τοπικό επίπεδο και της προβολής των ακραίων φαινομένων μέσω της αντικειμενικής ειδησιογραφίας (Kestikalo 2012). Σε συνδυασμό με τη συστηματική συλλογή δεδομένων σχετικά με τις δράσεις και τα αποτελέσματα της προσαρμογής των πολιτών σε όλες τις χώρες (Ford et al. 2013) με σκοπό την αποφυγή σφαλμάτων και την βελτίωση των νέων στρατηγικών πολιτικής προσαρμογής.

Συμπερασματικά, για την επίτευξη και την εφαρμογή στρατηγικών πολιτικών προσαρμογής απαιτείται τόσο ο σχεδιασμός πολιτικής περιβαλλοντικής επικοινωνίας που θα γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ των ερευνητών, των εμπλεκόμενων φορέων και της κοινής γνώμης όσο και η αντικειμενική προβολή της κλιματικής αλλαγής από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Βιβλιογραφία

- Adger, W.N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D.R., Naess, L.O., Wolf, J., Wreford, A. (2009). Are there social limits to adaptation to climate change?. *Climatic Change*. Vol. 93, No. 3-4, pp. 335-354.
- Ayers, J., Schipper, L.F., Hannah, R., Huq, S., Rahman, A. (2014). *Community-Based Adaptation to Climate Change: Scaling it up*. New York: Taylor and Francis.
- André, K., Simonsson, L., Swartlingde, A.G., Linnérabf B. (2012). Method Development for Identifying and Analysing Stakeholders in Climate Change Adaptation Processes. *Journal of Environmental Policy & Planning*. Vol. 14, No. 3, pp. 243-261.
- Arbuckle, J.G., Jr., Hobbs, J., Loy, A., Morton, L.W., Prokopy, L.S., Tyndall, J. (2014). Understanding corn belt farmer perspectives on climate change to inform engagement strategies for adaptation and mitigation. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 69, No. 6, pp. 505-516.
- Arnell, N.W., Delaney, E.K. (2006). Adapting to climate change: Public water supply in England and Wales. *Climatic Change*. Vol. 78, No. 2-4, pp. 227-255.
- Ballejos, L.C., Montagna, J.M. (2008). Method for stakeholder identification in interorganizational environments. *Requirements Engineering*. Vol. 13, No. 4, pp. 281-297.
- Barnett, J., O'Neill, S. (2010). Maladaptation. *Global Environmental Change*. Vol. 20, No. 2, pp. 211-213.

- Baron, J.S., Gunderson, L., Allen, C.D., Fleishman, E., McKenzie, D., Meyerson, L.A. (2009). Options for national parks and reserves for adapting to climate change *Environmental Management*. Vol. 44, pp. 1033-1042.
- Bauer, A., Steurer, R. (2014). Multi-level governance of climate change adaptation through regional partnerships in Canada and England. *Geoforum*. Vol. 51, pp. 121-129.
- Berkhout, F. (2012). Adaptation to climate change by organizations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. Vol. 3, No.1, pp. 91-106.
- Biesbroek, G.R., Swart, R.J., Carter, T.R., Cowan, C., Henrichs, T., Mela, H., Morecroft, M.D., Rey, D. (2010). Europe adapts to climate change: Comparing National Adaptation Strategies. *Global Environmental Change*. Vol. 20, No. 3, pp. 440-450.
- Blennow, K., Persson, J., Tomé, M., Hanewinkel, M. (2012). Climate Change: Believing and Seeing Implies Adapting. *PLoS ONE*, Vol. 7, No. 11, e50181.
- Bruine de Bruin, W., Wong-Parodi, G., Morgan, M.G. (2014). Public perceptions of local flood risk and the role of climate change. *Environment Systems and Decisions*. Vol. 34, No. 4, pp. 591-599.
- Bonazza A., Messina P., Sabbioni C., Grossi C. M., Brimblecombe P. (2009). Mapping the impact of climate change on surface recessions of carbonate buildings in Europe. *Science of the Total Environment*. Vol. 407, pp. 2039-2050.
- Bond, M. (2010). Localizing climate change: Stepping up local climate action. *Management of Environmental Quality*. Vol. 21, No. 2, pp. 214-225.
- Boon, H.J. (2014). Perceptions of climate change risk in four disaster-impacted rural Australian towns. *Regional Environmental Change*. Article in Press.
- Boykoff, M. T., Ghosh, A., Venkateswaran, K. (2013). Media Coverage of Discourse on Adaptation: Competing Visions of 'Success' in the Indian Context. In: S. Moser & M. Boykoff (Eds). *Successful Adaptation to Climate Change*, pp. 237-252.
- Carrico, A.R., Truelove, H.B., Vandenbergh, M.P., Dana, D. (2015). Does learning about climate change adaptation change support for mitigation?. *Journal of Environmental Psychology*. Vol. 41, pp. 19-29.
- Carlton, J.S., Jacobson, S.K. (2015). Using Expert and Non-expert Models of Climate Change to Enhance Communication. *Environmental Communication*. Article in Press.
- Collier, Z.A., Linkov, I., Lambert, J.H. (2014). Tools and strategies for climate change decision making. *Environment Systems and Decisions*. Vol. 34, No.4, pp. 471-472.
- Coppola, N.W., Karris, B. (2000). *Technical Communication deliberative rhetoric, and environmental discourse: Connections and directions*. USA: Ablex Publishing Corporation.
- Cox, R. (2013). *Environmental Communication and public sphere*. Third Edition. USA: Sage Publications.
- Davis, F.W., Chornesky, E.A. (2014). Adapting to climate change in California. *Bulletin of the Atomic Scientists*. Vol. 70, No. 5, pp. 62-73.
- De La Vega-Leinert, A.C., Schröter, D., Leemans, R., Fritsch, U., Pluimers, J. (2008). A stakeholder dialogue on European vulnerability. *Regional Environmental Change*. Vol. 8, No. 3, pp. 109-124.
- Dessai, S., Lu, X., Risbey, J.S. (2005). On the role of climate scenarios for adaptation planning. *Global Environmental Change*. Vol. 15, No. 2, pp 87-97.

- Evans, L., Milfont, T.L., Lawrence, J. (2014). Considering local adaptation increases willingness to mitigate. *Global Environmental Change*. Vol. 25, No.1, pp. 69-75.
- Fernández-Llamazares, Á., Méndez-López, M.E., Díaz-Reviriego, I., McBride, M.F., Pyhälä, A., Rosell-Melé, A., Reyes-García, V. (2015). Links between media communication and local perceptions of climate change in an indigenous society. *Climatic Change*. Vol. 131, No. 2, pp. 307-320.
- Few, R., Brown, K., Tompkins, E.L. (2007). Public participation and climate change adaptation: Avoiding the illusion of inclusion. *Climate Policy*. Vol. 7, No. 1, pp. 46-59.
- Frommer, B. (2013). Climate change and the resilient society: Utopia or realistic option for German regions?. *Natural Hazards*. Vol. 67, No. 1, pp. 99-115.
- Ford, J.D., King, D. (2015). A framework for examining adaptation readiness. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. Vol. 20, No. 4, pp. 505-526.
- Ford, J.D., Berrang-Ford, L., Lesnikowski, A., Barrera, M., Jody Heymann, S. (2013). How to track adaptation to climate change: A typology of approaches for national-level application. *Ecology and Society*. Vol. 18, No. 3, Art. 40. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05732-180340>
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 30, pp. 441-473.
- Füssel, H.M.(2007). Adaptation planning for climate change: Concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability Science*. Vol. 2, No. 2, pp. 265-275.
- Girard, C., Rinaudo, J.D., Pulido-Velazquez, M., Caballero, Y. (2015). An interdisciplinary modelling framework for selecting adaptation measures at the river basin scale in a global change scenario. *Environmental Modelling and Software*. Vol. 69, pp. 42-54.
- Hajjar, R., McGuigan, E., Moshofsky, M., Kozak, R.A. (2014). Opinions on strategies for forest adaptation to future climate conditions in western Canada surveys of the general public and leaders of forest-dependent communities. *Canadian Journal of Forest Research*. Vol. 44, No. 12, pp. 1525-1533.
- Hanger, S., Pfenninger, S., Dreyfus, M., Patt, A. (2013). Knowledge and information needs of adaptation policy-makers: A European study. *Regional Environmental Change*. Vol.13, No.1, pp. 91-101.
- Hoorweg, D., Freire, M., Lee, M., J., Bhada-Tata, R., Yuen, B. (2011). *Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda*. USA: The World Bank.
- Howes, M. (2014). Disaster risk management and climate change adaptation revisited. *Applied Studies in Climate Adaptation*. Wiley Blackwell Publisher, pp. 407-414.
- Hunt, B.G. (2015). Rainfall variability and predictability issues for North America. *Climate Dynamics*. Article in Press.
- Keskitalo, E. (2012). Agenda-setting on the environment: The development of climate change adaptation as an issue in European states. *Environmental Policy and Governance*. Vol. 394, pp. 381-394.
- Lemos, M.C., Kirchhoff, C.J., Ramprasad, V. (2012). Narrowing the climate information usability gap. *Nature Climate Change*. Vol. 2, No. 11, pp. 789-794.
- Liu, X., Vedlitz, A., Alston L.(2008). Regional news portrayals of global warming and climate change. *Environmental Science and Policy*. Vol. 11, No. 5, pp. 379-393.
- Macgregor, N.A., van Dijk, N. (2014). Adaptation in Practice: How Managers of Nature Conservation Areas in Eastern England are Responding to Climate Change. *Environmental Management*. Vol. 54, No. 4, pp. 700-719.

- Moser, S. C., Dilling, L. (2011). Communicating Climate Change: closing the science Action-Cap. In: Dryzek, J.S., Norgaard, R.B., Schlosberg, D. (Eds). *The Oxford Handbook of Climate Change and Society*. New York: Oxford University Press.
- Naess, L.O., Polack, E., Chinsinga, B. (2011). Bridging Research and Policy Processes for Climate Change Adaptation. *IDS Bulletin*. Vol. 42, No. 3, pp. 97-103.
- Nalau, J., Preston, B.L., Maloney, M.C. (2015). Is adaptation a local responsibility?. *Environmental Science and Policy*. Vol. 48, pp. 89-98.
- Otto-Banaszak, I., Matczak, P., Wesseler, J., Wechsung, F. (2011). Different perceptions of adaptation to climate change: A mental model approach applied to the evidence from expert interviews. *Regional Environmental Change*. Vol. 11, No. 2, pp. 217-228.
- Palutikof, J., Boulter, S.L., Ash, A.J., Smith, M.S., Parry, M., Waschka, M., Guitart, D. (Eds) (2013). *Climate Adaptation Futures*, Chichester: Wiley-Blackwell.
- Pidgeon, N., Fischhoff, B. (2011). The role of social and decision sciences in communicating uncertain climate risks. *Nature Climate Change*. Vol. 1, No. 1, pp. 35-41.
- Pielke, R., Prins, G., Rayner, S., Sarewitz, D. (2007). Climate change 2007: Lifting the taboo on adaptation. *Nature*. Vol. 445, pp. 597-598.
- Risbey, J.S. (2008). The new climate discourse: Alarmist or alarming?. *Global Environmental Change*. Vol. 18, No. 1, pp. 26-37.
- Pilli-Sihvola, K., van Oort, B., Hanssen-Bauer, I., Ollikainen, M., Rummukainen, M., Tuomenvirta, H. (2015). Communication and use of climate scenarios for climate change adaptation in Finland, Sweden and Norway. *Local Environment*. Vol. 20, No. 4, pp. 510-524.
- Reed, M.S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*. Vol. 141, No. 10, pp. 2417-2431.
- Strongman L. (2012). *Modern Nature. Essays of Environmental Communication*. Boca Raton: Universal-Publishers.
- van Pelt, S.C, Haasnoot, M., Arts, B., Ludwig, F., Swart, R., Biesbroek, R. (2015). Communicating climate (change) uncertainties: Simulation games as boundary objects. *Environmental Science & Policy*. Vol. 45, pp. 41-52.
- Wall, E., Smit, B. (2006). Agricultural adaptation to climate change in the news. *International Journal of Sustainable Development*. Vol. 9, No. 4, pp. 355-369.

**ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΣΑΦΟΥΣ ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ
ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ**

Βαρδής-Δημήτρης Ανεζάκης

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Email: danezaki@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην εξερχόμενη και στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προσδιορίζει το παγκόσμιο κλίμα. Οποιαδήποτε μεταβολή οδηγεί σε αλλαγή του κλίματος. Οι βασικότεροι παράγοντες είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική σύσταση, οι αλλαγές στη χρήση γης. Η συχνότητα ακραίων φαινομένων οδήγησε τους επιστήμονες στη χρήση μοντέλων και δεικτών για την παρατήρηση των κλιματικών μεταβολών που οφείλονται σε αυξομειώσεις σημαντικών παραμέτρων.

Σε αυτήν την εργασία θα γίνει αρχικά αναφορά στα σημαντικότερα μαθηματικά μοντέλα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και διασποράς (Gauss, Euler, Αριθμητικά, Φυσικά, Στατιστικά, Εμπειρικά) και σε δείκτες ποιότητας αέρα. Επιπλέον θα δοθεί ιδιαίτερη σημασία στη χρησιμότητα των παγκόσμιων και τοπικών κλιματικών μοντέλων ως εργαλεία προσομοίωσης του κλίματος στα σενάρια κλιματικής αλλαγής καθώς και στις σημαντικότερες αλλαγές που θα προκύψουν στην Ελλάδα έως το 2100 από την εφαρμογή των μοντέλων αυτών στη δημόσια υγεία. Ένα άλλο σημαντικό μέρος αυτής της εργασίας αφορά στη χρήση Υπολογιστικής Νοημοσύνης για την διερεύνηση του προβλήματος. Συγκεκριμένα, θα γίνει σύνδεση των μετεωρολογικών παραμέτρων με φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και με περιόδους έντονης ξηρασίας και υγρασίας με τη βοήθεια Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (Fuzzy Cognitive Maps). Με αυτό τον τρόπο θα δημιουργηθούν σενάρια που θα υποδηλώνουν τις συσχετίσεις, θετικές ή αρνητικές, ανάμεσα στις συνδέσεις των παραμέτρων με τα φαινόμενα ρύπανσης και ξηρασίας.

Στο Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης έχει γίνει στο πρόσφατο παρελθόν μια ερευνητική προσπάθεια με τη Χρήση Συστημάτων Ασαφούς Άλγεβρας-Νόησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, για την μοντελοποίηση του προβλήματος της ξηρασίας στην Κύπρο τα τελευταία 30 έτη (Παπακωνσταντίνου κ.ά. 2010).

Η καινοτομία της έρευνας που παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία είναι η χρήση Χαρτών Ασαφούς Νόησης (Fuzzy Cognitive Maps) προς το ευρύτερο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών του.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, ατμοσφαιρικά μοντέλα, δείκτες ξηρασίας, δημόσια υγεία, Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες

Εισαγωγή

Λόγω της δύσκολης προσέγγισης της κλιματικής αλλαγής έχουν αναπτυχθεί τόσο απλά όσο και σύνθετα μοντέλα παγκόσμιας κλίμακας για τη ανάλυση των παραμέτρων της και για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Υπάρχουν πολλά συζευγμένα μοντέλα χημείας της ατμόσφαιρας και κλίματος για την καλύτερη αποτίμηση του κλίματος. Η κλιματική αλλαγή οφείλεται στην αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων και είναι αίτιο πολλών δραστηριοτήτων. Μπορεί να ερμηνευτεί από τις αλλαγές σε σημαντικές μετεωρολογικές παραμέτρους και στα αέρια του θερμοκηπίου.

Σκοπός της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιασθούν βασικά μοντέλα και δείκτες ξηρασίας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οι παράμετροι που χρησιμοποιούν καθώς και η χρησιμότητα τους στην εκτίμηση κλίματος. Παράλληλα θα παρουσιαστούν μοντέλα ασαφούς νόησης που μπορούν να προσφέρουν μια ευέλικτη προσέγγιση ανάλυσης του φαινομένου. Θα γίνει αναφορά σε κλιματικά μοντέλα και σε σενάρια κλιματικών αλλαγών καθώς και στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα με τιμές που έχουν εξάγει τα μοντέλα. Θα γίνει λεπτομερής ανάλυση των αποτελεσμάτων των μοντέλων όσον αφορά σε μετεωρολογικές παραμέτρους, ρύπους και δημόσια υγεία.

Επικρατούσα γνώση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια προσπάθεια απόδοσης και ορισμού των κυριότερων εμπλεκομένων εννοιών.

Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή κατά την αντίστοιχη Διακυβερνητική Επιτροπή (IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change) αποτελεί μια κατάσταση του κλίματος η οποία μπορεί να αναγνωριστεί (για παράδειγμα με τη χρήση στατιστικών τεστ) από αλλαγές στον μέσο όρο (mean) και τη μεταβλητότητα (variability) των ιδιοτήτων της, η οποία επιμένει για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα κατά την πάροδο του χρόνου που οφείλεται είτε σε φυσική μεταβλητότητα είτε είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας (IPCC 2007).

Ξηρασία

Η ξηρασία ορίζεται διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή ή ακόμη, ανάλογα με το στόχο του κάθε ερευνητή. Ίσως ο πιο γενικός από τους προτεινόμενους ορισμούς είναι αυτός των Berman και Rodier (1985): «ξηρασία είναι η μείωση της διαθεσιμότητας του νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα».

Περιβαλλοντικός Δείκτης

Οι Περιβαλλοντικοί Δείκτες ή Αλλιώς Δείκτες Αειφορίας σχεδιάζονται για την μέτρηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων οποιουδήποτε συνόλου διεργασιών είτε

πρόκειται για ολόκληρο τον πλανήτη, είτε για μια περιοχή, μια χώρα ή έναν οργανισμό. Στις ημέρες μας χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις εθνικές απογραφές (π.χ. εθνική απογραφή για τα αέρια του θερμοκηπίου) και παράλληλα υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την χρήση τους σε επιχειρήσεις για την μέτρηση και αναφορά των περιβαλλοντικών τους επιδόσεων. Οι Δείκτες επιτελούν τρεις βασικές λειτουργίες (Bosch et al. 1999):

- Αυξάνουν την ποσότητα και την ποιότητα της πληροφορίας
- Παρέχουν κατανοητές πληροφορίες στους αποφασίζοντες
- Μετρούν την «πρόοδο» ως προς την επίτευξη κάποιου στόχου

Ατμοσφαιρικό μοντέλο

Με τον όρο αυτό, εννοούμε το σύνολο των μαθηματικών σχέσεων και αλγορίθμων μέσω των οποίων υπολογίζεται η χωρική και χρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών ρύπων (Αντωνόπουλος 2013).

Μοντελοποίηση

Περιλαμβάνει τα απαραίτητα εκείνα βήματα για την κατασκευή των δεδομένων εισόδου του προτύπου, την ανάπτυξή του (δηλαδή την περιγραφή των φυσικών και χημικών διεργασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα) την αξιολόγησή του σε αντιπαράθεση με τις μετρήσεις οι οποίες προέρχονται από τον πειραματικό τρόπο προσδιορισμού, την ανάλυση και χρήση των αποτελεσμάτων του (Αντωνόπουλος 2013).

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται, η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, σε συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Με τον όρο ουσίες εννοείται κάθε φυσική ή ανθρωπογενής χημική ένωση ή χημικό στοιχείο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε αέρια, υγρή ή στερεά μορφή (Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. 2006).

Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες

Παρακάτω αναλύεται ο ορισμός των ΑΓΔ όπως δίνεται από τους Kosko και Dickerson (1994):

1. Οι ΑΓΔ αποτελούνται από αλληλεπιδρούσες έννοιες, οι οποίες επεξηγούν τις διαφορετικές πτυχές στη συμπεριφορά ενός συστήματος (Kosko 1986).
2. Η ανθρώπινη εμπειρία και η γνώση σχετικά με τη λειτουργία ενός συστήματος ΑΓΔ βρίσκονται πίσω από εμπειρογνώμονες που γνωρίζουν τη λειτουργία του συστήματος και τις συμπεριφορές του στις διάφορες περιπτώσεις (Dickerson & Kosko 1994).

Μοντέλα και δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Μοντέλα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και διασποράς

Υπάρχουν δύο γενικοί τρόποι περιγραφής της τυρβώδους διάχυσης στη ατμόσφαιρα, η μέθοδος του Euler και η μέθοδος του Lagrange. Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι απαραίτητη η χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων διασποράς. Με βάση την μαθηματική προσέγγιση μπορούμε να διακρίνουμε τρία μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς: α) τα εμπειρικά μοντέλα β) τα Λαγκρανζιανά μοντέλα, γ) τα Ουλεριανά μοντέλα (Μουσιόπουλος 1997).

Μέθοδος Euler

Η συγκέντρωση κάθε χημικής ένωσης κάθε χρονική στιγμή πρέπει να ικανοποιεί την ισορροπία μάζας στον όγκο που περιέχεται. Η μεταβολή της μάζας μέσα στον όγκο λόγω μεταφοράς αντισταθμίζεται με μεταφορά μάζας, η οποία παράγεται από χημικές αντιδράσεις και εκπομπές μέσα στον όγκο, καθώς και από μεταφορά με μοριακή διάχυση (Λαζαρίδης 2005).

Η μαθηματική περιγραφή του φαινομένου γίνεται από την παρακάτω εξίσωση 1:

$$\frac{dc_i}{dt} + \frac{d}{dx_j}(u_j c_i) = D_i \frac{d^2 c_i}{dx_j dx_j} + R_i(c_1, \dots, c_n, T) + S_i^r(x, t) \quad (1)$$

Όπου u_j είναι το j συστατικό της ταχύτητας του ανέμου κατά την διεύθυνση του x_j . Το D_i είναι ο συντελεστής μοριακής διάχυσης του ρύπου στην ατμόσφαιρα, R_i είναι ο ρυθμός παραγωγής του ρύπου με χημική αντίδραση, και S_i είναι η ταχύτητα απελευθέρωσης του ρύπου i στο σημείο x για χρόνο t . Επίσης οι ταχύτητες του αέρα της ατμόσφαιρας u_j , και η θερμοκρασία του T , πρέπει να ικανοποιούν τις εξισώσεις Navier-Stokes, που είναι συζευγμένες με την συνολική εξίσωση συνέχειας και την εξίσωση του νόμου των τέλειων αερίων.

Τα Ουλεριανά (Euler) μοντέλα έχουν τη ευχέρεια να χειρίζονται προβλήματα όπου τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας και επίλυσης ρύπων είναι σύνθετα (τρισδιάστατες ροές, ανωστικά φαινόμενα, αλλαγές φάσεων) και η τοπογραφία είναι πολύπλοκη.

Μέθοδος Lagrange

$$\langle c^r(x, t) \rangle = \iiint Q^r(x, t / x_0, t_0) \langle c^r(x_0, t_0) \rangle dx_0 + \iiint \int_{t_0}^t Q^r(x, t / x, t) S^r(x, t) dt dx \quad (2)$$

Η παραπάνω πολύπλοκη εξίσωση 2 με τα πολλαπλά ολοκληρώματα είναι η βασική σχέση του Lagrange που διέπει τη μέση συγκέντρωση σωματιδίων σε τυρβώδες μέσο. Είναι χαρακτηριστικό ότι ισχύει για σωματίδια – ρύπους που δεν αντιδρούν μεταξύ τους.

Ο πρώτος όρος στα δεξιά της εξίσωσης περιλαμβάνει την συγκέντρωση που υπάρχει στο χρόνο t_0 , ενώ ο δεύτερος όρος τη συγκέντρωση που προκύπτει από εκπομπές σε χρόνους μεταξύ t_0 και t . Όπου c είναι η συγκέντρωση του ρύπου και Q είναι η πηγή έκκλισης.

Εμπειρικά Μοντέλα

Τα εμπειρικά μοντέλα δεν στηρίζονται σε αυστηρή μαθηματική θεώρηση και έχουν εμπειρικό χαρακτήρα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα Γκαουσιανά μοντέλα συνεχούς έκλυσης, και τα μοντέλα κουτιού (box models) για στιγμιαία έκλυση (Μουσιόπουλος 1997).

Γκαουσιανά μοντέλα συνεχούς έκλυσης

Η τυπική τους μορφή είναι:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (3)$$

Όπου c είναι η συγκέντρωση του ρύπου, Q είναι η πηγή έκκλισης, H είναι το ύψος έκλυσης από το έδαφος, U είναι η μέση ταχύτητα ανέμου (σταθερή χωρικά και χρονικά), σ_x , σ_y είναι οι τυπικές αποκλίσεις της γκαουσιανής κατανομής, που υπολογίζονται εμπειρικά. Είναι πολύ χρήσιμα, ιδιαίτερα σε απλές ατμοσφαιρικές συνθήκες με επαρκή άνεμο, ομαλή τοπογραφία και ομοιόμορφη χρήση γης (Μουσιόπουλος 1997).

Μοντέλα κουτιού

Στα μοντέλα αυτά γίνεται η θεώρηση της στιγμιαίας έκλυσης ενός νέφους κυλινδρικής μορφής, που εξαπλώνεται και μεταφέρεται από τον άνεμο (Μουσιόπουλος 1997).

Οι συνήθεις εξισώσεις διασποράς έχουν την μορφή:

A) Μεταβολή του όγκου (διατήρηση μάζας)

$$\frac{dV}{dt} = (2\pi RH)u_E + (\pi R^2)u_T \quad (4)$$

Όπου R είναι η ακτίνα του κυλίνδρου, H είναι το ύψος του κυλίνδρου, u_E είναι η ταχύτητα εισόδου του αέρα από την πλευρική επιφάνεια, u_T είναι η ταχύτητα εισόδου του αέρα από την κορυφή.

B) Μεταβολή της ακτίνας (μετωπική ταχύτητα)

$$\frac{dR}{dt} = a\left(\frac{\rho - \rho_a}{\rho_a} H\right)^{\frac{1}{2}} + (\pi R^2)u_T \quad (5)$$

Όπου: a είναι σταθερά ίση με $1,10 \pm 0,10$, ρ είναι η πυκνότητα μίγματος αερίου - αέρα, ρ_a είναι η πυκνότητα αέρα (Μουσιόπουλος 1997).

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, είναι απαραίτητη η ανάλυση όλων των φυσικών φαινομένων, των χημικών αντιδράσεων και των υπόλοιπων παραγόντων που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ πηγής των ατμοσφαιρικών ρύπων και του αποδέκτη τους. Η εκτίμηση-ανάλυση διευκολύνεται με την χρήση μαθηματικών προτύπων - μοντέλων.

Μέθοδοι μοντελοποίησης της ποιότητας του αέρα

Τα Γκαουσιανά μοντέλα ή μοντέλα θυσάνου του Gauss χρησιμοποιούνται ευρέως για τον υπολογισμό της διασποράς αδρανών ρύπων, ιδιαίτερα για ρυθμιστικούς σκοπούς. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας μοντέλων είναι η απλότητα στη χρήση και οι περιορισμένες απαιτήσεις σε στοιχεία εισαγωγής.

Τα *αριθμητικά μοντέλα* (numerical models): χρησιμοποιούν ένα σύστημα εξισώσεων οι οποίες βασίζονται στις βασικές αρχές διατήρησης της ορμής, της ενέργειας και της μάζας. Για την επίλυση αυτών των εξισώσεων χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι.

Τα *φυσικά μοντέλα* (physical models): βασίζονται σε μικρής κλίμακας αναπαραστάσεις των φαινομένων σε εργαστήρια (αεροσήραγγες, δεξαμενές νερού κτλ).

Τα *στατιστικά μοντέλα* (statistical models): βασίζονται συνήθως σε ημι-εμπειρικές στατιστικές σχέσεις ανάμεσα στα επίπεδα ρύπανσης και σε άλλες μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία, άνεμος) οι οποίες προσδιορίζονται από υπάρχουσες χρονοσειρές δεδομένων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Το μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι η απλότητα και η ευκολία στη χρήση.

Ημι-εμπειρικά μοντέλα

Αυτή η κατηγορία αποτελείται από διάφορους τύπους μοντέλων που αναπτύχθηκαν κυρίως για πρακτικές εφαρμογές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα μοντέλα πλέγματος (box models) και διάφορα είδη παραμετρικών μοντέλων (Αντωνόπουλος 2013).

Δείκτες εκτίμησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και επιπτώσεων στην υγεία

➤ Πρότυπο Δείκτη Ρύπων PSI (Pollutants Standard Index)

Σύνθετος δείκτης ποιότητας του αέρα, που υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων.

Πίνακας 1. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη PSI (Boubel et al. 1994).

Τιμή PSI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία
0-50	Καλή	Καμία για το συνολικό πληθυσμό
51-100	Μέτρια	Μερικές ή και καμία
101-200	Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση – εκτεταμένα συμπτώματα
>300	Επικίνδυνη	Πρόωρη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών-αύξηση επιδείνωσης συμπτωμάτων – μείωση ορίων αντοχής υγιών ανθρώπων

Σύνθετος δείκτης ποιότητας του αέρα, που υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων.

➤ Δείκτης Ποιότητας Αέρα AQI (Air Quality Index)

Τροποποίηση του δείκτη PSI με την εισαγωγή πρόσθετης κατηγορίας περιγραφόμενης ως «ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες» καθώς και επιμέρους δείκτες για συγκεντρώσεις αιωρούμενων μικροσωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} αποτελεί ο δείκτης AQI (Air Quality Index, EPA, 40 CFR Part 58).

Πίνακας 2. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη AQI (EPA 2014).

Air Quality Index (AQI) Τιμές	Επίπεδα αναφορικά με την υγεία	Χρωματική κλίμακα
<i>Όταν ο δείκτης (AQI) είναι στην περιοχή:</i>	<i>...οι συνθήκες ποιότητας του αέρα είναι:</i>	<i>...συμβολιζόμενες με το χρώμα:</i>
0 to 50	Καλή	Πράσινο
51 to 100	Μέτρια	Κίτρινο
101 to 150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες	Πορτοκαλί
151 to 200	Ανθυγιεινή	Κόκκινο
201 to 300	Πολύ Ανθυγιεινή	Πορφυρό
301 to 500	Επικίνδυνη	Βυσσινί

Ο συνολικός δείκτης αέριας ρύπανσης μιας περιοχής υπολογίζεται από την υψηλότερη συγκέντρωση των παρακάτω πέντε ρύπων:

Διοξείδιο του Αζώτου Διοξείδιο του θείου και Όζον Αιωρούμενα Σωματίδια ΑΣ2.5 Αιωρούμενα Σωματίδια ΑΣ10

Ξηρασία

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο μετεωρολογικό-κλιματικό φαινόμενο, που μπορεί να εμφανιστεί σε άυλο χρόνο, σε οποιαδήποτε περιοχή και με απροσδιόριστη διάρκεια, ενώ είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης πολλών παραμέτρων όπως οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία αυξημένη εξατμισοδιαπνοή, λιγότερες νεφώσεις και περισσότερη ακτινοβολία (Oladipo 1985).

Είναι δύσκολο να οριστεί η έναρξη και η λήξη ενός επεισοδίου ξηρασίας, και αυτό γιατί παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνιση από τη στιγμή που θα παρατηρηθεί απουσία βροχοπτώσεων, ενώ τα καταστροφικά της αποτελέσματα μπορούν να συνεχιστούν και μετά την εμφάνιση κάποιων βροχοπτώσεων (Tannehill 1947).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι Ξηρασίας ανάλογα με την σκοπιά θεώρησης, οι οποίοι θα περιγραφούν παρακάτω.

Η *μετεωρολογική ξηρασία* (meteorological drought) η οποία προσδιορίζει για μια χρονική περίοδο το βαθμό έλλειψης βροχοπτώσεων σε σχέση με το όριο κανονικότητας και επίσης τη διάρκεια της περιόδου με μειωμένες βροχοπτώσεις.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO 1986), σε κάθε περιοχή, η ξηρασία καθορίζεται ως το 60% ή λιγότερο του κανονικού ετήσιου νετού για περισσότερο από δύο συνεχόμενα έτη σε έκταση μεγαλύτερη του 50% της περιοχής. Άλλοι ορισμοί της μετεωρολογικής ξηρασίας βασίζονται στον αριθμό ημερών βροχόπτωσης κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο.

Η *γεωργική ξηρασία* (agricultural drought) συνδέει τη μετεωρολογική ξηρασία με τις επιπτώσεις στη γεωργία, εστιάζοντας κυρίως στην έλλειψη βροχόπτωσης, στη διαφορά μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Η *υδρολογική ξηρασία* (hydrological drought) αφορά στις επιπτώσεις της έλλειψης βροχόπτωσης σε ένα υδρολογικό σύστημα. Αναφέρεται στην ελάττωση της παροχής σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Η υδρολογική ξηρασία, συνήθως, παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνισή της σε σχέση με τη μετεωρολογική και τη γεωργική ξηρασία.

Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των επεισοδίων ξηρασίας: η ένταση, η διάρκεια και η χωρική κατανομή.

Η *ένταση* της ξηρασίας αναφέρεται, κυρίως, στη μείωση της βροχόπτωσης και στη σοβαρότητα των επιπτώσεων της μείωσης αυτής.

Το δεύτερο βασικό χαρακτηριστικό είναι η *διάρκεια*. Ένα επεισόδιο ξηρασίας, μπορεί να παρουσιάζει ένα μικρό χρονικό διάστημα υστέρησης της εμφάνισης του (1-3 μήνες), ενώ στη συνέχεια μπορεί να διατηρείται για μήνες ή και για χρόνια, παρά το γεγονός καταγραφής μικρής βροχόπτωσης.

Το τρίτο χαρακτηριστικό είναι η *χωρική κατανομή*. Οι περιοχές, που επηρεάζονται από ακραία φαινόμενα ξηρασίας, αυξάνουν σταδιακά όσο αυτή διατηρείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί για την εκτίμηση της ξηρασίας. Οι κυριότερες είναι δύο (Tsakiris & Pangalou 2009):

- α) Οι Εμπειρικές που βασίζονται στις ενδείξεις των συνεπειών της ξηρασίας μέσα από ιστορικές αναλύσεις και
- β) Αυτές που βασίζονται σε δείκτες ξηρασίας και συνδυασμούς τους (μαθηματικές μεθοδολογίες).

Σύμφωνα με τους (Tsakiris & Pangalou 2009) τα βασικά χαρακτηριστικά ενός καλού δείκτη ξηρασίας είναι:

- α) η απλότητα του δείκτη, δηλαδή να είναι εύχρηστος και κατανοητός
- β) να είναι σωστά ορισμένος, δηλαδή επιστημονικά αποδεκτός και να έχει φυσική έννοια
- γ) η ευαισθησία, δηλαδή να ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών
- δ) η έγκαιρη ανταπόκριση του δείκτη στις κλιματικές διακυμάνσεις
- ε) η μεταβιβασιμότητα, δηλαδή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές
- στ) η διαθεσιμότητα στοιχείων, δηλαδή να υπάρχει πρόσβαση σε μεγάλου μήκους χρονοσειρές και καλής ποιότητας δεδομένα και
- ζ) το χαμηλό κόστος επεξεργασίας δεδομένων για την παραγωγή του δείκτη.

Πίνακας 3. Ταξινόμηση διαδομένων δεικτών ξηρασίας

Δείκτης Ξηρασίας	Συντομογραφία	Κατηγορία	Παράμετροι Εισόδου
Aggregate Drought Index	ADI	Υδρολογικός	Συνιστώσες υδρολογικού κύκλου
Bhalme and Mooley Drought Index	BMDI	Μετεωρολογικός	Μηνιαίας Βροχόπτωσης
Colorado Palmer Drought Index	CPDI	Γεωργικός	Εδαφική υγρασία
Crop Moisture Index	CMI	Γεωργικός	Θερμοκρασία Βροχόπτωση Εξατμισοδιαπνοή Υγρασία εδάφους
Deciles		Μετεωρολογικός	Βροχόπτωση
Drought Area Index	DAI	Μετεωρολογικός	Βροχόπτωση
Effective Drought Index	EDI	Μετεωρολογικός	Ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης
Evapotranspiration Deficit Index	ETDI	Γεωργικός	Εδαφική υγρασία εξατμισοδιαπνοή
Foley Drought Index	FDI	Γεωργικός	Βροχόπτωση
Keetch-Byam Drought Index	KBDI	Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου	Κατακρήμνιση θερμοκρασία Χρησιμοποιήθηκε για κίνδυνο εμφάνισης δασικών πυρκαγιών
Palfai Aridity Index	PAI	Γεωργικός	Θερμοκρασία Βροχόπτωση
Palmer Drought Severity Index	PDSI	Μετεωρολογικός Υδρολογικός	Βροχόπτωση Θερμοκρασία Εξατμισοδιαπνοή Υγρασία εδάφους
Palmer Hydrological Drought Index	PHDI	Υδρολογικός	Βροχόπτωση Θερμοκρασία Εξατμισοδιαπνοή Υγρασία εδάφους Εκτίμηση ανωμαλιών υγρασίας
Palmer Z-index	Z-index	Γεωργικός	Βροχόπτωση Θερμοκρασία Υγρασία εδάφους
Percent of Normal Precipitation	PN	Μετεωρολογικός	Βροχόπτωση
Rainfall Anomaly Index	RAI	Μετεωρολογικός	Βροχόπτωση
Rainfall Deficiency Index	RDI	Γεωργικός	Βροχόπτωση
Reclamation Drought Index	RDI	Υδρολογικός	Χιονόπτωση Βροχόπτωση Ποτάμια Ροή Επιφανειακή Αποθήκευση
Reconnaissance Drought Index	RDI	Μετεωρολογικός	Βροχόπτωση δυνητική εξατμισοδιαπνοή
Soil Moisture Anomaly Index	SMAI	Υδρο-γεωργικός	Εδαφική υγρασία-απορροή Βροχόπτωση Εξατμισοδιαπνοή
Soil Moisture Deficit Index	SMDI	Γεωργικός	Εδαφική Υγρασία Εξατμισοδιαπνοή
Standardised Precipitation	SPI	Μετεωρολογικός	Χρονοσειρές

Index			αθροιστικής βροχόπτωσης
Standardised Precipitation Evaporation Drought Index	SPEI	Μετεωρολογικός	Βροχόπτωση Εξατμισοδιαπνοή
Streamflow Drought Index	SDI	Υδρολογικός	Όγκους απορροής
Surface Water Supply Index	SWSI	Υδρολογικός	Χιονόπτωση Βροχόπτωση Ποτάμια Ροή Επιφανειακή Αποθήκευση
	PDI, TCI, VCI, VegDRI, VHI, NDWI, NDVI, DSI	Τηλεσκοπικοί Δορυφορικοί	

Κλιματικά Μοντέλα και Επιπτώσεις Σεναρίων Κλιματικής Αλλαγής

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα για την προσομοίωση της κλιματικής αλλαγής είναι τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Coupled Atmospheric-Ocean General Circulation Models, AOGCMs). Πρόκειται για μοντέλα που βασίζονται στις βασικές εξισώσεις της μηχανικής των ρευστών και της διάδοσης της ακτινοβολίας. Τα AOGCMs χωρίζονται σε Ατμοσφαιρικά (AGCMs) και Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (OGCMs) ενώ μπορεί να είναι και συζευγμένα μεταξύ τους (AOGCMs) καθώς και με άλλα μοντέλα όπως αυτά της προσομοίωσης της παγοκάλυψης στην ξηρά και τη θάλασσα, της βιόσφαιρας (Καψωμενάκης et al. 2011). Η χωρική ανάλυση είναι της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων (Mearns et al. 2001). Σε αυτή τη χωρική ανάλυση είναι δυνατόν να αναπαραχθούν ικανοποιητικά η γενική κυκλοφορία σε ολόκληρο τον πλανήτη αλλά δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθούν με ακρίβεια φαινόμενα που σχετίζονται με την επίδραση της τοπογραφίας σε τοπική και περιοχική κλίμακα.

Οι τεχνικές με τις οποίες εισάγεται η χωρική πληροφορία στις κλιματικές προσομοιώσεις ονομάζονται τεχνικές υποβιβασμού κλίμακας (υποκλιμάκωσης). Οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας χωρίζονται σε δυναμικές, χρησιμοποιώντας τα Περιφερειακά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), και σε στατιστικές-εμπειρικές μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούν τις παρατηρούμενες σχέσεις ανάμεσα στη μεγάλης κλίμακας κυκλοφορία (ανεξάρτητες μεταβλητές) και στο τοπικό κλίμα (εξαρτημένες μεταβλητές) (Τολίκα 2005).

Η δυναμική υποκλιμάκωση βασίζεται στη χρήση των Περιφερειακών κλιματικών μοντέλων (Regional Climate Models, RCMs). Πρόκειται για πρότυπα περιορισμένου πεδίου και υψηλής ανάλυσης τα οποία βασίζονται στη δυναμική υποκλιμάκωση και αναπτύχθηκαν προκειμένου να εισαχθεί η τοπική πληροφορία στα μεγάλης κλίμακας πεδία που παρέχονται από τα GCMs ή που προκύπτουν από επανα-ανάλυση (NCEP/ERA-40) (Dickinson et al. 1989, Giorgi 1990). Για να λειτουργήσουν είναι απαραίτητο να τους παρέχονται αρχικές συνθήκες σε ολόκληρο το πεδίο τους, χρονομεταβαλλόμενες οριακές συνθήκες στα πλευρικά τους όρια και επιφανειακές οριακές συνθήκες. Οι πλευρικές οριακές συνθήκες προέρχονται από προσομοιώσεις με GCMs ή από ανάλυση παρατηρήσεων. Δέχονται επίσης, όπως και τα AOGCMs, δεδομένα εισόδου συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου και συγκέντρωσης αερολυμμάτων. Συνήθως αποτελούνται από ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο συζευγμένο με ένα μοντέλο του εδάφους. Η αυξημένη χωρική ανάλυση των RCMs επιτρέπει να αναλύονται φαινόμενα μικρότερης χωρικής κλίμακας που δεν αναλύονται από τα GCMs.

Σενάρια κλιματικής αλλαγής

Πρόσφατα έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός σεναρίων (συνολικά 40) σχετικών με τη μελλοντική εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (emission scenarios) (Nakićenović et al. 2000).

(A2) Μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη και μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 850 ppm το 2100.

(A1B) Ραγδαία οικονομική ανάπτυξη. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας, αλλά παράλληλα διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών. Χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Μικρές αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 720 ppm το 2100.

(B2) Ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας με μέτριους ρυθμούς. Ηπιότερες τεχνολογικές αλλαγές σε σύγκριση με τα Σενάρια Εκπομπών A1 και B1. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα με μέτριους αλλά σταθερούς ρυθμούς, η οποία θα φθάσει το 2100 τα 620 ppm.

(B1) Μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μείωση της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας και στροφή στη χρήση τεχνολογιών που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα με σχετικά ήπιους ρυθμούς, ιδίως από το 2050 και μετά, η οποία θα φθάσει το 2100 τα 550 ppm (EMEKA 2011, IPCC 2007).

Μεταβολές κλιματικών παραμέτρων βάση σεναρίων κλίματος ως το 2100

Η βροχή αναμένεται ότι θα μειωθεί μεταξύ 5% και 19% αντίστοιχα (σενάρια B2 και A2 αντίστοιχα) με αποτέλεσμα τη ξηρότητα της καύσιμης ύλης και την αύξηση δασικών πυρκαγιών.

- 1) Η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί μεταξύ περίπου 3⁰ C- 4,5⁰ C και η μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο σύνολο της επικράτειας από 2,3 W/τετρ. μ. έως 4,5 W/τετρ. μ..
- 2) Αύξηση της έντασης των Ετησίων ανέμων κατά 10% προς το τέλος του 21ου αιώνα.
- 3) Η σχετική υγρασία και η νεφοκάλυψη η οποία αναμένεται να μειωθεί μεταξύ 1% (σενάριο B2) και 4,5% (σενάριο A2) (EMEKA 2011).

Θα παρατηρηθεί μεγάλη αύξηση της ξηρασίας καθώς και του αριθμού των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη θερμοκρασία θα υπερβαίνει τους 35⁰C μεγάλη αύξηση (περίπου 50 ημέρες) θα σημειωθεί και στον αριθμό των ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία άνω των 20⁰C (τροπικές νύκτες). Χαρακτηριστική θα είναι η αύξηση του αριθμού των ημερών με δυσφορία, δηλαδή ο συνδυασμός αυξημένης

θερμοκρασίας και υγρασίας, ιδίως στα παράκτια και τα νησιωτικά συμπλέγματα, με αντίκτυπο στην υγεία και στον τουρισμό (ΕΜΕΚΑ 2011).

Συνέπειες στη δημόσια υγεία

Οι καύσωνες συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της θνησιμότητας από θερμοπληξίες και θερμικό στρες και άμεσα στους θανάτους από καρδιαγγειακά και αναπνευστικά νοσήματα, ιδιαίτερα μεταξύ των ηλικιωμένων.

Οι υψηλές θερμοκρασίες επίσης αυξάνουν τα επίπεδα του όζοντος και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων που επιδεινώνουν τις καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις. Επίσης, συμβάλλουν στην αύξηση της γύρης και άλλων αεροαλλεργιογόνων που πυροδοτούν τις κρίσεις άσθματος.

Οι πλημμύρες, οι ξηρασίες και το μολυσμένο νερό αυξάνουν τον κίνδυνο εκδήλωσης ασθενειών. Η έλλειψη φρέσκου-πόσιμου νερού θέτει σε κίνδυνο την υγιεινή, αυξάνοντας έτσι τα ποσοστά διαρροϊκής νόσου. Σε ακραίες περιπτώσεις, η λειψυδρία έχει ως απόρροια την ξηρασία και την πείνα. Μεγάλη ποσότητα νερού, με τη μορφή των πλημμυρών, προκαλεί μόλυνση του αποθέματος γλυκού νερού και δημιουργεί επίσης τις κατάλληλες συνθήκες για τη μετάδοση νοσημάτων μέσω διαβιβαστών, όπως είναι τα κουνούπια.

Η αυξημένη θερμοκρασία θα συμβάλλει στην αύξηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας που σχετίζονται με τη διατροφή την ποιότητα του νερού και του αέρα, την ανάπτυξη και διάδοση μεταδοτικών νόσων ελονοσία, κίτρινος δάγκειος πυρετός, δυσεντερία.

Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C αναμένεται να επιφέρει αύξηση της θνησιμότητας στις ευρωπαϊκές χώρες κατά 1% έως 4%. Σε σύγκριση με την περίοδο 1961-1990, το 2071-2100 αναμένονται 86.000 πρόσθετοι θάνατοι ετησίως στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εάν σημειωθεί μέση αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 3°C. Όσον αφορά στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα την Αττική, κατά τη δεκαετία 2091-2100 προβλέπονται 1.620 επιπλέον θάνατοι ανά έτος (ενδιάμεσο σενάριο A1B). Οι πλέον ευάλωτες ομάδες απέναντι στην κλιματική αλλαγή θα είναι οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά, τα άτομα με χρόνια προβλήματα υγείας, οι φτωχοί, οι κάτοικοι νησιωτικών και ορεινών περιοχών και οι μετανάστες (ΕΜΕΚΑ 2011).

Οι υγειονομικές αρχές στις Ηνωμένες Πολιτείες διακρίνουν επισήμως τις παρακάτω κατηγορίες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία (CDC 2009):

- α) Άσθμα, αναπνευστικές αλλεργίες και ασθένειες από τον ατμοσφαιρικό αέρα
- β) Νεοπλάσματα
- γ) Καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και εμφράγματα
- δ) Τροφιμογενείς ασθένειες και λοιμώξεις
- ε) Νοσηρότητα και θνησιμότητα από τη ζέστη
- στ) Ψυχική υγεία και διαταραχές άγχους
- ζ) Νευρολογικές διαταραχές
- η) Ασθένειες που προκαλούνται από φορείς, νερό.

Οι περισσότεροι σχετικά θάνατοι από τη ζέστη προβλέπεται να καταγραφούν στις Μεσογειακές χώρες, και οι λιγότεροι στις βόρειες χώρες.

Έως το 2020, και χρησιμοποιώντας το σενάριο A2, εκτιμάται ότι θα υπάρχει μια μικρή αύξηση στους θανάτους στην Ευρώπη που οφείλονται στη ζέστη, καθώς και στο ποσοστό εκείνων που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή. Ο αριθμός εκτιμάται στους 25.000 επιπλέον θανάτους ανά έτος. Η αύξηση αυτή θα είναι σημαντικά μεγαλύτερη έως το 2080, με την εκτίμηση να ανέρχεται σε 105.000 επιπλέον θανάτους από ζέστη ετησίως.

Εκτιμάται ότι λόγω της κλιματικής αλλαγής, θα αποφευχθούν 50.000 με 100.000 θάνατοι από ψύχος ετησίως για την περίοδο 2011-2040, και 86.000 με 184.000 θάνατοι από ψύχος ετησίως για την περίοδο 2071-2100 (Watkiss et al. 2009).

Υπό το σενάριο B2 σημειώνεται μείωση κατά 50% περίπου στους θανάτους από ζέστη ετησίως, κάτι που σημαίνει ότι υπάρχει όφελος 49.000 με 56.000 θανάτους που αποφεύγονται ανά έτος, για την περίοδο 2071-2100. Ωστόσο, με το σενάριο B2 υπάρχει και μείωση στους θανάτους από ψύχος που αποφεύγονται λόγω της κλιματικής αλλαγής, κατά περίπου 33% με 45% (μείωση αποφευχθέντων θανάτων από ψύχος κατά 28.000 έως 83.000 θανάτους ετησίως, σε σχέση με το σενάριο A2) (Watkiss et al. 2009).

Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες

Στο μοντέλο του ασαφούς γνωστικού χάρτη (ΑΓΧ), οι κόμβοι είναι διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους με ακμές. Κάθε μια ακμή που συνδέει δύο κόμβους περιγράφει τη μεταβολή της τιμής ενεργοποίησης καταστάσεως του ενός κόμβου στη διαμόρφωση της τιμής ενεργοποίησης καταστάσεως του διασυνδεδεμένου κόμβου. Η κατεύθυνση της ακμής υπονοεί ποιος κόμβος επηρεάζει ποιον. Το πρόσημο της σχέσης αιτιότητας μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό. Εάν είναι θετικό τότε σημαίνει ότι υπάρχει ευθεία σχέση επηρεασμού ανάμεσα στους δύο κόμβους ενώ αν το πρόσημο είναι αρνητικό σημαίνει ότι υπάρχει αντίστροφη σχέση επηρεασμού ανάμεσα στους δύο κόμβους. Το βάρος χαρακτηρίζει τις σχέσεις αυτές και συμβολίζει το βαθμό που επηρεάζει ο ένας κόμβος τον άλλο. Υπάρχουν τρεις πιθανοί τύποι αιτιατών διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων (Papageorgiou & Groupos 2005, Groupos 2012).

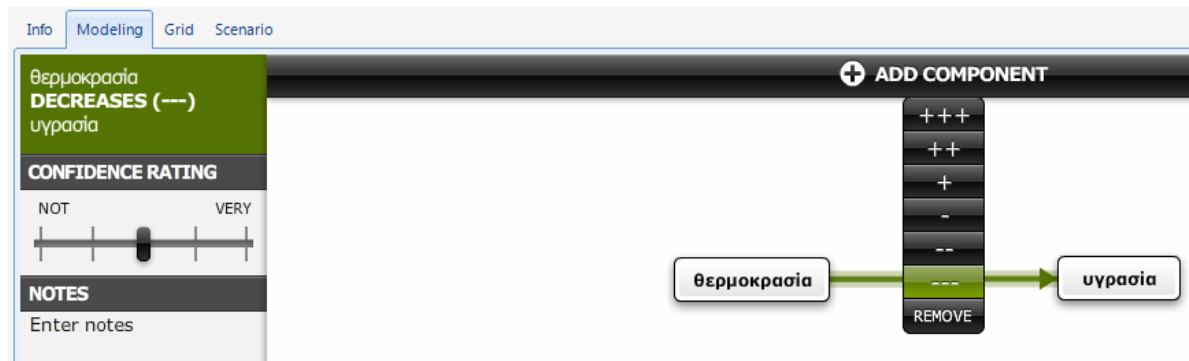
Συγκεκριμένα:

$w_{ij} > 0$ που δείχνει τη θετική αιτιότητα μεταξύ των κόμβων C_i και C_j ,

$w_{ij} < 0$ που δείχνει την αρνητική αιτιότητα μεταξύ των κόμβων και

$w_{ij} = 0$ που δεν δείχνει καμία σχέση μεταξύ C_i και C_j .

Οι σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των κόμβων καθορίζονται από τους ειδικούς, περιγράφονται με τη χρήση λεκτικών μεταβλητών και χαρακτηρίζονται ως ασαφείς. Οι σχέσεις αυτές ασαφοποιούνται με τη χρήση συναρτήσεων συμμετοχής και οι λεκτικές μεταβλητές μετατρέπονται σε αριθμητικές τιμές στο πραγματικό διάστημα $[-1,1]$.



Εικόνα 1. Απεικόνιση των 6 διασυνδέσεων (3 θετικών),(3 αρνητικών) ανάμεσα στις παραμέτρους.

Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο (ΑΠΑΑΓΧ) αλγόριθμος προσομοίωσης των αλληλεπιδράσεων των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών. Στον αλγόριθμο προσομοίωσης αλληλεπιδράσεων των κόμβων σε κάθε βήμα της επανάληψης υπολογίζεται νέα τιμή για κάθε κόμβο A_i στο μοντέλο του ΑΓΧ. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, υπάρχουν διάφορες υπολογιστικές συναρτήσεις (Papageorgiou et al. 2003, Herrera et al. 1998) που χρησιμοποιούνται στις διάφορες υλοποιήσεις για την ανανέωση των τιμών αυτών. Όλες βασίζονται στο γεγονός ότι η νέα τιμή A_i για το κάθε κόμβο C_i εξαρτάται από τις τιμές των κόμβων που ξεκινούν ακμές και δείχνουν προς αυτόν αλλά και από το βάρος της ακμής που τους ενώνει (Kosko 1997). Οι συναρτήσεις μεταφοράς χρησιμοποιούνται για να μετασχηματίζουν το αποτέλεσμα του αθροίσματος του πολλαπλασιασμού των τιμών ενεργοποίησης των κόμβων που επηρεάζουν τον κόμβο. Έτσι υπολογίζεται η νέα του τιμή με το αντίστοιχο βάρος της ακμής που τους συνδέει. Αυτό γίνεται για να μεταφέρεται η πραγματική τιμή κάθε μεταβλητής του μοντελοποιημένου συστήματος στο διάστημα μεταξύ $[-1,1]$ ή $[0,1]$. Για το διάστημα $[0,1]$ χρησιμοποιείται η σιγμοειδής συνάρτηση ενώ για το διάστημα $[-1,1]$ η Εφαπτομένη υπερβολοειδής (Tanh) (Stach et al. 2005).

Αλγόριθμος: Αλληλεπίδραση των κόμβων σε κάθε βήμα της επανάληψης (Papageorgiou 2004)

Αρχή

Βήμα 1: $t=0$ Διάβασε το αρχικό διάνυσμα τιμών καταστάσεων κόμβων A^0 $t=0$

Βήμα 2: Δώσε τον πίνακα με τα βάρη των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων W .

Βήμα 3: $t=t+1$

Βήμα 4: Υπολόγισε την καινούρια τιμή καταστάσεως κάθε κόμβου στον ΑΓΧ $A_i(t)$

$$A_i(t) = f\left(\sum_{j=1, j \neq i}^n A_j(t-1) \times W_{ji}\right) + A_i(t-1) \quad (6)$$

Βήμα 5: Εφαρμόζουμε τη συνάρτηση μεταφοράς στο διάνυσμα με τις νέες τιμές καταστάσεων των κόμβων $f(A(t))$. Χρησιμοποιείται η σιγμοειδής συνάρτηση συμπίεσης όπου η παράμετρος $\lambda > 0$, καθορίζει την κύρτωση της σιγμοειδούς συνάρτησης f .

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (7)$$

Βήμα 6: Ελέγχουμε εάν $(A(t)=A(t-1))$ ή $(t=$ μέγιστος αριθμός επαναλήψεων) τότε ο αλγόριθμος σταματά, αλλιώς πήγαινε στο Βήμα 3.

Στον πιο πάνω αλγόριθμο η μεταβλητή t απαριθμεί τις επαναλήψεις που χρειάζεται ο ασαφής γνωστικός χάρτης μέχρι να συγκλίνει σε μια κατάσταση ισορροπίας.

Περιγραφή κάθε στοιχείου της εξίσωσης 6: (Stylios et al. 2004)

1: $A_i(t)$: Η τιμή του κόμβου C_i στην επανάληψη t .

2: $A_i(t-1)$: Η τιμή του κόμβου C_i στην επανάληψη $t-1$.

3: $A_j(t-1)$: Η τιμή του κόμβου C_j στην επανάληψη $t-1$ και ο οποίος συνδέεται με τον κόμβο C_i .

4: W_{ji} : Το βάρος της ακμής που συνδέει τον κόμβο C_j με τον κόμβο C_i .

5: f : Μία συνάρτηση μεταφοράς

6: n : Ο αριθμός όλων των κόμβων C_j που έχουν ακμή που ξεκινά από αυτούς και δείχνει στον κόμβο C_i

Χρήση του λογισμικού Mental Modeler

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από τρία στάδια. Στην πρώτη φάση της σχεδίασης (Modeling) προστίθενται και ονοματίζονται όλες οι παράμετροι που διασυνδέονται μεταξύ τους με συνάψεις. Δημιουργούνται αιτιατές αρνητικές και θετικές διασυνδέσεις όπου η κάθε διασύνδεση χαρακτηρίζεται από την επιλογή έξι συμβόλων τριών θετικών (+, ++, +++) και τριών αρνητικών (-, --, ---) τα οποία αντιπροσωπεύουν τα ασαφή βάρη. Στο δεύτερο στάδιο του πλέγματος (Grid) αναπαρίστανται όλες οι διασυνδέσεις και οι βαθμοί επίδρασης μεταξύ των μεταβλητών. Τέλος στο τρίτο μέρος των Σεναρίων (Scenarios) απεικονίζονται ποικίλα σενάρια βασισμένα στις μεταβολές κάποιων μεταβλητών όπου εξάγονται οι σχετικές αλλαγές των υπολοίπων μεταβλητών από την εφαρμογή καθενός. Στα σενάρια αναφέρονται τρεις κατηγορίες Λεκτικών (Low, Medium, High) όπου το πρώτο αναπαριστά τις μικρές μεταβολές, το δεύτερο τις μεσαίες ενώ το τρίτο τις μεγάλες. Επίσης δύο σύμβολα (+, -) όπου το + αναπαριστά τις θετικές μεταβολές ενώ το - τις αρνητικές. Σε κάθε σενάριο εξάγονται ως αποτέλεσμα τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$ όπου η τιμή -1 υποδεικνύει μεγάλη αρνητική σχετική αλλαγή ενώ η τιμή 1 μεγάλη θετική σχετική αλλαγή. Τέλος εύκολα με την δημιουργία σεναρίων κατασκευάζονται προγνωστικά μοντέλα.

Η καινοτομία αυτής της εργασίας βασίζεται στη μελέτη των σχετικών αλλαγών που θα προκύψουν σε ρύπους, φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ξηρές και υγρές μέρες από την έντονη αύξηση ή μείωση κλιματικών παραμέτρων.

Οι παρακάτω συσχετίσεις προκύπτουν από βιβλιογραφική μελέτη των φαινομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης με μετεωρολογικές παραμέτρους καθώς και ποια φαινόμενα σχετίζονται με μέρες με έντονη ξηρασία ή υγρασία. Για παράδειγμα, όταν αυξάνει ραγδαία η θερμοκρασία (περίπτωση καύσωνα) ($H+$) μειώνονται όλοι οι ρύποι (μικρή αρνητική συσχέτιση) εκτός από το O_3 (μικρή θετική συσχέτιση) ενώ αντίθετα όταν ελαττώνεται ραγδαία η θερμοκρασία αυξάνονται όλοι οι ρύποι εκτός από το O_3 .

Αποτελέσματα των εξαγομένων του ΑΓΧ

Ο πίνακας 4 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάπτυξης του Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη με βάση τα δεδομένα που αναλύθηκαν.

Πίνακας 4. Συσχετίσεις θετικές ή αρνητικές ανάμεσα στις μετεωρολογικές παραμέτρους τους ρύπους, τα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της ξηρασίας και της υγρασίας.

	SO ₂	PM	CO	Υγρές μέρες	Ξηρές μέρες	Νέφ.Καπ νομίχλης	NO _X	Φωτοχη μικό νέφος	O ₃
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣ ΙΑ(H+) (Αύξηση)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,04
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣ ΙΑ H- (Μείωση)	0,57	0,57	0,57	0,81	-0,86	0,49	0,57	-0,95	-0,81
ΥΓΡΑΣΙΑH+	0,26	0,26	0,26	0,51	-0,51	0,25	0,26	-0,68	-0,64
ΥΓΡΑΣΙΑ H-	-0,04	-0,04	-0,04	-0,08	0,04	-0,04	-0,04	0,03	0,13
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙ Α(H+)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,03	0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,04
ΗΛΙΟΦΑΝΕΙ Α(H-)	0,54	0,54	0,54	0,81	-0,87	0,47	0,54	-0,95	-0,81
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛ ΙΑ(H+)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,03	0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,04
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛ ΙΑ(H-)	0,53	0,53	0,53	0,81	-0,86	0,47	0,53	-0,95	-0,81
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣ Η(H+)	0,03	0,03	0,03	0,42	-0,4	0,06	0,03	-0,43	-0,51
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣ Η(H-)	0,04	0,04	0,04	-0,08	0,04	0,03	0,04	0,03	0,12

Στον πιο πάνω πίνακα 4 βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνονται όλοι οι ρύποι ενώ αυξάνει το O₃ ενώ αντίθετο αποτέλεσμα έχουμε από τη μείωση της θερμοκρασίας. Με την αύξηση της υγρασίας αυξάνονται όλοι οι ρύποι εκτός από το O₃ ενώ έχουμε αντίθετα αποτελέσματα με μείωση της υγρασίας. Η αύξηση της ηλιοφάνειας και της ακτινοβολίας μειώνουν τις συγκεντρώσεις όλων των ρύπων ενώ αυξάνει το O₃. Η αύξηση της βροχόπτωσης μειώνει τις συγκεντρώσεις όλων των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Όσον αφορά στους δύο συνδυασμούς παραμέτρων την καλοκαιρινή περίοδο (1,2) παρατηρείται μία μείωση σε όλους τους ρύπους εκτός από το O₃ που αυξάνει. Αντίθετα τη χειμερινή περίοδο (3,4) παρατηρείται μια ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση σε όλους τους ρύπους ενώ μειώνεται σημαντικά η συγκέντρωση του όζοντος. Οι περιπτώσεις (1,2) μπορούν να ερμηνευθούν ως ακραία σενάρια κλιματικής αλλαγής ενώ οι περιπτώσεις (3,4) ως ηπιότερα σενάρια.

Πίνακας 5. Συσχετίσεις θετικές ή αρνητικές ανάμεσα στις εποχές του έτους (καλοκαίρι, χειμώνας) τους ρύπους, τα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της ξηρασίας, και της υγρασίας.

Συνδυασμός παραμέτρων	SO ₂	PM	CO	Υγρές μέρες	Ξηρές μέρες	Νέφ. Καπν ομίχλης	NOX	Φωτοχημικό	O ₃
1.(Θερμοκρασία-Ηλιοφάνεια Ακτινοβολία (+)),(Υγρασία-Βροχόπτωση)(-)	-0,02	-0,02	-0,02	-0,09	0,04	-0,02	-0,02	0,03	0,15
2.(Θερμοκρασία -Ηλιοφάνεια Η(+)),Υγρασία(-)	-0,04	-0,04	-0,04	-0,08	0,04	-0,04	-0,04	0,03	0,13
3.(Θερμοκρασία -Ηλιοφάνεια-Ακτινοβολία (-)),Υγρασία-Βροχόπτωση(+)	0,87	0,87	0,87	0,89	-0,95	0,79	0,87	-0,97	-0,83
4.Θερμοκρασία-(Η-),Υγρασία ((Η+))	0,63	0,63	0,63	0,83	-0,88	0,53	0,63	-0,95	-0,82

Οι τιμές των παραπάνω πινάκων είναι το αποτέλεσμα του κλάσματος

$$\frac{\text{Τελική-Αρχική Τιμή}}{\text{Αρχική Τιμή}} \quad (8)$$

Με τη γνώση των αρχικών τιμών των μεταβλητών και των αποτελεσμάτων από τους παραπάνω πίνακες υπολογίζονται οι τελικές τιμές που θα προκύψουν από την εφαρμογή όλων των σεναρίων. Οι ασαφείς γνωστικοί χάρτες αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση και τη λήψη αποφάσεων.

Συμπεράσματα-Συζήτηση

Στους παραπάνω πίνακες παρουσιάστηκαν οι σχετικές αλλαγές των συνδεδεμένων κόμβων που προέκυψαν από τις θετικές και αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών. Πρέπει να τονιστεί ότι η βαρύτητα στις διασυνδέσεις μεταβάλλεται ανάλογα με τον ειδικό που προσπαθεί να συνδέσει παραμέτρους βασισμένος σε κάποια γνώση, μελέτη ή έρευνα. Επειδή οι σχέσεις είναι ασαφείς, μεταβάλλονται ανάλογα με τη βαρύτητα που δίνει κάποιος στις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους κόμβους. Από την παρούσα έρευνα μπορούμε να γνωρίζουμε τη συμπεριφορά των ρύπων, των φαινομένων που σχετίζονται με αυτούς, καθώς και την αύξηση της ξηρασίας και αντίστοιχα των πλημμυρών από την εκτίμηση και αξιολόγηση των ξηρών και υγρών ημερών αντίστοιχα. Από τις ξηρές και υγρές μέρες και από τις συσχετίσεις των κλιματικών παραμέτρων μπορούμε να αξιολογήσουμε και τη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών. Από τις διασυνδέσεις των κλιματικών παραμέτρων μπορούμε να εκτιμήσουμε μελλοντικά τις σχετικές αλλαγές στους ρύπους και ακολούθως τις επιπτώσεις στην υγεία. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι οι μεγάλες θετικές και αρνητικές συσχετίσεις πρέπει να εξετάζονται περισσότερο γιατί υποδηλώνουν μεγάλη και απότομη αύξηση ή μείωση τιμών. Αναγκαία θεωρείται η συνεχής εκτίμηση των μεταβολών του κλίματος και των συνεπειών που αυτή

προκαλεί. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι δε χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από μία συγκεκριμένη περιοχή του Ελλαδικού χώρου αλλά οι συνδέσεις και οι συσχετίσεις βασίστηκαν αποκλειστικά σε βιβλιογραφική μελέτη της συμπεριφοράς της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας και όλων των παραμέτρων που σχετίζονται γενικότερα με το κλίμα και τη κλιματική αλλαγή.

Στο εργαστήριο Δασικής Πληροφορικής στο Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του ΔΠΘ έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί μέθοδοι της υπολογιστικής νοημοσύνης όπως ασαφείς σχέσεις, νευρωνικά δίκτυα, μέθοδοι μηχανικής μάθησης, γενετικοί αλγόριθμοι και υβριδικά συστήματα π.χ (νευροασαφή, ασαφογενετικά, νευρογενετικά) για την μελέτη και την εκτίμηση περιβαλλοντικών κινδύνων που βασίζονται στην αλλαγή του κλίματος (Iliadis et al. 2007), (Paschalidou et al., 2007) (Iliadis and Papaleonidas, 2009) (Papaleonidas and Iliadis, 2013) (Bougoudis et al., 2015). Όλες αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά με ΑΓΧ για τη βελτιστοποίηση της δυναμικής τους και για την καλύτερη γενίκευσή τους.

Βιβλιογραφία

1. Ελληνόγλωσση

- Αντωνόπουλος, Α. (2013). Σχεδιασμός και Υλοποίηση Γκαουσιανού Μοντέλου Ατμοσφαιρικής Διασποράς-Σύγκριση με το Μοντέλο Ram. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής.
- ΕΜΕΚΑ (2011). Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα, Τράπεζα της Ελλάδας.
- Καψωμενάκης Ι., Δουβής, Κ., Γιαννακόπουλος, Χ., Ζάνης, Π., Τσελιούδης, Γ., Ρεπάπης, Χ., Ζερεφός, Χ. (2011). Σενάρια ανθρωπογενούς παρέμβασης στην κλιματική αλλαγή και τα προγράμματα Prudence και Ensembles. Τράπεζα της Ελλάδος, ΕΜΕΚΑ.
- Λαζαρίδης, Μ. (2005). Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Μουσιόπουλος, Ν. (1999). Μαθηματικά Μοντέλα Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Β' Έκδοση. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παπαγεωργίου, Ε.Ι. (2004). Νέες Μέθοδοι Εκμάθησης για Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και Εφαρμογές στην Ιατρική και Βιομηχανία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Διδακτορική Διατριβή.
- Παπακωνσταντίνου, Ε., Ηλιάδης, Λ., Μαλίνης, Γ. (2010). Ανάλυση της Εξέλιξης των Προβλημάτων Ξηρασίας και των Δασικών Πυρκαγιών με τη χρήση Ασαφούς Λογικής και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η περίπτωση της νήσου Κύπρου 1979-2009. Πρακτικά της 20^{ης} συνάντησης Χρηστών για τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών GIS Αθήνα. Ανακτήθηκε στις 20 Δεκεμβρίου 2013 από: <http://www.marathondata.gr/conf/2010/dm.htm>
- Τολικά, Κ. (2005). Εκτιμώμενες Κλιματικές Αλλαγές στον Ελληνικό Χώρο κατά τη διάρκεια του 21ου Αιώνα με τη Χρήση Κλιματικών Μοντέλων, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας.
- Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. (2007). Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, ΕΚΘΕΣΗ 2006, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας.

II. Ξενόγλωσση

- Andreou, A.S., Mateou, N.H., Zombanakis, G.A. (2005). Soft computing for crisis management and political decision making: the use of genetically evolved fuzzy cognitive maps. *Soft Computing Journal*. Vol. 9, No. 3, pp.194-210.
- Beran, M. Rodier, J.A. (1985). Hydrological Aspects of Drought. In: *Studies and Reports in Hydrology*. International Hydrological Programme, Unesco-WMO, Paris, No. 39.
- Bosch, P., Buchele, M., Gee, D. (1999). Environmental indicators: Typology and overview. Report 25. European Environmental Agency, pp.1-19.
- Boubel, R.W., Vallero, D., Fox, D.L., Turner, B., Stern, A.C. (1994). *Fundamentals of Air Pollution*, 3rd edition. Academic Press.
- Bougoudis, I., Demertzis, K., Iliadis, L. (2015). HISYCOL a Hybrid Computational Intelligence System for Combined Machine Learning: The case of Air Pollution Modeling in Athens. *Neural Computing and Applications*. London: Springer, pp.1-16.
- CDC (2009). The Interagency Working Group on Climate Change and Health (IWGCCCH), A Human Health Perspective on Climate Change: A report outlining the research needs on the human health effects on climate change, Environmental Health Perspectives and the National Institute of Environmental Health Sciences, pp.1-70.
- Dickerson, J.A., Kosko, B. (1994). Virtual Worlds as Fuzzy Cognitive Maps, Presence, MIT Press, Springer, Vol. 3 No. 2, pp.173-189.
- Dickinson, R.E., Errico, R.M., Giorgi, F., Bates, G.T. (1989). A regional climate model for the Western United States. *Climate Change*. Vol.15, No. 3, pp. 383-422.
- EPA (2014). A Guide to Air Quality and your Health, United States Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, pp.1-11.
- Giorgi, F. (1990). Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *Journal of Climate*. Vol. 3, pp. 941-963.
- Groumpos, P.P., Stylios, C.D. (2000). Modeling supervisory control systems using fuzzy cognitive maps. *Chaos, Solitons and Fractals*. Vol.11, No. 1-3, pp. 329-336.
- Groumpos, P.P. (2011). Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and their Application to Complex Systems. In: Glykas, M. (Ed), *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol. 247, pp. 1-23.
- Groumpos, P.P. (2012). Mathematical Modeling of Control using Fuzzy Cognitive Maps: Challenging Issues. *Proceedings of the IASTED International Conference and Applications*, Crete, Greece, (18-20 June 2012), pp. 197-204.
- Herrera, F., Lozano, M., Verdegay, J.L. (1998). Tackling Real Coded Genetic Algorithms: Operators and Tools for Behavioural Analysis. *Artificial Intelligence Review*. Vol.12, No. 4, pp. 265-319.
- Iliadis, L., Spartalis, S., Paschalidou, A., Kassomenos, P. (2007). Artificial Neural Network Modelling of the surface Ozone concentration. *International Journal of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 2, No. 2, pp. 125-138.
- Iliadis, L., Spartalis, S., Paschalidou, A. (2006). Neural Modeling of the Tropospheric Ozone concentration: The case of Athens Lykovryssi. *Lecture Series on Computer and Computational Sciences*, Brill and VSP Publishers, Holland Vol. 7A, pp. 222-224.
- Iliadis, L., Papaleonidas, A. (2009). Intelligent Agents Networks Employing Hybrid Reasoning: Application in Air Quality Monitoring and Improvement.

- Communications in Computer and Information Science. Proceedings of the 11th EANN (Engineering Applications of Neural Networks) London, Vol. 43, pp. 1-16.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. Vol. 24, No.1, pp. 65-75.
- Kosko, (1997) *Fuzzy Engineering*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Mearns, L.O., Easterling, W., Hays, C., Marx, D. (2001). Comparison of agricultural impacts of climate change calculated from high and low resolution climate model scenarios: Part I. The uncertainty due to spatial scale. *Climatic Change*. Vol. 51, No. 2, pp. 131-172.
- Mearns, L.O., Hulme, M., Carter, T.R., Leemans, R., Lal, M., Whetton, P. (2001). Climate Scenario Development (Chapter 13). In: *Climate Change: The Scientific Basis, 36 Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC* [Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J, Noguer, M., Van der Linden, P.J , Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds), Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 881.
- Nakicenovic, N. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Oladipo, O.E. (1985). A comparative performance analysis of three meteorological drought indexes. *International Journal of Climatology*. Vol. 5, pp. 655-664.
- Papageorgiou, E.I., Stylios, C.D., Groumpos, P.P. (2003). Fuzzy Cognitive Map Learning Based on Nonlinear Hebbian Rule. 16th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence - AI'03, T.D. Gedeon and L.C.C. Fung (Eds.): *AI 2003, LNAI 2903*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 256-268.
- Papageorgiou, E.I., Groumpos, P.P. (2005). A new hybrid method using evolutionary algorithms to train Fuzzy Cognitive Maps. *Applied Soft Computing*. Vol. 5, No. 4, pp. 409-431.
- Papageorgiou, E.I, Stylios, C.D., Groumpos, P.P. (2006). Unsupervised Learning Techniques for Fine-Tuning Fuzzy Cognitive Map Causal Links. *International Journal of Human-Computer Studies*. Vol. 64, Vol. 8, pp. 727-743.
- Papaleonidas, A., Iliadis, L. (2013) Neurocomputing techniques to dynamically forecast spatiotemporal air pollution data. *Evolving Systems*. Vol. 4, No. 4, pp. 221-233.
- Paschalidou, A., Iliadis, L., Kassomenos, P., Bezirtzoglou, C. (2007). Neural modeling of the tropospheric ozone concentrations in an urban site. *Proceedings of the 10th International Conference Engineering Applications of Neural Networks*. Vol. 284, pp. 436-445.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds) (2007). *IPCC Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stach, W., Kurgan, L., Pedrycz, W., Reformat, M. (2005). Genetic learning of fuzzy cognitive maps. *Fuzzy Sets and Systems*. Vol. 153, pp. 371-401.
- Stylios, C.D, Groumpos, P.P. (2004). Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*. Vol. 34, No. 1, pp.155-162.

- Tannehill, I.R. (1947). *Drought: Its Causes and Effects*. Princeton: Princeton University Press.
- Tsakiris, G., Pangalou, D. (2009). Drought Characterisation in the Mediterranean". In: Iglesias, C.A., Garrote, L., Cancelliere, A., Cubillo, F., Wilhite, D.A. (Eds), *Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Vol. 26, Berlin: Springer, pp. 69-81.
- Watkiss, P., Horrocks, L., Pye, S., Searl, A., Hunt, A. (2009). Impacts of Climate Change in Human Health in Europe. PESETA-Human health study, pp.1-52.
- WMO, (1986). *The Global Climate System, A contribution to the Global Environmental Monitoring System*. CSM R84/86, Geneva: World Meteorological Organization.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΚΙΝΔΥΝΟ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΑΛΓΕΒΡΑ ΚΑΙ ΜΠΕΥΖΙΑΝΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ

Παναγιώτης Τσιαμαντάς

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Email: panos-tsiam@windowslive.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο που βρίσκεται σε έξαρση τις τελευταίες δεκαετίες. Πολλές χώρες, ανάμεσα τους και η Ελλάδα υποφέρουν από πυρκαγιές ιδίως τη θερινή περίοδο όπου καίγονται μεγάλες εκτάσεις δασών. Η Δασική Υπηρεσία από το 1983, έχει ξεκινήσει την καταγραφή παραμέτρων για κάθε περιστατικό πυρκαγιάς, χωρίς όμως μέχρι σήμερα να έχει γίνει κάποια ουσιαστική προσπάθεια για ενιαία ανάλυση, επεξεργασία και παρουσίασή τους, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τις υπάρχουσες καταστροφές και τάσεις μεταβολής ανά γεωγραφική μονάδα. Έτσι λοιπόν κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για καλύτερη προστασία και φύλαξη των δασών καθώς και βελτίωση της δασοπυρόσβεσης.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στην ανάπτυξη ενός πληροφοριακού συστήματος που περιλαμβάνει ως περιοχές συγκριτικής μελέτης την Πελοπόννησο και την Κρήτη, συμβάλλοντας στη λήψη αποφάσεων για τον κίνδυνο εμφάνισης καθώς και την καταστρεπτικότητα μιας πυρκαγιάς με βάση την εκτίμηση του ιστορικού της καμένης έκτασης σε συνδυασμό με τους κλιματικούς παράγοντες, ώστε να μπορέσουμε να προστατέψουμε τα δάση αλλά και ανθρώπινες ζωές και περιουσίες. Παρότι η έρευνα αυτή διεξήχθη σε μια ευρύτατη περιοχή που αφορά σχεδόν σε όλο το νότιο τμήμα της χώρας, λόγω έλλειψης χώρου στην εργασία αυτή παρουσιάζεται πιλοτικά μόνο η περίπτωση του Λεωνιδίου. Το πληροφοριακό αυτό σύστημα πραγματοποιεί χρήση Ασαφούς Λογικής, Ασαφών Συνόλων, Μπεϋζιανής πιθανότητας καθώς και συσχέτιση μετεωρολογικών δεδομένων – καμένης έκτασης, υπό το πρίσμα της συνδυασμένης χρήσης του λογισμικού MS Excel με το Λογισμικό Matlab 2011b, για την επεξεργασία των δεδομένων, την εκτίμηση των ασαφών βαθμών μέλους και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Το παρόν σύστημα παρουσιάζει ευελιξία ώστε με μικρές διαφοροποιήσεις θα μπορέσει να εφαρμοστεί και στην υπόλοιπη Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά: Δασικές Πυρκαγιές, Ασαφής Λογική, Ασαφή Σύνολα, Μπεϋζιανή πιθανότητα, Fuzzy c-means

Εισαγωγή

Το πρόβλημα των πυρκαγιών στη χώρα μας καθώς και στις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου είναι έντονο, εξαιτίας του ευνοϊκού για τέτοιες καταστάσεις, μεσογειακού κλίματος που επικρατεί (ζεστά - ξηρά καλοκαίρια και κρύους - υγρούς χειμώνες) (Τσαγκάρη κ.ά. 2011). Η επίδραση των πυρκαγιών μπορεί να είναι θετική ή αρνητική,

ανάλογα με την ένταση, τη μορφή, τη συχνότητα επανάληψης, τη σύνθεση των ειδών και τη συνδυασμένη επίδραση διάφορων παραγόντων, με κυριότερο αυτόν της βόσκησης. Τα τελευταία χρόνια, ένας συνδυασμός παραγόντων που περιλαμβάνει την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας (global warming), την εγκατάλειψη της δασικής διαχείρισης και την αύξηση της βιομάζας λόγω υποχώρησης των αγροτικών δραστηριοτήτων στην ύπαιθρο, έχουν καταστήσει το πρόβλημα εντονότερο, με αποτέλεσμα τη συχνότερη εμφάνιση καταστροφικών πυρκαγιών (Τσαγκάρη κ.ά. 2011). Αρνητικές επιπτώσεις που ακολουθούν τις δασικές πυρκαγιές περιλαμβάνουν αλλαγή μικροκλίματος, εκτοπισμός ή περιορισμός εμφάνισης ειδών χλωρίδας και πανίδας, διάβρωση εδάφους, επιφανειακή απορροή που ακολουθείται από πλημμυρικά φαινόμενα καθώς και υποβάθμιση της αισθητικής του τοπίου με παράλληλες τάσεις για αλλαγή χρήσης γης (Naveh 1975, Arianoutsou 2001).

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ευέλικτων και ρεαλιστικών προτύπων που θα βοηθήσουν τους αρμόδιους φορείς στη λήψη αποφάσεων και απόδοση αξιόπιστων δεικτών επικινδυνότητας κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας, για το κατά πόσο σε κάποιο από τα υπό μελέτη δασαρχεία υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς καθώς και πόσο καταστροφική μπορεί να είναι αυτή. Τα πρότυπα αυτά, θα μας οδηγήσουν σε έγκαιρο σχεδιασμό έτσι ώστε να περιορίσουμε τις απώλειες-καταστροφές.

Ορισμοί

Ασαφής Λογική

Η Ασαφής Λογική (fuzzy logic) εισήχθηκε για πρώτη φορά από το Lotfi A. Zadeh για να ανατρέψει την ιδέα ότι όλα τα πράγματα μπορούν να είναι απολύτως σωστά ή απολύτως λάθος (Kandel 1992, Kecman 2001). Αποτελεί μια επέκταση της κλασσικής Αριστοτέλειας λογικής, δηλαδή μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής «με κάποιο βαθμό αληθείας», και όχι απλά αληθής ή ψευδής (Zadeh 1968). Με απλά λόγια, η Ασαφής Λογική λέει ότι τα πράγματα συχνά δεν είναι «άσπρο-μαύρο» αλλά «αποχρώσεις του γκρι». Η ιδέα αυτή απετέλεσε επανάσταση στη θεωρία της λογικής, γιατί ξέφυγε από το μοντέλο του «0-1», «αληθές-ψευδές», που κυριαρχούσε εδώ και 2500 χρόνια (Piadis et al. 2002, Piadis, 2005, Tsaltatzinos et al. 2010, Ηλιάδης, 2007).

Ο βαθμός στον οποίον μια τιμή X ανήκει στο Ασαφές Σύνολο S δίνεται από συναρτήσεις βαθμού μέλους όπως η Τριγωνική Συνάρτηση που παρουσιάζεται πιο κάτω η Τραπεζοειδής, η Γκαουσιανή ή η Σιγμοειδής. Κάθε Ασαφές Σύνολο αντιστοιχεί σε ένα Λεκτικό το οποίο και μοντελοποιεί πχ «Ισχυρός άνεμος».

$$\mu_s(X) = \begin{cases} 0 & \text{if } X < a \\ (X - a)/(c - a) & \text{if } X \in [a, c) \\ (b - X)/(b - c) & \text{if } X \in [c, b] \\ 0 & \text{if } X > b \end{cases} \quad (1)$$

Συνάρτηση 1. Ορισμός Ασαφούς Τριγωνικής Συνάρτησης Μέλους

Ανάλυση συστάδων

Ο όρος ανάλυση συστάδων (cluster analysis) περιλαμβάνει μια ποικιλία από αλγοριθμικές προσεγγίσεις, οι οποίες παρουσιάζουν ομάδες περιπτώσεων σε ποικίλα συμπλέγματα βασιζόμενα σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και παραμέτρους. Μια γνωστή ασαφής αλγοριθμική προσέγγιση (παραλλαγή του κλασσικού αλγόριθμου κ-Μέσων) είναι η Ασαφής Ανάλυση Συστάδων (*fuzzy c-means*), η οποία αποτελεί μια τεχνική ομαδοποίησης των δεδομένων όπου ένα σύνολο δεδομένων ομαδοποιείται σε X (πλήθος) συστάδες με κάθε δεδομένο να ανήκει σε κάθε μια συστάδα με ένα ορισμένο διαφορετικό βαθμό μέλους (Pliadis et al. 2010).

Δεσμευμένη πιθανότητα

Η μέθοδος αυτή ξεκίνησε τον 18^ο αιώνα από τον μαθηματικό-θεολόγο Thomas Bayes ο οποίος ανέπτυξε το πρώτο μαθηματικό μοντέλο για την εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω πιθανοτήτων. Έστω S ο δειγματικός χώρος ενός πειράματος και B ένα ενδεχόμενο με την πιθανότητα του ενδεχομένου B $P(B) > 0$. Η πιθανότητα να συμβεί ένα ενδεχόμενο A με δεδομένο ότι το B έχει ήδη συμβεί λέγεται δεσμευμένη πιθανότητα (*conditional probability*) του A δοθέντος του B , συμβολίζεται με $P(A|B)$ και ορίζεται ως εξής:

$$P(A | B) = P(A \cap B) / P(B)$$

Όταν οι δειγματικοί χώροι έχουν ισοπίθανα ενδεχόμενα, ο καθορισμός πιθανοτήτων των ενδεχομένων είναι σχετικά απλός. Εάν όμως τα ενδεχόμενα δεν είναι ισοπίθανα, ο καθορισμός τέτοιων πιθανοτήτων είναι δύσκολος στις περισσότερες των περιπτώσεων (Πανάρετος & Ξεκαλάκη 2000) (britannica.com).

Άνεμος

Η επίδραση του στις δασικές πυρκαγιές αφορά την ταχύτητα, τη διεύθυνση και την ένταση του. Μπορεί να επιταχύνει την ξήρανση της καύσιμης ύλης. Σε περίπτωση που ξεσπάσει πυρκαγιά, ο άνεμος βοηθάει στην εξάπλωση της, είτε τροφοδοτώντας την με ποσότητες οξυγόνου, είτε μεταφέροντας φλεγόμενες καύτρες με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων εστιών (Καλαμποκίδης κ.ά. 2012).

Υγρασία

Η υγρασία επηρεάζει το μέγεθος και τη συχνότητα εμφάνισης των πυρκαγιών. Η μέτρησή της μπορεί να γίνει είτε στον αέρα, είτε στην καύσιμη δασική ύλη. Υψηλή υγρασία ισοδυναμεί με μικρό κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις, η υγρασία μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση πυρκαγιάς (Τσαταλτζίνος 2012).

Θερμοκρασία

Επιδρά κυρίως στην ξήρανση της νεκρής καύσιμης δασικής ύλης καθώς ελαττώνει γρήγορα τη σχετική υγρασία. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο ευκολότερο καθίσταται το ξέσπασμα πυρκαγιάς (Καϊλίδης & Καρανικόλα 2004).

Κατακρημνίσματα (κυρίως βροχοπτώσεις)

Δρουν ανασταλτικά στις δασικές πυρκαγιές. Διαβρέχουν την εύφλεκτη δασική ύλη καθιστώντας την ανθεκτική στην εμφάνιση και εξάπλωση πυρκαγιών (Καϊλίδης & Καρανικόλα 2004).

Μεθοδολογία

Χρήση Λεκτικών

Πρώτο βήμα είναι η εύρεση βαθμών μέλους για κάθε δασαρχείο ξεχωριστά την περίοδο 1983-2004 για τα εξής χαρακτηριστικά: καμένη έκταση, θερμοκρασία, υγρασία και ένταση ανέμου έτσι ώστε να αποδοθεί ένα από τα ακόλουθα λεκτικά (Χαμηλή, Μεσαία, Υψηλή). Αρχικά με τις συναρτήσεις Max και Min του προγράμματος Microsoft Office Excel βρέθηκαν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του κάθε χαρακτηριστικού για κάθε ένα δασαρχείο. Επίσης, υπολογίστηκε και η τυπική απόκλιση αυτών μέσω της συνάρτησης Stdev του Excel. Στην περίπτωση της καμένης έκτασης, λόγω της μεγάλης τυπικής απόκλισης τα δεδομένα χωρίστηκαν σε 4 συστάδες (clusters) που αντιστοιχούν στα πιο κάτω Λεκτικά: *Χαμηλή, Υψηλή, Πολύ υψηλή και Υψιστη*. Για την εξαγωγή των βαθμών μέλους εδώ επιλέχθηκε η τραπεζοειδής συνάρτηση (trapmf).

Στα χαρακτηριστικά Θερμοκρασία και Υγρασία εξαιτίας της μικρής τυπικής απόκλισης που παρουσίασαν δεν τέθηκε θέμα για χωρισμό τους με αντίστοιχο τρόπο όπως της καμένης έκτασης και χωρίστηκαν σε 3 Λεκτικά (*Χαμηλή, Μεσαία, Υψηλή*) με την χρήση του Fuzzy Inference System (FIS) του προγράμματος Matlab, τηρώντας τις προτεινόμενες τιμές. Το χαρακτηριστικό της Έντασης του Ανέμου, είχε ήδη κατηγοριοποιηθεί από τη Γενική Γραμματεία Δασών. Για την εξαγωγή των βαθμών μέλους εδώ επιλέχθηκε η Ασαφής Τριγωνική συνάρτηση (trimf).

Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων τόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση, όσο και στις επόμενες, παρατίθενται ενδεικτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν μόνο για το δασαρχείο του Λεωνιδίου. Ανάλογη τεχνική ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα δασαρχεία. Επειδή η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε για ευρύτερες περιοχές που καλύπτουν μεγάλο μέρος της χώρας, εξήχθησαν συμπεράσματα όχι μόνο για το Λεωνίδιο αλλά για όλο το νότιο Τμήμα της χώρας το οποίο καίγεται περισσότερο. Η εργασία αυτή λόγω έλλειψης χώρου, επικεντρώνεται στην περιοχή του Λεωνιδίου για το οποίο εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά στην επίδραση των παραγόντων ανάφλεξης στην εκδήλωση μεγάλων δασικών πυρκαγιών.

Πίνακας 1. Καμένη έκταση και μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και οι βαθμοί μέλους τους για την περιοχή του Λεωνιδίου την περίοδο 1983-2004.

ΛΕΩΝΙΔΙΟ														
	ΒΑΘΜΟΙ ΜΕΛΟΥΣ						ΒΑΘΜΟΙ ΜΕΛΟΥΣ				ΒΑΘΜΟΙ ΜΕΛΟΥΣ			
Κ.Ε (στρ)	ΧΑ ΜΗ ΛΗ	ΥΨ ΗΛ Η	ΠΟ ΛΥ ΥΨ ΗΛ Η	ΥΨΙ ΣΤΗ	ΥΓΡ ΑΣΙΑ (%)	ΧΑΜ ΗΛΗ	ΜΕ ΣΑΙ Α	ΥΨ ΗΛ Η	ΘΕΡ Μ °C	ΧΑΜ ΗΛΗ	ΜΕ ΣΑΙ Α	ΥΨ ΗΛ Η	Ε.ΑΝ ΕΜΟ Υ	
1	1,00	0,00	0,00	0,00	32	0,20	0,40	0,00	10	0,50	0,00	0,00	1	
1	1,00	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	12	0,40	0,00	0,00	2	
10	1,00	0,00	0,00	0,00	35	0,13	0,50	0,00	14	0,30	0,00	0,00	2	

1	1,00	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	20	0,00	0,63	0,00	3
1	1,00	0,00	0,00	0,00	50	0,00	1,00	0,00	19	0,05	0,50	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	30	0,25	0,33	0,00	24	0,00	0,86	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	47	0,00	0,90	0,00	31	0,00	0,00	0,46	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	25	0,38	0,17	0,00	20	0,00	0,63	0,00	3
1	1,00	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	15	0,25	0,00	0,00	3
1	1,00	0,00	0,00	0,00	30	0,25	0,33	0,00	35	0,00	0,00	0,77	3
7	1,00	0,00	0,00	0,00	55	0,00	0,75	0,00	30	0,00	0,00	0,38	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	45	0,00	0,83	0,00	21	0,00	0,75	0,00	2
3	1,00	0,00	0,00	0,00	70	0,00	0,00	0,50	13	0,35	0,00	0,00	2
35	0,29	0,05	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	14	0,30	0,00	0,00	2
570	0,00	0,00	0,00	1,00	58	0,00	0,60	0,00	24	0,00	0,86	0,00	3
4	1,00	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	10	0,50	0,00	0,00	2
12	0,94	0,00	0,00	0,00	0	1,00	0,00	0,00	0	1,00	0,00	0,00	0
5	1,00	0,00	0,00	0,00	21	0,48	0,03	0,00	23	0,00	1,00	0,00	2
12	0,94	0,00	0,00	0,00	75	0,00	0,00	0,75	17	0,15	0,25	0,00	3
45	0,00	0,15	0,00	0,00	25	0,38	0,17	0,00	29	0,00	0,14	0,31	2
9	1,00	0,00	0,00	0,00	20	0,50	0,00	0,00	30	0,00	0,00	0,38	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	64	0,00	0,30	0,20	22	0,00	0,88	0,00	1
10	1,00	0,00	0,00	0,00	48	0,00	0,93	0,00	22	0,00	0,88	0,00	2
18	0,77	0,00	0,00	0,00	34	0,15	0,47	0,00	38	0,00	0,00	1,00	2
4	1,00	0,00	0,00	0,00	35	0,13	0,50	0,00	38	0,00	0,00	1,00	2
2	1,00	0,00	0,00	0,00	49	0,00	0,97	0,00	21	0,00	0,75	0,00	2
3	1,00	0,00	0,00	0,00	65	0,00	0,25	0,25	14	0,30	0,00	0,00	2
29	0,46	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	10	0,50	0,00	0,00	2
20	0,71	0,00	0,00	0,00	54	0,00	0,80	0,00	30	0,00	0,00	0,38	2
6	1,00	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	30	0,00	0,00	0,38	2
10	1,00	0,00	0,00	0,00	30	0,25	0,33	0,00	28	0,00	0,29	0,23	1
4	1,00	0,00	0,00	0,00	41	0,00	0,70	0,00	28	0,00	0,29	0,23	2
20	0,71	0,00	0,00	0,00	35	0,13	0,50	0,00	29	0,00	0,14	0,31	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	55	0,00	0,75	0,00	28	0,00	0,29	0,23	2
2	1,00	0,00	0,00	0,00	50	0,00	1,00	0,00	15	0,25	0,00	0,00	2
10	1,00	0,00	0,00	0,00	50	0,00	1,00	0,00	26	0,00	0,57	0,08	2
5	1,00	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	17	0,15	0,25	0,00	2
30	0,43	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	27	0,00	0,43	0,15	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	51	0,00	0,95	0,00	22	0,00	0,88	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	50	0,00	1,00	0,00	28	0,00	0,29	0,23	2
600	0,00	0,00	0,00	1,00	40	0,00	0,67	0,00	25	0,00	0,71	0,00	3
6	1,00	0,00	0,00	0,00	50	0,00	1,00	0,00	21	0,00	0,75	0,00	2
19	0,74	0,00	0,00	0,00	45	0,00	0,83	0,00	26	0,00	0,57	0,08	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	15	0,25	0,00	0,00	3
3	1,00	0,00	0,00	0,00	41	0,00	0,70	0,00	16	0,20	0,13	0,00	2
11	0,97	0,00	0,00	0,00	50	0,00	1,00	0,00	19	0,05	0,50	0,00	2
5	1,00	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	9	0,55	0,00	0,00	2

20	0,71	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	26	0,00	0,57	0,08	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	21	0,00	0,75	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	35	0,13	0,50	0,00	24	0,00	0,86	0,00	3
500	0,00	0,00	0,00	0,74	35	0,13	0,50	0,00	24	0,00	0,86	0,00	3
500	0,00	0,00	0,00	0,74	35	0,13	0,50	0,00	24	0,00	0,86	0,00	3
2	1,00	0,00	0,00	0,00	35	0,13	0,50	0,00	30	0,00	0,00	0,38	2
53	0,00	0,23	0,00	0,00	70	0,00	0,00	0,50	12	0,40	0,00	0,00	2
3	1,00	0,00	0,00	0,00	70	0,00	0,00	0,50	15	0,25	0,00	0,00	2
2	1,00	0,00	0,00	0,00	54	0,00	0,80	0,00	16	0,20	0,13	0,00	2
20	0,71	0,00	0,00	0,00	46	0,00	0,87	0,00	18	0,10	0,38	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	50	0,00	1,00	0,00	18	0,10	0,38	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	28	0,00	0,29	0,23	2
272	0,00	0,08	0,74	0,00	40	0,00	0,67	0,00	18	0,10	0,38	0,00	2
75	0,00	0,45	0,00	0,00	42	0,00	0,73	0,00	30	0,00	0,00	0,38	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	55	0,00	0,75	0,00	27	0,00	0,43	0,15	2
57	0,00	0,27	0,00	0,00	49	0,00	0,97	0,00	26	0,00	0,57	0,08	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	69	0,00	0,05	0,45	26	0,00	0,57	0,08	1
2	1,00	0,00	0,00	0,00	70	0,00	0,00	0,50	20	0,00	0,63	0,00	1
1	1,00	0,00	0,00	0,00	68	0,00	0,10	0,40	20	0,00	0,63	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	70	0,00	0,00	0,50	23	0,00	1,00	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	35	0,13	0,50	0,00	25	0,00	0,71	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	38	0,05	0,60	0,00	24	0,00	0,86	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	38	0,05	0,60	0,00	22	0,00	0,88	0,00	1
83	0,00	0,53	0,00	0,00	36	0,10	0,53	0,00	28	0,00	0,29	0,23	2
12	0,94	0,00	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	25	0,00	0,71	0,00	2
50	0,00	0,20	0,00	0,00	40	0,00	0,67	0,00	30	0,00	0,00	0,38	2
55	0,00	0,25	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	28	0,00	0,29	0,23	2
2	1,00	0,00	0,00	0,00	44	0,00	0,80	0,00	36	0,00	0,00	0,85	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	48	0,00	0,93	0,00	34	0,00	0,00	0,69	2
300	0,00	0,00	1,00	0,00	80	0,00	0,00	1,00	32	0,00	0,00	0,54	3
20	0,71	0,00	0,00	0,00	60	0,00	0,50	0,00	15	0,25	0,00	0,00	3
9	1,00	0,00	0,00	0,00	34	0,15	0,47	0,00	35	0,00	0,00	0,77	1
66	0,00	0,36	0,00	0,00	30	0,25	0,33	0,00	29	0,00	0,14	0,31	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	66	0,00	0,20	0,30	19	0,05	0,50	0,00	2
10	1,00	0,00	0,00	0,00	55	0,00	0,75	0,00	19	0,05	0,50	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	55	0,00	0,75	0,00	19	0,05	0,50	0,00	2
1	1,00	0,00	0,00	0,00	70	0,00	0,00	0,50	14	0,30	0,00	0,00	1

Ομαδοποίηση δεδομένων

Ασαφής ανάλυση συστάδων με fuzzy c-means

Ο αλγόριθμος ξεκινάει με μια αρχική πρόβλεψη για το που βρίσκονται τα κέντρα των συμπλεγμάτων, τα οποία προορίζονται να σημαδέψουν την κεντρική θέση σε κάθε σύμπλεγμα. Η αρχική εκτίμηση για κάθε κέντρο συστάδας είναι τυχαία. Στο επόμενο βήμα αποδίδει για κάθε δεδομένο ένα βαθμό μέλους για κάθε συστάδα. Με

επαναληπτικές ανανεώσεις των κέντρων και των βαθμών μέλους, ο αλγόριθμος επαναληπτικά μετακινεί τα κέντρα των συστάδων στη σωστή θέση. Αυτή η επανάληψη βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (*objective function*) που αντιπροσωπεύει την Ευκλείδεια απόσταση ενός οποιουδήποτε δεδομένου από το κέντρο του συμπλέγματος συνοδευόμενο από τον βαθμό μέλους του δεδομένου (*mathworks.com*). Ο αλγόριθμος σταματά τις επαναληπτικές αλλαγές των κέντρων όταν μεταξύ δύο διαδοχικών τροποποιήσεων των κέντρων αυτά παραμένουν αμετάβλητα.

Είναι σημαντικό εδώ να αναφέρουμε ότι διενεργήθηκε fuzzy c-means (FCM) για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς καμένης έκτασης – υγρασίας (χαμηλή - χαμηλή, χαμηλή - μεσαία, χαμηλή - υψηλή, υψηλή - χαμηλή, υψηλή - μεσαία, υψηλή - υψηλή, πολύ υψηλή - χαμηλή, πολύ υψηλή - μεσαία, πολύ υψηλή - υψηλή, ύψιστη - χαμηλή, ύψιστη - μεσαία, ύψιστη - υψηλή).

Όμως λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων παρουσιάζεται παρακάτω η περίπτωση της χαμηλής καμένης έκτασης - υψηλής υγρασίας. Και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις η διαδικασία είναι αντίστοιχη.

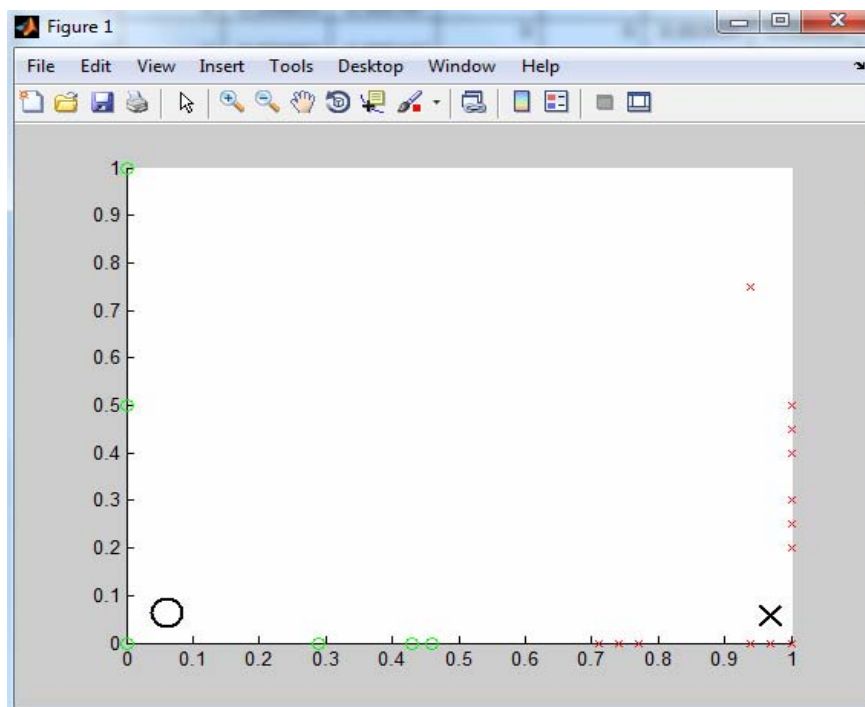
Πίνακας 2. Αποτελέσματα FCM για χαμηλή καμένη έκταση - υψηλή υγρασία για το δασαρχείο του Λεωνιδίου.

		X	Y	
Συντεταγμένες κέντρου 1^{ης} συστάδας		0,061219	0,06354	
Συντεταγμένες κέντρου 2^{ης} συστάδας		0,969311	0,058098	
Βαθμός μέλους στη «Χαμηλή Καμένη Έκταση»	Βαθμός μέλους στην «Υψηλή Υγρασία»	Βαθμός μέλους στη 1^η συστάδα	Βαθμός μέλους στη 2^η συστάδα	Ερμηνεία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία

1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,5	0,154744	0,845256	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
0,29	0	0,891834	0,108166	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,94	0	0,005425	0,994575	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
0,94	0,75	0,278333	0,721667	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	υψηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0,2	0,022886	0,977114	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,77	0	0,078434	0,921566	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,25	0,039596	0,960404	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,46	0	0,617074	0,382926	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,71	0	0,142497	0,857503	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,71	0	0,142497	0,857503	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,43	0	0,677534	0,322466	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,74	0	0,10746	0,89254	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία

1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,97	0	0,004051	0,995949	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,71	0	0,142497	0,857503	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0,5	0,853851	0,146149	υψηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0,5	0,154744	0,845256	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,71	0	0,142497	0,857503	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	πολύ υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,45	0,130383	0,869617	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0,5	0,154744	0,845256	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0,4	0,105936	0,894064	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0,5	0,154744	0,845256	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,94	0	0,005425	0,994575	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία

0	1	0,67471	0,32529	πολύ υψηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
0,71	0	0,142497	0,857503	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,991811	0,008189	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,3	0,059656	0,940344	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,004853	0,995147	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,5	0,154744	0,845256	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία



Διάγραμμα 1. Γραφική απεικόνιση FCM για χαμηλή καμένη έκταση- υψηλή υγρασία για το δασαρχείο του Λεωνιδίου.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο διάγραμμα 1, ο άξονας $X'X$ αναφέρεται στην καμένη έκταση ενώ ο άξονας $\Psi'Ψ$ αναφέρεται στην υγρασία.

Ανάλυση με τη μέθοδο Bayesian

Σε αυτό το στάδιο συσχετίστηκε η καμένη έκταση με την υγρασία σύμφωνα με τη μέθοδο Bayesian.

Οι περιπτώσεις που συγκρίναμε είναι οι ακόλουθες:

- χαμηλή υγρασία-χαμηλή καμένη έκταση
- υψηλή υγρασία-χαμηλή καμένη έκταση

- χαμηλή υγρασία-υψηλή καμένη έκταση
- υψηλή υγρασία-υψηλή καμένη έκταση
- χαμηλή υγρασία-πολύ υψηλή καμένη έκταση
- υψηλή υγρασία-πολύ υψηλή καμένη έκταση
- χαμηλή υγρασία-ύψιστη καμένη έκταση
- υψηλή υγρασία-ύψιστη καμένη έκταση

Λεωνίδιο 1983-2004

Σε 4 περιπτώσεις η χαμηλή υγρασία έδωσε χαμηλή καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω χαμηλή καμένη έκταση όταν έχω χαμηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία και B= η πιθανότητα να έχω χαμηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{χαμηλή υγρασία και χαμηλή καμένη έκταση})/P(\text{χαμηλή υγρασία}) \\ \Rightarrow P(A/B)=(4/84)/(5/84)=0,8$$

Σε 10 περιπτώσεις η υψηλή υγρασία έδωσε χαμηλή καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω χαμηλή καμένη έκταση όταν έχω υψηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία και χαμηλή καμένη έκταση και B= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{υψηλή υγρασία και χαμηλή καμένη έκταση})/P(\text{υψηλή υγρασία}) \\ \Rightarrow P(A/B)=(10/84)/(12/84)=0,83$$

Σε 1 περίπτωση η χαμηλή υγρασία έδωσε υψηλή καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω υψηλή καμένη έκταση όταν έχω χαμηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω χαμηλή υγρασία και υψηλή καμένη έκταση και B= η πιθανότητα να έχω χαμηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{χαμηλή υγρασία και υψηλή καμένη έκταση})/P(\text{χαμηλή υγρασία}) \\ \Rightarrow P(A/B)=(1/84)/(5/84)=0,2$$

Σε 1 περίπτωση η υψηλή υγρασία έδωσε υψηλή καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω υψηλή καμένη έκταση όταν έχω υψηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία και υψηλή καμένη έκταση και B= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{υψηλή υγρασία και υψηλή καμένη έκταση})/P(\text{υψηλή υγρασία}) \\ \Rightarrow P(A/B)=(1/84)/(12/84)=0,08$$

Σε 0 περιπτώσεις η χαμηλή υγρασία έδωσε πολύ υψηλή καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω πολύ υψηλή καμένη έκταση όταν έχω χαμηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω χαμηλή υγρασία και πολύ υψηλή καμένη έκταση και B= η πιθανότητα να έχω χαμηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{χαμηλή υγρασία και πολύ υψηλή καμένη έκταση})/P(\text{χαμηλή υγρασία}) \\ \Rightarrow P(A/B)=(0/84)/(5/84)=0$$

Σε 1 περίπτωση η υψηλή υγρασία έδωσε πολύ υψηλή καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω πολύ υψηλή καμένη έκταση όταν έχω υψηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία και πολύ υψηλή καμένη έκταση και B= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{υψηλή υγρασία και πολύ υψηλή καμένη έκταση})/P(\text{υψηλή υγρασία})$$

$$\Rightarrow P(A/B)=(1/84)/(12/84)=0,08$$

Σε 0 περιπτώσεις η χαμηλή υγρασία έδωσε ύψιστη καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω ύψιστη καμένη έκταση όταν έχω χαμηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω χαμηλή υγρασία και ύψιστη καμένη έκταση και B= η πιθανότητα να έχω χαμηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{χαμηλή υγρασία και ύψιστη καμένη έκταση})/P(\text{χαμηλή υγρασία})$$

$$\Rightarrow P(A/B)=(0/84)/(5/84)=0$$

Σε 0 περιπτώσεις η υψηλή υγρασία έδωσε ύψιστη καμένη έκταση. Η πιθανότητα να έχω ύψιστη καμένη έκταση όταν έχω υψηλή υγρασία είναι:

A= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία και ύψιστη καμένη έκταση και B= η πιθανότητα να έχω υψηλή υγρασία

$$P(A/B)=P(\text{υψηλή υγρασία και ύψιστη καμένη έκταση})/P(\text{υψηλή υγρασία})$$

$$\Rightarrow P(A/B)=(0/84)/(12/84)=0$$

Πίνακας συσχέτισης μετεωρολογικών δεδομένων- καμένης έκτασης

Η ένδειξη του μετεωρολογικού δείκτη ανάφλεξης καθορίστηκε όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 3:

Πίνακας 3. Συσχέτιση μετεωρολογικών δεδομένων-πιθανού δείκτη μετεωρολογικού δείκτη ανάφλεξης.

α/α	Υγρασία	Θερμοκρασία	Ένταση ανέμου	Πιθανός μετεωρολογικός δείκτης ανάφλεξης
1	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
2	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΟΣ
3	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΟΣ
4	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
5	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΟΣ
6	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΟΣ
7	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΟΣ
8	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΟΣ
9	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΟΣ
10	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ

11	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΟΣ
12	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
13	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
14	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
15	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΟΣ
16	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΟΣ
17	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΟΣ
18	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΟΣ
19	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
20	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΟΣ
21	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
22	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
23	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
24	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΟΣ
25	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΟΣ
26	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΧΑΜΗΛΟΣ
27	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	N/A

Τόσο για τις περιπτώσεις δασικών πυρκαγιών που ενώ παρουσίαζαν χαμηλό δείκτη ανάφλεξης είχαν τελικά υψηλή καμένη έκταση, όσο και για τις περιπτώσεις που ενώ παρουσίαζαν μεσαίο δείκτη ανάφλεξης είχαν τελικά υψηλή καμένη έκταση, διενεργήθηκε περαιτέρω έρευνα για να διαπιστωθούν τα αίτια όπου μας οδήγησαν στην υψηλή καμένη έκταση.

Η κατηγοριοποίηση εδώ της καμένης έκτασης και μόνο αυτής, είχε την εξής αντιστοιχία: με την ένδειξη «ΧΑΜΗΛΗ» αυτά που είχαν χαμηλή καμένη έκταση, με την ένδειξη «ΜΕΣΑΙΑ» αυτά που είχαν υψηλή καμένη έκταση και με την ένδειξη «ΥΨΗΛΗ» αυτά που είχαν πολύ υψηλή ή ύψιστη καμένη έκταση.

Τα ποσοστά (%) που ακολουθούν στους παρακάτω πίνακες εκφράζουν το ποσοστό των αριθμών των πυρκαγιών που αντιστοιχεί σε κάθε περίπτωση, σε σχέση με το συνολικό αριθμό πυρκαγιών που ανήκουν στη συστάδα.

Μια προσεκτική μελέτη του πιο κάτω πίνακα 4 οδηγεί σε χρήσιμα και πολύτιμα συμπεράσματα.

Πίνακας 4. Συσχέτιση μετεωρολογικών δεδομένων-καμένης έκτασης στο Λεωνίδιο την περίοδο 1983-2004.

	1	2	3
1	29 41% Είχαν χαμηλή ΚΕ και χαμηλό δείκτη ανάφλεξης	1 12% Είχαν μεσαία ΚΕ και χαμηλό δείκτη ανάφλεξης	0 0% Είχαν υψηλή ΚΕ και χαμηλό δείκτη ανάφλεξης
2	37 53% Είχαν χαμηλή ΚΕ και μεσαίο δείκτη ανάφλεξης	6 75% Είχαν μεσαία ΚΕ και μεσαία δείκτη ανάφλεξης	1 17% Είχαν υψηλή ΚΕ και μεσαίο δείκτη ανάφλεξης
3	4 6% Είχαν χαμηλή ΚΕ και υψηλό δείκτη ανάφλεξης	1 12% Είχαν μεσαία ΚΕ και υψηλό δείκτη ανάφλεξης	5 83% Είχαν υψηλή ΚΕ και υψηλό δείκτη ανάφλεξης

Ερμηνεία του Πίνακα

Από τον πιο πάνω πίνακα 4 διαπιστώνω ότι η πιθανότητα να έχω υψηλή καμένη έκταση στο Λεωνίδιο όταν ο δείκτης ανάφλεξης είναι υψηλός είναι 5/10 δηλαδή 50%. Παράλληλα η πιθανότητα να έχω υψηλή καμένη έκταση στο Λεωνίδιο όταν ο δείκτης ανάφλεξης είναι μεσαίος είναι 1/44 δηλαδή 2,12%. Η πιθανότητα να έχω υψηλή καμένη έκταση στο Λεωνίδιο όταν ο δείκτης ανάφλεξης είναι χαμηλός είναι 0/30 δηλαδή 0%. Συνεπώς το Λεωνίδιο παρουσιάζει μια επικίνδυνη συμπεριφορά όπου όταν οι παράγοντες ανάφλεξης που δρουν καταλυτικά έχουν υψηλές τιμές δεν έχω απλά κίνδυνο πυρκαγιάς αλλά 50% πιθανότητα να καεί μεγάλη έκταση.

Η Περίπτωση υψηλής καμένης έκτασης με συνθήκες μεσαίου δείκτη ανάφλεξης

Όπως φαίνεται και από τον πάνω πίνακα είχαμε μια μόνο περίπτωση Υψηλής Καμένης Έκτασης υπό τις ακόλουθες συνθήκες: Χρόνος επέμβασης 40', δασοπονικό είδος αείφυλλα πλατύφυλλα, άγνωστο αίτιο πυρκαγιάς, μεγάλη κλίση, έρπουσα μορφή πυρκαγιάς, σημείο έναρξης δασική έκταση.

Συμπεράσματα

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνω για την περιοχή του Λεωνιδίου

Το Λεωνίδιο είναι μια περιοχή η οποία έχει πληγεί από λίγες πυρκαγιές την περίοδο 1983-2004, οι οποίες ως επί το πλείστον έκαψαν μικρές εκτάσεις. Συγκεκριμένα είχαμε 84 περιστατικά πυρκαγιάς τα οποία κατατάσσονται ως εξής:

- 4 περιστατικά ύψιστης καμένης έκτασης-μεσαίας υγρασίας

- 1 περιστατικό πολύ υψηλής καμένης έκτασης-υψηλής υγρασίας
- 1 περιστατικό πολύ υψηλής καμένης έκτασης-μεσαίας υγρασίας
- 1 περιστατικό υψηλής καμένης έκτασης-υψηλής υγρασίας
- 6 περιστατικά υψηλής καμένης έκτασης-μεσαίας υγρασίας
- 1 περιστατικό υψηλής καμένης έκτασης-χαμηλής υγρασίας
- 9 περιστατικά χαμηλής καμένης έκτασης-υψηλής υγρασίας
- 57 περιστατικά χαμηλής καμένης έκτασης-μεσαίας υγρασίας
- 4 περιστατικά χαμηλής καμένης έκτασης-χαμηλής υγρασίας

Η χαμηλή υγρασία δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα που θα μας δώσει υψηλή καμένη έκταση, η υψηλή υγρασία όμως δρα ανασταλτικά στην εμφάνιση μεγάλων πυρκαγιών. Οι πυρκαγιές που ξεσπούν καίνε σχετικά μικρότερη έως αναμενόμενη έκταση σε σχέση με τα μετεωρολογικά δεδομένα που επικρατούν στην κάθε περίπτωση.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Ηλιάδης, Α. (2007). Ευφυή Πληροφορικά Συστήματα και Εφαρμογές στην Εκτίμηση Κινδύνου. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις: Αντ. Σταμούλη.
- Καϊλίδης, Δ., Καρανικόλα, Π.(2004), Δασικές Πυρκαγιές 1900-2000. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.
- Καλαμποκίδης, Κ., Ηλιόπουλος, Ν., Γλιγλίνος, Δ. (2012). Πυρο-Μετεωρολογία και Συμπεριφορά Δασικών Πυρκαγιών σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα. Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.
- Πανάρετος, Ι., Ξεκαλάκη, Ε. (2000). Εισαγωγή στη Στατιστική Σκέψη, Τόμος ΙΙ. Αθήνα
- Τσαγκάρη, Κ., Καρέτσος, Γ., Προύτσος, Ν. (2011). Δασικές πυρκαγιές Πελοποννήσου, 1983-2005. Ελλάδα, Αθήνα, εκδόσεις WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ, σελ. 266.
- Τσαταλτζινός, Θ. (2012). Ανάπτυξη και Εφαρμογή Πρωτότυπου Πληροφοριακού Συστήματος με την Χρήση Μηχανισμών Νόησης βάσει Κανόνων και Περιπτώσεων για την Διαχείριση Προβλημάτων Φυσικών Καταστροφών. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

II. Ξενόγλωσση

- Arianoutsou, M. (2001). The role of fire in the Mediterranean forests: past, present and future perspectives. In: SCBD, Assessment, Conservation and Sustainable use of forest Biodiversity, pp. 76-78, CBD Technical Series 3, Montreal.
- Piadis, L., Papastavrou, A., Lefakis, P. (2002). A computer-system that classifies the prefectures of Greece in forest fire risk zones using fuzzy sets. Forest Policy and Economics. Vol. 4, No. 1, pp. 43-54.
- Piadis, L. (2005). A decision support system applying an integrated Fuzzy model for long - term forest fire risk estimation. Environmental Modelling and Software, Vol. 20, No. 5, pp. 613-621.

- Iliadis, L., Vangeloudh, M., Spartalis, S. (2010). An intelligent system employing an enhanced fuzzy c-means clustering model: Application in the case of forest fires. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 70, No. 2, pp. 276-284.
- Kandel, A. (1992). *Fuzzy Expert Systems*. Boca Raton: CRC Press.
- Kecman, V. (2001). *Learning and Soft Computing*. London: MIT Press.
- Naveh, Z. (1975). The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio*. Vol. 29, No. 3, pp. 199-208.
- Tsatalzinos, T., Iliadis, L., Spartalis, S. (2010). A fuzzy inference rule-based system for the estimation of forest fire risk: The case of Greece. *Engineering Intelligent Systems*. Vol. 18, No. 1, pp. 59-67.
- Zadeh, L.A. (1968). Fuzzy algorithms. *Information Control*. Vol. 12, No. 2, pp. 94-102.

Διαδικτυακές αναφορές

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/56807/Thomas-Bayes>

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/56808/Bayess-theorem>

<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html>

<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/examples/fuzzy-c-means-clustering.html>

**ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟΚΑΤΑΚΤΗΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΜΕ
ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΑΣΙΑΤΙΚΟΥ ΚΟΥΝΟΥΠΙΟΥ ΤΙΓΡΗΣ
(Aedes albopictus)**

Κωνσταντίνος Δεμερτζής

Εργαστήριο Δασικής Πληροφορικής
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: kdemertz@fmenr.duth.gr

Λάζαρος Ηλιάδης

Εργαστήριο Δασικής Πληροφορικής
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: liliadis@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια από τις άμεσες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής εντοπίζεται στην εξάπλωση των χωροκατακτητικών ειδών, τα οποία συνιστούν μια σοβαρή και ταχέως επιδεινούμενη απειλή για τη φυσική βιοποικιλότητα του γηγενούς περιβάλλοντος, αλλά και γενικότερα της χλωρίδας, της πανίδας, ακόμα και του ανθρώπινου πληθυσμού ενός τόπου. Χαρακτηριστική περίπτωση χωροκατακτητικού είδους το οποίο συνιστά σοβαρότατη απειλή για τον άνθρωπο είναι το ασιατικό κουνούπι τίγρης (*Aedes albopictus*), το οποίο έφτασε στην Ευρώπη μέσω του εμπορίου μεταχειρισμένων ελαστικών αυτοκινήτων. Είναι φορέας τουλάχιστον 22 ιών, συμπεριλαμβανομένων του ιού του δυτικού Νείλου του δάγκειου πυρετού, της εγκεφαλίτιδας, καθώς και διάφορων παράσιτων που προκαλούν φιλαρίαση. Η εν λόγω εργασία προτείνει την δημιουργία ενός συστήματος τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο πραγματοποιεί εκτεταμένες συγκρίσεις σε πρωτεϊνικές και DNA ακολουθίες, προκειμένου να αναγνωρίσει και κατηγοριοποιήσει σωστά το ασιατικό κουνούπι τίγρης, σε σύγκριση με άλλα είδη κουνουπιών. Συγκεκριμένα, εξάγονται τα χαρακτηριστικά των ακολουθιών που είναι γνωστά και ως DNA Barcodes και πραγματοποιείται μια προσέγγιση ταξινόμησης με τη χαρτογράφηση των αρχικών δεδομένων σε ένα σύνολο σημείων στο χώρο, γεγονός που καθιστά ευκολότερο τον εντοπισμό των πολύπλοκων σχέσεων τους. Υιοθετούνται λοιπόν αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την αυτόματη αναγνώριση του γενετικού κώδικα του ασιατικού κουνουπιού τίγρης. Αυτό γίνεται με βάση τα πιο σύγχρονα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) τρίτης γεννεάς (Evolving Spiking Neural Networks - Εξελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα Αιχμής) τα οποία ακολουθούν με ιδιαίτερο ρεαλισμό την πραγματική λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου προτύπου, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη

σύγκριση με διάφορους τύπους νευρωνικών δικτύων καθώς και αντίστοιχες μεθόδους μηχανικής μάθησης.

Λέξεις κλειδιά: *Κλιματική αλλαγή, χωροκατακτητικά είδη, κουνούπι τίγρης Aedes Albopictus, γενετικός ραβδοκόδικας, εξελικτική μηχανική μάθηση, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα*

Εισαγωγή

Κλιματική αλλαγή και χωροκατακτητικά είδη

Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στην μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα, περιλαμβάνοντας στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάστασή του, ή την μεταβλητότητά του, σε χρονικό ορίζοντα δεκαετιών και άνω. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας.

Οι δυνητικές επιπτώσεις τις κλιματικής αλλαγής στα οικοσυστήματα είναι εμφανείς σε διάφορα επίπεδα της βιολογικής οργάνωσης και ιδιαίτερα στις διαταραχές που παρατηρούνται στην βιοπικουλιότητα, στις τροποποιήσεις στο επίπεδο της βιοκοινωνίας, στον αφανισμό οργανισμών και στην εμφάνιση χωροκατακτητικών ειδών.

Χωροκατακτητικά ονομάζονται τα είδη που εισέρχονται σε νέους, ξένους βιοτόπους, μπορούν να καταπνίξουν τη φυσική χλωρίδα ή πανίδα και να βλάψουν το περιβάλλον, ενώ εξαιρετικά σημαντικές κρίνονται επίσης οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις τους, όπως για παράδειγμα στην υγεία του ανθρώπου, τη γεωργία, την αλιεία και την παραγωγή τροφίμων. Η μετακίνηση – μετανάστευση των ειδών πραγματοποιείται αναζητώντας συνήθως ψυχρότερο κλίμα, είτε γιατί το φυσικό τους περιβάλλον δεν ικανοποιεί το εύρος θερμοκρασιών στο οποίο μπορούν να επιβιώσουν, είτε γιατί ακολουθούν διάφορα είδη φυτών ή οργανισμών τα οποία μεταναστεύουν σε νέες περιοχές (Robert et al. 2004).

Κουνούπι τίγρης (Aedes Albopictus)

Χαρακτηριστική περίπτωση χωροκατακτητικού είδους το οποίο συνιστά σοβαρότατη απειλή για τον άνθρωπο, είναι το ασιατικό κουνούπι τίγρης (*Aedes (Stegomyia) Albopictus*). Θεωρείται είδος κουνουπιού που κατάγεται από την Ανατολική Ασία και (Βογιατζόγλου & Σαμανίδου, 2011) έφτασε στην Ευρώπη μέσω του εμπορίου μεταχειρισμένων ελαστικών αυτοκινήτων. Πρόκειται για ένα είδος κουνουπιού που φέρει λευκά λείπια ως ενήλικο υπό μορφή λευκής γραμμής στη ραχιαία πλευρά του θώρακα (Σαββοπούλου & Σουλτάνη κ.α. 2011). Τα ενήλικα είναι σχετικά μικρά σε μέγεθος, με ασπρόμαυρο χρωματισμό, ενώ κατά την φαινοτυπική του αναγνώριση μπορεί εύκολα να γίνει σύγχυση με το συγγενές γένος – είδος *Aedes Cretinus*, το οποίο έχει καταγραφεί στην Ελλάδα και την Τουρκία (ECDC 2015). Αναπτύσσει πολλές γενιές το έτος, τρεφόμενο κυρίως με ανθρώπινο αίμα, αλλά και με αίμα θηλαστικών και πτηνών. Τα ωά του αντέχουν στην ξηρασία, ενώ οι προνύμφες του μπορούν να αναπτυχθούν ακόμα και σε μικρές υδάτινες εστίες, όπως δοχεία, κοιλότητες δένδρων ή ελαστικά οχημάτων. Ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη διαθεσιμότητα της τροφής το στάδιο της προνύμφης διαρκεί 5-10 ημέρες και της νύμφης 2-3. Τα ενήλικα θηλυκά τα οποία τσιμπούν κατά τη διάρκεια της ημέρας τους

ξενιστές για λήψη αίματος (Βογιατζόγλου & Σαμανίδου 2011), ζουν 4 με 8 εβδομάδες, αλλά μπορεί να επιβιώσουν έως και 3 με 6 μήνες, ενώ το εύρος πτήσης τους είναι γύρω στα 200 μέτρα. Είναι φορέας τουλάχιστον 22 ιών, συμπεριλαμβανομένων του ιού του Δ. Νείλου του δάγκειου πυρετού, της εγκεφαλίτιδας, διάφορων παράσιτων που προκαλούν φιλαρίαση και πολλών αρμοϊών (Chikungunya, Tahyna, Sindbis, Inkoo, Snowshoe Hare Virus, Rift Valley Fever (RVF)). Έχουν παρατηρηθεί υβριδικοί πληθυσμοί με ενδιάμεσα βιολογικά χαρακτηριστικά, που επιδεικνύουν ιδιαίτερα τυχαίες συμπεριφορές ως προς τις διατροφικές τους συνήθειες.

Οι επιπτώσεις αυτών των διαφορετικών συμπεριφορών στην μετάδοση των ασθενειών είναι σημαντικές και ως εκ τούτου προκύπτει η ανάγκη ανάπτυξης μεθόδων, οι οποίες θα επιτρέπουν την έγκυρη ταυτοποίηση των κουνουπιών πριν εκτιμηθεί με ακρίβεια ο ρόλος τους ως φορείς. Δυστυχώς, παρά τις έντονες διαφοροποιήσεις των βιολογικών τους χαρακτηριστικών οι μορφολογικές διαφορές είναι πολύ περιορισμένες γεγονός που δυσχεραίνει την ταυτοποίηση των ειδών του συμπλέγματος βάσει μορφολογίας και κατά συνέπεια την ορθολογική τους διαχείριση.

Η ταξινόμηση του *Aedes Albopictus* με αποκλειστικά φαινοτυπικούς δείκτες (Jean 2014), με δεδομένο ότι πρόκειται για ένα σχετικά σπάνιο και άγνωστο στο ευρύ κοινό είδος, αποτελεί εξαιρετικά δύσκολη και επικίνδυνη διαδικασία, καθώς ούτε οι μεγάλες διαφορές στη μορφολογία, αλλά ούτε και οι σημαντικές ομοιότητες, αντανakλούν τη συγγένεια ή όχι των οργανισμών (species problem) (Miller 2001). Ακόμη σοβαρότερη, κρίνεται η ανάγκη εμπειριστατωμένης και απόλυτα έγκυρης ταυτοποίησης του εν λόγω είδους, στις περιπτώσεις σχεδιασμού προγραμμάτων αντιμετώπισης κουνουπιών, καθώς αποτελεί σοβαρή απειλή για τη δημόσια υγεία (Becker et al. 2010).

Γενετικές μέθοδοι αναγνώρισης και ταυτοποίησης ειδών

Στην προσπάθεια ταυτοποίησης των ειδών προτάθηκαν και εφαρμόστηκαν διάφορες προσεγγίσεις όπως φαινοτυπικοί δείκτες, βιοχημικοί δείκτες, DNA μοριακοί δείκτες, μικροδορυφόροι (SSR + HRM) και χλωροπλαστικοί (DNA Barcoding + HRM).

Η γενετική ταυτοποίηση πραγματοποιείται μέσω σύγκρισης συγκεκριμένων περιοχών του γονιδιώματος με υψηλό βαθμό πολυμορφικότητας. Το γονιδίωμα είναι μια τεράστια συλλογή πληροφοριών οι οποίες οργανώνονται στα χρωμοσώματα του πυρήνα του κυττάρου και στο κυκλικό DNA των μιτοχονδρίων. Οι πληροφορίες αυτές καταγράφονται με τον κώδικα των τεσσάρων γραμμμάτων A, T, C και G που αποτελούν συντομογραφίες των βάσεων αδενίνη, θυμίνη, κυτοσίνη και γουανίνη, αντίστοιχα. Η διαδοχή των βάσεων δίνει την πρωτοδιάταξη του μορίου του DNA, που έχει την ιδιότητα να είναι μοναδική για κάθε οργανισμό και περιέχει τις πληροφορίες εκείνες που είναι υπεύθυνες για την εκδήλωση των βιολογικών λειτουργιών, την οργάνωση και λειτουργία των κυττάρων του και, σε αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, τα μοναδικά φαινοτυπικά χαρακτηριστικά κάθε οργανισμού, καθώς και τη διαφοροποίηση και εξέλιξη των οργανισμών.

Σχετικά με τις γενετικές μεθόδους αναγνώρισης και ταυτοποίησης ειδών, στα αρχικά στάδια αφορούσαν ηλεκτροφορήσεις πρωτεϊνών και μεθόδους υβριδισμού. Στη συνέχεια και με την ευρεία χρήση της τεχνικής της αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (Polymerase Chain Reaction - PCR), αναπτύχθηκαν μοριακοί δείκτες

που απαιτούν μια ελάχιστη ποσότητα δείγματος προς ταυτοποίηση και είναι ικανοί να δώσουν ακριβέστερες απαντήσεις. Οι πλέον πρόσφατες τεχνικές επιχειρούν το διαχωρισμό των ειδών και υβριδίων με τη χρήση αναλύσεων πολυμορφισμών του γονιδίου της κυτοχρωμικής οξειδάσης 1 (CO1) του mtDNA. Πρόκειται για επαναλαμβανόμενες γενετικές αλληλουχίες με μέγεθος 648 ζευγών βάσεων, οι οποίες εμφανίζουν διάφορα αλληλόμορφα στον πληθυσμό. Οι αλληλουχίες του CO1 είναι παρούσες σε εκατοντάδες αντίγραφα ανά κύτταρο, δεν εμπεριέχουν ενθέσεις ή ελλείμματα και όπως κάθε γονίδιο που κωδικοποιεί πρωτεΐνες, η τρίτη θέση των κωδικονίων παρουσιάζει μεγάλο ρυθμό νουκλεοτιδικών υποκαταστάσεων. Αλλαγές στην αμινοξική τους αλληλουχία εμφανίζονται πιο αργά από κάθε άλλο μιτοχονδριακό γονίδιο, βοηθώντας στη διερεύνηση μεγαλύτερων ταξινομικών λεπτομερειών και στον ευκολότερο σχεδιασμό εκκινήτων (Μαμούρης, Σαρρή 2012). Ο συνδυασμός των αλληλομόρφων όλων των εξεταζόμενων πολυμορφικών δεικτών είναι ικανός να αποκλείσει ή όχι την γενετική συγγένεια ανάμεσα στα εξεταζόμενα είδη.

Η μέθοδος αυτή η οποία είναι γνωστή και ως DNA Barcoding (γενετικός ραβδοκώδικας) αποτελεί την καλύτερη επιλογή για μελέτες σε επίπεδο ενδοειδικών πληθυσμών και υποειδών, ειδικότερα για τον χαρακτηρισμό υβριδίων, λόγω του ότι εμφανίζουν υψηλά επίπεδα πολυμορφισμού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την γενετική ποικιλότητα μέσα σε πληθυσμούς και να εκτιμήσουν το βαθμό γενετικής διαφοροποίησης μεταξύ των πληθυσμών. Επίσης με την μέθοδο αυτή μπορεί να αναγνωριστούν είδη μελετώντας μόνο υπολείμματά τους καθώς επίσης και σε οποιοδήποτε στάδιο του κύκλου ζωής τους. Ένα ακόμα τεράστιο πλεονέκτημα που παρουσιάζει αυτή η μέθοδος ταξινόμησης είναι ότι μπορεί να ξεχωρίσει είδη που είναι πολύ όμοια μεταξύ τους, κάτι πολύ συχνό στη φύση και έτσι να μειώσει την ασάφεια και την αμφιβολία μεταξύ των ταξινομήσεων (Paul et al. 2003).

Προτεινόμενο σύστημα

Στόχος της μελέτης είναι η δημιουργία ενός εξελιγμένου συστήματος αυτόματης αναγνώρισης από ψηφιακές μηχανές, οι οποίες μέσω των εκτεταμένων συγκρίσεων σε πρωτεϊνικές και DNA ακολουθίες, θα μπορούν να αναγνωρίσουν το άκρως επικίνδυνο για την δημόσια υγεία χωροκατακτητικό είδος κουνουπιού, *Aedes Albopictus*, με γρήγορες και έγκυρες μεθόδους γενετικής ταυτοποίησης που βασίζονται σε εξελιγμένες τεχνικές υπολογιστικής νοημοσύνης. Συγκεκριμένα στο προτεινόμενο σύστημα, η ταυτοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξελικτικών ΤΝΔ αιχμής 3ης γεννεάς (Evolving Spiking Neural Networks) (eSNN). Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί μια από τις πλέον σύγχρονες και αξιόπιστες μεθόδους υπολογιστικής ευφυΐας, που διακρίνεται για την ταχύτητα κατηγοριοποίησης, την υψηλή ακρίβεια καθώς και την γενίκευση μάθησης σε νέα δεδομένα (Kukin & Sboev 2015), (Samanwoy & Adeli 2009). Για την απόδειξη της ανωτερότητας του προτεινόμενου σχήματος, πραγματοποιήθηκε συγκριτική εφαρμογή και ανάλυση αποτελεσματικότητας της προσέγγισης eSNN με άλλες βιολογικά εμπνευσμένες μεθόδους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολυπαραμετρικά και υψηλής πολυπλοκότητας.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Σε αντίθεση με τις πολλές μελέτες με πυρηνικά γονίδια, σχετικά λίγες ταξινομικές μελέτες εστιάστηκαν στο μιτοχονδριακό (mt) DNA και ακόμη λιγότερες μελέτησαν τον πολυμορφισμό του γονιδίου CO1 παρά τη διαγνωσμένη ικανότητά του στη διευθέτηση ταξινομικών προβλημάτων και ανάλυσης της βιοποικιλότητας (Γιατρόπουλος 2013). Στην εργασία του ο Pan Yi (Pan 2005) χρησιμοποιεί μεθόδους μηχανικής μάθησης με διάφορα προηγμένα συστήματα κωδικοποίησης των εισερχόμενων πληροφοριών για να βελτιώσει την ακρίβεια πρόβλεψης σε ένα πρόβλημα σχετικό με την δομή των πρωτεϊνών. Επίσης οι Xin Ma και Χου L. (Xin Ma, Hu L. 2013) πρότειναν μια μέθοδο για τον τρόπο σύγκρισης των πρωτεϊνών με βάση τις πληροφορίες ακολουθίας τους χρησιμοποιώντας ένα σύστημα μηχανικής μάθησης με τον αλγόριθμο υποστήριξης διανυσμάτων (Support Vector Machines - SVM). Τέλος, οι Yu et al. (2015) παρουσίασαν μια αρκετά πολύπλοκη μέθοδο μηχανικής μάθησης για την σύγκριση ακολουθιών και την ταυτοποίηση γενετικής πληροφορίας. Το συγκεκριμένο σύστημα ταυτοποιεί τη γενετική πληροφορία με βάση διαφορετικούς υποχώρους του DNA, με μια συνδυαστική μηχανική μάθηση (ensemble machine learning methods).

Καινοτομία προτεινόμενου συστήματος

Η βασική καινοτομία που προτείνει η συγκεκριμένη εργασία, αφορά στην έκχυση τεχνητής ευφυΐας σε ψηφιακές μηχανές οι οποίες θα μπορούν να ταυτοποιήσουν με βάση το γενετικό υλικό και άρα με μεγάλη ακρίβεια, το είδος των κουνουπιών της κάθε εξεταζόμενης περίπτωσης. Το γεγονός αυτό θα ενισχύσει σημαντικά τις διαδικασίες σχεδιασμού και κατάρτισης καινοτόμων προγραμμάτων αντιμετώπισης προνυμφών με μεθόδους βιολογικής και χημικής καταπολέμησης τους, καθώς και εξελιγμένων τεχνικών αντιμετώπισης ενήλικων κουνουπιών, με βασικό σκοπό τη προστασία της δημόσιας υγείας.

Επίσης, με την προσθήκη ενός συστήματος μηχανικής μάθησης στα συστήματα αναγνώρισης DNA, το οποίο βασίζεται στην εξαιρετικά αποδοτική και ιδιαίτερα γρήγορη προσέγγιση των eSNN, απλοποιείται η διαδικασία και περιορίζεται στο ελάχιστο ο χρόνος που απαιτείται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ταυτοποίησης.

Ένα ακόμα καινοτόμο στοιχείο της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας, αφορά στον τρόπο συλλογής και επιλογής των δεδομένων, τα οποία προέκυψαν με βάση τις γενετικές ομοιότητες των ειδών σύμφωνα με τον αλγόριθμο FASTA (Gusfield 1997).

Τέλος, καινοτόμο μπορεί να χαρακτηριστεί το γεγονός ότι ο αλγόριθμος των eSNN, ο οποίος μέχρι τώρα έχει χρησιμοποιηθεί με ιδιαίτερη επιτυχία για την επίλυση προβλημάτων μηχανικής (Demertzis, Pliadis 2014 & 2015), προτείνεται πρώτη φορά για χρήση σε ένα σύστημα ανάλυσης DNA, για την επίλυση ενός ιδιαίτερα πολύπλοκου πραγματικού περιβαλλοντικού προβλήματος του τομέα της ασφάλειας και προστασίας της δημόσιας υγείας.

Σύνολα Δεδομένων

Προκειμένου να δημιουργηθούν υψηλής πολυπλοκότητας σενάρια και κατάλληλα και αντιπροσωπευτικά σύνολα δεδομένων, ικανά να εκπαιδεύσουν το eSNN ώστε να είναι σε θέση να γενικεύσει, χρησιμοποιήθηκε ο ευρετικός αλγόριθμος σύγκρισης

ακολουθιών βιολογικών δεδομένων FASTA. Με την βοήθεια του εν λόγω αλγορίθμου πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες συγκρίσεις σε πρωτεϊνικές και DNA ακολουθίες του κουνουπιού *Aedes Albopictus*, με αντίστοιχα είδη κουνουπιών της βάσης δεδομένων Barcode of Life Data – BOLD (Ivanova et al. 2005), ώστε να επιλεγούν αυτά τα οποία παρουσιάζουν υψηλές γενετικές ομοιότητες. Από την διαδικασία αυτή δημιουργήθηκαν 2 υψηλής πολυπλοκότητας σύνολα δεδομένων (datasets) με 287 ανεξάρτητες μεταβλητές το καθένα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι κατά την προεπεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μετατροπή των γενετικών πληροφοριών που καταγράφονται με τον κώδικα των τεσσάρων γραμμάτων A, T, C και G στα DNA barcodes των υπό εξέταση ειδών, σε αριθμητικά δεδομένα.

Το πρώτο σύνολο δεδομένων ονομάστηκε Binary_Dataset και περιλαμβάνει 1553 δείγματα γενετικού υλικού κουνουπιών από τα οποία 1067 δείγματα διαφόρων κουνουπιών και 486 δείγματα του *Aedes Albopictus*. Το δεύτερο σύνολο δεδομένων ονομάστηκε Multiclass_Dataset και περιλαμβάνει 3578 δείγματα γενετικού υλικού κουνουπιών της οικογένειας *Aedes* τα οποία κατατάσσονται σε 123 κλάσεις, από τα οποία 486 δείγματα *Aedes Albopictus*.

Μεθοδολογία

Evolving Spiking Neural Network (eSNN)

Τα eSNN είναι ένας τύπος των πλέον σύγχρονων νευρωνικών δικτύων 3ης γενιάς των λεγόμενων Spiking νευρωνικών δικτύων, τα οποία λειτουργούν με ερεθισμούς και εγέρσεις ή αιχμές (spikes) για την μετάδοση της πληροφορίας (Kasabov 2006). Υιοθετείται το πρότυπο Thorpe (Thorpe & Gautrais 1998, Thorpe et al. 2001), κατά το οποίο ενισχύεται η σπουδαιότητα των spikes που λαμβάνουν χώρα σε προγενέστερο χρόνο και η συναπτική πλαστικότητα χρησιμοποιείται για την επίβλεψη του αλγορίθμου μάθησης. Η τοπολογία των eSNN είναι αυστηρά εμπρόσθιας τροφοδοσίας (strictly feed-forward), οργανώνονται σε διάφορα επίπεδα και η τροποποίηση των βαρών πραγματοποιείται στις συνάψεις μεταξύ των νευρώνων στα επίπεδα εισόδου, εξόδου, καθώς και στο κρυφό επίπεδο. Η διαδικασία ταξινόμησης περιλαμβάνει την μετατροπή του συνόλου δεδομένων της εισερχόμενης πληροφορίας σε μια ακολουθία από spikes χρησιμοποιώντας μια τεχνική κωδικοποίησης η οποία ονομάζεται Rank Order Population Encoding (ROPE), ενώ η διαδικασία εκπαίδευσης ακολουθεί την τεχνική One-Pass Learning Algorithm (OPLA) (Kasabov 2006).

Rank Order Population Encoding (ROPE)

Πρόκειται για έναν αλγόριθμο ιεραρχικής τοποθέτησης των ενεργών νευρώνων ο οποίος χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση της εισερχόμενης πληροφορίας. Επιτρέπει τη χαρτογράφηση των φορέων των πραγματικών τιμών σε μια ακολουθία από spikes. Μια παραλλαγή της μεθόδου χρησιμοποιείται από τον eSNN αλγόριθμο, η οποία με την βοήθεια επικαλυπτόμενων πεδίων ευαισθησίας, κωδικοποιεί συνεχόμενες τιμές με την χρήση νευρώνων. Με την μέθοδο αυτή η οποία ονομάζεται ROPE με Γκαουσιανά Δεκτικά Πεδία (ΓΔΠ) (Gaussian Receptive Fields (ROPE-GRF)), επιτρέπεται η αντιστοίχιση των πραγματικών τιμών ενός συνόλου δεδομένων, σε μια ακολουθία από spikes με βάση ένα σύνολο δεκτικών πεδίων, τα οποία επιτρέπουν την κωδικοποίηση συνεχών τιμών χρησιμοποιώντας ένα σύνολο

νευρώνων με επικαλυπτόμενα προφίλ ευαισθησίας (receptive fields) (Wysoski et al. 2006, Schliebs et al. 2009).

One-Pass Learning Algorithm (OPLA)

Σκοπός αυτής της μεθόδου μάθησης είναι να δημιουργήσει ένα αποθετήριο εκπαιδευμένων νευρώνων εξόδου κατά τη διάρκεια της παρουσίασης των δειγμάτων εκπαίδευσης. Μετά την παρουσίαση ενός δείγματος εισόδου, η αντίστοιχη ακολουθία αιχμών (spike train) διαδίδεται μέσω του δικτύου το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην πυροδότηση ορισμένων νευρώνων εξόδου. Εάν ένας ή περισσότεροι νευρώνες εξόδου πληρούν τα κριτήρια, εκπέμπεται σήμα (spike). Ο νευρώνας με το μικρότερο χρόνο απόκρισης μεταξύ όλων των ενεργοποιημένων νευρώνων εξόδου προσδιορίζεται ως ο κυρίαρχος νευρώνας. Η ετικέτα του κυρίαρχου νευρώνα αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για το δείγμα εισόδου. Στη συνέχεια, το συναπτικό βάρος του εκπαιδευμένου νευρώνα συγκρίνεται με τα βάρη που αντιστοιχούν σε νευρώνες που βρίσκονται ήδη αποθηκευμένα στο αποθετήριο εκπαιδευμένων νευρώνων. Δύο νευρώνες θεωρούνται «παρόμοιοι» αν η ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων των συναπτικών βαρών τους, είναι μικρότερη από ένα καθορισμένο όριο ομοιότητας (similarity threshold). Στην περίπτωση αυτή τα κατώφλια εκπομπής αιχμών (firing thresholds) και τα συναπτικά βάρη συγχωνεύονται. Η συγχώνευση υλοποιείται με το μέσο όρο των βαρών σύνδεσης και των δύο ορίων πυροδότησης. Εάν δεν υπάρχει άλλος παρόμοιος νευρώνας στο αποθετήριο με τον εκπαιδευμένο νευρώνα, ο νευρώνας προστίθεται στο αποθετήριο ως νέος νευρώνας εξόδου. Η μάθηση δημιουργεί επαναληπτικά αποθετήρια νευρώνων εξόδου, με ένα αποθετήριο για κάθε κατηγορία ή κλάση. Λόγω της εξελικτικής φύσης του δικτύου, είναι δυνατόν να αποκτήσει γνώσεις καθώς αυτές καθίστανται διαθέσιμες από τα δείγματα δεδομένων, χωρίς την απαίτηση της εκ νέου εκπαίδευσης (Wysoski et al. 2006, Schliebs et al. 2009).

Διαδικασία Γενετικής Ταυτοποίησης με τον Αλγόριθμο eSNN

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος eSNN για την γενετική ταυτοποίηση του *Aedes Albopictus*, ακολουθείται η αλγοριθμική διαδικασία που περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

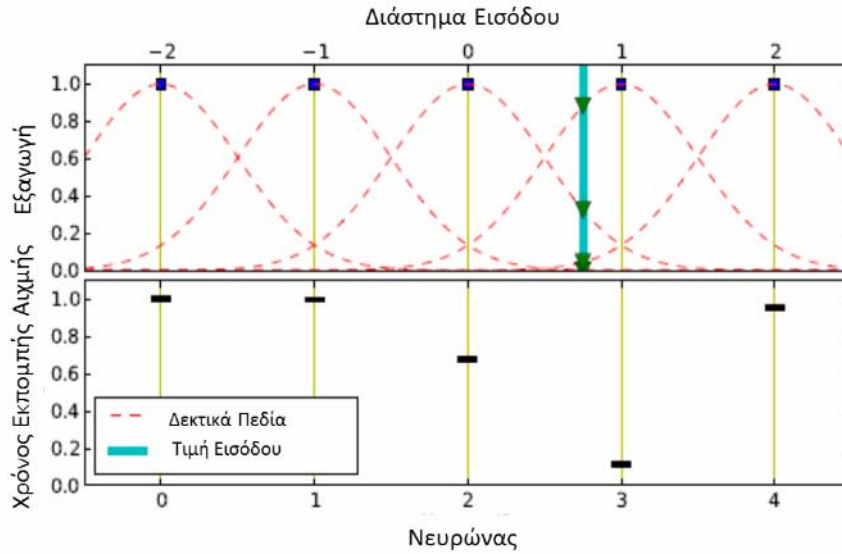
Βήμα 1ο: Κωδικοποίηση κάθε μεταβλητής εισόδου των δημιουργηθέντων συνόλων δεδομένων, με την τεχνική ROPE-ΓΔΠ, από ένα σύνολο από M μονοδιάστατα δεκτικά πεδία. Για κάθε μεταβλητή n ορίζεται το διάστημα $[I_{min}^n, I_{max}^n]$ το οποίο καθορίζει το μέγεθος των δεκτικών πεδίων στο οποίο θα κωδικοποιηθεί η εισερχόμενη πληροφορία.

Το ΓΔΠ για το νευρώνα i δίνεται από το κέντρο μ_i όπως παρακάτω (Kasabov 2006, Wysoski et al. 2006, Schliebs et al. 2009):

$$\mu_i = I_{min}^n + \frac{2i-3}{2} \frac{I_{max}^n - I_{min}^n}{M-2} \quad (\text{Συνάρτηση 1})$$

και από το πλάτος σ όπως παρακάτω: $\sigma = \frac{1}{\beta} \frac{I_{max}^n - I_{min}^n}{M-2}$ (Συνάρτηση 2)

με $1 \leq \beta \leq 2$ (η παράμετρος β καθορίζει το πλάτος του κάθε ΓΔΠ).



Εικόνα 1. Rank Order Population Encoding με Γκαουσιανά Δεκτικά Πεδία.

Βήμα 2ο: Πραγματοποιείται εκπαίδευση του δικτύου με τον αλγόριθμο μάθησης OPLA. Στόχος του OPLA είναι η δημιουργία των κατάλληλων νευρώνων εξόδου, ο καθένας εκ των οποίων ανήκει σε μια κλάση $l \in L$, σε σχέση με τις κλάσεις του δοθέντος συνόλου δεδομένων. Μετά την είσοδο ενός δείγματος τιμών στο δίκτυο, το αντίστοιχο παραγόμενο σύνολο αλληλουχίας αιχμών (spiketrain) διαδίδεται διαμέσου του eSNN γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην πυροδότηση κάποιων νευρώνων εξόδου. Υπάρχει πιθανότητα να μην ενεργοποιηθούν κάποιοι νευρώνες εξόδου και το δίκτυο να παραμείνει ανενεργό, οπότε στην περίπτωση αυτή το αποτέλεσμα της κατηγοριοποίησης είναι απροσδιόριστο. Στην περίπτωση της εκπομπής ενός περισσοτέρων spikes, ο νευρώνας με το μικρότερο χρόνο απόκρισης από όλους τους ενεργοποιημένους νευρώνες, καθορίζει την κλάση του δείγματος. Ο OPLA δημιουργεί για κάθε κλάση $l \in L$ ένα σύνολο εκπαιδευμένων – εξελιγμένων νευρώνων εξόδου κατά την διάρκεια της διαδικασίας εκπαίδευσης με το δείγμα του συνόλου δεδομένων. Η ακριβής διαδικασία περιγράφεται στον Αλγόριθμο 1 (Kasabov 2006, Wysoski et al. 2006, Schliebs et al. 2009).

Αλγόριθμος 1 (OPLA eSNN)

Απαιτούνται: m_l, s_l, c_l για την κλάση με ετικέτα $l \in L$

- 1: Αρχικοποίησε το αποθετήριο Νευρώνων $R_l = \{\}$
- 2: **για όλα** τα δείγματα $X^{(i)}$ που ανήκουν στην κλάση l **κάνε**
- 3: $w_j^{(i)} \leftarrow (m_l)^{\text{order}(j)}, \forall j | j$ προσυναπτικός νευρώνας του i
- 4: $u_{max}^{(i)} \leftarrow \sum_j w_j^{(i)} (m_l)^{\text{order}(j)}$
- 5: $\theta^{(i)} \leftarrow c_l u_{max}^{(i)}$
- 6: **εάν** $\min(d(w^{(i)}, w^{(k)})) < s_l, w^{(k)} \in R_l$ **τότε**
- 7: $w^{(k)} \leftarrow$ συγχώνευσε $w^{(i)}$ και $w^{(k)}$ σύμφωνα με την Συνάρτηση 3

8: $\theta^{(k)} \leftarrow$ συγχώνευσε $\theta^{(i)}$ και $\theta^{(k)}$ σύμφωνα με την Συνάρτηση 4

9: αλλιώς

10: $R_i \leftarrow R_i \cup \{w^{(i)}\}$

11: τέλος εάν

12: τέλος για

Για κάθε δείγμα εκπαίδευσης i το οποίο ανήκει στην κλάση $l \in L$ ένας νέος νευρώνας εξόδου δημιουργείται και διασυνδέεται πλήρως με το προηγούμενο στρώμα νευρώνων έτσι ώστε οι πραγματικές τιμές των βαρών $w_j^{(i)}$ με $w_j^{(i)} \in R$ να υποδηλώνουν την σύνδεση μεταξύ του προσυναπτικού νευρώνα j και του νέοδημιουργηθέντος νευρώνα i . Στη συνέχεια τα εισερχόμενα spikes διαδίδονται μέσω του δικτύου, με την τιμή του βάρους $w_j^{(i)}$ να υπολογίζεται ακολουθώντας την σειρά διάδοσης του σήματος (spike) διαμέσου της σύναψης

$$j: w_j^{(i)} = (m_i)^{\text{order}(j)}, \forall j | j \text{ προσυναπτικός νευρώνας του } i \text{ (Τύπος 1)}$$

(η παράμετρος m_i είναι ο παράγοντας διαμόρφωσης του νευρωνικού μοντέλου Thorpe. Διαφορετική κλάση ενδέχεται να έχει διαφορετική παράμετρο m_i).

Ο τελεστής $order(j)$ αντιπροσωπεύει την κατάταξη του spike που εκπέμπεται από τον νευρώνα j . Για παράδειγμα, η κατάταξη του νευρώνα j με $order(j)=0$ θα πρέπει να ανατεθεί εφόσον ο νευρώνας j είναι ο πρώτος μεταξύ όλων των προσυναπτικών νευρώνων του i που εκπέμπουν κάποιο spike. Κατά παρόμοιο τρόπο κατατάσσονται όλα τα spikes που εκπέμπονται από τους προσυναπτικούς νευρώνες και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αντίστοιχων βαρών.

Το κατώφλι πυροδότησης $\theta^{(i)}$ του δημιουργηθέντα νευρώνα i ορίζεται ως το κλάσμα $c_i \in R$, $0 < c_i < 1$, του μέγιστου πιθανού δυναμικού

$$u_{max}^{(i)} : \theta^{(i)} \leftarrow c_i u_{max}^{(i)} \text{ (Τύπος 2)}$$

$$u_{max}^{(i)} \leftarrow \sum_j w_j^{(i)} (m_i)^{\text{order}(j)} \text{ (Τύπος 3)}$$

(το κλάσμα c_i είναι παράμετρος του νευρωνικού μοντέλου Thorpe. Διαφορετική κλάση ενδέχεται να έχει διαφορετική παράμετρο c_i). Το βάρος κάθε νευρώνα συγκρίνεται με τα βάρη των εκπαιδευμένων – εξελιγμένων νευρώνων που ήδη έχουν αποθηκευτεί. Εάν η ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των βαρών του νευρώνα i και του εξελιγμένου – εκπαιδευμένου νευρώνα k είναι μικρότερη από ένα καθορισμένο όριο ομοιότητας s_b , οι δύο νευρώνες θεωρούνται παρόμοιοι και έτσι συγχωνεύονται και από τα βάρη και το κατώφλι πυροδότησεως ακολουθώντας την παρακάτω συνάρτηση:

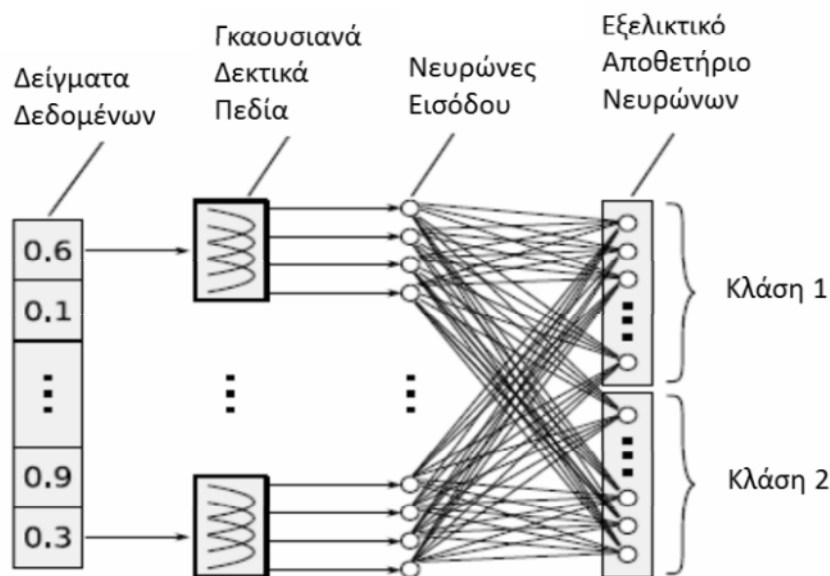
$$w_j^{(k)} \leftarrow \frac{w_j^{(i)} + N w_j^{(k)}}{1+N}, \forall j | j \text{ προσυναπτικός νευρώνας του } i \text{ (Συνάρτηση 3)}$$

$$\theta^{(k)} \leftarrow \frac{\theta^{(i)} + N \theta^{(k)}}{1+N} \text{ (Συνάρτηση 4)}$$

Ο ακέραιος N δηλώνει τον αριθμό των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την ενημέρωση του νευρώνα k .

Η συγχώνευση υλοποιείται από τον μέσο όρο των δύο βαρών σύνδεσης και από των δύο καταφλίων πυροδότησης. Μετά την συγχώνευση ο εκπαιδευόμενος νευρώνας i εγκαταλείπεται και συνεχίζει το επόμενο δείγμα. Εάν δεν υπάρχει στο αποθετήριο κάποιος παρόμοιος νευρώνας με τον εκπαιδευόμενο νευρώνα i , ο νευρώνας i τοποθετείται στο αποθετήριο ως νέος νευρώνας εξόδου (Kasabov 2006, Wysoski et al. 2006, Schliebs et al. 2009).

Βήμα 3ο: Πραγματοποιούνται δοκιμές σε τυχαία δείγματα, προκειμένου να ελεγχθεί η απόδοση της μεθόδου και εξάγονται οι μετρήσεις ακρίβειας της ταξινόμησης.



Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας του eSNN.

Αποτελέσματα

Η βασική υπόθεση ότι στο Multiclass_Dataset το οποίο παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα, θα παρατηρούνταν και χαμηλότερη δυνατότητα απόδοσης των αλγορίθμων μάθησης επιβεβαιώθηκε, καθώς διαπιστώθηκε υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και των κλάσεων. Συγκεκριμένα, στο Multiclass_Dataset του οποίου τα δεδομένα προήλθαν από δείγματα γενετικού υλικού κουνουπιών της οικογένειας Aedes τα οποία κατατάσσονται σε 123 κλάσεις και τα οποία παρουσιάζουν υψηλό δείκτη συσχέτισης, ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης eSNN κατάφερε να κατηγοριοποιήσει τα δεδομένα με ακρίβεια η οποία πλησιάζει το 94,2%. Αντίστοιχα στο Binary_Dataset στο οποίο περιλαμβάνονται δείγματα γενετικού υλικού διαφόρων κουνουπιών, παρατηρήθηκαν υψηλότερα αποτελέσματα κατηγοριοποίησης γεγονός που οφείλεται στην χαμηλή γενετική συσχέτιση μεταξύ των υπό εξέταση κουνουπιών και άρα στη χαμηλή πολυπλοκότητα μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και των κλάσεων του συνόλου δεδομένων, με την ακρίβεια να φτάνει το 97,2%.

Σε αυτήν την ερευνητική προσπάθεια εκτός από τα εξελικτικά ΤΝΔ αιχμής πραγματοποιήθηκαν ταξινομήσεις με τους αλγόριθμους Radial Basis Function (RBF)

ANN, Group Methods of Data Handling (GMDH), Polynomial ANN (PANN) και Cascade Neural Networks (CNN).

Για την αντικειμενική λήψη των τελικών αποτελεσμάτων και την ολοκληρωμένη σύγκριση των αλγορίθμων, χρησιμοποιήθηκε η διασταυρωμένη 10πλή επικύρωση δεδομένων (10-fold cross validation), ενώ εξήχθησαν διάφορα μέτρα ακρίβειας αποτελεσματικότητας των ταξινομήσεων (Accuracy, RMSE, Precision, Recall, ROC Area). Τα αποτελέσματα ανά σύνολο δεδομένων και ανά αλγόριθμο, παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 1 και 2.

Είναι σημαντικό και θα πρέπει να επισημανθεί ότι είναι εξαιρετικά αισιόδοξο το γεγονός ότι τα αποτελέσματα είναι και στις δύο περιπτώσεις ιδιαίτερα υψηλά, γεγονός που επιβεβαιώνει και ενισχύει με τον καλύτερο τρόπο την πρόταση για ενσωμάτωση μεθόδων τεχνητής ευφυΐας σε αυτόματες συσκευές αναγνώρισης DNA.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα ταξινόμησης στο Binary_Dataset.

Classifier	Accuracy	RMSE	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area
eSNN	97.8%	0.1160	0,979	0,979	0,979	0,999
RBFNN	89,6%	0.2072	0,897	0,897	0,896	0,979
GMDH	93,5%	0.1266	0,936	0,942	0,935	0,997
PANN	91,4%	0.1929	0,914	0,914	0,914	0,989
CNN	85,2%	0.2176	0,853	0,852	0,852	0,988

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ταξινόμησης στο Multiclass_Dataset.

Classifier	Accuracy	RMSE	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area
eSNN	94.2%	0.0257	0,937	0,942	0,938	0,989
RBFNN	80,3%	0.1257	0,809	0,809	0,803	0,989
GMDH	90,1%	0.1061	0,901	0,902	0,903	0,996
PANN	89,7%	0.1997	0,898	0,899	0,899	0,987
CNN	81,5%	0.1104	0,815	0,815	0,815	0,988

Συμπεράσματα

Η εξελιγμένη εφαρμογή υπολογιστικής ευφυΐας που περιγράφηκε, σε συνδυασμό με τα εξαιρετικά αισιόδοξα αποτελέσματα που προέκυψαν, αποτελεί μια αξιόπιστη καινοτόμα πρόταση στην τυποποίηση και το σχεδιασμό πρωτοκόλλων διαχείρισης ασθενειών που προέρχονται από τα κουνούπια και ιδιαίτερα του κουνουπιού τίγρης *Aedes Albopictus*. Συμπερασματικά η απλοποίηση των διαδικασιών ταυτοποίησης θα επιτρέψει την συλλογή

- δεδομένων για την επιδημιολογία των ασθενειών,
- στοιχείων της παρουσίας των διαφόρων ειδών κουνουπιών και της εποχικής διακύμανσης των πληθυσμών τους,
- δεδομένων για την χαρτογράφηση όλων των εστιών ανάπτυξης προνυμφών κουνουπιών,
- στοιχείων για τη συμπεριφορά των ενήλικων κουνουπιών και των σημείων ανάπαυσης ή διαχείμασης.

Είναι προφανές ότι η ευρεία εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου η οποία απλοποιεί και ελαττώνει στο ελάχιστο το κόστος και τον χρόνο γενετικής ταυτοποίησης των κουνουπιών, καθώς και η ευρεία συλλογή των παραπάνω δεδομένων, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάλυση της εμφάνισης και της επιδημιολογίας ασθενειών όπως αυτή που προέρχεται από τον ιό του Δυτικού Νείλου, αλλά και γενικότερα ενός συστήματος διαχείρισης και πρόληψης κινδύνου, με στόχο τη προστασία της δημόσιας υγείας.

Επισκόπηση – Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Μια καινοτόμος μέθοδος υπολογιστικής ευφυΐας με την χρήση eSNN παρουσιάστηκε στην εν λόγω εργασία, η οποία και δοκιμάστηκε με ιδιαίτερη επιτυχία ως προσθήκη σε ένα εξελικτικό σύστημα αναγνώρισης και ταυτοποίησης DNA, για τον έλεγχο και την αυτόματη αναγνώριση από ψηφιακές μηχανές, του άκρως επικίνδυνου για την δημόσια υγεία χωροκατακτητικού είδους κουνουπιού τίγρης, *Aedes Albopictus*. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκε ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό, καινοτόμο και εξαιρετικά γρήγορο σύστημα μηχανικής μάθησης, το οποίο πραγματοποιεί ταυτοποίηση με βάση εκτεταμένες συγκρίσεις σε πρωτεϊνικές και DNA ακολουθίες, που είναι γνωστές και ως DNA barcodes, προκειμένου να ταυτοποιήσει γενετικά το κουνούπι *Aedes Albopictus*. Η βασική καινοτομία που εισάγει το προτεινόμενο σχήμα, αφορά την έκχυση τεχνητής ευφυΐας στις ψηφιακές μηχανές αναγνώρισης DNA, γεγονός που ενισχύει σημαντικά τις διαδικασίες ελέγχου μετάδοσης των ασθενειών και προστασίας της δημόσιας υγείας. Για την αξιολόγηση της προτεινόμενης προσέγγισης έγινε εφαρμογή σε ιδιαίτερα επίπονα σενάρια.

Μια από τις μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις που θα μπορούσαν να προάγουν το προτεινόμενο σύστημα, αφορά την υλοποίηση του σε ένα υβριδικό σχήμα, στο οποίο θα συνδυάζονται διαφορετικές μέθοδοι μάθησης (semi-supervised and unsupervised learning), για τον εντοπισμό και την αξιοποίηση της κρυμμένης γνώσης μεταξύ των ανομοιογενή δεδομένων που ενδέχεται να προκύψουν. Επίσης, η χρησιμοποίηση τεχνικών μείωσης παραμέτρων (feature or dimensionality reduction) όπως της Principal Component Analysis, καθώς και αντίστοιχων μεθόδων επιλογής των καταλληλότερων χαρακτηριστικών (feature selection) όπως της search based

method with Genetic Algorithm. Ακόμη η χρησιμοποίηση αντίστοιχων εξελιγμένων μεθόδων τεχνητής ευφυΐας όπως των Extreme Learning Machines, στην επίλυση του ίδιου προβλήματος. Τέλος, πολύ ενδιαφέρουσα κρίνεται η περίπτωση της υλοποίησης του εν λόγω συστήματος με τη χρήση κάποιας ευρετικής μεθόδου βελτιστοποίησης, όπως πχ ενός γενετικού αλγόριθμου.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Βογιατζόγλου-Σαμανίδου, Α. (2011). Τα κουνούπια της Ελλάδας. Μορφολογία, Βιολογία, Δημόσια Υγεία, Κλειδες προσδιορισμού, Αντιμετώπιση. Αθήνα: Εκδόσεις Αγροτύπος.
- Γιατρόπουλος, Α. (2013) Υγειονομική σημασία του Ασιατικού κουνουπιού τίγρης. Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2015 από <http://www.conops.gr/public-health-tiger/>
- Μαμούρης, Ζ., Σαρρή, Κ. (2012). Ειδικό πρόγραμμα ελέγχου για τον ιό του Δυτικού Νείλου και την ελονοσία, ενίσχυση της επιτήρησης στην ελληνική επικράτεια. Ανακτήθηκε στις 5 Μαΐου 2015 από <http://www.malwest.gr/>
- Σαββοπούλου-Σουλτάνη, Μ., Ανδρεάδης, Α., Σουλτάνη-Ζουρουλίδη, Χ. (2011). Έντομα και άλλα αρθρόποδα υγειονομικής σημασίας. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Publish City.

II. Ξενόγλωσση

- Becker, N., Petrić, D., Zgomba, M., Boase, C., Madon, M., Dahl, C., Kaiser, A. (2010). Mosquitoes and their Control. 2nd edition. Berlin: Springer-Verlag.
- Demertzis, K., Iliadis, L. (2015). Evolving smart URL filter in a zone-based policy firewall for detecting algorithmically generated malicious domains. In: Gammernan, A., Vovk, V., Papadopoulos, H. (Eds). Statistical Learning and Data Sciences. Proceedings of the Third International Symposium, Egham, April 20-23, 2015. Berlin: Springer-Verlag, pp 223-233.
- Demertzis, K., Iliadis, L. (2014). Bio-inspired hybrid intelligent method for detecting android malware. In: Papadopoulos, G.A. (Ed). Advances in Intelligent Systems and Computing. Proceedings of the 9th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems, Limassol, November 6-8, 2013. Berlin: Springer-Verlag (in progress).
- Demertzis, K., Iliadis, L. (2014). Evolving computational intelligence system for malware detection. In: Iliadis, L., Papazoglou, M., Pohl, K. (Eds). Advanced Information Systems Engineering Workshops. Proceedings of the International Workshops, Thessaloniki, June 16-20, 2014. Berlin: Springer-Verlag, pp pp 322-334.
- Demertzis, K., Iliadis, L. (2015). Bio-inspired hybrid artificial intelligence framework for cyber security. In: Daras, N.J., Rassias, M.Th. (Eds). Computation, Cryptography, and Network Security. Proceedings of the Second International Conference on Cryptography and Its Applications in the Armed Forces, Athens, April 2. Berlin: Springer-Verlag pp 161-193.
- Demertzis, K., Iliadis, L. (2014). A hybrid network anomaly and intrusion detection approach based on evolving spiking neural network classification. In: Sideridis, A.B., Kardasiadou, Z., Yialouris, K.P., Zorkadis, V. (Eds). E-Democracy, Security, Privacy and Trust in a Digital World. Proceedings of the

- 5th International Conference, E-Democracy, Athens, December 5-6, 2013. Berlin: Springer-Verlag, pp. 11-23.
- ECDC (2015). Ανακτήθηκε στις 5 Μαΐου 2015 από: <http://ecdc.europa.eu/en/healthtopics/vectors/mosquitoes/Pages/aedes-albopictus.aspx>
- Gusfield, D. (1997). Algorithms on Strings, Trees and Sequences. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jean, S. (2014). Tiger mosquito identification / Aedes Albopictus. How to identify tiger mosquito based on pictures. Ανακτήθηκε στις 5 Μαΐου 2015 από <http://tiger-mosquito.info/how-to-identify-the-tiger-mosquito-pictures/>
- Ivanova, N. V., deWaard, J. R., Hajibabaei, M., Hebert, P. D. N. (2005). Protocols for high-volume DNA barcode analysis. Ανακτήθηκε στις 03 Μαΐου 2015 από <http://www.barcodeoflife.org/>
- Kasabov, N. (2006). Evolving Connectionist Systems: The Knowledge Engineering Approach. New York: Springer-Verlag.
- Kukin, K., Sboev, A. (2015). Comparison of learning methods for spiking neural networks. Optical Memory and Neural Networks. Vol. 24, pp. 123-129.
- Miller, W. (2001). The structure of species, outcomes of speciation and the 'species problem': Ideas for paleobiology. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 176, pp.1-10.
- Paul, D. N. Hebert, Cywinska, A., Ball, S. L., deWaard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. Ανακτήθηκε στις 07 Μαΐου 2015 από <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1691236/pdf/12614582.pdf>.
- Colautti, R., Hugh J. MacIsaac. (2004). A neutral terminology to define 'invasive species'. Diversity and Distributions. Vol. 10, pp. 135-141.
- Samanwoy, G, D., Adeli, H. (2009). Spiking neural networks. International Journal of Neural Systems. Vol 19, pp 295-308.
- Schliebs, S., Defoin-Platel, M., Kasabov, N. (2009). Integrated feature and parameter optimization for an evolving spiking neural network. Advances in Neural Networks Research. Vol. 22, pp. 623-632.
- Thorpe, S. J., Gautrais, J. (1998). Rank order coding. Computational Neuroscience. Berlin: Springer-Verlag.
- Thorpe, S. J., Arnaud, D., Rufin van Rullen. (2001). Spike-based strategies for rapid processing. Neural Networks. Vol. 14, pp. 715-725.
- Wysoski, S. G., Benuskova, L., Kasabov, N. (2006). Adaptive learning procedure for a network of spiking neurons and visual pattern recognition. In Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. Vol. 4179, pp. 1133-1142.
- Xin Ma, Hu L. (2013). Extracting sequence features to predict DNA-binding proteins using support vector machine. Computational and Information Sciences. Vol 1, pp 152-155.
- Yi Pan. (2005). Protein structure prediction and understanding using machine learning methods. Granular Computing, Vol. 1, pp. 17-28.
- Yu, D.J., Hu, J., Li, Q.M., Tang, Z.M., Yang, J.Y., Shen, H.B. (2015). Constructing query-driven dynamic machine learning model with application to protein-ligand binding sites prediction. US National Library of Medicine National Institutes of Health. Vol. 14, pp. 45-58.

Η ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΠΑΡΕΛΘΟΝΤΟΣ: ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: apapage@fmenr.duth.gr

Απόστολος Μανώλης

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: apostolosmano@yahoo.gr

Γεώργιος Βαρσάμης

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: gevarsamis@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλλαγή του κλίματος αναμένεται να προκαλέσει μεγάλη εξελικτική πίεση στα δασοπονικά είδη της Μεσογείου. Η προσαρμογή στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες που θα επικρατήσουν έχει σαν απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη επαρκούς γενετικής ποικιλότητας. Η κλιματική μεταβολή δεν είναι κάτι νέο για τη γη, ούτε για τα είδη των φυτών, ιδιαίτερα του βόρειου ημισφαιρίου. Τα δασικά είδη της Ευρώπης έχουν επιβιώσει έντονες κλιματικές αλλαγές στο παρελθόν. Στην Ελλάδα, για παράδειγμα, η οξιά έχει μελετηθεί λεπτομερώς τα τελευταία χρόνια με δείκτες χλωροπλαστικού DNA, μορφομετρικά στοιχεία στα φύλλα και προσαρμοστικούς χαρακτήρες φυταρίων και σπερμάτων σε πειράματα κοινού περιβάλλοντος. Φαίνεται ότι τα παγετώδη καταφύγια δεν ήταν εκτεταμένα όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία, αλλά κάλυπταν μικρές περιοχές με ευνοϊκό περιβάλλον που ήταν έντονα διαφοροποιημένες σε κοντινές αποστάσεις. Η τοπογραφία και η χωρική συνδεσιμότητα μεταξύ των πληθυσμών ήταν οι κυρίαρχοι παράγοντες που επηρέασαν τη μετανάστευση των διαφορετικών φυλών του είδους και διαμόρφωσαν τη σημερινή του εξάπλωση. Τα πειράματα κοινού περιβάλλοντος δείχνουν ότι οι περιβαλλοντικές και τοπογραφικές διαφορές σε μικρή χωρική κλίμακα σχετίζονται με διαφοροποιημένα πρότυπα προσαρμογής και επιβίωσης. Με την αναγωγή των συμπερασμάτων αυτών για περισσότερα φυτικά είδη, μπορούμε να σχεδιάσουμε διαχειριστικά μέτρα προκειμένου να αντιμετωπιστούν, όσο αυτό είναι εφικτό, οι δυσμενείς συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, παγετώνες, παγετώδη καταφύγια, δάση, εξέλιξη, *Fagus sylvatica*

Εισαγωγή

Η βιολογική ποικιλότητα (βιοποικιλότητα) περιγράφεται σε τρία επίπεδα, αυτά των γονιδίων, των ειδών και των οικοσυστημάτων, με βάση τη Σύμβαση για την Προστασία της Βιολογικής Ποικιλότητας των Ηνωμένων Εθνών (Secretariat of the CBD 2005). Η αξία της γενετικής συνιστώσας της βιοποικιλότητας είναι αναγνωρισμένη σε πολλά σημαντικά διεθνή κείμενα περιβαλλοντικής πολιτικής, αλλά αφορά συνολικά ένα πολύ μικρό μέρος των δράσεων προστασίας και διαχείρισης περιβάλλοντος. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην πρακτική δυσκολία στην περιγραφή και ποσοτικοποίηση της γενετικής ποικιλότητας, που σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί εργαστηριακές αναλύσεις (Παπαγεωργίου κ.α. 2006). Ωστόσο, ο ρόλος της γενετικής έρευνας στην προστασία της βιοποικιλότητας δεν είναι να απογράψει τη γενετική ποικιλομορφία αυτή καθαυτή, αλλά μάλλον να περιγράψει τις παραμέτρους που διαμορφώνουν τη γενετική ποικιλότητα, για τον εντοπισμό απειλών και τη διαμόρφωση τελικά στρατηγικών προστασίας και διατήρησής της. Στόχος της προστασίας της γενετικής ποικιλότητας είναι η διατήρηση του μηχανισμού παραγωγής της γενετικής ποικιλομορφίας, που δεν είναι άλλος από τη διαδικασία της εξέλιξης (Parageorgiou 2008).

Τα δάση της Μεσογείου και ιδιαίτερα της Ελλάδας χαρακτηρίζονται από υψηλή βιοποικιλότητα σε όλα τα επίπεδα, ιδιαίτερα από γενετικής πλευράς. Για είδη φυτών με ευρεία γεωγραφική εξάπλωση στην Ευρώπη, οι νότιοι μεσογειακοί πληθυσμοί τους είναι γενετικά πιο ποικιλόμορφοι από ότι οι πληθυσμοί που βρίσκονται στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Γενικά οι πληθυσμοί των μεσογειακών φυτών έχουν συχνά μια ανομοιογενή κατανομή και παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές. Οι λόγοι που εμφανίζεται αυτός ο γενετικός πλούτος στη Νότια Ευρώπη είναι γενικότερα το ορεινό ανάγλυφο που αναγκάζει τα είδη να προσαρμοστούν σε πολύ διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες σε μικρή σχετικά χωρική κλίμακα και η γεωγραφική θέση της λεκάνης της Μεσογείου που επιτρέπει τη μετανάστευση πληθυσμών και ειδών μεταξύ των ηπείρων (Soutsas et al. 2004). Επιπλέον, ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας διαμόρφωσης της ποικιλότητας στο χώρο της Μεσογείου να είναι η ύπαρξη περιοχών στην περιοχή που λειτούργησαν σαν καταφύγια κατά τις διάφορες παγετώδεις περιόδους και επέτρεψαν στη χλωρίδα της Ευρώπης να επιβιώσει και στη συνέχεια να εξαπλωθεί προς τα βόρεια (Biro et al. 2007).

Ενώ λοιπόν τα μεσογειακά δάση είναι πλούσια από άποψη της γενετικής ποικιλομορφίας, την ίδια στιγμή είναι σε μεγάλο βαθμό απειλούμενα με εξαφάνιση, λόγω της πίεσης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων εδώ και χιλιάδες χρόνια. Επιπλέον, τα σενάρια αλλαγής του κλίματος δείχνουν ότι η λεκάνη της Μεσογείου θα πληγεί περισσότερο από την υπερθέρμανση του πλανήτη και ότι τα δάση της περιοχής θα αντιμετωπίσουν σοβαρά προβλήματα επιβίωσης (Aussenac 2002). Στα δάση της Μεσογείου, τα δέντρα θα πρέπει να επιβιώσουν κάτω από αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες και οι πληθυσμοί τους θα αναγκαστούν να αντιδράσουν εξελικτικά και να προσαρμοστούν στην περιοχή τους ή να μεταναστεύσουν σε άλλη περιοχή με πιο ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (Hampe & Petit 2005).

Ωστόσο, ορισμένες έμμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μπορεί να δράσουν ταχύτερα και με μεγαλύτερη σφοδρότητα στα δασικά οικοσυστήματα από ότι οι ίδιες

οι αλλαγές στη θερμοκρασία και την υγρασία. Μια αποσταθεροποίηση του κλίματος στα δάση της Μεσογείου αναμένεται να προκαλέσει δασικές πυρκαγιές και μεγάλες αλλαγές στους πληθυσμούς επιβλαβών εντόμων και αύξηση στις επιδημίες ασθενειών για τα φυτά. Ταυτόχρονα, κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές που ενδεχόμενα να προκληθούν από την κλιματική αλλαγή, μπορεί να αυξήσουν τις πιέσεις στα δάση και να οδηγήσουν σε αλλαγές χρήσεων γης και καταστροφές μεγάλης έκτασης. Μια πιθανή αποψίλωση των δασών θα οδηγήσει στην εξαφάνιση σπάνιων ειδών που έχουν μικρή γεωγραφική εξάπλωση. Είδη δέντρων με μεγαλύτερη εξάπλωση θα χάσουν πολύτιμους οικοτυπικούς πληθυσμούς με τοπικά προσαρμοσμένες γενετικές δομές. Την ίδια στιγμή, αναμένεται να επέλθει κατακερματισμός βιοτόπων, γεγονός που θα οδηγήσει σταδιακά σε απώλεια της ποικιλομορφίας και σε εξαφάνιση ειδών (Parageorgiou et al. 2000). Πληθυσμοί δέντρων με αρχικά υψηλά επίπεδα γενετικής ποικιλότητας μπορεί να προσαρμοστούν στις νέες κλιματικές συνθήκες. Ωστόσο, λόγω της αμεσότητας της κλιματικής αλλαγής, οι πληθυσμοί αναμένεται να μειωθούν σε μέγεθος και πυκνότητα και έτσι να επέλθει μείωση της γενετικής ποικιλότητας, λόγω τυχαίων στοχαστικών γεγονότων, εκτροπή ή ενδογαμία. Την ίδια στιγμή, οι πληθυσμοί των δέντρων θα πρέπει να προσαρμοστούν σε νέες συνθήκες, με μεγάλες απώλειες δημογραφικά και αύξηση του ρίσκου επιβίωσης (Χατζησκάκης 2010).

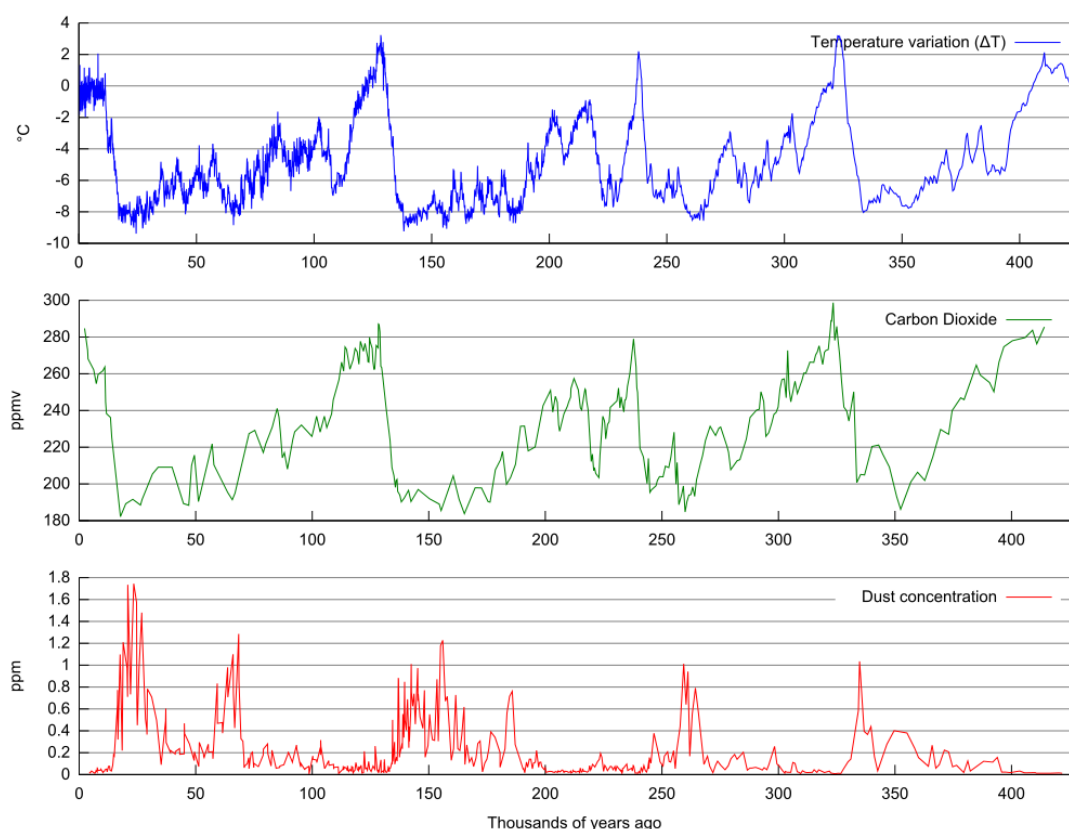
Η αλλαγή του κλίματος μπορεί επίσης να αλλάξει τα όρια της γεωγραφικής περιοχής των φυτών, όπως συνέβη κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετωδών περιόδων του παρελθόντος. Οι πληθυσμοί που θα καταφέρνουν να μεταναστεύσουν μέσω σπόρων προς τα βόρεια ή να κινηθούν υψηλότερα στα βουνά θα υποστούν ιδρυτικά φαινόμενα προς τη φορά της μετακίνησης, καθώς μόνο ένα δείγμα από το αρχικό τους απόθεμα θα αντιπροσωπεύεται στους νέους πληθυσμούς (Hu et al. 2009). Στο αντίθετο άκρο του πληθυσμού, εκεί που θα συμβεί υποχώρηση της γεωγραφικής εξάπλωσης του είδους, θα συμβούν τεράστιες δημογραφικές αλλαγές στους πληθυσμούς με αφανισμό ολόκληρων περιοχών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της γενετικής ποικιλομορφίας και της μελλοντικής ικανότητας προσαρμογής. Επιπλέον, φαίνεται ότι η μετανάστευση δεν θα είναι εύκολη για τα είδη και τους πληθυσμούς των δασικών φυτών της Μεσογείου, δεδομένου ότι οι ανθρώπινοι οικισμοί, οι υποδομές και οι σχετικές δραστηριότητες, που έχουν ήδη κατακερματίσει τις φυσικές περιοχές, βρίσκονται στο δρόμο της πιθανής μετανάστευσης των ειδών προς τις νέες κατευθύνσεις και κάνουν μια αποτελεσματική και αργή φυσική μετανάστευση μάλλον αδύνατη. Επιπλέον, καθώς η μετανάστευση των φυτών είναι μια πολύ αργή διαδικασία και οι αναμενόμενες αλλαγές των κλιματικών συνθηκών στην περιοχή της Μεσογείου θα είναι ραγδαίες, δεν φαίνεται να υπάρχει αρκετός χρόνος για τη φυσική εκκένωση των πληθυσμών των φυτών (Παπαγεωργίου 2011).

Η σχετική έρευνα της κλιματικής αλλαγής παρέχει σήμερα μοντέλα κίνησης των ειδών με βάση τις αναμενόμενες κλιματικές μεταβολές (π.χ. Thuiller 2003, Thuiller et al. 2005, Keenan et al. 2011), που όμως λαμβάνουν υπόψη τους τις κλιματικές συνθήκες στο μέλλον και δεν συνυπολογίζουν τις κοινωνικές, οικονομικές και οικολογικές ιδιαιτερότητες που θα συνεπάγεται μια τέτοια μετανάστευση. Σε κάθε περίπτωση, τα μεσογειακά δάση θα αντιμετωπίσουν μεγάλη απώλεια στη φυσική τους βιοποικιλότητα. Η πίεση που θα προκληθεί από την αλλαγή του κλίματος πάνω στα δασοπονικά είδη των μεσογειακών χωρών θα είναι ιδιαίτερα μεγάλη, όποιο σενάριο και να επικρατήσει. Διακρίνουμε τρία πιθανά σενάρια: α) η εξαφάνιση, β) η προσαρμογή στις νέες συνθήκες και γ) η μετανάστευση σε περιοχές με πιο ευνοϊκό περιβάλλον. Η προσαρμογή των δασοπονικών ειδών στις νέες περιβαλλοντικές

συνθήκες που θα επικρατήσουν έχει σαν απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη επαρκούς γενετικής ποικιλότητας (Parageorgiou 2008). Καθώς η φυσική επιλογή γίνεται πάνω στην υπάρχουσα βάση γονιδίων που διαθέτουν οι πληθυσμοί, η διατήρηση υψηλού επιπέδου γενετικής ποικιλότητας αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα προσαρμογής και επιβίωσης των πληθυσμών αυτών.

Κλιματικές αλλαγές του παρελθόντος

Η κλιματική μεταβολή δεν είναι κάτι νέο για τη γη, ούτε για τα είδη των φυτών, ιδιαίτερα του βόρειου ημισφαιρίου. Εναλλαγές εποχών παγετώνων και θερμών περιόδων υπήρχαν από παλαιότερες γεωλογικές εποχές. Τα τελευταία 2,58 εκ. χρόνια υπήρξαν έντονες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία και την υγρασία (Petit et al. 1999) που κατέληξαν σε παγετώδεις και αντίστοιχα μεσοπαγετώδεις περιόδους στο βόρειο ημισφαίριο (Εικόνα 1). Γενικά, τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη καλύφθηκαν με πάγο και οι εύκρατες όπως και οι τροπικές περιοχές συμπίεστηκαν προς τον ισημερινό. Αυτήν την περίοδο, η αυξημένη υγρασία μείωσε σημαντικά τα τροπικά δάση και οι έρημοι επεκτάθηκαν. Καθώς το κλίμα γινόταν πιο ψυχρό ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έπαιξαν ορεινές περιοχές ανάμεσα στον 40° παράλληλο λόγω της δυνατότητας ορεινών ειδών να κατέλθουν σε χαμηλότερα υψόμετρα και έτσι να επιβιώσουν (Εικόνα 2).



Εικόνα 1. Παλαιότερες κλιματικές μεταβολές της γης, όπως αποτυπώνονται σε διακυμάνσεις των επιπέδων θερμοκρασίας, διοξειδίου του άνθρακα και συγκέντρωσης σκόνης σε πυρήνες γεωτρήσεων στη λίμνη Vostok της Ανταρκτικής. Πηγή: Petit et al. (1999).

Κατά τη διάρκεια των παγετωδών φάσεων, στην Ευρώπη, τα είδη των φυτών αναγκάστηκαν να μεταναστεύσουν προς τα νότια δημιουργώντας τα λεγόμενα “παγετώδη καταφύγια”. Με τη βελτίωση των κλιματικών συνθηκών, τα φυτά επεκτείνονταν από τα καταφύγια για να καταλάβουν ξανά τον κενό χώρο που άφηναν πίσω τους οι πάγοι. Τα δασικά είδη της Ευρώπης έχουν επιβιώσει έντονες κλιματικές αλλαγές στο παρελθόν, μέσα από συνεχείς μετακινήσεις, που άφησαν έντονο το αποτύπωμά τους στη γενετική ποικιλότητα των σημερινών πληθυσμών (Parageorgiou et al. 2014).



Hadingham 1980

Εικόνα 2. Επίπεδα επέκτασης της βλάστησης στην Ευρώπη, σήμερα (A-A) και κατά το μέγιστο του παγετώνα Würm (B-B). Οι γραμμές C-C και D-D δείχνουν την κάλυψη των πάγων κατά δύο παγετώδεις περιόδους. Πηγή: Hadingham (1980).

Μετά τον τελευταίο παγετώνα, η εξάπλωση των δασών στο βόρειο ημισφαίριο από τα καταφύγια θεωρείται ότι έγινε γρήγορα, περιλαμβάνοντας διασπορά με σπόρους σε μεγάλες αποστάσεις (Hewitt 1996) και καλύπτοντας πολύ μεγάλες περιοχές (Willis 1996). Η υψηλή γενετική ποικιλότητα των δένδρων στη νότια Ευρώπη, για παράδειγμα, σε σχέση με την αντίστοιχη χαμηλή ποικιλότητα στις βόρειες περιοχές οδήγησε στην υπόθεση ότι η αποίκιση σχετίζεται με μια πιθανή γενετική στενωπό κατά τη μετανάστευση προς τα βόρεια (Hewitt 1996). Η μετανάστευση μπορεί να συνέβη μόνο από τις βόρειες παρυφές των καταφυγίων (Taberlet et al. 1998), αν και αυτό σχετίζεται σημαντικά και με την τοπογραφική διαμόρφωση των ίδιων των καταφυγίων (Parageorgiou et al. 2014). Οι νότιοι πληθυσμοί των καταφυγίων μπορεί να εμποδίστηκαν να συμβάλλουν λόγω του ότι παρεμποδίζονταν από τη βόρεια εξάπλωση των πληθυσμών (Vogel et al. 1999). Η διαδικασία αυτή θα οδηγούσε σε ένα μόνο υποσύνολο της συνολικής γενετικής ποικιλότητας στα καταφύγια να αποικίσουν περιοχές που αφήθηκαν κενές από την υποχώρηση των παγετώνων

(Grivet & Petit 2002, Ferris et al. 1999), ενώ η πλειοψηφία της ποικιλότητας θα παρέμενε στο φυσικό περιβάλλον του καταφυγίου (Vogel et al. 1999).

Οι παραπάνω μετακινήσεις επέφεραν σημαντικές αλλαγές και παρείχαν ευκαιρίες στην προσαρμογή των ειδών με τυχαία και επιλεκτικά αποτελέσματα στη γενετική ποικιλότητα και τη δομή των ειδών. Πληθυσμοί φυτικών ειδών που έχουν διατηρηθεί σε καταφύγια μετά την επίδραση πολλαπλών παγετωνικών κύκλων τείνουν να έχουν αποκλίνοντα γονιδιακά αποθέματα (Jansson & Dynesius 2002). Η διατήρηση, ως εκ τούτου, της ποικιλομορφίας και της εξελικτικής τους κληρονομιάς σε συνδυασμό με την ταυτοποίηση των περιοχών που λειτούργησαν ως παγετώδη καταφύγια και τους μετέπειτα διαδρόμους μετακίνησης τους (κατά τον επαναποικισμό) αποτελούν βασικές πληροφορίες για την εκτίμηση της μεταπαγετώδους εξάπλωσης τους.

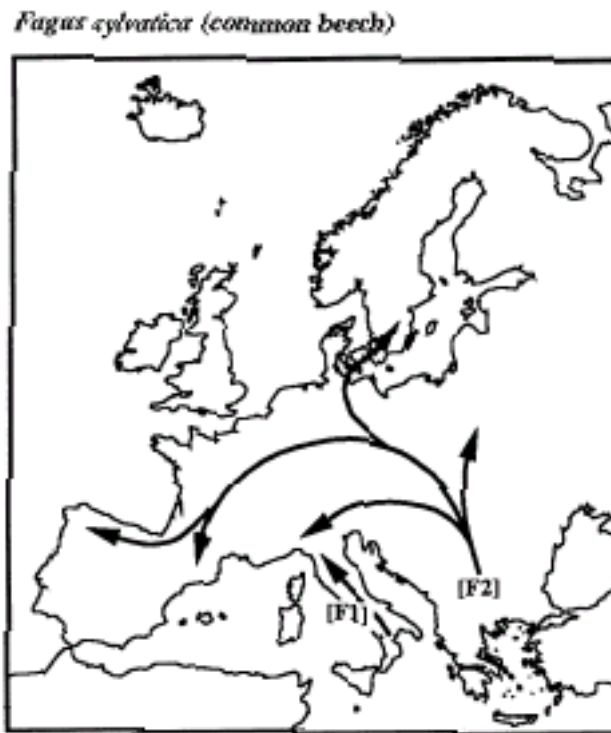
Στην ουσία, τα τελευταία 2 εκ. χρόνια, τα φυτικά είδη της Ευρώπης βρίσκονται σε μια διαρκή κίνηση ανταποκρινόμενα στις κλιματικές μεταβολές των παγετωδών και μεσοπαγετωδών φάσεων και της εναλλαγής τους. Η μελέτη της κίνησης των πληθυσμών τους μπορεί να γίνει με την ανάλυση σε προφίλ γύρης που προέρχονται από γεωτρήσεις σε περιοχές με πλούσια ιζήματα, με τη μελέτη απολιθωμάτων και με την καταγραφή πολυμορφισμών στο χλωροπλαστικό DNA (cpDNA) των φυτών των σημερινών πληθυσμών. Το τελευταίο, επειδή μεταφέρεται μονογονικά και δεν ανασυνδυάζεται, μας αποκαλύπτει τις γραμμές καταγωγής του θηλυκού γονέα, δηλαδή από σπόρο, και περιγράφει την πορεία μετακίνησης των φυτών κατά τις κλιματικές αλλαγές (Médail & Diadema 2009). Η μελέτη των συνεπειών των παλαιότερων κλιματικών αλλαγών σε γενετικό επίπεδο και ιδιαίτερα η θέση των καταφυγίων και η πορεία μετανάστευσης των πληθυσμών μετά τη λήξη των τελευταίων παγετώνων, παρέχει σημαντικές γνώσεις για την πρόβλεψη των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής που βιώνουμε στην εποχή μας.

Εξελικτική ιστορία της οξιάς στην Ελλάδα

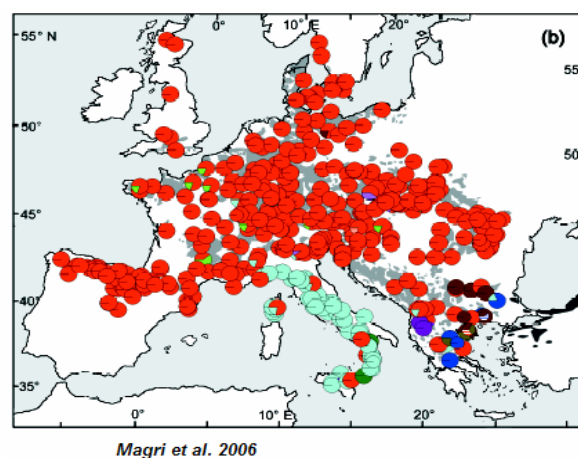
Ένα από τα δέντρα για τα οποία έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες με δείκτες cpDNA για την Ευρώπη και ιδιαίτερα για την Ελλάδα είναι η οξιά (*Fagus sylvatica*). Πρόκειται για το πλέον σημαντικό πλατύφυλλο είδος για την ευρωπαϊκή δασοπονία, που στην Ελλάδα σχηματίζει εκτεταμένα δάση στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα (Tsiripidis & Athanassiadis 2003). Κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο, η οξιά βρήκε καταφύγιο στο νότο όπως έκαναν και άλλα taxa, αλλά φαίνεται ότι δεν ήταν ικανό να επιβιώσει στα καταφύγια της Ιβηρικής, ως συνέπεια, όλο το δυτικό μέρος της γεωγραφικής κατανομής αποικήθηκε από τα Βαλκάνια (Demesure et al. 1996). Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται δύο πιθανά ελληνικά καταφύγια για το είδος αυτό, στην Πίνδο και στη Δ. Ροδόπη (Pott 1997). Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, καταφύγια αναφέρονται και στην Ιταλία. Από τα οποία όμως οι σχετικές γραμμές μετανάστευσης δεν μπόρεσαν να υπερβούν το φράγμα των Άλπεων (Εικόνα 3) (Taberlet et al. 1998).

Πιο πρόσφατες έρευνες σε ευρωπαϊκό επίπεδο, με ταυτόχρονη χρήση απολιθωμάτων, προφίλ γύρης και απλοτύπων χλωροπλαστικού DNA έδειξαν ότι πράγματι τα ιταλικά καταφύγια δεν έπαιξαν ρόλο στο μεταπαγετώδη αποικισμό της Ευρώπης, αλλά επίσης εντόπισαν πολλές γραμμές καταγωγής στα Βαλκάνια που δεν εξαπλώθηκαν προς τα βόρεια (Magri et al. 2006). Η έρευνα αυτή πρότεινε πιο βόρειες περιοχές σαν τα πιο σημαντικά καταφύγια της οξιάς για τη μετακίνηση του είδους κατά την πλέον πρόσφατη μεταπαγετώδη περίοδο (Εικόνα 4). Μέσα από μελέτες σαν και αυτή

προτάθηκε η άποψη ότι τα βουνά δεν αποτελούν πάντα εμπόδιο στη μετανάστευση, καθώς οι οροσειρές στην ουσία διευκόλυναν τη μεταπαγετώδη επέκταση της οξιάς στην Ευρώπη, ακόμα και προς το νότο (Magri et al. 2006). Επίσης, προτάθηκε η άποψη από τις έρευνες αυτές, πως η σημερινή γενετική κατάσταση της οξιάς είναι αποτέλεσμα συνεχών κινήσεων των πληθυσμών του είδους κατά την διάρκεια των παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων, κάτι που έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα που βρήκαν στην Ελλάδα οι Parageorgiou et al. (2008) και Hatziskakis et al. (2009).

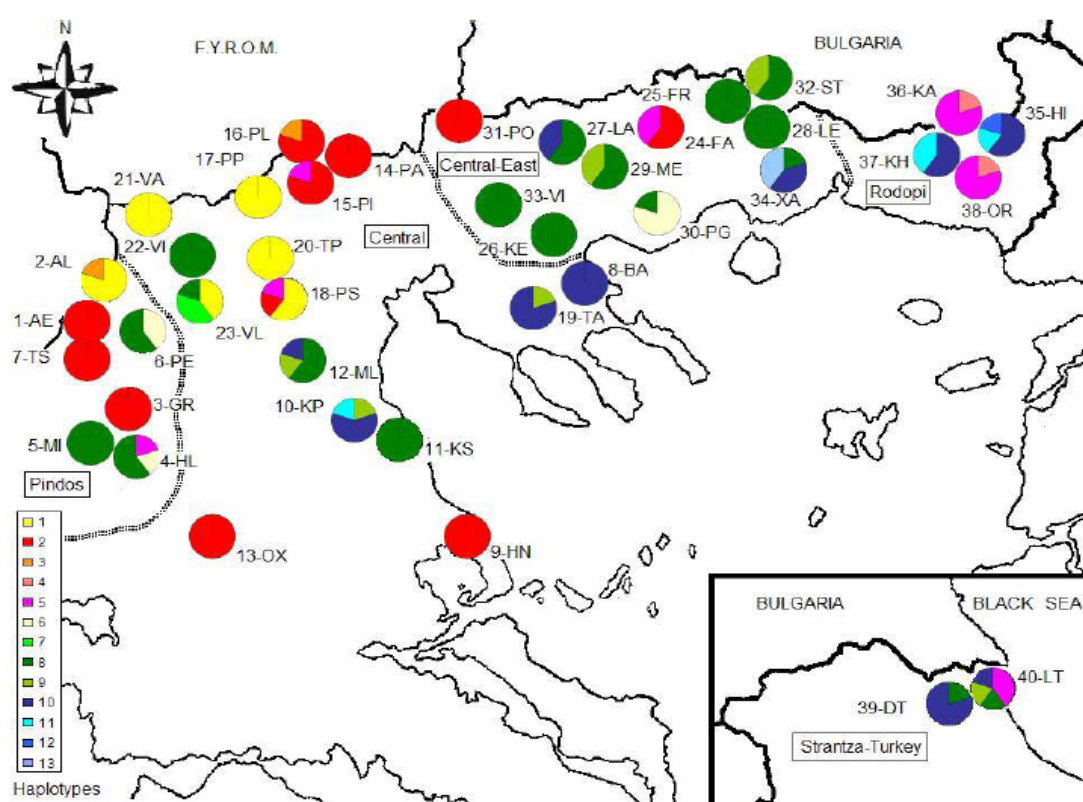


Εικόνα 3. Σενάρια μεταπαγετώδους μετακίνησης της οξιάς από τα καταφύγια της Ιταλίας (F1) και της Βαλκανικής (F2). Πηγή: Taberlet et al. (1998).



Εικόνα 4. Ποικιλότητα απλοτύπων χλωροπλαστικού DNA σε δείκτες SSR για την οξιά στην Ευρώπη. Πηγή: Magri et al. (2006).

Στην Ελλάδα, πρόσφατες έρευνες με χλωροπλαστικό DNA απέδειξαν ότι υπάρχουν και άλλα, πιθανόν μικρότερα καταφύγια, στο Παγγαίο και στη Ροδόπη (Parageorgiou et al. 2008, Hatziskakis et al. 2009). Η οροσειρά της Ροδόπης εμφανίζεται να αποτελεί σημείο συνάντησης των δύο υποειδών της οξιάς, με τη γενετική ποικιλότητα να ανεβαίνει προς τα ανατολικά (Tsiripidis & Athanasiadis 2003, Parageorgiou et al. 2008, Hatziskakis et al. 2009), ενώ φαίνεται να αποτελεί ταυτόχρονα και παγετώδες καταφύγιο. Οι Hatziskakis et al. (2009) ερεύνησαν την ποικιλότητα του είδους στην Ελλάδα σε απλότυπους χλωροπλαστικού DNA και πρότειναν τέσσερις βασικές γραμμές καταγωγής της οξιάς για τον ελληνικό χώρο: δύο προερχόμενες από καταφύγια στην Πίνδο και στη Δ. Ροδόπη, μία ερχόμενη από τα βόρεια και μία ακόμα εισερχόμενη στην Ευρώπη από τα ανατολικά, που εμφανίζει σχέση με το ανατολικό υποείδος *F. sylvatica* ssp *orientalis* (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Ποικιλότητα απλοτύπων χλωροπλαστικού DNA σε δείκτες SSR για την οξιά στην Ελλάδα. Πηγή: Hatziskakis et al. (2009).

Μια σειρά από λεπτομερείς χωρικές γενετικές αναλύσεις με χλωροπλαστικό DNA σε βουνά της Ελλάδας έδειξε την πιθανή ύπαρξη επιπλέον καταφυγίων μικρής κλίμακας στη βορειοανατολική πλευρά του όρους Παγγαίο (Parageorgiou et al. 2015) και στα δυτικά και νότια βουνά του Ν. Έβρου (Μανώλης 2011, Μανώλης κ.α. 2015). Πιθανά καταφύγια για τη γραμμή καταγωγής της Δυτικής Ροδόπης βρέθηκαν στις χαράδρες στα ανατολικά του Μενιοκίου (Σταμέλλου 2010), ενώ μια πρόσφατη έρευνα στο τόξο της Αριδαίας έδειξε ότι πιθανόν εκεί να βρίσκεται το καταφύγιο που αργότερα εξαπλώθηκε στα βόρεια μέσα από την κύρια διαδρομή της οξιάς προς τη σημερινή εξάπλωση στην Ευρώπη (Τσιπίδου 2015). Τα αποτελέσματα αυτά βοήθησαν να

διατυπωθούν πολλές θεωρίες σχετικά με την ύπαρξη ή μη, μικρών ή μεγάλων καταφυγίων στην περιοχή των Βαλκανίων και ιδιαίτερα στην οροσειρά της Ροδόπης κατά την εποχή των Παγετώνων. Ταυτόχρονα, η Α. Ροδόπη έχει πολύ έντονη την επίδραση της *F. sylvatica* ssp *orientalis* (Papageorgiou et al. 2008, Hatziskakis et al. 2009).

Στη συνέχεια ακολούθησε μια λεπτομερής χωρική γενετική έρευνα σε όλη την εξάπλωση της οξιάς στη ΒΑ Ελλάδα με τη χρήση χλωροπλαστικού DNA. Συνδυάζοντας τα γενετικά αποτελέσματα με την περιγραφή των φυτοκοινωνιών και των τύπων βλάστησης μπορούμε πλέον να περιγράψουμε με λεπτομέρεια τη θέση των καταφυγίων και την πιθανή κίνηση της οξιάς από αυτά. Αποκαλύπτεται ότι τα παγετώδη καταφύγια είναι στην ουσία θερμές και υγρές κοιλάδες ή φαράγγια, προστατευμένα από τους βόρειους ανέμους, συνήθως στους πρόποδες βουνών με μεγάλο υψόμετρο.

Μια σειρά από συγκρίσεις ανάμεσα σε απογόνους πληθυσμών περιοχών που θεωρούνται παγετώδη καταφύγια για την οξιά στη Δράμα και στον Έβρο, που έγινε για προσαρμοστικά χαρακτηριστικά σε θαλάμους ανάπτυξης έδειξε πολύ μεγάλες προσαρμοστικές διαφορές τόσο ανάμεσα στις δύο γεωγραφικές προελεύσεις, όσο και ανάμεσα σε ομάδες φυτών που προέρχονταν από κοντινές περιοχές με λίγες κλιματικές και τοπογραφικές διαφορές.

Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με τις έρευνες που έχουν γίνει ή συνεχίζονται ακόμα σε άλλες περιοχές της Ευρώπης δείχνουν ότι οι κλιματικές μεταβολές οδήγησαν την οξιά σε μικρής κλίμακας μετακινήσεις σε υψόμετρο και έτσι επέτρεψαν τη διατήρησή της στις περιοχές αυτές, όπου σήμερα παρατηρείται μεγάλη ποικιλότητα. Επιπλέον, φαίνεται ότι η μετακίνηση προς τα βόρεια των πληθυσμών από τα νότια καταφύγια δεν ήταν εφικτή σε πολλές περιπτώσεις λόγω τοπογραφικών εμποδίων και γεωγραφικής απομόνωσης των ορεινών όγκων. Γίνεται πλέον φανερό ότι η σημερινή γεωγραφική εξάπλωση του είδους είναι αποτέλεσμα της κίνησης πολλών παγετωδών κύκλων και όχι μόνο του τελευταίου. Φαίνεται ότι ο κυρίαρχος παράγοντας που επηρεάζει την ικανότητα και τον τρόπο μετανάστευσης των πληθυσμών κατά τη μεταβολή του κλίματος είναι το ανάγλυφο και πολύ λιγότερο η προσαρμογή, καθώς η μεταβολή αυτή γίνεται ραγδαία.

Μπορούμε λοιπόν να μοντελοποιήσουμε την κίνηση των πληθυσμών της οξιάς κάτω από διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής και να διαπιστώσουμε τις περιοχές όπου θα λειτουργήσουν ως σύγχρονα καταφύγια, τους πληθυσμούς που κινδυνεύουν με αφανισμό και τα κέντρα ποικιλότητας και διασποράς. Με τον τρόπο αυτό θα ορίσουμε προτεραιότητες και μέτρα προστασίας και διαχείρισης των δασών αυτών για να εξασφαλίσουμε τη συνέχεια του είδους στο μέλλον. Αυτό ισχύει και για άλλα δασοπονικά είδη, καθώς η τοπογραφία είναι κοινή για όλα τα δέντρα και οι μετακινήσεις γίνονται σε ομάδες.

Συμπεράσματα

Οι έρευνες σχετικά με την ανταπόκριση των φυτών στις παλαιότερες κλιματικές αλλαγές έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια των παγετώνων υπήρξαν στα νότια των Βαλκανίων πολλά μικρά καταφύγια σε μικρή χωρική κλίμακα, σε αντίθεση με την κοινή πεποίθηση μέχρι πριν λίγα χρόνια, που θεωρούσε την ύπαρξη λίγων μεγάλων καταφυγίων. Κάθε νότια πλαγιά και κυρίως χαράδρα στις οροσειρές της βόρειας και κεντρικής Ελλάδας μπορεί 15.000 χρόνια πριν να αποτέλεσε περιοχή επιβίωσης για

φυτά που σήμερα εξαπλώνονται μέχρι τα βόρεια άκρα της Ευρώπης. Ο κύριος παράγοντας που συνετέλεσε στην προστασία των πληθυσμών των φυτών στα καταφύγια αυτά φαίνεται ότι είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο που προσέφερε προστασία από την επίδραση των βόρειων ανέμων και παρείχε ανεκτές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Αυτό που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε σχέση με τη σημερινή κλιματική αλλαγή είναι η συμπεριφορά των πληθυσμών με τη λήξη των παγετώνων και με τη βελτίωση των κλιματικών συνθηκών. Η μετανάστευση υπήρξε προς τα βόρεια και προς τα μεγαλύτερα υψόμετρα. Σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και σε μεγαλύτερα υψόμετρα, πολλές γραμμές καταγωγής από διαφορετικά καταφύγια συναντήθηκαν σε πολλές περιπτώσεις και δημιούργησαν περιοχές διεισδυτικού υβριδισμού. Η σημερινή εικόνα των πληθυσμών δεν προέρχεται από την τελευταία μεταπαγετώδη μετακίνηση μόνο, αλλά αντανακλά την εικόνα των μεταναστεύσεων από και προς τα καταφύγια σε περισσότερους παγετώδεις κύκλους. Οι μεικτοί πληθυσμοί με την έλευση της επόμενης παγετώδους περιόδου επέστρεψαν στο ίδιο ή σε άλλο καταφύγιο, χάνοντας ποικιλότητα λόγω ιδρυτικών φαινομένων για να ξεκινήσουν ξανά τη μετανάστευση προς τα βόρεια και να συναντηθούν με άλλες γραμμές καταγωγής.

Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι οι νότιοι πληθυσμοί της Βαλκανικής δεν είχαν πρόσβαση προς τα βόρεια, καθώς βρίσκονταν πολλές φορές σε ορεινούς όγκους που δεν είχαν γεωγραφική συνέχεια με το βορρά. Στην περίπτωση αυτών των πληθυσμών, η μόνη οδός διαφυγής από το θερμαινόμενο κλίμα ήταν η άνοδος σε υψηλότερες θέσεις στο ίδιο βουνό. Χωρίς να έχουν διανύσει μεγάλες αποστάσεις και σε κοντινή σχετικά απόσταση από τα παγετώδη καταφύγια όπου είχαν επιβιώσει κατά την περίοδο των παγετώνων, οι πληθυσμοί αυτοί δεν έχασαν σημαντικό μέρος της αρχικής τους ποικιλότητας αλλά δεν αναμείχθηκαν με άλλες γραμμές καταγωγής. Για το λόγο αυτό παρουσιάζεται σήμερα η εικόνα, οι νότιοι πληθυσμοί φυτών, όπως είναι η οξιά, να βρίσκονται σε μικρές ομοιογενείς ομάδες που μεταξύ τους έχουν μεγάλες διαφορές και πιθανόν διαφορετική καταγωγή. Οι πληθυσμοί αυτοί έχουν συσσωρευμένη την ποικιλότητα των τελευταίων 500.000 ετών και έχουν αναπτύξει πολύ σημαντικές προσαρμογές επιβίωσης και αναπαραγωγές στο μικροκλίμα της μικρής τους εξάπλωσης. Αποτελούν σημαντικό βιολογικό κεφάλαιο των ειδών αυτών για την επιβίωσή τους στη νέα κλιματική αλλαγή που έρχεται.

Οι έρευνες δείχνουν ότι οι σημερινοί πληθυσμοί των δασικών φυτών έχουν αναπτύξει πολύ σημαντικά επίπεδα ποικιλότητας σε πολύ μικρή χωρική κλίμακα. Αυτή η ποικιλότητα ανταποκρίνεται και σε προσαρμοστικά χαρακτηριστικά, όπως είναι ο χρόνος έκπτυξης οφθαλμών, η βιωσιμότητα των αρτιφύτρων σε ακραίες συνθήκες, η ανταπόκριση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίες και σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας, ο ρυθμός φωτοσύνθεσης και άλλα μορφολογικά και ανατομικά στοιχεία. Αυτό που είναι δε άξιο καταγραφής είναι το γεγονός πως αυτές οι προσαρμογές δεν αφορούν συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές και οικοτύπους μόνο, αλλά και αλλαγές στο μικροπεριβάλλον που μπορεί να συμβούν αλλάζοντας έκθεση ή υψόμετρο μέσα σε λίγες εκατοντάδες μέτρα απόσταση. Αυτό ισχύει κυρίως για τους παλαιούς πληθυσμούς των καταφυγιακών περιοχών που δείχνουν πολύ ψηλά επίπεδα ποικιλότητας. Η επιλογή προελεύσεων δασικών ειδών για νέες φυτεύσεις ή αναδασώσεις δεν πρέπει να γίνεται μόνο σε επίπεδο γεωγραφικής προέλευσης αλλά και μικροδιαφορών στην τοπογραφία και την οικολογία της κάθε περιοχής συλλογής σπόρων.

Από όλα αυτά συμπεραίνουμε πως οι σημερινοί πληθυσμοί των δασικών ειδών της μεσογειακής ζώνης, που αποτελούν τους πιο νότιους πληθυσμούς ευρωπαϊκών ειδών, έχουν μοναδικά επίπεδα γενετικής ποικιλότητας και εμπεριέχουν στο γονιδίωμά τους προσαρμογές σε χωρικές και χρονικές αλλαγές του περιβάλλοντος. Το ερώτημα που καλείται να απαντήσει η επιστήμη είναι, αν οι πληθυσμοί αυτοί θα μπορέσουν να προσαρμοστούν στη νέα κλιματική αλλαγή, που θα είναι πιο ραγδαία από ποτέ. Η απάντηση δεν είναι εύκολη. Η επιστημονική έρευνα καλείται να ασχοληθεί με συγκεκριμένα επιμέρους ερωτήματα:

- Μπορούν να υπάρξουν “καταφύγια” για την κλιματική αλλαγή που αναμένουμε για τα φυτά της Μεσογείου και που μπορεί να είναι αυτά;
- Υπάρχει περιθώριο κίνησης προς τα βόρεια ή προς μεγαλύτερα υψόμετρα για συγκεκριμένους πληθυσμούς;
- Υπάρχει περιθώριο προσαρμογής στις παλαιές ή στις νέες θέσεις;
- Ποιοι ανθρωπογενείς παράγοντες επιδρούν περιοριστικά στην προσαρμογή των φυτών ή στην κίνησή τους;
- Πως μπορούμε να διαχειριστούμε τους πληθυσμούς ώστε να αυξηθούν οι πιθανότητες επιβίωσής τους;

Για να απαντήσει στα ερωτήματα αυτά και για να μπορέσει να συμβάλει στη διαφύλαξη του βιολογικού πλούτου των μεσογειακών δασών, η επιστημονική έρευνα πρέπει να θέσει σαν προτεραιότητα την αναγνώριση πληθυσμών με σημαντική ποικιλότητα για τα κύρια δασικά είδη της περιοχής, πληθυσμοί που προέρχονται απ’ ευθείας από καταφύγια ή αποτελούν προϊόν συνάντησης διαφορετικών γραμμών καταγωγής. Επίσης είναι σημαντικό να αναγνωριστούν θέσεις «θερμών» καταφυγίων, όπου πιθανόν να μπορέσουν να επιβιώσουν οι πληθυσμοί των φυτών και να περιγραφούν οι νέες διαδρομές μετανάστευσης που αναμένεται να ακολουθήσουν οι πληθυσμοί κατά τη νέα κλιματική αλλαγή, με βάση την τοπογραφία και την οικολογία των ορεινών όγκων. Επιπλέον πρέπει να αναζητηθεί η περιγραφή της ποικιλότητας σε προσαρμοστικούς χαρακτήρες, η σημασία γενετικών και επιγενετικών φαινομένων στην ποικιλότητα των χαρακτήρων αυτών και η διερεύνηση μεταφοράς φυτευτικού υλικού σε άλλες περιοχές. Ποιο σημαντική από όλα όμως είναι η δυνατότητα σύνταξης διαχειριστικών σχεδίων για τη διατήρηση της υπάρχουσας βιοποικιλότητας και γενετικής ποικιλότητας στους υφιστάμενους πληθυσμούς. Αυτό φαίνεται ότι είναι το μόνο όπλο που διαθέτει η φύση για να αναταποκριθεί απέναντι στην κλιματική αλλαγή. Ο άνθρωπος οφείλει να μειώσει τους ρύπους σε αέρια του θερμοκηπίου σε επίπεδα συμβατά με τη ζωή και να φροντίσει να μην αλλοιώσει τους κύκλους μεταφοράς και ανανέωσης της βιολογικής ποικιλότητας.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

Μανώλης, Α. (2011). Γενετική ποικιλότητα της οξιάς (*Fagus sylvatica*) στην Ανατολική Ροδόπη. Διατριβή ΠΜΣ «Αειφορική Διαχείριση Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων», Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ορεστιάδα.

- Μανώλης, Α., Χατζησκάκης, Σ., Βιδάλη, Α., Μυρωνίδου, Ε., Παπαγεωργίου, Α.Χ. (2015). Γενετική και μορφομετρική περιγραφή της ποικιλότητας της οξιάς στην ανατολική Ροδόπη. Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων. Τόμος 6, σελ. 127-134.
- Παπαγεωργίου, Α.Χ., Pukkala, T., Κασιμιάδης, Δ., Palahi, M., Ποϊραζίδης, Κ. (2006). Διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας σε διαχειριζόμενα δάση. Πρακτικά 3ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Οικολογικής Εταιρείας και της Ελληνικής Ζωολογικής Εταιρείας. Ιωάννινα, 16-19/11/2006, σελ. 263-270.
- Σταμέλλου, Στ. (2011). Φυτοκοινωνίες και μοριακή ποικιλότητα της οξιάς (*Fagus sylvatica* L.) στο όρος Μενοίκιο. Διατριβή ΠΜΣ «Διατήρηση της Βιοποικιλότητας και Αειφορική Αξιοποίηση Αυτοφυών Φυτών», Τμήμα Βιολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Τσιπίδου, Ο. (2015). Γενετική ποικιλότητα και χωρικά πρότυπα της οξιάς στην περιοχή της Αλμωπίας. Πτυχιακή διατριβή, Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ορεστιάδα.
- Χατζησκάκης, Σ. (2010). Μελέτη της γενετικής ποικιλότητας σε πληθυσμούς οξιάς στην Ελλάδα. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ορεστιάδα.

II. Ξενόγλωσση

- Aussenac, G. (2002). Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change. *Annals of Forest Science*. Vol. 59, No 8, pp. 823-832.
- Birot, Y., Bretons, L., Papageorgiou, A.C. (2007). Biodiversity in Mediterranean woodlands: What is at stake? *EFI News*. Vol. 15, p. 9.
- Demesure, B., Comps, B., Petit R.J. (1996). Chloroplast DNA phylogeography of the common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Europe. *Evolution*. Vol. 50, pp. 2515-2520.
- Ferris, C., King, R.A., Hewitt, G.M. (1999). Isolation within species and the history of glacial refugia. *Systematics Association Special Volume*. Vol. 57, pp. 20-34.
- Grivet, D., Petit, R.J. (2002). Phylogeography of the common ivy (*Hedera* sp.) in Europe: genetic differentiation through space and time. *Molecular Ecology*. Vol. 11, No. 8, pp. 1351-1362.
- Hadingham, E. (1980). *Secrets of the Ice Age: The World of the Cave Artists*. London: Heinemann.
- Hampe, A., Petit, R.J. (2005). Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters*. Vol. 8, pp. 461-467.
- Hatziskakis, S., Papageorgiou, A.C., Gailing, O., Finkeldey, R. (2009). High chloroplast haplotype diversity in Greek populations of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Plant Biology*. Vol. 11, pp. 425-433.
- Hewitt, G.M. (1996). Some genetic consequences of ice ages, and their role in divergence and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society*. Vol. 58, No. 3, 247-276.
- Hu, F.S., Hampe, A., Petit, R.J. (2009). Paleoecology meets genetics: deciphering past vegetational dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Vol. 7, pp. 371-379.

- Jansson, R., Dynesius, M. (2002). The fate of clades in a world of recurrent climatic change: Milankovitch oscillations and evolution. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 33, pp. 741-777.
- Keenan, T., Maria Serra, J., Lloret, F., Ninyerola, M., Sabate, S. (2011). Predicting the future of forests in the Mediterranean under climate change, with niche - and process - based models: CO2 matters! *Global Change Biology*. Vol. 17, No. 1, pp. 565-579.
- Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., Van Der Knaap, W.O., Petit, R.J., De Beaulieu, J.-L. (2006). A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist*. Vol. 171, No. 1, pp. 199-221.
- Médail, F., Diadema, K. (2009). Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography*. Vol. 36, No. 7, pp. 1333-1345.
- Papageorgiou, A.C. (2008) Mediterranean forest genetic diversity and adaptive conservation strategies. In: *Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF "Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes"*, Athènes [<http://www.uicnmed.org>].
- Papageorgiou, A.C., Karavas, N., Jimenez Caballero, S., Regato, P. (2000). Die Bedeutung genetischer Strukturen von Waldbäumen zur Auswahl von Naturschutzgebieten im Mittelmeerraum. *Forest, Snow and Landscape Research*, Vol. 75, 91-98.
- Papageorgiou, A.C., Vidalis, A., Gailing, O., Tsiripidis, I., Hatziskakis, S., Boutsios, S., Galatsidas, S. Finkeldey, R. (2008). Genetic variation of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Rodopi (N.E. Greece). *European Journal of Forest Research*. Vol. 127, pp. 81-88.
- Papageorgiou, A.C., Tsiripidis, I., Mouratidis, T., Hatziskakis, S., Gailing, O., Eliades, N.G.H., Vidalis, A., Drouzas, A.D., Finkeldey, R. (2014). Complex fine-scale phylogeographic patterns in a putative refugial region of *Fagus sylvatica* L. (Fagaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*. Vol. 174, No. 4, pp. 516-528.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*. Vol. 399, No. 6735, pp. 429-436.
- Pott, R. (1997). Invasion of beech and establishment of beech forests in Europe. *Annali di Botanica*. Vol. LV, pp. 27-58.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2005). *Handbook of the Convention on Biological Diversity Including its Cartagena Protocol on Biosafety*, 3rd edition. Montreal, Canada.
- Soutsas, K., Papageorgiou, A.C., Tampakis, S., Arabatzis, G., Kasimiadis, D. (2004). The Concept of Forest Landscape Restoration in the Mediterranean. *New Medit, Journal of Agriculture, Economy and Environment*. Vol. 4/2004, pp. 57-62.
- Taberlet, P., Fumagalli, L., Wust-Saucy, A.G., Cosson, J.F. (1998). Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. *Molecular Ecology*. Vol. 7, pp. 453-464.

- Thuiller, W. (2003). BIOMOD – optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*. Vol. 9, pp. 1353-1362.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujom M.B., Sykesm M.T., Prenticem C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 102, pp. 8245-8250.
- Tsiripidis, I., Athanasiadis, N. (2003). Contribution to the knowledge of the vascular flora of NE Greece: Floristic composition of the beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in the greek Rodopi. *Willdenowia*. Vol. 33, pp. 273-298.
- Vogel, J.C., Rumsey, F.J., Schneller, J.J., Barrett, J., Gibby, M. (1999). Where are the glacial refugia in Europe? Evidence from pteridophytes. *Biological Journal of the Linnean Society*. Vol. 66, pp. 23-37.
- Willis, K.J. (1996). Where did all the flowers go? The fate of temperate European flora during glacial periods. *Endeavour*. Vol. 20, No. 3, pp. 110-114.

ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Χρήστος Καραχρήστος

Υποψήφιος Διδάκτορας

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: chrtun@gmail.com

Σπυρίδων Γαλατσίδης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

E-mail: sgalatsi@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής (μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες), ολοένα και περισσότερο κάνουν εμφανή την επίδρασή τους στα φυσικά οικοσυστήματα. Τα δασικά οικοσυστήματα αναμένεται να πιεστούν προς οριακές καταστάσεις και θα επέλθουν μεταπτώσεις στη δυναμική τους ισορροπία (διαταραχή στις σχέσεις γονιμοποίησης – φυτικού δυναμικού, βιοποικιλότητα, αποδάσωση κ.α.), με σημαντικές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η παρούσα εργασία στοχεύει στον προσδιορισμό της πιθανότατα καθοριστικής συμβολής του δασικού τομέα στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεων της, με διαδικασίες και μέτρα (βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα) που θα στοχεύουν στην αύξηση των δεσμεύσεων και αποθεμάτων άνθρακα, στη χρησιμοποίηση του ξύλου ως αντικαταστάτη υλικών και της βιομάζας ως αντικαταστάτη καυσίμων, στην προστασία των οικοσυστημάτων από εξωτερικούς κινδύνους, στην αποφυγή της αποδάσωσης, την προώθηση της αναγωγής (από χαμηλή σε υψηλή παραγωγικότητα). Μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης και μελέτης εφαρμοσμένων παραδειγμάτων, αναζητούνται οι επικρατέστερες πρακτικές και προτεινόμενες λύσεις και καταγράφεται η υπάρχουσα κατάσταση στο πλαίσιο της διεθνούς πολιτικής για τα δάση (Forest Europe, UNFCCC), της απογραφής σχετικών δεδομένων (IPCC), της μεταβολής των χρήσεων γης (LULUCF - indirect LUC), των πρακτικών διαχείρισης (IFM, Sustainable management, LtHP κ.α.). Τα αποτελέσματα της έρευνας θα οδηγήσουν σε μια νέα προσέγγιση της διαχείρισης των δασών με γνώμονα την κλιματική αλλαγή και στην ενσωμάτωση της λειτουργίας «Μετριασμός των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής» στις πρακτικές και μεθόδους διαχείρισης.

Λέξεις κλειδιά: Δασικά οικοσυστήματα, κλιματική αλλαγή, ευρωπαϊκή δασική πολιτική, αειφορική διαχείριση δασών

Εισαγωγή

Παρότι η έννοια της αειφορίας έχει μια μακροχρόνια παράδοση στη δασοπονία της Ευρώπης, εντούτοις, η έννοια της «αειφορικής διαχείρισης δασών» έχει αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια του χρόνου σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες της κοινωνίας. Αρχικά, η αειφορία στη δασική διαχείριση εκλήφθηκε κυρίως ως αειφορική παραγωγή ξυλείας για να αντιμετωπιστούν οι ιστορικές ελλείψεις ξύλου. Ωστόσο, η σημασία άλλων σύνθετων λειτουργιών των δασών έχει ενσωματωθεί βαθμιαία στην παραδοσιακή διαχείριση, μέσω της πολλαπλής χρήσης των δασών.

Ως σύγχρονος και καθολικός ορισμός της αειφορικής διαχείρισης (με εφαρμογή αποκλειστικά σε φυσικούς πόρους) λαμβάνεται ο ακόλουθος: *The stewardship and use of forests and forest lands in a way, and at a rate, that maintains their biodiversity, productivity, regeneration capacity, vitality and their potential to fulfil, now and in the future, relevant ecological, economic and social functions, at local, national, and global levels, and that does not cause damage to other ecosystems.* (Helsinki Resolution H1, MCPFE, 1998). Δηλ.: *Ως αειφορική διαχείριση νοείται η φροντίδα και χρήση του δάσους κατά τέτοιο τρόπο και με τέτοιο ρυθμό, ώστε να διατηρείται η βιοποικιλότητά του, η παραγωγικότητά του, η ικανότητα αναγέννησής του, η ζωτικότητά του και οι δυνατότητές του να καλύπτει, σήμερα και στο μέλλον, τις οικολογικές, οικονομικές και κοινωνικές του λειτουργίες σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο χωρίς να επιφέρει ζημιές σε άλλα οικοσυστήματα* (Γαλατσίδα 2012).

Το πλαίσιο του ανωτέρω ορισμού ακολουθούν τα έξι Πανευρωπαϊκά κριτήρια για την αειφορική δασική διαχείριση που υιοθετήθηκαν στη Συνθήκη της Λισσαβόνας, (1998) και είναι η:

1. Διατήρηση και κατάλληλη ενίσχυση των δασικών πόρων και της συμβολής τους στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα
2. Διατήρηση της υγείας και της ζωτικότητας του δασικού οικοσυστήματος
3. Διατήρηση και ενθάρρυνση των παραγωγικών λειτουργιών των δασών (ξυλωδών και μη ξυλωδών)
4. Διατήρηση, συντήρηση και κατάλληλη ενίσχυση της βιολογικής ποικιλομορφίας στα δασικά οικοσυστήματα
5. Διατήρηση και κατάλληλη ενίσχυση των προστατευτικών λειτουργιών στη δασική διαχείριση (ειδικότερα στο έδαφος και το νερό)
6. Διατήρηση άλλων κοινωνικοοικονομικών λειτουργιών και συνθηκών.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι η συμβολή των δασών στη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί το πρώτο κριτήριο αειφορικής διαχείρισης αναγνωρίζοντας τη μεγάλη σημασία των δασών ως οικοσυστημάτων που διαθέτουν τους κατάλληλους μηχανισμούς μετριασμού του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής.

Ταυτόχρονα η κλιματική αλλαγή, που αναγνωρίστηκε από το 1^ο παγκόσμιο συνέδριο για το κλίμα το 1979 στη Γενεύη αλλά εκτιμάται ότι ξεκίνησε από το 1950, αξιολογείται στην πιο πρόσφατη καταγραφή της ως ακολούθως:

«Η ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα είναι σαφής και οι πρόσφατες ανθρωπογενείς εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι οι υψηλότερες στην ιστορία. Οι πρόσφατες μεταβολές του κλίματος έχουν ευρείες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στα φυσικά

συστήματα» και επίσης «η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τις διαδικασίες του κύκλου του άνθρακα κατά τρόπο που θα επιδεινώσει την αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Ο περιορισμός της κλιματικής αλλαγής θα απαιτήσει σημαντικές και διαρκείς μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου» (IPCC 2013 – AR5).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει τη σχέση μεταξύ των Δασικών Οικοσυστημάτων και της Κλιματικής Αλλαγής, να περιγράψει το πλαίσιο της σχετικής διεθνούς πολιτικής για τα δάση και να αναζητήσει κατάλληλες πρακτικές και εφαρμόσιμες λύσεις για τον «Μετριασμό των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής» μέσω της Αειφορικής Διαχείρισης των Δασικών Συστημάτων.

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον και τα δασικά οικοσυστήματα

Για την επίτευξη των σκοπών της έρευνας αναζητήθηκαν αρχικά οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής συνολικά στο περιβάλλον αλλά και ειδικά στα δασικά οικοσυστήματα. Έτσι και με την προέλευση της κλιματικής αλλαγής από ανθρωπογενή αποκλειστικά αίτια και με την έκφρασή της μέσω:

- α) των ακραίων (εντατικών) φαινομένων,
- β) της μείωσης των βροχοπτώσεων (διαφοροποίηση σε ποσότητα, ένταση και έκταση),
- γ) της αύξησης της θερμοκρασίας (ξηρών περιόδων)

εμφανίζονται τις τελευταίες δεκαετίες οι επιδράσεις της τόσο στα φυσικά όσο και στα ανθρωπογενή οικοσυστήματα:

Χερσαία οικοσυστήματα: Αφορά κυρίως στις επιδράσεις στη βιοποικιλότητα, στη μετακίνηση των ειδών (εισαγωγή νέων, εγκατάλειψη περιοχών, χωρική μετατόπιση, γεωγραφικό εύρος κλπ.) και στον επηρεασμό των υδατικών πόρων (ποιοτικά και ποσοτικά) εξαιτίας της μεταβολής των βροχοπτώσεων και του λιώσιμου των πάγων, με την ταυτόχρονη ερημοποίηση περιοχών.

Θαλάσσια οικοσυστήματα: Αφορά κυρίως στις επιδράσεις στη μετακίνηση των θαλάσσιων ειδών (με τρόπο παρόμοιο των χερσαίων) και σε παράκτιες περιοχές στο επίπεδο της θάλασσας (με την αυξομείωση του ύψους των υδάτων).

Κοινωνικό-οικονομικές επιδράσεις: Αφορά σε αρνητικές επιδράσεις όπως υστέρηση της παραγωγής και της δυνατότητας τροφής σε μεγάλες ομάδες του πληθυσμού της γης αλλά και σε θετικές όπως οι επενδύσεις και οι υπηρεσίες για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Διεθνής ασφάλεια: Αφορά σε επιδράσεις όπως μαζικές μετακινήσεις πληθυσμών (για εύρεση πόρων ή διασφάλιση διαμονής), με την ταυτόχρονη δημιουργία θυλάκων εμπόλεμης διαμάχης μεταξύ ομάδων πληθυσμών.

Ανθρώπινη υγεία: Αφορά στις μικρότερες μέχρι στιγμή μετρήσιμες (αλλά όχι αμελητέες) επιδράσεις, που σχετίζονται κυρίως με την εισαγωγή και τη γεωγραφική μετακίνηση παθογόνων μικροοργανισμών κλπ.

Ειδικότερα, τα δασικά οικοσυστήματα αναμένεται να πιεστούν προς οριακές καταστάσεις και να επέλθουν μεταπτώσεις στη δυναμική τους ισορροπία (διαταραχή στις σχέσεις γονιμοποίησης – φυτικού δυναμικού, βιοποικιλότητα, αποδάσωση κλπ.),

με σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στα ακόλουθα (βλ. Σχήμα 1):



Σχήμα 1. Επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στα δάση.

Βιοποικιλότητα: Αφορά στις επιδράσεις σχετικά με τη μετακίνηση των ειδών (εισαγωγή νέων, εγκατάλειψη περιοχών, χωρική μετατόπιση, γεωγραφικό εύρος κλπ.). Είδη θα εξαφανιστούν ή θα αντικατασταθούν από άλλα ανθεκτικότερα και πιο ανταγωνιστικά στις νέες συνθήκες. Θα πραγματοποιηθεί γεωγραφική μεταβολή της εξάπλωσης των ειδών (κυρίως λόγω της αύξησης της ξηροθερμικής περιόδου και της μεταβολής των βροχοπτώσεων), με την αύξηση των ξηρανθεκτικών ειδών στη νότια Ευρώπη και την βορειότερη μετατόπιση των δασικών οικοσυστημάτων.

Παραγωγικότητα: Αφορά στις επιδράσεις (θετικές και αρνητικές) σχετικά με την αύξηση της παραγωγής των δέντρων εξαιτίας της μεταβολής του CO₂ στην ατμόσφαιρα και κατ' επέκταση της αύξησης της παραγωγής. Οι επιδράσεις αυτές ακολουθούν περίπου τη γεωγραφική κατανομή των επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα, όπου κατά περιοχές, εξαιτίας της ξηρασίας και της αύξησης των δασικών πυρκαγιών και των παθογόνων μικροοργανισμών θα υπάρξει συχνότερη διαταραχή και σταδιακή μείωση της παραγωγής. Ταυτόχρονα υπάρχει σαφής συσχέτιση της αυξομείωσης της παραγωγικότητας των δασών με τις ευρύτερες υπηρεσίες που αυτά προσφέρουν και κατά συνέπεια με το εισόδημα και τις συνθήκες διαβίωσης των τοπικών πληθυσμών.

Δασικές Πυρκαγιές: Αφορά στις άμεσες επιδράσεις που σχετίζονται με την κατακόρυφη αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς, ειδικά στα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα αλλά και σε βορειότερες θέσεις και σε περιβάλλοντα μη προσαρμοσμένα στο φαινόμενο των πυρκαγιών, τα οποία δεν εμφανίζουν ιδιαίτερη ανθεκτικότητα. Έμμεσα θα υπάρξουν οικονομικές επιπτώσεις τόσο από την καταπολέμηση όσο και από την προστασία και αποκατάσταση των καμένων εδαφών. Ταυτόχρονα επιβαρύνεται το περιβάλλον με επιπρόσθετες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Δασικές Παθογένειες: Αφορά στις άμεσες επιδράσεις εξαιτίας της ευνόησης των παθογόνων μικροοργανισμών που οδηγούν μετά από την προσβολή στο θάνατο των

δέντρων και εξαιτίας της μείωσης της ανθεκτικότητας των φυτών. Επίσης, ο συνδυασμός της δράσης των παθογόνων μικροοργανισμών και των χαρακτηριστικών της κλιματικής αλλαγής, οδηγούν σε δευτερογενείς προσβολές και τελικά θνησιμότητα των δέντρων.

Υδατικοί πόροι – Έδαφος: Αφορά στις άμεσες επιδράσεις, που σχετίζονται με τον υδρολογικό κύκλο αλλά και στις έμμεσες που σχετίζονται με την υποβάθμιση του προστατευτικού ρόλου των δασών. Έτσι αναμένεται (λόγω των προαναφερθέντων μορφών έκφρασης της κλιματικής αλλαγής): αύξηση της επιφανειακής απορροής και των πλημμυρικών φαινομένων (μείωση χρόνου απορροής υδάτων, αύξηση παροχής κλπ.), ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση της διαθεσιμότητας των υδάτων και επίδραση στα είδη των δέντρων μέσω της αύξησης της εξατμισοδιαπνοής και στη δομή των δασικών οικοσυστημάτων μέσω της μείωσης του βαθμού συγκόμωσης (υποβάθμισης των δασών).

Οι διεθνείς πολιτικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Η Κλιματική Αλλαγή αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, το οποίο παρότι έχει περιβαλλοντικές ρίζες, αλληλεπιδρά με παγκόσμια κοινωνικά, πολιτικά και οικονομικά ζητήματα, όπως της φτώχειας, της ανάπτυξης, του πληθυσμού, της αειφορίας και της διαχείρισης των φυσικών πόρων. Παρόλα αυτά στην καρδιά του προβλήματος παραμένει η προσπάθεια για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η διατήρηση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, κάτω από 2 °C σε σύγκριση με τα προ-βιομηχανικής εποχής επίπεδα. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται να μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 σε ποσοστό τουλάχιστον 50% έναντι των επιπέδων του 1990.

Για την προσπάθεια αυτή, που παραμένει κυρίως πολιτική, έχουν ιδρυθεί διεθνείς οργανισμοί και υπογράφηκαν συνθήκες οι οποίες δρομολογούν και καθορίζουν τις εξελίξεις λαμβάνοντας υπόψη την οικουμενική διάσταση του ζητήματος και τη συνολική αλληλεπίδραση των παραγόντων που το επηρεάζουν και το διαμορφώνουν. Οι κυριότεροι διεθνείς οργανισμοί είναι οι ακόλουθοι:

UNFCCC (UN Framework Convention on Climate Change): Αποτελεί ουσιαστικά μία συνθήκη με μεγάλο εύρος νομιμότητας, αφού υποστηρίζεται από τα Ηνωμένα Έθνη. Έχει ως σκοπό να σταθεροποιήσει τις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου (GHG), στον βαθμό που θα αποτρέψει μία επικίνδυνη ανθρώπινη παρέμβαση στο κλίμα.

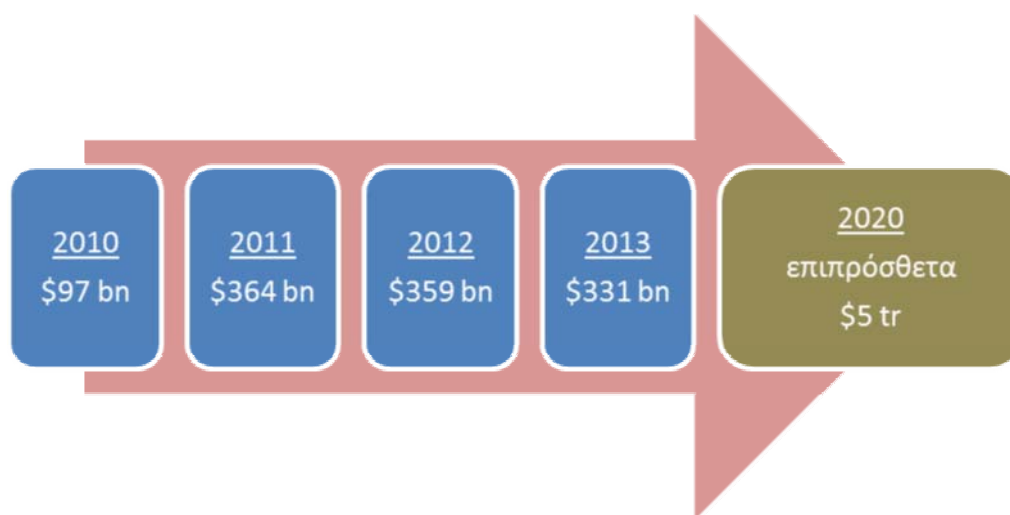
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Αποτελεί έναν οργανισμό με κύριο σκοπό την αξιολόγηση της γνωστικής βάσης και έρευνας για την Κλιματική Αλλαγή με ταυτόχρονη αξιολόγηση των συνεπειών της.

MCPFE (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe): Αποτελεί μία πολιτική διαδικασία για την αειφορική διαχείριση των δασών της Ευρώπης και παράλληλα παρέχει οδηγίες, κριτήρια, προδιαγραφές και αναπτύσσει κατευθύνσεις για τη διατήρηση και εκμετάλλευση των δασών.

UNFF (United Nations Forum on Forests): Αποτελεί ένα οργανισμό που προωθεί την διαχείριση, διατήρηση και την αειφορική ανάπτυξη όλων των τύπων των δασών σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα ενισχύει την πολιτική βούληση των κρατών για την προστασία και διαχείριση του περιβάλλοντος.

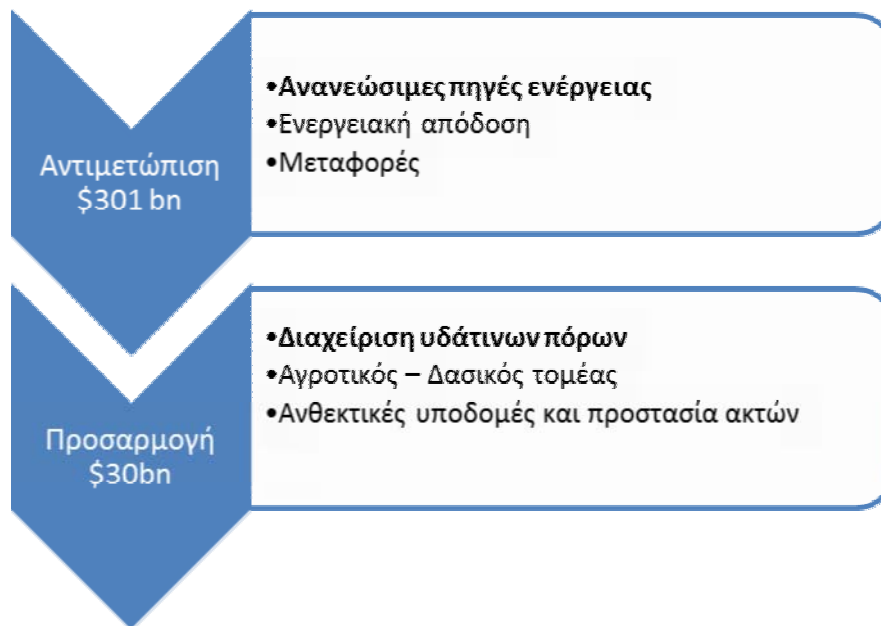
Κατά συνέπεια, το περιβάλλον που διαμορφώνεται από τις διεθνείς οικονομικές συνθήκες, τις σχετικές συμφωνίες και τις παρατηρούμενες τάσεις καταγράφεται σήμερα ως εξής¹:

- Το 2013 επενδύθηκαν 331 δις \$ στην Κλιματική Αλλαγή (166 δις \$ στις Αναπτυγμένες Χώρες – 165 δις \$ στις Αναπτυσσόμενες). Χρειάζονται επιπλέον 5 τρις \$ έως το 2020 για την επίτευξη των στόχων (ασφαλή επίπεδα εκπομπών GHG). Λόγω ποικιλίας αιτιών υπάρχει σταδιακή μείωση των χρημάτων που επενδύονται κατά έτος (βλ. Σχήμα 2).
- Ο ιδιωτικός τομέας είναι ο κύριος φορέας επενδύσεων (συμμετέχει σε ποσοστό 60% με το δημόσιο να συμπληρώνει το υπόλοιπο 40%)
- Τα κράτη ξοδεύουν περίπου 5 φορές περισσότερα χρήματα για ορυκτά καύσιμα από ότι επενδύουν για την αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής
- Οι τοπικές πολιτικές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη ροή των χρημάτων (ανάγκη για αύξηση της αποδοτικότητας των επενδύσεων)
- Το 91% (\$302 δις) της συνολικής ροής επενδύσεων (του 2013) τοποθετείται σε δράσεις αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και το υπόλοιπο σε δράσεις προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.
- Από τις δράσεις αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, οι επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μακράν τις υψηλότερες (\$236 δις), ενώ από τις δράσεις της προσαρμογής την υψηλότερη ροή κεφαλαίων δέχτηκε η Διαχείριση υδάτινων πόρων (\$14 δις) με τον αγροτο-δασικό τομέα να λαμβάνει περίπου \$4 δις για το έτος 2013. (βλ. Σχήμα 3)



Σχήμα 2. Παγκόσμια επενδυτική ροή κεφαλαίων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή.

¹ Πηγή: Climate Policy Initiative (CPI), International Energy Agency (IEA)



Σχήμα 3. Κατανομή της επενδυτικής ροής κεφαλαίων στις δράσεις για την κλιματική αλλαγή (Πηγή: CPI, 2013).

Η διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων και η κλιματική αλλαγή

Τα δάση είναι οικοσυστήματα συνδεδεμένα με τη λειτουργία του πλανήτη αφού παράγουν μια ποικιλία αγαθών, εμφανίζουν υψηλή βιοποικιλότητα, παρέχουν πολλαπλές περιβαλλοντικές υπηρεσίες και συγκρατούν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Για το λόγο αυτό ο Δασικός Τομέας έχει καθοριστική συμβολή στην Αειφορική Ανάπτυξη και στην αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής. Οι δύο αυτοί σκοποί επιτυγχάνονται με τη λήψη μέτρων στις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- Δάσωσης (π.χ. οριακών γαιών)
- Αειφορικής Διαχείρισης & Βελτιωμένης Διαχείρισης (IFM, VCS standards)
- Μείωσης της αποδάσωσης (π.χ. πρόγραμμα REDD+ με σκοπό την δημιουργία οικονομικής αξίας στον αποθηκευμένο άνθρακα)
- Προστασίας των Οικοσυστημάτων
- Αύξησης της Δέσμευσης & Αποθήκευσης CO₂
- Μετατροπής των Δασών από χαμηλής σε υψηλής παραγωγικότητας
- Χρήσης του Ξύλου ως Αντικαταστάτη Υλικών (π.χ. κατασκευές)
- Χρήσης της Βιομάζας ως Αντικαταστάτη Καυσίμων (π.χ. ορυκτών καυσίμων για θέρμανση)
- Ενίσχυσης των Θεσμών και της Νομοθεσίας (τεχνικές προδιαγραφές, πιλοτικές μελέτες κλπ.)
- Οικονομικής Ενίσχυσης
- Διάχυσης της Πληροφορίας
- Συνδυαστικής Δράσης Μετριασμού & Προσαρμογής

Με βάση τα ανωτέρω η Δασική Διαχείριση καλείται να δώσει απαντήσεις σε δύο βασικά ερωτήματα:

- α) Πως θα ανταποκριθεί στην κλιματική αλλαγή;
- β) Πως θα ενσωματωθεί η υπηρεσία του Μετριασμού των Επιπτώσεων στις τρέχουσες πρακτικές και μεθόδους της διαχείρισης δασών;

Συνεπώς τα δασικά οικοσυστήματα πρέπει αφενός να προστατευτούν τα ίδια και αφετέρου να προστατέψουν τα υπόλοιπα οικοσυστήματα – συμπεριλαμβανομένων και των ανθρωπογενών – από τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής, παρέχοντας επιπλέον στον άνθρωπο και πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη. Έτσι οι δυνητικές απαντήσεις των ως άνω ερωτημάτων συγκεκριμενοποιούνται στα ακόλουθα «Μέτρα Προσαρμογής και Αντιμετώπισης»:

- Μείωση της ευπάθειας – ενίσχυση της ανθεκτικότητας των δασών στην κλιματική αλλαγή
- Απομάκρυνση νεκρών – προσβεβλημένων ατόμων
- Προστασία – ευνόηση αναγέννησης
- Ενίσχυση της θετικής επιλογής
- Ίδρυση μικτών συστάδων
- Φυτεύσεις – Εμπλουτισμός Δασών
- Περιορισμός αποψιλωτικών υλοτομιών
- Καλλιέργεια συστάδων
- Αυξομείωση περίτρουπου χρόνου (για δέσμευση CO₂, απομάκρυνση άρρωστων ατόμων, προστασία εδάφους κλπ.)
- Ιδιαίτερη προστασία συγκεκριμένων τμημάτων δασών
- Ενίσχυση κρασπεδικών ζωνών
- Προστασία από Πυρκαγιές
- Περιορισμός/Έλεγχος της Βόσκησης
- Προστασία των Δασικών Εδαφών & Υδάτων

Τα ανωτέρω θα επιτευχθούν με τη χρήση επιστημονικών και τεχνικών εργαλείων, όπως δείχνει το ακόλουθο σχήμα 4.

Τα εργαλεία αυτά μπορούν να περιγραφούν συνοπτικά ως εξής:

Υπολογισμός, μέτρηση και καταγραφή των ποσοτήτων δεσμευμένου άνθρακα βάσει του υπολογισμού της βιομάζας (ιστάμενης) και των κατακείμενων φυτικών υπολειμμάτων (φύλλα, κλαδιά, καρποί) με στόχο την ενσωμάτωσή τους στις αποθήκες άνθρακα, καθώς και την παρακολούθηση της απώλειας βάρους, λόγω αποσύνθεσής τους. Καταμέτρηση των ποσοτήτων άνθρακα στο έδαφος βάσει του ριζικού συστήματος, του χούμου και της φυσιολογίας του κάθε είδους. Προσδιορισμός του υψομορφάρθμου (τοπικά) για κάθε δασικό οικοσύστημα για την καλύτερη εκτίμηση του αποθηκευμένου διοξειδίου του άνθρακα.

Δειγματοληπτικές επιφάνειες με καταγραφή ποιοτικών και ποσοτικών στοιχείων (π.χ. ιστάμενων κατακείμενων δέντρων, υπόροφου, ευρωστίας, κάλυψης εδάφους κλπ.). Σταθμολογικές συνθήκες με καταγραφή ποιοτικών τόπου, βιοτικών – αβιοτικών

παραγόντων (κλίμα, βλάστηση, ανάγλυφο, γεωλογία), δειγματοληψίες εδάφους σε διάφορα βάθη τοπικά σε κάθε δασικό οικοσύστημα για την καλύτερη εκτίμηση της αποθήκευσης αλλά και τις μεταβολές του οργανικού άνθρακα στο έδαφος.



Σχήμα 4. Εργαλεία υλοποίησης των σκοπών διαχείρισης των δασών για την κλιματική αλλαγή.

Ίδρυση δικτύων παρακολούθησης και έρευνας όπως: εγκατάσταση μόνιμων δειγματοληπτικών επιφανειών στα δασικά οικοσυστήματα για καταγραφή τοπικά, μακροχρόνιων στοιχείων αύξησης (στηθιαία διάμετρος, ύψος, διάμετρος κόμης) δασικών ειδών, εγκατάσταση φορητών μετεωρολογικών σταθμών κοντά στα έργα δάσωσης για καταγραφή και συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων, με σκοπό τη δημιουργία αξιόπιστων μοντέλων πρόβλεψης της αφομοίωσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας.

Χρήση της τεχνολογίας με συστήματα συνεχούς παρακολούθησης και παροχής real time δεδομένων πεδίου, τηλεπισκοπικών δεδομένων για βελτίωση της χαρτογράφησης, Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών για εισαγωγή στοιχείων σε χωρικές βάσεις δεδομένων κλπ.

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι τα δάση επηρεάζονται από τις αρνητικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής και απαιτείται προσαρμογή για την επιβιώσή τους, αρχικά και στη συνέχεια για τη βελτίωση της συνεισφοράς τους ως αποθήκες άνθρακα. Ο Δασικός Τομέας έχει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων μπορεί να συμβάλει αποφασιστικά στη μακροχρόνια δέσμευση και αποθήκευση του CO₂ και στην αντικατάσταση των μη-ανανεώσιμων υλικών και πηγών ενέργειας.

Παράλληλα και με βάση τις διεθνείς τάσεις και υποχρεώσεις (νέα δέσμευση του Kyoto έως το 2020, αποτελέσματα Βαρσοβίας 2013, επικείμενη συνάντηση στο

Παρίσι 2015) η Αειφορική Διαχείριση των Δασικών Οικοσυστημάτων μέσα στο πλαίσιο μιας Πράσινης Οικονομίας², αποτελεί το εργαλείο για την επίτευξη των βασικών διεθνών στόχων και δεσμεύσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της Κλιματικής Αλλαγής και την αποφυγή των πιο δυσμενών σεναρίων.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Γαλατσίδας, Σ. (2012). Το πλαίσιο διαχείρισης των ελληνικών δασών. Σε: Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης (Επιμ). Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση. Αθήνα: WWF Ελλάς, σελ. 201-211
- Πρόγραμμα LIFE+ (2014). ADAPT FOR «Προσαρμογή της Διαχείρισης των Δασών στην Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα». Ε.Κ.Β.Υ. – Υ.ΠΕ.ΚΑ.

II. Ξενόγλωσση

- Buchner, B., Stadelmann, M., Wilkinson, J., Mazza, F., Rosenberg, A., Abramskieh, D. (2014). The Global Landscape of Climate Finance 2014. Climate Policy Initiative.
- Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., Kauppi, P. (1995). Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. In: Climate Change. Robert T. Watson, Marufu C. Zinyowera and Richard H. Moss, (Eds). Climate Change. Ch 24. Ανακτήθηκε στις 6 Νοεμβρίου 2015 από:
https://www.ipcc-wg2.gov/publications/SAR/SAR_Chapter%2024.pdf
- ECCP - Working Group on Forest Sinks (2010). Conclusions and recommendations regarding forest related sinks & climate change mitigation.
- European Committee (2012). DECISION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on accounting rules and action plans on greenhouse gas emissions and removals resulting from activities related to land use, land use change and forestry, EUROPEAN COMMISSION Brussels, 12.3.2012, COM93 final - 2012/0042 (COD).
- European INTERREG IVC Project FUTURE forest International Workshop (2010). Forest Sector Potential Contribution in the Context of Global Climate Policy. Latvia, Riga 20th of October.
- FOREST EUROPE (2011). Implementation of the Forest Europe commitments National and Pan-European Actions 2008–2011. FOREST EUROPE Liaison Unit Oslo.
- FOREST EUROPE (2011). State of Europe's Forests 2011 Status & Trends in Sustainable Forest Management in Europe. FOREST EUROPE Liaison Unit Oslo, the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- van der Werf, G.R., Morton, D.C., DeFries, R.S., Olivier, J.G.J., Kasibhatla, P.S., Jackson, R.B., Collatz, G.J., Randerson, J.T. (2009). CO₂ emissions from forest loss. Nature Geoscience. Vol. 2, pp. 737-738.

² Πράσινη οικονομία είναι αυτή που οδηγεί σε βελτίωση της ανθρώπινης ευημερίας και της κοινωνικής δικαιοσύνης, ενώ μειώνει σημαντικά τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και τις οικολογικές ελλείψεις (UNEP 2011: Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication).

- Böttcher, H., Freibauer, A., Scholz, Y., Gitz, V., Ciais, P., Martina Mund, M., Wutzler, T., Schulze, E.-D. (2012). Setting priorities for land management to mitigate climate change. *Carbon Balance and Management*, 7:5. Ανακτήθηκε στις 4 Νοεμβρίου 2015 από: <http://www.cbmjournal.com/content/7/1/5>
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Broadmeadow, M., Matthews, R. (2003). *Forests, Carbon and Climate Change: the UK Contribution*, Forestry Commission. Ανακτήθηκε στις 5 Νοεμβρίου 2015 από: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin048.pdf/\\$FILE/fcin048.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin048.pdf/$FILE/fcin048.pdf)
- Huettner, M., Leemans, R., Kok, K., Ebeling, J. (2009). A comparison of baseline methodologies for ‘Reducing Emissions from Deforestation and Degradation’. *Carbon Balance and Management*, 4:4. Ανακτήθηκε στις 3 Νοεμβρίου 2015 από: <http://www.cbmjournal.com/content/4/1/4>
- Köhl, M., Hildebrandt, R., Olschofksy, K., Köhler, R., Rötzer, T., Mette, T., Pretzsch, H., Köthke, M., Dieter, M., Abiy, M., Makeschin, F., Kenter, B. (2010). Combating the effects of climatic change on forests by mitigation strategies. *Carbon Balance and Management*, 5:8. Ανακτήθηκε στις 3 Νοεμβρίου 2010 από: <http://www.cbmjournal.com/content/5/1/8>
- Backlund, P., Janetos, A., Schimel, D. (2008). *The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity in the United States. Synthesis and Assessment Product 4.3 Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*.
- Hofer, P., Taverna, R., Werner, F., Kaufmann, E., Thürig, E. (2007). *The CO2 Effects of the Swiss Forestry and Timber Industry. Scenarios of future potential for climate-change mitigation*. Federal Office for the Environment FOEN.
- Moulton, R.J., Richards, K.R. (1990). U.S. Department of Agriculture Forest Service. *Costs of Sequestering Carbon through Tree Planting and Forest Management in the US*. General Technical Report WO-58.
- U.S. Environmental Protection Agency (March 2012). Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI). *Carbon Sequestration through Reforestation*.
- Verified Carbon Standard (2010). *Conversion of Low-productive forest to High-Productive forest (LtHP). VCS Proposed Methodology for Improved Forest Management. Version 1.5*

Συντομογραφίες

GHG: Green House Gas

IFM: Improved Forest Management

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

LtHP: Low to High Production

LUC: Land Use Change

LULUCF: Land Use, Land Use Change and Forestry

MCPFE: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe

REDD: Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation

UNEP: United Nations Environment Programme

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

UNFF: United Nations Forum on Forests

VCS: Verified Carbon Standard

Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΧΕΡΣΑΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Αντώνιος Παπαδημητρίου

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: tony_music21@me.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει επίκεντρο όλης της διεθνούς κοινότητας. Τα αίτια και οι επιπτώσεις της είναι οι δύο κυριότεροι παράγοντες που προβληματίζουν την επιστημονική κοινότητα. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλυθούν οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στα χερσαία οικοσυστήματα μέσα από αποτελέσματα διαφόρων ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί. Η κλιματική αλλαγή σίγουρα θα είναι ένα από τα θέματα τα οποία θα μελετηθούν εκτενώς από την επιστημονική κοινότητα τα επόμενα χρόνια. Οι επιπτώσεις της στα χερσαία οικοσυστήματα μπορεί να είναι απρόβλεπτες και με διαφορετικές συνέπειες από αυτές που ήδη έχουν αναφερθεί. Η μη πλήρης γνώση της λειτουργίας αλλά και των σχέσεων που αναπτύσσονται μέσα στα οικοσυστήματα δεν μας επιτρέπει να είμαστε εκατό τοις εκατό σίγουροι για τα αποτελέσματα που μπορεί να επακολουθήσουν. Αναμφίβολα οι παραπάνω προβλέψεις θα έχουν και ένα πολύ μεγάλο οικονομικό κόστος για τις σύγχρονες κοινωνίες οι οποίες θα κληθούν να αντιμετωπίσουν μεγάλες προκλήσεις. Η προστασία και η διατήρηση των φυσικών οικοσυστημάτων θα πρέπει να είναι άμεση προτεραιότητα των κυβερνήσεων. Η διαχείριση θα πρέπει να αποβλέπει στην αειφορία και στην διατήρηση των οικοσυστημάτων στην όσο το δυνατόν πιο φυσική τους μορφή ώστε να τα παραλάβουν οι επόμενες γενεές αναλλοίωτα.

Λέξεις κλειδιά: *Κλιματική αλλαγή, χερσαία οικοσυστήματα, αύξηση θερμοκρασίας της γης, φαινόμενο θερμοκηπίου*

Εισαγωγή

Από τότε που ο άνθρωπος αναπτύχθηκε επάνω στον πλανήτη γη άρχισε μέσω της δραστηριότητας του να μεταβάλλει τις οικολογικές ισορροπίες. Η εξέλιξη του νευρικού του συστήματος τον κατέστησε ως τον καλύτερο ανταγωνιστή έναντι των άλλων ζώων και του δόθηκε η δυνατότητα να εκμεταλλεύεται τους πόρους της γης με πολύ πιο αποτελεσματικό τρόπο (Βερεσόγλου 2004). Καθώς προχωρούσε η εξέλιξη του και χωρίς φυσικούς εχθρούς έφτασε στο σημείο να είναι ο κυρίαρχος όλης της γης με αποτέλεσμα ο πληθυσμός του να αυξάνεται συνεχώς (Βερεσόγλου 2004). Η μη παρουσία φυσικών εχθρών του έδωσε τη δυνατότητα να εκμεταλλεύεται τους φυσικούς πόρους της γης με εξαιρετικά ταχείς ρυθμούς (Βερεσόγλου 2004). Ήδη από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά οι ρυθμοί εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων αυξήθηκαν σημαντικά, από την εξαγωγή των ορυκτών μέχρι και την εκτεταμένη

εκμετάλλευση των επίγειων φυσικών πόρων (Haub 1995). Ο Haub 1995 προβλέπει ότι ο ανθρώπινος πληθυσμός θα φτάσει το 2150 στις αναπτυσσόμενες χώρες περίπου 12 δισεκατομμύρια. Ο αριθμός αυτός μας δείχνει ότι η ζήτηση για προϊόντα θα είναι συνεχώς πιο έντονη με αποτέλεσμα οι μη ανανεώσιμοι πόροι κάποια στιγμή να μην επαρκούν για την κάλυψη αυτών των αναγκών. Η συνεχιζόμενη και αυξανόμενη εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων έχει σαν αποτέλεσμα τη επιδείνωση του γνωστού πλέον σε όλους μας φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι (Dunne & Harte 2001) δίνουν ως αιτία της δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου τη δέσμευση της αντανακλώμενης από την επιφάνεια της γης υπέρυθρης ακτινοβολίας παγιδεύοντας έτσι τη θερμότητα. Χάρη σε αυτό το φαινόμενο είναι δυνατή η επιβίωση των ανθρώπων πάνω στον πλανήτη. Η επιδείνωση όμως αυτού του φαινομένου όπως προαναφέρθηκε γίνεται διότι ο άνθρωπος με τις δραστηριότητές του έχει αυξήσει σε σημαντικό βαθμό τις ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τους (Hansen et al. 1999) η μέση θερμοκρασία της γης τα τελευταία 140 έτη αυξήθηκε κατά 0,9 °C δηλαδή από 13,5 σε 14,4°C. Η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας ύστερα από την επίδραση του ανθρώπου αλλά και από την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων μας φέρνει πιο κοντά στην κλιματική αλλαγή.

Ως κλιματική αλλαγή σύμφωνα με την (UNFCC 1992) ορίζεται η μεταβολή του κλίματος ως συνέπεια των άμεσων ή έμμεσων δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Αυτό μας καθιστά σαφές ότι ο άνθρωπος παίζει τον καθοριστικότερο ρόλο στην εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής. Οι εκτεταμένες επεμβάσεις και οι αλόγιστες καρπώσεις από τα φυσικά οικοσυστήματα, χωρίς πρόνοια για την αειφορία και το μέλλον αυτών, είναι εμφανές ότι θα μας φέρουν αντιμέτωπους με καταστάσεις οι οποίες θα είναι δύσκολα αναστρέψιμες. Οι επεμβάσεις αυτές γίνονται κατά κύριο λόγο σε οικοσυστήματα στα οποία ο άνθρωπος έχει άμεση πρόσβαση. Αυτά τα οικοσυστήματα είναι τα χερσαία από τα οποία ο άνθρωπος εξαρτάται άμεσα για την επιβίωσή του καθώς παίρνει όλες τις πρώτες ύλες που χρειάζεται. Χερσαία οικοσυστήματα ονομάζονται τα οικοσυστήματα τα οποία βρίσκονται στην ξηρά. Αυτά χωρίζονται στις μεγακοινότητες οι οποίες είναι οι βιοκοινότητες ή τα οικοσυστήματα τα οποία καλύπτουν μεγάλες περιοχές. Η κάθε μια από τις μεγακοινότητες χαρακτηρίζεται από το κλίμα της περιοχής με καθοριστικά συστατικά τα κατακρημνίσματα και τις θερμοκρασίες τα οποία καθορίζουν τον τύπο βλάστησης που θα αναπτυχθεί (Βερεσόγλου 2004). Τα όρια τους δεν μπορούν να είναι ευκρινή καθώς στα όρια των μεγακοινοτήτων παρατηρείται μια ζώνη επικάλυψης στην οποία υπάρχουν χαρακτηριστικά και από τις δύο μεγακοινότητες πράγμα που καθιστά δύσκολη δημιουργία μιας συγκεκριμένης οριογραμμής (Βερεσόγλου 2004).

Σύμφωνα με τους (Cox&Moore 1993) οι μεγαλύτερες μεγακοινότητες του πλανήτη χωρίζονται σε εννέα κατηγορίες οι οποίες είναι:

- 1) Πάγοι
- 2) Τούνδρα
- 3) Βόρεια Κωνοφόρα Δάση
- 4) Εύκρατα Δάση
- 5) Εύκρατα Λιβάδια
- 6) Μεσογειακού τύπου Βλάστηση
- 7) Έρημοι
- 8) Τροπικά Λιβάδια
- 9) Τροπικά Βροχοδάση

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλυθούν οι επιδράσεις που θα υπάρξουν στα χερσαία οικοσυστήματα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Επίσης δίνεται περισσότερη έμφαση στα χερσαία οικοσυστήματα διότι είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Ντάφης 1986).

Μέθοδος έρευνας

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε κατά την χρονική περίοδο (Απριλίου - Μαΐου) του 2015, με θέμα: Η κλιματική αλλαγή και η επίδρασή της στα χερσαία οικοσυστήματα. Στα πλαίσια της 3^{ης} Επιστημονικής Δημερίδας στην Περιβαλλοντική Πολιτική και Φιλοσοφία με θέμα Κλιματική Αλλαγή: Διεπιστημονικές Προσεγγίσεις που διοργανώθηκε από το Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δ.Π.Θ στην Ορεστιάδα. Χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικές πηγές από ιστοσελίδες του διαδικτύου και συγγράμματα της βιβλιοθήκης του Δ.Π.Θ. στην Ορεστιάδα.

Αποτελέσματα

Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης

Από επιστημονικές αναλύσεις φαίνεται ότι η κατάσταση του πλανήτη δεν θα είναι ίδια τα επόμενα χρόνια καθώς προβλέπονται αλλαγές οι οποίες θα επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό τα οικοσυστήματα αλλά και τον άνθρωπο. Η κλιματική αλλαγή είναι υπαρκτή και πολλές από τις επιδράσεις που θα επιφέρει στα χερσαία οικοσυστήματα είναι αρκετά σημαντικές και με μεγάλο αντίκτυπο. Υπάρχουν πολλές εκτιμήσεις για τις επιδράσεις που θα επιφέρει η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας. Οι αλλαγές που προβλέπονται μπορεί να έχουν μικρή επίδραση στα οικοσυστήματα και να επανέλθει μια κατάσταση ισορροπίας, αλλά μπορεί να αλλοιώσουν σημαντικά ή και να απειλήσουν τη διατήρηση του οικοσυστήματος (Τσέκουρας 2004).

Οι (Dunne & Harte 2001) προβλέπουν ότι αν οι τιμές του CO₂ στην ατμόσφαιρα λόγω αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου φτάσουν σε διπλάσια επίπεδα τότε πιθανολογείται ότι η μέση θερμοκρασία της γης θα αυξηθεί κατά 1-3,5°C. Ακόμα όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο μιας περιοχής τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της. Η θερμοκρασία των πόλων μπορεί να αυξηθεί περίπου 10°C ενώ αντίστοιχα στον ισημερινό $\leq 1^\circ\text{C}$. Επίσης, θα παρατηρηθεί ύψωση των μέσων θερμοκρασιών κατά τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με τους θερινούς. Μια ακόμα εκτίμηση τους είναι ότι οι αυξημένες θερμοκρασίες θα επιφέρουν μεγαλύτερη εξάτμιση με αποτέλεσμα την ύπαρξη περισσότερων νεφών όπως επίσης και την αύξηση των ετήσιων παγκόσμιων κατακρημνισμάτων. Περιοχές σε μέσα και μεγάλα υψόμετρα θα δέχονται περισσότερη ποσότητα κατακρημνισμάτων με τη μορφή κυρίως βροχής. Τα εδάφη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες θα έχουν λιγότερη διαθεσιμότητα υγρασίας όπως επίσης λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας το λιώσιμο των πάγων θα γίνεται πιο νωρίς. Σύμφωνα με την ίδια εργασία αναμένεται να υπάρξει αύξηση στη συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασίες, καύσωνες, τυφώνες, κατακλυσμοί. Στην τελευταία τους πρόβλεψη αναφέρουν ότι η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας πιθανολογείται ότι μπορεί να φτάσει έως και τα 95 εκατοστά.

Επίδραση στα οικοσυστήματα

Η διαφορετική ύψωση της θερμοκρασίας στις διάφορες περιοχές της Γης θα επηρεάσει διάφορα φαινόμενα (Βερεσόγλου 2004). Πληθυσμοί των βόρειων κρατών όπου το κλίμα τους είναι ψυχρό ευελπιστούν ότι αν αυξηθεί η μέση θερμοκρασία στις περιοχές τους θα μπορούν να καλλιεργούν περιοχές που άλλοτε δεν μπορούσαν λόγω ψύχους. Αρκετά σημεία του πλανήτη στα οποία οι βροχοπτώσεις θα μειωθούν σημαντικά ενδέχεται να ερημοποιηθούν. Ακόμα οι υπάρχουσες έρημοι ενδέχεται να επεκτείνουν τα όρια τους καθώς οι συνθήκες μπορούν να γίνουν πιο ακραίες. Σύμφωνα με τους (Cox & Moore 1993) στα τελευταία 50 χρόνια η επέκταση της ερήμου Σαχάρα επεκτάθηκε προς το νότο σε 250.000 km² βοσκήσιμων περιοχών. Η ερημοποίηση περιοχών της Αφρικής μπορεί να είναι επιβλαβής για τα μεταναστευτικά πτηνά καθώς οι περιοχές αυτές μπορεί να είναι χρήσιμες για τη διαχείμασή τους. Επίσης οι περιοχές αυτές μπορεί να χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσοι σταθμοί κατά την μετανάστευση τους. Φυσικά δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί ο παράγοντας άνθρωπος καθώς μέσω της λανθασμένης γεωργίας σε περιοχές με μειωμένα ποσοστά υγρασίας επιτείνει το πρόβλημα της ερημοποίησης. Η λανθασμένη κατεργασία του εδάφους, η εκτεταμένη καλλιέργεια φυτών με υψηλές απαιτήσεις σε νερό και η βόσκηση εκτρεφόμενων ζώων επιβαρύνουν σε σημαντικό βαθμό τα εδάφη σε ημίξηρες περιοχές (Shouckri & Zachariadis 2012). Παράλληλα τα οικοσυστήματα που βρίσκονται στις αρκτικές περιοχές όπως τα βόρεια δάση κωνοφόρων θα υποστούν σε σημαντικό βαθμό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής. Τα φυτά των αρκτικών οικοσυστημάτων έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής σε συνθήκες πολύ χαμηλών θερμοκρασιών καθώς το έδαφος παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα παγωμένο. Το ριζικό σύστημα των φυτών είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους καθώς τα βαθύτερα στρώματα είναι μόνιμως παγωμένα. Τα στρώματα αυτά περιέχουν μεγάλα αποθέματα οργανικής ουσίας που δεν είναι διαθέσιμα στους αποικοδομητές (Βερεσόγλου 2004). Αν πραγματοποιηθεί αύξηση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη αύξηση της περιεκτικότητας του CO₂ της ατμόσφαιρας θα αυξήσει την εξάτμιση στην αρκτική τούνδρα και θα κατέβει η υπεδάφεια στάθμη των υδάτων (Βερεσόγλου 2004). Τα εδάφη των βόρειων κωνοφόρων δασών είναι από τις μεγαλύτερες αποθήκες άνθρακα όλων των χερσαίων οικοσυστημάτων. Αν ο αποθηκευμένος άνθρακας των βόρειων δασών ελευθερωνόταν στην ατμόσφαιρα από μόνος του θα αύξανε κατά 50% την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ (Goulden et al. 1998). Επίσης ένας μεγάλος κίνδυνος που ενδέχεται να υπάρξει στο μέλλον λόγω αύξησης της θερμοκρασίας σε αυτά τα δάση όπως και σε δάση της Μεσογείου είναι οι πυρκαγιές (Ακύλας Ε. κ.ά. 2005).

Επίδραση στα είδη φυτών και ζώων

Οι κλιματικές μεταβολές υπήρχαν ανέκαθεν. Τα φυτικά και ζωικά είδη έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής κατά την εξελικτική τους πορεία που τους επιτρέπει την επιβίωση τους σε δύσκολες κλιματικά συνθήκες. Η χρονική διάρκεια ώστε να πραγματοποιηθεί η γενετική προσαρμογή διαφέρει από είδος σε είδος. Κατά το παρελθόν οι κλιματικές μεταβολές που πραγματοποιήθηκαν είχαν τόσο μεγάλη χρονική διάρκεια που επέτρεπαν στα φυτά να προσαρμοστούν. Οι μεταβολές όμως λόγω της κλιματικής αλλαγής προβλέπονται να γίνονται σε πολύ συντομότερο διάστημα σε σχέση με αυτές του παρελθόντος. Έτσι ορισμένες κατηγορίες οργανισμών δεν θα μπορέσουν να ανταποκριθούν εξελικτικά στις κλιματικές μεταβολές (Dunne & Harte 2001). Ένας ακόμα τρόπος προσαρμογής των οργανισμών

σε αφιλόξενα περιβάλλοντα είναι και η μετανάστευση. Πολλοί οργανισμοί λόγω της κλιματικής αλλαγής θα αναγκαστούν να μεταναστεύσουν καθώς οι βιότοποί τους θα έχουν αλλιωθεί ή και καταστραφεί. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα αναγκάσει πολλούς οργανισμούς να μεταναστεύσουν από τα νοτιότερα προς τα βορειότερα γεωγραφικά πλάτη. Ύστερα από συγκρίσεις παλαιότερων καταγραφών εξάπλωσης των φυτικών ειδών που πραγματοποίησαν, οι Grabherr et al. (1994) βρήκαν ότι ο ρυθμός μετακίνησης τους προς μεγαλύτερα υψόμετρα κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως και τέσσερα μέτρα ανά δεκαετία. Οι (Dunne & Harte 2001) αναφέρουν ότι στην περίπτωση που η μέση θερμοκρασία θα αυξανόταν κατά 3°C τότε αυτό θα αντιστοιχούσε σε μια μετακίνηση των οργανισμών κατά 250 km σε γεωγραφικό πλάτος ή 500 m σε υψόμετρο.

Λόγω της υπερθέρμανσης προβλέπεται ότι θα εξαφανιστούν και κάποια είδη φυτών και ζώων. Όσο περισσότερο εντείνονται οι κλιματικές μεταβολές τόσο πιο πολύ θα αυξηθούν και οι εξαφανίσεις (Dunne & Harte 2001). Οι Dunne & Harte (2001) αναφέρουν ότι τα είδη που θα υποστούν μεγάλη καταπίεση και ενδέχεται και να εξαφανιστούν θα είναι είδη που διαβιούν σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Δηλαδή περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος όπου κατά την αύξηση της θερμοκρασίας θα δεχθούν μεγάλες αλλαγές αναλογικά με το πλάτος τους. Τα δάση βορείων κωνοφόρων και οι τούνδρες θα αποδιοργανωθούν και λόγω της μεγάλης έκτασης που καλύπτουν δεν θα μπορούν να εποικίσουν σε μεγαλύτερες περιοχές. Επίσης τα είδη που ζουν στις κορυφές των βουνών. Αυτά θα δεχθούν μια πίεση από κάτω προς τα πάνω καθώς αναμένεται ότι όσο ανεβαίνουμε υψομετρικά τόσο περισσότερη θα είναι και η αύξηση της θερμοκρασίας. Τα είδη αυτά θα δεχθούν την πίεση από άλλα είδη που βρίσκονται σε χαμηλότερα υψόμετρα από αυτά και ανεβαίνουν προς τα πάνω ενώ τα υπάρχοντα είδη δεν θα έχουν τη δυνατότητα να μετακινηθούν σε μεγαλύτερα υψόμετρα καθώς θα βρίσκονται στην κορυφή των βουνών.

Οι Dunne & Harte (2001) επίσης αναφέρουν μια ακόμα κατηγορία ειδών, αυτά τα οποία βρίσκονται σε παραλιακά και νησιωτικά οικοσυστήματα. Αυτά λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας είτε θα καλυφθούν από αυτήν με αποτέλεσμα να χαθούν ή θα επηρεαστούν όσον αφορά τις λειτουργίες τους. Οι εντονότερες παλίρροιες θα διαταράξουν την υδρολογία αλλά και την ισορροπία των διαφόρων βιοκοινοτήτων της περιοχής. Επιπλέον, οι ίδιοι συγγραφείς επισημαίνουν ότι τα είδη που είναι ευαίσθητα σε ακραία καιρικά φαινόμενα κινδυνεύουν σε πολύ μεγάλο βαθμό. Ομάδες φυτών και ζώων τα οποία έχουν μικρούς και απομονωμένους πληθυσμούς και έχουν μεγάλη ευαισθησία σε διαταραχές θα έχουν μεγάλες απώλειες. Η δομή των βιοκοινοτήτων θα επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό καθώς η ανταγωνιστική ικανότητα θα αυξάνεται και θα αλλοιώνονται οι ισορροπίες μεταξύ τους. Αξίζει να αναφερθούν και τα είδη τα οποία δεν είναι επιδεκτικά στη μετανάστευση. Αυτά που έχουν πολύ χαμηλή ή και καθόλου μεταναστευτική ικανότητα θα βρίσκονται σε υπερβολικά μειονεκτική θέση κατά τη διάρκεια της αύξησης της θερμοκρασίας ή της αύξησης της στάθμης της θάλασσας. Πληθυσμοί οι οποίοι έχουν αργούς ρυθμούς αύξησης του πληθυσμού τους θα είναι ευάλωτοι στην περίπτωση που οι κλιματικές μεταβολές είναι πιο γρήγορες από τον ρυθμό αύξησης τους. Παράλληλα, φυτά των οποίων η διασπορά των αναπαραγωγικών οργάνων γίνεται σε πιο αργούς ρυθμούς σε σχέση με την κλιματική μεταβολή δεν θα προλαβαίνουν να μεταναστεύσουν. Τα γεωγραφικά εμπόδια επίσης είναι ένας παράγοντας που εμποδίζει διάφορα είδη να μεταναστεύσουν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα ψάρια γλυκών υδάτων ή πουλιά και έντομα που αδυνατούν να προσπεράσουν περιοχές που δεν έχουν δασική βλάστηση. Οι παραπάνω είναι πληθυσμοί οι οποίοι δεν έχουν κοντά τους περιοχές οι

οποίες να προσιδιάζουν στις δικές τους βιολογικές ανάγκες. Εκτός από τα προαναφερόμενα οι Dunne & Harte (2001) αναφέρουν και τα σπάνια είδη. Λόγω της μικρής γενετικής παραλλακτικότητας τους αλλά και του μικρού αριθμού ατόμων που συνήθως διαθέτουν θα καθίστανται ευάλωτα προς εξαφάνιση κάτω από την ύπαρξη των κλιματικών μεταβολών. Σε αυτά μπορούν να προστεθούν και τα είδη τα οποία εξαρτώνται από διάφορα υδρολογικά φαινόμενα. Οι μετακινήσεις ορισμένων πληθυσμών ζώων εξαρτώνται από την περίοδο των βροχοπτώσεων ή από την περίοδο της πτώσης του χιονιού στις κορυφές των βουνών. Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας θα σημειωθούν μεταβολές στη διάρκεια και στο χρόνο διαφόρων υδρολογικών φαινομένων. Αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν την περίοδο αλλά και την ποσότητα της διαθέσιμης τροφής. Είδη τα οποία δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε αυτές τις μεταβολές θα εξαφανιστούν.

Ένα ακόμα πολύ ενδιαφέρον σημείο είναι αναφορά τους στα είδη τα οποία έχουν πολύ στενά όρια ανοχής ως προς τη θερμοκρασία ή βρίσκονται πολύ κοντά στα κρίσιμα όρια σε κάποιους αβιοτικούς παράγοντες. Πολλά είδη φυτών και ζώων δεν αντέχουν σε μεγάλες θερμοκρασίες καθώς είναι ολιγοθερμικά. Η μεταβολή της θερμοκρασίας προς τα πάνω στις περιοχές όπου διαβιούν μπορεί να θέσει κίνδυνο ακόμα και την επιβίωση στους καθώς έχουν πολύ χαμηλά όρια ανοχής σε τέτοιου είδους μεταβολές. Πληθυσμοί οι οποίοι έχουν αποκτήσει αλληλοεξαρτώμενες σχέσεις με άλλους οργανισμούς. Τα είδη αυτά όπως για παράδειγμα τα παρασιτικά φυτά εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον ξενιστή τους. Στην περίπτωση κλιματικών μεταβολών οι συνθήκες που θα δημιουργηθούν μπορεί να μην είναι ανεκτές από αυτά τα είδη με αποτέλεσμα να πρέπει να μεταναστεύσουν σε άλλες περιοχές. Η διασπορά των σπερμάτων τους όμως μπορεί να εξαρτάται και αυτή από διάφορα ζώα όπως πτηνά. Η ταχύτητα όμως των κλιματικών μεταβολών μπορεί να μην δώσει στα συγκεκριμένα είδη τον απαραίτητο χρόνο για να μετακινηθούν ή να προσαρμοστούν ώστε να μην κινδυνεύουν με εξαφάνιση.

Τέλος, οι Dunne & Harte (2001) δίνουν έμφαση στους κινδύνους που θα αντιμετωπίσουν είδη ή πληθυσμοί που επηρεάζονται αρνητικά από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Μέσω των διαφόρων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων πολλά είδη και οργανισμοί καταπονούνται. Επειδή όμως οι οργανισμοί αναπτύσσουν διάφορες σχέσεις μεταξύ τους αυτή η καταπόνηση μπορεί να μεταφερθεί αλυσιδωτά σε άλλους οργανισμούς ή μπορεί να ευνοηθούν κάποιοι άλλοι. Αν κάποιο είδος φυτού εξασθενήσει ως αποτέλεσμα των κλιματικών μεταβολών κάποιο άλλο μπορεί να ευνοηθεί από αυτήν την εξασθένηση ή να εξασθενήσει και αυτό. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που απαντάται και στη χώρα μας είναι η ξήρανση της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*). Τα τελευταία χρόνια λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων παρατηρείται εξασθένηση των ατόμων της ελάτης (Κόκλα κ.ά. 2010) τα οποία λόγω της εξασθένησης αυτής γίνονται ευάλωτα στην προσβολή από διάφορα έντομα. Παράλληλα ο ιξός (*Viscum album*) ο οποίος είναι ένα φυτό το οποίο χρησιμοποιεί την ελάτη ως ξενιστή καταπονείται και αυτός από αυτήν την εξέλιξη. Οπότε βλέπουμε ότι οι κλιματικές μεταβολές μπορούν να ευνοήσουν ή να καταπονήσουν τον κάθε οργανισμό με διαφορετικό τρόπο.

Επιδράσεις στη φυσιολογία φυτών και ζώων

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές έχει παρατηρηθεί ότι επηρεάζουν τη φυσιολογία και φαινολογία των φυτών. Παράλληλα έχει παρατηρηθεί ότι επηρεάζει επίσης και τα ζώα. Η πρόωμη άνθηση των φυτών θα είναι πιο συχνό φαινόμενο (IPCC 2007). Οι

Fitter & Fitter (2002) επιβεβαιώνουν την μεταβολή της πρώτης ανθοφορίας των φυτών της Βρετανίας κατά 4,5 μέρες. Αυτό μας δείχνει ότι σε περίπτωση μεγαλύτερης αύξησης της θερμοκρασίας ενδέχεται να παρουσιαστεί ακόμα πρωιμότερη ανάπτυξη των ανθέων. Στα ζώα αντίστοιχα έχει φανεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επισπεύδει την ωοτοκία στα πουλιά. Οι Brown et al. (1999) μετά από έρευνα που πραγματοποίησαν στο πουλί *Aphelocoma ultramarina* βρήκαν ότι το πουλί ωοτόκισε κατά δέκα μέρες νωρίτερα τα αυγά του. Αυτό το απέδωσαν στην αύξηση των ελαχίστων μηνιαίων θερμοκρασιών.

Η αύξηση της θερμοκρασίας όπως προαναφέρθηκε θα επιφέρει αύξηση της εξάτμισης του επιφανειακού νερού (Ακύλας κ.ά. 2005). Η μη ύπαρξη διαθέσιμης ποσότητας νερού μειώνει σημαντικά τον ρυθμό αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας που βρίσκεται στο έδαφος. Αν η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας γίνεται με βραδύτερους ρυθμούς έχουμε αποτέλεσμα την υπερσυσσώρευση νεκρής οργανικής ύλης στο έδαφος (Βερεσόγλου 2004). Αυτή η υπερσυσσωρευμένη νεκρή οργανική ύλη μπορεί να λειτουργήσει αρνητικά κατά την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς. Η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας καύσιμης ύλης έχει σαν αποτέλεσμα φωτιές με μεγαλύτερη ένταση και διάρκεια. Τα μεσογειακά οικοσυστήματα λόγω της ιδιαίτερης βλάστησης, κλίματος και τοπογραφίας που έχουν είναι πιο ευάλωτα σε πυρκαγιές (Shouckri & Zachariadis 2012). Η χώρα μας η οποία έχει πολλά φαινόμενα πυρκαγιών θα είναι σε μεγαλύτερο βαθμό ευάλωτη τα επόμενα χρόνια με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Η ύπαρξη πυρόφιλων ειδών δέντρων, οι υψηλές θερμοκρασίες και η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας καύσιμης ύλης στα οικοσυστήματα μας ενδέχεται να επιφέρει φωτιές πολύ μεγάλης έντασης (Βερεσόγλου 2004).

Βιοποικιλότητα

Ένας πολύ σημαντικό κομμάτι που θα επηρεαστεί από την κλιματική αλλαγή είναι αυτό της βιοποικιλότητας ή βιολογικής ποικιλότητας. Ως βιολογική ποικιλότητα νοείται η ποικιλία των ζώντων οργανισμών πάσης προελεύσεως περιλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, χερσαίων, θαλασσιών και άλλων υδατικών οικοσυστημάτων και οικολογικών συμπλεγμάτων, των οποίων αποτελούν μέρος (COM 2003). Όπως αναφέρει ο Ντάφης (1986) όσα περισσότερα είδη μετέχουν σε ένα οικοσύστημα και όσο περισσότερες λειτουργίες ασκούν τα είδη αυτά, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλότητα ενός οικοσυστήματος, τόσο μεγαλύτερη ικανότητα αυτορρύθμισης έχει το οικοσύστημα και κατ' επέκταση τόσο σταθερότερο είναι. Η βιοποικιλότητα διακρίνεται συνήθως σε τρία επίπεδα τη γενετική ποικιλότητα, την ποικιλότητα των ειδών και την ποικιλότητα των οικοσυστημάτων. Τα τρία αυτά επίπεδα συντελούν σε μεγάλο βαθμό στην οργάνωση της ζωής καθώς περιλαμβάνουν όλες αυτές τις δομές που χρειάζεται ώστε να υπάρξει ζωή. Τις τελευταίες δεκαετίες άρχισε να γίνεται εμφανής η αξία της βιολογικής ποικιλότητας για την ανθρωπότητα με αποτέλεσμα να υπάρξουν συντονισμένες ενέργειες για την προστασία της. Ο ρόλος της βιολογικής ποικιλότητας στη ζωή μας είναι πάρα πολύ μεγάλος. Συμβάλει στην υγεία και την ευημερία μας καθώς και στην ενίσχυση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων. Ο άνθρωπος όμως τις τελευταίες δεκαετίες έχει υποβληθεί στην υποβάθμιση και απώλεια της βιολογικής ποικιλότητας επάνω στον πλανήτη. Η υποβάθμιση αυτή συνδέεται και με την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών που αυτά παρέχουν. Τέτοιες υπηρεσίες είναι οι λειτουργίες και διάφορες διεργασίες από τις οποίες ο άνθρωπος επωφελείται και εξυπηρετεί τις φυσιολογικές του ανάγκες.

Σύμφωνα με την αξιολόγηση των οικοσυστημάτων της χιλιετίας (Millennium Assessment 2005) οι υπηρεσίες που παρέχουν τα οικοσυστήματα είναι να παρέχουν φυσικούς πόρους για την επιβίωση των ανθρώπων, να επηρεάζουν την καλή σωματική και ψυχική υγεία των ανθρώπων. Επιπλέον, να παίζουν ρυθμιστικό ρόλο σε διάφορες διεργασίες που γίνονται μέσα στη φύση όπως επίσης να παίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομία των χωρών καθώς προσφέρουν πρώτες ύλες για τη βιομηχανία και τη γεωργία όπως επίσης για τον τουρισμό και την αναψυχή. Τέλος μια σημαντική παροχή είναι να συμβάλλουν στην ποιότητα ζωής καθώς προσφέρουν ποικίλα οφέλη όπως κοινωνικά και εκπαιδευτικά. Οι ωφέλειες όμως αυτές ενδέχεται να επηρεαστούν σημαντικά καθώς η κλιματική αλλαγή θα προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις σε πολλές πλευρές της βιολογικής ποικιλότητας (Alcamo et al. 2007, IPCC 2007). Η κλιματική αλλαγή ήδη επιδρά στα είδη καθώς παρατηρούνται μετατοπίσεις φυτικών ειδών σε πολλά μέρη του πλανήτη. Οι Malcolm et al. (2006) αναφέρουν ότι τα ενδημικά φυτά και σπονδυλωτά της Μεσογειακής λεκάνης είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις κλιματικές αλλαγές. Στην IPCC (2007) εκτιμάται ότι η κλιματική αλλαγή θα επιδεινώσει την απώλεια των ειδών και ιδίως τα είδη των οποίων οι απαιτήσεις κλιματικές και οικολογικές, είναι περιορισμένες και οι ικανότητες μετανάστευσης τους πολύ μικρές. Η χώρα μας βρίσκεται ανάμεσα στις χώρες με την πιο πλούσια χλωρίδα της Ευρώπης η οποία αριθμεί 5.500 είδη και υποείδη. Από αυτά το 13% είναι ενδημικά είδη και ένα 4% αυτών θεωρούνται απειλούμενα. 300 είδη και υποείδη της Ελληνικής χλωρίδας αναφέρονται στο Κόκκινο Βιβλίο για τα σπάνια και απειλούμενα φυτά της Ελλάδας (Φοίτος κ.ά. 2009). Οι μεγαλύτερες μειώσεις στην αφθονία των ειδών προβλέπεται να συμβούν σε περιοχές της νότιας Ευρώπης και σε περιοχές της Ιταλίας, Ελλάδας και Ιβηρικής Χερσονήσου όπου νησιά των περιοχών αυτών αναμένεται να χάσουν πολύ μεγάλο ποσοστό της τρέχουσας αφθονίας των ειδών τους.

Εκτός από τα φυτά αναμένονται και μειώσεις πληθυσμών και σε ζώα (Schwartz, M.W. et al. 2006). Οι Levinsky et al. (2007) αναφέρουν ότι τα θηλαστικά *Acomys minous* και *Crocidura zimmermanni* αναμένεται να εξαφανιστούν, σε κάποιο σενάριο κλιματικής αλλαγής, στην περίπτωση που δεν έχουν τη δυνατότητα μετανάστευσης. Τις ίδιες συνέπειες ενδέχεται να έχουν και τα είδη *Myomimus roachi* και *Sciurus anomalus*. Στην περίπτωση που επιβεβαιωθούν οι προβλέψεις για αύξηση της στάθμης της θάλασσας πολλά είδη φυτών που φύονται σε παράκτιες περιοχές θα κινδυνεύσουν άμεσα. Στην περίπτωση που αυτά τα φυτά είναι ενδημικά και έχουν πολύ χαμηλούς προσαρμοστικούς ρυθμούς ενδέχεται και να εξαφανιστούν. Επίσης διάφορα είδη ζώων τα οποία ζουν σε πολύ μικρά νησιά σε περίπτωση αύξησης της στάθμης της θάλασσας ενδέχεται να παρουσιάσουν μείωση του πληθυσμού τους λόγω μείωσης της χωροκράτίας και του ενδιαιτήματός τους (Dunne & Harte 2001).

Περιβαλλοντικοί πρόσφυγες

Ένα αρκετά καινούργιο φαινόμενο που ανακλύπτει τα τελευταία χρόνια και προβληματίζει σε μεγάλο βαθμό είναι το φαινόμενο των περιβαλλοντικών προσφύγων. Ο Καθηγητής Norman Mayers το 1994 διατύπωσε έναν ορισμό για τους περιβαλλοντικούς πρόσφυγες, όπου “Περιβαλλοντικοί πρόσφυγες είναι οι άνθρωποι που αδυνατούν να εξασφαλίσουν με ασφάλεια τα προς το ζην στον τόπο κατοικίας τους κυρίως εξαιτίας της ξηρασίας, της διάβρωσης του εδάφους, της απερίμωσης και άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, αλλά και σε συνάρτηση με συναφή προβλήματα κοινωνικής πίεσης και έντονης φτώχειας. Μέσα στην απελπισία τους οι

άνθρωποι αυτοί αισθάνονται πως δεν έχουν άλλη εναλλακτική λύση από το να αναζητήσουν καταφύγιο κάπου αλλού, όσο ριψοκίνδυνο και αν θεωρείται αυτό. Δεν εγκαταλείπουν όλοι απαραίτητα τη χώρα τους, πολλοί μετακινούνται απλά στο εσωτερικό της (εσωτερικώς εκτοπισμένα άτομα). Στο σύνολό τους, ωστόσο έχουν ελάχιστες έως μηδαμινές πιθανότητες να επιστρέψουν ξανά στις εστίες τους.” (Μητροπούλου 2006). Η Μητροπούλου (2006) διακρίνει του πρόσφυγες σε έξι διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τα αίτια που συνέβαλλαν ώστε να μετακινηθούν από τις εστίες τους. Αυτούς που έχουν εκτοπιστεί λόγω φυσικών καταστροφών. Στην κατηγορία αυτή η βασική αιτία που εξαναγκάζει τα άτομα να εγκαταλείψουν τις εστίες τους είναι η πρόκληση σφοδρών φυσικών φαινομένων, όπως έντονες πλημμύρες κατά τη διάρκεια έντονων και ακραίων καιρικών φαινομένων, σεισμοί, τροπικοί κυκλώνες, διολισθήσεις εδάφους. Μόνο στην Ινδία κάθε χρόνο από φυσικές καταστροφές επηρεάζονται 15 εκατομμύρια άνθρωποι. (Μητροπούλου 2006). Η συγκεκριμένη κατηγορία προσφύγων σχετίζεται άμεσα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να έχουν αυξηθεί τέτοιου είδους φαινόμενα. Μια άλλη κατηγορία είναι η μετακίνηση προσφύγων που οφείλεται σε σταδιακά «συσσωρευμένες» μεταβολές. Αυτές οι μεταβολές ακολουθούν έναν αργό ρυθμό και μαζί με τις ανθρώπινες δραστηριότητες ενισχύονται και αλληλεπιδρούν. Τέτοια φαινόμενα είναι η υποβάθμιση και η διάβρωση του εδάφους, η ερημοποίηση, η ξηρασία και η έλλειψη πόσιμου νερού, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ως συνέπεια της αύξησης της θερμοκρασίας πιστεύεται ότι θα επηρεάσει εκατομμύρια ανθρώπους σε παράκτιες περιοχές, ιδιαίτερα στην Κίνα, στο Μπαγκλαντές, στην Αίγυπτο και σε πολλά νησιά του Ειρηνικού ωκεανού.

Μια ακόμα σημαντική κατηγορία είναι οι εκτοπισθέντες πρόσφυγες λόγω υποβάθμισης του περιβάλλοντος από ανθρωπογενείς παρεμβολές. Σε αυτήν την περίπτωση χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εντατική εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Η υποβάθμιση του εδάφους που το καθιστά μη βιώσιμο αναγκάζει τους πληθυσμούς να εγκαταλείψουν τις συγκεκριμένες περιοχές. Η αποψίλωση των τροπικών δασών τα έχει φέρει σε τέτοια κατάσταση όπου έχουν υποστεί ανεπανόρθωτη ζημιά με αποτέλεσμα οι αυτόχθονες πληθυσμοί να αναγκάζονται να μετακινηθούν. Οι άλλες τρεις κατηγορίες που αναφέρονται από την Μητροπούλου (2006) επηρεάζονται εμμέσως από διάφορους παράγοντες αλλά είναι εξίσου σημαντικές. Αυτοί είναι οι πρόσφυγες που έχουν εκτοπιστεί λόγω κυβερνητικών πολιτικών, π.χ. όταν πολιτικές αποφάσεις για τη δημιουργία αναπτυξιακών έργων έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατόπιση εκατομμυρίων ανθρώπων. Η μετακίνηση προσφύγων που οφείλεται σε εκουσίως προκαλούμενα ατυχήματα και βιομηχανικά ατυχήματα. Τέτοιοι πρόσφυγες δημιουργούνται από την περιβαλλοντική ρύπανση αλλά και από ατυχήματα που μπορεί να προκληθούν σε μεγάλα εργοστάσια. Η τελευταία κατηγορία αφορά πρόσφυγες που έχουν εκτοπιστεί λόγω πολέμων που πραγματοποιούνται για την κυριαρχία φυσικών πόρων. Οι συγκρούσεις για την κυριαρχία φυσικών πόρων έχουν προκαλέσει αρκετούς πολέμους στο παρελθόν. Κατά τη διάρκεια τέτοιων συγκρούσεων μεγάλα κύματα ανθρώπων προσπαθούν να διασωθούν και να βρουν καταφύγιο σε άλλες περιοχές.

Οι περιβαλλοντικοί πρόσφυγες αναμφίβολα είναι ένα φαινόμενο που θα το δούμε σε μεγάλο βαθμό τα επόμενα χρόνια. Τα έντονα καιρικά φαινόμενα τα οποία τα τελευταία χρόνια έχουν πολύ μεγάλη ένταση και σχετικά μεγάλη συχνότητα θα δημιουργήσουν μεγάλα προσφυγικά κύματα. Μερικά από τα ερωτήματα - προβλήματα που θα προκύψουν είναι: Που θα εγκατασταθούν αυτές οι μεγάλες μάζες

ανθρώπων; Οι περιοχές στις οποίες θα εγκατασταθούν σε τι βαθμό θα υποστούν υποβάθμιση; Από τη στιγμή που θα εγκατασταθούν τέτοιες μεγάλες μάζες ανθρώπων θα πρέπει να εξασφαλίσουν την επιβίωσή τους χρησιμοποιώντας τους φυσικούς πόρους που έχουν άμεσα κοντά τους. Η εκμετάλλευση των πόρων πόσο συγκροτημένα θα γίνει ώστε να μην υπάρξει υποβάθμιση; Ποια θα είναι η υποβάθμιση του εδάφους;

Όλα αυτά είναι κάποια από τα ερωτήματα που θα κληθούμε να απαντήσουμε στο μέλλον όταν τα φαινόμενα αυτά θα έχουν πάρει πιο μεγάλες διαστάσεις λόγω της κλιματικής αλλαγής και του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή σίγουρα θα είναι ένα από τα θέματα τα οποία θα μελετηθούν εκτενώς τα επόμενα χρόνια από την επιστημονική κοινότητα. Οι επιπτώσεις της στα χερσαία οικοσυστήματα μπορεί να είναι απρόβλεπτες και με διαφορετικές συνέπειες από αυτές που ήδη έχουν αναφερθεί. Η μη πλήρης γνώση της λειτουργίας αλλά και των σχέσεων που αναπτύσσονται μέσα στα οικοσυστήματα δεν μας επιτρέπει να ήμαστε εκατό τοις εκατό σίγουροι για τα αποτελέσματα που μπορεί να επακολουθήσουν. Αναμφίβολα οι παραπάνω προβλέψεις θα έχουν και ένα πολύ μεγάλο οικονομικό κόστος για τις σύγχρονες κοινωνίες οι οποίες θα κληθούν να αντιμετωπίσουν μεγάλες προκλήσεις. Η προστασία και η διατήρηση των φυσικών οικοσυστημάτων θα πρέπει να είναι άμεση προτεραιότητα των κυβερνήσεων. Η διαχείριση θα πρέπει να αποβλέπει στην αειφορία και στην διατήρηση των οικοσυστημάτων στην όσο το δυνατόν πιο φυσική τους μορφή ώστε να τα παραλάβουν οι επόμενες γενεές αναλλοίωτα.

Βιβλιογραφία

1. Ελληνόγλωσση

- Ακύλας, Ε., Λυκούδης, Σ. Λάλας, Δ. (2005). Κλιματική Αλλαγή στον Ελλαδικό χώρο. Ανάλυση παρατηρήσεων: Τάσεις των τελευταίων 100 ετών. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών, Αθήνα
- Βερεσόγλου, Δ. (2004). Οικολογία, Β' Έκδοση, Λάρισα: Εκδόσεις Έλλα.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2003). Η εφαρμογή εκ μέρους της ΕΚ των "Κατευθύνσεων της Βόννης" σχετικά με την πρόσβαση στους γενετικούς πόρους και τη διανομή των εξ αυτών οφελών στο πλαίσιο της συμβασης για τη βιοποικιλότητα, COM (2003) 821 τελικό.
- Κόκλα, Φ., Αργιαλάς, Δ., Κασσιός, Κ. (2010). Αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνων IKONOS για την εξέταση της επιδημίας της ξήρανσης της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, 8ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, 4-7 Οκτωβρίου. Ανακτήθηκε στις 10 Σεπτεμβρίου 2015 από: http://www.parnitha-np.gr/paper_kokla_argialas%5D.pdf
- Μητροπούλου, Ι.Μ. (2006). Κλιματικές αλλαγές και περιβαλλοντικοί πρόσφυγες, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, Πάντειο Πανεπιστήμιο.
- Ντάφης, Σ. (1986). Δασική Οικολογία. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.

- Τσέκουρας, Β. (2004). Μελέτη της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής σε δασικά οικοσυστήματα με τη χρήση μοντέλων. Τμήμα Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Φοίτος, Δ., Κωνσταντινίδης, Θ., Καμάρη, Γ. (Επιμ) (2009). Βιβλίο Ερυθρών Δεδομένων των Σπανίων και Απειλούμενων Φυτών της Ελλάδας. Πάτρα: Ελληνική Βοτανική Εταιρία.

II. Ξενόγλωσση

- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E., Shvidenko, A. (2007). Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.
- Brown, J.L., Li, S.H., Bhagabati, N. (1999). Long-term trend toward earlier breeding in an American bird: a trend toward earlier breeding in an American bird: a response to global warming? Proceedings of the National Academy of Science of the USA. Vol. 96, No. 10, pp. 5565-5569.
- Cox, C.B., Moore, P.D. (1993). Biogeography: an Ecological and Evolutionary Approach, 5th edition. Oxford: Blackwell.
- Dunne, J.A., Harte, J. (2001). Greenhouse effect. Encyclopedia of Biodiversity, Vol. 3, Academic Press, San Diego, pp. 277-293.
- Fitter, A.H., Fitter, R.S.R. (2002). Rapid changes in flowering time in British plants. Science. Vol. 296, pp.1689-1691.
- Goulden, M. L., Wolfst, S.C., Harden, J.W. Trumbore, S.E., Crill, P.M., Gower, S.T., Fries, T., Daube, B.C., Fan, S.M., Sutton, D.J., Bazzaz, A., Murger, J.W. (1998). Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. Science. Vol. 279, pp. 214-217.
- Grabherr, G., Gottfried, M., Pauli, H. (1994). Climate effects on mountain plants. Nature. Vol. 369, pp. 448-448.
- Hansen, J., Ruedy, R., Glascoe, J., Sato, M. (1999). GIS analysis of surface temperature change. Journal of Geophysical Research-Atmospheres. Vol. 104, pp. 30997-31022.
- Haub, C. (1995). Global and US. National Population Trends. Consequences. Vol. 1, No 2.
- IPCC (2007), Summary for Policymakers, in Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.
- Levinsky, I., Skov, F., Svenning, J.C., Rahbek, C. (2007). Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. Biodiversity and Conservation. Vol. 16, pp. 3803-3816.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. World Resource Institute, Washington, DC, USA.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (1992). United Nations.

- Schwartz, M.W., Iverson, L.R., Prasad, A.M., Matthews, S.N., O'Connor, R.J. (2006). Predicting extinctions as a result of climate change. *Ecology*. Vol. 87, No. 7, pp. 1611–1615.
- Shoukri E., Zachariadis, T. (2012). Climate Change in Cyprus: Impacts and Adaptation Policies. Environmental Policy Research Group Report 01□12. Cyprus University of Technology, Limassol, Cyprus.

**ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ:
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΡΝΗΤΙΚΩΝ
ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ**

Αναστασία Κ. Πασχαλίδου

Λέκτορας

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: apascha@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι ευρέως γνωστό ότι η θερμική καταπόνηση των πληθυσμών, εξαιτίας των ακραίων θερμοκρασιών και της αναμενόμενης, λόγω κλιματικής αλλαγής, συχνότερης εμφάνισης κυμάτων καύσωνα, ενδέχεται να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των επιπέδων θνησιμότητας και γενικότερη υποβάθμιση της δημόσιας υγείας. Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η επίπτωση των ακραίων θερμοκρασιών στην θνησιμότητα για την περιοχή της Κύπρου, ενώ παράλληλα εξετάζεται η συνέργεια μεταξύ θερμοκρασίας και σωματιδιακής ρύπανσης και οι συνδυαστικές επιπτώσεις τους στην δημόσια υγεία, μέσω ενός γενικευμένου γραμμικού μοντέλου. Η ανάλυση εφαρμόζεται για το σύνολο της επικράτειας, αλλά και για αστικές/παράκτιες περιοχές. Οι δράσεις αυτές και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ αποτελούν μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος εκτίμησης των επιπτώσεων και ανάπτυξης δράσεων για την προστασία της δημόσιας υγείας και τον περιορισμό των αρνητικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή της Κύπρου.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, ακραίες θερμοκρασίες, σωματιδιακή ρύπανση, θερμική καταπόνηση, Κύπρος

Εισαγωγή

Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), με τον όρο «Κλιματική Αλλαγή» νοείται οποιαδήποτε μεταβολή στην κατάσταση του κλίματος, όπως αυτή προσδιορίζεται (π.χ. με τη χρήση στατιστικών δοκιμών/τεστ) μέσω των μεταβολών της μέσης τιμής ή/και της διακύμανσης των κλιματικών παραμέτρων για μια μακρά χρονική περίοδο της τάξης των δεκαετιών ή και περισσότερο. Η Κλιματική Αλλαγή μπορεί να οφείλεται σε φυσικές εσωτερικές διεργασίες ή εξωτερικές ωθήσεις, όπως επίσης και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στη σύσταση της ατμόσφαιρας ή στις χρήσεις γης (IPCC 2012). Στα πλαίσια μελέτης της Κλιματικής Αλλαγής, συχνά γίνεται λόγος για «Ακραία Κλιματικά (ή Καιρικά) Φαινόμενα». Πρόκειται για τις περιπτώσεις εκείνες, κατά τις οποίες μια μετεωρολογική ή κλιματική παράμετρος υπερβαίνει την τιμή που έχει οριστεί ως ανώτερο (ή κατώτερο) όριο της ζώνης των παρατηρούμενων τιμών.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, έχει παρατηρηθεί σημαντική στροφή του ερευνητικού ενδιαφέροντος στην μελέτη των επιπτώσεων του ακραίου καιρού στη δημόσια υγεία. Ειδικότερα, ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών δημοσιεύσεων (πχ Kovats & Hajat 2008, Gosling et al. 2009) συμπεραίνουν ότι οι ακραίες θερμοκρασίες και η συχνότερη εμφάνιση κυμάτων καύσωνα ενδέχεται να οδηγήσουν σε σημαντική αύξηση της θερμικής καταπόνησης και, ως εκ τούτου, σε αύξηση των επιπέδων της θνησιμότητας που οφείλεται σε θερμικό στρες. Παρά τις διακυμάνσεις που παρατηρούνται μεταξύ των διαφόρων νοσημάτων, οι ενδείξεις για την σημαντικότητα της σχέσης μεταξύ υψηλών θερμοκρασιών και συνολικής θνησιμότητας (όπως και θνησιμότητας οφειλόμενης σε καρδιαγγειακά, εγκεφαλικά και αναπνευστικά νοσήματα) είναι ισχυρές (Armstrong 2006, Armstrong et al. 2011, Hajat et al. 2007, 2014, Michelozzi et al. 2010, Rocklöv & Forsberg 2010).

Σήμερα είναι πλέον γνωστό ότι η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας είναι μη γραμμική, η δε καμπύλη της σχέσης έχει μορφή -U, -V, -J έως και ανεστραμμένου -J. Η ελάχιστη τιμή της θνησιμότητας παρατηρείται για μια δεδομένη τιμή θερμοκρασίας ή για ένα εύρος θερμοκρασιών, που είναι γνωστό ως «κατώφλι» (threshold). Πέρα από αυτό το κατώφλι θερμοκρασιών η θνησιμότητα αυξάνει, με την μέγιστη θνησιμότητα να παρατηρείται όταν προσεγγίζονται τα ακρότατα της θερμοκρασίας. Η σχέση αυτή μεταξύ θνησιμότητας και θερμοκρασίας έχει προσδιοριστεί για πολλές γεωγραφικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της Ευρώπης, των ΗΠΑ, της Κίνας κλπ (Armstrong 2006, Armstrong et al. 2011, Baccini et al. 2008, Braga et al. 2001, Curriero et al. 2002, Guo et al. 2011, Hajat & Kosatky 2010).

Σημαντικές είναι επίσης οι ενδείξεις για την ύπαρξη της λεγόμενης «χρονικής υστέρησης», δηλαδή του φαινομένου κατά το οποίο οι αρνητικές επιπτώσεις του θερμικού στρες μπορεί να εμφανίζονται μετά από ορισμένες ημέρες από την έκθεση των ατόμων στις ακραίες συνθήκες. Υπ' αυτήν την έννοια, τα περιστατικά θανάτων που σημειώνονται κατά την ημέρα n μπορεί να οφείλονται στην έκθεση κατά τις ημέρες $n-i$, όπου ο αριθμός i εκφράζει την αλληλουχία των διαδοχικών ημερών που προηγήθηκαν της εμφάνισης του περιστατικού (Anderson & Bell 2009, Braga et al. 2001, Gasparrini et al. 2010).

Αξίζει επίσης να υπογραμμιστεί ότι η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας μπορεί να καταλύεται από μια σειρά παραμέτρων που είναι γνωστές στη διεθνή βιβλιογραφία ως «confounders». Οι confounders παίζουν ενεργό ρόλο, όταν μια μεταβλητή σχετίζεται ισχυρά τόσο με την έκθεση όσο και με την επίπτωση που αυτή προκαλεί, χωρίς να είναι αποτέλεσμα της έκθεσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα confounder αποτελούν οι μετεωρολογικές παράμετροι, όπως για παράδειγμα η σχετική υγρασία, που είναι γνωστό ότι σχετίζεται ισχυρά με τη θερμοκρασία (έκθεση) αλλά και με το αποτέλεσμα της έκθεσης, δηλαδή την θνησιμότητα (Armstrong et al. 2011, Braga et al. 2001, Curriero et al. 2002, Guo et al. 2011).

Παράλληλα, άλλες μελέτες αναδεικνύουν την συνέργεια μεταξύ ατμοσφαιρικών ρυπαντών και ακραίων θερμοκρασιών και τις συνδυαστικές επιπτώσεις τους στην δημόσια υγεία (Almeida et al. 2010, Baccini et al. 2008, Zanobetti & Schwartz 2008). Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται από περιοχή σε περιοχή, αλλά και στο ίδιο το μέγεθος της στατιστικής σχέσης μεταξύ ρυπαντών, θερμοκρασίας και θνησιμότητας, μπορούν να ερμηνευτούν, αν ληφθούν υπόψη οι διακυμάνσεις στη συγκέντρωση και την φύση των ρυπαντών, στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των κυμάτων καύσωνα από περιοχή σε περιοχή κλπ. Ειδικότερα, η σωματιδιακή ύλη PM_{10} και $PM_{2.5}$, όπως

και το όζον O₃, έχουν μελετηθεί ως πιθανοί confounders της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας για πολλές περιοχές του κόσμου.

Αν και σε γενικές γραμμές οι πληθυσμοί διαθέτουν την ικανότητα της προσαρμογής στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος το ακραίο θερμικό στρες να καταπονεί τους πληθυσμούς πέραν από τα όρια προσαρμογής τους. Ιδιαίτερα ευάλωτοι θεωρούνται οι αστικοί πληθυσμοί και ειδικότερα οι ασθενείς, οι ηλικιωμένοι, οι έγκυες και τα παιδιά, που είναι γνωστό ότι διαθέτουν μειωμένη σωματική ικανότητα για ρύθμιση της θερμοκρασίας τους. Το δε μέγεθος του θερμικού στρες εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως είναι το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας, η γεωγραφική θέση των αστικών κέντρων κλπ.

Για τους παραπάνω λόγους είναι απολύτως αναγκαία η λήψη μέτρων για την προστασία των πληθυσμών και η ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων περιορισμού των αρνητικών συνεπειών. Τέτοιου είδους ολοκληρωμένα συστήματα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη και λειτουργία συστημάτων έγκαιρων προειδοποιήσεων, γνωστών διεθνώς ως Heat-Health-Watch-Warning-Systems. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα από την διαδικασία ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος για την περιοχή της Κύπρου.

Δεδομένα και Μεθοδολογία

Περιγραφή της υπό μελέτη περιοχής

Το κλίμα της Κύπρου είναι Μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από ξηρά και θερμά καλοκαίρια (από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο), ήπιους χειμώνες (από τον Νοέμβριο μέχρι και τον Μάρτιο) και σύντομες μεταβατικές περιόδους άνοιξης (τον Απρίλιο και Μάιο) και φθινοπώρου (τον Οκτώβριο). Η μέση θερμοκρασία κατά την θερμή περίοδο (Ιούλιος και Αύγουστος) κυμαίνεται γύρω από τους 36°C. Κατά τους μήνες αυτούς, η μεγάλη διάρκεια ηλιοφάνειας έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλες ημερήσιες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ της χέρσου και της θάλασσας, που οδηγούν σε σημαντικές ροές τοπικής κυκλοφορίας, γνωστές ως θαλάσσιες αύρες. Κατά την διάρκεια του θέρους, το νησί βρίσκεται υπό την επίδραση ενός ασθενούς συστήματος χαμηλών πιέσεων, που αποτελεί προέκταση του βαρομετρικού χαμηλού της ΝΔ Ασίας. Αποτέλεσμα αυτού του πεδίου πιέσεων είναι οι υψηλές θερμοκρασίες και ο ανέφελος ουρανός. Η βροχόπτωση είναι μάλλον αμελητέα αυτή την εποχή του χρόνου. Ωστόσο, μεμονωμένες καταιγίδες είναι δυνατόν να εμφανίζονται κάποιες φορές, συνεισφέροντας στο 5% της ολικής ετήσιας βροχόπτωσης (Price et al. 1999).

Όσον αφορά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, η σωματιδιακή ρύπανση PM₁₀ αποτελεί τον σημαντικότερο ρυπαντή για την περιοχή της Κύπρου. Σύμφωνα με τους Bari et al. (2009), η παραγωγή τσιμέντου, η οικιακή θέρμανση, η παραγωγή ενέργειας και τα οχήματα αποτελούν τις κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές σωματιδιακής ύλης στις αστικές περιοχές του νησιού. Από την άλλη μεριά, σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης τα θαλάσσια αερολύματα και η επαναιώρηση σκόνης, που ευνοείται από τις εξαιρετικά ξηρές κλιματικές συνθήκες. Κλιματικές μελέτες στην περιοχή (Nicolaidis et al. 2004, 2006) αποδεικνύουν ότι τα επεισόδια σκόνης στην Κύπρο σχετίζονται με υφέσεις από τα νότια και ανατολικά. Τα επεισόδια αυτά, γνωστά και ως «επεισόδια σκόνης από την Σαχάρα» χαρακτηρίζονται από ακραίες συγκεντρώσεις σκόνης, που οδηγούν σε μειωμένη ορατότητα και κακή ποιότητα αέρα (Retalis & Michaelides 2009, Paschalidou et al. 2011), που συχνά εκφράζεται με τη μορφή υπερβάσεων των ορίων της ΕΕ για τα PM₁₀ (Kleanthous et al. 2009).

Σε ένα τέτοιο Μεσογειακό περιβάλλον, με υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου, αλλά και πολύ συχνά επεισόδια ρύπανσης, οφειλόμενα σε σκόνη από την Σαχάρα, η διερεύνηση της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον.

Συλλογή Δεδομένων

Για τις ανάγκες της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα θνησιμότητας του Υπουργείου Υγείας της Κυπριακής Δημοκρατίας για την περίοδο 2004-2009, προερχόμενα από τις 5 μεγαλύτερες επαρχίες της Κυπριακής Δημοκρατίας (Λευκωσία, Λεμεσός, Λάρνακα, Πάφος και Αμμόχωστος). Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από την Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, για τις ίδιες επαρχίες και την ίδια χρονική περίοδο. Στα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνονται μέγιστες ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας (σε °C) και μέσες ωριαίες τιμές σχετικής υγρασίας (ως ποσοστό %) στις 8:00 και 13:00 LST.

Για την εξέταση της δράσης της σωματιδιακής ρύπανσης ως πιθανού confounder χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες τιμές αερολυμάτων αεροδυναμικής διαμέτρου $\leq 10\mu\text{m}$ (PM₁₀) από το Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας, του Υπουργείου Εργασίας και Κοινωνικής Ασφάλισης της Κυπριακής Δημοκρατίας. Ειδικότερα, τα δεδομένα PM₁₀ που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από μετρήσεις σε 5 σταθμούς (Αγίας Μαρίνας Ευλιάτου, Λευκωσίας, Λάρνακας, Λεμεσού και Πάφου).

Η ανάλυση επικεντρώθηκε στην θερμή περίοδο (Απρίλιος έως Σεπτέμβριος) του έτους, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των ακραία υψηλών θερμοκρασιών στην θνησιμότητα. Για τις ανάγκες της ανάλυσης, το νησί μελετήθηκε ως μια ενιαία επικράτεια, ενώ παράλληλα έγινε ξεχωριστή ανάλυση για την Λευκωσία (αστική περιοχή) και την Λεμεσό (παράκτια περιοχή) για λόγους σύγκρισης.

Μοντελοποίηση

Για την μοντελοποίηση της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας χρησιμοποιήθηκε ένα γενικευμένο γραμμικό μοντέλο (GLM) σε συνδυασμό με παλινδρόμηση quasi-Poisson. Τέτοιου είδους μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε επιδημιολογικές μελέτες που εξετάζουν την επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στην δημόσια υγεία (Armstrong et al. 2011, Guo et al. 2011, Hajat et al. 2007). Αναλυτικές πληροφορίες για την θεωρητική βάση και ανάπτυξη του μοντέλου παρέχονται από τους Tsangari et al. (2015).

Με τη βοήθεια του μοντέλου, διερευνήθηκε η μορφή της καμπύλης θερμοκρασίας-θνησιμότητας και προσδιορίστηκε το κατώφλι θερμοκρασίας. Μελετήθηκε παράλληλα το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης που περιγράφηκε παραπάνω, ενώ παράλληλα εξετάστηκε η δράση της σχετικής υγρασίας, της εποχικότητας και της σωματιδιακής ρύπανσης PM₁₀ ως πιθανών confounder.

Συζήτηση - Αποτελέσματα

Η καμπύλη θερμοκρασίας-θνησιμότητας για το σύνολο της επικράτειας βρέθηκε να είναι της μορφής -V, με ένα κατώφλι (threshold) θερμοκρασίας στους 33.7°C, πέρα από το οποίο ο κίνδυνος θνησιμότητας αυξάνεται ραγδαία. Η επίδραση των υψηλών

θερμοκρασιών στη θνησιμότητα βρέθηκε στατιστικά σημαντική ($p < 0.001$ και $p < 0.018$ για τους δυο πρώτους όρους της διαστρωματωμένης συνάρτησης της θερμοκρασίας αντίστοιχα), ανεξαρτήτως υγρασίας και εποχικότητας. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει την προσαύξηση του σχετικού κινδύνου ανά βαθμό θερμοκρασίας, τόσο για την περίπτωση μη-προσαρμοσμένου στην σωματιδιακή ρύπανση PM_{10} όσο και προσαρμοσμένου μοντέλου. Οι προσαυξήσεις του σχετικού κινδύνου δίνονται τόσο ανά ημέρα, όσο και ανά δεδομένο χρονικό διάστημα ορισμένων ημερών. Δίνεται επίσης η εκτιμώμενη συνολική επίδραση της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα για κάθε $1^{\circ}C$ αυξανόμενης θερμοκρασίας πέρα από το όριο των $33.7^{\circ}C$ καθ' όλη την διάρκεια των 10 ημερών που εξετάζονται ως χρονική υστέρηση.

Πίνακας 1. Προσαύξηση του σχετικού κινδύνου για το σύνολο της επικράτειας.

Lags	Adjusted model ^a RR (per day) (95 % confidence interval)	Adjusted model ^a RR (per lag interval; %)	Unadjusted model ^b RR (per day) (95 % confidence interval)	Unadjusted model ^b RR (per lag interval; %)
0-1	4.0 % (2.1-5.8 %)	7.9	3.9 % (2.03-5.75 %)	7.7
2-5	1.3 % (0.2-2.3 %)	5.0	1.2 % (0.20-2.27 %)	4.9
6-10	0.6 % (-0.2-1.5 %)	3.1	0.6 % (0.2-1.5 %)	3.1
Total 0-10	17.2 % (10.8 %, 23.9 %)		16.9 % (10.6 %, 23.5 %)	

^a With air pollution in the model

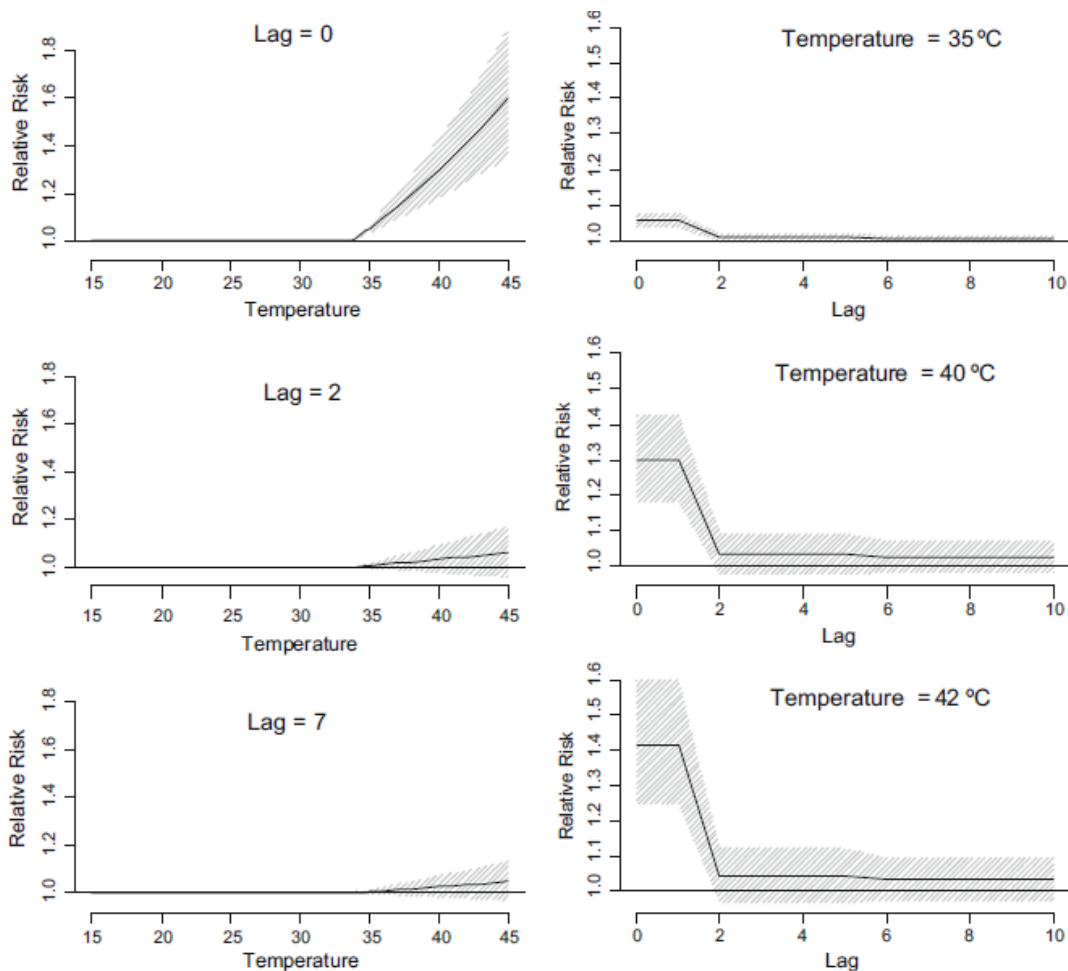
^b Without air pollution in the model

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας είναι πιο έντονες για το χρονικό διάστημα 0-1 ημερών (δηλαδή την ημέρα της έκθεσης και την αμέσως επόμενη μέρα). Για παράδειγμα, ο σχετικός κίνδυνος για το προσαρμοσμένο στην σωματιδιακή ρύπανση μοντέλο κατά τις ημέρες 0-1 είναι 7.9%, πράγμα που σημαίνει ότι μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό πέρα από το κατώφλι των $33.7^{\circ}C$ μπορεί να επιφέρει μια αύξηση περίπου 8% στους θανάτους, δηλαδή περίπου 2.5 φορές μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με αυτήν που παρατηρείται κατά τις ημέρες 6-10. Ομοίως ο σχετικός κίνδυνος ανά ημέρα για τις πρώτες 2 μέρες (χρονικό διάστημα 0-1) βρέθηκε 4%, δηλαδή περίπου τετραπλάσιος από τον αντίστοιχο κατά τις ημέρες 6-10. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί για διαφορετικές περιοχές του κόσμου από τους Armstrong (2006), Braga et al. (2001), Guo et al. (2011) και Pattenden et al. (2003).

Η σύγκριση ανάμεσα στο προσαρμοσμένο και στο μη-προσαρμοσμένο στην σωματιδιακή ρύπανση μοντέλο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, για την περίπτωση της Κύπρου και για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα, τα σωματίδια PM_{10} δεν αποτελούν confounder της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας. Δηλαδή αν και ο σχετικός κίνδυνος εμφανίζεται αυξημένος όταν λαμβάνεται υπόψη η σωματιδιακή ρύπανση, εντούτοις τα αποτελέσματα δεν είναι στατιστικά σημαντικά.

Στο Σχήμα 1 δίνεται ο σχετικός κίνδυνος θνησιμότητας για διαφορετικά χρονικά διαστήματα (0, 2 και 7 ημερών) και διαφορετικές θερμοκρασίες (35 , 40 και $42^{\circ}C$) για προσαρμοσμένα στη σωματιδιακή ρύπανση μοντέλα. Στα γραφήματα που εμφανίζονται στο αριστερό μέρος του Σχήματος 1 είναι εμφανής η μη-γραμμική σχέση, μορφής -V, μεταξύ θερμοκρασίας-θνησιμότητας για τα διαστήματα 0, 2 και 7 ημερών. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει η αύξηση του σχετικού κινδύνου

θνησιμότητας με τη θερμοκρασία κυρίως κατά την ίδια ημέρα της έκθεσης (lag=0). Τα γραφήματα στα δεξιά παρουσιάζουν την μεταβολή του σχετικού κινδύνου με την πάροδο των ημερών για διαφορετικές θερμοκρασίες. Ειδικότερα, ο σχετικός κίνδυνος κατά τις πρώτες 2 ημέρες εμφανίζεται σημαντικά μεγαλύτερος στις υψηλότερες θερμοκρασίες (42°C), όπου και παρατηρείται η πιο απότομη μείωση, καθώς μετακινούμαστε στο επόμενο διάστημα. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος θνησιμότητας εμφανίζεται 40% μεγαλύτερος στους 42°C σε σχέση με τους 35°C. Στους δε 35°C, μετά την πάροδο των 2 πρώτων ημερών ο κίνδυνος σχεδόν εκμηδενίζεται και η καμπύλη είναι πολύ ομαλότερη σε σχέση με την απότομη κλίση που παρατηρείται στους 42°C.



Σχήμα 1. Σχετικός κίνδυνος για διάφορα χρονικά διαστήματα (0, 2 και 7 ημερών) και διαφορετικές θερμοκρασίες. Έχει γίνει προσαρμογή των μοντέλων στην σωματιδιακή ρύπανση.

Παράλληλα και για λόγους σύγκρισης εξετάστηκαν ξεχωριστά οι περιοχές της Λευκωσίας και της Λεμεσού ως παραδείγματα αστικού κέντρου και παράκτιας περιοχής αντίστοιχα. Το θερμοκρασιακό κατώφλι για τις δυο περιοχές εντοπίστηκε στους 32.5°C και 38.0°C για την Λευκωσία και την Λεμεσό αντίστοιχα. Η δε σωματιδιακή ρύπανση PM₁₀ για ακόμη μια φορά δεν φάνηκε να αποτελεί confounder (p=0.511 και p=0.417 για την Λευκωσία και την Λεμεσό αντίστοιχα).

Οι Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζουν την προσαύξηση του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας (πέρα από το θερμοκρασιακό κατώφλι) για διαφορετικά χρονικά διαστήματα μετά την έκθεση, τόσο για προσαρμοσμένο ως και για μη-προσαρμοσμένο στη ρύπανση μοντέλο για την Λευκωσία και την Λεμεσό.

Πίνακας 2. Προσαύξηση του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας για την Λευκωσία.

Lags	Adjusted model ^a RR (per day) (95 % confidence interval)	Adjusted model ^a RR (per lag interval; %)	Unadjusted model ^b RR (per day) (95 % confidence interval)	Unadjusted model ^b RR (per lag interval; %)
0-1	0.7 % (-0.9-2.3 %)	1.4	0.9 % (-0.7-2.4 %)	1.7
2-5	0.4 % (-0.4-1.3 %)	1.8	0.5 % (-0.4-1.4 %)	1.9
6-10	0.4 % (-0.2-1.1 %)	2.1	0.4 % (-0.2-1.1 %)	2.1
Total 0-10	5.5 % (0.7 %, 10.4 %)		5.9 % (1.4 %, 10.7 %)	

^a With air pollution in the model

^b Without air pollution in the model

Πίνακας 3. Προσαύξηση του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας για την Λεμεσό.

Lags	Adjusted model ^a RR (per day) (95 % confidence interval)	Adjusted model ^a RR (per lag interval; %)	Unadjusted model ^b RR (per day) (95 % confidence interval)	Unadjusted model ^b RR (per lag interval; %)
0-1	21.4 % (5.7-39.4 %)	42.7	20.5 % (5.05-38.18 %)	41.0
2-5	14.6 % (4.5-25.7 %)	58.4	14.0 % (4.1-24.9 %)	42.1
6-10	-9.0 % (-18.5-1.6 %)	-45.0	-9.1 % (-18.6-1.5 %)	-45.5
Total 0-10	58.5 % (-18.7 %, 208.8 %)		52.3 % (-21.3 %, 194.5 %)	

^a With air pollution in the model

^b Without air pollution in the model

Από την σύγκριση των στοιχείων των Πινάκων 2 και 3 προκύπτει ότι η επίδραση της θερμοκρασίας στην θνησιμότητα είναι μικρότερη για την Λευκωσία, σε σχέση με την Λεμεσό ή το σύνολο της επικράτειας. Για παράδειγμα, ο σχετικός κίνδυνος για τις ημέρες 0 και 1 είναι 0.7% για την Λευκωσία, ενώ για την Λεμεσό εκτινάσσεται στο 21.4%. Ο δε συνολικός κίνδυνος για τις πρώτες 10 μέρες στην Λευκωσία είναι 5.5%, σημαντικά μικρότερος σε σχέση με την τιμή 58.5% που παρατηρείται στην Λεμεσό. Αυτές οι διαφορές είναι πιθανό να οφείλονται στην διαφορετική ικανότητα προσαρμογής και εγκλιματισμού μεταξύ αστικών και παράκτιων πληθυσμών, όπως επίσης και διαφορές στα δημογραφικά χαρακτηριστικά των πληθυσμών, στο είδος των κατοικιών, την χρήση συστημάτων κλιματισμού κλπ.

Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι ο σχετικός κίνδυνος για την παράκτια περιοχή της Λεμεσού κατά τις ημέρες 6-10 βρέθηκε αρνητικός (-9%). Το γεγονός αυτό αποτελεί μια πιθανή ένδειξη για την εμφάνιση του φαινομένου που είναι γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως «harvesting effect» και το οποίο εξηγεί την μείωση του αριθμού των θανάτων μετά την πάροδο μιας περίπου εβδομάδας. Με άλλα λόγια και σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, οι ακραίες θερμοκρασίες φαίνεται να έχουν επιταχύνει τον θάνατο των ευπαθών πληθυσμών που θα κατέληγαν αναπόφευκτα στο άμεσο μέλλον.

Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα και εξετάστηκε ο ρόλος της σωματιδιακής ρύπανσης ως πιθανού confounder για την περιοχή της Κύπρου. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της θερμής εποχής επιβαρύνουν σημαντικά τους ρυθμούς θνησιμότητας, κυρίως κατά την ημέρα της έκθεσης και ανεξαρτήτως σχετικής υγρασίας και εποχικότητας. Ωστόσο η σωματιδιακή ρύπανση PM₁₀ δεν φάνηκε να επηρεάζει την σχέση θερμοκρασίας-θνησιμότητας ως confounder, τουλάχιστον για τη χρονική περίοδο που εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη. Τα ευρήματα αυτά αποτελούν την προκαταρκτική ανάλυση για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος έγκαιρων προειδοποιήσεων για την περιοχή της Κύπρου, με απώτερο σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας και ειδικότερα των ευαίσθητων πληθυσμών.

Ευχαριστίες

Οι παραπάνω δράσεις αποτελούν μέρος του ερευνητικού προγράμματος CYPHEW (ΥΓΕΙΑ/ΔΥΓΕΙΑ/0609(BIE)/20) που συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και την Κυπριακή Δημοκρατία, μέσω του Ιδρύματος Προώθησης Έρευνας Κύπρου.

Βιβλιογραφία

- Almeida, S.P., Casimiro, E., Calheiros, J. (2010). Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environmental Health*. Vol. 9, pp. 1-7.
- Anderson, B.G., Bell, M.L. (2009). Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*. Vol. 20, pp. 205-213.
- Armstrong, B. (2006). Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology*. Vol. 17, pp. 624-631.
- Armstrong, B.G., Chalabi, Z., Fenn, B., Hajat, S., Kovats, S., Milojevic, A., Wilkinson, P. (2011). Association of mortality with high temperatures in a temperate climate: England and Wales. *Journal of Epidemiology and Community Health*. Vol. 65, pp. 340-345.
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., Anderson, H.R., Bisanti, L., D'Ippoliti, D., Danova, J., Forsberg, B., Medina, S., Paldy, A., Rabczenko, D., Schindler, C., Michelozzi, P. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*. Vol. 19, pp. 711-719.
- Bari, Md.A., Baumbach, G., Sarachage-Ruiz, L., Kleanthous, S. (2009). Identification of PM₁₀ sources in a Mediterranean island. *Water Air and Soil Pollution: Focus*. Vol. 9(1-2), pp. 39-53.
- Braga, L.F., Zanobetti, A., Schwartz, J. (2001). The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. Vol. 43, pp. 927-933.
- Curriero, F.C., Heiner, K.S., Samet, J.M., Zeger, S.L., Strug, L., Patz, J.A. (2002). Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern United States. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 155, pp. 80-87.

- Gasparri, A., Armstrong, B., Kenward, M.G. (2010). Distributed lag nonlinear models. *Statistics in Medicine*. Vol. 29, pp. 2224-2234.
- Gosling, S.N., Lowe, J.A., McGregor, G.R., Pelling, M., Malamud, B.D. (2009). Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. *Climate Change*. Vol. 92, pp. 299-341.
- Guo, Y., Barnett, A.G., Pan, X., Yu, W., Tong, S. (2011). The impact of temperature on mortality in Tianjin, China: a case-crossover design with a distributed lag nonlinear model. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 119, pp. 1719-1725.
- Hajat, S., Kosatky, T. (2010). Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Journal of Epidemiology and Community Health*. Vol. 64, pp. 753-760.
- Hajat, S., Kovats, R.S., Lachowycz, K. (2007). Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk? *Occupational and Environmental Medicine*. Vol. 64, pp. 93-100.
- Hajat, S., Vardoulakis, S., Heaviside, C., Eggen, B. (2014). Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s, and 2080s. *Journal of Epidemiology and Community Health*. Vol. 68, pp. 641-648.
- IPCC (2012). Summary for Policymakers. In: Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 3-21.
- Kleanthous, S., Bari, M.A., Baumbach, G., Sarachage-Ruiz, L. (2009). Influence of particulate matter on the air quality situation in a mediterranean island. *Atmospheric Environment*. Vol. 43, pp. 4745-4753.
- Kovats, R.S., Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: a critical review. *Annual Reviews of Public Health*. Vol. 29, pp. 41-55.
- Michelozzi, P., De Donato, F.K., Bargagli, A.M., D'Ippoliti, D., De Sario, M., Marino, C., Schifano, P., Cappai, G., Leone, M., Kirchmayer, U., Ventura, M., Di Gennaro, M., Leonardi, M., Oleari, F., De Martino, A., Perucci, C.A. (2010). Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 7, pp. 2256-2273.
- Nicolaidis, K., Michaelides, S., Karacostas, T. (2004). Spatial distribution of some dynamic parameters during the evolution of selected depressions over the area of Cyprus. *International Journal of Climatology*. Vol. 24, pp. 1829-1844.
- Nicolaidis, K.A., Michalelides, S.C., Karacostas, T. (2006). Synoptic and dynamic characteristics of selected deep depressions over Cyprus. *Advances in Geosciences*. Vol. 7, pp. 175-180.
- Paschalidou, A.K., Karakitsios, S., Kleanthous, S., Kassomenos, P.A. (2011). Forecasting hourly PM₁₀ concentration in Cyprus through artificial neural networks and multiple regression models: implications to local environmental management. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 18, pp. 316-327.
- Pattenden, S., Nikiforov, B., Armstrong, B.G. (2003). Mortality and temperature in Sofia and London. *Journal of Epidemiology and Community Health*. Vol. 57, pp. 628-633.

- Price, C., Michaelides, S., Pashiardis, S., Alpert, P. (1999). Long term changes in diurnal temperature range in Cyprus. *Atmospheric Research*. Vol. 51, pp. 85-98.
- Retalis, A., Michaelides, S.C. (2009). Synergetic use of TERRA/MODIS imagery and meteorological data for studying aerosol dust events in Cyprus. *International Journal of Environment and Pollution*. Vol. 36, pp. 139-150.
- Rocklov, J., Forsberg, B. (2010). The effect of high ambient temperature on the elderly population in three regions of Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 7, pp. 2607-2619.
- Tsangari, H., Paschalidou, A., Vardoulakis, S., Heaviside, C., Konsoula, Z., Christou, S., Georgiou, K.E., Ioannou, K., Mesimeris, T., Kleanthous, S., Pashiardis, S., Pavlou, P., Kassomenos, P., Yamasaki, E.N. (2015). Human mortality in Cyprus: the role of temperature and particulate air pollution. *Regional Environmental Change*, in press.
- Zanobetti, A., Schwartz, J. (2008). Temperature and mortality in nine US cities. *Epidemiology*. Vol. 19, pp. 563-570.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟΝ ΤΟΥΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

Μαρία Γεωργουσίδου
Βιολόγος
2ο Γυμνάσιο Ορεστιάδας
E-mail: geomaria@sch.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ενδιαφέρον για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του κλίματος, του καιρού και του τουρισμού έχει αυξηθεί σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία, καθώς υπάρχει έντονη ανησυχία για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος. Ο τουρισμός αποτελεί τη βασική πηγή οικονομικής ανάπτυξης και έναν από τους κύριους κλάδους της εθνικής οικονομίας για την παγκόσμια αγορά και ειδικότερα για τις χώρες της Μεσογείου. Είναι ο τομέας εκείνος για τον οποίο είναι δύσκολο να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις από την αλλαγή του κλίματος. Ωστόσο είναι πολύ πιθανόν να επηρεαστεί έντονα από την κλιματική αλλαγή, διότι πολλές δραστηριότητες εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες.

Η αλλαγή του κλίματος θα έχει ως επακόλουθο την απώλεια της ελκυστικότητας για τους παραδοσιακά χειμερινούς και θερινούς προορισμούς σε όλο τον κόσμο. Αντίθετα, φαίνεται ότι η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει τα εγχώρια ταξίδια, ιδιαίτερα στις ψυχρότερες χώρες, και θα ασκήσει θετική επίδραση στην εποχικότητα, αυξάνοντας την ελκυστικότητα ορισμένων προορισμών κατά τους χειμερινούς μήνες.

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην τουριστική ζήτηση θα διαμορφωθεί από την ανταπόκριση των τουριστών προς την πολυπλοκότητα της πολιτικής μετριασμού των επιπτώσεων. Οι τουρίστες έχουν τη μεγαλύτερη προσαρμοστική ικανότητα λόγω της ευελιξίας τους να υποκαταστήσουν τον τόπο, το χρόνο και το είδος των διακοπών, ακόμα και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Ως εκ τούτου, η κατανόηση τουριστικής αντίληψης και αντίδρασης στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη των πιθανών γεωγραφικά και εποχιακά αλλαγών στη ζήτηση του τουρισμού.

Λέξεις κλειδιά: Κλίμα, κλιματική αλλαγή, τουρισμός, προσαρμογή, παράκτιος τουρισμός, χειμερινός τουρισμός, ορεινός τουρισμός, χώρες Μεσογείου, Ευρώπη

Εισαγωγή

Οι περισσότεροι άνθρωποι προσπαθούν να γίνουν πιο ευτυχισμένοι. Ένας τρόπος για να το πετύχουν αυτό είναι να συμμετέχουν σε ταξίδια αναψυχής. Ο διεθνής τουρισμός είναι μια παγκόσμια βασική κινητήρια δύναμη της κοινωνικο- οικονομικής προόδου και έχει ως κεντρικό ρόλο τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την παροχή υποδομών.

Η αλλαγή του κλίματος όμως, προβλέπεται να έχει επιπτώσεις σε όλη τη γη και κυρίως σε τοπικό επίπεδο. Οι επιπτώσεις όμως δεν περιορίζονται μόνο στην αύξηση

της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, αλλά εμφανίζονται μεγαλύτεροι κίνδυνοι από ακραία καιρικά φαινόμενα, πυρκαγιές, αμμοθύελλες, ξηρασίες και άλλα φυσικά φαινόμενα. Τα φαινόμενα αυτά ωστόσο επηρεάζουν όλο και περισσότερο το περιβάλλον, τα οικοσυστήματα, τη γεωργία και τον κύκλο του νερού, επομένως την οικονομία και γενικά την κοινωνία.

Τα άμεσα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής προβλέπεται να κατανεμηθούν ανομοιόμορφα στον πλανήτη. Αντίστοιχα ανομοιόμορφες αναμένεται να είναι και οι συνέπειες των αλλαγών αυτών. Σε ορισμένες περιοχές του κόσμου με ψυχρό κλίμα, ορισμένες τουλάχιστον συνέπειες μπορεί να είναι θετικές, ενώ σε άλλα μέρη του πλανήτη αναμένονται κυρίως αρνητικές επιπτώσεις. Δεδομένου ότι το κλίμα είναι ένας βασικός πόρος για διάφορες μορφές τουρισμού, η αλλαγή του κλίματος είναι πιθανό να αποτελέσει σημαντική πρόκληση για πολλούς προορισμούς.

Οι κλιματικές συνθήκες λοιπόν αναγνωρίζονται ως σημαντικός καθοριστικός παράγοντας της τουριστικής ζήτησης και κατά συνέπεια έχουν αρχίσει διαφορετικές μελέτες να εκτιμούν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό.

Οι στόχοι της εργασίας αυτής είναι:

- Η παράθεση πληροφοριών σχετικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην τουριστική ζήτηση μιας περιοχής.
- Η αποτύπωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό των Ευρωπαϊκών χωρών.
- Η παρουσίαση της ανάγκης προσαρμογής στα νέα κλιματικά δεδομένα.

Κλίμα, καιρός και τουρισμός

Ο καιρός και το κλίμα είναι δυο έννοιες διαφορετικές. Το κλίμα είναι αυτό που αναμένουμε, και ο καιρός είναι αυτό που παίρνουμε. Το κλίμα μπορεί να οριστεί ως η «μέση καιρική κατάσταση» και περιγράφεται σε σχέση με τη μέση τιμή και τη μεταβλητότητα των σχετικών χαρακτηριστικών (Matzarakis et al. 2007). Έτσι, το κλίμα ορίζεται από πολλές μεταβλητές (Εικ. 1), οι οποίες συνδυάζονται με πολύπλοκο τρόπο για να δώσουν νόημα στις συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες ή την κατάσταση του κλίματος για τον τουρισμό. Υπάρχουν ειδικές κλιματικές συνθήκες για παραλία, χειμερινά σπορ, ή τον τουρισμό για την υγεία και την ευεξία. Η καταλληλότητα του δεδομένου κλίματος (και καιρού) ποικίλλει για τις διάφορες μορφές τουρισμού, όπως και η ικανοποίηση του κάθε τουρίστα ανάλογα με τη χώρα προέλευσης, την ηλικία ή άλλους παράγοντες (Gössling 2012).

Ο καιρός είναι σημαντικός για τη συμπεριφορά μας κατά τη διάρκεια διακοπών, και για τα σύντομα ταξίδια, αν και μπορεί επίσης να στρεβλώσει τις αντιλήψεις για το κλίμα. Το ενδιαφέρον για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του κλίματος, του καιρού και του τουρισμού έχει αυξηθεί σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία λόγω των ανησυχιών για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος (Amelung & Nicholls 2014).

Το κλίμα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή του τουριστικού προορισμού (Matzarakis et al 2009), η σχέση όμως μεταξύ των δύο είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Αυτό συμβαίνει λόγω του πολύπλευρου χαρακτήρα του κλίματος και του πολύπλοκου τρόπου με τον οποίο οι μεταβλητές συνδυάζονται μεταξύ τους για να δώσουν νόημα στις ιδιαίτερες καιρικές ή κλιματολογικές συνθήκες που απαιτούνται για τον

τουρισμό. Οι ερευνητές στην προσπάθειά τους να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα και να ερμηνεύσουν με ευκολία τη σχέση αυτή, δημιούργησαν έναν απλό δείκτη, ενσωματώνοντας σε αυτόν σχετικές μεταβλητές του κλίματος και του τουρισμού. Ωστόσο, οι δείκτες αυτοί έχουν σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικές κρίσεις του ερευνητή και δεν είναι επιβεβαιωμένες ερευνητικά (De Freitas 2004).



Εικόνα 1. Καιρικοί παράμετροι που επηρεάζουν την τουριστική άνεση και ασφάλεια (Ματζαράκης 2001, συγγραφέως 2015).

Βασικά υπολογιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για τις προβλέψεις του καιρού και του κλίματος. Τα κλιματικά μοντέλα έχουν βαθμονομηθεί έτσι ώστε να αναπαράγουν το κλίμα τόσο στο μέλλον όσο και στο παρελθόν. Τα κλιματικά μοντέλα είναι προσομοιώσεις του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος, που παρουσιάζονται στους υπολογιστές και προβλέπουν μελλοντικές τιμές διαφόρων κλιματικών μεταβλητών όπως βροχόπτωση, θερμοκρασία, κ.λπ. Η προσομοίωση συμπληρώνεται περιγράφοντας το κλιματικό σύστημα με όρους βασικών φυσικών, χημικών και βιολογικών αρχών.

Η εκτίμηση της επιρροής των κλιματικών και καιρικών συνθηκών στον τουρισμό είναι ένα πολύπλοκο θέμα. Αρκετοί σύνθετοι δείκτες έχουν προταθεί, και χρησιμοποιούνται σε μια σειρά από μελέτες. Ο Κλιματικός δείκτης Τουρισμού (TCI), αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Mieczkowski (1985) και είναι ο δείκτης που χρησιμοποιείται πιο συχνά παρά τις αδυναμίες τις οποίες έχει (Moreno & Amelung 2009). Ο δείκτης αυτός εκφράζει την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του κλίματος στον τουρισμό και διευκολύνει την ερμηνεία των ολοκληρωμένων επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος. Η χρήση του δείκτη αυτού μπορεί να γίνει τόσο από τους τουρίστες για την επιλογή του καλύτερου χρόνου και τόπου για διακοπές ή δραστηριότητες, όσο και από τους υπεύθυνους του τουρισμού για την προώθηση των επισκέψεων εκτός της περιόδου αιχμής και την αποθάρρυνση κατά τη διάρκεια αιχμής (De Freitas 2004). Ο δείκτης TCI βασίζεται στην έννοια της «ανθρώπινης άνεσης» και αποτελείται από πέντε υποδείκτες (Εικ. 2) (Amelung & Viner 2006),

κάθε ένας από τους οποίους εκπροσωπείται από ένα ή δύο μηνιαίες μεταβλητές του κλίματος (Amelung et al 2007).

ΥΠΟΔΕΙΚΤΕΣ «ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΑΝΕΣΗΣ» <small>(Στοιχεία του κλιματικού δείκτη του τουρισμού του Mieczkowski)</small>	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ
Δείκτης άνεσης κατά τη διάρκεια της ημέρας (daytime comfort index).	Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία [σε ° C] και ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία [%].
Δείκτης ημερήσιας άνεσης (daily comfort index).	Μέση μέγιστη θερμοκρασία σε ° C και μέση ελάχιστη σχετική υγρασία [%].
Κατακρημνίσεις (precipitation).	Ύψος βροχοπτώσεων σε mm.
Ηλιοφάνεια (sunshine).	Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας.
Ταχύτητα ανέμου (speed wind).	Ταχύτητα του ανέμου σε m / s ή km / h.

Εικόνα 2. Στοιχεία του κλιματικού δείκτη του τουρισμού του Mieczkowski.

Με μια βέλτιστη βαθμολογία για κάθε μεταβλητή του 5, η μέγιστη τιμή του δείκτη είναι 100 (Εικ. 3).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΝΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ
90 - 100	Ιδανική
80 - 89	Άριστη
70 - 79	Πολύ καλή
60 - 69	Καλή
50 - 59	Αποδεκτή
40 - 49	Οριακή
30 - 39	Δυσμενής
20 - 29	Πολύ δυσμενής
10 - 19	Εξαιρετικά δυσμενής
Κάτω του 9	Αδύνατη

Εικόνα 3. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη TCI (Mieczkowski 1985).

Οι Beeli και Martin (2004) λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του τουριστικού προορισμού, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στις διάφορες κλίμακες μέτρησης στις βιβλιογραφικές αναφορές, κατέληξαν σε μια σειρά από χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά ταξινομούνται ως εξής (Κακαβάς 2011):

1. Φυσικοί πόροι (καιρός, υγρασία, βροχοπτώσεις, βουνά, ποτάμια).
2. Υποδομές γενικά (δρόμοι, υπηρεσίες υγείας, σύστημα τηλεπικοινωνιών)
3. Τουριστικές υποδομές (κλίνες, εστιατόρια, ποιότητα υπηρεσιών).

4. Ελεύθερος χρόνος και αναψυχή (νυχτερινή ζωή, καταστήματα, πάρκα).
5. Πολιτισμός, ιστορία και τέχνες (μουσεία, γαστρονομία, θρησκεία).
6. Πολιτικοί και οικονομικοί παράγοντες (πολιτική σταθερότητα, τιμές, εγκληματικότητα).
7. Φυσικό περιβάλλον (ηχορύπανση, κυκλοφοριακή συμφόρηση).
8. Κοινωνικό περιβάλλον (ποιότητα ζωής, φτώχεια, γλωσσική επικοινωνία).
9. Γενική ατμόσφαιρα της τοποθεσίας.

Τουρισμός και κλιματική αλλαγή

Η τουριστική βιομηχανία αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους και ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της οικονομίας (De Freitas 2003, Hamilton et al 2005, Amelung & Nicholls 2014). Η σχέση μεταξύ τουρισμού και κλιματικής αλλαγής διερευνάται για περισσότερο από δυο δεκαετίες και αναγνωρίζεται πλέον και από τη βιομηχανία τουρισμού (March et al 2014). Ο τουρισμός αποτελεί σημαντική πηγή εσόδων για πολλές τοπικές κοινωνίες και ως εκ τούτου μπορεί να θεωρηθεί ως μια βιομηχανία πρωταρχικής σημασίας για την οικονομία. Οι κύριοι παράγοντες για την επιλογή ενός τουριστικού προορισμού είναι το κλίμα, το φυσικό περιβάλλον και η προσωπική ασφάλεια (UNEP). Οι Hu και Ritchie (1993) ανέλυσαν αρκετές μελέτες που αφορούσαν τις αιτίες της επιλογής ενός προορισμού και διαπίστωσαν ότι «η φυσική ομορφιά και το κλίμα» ήταν καθοριστικοί παράγοντες για την προσέλκυση των τουριστών σε έναν τόπο (Matzarakis et al 2007). Φυσικά η επίδραση του κλίματος εξαρτάται και από τον τύπο του προορισμού. Έτσι τα παραθαλάσσια θέρετρα θα ανταποκριθούν καλύτερα σε ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας το καλοκαίρι από τα θέρετρα που βρίσκονται στην ενδοχώρα (Bigano et al 2005).

Η κλιματική αλλαγή είναι πιθανόν να έχει σημαντική επίδραση στη μορφή του παγκόσμιου τουρισμού, καθώς έχει τη δυνατότητα να αλλάξει οριστικά την ελκυστικότητα πολλών προορισμών και να επηρεάσει ουσιαστικά τα οφέλη που προέρχονται από τον τουρισμό (Braun et al 1999, Uyarra 2005, Marshall et al 2011). Αυτό οφείλεται στο ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι μια σημαντική συνιστώσα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με την επιλογή του προορισμού για τις διακοπές (Braun et al 1999). Βέβαια οι επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή μπορούν να μειωθούν αν η επίδραση της κλιματικής αλλαγής γίνει κατανοητή και οι φορείς λάβουν κατάλληλα μέτρα για να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες (Marshall et al 2011).

Οι τουρίστες επηρεάζονται από το κλίμα και την κλιματική αλλαγή και οδηγούνται σε διαφορετικές επιλογές τουριστικών προορισμών. Μελέτες των επιστημόνων σχετικά με τη σχέση κλιματικής αλλαγής και τουρισμού αποκαλύπτουν την πολυπλοκότητα μεταξύ αυτών (Bigano et al 2005). Η διαδικασία της επιλογής του προορισμού απασχόλησε τους ερευνητές από το 1980. Οι προσπάθειές τους αφορούσαν την πρόβλεψη και την κατανόηση των κλιματικών μοντέλων και των επιρροών που δέχονται οι τουρίστες για τις επιλογές τους. Βασικό συστατικό όλων αυτών των ερευνών ήταν η μελέτη (Pröbstl-Haider et al. 2015):

- των χαρακτηριστικών του ίδιου του τουρίστα, όπως: τρόπος ζωής, οι αξίες του, η εμπειρία, κοινωνικοοικονομικά και συμπεριφορικά χαρακτηριστικά,

- του τουριστικού προϊόντος όπως: κόστος, η οργάνωση του ταξιδιού, διαφήμιση, είδος δραστηριοτήτων, αξιοθέατα, διαμονή, χαρακτηριστικά της τοποθεσίας.

Κλιματική αλλαγή και προσαρμογή

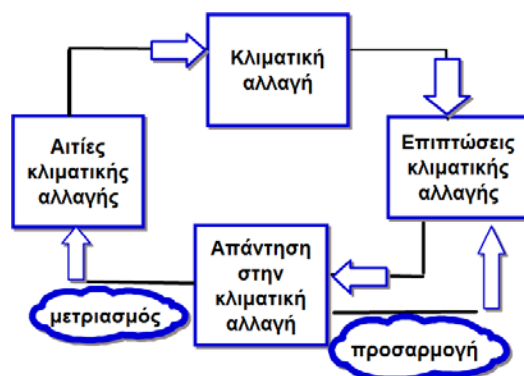
Η κλιματική αλλαγή αναδεικνύεται ως το πλέον σημαντικό παγκόσμιο περιβαλλοντικό και σε εξέλιξη πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κόσμος σήμερα και επιπλέον έχει αναδειχθεί ως ένα σημαντικό θέμα στον τομέα της τουριστικής έρευνας (Scott et al 2012). Οι επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή δεν θα είναι βραχυπρόθεσμες όπως στην περίπτωση μιας φυσικής καταστροφής ή μιας τρομοκρατικής ενέργειας. Αντίθετα, η κλιματική αλλαγή θα αλλάξει οριστικά την ελκυστικότητα ορισμένων περιοχών για διακοπές. Έτσι αναμένονται σημαντικές αλλαγές για τον τουρισμό στον εικοστό πρώτο αιώνα, όπως: των επιλογών του είδους των διακοπών, της γεωγραφικής κατανομής της τουριστικής ζήτησης, της ανταγωνιστικότητας και της βιωσιμότητας των προορισμών και της συμβολής του τουρισμού στη διεθνή ανάπτυξη (Scott et al 2012). Σχεδόν όλοι οι επιστήμονες συμφωνούν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην πρόκληση και την επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), οι πιθανές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. πιο συχνές ξηρασίες και κύματα καύσωνα, καταιγίδες και έντονες βροχοπτώσεις), καθώς και αλλαγή στις τοπικές και εποχιακές κατακρημνίσεις (Amelung et al 2008, Ehmer & Heymann 2008). Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας και η αύξηση του ποσοστού των καταιγίδων μπορεί να προκαλέσει τη διάβρωση των ακτών. Η διάβρωση αυτή μπορεί να επιφέρει κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στον παράκτιο τουρισμό διότι θα (Alexandrakis et al 2013):

- υπάρχουν λιγότερες παράκτιες περιοχές διαθέσιμες για τις τουριστικές δραστηριότητες,
- μειωθούν τα έσοδα των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στις ακτές, εφόσον δεν θα έχουν πρόσβαση σε αυτές,
- αυξηθεί ο ανταγωνισμός μεταξύ των τουριστικών επιχειρήσεων,
- υποβαθμιστεί η αισθητική της παραλίας και δεν θα αποτελεί πόλο έλξης των τουριστών,
- αυξηθεί το κόστος της ασφάλειας των επιχειρήσεων

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί σοβαρή πρόκληση για την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη όλων των χωρών. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης δεν αρκούν οι διεθνείς δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αλλά είναι επιτακτική ανάγκη η ενσωμάτωση πολιτικών προσαρμογής στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος σε όλο τον κόσμο (Εικ. 4) (Agrawala 2007).

Ως προσαρμογή μπορεί να οριστούν οι ενέργειες ή δραστηριότητες που οι άνθρωποι αναλαμβάνουν, ατομικά ή συλλογικά, για να φιλοξενήσουν, να αντιμετωπίσουν ή να επωφεληθούν από τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στη μεταβλητότητα του κλίματος και των ακραίων καταστάσεων. Η

προσαρμογή μπορεί να είναι προληπτική (πριν από την κλιματική αλλαγή), ταυτόχρονη (κατά τη διάρκεια) ή ως αντίδραση (απάντηση) (Trawöger 2013).



Εικόνα 4. Κλιματική αλλαγή και προσαρμογή.

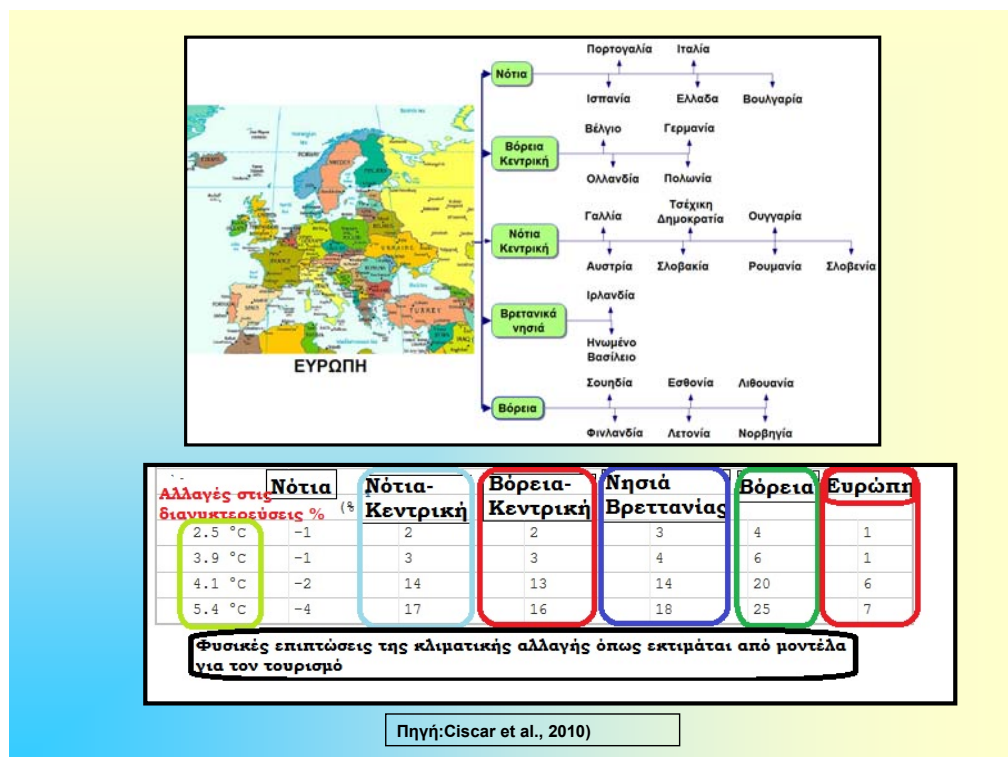
Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η πολιτική της Ευρώπης για την κλιματική αλλαγή και την προσαρμογή βρίσκεται στα σπάργανα (Beniston et al 2014). Η Ευρώπη προετοιμάζεται για μια συντονισμένη στρατηγική προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή από το 2013, όπως ορίζεται στη Λευκή Βίβλο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την προσαρμογή. Ένα από τα κύρια συμπεράσματα της ανάλυσης είναι ότι ένα μεγάλο μέρος εξακολουθεί να είναι άγνωστο για τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ευρωπαϊκή οικονομία στο σύνολό της ή σε σχέση με διάφορους οικονομικούς τομείς και γεωγραφικές περιοχές της Ευρώπης (Ciscar et al 2011). Ωστόσο, αυτό δεν είναι εύκολο να προβλεφτεί, εφόσον από τη μια μεριά θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ένα ευρύ φάσμα μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών, πράγμα δύσκολο και με μεγάλο κόστος, και από την άλλη μεριά, υπάρχει η αδυναμία πρόβλεψης του κλίματος στο μέλλον βασιζόμενοι σε ένα μόνο κλιματικό μοντέλο (Hallegatte 2009). Σύμφωνα με μελέτη των Gössling, Scott, Hall, Ceron και Dubois (2012) υπογραμμίζεται επίσης η δυσκολία στην κατανόηση των αντιλήψεων και αντιδράσεων των τουριστών σε ενδεχόμενες επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος, καθώς δεν μπορεί να προβλεφτεί η μεταβολή στις προτιμήσεις της εποχής και του τόπου κατά τις μετακινήσεις (Rosselló-Nadal 2014). Σε κάθε περίπτωση όμως μόνο μία προληπτική στρατηγική προσαρμογής μπορεί να βοηθήσει προκειμένου να κερδηθεί χρόνος για να είναι αποτελεσματικός ο μετριασμός των αιτιών της κλιματικής αλλαγής (Hallegatte 2009). Την πρόταση αυτή προωθεί προς τις χώρες μέλη και η σύμβαση πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) προκειμένου να αποτραπεί η παρέμβαση του ανθρώπου στο κλίμα της γης (Bujosa et al 2015).

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ευρώπη

Ο τουρισμός αποτελεί σημαντικό οικονομικό τομέα στην Ευρώπη (Alexandrakis et al 2013). Η κλιματική αλλαγή έχει τη δυνατότητα να αλλάξει ριζικά τα μοντέλα τουρισμού στην Ευρώπη. Έτσι μπορεί να προκληθούν αλλαγές σε προορισμούς αλλά και στην εποχή ζήτησης. Τουρίστες μετακινούνται από τη Βόρεια στη Νότια Ευρώπη.

Για το 2080, η κατανομή των κλιματικών συνθηκών στην Ευρώπη αναμένεται να αλλάξει σημαντικά. Για την περίοδο της άνοιξης, όλα τα αποτελέσματα των

κλιματικών μοντέλων, δείχνουν μια σαφή επέκταση προς τα βόρεια υπό καλές συνθήκες. Οι αλλαγές στο φθινόπωρο είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες της άνοιξης. Το καλοκαίρι, η ζώνη των καλών συνθηκών επεκτείνεται και προς τα βόρεια, αλλά εις βάρος του Νότου, όπου οι κλιματολογικές συνθήκες θα επιδεινωθούν. Η Νότια Ευρώπη, η οποία διαθέτει σήμερα περισσότερο από το ήμισυ της συνολικής χωρητικότητας της ΕΕ των τουριστικών καταλυμάτων, θα μπορούσε να είναι η μόνη περιοχή με μια μείωση στον αριθμό των διανυκτερεύσεων (Εικ. 5), εκτιμάται ότι θα κυμανθεί μεταξύ 1% και 4% ανάλογα με το σενάριο του κλίματος. Η υπόλοιπη Ευρώπη αναμένεται να έχει μεγάλες αυξήσεις στις διανυκτερεύσεις, στην περιοχή του 15-25%. Μια βασική παραδοχή είναι ότι το σύστημα του τουρισμού έχει πλήρη ευελιξία στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τη συνολική ζήτηση, και η εποχική κατανομή των τουριστών καθορίζεται αποκλειστικά από κλιματικούς παράγοντες (Ciscar et al 2011).



Εικόνα 5. Εκτιμήσεις αλλαγής του αριθμού των διανυκτερεύσεων στον τουρισμό της Ευρώπης.

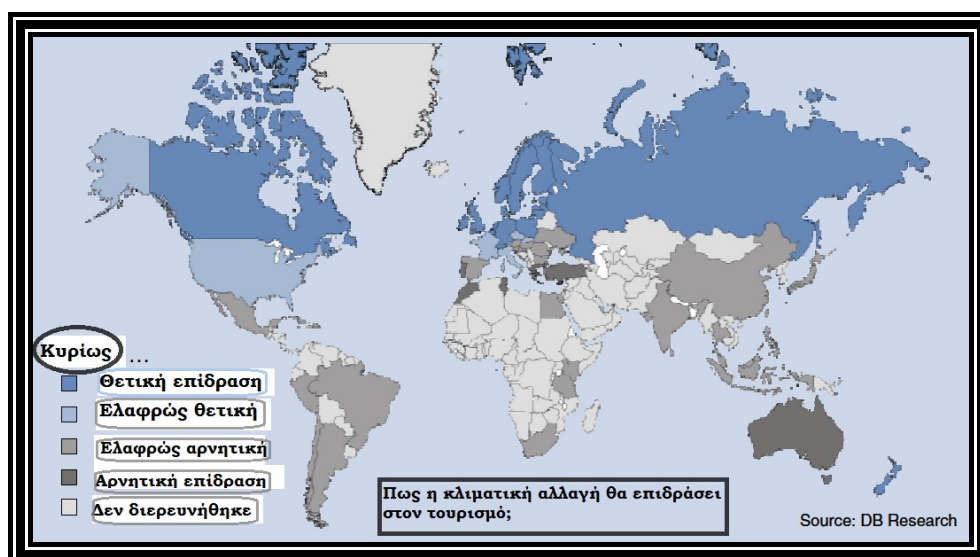
Στην Ευρώπη, οι χώρες που θα επηρεαστούν αρνητικά από την κλιματική αλλαγή είναι αυτές που βρέχονται από τη Μεσόγειο θάλασσα (Εικ. 6). Οι χώρες της Ανατολικής Μεσογείου θα δεχτούν λιγότερους τουρίστες σε περιόδους αιχμής, λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών και της έλλειψης νερού. Αντίθετα, οι χώρες που θα μπορούσαν να ευνοηθούν είναι: οι χώρες της Μπενελούξ, η Δανία, η Γερμανία και οι χώρες της Βαλτικής (Εικ. 7). Η Γαλλία και η Ιταλία θα ευνοηθούν ελαφρά, λόγω της διαφοροποιημένης δομής των τουριστικών προσφορών. Οι αρνητικές συνέπειες από την κλιματική αλλαγή αφορά χώρες της Ευρώπης όπως: τη Μάλτα, την Κύπρο, την Ισπανία, την Αυστρία και την Ελλάδα (Ehmer & Heymann 2008).

Επίδραση	Βόρεια Ευρώπη	Κεντρική & Ανατολική Ευρώπη	Μεσογειακή Ευρώπη
Απώλειες από έντονα καιρικά φαινόμενα	M(-)	M(-)	Y(-)
Πλημμύρες ποταμών	M(-)	Y(-)	X(-)
Πλημμύρες σε παράκτιες περιοχές	Y(-)	M(-)	Y(-)
Ποιότητα πόσιμου νερού	X(-)	X(-)	Y(-)
Γεωργική παραγωγή	Y(+)	M(-)	Y(-)
Δασική παραγωγή	M(+)	X(-)	Y(-)
Βιοποικιλότητα	M(+)	M(-)	Y(-)
Ενεργειακές ανάγκες	M(+)	X(+)	Y(-)
Τουρισμός	M(+)	X(+)	M(-)
Υγεία	X(-)	M(-)	Y(-)

Σημ.: Y: Υψηλή, M: Μεσαία, X: Χαμηλή επίδραση. (+): Θετική, (-): Αρνητική επίδραση

Πηγή: Behrens A., Georgiev A., Carraro M., Future Impacts of Climate Change across Europe. Working Document No. 324, Centre for European Policy Studies, Brussels, 2010.

Εικόνα 6. Σύνοψη επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε περιοχές της Ευρώπης (Ζαχαριάδης 2012).



Εικόνα 7. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής τον τουρισμό.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των ευρωπαϊκών περιοχών. Η Βόρεια Ευρώπη είναι η μόνη περιοχή με καθαρά οικονομικά οφέλη, κυρίως από τα θετικά αποτελέσματα για τη γεωργία (Ciscar et al 2011). Η 4η Έκθεση Αξιολόγησης (AR4) της IPCC διαπίστωσε ότι στην Αλσατία ο αριθμός των ημερών με μέση ημερήσια θερμοκρασία άνω των 10°C (ενοϊκές για την αμπελοκαλλιέργεια) έχει αυξηθεί από 170 το 1970 σε 210 στα τέλη του 20ου αιώνα. Η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ιρλανδία, σύμφωνα με τα μοντέλα τουριστικής ζήτησης σε συνδυασμό με το κλίμα, θα παρουσιάσουν μια αύξηση της ελκυστικότητας του εγχώριου τουρισμού, δηλαδή η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει τους ανθρώπους από τις χώρες αυτές να κάνουν κυρίως διακοπές στη χώρα καταγωγής τους (Hein et al 2009).

Σύμφωνα με Kromp-Kolb et al (2014) η αλλαγή του κλίματος στην Αυστρία χαρακτηρίζεται από μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας περίπου + 2°C από το 1880 (σε αντίθεση με + 0,85°C σε παγκόσμια κλίμακα) και αναμένεται περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας περίπου +1,4°C μέχρι το 2050 σε σχέση με τις τρέχουσες θερμοκρασίες (Bachner 2015).

Ένα μεγάλο ποσοστό του τουρισμού στη Γαλλία είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητο από το κλίμα. Οι τουρίστες που επισκέπτονται το Παρίσι δεν θα επηρεαστούν από την κλιματική αλλαγή αλλά και ο ορεινός όγκος της Γαλλίας και η ενδοχώρα της Προβηγκίας θα μείνουν ανεπηρέαστοι τουλάχιστον μέχρι το 2030. Οι γαλλικές ακτές του Ατλαντικού θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την αλλαγή του κλίματος. Υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερα επίπεδα των βροχοπτώσεων θα μπορούσαν να παρατείνουν την καλοκαιρινή σεζόν και να κάνουν μερικές φορές το άγριο κλίμα πιο ευχάριστο για την θάλασσα και την άμμο (Ehmer & Heymann 2008).

Επίσης, οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε έναν τόπο όπως και οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν σε παγκόσμια κλίμακα τη μακροχρόνια διαφύλαξη του πολιτιστικού πλούτου. Οι κίνδυνοι που προκύπτουν από την αλλαγή του κλίματος δεν απειλούν μόνο τα εκθέματα στο εξωτερικό περιβάλλον αλλά και τους θησαυρούς που βρίσκονται μέσα στα μουσεία. Και αυτό γιατί απαιτείται προσαρμογή των συστημάτων ελέγχου στις νέες κλιματικές αλλαγές (Serota 2008)

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις χώρες της Μεσογείου

Σύμφωνα με έρευνες του παγκόσμιου οργανισμού τουρισμού UNWTO, η Ευρώπη αποτελεί την σημαντικότερη τουριστική περιοχή στον κόσμο, εξαιτίας της δημοτικότητας των χωρών της Μεσογείου (Moreno & Amelung 2009). Η Μεσόγειος προσελκύει την πλειοψηφία των τουριστών (Amelung & Viner 2006), οι οποίοι περνούν τις διακοπές τους ανέμελα στον ήλιο, ένα ήλιο ευχάριστο και όχι πάρα πολύ καυτό. Εκτιμήσεις δείχνουν ότι το 84% των διεθνών τουριστών που επισκέπτονται τη Μεσόγειο προέρχονται από την Ευρώπη και κυρίως από τις βόρειες και δυτικές χώρες. Η Γερμανία είναι η μεγαλύτερη αγορά και ακολουθεί το Ηνωμένο Βασίλειο. Η Ισπανία, η Γαλλία, η Ιταλία και η Ελλάδα δέχονται περίπου το 80% των αφίξεων του μεσογειακού τουρισμού (Amelung & Viner 2006). Η ροή των τουριστών παρατηρείται από Βορρά προς Νότο, στην παράκτια ζώνη. Με την αλλαγή του κλίματος η κινητικότητα των τουριστών θα αλλάξει. Έτσι οι σημερινοί δημοφιλείς προορισμοί διακοπών μπορεί να μην γίνουν ιδιαίτερα ελκυστικοί λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας, και οι προορισμοί που σήμερα παρουσιάζουν χαμηλές θερμοκρασίες θα παρουσιάσουν ένα τουριστικό ρεύμα (Bujosa et al 2015). Περίπου το 10% του παγκόσμιου ΑΕΠ δαπανάται σήμερα για αναψυχή και τον τουρισμό. Η κλιματική αλλαγή πιθανώς δεν θα επηρεάσει το ποσό των χρημάτων που ξοδεύονται αλλά σε ποιο μέρος ξοδεύονται (Berrittella 2006).

Η περιοχή της Μεσογείου μέχρι το τέλος του αιώνα θα παρουσιάσει σημαντική μείωση στη διαθεσιμότητα του νερού και ειδικότερα το φθινόπωρο και το καλοκαίρι (Pascual 2014). Επίσης αναμένεται μια έντονη μείωση των βροχοπτώσεων και αύξηση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα τη θερινή περίοδο του έτους (Giorgi & Lionello 2008). Η Κύπρος ειδικότερα, προβλέπεται να επηρεαστεί αρνητικά από την αλλαγή του κλίματος. Το τουριστικό ρεύμα προς την Κύπρο αναμένεται να μειωθεί λόγω των θερμότερων καλοκαιριών, με ενδεχόμενη όμως μετατόπιση μέρους των αφίξεων προς τους εαρινούς και φθινοπωρινούς μήνες. Οι τουριστικές μονάδες θα πρέπει να

αναπτύξουν σχέδια προσαρμογής, προκειμένου να αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή. Θα υποχρεωθούν να υποβληθούν σε πρόσθετες δαπάνες προκειμένου να αναπτύξουν δομές για την αύξηση της θερμοκρασίας και την έλλειψη νερού (Ζαχαριάδης 2012).

Κλιματική αλλαγή και παράκτιος τουρισμός

Το κλίμα είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τον παράκτιο τουρισμό. Είναι αυτό που καθορίζει το μήκος και τα χαρακτηριστικά της τουριστικής περιόδου και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις επιλογές του τουριστικού προορισμού (Amengual et al 2014). Οι παράκτιες περιοχές χαρακτηρίζονται ως οι πλέον πυκνοκατοικημένες. Μεγάλος αριθμός ανθρώπων και υποδομών στις περιοχές αυτές απειλούνται από τις πλημμύρες και τη διάβρωση των ακτών και κατά συνέπεια οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αποτελούν σημαντικό λόγο για ανησυχία (Bosello & De Cian 2014). Η πλειοψηφία των δραστηριοτήτων του μαζικού τουρισμού συγκεντρώνεται γύρω από τις παράκτιες περιοχές. Μία από τις συνέπειες της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής είναι η απώλεια της παράκτιας γης, λόγω πιθανής ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της διάβρωσης των ακτών παράλληλα. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά τον επόμενο αιώνα αναμένεται να συμβάλει σημαντικά σε φυσικές μεταβολές κατά μήκος των ακτών και την ενίσχυση της διάβρωσης των ακτών (Alexandrakis et al. 2013). Επιπλέον, τα επίπεδα της στάθμης της θάλασσας θα αυξηθούν αλληλεπιδρώντας με καταιγίδες και τροπικούς κυκλώνες, δημιουργώντας έτσι κύματα, διάβρωση των ακτών, πλημμύρες, χωρίς να είναι εύκολο να αντιμετωπιστούν με επιτυχία (Nicholls 2007). Αλλά θα μπορούσε επίσης να υπάρξουν θετικά αποτελέσματα όπως, παράταση της περιόδου διακοπών στην παραλία την άνοιξη και το φθινόπωρο (Maddison 2001).

Κλιματική αλλαγή και ορεινός τουρισμός

Χειμερινός τουρισμός

Άμεση συνέπεια της αλλαγής του κλίματος είναι η μείωση της φυσικής χιονοκάλυψης. Ο χειμερινός τουρισμός εξαρτάται από το ύψος του χιονιού στις ορεινές περιοχές και ως εκ τούτου η βιωσιμότητά του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποσοστό χιονοκάλυψης (Trawöger 2014). Οι υποδομές για δραστηριότητες που σχετίζονται με το χιόνι και βρίσκονται σε χαμηλότερα υψόμετρα θα δεχτούν αρνητικές επιδράσεις λόγω της ποσότητας και ποιότητας του χιονιού και έτσι η περίοδος για σκι θα μειωθεί ή δεν θα υπάρχει καθόλου (March et al 2013). Ωστόσο, ικανοποιητική κάλυψη χιονιού θα ανέλθει σε μεγαλύτερα υψόμετρα από τα επόμενα έτη σε περίπτωση που προκύψει αλλαγή του κλίματος (Elsasser & Burki 2002, Abegg et al 2007). Οι στρατηγικές προσαρμογής διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον τομέα του χειμερινού τουρισμού (Rosselló-Nadal 2014).

Η χειμερινή τουριστική βιομηχανία συμβάλλει σημαντικά στην οικονομία των χωρών των Άλπεων. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στον ευρωπαϊκό τουρισμό αυτών (Elsasser & Messerli 2001). Κάτω από ένα θερμότερο κλίμα, ο αριθμός των φυσικά καλυπτόμενων με χιόνι περιοχών θα μειωθεί σημαντικά. Η αύξηση του αριθμού και της έντασης των φυσικών καταστροφών θέτουν σε κίνδυνο την προσβασιμότητα και τις υποδομές των τουριστικών προορισμών. Οι παγετώνες που λιώνουν επηρεάζουν την ελκυστικότητα του αλπικού τοπίου (OCCC 2007). Η χειμερινή τουριστική βιομηχανία έχει ανταποκριθεί στις επιπτώσεις των

παρατηρούμενων κλιματικών αλλαγών, καθώς έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή μια σειρά μέτρων τεχνολογικής και συμπεριφορικής προσαρμογής. Η απόφαση για τεχνητό χιόνι παραμένει η κυρίαρχη στρατηγική προσαρμογής. Ωστόσο, εάν συνεχιστούν οι τάσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη, το τεχνητό χιόνι και άλλα τεχνικά μέτρα δεν μπορεί να αρκούν για να αποτρέψουν μειώσεις στα επίπεδα του χιονιού. Σε ορισμένες περιοχές ενδέχεται να είναι απαραίτητη μια μετάβαση προς τις οικονομικές δραστηριότητες που δεν σχετίζονται με το χιόνι και ως εκ τούτου οι κυβερνήσεις μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία προσαρμογής σε αυτές τις αλλαγές. Αυτός ο τομέας του τουρισμού αφορά την Αυστρία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία και την Ελβετία (Bruno et al 2007).

Στις Άλπεις τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των εγκαταστάσεων τεχνητού χιονιού στις πίστες έχει αυξηθεί. Στην Ελβετία, η περιοχή πίστας του σκι που καλύπτεται με τεχνητό χιόνι τριπλασιάστηκε μέσα σε 10 χρόνια, από το 2000 έως το 2010. Η έλλειψη χιονιού λόγω υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλής βροχόπτωσης θεωρείται ως μία μεγάλη πρόκληση για τον χειμερινό τουρισμό των Άλπειων (Falk 2010). Στην Αυστρία ένα μεγάλο μέρος των δραστηριοτήτων του χειμώνα εξαρτάται από το χιόνι. Εκεί, λοιπόν, παράγεται τεχνητό χιόνι για περίπου το 60% των περιοχών της πίστας σκι, και, στις ιταλικές Άλπεις ανεβαίνει στο 100% (Rixen et al 2011). Ωστόσο, υπάρχουν πολλές ανησυχίες για τεχνητό χιόνι, εφόσον για τη δημιουργία του απαιτούνται υψηλά επίπεδα κατανάλωσης νερού και ενέργειας (CIPRA 2004). Επίσης υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στη βλάστηση και το έδαφος (Keller et al 2004, Rixen et al 2008).



Θετικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε αλπικές περιοχές



Εικόνα 8. Θετικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις αλπικές περιοχές.

Θερινός ορεινός τουρισμός

Οι αναμενόμενες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή στου ορεινούς όγκους, κατά την περίοδο του καλοκαιριού, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως θετική. Στην παρακάτω εικόνα συνοψίζονται οι κύριοι λόγοι για τους οποίους τα αποτελέσματα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι θετικά (Εικ. 8). Έτσι η αύξηση της θερμοκρασίας και ο μεγαλύτερος αριθμός ημερών με ηλιοφάνεια θεωρείται πλεονέκτημα για την προσέλκυση τουριστών (Pröbstl-Haider 2015).

Ο οργανισμός Τουρισμού της Αυστρίας, προωθεί με διαφημιστικές καμπάνιες τη νέα τάση, δηλαδή διακοπές στο βουνό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό βέβαια συνηθίζονταν το 1920 από πλούσιες αστικές οικογένειες. Επίσης στην Ιταλία με τη λεγόμενη «πράσινη εβδομάδα» προωθούνται οι διακοπές στις Άλπεις. Η αναβίωση αυτής της συνήθεια αναμένεται να υποστηριχτεί για τις υπαίθριες αθλητικές δραστηριότητες, εξαιτίας του κύματος καύσωνα στις Μεσογειακές χώρες. (Zebisch et al 2005, Pröbstl-Haider 2015).

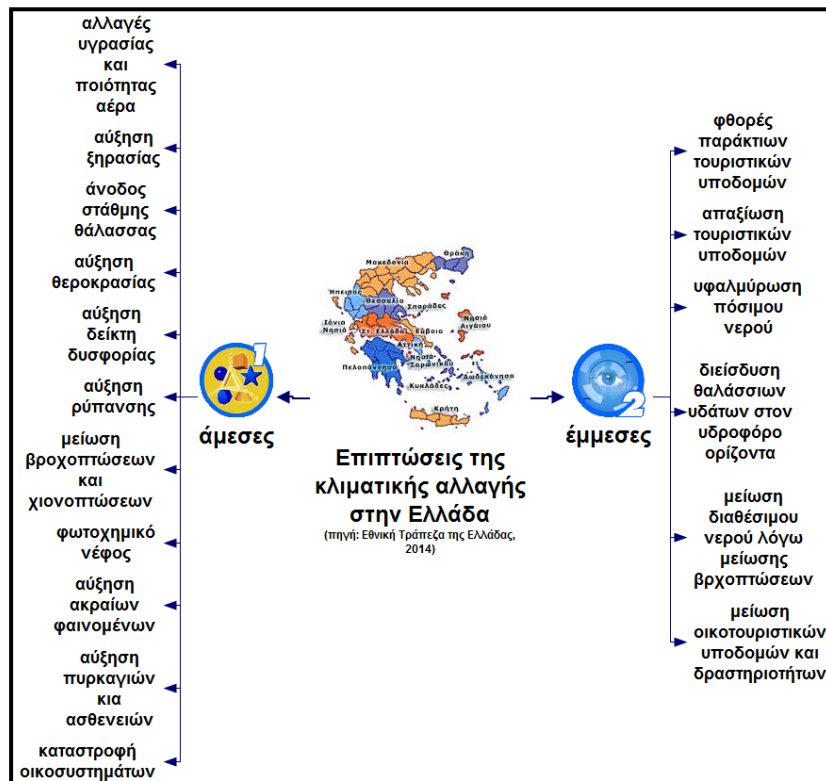
Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

Η Ελλάδα ανήκει στα κράτη που ήδη πλήττονται από τις κλιματικές αλλαγές. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, έχει ήδη γίνει αισθητή στην Ελλάδα, όπως και σε ολόκληρη τη Μεσόγειο. Η χώρα ξηρή και θερμή μαστιάζεται από παρατεταμένους καύσωνες και ξηρασίες, με καταστροφικές επιπτώσεις για το περιβάλλον, την υγεία και την οικονομία. Η αύξηση της θερμοκρασίας και η μείωση των βροχοπτώσεων σε πολλές περιοχές θα επηρεάσουν και τον τουρισμό και ειδικότερα τον παραθαλάσσιο τουρισμό. Η επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει τα επίπεδα άνεσης πολλών τουριστών. Παρακάτω παρουσιάζεται η μεταβολή του κλιματικού δείκτη τουρισμού από το 1970 έως το 2020 και από το 1970 έως το 2080 για τα διαφορετικά κλιματικά σενάρια, όπως παρουσιάζονται στη μελέτη PESETA.

Οι συνθήκες για το καλοκαίρι χειροτερεύουν σε μεγάλο βαθμό και από εξαιρετικά ιδανικές γίνονται οριακά καλές. Οι συνθήκες για το Φθινόπωρο και την Άνοιξη γίνονται εξαιρετικά ιδανικές. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι επιμήκυνση της τουριστικής περιόδου, με μεγαλύτερη ζήτηση το φθινόπωρο και την άνοιξη (Ζαμπάρα & Καραπάνος 2010).

Μεταβολή του δείκτη TCI σύμφωνα με την μελέτη PESETA για την Ελλάδα				
Εποχή	1970	2020	2080(2.5° C)	2080(3.9° C)
Άνοιξη	Καλό – Πολύ καλό	Πολύ καλό – Εξαιρετικό	Πολύ καλό - Εξαιρετικό	Εξαιρετικό - Ιδανικό
Καλοκαίρι	Εξαιρετικό - Ιδανικό	Πολύ καλό – Εξαιρετικό	Αποδεκτό - Καλό	Οριακό - Καλό
Φθινόπωρο	Καλό – Πολύ καλό	Πολύ καλό – Εξαιρετικό	Πολύ καλό - Εξαιρετικό	Πολύ καλό - Εξαιρετικό
Πηγή: PESETA (2009)				

Εικόνα 9.



Εικόνα 10. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα.

Δεδομένου ότι οι περισσότερες από τις τουριστικές δραστηριότητες στην Ελλάδα βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αποτελεί σημαντική απειλή για τουριστικές παραλίες καθώς και τα συναφή έσοδα από την τουριστική βιομηχανία (Alexandrakis et al. 2013). Όσον αφορά τα βουνά, αυτά αποτελούν δεξαμενές νερού, καθώς όλα τα ποτάμια πηγάζουν από αυτά. Στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής η Νότια Ευρώπη και ειδικά η Ελλάδα θα αντιμετωπίσει την ξηρασία με αποτέλεσμα τη μείωση της φόρτωσης με νερό του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτό θα οδηγήσει στην αλλαγή της εικόνας των φυσικών και κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών των οικοσυστημάτων (Andreopoulos et al 2015). Σύμφωνα με έρευνες οι κλιματικές αλλαγές θα συντελέσουν στην (Γιαννακόπουλος et al 2009):

- επιμήκυνση της τουριστικής περιόδου,
- ομοιόμορφη κατανομή των τουριστών και έτσι θα μοιραστεί η παροχή του νερού και της ενέργειας κατά τη θερινή περίοδο,
- αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων παροχής και παραγωγής ενέργειας λόγω της χρήσης κλιματιστικών,
- αύξηση του αριθμού των ημερών με θερμοκρασίες πάνω από 35°C στις τουριστικές περιοχές,
- αύξηση της δυσφορίας τουριστών λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας και υγρασίας,
- αύξηση του αριθμού των ημερών που θα απαιτήσουν ψύξη,

- αύξηση του κινδύνου δασικών πυρκαγιών, παράγοντα αποτρεπτικού για τον τουρισμό.

Επίλογος

Το κλίμα μιας περιοχής παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του τουρισμού και την προσέλκυση των τουριστών. Η κλιματική αλλαγή που έχει δεχτεί η Ευρώπη τα τελευταία χρόνια αλλά και σύμφωνα με τις προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων, θα καταστήσει κάποιες περιοχές να αποκτήσουν κλιματικά χαρακτηριστικά που τις αποκλείουν από τουριστικό προορισμό και άλλες κατάλληλες περιοχές. Η κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τα κλιματικά μοντέλα, μπορεί να επιδράσει σε σημαντικά στοιχεία του περιβάλλοντος των τουριστικών προορισμών και να οδηγήσει σε σταδιακή μετατόπιση των τουριστικών προορισμών προς υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη και υψόμετρα. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στις οικονομίες που εξαρτώνται από τον τουρισμό. Στρατηγικές διαχείρισης και προσαρμογής, μπορεί να παρέχουν ένα μέσο για τη μείωση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Γιαννακόπουλος, Χ., Κωστοπούλου, Ε., Βαρώτσος, Κ., Πληθάρας, Α. (2009). Το Αύριο της Ελλάδας: Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα κατά το Αμεσο Μέλλον. Αθήνα: WWF Ελλάς, 2009.
- Ζαμπάρα, Μ.Ε.Α., Καραπάνος, Γ.Β. (2010). Το Κόστος της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα. Διπλωματική εργασία. Ανακτήθηκε στις 10 Σεπτεμβρίου 2015 από: <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/5309>
- Κακαβάς, Γ. Α., Kakabas, G. A. (2011). Διερεύνηση σχέσης κλίματος-τουρισμού και εφαρμογή της ανάλυσης στο νησί της Σύρου. Διπλωματική εργασία. Ανακτήθηκε στις 16 Σεπτεμβρίου 2015 από: <http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/4724>

II. Ξενόγλωσση

- Abegg, B., Agrawala, S., Crick, F., de Montfalcon, A. (2007). Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: Climate Change in the European Alps. Paris: OECD, pp. 25–60.
- Agrawala, S. (2007). Climate change in the European Alps: Adapting winter tourism and natural hazards management. Paris: OECD.
- Alexandrakis, G., Manasakis, C., Kampanis, N. A. (2013) Estimation of the climatic change impact to beach tourism. The case of a mass tourist destination. ICOT 2013 Conference Trends Impacts and Policies on Sustainable Tourist Development. Proceedings in press.
- Amelung, B., Nicholls, S. (2014). Implications of climate change for tourism in Australia. Tourism Management. Vol. 41, pp. 228-244.
- Amelung, B., Viner, D. (2006). Mediterranean tourism: Exploring the future with the tourism climatic index. Journal of Sustainable Tourism. Vol. 14, No. 4, pp. 349-366.

- Amelung, B., Nicholls, S., Viner, D. (2007). Implications of global climate change for tourism flows and seasonality. *Journal of Travel Research*. Vol. 45, No.3, pp. 285–296.
- Amengual, A., Homar, V., Romero, R., Ramis, C., Alonso, S. (2014). Projections for the 21st century of the climate potential for beach-based tourism in the Mediterranean. *International Journal of Climatology*. Vol. 34, No.13, pp. 3481-3498.
- Andreopoulos, D., Damigos, D., Comiti, F., Fischer, C. (2015). Estimating the non-market benefits of climate change adaptation of river ecosystem services: A choice experiment application in the Aaos basin, Greece. *Environmental Science & Policy*. Vol. 45, pp. 92-103.
- Bachner, G. (2015). Land Transport Systems under Climate Change: A Macroeconomic Assessment of Adaptation Measures for the Case of Austria. *Graz Economics Papers 2015-01*, University of Graz, Department of Economics.
- Beniston, M., Stoffel, M., Clarvis, M. H., Quevauviller, P. (2014). Assessing climate change impacts on the quantity of water in Alpine regions: Foreword to the adaptation and policy implications of the EU/FP7 “ACQWA” project. *Environmental Science & Policy*. Vol. 43, pp. 1-4.
- Berrittella, M., Bigano, A., Roson, R., Tol, R.S. (2006). A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism. *Tourism Management*. Vol. 27, No. 5, pp. 913-924.
- Bigano, A., Gorla, A., Hamilton, J.M., Tol, R.S. (2005). The effect of climate change and extreme weather events on tourism. *FEEM Working Paper*.
- Bosello, F., De Cian, E. (2014). Climate change, sea level rise, and coastal disasters. A review of modeling practices. *Energy Economics*. Vol. 46, pp. 593-605.
- Braun, O.L., Lohmann, M., Maksimovic, O., Meyer, M., Merkovic, A., Messerschmidt, E., Turner, M. (1999). Potential impact of climate change effects on preferences for tourism destinations. A psychological pilot study. *Climate Research*. Vol. 11, No. 3, pp. 247-254.
- Bruno, A., Agrawala, S., Crick, F., de Montfalcon, A. (2007). Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: S. Arawala (Ed), *Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management*. Paris: OECD, pp. 25-60.
- Bujosa, A., Riera, A., Torres, C. M. (2015). Valuing tourism demand attributes to guide climate change adaptation measures efficiently: The case of the Spanish domestic travel market. *Tourism Management*. Vol. 47, pp. 233-239.
- CIPRA [International Commission for Protection of the Alps]. 2004. *Künstliche Beschneidung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht*. Schaan, Lichtenstein CIPRA.
- Ciscar, J. C., Iglesias, A., Feyen, L., Szabó, L., Van Regemorter, D., Amelung, B., Soria, A. (2011). Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 108, No. 7, pp. 2678-2683.
- Gössling, S., Scott, D., Hall, C. M., Ceron, J. P., Dubois, G. (2012). Consumer behaviour and demand response of tourists to climate change. *Annals of Tourism Research*. Vol. 39, No.1, pp. 36-58.
- Schröter, D., Zebisch, M., & Grothmann, T. (2005). Climate change in Germany- vulnerability and adaptation of climate-sensitive sectors. *Klimastatusbericht des DWD*. pp. 44-56.

- De Freitas, C.R. (2003). Tourism climatology: Evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 48, No.1, pp. 45-54.
- De Freitas, C. R., Scott, D., & McBoyle, G. (2004). A new generation climate index for tourism. *Advances in tourism climatology. Reports Meteorology Institute University of Freiburg*. No.12, pp. 19-26.
- Ehmer, P., Heymann, E. (2008) Climate change and tourism: Where will the journey lead? *Energy and climate change*. Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main, Germany.
- Elsasser, H., Messerli P.(2001). The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps. *Mountain Research and Development*. Vol. 21, No. 4, pp. 335–339.
- Elsasser, H., Bürki, R. (2002). Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Climate Research*. Vol. 20, No.3, pp. 253-257.
- Falk, M. (2010). A dynamic panel data analysis of snow depth and winter tourism. *Tourism Management*. Vol. 31, No.6, pp. 912-924.
- Giorgi, F., Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*. Vol. 63, No. 2, pp. 90-104.
- Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*. Vol. 19, No. 2, pp. 240-247.
- Hamilton, J.M., Maddison, D.J., Tol, R.S. (2005). Climate change and international tourism: A simulation study. *Global Environmental Change*. Vol. 15, No. 3, pp. 253-266.
- Hein, L., Metzger, M. J., Moreno, A. (2009). Potential impacts of climate change on tourism: A case study for Spain. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 1, No. 2, pp. 170-178.
- Keller, T., Pielmeier, C., Rixen, C., Gadiant, F., Gustafsson, D., Staehli, M. (2004). Impact of artificial snow and ski-slope grooming on snowpack properties and soil thermal regime in a sub-alpine ski area. *Annals of Glaciology*. Vol. 38, No. 1, pp. 314–318.
- Maddison, D. (2001). In search of warmer climates? The impacts of climate change on flows of British tourists. *Climatic Change*, Vol. 49, No. 1–2, pp. 193–208.
- March, H., Saurí, D., Llundés, J.C. (2014). Perception of the effects of climate change in winter and summer tourist areas: The Pyrenees and the Catalan and Balearic coasts, Spain. *Regional Environmental Change*. Vol. 14, No. 3, pp. 1189-1201.
- Marshall, N.A., Marshall, P.A., Abdulla, A., Roupheal, T., Ali, A. (2011). Preparing for climate change: Recognising its early impacts through the perceptions of dive tourists and dive operators in the Egyptian Red Sea. *Current Issues in Tourism*. Vol. 14, No. 6, pp. 507-518.
- Matzarakis, A (2001). Assessing climate for tourism purposes: existing methods and tools for the thermal complex. In: Matzarakis A, de Freitas CR (Eds). *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*. 5–10 October 2001. International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation, Greece, pp. 101-111.
- Matzarakis, A., de Freitas, C.R., Scott, D. (2007). *Developments in tourism climatology*. Commission Climate, Tourism and Recreation, International Society of Biometeorology.
- Moreno, A., Amelung, B. (2009). Climate change and tourist comfort on Europe's beaches in summer: A reassessment. *Coastal Management*. Vol. 37, No. 6, pp. 550-568.

- Nicholls, R. J. (2007). Adaptation Options for Coastal Areas and Infrastructure: An Analysis for 2030. Ανακτήθηκε στις 18 Σεπτεμβρίου 2015 από: https://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/nicholls..pdf
- Pascual, D., Pla, E., Lopez-Bustins, J. A., Retana, J., & Terradas, J. (2014). Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin: A case study in Catalonia, Spain. *Hydrological Sciences Journal*. Ανακτήθηκε στις 10 Σεπτεμβρίου 2015 από: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667.2014.947290?journalCode=thsj20#.VISY4b-bL20>
- Pröbstl-Haider, U., Haider, W., Wirth, V., Beardmore, B. (2015). Will climate change increase the attractiveness of summer destinations in the European Alps? A survey of German tourists. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. Vol. 11, pp. 44-57.
- Rixen, C., Freppaz, M., Stoeckli, V., Huovinen, C., Huovinen, K., Wipf, S. (2008). Altered snow density and chemistry change soil nitrogen mineralization and plant growth. *Arctic Antarctic and Alpine Research*. Vol. 40, No. 3, pp. 568-575.
- Rixen, C., Teich, M., Lardelli, C., Gallati, D., Pohl, M., Pütz, M., Bebi, P. (2011). Winter tourism and climate change in the Alps: An assessment of resource consumption, snow reliability and future snowmaking potential. *Mountain Research and Development*. Vol. 31, No. 3, pp. 229-236.
- Rosselló-Nadal, J. (2014). How to evaluate the effects of climate change on tourism. *Tourism Management*. Vol. 42, pp. 334-340.
- Scott, D., Hall, C. M., Gössling, S. (2012). *Tourism and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation*. Vol. 10. London: Routledge.
- Serota, N. (2008). Κλιματική αλλαγή και μουσειακές συλλογές. Συζητήσεις στρογγυλής τραπέζης για τη συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς σε έναν κόσμο που διαρκώς μεταβάλλεται. Εθνική Πινακοθήκη του Λονδίνου. Ανακτήθηκε στις 10 Σεπτεμβρίου 2015 από: <http://docplayer.gr/2613298-Klimatiki-allagi-kai-moyseiakes-sylloges-enarktiria-ekdilosi-gia-to-ialogoi-gia-to-neo-aiona.html>
- Trawöger, L. (2014). Convinced, ambivalent or annoyed: Tyrolean ski tourism stakeholders and their perceptions of climate change. *Tourism Management*. Vol. 40, pp. 338-351.
- Uyarra, M.C., Cote, I.M., Gill, J.A., Tinch, R.R., Viner, D., Watkinson, A.R. (2005). Island-specific preferences of tourists for environmental features: Implications of climate change for tourism-dependent states. *Environmental Conservation*. Vol. 32, No. 1, pp.11-19.
- Zachariadis, T. (2012). Climate Change in Cyprus: Impacts and Adaptation Measures. Ανακτήθηκε 20 Αυγούστου 2015 από: http://works.bepress.com/theodoros_zachariadis/26/

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 21^ο ΑΙΩΝΑ

Ευάγγελος Ι. Μανωλάς

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: emanolas@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ευθύνη που φέρει ο άνθρωπος για το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι πλέον αδιαμφισβήτητη. Εάν δεν ληφθούν μέτρα για τη μείωση των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα τον 21ο αιώνα θα αυξηθούν δύο ή τρεις φορές σε σχέση με τα επίπεδα της προ-βιομηχανικής εποχής. Στην εργασία αυτή οι προκλήσεις που είναι σημαντικό να απαντηθούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής συζητούνται στο πλαίσιο του έργου της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή και ιδιαίτερα της πέμπτης έκθεσης αξιολόγησης που δημοσιοποιήθηκε τα έτη 2013 και 2014.

Λέξεις κλειδιά: *Κλιματική αλλαγή, 21^{ος} αιώνας, προκλήσεις, προοπτικές*

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που έχει ποτέ αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα. Λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων, ιδιαίτερα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου, από ανθρώπινες δραστηριότητες, η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, όπως διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και υποξείδιο του αζώτου, έχει αυξηθεί σημαντικά. Ιδιαίτερα, η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, που αποτελεί και το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου, έχει, από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, αυξηθεί κατά 40%. Τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη εποχή στην παγκόσμια ιστορία, είναι σήμερα στα υψηλότερα επίπεδα τους (Unpacking the IPCC Fifth Assessment Report 2013).

Η ευθύνη που φέρει ο άνθρωπος για το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι πλέον αδιαμφισβήτητη. Εάν δεν ληφθούν μέτρα να μειωθούν οι εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα τον 21^ο αιώνα θα αυξηθούν δύο ή τρεις φορές σε σχέση με τα επίπεδα της προ-βιομηχανικής εποχής (Houghton 2011). Στην εργασία αυτή οι προκλήσεις που είναι σημαντικό να απαντηθούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής θα συζητηθούν στο πλαίσιο του έργου της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) και ιδιαίτερα της πέμπτης έκθεσης αξιολόγησης που δημοσιοποιήθηκε τα έτη 2013 και 2014.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή δημιουργήθηκε το 1988 από το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του ΟΗΕ και την Παγκόσμια Οργάνωση Μετεωρολογίας. Ο ρόλος της Επιτροπής είναι να αξιολογεί τις επιστημονικές, τεχνικές και κοινωνικο-οικονομικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες και για την κατανόηση της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής αλλά και για το σχεδιασμό και υλοποίηση των απαραίτητων πολιτικών για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Το έργο που παράγει η Επιτροπή αποτελείται από τρεις εκθέσεις, οι οποίες μαζί αξιολογούν την πληροφόρηση από τις φυσικές επιστήμες για τις αλλαγές που έχει υποστεί το κλίμα του πλανήτη, για τις προβλεπόμενες επιπτώσεις κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα αλλά και για τις ενέργειες που χρειάζεται να γίνουν για να περιοριστεί η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου (Degrees of change: the IPCC's projections for future temperature rise 2014).

Όσον αφορά τα αίτια του προβλήματος, κάθε έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής έχει προοδευτικά αποδώσει όλο και περισσότερη ευθύνη στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Όσον αφορά ανθρώπινη ευθύνη, η ισχυρότερη μέχρι στιγμής δήλωση καταγράφεται στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης. Συγκεκριμένα επισημαίνεται ότι είναι εξαιρετικά πιθανό (με πιθανότητα μεγαλύτερη από 95%) «το σημαντικότερο αίτιο της παρατηρούμενης θέρμανσης» από τη δεκαετία του 1950 και μετά να είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Παρόμοια δήλωση, με βεβαιότητα περίπου 66%, γίνεται και στην τρίτη έκθεση αξιολόγησης (2001), ενώ στην τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (2007) επισημαίνεται ότι «το μεγαλύτερο ποσοστό στην παρατηρούμενη αύξηση μέσων παγκόσμιων θερμοκρασιών από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα και μετά είναι πολύ πιθανό (με πιθανότητα μεγαλύτερη από 90%) να οφείλεται σε συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες».

Η τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής κατέληξε στο συμπέρασμα ότι «η υπερθέρμανση του κλιματικού συστήματος είναι αδιαμφισβήτητη». Η πέμπτη έκθεση αξιολόγησης προχώρησε περισσότερο συμπεραίνοντας ότι πολλές από τις παρατηρούμενες αλλαγές (υπερθέρμανση της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, άνοδος της στάθμης της θάλασσας και τήξη πάγων) είναι «χωρίς προηγούμενο επί δεκαετίες ή / και χιλιετίες» (Climate Change 2013: The Physical Science Basis 2013).

Τα δεδομένα των φυσικών επιστημών για την αλλαγή του κλίματος

Αύξηση της μέσης παγκόσμιας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας

Νέες μετρήσεις της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης δείχνουν αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,85°C από το 1880 και μετά, με τον ταχύτερο ρυθμό υπερθέρμανσης να παρατηρείται στην Αρκτική. 0,6 αυτής της αύξησης συνέβη από το 1950 και μετά. Η δεκαετία 2001-2010 είναι η θερμότερη που έχει καταγραφεί. Κατά την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης η μέση υπερθέρμανση σε παγκόσμιο επίπεδο τον προηγούμενο αιώνα (1906-2005) ήταν 0,74°C (Climate Change 2013: The Physical Science Basis 2013, Unpacking the IPCC Fifth Assessment Report 2013).

Μείωση της μέσης ετήσιας έκτασης πάγου στη θάλασσα

Η μέση ετήσια έκταση θαλάσσιου πάγου στον Αρκτικό Ωκεανό την περίοδο 1979-2012 έχει μειωθεί με ρυθμό από 3,5 έως 4,1% ανά δεκαετία. Συνολικά, από το 1950 και μετά, η έκταση θαλάσσιου πάγου μειώθηκε σχεδόν στο μισό. Η ποσότητα του πάγου που υπάρχει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού έχει μειωθεί σε ποσοστό μεγαλύτερο του 11% ανά δεκαετία (Unpacking the IPCC Fifth Assessment Report 2013).

Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης η προβλεπόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας για τον 21^ο αιώνα έχει αυξηθεί σημαντικά. Οι νέες προβλέψεις, με σενάριο χαμηλού επιπέδου εκπομπών, δείχνουν αύξηση από 0,26-0,55 μέτρα μέχρι το 2100 ενώ, με σενάριο υψηλού επιπέδου εκπομπών, δείχνουν αύξηση από 0,52-0,98 μέτρα.

Η τέταρτη έκθεση αξιολόγησης δεν συμπεριέλαβε κάποιες επιπτώσεις της κίνησης στρωμάτων πάγου στη θάλασσα που προκλήθηκαν λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Κατά συνέπεια, για τον παραπάνω λόγο, όσον αφορά άνοδο της στάθμης της θάλασσας για την περίοδο μέχρι το 2100, η τέταρτη έκθεση αξιολόγησης δημοσίευσε πολύ χαμηλότερες εκτιμήσεις, δηλαδή 0,18-0,38 μέτρα (με σενάριο χαμηλού επιπέδου εκπομπών) και 0,26-0,59 μέτρα (με σενάριο υψηλού επιπέδου εκπομπών) (Climate Change 2013: The Physical Science Basis 2013).

Την περίοδο 1900-2010 το επίπεδο της θάλασσας αυξήθηκε κατά 19 εκατοστά. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την περίοδο από το 1993 και μετά το ποσοστό αύξησης ήταν αυξημένο. Επίσης, τον τελευταίο αιώνα ο ρυθμός αύξησης της στάθμης της θάλασσας σε σχέση με τα τελευταία 2000 χρόνια είναι ασυνήθιστα υψηλός (Unpacking the IPCC Fifth Assessment Report 2013).

Οξίνιση ωκεανών

Περισσότερο διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα στη σύνθεση των ωκεανών κάνει τους ωκεανούς περισσότερο όξινους. Η αύξηση της οξίνισης των ωκεανών αποτελεί σοβαρή απειλή για τους κοραλλιογενείς υφάλους οι οποίοι έχουν μεγάλη σημασία για την αλιεία, την αναψυχή, τον τουρισμό αλλά και την προστασία των ακτών. Επιπλέον, οι κοραλλιογενείς υφάλι αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες αποθήκες θαλάσσιας βιοποικιλότητας. Τα τελευταία χρόνια η επιδείνωση της υγείας των κοραλλιογενών υφάλων δεν έχει προηγουμένο (Maslin 2009, Boyd & Tomkins 2010).

Η πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής τονίζει ότι η αύξηση της οξίνισης των ωκεανών συνεχίζεται. Το pH (μέτρο οξύτητας / αλκαλικότητας) του θαλάσσιου νερού έχει μειωθεί κατά 0,1 από την αρχή της βιομηχανικής εποχής, μείωση που αντιστοιχεί σε αύξηση της οξύτητας κατά 26% (Unpacking the IPCC Fifth Assessment Report 2013).

Ακραία καιρικά φαινόμενα

Από το 1950 και μετά πολλά ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν γίνει περισσότερο συχνά και περισσότερο έντονα (Unpacking the IPCC Fifth Assessment Report 2013). Για παράδειγμα, το 2005, οι τυφώνες του Ατλαντικού ήταν δεκαπέντε,

συμπεριλαμβανομένου και του τυφώνα Katrina. Οι τυφώνες αυτοί έχουν καταγραφεί ως οι χειρότεροι στα χρονικά (Sorensen 2014) και συνολικά προκάλεσαν ζημιές αξίας 115 δισεκατομμυρίων δολαρίων (Brown 2011). Ο τυφώνας Katrina ευθύνεται για το θάνατο τουλάχιστον 1200 ανθρώπων. Στην Κεντρική Αμερική, το 1998, ο τυφώνας Mitch προκάλεσε το θάνατο τουλάχιστον 10000 ανθρώπων.

Το 2000 στην Αγγλία πλημμύρες που χαρακτηρίζονταν ως γεγονότα που συμβαίνουν «μια φορά κάθε τριάντα χρόνια» συνέβησαν δύο φορές τον ίδιο μήνα. Επιπλέον, ο χειμώνας του 2000/1 στη Βρετανία έχει καταγραφεί ως ο χειμώνας με τους πλέον υγρούς έξι μήνες από την εποχή που άρχισε να γίνεται καταγραφή το 18^ο αιώνα. Ο Αύγουστος του 2008 αποτελεί τον υγρότερο μήνα που έχει ποτέ καταγραφεί και η περίοδος Απρίλιος-Ιούνιος 2012 αποτελεί την υγρότερη άνοιξη στην ιστορία. Οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις τον Οκτώβριο του 2000 στην Ελβετία, τη Γαλλία και την Ιταλία ευθύνονται για ζημιές σχεδόν έξι εκατομμυρίων λιρών ενώ οι πλημμύρες το καλοκαίρι του 2002 κόστισαν περισσότερο από 14 εκατομμύρια λίρες. Το κύμα καύσωνα που έπληξε την Ευρώπη το 2003 ευθύνεται για το θάνατο περίπου 50000 ανθρώπων (Maracchi et al. 2006, Maslin 2013).

Κλιματικοί πρόσφυγες

Η Γερμανική Συμβουλευτική Επιτροπή για την Κλιματική Μεταβολή θεωρεί ότι 10-25% της παγκόσμιας μεταναστευτικής κίνησης είναι αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών της. Το Πανεπιστήμιο των Ηνωμένων Εθνών – Ινστιτούτο για το Περιβάλλον και την Ανθρώπινη Ασφάλεια στη Βόννη εκτιμά ότι μέχρι το 2010 ο αριθμός των περιβαλλοντικών προσφύγων ήταν τουλάχιστον 50 εκατομμύρια. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή επισημαίνει ότι μέχρι το 2050 οι πρόσφυγες ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής θα φτάσουν μέχρι και 150 εκατομμύρια (Acketoft 2008). Η έκθεση Stern συμπεραίνει ότι μέχρι το 2050 οι πρόσφυγες είναι πιθανό να φτάσουν μέχρι και 200 εκατομμύρια. Επίσης, ο Norman Myers εκτιμά ότι μέχρι το 2050 οι πρόσφυγες θα ξεπεράσουν τα 200 εκατομμύρια (Stern 2006, Graeme 2008).

Πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Κατά την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή έστω και μια μόνο μέτρια άνοδος της θερμοκρασίας αρκεί για να οδηγήσει σε περισσότερο ακραία καιρικά φαινόμενα, στην εξαφάνιση των κοραλλιογενών υφάλων αλλά και στην εξαφάνιση του θαλάσσιου πάγου στον Αρκτικό Ωκεανό κατά την περίοδο του καλοκαιριού.

Για παράδειγμα, υπερθέρμανση μεγαλύτερη από 1,5 βαθμούς πάνω από τα επίπεδα της προ-βιομηχανικής εποχής θα οδηγούσε στην εξαφάνιση του 90% ή και περισσότερο των κοραλλιογενών υφάλων ενώ τα ακραία καιρικά φαινόμενα αποτελούν «υψηλό κίνδυνο» με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,6 βαθμούς.

Άνοδος της θερμοκρασίας κατά 3,6 βαθμούς σημαίνει «εκτεταμένη» εξαφάνιση ειδών. Επιπλέον, δημιουργούνται κίνδυνοι για εκτεταμένη και μη αναστρέψιμη άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Wynn 2014).

Ένας κόσμος κατά 3 βαθμούς θερμότερος θα χαρακτηριζόταν από σημαντική πτώση της παραγωγής τροφής, αύξηση των καυσώνων σε αστικές περιοχές, καύσωνες

παρόμοιους με τον καύσωνα που οδήγησε στο θάνατο 1000 άτομα το Μάιο του 2015 στην Ινδία, καθώς και από περισσότερες ξηρασίες και πυρκαγιές.

Η άνοδος της θερμοκρασίας θα μπορούσε επίσης να αυξήσει τον αριθμό των προσφύγων. Επιπλέον, αν η αύξηση της θερμοκρασίας συνεχιστεί, μέσα σε ένα αιώνα, πολλές πυκνοκατοικημένες και με χαμηλό υψόμετρο περιοχές θα γίνουν μη κατοικήσιμες. Επιπρόσθετα, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 βαθμούς θα σήμαινε σοβαρά προβλήματα στο παγκόσμιο οικονομικό σύστημα και στο βιοπορισμό εκατομμυρίων ανθρώπων και πιθανόν αύξηση του αριθμού των συγκρούσεων με στόχο την πρόσβαση και εκμετάλλευση φυσικών πόρων (Lewis 2015).

Με άνοδο της θερμοκρασίας στους 4 βαθμούς οι κίνδυνοι όσον αφορά το κλίμα σε παγκόσμιο επίπεδο θα είναι από «υψηλοί έως πολύ υψηλοί». Αυτό θα σήμαινε «...σοβαρές και εκτεταμένες επιπτώσεις σε μοναδικά και απειλούμενα οικοσυστήματα, μεγάλου μεγέθους εξαφάνιση ειδών, εκτεταμένους κινδύνους στην επάρκεια των τροφίμων. Επιπλέον, ο συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών με την υγρασία θα δημιουργούσε σοβαρά προβλήματα στις καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες» (Degrees of change: the IPCC's projections for future temperature rise 2014).

Λύσεις

Οι δρόμοι προς την επίτευξη των επιθυμητών στόχων είναι πολλοί, διαφορετικοί, πολύπλοκοι, και σε πολλές περιπτώσεις, αντιφατικοί. Μερικά παραδείγματα:

Για να λυθεί το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής πρέπει να σταματήσουν να υφίστανται τα αίτια που το δημιούργησαν, δηλαδή η χρήση ορυκτών καυσίμων. Για παράδειγμα, τις επόμενες δύο δεκαετίες, σύμφωνα με την τελευταία έκθεση αξιολόγησης, η χρήση ορυκτών καυσίμων θα πρέπει να μειωθεί κατά 20% - ιδιαίτερα σημαντική είναι η εξάλειψη του άνθρακα. Αντίθετα, οι επενδύσεις σε ενέργεια με χαμηλές εκπομπές άνθρακα θα πρέπει να διπλασιαστούν (Abrams 2014).

Ένας διεθνής φόρος άνθρακα θα μπορούσε να είναι αποτελεσματικός τρόπος διαχείρισης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι φόροι άνθρακα χαρακτηρίζονται από προβλεψιμότητα και μπορούν να εφαρμοστούν σχετικά γρήγορα (Dowdey 2007, Cap and trade 2015). Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι οι φόροι άνθρακα δεν είναι αρεστοί στους πολιτικούς γιατί φοβούνται ότι οι πολίτες δεν θα τους ψηφίσουν εάν τους επιβάλλουν φορολογία για τη ρύπανση που προκαλούν (Helm 2012).

Αν δεν μπορούμε να απελευθερωθούμε από τα ορυκτά καύσιμα, η τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα είναι ένας τρόπος να διορθώσουμε τη ζημιά που έχουμε προξενήσει. Βέβαια τέτοιου είδους τεχνολογίες δεν υπάρχουν σε αφθονία και ούτε είναι βέβαιο ότι θα είναι διαθέσιμες ή προσιτές στο μέλλον (Abrams 2014). Επιπλέον, η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα χρειάζεται εξαιρετικά μεγάλη προσοχή μια και το συγκεκριμένο αέριο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο (Maslin 2009, Carbon Dioxide Capture and Sequestration 2015).

Τα κτίρια στα οποία κατοικούμε και εργαζόμαστε ευθύνονται για το 32% της χρήσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα κτίρια συμβάλλουν στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είτε γιατί δεν χρησιμοποιούν καθαρές μορφές ενέργειας είτε γιατί υστερούν όσον αφορά αποτελεσματικότερη χρήση των υφιστάμενων πηγών ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη στις νέες κατασκευές την ενεργειακή αποδοτικότητα

και αναβαθμίζοντας τα παλιά κτίρια με τις ίδιες αρχές, είναι ενέργειες που θα φέρουν τεράστιες αλλαγές. Η αντιμετώπιση του προβλήματος συμπεριλαμβάνει βελτίωση ή αντικατάσταση διατάξεων και κανονισμών και διευκολύνσεις που αφορούν ζητήματα χρηματοδότησης (Abrams 2014, Green buildings 2015).

Από το 2011 περισσότερο από το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές και μέχρι το 2050 το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει 70%. Μερικές από τις αλλαγές στις πόλεις που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην καταπολέμηση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής είναι περισσότερο αποδοτική χρήση χώρων και επενδύσεις στη δημόσια συγκοινωνία. Η στροφή σε καύσιμα με χαμηλές εκπομπές άνθρακα είναι επίσης σημαντική (Abrams 2014).

Επιπλέον, μερικά σημαντικά μέτρα που θα μπορούσαν να υιοθετηθούν από τους πολίτες είναι: λιγότερη χρήση αυτοκινήτου ιδιωτικής χρήσης, περισσότερη χρήση ποδηλάτου, περπάτημα, λιγότερη χρήση αεροπλάνων, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση αγαθών, αγορά τοπικών προϊόντων, λιγότερη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος (Climate Change 2015).

Συμπεράσματα

Η παγκόσμια οικονομική κρίση του 2008-2009 μας διδάσκει να ξανασκεφτούμε πως λειτουργούν τα πολιτικά και οικονομικά μας συστήματα αλλά και πως παγκόσμιες διαδικασίες μας επηρεάζουν ως άτομα, οικογένειες και κοινότητες. Η κρίση μας διδάσκει, επίσης, ότι μερικές φορές πρέπει να ξοδεύουμε τεράστια ποσά για πράγματα που δεν θέλουμε, για να αποφύγουμε χειρότερα αποτελέσματα. Αυτό μπορεί να ισχύει και για το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής (Boyd & Tomkins 2009).

Δεδομένων των αβεβαιοτήτων όσον αφορά το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής και τις εκτιμήσεις για τις επιπτώσεις του συγκεκριμένου προβλήματος στον πλανήτη και στον άνθρωπο, είναι σημαντικό οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου να μειωθούν σημαντικά. Αυτό θα προσφέρει στον άνθρωπο περισσότερο χρόνο να κατανοήσει τους κινδύνους που τον περιβάλλουν, θα διευκολύνει τη μετάβαση σε περισσότερο καθαρές, περισσότερο αειφορικές μορφές ενέργειας, θα μειώσει τις όποιες πιθανές, αρνητικές εκπλήξεις (Mastrandrea & Schneider 2010, Henson 2011).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες θα πρέπει να πάρουν πρωτοβουλίες όχι μόνο λόγω της ιστορικής τους ευθύνης στη δημιουργία του προβλήματος αλλά και λόγω των περισσότερων δυνατοτήτων που έχουν για επίλυση της συγκεκριμένης πρόκλησης (Mastrandrea & Schneider 2010).

Η αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής επιβάλλει να ξανασκεφτούμε και να επαναπροσδιορίσουμε όχι μόνο τους στόχους μας αλλά και τους λόγους για τους οποίους υπάρχουμε. Μας επιβάλλει, επίσης, να επικεντρωθούμε στις μακροπρόθεσμες συνέπειες των βραχυπρόθεσμων ενεργειών μας (Hulme 2010). Εάν γίνουν σοβαρές ενέργειες σήμερα, ένα μεγάλο μέρος της ζημιάς που θα μπορούσε να προκληθεί από την αλλαγή του κλίματος μπορεί να αντιμετωπιστεί.

Βιβλιογραφία

- Abrams, L. (2014). IPCC report: The top 10 ways to avert a climate catastrophe. April 2014. Ανακτήθηκε στις 17 Οκτωβρίου 2015 από: http://www.salon.com/2014/04/14/ipcc_report_the_top_10_ways_to_avert_a_climate_catastrophe/
- Acketoft, T. (2008). Report: Environmentally induced migration and displacement: a 21st century challenge. Council of Europe. Parliamentary Assembly Doc. 11785, Strasbourg.
- Boyd, E., Tompkins, E. L. (2010). Climate Change: A Beginner's Guide, Oxford: Oneworld Publications.
- Brown, L.R. (2011). World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse. New York: Earth Policy Institute. Ανακτήθηκε στις 4 Νοεμβρίου 2015: http://www.earth-policy.org/images/uploads/book_files/wotebook.pdf
- Cap and trade (2015). Carbon Tax Center. July 15. Ανακτήθηκε στις 6 Νοεμβρίου 2015 από: <http://www.carbontax.org/dead-ends/cap-and-trade/>
- Climate Change 2013: The Physical Science Basis (2013). Center for Climate and Energy Solutions. Ανακτήθηκε στις 20 Ιουλίου 2015 από: <http://www.ces.org/science-impacts/ipcc-summaries/fifth-assessment-report-working-group-1>
- Climate Change (2015). National Geographic. Ανακτήθηκε στις 6 Νοεμβρίου 2015 από: <http://education.nationalgeographic.com/encyclopedia/climate-change/>
- Dowdey, S. (2007). How Carbon Tax Works. 30 August. HowStuffWorks.com. Ανακτήθηκε στις 9 Νοεμβρίου 2015 από: <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/carbon-tax1.htm>
- Degrees of change: the IPCC's projections for future temperature rise (2014). Carbon Brief. April 15. Ανακτήθηκε στις 25 Οκτωβρίου 2015 από: <http://www.carbonbrief.org/degrees-of-change-the-ipccs-projections-for-future-temperature-rise>
- Carbon Dioxide Capture and Sequestration (2015). Environmental Protection Agency. November 4. Ανακτήθηκε στις 6 Νοεμβρίου 2015 από: <http://www3.epa.gov/climatechange/ccs/>
- Graeme, H. (2008). Migration, development and environment. International Organisation for Migration. IOM Migration Research Series No. 35.
- Green Buildings (2015). Earth Day Network: Green Cities Campaign. Ανακτήθηκε στις 2 Νοεμβρίου 2015 από: <http://www.earthday.org/greencities/green-buildings/>
- Helm, D. (2012). Forget Kyoto: Putting a tax on carbon consumption. November 8. Yale Environment 360. Ανακτήθηκε στις 20 Μαρτίου 2014 από: http://e360.yale.edu/feature/forget_kyoto_putting_a_tax_on_carbon_consumption/2590/
- Henson, R. (2011). The Rough Guide to Climate Change, 3rd Edition, London: Rough Guides.
- Houghton, J. (2011). Global Warming, Climate Change and Sustainability – Challenge to Scientists, Policymakers and Christians. Briefing Paper 14. Fourth Edition 2011. The John Ray Initiative. Ανακτήθηκε στις 30 Απριλίου 2015 από: http://www.gci.org.uk/Documents/BriefingNo14_4thEdition_July.pdf
- Lewis, R. (2015). As UN says world to warm by 3 degrees, scientists explain what that means. September 23. Aljazeera America. Ανακτήθηκε στις 25 Οκτωβρίου 2015 από: <http://america.aljazeera.com/articles/2015/9/23/climate-change-effects-from-a-3-c-world.html>

- Maracchi, G., Genesio, L., Vaccari, F.P. (2006). Climate Change and Sustainability: Problems and Solutions in Tuscany, Florence: San Rossore, A New Global Vision.
- Maslin, M. (2009). Global Warming: A Very Short Introduction, Oxford: Oxford University Press.
- Maslin, M. (2013). Climate: A Very Short Introduction, Oxford: Oxford University Press.
- Mastrandrea, M.D., Schneider, S.H. (2010). Preparing for Climate Change, Boston: The MIT Press.
- Sorensen, E. (2014). Reasons behind the quietest hurricane season in 30+ years. October 10. Ανακτήθηκε στις 20 Οκτωβρίου 2015 από: <http://wqad.com/2014/10/10/reasons-behind-the-quietest-hurricane-season-in-30-years/>
- Stern, N. (2006). The Economics of Climate Change. The Stern Review. HM Treasury, London.
- What is a carbon tax? (2012). December 12. <http://www.carbontax.org/introduction/>
- Wynn, G. (2014). How much worse is a 4 degrees world? April 1. Ανακτήθηκε στις 25 Οκτωβρίου 2015 από: <http://www.climatechangenews.com/2014/04/01/how-much-worse-is-a-4-degrees-world/>
- Unpacking the IPCC Fifth Assessment Report (2013). Climate Council. Australia. Ανακτήθηκε στις 23 Απριλίου 2014 από: <http://gladstoneconservationcouncil.com.au/web/wp-content/uploads/2013/10/CC.report-Unpacking-the-5th-IPCC-report.pdf>