

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

“ *Μοντελοποίηση της διακινδύνευσης δασικών πυρκαγιών στον τομέα της γαλάζιας οικονομίας υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής: Εφαρμογή στον τουρισμό της νήσου Κρήτης* ”

Διπλωματική εργασία

Τζουβελέκη Μαγδαληνή Μαρία
Α.Μ. 21715

Αθήνα, Δεκέμβριος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Δρ. Χατζάκη Μαρία (Επιβλέπουσα)
Επίκουρη Καθηγήτρια
Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Δρ. Αντωνίου Βαρβάρα
Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό
Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Δρ. Γιαννακόπουλος Χρήστος
Διευθυντής Ερευνών
Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία, με θέμα “Μοντελοποίηση της διακινδύνευσης δασικών πυρκαγιών στον τομέα της γαλάζιας οικονομίας υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής: Εφαρμογή στον τουρισμό της νήσου Κρήτης” εκπονήθηκε στα πλαίσια των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, στο τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος της Σχολής Θετικών Επιστημών.

Με την ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών μου, πρωτίστως ευχαριστώ θερμά την κα. Χατζάκη Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τομέα Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α., αρχικά για την έγκριση ανάληψης του θέματος της διπλωματικής εργασίας μου κι έπειτα για την πολύτιμη καθοδήγηση, τον χρόνο που αφιέρωσε και την εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπό μου καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Ωφείλω να ευχαριστήσω επίσης την κα. Αντωνίου Βαρβάρα, μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού του Τομέα Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α., ιδιαίτερα για τις υποδείξεις και την καθοριστική συμβολή της κατά τα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων της εργασίας κι εξαγωγής των τελικών αποτελεσμάτων της χωρικής ανάλυσης.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά τον κ. Γιαννακόπουλο Χρήστο, Διευθυντή Ερευνών του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για την παροχή του συνόλου δεδομένων εκτίμησης του δείκτη *Fire Weather Index* (*FWI*) που αποτέλεσε θεμελιώδη συνιστώσα του εν λόγω μοντέλου διακινδύνευσης, καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις του αναφορικά με τα ευρήματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς την οικογένειά μου, η οποία συνέβαλε ενεργά στην επίτευξη των στόχων μου, για την αμέριστη κατανόηση, ηθική υποστήριξη κι έμπρακτη συμπαράσταση καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία.

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου...

Περιεχόμενα

Κατάλογος Διαγραμμάτων.....9
Κατάλογος Εικόνων.....11
Κατάλογος Πινάκων.....11
Κατάλογος Χαρτών.....13
Περίληψη.....16
Abstract.....17
Πρόλογος.....18

Κεφάλαιο 1ο : Κλιματική αλλαγή.....21
1.1 Εισαγωγή.....21
1.2 Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή.....23
1.3 Σενάρια εκπομπών και πορείες συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου.....25
1.4 Ειδική έκθεση αξιολόγησης της IPCC SR1.5.....32
1.4.1 Γενικά.....32
1.4.2 Υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5 °C.....33
1.4.3 Εκτιμήσεις μελλοντικών κινδύνων και επιπτώσεις.....37
1.4.4 Λόγοι ανησυχίας (Reasons for Concern – RFC) και ακραία καιρικά φαινόμενα.....39
1.5 Άμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.....41
1.5.1 Υποβάθμιση της γης.....41
1.5.2 Κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς.....43

Κεφάλαιο 2ο : Το φαινόμενο της πυρκαγιάς.....47
2.1 Γενικά.....47
2.2 Παράγοντες εμφάνισης και επέκτασης πυρκαγιάς.....50
2.3 Δασικά οικοσυστήματα υπό καθεστώς πυρκαγιάς.....55
2.3.1 Είδη δασικών πυρκαγιών.....58
2.4 Δραστηριότητα πυρκαγιάς στην Ελλάδα.....61
2.4.1 Δασικές πυρκαγιές στην Περιφέρεια Κρήτης (1983 – 2005).....68

Κεφάλαιο 3ο : Αξιολόγηση επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς.....72
3.1 Συστήματα αξιολόγησης κινδύνου.....72
3.2 Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Δασικής Πυρκαγιάς (Canadian Forest Fire Danger Rating System).....74
3.2.1 Καναδικός δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς (Fire Weather Index – FWI).....75
3.2.2 Κατηγορίες κινδύνου δείκτη FWI.....78
3.3 Άλλοι δείκτες κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς.....79

Κεφάλαιο 4ο : Μεθοδολογία.....81
4.1 Δημιουργία σύνθετων δεικτών.....81
4.1.1 Γενικά.....81
4.1.2 Μεθοδολογία ανάπτυξης σύνθετων δεικτών.....82
4.1.2.1 Ανάπτυξη θεωρητικού πλαισίου.....84
4.1.2.2 Συλλογή δεδομένων.....85
4.1.2.3 Υπολογισμός ελλειπουσών τιμών.....86
4.1.2.4 Πολυκριτηριακή ανάλυση.....89
4.1.2.5 Κανονικοποίηση τιμών.....91
4.1.2.6 Στάθμιση και άθροιση δεικτών.....93
4.1.2.7 Ανάλυση αβεβαιότητας και ευαισθησίας.....100
4.1.2.8 Συσχέτιση σύνθετου δείκτη με τα επιμέρους στοιχεία.....101
4.1.2.9 Συσχέτιση σύνθετου δείκτη με συναφείς δείκτες.....102
4.1.2.10 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....103
4.2 Επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων.....104
4.2.1 Πολυκριτηριακή ανάλυση.....104
4.2.2 Εισαγωγή στην Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία.....106
4.2.2.1 Βασικά στάδια υλοποίησης της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.....109
4.2.2.2 Πλεονεκτήματα της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.....114
4.2.3 Διαδικτυακή εφαρμογή BPMSG’s AHP Online System.....115

4.3 Ανάπτυξη μοντέλου διακινδύνευσης.....120
4.3.1 Οι έννοιες της τρωτότητας και της διακινδύνευσης.....120
4.3.2 Μεθοδολογία εκτίμησης της διακινδύνευσης.....131
4.3.2.1 Προεργασία.....132
4.3.2.2 Ανάπτυξη "αλυσίδων επιπτώσεων".....133
4.3.2.3 Προσδιορισμός και επιλογή δεικτών.....135
4.3.2.4 Εύρεση και διαχείριση δεδομένων.....136
4.3.2.5 Κανονικοποίηση τιμών.....136
4.3.2.6 Προσδιορισμός συντελεστών στάθμισης και άθροιση δεικτών.....139
4.3.2.7 Άθροιση κύριων συνιστωσών διακινδύνευσης.....144
4.3.2.8. Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....145

Κεφάλαιο 5ο : Υλικά και μέθοδοι.....148
5.1 Περιοχή μελέτης.....148
5.1.1 Δημογραφικά στοιχεία.....151
5.1.2 Οικονομικά στοιχεία.....155
5.2 Ανάπτυξη μοντέλου διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς.....159
5.2.1 Κρίση εμπειρογνωμόνων.....159
5.2.2 Παράγοντας Έκθεσης.....163
5.2.2.1 Φύση της έκθεσης.....163
5.2.2.2 Επίπεδο της έκθεσης.....164
5.2.3 Παράγοντας Τρωτότητας.....166
5.2.3.1 Ευαισθησία.....166
5.2.3.2 Προσαρμοστική ικανότητα.....166
5.2.4 Κατάταξη δεικτών έκθεσης και τρωτότητας.....168
5.2.5.Παράγοντας Κινδύνου.....170
5.2.6 Στάθμιση συνιστωσών διακινδύνευσης.....172
5.3 Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας βάσει της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Analytic Hierarchy Process – AHP).....178
5.3.1 Συντελεστές βαρύτητας ανά προσέγγιση της AHP.....184

5.4 Εκτίμηση του δείκτη διακινδύνευσης στο περιβάλλον ArcMap.....190
5.4.1 Προεργασία γεωχωρικών δεδομένων.....190
5.4.1.1 Δείκτες έκθεσης.....190
5.4.1.2 Δείκτες τρωτότητας.....192
5.4.1.3 Δείκτης κινδύνου.....198
5.4.2 Διαδικασία κανονικοποίησης τιμών.....210
5.4.3 Υλοποίηση σταθμισμένου αθροίσματος.....214

Κεφάλαιο 6ο : Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....219
6.1 Αποτελέσματα σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση της AHP.....222
6.1.1 Εκτιμήσεις για την περίοδο 1986 – 2005 (1η προσέγγιση).....222
6.1.2 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (1η προσέγγιση).....225
6.1.3 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 (1η προσέγγιση).....229
6.1.4 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5 (1η προσέγγιση).....232
6.2 Αποτελέσματα σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση της AHP.....237
6.2.1 Εκτιμήσεις για την περίοδο 1986 – 2005 (2η προσέγγιση).....237
6.2.2 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (2η προσέγγιση).....240
6.2.3 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 (2η προσέγγιση).....244
6.2.4 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5 (2η προσέγγιση).....248
6.3 Αποτελέσματα σύμφωνα με την τρίτη προσέγγιση της AHP.....253
6.3.1 Εκτιμήσεις για την περίοδο 1986 – 2005 (3η προσέγγιση).....253
6.3.2 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (3η προσέγγιση).....256
6.3.3 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 (3η προσέγγιση).....260
6.3.4 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5 (3η προσέγγιση).....265

Συμπεράσματα.....271
Βιβλιογραφία.....274
Παράρτημα.....289

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1 Διαχρονική εξέλιξη της δραστηριότητας των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1970 – 2018.....65
Διάγραμμα 2.2 Κατανομή της συνολικής καμένης έκτασης ανά έτος κατά την περίοδο 1970 – 2018 στην Ελλάδα.....66
Διάγραμμα 2.3 Πλήθος πυρκαγιών ανά Περιφερειακή Ενότητα Κρήτης κατά την περίοδο 1983 – 2005.....70
Διάγραμμα 2.4 Σύνολο καμένων εκτάσεων ανά Περιφερειακή Ενότητα Κρήτης κατά την περίοδο 1983 – 2005.....70
Διάγραμμα 4.1 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου εκτίμησης της τρωτότητας.....121
Διάγραμμα 4.2 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης.....124
Διάγραμμα 4.3 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου *INFORM*.....130
Διάγραμμα 4.4 Άθροιση των επιμέρους δεικτών του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης.....143
Διάγραμμα 5.1 Ιεραρχική δομή της διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς σε τουριστικές περιοχές.....161
Διάγραμμα 6.1 Διαχρονική εξέλιξη του δείκτη διακινδύνευσης με βάση την 1η προσέγγιση της AHP.....219
Διάγραμμα 6.2 Διαχρονική εξέλιξη του δείκτη διακινδύνευσης με βάση την 2η προσέγγιση της AHP.....220
Διάγραμμα 6.3 Διαχρονική εξέλιξη του δείκτη διακινδύνευσης με βάση την 3η προσέγγιση της AHP.....221
Διάγραμμα 6.4 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα κατά την περίοδο 1986 – 2005 (1η προσέγγιση AHP).....224
Διάγραμμα 6.5 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).....227
Διάγραμμα 6.6 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).....228

Διάγραμμα 6.7 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).....231
Διάγραμμα 6.8 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).....231
Διάγραμμα 6.9 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).....235
Διάγραμμα 6.10 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).....235
Διάγραμμα 6.11 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα κατά την περίοδο 1986 – 2005 (2η προσέγγιση AHP).....239
Διάγραμμα 6.12 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).....242
Διάγραμμα 6.13 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).....243
Διάγραμμα 6.14 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).....247
Διάγραμμα 6.15 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).....247
Διάγραμμα 6.16 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2η προσέγγιση AHP).....251
Διάγραμμα 6.17 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2η προσέγγιση AHP).....252
Διάγραμμα 6.18 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα κατά την περίοδο 1986 – 2005 (3η προσέγγιση AHP).....255
Διάγραμμα 6.19 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).....259
Διάγραμμα 6.20 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).....259

Διάγραμμα 6.21 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).....264
Διάγραμμα 6.22 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).....264
Διάγραμμα 6.23 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).....269
Διάγραμμα 6.24 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).....269

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 5.1 Ιεραρχική δομή του μοντέλου διακινδύνευσης.....179
Εικόνα 5.2 Περιγραφικά στοιχεία των συνιστωσών διακινδύνευσης.....179
Εικόνα 5.3 Βαθμονόμησης δεικτών διακινδύνευσης.....182

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Κατηγορίες κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς του δείκτη FWI.....78
Πίνακας 4.1 Θεμελιώδης κλίμακα Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.....110
Πίνακας 4.2 Τιμές του δείκτη RI ανά τάξη μεγέθους πίνακα.....113
Πίνακας 4.3 Παράδειγμα κανονικοποίησης και τελικού μετασχηματισμού του δείκτη μηνιαίου εισοδήματος.....138
Πίνακας 4.4 Ενδεικτική ταξινόμηση των τιμών ενός δείκτη ανάλογα με την επίδρασή του ως προς τη διακινδύνευση.....139
Πίνακας 4.5 Κατηγοριοποίηση των τιμών του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης.....145

Πίνακας 5.1 Πληθυσμός κατά τόπο μόνιμης διαμονής και ηλικιακή ομάδα ενδιαφέροντος.....152
Πίνακας 5.2 Οικονομικά ενεργός πληθυσμός κατά τόπο μόνιμης διαμονής.....155
Πίνακας 5.3 Στοιχεία αφίξεων αλλοδαπών και ημεδαπών τουριστών κατά το έτος 2011.....158
Πίνακας 5.4 Ειδικοί αναλυτές.....160
Πίνακας 5.5 Ιεραρχική κλίμακα του βαθμού επίδρασης.....163
Πίνακας 5.6 Βαθμονόμηση των δεικτών έκθεσης και τρωτότητας.....169
Πίνακας 5.7 Ιεραρχική κατάταξη δεικτών έκθεσης και τρωτότητας.....171
Πίνακας 5.8 Συντελεστές βαρύτητας των συνιστωσών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου ανά εμπειρογνώμονα.....175
Πίνακας 5.9 Ποσοστιαία συμβολή των επιμέρους συνιστωσών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου στη διαμόρφωση του δείκτη διακινδύνευσης.....176
Πίνακας 5.10 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης.....177
Πίνακας 5.11 Προσεγγίσεις ανάλυσης με βάση την κλίμακα Saaty.....181
Πίνακας 5.12 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης ($1^{η}$ προσέγγιση).....185
Πίνακας 5.13 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης ($2^{η}$ προσέγγιση).....187
Πίνακας 5.14 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης ($3^{η}$ προσέγγιση).....188
Πίνακας 5.15 Ταξινόμηση των τύπων βλάστησης της Κρήτης ανά κατηγορία ευφλεκτότητας.....196
Πίνακας 5.16 Κλιματικά μοντέλα που αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη FWI.....199
Πίνακας 5.17 Μέση τιμή του δείκτη FWI στην Κρήτη ανά χρονική περίοδο εξέτασης και κλιματικό σενάριο.....201
Πίνακας 5.18 Εύρος τιμών του δείκτη FWI ανά θεματικό επίπεδο.....206
Πίνακας 5.19 Εφαρμογή της συνάρτησης κανονικοποίησης ανά δείκτη έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου.....213

Πίνακας 5.20 Κατηγοριοποίηση του επιπέδου διακινδύνευσης
σε ίσα διαστήματα τιμών.....215
Πίνακας 5.21 Συντελεστές βαρύτητας των δεικτών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου
ανά προσέγγιση της AHP.....217
Πίνακας 5.22 Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή του δείκτη διακινδύνευσης
ανά προσέγγιση της AHP, χρονική περίοδο εξέτασης και κλιματικό σενάριο.....218

Κατάλογος Χαρτών

Χάρτης 5.1 Απεικόνιση της περιοχής μελέτης.....149
Χάρτης 5.2 Χωρική κατανομή των τύπων κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης.....151
Χάρτης 5.3 Πληθυσμιακή πυκνότητα των ατόμων ηλικίας έως 9 ετών
ανά Περιφερειακή Ενότητα.....153
Χάρτης 5.4 Πληθυσμιακή πυκνότητα των ατόμων ηλικίας 65 ετών και άνω
ανά Περιφερειακή Ενότητα.....154
Χάρτης 5.5 Πληθυσμιακή πυκνότητα των απασχολούμενων στον τομέα της γεωργίας/
δασοκομίας/αλιείας ανά Περιφερειακή Ενότητα.....156
Χάρτης 5.6 Κατανομή του κατά κεφαλήν ΑΕΠ ανά Περιφερειακή Ενότητα.....157
Χάρτης 5.7 Τουριστική πυκνότητα ανά Περιφερειακή Ενότητα Κρήτης
για το έτος 2011.....158
Χάρτης 5.8 Απεικόνιση των πλεγματικών σημείων εκτίμησης του δείκτη FWI.....200
Χάρτης 5.9 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς
κατά την περίοδο αναφοράς (1986 – 2005).....206

Χάρτης 5.10 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2046 – 2065 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6.....207
Χάρτης 5.11 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2081 – 2100 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6.....207
Χάρτης 5.12 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2046 – 2065 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5.....208
Χάρτης 5.13 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2081 – 2100 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5.....208
Χάρτης 5.14 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2046 – 2065 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5.....209
Χάρτης 5.15 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2081 – 2100 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5.....209
Χάρτης 6.1 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 1986 – 2005 (1η προσέγγιση AHP).....223
Χάρτης 6.2 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).....226
Χάρτης 6.3 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).....226
Χάρτης 6.4 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).....229
Χάρτης 6.5 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).....230
Χάρτης 6.6 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).....233
Χάρτης 6.7 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).....233

Χάρτης 6.8 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 1986 – 2005 (2η προσέγγιση AHP).....237
Χάρτης 6.9 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).....240
Χάρτης 6.10 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).....241
Χάρτης 6.11 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).....244
Χάρτης 6.12 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).....245
Χάρτης 6.13 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2η προσέγγιση AHP).....250
Χάρτης 6.14 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2η προσέγγιση AHP).....250
Χάρτης 6.15 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 1986 – 2005 (3η προσέγγιση AHP).....253
Χάρτης 6.16 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).....257
Χάρτης 6.17 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).....258
Χάρτης 6.18 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).....261
Χάρτης 6.19 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).....263
Χάρτης 6.20 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).....267
Χάρτης 6.21 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).....268

Περίληψη

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι αναμφίβολα πλέον περισσότερο εμφανείς από ποτέ άλλοτε στο παρελθόν, πλήττοντας ποικιλοτρόπως την οικολογική, κοινωνική και οικονομική βιωσιμότητα των περιοχών της Μεσογείου. Ειδικότερα, η διαρκώς αυξανόμενη συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιάς συνιστά μια από τις σημαντικότερες απειλές των ηπειρωτικών και νησιωτικών οικοσυστημάτων, έχοντας παράλληλα άμεσα αρνητικό αντίκτυπο σε διάφορους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένου του τουρισμού. Υπό αυτό το πρίσμα, στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται η εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης, αναφορικά με την εκδήλωση συμβάντων δασικής πυρκαγιάς, που ενδέχεται να παρουσιάσει η νήσος Κρήτη στο εγγύς (2046 – 2065) και μακρινό μέλλον (2081 – 2100) σε αντιπαραβολή με τη χρονική περίοδο αναφοράς 1986 – 2005, δεδομένων των κλιματικών συνθηκών που αντανακλούν οι Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (*Representative Concentration Pathways – RCPs*) RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5. Η σχετική μέθοδος αναπτύσσεται σύμφωνα με το εννοιολογικό πλαίσιο της "αλυσίδας επιπτώσεων". Συγκεκριμένα, αυτή βασίζεται στη συνδυαστική χρήση ποιοτικών και ποσοτικών μεταβλητών για την πλήρη και σαφή περιγραφή των κύριων συνιστωσών κινδύνου, έκθεσης και τρωτότητας, όπως αυτοί ορίζονται από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), με απώτερο στόχο τη διαμόρφωση του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης. Τα τελικά αποτελέσματα υποδηλώνουν τη συμβολή όλων των επιμέρους παραγόντων, ενώ παράλληλα επισημαίνονται οι κρισιμότερες περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές παράμετροι που καθορίζουν τον βαθμό διακινδύνευσης. Η χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση που υλοποιείται συμπληρωματικά, με την αξιοποίηση του λογισμικού ArcGIS, αναδεικνύει τις περιοχές που αναμένεται να πληγούν βαρύτατα στο μέλλον. Τέλος, υπογραμμίζεται εξίσου η χρησιμότητα της ιδίας μεθόδου στην ενίσχυση των αρμόδιων φορέων ως προς την εφαρμογή των απαραίτητων προληπτικών μέτρων ενάντια στις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και τη λήψη των κατάλληλων μέτρων προσαρμογής αντίστοιχα.

Λέξεις κλειδιά : Κλιματική αλλαγή, διακινδύνευση, δασικές πυρκαγιές, βιωσιμότητα, γαλάζια οικονομία

Abstract

Nowadays, the consequences of climate change are undoubtedly more evident than ever, as they affect the ecological, social and economic sustainability of the Mediterranean regions in various ways. In particular, the ever-increasing frequency of fire incidents constitutes one of the most important threats to continental and island ecosystems, while having a direct negative impact on different sectors of the economy, including tourism. From this perspective, the present thesis attempts to assess forest fire risk that Crete island may present in the near (2046 – 2065) and distant future (2081 – 2100) in comparison with reference time period 1986 – 2005, given the climate conditions reflected by the Representative Concentration Pathways (RCPs) RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. The relevant method is developed according to the conceptual framework of the "impact chain". Specifically, it is based on the combined use of qualitative and quantitative variables to fully describe the main factors of hazard, exposure and vulnerability, as defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), aiming at the formulation of the composite risk index. The final results indicate the contribution of all individual factors while, at the same time, the most critical environmental and socio-economic parameters that determine the risk levels are highlighted. The multi-criteria spatial analysis which is further implemented by using the ArcGIS software, highlights the areas that are expected to be heavily affected in the future. Finally, the usefulness of this method is also underlined, both in terms of implementing the necessary preventive measures against the adverse effects of climate change and in terms of strengthening the adaptation planning.

Keywords : Climate change, risk, forest fires, sustainability, blue economy

Πρόλογος

Η κλιματική αλλαγή συνιστά με βεβαιότητα μια από τις κρισιμότερες απειλές της περιοχής της Μεσογείου στις μέρες μας, με άμεσα αντιληπτές επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις που τεκμηριώνουν την άποψη ότι η Μεσογειακή λεκάνη είχε εμφανίσει σημαντικά υψηλές θερμοκρασίες ήδη από τον προηγούμενο αιώνα, ενώ η τάση αυτή εντείνεται με ταχείς ρυθμούς κατά τις τελευταίες δεκαετίες (MedECC, 2020). Ταυτόχρονα, οι προσομοιώσεις του μελλοντικού κλίματος καταδεικνύουν, στην πλειονότητά τους, ολοένα και υψηλότερα επίπεδα ξηρασίας στις νοτιότερες περιοχές, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, όπου το ύψος βροχόπτωσης αναμένεται να ελαττωθεί κατά 4% έως και 22% στα τέλη του 21^{ου} αιώνα, ανάλογα με το εκάστοτε σενάριο εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Cherif et al., 2020).

Σε αυτό το πλαίσιο, καθίσταται σαφές ότι η πιθανότητα εκδήλωσης συμβάντων δασικής πυρκαγιάς μεγιστοποιείται διαρκώς, ευνοούμενη από τις κλιματικές συνθήκες που διαμορφώνονται υπό το καθεστώς της κλιματικής αλλαγής. Η εμφάνιση κι η ενδεχόμενη επέκταση δασικών πυρκαγιών συνεπώς μπορεί να αποβεί ολέθρια, λαμβάνοντας υπόψη τις ανυπολόγιστες απώλειες βλάστησης, κατοικιών, ή και ανθρώπινων ζωών που πολύ συχνά επιφέρουν. Από την άλλη πλευρά, η έμμεση οικολογική ζημία ασφαλώς δε θα μπορούσε να παραλειφθεί καθώς η διατάραξη βασικών λειτουργιών των οικοσυστημάτων, όπως η δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα, είναι δεδομένη. Ακόμη, καταλυτική είναι η επίδραση των δασικών πυρκαγιών στην προστασία της βιοποικιλότητας, ενώ η υποβάθμιση του εδάφους κι η συνακόλουθη αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων προσμετρώνται εξίσου στις έμμεσες συνέπειές τους.

Επιπλέον, το οικονομικό κόστος που προκύπτει ως απόρροια της διάθεσης πόρων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με τα προαναφερθέντα, σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο. Όσον αφορά δε την κοινωνική διάσταση του φαινομένου, σημαντική κρίνεται η επιβάρυνση της υγείας των πληγέντων και ειδικότερα των ευπαθών ομάδων του πληθυσμού, λόγω των ατμοσφαιρικών ρύπων που εκλύονται κατά την καύση. Παράλληλα, αποτελεί πλέον κοινό τόπο ότι οι δασικές πυρκαγιές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες τόσο με την απώλεια θέσεων εργασίας όσο και με την απώλεια της πολιτιστικής και αισθητικής αξίας των δασών, η οποία συμπαρασύρει και τον τουριστικό κλάδο.

Αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συμβάντος πυρκαγιάς, όπως για παράδειγμα η έντασή της ή ακόμα κι η τοποθεσία της πληγείσας περιοχής, δύνανται να επηρεάσουν την τουριστική ζήτηση, αν και οι απόψεις ακόμη διίστανται σχετικά με τον βαθμό στον οποίο τελικά αυτά επιδρούν στη διακύμανση της επισκεψιμότητας. Ωστόσο, η πρόκληση συχνότερων και πιο εκτεταμένων δασικών πυρκαγιών που αναμένονται ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, αδιαμφισβήτητα θα είναι εξαιρετικά επιζήμια για τον τουριστικό τομέα θέτοντας μεν σε άμεσο κίνδυνο τη ζωή και την ασφάλεια των τουριστών, προκαλώντας δε υλικές καταστροφές στις τουριστικές υποδομές (Bacciu et al., 2021).

Συνεπώς, εύλογα οδηγείται κάποιος στη διαπίστωση ότι ο Μεσογειακός χώρος είναι πλέον άρρηκτα συνδεδεμένος με τα συμβάντα πυρκαγιάς. Ειδικότερα, οι δασικές πυρκαγιές συνιστούν ένα ανεξέλεγκτο φυσικό φαινόμενο μεγάλης κλίμακας το οποίο κατά καιρούς έχει αποβεί ιδιαίτερα καταστροφικό για την χώρα μας, λαμβάνοντας υπόψη τα φονικά περιστατικά που εκτιλύχθηκαν κατά τη θερινή περίοδο του 2007 και 2009 αντίστοιχα. Ακόμη, η διαφοροποίηση του κλιματικού καθεστώτος, σε συνδυασμό με την αύξηση της βιομάζας εξαιτίας της υποχώρησης των αγροτικών δραστηριοτήτων στην ύπαιθρο και την εγκατάλειψη της δασικής διαχείρισης, έχουν συντελέσει στην ολοένα αυξανόμενη συχνότητα εμφάνισης ζημιογόνων πυρκαγιών (Τσαγκάρη et al., 2011).

Όπως λοιπόν γίνεται αντιληπτό, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης έγκυρων και αποτελεσματικών μεθόδων πρόληψης των επιπτώσεων που απορρέουν από την εκδήλωση ενός δυνητικά ολέθριου συμβάντος, οι οποίες θα συμβάλλουν ενεργά στον σχεδιασμό και συντονισμό της δράσης όλων των εμπλεκόμενων φορέων διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών καθώς επίσης στην ενίσχυση της ετοιμότητάς τους. Ως εκ τούτου, για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων και συνακόλουθα των δασικών πυρκαγιών, απαιτείται η μακροχρόνια γνώση του συνόλου των παραγόντων που καθορίζουν την εμφάνιση και συμπεριφορά των τελευταίων, καθώς αυτό φαίνεται να διαφοροποιείται αναλόγως σε τοπική κλίμακα (Τσαγκάρη et al., 2011).

Υπό αυτό το πρίσμα, κατά την διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιχειρήθηκε η ανάπτυξη ενός πρότυπου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή της Κρήτης, η οποία αναμένεται να πληγεί άμεσα από τις συνέπειες του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, δεδομένης της γεωγραφικής της θέσης. Η δημιουργία του εν λόγω μοντέλου βασίστηκε στη σχετική οδηγία που συντάχθηκε από τον Γερμανικό Οργανισμό Διεθνούς Συνεργασίας (GIZ & EURAC, 2017) για την αξιολόγηση σύνθετων δεικτών διακινδύνευσης που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της συνέργειας ποικίλων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Κατά τη διεξαγωγή εκτίμησης του δείκτη ενδιαφέροντος, πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η εξέλιξή του στο εγγύς (2046 – 2065) και μακρινό μέλλον (2081 – 2100) σε αντιπαραβολή με την χρονική περίοδο αναφοράς (1986 – 2005) σύμφωνα με τις κλιματικές συνθήκες που ορίζουν οι Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*Fifth Assessment Report – AR5*) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (*IPCC*) (IPCC, 2014b).

Συνοψίζοντας, η μεθοδολογία δόμησης του μοντέλου διακινδύνευσης περιγράφεται εκτενώς στο **τέταρτο κεφάλαιο** της παρούσας εργασίας, ενώ το σύνολο των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν παρατίθεται στο **πέμπτο κεφάλαιο** όπου συμπληρωματικά αναλύονται οι επιμέρους διαδικασίες εξαγωγής των τελικών αποτελεσμάτων, συμπεριλαμβανομένης της χωρικής ανάλυσης που υλοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS. Συμπληρωματικά, στο **πρώτο** και **δεύτερο κεφάλαιο** περιλαμβάνεται το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο στηρίχθηκε η μελέτη αναφορικά με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και τις δασικές πυρκαγιές αντίστοιχα, ενώ στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στα υφιστάμενα συστήματα αξιολόγησης της επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς. Τέλος, στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της εργασίας ανά χρονική περίοδο εξέτασης και κλιματικό σενάριο.

Κεφάλαιο 1ο: Κλιματική αλλαγή

1.1 Εισαγωγή

Εδώ και τρεις δεκαετίες τουλάχιστον, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών στη σύμβαση–πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή (*United Nations Framework Convention On Climate Change – UNFCCC*) έχει ήδη γνωστοποιήσει ότι η κλιματική αλλαγή και οι δυσμενείς επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει σε παγκόσμια κλίμακα αποτελούν σημαντική απειλή για την ανθρωπότητα. Ταυτόχρονα, έχει αποσαφηνιστεί ότι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν συμβάλλει αισθητά στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός το οποίο ενισχύει το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου και δυνητικά μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας επιδρώντας αρνητικά στα φυσικά και ανθρωπογενή οικοσυστήματα (United Nations, 1992).

Όπως διευκρινίστηκε ειδικότερα, το μεγαλύτερο μέρος τόσο των ιστορικά καταγεγραμμένων όσο και των τρεχουσών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως προέρχεται από τις ανεπτυγμένες χώρες. Επιπλέον, σημειώθηκε ότι οι χώρες με χαμηλό υψόμετρο καθώς και άλλες μικρές νησιωτικές, πεδινές παράκτιες, άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές ή ακόμα περιοχές που εκτίθενται σε έντονα φαινόμενα όπως πλημμύρες, ξηρασία κι ερημοποίηση, και τέλος αναπτυσσόμενες χώρες με ευπαθή ορεινά οικοσυστήματα παρουσιάζουν αυξημένη τρωτότητα ως προς τις δυσμενείς συνέπειες της μεταβολής του κλίματος (United Nations, 1992).

Στην ίδια σύμβαση–πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών (*UNFCCC)* η έννοια της κλιματικής αλλαγής ορίστηκε ως "*η αλλαγή του κλίματος που αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα σε εκείνες τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που μεταβάλλουν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας παγκοσμίως και η οποία παρατηρείται, σε συνδυασμό με τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος, μεταξύ συγκρίσιμων χρονικών περιόδων*", διακρίνοντας την κλιματική αλλαγή που οφείλεται σε ανθρωπογενή αίτια από την κλιματική μεταβλητότητα που διαμορφώνεται υπό την επίδραση φυσικών αιτιών (United Nations, 1992, p. 3).

Επιπρόσθετα, όσον αφορά τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, προσδιορίστηκε ότι αυτές περιγράφουν "*τις μεταβολές στο φυσικό περιβάλλον ή στους ζώντες οργανισμούς που προκύπτουν από την αλλαγή του κλίματος κι έχουν σημαντικές επιβλαβείς συνέπειες στη σύνθεση, ανανέωση ή παραγωγικότητα των φυσικών και διαχειριζόμενων οικοσυστημάτων, στη λειτουργία των κοινωνικοοικονομικών συστημάτων ή στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία*" (United Nations, 1992, p. 3).

Αντίστοιχα, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι η κλιματική αλλαγή συνιστά μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί από τις μεταβολές του μέσου όρου ή/και την μεταβλητότητα των ιδιοτήτων αυτού και η οποία παρατηρείται για μία εκτεταμένη χρονική περίοδο, συνήθως για δεκαετίες ή περισσότερο. Παράλληλα διευκρινίζει ότι το φαινόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε φυσικές εσωτερικές διεργασίες είτε σε εξωγενείς παράγοντες, όπως ο κύκλος της ηλιακής δραστηριότητας, οι ηφαιστειακές εκρήξεις αλλά και ανθρωπογενείς μεταβολές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας ή στις χρήσεις γης (IPCC, 2014b).

Είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής κυριαρχεί σε παγκόσμια κλίμακα, με αυξανόμενη ένταση κατά τις τελευταίες δεκαετίες, αποτελώντας σημαντική απειλή για το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον όσο και για το σύνολο των οικοσυστημάτων (IPCC, 2014a). Σε αυτό το πλαίσιο, ποικίλοι οργανισμοί και φορείς, συμπεριλαμβανομένης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), δραστηριοποιούνται σε εθνικό και διεθνές επίπεδο με σκοπό την διερεύνηση των μεταβολών του κλίματος και των κινητήριων δυνάμεων που επιδρούν στην διαμόρφωσή του, σε μια προσπάθεια μετριασμού των επιπτώσεων που δύναται να επιφέρει η κλιματική αλλαγή. Συνακόλουθα, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο επεσήμανε πως η κλιματική αλλαγή συνιστά πλέον μια από τις κυρίοτερες προκλήσεις για την ανθρωπότητα και πως όλα τα κράτη και οι εμπλεκόμενοι φορείς παγκοσμίως πρέπει να καταβάλουν τη μέγιστη δυνατή προσπάθεια για την καταπολέμησή της (European Parliament, 2019)[1].

1 Πηγή: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2019-0079_EL.html

Συνοψίζοντας, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι το 2019 αποτέλεσε έτος ορόσημο για τις διεθνείς εξελίξεις σχετικά με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής καθώς καταγράφηκε η υψηλότερη μέση θερμοκρασία παγκοσμίως, ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν κατά 0,6% συγκριτικά με το προηγούμενο έτος. Ακόμη, άκρως καταστροφικά συμβάντα πυρκαγιάς έπληξαν τεράστιες δασικές εκτάσεις του Αμαζονίου και της Αυστραλίας, ακολουθώντας τις ανοδικές τάσεις εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως τα κύματα καύσωνα που εκδηλώνονται σε αρκετές ευρωπαϊκές περιοχές. Όσον αφορά τις πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, κατά το ίδιο έτος πραγματοποιήθηκε στη Μαδρίτη η 25η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (*COP25*) όπου δεν εξήχθησαν ιδιαίτερα εποικοδομητικά συμπεράσματα ως προς τη διατήρηση των κανόνων του παγκόσμιου συστήματος εμπορίας εκπομπών, την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών και τέλος την παροχή βοήθειας στις λιγότερο εύπορες χώρες που πλήττονται από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

1.2 Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (*IPCC*) ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (*World Meteorological Organization – WMO*) και το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (*United Nations Environment Programme – UNEP*), με κύριο στόχο την αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας γνώσης της επιστημονικής κοινότητας για τη μελέτη των παρατηρούμενων μεταβολών αναφορικά με το κλίμα καθώς και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των μεταβολών που οφείλονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Επιπρόσθετα, μέσω της *IPCC* διερευνώνται οι πιθανοί μέθοδοι αντιμετώπισης των ενδεχόμενων κινδύνων και δυσμενών συνεπειών μακροπρόθεσμα, ενώ παράλληλα δημοσιεύονται οι πιο έγκυρες και τεκμηριωμένες εκθέσεις αξιολόγησης (*Assessment Reports*) σχετικά με τις συνθήκες που διαμορφώνονται στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής.

Από τη σύστασή της έως σήμερα, η επιτροπή έχει εκδώσει συνολικά έξι εκθέσεις αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης των κλιματικών συνθηκών και των δυνητικών περιβαλλοντικών και κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων κατά τα έτη 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 και 2021.

Τα συμπεράσματα της πλέον πρόσφατης έκθεσης αξιολόγησης της *IPCC*, πιο συγκεκριμένα, αναμένεται να εξαχθούν στα τέλη του τρέχοντος έτους, ενώ ήδη από τον Αύγουστο του 2021 έως τον Απρίλιο του 2022 έχουν δημοσιευθεί συνολικά τρεις εκθέσεις σχετικά με το επιστημονικό υπόβαθρο, τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και τις πρακτικές μετριασμού αντίστοιχα.

Σχετικά με τις προηγούμενες εκθέσεις αξιολόγησης της *IPCC,* κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στην τέταρτη (*Fourth Assessment Report – AR4*) και πέμπτη (*Fifth Assessment Report – AR5*) έκθεση για την κλιματική αλλαγή, στα ευρήματα των οποίων βασίζεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Για την πρώτη, πιο συγκεκριμένα, η επιστημονική κοινότητα εργάστηκε σε τρεις ομάδες, διαχωρίζοντας εξίσου τους τόμους της έκθεσης αυτής ως εξής :

- Πρώτη Ομάδα Εργασίας (***Working Group I – WGI***)
  Περιλαμβάνει τα επιστημονικά δεδομένα της κλιματικής αλλαγής συσχετίζοντάς την με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως επίσης εκτιμήσεις για τις μελλοντικές μεταβολές στο κλίμα.
- Δεύτερη Ομάδα Εργασίας (***Working Group II – WGII***)
  Περιγράφει τις επιπτώσεις που επιφέρουν οι παρατηρούμενες κλιματικές μεταβολές, αξιολογεί την τρωτότητα των φυσικών και ανθρωπογενών συστημάτων καθώς και τα πιθανά μέτρα πρόληψης και προσαρμογής.
- Τρίτη Ομάδα Εργασίας (***Working Group III – WGIII***)
  Εξετάζει τη δυνατότητα μετριασμού κι αποφυγής της κλιματικής αλλαγής, εκτιμώντας συγχρόνως το σχετικό οικονομικό κόστος.

Η τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (*AR4*) κατ' αρχήν κατέστησε απολύτως σαφές ότι είναι επιτακτική ανάγκη να ενταθούν οι προσπάθειες των κρατών για την μείωση των παγκόσμιων εκπομπών καθώς το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης στην παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία (Global Surface Temperature – GST), από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, αποδίδεται πιθανώς σε αυξήσεις των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου εξαιτίας ανθρωπογενών παραγόντων. Υπό αυτό το πρίσμα, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις επιπτώσεις της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής όπως επίσης στο βαθμό κατά τον οποίο πρόκειται να επηρεαστούν τα υφιστάμενα κλιματικά πρότυπα σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα.

Η *IPCC* τόνισε εξίσου ότι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν σε θέρμανση του πλανήτη, εκτιμώντας πως η παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία πρόκειται να αυξηθεί κατά 1.8–4.0°C έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα (IPCC, 2007).

Ακολούθως, στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της IPCC (*AR5*) εξακριβώθηκε η συμβολή του ανθρωπογενούς παράγοντα στην μεταβολή του κλίματος σημειώνοντας ότι είναι εξαιρετικά πιθανό περισσότερο από το ήμισυ της παρατηρούμενης παγκόσμιας θέρμανσης από το 1951 έως το 2010 να έχει προκληθεί λόγω της αύξησης των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου που οφείλεται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες συνδυαστικά με άλλες πιέσεις (IPCC, 2014b).

1.3 Σενάρια εκπομπών και πορείες συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου

Κύριο προσδιοριστικό παράγοντα των προσομοιώσεων του μελλοντικού κλίματος, ως προς τη διερεύνηση της προβλεπόμενης ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, συνιστά η διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου (CO_2, CH_4, N_2O, PFCs, SF_6, HFCs, NOx, CO, VOC, SO_2, BC, OC) στην ατμόσφαιρα. Εντούτοις, ο ρυθμός μεταβολής των μελλοντικών εκπομπών και κατά συνέπεια των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs), δεν μπορεί να προσδιορισθεί με απόλυτη ακρίβεια καθώς τα στοιχεία που συντελούν στην εξέλιξή τους ποικίλουν τόσο σε χωρική όσο και σε χρονική κλίμακα.

Σε αυτό το πλαίσιο, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (*IPCC*) έκρινε αναγκαίο να αναπτύξει και στη συνέχεια να δημοσιεύσει το 2001, μέσω της τρίτης έκθεσης αξιολόγησης (*Third Assessment Report – TAR*), ένα εκτενές σύνολο σεναρίων σχετικά με τη μελλοντική εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (*Special Report on Emissions Scenarios – SRES*), βασισμένων στην κατανόηση κι ερμηνεία των γενεσιουργών αιτιών των εκπομπών (IPCC, 2001). Το εν λόγω σύνολο σεναρίων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα κινητήριων δυνάμεων αναφορικά με τις μελλοντικές εκπομπές μελετώντας συγχρόνως τις δημογραφικές εξελίξεις καθώς και την τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη σε τοπικό ή διεθνές επίπεδο, τομείς οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τόσο τις πηγές προέλευσης

όσο και τις περιοχές απόληξης των αερίων του θερμοκηπίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι βάσει των σεναρίων εκπομπών *SRES* το εύρος της εκτιμώμενης αύξησης της θερμοκρασίας παγκοσμίως κυμαίνεται από 1.1°C έως 6.4°C κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, σε σχέση με τα επίπεδα της περιόδου 1980 – 1999.

Συμπληρωματικά, αναφέρεται ότι το σύνολο σεναρίων *SRES* υιοθετήθηκε μετέπειτα και από την τέταρτη έκθεση αξιόλογησης της *IPCC* (*Fourth Assessment Report – AR4*) για την κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007). Στο πλαίσιο διαμόρφωσής του αναπτύχθηκαν συνολικά 40 διαφορετικά σενάρια που ταξινομήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες η καθεμία εκ των οποίων περιλαμβάνει σενάρια εκπομπών με όμοια διακριτικά γνωρίσματα βάσει των κύριων παραγόντων διαμόρφωσης των μελλοντικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Nakićenović et al., 2000). Οι κατηγορίες αυτές αναφέρονται ως "οικογένειες σεναρίων" οι οποίες συνίστανται, ειδικότερα, από την οικογένεια σεναρίων A1 που διαχωρίζεται περαιτέρω σε τρεις υποκατηγορίες (A1FI, A1B και A1T) καθώς και από τις οικογένειες σεναρίων A2, B1 και B2.

Συνοπτικά, η πρώτη κατηγορία (A1) περιγράφει μελλοντικές συνθήκες ραγδαίας οικονομικής ανάπτυξης, με ταυτόχρονη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού ο οποίος κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα κι έπειτα παρουσιάζει μείωση, σε συνδυασμό με την ταχεία διάδοση νέων και αποδοτικότερων τεχνολογικών μέσων. Οι τρεις υποκατηγορίες αυτής της οικογένειας σεναρίων διακρίνονται μεταξύ άλλων από την εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων και την ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 (A1FI), την χρήση ορυκτών καυσίμων αλλά και εναλλακτικών πηγών ενέργειας, με ισχυρή αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 (A1B) και τέλος την χρήση μη ορυκτών καυσίμων όπως επίσης μικρή αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 (A1T) (Nakićenović et al., 2000).

Στην δεύτερη κατηγορία (A2) ταξινομούνται τα σενάρια σύμφωνα με τα οποία αποδίδεται έμφαση κατά κύριο λόγο στην τοπική οικονομική ανάπτυξη, στη συνεχή πληθυσμιακή αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο και στην ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 σε συνδυασμό με υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας αλλά και βραδύτερους ρυθμούς τεχνολογικής ανάπτυξης (Nakićenović et al., 2000).

Από την άλλη μεριά, με βάση την "οικογένεια σεναρίων" B1, ο παγκόσμιος πληθυσμός φαίνεται να αυξάνεται ραγδαία έως τα μέσα του αιώνα κι έκτοτε να παρουσιάζει μείωση, ενώ η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και η χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας μειώνεται, αντικαθιστώντας αυτές με ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές (Nakićenović et al., 2000).

Όσον αφορά δε την τέταρτη κατηγορία (B2), αυτή χαρακτηρίζεται από συνθήκες όπου ο παγκόσμιος πληθυσμός και η συγκέντρωση του CO_2 αυξάνονται, ενώ ακόμα η οικονομία συνεχίζει να αναπτύσσεται, ωστόσο με ηπιότερους ρυθμούς συγκριτικά με άλλα σενάρια εκπομπών. Η εν λόγω "οικογένεια σεναρίων" προσανατολίζεται εξίσου στην προστασία του περιβάλλοντος εστιάζοντας σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (Nakićenović et al., 2000).

Ωστόσο, δεδομένου του αυξημένου ενδιαφέροντος ως προς τη διερεύνηση των μέτρων που εφαρμόζονται για την άμβλυνση της κλιματικής αλλαγής, η ολομέλεια της *IPCC* πρότεινε αργότερα στην επιστημονική κοινότητα να αναπτύξει ένα νέο σύνολο σεναρίων στο οποίο θα εμπεριέχονται στοιχεία αναφορικά με τις χρήσεις γης, τις κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες αλλά και την περιβαλλοντική πολιτική που ακολουθείται, πέραν των συγκεντρώσεων και εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (IPCC, 2007).

Τα συγκεκριμένα σενάρια αναφέρονται ως Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (*Representative Concentration Pathways – RCPs*) ενώ η ονομασία τους (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, και RCP8.5) υποδηλώνει αντίστοιχα την εκτιμώμενη μεταβολή στο ισοζύγιο μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα που προκαλείται από αλλαγές στη σύσταση της ατμόσφαιρας (*radiative forcing*), συγκριτικά με τα επίπεδα της προ-βιομηχανικής περιόδου (+2.6, +4.5, +6.0 και +8.5 W/m^2) έως τα τέλη του $21^{ου}$ αιώνα. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των τεσσάρων αυτών σεναρίων (*RCPs*) παρατίθενται στη συνέχεια ως εξής (Van Vuuren et al., 2011) :

- **RCP2.6**

  Η μεταβολή στο ισοζύγιο ακτινοβολιών προσεγγίζει τα 3 W/m² μέχρι τα μέσα του αιώνα κι έπειτα μειώνεται στα 2.6 W/m² κατά το 2100. Για την επίτευξη αυτών των επιπέδων οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μειώνονται αισθητά, ενώ η συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα παρουσιάζει την μέγιστη τιμή κατά το 2050 και στη συνέχεια μειώνεται στα 421ppm έως τα τέλη του αιώνα. Ιδαίτερα σημαντική είναι η χρήση της βιοενέργειας και των μεθόδων δέσμευσης και αποθήκευσης CO_2, ενώ η κατανάλωση πετρελαίου μειώνεται επιφέροντας ως αποτέλεσμα αρνητικές εκπομπές.

- **RCP4.5**

  Η μεταβολή στο ισοζύγιο ακτινοβολιών σταθεροποιείται στα 4.5 W/m² κατά το 2100. Το συγκεκριμένο σενάριο χαρακτηρίζεται ως μετριοπαθές καθώς οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κορυφώνονται γύρω στο 2050 και στη συνέχεια παρουσιάζουν ραγδαία μείωση, ενώ η συγκέντρωση του CO_2 σημειώνει ανοδική τάση προσεγγίζοντας τα 538 ppm κατά το 2100. Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, εμφανίζονται όμοιες τάσεις με αυτές του RCP2.6 αλλά ελαφρώς αυξημένες, ενώ τόσο η πυρηνική ενέργεια όσο και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο.

- **RCP6**

  Η μεταβολή στο ισοζύγιο ακτινοβολιών σταθεροποιείται στα 6 W/m² κατά το 2100. Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου διπλασιάζονται έως το 2080 περίπου και στη συνέχεια παρουσιάζουν ραγδαία μείωση αλλά ακόμα παραμένουν σε πολύ υψηλά επίπεδα. Η συγκέντρωση του CO_2 παρουσιάζει αύξηση και προσεγγίζει τα 670 ppm έως τα τέλη του αιώνα. Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, σημειώνεται μια σταθερή τάση ως προς την χρήση των ορυκτών καυσίμων, ενώ η κατανάλωση πετρελαίου παραμένει εξίσου σε υψηλά επίπεδα.

- **RCP8.5**

  Η μεταβολή στο ισοζύγιο ακτινοβολιών οδηγεί σε αύξηση κατά 8.5 W/m² έως το 2100. Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου χαρακτηρίζονται εξίσου από σημαντική αύξηση μακροπρόθεσμα η οποία οδηγεί σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσής τους, με αυτά του CO_2 να φθάνουν τα 936 ppm έως το 2100, σημειώνοντας μετέπειτα περαιτέρω αύξηση. Παρουσιάζεται υψηλή ενεργειακή ένταση ως αποτέλεσμα της πληθυσμιακής αύξησης σε συνδυασμό με τον μειούμενο ρυθμό τεχνολογικής ανάπτυξης, ενώ η χρήση των ορυκτών καυσίμων αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας.

Η Αντιπροσωπευτική Πορεία Συγκέντρωσης RCP8.5 νοείται ως σενάριο υψηλών εκπομπών, ενώ η RCP2.6 αντιπροσωπεύει τα σενάρια του χαμηλότερου βαθμού μετριασμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με βάση τη σχετική βιβλιογραφία. Όσον αφορά τις Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης RCP4.5 και RCP6, εκλαμβάνονται ως σενάρια μέτριου και υψηλού βαθμού άμβλυνσης των εκπομπών αντίστοιχα (Van Vuuren et al., 2011). Η νέα αυτή προσέγγιση σεναρίων αναφορικά με την κλιματική αλλαγή έχει συμβάλλει στην ανάλυση σύνθετων θεμάτων, όπως στο να προσδιοριστούν τα κόστη και οφέλη των διαφόρων πολιτικών επιλογών που αφορούν το κλίμα καθώς και οι κίνδυνοι που αυτές ενέχουν (Moss et al., 2010).

Επιπλέον, οι Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (*RCPs*) συνιστούν βασικά εργαλεία στην εξελικτική διαδικασία της μελέτης του κλίματος καθώς παρείχαν το υπόβαθρο για περαιτέρω έρευνα και αξιολόγηση των πρακτικών μετριασμού των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και για την ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Van Vuuren et al., 2011). Υπό αυτό το πρίσμα, οι *RCPs* υιοθετήθηκαν από την *IPCC* στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*Fifth Assessment Report – AR5*) ως προς την αξιολόγηση των συνθηκών που αποδίδονται στην μεταβολή του κλίματος (IPCC, 2014b).

Στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*) της *IPCC* αναφέρεται ρητά ότι η παγκόσμια μέση θερμοκρασία προβλέπεται να αυξηθεί κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα βάσει και των τεσσάρων Αντιπροσωπευτικών Πορειών Συγκέντρωσης. Ειδικότερα, σύμφωνα με τα σενάρια RCP6 και RCP8.5, υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα ότι η παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία θα σημειώσει αύξηση άνω των 2°C έως το 2100 σε σχέση με την περίοδο 1986 – 2005, ενώ είναι πολύ πιθανό να συμβεί το ίδιο και με βάση το σενάριο RCP4.5.

Ακόμη εκτιμάται ότι η παγκόσμια μέση θερμοκρασία είναι πιθανό να σημειώσει άνοδο μεγαλύτερη του 1.5°C σε σύγκριση με τα επίπεδα της περιόδου 1850 – 1900, βάσει και των τριών αυτών σεναρίων (IPCC, 2014b). Αναλυτικότερα, η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας του πλανήτη έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, συγκριτικά με τα επίπεδα της περιόδου 1986 – 2005, είναι πιθανό να κυμανθεί μεταξύ :

- 0.3–1.7°C (RCP2.6)
- 1.1–2.6°C (RCP4.5)
- 1.4–3.1°C (RCP6)
- 2.6–4.8°C (RCP8.5)

Λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα, η υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται να υπερβεί τους 2°C έως το 2100 σύμφωνα με τις Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης RCP4.5, RCP6 και RCP8.5, γεγονός που συνάδει με τις εκτιμήσεις των παλαιότερων κλιματικών σεναρίων *SRES* A1B και A2 όπως αυτές περιγράφονται στην τέταρτη έκθεση αξιόλογησης της *IPCC* (*Fourth Assessment Report – AR4*) για την κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007, 2014b).

Τα δεδομένα αυτά δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία της έκτης έκθεσης αξιολόγησης (*Sixth Assessment Report – AR6*) της *IPCC*. Έχει αποσαφηνιστεί, συγκεκριμένα, ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη θα υπερβεί τον 1.5°C και τους 2°C έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, εκτός εάν επέλθει σημαντική μείωση στις εκπομπές CO_2 και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στις επόμενες δεκαετίες (IPCC, 2021).

Ωστόσο, σε αντίθεση με την προηγούμενη αναλυτική έκθεση (*AR5*), οι εκτιμήσεις βασίζονται πλέον στις προβλεπόμενες κοινωνικο-οικονομικές εξελίξεις παγκόσμιας κλίμακας, όπως αυτές περιγράφονται μέσω του επικαιροποιημένου συνόλου πέντε σεναρίων εκπομπών, εφεξής καλούμενου ως *Shared Socioeconomic Pathways* (*SSPs*). Τα εν λόγω σενάρια κατατάσσονται περαιτέρω σε τρεις ευρείες κατηγορίες, αναφορικά με την πορεία των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και CO_2, ως εξής (IPCC, 2021) :

- **SSP1-1.9 / SSP1-2.6**

  Σενάρια που αναφέρονται σε χαμηλές έως πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών CO_2 σε μηδενικά επίπεδα γύρω στο 2050 ή μετέπειτα.

- **SSP2-4.5**

  Σενάριο που αναφέρεται σε μέσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και CO_2, οι οποίες κυμαίνονται σε παρόμοια με τα τωρινά επίπεδα έως τα μέσα του 21ου αιώνα.

- **SSP3-7.0 / SSP5-8.5**

  Σενάρια που αναφέρονται σε υψηλές έως πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και σε επίπεδα εκπομπών CO_2 που διπλασιάζονται περίπου, σε σύγκριση με τα τωρινά, έως το 2100 και το 2050 αντίστοιχα.

Όπως προσδιορίζεται στην πλέον πρόφατη έκθεση (*AR6*) της *IPCC*, η παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία θα συνεχίσει να αυξάνεται τουλάχιστον μέχρι τα μέσα του αιώνα, βάσει όλων των εξεταζόμενων σεναρίων εκπομπών. Ειδικότερα, σύμφωνα με το σενάριο πολύ χαμηλών εκπομπών (SSP1-1.9), κατά την περίοδο 2081 – 2100 είναι πολύ πιθανό να παρατηρηθεί αύξηση της τάξης του 1.0°C έως 1.8°C συγκριτικά με τα επίπεδα της περιόδου 1850 – 1900. Κατά 2.1°C έως 3.5°C εκτιμάται η υπερθέρμανση του πλανήτη με βάση το σενάριο μέσων εκπομπών (SSP2-4.5) και αντίστοιχα κατά 3.3°C έως 5.7°C υπό συνθήκες επικράτησης πολύ υψηλών επιπέδων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και CO_2 (SSP5-8.5) (IPCC, 2021).

Συνοψίζοντας, η αύξηση της παγκόσμιας μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, σε σχέση με την περίοδο 1850 – 1900, εκτιμάται ότι θα υπερβεί τους 2°C κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα με βάση τα σενάρια υψηλών και πολύ υψηλών εκπομπών (SSP3-7.0 / SSP5-8.5), ενώ ακόμα αυτό θεωρείται εξαιρετικά πιθανό να συμβεί διατηρώντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και CO_2 σε μέσα επίπεδα (SSP2-4.5). Εντούτοις, σύμφωνα με τα σενάρια πολύ χαμηλών και χαμηλών εκπομπών (SSP1-1.9 / SSP1-2.6) δεν αναμένεται αύξηση άνω των 2°C έως το 2100. Τέλος, τα σενάρια μέσων, υψηλών και πολύ υψηλών επιπέδων εκπομπών καταδεικνύουν άνοδο της παγκόσμιας μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας πέραν του 1.5°C για την ίδια χρονική περίοδο (IPCC, 2021).

1.4 Ειδική έκθεση αξιολόγησης της IPCC SR1.5

1.4.1 Γενικά

Στις μέρες μας, υπάρχουν πλέον σαφείς ενδείξεις ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια δυνητικά μη αναστρέψιμη απειλή τόσο για τα ανθρωπογενή περιβάλλοντα όσο και για τα φυσικά οικοσυστήματα του πλανήτη. Δεδομένης αυτής της συνθήκης, η συντριπτική πλειοψηφία των χωρών σε παγκόσμια κλίμακα υιοθέτησε τη Συμφωνία των Παρισίων (*Paris Agreement*), ο κεντρικός στόχος της οποίας αφορά την ενίσχυση των προσπαθειών για τον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας στον 1,5°C σε σύγκριση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα. Ειδικότερα, η Συμφωνία των Παρισίων για την κλιματική αλλαγή αποτελεί την πρώτη οικουμενική, νομικά δεσμευτική παγκόσμια συμφωνία για το κλίμα η οποία κυρώθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση τον Οκτώβριο του 2016 με απώτερο στόχο την υποστήριξη της παγκόσμιας κοινότητας αναφορικά με την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης και των προσπαθειών εξάλειψης της φτώχειας.

Με βάση την απόφαση της 21ης διάσκεψης των μερών της σύμβασης-πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*) ως προς την έγκριση της Συμφωνίας των Παρισίων, οι συμβαλλόμενες χώρες παρότρυναν τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (*IPCC*) να εκδώσει μια ειδική έκθεση αξιολόγησης των συνεπειών της υπερθέρμανσης του πλανήτη κατά 1,5°C και των σχετικών παγκόσμιων τάσεων εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Το ζητούμενο ήταν η ειδική αυτή έκθεση, η οποία αναφέρεται και ως *SR1.5*, να αξιολογήσει πιο συγκεκριμένα τις διαφορετικές πορείες των εκπομπών (*emission pathways*) σύμφωνα με τις οποίες η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας θα μπορούσε να περιοριστεί στον 1,5°C κι όχι μόνο να περιγράψει τις συνθήκες που πρόκειται να επιφέρει η υπερθέρμανση του πλανήτη (Allen et al., 2018).

Συνεπώς, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας μετατοπίστηκε στην προώθηση των μέτρων αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής διατηρώντας την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 2°C συγκριτικά με την προ-βιομηχανική περίοδο και

και παράλληλα εντείνοντας τις προσπάθειες περιορισμού της αύξησης της θερμοκρασίας σε 1,5°C. Η ειδική έκθεση της *IPCC* (*SR1.5*) σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5°C αποτελεί στις μέρες μας την πλέον ολοκληρωμένη και ενημερωμένη επιστημονική αξιολόγηση των μεθόδων μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

1.4.2 Υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5 °C

Η ανθρωπογενής επίδραση στο κλίμα υπήρξε η κυρίαρχη αιτία της παρατηρούμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη ήδη από τα μέσα του 20ου αιώνα, με αποτέλεσμα η παγκόσμια μέση θερμοκρασία επιφανείας να αυξηθεί κατά 0,85°C από το 1880 έως το 2012, όπως επισημαίνεται στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της *IPCC* (*AR5*) (IPCC, 2014b). Σύμφωνα με πιο πρόσφατες εκτιμήσεις, στην ειδική έκθεση *SR1.5* αναφέρεται ότι η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας που οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες προσδιορίζεται για το 2017 σε 1°C περίπου (πιθανώς μεταξύ 0,8°C και 1,2°C) πάνω από τα επίπεδα της προ-βιομηχανικής εποχής (Allen et al., 2018).

Επιπλέον, η παρατηρούμενη υπερθέρμανση του πλανήτη που οφείλεται σε ανθρωπογενή αίτια, επί του παρόντος σημειώνει αύξηση κατά 0,2°C (πιθανώς μεταξύ 0,1°C και 0,3°C) ανά δεκαετία εξαιτίας των παρελθοντικών και υφιστάμενων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται εντονότερα στα χερσαία οικοσυστήματα. Παράλληλα, εκτιμάται ότι πρόκειται να επέλθει περαιτέρω θέρμανση έως και 1,5°C κατά την περίοδο 2030 – 2052 εάν η παγκόσμια μέση θερμοκρασία εξακολουθήσει να αυξάνεται με τον τρέχοντα ρυθμό (IPCC, 2018).

Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας εκφράζεται σε σχέση με τα επίπεδα της περιόδου 1850 – 1900, η οποία χρησιμοποιείται ως μια προσέγγιση των προ-βιομηχανικών επιπέδων της θερμοκρασίας στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*). Αντανακλώντας τη μακροπρόθεσμη τάση της υπερθέρμανσης του πλανήτη συγκριτικά με την προ-βιομηχανική εποχή, η παρατηρούμενη παγκόσμια μέση θερμοκρασία επιφάνειας (*Global mean surface temperature – GMST*) για τη δεκαετία 2006 – 2015 ήταν κατά 0,87°C (πιθανώς μεταξύ 0,75°C και 0,99°C) υψηλότερη από τον μέσο όρο της περιόδου 1850 – 1900 (IPCC, 2018).

Η παγκόσμια υπερθέρμανση λόγω των ανθρωπογενών εκπομπών θα συνεχίσει να υφίσταται για αιώνες έως και χιλιετίες, προκαλώντας συγχρόνως περαιτέρω μεταβολές στο κλιματικό σύστημα, με ανάλογες επιπτώσεις. Ωστόσο, υπογραμμίζεται ότι η συμβολή των εκπομπών ανθρωπογενούς προέλευσης δεν δύναται να επιφέρει μεμονωμένα μια αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1,5°C.

Παρόλο που είναι σχεδόν απίθανο οι παρελθοντικές εκπομπές αεριών του θερμοκηπίου να αυξήσουν την παγκόσμια μέση θερμοκρασία κατά 1,5°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, εντούτοις αυτές συμβάλλουν στη διαμόρφωση άλλων συνθηκών με καταστροφικές συνέπειες, όπως για παράδειγμα την αύξηση της θαλάσσιας στάθμης. Ακόμη διευκρινίζεται πως στην περίπτωση που όλες οι ανθρωπογενείς εκπομπές μειωθούν άμεσα σε μηδενικά επίπεδα, οποιαδήποτε πιθανή αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας εκτιμάται να είναι μικρότερη από 0,5°C για τις επόμενες δύο έως τρεις δεκαετίες. Συνεπώς, όπως γίνεται αντιληπτό, η υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5°C δεν είναι απαραίτητα αναπόφευκτη καθώς εξαρτάται άμεσα από τις μελλοντικές τάσεις των εκπομπών (Allen et al., 2018).

Σύμφωνα με εκτιμήσεις που βασίζονται σε παγκόσμια σύνολα δεδομένων, έχει παρατηρηθεί ότι η χρονική περίοδος 1986 – 2005 υπήρξε κατά 0,63°C θερμότερη από την προ-βιομηχανική περίοδο (1850 – 1900) με πιθανό εύρος από 0,57°C έως 0,69°C, ενώ η δεκαετία 2006 – 2015 εμφανίζεται αντίστοιχα κατά 0,87°C πιο θερμή συγκριτικά με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, με πιθανό εύρος από 0,75°C έως 0,99°C. Ταυτόχρονα, με βάση τις τρέχουσες κλιματικές τάσεις, προσδιορίζεται η πιθανότητα αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφανείας σε ποσοστό 50–66% είτε δίχως υπέρβαση του 1,5°C είτε προσεγγίζοντας το επίπεδο αυτό έως το 2100 (Allen et al., 2018).

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι βάσει της ειδικής έκθεσης *SR1.5* οι πορείες εκπομπών (*emission pathways*) των αερίων του θερμοκηπίου ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την εξέλιξη των επιπέδων αύξησης της θερμοκρασίας κατά τον 21ο αιώνα, οι οποίες περιγράφονται ως εξής (Allen et al., 2018) :

1) Κατηγορία χωρίς υπέρβαση (*no overshoot*) όπου αποδίδεται τουλάχιστον 50% πιθανότητα περιορισμού της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε επίπεδα χαμηλότερα του 1,5°C με βάση τις τρέχουσες τάσεις.
2) Κατηγορία περιορισμένης υπέρβασης (*1.5°C limited-overshoot*) όπου η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας περιορίζεται κάτω από 1,6°C και σταθεροποιείται στο επίπεδο του 1,5°C έως το 2100.
3) Κατηγορία υψηλότερης υπέρβασης (*1.5°C higher-overshoot*) όπου η υπερθέρμανση του πλανήτη υπερβαίνει τον 1,6°C αλλά σταθεροποιείται εξίσου στον 1,5°C έως το 2100.

Αναλυτικότερα, στην κατηγορία όπου εντάσσονται οι πορείες εκπομπών με βάση τις οποίες η εκτιμώμενη θερμοκρασία δεν υπερβαίνει το όριο του 1,5°C, η υπερθέρμανση που οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες είτε αυξάνεται μονοτονικά για να σταθεροποιηθεί στον 1,5°C είτε κορυφώνεται στο επίπεδο αυτό ή ακόμα και χαμηλότερα και στη συνέχεια παρουσιάζει μείωση. Βασική προϋπόθεση ώστε να μην υπάρξει υπέρβαση του προκαθορισμένου ορίου θερμοκρασίας είναι να μειωθούν οι καθαρές ετήσιες εκπομπές CO_2 σχεδόν σε μηδενικά επίπεδα, γεγονός που αντανακλά την μείωση των αθροιστικών εκπομπών CO_2 σε συνδυασμό με την σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων CO_2 στην ατμόσφαιρα που απαιτούνται ώστε να περιοριστεί η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφάνειας. Ωστόσο, ακόμη και μέσω της σταθεροποίησης των επιπέδων συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου, η υπερθέρμανση του πλανήτη θα εξακολουθήσει να υφίσταται (Allen et al., 2018).

Οι άλλες δύο κατηγορίες περιγράφονται από πορείες εκπομπών αναφερόμενες και ως "*πορείες υπέρβασης*" (*overshoot pathways*) βάσει των οποίων η παγκόσμια μέση θερμοκρασία επιφάνειας υπερβαίνει τον 1,5°C σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα προτού προσεγγίσει τη μέγιστη τιμή αύξησης και στη συνέχεια σταθεροποιείται περίπου στον 1,5°C κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα ή νωρίτερα, ενώ ενδέχεται στη συνέχεια να σημειώσει περαιτέρω μείωση. Οι συναφείς πορείες υπέρβασης παρόλο που επιτρέπουν τη μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου με βραδύτερους ρυθμούς, προϋποθέτουν την ύπαρξη καθαρών αρνητικών παγκόσμιων εκπομπών CO_2 ώστε να επέλθει μείωση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφάνειας στο προκαθορισμένο επίπεδο (Allen et al., 2018).

Συνεπώς, βασική προϋπόθεση ώστε να περιοριστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη σε λιγότερο από 1,5ºC, είναι να μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές κατά 7,6% ανά έτος κατά την επερχόμενη δεκαετία (United Nations Environment Programme, 2019). Σε αυτό το πλαίσιο, μέσω της ειδικής έκθεσης *SR1.5* επισημαίνεται πως οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι που σχετίζονται με τις κλιματικές παραμέτρους και τις μεταβολές τους ενισχύονται βάσει της εκτιμώμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη κατά 1,5°C για τα φυσικά και ανθρωπογενή περιβάλλοντα, συγκριτικά με τις τωρινές συνθήκες. Ειδικότερα, η εμφάνιση των κινδύνων αυτών συνδέεται τόσο με το μέτρο και το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας όσο και με τη γεωγραφική θέση, τα επίπεδα ανάπτυξης των συστημάτων, τις ενέργειες για την εφαρμογή των πρακτικών προσαρμογής τους και για τον μετριασμό του αντίκτυπου σε αυτά, αλλά και με τους παράγοντες ευπάθειάς τους. Άλλωστε ήδη έχουν παρατηρηθεί τις τελευταίες δεκαετίες παγκοσμίως δυσμενείς επιπτώσεις στα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη (IPCC, 2018).

Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί εξίσου ότι οι παγκόσμιες τάσεις αύξησης της θερμοκρασίας που παρατηρούνται στις μέρες μας, έχουν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στα οικοσυστήματα οι οποίες περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την αύξηση των επιπέδων ξηρασίας και των πλημμυρικών φαινομένων, την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης καθώς και άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα. Ειδικότερα, οι μικρές νησιωτικές περιοχές, μεγάλες πόλεις όπως επίσης οι παράκτιες περιοχές και οι υψηλές οροσειρές πλήττονται άμεσα από αυτές τις συνθήκες εμφανίζοντας καταστροφικές συνέπειες, ενώ ακόμα σε παγκόσμιο επίπεδο ποικίλα οικοσυστήματα διατρέχουν τον κίνδυνο εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων (Allen et al., 2018).

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν η ειδική έκθεση *SR1.5* υπογραμμίζει ότι οι μελλοντικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον ρυθμό, την διάρκεια και το ανώτατο επίπεδο αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφανείας, ενώ ακόμα φαίνεται να παρουσιάζονται εντονότεροι στην περίπτωση που η άνοδος της θερμοκρασίας υπερβεί τον 1,5°C νωρίτερα από τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, σε αντίθεση με μια σταδιακή σταθεροποίησή της στο προκαθορισμένο επίπεδο. Υπό αυτό το πρίσμα, οι συνακόλουθες επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη ενδέχεται να είναι μακροπρόθεσμες ή και μη αναστρέψιμες, επιφέροντας πιθανώς και την απώλεια ορισμένων οικοσυστημάτων (IPCC, 2018).

1.4.3 Εκτιμήσεις μελλοντικών κινδύνων και επιπτώσεις

Τα κλιματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της ειδικής έκθεσης *SR1.5* κατέδειξαν έντονες διακυμάνσεις του κλίματος μεταξύ της τωρινής κατάστασης και των συνθηκών που πρόκειται να επιφέρει η υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5°C όπως και οποιαδήποτε αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφανείας εύρους από 1,5°C έως 2°C μέχρι τα τέλη του 21^{ου} αιώνα. Οι διακυμάνσεις αυτές αφορούν κατά κύριο λόγο αυξήσεις της μέσης θερμοκρασίας στις περισσότερες χερσαίες περιοχές και τους ωκεανούς αλλά και των μέγιστων τιμών αυτής στις περισσότερες κατοικημένες περιοχές όπως επίσης αυξήσεις τόσο στην ένταση όσο και στη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Ειδικότερα, οι ημέρες με ακραία υψηλές θερμοκρασίες (*extreme hot days*) στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη εκτιμάται ότι θα σημειώσουν αύξηση κατά 3°C και 4°C περίπου υπό το καθεστώς υπερθέρμανσης του πλανήτη κατά 1,5°C και 2°C αντίστοιχα. Το πλήθος των ημερών αυτών αναμένεται να αυξηθεί στα περισσότερα χερσαία οικοσυστήματα, με τις μέγιστες αυξήσεις να εντοπίζονται στις τροπικές περιοχές, ενώ ακόμα ο αντίκτυπος των συνθηκών ξηρασίας και της ελάττωσης του ποσού των κατακρημνισμάτων εκτιμάται ότι θα είναι εμφανέστερος και πιο δυσμενής για ορισμένες περιοχές σε παγκόσμια κλίμακα στην περίπτωση αύξησης της μέσης θερμοκρασίας κατά 2°C συγκριτικά με μια ενδεχόμενη αύξηση κατά 1,5°C (IPCC, 2018).

Στους πληθυσμούς με τις πιο δυσμενείς αναμενόμενες επιπτώσεις περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων όσοι απαντώνται στις τοπικές κοινότητες που εξαρτώνται από γεωργικές ή άλλες παράκτιες δραστηριότητες, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για την υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5°C ή και παραπάνω. Τα συστήματα που διακρίνονται από τον υψηλότερο κίνδυνο εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων βρίσκονται πιο συγκεκριμένα σε περιοχές με έντονη ξηρασία, στα αναπτυσσόμενα μικρά νησιωτικά κράτη αλλά και στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες. Εντούτοις, ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας σε 1,5°C συγκριτικά με μια αύξηση κατά 2°C, θα μπορούσε δυνητικά να περιορίσει το μέγεθος του πληθυσμού που εκτίθεται σε κινδύνους άμεσα συνδεόμενους με το κλίμα έως και αρκετές εκατοντάδες εκατομμύρια μέχρι το 2050 (IPCC, 2018).

Όπως γίνεται αντιληπτό μια ενδεχόμενη αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφανείας κατά 1,5°C ή 2°C συνεπάγεται εξίσου σημαντική αύξηση στην εμφάνιση ή/και την ένταση ακραίων φαινομένων αντίστοιχα, με αρνητικές συνέπειες για πολλές περιοχές σε διεθνή κλίμακα.. Ωστόσο, ο χαρακτήρας και η δριμύτητα των συνακόλουθων επιπτώσεων εξαρτώνται τόσο από την εμφάνιση των ακραίων γεγονότων όσο και από την τρωτότητα που χαρακτηρίζει τις πληγείσες περιοχές αλλά και την έκθεσή τους ως προς τις απειλές που σχετίζονται με τις κλιματικές συνθήκες. Οι επιπτώσεις αυτές επηρεάζουν ένα ευρύ πλήθος χερσαίων, παράκτιων και θαλάσσιων περιβαλλόντων άλλα και τα κοινωνικο-οικονομικά συστήματα, όπως για παράδειγμα τη γεωργική παραγωγή ή ακόμα και την ανθρώπινη υγεία (Allen et al., 2018).

Επιπρόσθετα, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η κλιματική αλλαγή έχει άμεσα αρνητικό και εμφανή πλέον αντίκτυπο στον πληθυσμό του πλανήτη. Όπως επισημαίνεται μέσω της ειδικής έκθεσης *SR1.5* για την κλιματική αλλαγή, οποιαδήποτε παρατηρούμενη τάση αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας εκτιμάται ότι θα επηρεάσει άμεσα την ανθρώπινη υγεία, επιφέροντας κατά κύριο λόγο δυσμενείς επιπτώσεις. Η έκθεση του πληθυσμού σε πολλαπλούς κινδύνους που σχετίζονται με τις κλιματικές συνθήκες αναμένεται να ενταθεί σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για την παγκόσμια υπερθέρμανση κατά 1,5°C ή 2°C (IPCC, 2018).

Οι ευάλωτες περιοχές ειδικότερα, συμπεριλαμβανομένων των μικρών νησιωτικών κρατών και των λιγότερο αναπτυγμένων χωρών, πρόκειται να αντιμετωπίσουν αυξημένο κίνδυνο ακόμη κι εάν η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα δεν υπερβεί τον 1,5°C (IPCC, 2018). Συνεπώς, εύλογα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ανάγκη προσαρμογής των ευπαθών φυσικών και ανθρωπογενών συστημάτων αντίστοιχα εντείνεται υπερβαίνοντας το προκαθορισμένο όριο σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη.

1.4.4 Λόγοι ανησυχίας (Reasons for Concern – RFC) και ακραία καιρικά φαινόμενα

Οι εκτιμώμενοι παράγοντες κινδύνου που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και οι συναφείς επιπτώσεις τους είχαν ήδη προσδιοριστεί στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της *IPCC* (*AR5*) μέσω της ταξινόμησης αυτών σε πέντε κατηγορίες οι οποίες αναφέρονται ρητά ως "λόγοι ανησυχίας" (*Reasons for Concern – RFC*) (Oppenheimer et al., 2014). Συνοπτικά αυτές περιγράφουν τα μοναδικά και απειλούμενα συστήματα (*RFC1*), τα ακραία καιρικά φαινόμενα (*RFC2*), την κατανομή των επιπτώσεων (*RFC3*), τις παγκόσμιες συνολικές επιπτώσεις (*RFC4*) και τα ακραία γεγονότα μεγάλης κλίμακας (*RFC5*). Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή οι κίνδυνοι που εμπεριέχονται σε κάθε κατηγορία χαρακτηρίστηκαν ανάλογα ως μέτριοι, υψηλοί ή πολύ υψηλοί.

Οι υφιστάμενες εκτιμήσεις αναφορικά με τους ενδεχόμενους παράγοντες κινδύνου στη συνέχεια επανεξετάστηκαν σύμφωνα με τα στοιχεία που παρέχονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία και τα περισσότερα αποτελέσματα επαληθεύτηκαν (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Ωστόσο, με βάση την εκτιμώμενη υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1°C έως και 2,5°C, σε σχέση με την προ-βιομηχανική εποχή έως το 2100, τα επίπεδα κινδύνου αναμένεται να μεταβληθούν και για τους πέντε "λόγους ανησυχίας". Οι τροποποιήσεις αναφορικά με τον βαθμό επικινδυνότητας ανά κατηγορία προσδιορίζονται στην ειδική έκθεση *SR1.5* ως εξής (IPCC, 2018) :

- Μεταβολή από υψηλό έως πολύ υψηλό κίνδυνο στα μοναδικά και απειλούμενα συστήματα (*RFC1*) για αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1,5°C έως 2°C.
- Μεταβολή από μέτριο έως υψηλό κίνδυνο στα ακραία καιρικά φαινόμενα (*RFC2*) για αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1°C έως 1,5°C.
- Μεταβολή από μέτριο έως υψηλό κίνδυνο στην κατανομή των επιπτώσεων (*RFC3*) για αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1,5°C έως 2°C.
- Μεταβολή από μέτριο έως υψηλό κίνδυνο στις παγκόσμιες συνολικές επιπτώσεις (*RFC4*) για αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1,5°C έως 2,5°C.
- Μεταβολή από μέτριο έως υψηλό κίνδυνο στα ακραία γεγονότα μεγάλης κλίμακας (*RFC5*) για αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1°C έως 2,5°C.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, κρίνεται σκόπιμο να γίνει εκτενέστερη αναφορά στη δεύτερη κατηγορία παραγόντων κινδύνου (*RFC2*) στην οποία περιλαμβάνονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Ειδικότερα, αναμένεται να σημειωθεί περαιτέρω αύξηση του πλήθους των θερμών ημερών και νυκτών (*warm days/nights*), ενώ αντίθετα το πλήθος των ψυχρών ημερών και νυκτών (*cold days/nights*) πρόκειται να μειωθεί, συγκριτικά με τις τρέχουσες συνθήκες, ακόμα και στην περίπτωση περιορισμού της παγκόσμιας θέρμανσης κάτω από 1,5°C. Συνεπώς, οι ακραίες μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας (*warm extremes*) και οι ακραίες κατώτατες τιμές (*cold extremes*) παρουσιάζουν αύξηση και μείωση αντίστοιχα όσον αφορά την ένταση, την συχνότητα και την διάρκειά τους, περιορίζοντας κατά αυτό τον τρόπο τη χρονική διάρκεια των ψυχρών περιόδων.

Υπό αυτό το πρίσμα, η υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 2°C έναντι του 1,5°C είναι πολύ πιθανό να επιφέρει πιο έντονες συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών σε όλες τις περιοχές παγκοσμίως, με εκτενέστερες θερμές περιόδους. Υπογραμμίζεται εξίσου ότι το επίπεδο αύξησης της θερμοκρασίας αναφορικά με τις ακραία θερμές ημέρες (*extreme hot days*) για τα μεσαία γεωγραφικά πλάτη εκτιμάται έως και δύο φορές μεγαλύτερο από εκείνο της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφανείας, δηλαδή περίπου στους 3°C (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Όσον αφορά τα επίπεδα ξηρασίας στις υποτροπικές περιοχές, βάσει των εκτιμήσεων της ειδικής έκθεσης *SR1.5* για την υπερθέρμανση του πλανήτη, το φαινόμενο ολοένα κι εντείνεται σε σύγκριση με τις περιοχές που εντοπίζονται στα μεγαλύτερα, βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Ειδικότερα, σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία παρατήρησης και αντίστοιχες μοντελοποίησεις, οι ανθρωπογενείς εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου έχουν συμβάλλει ενεργά στην αύξηση των φαινομένων ξηρασίας στην περιοχή της Μεσογείου, ενώ εκτιμάται ότι η τάση αυτή θα συνεχίσει να υφίσταται ως επακόλουθο της ανόδου της θερμοκρασίας και αναλογικά με τα επίπεδα αύξησης της τελευταίας. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι ο περιορισμός της παγκόσμιας αύξησης της μέσης θερμοκρασίας σε 1,5°C έναντι των 2°C θα μπορούσε δυνητικά να μετριάσει τον κίνδυνο της μειωμένης διαθεσιμότητας υδάτων σε ορισμένα οικοσυστήματα, ενώ συγχρόνως η Μεσόγειος και η νότια Αφρική αναμένεται να ωφεληθούν περισσότερο από τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε αυτό το επίπεδο της θερμοκρασιακής μεταβολής (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η κλιματική αλλαγή που πυροδοτείται από ανθρωπογενείς παράγοντες έχει ήδη επιφέρει σημαντική αύξηση στις περιοχές επέκτασης συμβάντων πυρκαγιάς σε παγκόσμια κλίμακα, γεγονός το οποίο συνάδει με τους εκτιμώμενους μελλοντικούς κινδύνους υπό το καθεστώς της πυρκαγιάς. Οι κίνδυνοι αυτοί, πιο συγκεκριμένα, όσο και οι σχετικές επιπτώσεις τους αναμένεται να ενταθούν βάσει της ενδεχόμενης αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1,5°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, έως τα τέλη του 21ου αιώνα. Ακόμα και στην περίπτωση που η υπερθέρμανση του πλανήτη δεν υπερβεί τον 1,2°C, η συχνότητα εμφάνισης των πυρκαγιών εκτιμάται ότι θα αυξηθεί για ποσοστό μεγαλύτερο του 37,8% των χερσαίων περιοχών σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ για μια πιθανή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 3,5°C το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 61,9% αντίστοιχα (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

1.5 Άμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

1.5.1 Υποβάθμιση της γης

Με βάση τις τρέχουσες τάσεις μεταβολής των κλιματικών συνθηκών και λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των επακόλουθων επιπτώσεων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, σε συνέχεια της ειδικής έκθεσης *SR1.5* για την υπερθέρμανση του πλανήτη εκδόθηκε η ειδική έκθεση της *IPCC* για την κλιματική αλλαγή και την γη (*Special Report on Climate Change and Land – SRCCL*). Βάσει της τελευταίας, με τον όρο γη χαρακτηρίζεται "*το επίγειο τμήμα της βιόσφαιρας που περιλαμβάνει τους φυσικούς πόρους (έδαφος, αέρας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, βλάστηση και άλλοι βιότοποι και νερό), τις οικολογικές διεργασίες, την τοπογραφία, τους οικισμούς και τις υποδομές που βρίσκονται μέσα σε αυτό το σύστημα*" (Olsson et al., 2019, p. 349).

Η έννοια της υποβάθμισης της γης (*land degradation*) προσδιορίζει οποιαδήποτε αρνητική κατάσταση επιδρά στην επιφάνεια της γης και έχει προκληθεί άμεσα ή έμμεσα από ανθρώπινες επεμβάσεις και διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Η κατάσταση αυτή διακρίνεται από την ελάττωση ή και πλήρη απώλεια της βιολογικής παραγωγικότητας και της οικολογικής ακεραιότητας (Olsson et al., 2019).

Ομοίως, ο όρος αυτός συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει επιβλαβείς διεργασίες οι οποίες εκτυλίσσονται στις δασικές εκτάσεις και κατ' επέκταση συμβάλλουν στην υποβάθμιση των δασών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι Jia et al. (2019) αναφέρουν ότι τα χερσαία περιβάλλοντα είναι πολύ πιθανό να εκτεθούν σε δυσμενείς συνθήκες-διαταραχές (*disturbances*) ως αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη, μέσω των οποίων η δομή, η σύνθεση και η λειτουργία των συστημάτων αυτών αναμένεται να μεταβληθεί ακόμη και για χαμηλής έως μεσαίας τάξης αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφανείας. Παράλληλα, υπογραμμίζεται ότι οι δασικές περιοχές ειδικότερα ενδέχεται να παρουσιάσουν μελλοντικά μικρότερη ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες λόγω της μακράς περιόδου ανάκαμψής τους ύστερα από την εμφάνιση ισχυρών φαινομένων ξηρασίας, η συχνότητα των οποίων εκτιμάται ότι θα σημειώσει αύξηση.

Επιπρόσθετα, στην ειδική έκθεση της IPCC σχετικά με την υποβάθμιση της γης (*Special Report on Climate Change and Land – SRCCL*), ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στον μελλοντικό κίνδυνο εμφάνισης συμβάντων πυρκαγιάς, ο οποίος προβλέπεται σημαντικά αυξημένος για αρκετές περιοχές παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων όσων εντοπίζονται στην Ευρώπη. Η εκτιμώμενη υπερθέρμανση του πλανήτη σε συνδυασμό με τη μείωση των ποσών βροχόπτωσης συνιστούν τους κύριους παράγοντες διαμόρφωσης του καθεστώτος πυρκαγιάς όσον αφορά τις επερχόμενες κλιματικές μεταβολές καθώς τα φαινόμενα ξηρασίας θα συνεχίσουν να εντείνονται.

Ωστόσο, το κλίμα αποτελεί μόνο μια συνιστώσα του ευρύ συνόλου περιβαλλοντικών, οικολογικών και ανθρωπογενών παραγόντων που καθορίζουν τις συνθήκες εμφάνισης κι επέκτασης των πυρκαγιών. Για παράδειγμα, σε ορισμένες τροπικές και εύκρατες περιοχές πρόσφατα σημειώθηκε αύξηση των συμβάντων πυρκαγιάς εξαιτίας των παρατηρούμενων υψηλότερων θερμοκρασιών που συνέβαλαν αντίστοιχα στην αύξηση της ευφλεκτότητας της φυτικής βιομάζας (Jia et al., 2019).

Ακόμη, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι οι αυξήσεις των συμβάντων πυρκαγιάς που σημειώνονται κατά τα πρόσφατα έτη οφείλονται στις μεταβολές των ακραίων καιρικών συνθηκών. Ειδικότερα, εκτιμάται ότι η περίοδος εμφάνισης πυρκαγιών (*fire weather season*) είχε ήδη παραταθεί κατά 18,7% σε παγκόσμια κλίμακα από το 1979 έως το 2013, με στατιστικά σημαντική αύξηση στο 25,3% και μείωση μόνο στο 10,7% της έκτασης

που καλύπτεται με βλάστηση αντίστοιχα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η συνολική έκταση παγκοσμίως στην οποία παρατηρούνται εκτενείς περίοδοι εμφάνισης πυρκαγιάς σημείωσε αύξηση της τάξης του 3,1% ετησίως και 108,1% κατά την χρονική περίοδο 1979 – 2013 (Jolly et al., 2015).

Συμπερασματικά, αναμένεται με βεβαιότητα πως ο κίνδυνος εκδήλωσης ιδιαίτερα σφοδρών πυρκαγιών (*wildfires*) θα αυξηθεί μακροπρόθεσμα σε παγκόσμια κλίμακα υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, πλήττοντας ποικίλα οικοσυστήματα, ακόμα και τα τροπικά δάση. Τα φαινόμενα αυτά πρόκειται να ενταθούν περισσότερο στις περιοχές που απαντώνται, πιο συγκεκριμένα, στη Βόρεια και Νότια Αμερική, στην Κεντρική Ασία, στην Αυστραλία, στη Νότια Αφρική και τέλος στη Νότια Ευρώπη (Jia et al., 2019).

1.5.2 Κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς

Στις μέρες μας είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι οι ποικίλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν συμβάλλει ενεργά στη διαμόρφωση των νέων τάσεων των κλιματικών συνθηκών, επιφέροντας αρνητικές επιπτώσεις σε ένα ευρύ πλήθος οικοσυστημάτων. Οι κυριότερες από αυτές σχετίζονται με τις μεταβολές που έχουν επέλθει διαχρονικά στις κλιματικές παραμέτρους και αφορούν μεταξύ άλλων την άνοδο της θερμοκρασίας, τα εποχιακά πρότυπα και το ποσό των κατακρημνισμάτων όπως επίσης την συχνότητα, ένταση και διάρκεια ορισμένων ακραίων καιρικών φαινομένων όπως η ξηρασία και τα κύματα καύσωνα. Ως αποτέλεσμα, τα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα πλήττονται άμεσα καθώς επηρεάζεται δυσμενώς τόσο η δομή τους όσο και το σύνολο των διεργασιών που επιτελούνται σε αυτά.

Υπό αυτό το πρίσμα, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος επεσήμανε πως υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να σημειωθεί αύξηση στη συχνότητα και στην ένταση των καταστροφικών γεγονότων καθώς και να τροποποιηθεί η χωρική κατανομή τους στις περιοχές της Ευρώπης (European Environment Agency, 2004). Επιπλέον, οι Sommers et al. 2011 υπογράμμισαν ότι η κλιματική αλλαγή πρόκειται να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη συχνότητα εμφάνισης, την ένταση και τη χωρική κατανομή των συμβάντων πυρκαγιάς σε πολλές

σε πολλές μεσογειακές περιοχές ως απόκριση των εκτιμώμενων συνθηκών αύξησης της θερμοκρασίας και των παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας, μεταβάλλοντας τις ιδιότητες της υπάρχουσας βλάστησης και συνεπώς την ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης. Η δυνητική αυτή αύξηση της ευφλεκτότητας, πιο συγκεκριμένα, συνιστά την κυριότερη επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο καθεστώς της πυρκαγιάς καθώς η τελευταία ευνοείται από την ύπαρξη καύσιμου υλικού υπό κατάλληλες κλιματικές συνθήκες (Moritz et al., 2012).

Στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι επικείμενες κλιματικές μεταβολές αναμένονται ακόμα πιο έντονες, η επίδρασή τους στα μεσογειακά περιβάλλοντα θα είναι σαφώς ισχυρότερη. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι η εμφάνιση ιδιαίτερα καταστροφικών συμβάντων πυρκαγιάς έχει αποδοθεί στα εκτεταμένα φαινόμενα ξηρασίας (Rosenzweig et al., 2007). Η Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής υπογραμμίζει πως η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς στη λεκάνη της Μεσογείου ενισχύεται μέσω της συνδυαστικής δράσης κλιματικών συνθηκών όπως η ξηρασία, οι υψηλές θερμοκρασίες, τα χαμηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας αλλά και οι τοπικοί άνεμοι ισχυρής έντασης, ειδικότερα κατά τους θερινούς μήνες (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011a). Οι Flannigan et al. (2006) αναγνωρίζουν αντίστοιχα τον καιρό και το κλίμα ως τους κυριότερους παράγοντες διαμόρφωσης της χωρικής κατανομής και δραστηριότητας των πυρκαγιών, οι οποίοι μεταβάλλονται σε συνάρτηση με την κλιματική αλλαγή.

Ειδικότερα, όσον αφορά τα δασικά οικοσυστήματα του μεσογειακού χώρου σύμφωνα με τους Giannakopoulos et al. (2009) αυτά αναμένεται να επηρεαστούν κατά κύριο λόγο από την εκτιμώμενη αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας και την μειωτική τάση του ποσού των κατακρημνισμάτων, διατρέχοντας κατά συνέπεια αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καταστροφικών πυρκαγιών. Παράλληλα, εκτιμάται ότι θα επέλθει περαιτέρω μείωση των επιπέδων υγρασίας της διαθέσιμης καύσιμης ύλης σε συνάρτηση με τις εντεινόμενες συνθήκες ξηρασίας καθιστώντας ιδιαίτερα ευνοϊκή την ανάπτυξη δασικών πυρκαγιών (de Rigo et al., 2017). Ενδεικτικά αναφέρεται πως εντοπίστηκε μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των δασικών πυρκαγιών και των επιπέδων της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την παρατεταμένη περίοδο ξηρασίας, όπως κατέδειξαν τα αποτελέσματα της ανάλυσης των Founda and Giannakopoulos (2009) σχετικά με τα καταγεγραμμένα συμβάντα της Ελλάδας κατά την θερινή περίοδο του 2007.

Επιπρόσθετα, οι μεσογειακές χώρες και ιδίως η Πορτογαλία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδας όπως και το νότιο τμήμα της Γαλλίας, συνιστούν τις πιο ευάλωτες κι άμεσα επηρεαζόμενες περιοχές της Ευρώπης ως προς την επέκταση δασικών πυρκαγιών. Η συνολική καμένη έκταση μόνο για αυτές τις περιοχές από το 1980 έως το 2009 υπολογίστηκε περίπου στα 480.000 εκτάρια γης ανά έτος με ετήσιο μέσο όρο τα 50.000 συμβάντα, ενώ ταυτόχρονα περισσότερο από το 70% των πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν σε αυτές εντοπίζονται κατά την περίοδο μεταξύ Ιουνίου και Οκτωβρίου, σε αντίθεση με τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης όπου τα συμβάντα πυρκαγιάς εμφανίζονται στην πλειονότητά τους κατά τη διάρκεια της άνοιξης (European Commission, 2010; San-Miguel-Ayanz et al., 2012).

Με βάση τα συμπεράσματα μελετών που διεξήχθησαν κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει διευκρινιστεί εξίσου πως ενδέχεται να παραταθεί η περίοδος εμφάνισης πυρκαγιών και να αυξηθεί τόσο η συχνότητα όσο και η σφοδρότητά τους εντείνοντας έτσι τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς (Pausas, 2004; Moriondo et al., 2006), τάσεις οι οποίες ήδη είναι εμφανείς. Παρόλο που υπάρχει κάποια αβεβαιότητα ως προς το μέγεθος της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι ο κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς που διαμορφώνεται βάσει των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών πρόκειται να αυξηθεί στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (de Rigo et al., 2017).

Σύμφωνα με τις τρέχουσες τάσεις, οι συνθήκες που διαμορφώνονται στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής πρόκειται να επηρεάσουν περαιτέρω τις ήδη ευάλωτες περιοχές στην Ελλάδα έως το 2100, εάν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα μετριασμού των επικείμενων επιπτώσεων. Η εκτιμώμενη αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας όπως και των παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας σε συνδυασμό με τα μειωμένα ποσά βροχόπτωσης αναμένεται να εντείνει τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιών όσο και τη σφοδρότητά τους καθώς η φυτική βιομάζα θα είναι πιο εύφλεκτη. Ειδικότερα, σχεδόν όλη η έκταση της νότιας ηπειρωτικής χώρας χαρακτηρίζεται από υψηλή τρωτότητα ως προς τις πυρκαγιές έως το έτος 2070, ενώ μέχρι τα τέλη του 21^{ου} αιώνα στις περιοχές ιδιαίτερα υψηλού κινδύνου συγκαταλέγεται η κεντρική και δυτική Πελοπόννησος όπως επίσης η Κρήτη (Founda et al., 2008).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι οι πυρκαγιές αποτελούν έναν από τους ισχυρότερους παράγοντες υποβάθμισης των Μεσογειακών οικοσυστημάτων που διαμορφώνονται βάσει των μεταβαλλόμενων τάσεων των κλιματικών συνθηκών. Οι δασικές περιοχές πιο συγκεκριμένα πλήττονται άμεσα από την παρατηρούμενη αύξηση των επιπέδων θερμοκρασίας και ξηρασίας ενώ τα διαθέσιμα στοιχεία αποδεικνύουν ότι ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς πρόκειται να ενταθεί κατά τις επερχόμενες δεκαετίες. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι οι πυρκαγιές συνιστούν εξίσου βασικό στοιχείο των δασών καθώς και μια κρίσιμη παράμετρο τόσο για την εξέλιξη όσο και για τον φυσικό μηχανισμό λειτουργίας τους.

Κεφάλαιο 2ο : Το φαινόμενο της πυρκαγιάς

2.1 Γενικά

Οι πυρκαγιές συνιστούν έναν από τους ισχυρότερους καταστροφικούς παράγοντες των δασικών οικοσυστημάτων στη Μεσόγειο, επιφέροντας δυσμενείς επιπτώσεις σε ευρεία χωρική κλίμακα, πολλές φορές σε ελάχιστο χρόνο. Από το 1960 έως σήμερα, έχει παρατηρηθεί μία εκθετική αύξηση τόσο στον αριθμό των συμβάντων πυρκαγιάς, όσο και στη συνολική καμένη έκταση, ιδιαίτερα στα μεσογειακά οικοσυστήματα. Η αύξηση αυτή επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στα ίδια τα οικοσυστήματα όσο και στο ευρύτερο κοινωνικο-οικονομικό πλαίσιο των περιοχών που πλήττονται, ενώ ακόμα οι ανθρώπινες απώλειες δυστυχώς δεν είναι σπάνιο φαινόμενο (Αγιοβλασίτης, 2011).

Επιπλέον, ο αριθμός των συμβάντων δασικής πυρκαγιάς κυμαίνεται ετησίως σε συνάρτηση με τις μετεωρολογικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και τα επίπεδα υγρασίας, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μια ισχυρή αυξητική τάση τόσο στην εμφάνιση πυρκαγιών όσο και στην αποτίμηση της καμένης δασικής έκτασης στις περισσότερες μεσογειακές χώρες. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί εδώ και τουλάχιστον 20 χρόνια καθώς μόλις το 2001 είχε ήδη σημειωθεί ότι 50.000 συμβάντα δασικών πυρκαγιών, κατά προσέγγιση, λαμβάνουν χώρα ετησίως στη λεκάνη της Μεσογείου οδηγώντας σε σημαντικές οικολογικές και οικονομικές απώλειες, συμπεριλαμβανομένων 700.000 – 1.000.000 εκταρίων καμένης δασικής έκτασης (World Wildlife Fund, 2001).

Όπως παρατηρείται κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι χώρες της Μεσογείου διακρίνονται από τρεις χρονικές περιόδους υψηλού ποσοστού δραστηριότητας των δασικών πυρκαγιών. Η μέγιστη συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιάς παρατηρείται από τον Ιούνιο έως τον Αύγουστο, ενώ πολλές φορές η περίοδος αυτή παρατείνεται έως τον Σεπτέμβριο. Η δεύτερη περίοδος υψηλής δραστηριότητας παρουσιάζεται κατά την άνοιξη, εν μέρει λόγω της εποχικής εργασίας στον αγροτικό τομέα, ενώ ακόμα υψηλά ποσοστά δραστηριότητας πυρκαγιάς συχνά απαντώνται στις ορεινές περιοχές κατά την περίοδο του χειμώνα (San-Miguel-Ayanz & Camia, 2009).

Στη διαμόρφωση αυτού του μοτίβου συντελούν οι υψηλές τιμές της θερμοκρασίας, η παρατεταμένη περίοδος ξηρασίας όπως επίσης οι άνεμοι ισχυρής έντασης σε συνδυασμό με τα μικρά ποσά βροχόπτωσης, συνθήκες οι οποίες αντανακλούν την κατάσταση των μεσογειακών περιοχών και ταυτόχρονα θεωρούνται ως οι κύριοι παράγοντες εμφάνισης των δασικών πυρκαγιών (Camia & Amatulli, 2009; San-Miguel-Ayanz et al., 2013).

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται σκόπιμο να υπογραμμιστεί ότι από το σύνολο των συμβάντων πυρκαγιάς τα οποία σημειώνονται στα δασικά οικοσυστήματα παγκοσμίως, περίπου το 90% χαρακτηρίζονται ως ελεγχόμενες αντιπροσωπεύοντας μόλις το 10% ή και λιγότερο της συνολικής καμένης έκτασης. Παράλληλα, το υπόλοιπο 10% αυτών των συμβάντων περιγράφουν τις ανεξέλεγκτες και καταστροφικές πυρκαγιές (*wildfires*) οι οποίες καταλαμβάνουν τη συντριπτική πλειοψηφία της δασικής καμένης έκτασης (Food and Agriculture Organization & United Nations Environment Programme, 2020). Τέτοιου είδους συμβάντα πυρκαγιάς, όπως εκείνα που παρατηρήθηκαν μεταξύ άλλων και στην Ελλάδα το 2007, 2018, 2019, αλλά και πιο πρόσφατα το 2021, επιφέρουν σημαντική περιβαλλοντική και οικονομική ζημία σε ποικίλα επίπεδα, ενώ ακόμα σε αυτά αποδίδεται συχνά μεγάλο πλήθος ανθρώπινων απωλειών.

Εντούτοις, η φωτιά μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα ωφέλιμη στα πλαίσια όπου η ίδια συνιστά ένα μέσο δασικής αναγέννησης και ανακύκλωσης των θρεπτικών συστατικών, σε πλήρη αντίθεση με τον καταστροφικό χαρακτήρα τον οποίο επιδεικνύει υπό καθεστώς ακραίων καιρικών συνθηκών (Tampakis et al., 2005). Άλλωστε, οι πυρκαγιές που προξενούνται από φυσικά αίτια, όπως για παράδειγμα οι κεραυνοί, αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των χερσαίων οικοσυστημάτων. Παράλληλα, οι δασικές πυρκαγιές που αναπτύσσονται λόγω φυσικών αιτιών κρίνονται απαραίτητες για τα δασικά οικοσυστήματα ως προς τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και της παραγωγικότητας αυτών, ενώ συχνά ελεγχόμενες πυρκαγιές αναπτύσσονται εκ προ μελέτης ως ένα μέσο για την επίτευξη των στόχων διαχείρισης γης (Food and Agriculture Organization & United Nations Environment Programme, 2020).

Από την άλλη πλευρά, οι πυρκαγιές συμπεριλαμβάνονται στους πιο κρίσιμους παράγοντες υποβάθμισης των μεσογειακών οικοσυστημάτων με άμεσα αρνητικές επιπτώσεις τόσο στους φυσικούς πόρους, όπως για παράδειγμα το έδαφος, η βλάστηση κι η βιοποικιλότητα, όσο και στις υποδομές ή άλλες οικονομικές δραστηριότητες όπως η γεωργία και ο τουρισμός. Το μεγαλύτερο ποσοστό των καταγεγραμμένων συμβάντων πυρκαγίας παρουσιάζει ανθρωπογενή αίτια εμφάνισης.

Ειδικότερα, όσον αφορά τα καταγεγραμμένα συμβάντα πυρκαγιάς των ευρωπαϊκών χωρών της Μεσογείου, οι ανθρωπογενείς αιτίες αντιπροσωπεύουν περισσότερο από 90% του συνόλου των πρώτων (Mancini et al., 2018). Η αλληλεξάρτηση των δασικών πυρκαγιών με τους ανθρωπογενείς παράγοντες είναι πλέον εμφανής κι ευρέως αποδεκτή, ενώ οι τελευταίοι περιλαμβάνουν μια πληθώρα κοινωνικο-οικονομικών παραμέτρων που σχετίζονται με την ανεξέλεγκτη αύξηση της καύσιμης ύλης και κατά συνέπεια με την αύξηση των συμβάντων πυρκαγιάς στις χώρες της Μεσογείου (Badia et al., 2002).

Υπό αυτό το πρίσμα, το φαινόμενο της αστικοποίησης σε συνάρτηση με την εγκατάλειψη των αγροτικών περιοχών και κατ' επέκταση την μη αξιοποίηση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, φαίνεται ότι αποτελούν τις κυριότερες αιτίες αύξησης των δασικών πυρκαγιών στη Νότια Ευρώπη καθώς συμβάλλουν στη συσσώρευση εύφλεκτων υλικών στις εν λόγω περιοχές (Tampakis et al., 2005). Συνεπώς, η συσσώρευση της καύσιμης ύλης έχει συσχετιστεί με την αγροτική έξοδο του πληθυσμού που απασχολούνταν γενικότερα στον πρωτογενή τομέα, επιφέροντας ταυτόχρονα υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς (Alexandrian & Esnault 1999; Perez et. al., 2003). Αυτή η μείωση του πληθυσμού των αγροτικών περιοχών συνετέλεσε εξίσου στην επέκταση των δασών στις εγκαταλελειμμένες γεωργικές εκτάσεις, στην ανάπτυξη θαμνώδους βλάστησης αλλά και στη μείωση των βοσκοτόπων, ευνοώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την περαιτέρω αύξηση της συχνότητας εμφάνισης των καταστροφικών συμβάντων πυρκαγιάς (Challot, 1990).

Ωστόσο, η επίδραση των κοινωνικο-οικονομικών συνθηκών που επηρεάζουν το καθεστώς εμφάνισης πυρκαγιάς έχει μελετηθεί ελάχιστα συγκριτικά με τη συμβολή των φυσικών παραγόντων στη διαμόρφωση του κινδύνου. Κατά συνέπεια, η διερεύνηση των κύριων ανθρωπογενών παραγόντων που επηρεάζουν τα χωρικά πρότυπα των συμβάντων πυρκαγιάς

κρίνεται απαραίτητη ως προς τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας των στρατηγικών πρόληψης, ανίχνευσης και αντιμετώπισης των πυρκαγιών (Ganteaume et al., 2012). Καθώς η ανάπτυξη των δασικών πυρκαγιών είναι αναπόφευκτη, η μείωση στη συχνότητα εμφάνισης των συμβάντων πυρκαγιάς, όπως επίσης στις επιπτώσεις που εκείνα επιφέρουν, είναι δυνατό να υλοποιηθεί μόνο κατά την εφαρμογή ενός σχεδίου ολοκληρωμένης διαχείρισης που λαμβάνει υπόψη το ευρύτερο κοινωνικο-οικονομικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο το οποίο διαμορφώνεται στις πληγείσες περιοχές (Food and Agriculture Organization & United Nations Environment Programme, 2020).

2.2 Παράγοντες εμφάνισης και επέκτασης πυρκαγιάς

Γενικότερα, οι πυρκαγιές συνιστούν το αποτέλεσμα της καύσης, για τη διενέργεια της οποίας προαπαιτείται η ταυτόχρονη παρουσία επαρκούς ποσότητας καύσιμου υλικού, θερμότητας και οξυγόνου. Οι συνθήκες αυτές αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την έναρξη μιας πυρκαγιάς καθώς η έλλειψη ενός μόνο στοιχείου από τα προαναφερθέντα μπορεί να συντελέσει στην εξάλειψή της (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Για την εμφάνιση κι εξέλιξη μιας δασικής πυρκαγιάς, ειδικότερα, υλοποιείται μια σειρά διαδοχικών σταδίων τα οποία διακρίνονται από ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες και την απελευθέρωση μεγάλων ποσών θερμότητας.

Αρχικά, λοιπόν, η καύσιμη ύλη όπως φύλλα, πευκοβελόνες και άλλη ξηρή βλάστηση προθερμαίνεται κι εν συνεχεία ξηραίνεται επιφέροντας, κατά αυτό τον τρόπο, μείωση της περιεκτικότητας της σε υγρασία όπως επίσης απώλεια μέρους των πτητικών ουσιών. Καθώς αναπτύσσεται η διαδικασία αυτή, σε επόμενο στάδιο πραγματοποιείται η πυράκτωση της καύσιμης ύλης υπό συνθήκες θερμοκρασίας η οποία προσεγγίζει τους 280°C, ενώ σε τελικό πλέον στάδιο, η καύση διενεργείται υπό θερμοκρασίες μεταξύ 380°C και 425°C. Αντίστοιχες τιμές εμφανίζονται και κατά τα στάδια καύσης του ξύλου, υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών οι οποίες συντελούν στη χημική αποσύνθεση της ξυλώδους ύλης (Countryman, 1976). Από την στιγμή που υπάρξει ανάφλεξη και η ποσότητα της θερμικής ενέργειας επαρκεί ώστε να επέλθει αντίστοιχα η πυράκτωση της άμεσα γειτονικής καύσιμης ύλης, η πυρκαγιά αναμένεται να εξαπλωθεί (Dupuy, 2009).

Όσον αφορά τις δασικές πυρκαγιές, εντοπίζεται μια πληθώρα παραγόντων οι οποίοι διαμορφώνουν το πλαίσιο εμφάνισης, διατήρησης και διάδοσης τους σε χωρική και χρονική κλίμακα, συμπεριλαμβανομένου του τύπου καύσιμης ύλης που συσσωρεύεται στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος και της σχετικής υγρασίας αυτού. Οι μετεωρολογικές συνθήκες διαδραματίζουν εξίσου καθοριστικό ρόλο καθιστώντας την ατμοσφαιρική θερμοκρασία, το επίπεδο υγρασίας, τα ποσά βροχόπτωσης αλλά και την ταχύτητα του ανέμου, ως κύριους παράγοντες για την εκτίμηση της εμφάνισης κι εξέλιξης ενός επικείμενου συμβάντος.

Επιπρόσθετα, η τοπογραφία μιας περιοχής συντελεί στη διαμόρφωση των συνθηκών που σχετίζονται με τους προηγούμενους παράγοντες και κατ' επέκταση στο καθεστώς πυρκαγιάς. Λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα, εύλογα προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι μεταβλητές που μπορούν να αξιοποιηθούν για την εκτίμηση της εμφάνισης και συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών ταξινομούνται σε τρεις ευρείες κατηγορίες που περιλαμβάνουν την καύσιμη ύλη, τις μετεωρολογικές συνθήκες και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής που εξετάζεται.

Αναλυτικότερα, στην πρώτη κατηγορία ταξινομούνται όλα εκείνα τα υλικά που συναντώνται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους έως το ύψος του 1½ m, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι η τύρφη και η παρεδάφια βλάστηση, ο ξηροτάπητας, το ριζικό σύστημα των δέντρων όπως επίσης τα νεαρά δέντρα και η θαμνώδης βλάστηση, αλλά και τα κλαδιά, οι κατακείμενοι κορμοί και τέλος τα πρέμνα. Στην κατηγορία της δασικής καύσιμης ύλης κατατάσσονται εξίσου τα εύφλεκτα υλικά που βρίσκονται σε ύψος 1½ m ή/και υψηλότερα (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Η προαναφερθείσα ταξινόμηση της καύσιμης ύλης αναφορικά με το ύψος όπου εμφανίζονται, μετέπειτα οδήγησε τους Καϊλίδη και Καρανικόλα (2004) να ομαδοποιήσουν τις δασικές πυρκαγιές σε εδάφους ή υπόγειες, σε επιφανείας ή έρπουσες και αντίστοιχα σε κόμης ή επικόρυφες, σε συνάρτηση με την θέση τους ως προς την επιφάνεια του εδάφους αλλά και με το χωρικό μοτίβο εξάπλωσής τους.

Επιπλέον, σύμφωνα με μια άλλη ταξινόμηση, τα καύσιμα υλικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως ελαφρού τύπου και βαρέως τύπου. Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται υλικά μικρού μεγέθους, με μεγάλη σχετική επιφάνεια όπως για παράδειγμα τα φρύγανα, οι πευκοβελόνες, ή ακόμα και οι θάμνοι, ενώ τα υλικά βαρέως τύπου συνίστανται από κλαδιά μεγάλων δέντρων, κορμούς όπως επίσης από χούμο (Κωνσταντινίδης, 2003).

Υπό αυτό το πρίσμα, οι Ταμπάκης και Καρανικόλα (2015) αναφέρουν πως ο τύπος και η ποσότητα της καύσιμης ύλης αποτελούν τους πιο κρίσιμους παράγοντες διεξαγωγής της καύσης καθώς αυτοί φαίνεται να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την δυνατότητα ανάφλεξης και άλλα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς όπως την ταχύτητα εξάπλωσης. Σχετικά με την τελευταία μάλιστα, πέραν της ποσότητας του καύσιμου υλικού, τονίζουν εξίσου την σπουδαιότητα της χωρικής κατανομής αυτού, τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο επίπεδο.

Αναφορικά με την δεύτερη κατηγορία μεταβλητών διαμόρφωσης των συνθηκών που ευνοούν την εμφάνιση δασικής πυρκαγιάς, στους κύριους μετεωρολογικούς παράγοντες που επιδρούν άμεσα ή έμμεσα στις διεργασίες ανάπτυξης κι εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς, συγκαταλέγονται η ατμοσφαιρική θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, το ποσό των κατακρημνισμάτων και η ταχύτητα του ανέμου. Ειδικότερα, η αύξηση των επιπέδων θερμοκρασίας συντελεί στη διαδικασία προθέρμανσης και ξήρανσης της καύσιμης ύλης, διαμορφώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο ευνοϊκές συνθήκες ως προς την ανάφλεξη της. Η μείωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας, αντίστοιχα, επιδρά με όμοιο τρόπο στο καύσιμο υλικό μειώνοντας τα επίπεδα υγρασίας του και κατά συνέπεια ευνοώντας την ενδεχόμενη πυράκτωση του υπό κατάλληλες προϋποθέσεις.

Κατά γενική ομολογία, όταν τα επίπεδα σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας κυμαίνονται μεταξύ 50% και 55%, η πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς ελαχιστοποιείται, ενώ ακόμα και σε περίπτωση ανάφλεξης της καύσιμης ύλης, οι συνθήκες δεν είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη κι εξάπλωση της πυρκαγιάς. Επιπλέον, το ποσό των κατακρημνισμάτων σε μια περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα το ύψος της βροχόπτωσης συνδέεται άμεσα με τα επίπεδα υγρασίας του αέρα και κατ' επέκταση με την σχετική υγρασία των υλικών που διατίθενται προς καύση. Συνεπώς, μικρότερες τιμές του ύψους βροχής, σε συνδυασμό με την αναμενόμενη μείωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας ή/και υψηλή θερμοκρασία,

ενδέχεται να αυξήσουν την ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης και άρα την πιθανότητα ανάπτυξης πυρκαγιάς. Τέλος, ο άνεμος συνιστά τον πιο καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης της χωρικής διασποράς μιας ενδεχόμενης πυρκαγιάς καθώς επιδρά άμεσα κατά κύριο λόγο στην κατεύθυνση και την ταχύτητα διάδοσης της.

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, η ποσότητα της καύσιμης ύλης και τα επίπεδα υγρασίας της, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία και σχετική υγρασία, το ποσό των κατακρημνισμάτων και το καθεστώς του ανέμου, συνδυαστικά με τον τρίτο βασικό παράγοντα διαμόρφωσης των συνθηκών εμφάνισης μιας δασικής πυρκαγιάς ο οποίος αφορά τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, συμβάλλουν περαιτέρω στην εξάπλωση της. Όσον αφορά τον τελευταίο, η κλίση του εδάφους, η διεύθυνση της πλαγιάς καθώς και το υψόμετρο αποτελούν μεταξύ άλλων τις κυριότερες παραμέτρους επέκτασης των δασικών πυρκαγιών (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015).

Πιο συγκεκριμένα, η κλίση επηρεάζει την επέκταση μιας πυρκαγιάς προσδίδοντας μεγαλύτερη ταχύτητα προς τα ανάντη, μικρότερη προς τα κατάντη αντίστοιχα και ακόμα μικρότερη σε επίπεδες εκτάσεις. Από την άλλη μεριά, η διεύθυνση της πλαγιάς και το υψόμετρο επιδρούν στην υγρασία της ελαφρού τύπου καύσιμης ύλης με τέτοιο τρόπο ώστε οι νότιες, νοτιοδυτικές και δυτικές πλαγιές να διακρίνονται από χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας συγκριτικά με άλλες διευθύνσεις πλαγιάς, ενώ ταυτόχρονα σε μικρότερο υψόμετρο εμφανίζεται μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας της καύσιμης ύλης και το αντίστροφο (Καϊλίδης & Καρανικόλα 2004; Καλαμποκίδης κ.ά., 2013).

Επιπλέον, ο βαθμός ευκολίας ανάφλεξης κι αντίστοιχα δυσκολίας καταστολής μιας πυρκαγιάς, παράγοντες που διαμορφώνουν το μέτρο επικινδυνότητας, καθορίζονται από τον τύπο της καύσιμης ύλης, τον όγκο, την κατάσταση και τη θέση της (Food and Agriculture Organization, 2006). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η Ελλάδα το 2007, βιώνοντας το θερμότερο καλοκαίρι έως εκείνη την περίοδο, εμφάνισε καταστροφικά συμβάντα πυρκαγιών εξαιτίας της παρατεταμένης περίοδου ξηρασίας σε συνδυασμό με την έντονη συσσώρευση καύσιμης ύλης, συνθήκες οι οποίες οδήγησαν στην απώλεια περίπου 39% της δασικής έκτασης στο νομό Ηλείας της Πελοποννήσου, όπου και έχασαν τη ζωή τους συνολικά 44 άτομα (Founda and Giannakopoulos, 2009; Karanikola et al., 2011).

Εύλογα, λοιπόν, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς συνδέεται άμεσα με την κατανομή κι ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης στην πληγείσα περιοχή. Ωστόσο, η έννοια της ευφλεκτότητας ως ιδιότητα του καύσιμου υλικού καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο να οριστεί επιστημονικά και γι'αυτό λαμβάνεται υπόψη σε ένα ευρύτερο πλαίσιο (Gill and Moore, 1996). Γενικότερα, η ευφλεκτότητα του καύσιμου υλικού μπορεί να περιγραφεί μέσω της δυνατότητας ανάφλεξης, καύσης και διατήρησης της καύσης του πρώτου, σε συνδυασμό με τα επίπεδα σχετικής υγρασίας του (Xanthopoulos et al., 2012).

Η έννοια της ευφλεκτότητας, πιο συγκεκριμένα, συνδέεται άρρηκτα με τρεις βασικές ιδιότητες αναφορικά με την αναφλεξιμότητα (*ignitibility*), τη συντήρηση ή διατηρησιμότητα της καύσης (*sustainability*) και την καυσιμότητα (*combustibility*) της δασικής ύλης (Anderson, 1970; Trabaud, 1976), οι οποίες προσδιορίζουν αντίστοιχα την ευκολία ανάφλεξης του καύσιμου υλικού, τον βαθμό που το τελευταίο εξακολουθεί να καίγεται μετά την ανάφλεξη και τέλος τον ρυθμό καύσης του, δηλαδή πόσο γρήγορα καίγεται το υλικό αυτό. Όπως είναι πλέον ευρέως αποδεκτό, η ευφλεκτότητα προσδιορίζεται εξίσου μέσω της έννοιας της κατανάλωσης της καύσιμης ύλης ή καταναλωσιμότητας (*consumability*) η οποία περιγράφει το ποσό της ύλης που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης (Martin et al., 1993).

Συνοψίζοντας, στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής, είναι φανερό ότι η αναμενόμενη αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, σε συνάρτηση με τη μείωση της βροχόπτωσης, πρόκειται να επηρεάσουν άμεσα την ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης, μεταβάλλοντας τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, την φυτική βιομάζα και τη σύνθεση της βλάστησης (Mouillot et al., 2002). Ακόμα, πρέπει να σημειωθεί πως όταν το ποσοστό της συσσωρευμένης καύσιμης ύλης είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό εκείνης που δύναται να ανακυκλωθεί τότε σημειώνεται αύξηση των συμβάντων πυρκαγιάς, ενώ συγχρόνως η κύρια προβληματική συνθήκη που παρουσιάζει η Μεσόγειος, είναι η συστηματική και ραγδαία ελάττωση της περιόδου επανεμφάνισης δασικών πυρκαγιών στις πληγείσες περιοχές (Ταμπάκης & Καρανικόλα, 2015). Με άλλα λόγια, το φαινόμενο αύξησης της συχνότητας των συμβάντων πυρκαγιάς σε μια περιοχή φαίνεται ότι συνδέεται άμεσα με τη ανισορροπία του ισοζυγίου συσσωρευμένης κι ανακυκλώσιμης ύλης (Kalabokidis et al., 2002).

Τέλος, κρίνεται εξίσου σημαντικό να αναφερθεί ότι τα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα έχουν τη δυνατότητα να ανακάμψουν μετά από μια καταστροφική πυρκαγιά όταν ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο συμβάντων στην ίδια περιοχή είναι πάνω από 30 χρόνια, υπό την προϋπόθεση εφαρμόγης σχεδίων αποκατάστασης και στοχευόμενων μέτρων με στόχο την ανάκαμψη των πληγεισών περιοχών, στο πλαίσιο της αειφόρου διαχείρισης των οικοσυστημάτων (Παγκύπρια Ένωση Δασολόγων, 2016).

2.3 Δασικά οικοσυστήματα υπό καθεστώς πυρκαγιάς

Τα δάση καλύπτουν το 30.8% της συνολικής έκτασης παγκοσμίως, ποσοστό το οποίο αντιστοιχεί σε δασική έκταση 4,06 δισεκατομμυρίων εκταρίων. Ωστόσο, οι δασικές εκτάσεις δεν κατανέμονται ομοιόμορφα σε παγκόσμια κλίμακα καθώς ποσοστό μεγαλύτερο του 50% συγκεντρώνουν αθροιστικά μόνο η Βραζιλία, Κίνα, Ρωσική Ομοσπονδία, ο Καναδάς, όπως επίσης οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ενώ τα 2/3 του συνόλου των δασών απαντώνται σε 10 μόλις κράτη (Food and Agriculture Organization & United Nations Environment Programme, 2020).

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της Υπουργικής Διάσκεψης για την Προστασία των Δασών στην Ευρώπη (*Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*), το 33% της ευρωπαϊκής έκτασης καλύπτεται από δάση εκ των οποίων τα δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων καταλαμβάνουν αντίστοιχα έκταση 113 και 90 εκατομμυρίων εκταρίων, ενώ 48 εκατομμύρια εκτάρια καλύπτονται από μικτά δάση (de Rigo et al., 2016). Στην Ελλάδα, τα δασικά οικοσυστήματα καταλαμβάνουν έκταση 6.513.768 εκταρίων, η οποία αντιπροσωπεύει το 49,3% της συνολικής έκτασης της χώρας ενώ το 62% της δασικής περιοχής καλύπτεται από πλατύφυλλα και το υπόλοιπο 38%, από κωνοφόρα δάση (Αγιοβλασίτης, 2011).

Γενικότερα, τα δασικά οικοσυστήματα υπόκεινται σε ποικίλες φυσικές διεργασίες οι οποίες μπορούν να διαταράξουν τη σύσταση και τη λειτουργία τους επιδρώντας αρνητικά τόσο στην υγεία και τη ζωτικότητα αυτών όσο και στην ικανότητά τους να παρέχουν ένα ευρύ φάσμα αγαθών και υπηρεσιών.

Στις προαναφερθείσες διεργασίες, μεταξύ άλλων, κατατάσσονται και τα ακραία καιρικά φαινόμενα που μπορούν δυνητικά να επιφέρουν καταστροφικές επιπτώσεις στα δασικά οικοσυστήματα όπως και οι πυρκαγιές (Food and Agriculture Organization & United Nations Environment Programme, 2020).

Κατά προσέγγιση 3.7 εκατομμύρια εκτάρια της ευρωπαϊκής δασικής έκτασης εμφανίζουν δυσμενείς επιπτώσεις λόγω βιοτικών ή και αβιοτικών παραγόντων. Σχετικά με τους δεύτερους, πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με εκτιμήσεις βασιζόμενες σε αναφορές που καλύπτουν το 73% της δασικής έκτασης στην Ευρώπη, υπολογίζεται ότι μόνο οι πυρκαγιές πλήττουν έκταση 0.5 εκατομμυρίου εκταρίων (Alberdi Asensio et al., 2015). Παράλληλα, τα συμπεράσματα συναφών μελετών καταδεικνύουν την συσχέτιση μεταξύ των θερμοκρασιακών συνθηκών και των φαινομένων ξηρασίας με τους αβιοτικούς παράγοντες επίδρασης στα δασικά οικοσυστήματα, στους οποίους συγκαταλέγονται οι πυρκαγιές (Williams et. al., 2012; McDowell et al., 2015; Williams et. al., 2016).

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα των χερσαίων οικοσυστημάτων σε παγκόσμια κλίμακα, με ποικίλες αρνητικές επιπτώσεις. Η μαζική καταστροφή των δασικών εκτάσεων εξαιτίας της ανάπτυξης ισχυρών συμβάντων πυρκαγιάς έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο την απώλεια των κυριότερων δεσμευτών του CO_2 της ατμόσφαιρας, αλλά και την απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου (CO_2, CH_4, N_xO_x) που εκλύονται ως προϊόν της καύσης της φυτικής βιομάζας.

Συνεπώς, καθίσταται σαφές ότι οι πυρκαγιές συμβάλλουν στη διαμόρφωση συνθηκών που εντείνουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, αποδεσμεύοντας παράλληλα στην ατμόσφαιρα τα αποθέματα άνθρακα που συγκεντρώνονται στη φυτική βιομάζα εδώ και αιώνες μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Υπό αυτό το πρίσμα, η μεγάλη ποσότητα καπνού που εκλύεται εξαιτίας της επέκτασης σαρωτικών πυρκαγιών (*wildfires*) σε ευρεία έκταση, εγείρει ερωτήματα και προβληματισμό στη διεθνή επιστημονική κοινότητα σχετικά με το βαθμό στον οποίο αυτές είναι ικανές να αποδυναμώσουν το στρώμα του όζοντος.

Σύμφωνα δε με πρόσφατη μελέτη που διεξήχθει από τους Solomon et al. (2022), αναφορικά με τα ακραία συμβάντα που έπληξαν τα δάση της Αυστραλίας από το 2019 έως το 2020, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι οι εκδηλωμένες πυρκαγιές διατάραξαν τη χημική σύσταση των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που παρατηρείται ύστερα από την πρόκληση ηφαιστειακών εκρήξεων. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η ολοένα αυξανόμενη δραστηριότητα πυρκαγιάς μπορεί να επιβραδύνει την ανάκτηση του στρώματος του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Επιπρόσθετα, οι πυρκαγιές που πλήττουν τα δασικά οικοσυστήματα συνιστούν παγκοσμίως ένα σύνθετο περιβαλλοντικό και κοινωνικο-οικονομικό ζήτημα το οποίο διαρκώς επιδεινώνεται. Το γεγονός αυτό αποδίδεται τόσο στις συνεχείς μεταβολές των κλιματικών συνθηκών όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες που συνδέονται με την έλλειψη των κατάλληλων θεσμικών μέτρων προστασίας και πρόληψης όπως επίσης την ανεπαρκή και μη αποδοτική οργάνωση των υπηρεσιών δασοπυρόσβεσης.

Ως αποτέλεσμα, οι δασικές πυρκαγιές επιδρούν άμεσα στις περιοχές όπου αναπτύσσονται καθώς προξενούν σοβαρές περιβαλλοντικές ζημίες ενώ συχνά οδηγούν πρωτίστως σε απώλειες ανθρώπινων ζωών, αλλά και κατοικιών, έργων υποδομής όπως και καλλιεργήσιμων εκτάσεων, μεταξύ άλλων. Ωστόσο, η έμμεση επίδραση των πυρκαγιών στους πληγέντες πληθυσμούς θεωρείται εξίσου σημαντική. Κατά τη διάρκεια και πιθανώς με το πέρας ενός καταστροφικού γεγονότος οι ρυθμοί της κοινωνικής και οικονομικής ζωής διαταράσσονται κι επιπλέον, η υγεία των κατοίκων των πληγεισών περιοχών επιβαρύνεται μέσω της έκλυσης καπνού και άλλων τοξικών προϊόντων της καύσης (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι τα δασικά οικοσυστήματα εμφανίζονται γενικότερα αρκετά προσαρμόσιμα στις δυσμενείς συνέπειες που επιφέρουν οι πυρκαγιές κι επομένως μπορούν να ανακάμψουν ύστερα από ένα καταστροφικό συμβάν. Ωστόσο, η παρατηρούμενη μείωση της χρονικής περιόδου που μεσολαβεί μεταξύ δύο επιζήμιων γεγονότων, ευνοεί την ανάπτυξη θαμνώδους και φρυγανώδους βλάστησης, έναντι της δενδρώδους.

Δεδομένης αυτής της συνθήκης, μέσω της αύξησης στην ένταση και συχνότητα των ισχυρών βροχοπτώσεων, εντείνεται και ο κίνδυνος εμφάνισης έντονων φαινομένων διάβρωσης που έχουν ως αποτέλεσμα την μη αναστρέψιμη υποβάθμιση των εδαφικών πόρων (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011b).

Ένα αρκετά ευρύ σύνολο παραγόντων συμβάλλουν στην εμφάνιση των δασικών πυρκαγιών, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών συνθηκών κατά κύριο λόγο. Μετεωρολογικοί παράγοντες, όπως η ταχύτητα του ανέμου, είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικοί καθώς επιδρούν στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, ύστερα από το αρχικό στάδιο ανάφλεξης. Στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής, γίνεται κατανοητό ότι ο κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς αναμένεται να αυξηθεί, επιφέροντας δυσμενείς επιπτώσεις στα δασικά οικοσυστήματα, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη να τεθούν σε εφαρμογή οι ανάλογες στρατηγικές προσαρμογής.

2.3.1 Είδη δασικών πυρκαγιών

Οι πυρκαγιές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο με τον οποίο επεκτείνονται σε χωρική κλίμακα. Ειδικότερα, οι δασικές πυρκαγιές διακρίνονται σε (Μητσόπουλος Ι., 2005; Αγιοβλασίτης, 2011; Μακρυκώστας-Πυργιώτης, 2018) :

- **Υπόγειες πυρκαγιές** οι οποίες διενεργούνται υπό το καθεστώς καύσης της οργανικής ύλης που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του φυλλοστρώματος, ενώ παράλληλα επεκτείνονται στις ρίζες των φυτών όπως και στο αποσυντιθέμενο υλικό που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι πυρκαγιές αυτές είναι ασήμαντης έντασης καθώς επίσης διακρίνονται από μικρή ταχύτητα διάδοσης εξαιτίας της απουσίας οξυγόνου στο περιβάλλον όπου αναπτύσσονται. Ωστόσο, μπορεί να αποδειχθούν ιδιαίτερα επικίνδυνες καθώς δεν γίνονται εύκολα αντιληπτές, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση της αναγνώρισής τους, ή ακόμα να αποτελέσουν αιτία μιας μεγαλύτερης υπέργειας πυρκαγιάς.

- **Έρπουσες ή επιφανειακές πυρκαγιές** οι οποίες προκαλούνται λόγω της πυράκτωσης της ξηρής καύσιμης ύλης ή/και της χαμηλής βλάστησης που συναντάται έως το ύψος των δύο μέτρων, όπως για παράδειγμα θάμνους ή νεαρά δέντρα. Οι πυρκαγιές αυτού του είδους συνιστούν τις πιο συνήθεις δασικές πυρκαγιές και χαρακτηρίζονται από υψηλή ταχύτητα διάδοσης, ενώ ο καπνός που εκλύεται φτάνει σε σχετικά μικρό ύψος. Συνεπώς, οι έρπουσες πυρκαγιές έχουν την ιδιότητα να επεκτείνονται ραγδαία υπό την επίδραση των υψηλών τιμών της θερμοκρασίας, των επιπέδων του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα καθώς και των ανέμων ισχυρής έντασης. Επιπλέον, ελλοχεύει ο κίνδυνος να εξελιχθούν σε πυρκαγιές κόμης σε περίπτωση που οι συνθήκες το επιτρέπουν.
- **Επικόρυφες πυρκαγιές ή πυρκαγιές κόμης** οι οποίες επεκτείνονται μέσω της κόμης των δέντρων προκαλώντας την ανάφλεξη της καύσιμης ύλης που συναντάται σε μεγαλύτερο ύψος, δηλαδή του φυλλώματος και των κλαδιών των δέντρων, ή ακόμα της αναρριχώμενης βλάστησης και των νεκρών ιστάμενων δέντρων. Κατά κύριο λόγο, συνιστούν πυρκαγιές μεγάλης έντασης κι επικινδυνότητας καθώς η ταχύτητα διάδοσης τους είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη των επιφανειακών πυρκαγιών, ενώ ο καπνός που εκλύεται φτάνει σε μεγάλα ύψη. Οι πυρκαγιές αυτού του είδους ταξινομούνται περαιτέρω σε τρεις κατηγορίες αναφορικά με το μοτίβο εξάπλωσης τους : α) παθητική, β) ενεργητική και γ) ανεξάρτητη πυρκαγιά κόμης. Ειδικότερα, κατά την παθητική πυρκαγιά κόμης η ανάφλεξη διενεργείται σε μεμονωμένα δένδρα, χωρίς να παρατηρείται η συνεχής επέκταση του μετώπου πυρκαγιάς μέσω της κόμης τους. Ωστόσο, υπό την επίδραση του ανέμου, νέες εστίες είναι δυνατό να δημιουργηθούν καθιστώντας την καταστολή της πυρκαγιάς εξαιρετικά δύσκολη. Οι ενεργητικές πυρκαγιές κόμης αναπτύσσονται καθώς το μέτωπο της πυρκαγιάς επεκτείνεται με ταχύ ρυθμό τόσο στην επιφανειακή καύσιμη ύλη όσο και στην κόμη των δέντρων, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμότητα που εκπέμπεται από μια πυρκαγιά επιφάνειας επαρκεί για την επέκταση αυτής προς την κόμη. Αντιθέτως, ως ανεξάρτητες χαρακτηρίζονται οι πυρκαγιές όπου η επέκταση τους προς την κόμη των δέντρων δεν σχετίζεται με το ποσό της θερμότητας που εκπέμπεται κατά την ανάπτυξη της πυρκαγιάς επιφανείας, γεγονός εξαιρετικά σπάνιο. Για την εκδήλωση μιας ανεξάρτητης πυρκαγιάς κόμης προαπαιτείται η ύπαρξη μεγάλης κλίσης και υψηλών ταχυτήτων ανέμου, σε συνδυασμό με χαμηλά επίπεδα υγρασίας της καύσιμης ύλης , ενώ έχει συνήθως μικρή χρονική διάρκεια.

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στις σαρωτικές πυρκαγιές ή αλλιώς μεγαπυρκαγιές (*megafires*) οι οποίες περιγράφουν την συνύπαρξη τουλάχιστον δύο εκ των ανωτέρω ειδών πυρκαγιάς και την ταυτόχρονη ανάφλεξη ποικίλων ειδών καύσιμης ύλης. Ειδικότερα, η συνδυαστική δράση των επιφανειακών πυρκαγιών και των πυρκαγιών κόμης έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός ισχυρού μετώπου που επεκτείνεται από την επιφάνεια του έδαφος έως και μερικά μέτρα πάνω από τις κορυφές των δέντρων, με καταστροφικές επιπτώσεις στην υπάρχουσα βλάστηση (Μακρυκώστας-Πυργιώτης, 2018).

Επιπλέον, οι συνθήκες υψηλών τιμών ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, ισχυρής έντασης ανέμου κι επαρκούς ποσότητας καύσιμης ύλης, σε συνδυασμό με τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας στην ατμόσφαιρα ή και το έντονο ανάγλυφο μιας περιοχής ενδιαφέροντος, ευνοούν την εκδήλωση ενός συμβάντος σαρωτικής πυρκαγιάς. Τα εν λόγω συμβάντα διακρίνονται εξίσου από πολύ υψηλή ένταση φωτιάς και αντίστοιχα εξαιρετικά μεγάλο ύψος θερμικής στήλης η οποία δημιουργείται λόγω της έκλυσης θερμών αέριων μαζών, καπνού και άλλων σωματιδίων καύσης, παρεμποδίζοντας την εκτίμηση της διάδοσης και συμπεριφοράς της πυρκαγιάς και καθιστώντας συγχρόνως την τελευταία εξαιρετικά επικίνδυνη (Αγιοβλασίτης, 2011).

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι η συχνότητα εμφάνισης αυτού του τύπου πυρκαγιάς, τα τελευταία χρόνια, παρουσιάζει επικίνδυνα αυξητικές τάσεις, γεγονός στο οποίο συντελεί τόσο η συσσώρευση της καύσιμης ύλης λόγω της εγκατάλειψης της υπαίθρου και της γεωργικής καλλιέργειας, τη μείωση της κτηνοτροφικής δραστηριότητας ή των ελλιπών πρακτικών διαχείρισης των δασικών εκτάσεων (Αγιοβλασίτης, 2011), όσο και οι συνθήκες που διαμορφώνονται γενικότερα στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής.

2.4 Δραστηριότητα πυρκαγιάς στην Ελλάδα

Το πλήθος των πυρκαγιών που εκδηλώνονται στον ελλαδικό χώρο καθώς και οι πληγείσες περιοχές παρουσιάζουν συνεχή αύξηση εδώ και έξι δεκαετίες τουλάχιστον, γεγονός που οφείλεται σε ποικίλους κλιματικούς παράγοντες καθώς και στις άμεσες ή έμμεσες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1970 τα περισσότερα καταγεγραμμένα συμβάντα χαρακτηρίζονταν από αμέλεια, ενώ σταδιακά οι επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας εντάθηκαν, με αποτέλεσμα η πλειονότητα των πυρκαγιών να αποδίδεται πλέον σε εμπρησμούς. Κατά την ίδια χρονική περίοδο παρατηρήθηκε έξαρση πυρκαγιών λόγω εμπρησμών που αποσκοπούσαν στη μετάβαση των δασικών εκτάσεων σε αγροτικές. Έπειτα, η δεκαετία του 1980 σηματοδότησε την απαρχή της αστικοποίησης η οποία αποτέλεσε την κύρια αιτία αύξησης των συμβάντων πυρκαγιάς και των καμένων εκτάσεων, σε συνάρτηση με την ερήμωση των αγροτικών περιοχών και την εγκατάλειψη των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

Σύμφωνα με την Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου (2019), οι περισσότερες πυρκαγιές στην Ελλάδα αναπτύσσονται στις περιοχές που εντοπίζονται σε υψόμετρο χαμηλότερο των 1000 μέτρων στις οποίες συγκεντρώνεται το 80% περίπου του πληθυσμού της χώρας. Οι περιοχές αυτές διακρίνονται από Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα όπου κυριαρχούν οι θαμνώνες αειφύλλων - σκληρόφυλλων πλατυφύλλων, τα μεσογειακά πευκοδάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης όπως επίσης οι πρινώνες και η φρυγανώδης βλάστηση.

Ειδικότερα, οι θαμνώνες αειφύλλων - πλατυφύλλων αποτελούν τον κύριο τύπο βλάστησης που χαρακτηρίζεται από τη συχνότερη εμφάνιση πυρκαγιών (56,38%) και συγχρόνως τη μεγαλύτερη καμένη έκταση (55,73%), ενώ ακολουθούν τα κωνοφόρα δάση που απαντώνται στην παράκτια ζώνη με ποσοστό 14,49% επί του συνόλου των συμβάντων και 12,32% της συνολικής καμένης έκτασης αντίστοιχα. Εντούτοις, στα δάση φυλλοβόλων δρυών εμφανίζεται μόλις το 5,84% των πυρκαγιών ενώ αυτά αναπαρίστανται μόνο από το 4,67% των καμένων εκτάσεων (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

Από την άλλη πλευρά, οι φρυγανώδεις, χορτολιβαδικές και οι αγροτικές εκτάσεις συγκεντρώνουν το 7,88%, 10,84% και 4,2% του συνόλου των συμβάντων πυρκαγιάς αντίστοιχα με ποσοστό 6,77%, 8,15% και 9,11% επί της συνολικής πληγείσας έκτασης. Ακόμη, στα δάση ψυχρόβιων κωνοφόρων και ελάτης εκδηλώνονται ελάχιστες πυρκαγιές (5,13% και 1,07%) η συμβολή των οποίων θεωρείται αμελητέα ως προς το σύνολο της καμένης έκτασης (2,55% και 0,66%) (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

Όσον αφορά την διαχρονική εξέλιξη των δασικών πυρκαγιών, οι Iliadis et al. (2002) αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι κατά την δεκαετία 1955 – 1964 εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα κατά μέσο όρο 637,8 συμβάντα ανά έτος, ενώ στα ίδια περίπου επίπεδα (654,8) κυμάνθηκε το μοτίβο εμφάνισης πυρκαγιάς από το 1965 έως το 1974. Έπειτα, το μέσο ετήσιο πλήθος των παρατηρούμενων γεγονότων σχεδόν διπλασιάστηκε σε 1.018 πυρκαγιές την αμέσως επόμενη δεκαετία, ενώ κατά την περίοδο 1985 – 1994 ανήλθε σε 1.547 συμβάντα ανά έτος.

Συμπληρωματικά, σύμφωνα με τα στοιχεία της Διεύθυνσης Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος για την ενδεκαετία 1983-1993, στον ελλαδικό χώρο σημειώθηκαν συνολικά 16.020 πυρκαγιές (Ξανθόπουλος & Βαρελά, 1999), ενώ με βάση την τεχνική έκθεση του Κοινού Κέντρου Ερευνών (*Joint Research Centre – JRC*) σχετικά με τη δραστηριότητα των δασικών πυρκαγιών στην Ευρώπη, Μέση Ανατολή και βόρεια Αφρική, κατά τη δεκαετία 1990-1999 καταγράφηκαν 17.478 συμβάντα που έπληξαν έκταση 441.082 εκταρίων γης (San-Miguel-Ayanz et al., 2018).

Εντούτοις, το πλήθος των δασικών πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν κατά την χρονική περίοδο 2000 – 2009 στην Ελλάδα φαίνεται ότι είχε ελαττωθεί συγκριτικά με την προηγούμενη δεκαετία σε 16.945 συμβάντα, πλήττοντας ωστόσο μεγαλύτερη έκταση που υπολογίζεται σε 492.377 εκτάρια (San-Miguel-Ayanz et al., 2018). Ορόσημο αποτέλεσαν οι πυρκαγιές στην Πελοπόννησο και στην Εύβοια κατά τη θερινή περίοδο του έτους 2007, συγκεκριμένα, οι οποίες κατέκαυσαν συνολικά 270.000 εκτάρια γης και είχαν ως αποτέλεσμα την απώλεια 78 ανθρώπινων ζωών, όπως επίσης ανυπολόγιστες ζημιές στις ιδιοκτησίες των κατοίκων των πληγέντων οικισμών (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

Επιπρόσθετα, από το 2010 έως και το 2018 στον ελλαδικό χώρο είχαν σημειωθεί 8.841 συμβάντα πυρκαγιάς τα οποία επέφεραν αθροιστικά 233.050 εκτάρια καμένης έκτασης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το έτος 2018 καταγράφηκαν 793 δασικές πυρκαγιές, η πλειονότητα των οποίων (614) αναπτύχθηκαν σε έκταση μικρότερη του ενός εκταρίου γης. Ακόμη, αισθητή μείωση παρατηρήθηκε στο πλήθος των πυρκαγιών συγκριτικά με τις καταγραφές του 2017, από 1083 σε 793 συμβάντα. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η συνολική πληγείσα έκταση αυξήθηκε το 2018 κατά 2.070 εκτάρια περίπου (San-Miguel-Ayanz et al., 2018).

Υπό αυτό το πρίσμα, σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζωών και ανυπολόγιστη περιβαλλοντική και οικονομική ζημία επήλθαν εξαιτίας των γεγονότων που εκτυλίχθηκαν στις ζώνες μείξης δασών – οικισμών της Αττικής, στις 23 Ιουλίου του 2018. Η πυρκαγιά που εκδηλώθηκε αρχικά στα Γεράνεια Όρη και στη συνέχεια επεκτάθηκε έως την Κινέτα, πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι κατέκαυσε περί τα 4.168 εκτάρια δασικής έκτασης, βάσει του συνόλου δεδομένων που διατίθεται από το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος[2]. Επιπλέον, εξαιτίας των καταστροφικών συμβάντων που σημειώθηκαν στον οικισμό Νταού Πεντέλης και μετέπειτα στην ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας, στο Νέο Βουτζά, Κόκκινο Λιμανάκι και Μάτι, επλήγησε αντίστοιχα έκταση 1.250 εκταρίων, ενώ δυστυχώς ακόμα περισσότεροι άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, σε σύγκριση με τα στοιχεία που αφορούν τις πυρκαγιές του 2007 στην Ηλεία.

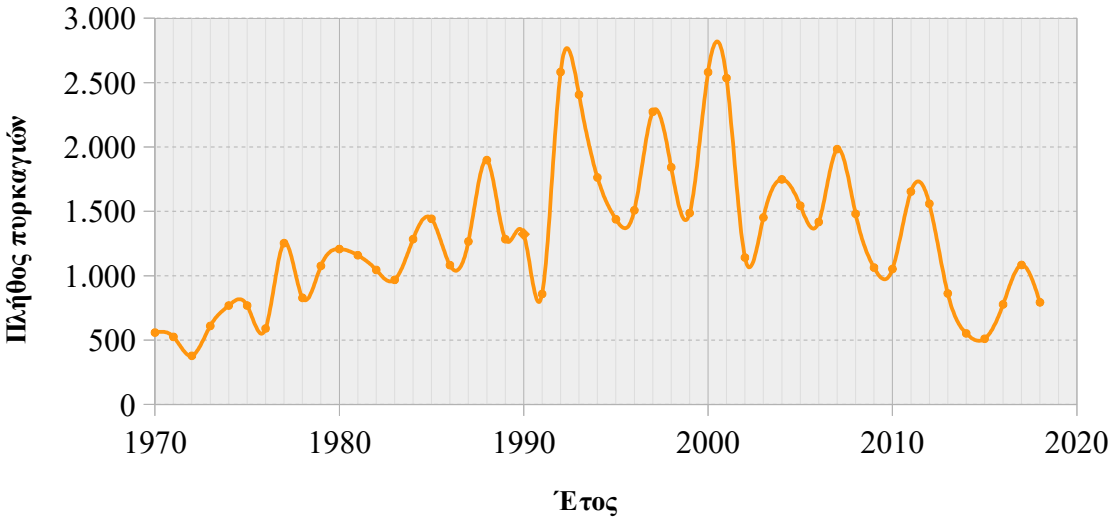
Έκτοτε βέβαια, η έντονη δραστηριότητα πυρκαγιάς που παρατηρείται στη χώρα μας, πρωτίστως κατά τη θερινή περίοδο, εξακολουθεί να ταλανίζει τα δασικά οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα οι συνέπειες που επιφέρει τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον να είναι συχνά ολέθριες. Στα πιο επιζήμια γεγονότα των πλέον πρόσφατων ετών συγκαταλέγεται η πυρκαγιά που εκδηλώθηκε τον Αύγουστο του 2019 στα Ψαχνά Ευβοίας, όπου η καμένη δασική έκταση υπολογίστηκε σε 2.145 εκτάρια. Το αμέσως επόμενο έτος, η Πελοπόννησος βίωσε τις μεγαλύτερες απώλειες πανελλαδικά καθώς η καταστροφή που επήλθε λόγω των συμβάντων που διαδραματίστηκαν τον Ιούλιο του 2020 στις Κεχριές Κορινθίας κι ένα μήνα αργότερα στη Μάνη, εκτιμάται σε 3.271 και 1.392 εκτάρια δασικής γης αντίστοιχα.

2 Πηγή: https://www.fireservice.gr/el/synola-dedomenon

Ασφαλώς, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί η ασύλληπτη τραγωδία στη Βόρεια Εύβοια, τον Αύγουστο του 2021, εξαιτίας της οποίας προκλήθηκαν ανυπέρβλητες υλικές ζημίες πέραν της τεράστιας οικολογικής καταστροφής, συνυπολογίζοντας τα 33.794 εκτάρια δασικής έκτασης που κάηκαν ολοσχερώς. Συμπληρωματικά, αναφέρονται τα γεγονότα που εκτυλίχθηκαν κατά την ίδια χρονική περίοδο στην Αρχαία Ολυμπία και στη Βαρυμπόμπη Αττικής, με λιγότερες αλλά εξίσου σημαντικές απώλειες της τάξης των 7.100 και 5.573 εκταρίων αντίστοιχα, αναφορικά με την έκταση των πληγέντων δασικών οικοσυστημάτων.

Συμπερασματικά, λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα στοιχεία για την περίοδο 1970 – 2018, προκύπτει ότι η δεκαετία του 1990 διακρίνεται από το μεγαλύτερο πλήθος καταγεγραμμένων γεγονότων, εμφανίζοντας κατά μέσο όρο 1.748 δασικές πυρκαγιές ανά έτος. Σε ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα κυμαίνεται η δραστηριότητα πυρκαγιάς την αμέσως επόμενη δεκαετία όπου παρατηρούνται 1.695 συμβάντα ετησίως ενώ η χρονική περίοδος 1970 – 1979 κατέχει τον μικρότερο μέσο όρο, με την εκδήλωση 735 πυρκαγιών περίπου ανά έτος. Εντούτοις, για τη δεκαετία του 1980 καταγράφεται ένα αρκετά μεγαλύτερο πλήθος συμβάντων αυξάνοντας αισθητά τον ετήσιο μέσο όρο σε 1.264 πυρκαγιές. Κατά τα πλέον πρόσφατα έτη, η τιμή του μέσου όρου προσεγγίζει τα επίπεδα της χρονικής περιόδου 1980 – 1989 καθώς υπολογίζεται περίπου στις 1.105 δασικές πυρκαγιές ανά έτος από το 2010 έως το 2018, γεγονός που υποδηλώνει ότι το πλήθος των εκδηλούμενων συμβάντων παρουσιάζει μειωτική τάση σε σύγκριση με την προηγούμενη δεκαετία (Iliadis et al., 2002; San-Miguel-Ayanz et al., 2018).

Επισημαίνεται συμπληρωματικά ότι στον ελλαδικό χώρο έχουν σημειωθεί αθροιστικά 63.253 δασικές πυρκαγιές από το 1970 έως και το 2018. Περίπου το 88% επί του συνόλου των καταγεγραμμένων συμβάντων εντοπίζεται κατά την χρονική περίοδο 1980 – 2018 και το 68% των πυρκαγιών αυτών εμφανίζεται από το 1990 έως το 2018. Οι δύο τελευταίες δεκαετίες συγκεντρώνουν λιγότερο από το 50% του συνολικού πλήθους ενώ μόλις το 14% των πυρκαγιών έχουν εκδηλωθεί κατά την περίοδο 2010 – 2018, εμφανίζοντας ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό έναντι της δεκαετίας του 1970 (Iliadis et al., 2002; San-Miguel-Ayanz et al., 2018). Το πλήθος των συμβάντων δασικών πυρκαγιών που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα ανά έτος, από το 1970 έως και το 2018, αναπαρίσταται γραφικά στο Διάγραμμα 2.1.

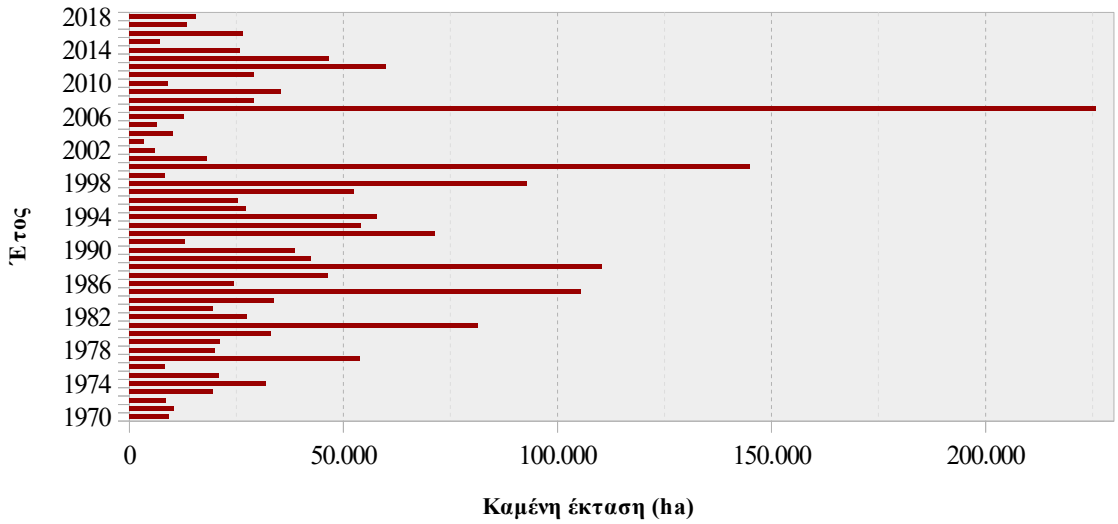


Διάγραμμα 2.1 Διαχρονική εξέλιξη της δραστηριότητας
των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1970 – 2018[3].

Οι δασικές πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν κατά την τελευταία πεντηκονταετία κατέκαυσαν στο σύνολο τους έκταση 1.894.465 εκταρίων. Το 38% της καμένης έκτασης, κατά προσέγγιση, οφείλεται στα γεγονότα που εκτυλίχθηκαν από το 2000 έως και το 2018, ενώ το 62% επί του συνόλου αυτής συγκεντρώνουν οι τρεις προηγούμενες δεκαετίες. Ειδικότερα, τα υψηλότερα ποσοστά υπολογίζονται για τις δεκαετίες του 1980 και 2000 όπου παρατηρείται το 28% και 26% της πληγείσας έκτασης. Επιπλέον, μόλις το 23% της συνολικής καμένης έκτασης αντιστοιχεί στην περίοδο 1990 – 1999 παρόλο που η τελευταία εμφανίζει το μέγιστο πλήθος συμβάντων πυρκαγιάς. Το ποσοστό που υπολείπεται (23%) κατανέμεται σχεδόν ισομερώς στις δεκαετίες 1970 – 1979 και 2010 – 2018.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι οι πυρκαγιές που εκτείνονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή, με έκταση μεγαλύτερη των 1.000 εκταρίων όπου πλέον καθίσταται αδύνατη η καταστολή τους, αντιπροσωπεύουν μόνο 4% του συνόλου των καταγεγραμμένων συμβάντων. Ωστόσο, η ανάπτυξη των πυρκαγιών αυτών οφείλεται για περισσότερο από 75% της συνολικής καμένης έκτασης, ενώ σε αυτές αποδίδεται εξίσου η πλειονότητα των ανθρώπινων απωλειών και οι μεγαλύτερες καταστροφές περιουσιακών στοιχείων των πληγέντων πληθυσμών (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

3 Πηγή: Iliadis et al., 2002; San-Miguel-Ayanz et al., 2018



Διάγραμμα 2.2 Κατανομή της συνολικής καμένης έκτασης ανά έτος κατά την περίοδο 1970 – 2018 στην Ελλάδα[4].

Συμπληρωματικά, παρατίθεται το Διάγραμμα 2.2 όπου αναπαρίσταται η συνολική καμένη έκταση στον ελλαδικό χώρο ανά έτος, εκφραζόμενη σε εκτάρια, αναφορικά με τη χρονική περίοδο 1970 – 2018.

Ακόμη, επισημαίνεται ότι οι πυρκαγιές που εκδηλώνονται στις ζώνες μείξης δασών και οικισμών συνιστούν ένα ιδιαίτερα καταστροφικό φαινόμενο, με έντονη παρουσία στον ελλαδικό χώρο. Υπογραμμίζεται εξίσου ότι η Ελλάδα είναι η μόνη χώρα της Ευρώπης όπου δεν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία κατάρτισης του εθνικού δασολογίου, γεγονός που καθιστά εφικτή την οικειοποίηση της καμένης έκτασης με σκοπό την τροποποίηση της χρήσης της και συγχρόνως ενισχύει τα κίνητρα των εμπρηστών (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

Τα φαινόμενα αυτά παρατηρούνται ως επί το πλείστον σε περιοχές μεγάλης οικιστικής πίεσης με σημαντική τουριστική ανάπτυξη όπου επιδιώκεται η οικοπεδοποίηση των δασικών εκτάσεων. Ακόμη, οι πυρκαγιές αξιοποιούνται ευρέως στις αγροτικές περιοχές του ελλαδικού χώρου ως μέσο εκχέρσωσης τμημάτων δασικής έκτασης για την μετατροπή αυτής σε γεωργικές καλλιέργειες (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

4 Πηγή: Iliadis et al., 2002; San-Miguel-Ayanz et al., 2018

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι έχει βρεθεί μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των κλιματικών παραμέτρων και του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς στην Ελλάδα (Founda & Giannakopoulos, 2009), όπως διευκρινίζεται και σε προηγούμενη ενότητα. Στις περιοχές της βόρειας και δυτικής χώρας, πιο συγκεκριμένα, καθοριστικός είναι ο ρόλος των συνθηκών ξηρασίας που επικρατούν σε ετήσια βάση τόσο στην εκδήλωση όσο και στην επέκταση των πυρκαγιών επιδρώντας αντίστοιχα στο πλήθος των συμβάντων όπως και στην πληγείσα έκταση. Για την κεντρική και νότια χώρα ωστόσο έχει διαπιστωθεί ότι μόνο τα επίπεδα ξηρασίας της θερινής περιόδου επηρεάζουν τη δραστηριότητα πυρκαγιάς.

Γενικότερα, οι πυρκαγιές στην πλειοψηφία τους εμφανίζονται στον ελλαδικό χώρο κατά την ξηροθερμική περίοδο του καλοκαιριού έως και τις αρχές του φθινοπώρου, ενώ η συμπεριφορά τους διαμορφώνεται με βάση το εκάστοτε ανεμολογικό καθεστώς. Σημαντική είναι η επίδραση των ετήσιων περιοδικών ανέμων βόρειας και βορειο-ανατολικής διεύθυνσης που κυριαρχούν σε όλη τη χώρα κατά τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο καθώς επίσης η παρουσία ανέμων ισχυρής έντασης, μεγαλύτερης των 6 Μποφόρ, ευνοούν την ανάπτυξη ιδιαίτερα καταστροφικών πυρκαγιών οι οποίες πλήττουν έκταση μεγαλύτερη των 10.000 στρεμμάτων (στρ.) (Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου, 2019).

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τις παγκόσμιες τάσεις που διαμορφώνονται στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής, εύλογα συμπεραίνει κανείς ότι η εκτιμώμενη άνοδος της θερμοκρασίας πρόκειται να επιφέρει περαιτέρω αύξηση τόσο στο πλήθος των εκδηλούμενων πυρκαγιών όσο και στην έκταση της πληγείσας έκτασης, ενώ εκτιμάται ότι θα μειωθεί κατά 10-25% περίπου το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών συμβάντων τα οποία εμφανίζονται στον ίδιο τόπο. Σε εθνικό επίπεδο, τα δάση της νότιας ηπειρωτικής χώρας και της Κρήτης αναμένεται να ζημιωθούν περισσότερο (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011b).

2.4.1 Δασικές πυρκαγιές στην Περιφέρεια Κρήτης (1983-2005)

Η διαχρονική ανάλυση που διεξήχθη από τους Τσαγκάρη et al. (2011) αναφορικά με τη δραστηριότητα των δασικών πυρκαγιών κατά την περίοδο 1983 – 2005, ανέδειξε την κρισιμότητα του φαινομένου και των επιδράσεών του στην Περιφέρεια Κρήτης. Συγκεκριμένα, οι εκτάσεις που επλήγησαν υπολογίζονται συνολικά σε 751.949 στρ., ως αποτέλεσμα 2.866 καταγεγραμμένων συμβάντων. Επιπλέον, εκτιμάται ότι οι πληγείσες εκτάσεις δασικού και γεωργικού τύπου κάλυψης γης ανά έτος ανέρχονται κατά προσέγγιση στα 32.693 στρ., ενώ εκδηλώνονται 125 δασικές πυρκαγιές ετησίως, με μέση ένταση ανά περιστατικό τα 262 στρ. καμένης έκτασης.

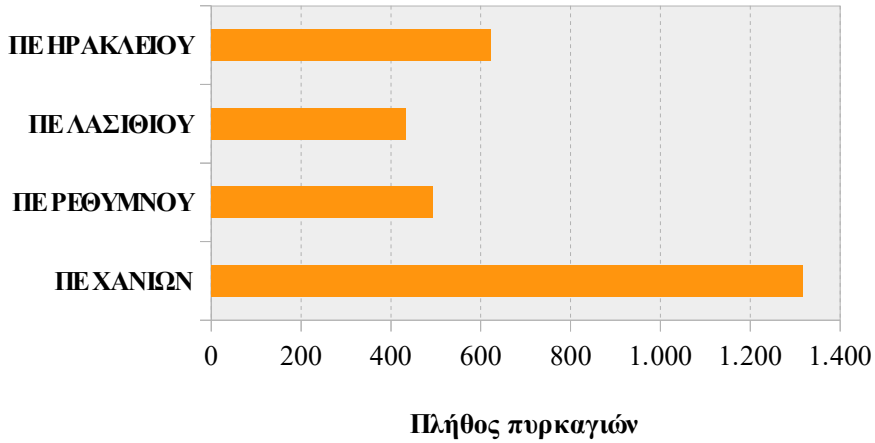
Ειδικότερα, σύμφωνα με τα δεδομένα των αναλυτικών καταγραφών 2.419 περιστατικών που εκτυλίχθηκαν κατά την ίδια χρονική περίοδο, η συνολική καμένη έκταση του νησιού καλυπτόταν προηγουμένως από δάση σε ποσοστό 77,7% ενώ στο υπόλοιπο 22,3% αυτής, επικρατέστερη ήταν η παρουσία των αγροτικών καλλιεργειών, ιδίως των ελαιώνων. Ακόμη, σε ολόκληρη την Περιφέρεια Κρήτης σημειώθηκαν 17 συμβάντα πυρκαγιάς με απώλειες άνω των 5.000 στρ., εκ των οποίων μάλιστα τα 8 επέφεραν τεράστιες καταστροφές σε έκταση μεγαλύτερη των 10.000 στρ. ανά περιστατικό (Τσαγκάρη et al., 2011). Αξίζει να σημειωθεί ότι η πλέον καταστροφική πυρκαγιά της εξεταζόμενης περιόδου εκδηλώθηκε στην Περιφερειακή Ενότητα (ΠΕ) Λασιθίου τον Αύγουστο του 1994, πλήττοντας σοβαρά 70.000 στρ. γης, τα οποία στην πλειοψηφία τους διακρίνονταν από δασικές εκτάσεις.

Για το μεγαλύτερο ποσοστό (87,5%) των προαναφερόμενων αναλυτικών καταγραφών δεν προσδιορίζεται το ακριβές αίτιο εκδήλωσης του εκάστοτε συμβάντος. Επιπρόσθετα, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία της περιόδου 1983 – 2005, διαπιστώθηκε ότι οι δασικές πυρκαγιές που αποδίδονται σε άγνωστα αίτια πρόκλησης, οφείλονται για το 40% της συνολικής καμένης έκτασης του νησιού (Τσαγκάρη et al., 2011). Εντούτοις, οι ηθελημένες ενέργειες που αποσκοπούν στην καύση των βοσκοτόπων, συνιστούν το συνηθέστερο γνωστό αίτιο εκδήλωσης των καταγεγραμμένων περιστατικών και παράλληλα οφείλονται για τις δριμύτερες απώλειες εκτάσεων.

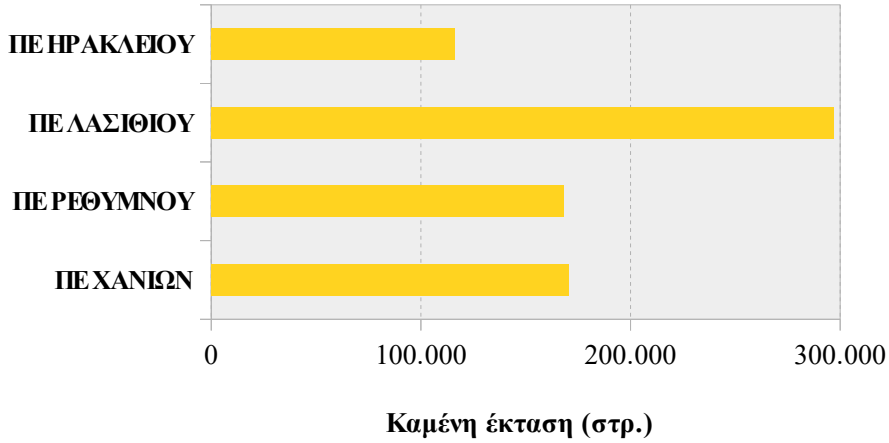
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν εξίσου τα ευρήματα των Τσαγκάρη et al. 2011 αναφορικά με τη δραστηριότητα πυρκαγιάς σε τοπική κλίμακα. Αναλυτικότερα, στην ΠΕ Ηρακλείου κατά την περίοδο 1983 – 2005 εκδηλώθηκαν συνολικά 622 περιστατικά, τα οποία κατεύκασαν έκταση 116.146 στρ.. Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία των 613 αναλυτικών καταγραφών, πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι στο 79% των καμένων εκτάσεων επικρατούσαν οι δασικοί τύποι κάλυψης γης ενώ αντίστοιχα στο υπόλοιπο 21%, οι αγροτικές καλλιέργειες. Η καταστροφικότερη πυρκαγιά προκλήθηκε τον Αύγουστο του 1984 και έπληξε έκταση 4.501 στρ., η οποία καλυπτόταν αποκλειστικά και μόνο από δάση. Ωστόσο, υπογραμμίζεται ότι δεν υπάρχουν καταγραφές που να υποδηλώνουν εξαιρετικά επιζήμια συμβάντα πυρκαγιάς, με απώλειες εκτάσεων άνω των 5.000 στρ..

Από την άλλη μεριά, η ΠΕ Λασιθίου εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό συγκέντρωσης καμένων εκτάσεων για την ίδια χρονική περίοδο, ενώ ακόμα τα καταγεγραμμένα συμβάντα πυρκαγιάς χαρακτηρίζονται από τη μεγαλύτερη δριμύτητα, σε αντιπαραβολή με τα δεδομένα των υπολοίπων ΠΕ. Τα περιστατικά δασικών πυρκαγιών ανήλθαν στα 433, επιφέροντας συνολικά 297.071 στρ. καμένης έκτασης. Η στατιστική ανάλυση των 322 αναλυτικών καταγραφών, ειδικότερα, κατέδειξε την επικράτηση της δασικής βλάστησης στις πληγείσες περιοχές, σε ποσοστό 84%, έναντι της αγροτικής καλλιέργειας που καταλαμβάνει μόλις το 16% των περιοχών αυτών. Οι αναλυτικές καταγραφές φανερώνουν επίσης την εκδήλωση εννέα καταστροφικών πυρκαγιών, στις οποίες αποδίδονται περισσότερα από 5.000 στρ. καμένης έκτασης ανά περίπτωση, ενώ πέντε από αυτά τα περιστατικά οδήγησαν μεμονωμένα στην απώλεια περισσότερων από 10.000 στρ..

Επιπλέον, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, 494 συμβάντα πυρκαγιάς εκδηλώθηκαν κατά την περίοδο 1983 – 2005 στην ΠΕ Ρεθύμνου, όπου υπολογίζεται ότι οι καμένες περιοχές κατέλαβαν έκταση 168.171 στρ.. Από αυτά τα συμβάντα, τα 487 προσμετρώνται στις αναλυτικές καταγραφές, μέσω των οποίων προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (54,3%) της συνολικής καμένης έκτασης κατέχουν τα δάση, όπως και στις προαναφερόμενες Περιφερειακές Ενότητες, ενώ το υπόλοιπο 45,7% αντιστοιχεί στις αγροτικές καλλιέργειες. Το πιο καταστροφικό περιστατικό αναφέρθηκε τον Ιούλιο του 1988, προξενώντας την απώλεια 20.000 στρ.. Ωστόσο, σημειώθηκαν μόλις τρεις πυρκαγιές, με επιζήμιες επιπτώσεις σε έκταση άνω των 5.000 στρ. για κάθε συμβάν, εκ των οποίων όμως οι δύο κατέκαυσαν πάνω από 10.000 στρ. γης.



Διάγραμμα 2.3 Πλήθος πυρκαγιών ανά Περιφερειακή Ενότητα Κρήτης κατά την περίοδο 1983 – 2005[5].



Διάγραμμα 2.4 Σύνολο καμένων εκτάσεων ανά Περιφερειακή Ενότητα Κρήτης κατά την περίοδο 1983 – 2005[5].

Συμπληρωματικά, η ΠΕ Χανίων παρουσιάζει το μέγιστο ποσοστό εκδήλωσης πυρκαγιάς, με 1.317 καταγεγραμμένα περιστατικά, στα οποία αποδίδονται συνολικά 170.561 στρ. καμένης έκτασης. Ύστερα από τη διερεύνηση των 977 αναλυτικών καταγραφών, η δασική βλάστηση αναδείχθηκε και πάλι ως ο κυρίαρχος τύπος κάλυψης των πληγεισών εκτάσεων, σε ποσοστό 85,8% επί του συνόλου. Το υπόλοιπο ποσοστό (14,2%) διατηρούν οι αγροτικές περιοχές, όπως παρατηρήθηκε και στις υπόλοιπες Περιφερειακές Ενότητες της Κρήτης.

5 Πηγή: Τσαγκάρη et al., 2011

Ακόμη, οι πυρκαγιές μεγάλης έντασης, με καταστροφικές συνέπειες για περισσότερα από 5.000 στρ. ανά περιστατικό, ανήλθαν σε πέντε κατά την χρονική περίοδο εξέτασης εντός της ΠΕ Χανίων. Μάλιστα, διαπιστώθηκε πως μόνο μία από αυτές επέφερε σημαντικές ζημιές σε έκταση μεγαλύτερη των 10.000 στρ..

Ανακεφαλαιώνοντας, κατά την περίοδο 1983 – 2005, οι περισσότερες πυρκαγιές (1.317) που καταγράφηκαν εντός της Περιφέρειας Κρήτης, προκλήθηκαν στην ΠΕ Χανίων, ενώ οι μεγαλύτερες απώλειες (297.071 στρ.) αναφέρονται στην ΠΕ Λασιθίου. Οι δριμύτερες δασικές πυρκαγιές του νησιού εκδηλώθηκαν στην ίδια ΠΕ, παρότι σε αυτήν συγχρόνως εμφανίζονται τα λιγότερα καταγεγραμμένα συμβάντα (433). Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί επίσης ότι στην ΠΕ Χανίων εκτυλίχθηκαν τα λιγότερο καταστροφικά περιστατικά, με μέση ένταση 130 στρ. καμένης έκτασης ανά πυρκαγιά (Τσαγκάρη et al., 2011).

Κεφάλαιο 3ο : Αξιολόγηση επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς

3.1 Συστήματα αξιολόγησης κινδύνου

Ο κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω ενός δείκτη στον οποίο συνυπολογίζονται οι παράγοντες διαμόρφωσης των συνθηκών που ευνοούν την ανάφλεξη της καύσιμης ύλης κι αντίστοιχα επιδρούν στο ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς, με κύριο στόχο τον προσδιορισμό της έντασης του ενδεχόμενου συμβάντος και την εκτίμηση των επιπτώσεων του τελευταίου (Chelli et al., 2014). Ειδικότερα, οι δείκτες που διαμορφώνονται βάσει ημερήσιων ή και ωριαίων μετρήσεων κλιματικών μεταβλητών της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ποσότητας κατακρήμνισης και του ανέμου, όπως επίσης άλλων μεταβλητών αναφορικά με τις ιδιότητες της της καύσιμης ύλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς βραχείας κλίμακας (Jappiot et al., 2009). Ταυτόχρονα, με την αξιοποίηση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (*Geographic Information Systems – GIS*) για τη διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογραφική αναπαράσταση σύνθετων περιβαλλοντικών φαινομένων, είναι δυνατή η εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς ενσωματώνοντας την χωρική και χρονική πληροφορία αυτών στον τελικό δείκτη επικινδυνότητας (Kalabokidis et al., 2002; Henderson et al., 2005).

Επιπρόσθετα, τα συστήματα αξιολόγησης κινδύνου πυρκαγιάς (*fire danger rating systems*) συμβάλλουν εδώ και αρκετές δεκαετίες στις στρατηγικές διαχείρισης πολλών χωρών όπου οι δασικοί πόροι και η αειφόρος διαχείριση αυτών θεωρούνται υψίστης σημασίας. Στον Καναδά, για παράδειγμα, η έρευνα σχετικά με την αξιολόγηση κινδύνου δασικών πυρκαγιών ξεκίνησε το 1925, οδηγώντας διαχρονικά στην ανάπτυξη διαφόρων συστημάτων κινδύνου πυρκαγιάς με ευρεία εφαρμογή στα δάση του Καναδά, ώσπου το 1970 αναπτύχθηκε το Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Δασικής Πυρκαγιάς (*Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS*) με σκοπό να ληφθεί υπόψη η επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στην καύσιμη ύλη και κατά συνέπεια στην εμφάνιση πυρκαγιάς (Van Wagner, 1987).

Στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν διαχρονικά αρκετές μέθοδοι για την εκτίμηση του κινδύνου εκδήλωσης συμβάντων πυρκαγιάς που αποδίδεται σε μετεωρολογικούς παράγοντες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Πορτογαλία τέθηκε σε εφαρμογή κατά την περίοδο 1970 – 1986 μια απλή μέθοδος η οποία είχε αναπτυχθεί στη Σουηδία από τον Ångström και βασιζόταν στον υπολογισμό της αναλογίας μεταξύ ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, καθορίζοντας τρεις κατηγορίες επικινδυνότητας πυρκαγιάς (Fujioka et al., 2008). Έπειτα, το 1987 εφαρμόστηκε μια νέα μέθοδος, βασισμένη στον δείκτη *Nesterov*, η οποία αξιοποιεί ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, βροχόπτωσης και ταχύτητας του ανέμου για την εκτίμηση του κινδύνου, ενώ αντίστοιχα στην Ισπανία ακόμα μια μέθοδος αναπτύχθηκε με την χρήση ημερήσιων τιμών της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, σύμφωνα με το σύστημα McArthur της Αυστραλίας (Fujioka et al., 2008).

Το ευρύ σύνολο των μεθόδων αξιολόγησης κινδύνου πυρκαγιάς που αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη, αποτέλεσε αφορμή για την διεξαγωγή μιας συγκριτικής μελέτης η οποία υλοποιήθηκε το 1992 υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι μέθοδοι που προαναφέρθηκαν, καθώς και η μέθοδος που καθορίστηκε στα πλαίσια εφαρμογής του Καναδικού Συστήματος Αξιολόγησης Κινδύνου Δασικής Πυρκαγιάς (*Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS*), μεταξύ άλλων συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη, ενώ ποικίλες μεταβλητές λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητάς τους. Όπως διαπιστώθηκε, ο δείκτης *FWI* εξυπηρετεί τον σκοπό του στο έπακρο συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους, ακόμη και κατά τις χειμερινές περιόδους εξέτασης. Συνεπώς, η μέθοδος που παρείχε το σύστημα *CFFDRS* προτάθηκε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 1997 όπου και υιοθετήθηκε ως πρότυπη για την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς στις χώρες της Ευρώπης (Fujioka et al., 2008).

Παρόμοιες μελέτες έχουν διεξαχθεί και σε άλλες περιοχές συγκρίνοντας διαφορετικές μεθόδους, καταλήγοντας εξίσου στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης *FWI* στις περισσότερες περιπτώσεις κρίνεται καταλληλότερος από τις υπόλοιπες μεθόδους (Fujioka et al., 2008). Το γεγονός αυτό συντέλεσε στην ευρεία αξιοποίηση του εν λόγω δείκτη κατά τις τελευταίες δεκαετίες για τη διερεύνηση του άμεσου αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής στη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών, παρέχοντας μια κοινή βάση για την αξιολόγηση του συσχετικού κινδύνου.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι το σύστημα *CFFDRS* έχει υιοθετηθεί σε πανευρωπαϊκό επίπεδο καθώς εντάσσεται πλέον στο Ευρωπαϊκό Πληροφοριακό Σύστημα για τις Δασικές Πυρκαγιές (European Forest Fire Information System – EFFIS) της Υπηρεσίας Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης.

3.2 Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Δασικής Πυρκαγιάς (Canadian Forest Fire Danger Rating System)

Το τρέχον σύστημα αξιολόγησης κινδύνου πυρκαγιάς στον Καναδά βασίζεται στις δειγματοληπτικές παρατηρήσεις πεδίου μετεωρολογικών μεταβλητών που συλλέχθηκαν στα πλαίσια μελέτης που διεξήχθει στις αρχές του 20ού αιώνα αναφορικά με την υγρασία και την συσχέτιση της με την ανάφλεξη της καύσιμης ύλης. Συγκεκριμένα, με βάση τις δειγματοληπτικές μετρήσεις που συλλέχθηκαν απο διάφορες περιοχές σε ολόκληρη τη χώρα, δημιουργήθηκαν πίνακες στους οποίους περιγράφηκε ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς στον Καναδά. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός κοινού δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς οδήγησε στη διαμόρφωση ενός συστήματος παγκόσμιας εμβέλειας, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία αρχικά σε εθνικό επίπεδο το 1970 (Van Wagner, 1974).

Γενικότερα, το Καναδικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Δασικής Πυρκαγιάς (*Canadian Forest Fire Danger Rating System* **-** *CFFDRS*) περιλαμβάνει δύο υποσυστήματα, το Καναδικό Σύστημα Δασικών Πυρκαγιών (*Canadian Forest Fire Weather Index -FWI- System*) και το Καναδικό Σύστημα Πρόβλεψης Συμπεριφοράς Δασικών Πυρκαγιών (*Canadian Forest Fire Behavior Prediction -FBP- System*). Το δεύτερο, ειδικότερα, βασίζεται στα δεδομένα εξόδου του πρώτου καθώς και σε άλλα χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα η τοπογραφία, ενώ παρέχει ποσοτικές εκτιμήσεις της συμπεριφοράς της φωτιάς αναφορικά με ποικίλους βασικούς τύπους καύσιμης ύλης (Fujioka et al., 2008).

Τα μοντέλα που αναπτύσσονται στα πλαίσια του συστήματος *CFFDRS* βασίζονται σε μια κοινή προσέγγιση η οποία περιλαμβάνει την κατανόηση των φυσικών διεργασιών που επιδρούν στην εξάπλωση της πυρκαγιάς, όπως για παράδειγμα τα επίπεδα υγρασίας της καύσιμης ύλης, οι οποίες στη συνέχεια βαθμονομούνται σύμφωνα με παρατηρήσεις του πεδίου. Κατα αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου αποτυπώνουν το πραγματικό εύρος των φαινομένων που εκτιμώνται, καθιστώντας το σύστημα κατάλληλο για ευρεία χρήση σε όλες τις περιοχές του Καναδά αλλά και σε άλλες χώρες. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις η εφαρμογή του συστήματος σε διαφορετικά περιβάλλοντα μπορεί να εμφανίσει προβλήματα (Fujioka et al., 2008).

3.2.1 Καναδικός δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς (Fire Weather Index – FWI)

Ο δείκτης *Fire Weather Index – FWI* αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του Καναδικού Συστήματος Δασικών Πυρκαγιών (*Canadian Forest Fire Weather Index -FWI- System*) ως προς την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης δασικής πυρκαγιάς. Στα πλαίσια λειτουργίας του συστήματος *CFFDRS,* μέσω της επεξεργασίας μετεωρολογικών δεδομένων ευρείας κλίμακας προκύπτει ένα σύνολο δεικτών που περιγράφουν τα επίπεδα υγρασίας της καύσιμης ύλης καθώς και την συμπεριφορά της ενδεχόμενης πυρκαγιάς. Μέσα από μια διαδικασία σύνθεσης των επιμέρους δεικτών προσδιορίζεται σε τελικό στάδιο ο δείκτης *FWI.*

Αναλυτικότερα, το σύστημα *CFFDRS* συσχετίζει δεδομένα μετεωρολογικών συνθηκών με δείκτες υγρασίας καύσιμης ύλης και δείκτες κινδύνου πυρκαγιάς αναφορικά με ένα κοινό τύπο βλάστησης (ώριμη πεύκη, Pinus bankiana Lamb ή πεύκη lodgepole, Pinus contorta). Αυτό βασίζεται σε ημερήσιες μετρήσεις της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου -που λαμβάνονται στις 1200 τοπική ώρα LST- αλλά και του ποσού της βροχόπτωσης που συσσωρεύτηκε κατά το τελευταίο 24ωρο. Επιπλέον, το σύστημα προσδιορίζεται συνολικά από έξι δείκτες βαθμονόμησης της περιεχόμενης υγρασίας της καύσιμης ύλης και της πιθανής συμπεριφοράς πυρκαγιάς αναφορικά με τον κοινό τύπο καύσιμης ύλης και σε συνθήκες απουσίας τοπογραφικής κλίσης.

Σε πρώτο στάδιο, για τον υπολογισμό των επιπέδων υγρασίας της δασικής καύσιμης ύλης, χρησιμοποιούνται οι δείκτες *Fine Fuel Moisture Code* (*FFMC*), *Duff Moisture Code* (*DMC*) και *Drought Code* (*DC*) που περιγράφουν αντίστοιχα την υγρασία του αποσυντιθέμενου οργανικού υλικού το οποίο βρίσκεται στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, την υγρασία του χαλαρά συμπιεσμένου στρώματος οργανικού υλικού σε μέτριο βάθος και τέλος την υγρασία του βαθύτερου στρώματος της συμπαγούς οργανικής ύλης (Van Wagner, 1987). Συνεπώς, μέσω του προσδιορισμού των προαναφερόμενων δεικτών μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης.

Τα υπόλοιπα τρία δομικά στοιχεία του συστήματος *CFFDRS* συνιστούν οι δείκτες που περιγράφουν τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς μέσω του υπολογισμού του αναμενόμενου ρυθμού εξάπλωσής της (*Initial Spread Index – ISI*), του συνολικού οργανικού υλικού που διατίθεται προς καύση (*Build Up Index – BUI*) καθώς και του τελικού δείκτη κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς (*Fire Weather Index – FWI*). Ο δείκτης *ISI*, ειδικότερα, διαμορφώνεται συνυπολογίζοντας την ταχύτητα του ανέμου στα αποτελέσματα του δείκτη *FFMC*, ενώ ο δείκτης *BUI* αποτελεί το προϊόν της συγχώνευσης των δεικτών *DMC* και *DC*. Τέλος, για την διαμόρφωση του δείκτη *FWI* συνυπολογίζονται οι δείκτες *ISI* και *BUI* ώστε να αποδοθεί ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα μήκους του μετώπου της ενδεχόμενης πυρκαγιάς (Van Wagner, 1987).

Κάθε μεμονωμένο στοιχείο του συστήματος *CFFDRS* αποτελεί έναν δείκτη επικινδυνότητας, αποκαλύπτοντας διαφορετικές πτυχές του κινδύνου εμφάνισης κι επέκτασης πυρκαγιάς (San-Miguel-Ayanz et al., 2012), γεγονός που καθιστά την χρήση του συστήματος αυτού εξαιρετικά χρήσιμη ως προς τη διάδοση πληροφοριών που σχετίζονται άμεσα με τις κύριες αιτίες πρόκλησης των δασικών πυρκαγιών. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα του τελικού δείκτη *FWI* εξαρτώνται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες, ενώ δεν λαμβάνονται υπόψη διαφοροποιήσεις στους τύπους της καύσιμης ύλης ή την τοπογραφία. Παρ' όλα αυτά, μέσω της διαδικασίας υπολογισμού αυτού του δείκτη παρέχεται μια ενιαία, συνεκτική μέθοδος εκτίμησης του κινδύνου πυρκαγιάς αξιολογώντας τις συνθήκες υγρασίας της καύσιμης ύλης και της ενδεχόμενης συμπεριφοράς της πυρκαγιάς (Van Wagner, 1987).

Αν και οι δείκτες υγρασίας που υπολογίζονται στα πλαίσια αυτού του συστήματος αντιπροσωπεύουν την περιεκτικότητα υγρασίας αναφορικά με ένα κοινό τύπο καύσιμης ύλης, μπορούν εξίσου να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των επιπέδων υγρασίας σε άλλους τύπους βλάστησης (Wotton & Beverly, 2005).

Στις μέρες μας, ο καναδικός δείκτης *FWI* συνιστά πλέον τον πιο διαδεδομένο δείκτη αναφορικά με την αξιολόγηση της επικινδυνότητας πυρκαγιάς, ενώ έχει αξιοποιηθεί ευρέως για την συσχέτιση της κλιματικής αλλαγής με τις αναμενόμενες μεταβολές στην εμφάνιση, στην ένταση και στις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών. Επιπλέον, ο εν λόγω δείκτης έχει υιοθετηθεί από το ευρωπαϊκό πληροφοριακό σύστημα για τις δασικές πυρκαγιές (*European Forest Fire Information System – EFFIS*) ως επίσημος δείκτης για την εκτίμηση του δυνητικού κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς στην Ευρώπη (San-Miguel-Ayanz et al., 2012). Ωστόσο, χρειάστηκε να διεξαχθούν αρκετές μελέτες ώστε να γίνει αποδεκτή η προσαρμογή κι εφαρμογή του δείκτη *FWI* σε διαφορετικές συνθήκες παγκοσμίως καθώς αρχικά η δομή του είχε αναπτυχθεί ώστε να συνάδει με τις κλιματικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά βλάστησης που περιγράφουν τα δάση του Καναδά.

Υπό αυτό το πρίσμα, οι Good et al. (2008) συσχέτισαν τον παρατηρούμενο ημερήσιο αριθμό συμβάντων πυρκαγιάς με τις τιμές του δείκτη *FWI* λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες ορισμένων περιοχών της Ιταλίας και της Ελλάδας, συμπεριλαμβανομένης της πόλης του Ηρακλείου Κρήτης. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν την καταλληλότητα του δείκτη ως προς την εκτίμηση εμφάνισης πυρκαγιάς στις κλιματικές συνθήκες της Μεσογείου. Επιπρόσθετα, οι Dimitrakopoulos et al. (2011) μελέτησαν την εμφάνιση πυρκαγιάς στην περιοχή της Κρήτης, συσχετίζοντας την με τις τιμές του δείκτη *FWI*, ενώ οι Bedia et al. (2014) αναφέρουν πως ο καναδικός δείκτης συνέβαλε στην ανάδειξη μιας θετικής ένδειξης δυνητικού κινδύνου πυρκαγιάς για μεγάλες εκτάσεις στην περιοχή της Μεσογείου.

Τέλος, η προσαρμοστικότητα του δείκτη *FWI* στις κλιματικές συνθήκες και στις ιδιότητες βλάστησης των μεσογειακών οικοσυστημάτων διερευνήθηκε επίσης από τους Chelli et al. (2014) καταλήγοντας σε αντίστοιχα συμπεράσματα, επισημαίνοντας εξίσου την επίδραση των τοπικών συνθηκών κλίματος, βλάστησης και τύπου καύσιμης ύλης στη διαμόρφωση του δείκτη.

3.2.2 Κατηγορίες κινδύνου δείκτη FWI

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού πληροφοριακού συστήματος για τις δασικές πυρκαγιές (*European Forest Fire Information System – EFFIS*), ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς περιγράφεται από τον δείκτη *FWI*, οι τιμές του οποίου ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες αναφορικά με τον βαθμό επικινδυνότητας, ανεξάρτητα από τον τύπο καύσιμης ύλης. Ειδικότερα, η τιμή του δείκτη που αντιστοιχεί στο μέγιστο βαθμό κινδύνου καθορίστηκε βάσει της διερεύνησης των συνθηκών που παρατηρήθηκαν κατά την εκδήλωση 2000 περίπου ισχυρών συμβάντων πυρκαγιάς, ευρείας έκτασης, στην Ευρώπη σε χρονικό διάστημα είκοσι ετών (San-Miguel-Ayanz et al.,2012).

Σε επόμενο στάδιο, η γεωμετρική πρόοδος που περιγράφεται από τον Van Wagner (1987) εφαρμόστηκε ώστε να δημιουργηθούν οι υπόλοιπες κατηγορίες χαμηλότερου κινδύνου, προσδιορίζοντας τελικά τις έξι κατηγορίες που εμφανίζονται ακολούθως:

Τιμή δείκτη FWI	**Περιγραφή κινδύνου**
< 5.2	Πολύ χαμηλός
5.2 – 11.2	Χαμηλός
11.2 – 21.3	Μέτριος
21.3 – 38.0	Υψηλός
38.0 – 50.0	Πολύ υψηλός
≥ 50	Ακραία υψηλός

Πίνακας 3.1 Κατηγορίες κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς του δείκτη FWI[6].

6 Πηγή: https://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technical-background/fire-danger-forecast/

3.3 Άλλοι δείκτες κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς

Κατά γενικό κανόνα, μέσω ενός δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς μπορούν να προσδιοριστούν εξίσου ιδιότητες, όπως η ένταση ή ο ρυθμός διάδοσης της επικείμενης πυρκαγιάς. Για τον σκοπό αυτό, οι μετεωρολογικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως πρωτογενή δεδομένα εισόδου για την ανάπτυξη ενός δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς, σε ορισμένες περιπτώσεις συνδυάζονται με άλλες πηγές δεδομένων που περιγράφουν, για παράδειγμα, την τοπογραφία ή/και τις συνθήκες βλάστησης σε μια περιοχή ενδιαφέροντος, με σκοπό την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης ενός δυνητικού συμβάντος πυρκαγιάς.

Επομένως, πέραν του ευρέως αποδεκτού δείκτη *FWI,* άλλοι δείκτες που αξιοποιούνται συχνά για την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς συνοψίζονται ακολούθως ως εξής (Sirca et al., 2018):

- *Nesterov Index*
- *Keetch-Byram Drought Index – KBDI*
- *McArthur Mark 5 Forest – Mk5* / *Mark 4 Grassland-Fire Danger Index – Mk4*
- *Fosberg Fire Weather Index – FFWI*
- *IPi Propagation index*
- *Integrated Fire Index – IFI*
- *F index*

Ειδικότερα, οι δείκτες *Mk5* και *Mk4* που αναπτύχθηκαν για την εκτίμηση του ρυθμού εξάπλωσης πυρκαγιάς για την αυστραλιανή βλάστηση η οποία διακρίνεται από λιβαδικές και δασικές εκτάσεις, αποτελούν δύο δείκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως στην αξιολόγηση του δυνητικού κινδύνου πυρκαγιάς. Ο δείκτης *F* εκτιμά τον δυνητικό κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου (Sirca et al., 2018).

Από την άλλη μεριά, οι δείκτες *KBDI* και *Nesterov*, οι οποίοι συνιστούν δείκτες ξηρασίας, χρησιμοποιούνται ως προσεγγιστικές μεταβλητές των συνθηκών εμφάνισης πυρκαγιάς, πολλές φορές ως δεδομένα εισόδου σε πιο σύνθετα συστήματα αξιολόγησης κινδύνου. Άλλοι προσεγγιστικοί δείκτες των ιδιοτήτων της πυρκαγιάς είναι επίσης οι *Ipi* και *FFWI* (Sirca et al., 2018).

Ο δείκτης *IFI* αναπτύχθηκε με σκοπό να συμπεριλάβει τις ιδιότητες του κλίματος και της βλάστησης στην αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς στις περιοχές της Μεσογείου, ενώ παράλληλα αξιοποιείται στη Σαρδηνία από την Περιφερειακή Υπηρεσία Πολιτικής Προστασίας για την εκτίμηση του κινδύνου σε καθημερινή βάση καθ' όλη τη διάρκεια της κρίσιμης περιόδου εμφάνισης πυρκαγιάς. Συνιστά έναν εμπειρικό δείκτη ο οποίος λαμβάνει υπόψη τέσσερις βασικές παραμέτρους αναφορικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες, τη μέγιστη ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία, τη σχετική υγρασία της καύσιμης ύλης και τις δομικές και φυσικές ιδιότητες της τελευταίας (Sirca et al., 2018).

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι από το 2019 το ευρωπαϊκό πληροφοριακό σύστημα για τις δασικές πυρκαγιές (*European Forest Fire Information System – EFFIS*), στα πλαίσια εκτίμησης του κινδύνου πυρκαγιάς, παρέχει εξίσου δεδομένα που αφορούν τους δείκτες *McArthur Mark 5 Forest* (*Mk5*), *Keetch-Byram Drought Index* (*KBDI*), πέραν του δείκτη *FWI*. Η προσθήκη των δεικτών αυτών αντικατοπτρίζει το εντεινόμενο ενδιαφέρον της ευρωπαϊκής κοινότητας ως προς τη σύγκριση της απόδοσης του δείκτη *FWI* με άλλους συναφείς δείκτες κινδύνου πυρκαγιάς.

Κεφάλαιο 4ο : Μεθοδολογία

4.1 Δημιουργία σύνθετων δεικτών

4.1.1 Γενικά

Οι σύνθετοι δείκτες (*Composite Indicators – CIs*) αναγνωρίζονται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια ως χρήσιμο εργαλείο των αναλυτών καθώς παρέχουν τη δυνατότητα διεξαγωγής συγκρίσεων μεταξύ χωρών, κρατών ή αλλων συστημάτων ενδιαφέροντος, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για τη διερεύνηση κι αποτύπωση σύνθετων και συχνά δυσνόητων φαινομένων που σχετίζονται με διάφορους τομείς, όπως το περιβάλλον, η κοινωνία κι η οικονομία. Ωστόσο, η ερμηνεία ενός σύνθετου δείκτη μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στην εξαγωγή εσφαλμένων ή παραπλανητικών συμπερασμάτων εάν δεν επιλεγούν οι κατάλληλες μέθοδοι κατά την διαμόρφωσή του.

Γενικότερα, ένας σύνθετος δείκτης προκύπτει από την άθροιση διαφόρων μεμονωμένων δεικτών με απώτερο σκοπό την ανάδειξη πολυδιάστατων εννοιών που δεν είναι δυνατό να περιγραφούν και να προσδιοριστούν από έναν μόνο δείκτη. Υπό αυτό το πρίσμα, στα πλεονεκτήματα αξιοποίησης ενός σύνθετου δείκτη συγκαταλέγονται μεταξύ αλλων (Saisana & Tarantola, 2002; Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008):

1) Η δυνατότητα αξιολόγησης της παρατηρούμενης εξέλιξης ενός συστήματος ενδιαφέροντος (π.χ. χώρα) σε βάθος χρόνου.
2) Η διευκόλυνση της επικοινωνίας των αναλυτών με το ευρύ κοινό σε συνδυασμό με την προώθηση της ανάληψης ευθυνών.
3) Η σχετική ευκολία στην ερμηνεία του σε σύγκριση με την διαχείριση ενός συνόλου πολλών μεμονωμένων δεικτών.
4) Η ανάδειξη των ζητημάτων που αφορούν την απόδοση και την πρόοδο μιας χώρας διαχρονικά.
5) Η διεξαγωγή συγκρίσεων μεταξύ ποικίλων συστημάτων με αποτελεσματικό τρόπο, αναφορικά με ένα πολύπλοκο ζήτημα.

Από την άλλη μεριά, σε περίπτωση που αγνοηθούν κρίσιμοι παράγοντες του ζητήματος που διερευνάται, με αποτέλεσμα αυτοί να μην συμπεριληφθούν στον σύνθετο δείκτη, είναι πιθανό στη συνέχεια να εφαρμοστούν ακατάλληλες, μη ωφέλιμες πρακτικές ως προς την επίλυση του πρώτου. Ακόμη, εάν η διαδικασία δημιουργίας του σύνθετου δείκτη δεν διακρίνεται από διαφάνεια ή/και την ορθή χρήση των συναφών εννοιών και μεθόδων μπορεί να μην επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Συνεπώς, ο εντοπισμός κι η επιλογή των αποδοτικότερων μεθόδων διαμόρφωσης των σύνθετων δεικτών είναι υψίστης σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση του συνόλου δεδομένων και την εξασφάλιση της ποιότητας των αποτελεσμάτων που μπορούν συνδυαστικά να οδηγήσουν σε κρίσιμα συμπεράσματα.

4.1.2 Μεθοδολογία ανάπτυξης σύνθετων δεικτών

Ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD) προτείνει μια αλληλουχία βημάτων για την δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη στη σχετική έκθεση που έχει δημοσιευτεί (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008), από την ανάπτυξη του θεωρητικού υποβάθρου έως και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και τη διάδοση της ζητούμενης πληροφορίας. Κάθε στάδιο της εν λόγω διαδικασίας ξεχωριστά είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι κάθε απόφαση κι επιλογή σε οποιοδήποτε από αυτά τα στάδια μπορεί να επηρεάσει άμεσα την εξέλιξη των υπολοίπων. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι η δημιουργία ενός έγκυρου σύνθετου δείκτη βασίζεται όχι μόνο στην επιλογή των κατάλληλων μεθόδων στα επιμέρους στάδια, αλλά και στο κατά πόσον αυτές αλληλοσυνδέονται.

Με βάση λοιπόν τις υποδείξεις του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, η μεθοδολογία δημιουργίας ενός σύνθετου δείκτη συνοψίζεται στην ακόλουθη αλληλουχία βημάτων (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008). Στη συνέχεια κάθε στάδιο περιγράφεται αναλυτικότερα στις επόμενες ενότητες της παρούσας εργασίας.

1) **Ανάπτυξη θεωρητικού πλαισίου**

Αποτελεί το υπόβαθρο για την επιλογή και το συνδυασμό των επιμέρους παραγόντων σε έναν περιεκτικό σύνθετο δείκτη, το οποίο διαμορφώνεται με την συμβολή των ειδικών και των εμπειρογνωμόνων.

2) **Συλλογή δεδομένων**

Πραγματοποιείται με γνώμονα την χωρική κλίμακα της ανάλυσης, τη σαφήνεια των μεμονωμένων δεικτών αλλά και τη συνάφεια αυτών τόσο με το φαινόμενο που εξετάζεται όσο και μεταξύ τους. Η χρήση προσεγγιστικών μεταβλητών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν υπάρχει έλλειψη δεδομένων.

3) **Υπολογισμός ελλειπουσών τιμών**

Παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου απλής ή πολλαπλής ανάθεσης (*single or multiple imputation*).

4) **Πολυκριτηριακή ανάλυση**

Συμβάλλει στη διερεύνηση των επιμέρους δεικτών, στην αξιολόγηση της καταλληλότητάς τους και στον προσδιορισμό των μεθόδων που μπορούν αξιοποιηθούν σε επόμενα στάδια.

5) **Κανονικοποίηση τιμών**

Διεξάγεται με σκοπό όλοι οι μεμονωμένοι δείκτες της ανάλυσης να καταστούν απολύτως συγκρίσιμοι μεταξύ τους.

6) **Στάθμιση και άθροιση δεικτών**

Οι διαδικασίες αυτές υλοποιούνται βάσει του θεωρητικού πλαισίου της ανάλυσης και της συσχέτισης μεταξύ των μεμονωμένων δεικτών.

7) **Ανάλυση αβεβαιότητας και ευαισθησίας**

Διεξάγεται με στόχο την αξιολόγηση του σύνθετου δείκτη ως προς την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων σε προηγούμενα στάδια.

8) **Συσχέτιση σύνθετου δείκτη με τα επιμέρους στοιχεία**

Συντελεί στην ανάδειξη των βασικών παραγόντων διαμόρφωσης του σύνθετου δείκτη.

9) **Συσχέτιση σύνθετου δείκτη με συναφείς δείκτες**

Επιδιώκεται η συσχέτιση του σύνθετου δείκτη ή των διαστάσεων αυτού με υφιστάμενους, απλούς ή σύνθετους, δείκτες μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.

10) **Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Αποσκοπεί στην οπτικοποίηση της πληροφορίας που παρέχεται από τον σύνθετο δείκτη και τους επιμέρους δείκτες με σαφή κι ακριβή τρόπο ώστε να είναι εφικτή η ερμηνεία τους.

4.1.2.1 Ανάπτυξη θεωρητικού πλαισίου

Στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης της προτεινόμενης μεθοδολογίας του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008) ορίζεται πλήρως και με σαφήνεια τόσο το ζήτημα που διερευνάται όσο και όλα τα επιμέρους στοιχεία που θεωρείται σκόπιμο να ληφθούν υπόψη κατά τη δημιουργία του σχετικού σύνθετου δείκτη. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται στους μεμονωμένους δείκτες που αντανακλούν τις διαφορετικές διαστάσεις του φαινομένου που εξετάζεται, γι' αυτό και η διαδικασία επιλογής των επιμέρους δεικτών πρέπει να βασίζεται ιδανικά στον απώτερο στόχο της εκάστοτε ανάλυσης και όχι στη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Ειδικότερα, για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου σύνθετου δείκτη αρχικά συνιστάται η διεκπεραίωση των ακόλουθων διαδικασιών (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008) :

- ***Ορισμός του υπό μελέτη φαινομένου***

  Ο ζητούμενος σύνθετος δείκτης θα πρέπει να οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε ο κάθε ενδιαφερόμενος να είναι σε θέση να τον κατανοήσει και να τον ερμηνεύσει. Επιπλέον, θα πρέπει να γίνει ειδική αναφορά στο θεωρητικό πλαίσιο που προσδιορίζει τις σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των μεμονωμένων δεικτών και του σύνθετου δείκτη.

- ***Καθορισμός διαστάσεων φαινομένου***

  Οι πολυδιάστατες έννοιες -όπως εκείνες που περιγράφονται από τους σύνθετους δείκτες- διαχωρίζονται σε ποικίλες υπο-ομάδες/διαστάσεις οι οποίες δεν είναι απαραίτητα ανεξάρτητες η μία από την άλλη. Επομένως, οι υπάρχουσες συνδέσεις μεταξύ των διαφορετικών διαστάσεων του φαινομένου που μελετάται επίσης θα πρέπει να περιγράφονται λεπτομερώς και με σαφήνεια.

- ***Προσδιορισμός κριτηρίων επιλογής μεμονωμένων δεικτών***

  Τα κριτήρια επιλογής των επιμέρους δεικτών θα πρέπει να αποτελούν τις κύριες κατευθυντήριες γραμμές που υποδεικνύουν εάν κάποιος δείκτης χρειάζεται να συμπεριληφθεί στον τελικό σύνθετο δείκτη ή όχι.

4.1.2.2 Συλλογή δεδομένων

Οι δυνατότητα αξιοποίησης ενός σύνθετου δείκτη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των μεμονωμένων δεικτών, οι οποίοι επιλέγονται ιδανικά βάσει της συνάφειας, της ορθότητας, της επικαιρότητας και της προσβασιμότητας τους (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008). Παρόλο που η επιλογή τους βασίζεται στο θεωρητικό πλαίσιο της μελέτης, η διαδικασία συλλογής των απαραίτητων δεδομένων για τη δημιουργία του σύνθετου δείκτη διακρίνεται από υποκειμενικότητα διότι συνήθως δεν υπάρχει ένα και μοναδικό σύνολο δεικτών το οποίο μπορεί να επιλεγεί.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί πως όταν δεν υπάρχει επαρκής πρόσβαση στα δεδομένα, για παράδειγμα λόγω έλλειψής τους, οι πιθανότητες διαμόρφωσης έγκυρων σύνθετων δεικτών ελαχιστοποιούνται. Σε περίπτωση όμως που το επιθυμητό σύνολο δεδομένων δεν είναι διαθέσιμο ή οι διακριτές χωρικές μονάδες που εξετάζονται δεν είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους, προσεγγιστικές μεταβλητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή των επιμέρους δεικτών. Ωστόσο, η επιλογή των προσεγγιστικών δεικτών κρίνεται ιδιαίτερα καθοριστική για το τελικό αποτέλεσμα καθώς ενέχει αρκετούς κινδύνους. Γι' αυτόν τον λόγο, η συνάφεια κι η ακρίβεια των δεικτών αυτών θα πρέπει να διερευνάται μέσω αναλύσεων συσχέτισης και ευαισθησίας.

Με το πέρας της διαδικασίας συλλογής των απαιτούμενων δεδομένων θα πρέπει να έχει διασφαλιστεί η ποιότητα των επιμέρους δεικτών καθώς επίσης να έχει δημιουργηθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας στον οποίο αναφέρονται ορισμένες πληροφορίες σχετικά με αυτούς. Για παράδειγμα, μεταξύ άλλων μπορεί να προσδιορίζεται η πηγή των δεδομένων ή ο τύπος τους (ποσοτικά ή ποιοτικά).

4.1.2.3 Υπολογισμός ελλειπουσών τιμών

Οι ελλειπούσες τιμές (*missing values*) στα πρωτογενή δεδομένα συχνά παρεμποδίζουν την επιτυχή δημιουργία σύνθετων δεικτών κι επομένως κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμός τους από τα πρώτα κιόλας στάδια υλοποίησης της εν λόγω διαδικασίας. Οι τιμές αυτές ενδέχεται να κατανέμονται στα σύνολα δεδομένων των επιλεγμένων μεταβλητών/δεικτών συνθέτοντας τα εξής μοτίβα κατανομής (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008):

- ***Εντελώς τυχαίο μοτίβο*** (*Missing completely at random – MCAR*)
  Οι ελλειπούσες τιμές δεν εξαρτώνται από την μεταβλητή ενδιαφέροντος,
  ή από οποιαδήποτε άλλη μεταβλητή του συνόλου δεδομένων.
- ***Τυχαίο μοτίβο*** *(Missing at random – MAR)*
  Οι ελλειπούσες τιμές δεν εξαρτώνται από την μεταβλητή ενδιαφέροντος,
  αλλά εξαρτώνται από άλλες μεταβλητές του συνόλου δεδομένων.
- ***Μη τυχαίο μοτίβο*** *(Not missing at random – NMAR)*
  Οι ελλειπούσες τιμές εξαρτώνται από τις ίδιες τιμές της μεταβλητής ενδιαφέροντος.

Γενικότερα, υπάρχουν τρεις μέθοδοι διαχείρισης των ελλειπουσών τιμών συμπεριλαμβανομένης της διαγραφής περίπτωσης (*case deletion*), της απλής ανάθεσης (*single imputation*) και της πολλαπλής ανάθεσης (*multiple imputation*).

Με την πρώτη μέθοδο, η οποία αναφέρεται επίσης ως πλήρης ανάλυση περίπτωσης (*complete case analysis*), απλώς παραλείπονται οι εγγραφές που δεν περιλαμβάνονται στο σύνολο δεδομένων. Παρόλο που η προσέγγιση αυτή δεν διαχωρίζει ένα πλήρες σύνολο δεδομένων από ένα ελλιπές δείγμα καθώς αυτά διαχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο, ταυτόχρονα μπορεί παράγει αμερόληπτα αποτελέσματα στον σύνθετο δείκτη μόνο εάν οι ελλειπούσες τιμές αποτελούν ένα υπο-σύνολο του αρχικού δείγματος που διαμορφώνει ένα εντελώς τυχαίο μοτίβο (περίπτωση *MCAR*). Επιπλέον, δεδομένου ότι λιγότερες τιμές πρόκειται να συμπεριληφθούν στην ανάλυση, τα τυπικό σφάλμα (*standard error*) αναμένεται να είναι μεγαλύτερο αξιοποιώντας ένα ελλιπές σύνολο δεδομένων (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Σε περίπτωση που οι ελλειπούσες τιμές μιας μεταβλητής εμφανίζονται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 5% του συνόλου των τιμών, εξ' ορισμού αυτές δεν μπορούν να εξαιρεθούν από την ανάλυση (Little and Rubin, 2002). Συνεπώς, για το ελλιπές δείγμα πρέπει να εφαρμοστεί μία από τις άλλες μεθόδους βάσει των οποίων οι ελλειπούσες τιμές συνυπολογίζονται στον τελικό σύνθετο δείκτη, αφού προηγουμένως έχουν προσδιοριστεί μέσω είτε της απλής (π.χ. *mean/median/mode substitution, regression imputation, hot-and-cold-deck imputation, expectation maximisation imputation*) είτε της πολλαπλής ανάθεσης (π.χ. *Markov Chain Monte Carlo algorithm*).

Η μέθοδος απλής ανάθεσης περιγράφεται από άμεσες κι έμμεσες τεχνικές (*explicit / implicit modelling*) διαχείρισης των συνόλων δεδομένων με ελλιπή στοιχεία (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008). Οι πρώτες, πιο συγκεκριμένα, βασίζονται στην εφαρμογή διαφόρων στατιστικών μεθόδων σύμφωνα με τα οποία οι ελλειπούσες τιμές των μεμονωμένων μεταβλητών/δεικτών υποκαθίστανται από τη μέση τιμή, την διάμεσο ή ακόμα και την επικρατούσα τιμή του αντίστοιχου συνόλου δεδομένων (*mean/median/mode imputation*).

Επιπρόσθετα, οι ελλειπούσες τιμές μπορούν να προσδιοριστούν με την χρήση άλλων στατιστικών τεχνικών μοντελοποίησης όπως η παλινδρόμηση (*regression imputation*) κατά την οποία ο μεμονωμένος δείκτης ελλιπών στοιχείων ορίζεται ως εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ ο δείκτης (ή οι δείκτες) που εμφανίζει αρκετά ισχυρή γραμμική σχέση με την τελευταία συνιστά την ανεξάρτητη μεταβλητή του μοντέλου παλινδρόμησης.

Ακόμη, μπορεί να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος *Expectation Maximisation* που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των άγνωστων παραμέτρων της κατανομής ενός συνόλου δεδομένων μέσω της εκτίμησης της μέγιστης πιθανότητας (*EM imputation*). Ωστόσο, προαπαιτείται η ύπαρξη σχέσης αλληλεξάρτησης μεταξύ των ελλειπουσών και των παρατηρούμενων τιμών.

Από την άλλη μεριά, οι έμμεσες τεχνικές διαχείρισης ενός ελλιπούς συνόλου δεδομένων βασίζονται σε υποκειμενικές παραδοχές οι οποίες κρίνονται εύλογες ή άστοχες ανά περίπτωση (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008). Ειδικότερα, οι ελλειπούσες παρατηρήσεις ενός δείγματος μπορούν να υποκατασταθούν από τιμές που αποδίδονται σε στοιχεία με όμοιες ιδιότητες (*hot deck imputation*). Το εισόδημα των ατόμων που δεν δηλώθηκε σε μια έρευνα, για παράδειγμα, θα μπορούσε να θεωρηθεί ίσο με το εισόδημα άλλων ερωτηθέντων με αντίστοιχα χαρακτηριστικά, όπως η ηλικία, το φύλο, το επάγγελμα και ο τόπος διαμονής. Για τον προσδιορισμό των ελλειπουσών τιμών ενός μεμονωμένου δείκτη μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη εξωτερικές πηγές, όπως παλαιότερες εκτιμήσεις του ιδίου δείκτη (*cold deck imputation*). Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών συνιστάται για τη διαχείριση ποιοτικών δεδομένων.

Με την μέθοδο πολλαπλής ανάθεσης η διαδικασία προσδιορισμού των ελλειπουσών τιμών ενός μεμονωμένου δείκτη διεξάγεται "N" φορές ώστε να παραχθεί ένα πλήθος "N" συνόλων δεδομένων τα οποία είναι μεν πλήρη, αλλά διαφέρουν μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές αυτές, υπολογίζονται "N" φορές δημιουργώντας ξεχωριστά τα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων κι έπειτα ο μέσος όρος (ή η διάμεσος) τους καθορίζει τα τελικά πλέον αποτελέσματα. Παρόλο που μπορεί να αξιοποιηθεί οποιαδήποτε μέθοδος απλής ανάθεσης, η μέθοδος *Markov Chain Monte Carlo – MCMC* χρησιμοποιείται επίσης ευρύτατα για τον σκοπό αυτό (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου βασίζεται κατά κύριο λόγο στις ιδιότητες του εκάστοτε συνόλου δεδομένων, δηλαδή στο πλήθος των ελλειπουσών τιμών σε σχέση με το συνολικό πλήθος των παρατηρήσεων της μεταβλητής ενδιαφέροντος όπως επίσης στον τύπο των δεδομένων (ποιοτικά / ποσοτικά) που αναλύονται. Επιπλέον, συνιστάται η δοκιμαστική εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων σε ένα δείγμα του συνόλου δεδομένων και η αξιολόγηση της απόδοσης για καθεμία από αυτές καθώς δεν μπορεί να προκαθοριστεί μια και μοναδική μέθοδος ανά περίπτωση.

Το τρίτο στάδιο δημιουργίας ενός σύνθετου δείκτη πλέον ολοκληρώνεται εφόσον παραχθεί ένα πλήρες σύνολο δεδομένων για το οποίο έχουν προσδιοριστεί όλες οι ελλειπούσες τιμές κάθε μεμονωμένου δείκτη. Υπογραμμίζεται ότι τα αποτέλεσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των προαναφερόμενων μεθόδων εμπεριέχουν πάντα κάποιο βαθμό αβεβαιότητας, ο οποίος θα πρέπει επίσης να υπολογιστεί ώστε να αξιολογηθεί η επίδραση κάθε μεθόδου στην ανάλυση εάν αυτή επιλεγεί να εφαρμοστεί (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

4.1.2.4 Πολυκριτηριακή ανάλυση

Οι μεμονωμένοι δείκτες συχνά επιλέγονται αυθαίρετα χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεπιδράσεις και η συσχέτιση μεταξύ τους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αμφισβητήσιμα αποτελέσματα που ενδέχεται να αποπροσανατολίσουν ή/και να διχάσουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων αλλά και το ευρύ κοινό. Συνεπώς, το σύνολο των δεδομένων πρέπει να έχει αναλυθεί εκτενώς πριν τη δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη ώστε να διασφαλιστεί η καταλληλότητά του καθώς και να εξαχθούν κρίσιμα συμπεράσματα για την ορθή επιλογή των μεθόδων που θα εφαρμοστούν σε επόμενα στάδια της ανάλυσης.

Κατά το τέταρτο στάδιο δημιουργίας ενός σύνθετου δείκτη, λοιπόν, διερευνάται κατά πόσον το σύνολο των επιμέρους δεικτών που έχει προσδιοριστεί επαρκεί για να περιγράψει το φαινόμενο που εξετάζεται. Αυτό μπορεί να διευκρινιστεί είτε μέσω της παράθεσης απόψεων εμπειρογνωμόνων είτε μέσω της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων. Ποικίλες στατιστικές μέθοδοι εφαρμόζονται για να αξιολογηθεί ο βαθμός στον οποίο οι επιλεγμένοι δείκτες συσχετίζονται μεταξύ τους καθώς κι εάν αυτοί αντανακλούν όλες τις διαστάσεις του υπό μελέτη φαινομένου. Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω συνοπτικά τρεις βασικές μέθοδοι που εξυπηρετούν τον σκοπό αυτό ως εξής (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008) :

- ***Ανάλυση κύριων συνιστωσών*** (*Principal Components Analysis – PCA*)

  Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μετατροπή ενός συνόλου τιμών, δυνητικά συσχετιζόμενων μεταβλητών, σε ένα νέο, μη γραμμικά συσχετιζόμενων μεταβλητών οι οποίες καλούνται κύριες συνιστώσες. Η εν λόγω διαδικασία πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε η πρώτη συνιστώσα να εξηγεί τη μέγιστη δυνατή διακύμανση που αναπτύσσεται μεταξύ των αρχικών μεταβλητών, η δεύτερη, μη συσχετιζόμενη με την πρώτη, να εξηγεί ένα σημαντικό μέρος αυτής αλλά πάντα μικρότερο της πρώτης και ούτω καθεξής. Η *PCA* έχει ως βάση της τον πίνακα συσχετίσεων (*correlation matrix*).

- ***Ανάλυση παραγόντων*** (*Factor analysis – FA*)

  Η μέθοδος αυτή περιγράφει τη μεταβλητότητα (διακύμανση) που αναπτύσσεται μεταξύ ενός συνόλου εμφανών και συσχετιζόμενων μεταβλητών στη βάση ενός μικρότερου συνόλου μη εμφανών, ασυσχέτιστων μεταβλητών οι οποίες καλούνται παράγοντες, με στόχο να βρεθούν όλες εκείνες οι μεταβλητές το αποτέλεσμα των οποίων θα μπορούσε να ερμηνευτεί όσο το δυνατόν καλύτερα από αυτούς τους παράγοντες. Οι εμφανείς μεταβλητές εξετάζονται ως γραμμικοί συνδυασμοί των εν δυνάμει παραγόντων επιπλέον της παρουσίας κάποιου στατιστικού σφάλματος.

- ***Συντελεστής άλφα του Cronbach*** (*Cronbach Coefficient Alpha*)

  Ο συντελεστής άλφα του Cronbach αποτελεί την πιο ευρεύως χρησιμοποιούμενη μέθοδο εκτίμησης της εσωτερικής ομοιογένειας ενός συνόλου μεταβλητών υποδηλώνοντας αντίστοιχα τον βαθμό στο οποίο ένα σύνολο μεμονωμένων δεικτών προσδιορίζει επαρκώς ένα φαινόμενο. Συνιστά έναν δείκτη αξιοπιστίας που διαμορφώνεται βάσει της συσχέτισης μεταξύ των μεμονωμένων δεικτών ενός συνόλου δεδομένων. Εάν αυτοί εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση, τότε περιγράφουν σε ικανοποιητικό βαθμό το υπό μελέτη φαινόμενο. Σε περίπτωση που οι μεμονωμένοι δείκτες δεν σχετίζονται και είναι ανεξάρτητοι, συντελεστής άλφα του Cronbach είναι ίσος με το μηδέν (0), ενώ η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει είναι το ένα (1).

4.1.2.5 Κανονικοποίηση τιμών

Το πέμπτο στάδιο της διαδικασίας ανάπτυξης ενός σύνθετου δείκτη αφορά την κανονικοποίηση των τιμών κάθε μεμονωμένου δείκτη, η οποία απαιτείται πριν από την άθροισή τους καθώς συχνά αυτοί ορίζονται βάσει διαφορετικής κλίμακας μέτρησης. Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου κανονικοποίησης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο ο τύπος δεδομένων των επιμέρους δεικτών, σε σχέση πάντα και με τις αντίστοιχες κλίμακες μέτρησής τους, όσο και ο απώτερος στόχος της ανάλυσης ως προς την μετέπειτα αξιοποίηση του παραγόμενου σύνθετου δείκτη. Στη συνέχεια παρατίθενται οι κυριότερες εφαρμόσιμες μέθοδοι που προτείνονται από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008) για την υλοποίηση της διαδικασίας κανονικοποίησης των τιμών ενός συνόλου δεδομένων.

- Η κανονικοποίηση των τιμών ενός δείκτη βάσει της **σειράς κατάταξής τους (*ranking*)** αποτελεί την απλούστερη τεχνική. Η μέθοδος αυτή δεν επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές του συνόλου δεδομένων, ενώ παράλληλα επιτρέπει τη διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης ενός φαινομένου που αναπτύσσεται, για παράδειγμα σε διαφορετικές χώρες, μέσω της ανάδειξης των σχετικών θέσεων τους στην κατάταξη (*rankings*). Ωστόσο, η απόδοση των υπό εξέταση συστημάτων σε απόλυτους όρους δεν μπορεί να αξιολογηθεί.

- Η **κανονικοποίηση *z-scores*** μετασχηματίζει τις αριθμητικές τιμές ενός συνόλου δεικτών σε κοινή κλίμακα με βάση τη μέση τιμή και την τυπική απόκλισή τους έτσι ώστε να ισούνται αντίστοιχα με μηδέν (0) και ένα (1) για τις νέες τιμές. Εφαρμόζοντας αυτή τη μέθοδο, οι δείκτες με ακραίες τιμές έχουν ισχυρότερη επίδραση στο σύνθετο δείκτη, η οποία όμως μπορεί να μετριαστεί είτε εξαιρώντας τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των μεμονωμένων δεικτών από την ανάλυση, είτε θέτοντας μετέπειτα σε αυτούς διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας. Ωστόσο, μια τέτοια προσέγγιση δεν προτείνεται εάν ο στόχος της ανάλυσης είναι να αναδείξει ακραίες καταστάσεις, σε περίπτωση δηλαδή που μια ιδιαίτερα υψηλή τιμή σε ορισμένους δείκτες θεωρείται προτιμότερη από πολλές μέσες τιμές.

- Η **κανονικοποίηση ελαχίστου-μεγίστου (*min-max*)** αποσκοπεί στη μετατροπή των μεμονωμένων δεικτών έτσι ώστε οι τιμές τους να κυμαίνονται στο ίδιο εύρος [0,1]. Αυτό επιτυγχάνεται αφαιρώντας από κάθε τιμή ενός δείκτη την ελάχιστη τιμή του και διαιρώντας με το εκάστοτε εύρος τιμών του. Οι ακραίες τιμές μπορούν να αλλοιώσουν τα στοιχεία των επιμέρους δεικτών, ενώ με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου μπορεί να διευρυνθεί το εύρος τιμών των δεικτών που εκτείνονται σε μικρό διάστημα, επιδρώντας έτσι στον τελικό σύνθετο δείκτη σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι η μέθοδος κανονικοποίησης *z-scores*.

- Η **απόσταση από μια τιμή αναφοράς (*Distance to a reference*)** προσδιορίζει τη σχετική θέση των επιμέρους δεικτών ως προς ένα κοινό σημείο αναφοράς το οποίο θα μπορούσε, για παράδειγμα, να αποτελεί έναν στόχο που πρέπει να επιτευχθεί εντός ενός ορισμένου χρονικού πλαισίου. Εναλλακτικά, η τιμή αναφοράς μπορεί επίσης να προσδιοριστεί μέσω της μέσης απόδοσης ενός συστήματος ενδιαφέροντος, για το οποίο καθορίζεται η τιμή ένα (1), ενώ τα υπόλοιπα ερευνώμενα συστήματα βαθμολογούνται με βάση την απόκλιση της απόδοσής τους από την προκαθορισμένη μέση τιμή. Με αυτό τον τρόπο, κανονικοποιημένες τιμές μεγαλύτερες του ένα (1) θα αντιστοιχούν σε συστήματα με απόδοση άνω του μέσου όρου και αντίστροφα. Αυτή η μέθοδος είναι επίσης ευαίσθητη στις ακραίες τιμές και μπορεί να παράγει δυνητικά αναξιόπιστα αποτελέσματα.

- Οι τιμές των μεμονωμένων δεικτών μπορούν να κανονικοποιηθούν βαθμολογώντας κάθε εγγραφή τους σύμφωνα με μια κοινή **κατηγορική κλίμακα (*categorical scale*)** που προσδιορίζεται εξαρχής είτε αριθμητικά/ποσοτικά (π.χ. 1, 2, 3 κλπ - βαθμός σπουδαιότητας) είτε ονομαστικά/ποιοτικά (π.χ. “αρνητική”, “ουδέτερη”, “θετική” επίδραση). Η βαθμολογία που αποδίδεται μπορεί να βασίζεται στη διάταξη των τιμών του εκάστοτε δείκτη αναφορικά με τα εκατοστημόρια της κατανομής του. Εφαρμόζοντας αυτή τη μέθοδο δεν λαμβάνονται υπόψη οι πληροφορίες σχετικά με τη διακύμανση των τιμών των επιμέρους δεικτών.

- Οι τιμές ενός δείκτη που υπερβαίνουν τη **μέση τιμή** της κατανομής του ή υπολείπονται αυτής μπορούν να αντικατασταθούν από τις τιμές ένα (1) και μείον ένα (-1) αντίστοιχα, ενώ ταυτόχρονα οι εγγραφές που προσδιορίζονται από μια τιμή που προσεγγίζει το μέσο όρο αντικαθίστανται με το μηδέν (0). Αυτή η μέθοδος κανονικοποίησης είναι απλή στην εφαρμογή της και δεν επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές μιας κατανομής. Ωστόσο, η υποκειμενικότητα ως προς τον καθορισμό των κριτηρίων κατηγοριοποίησης των τιμών και η παράλειψη της πληροφορίας σχετικά με τις απόλυτες τιμές των επιμέρους δεικτών αποτελούν τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου.

- Η κανονικοποίηση βάσει του **ποσοστού των ετήσιων διαφορών** διαδοχικών ετών αναπαριστά το ποσοστό μεταβολής σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Με τη μέθοδο αυτή, οι δείκτες διαμορφώνονται βάσει ποσοστιαίων ενδείξεων αντί των απολύτων τιμών. Ωστόσο, ο μετασχηματισμός των δεικτών είναι εφικτός μόνο στην περίπτωση που οι επιμέρους δείκτες είναι διαθέσιμοι για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.

4.1.2.6 Στάθμιση και άθροιση δεικτών

Με βάση την προτεινόμενη μεθοδολογία του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008), κατά το έκτο στάδιο δημιουργίας ενός σύνθετου δείκτη, αρχικά ορίζονται οι συντελεστές στάθμισης/βαρύτητας των μεμονωμένων δεικτών και στη συνέχεια οι τελευταίοι αθροίζονται, εφαρμόζοντας αντίστοιχα μια από τις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω. Ένα ευρύ πλήθος διαφορετικών τεχνικών μπορεί να αξιοποιηθεί για τη στάθμιση των επιμέρους δεικτών. Άλλες προέρχονται από στατιστικά μοντέλα, όπως για παράδειγμα η ανάλυση παραγόντων (*Factor analysis – FA*) κι άλλες από συμμετοχικές μεθόδους (*participatory methods*), όπως η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (*Analytic Hierarchy Process – AHP*). Οι τελευταίες, ειδικότερα, βασίζονται στις απόψεις των εμπειρογνωμόνων για τον προσδιορισμό των συντελεστών στάθμισης και την ανάδειξη της συμβολής των δεικτών ως προς τη διαμόρφωση του σύνθετου δείκτη. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, ο συντελεστής στάθμισης κάθε δείκτη ουσιαστικά αντανακλά την αξία και τη σπουδαιότητά του.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη στάθμιση των δεικτών διακρίνονται λοιπόν σε τρεις βασικές κατηγορίες: (1) **ίση στάθμιση**, (2) **στάθμιση βάσει στατιστικής ανάλυσης** και (3) **στάθμιση βάσει της κρίσης των εμπειρογνωμόνων**. Η ίση στάθμιση υποδηλώνει ότι όλοι οι δείκτες έχουν τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας και συνεπώς εφαρμόζεται όταν αυτοί θεωρούνται εξίσου σημαντικοί ή ακόμα όταν τα πρωτογενή δεδομένα θέτουν περιορισμούς ως προς την εφαρμογή μιας διαφορετικής μεθόδου. Εφαρμόζοντας τις μεθόδους στάθμισης βάσει στατιστικής ανάλυσης οι συντελεστές βαρύτητας των μεμονωμένων δεικτών αντλούνται από τις στατιστικές ιδιότητες των δεδομένων, ενώ οι συμμετοχικές μέθοδοι βασίζονται στους εμπειρογνώμονες, αρμόδιους φορείς ή ακόμη και σε άλλες ομάδες του πληθυσμού που καλούνται να εκφέρουν τις απόψεις τους σχετικά με τη σημαντικότητα των δεικτών και κατ' επέκταση να καθορίσουν τους αντίστοιχους συντελεστές στάθμισης (Nardo et al., 2005; Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Για τη δημιουργία των περισσότερων σύνθετων δεικτών εφαρμόζεται η **ίση στάθμιση** (*Equal weighting – EW*) σύμφωνα με την οποία όλοι οι επιμέρους δείκτες θεωρούνται ισάξιοι και κατά συνέπεια οι συντελεστές βαρύτητάς τους είναι ίσοι. Κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι μέσω αυτής της προσέγγισης ενδέχεται να υποβαθμιστούν ορισμένοι δείκτες ενώ κάποιοι άλλοι αντιθέτως να υπερεκτιμηθούν. Για παράδειγμα, σε περίπτωση όπου οι μεμονωμένοι δείκτες ταξινομούνται σε υπο-ομάδες οι οποίες προσδιορίζουν διαφορετικές διαστάσεις του φαινομένου που μελετάται, εκείνες που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο πλήθος δεικτών αποκτούν αυτόματα υψηλότερο συντελεστή βαρύτητας και αντίστροφα. Τότε, η εφαρμογή της ίσης στάθμισης μεταξύ των δεικτών δεν συνεπάγεται απαραίτητα και ίση στάθμιση των υπο-ομάδων στις οποίες υπάγονται.

Επιπλέον, έχοντας συμπεριλάβει στην ανάλυση δείκτες με υψηλό βαθμό συσχέτισης, μια υπο-ομάδα/διάσταση ενδέχεται να προσμετρηθεί διπλά στον οριστικό σύνθετο δείκτη. Εάν δηλαδή μια υπο-ομάδα περιλαμβάνει δύο δείκτες με ισχυρή συσχέτιση, για τους οποίους ορίζονται αντίστοιχα οι συντελεστές βαρύτητας w_1 και w_2 που είναι μεταξύ τους ίσοι, τότε ο συντελεστής βαρύτητας αυτής της υπο-ομάδας θα ισούται με $(w_1 + w_2)$.

Επομένως, δεν συνιστάται η επιλογή δεικτών με πολύ ισχυρή συσχέτιση για την ένταξή τους στην ίδια υπο-ομάδα, ενώ προτείνεται η προσαρμογή των συντελεστών στάθμισης ανάλογα με τον βαθμό συσχέτισης μεταξύ των επιμέρους δεικτών, αποδίδοντας μικρότερο βάρος σε ισχυρά συσχετιζόμενους δείκτες. Παρ' όλα αυτά, επειδή σχεδόν πάντα υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δεικτών ενός συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη, το όριο πέρα από το οποίο ο βαθμός συσχέτισης μπορεί να επιφέρει ανεπιθύμητα αποτελέσματα θα πρέπει να διευκρινίζεται ανά περίπτωση (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Από την άλλη μεριά, στατιστικές μέθοδοι όπως η **ανάλυση κύριων συνιστωσών** (*Principal Components Analysis – PCA*) και η **ανάλυση παραγόντων** (*Factor analysis – FA*), μπορούν να αξιοποιηθούν για την στάθμιση των μεμονωμένων δεικτών λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό συσχέτισής τους. Όπως γίνεται αντιληπτό, ο προσδιορισμος των συντελεστών στάθμισης δεν μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αυτών των δύο μεθόδων εάν διαπιστωθεί ότι οι δείκτες δεν σχετίζονται μεταξύ τους (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Ακόμη, είναι πιθανό να καθοριστούν μικρότεροι συντελεστές βαρύτητας για αρκετά κρίσιμους δείκτες, απλά επειδή δεν συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τους υπόλοιπους και το αντίστροφο. Ωστόσο, σε αντιδιαστολή με την ίση στάθμιση, εφαρμόζοντας τις συγκεκριμένες μεθόδους ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να προσμετρηθούν διπλά διαστάσεις του υπό μελέτη φαινομένου με ισχυρά συσχετιζόμενους δείκτες (Gan et al., 2017).

Άλλες στατιστικές μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν με σκοπό την ανεύρεση των συντελεστών στάθμισης είναι οι εξής (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008; Gan et al., 2017) :

- Ανάλυση παλινδρόμησης (*Regression analysis*)
- Data Envelopment Analysis (*DEA*)
- Benefit of the doubt approach (*BOD*)
- Unobserved component models (*UCMs*)

Όσον αφορά τις διαδικασίες στάθμισης που υλοποιούνται με γνώμονα την κρίση των εμπειρογνωμόνων, στη συναφή βιβλιογραφία εντοπίζονται τέσσερις βασικές συμμετοχικές μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου **'Budget Allocation'** (*BAL*), της **Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας** (*Analytic Hierarchy Process – AHP*), της **Συνδυαστικής Ανάλυσης** (*Conjoint analysis – CA*) και τέλος της **κοινής γνώμης** (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008; Gan et al., 2017).

Κατά την εφαρμογή της πρώτης, ειδικότερα, εμπειρογνώμονες με εκτενείς γνώσεις κι εμπειρία συνεργάζονται για να κατανείμουν ένα ορισμένο πλήθος "n" βαθμών στους επιμέρους δείκτες της εκάστοτε ανάλυσης. Ανάλογα με τη σπουδαιότητά τους οι δείκτες λαμβάνουν αντίστοιχα περισσότερους ή λιγότερους βαθμούς κι έπειτα οι συντελεστές βαρύτητας υπολογίζονται βάσει της κατανομής των τελευταίων. Παρόλο που η μέθοδος *BAL* χαρακτηρίζεται από διαφάνεια και σαφήνεια, τα αποτελέσματά της μπορεί να είναι αόριστα ή/και παραπλανητικά εάν οι απόψεις των συμμετεχόντων διαμορφώνονται σύμφωνα με άλλα κριτήρια.

Επιπρόσθετα, οι συντελεστές βαρύτητας των μεμονωμένων δεικτών μπορούν να προσδιοριστούν λαμβάνοντας υπόψη την κοινή γνώμη, σχετικά εύκολα και με μικρό κόστος, μέσω δημοσκοπήσεων όπου οι ενδιαφερόμενοι εκφράζουν τις προτιμήσεις τους υπό όρους "ανησυχίας" έτσι ώστε οι δείκτες με υψηλότερο βαθμό ανησυχίας να λαμβάνουν σχετικά μεγαλύτερους συντελεστές βαρύτητας και το αντίστροφο. Η μέθοδος αυτή εμφανίζεται εξαιρετικά χρήσιμη για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων υπό καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων καθώς διακρίνεται από συμμετοχικότητα και διαφάνεια. Εντούτοις, το γεγονός ότι οι συντελεστές βαρύτητας καθορίζονται με βάση την ανησυχία του κοινού και όχι τη σπουδαιότητα ενός δείκτη αποτελεί ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008; Gan et al., 2017).

Η Συνδυαστική Ανάλυση (*CA*), από την άλλη πλευρά, αποτελεί μια στατιστική μέθοδο ανάλυσης συνόλων δεδομένων με ποικίλες μεταβλητές, η οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον στον τομέα της διαφήμισης με στόχο τη μοντελοποίηση της αγοραστικής συμπεριφοράς του κοινού και των καταναλωτικών προτύπων. Γενικότερα, η μέθοδος *CA* βασίζεται στην αξιολόγηση ενός συνόλου εναλλακτικών σεναρίων τα οποία μπορεί να είναι διαφορετικά σύνολα τιμών για δεδομένο πλήθος δεικτών που περιγράφουν το φαινόμενο που εξετάζεται. Οι συμμετέχοντες στην ανάλυση καλούνται να αξιολογήσουν τα εναλλακτικά σενάρια ταξινομώντας αυτά με βάση τις προτιμήσεις τους ως προς τη χρησιμότητα των επιμέρους δεικτών, η οποία αποτυπώνει τη "μερική αξία" τους ("*part worth*"). Το σύνολο των "μερικών αξιών" καθορίζει τη συνολική αξία που αποδίδεται από τους συμμετέχοντες σε κάθε εναλλακτικό σενάριο, μεσω της οποίας προκύπτουν οι ζητούμενοι συντελεστές βαρύτητας. Ωστόσο, η διαδικασία στάθμισης των μεμονωμένων δεικτών με την μέθοδο *CA* είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εφαρμογή της, ενώ ταυτόχρονα απαιτείται ένα μεγάλο πλήθος ερωτηθέντων και κατά συνέπεια τα αποτελεσματα της ανάλυσης διαφοροποιούνται αισθητά (Gan et al., 2017).

Ακόμη, σύμφωνα με τις υποδείξεις του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, η τέταρτη μέθοδος που μπορεί να αξιοποιηθεί κατά τη διαδικασία στάθμισης, η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (*AHP*), συνιστά μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για τη λήψη αποφάσεων σε πολυκριτηριακά προβλήματα η οποία επίσης βασίζεται στις απόψεις των εμπειρογνωμόνων ή στην κοινή γνώμη. Η μέθοδος αυτή αναλύεται εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα της παρούσας εργασίας. Συνοψίζοντας, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι οι συμμετοχικές μέθοδοι στάθμισης δεν συνιστώνται για την διεξαγωγή συγκρίσεων σε παγκόσμια κλίμακα καθώς συχνά προκύπτουν αντιφατικά αποτελέσματα διότι οι απόψεις των ερωτηθέντων δεν ταυτίζονται απόλυτα (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία στάθμισης των μεμονωμένων δεικτών επιλέγοντας μια από τις προαναφερόμενες τεχνικές, σε επόμενο στάδιο αυτοί αθροίζονται ώστε να παραχθεί ο σύνθετος δείκτης λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές βαρύτητας που έχουν υπολογιστεί. Οι μέθοδοι άθροισης επίσης ποικίλουν ενώ μπορούν να διακριθούν σε τρεις ευρείες κατηγορίες (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008; Gan et al., 2017) :

α) **αθροιστικές μέθοδοι** (*additive aggregation methods*), β) **γεωμετρικές μέθοδοι** (*geometric aggregation methods*) και γ) **μη αντισταθμιστικές μέθοδοι** (*non-compensatory aggregation methods*).

Όσον αφορά τις αθροιστικές μεθόδους, οι συντελεστές στάθμισης όλων των επιμέρους στοιχείων/δεικτών της εκάστοτε ανάλυσης προστίθενται θεωρώντας πως δεν υπάρχει καμία συνέργεια ή σύγκρουση μεταξύ τους, μια υπόθεση η οποία σε πολλές περιπτώσεις δεν φαίνεται ρεαλιστική (Nardo et al., 2005). Συνεπώς, οι συντελεστές στάθμισης εκφράζουν τα ποσοστά υποκατάστασης (*substitution rates*) μεταξύ των δεικτών αντί των συντελεστών σπουδαιότητας (*importance coefficients*) καθώς η εγγενής φύση των μεθόδων αυτού του τύπου συνεπάγεται μια αντισταθμιστική λογική (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008). Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι η εφαρμογή των αθροιστικών μεθόδων δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου παρατηρούνται σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεμονωμένων δεικτών ή/και διαστάσεων του υπό μελέτη φαινομένου (Gan et al., 2017). Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι ο σταθμισμένος μέσος όρος (*weighted arithmetic mean*) συνιστά την πιο διαδεδομένη αθροιστική μέθοδο που αξιοποιείται ευρύτατα για τη δημιουργία σύνθετων δεικτών.

Από την άλλη μεριά, ο σταθμισμένος γεωμετρικός μέσος (*weighted geometric mean*) είναι η πιο ευρέως εφαρμοσμένη γεωμετρική μέθοδος. Σε αντίθεση με τις προαναφερόμενες, χρησιμοποιώντας τις γεωμετρικές μεθόδους άθροισης των επιμέρους στοιχείων/δεικτών γίνεται αποδεκτή η έννοια της αντιστάθμισης (*compensability*), ωστόσο υπό περιορισμούς και μόνο εντός ορισμένου πλαισίου. Κατά συνέπεια, το ενδεχόμενο να επέλθει πλήρης αντιστάθμιση μεταξύ των στοιχείων/δεικτών πολύ χαμηλής και πολύ υψηλής βαθμολογίας αντίστοιχα περιορίζεται αισθητά (Gan et al., 2017).

Εντούτοις, με τη χρήση τόσο των αθροιστικών όσο και των γεωμετρικών μεθόδων νοείται ότι οι συντελεστές στάθμισης αποτυπώνουν τις αντισταθμίσεις (*trade-offs*) μεταξύ των δεικτών (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008), υποδηλώνοντας ότι μια πιθανή αρνητική επίδραση ενός δείκτη ως προς την εξέλιξη του φαινομένου που εξετάζεται, αντισταθμίζεται από τη θετική επίδραση κάποιου άλλου δείκτη και αντίστροφα.

Σε περίπτωση όπου η έννοια της αντιστάθμισης δεν είναι αποδεκτή, συνιστάται η χρήση μιας διαφορετικής μεθόδου άθροισης σύμφωνα με την οποία οι συντελεστές στάθμισης αποτυπώνουν την αξία/σπουδαιότητα των μεμονωμένων δεικτών, αντί των αντισταθμίσεων μεταξύ αυτών (Gan et al., 2017). Ειδικότερα, εάν έχουν τεθεί αρκετοί διαφορετικοί στόχοι, οι οποίοι θεωρούνται εξίσου σημαντικοί, μια μη αντισταθμιστική προσέγγιση ίσως είναι καταλληλότερη. Ακόμη, όταν το υπό μελέτη φαινόμενο καθορίζεται από πολύ διαφορετικές διαστάσεις οι οποίες περιγράφονται αντίστοιχα από ετερογενείς δείκτες (π.χ. κλιματικούς, οικονομικούς κ.ά.), η επιλογή μιας μη αντισταθμιστικής μεθόδου άθροισης κρίνεται σκόπιμη. Για παράδειγμα, εάν η βελτίωση ενός οικονομικού δείκτη δεν δύναται να αντισταθμίσει την επιδείνωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, τότε ούτε οι αθροιστικές ούτε οι γεωμετρικές μέθοδοι άθροισης μπορούν να εφαρμοστούν αποδοτικά. Συνεπώς, προτείνεται η υιοθέτηση μιας μη αντισταθμιστικής προσέγγισης πολλαπλών κριτηρίων (*multi-criteria approach – MCA*) για τη διευθέτηση τέτοιων ζητημάτων (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Ανακεφαλαιώνοντας, κατά την εφαρμογή των αθροιστικών μεθόδων (*additive aggregation methods*) είναι δεδομένο ότι υπάρχει αντιστάθμιση μεταξύ του συνόλου των δεικτών, ενώ αυτή εξασθενεί για τους δείκτες με χαμηλές τιμές χρησιμοποιώντας τις γεωμετρικές μεθόδους άθροισης (*geometric aggregation methods*) (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008). Αυτό σημαίνει πως εάν, για παράδειγμα, το σύστημα που μελετάται παρουσιάζει χαμηλή βαθμολογία σ' ένα δείκτη, θα χρειαστεί πολύ υψηλότερη βαθμολογία σε κάποιον άλλο προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοσή του, εφαρμόζοντας μια γεωμετρική μέθοδο.

Τέλος, όσον αφορά τη στάθμιση των στοιχείων διαμόρφωσης ενός σύνθετου δείκτη, η διατήρηση των ιδίων συντελεστών βαρύτητας ίσως κρίνεται σκόπιμη σε περίπτωση όπου επιδιώκεται η εκτίμηση της διαχρονικής εξέλιξης ενός φαινομένου. Ωστόσο, εάν ο στόχος της ανάλυσης είναι να καθορίσει τους τομείς προτεραιότητας σε μια περιοχή ενδιαφέροντος, ή τις βέλτιστες πρακτικές, τότε οι συντελεστές βαρύτητας θα πρέπει απαραίτητα να διαφοροποιούνται ανά χρονική περίοδο (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

4.1.2.7 Ανάλυση αβεβαιότητας και ευαισθησίας

Κρίσιμες αποφάσεις πρέπει να ληφθούν καθ' όλα τα στάδια ανάπτυξης του ζητούμενου σύνθετου δείκτη, σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής τόσο των μεταβλητών/δεικτών που περιγράφουν το φαινόμενο που εξετάζεται όσο και των μεθόδων κανονικοποίησης, στάθμισης και άθροισης των επιμέρους στοιχείων. Συνεπώς, η ανάλυση αβεβαιότητας και ευαισθησίας κρίνεται ιδιαίτερα ωφέλιμη ώστε να διασφαλιστεί η διαφάνεια των σχετικών διαδικασιών και να παραχθεί ένας ορθός κι έγκυρος σύνθετος δείκτης. Όπως γίνεται αντιληπτό, η διεξαγωγή αυτών των αναλύσεων μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στη βελτίωση της δομής ενός σύνθετου δείκτη (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Ειδικότερα, μέσω της ανάλυσης αβεβαιότητας (*uncertainty analysis*) διερευνάται το σύνολο δεδομένων που αξιοποιείται σε κάθε στάδιο δημιουργίας του ζητούμενου σύνθετου δείκτη με σκοπό την ανεύρεση των κύριων πηγών αβεβαιότητας προκειμένου να αποσαφηνιστεί πως αυτές επιδρούν στο τελικό αποτέλεσμα. Οι πηγές αβεβαιότητας, επομένως, ιδανικά θα πρέπει να προσδιοριστούν τόσο κατά την επιλογή των μεμονωμένων δεικτών και τον έλεγχο της ποιότητας των διαθέσιμων δεδομένων, όσο και κατά τα στάδια κανονικοποίησης, στάθμισης και άθροισης των πρώτων.

Η προτεινόμενη ακολουθία βημάτων για τον εντοπισμό των πηγών αβεβαιότητας, με βάση τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008), περιλαμβάνει συνοπτικά τις εξής διαδικασίες :

1) Συμπερίληψη ή/και εξαίρεση μεμονωμένων δεικτών.
2) Μοντελοποίηση σφάλματος δεδομένων βάσει των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με την εκτίμηση διακύμανσης.
3) Χρήση εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης των δεδομένων για τον υπολογισμό των ελλειπουσών τιμών (π.χ. απλή ή πολλαπλή ανάθεση).
4) Χρήση εναλλακτικών μεθόδων κανονικοποίησης (π.χ. *min-max* ή *z-scores*).
5) Χρήση εναλλακτικών μεθόδων προσδιορισμού των συντελεστών στάθμισης/βαρύτητας (π.χ. στατιστικές ή συμμετοχικές μέθοδοι).
6) Χρήση εναλλακτικών μεθόδων στάθμισης των επιμέρους δεικτών (π.χ. μέσος όρος ή γεωμετρικός μέσος).
7) Χρήση εναλλακτικών συντελεστών στάθμισης.

Επιπρόσθετα, κατά το έβδομο στάδιο της μεθοδολογίας ανάπτυξης ενός σύνθετου δείκτη, διενεργείται η ανάλυση ευαισθησίας (*sensitivity analysis*) ώστε να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο οποιαδήποτε μεταβολή των επιμέρους δεικτών επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα, από αυτού του είδους την ανάλυση εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα καθώς προσδιορίζονται τα όρια μέσα στα οποία μπορούν να κυμανθούν οι τιμές μιας μεταβλητής του υπό μελέτη φαινομένου, δίχως να επέλθουν τροποποιήσεις στον οριστικό σύνθετο δείκτη. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας παρέχουν επίσης σημαντικές πληροφορίες αναφορικά με τις πηγές αβεβαιότητας των δεδομένων εισόδου φανερώνοντας πως αναμένεται να μεταβληθεί η αβεβαιότητα στο σύνθετο δείκτη σε περίπτωση όπου αυτές εξαλειφθούν (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας συχνά αναπαριστώνται μέσω διαγραμμάτων διασποράς (*scatter plots*) όπου οι τιμές του σύνθετου δείκτη κατανέμονται στον κατακόρυφο άξονα (Y) και οι πηγές αβεβαιότητας αντίστοιχα στον οριζόντιο άξονα (X).

4.1.2.8 Συσχέτιση σύνθετου δείκτη με τα επιμέρους στοιχεία

Ο σύνθετος δείκτης που προκύπτει ύστερα από την υλοποίηση των διαδικασιών που περιγράφηκαν σε όλα τα προηγούμενα στάδια, αποτελεί το τελικό προϊόν της ανάλυσης. Ωστόσο, η αποδόμηση αυτού στα συνθετικά του μέρη συντελεί στη βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου που εξετάζεται ανά περίπτωση, παρέχοντας εξίσου χρήσιμες πληροφορίες. Μέσω της διερεύνησης των στοιχείων διαμόρφωσης του σύνθετου δείκτη, πιο συγκεκριμένα, μπορεί να προσδιοριστεί η συμβολή κάθε μεμονωμένου δείκτη στο τελικό αποτέλεσμα. Με την αξιοποίηση τεχνικών ανάλυσης διαδρομής (*path analysis*) ή των δικτύων Bayes (*Bayesian networks*) είναι εφικτό να προσδιοριστούν οι σχέσεις μεταξύ ενός σύνθετου δείκτη και των δομικών του στοιχείων (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Ακόμη, με στόχο την ανάδειξη της συμβολής των επιμέρους στοιχείων ως προς το τελικό αποτέλεσμα, οι μεμονωμένοι δείκτες κρίνεται σκόπιμο να αναπαρασταθούν συνδυαστικά προκειμένου να εντοπιστούν τα πλεονεκτήματα κι οι αδυναμίες του συστήματος ενδιαφέροντος. Τα στοιχεία διαμόρφωσης του σύνθετου δείκτη, ειδικότερα, μπορούν να απεικονιστούν με ποικίλους τρόπους. Παρόλο που δεν έχει καθοριστεί ο βέλτιστος τρόπος αναπαράστασης, τα μέσα που συχνά προτιμώνται περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα ραβδογράμματα (*Bar charts*) και τα αραχνοειδή διαγράμματα (*Spider diagrams*).

4.1.2.9 Συσχέτιση σύνθετου δείκτη με συναφείς δείκτες

Οι σύνθετοι δείκτες περιγράφουν πολυδιάστατες έννοιες οι οποίες συνδέονται άρρηκτα με άλλα ευρέως γνωστά, μετρήσιμα φαινόμενα. Γι' αυτό, λοιπόν, κρίνεται σκόπιμο να διερευνηθούν οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ του παραγόμενου σύνθετου δείκτη και συναφών φαινομένων, με τη διεξαγωγή αναλύσεων συσχέτισης, ώστε να αξιολογηθεί η εγκυρότητα των τελικών αποτελεσμάτων της ανάλυσης (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008). Οι σχέσεις αυτές μπορούν να απεικονιστούν γραφικά και να αναδειχθούν μέσω των διαγραμμάτων διασποράς (*cross-plots*) για την κατασκευή των οποίων λαμβάνονται υπόψη οι τιμές του εκάστοτε σύνθετου δείκτη και της αντίστοιχης μεταβλητής ενδιαφέροντος.

Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι η ανάλυση συσχέτισης (*correlation analysis*) δεν πρέπει να συγχέεται με την ανάλυση αιτιότητας (*causality analysis*). Η ύπαρξη συσχέτισης απλώς υποδεικνύει ότι η διακύμανση των τιμών δύο εξεταζόμενων μεταβλητών είναι όμοια. Συνεπώς, οποιαδήποτε μεταβολή των τιμών μιας συσχετιζόμενης μεταβλητής δεν επιφέρει απαραίτητα τροποποιήσεις στο σύνθετο δείκτη και το αντίστροφο (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

4.1.2.10 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η διαδικασία ανάπτυξης ενός σύνθετου δείκτη αποσκοπεί στην επιτυχή διάδοση των σχετικών πληροφοριών στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, αρμόδιους φορείς ή/και σε άλλους ενδιαφερόμενους. Υπό αυτό το πρίσμα, η επιλογή των κατάλληλων τεχνικών απεικόνισης και μέσων παρουσίασης των τελικών αποτελεσμάτων είναι υψίστης σημασίας. Ειδικότερα, με τη χρήση συγκεντρωτικών πινάκων, αν και παρέχονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της εκάστοτε ανάλυσης, συχνά αποκρύπτονται χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες μπορούν να γίνουν άμεσα αντιληπτές και πλήρως κατανοητές, για παράδειγμα, μέσω των γραφικών παραστάσεων.

Σε τελικό στάδιο, επομένως, ο αναλυτής καλείται να παρουσίασει με πλήρη σαφήνεια το σύνολο των στοιχείων που περιγράφουν το φαινόμενο που μελετάται ανά περίπτωση, επιλέγοντας ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα μέσα απεικόνισης (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008):

- ***Πίνακας*** (*Tabular format*)

  Ένας πίνακας κατάταξης όπου οι τελικές τιμές του σύνθετου δείκτη εμφανίζονται ανά σύστημα/περιοχή ενδιαφέροντος αποτελεί τον πιο απλό και κοινό τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Εάν πρόκειται για συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ διαφόρων συστημάτων, συνήθως αυτά διατάσσονται στον πίνακα κατά φθίνουσα σειρά για την επίτευξη της διαχρονικής παρακολούθησης των αλλαγών στην απόδοσή τους αναφορικά με τη διακύμανση του σύνθετου δείκτη.

- ***Ραβδόγραμμα*** (*Bar chart*)

  Ο σύνθετος δείκτης μπορεί να αναπαρασταθεί μέσω ενός ραβδογράμματος όπου το/α σύστημα/τα ενδιαφέροντος θα εμφανίζεται/ονται στον κατακόρυφο άξονα (Y) ενώ οι τιμές του σύνθετου δείκτη, στον οριζόντιο άξονα (X) της γραφικής παράστασης. Επιπλέον, στο ίδιο διάγραμμα μπορεί να συμπεριληφθεί η μέση απόδοση των υπό μελέτη περιοχών ευνοώντας τη διεξαγωγή συγκρίσεων. Η συμβολή των μεμονωμένων δεικτών μπορεί να αναδειχθεί εξίσου μέσω των ραβδογραμμάτων, ενώ ακόμη με τη χρήση διαφορετικών χρωμάτων είναι εφικτό να διακριθούν οι χώρες με υψηλότερη ή χαμηλότερη απόδοση αντίστοιχα.

- ***Γράφημα γραμμής*** (*Line chart*)

  Τα γραφήματα γραμμών μπορούν να αξιοποιηθούν για την αποτύπωση της μεταβολής του σύνθετου δείκτη, ή/και των επιμέρους στοιχείων αυτού, σε βάθος χρόνου. Κατά την υλοποίηση μιας συγκριτικής μελέτης, πιο συγκεκριμένα, οι τιμές του σύνθετου δείκτη ή των μεμονωμένων δεικτών αναπαριστώνται με διαφορετικά χρώματα και σημειακά σύμβολα για κάθε σύστημα/περιοχή ενδιαφέροντος. Το γράφημα διαμορφώνεται με βάση: α) τις απόλυτες τιμές, β) την απόλυτη μεταβολή (π.χ. σε σχέση με το προηγούμενο έτος), γ) τις κατηγορίες απόδοσης, ή δ) την ποσοστιαία μεταβολή του σύνθετου δείκτη.

- ***Διάγραμμα τάσης*** (*Trend diagram*)

  Οι παρατηρούμενες τάσεις σχετικά με την απόδοση ενός συστήματος, όπως αυτές προσδιορίζονται μέσω του εκάστοτε σύνθετου δείκτη, μπορούν να παρουσιαστούν με αυτού του είδους τα διαγράμματα. Όταν ο ίδιος σύνθετος δείκτης είναι διαθέσιμος για τουλάχιστον δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους, είναι εφικτό να απεικονιστούν γραφικά τόσο η απόλυτη όσο και η ποσοστιαία μεταβολή του.

4.2 Επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων

4.2.1 Πολυκριτηριακή ανάλυση

Η πολυκριτηριακή ανάλυση (*multicriteria analysis*) περιγράφεται από ένα σύνολο μεθόδων που ευνοούν την σύνθεση πολλαπλών και ταυτόχρονα αντικρουόμενων κριτηρίων, καθιστώντας εφικτή την περιγραφή, κατάταξη κι επιλογή ενός συνόλου εναλλακτικών ενεργειών, με κύριο στόχο την επίλυση σύνθετων προβλημάτων (Zopounidis, 1999). Η πολυκριτηριακή προσέγγιση ενός προβλήματος βασίζεται στην επίλυση αυτού μέσω της διερεύνησης κι αξιολόγησης ποικίλων παραγόντων και κριτηρίων που επιδρούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Triantaphyllou et al., 1998).

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, η διαδικασία λήψης αποφάσεων περιγράφεται σε πρώτο στάδιο από τη διατύπωση του προβλήματος προς επίλυση κι έπειτα από το στάδιο του σχεδιασμού κατά το οποίο το πρόβλημα αναλύεται διεξοδικά, ενώ ταυτόχρονα εξετάζονται όλοι οι πιθανοί τρόποι δράσης με τους οποίους προκύπτουν οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις.

Σε επόμενο στάδιο επιλέγεται ο καταλληλότερος τρόπος δράσης ο οποίος οδηγεί εν τέλει στην υιοθέτηση της αντίστοιχης εναλλακτικής λύσης όπου και ολοκληρώνεται η διαδικασία λήψης της απόφασης (Simon, 1960).

Όπως γίνεται αντιληπτό, η πολυκριτηριακή προσέγγιση συμβάλλει αποτελεσματικά στην ανάδειξη της ορθότερης απόφασης ως προς ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα, λαμβάνοντας υπόψη ένα ευρύ σύνολο διακριτών επιλογών. Ειδικότερα, όλα τα επιμέρους κριτήρια που αφορούν ένα σύνθετο πρόβλημα λήψης απόφασης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη συνάφεια τους και αναλύονται περαιτέρω σε υπο-κριτήρια. Κατά αυτό τον τρόπο προωθείται η διαχείριση κι επεξεργασία ποικίλων δεδομένων συγχρόνως, με απώτερο σκοπό την ιεράρχηση των κριτηρίων που συμβάλλουν στη λήψη αποφάσεων και κατά συνέπεια τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης του εκάστοτε προβλήματος (European Commission, 2013).

Η πολυκριτηριακή ανάλυση συνιστά ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο λήψης αποφάσεων εδώ και τουλάχιστον πέντε δεκαετίες όπου αξιοποιείται ευρέως σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους. Συχνά χρησιμοποιείται για τη σύνθεση διαφορετικών απόψεων σχετικά με ένα πρόβλημα προς επίλυση προκειμένου να διερευνηθούν αμφιλεγόμενες καταστάσεις ώστε να αναδειχθούν οι τομείς προτεραιότητας. Ακόμη, η πολυκριτηριακή ανάλυση παρέχει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να αξιολογούν συνδυαστικά πλήρως αντιφατικά κριτήρια, γεγονός που ευνοεί τη διατύπωση εμπεριστατωμένων κρίσεων αναφορικά με σύνθετα προβλήματα.

Στη βιβλιογραφία εντοπίζεται πλήθος μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης που εφαρμόζεται έως σήμερα για τη λήψη αποφάσεων σε πολύπλευρα ζητήματα. Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω οι ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι :

- MAUT (Multi-Attribute Utility Theory)
- MAVT (Multi-Attribute Value Theory)
- UTA (Utility Theory Additive)
- SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique)
- SAW (Simple Additive Weighting)
- OWA (Ordered Weighted Averaging)
- DEA (Data Envelopment Analysis)

- PROMETHEE I-II (Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation)
- ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite)
- AHP (Analytic Hierarchy Process)

Από το σύνολο των προαναφερθέντων μεθόδων, στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) η οποία αξιοποιείται σε διεθνές επίπεδο ως προς τη λήψη αποφάσεων αλλά και την επίλυση χωρικών προβλημάτων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.).

4.2.2 Εισαγωγή στην Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) αποτελεί μια μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Thomas L. Saaty κατά τη δεκαετία του 1970 με σκοπό την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σχετικά με προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων. Με την εφαρμογή της μεθόδου επιδιώκεται η ανάπτυξη ρεαλιστικών μοντέλων στα οποία περιλαμβάνονται όλα εκείνα τα στοιχεία/κριτήρια που διαμορφώνουν τις συνθήκες για τη λήψη ορθότερων αποφάσεων αναφορικά με σύνθετα προβλήματα. Στα συγκεκριμένα μοντέλα προσμετρώνται τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές μεταβλητές, γεγονός που διαφοροποιεί την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία από άλλες μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης μιας ειδικής κλίμακας που δημιουργήθηκε ώστε να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα μεταξύ των δεδομένων, καθιστώντας όλες τις συμβαλλόμενες μεταβλητές μετρήσιμες για να είναι εφικτή η οργάνωσή τους σε μια ιεραρχία.

Η μέθοδος *AHP* βασίζεται γενικότερα στη διεξαγωγή συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων (*pairwise comparisons*) τα οποία συνθέτουν το εκάστοτε πρόβλημα προς επίλυση επιτρέποντας παράλληλα, ως ένα βαθμό, την ασυνέπεια (*inconsistency*) μεταξύ των κρίσεων των συμμετεχόντων στην ανάλυση. Οι δυαδικές συγκρίσεις βαθμονομούνται βάσει μιας προκαθορισμένης αριθμητικής κλίμακας υποδεικνύοντας τον βαθμό υπεροχής ενός κριτηρίου της ιεραρχίας σε σύγκριση με κάποιο άλλο. Επιπλέον, οι συγκρίσεις αυτές αναπαρίστανται υπό τη μορφή ενός τετραγωνικού πίνακα (*square matrix*), οι ιδιότητες του οποίου καθορίζουν σε τελικό στάδιο το συντελεστή βαρύτητας κάθε κριτηρίου του προβλήματος

μέσω του προσδιορισμού των ιδιοδιανυσμάτων (*eigenvectors*) των παραγόμενων πινάκων. Ο υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητας ή αλλιώς προτεραιοτήτων (*priorities*), όπως χαρακτηριστικά αναφέρονται, συνιστά και το βασικό στόχο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.

Σύμφωνα με τον R.W. Saaty (1987) η μέθοδος *AHP* διέπεται από τρεις θεμελιώδεις αρχές που αφορούν την κατάτμιση του εκάστοτε προβλήματος στα συστατικά του μέρη (*decomposition*), τη διεξαγωγή δυαδικών συγκρίσεων (*comparative judgments*) μεταξύ των στοιχείων που το προσδιορίζουν και τέλος τη σύνθεση των προτεραιοτήτων (*synthesis of priorities*) αυτών των στοιχείων. Η πρώτη, ειδικότερα, περιγράφει την ανάλυση του προβλήματος στα επιμέρους στοιχεία του και την οργάνωση αυτών σε επίπεδα διαμορφώνοντας μια ιεραρχική δομή. Στην κορυφή της ιεραρχίας που συνιστά το πρώτο επίπεδο, βρίσκεται ο κύριος στόχος του προβλήματος δηλαδή η απόφαση που επιδιώκεται να ληφθεί. Στο δεύτερο και τρίτο επίπεδο κατατάσσονται τα κριτήρια που συμβάλλουν στην επίτευξη του στόχου και τα υπο-κριτήρια αυτών αντίστοιχα, ενώ στο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας παραθέτονται τα εναλλακτικά σενάρια του προβλήματος. Συνεπώς, τα στοιχεία ταξινομούνται στα διαφορετικά επίπεδα της ιεραρχικής δομής από το γενικότερο και σε ορισμένες περιπτώσεις αβέβαιο, στο ειδικότερο.

Όσον αφορά τις συγκρίσεις μεταξύ των επιμέρους στοιχείων, αυτές διεξάγονται ανά ζεύγη κριτηρίων και υπο-κριτηρίων αντίστοιχα σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας με σκοπό να αναδειχθεί η σχετική σημασία τους (*relative importance*) με βάση το στοιχείο που συνδέονται στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία τετραγωνικών πινάκων ανά κατηγορία κριτηρίων και υπο-κριτηρίων στους οποίους αποτυπώνονται οι κρίσεις (*judgements*) των συμμετεχόντων στην ανάλυση. Μέσω της επεξεργασίας των καταχωρήσεων στους πίνακες προκύπτουν και τα σχετικά βάρη του συνόλου των στοιχείων που περιγράφουν το πρόβλημα προς επίλυση, εφαρμόζοντας μια καθιερωμένη μέθοδο για τον υπολογισμό των ιδιοδιανυσμάτων που αντιστοιχούν σε κάθε τετραγωνικό πίνακα.

Βάσει της τρίτης αρχής της μεθόδου *AHP*, η σύνθεση των προτεραιοτήτων που προκύπτουν ύστερα από μια σειρά διαδικασιών οδηγεί στη διαμόρφωση της τελικής κατάταξης των επιμέρους κριτηρίων και υπο-κριτηρίων στην ιεραρχία σε συνάρτηση με τον κύριο στόχο. Οι καθολικές προτεραιότητες (*global priorities*), πιο συγκεκριμένα, καθορίζονται πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων του δεύτερου επιπέδου της ιεραρχίας με εκείνους των αντίστοιχων υπο-κριτηρίων στα οποία αναλύονται σε επόμενο επίπεδο.

Ως αποτέλεσμα, προκύπτουν οι καθολικές προτεραιότητες των στοιχείων του τρίτου επιπέδου της ιεραρχίας, οι οποίες χρησιμοποιούνται ομοίως ώστε να υπολογιστούν οι αντίστοιχες για τα στοιχεία που κατατάσσονται στο αμέσως επόμενο επίπεδο και ούτω καθεξής. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν προσδιοριστούν οι καθολικές προτεραιότητες του συνόλου των κριτηρίων και υπο-κριτηρίων οι οποίες υποδηλώνουν την συμβολή αυτών ως προς την επίτευξη του στόχου που έχει τεθεί.

Σε αυτό το πλαίσιο, τα στάδια υλοποίησης της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*) συνοψίζονται στα εξής :

- Αποδόμηση του προβλήματος σε ένα ιεραρχικό μοντέλο και προσδιορισμός του σκοπού της ανάλυσης.
- Προσδιορισμός συναφών κριτηρίων που συμβάλλουν στην εκπλήρωση του σκοπού ως προς τη λήψη της απόφασης και δόμηση της ιεραρχίας ανά κατηγορία κριτηρίων.
- Πραγματοποίηση συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων.
- Υπολογισμός προτεραιοτήτων/συντελεστών βαρύτητας των επιμέρους κριτηρίων και διεξαγωγή ελέγχου συνέπειας.
- Υπολογισμός καθολικών προτεραιοτήτων.
- Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων σύμφωνα με τις προτεραιότητες που προσδιορίστηκαν.

4.2.2.1 Βασικά στάδια υλοποίησης της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται εκτενέστερα τα κύρια βήματα ως προς την επίλυση ενός προβλήματος υπό καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων με τη χρήση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*) (T. L. Saaty, 1980; R. W. Saaty, 1987). Ειδικότερα, το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την αποδόμηση του πολυκριτηριακού προβλήματος στα συστατικά του μέρη καθώς και τον προσδιορισμό του απώτερου σκοπού της ανάλυσης όπως επίσης των επιμέρους στοιχείων/κριτηρίων που συμβάλλουν ως προς την επίτευξη του τελευταίου. Το σύνολο των στοιχείων που περιγράφουν το πρόβλημα προς επίλυση οργανώνεται βάσει μιας ιεραρχικής δομής στην κορυφή της οποίας κατατάσσεται ο απώτερος στόχος που αναλύεται περαιτέρω στα συναφή κριτήρια λήψης αποφάσεων στο ακόλουθο επίπεδο της ιεραρχίας. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να αναλυθούν εξίσου σε υπο-κριτήρια τα οποία ταξινομούνται σε επόμενο επίπεδο της ιεραρχικής δομής και ούτω καθεξής. Στο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας βρίσκονται τα εναλλακτικά σενάρια (*alternatives*), εφόσον αυτά έχουν καθορίστει, τα οποία αναφέρονται στις διαφορετικές πτυχές του εκάστοτε προβλήματος.

Σε δεύτερο στάδιο, πραγματοποιούνται συγκρίσεις ανά ζεύγος κριτηρίων και υπο-κριτηρίων ώστε να αναδειχθεί η σημαντικότητά τους αναφορικά με την κατηγορία στην οποία εντάσσονται και με βάση τον απώτερο στόχο της ανάλυσης. Οι συγκρίσεις διεξάγονται μεμονωμένα τόσο για κάθε επίπεδο της ιεραρχικής δομής όσο και για κάθε κατηγορία κριτηρίων ή υπο-κριτηρίων που βρίσκεται σε αυτό αντίστοιχα. Ειδικότερα, το σύνολο των δυαδικών συγκρίσεων ανά κατηγορία αναπαρίσταται μέσω ενός τετραγωνικού πίνακα (*square matrix*). Στη συνέχεια υλοποιούνται εξίσου οι συγκρίσεις ανά ζεύγος εναλλακτικών σεναρίων, εάν έχουν προσδιοριστεί, ως προς τα προκαθορισμένα κριτήρια και υπο-κριτήρια αντίστοιχα. Σε αυτό το σημείο, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί επίσης ότι για έναν τετραγωνικό πίνακα με n πλήθος στοιχείων διεξάγονται συνολικά [n(n-1)/2] συγκρίσεις.

Η διαδικασία που περιγράφηκε έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τετραγωνικών πινάκων όπου αποτυπώνονται οι κρίσεις των υπεύθυνων λήψης αποφάσεων. Αυτές εκφράζονται βάσει της αριθμητικής κλίμακας που προτάθηκε από τον R. W. Saaty (1987) η οποία περιλαμβάνει διαβαθμίσεις που αντιστοιχούν στις τιμές 1, 3, 5, 7 και 9. Αναλυτικότερα, κάθε κρίση (*judgement*) αντιπροσωπεύει τον βαθμό κυριαρχίας ενός στοιχείου της στήλης στο αριστερό τμήμα, έναντι του αντίστοιχου στοιχείου της γραμμής που βρίσκεται στην κορυφή του πίνακα συγκρίσεων.

Ένταση της σημαντικότητας σε απόλυτη κλίμακα	Περιγραφή	Ερμηνεία
1	Ίση σημασία	Τα δύο στοιχεία συμβάλλουν εξίσου στην επίτευξη του στόχου.
3	Ήπια σημασία	Ένα στοιχείο υπερτερεί ελαφρώς έναντι κάποιου άλλου.
5	Υψηλή σημασία	Ένα στοιχείο υπερτερεί σημαντικά έναντι κάποιου άλλου.
7	Πολύ υψηλή σημασία	Ένα στοιχείο κυριαρχεί έναντι κάποιου άλλου.
9	Ύψιστη σημασία	Ένα στοιχείο υπερτερεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό έναντι κάποιου άλλου.
2, 4, 6, 8	Ενδιάμεσες τιμές μεταξύ δύο επιπέδων σημαντικότητας	Απαιτείται συμβιβασμός σχετικά με τον βαθμό προτίμησης.
Αντίστροφοι αριθμοί	Αν σε ένα στοιχείο ανατεθεί μια από τις παραπάνω τιμές συγκρινόμενο με κάποιο άλλο, τότε στο δεύτερο ανατίθεται η αντίστροφη τιμή	

Πίνακας 4.1 Θεμελιώδης κλίμακα Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας[7].

Εάν κάποιο στοιχείο της αριστερής στήλης του πίνακα δεν υπερισχύει σε σύγκριση με ένα άλλο στοιχείο στην κορυφή αυτού, τότε εισάγεται η αντίστροφη τιμή στην αντίστοιχη θέση του πίνακα. Συνεπώς, οι κρίσεις αντανακλούν τον βαθμό σπουδαιότητας ενός κριτηρίου ή υπο-κριτηρίου έναντι κάποιου άλλου, αναφορικά με τον στόχο ή το κριτήριο αντίστοιχα που ταξινομείται στο προηγούμενο επίπεδο της ιεραρχικής δομής. Η θεμελιώδης κλίμακα Saaty παρουσιάζεται λεπτομερώς στον Πίνακα 4.1 όπου δίνεται η ερμηνεία κάθε πιθανής τιμής που μπορεί να οριστεί για μια δυαδική σύγκριση.

7 Πηγή: R. W. Saaty, 1987

Κατά τη διεξαγωγή των συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων μπορούν να προσδιοριστούν εξίσου ενδιάμεσες τιμές της εν λόγω κλίμακας, σε περίπτωση που ένα κριτήριο περιγράφεται ορθότερα από μια τιμή που αντανακλά το επίπεδο σημαντικότητας μεταξύ δύο προσδιορισμένων επιπέδων. Συνοψίζοντας, οι κρίσεις των συμμετεχόντων στην ανάλυση περιγράφονται από μια τιμή που ανήκει στο σύνολο S πεπερασμένων θετικών πραγματικών αριθμών το οποίο ορίζεται παρακάτω ως εξής :

$$S = \{ 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις καταχωρήσεις στους πίνακες δυαδικών συγκρίσεων αναφορικά με τη σχετική σημασία των επιμέρους στοιχείων, στο τρίτο στάδιο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας καθορίζεται η ισχύς της επίδρασης των στοιχείων κάθε επιπέδου ως προς εκείνα του αμέσως ανώτερου στην ιεραρχική δομή. Με άλλα λόγια, σε αυτό το στάδιο υπολογίζονται οι προτεραιοτήτες (*priorities*) των κριτηρίων, υπο-κριτηρίων και εναλλακτικών σεναρίων που έχουν προσδιοριστεί για την εκπλήρωση του απώτερου στόχου του προβλήματος προς επίλυση. Ξεκινώντας από το χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας σταδιακά καθορίζονται οι προτεραιότητες όλων των στοιχείων μέσω των συγκρίσεων που έχουν πραγματοποιηθεί, αξιοποιώντας τους τετραγωνικούς πίνακες και τις ιδιότητες τους.

Για τον σκοπό αυτό, υπολογίζονται οι προτεραιότητες ή αλλιώς οι συντελεστές βαρύτητας των επιμέρους στοιχείων, για κάθε τετραγωνικό πίνακα συγκρίσεων, με βάση τις τιμές που ανατέθηκαν σε προηγούμενο στάδιο ανάλογα με τον εκτιμώμενο βαθμό σπουδαιότητάς τους. Ειδικότερα, η διαδικασία εύρεσης του ιδιοδιανύσματος w υλοποιείται μέσω της επίλυσης της συνάρτησης (R. W. Saaty, 1987) :

$$A\, w \;=\; \lambda_{max}\, w$$

όπου A ο πίνακας των δυαδικών συγκρίσεων (*matrix of pairwise comparisons*)
και λ_{max} η μέγιστη ιδιοτιμή του (*principal eigenvalue*)

Η μέθοδος προσδιορισμού του διανύσματος των προτεραιοτήτων w περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω ως εξής:

Έστω $C_1,...,C_n$ τα στοιχεία ενός επιπέδου της καθορισμένης ιεραρχίας και $w_1,...,w_n$ οι προτεραιότητες/συντελεστές βαρύτητας αυτών αντίστοιχα που αντανακλούν την επίδραση τους ως προς κάποιο άλλο στοιχείο του αμέσως ανώτερου επιπέδου.

Επιπλέον, ως a_{ij} αναπαρίσταται η τιμή της δυαδικής σύγκρισης που αποτυπώνει τη σχετική σημασία του στοιχείου C_i έναντι του C_j στον τετραγωνικό πίνακα A, βάσει της προτεινόμενης αριθμητικής κλίμακας.

- Αρχικά, υπολογίζεται το άθροισμα της κάθε γραμμής του πίνακα συγκρίσεων A :

$$s_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}$$

- Έπειτα, για κάθε γραμμή του πίνακα A καθορίζονται οι προτεραιότητες w_i από το πηλίκο :

$$w_i = s_i \,/ \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}$$

βάσει του οποίου προκύπτει το κανονικοποιημένο διάνυσμα $\hat{w}$.

Σε κάθε περίπτωση ισχύει ότι : $\sum_i w_i = 1$

- Ο πίνακας A υψώνεται στο τετράγωνο και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ώσπου δυο διαδοχικές εκτιμήσεις του διανύσματος $\hat{w}$ πλέον δε διαφοροποιούνται.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία προσδιορισμού του διανύσματος των προτεραιοτήτων w για κάθε πίνακα συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων και υπο-κριτηρίων, υπολογίζονται όμοια και οι προτεραιότητες για κάθε εναλλακτικό σενάριο.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός των καθολικών προτεραιοτήτων (*global priorities*) ώστε να ιεραρχηθούν τα εναλλακτικά σενάρια αναφορικά με τον απώτερο στόχο της ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, οι καθολικές προτεραιότητες των εναλλακτικών σεναρίων δίνονται από τη συνάρτηση :

$$P_i = \Sigma_j w_j y_{ij}$$

όπου w : ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου j

και y : ο συντελεστής βαρύτητας της εναλλακτικής i σε σχέση με το κριτήριο j

Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των διαδικασιών που περιγράφηκαν, καθίσταται σαφές ότι οι ιδιότητες του τετραγωνικού πίνακα που περιλαμβάνει τις τιμές των δυαδικών συγκρίσεων αποτελούν κρίσιμο παράγοντα ως προς την εφαρμογή της μεθόδου *AHP*. Σε αυτό το πλαίσιο, επισημαίνεται πως η συνοχή μεταξύ των κρίσεων των συμμετεχόντων της εκάστοτε ανάλυσης σχετίζεται άρρηκτα με τον βαθμό συνέπειας που υπολογίζεται για κάθε πίνακα κατά τα προηγούμενα στάδια. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι ο όρος "*συνέπεια*" (*consistency*) υποδηλώνει πως στην περίπτωση όπου επαρκές ποσοστό των στοιχείων μιας σειράς του πίνακα δυαδικών συγκρίσεων είναι γνωστό, τότε τα υπόλοιπα στοιχεία μπορούν να εξαχθούν λογικά βάσει αυτού.

Στο τελικό στάδιο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας λοιπόν διεξάγεται ο έλεγχος ως προς τη συνέπεια μεταξύ των σχετικών πινάκων η οποία προκύπτει εξ ορισμού από τη μέγιστη ιδιοτιμή τους (*principal eigenvalue*). Με σκοπό την αξιολόγηση του βαθμού συνέπειας στους πίνακες που αναπαριστούν τις συγκρίσεις ανά ζεύγη κριτηρίων δημιουργήθηκε ο δείκτης συνέπειας (*Consistency Index – CI*), ο οποίος προσδιορίζεται ως εξής :

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

όπου λ_{max} : η μέγιστη ιδιοτιμή και

n : το πλήθος των στοιχείων/κριτηρίων του πίνακα δυαδικών συγκρίσεων

Επιπλέον, για τον προσδιορισμό του βαθμού συνέπειας ενός τυχαία παραγόμενου πίνακα Α με καταχωρήσεις που περιγράφονται από τη θεμελιώδη κλίμακα Saaty, ορίστηκε ο τυχαίος δείκτης *Random Index* (*RI*) ο οποίος υπολογίστηκε από ένα ευρύ σύνολο τυχαίων θετικά ορισμένων πινάκων δυαδικών συγκρίσεων αυξανόμενης τάξης. Γι' αυτό και ο εν λόγω δείκτης αναφέρεται επίσης ως "*Random Consistency Index*".

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random Index (RI)	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Πίνακας 4.2 Τιμές του δείκτη *RI* ανά τάξη μεγέθους πίνακα[8].

8 Πηγή: R. W. Saaty, 1987

Ειδικότερα, βάσει του τυχαίου δείγματος πινάκων προέκυψαν οι τιμές του δείκτη *RI* υπολογίζοντας τον μέσο όρο του δείκτη συνέπειας για κάθε τάξη. Ο λόγος του δείκτη *CI* προς τον τυχαίο δείκτη (*RI*) της αντίστοιχης τάξης καθορίζει τον λόγο συνέπειας (*Consistency Ratio – CR*) ο οποίος προσδιορίζεται αντίστοιχα από την σχέση CR = CI/RI. Με τον υπολογισμό του λόγου συνέπειας (*CR*) ολοκληρώνεται η διαδικασία ελέγχου της συνέπειας των κρίσεων του πίνακα που διερευνάται αποδίδοντας το μέτρο της μέσης παρέκκλισής τους από τη συνέπεια. Πρέπει να σημειωθεί ότι ως αποδεκτό όριο του μέτρου αυτού έχει οριστεί από τον Saaty η τιμή 0.10 ενώ σε αντίθετη περίπτωση κρίνεται αναγκαία η αναθεώρηση του πλαισίου της ιεραρχίας ή/και των δεδομένων εισόδου κατά το δεύτερο στάδιο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.

4.2.2.2 Πλεονεκτήματα της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας

Στο πλαίσιο εφαρμογής της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*), αρχικά πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη ιεραρχιών εμφανίζει ένα βασικό πλεονέκτημα έναντι άλλων μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης (*MultiCriteria Decision Analysis - MCDA*). Ειδικότερα, η οργάνωση των επιμέρους στοιχείων ενός προβλήματος πολλαπλών κριτηρίων βάσει μιας ιεραρχικής δομής αποδεικνύεται εξαιρετικά χρήσιμη ως προς την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο επιδρούν οι μεταβολές των προτεραιοτήτων των υψηλότερων επιπέδων στις προτεραιότητες των στοιχείων που βρίσκονται στα χαμηλότερα επίπεδα (T. L. Saaty, 1980).

Επιπρόσθετα, η ευρεία χρήση της μεθόδου *AHP* ως εργαλείο εργαλείο λήψης αποφάσεων σε πολυκριτηριακές αναλύσεις συμβάλλει στη διερεύνηση των επιμέρους κριτηρίων μέσω της ιεραρχικής δόμησης ενός σύνθετου προβλήματος. Καθώς το πρόβλημα δομείται σε μια ιεραρχία, λαμβάνονται υπόψη ποικίλες διαστάσεις του κι εξετάζεται η σημαντικότητα των προκαθορισμένων κριτήριων αναφορικά με τους σκοπούς της μελέτης.

Η υλοποίηση των συγκρίσεων ανά ζεύγη (*pairwise comparisons*) επιτρέπει τον προσδιορισμό και κατά συνέπεια τη διόρθωση ασυνεπειών (*inconsistencies*) στα δεδομένα όπως επίσης την ερμηνεία των υποκειμενικών κρίσεων ή προτιμήσεων μέσω της ποσοτικοποίησής τους με τη χρήση μαθηματικών συναρτήσεων. Συνεπώς, η μέθοδος αυτή προωθεί την ορθολογική λήψη αποφάσεων καθιστώντας τη διαδικασία και τα συμπεράσματα της ανάλυσης περισσότερο σαφή κι εύλογα (Goepel, 2018).

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία συνιστά μια απλή και ευέλικτη διαδικασία ενώ ταυτόχρονα, σε αντίθεση με άλλες συμμετοχικές μεθόδους, παρέχει ένα χρήσιμο εργαλείο στους εμπειρογνώμονες και υπεύθυνους λήψης αποφάσεων ώστε να επανεξετάσουν ή να αναθεωρήσουν τις θέσεις τους (Ho et al., 2010). Τέλος, η μέθοδος *AHP* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση είτε ποιοτικών είτε ποσοτικών δεδομένων (Nardo et al., 2005).

4.2.3 Διαδικτυακή εφαρμογή BPMSG's AHP Online System

Η διαδικτυακή εφαρμογή *Business Performance Management Singapore's (BPMSG's) AHP Online System*[9] αναπτύχθηκε με σκοπό την υποστήριξη της ορθολογικής λήψης αποφάσεων για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων βάσει της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*Analytic Hierarchy Process – AHP*). Το ειδικά διαμορφωμένο λογισμικό υποστηρίζει τον προσδιορισμό και την αναπαράσταση της ιεραρχικής δομής ενός πολυκριτηριακού προβλήματος όπως επίσης τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων που αντιστοιχούν στα συναφή κριτήρια αλλά και την περαιτέρω αξιολόγηση ενός συνόλου εναλλακτικών διαστάσεων.

Ειδικότερα, μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής *BPMSG's AHP Online System* παρέχεται ένα εργαλείο (*AHP priority calculator*) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή δυαδικών συγκρίσεων και τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων των επιμέρους κριτηρίων του εκάστοτε προβλήματος. Επιπλέον, η οργάνωση των κριτηρίων αυτών σε μια ιεραρχία, ο υπολογισμός των συντελεστών βαρύτητάς τους αλλά και η αξιολόγηση των πιθανών εναλλακτικών διαστάσεων, υποστηρίζονται από ένα διαφορετικό εργαλείο (*AHP Hierarchies*) με το οποίο υλοποιούνται συγχρόνως και οι τρεις διαδικασίες. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, αξιοποιήθηκε το εργαλείο "*AHP Hierarchies*" βάσει του οποίου η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία διεξάγεται μέσω μιας ακολουθίας απλών βημάτων (Goepel, 2018) η οποία αναλύεται στη συνέχεια.

9 Διατίθεται μέσω της ιστοσελίδας: https://bpmsg.com/ahp/

1ο στάδιο : Προσδιορισμός ιεραρχίας

Σε πρώτη φάση, κάθε επίπεδο στην ιεραρχία ορίζεται από την κατηγορία και τις αντίστοιχες υπο-κατηγορίες του που υποδηλώνουν αντίστοιχα τα κριτήρια και υπο-κριτήρια του προβλήματος προς επίλυση. Μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας του εργαλείου, η εκάστοτε ιεραρχία προσδιορίζεται από τον χρήστη συντάσσοντας εναν απλό κώδικα στο πεδίο "*Input/Edit Hierarchy*", όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Αναλυτικότερα, κάθε κατηγορία ακολουθείται από άνω και κάτω τελεία " : " ενώ οι υπο-κατηγορίες που εντάσσονται σε αυτή διαχωρίζονται με κόμμα " , " και τα επίπεδα της ιεραρχίας, αντίστοιχα με ερωτηματικό " ; " όπως φαίνεται παρακάτω.

κατηγορία: υπο-κατηγορία 1, υπο-κατηγορία 2, υπο-κατηγορία 3;

[*category: sub-category 1, sub-category 2, sub-category 3;*]

Εάν μια υπο-κατηγορία αναλύεται περαιτέρω σε επιμέρους στοιχεία, προστίθεται ακολούθως μια επιπλέον σειρά, προσδιορίζοντας την υπο-κατηγορία αυτή στην ιεραρχία ως νέα κατηγορία ακολουθούμενη από άνω και κάτω τελεία " : " ως εξής :

υπο-κατηγορία 1: στοιχείο 1, στοιχείο 2;

[*sub-category1: sub-sub-1, sub-sub-2;*]

Πρέπει να διευκρινιστεί πως στην περίπτωση που οι συντελεστές βαρύτητας είναι ήδη καθορισμένοι, η ιεραρχία ορίζεται βάσει αυτών ως εξής :

κατηγορία: υπο-κατηγορία 1=w_1, υπο-κατηγορία 2=w_2, υπο-κατηγορία 3=w_3;

όπου w_1, w_2, w_3 : σταθμίσεις / βάρη

Εφόσον προσδιοριστούν όλα τα επίπεδα της ιεραρχίας με τα συναφή τους κριτήρια και υπο-κριτήρια, αυτά καταχωρούνται μέσω της επιλογής "*Submit*" κι έπειτα το πρώτο στάδιο ολοκληρώνεται επιλέγοντας διαδοχικά "*Save/Update*" και "*Done*" από το μενού "*Hierarchy Input Menu*".

2ο στάδιο : Σύγκριση κριτηρίων

Σε δεύτερη φάση, ο χρήστης της διαδικτυακής εφαρμογής *BPMSG's AHP Online System* μεταβαίνει στην καρτέλα "*AHP Project Administration*" όπου καλείται να επιλέξει από τη λίστα των καταχωρημένων ιεραρχιών του (*My AHP Projects*) εκείνη την οποία επιθυμεί να επεξεργαστεί. Στη συνέχεια, παρέχεται η δυνατότητα υλοποίησης συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων μέσω της επιλογής "*PWC Input*" από το αντίστοιχο μενού (*Project Administration menu*).

Αναλυτικότερα, όλα τα επιμέρους κριτήρια συγκρίνονται διαδοχικά ανά ζεύγη και βαθμονομούνται αναφορικά με την σχετική σημασία τους, σύμφωνα με την κρίση του εκάστοτε συμμετέχοντα στην ανάλυση. Το επίπεδο σημαντικότητας των κριτηρίων αποδίδεται βάσει μιας κλίμακας εύρους από το ένα (1) έως το εννέα (9) όπου η πρώτη τιμή υποδηλώνει ότι τα δύο κριτήρια είναι ισάξια, ενώ η δεύτερη προσδιορίζει ότι το ένα κριτήριο υπερτερεί έναντι κάποιου άλλου στον μέγιστο δυνατό βαθμό, όπως υποδεικνύει η θεμελιώδης κλίμακα Saaty. Όλες οι συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων πραγματοποιούνται με γνώμονα την κατηγορία όπου υπάγονται και τον απώτερο στόχο του καθορισμένου προβλήματος.

Επιπλέον, κατά τη διεξαγωγή των δυαδικών συγκρίσεων υλοποιείται αυτόματα ο έλεγχος συνέπειας των δεδομένων εισόδου μέσω της επιλογής "*Check Consistency*", ενώ συγχρόνως υπολογίζονται οι συντελεστές βαρύτητας των επιμέρους κριτηρίων τα οποία εκφράζονται ως ποσοστό. Σε περίπτωση που ο βαθμός ασυνέπειας δεν είναι αποδεκτός, επισημαίνονται οι πιο ασυνεπείς συγκρίσεις και στη συνέχεια αυτές μπορούν να βαθμονομηθούν εκ νέου. Οι συγκρίσεις επαναπροσδιορίζονται ώστε ο βαθμός ασυνέπειας να κυμαίνεται εντός επιτρεπτών ορίων, ύστερα από δοκιμές, θέτοντας μια τιμή που αντανακλά είτε λίγο υψηλότερο είτε λίγο χαμηλότερο επίπεδο σημαντικότητας σε σύγκριση με το αρχικό.

Τέλος, η βαθμονόμηση των επιμέρους κριτηρίων της εκάστοτε κατηγορίας καταχωρούνται μέσω της επιλογής "*Submit*" κι έπειτα ακολουθείται η ίδια διαδικασία για όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες και υπο-κατηγορίες, ώσπου να διεξαχθεί το σύνολο των εφικτών συγκρίσεων για όλα τα επίπεδα της ιεραρχίας. Το δεύτερο στάδιο ολοκληρώνεται επιλέγοντας διαδοχικά "*Save Judgements*" και "*Done*" από το μενού "*Group Input Menu*".

Κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ωστόσο ότι στο στάδιο αυτό μπορούν να συμμετέχουν κι άλλα άτομα πέραν αυτού που έχει καθορίσει την ιεραρχική δομή του προβλήματος. Για κάθε καταχωρημένη ιεραρχία δίνεται ένας σύνδεσμος διαμοιρασμού (*Group Input Link*) ο οποίος μπορεί να κοινοποιηθεί προς οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο επιθυμεί να λάβει μέρος στην διαδικασία υλοποίησης των δυαδικών συγκρίσεων. Πιο συγκεκριμένα, αποκτώντας απευθείας πρόσβαση στην καρτέλα "*AHP Session Input*" οι συμμετέχοντες εισάγουν το όνομά τους στο αντίστοιχο πεδίο και μέσω της επιλογής "*Check input*" μεταβαίνουν στην καρτέλα "*AHP Hierarchy*". Σε αυτή εμφανίζεται η προκαθορισμένη ιεραρχία κριτηρίων όπου και καλούνται να διεξάγουν τις σχετικές συγκρίσεις όπως περιγράφηκε προηγουμένως.

3ο στάδιο : Υπολογισμός συντελεστών βαρύτητας

Στο τρίτο στάδιο, από την καρτέλα "*AHP Project Administration*" επιλέγοντας τη λειτουργία "*View Result*" εξάγονται τα τελικά αποτελέσματα των δυαδικών συγκρίσεων που υλοποιήθηκαν κατά το δεύτερο στάδιο. Ειδικότερα, υπολογίζονται οι καθολικές προτεραιότητες (*global priorities*) των επιμέρους κριτηρίων της ιεραρχίας καθώς και ο λόγος συνέπειας (*Consistency Ratio – CR*) του συνόλου των συγκρίσεων λαμβάνοντας υπόψη τις κρίσεις όλων των συμμετεχόντων. Τα αποτελέσματα αυτά εμφανίζονται στην καρτέλα "*AHP Group Results*".

Ταυτόχρονα, μέσω του λογισμικού της εφαρμογής υπολογίζεται αυτόματα ο δείκτης συναίνεσης μεταξύ των κρίσεων των συμμετεχόντων στην ανάλυση (*Consensus Indicator*) με τον οποίο προσδιορίζεται κατά πόσο ταυτίζονται οι απόψεις των τελευταίων σχετικά με το επίπεδο σημαντικότητας των στοιχείων της ιεραρχίας. Ο βαθμός συναίνεσης εκφράζεται ποσοστιαία έτσι ώστε η πλήρη ταύτιση μεταξύ των απόψεων να αποτυπώνεται από το 100%. Συνεπώς, ποσοστό μεγαλύτερο του 85% καταδεικνύει την εξαιρετικά ισχυρή ταύτιση των απόψεων, ενώ αντίθετα ποσοστό μικρότερο του 50% υποδηλώνει ουσιαστικά ότι οι κρίσεις των συμμετεχόντων δε συμπίπτουν.

4ο στάδιο : Προσδιορισμός εναλλακτικών σεναρίων

Αφού έχουν υπολογιστεί οι καθολικές προτεραιότητες όλων των επιμέρους κριτηρίων, δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού εναλλακτικών διαστάσεων του πολυκριτηριακού προβλήματος μέσω της επιλογής "*Define Alternatives*" από το μενού "*Group Result Menu*" που βρίσκεται στην καρτέλα "*AHP Group Results*". Εφόσον καθοριστεί το πλήθος και το όνομά τους, επιλέγοντας "*Save as project*" δημιουργείται μια νέα ιεραρχία ίδιας δομής με την αρχική, στην οποία περιλαμβάνονται αυτές οι εναλλακτικές διαστάσεις.

Σε τελικό στάδιο, διεξάγονται οι δυαδικές συγκρίσεις, όμοια με το δεύτερο στάδιο, με σκοπό να υπολογιστούν οι συντελεστές βαρύτητας κάθε εναλλακτικής αναφορικά με τα επιμέρους κριτήρια του προβλήματος. Μέσω του υπολογισμού της μέσης τιμής του συνόλου των συντελεστών βαρύτητας προσδιορίζεται εξίσου ο συνολικός συντελεστής στάθμισης για κάθε εναλλακτική (*Total weight of alternatives*). Τέλος, αναφέρεται ενδεικτικά ότι οι διαφορετικές διαστάσεις του εκάστοτε προβλήματος προς επίλυση δεν μπορούν να υπερβούν αριθμητικά τις δώδεκα, στα πλαίσια της διαδικτυακής εφαρμογής *BPMSG's AHP Online System*.

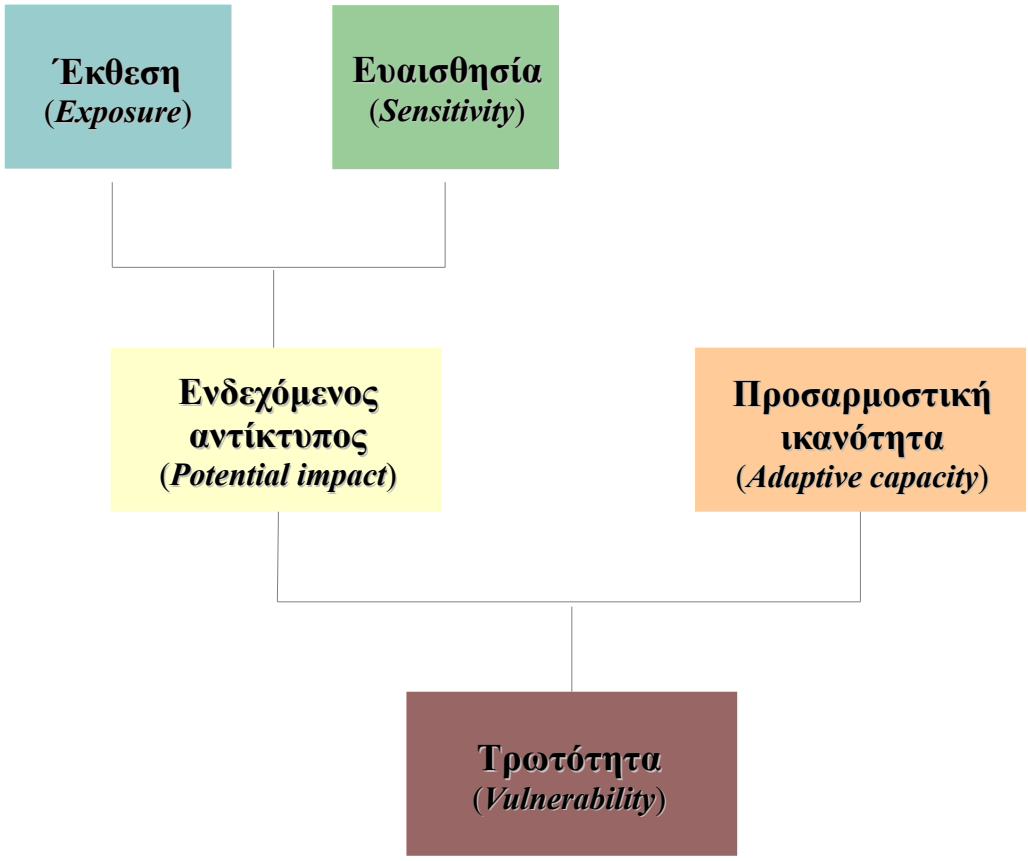
4.3 Ανάπτυξη μοντέλου διακινδύνευσης

4.3.1 Οι έννοιες της τρωτότητας και της διακινδύνευσης

Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και περισσότερες μελέτες διεξάγονται τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα με απώτερο στόχο την εκτίμηση της τρωτότητας (*vulnerability*), την ανάδειξη των περιοχών υψηλής επικινδυνότητας που πλήττονται άμεσα από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής κι έπειτα την ενίσχυση της ικανότητας προσαρμογής των ευπαθών συστημάτων στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Καθώς τα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα καλούνται να αντιμετωπίσουν ποικίλους περιβαλλοντικούς κινδύνους, κρίθηκε σκόπιμο να υιοθετηθεί μια κοινή προσέγγιση ως προς την αξιολόγηση της τρωτότητας, η οποία θα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τομέων σε διαφορετικά χωρικά και χρονικά επίπεδα.

Για τον σκοπό αυτό, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των υφιστάμενων μεθοδολογιών και βέλτιστων πρακτικών, το 2014 συντάχθηκε μια ειδική έκθεση η οποία δημοσιεύτηκε υπό την αιγίδα του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (*Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ*). Η έκθεση αυτή συνιστά μια σαφή οδηγία όπου περιλαμβάνονται οι κύριες κατευθυντήριες γραμμές που συνθέτουν ένα ενιαίο μεθοδολογικό πλαίσιο ως προς την εκτίμηση της τρωτότητας ενός συστήματος. Ειδικότερα, η ανάπτυξη της μεθοδολογίας που περιγράφεται στην εν λόγω έκθεση βασίστηκε στον ευρέως διαδεδομένο ορισμό που δίνεται στην τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (*AR4*) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (*IPCC*), σύμφωνα με τον οποίο η τρωτότητα νοείται ως:

"Ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα είναι ευάλωτο και αδυνατεί να αντιμετωπίσει τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως επίσης την κλιματική μεταβλητότητα και τις ακραίες συνθήκες. Η τρωτότητα είναι συνάρτηση του χαρακτήρα, του μεγέθους και του ρυθμού της κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας στις οποίες εκτίθεται ένα σύστημα καθώς και της ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητάς του" (IPCC, 2007).



Διάγραμμα 4.1 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου εκτίμησης της τρωτότητας[10].

Σύμφωνα με τον ορισμό της έννοιας της τρωτότητας, μέσω της σχετικής οδηγίας (Fritzsche et al., 2014) διακρίνονται τέσσερα θεμελιώδη στοιχεία τα οποία καθορίζουν εάν και σε ποιο βαθμό το εκάστοτε σύστημα χαρακτηρίζεται ως ευάλωτο στην κλιματική αλλαγή. Τα συγκεκριμένα στοιχεία συνιστούν : α) την έκθεση (*exposure*), β) την ευαισθησία (*sensitivity*), γ) την προσαρμοστική ικανότητα (*adaptive capacity*) του συστήματος που διερευνάται και δ) τον ενδεχόμενο αντίκτυπο (*potential impact*) σε αυτό.

Υπογραμμίζεται ότι η έκθεση είναι ο μόνος προσδιοριστικός παράγοντας τρωτότητας που συνδέεται άμεσα με τις κλιματικές παραμέτρους, όπως το ποσό των κατακρημνισμάτων, αλλά και τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως τις ραγδαίες βροχοπτώσεις. Από την άλλη πλευρά, η ευαισθησία περιγράφεται μέσω των φυσικών ιδιοτήτων του συστήματος υπό εξέταση, ενώ η συνιστώσα αυτή εμπεριέχει επίσης τις ανθρώπινες παρεμβάσεις που επηρεάζουν τη δομή και τη λειτουργία του πρώτου.

10 Πηγή: Fritzsche et al., 2014

Η έκθεση στις κλιματικές συνθήκες και η συνιστώσα ευαισθησίας καθορίζουν από κοινού τον ενδεχόμενο αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στο εκάστοτε σύστημα. Για παράδειγμα, τα υψηλά ποσά βροχόπτωσης (έκθεση) σε συνδυασμό με τις απότομες κλίσεις που εντοπίζονται σε μια περιοχή (ευαισθησία) μπορούν να επιφέρουν έντονα φαινόμενα διάβρωσης (ενδεχόμενος αντίκτυπος).

Επιπλέον, η τρωτότητα ενός συστήματος εξαρτάται από την προσαρμοστική ικανότητά του, η οποία σχετίζεται άρρηκτα με τους διαθέσιμους πόρους, τα θεσμικά και τεχνολογικά μέσα καθώς και τα μέτρα προσαρμογής που εφαρμόζονται. Συνεπώς, το μοντέλο εκτίμησης της τρωτότητας διαμορφώνεται βάσει των κύριων δομικών του στοιχείων όπως αναπαρίσταται στο Διάγραμμα 4.1.

Σε συνέχεια της προαναφερόμενης οδηγίας ωστόσο, το 2017 δημοσιεύτηκε μια νέα έκθεση από τον Γερμανικό Οργανισμό Διεθνούς Συνεργασίας στην οποία περιγράφεται η μετατόπιση του ενδιαφέροντος της επιστημονικής κοινότητας από την έννοια της τρωτότητας σε αυτή της διακινδύνευσης (*risk*) που διαμορφώνεται ως αποτέλεσμα των επιπτώσεων (*impacts*) της κλιματικής αλλαγής. Η κατεύθυνση αυτή προσδιορίστηκε σύμφωνα με την πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*) της *IPCC* με πρωταρχικό σκοπό να ενισχύσει τις μεθόδους αξιολόγησης του κινδύνου καταστροφών (*disaster risk*) όπως επίσης τις στρατηγικές διαχείρισης και μείωσης του τελευταίου.

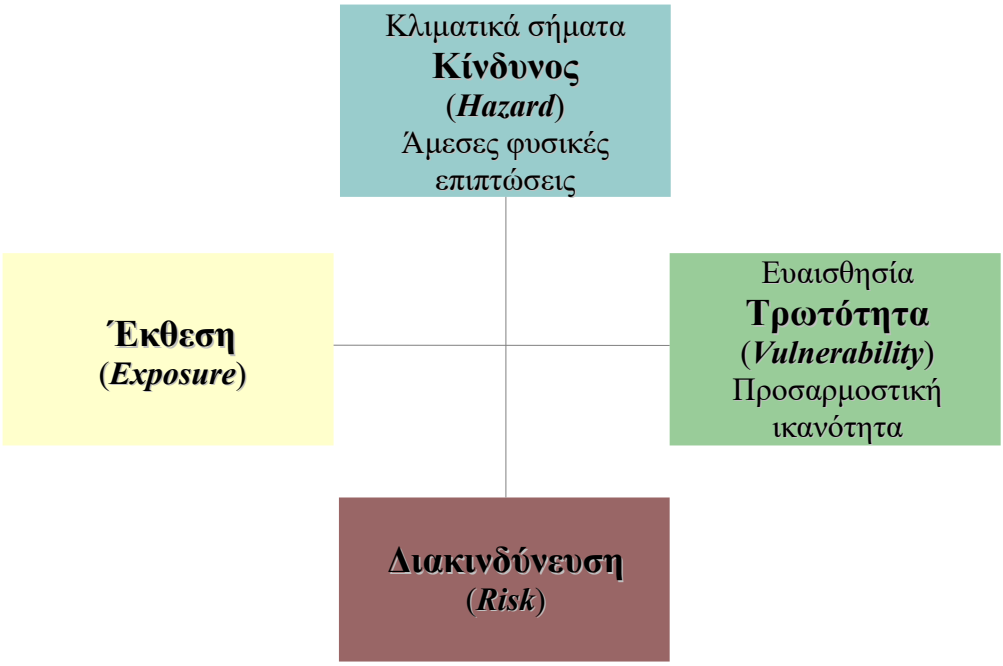
Μέσω της επικαιροποιημένης αυτής έκθεσης, προτάθηκε μια διαφορετική προσέγγιση ως προς την αξιολόγηση του κινδύνου που ενέχουν οι φυσικές καταστροφές για τα οικοσυστήματα, η οποία βασίζεται στην ενσωμάτωση της έννοιας της διακινδύνευσης στο μεθοδολογικό πλαίσιο που υιοθετείται για την διεξαγωγή εκτιμήσεων επκινδυνότητας. Παράλληλα, προωθείται η ενοποίηση των τομέων ερευνητικού ενδιαφέροντος αναφορικά με τη μείωση του κινδύνου καταστροφών (*Disaster Risk Reduction – DRR*) και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (*Climate Change Adaptation – CCA*) καθώς είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι ένα μεγάλο ποσοστό των επιπτώσεων που συνδέονται με τις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες προκαλείται από την εκδήλωση επικίνδυνων γεγονότων (GIZ & EURAC, 2017).

Στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*) της *IPCC*, ειδικότερα, αναλύεται η μεθοδολογία αξιολόγησης της διακινδύνευσης που σχετίζεται με το κλιματικό καθεστώς (*climate risk assessment*) μέσω της οποίας υποκαθίσταται το μοντέλο εκτίμησης της τρωτότητας που οφείλεται στην κλιματική αλλαγή (*climate change vulnerability assessment*), με βάση το οποίο συντάχθηκε η αμέσως προηγούμενη οδηγία του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (Fritzsche et al., 2014; GIZ & EURAC, 2017). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ίδια μεθοδολογία ακολουθείται σύμφωνα και με την οδηγία της πλέον πρόσφατης έκθεσης (*AR6*). Επιπλέον, βάσει αυτής της προσέγγισης, σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης διαδραματίζουν οι "αλυσίδες επιπτώσεων" (*impact chains*) οι οποίες συμβάλλουν στην ανάδειξη, κατανόηση και κατηγοριοποίηση των επιμέρους προσδιοριστικών παραγόντων του τελευταίου.

Πιο συγκεκριμένα, επισημαίνεται ότι ένα κλιματικό σήμα (*climate signal*) μπορεί να επιφέρει μια άμεση φυσική επίπτωση (*direct physical impact*) προκαλώντας ταυτόχρονα μια αλληλουχία ενδιάμεσων επιπτώσεων (*intermediate impacts*) η οποία τελικά οδηγεί στη διακινδύνευση ενός συστήματος (GIZ & EURAC, 2017). Για παράδειγμα, οι πολύ υψηλές τιμές της θερμοκρασίας (κλιματικό σήμα) εντείνουν τα φαινόμενα ξηρασίας (άμεση φυσική επίπτωση) στα οποία συχνά αποδίδεται η ανεπαρκή διαθεσιμότητα νερού για την άρδευση των καλλιεργειών (ενδιάμεση επίπτωση), ενώ σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες μπορούν να πυροδοτήσουν την εμφάνιση φαινομένων λειψυδρίας (διακινδύνευση) στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος.

Όπως γίνεται αντιληπτό, για την ανάπτυξη του επικαιροποιημένου μοντέλου διακινδύνευσης, τα συστατικά του μέρη επαναπροσδιορίστηκαν ενώ συμπεριλήφθηκαν σε αυτό κι ορισμένα ακόμη στοιχεία. Συνεπώς, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθούν οι αλλαγές που επήλθαν ύστερα από τη σύνταξη της νέας έκθεσης του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας, στην οποία αναλύεται το σύνολο των παραγόντων που συντελούν στην εκτίμηση της διακινδύνευσης.

Αρχικά, η έννοια της τρωτότητας συνιστά πλέον δομικό στοιχείο κι όχι προϊόν του μοντέλου. Ως αποτέλεσμα, οι συνιστώσες της τρωτότητας και της έκθεσης αποκτούν εντελώς διαφορετική έννοια. Επιπρόσθετα, οι έννοιες της ευαισθησίας και της προσαρμοστικής ικανότητας εντάσσονται στον προσδιοριστικό παράγοντα της τρωτότητας ενός συστήματος, ενώ ακόμα εισάγεται ένας νέος όρος, ο κίνδυνος (*hazard*), μέσω του οποίου λαμβάνονται υπόψη στο νέο μοντέλο επικινδυνότητας τα γεγονότα ή οι τάσεις που σχετίζονται με τις κλιματικές συνθήκες και οι συνέπειες αυτών (GIZ & EURAC, 2017). Συνεπώς, η έννοια της διακινδύνευσης εκφράζεται μέσω της αλληλεπίδρασης των συνιστωσών τρωτότητας, έκθεσης και κινδύνου που περιγράφουν το υπό εξέταση σύστημα (Διάγραμμα 4.2).



Διάγραμμα 4.2 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης[11].

11 Πηγή: GIZ & EURAC, 2017

Οι πιο κρίσιμες έννοιες του επικαιροποιημένου μοντέλου εκτίμησης του κινδύνου εμφάνισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με την πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*) της *IPCC*, ορίζονται στη συνέχεια ως εξής (IPCC, 2014b; GIZ & EURAC, 2017):

- **Διακινδύνευση** (*Risk*)

  "Πιθανότητα εμφάνισης επιπτώσεων που σχετίζονται με το κλιματικό καθεστώς όπου κάτι που έχει αξία, όπως για παράδειγμα ένα οικοσύστημα ή ο πληθυσμός, διακυβεύεται και η έκβαση του αποτελέσματος είναι αβέβαιη (...)"

- **Κίνδυνος** (*Hazard*)

  "Πιθανότητα εμφάνισης ενός φυσικού γεγονότος ή τάσης, ή η φυσική επίπτωση αυτού που μπορεί να επιφέρει ανθρώπινες απώλειες, τραυματισμούς ή άλλες επιπτώσεις στην υγεία όπως επίσης ζημία και απώλειες ιδιοκτησίας, έργων υποδομής, (...) οικοσυστημάτων και περιβαλλοντικών πόρων."

- **Έκθεση** (*Exposure*)

  "Το σύνολο του πληθυσμού, των μέσων διαβίωσης, των ειδών και οικοσυστημάτων, των περιβαλλοντικών διεργασιών, υπηρεσιών και πόρων, των υποδομών (...) σε περιοχές και χώρους που θα μπορούσαν να επηρεαστούν αρνητικά."

- **Τρωτότητα** (*Vulnerability*)

  "Η τάση ή προδιάθεση αρνητικής επίδρασης. / Περιλαμβάνει ένα ευρύ σύνολο εννοιών και στοιχείων, συμπεριλαμβανομένης της ευαισθησίας (sensitivity or susceptibility) ενός συστήματος και της έλλειψης ικανότητας του τελευταίου να ανταπεξέλθει και να προσαρμοστεί στις δεδομένες συνθήκες."

- **Ευαισθησία** (*Sensitivity*)

  "Καθορίζεται από εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τις επιπτώσεις ενός κινδύνου. / Μπορεί να περιλαμβάνει φυσικές ιδιότητες ενός συστήματος, όπως για παράδειγμα τα οικοδομικά υλικά των κατοικιών ή τον τύπο εδάφους σε γεωργικές εκτάσεις αλλά και κοινωνικά, οικονομικά και πολιτιστικά γνωρίσματα, όπως η ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού και η κατανομή του εισοδήματος."

- **Ικανότητα αντιμετώπισης** (*Coping capacity*)

  "Η ικανότητα του πληθυσμού, των οργανισμών και των συστημάτων να αντιμετωπίζουν, να διαχειρίζονται και να ξεπερνούν τις δυσμενείς συνθήκες βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα, μέσω των διαθέσιμων δεξιοτήτων και πόρων, όπως για παράδειγμα των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, αλλά και των υφιστάμενων αξιών, πεποιθήσεων κι ευκαιριών."

- **Προσαρμοστική ικανότητα** (*Adaptive capacity*)

  "Η ικανότητα του πληθυσμού, των συστημάτων, ιδρυμάτων και άλλων οργανισμών να προσαρμόζονται στις πιθανές δυσμενείς συνθήκες, να εκμεταλλεύονται τις διαθέσιμες ευκαιρίες ή να ανταποκρίνονται στις ενδεχόμενες επιπτώσεις, για παράδειγμα μέσω της γνώσης για την ανάπτυξη νέων μεθόδων καλλιέργειας."

- **Επιπτώσεις** (*Impacts*)

  "(...) ο όρος αναφέρεται στα αποτελέσματα που επιφέρουν τα ακραία γεγονότα αναφορικά με τον καιρό και το κλίμα όπως και η κλιματική αλλαγή, στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. / Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν γενικότερα τις επιπτώσεις που επέρχονται στην ζωή και υγεία, στα μέσα διαβίωσης και οικοσυστήματα, στην οικονομία, κοινωνία και τον πολιτισμό, στις υπηρεσίες και υποδομές εξαιτίας της αλληλεπίδρασης της κλιματικής αλλαγής ή των ακραίων γεγονότων που συμβαίνουν μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και σχετίζονται με τις κλιματικές συνθήκες, με την τρωτότητα μιας κοινωνίας ή ενός συστήματος που εκτίθεται σε αυτές τις συνθήκες. / Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα γεωφυσικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών, της ξηρασίας και της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, αποτελούν ένα τμήμα του συνόλου επιπτώσεων που αναφέρεται στις φυσικές επιπτώσεις."

- **Προσαρμογή** (*Adaptation*)

  "Η διαδικασία προσαρμογής στις υφιστάμενες ή εκτιμώμενες κλιματικές συνθήκες και στις επιπτώσεις τους. / Στα ανθρωπογενή περιβάλλοντα, μέσω της διαδικασίας αυτής επιδιώκεται ο μετριασμός ή η αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων και η αξιοποίηση των ευκαιριών που επιφέρουν κάποιο όφελος."

Με βάση την πλέον πρόσφατη έκθεση της *IPCC* σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5°C (*SR15*) διευκρινίζεται περαιτέρω ότι στα πλαίσια της αξιολόγησης των επιπτώσεων που συνδέονται με τις κλιματικές συνθήκες (*climate impacts*), η έννοια της διακινδύνευσης χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει το ενδεχόμενο δυσμενών συνεπειών ενός κινδύνου που σχετίζεται με τις πρώτες, στις ζωές, στα μέσα βιοπορισμού, στην υγεία κι ευεξία, στα οικοσυστήματα και είδη, στην οικονομία, στις κοινωνίες και στον πολιτισμό, στις υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων και των υπηρεσιών ενός οικοσυστήματος αλλά και στις υποδομές. Δυσμενείς επιπτώσεις ενδέχεται να επέλθουν τόσο λόγω του επικείμενου αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής όσο και λόγω της ελλιπούς ανταπόκρισης στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες. Επιπλέον, στην *SR15* αναφέρεται εξίσου ότι η διακινδύνευση προκύπτει ως αποτέλεσμα της συνύπαρξης του ενδεχόμενου κλιματικού κινδύνου, της τρωτότητας του επηρεαζόμενου συστήματος και της έκθεσης αυτού στον πρώτο διαχρονικά (IPCC, 2018).

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι ένα σύστημα επηρεάζεται από ποικίλες παραμέτρους οι οποίες συνδέονται άμεσα με τις επιπτώσεις που πυροδοτούνται από το διαρκώς μεταβαλλόμενο κλίμα. Γι' αυτό και κατά την ανάπτυξη ενός μοντέλου εκτίμησης της συσχετιζόμενης με το κλίμα διακινδύνευσης (*climate risk*) είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν εξαρχής τόσοι οι κίνδυνοι όσο και οι κλιματικές επιπτώσεις που συμβάλλουν στην εμφάνισή της.

Αναλυτικότερα, ο κίνδυνος περιγράφει είτε ένα κλιματικό γεγονός, όπως για παράδειγμα οι υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, είτε μια άμεση φυσική επίπτωση, όπως η ξηρασία, ενώ δεν εμφανίζεται απαραίτητα ως ένα ακραίο μετεωρολογικό φαινόμενο καθώς μπορεί να αποτελεί εξίσου μια διαχρονική τάση, όπως είναι η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, ο κίνδυνος νοείται ως ένα εξωτερικό κλιματικό σήμα (*external climate signal*) το οποίο δεν εξαρτάται από την έκθεση ή την τρωτότητα ενός συστήματος καθώς η προσαρμογή του τελευταίου στις δυσμενείς συνθήκες ή άλλα μέτρα αντιμετώπισης των κλιματικών επιπτώσεων, δεν επιδρούν στην εμφάνιση των παραγόντων κινδύνου.

Εντούτοις, τα μέτρα προσαρμογής μπορούν να περιορίσουν τη διακινδύνευση του συστήματος αναφοράς, μειώνοντας την τρωτότητά του και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και τον βαθμό της έκθεσης αυτού. Η συνιστώσα της τρωτότητας, ειδικότερα, μπορεί να ελαττωθεί είτε μειώνοντας την ευαισθησία είτε ενισχύοντας την προσαρμοστική ικανότητα που παρουσιάζει το εν λόγω σύστημα (GIZ & EURAC, 2017).

Ακόμη, η τρωτότητα χαρακτηρίζεται από το σύνολο των ιδιοτήτων των εκτεθειμένων στοιχείων και του συστήματος όπου αυτά απαντώνται, οι οποίες μπορούν είτε να ενισχύσουν είτε να καταστείλουν την επίδραση των επιπτώσεων ενός ενδεχόμενου κινδύνου που συνδέεται με τις κλιματικές συνθήκες (*climate hazard*). Όσον αφορά τον βαθμό της έκθεσης των στοιχείων αυτών, μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση απόλυτων τιμών, πυκνοτήτων ή αναλογιών, προσδιορίζοντας για παράδειγμα το μέγεθος ή την πληθυσμιακή πυκνότητα μιας περιοχής που πλήττεται από ορισμένες δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Από την άλλη μεριά, στις επιπτώσεις ενός υφιστάμενου κινδύνου περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων οι άμεσες φυσικές επιπτώσεις αλλά και οι έμμεσες συνέπειες αυτού για την κοινωνία (*social impacts*), οι οποίες συμβάλλουν από κοινού στον προσδιορισμό της παραμέτρου διακινδύνευσης για το σύστημα αναφοράς. Υπογραμμίζεται εξίσου ότι οι επιπτώσεις συνιστούν τα κυριότερα στοιχεία των "αλυσίδων επιπτώσεων" μέσω των οποίων περιγράφονται οι σχέσεις αιτιών και αποτελέσματος που αναπτύσσονται εντός των συστημάτων (GIZ & EURAC, 2017).

Λαμβάνοντας υπόψη όσα προαναφέρθηκαν, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθούν οι θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ των μοντέλων εκτίμησης της τρωτότητας και της διακινδύνευσης που αναλύονται αντίστοιχα στην τέταρτη και πέμπτη έκθεσης αξιολόγησης της *IPCC*, καθώς και οι δύο προσεγγίσεις αποσκοπούν στον εντοπισμό των στοιχείων εκείνων που μπορούν να βλάψουν τα φυσικά ή/και ανθρωπογενή περιβάλλοντα εξαιτίας της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής.

Η σημαντικότερη τροποποίηση που επήλθε, σύμφωνα με τη νεότερη προσέγγιση, αφορά τη συνιστώσα που αξιολογείται καθώς επιδιώκεται η εκτίμηση της διακινδύνευσης έναντι της τρωτότητας του συστήματος αναφοράς, η οποία ωστόσο εντάσσεται στο μοντέλο ως ένα από τα κύρια δομικά στοιχεία του.

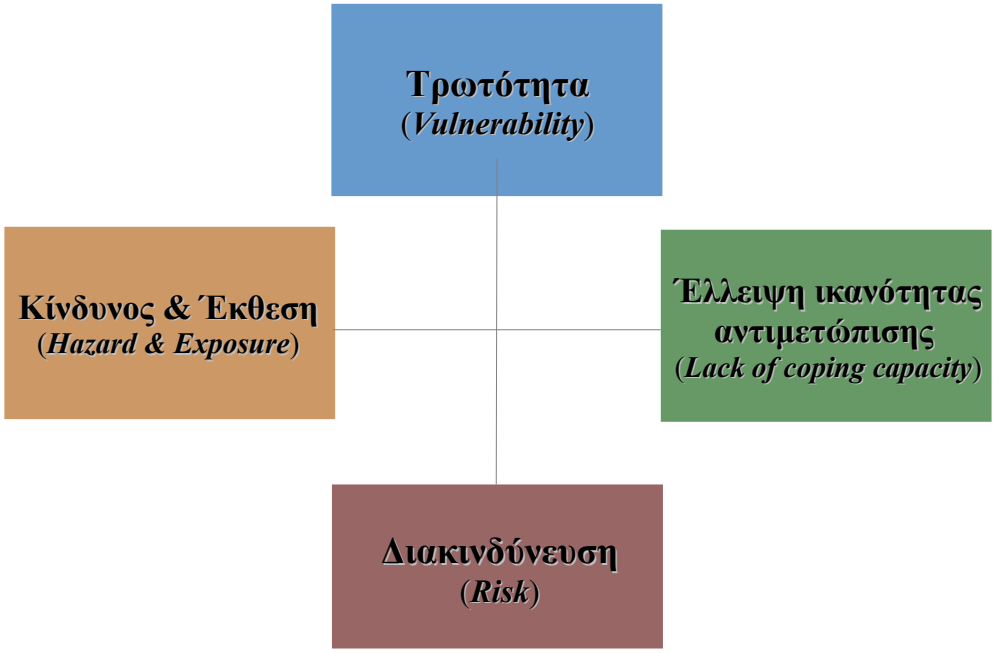
Μια ακόμη βασική διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η συνιστώσα της έκθεσης αποκτά εντελώς διαφορετική έννοια, προσδιορίζοντας το σύνολο των στοιχείων που εκτίθενται στις εκάστοτε δυσμενείς συνθήκες, τα οποία συνιστούν έναν πρόσθετο προσδιοριστικό παράγοντα στο μοντέλο διακινδύνευσης. Η παρουσία των εκτεθειμένων στοιχείων, αντιθέτως, μπορούσε να συμπεριληφθεί μόνο έμμεσα στη συνιστώσα της ευαισθησίας κατά την αξιολόγηση της τρωτότητας ενός συστήματος, σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση.

Επιπλέον, οι συνιστώσες της έκθεσης και του ενδεχόμενου αντίκτυπου, όπως περιγράφονται στην τέταρτη έκθεσης αξιολόγησης της *IPCC*, πλέον νοούνται ως παράμετροι του κινδύνου συνθέτοντας ένα νέο μεμονωμένο στοιχείο στο μοντέλο εκτίμησης της διακινδύνευσης. Διευκρινίζεται ακόμη ότι οι συνιστώσες ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητας αποτελούν διακριτές συνιστώσες της τρωτότητας ενός συστήματος βάσει της νεότερης προσέγγισης αξιολόγησης της επικινδυνότητας (IPCC, 2007, 2014b; GIZ & EURAC, 2017).

Συνοψίζοντας, θεωρείται εξίσου σημαντικό να αναφερθεί ότι το εννοιολογικό πλαίσιο στο οποίο βασίζεται ο Γερμανικός Οργανισμός Διεθνούς Συνεργασίας (*GIZ*) για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της παραμέτρου διακινδύνευσης, έχει πλέον υιοθετηθεί και από το Κέντρο Γνώσης Διαχείρισης Κινδύνων Καταστροφών (*Disaster Risk Management Knowledge Centre – DRMKC*) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Ειδικότερα, έχει προταθεί η αξιοποίηση ενός ελαφρώς τροποποιημένου μοντέλου (*INFORM model*) το οποίο συνίσταται από τις θεμελιώδεις συνιστώσες διακινδύνευσης (έκθεση – κίνδυνος – τρωτότητα), με την προσθήκη της συνιστώσας έλλειψης ικανότητας αντιμετώπισης (*lack of coping capacity*) ως κύριου δομικού στοιχείου[12] (Διάγραμμα 4.3).

Επισημαίνεται ότι η ερμηνεία των εννοιών έκθεσης, κινδύνου και τρωτότητας δεν φαίνεται να διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των δύο μοντέλων διακινδύνευσης, ενώ ακόμα η συνιστώσα της έλλειψης ικανότητας αντιμετώπισης παραπέμπει στην έννοια της προσαρμοστικής ικανότητας, όπως αυτή ορίζεται στις τεχνικές εκθέσεις του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας. Ωστόσο, η συνιστώσα αυτή παύει να εντάσσεται στην έννοια της τρωτότητας καθώς αποτελεί ξεχωριστό δείκτη διακινδύνευσης στο νεοσύστατο μοντέλο *INFORM*.

12 Πηγή: https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/inform-index/InDepth/Methodology



Διάγραμμα 4.3 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου *INFORM*[13].

Συμπληρωματικά, τα στοιχεία έκθεσης και κινδύνου δεν νοούνται ως μεμονωμένοι δείκτες καθώς προσμετρώνται σε έναν κοινό παράγοντα διακινδύνευσης, ο οποίος αντικατοπτρίζει την πιθανότητα έκθεσης του εξεταζόμενου συστήματος στους φυσικούς και ανθρωπογενείς κινδύνους. Από την άλλη πλευρά, η έννοια της τρωτότητας περιλαμβάνει τους κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες επιδείνωσης του υπό μελέτη φαινομένου όπως επίσης τις ευπαθείς κοινωνικές ομάδες που δύναται να επηρεαστούν από αυτό.

Τέλος, μια ακόμα βασική διαφορά εντοπίζεται ως προς τη μέθοδο υπολογισμού του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης, ο οποίος προσδιορίζεται από το γινόμενο των κύριων συνιστωσών διαμόρφωσής του βάσει του μοντέλου *INFORM*, αντί του σταθμισμένου αθροίσματος που εφαρμόζεται σύμφωνα με τις υποδείξεις του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας, όπως εμφανίζεται στην παρακάτω εξίσωση. Συμπερασματικά, λοιπόν, μέσω της προσέγγισης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής υποδεικνύεται ότι η παντελής απουσία ενός εκ των τριών κύριων συνιστωσών κινδύνου-έκθεσης, τρωτότητας και έλλειψης ικανότητας αντιμετώπισης, εκμηδενίζει την πιθανότητα εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων που αποδίδονται στη διακινδύνευση.

$$\textbf{Διακινδύνευση} = (\textbf{Κίνδυνος \& Έκθεση})^{1/3} \times \textbf{Τρωτότητα}^{1/3} \times \textbf{'Ελλειψη ικανότητας αντιμετώπισης}^{1/3}$$

13 Πηγή: https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/inform-index/InDepth/Methodology

4.3.2 Μεθοδολογία εκτίμησης της διακινδύνευσης

Στην έκθεση του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (*GIZ*) που δημοσιεύτηκε το 2014, όπως αναφέρεται στην προηγούμενη ενότητα, περιλαμβάνονται οι κύριες κατευθυντήριες γραμμές για την ανάπτυξη ενός μοντέλου εκτίμησης της τρωτότητας (*vulnerability*) των συστημάτων στα πλαίσια του μεταβαλλόμενου κλίματος, σύμφωνα με τις υποδείξεις της τέταρτης έκθεσης αξιολόγησης (*AR4*) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (*IPCC*) (Fritzsche et al., 2014).

Η έκθεση που συντάχθηκε μετέπειτα και δημοσιεύτηκε το 2017 από τον ίδιο φορέα, αποτελεί μια συμπληρωματική οδηγία παρέχοντας ένα πρακτικό εγχειρίδιο σχετικά με την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου που είχε ήδη προταθεί στην προηγούμενη έκθεση (GIZ & EURAC, 2017). Ωστόσο, η οδηγία αυτή βασίζεται στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*) κι επομένως προσανατολίζεται στην αξιολόγηση της διακινδύνευσης (*risk*), δηλαδή στο ενδεχόμενο εμφάνισης επιπτώσεων που αποδίδονται στις κλιματικές συνθήκες και μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά ένα σύστημα.

Συνεπώς, μέσω της επικαιροποιημένης έκθεσης του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας προτάθηκε μια νέα μεθοδολογία με σκοπό την ενσωμάτωση της έννοιας της διακινδύνευσης στις αναλύσεις επικινδυνότητας, μέσα από μια αλληλουχία βημάτων τα οποία οδηγούν στην ανάπτυξη ενός πολυπαραμετρικού μοντέλου εκτίμησης των πιθανών δυσμενών συνεπειών που συνδέονται με το κλίμα. Παρόλο που εντοπίζονται αρκετά σημαντικές τροποποιήσεις στις έννοιες των βασικών στοιχείων των μοντέλων αξιολόγησης του δυνητικού κινδύνου που περιγράφονται αντίστοιχα στις δύο εκθέσεις, η προσέγγιση που παρουσιάστηκε στην πρώτη παραμένει γενικότερα αμετάβλητη.

Ωστόσο, συνιστάται η χρήση του νεότερου μοντέλου για τη διεξαγωγή μελετών όπου διερευνάται ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στα συστήματα ενδιαφέροντος, καθώς αυτό συνάδει με τις νεότερες αναφορές της *IPCC* όπως και με το εννοιολογικό πλαίσιο του τομέα διαχείρισης του κινδύνου καταστροφών (GIZ & EURAC, 2017). Με βάση λοιπόν τη συναφή οδηγία, η μεθοδολογία εκτίμησης της διακινδύνευσης συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα ως εξής :

1) Προεργασία
2) Ανάπτυξη "αλυσίδων επιπτώσεων"
3) Προσδιορισμός και επιλογή δεικτών
4) Εύρεση και διαχείριση δεδομένων
5) Κανονικοποίηση τιμών
6) Προσδιορισμός συντελεστών στάθμισης και άθροιση δεικτών
7) Άθροιση κύριων συνιστωσών διακινδύνευσης
8) Παρουσίαση αποτελεσμάτων

4.3.2.1 Προεργασία

Αναλυτικότερα, το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τα προπαρασκευαστικά στάδια για την υλοποίηση της εκάστοτε ανάλυσης μέσω των οποίων προσδιορίζονται οι κύριοι στόχοι και διαμορφώνεται το ευρύτερο πλαίσιο ανάπτυξης του επικείμενου μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης.

Υπό αυτό το πρίσμα, αρχικά ο αναλυτής πρέπει να αποσαφηνίσει το πεδίο ερευνητικού ενδιαφέροντος, το οποίο εμπεριέχει το σύνολο των στοιχείων που συνθέτουν το μοντέλο επικινδυνότητας και στη συνέχεια να οργανώσει το πλάνο διεξαγωγής της μελέτης καθορίζοντας την ομάδα εργασίας, τους εμπλεκόμενους φορείς, τα επιμέρους καθήκοντα και τις αρμοδιότητες όπως επίσης το χρονικό πλαίσιο.

Για τον σκοπό αυτό καλείται να απαντήσει μεταξύ άλλων στα παρακάτω ερωτήματα, όπως ενδεικτικά αναφέρονται στη σχετική έκθεση του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (GIZ & EURAC, 2017):

- ***Ποιο είναι το αντικείμενο μελέτης;***
  Ποιούς τομείς καλύπτει, σε ποιά/ές κοινωνική/ές ομάδα/ες απευθύνεται, ποιά στοιχεία εκτίθενται σε κίνδυνο;
- ***Τι είδους παράμετρος διακινδύνευσης επιδιώκεται να αναλυθεί;***
  (Συσχέτιση με τις κλιματικές συνθήκες και τις διαχρονικές τάσεις.)
  Ποιές παράμετροι κι επιπτώσεις έχουν ήδη παρατηρηθεί και ποιές από αυτές εκτιμάται ότι θα συνεχίσουν να υφίστανται στο μέλλον;
- ***Ποιοι είναι οι κύριοι μη κλιματικοί παράγοντες που επιδρούν στη διακινδύνευση;***
  Ποιές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις τρέχουσες και μελλοντικές συνθήκες που αφορούν την παράμετρο διακινδύνευσης;
- ***Σε ποια χωρική κλίμακα διεξάγεται η ανάλυση;***
  Καλύπτει μια σαφώς οριοθετημένη περιοχή όπως χώρες, περιφέρειες και δημοτικές ενότητες, ή άλλες διακριτές χωρικές οντότητες όπως τα ποτάμια δέλτα και οι προστατευόμενες περιοχές;
- ***Σε ποια χρονική κλίμακα διεξάγεται η ανάλυση;***
  Η περίοδος αναφοράς ανταποκρίνεται στις τρέχουσες ή μελλοντικές συνθήκες;

4.3.2.2 Ανάπτυξη "αλυσίδων επιπτώσεων"

Αφού ολοκληρωθεί το στάδιο προεργασίας, σε δεύτερη φάση προτείνεται η ανάπτυξη των λεγόμενων "αλυσίδων επιπτώσεων" (*impact chains*) για τη βαθύτερη κατανόηση των σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφόρων κλιματικών και μη παραγόντων, οι οποίες επιδρούν στη διακινδύνευση που εμφανίζει ένα σύστημα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το βήμα αυτό κρίνεται απόλυτα καθοριστικό για την έκβαση της μελέτης διότι μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας αρχίζουν να διαφαίνονται όλοι εκείνοι οι δείκτες που συνθέτουν το μοντέλο εκτίμησης της διακινδύνευσης και μπορούν να αξιοποιηθούν σε επόμενο στάδιο, ανάλογα με τους σκοπούς της ανάλυσης.

Ειδικότερα, το πρωταρχικό βήμα για την ανάπτυξη μιας "αλυσίδας επιπτώσεων" είναι ο εντοπισμός των κρισιμότερων κλιματικών επιπτώσεων που εμφανίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τους τομείς στους οποίους εντάσσονται και τη θεματολογία που καλύπτουν ώστε να προσδιοριστεί ποια από

αυτά σχετίζονται με το αντικείμενο μελέτης και συνεπώς χρειάζεται να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση. Με γνώμονα την εκάστοτε παράμετρο διακινδύνευσης που επιλέγεται να διερευνηθεί, ύστερα καθορίζονται οι ενδιάμεσες επιπτώσεις (*intermediate impacts*) που οδηγούν σε αυτό μέσω των οποίων φανερώνονται και οι συναφείς κίνδυνοι (*hazards*) που πλήττουν το σύστημα αναφοράς, δηλαδή τα κλιματικά φαινόμενα, οι τάσεις και οι άμεσες φυσικές επιπτώσεις αυτών.

Οι ενδιάμεσες επιπτώσεις εξαρτώνται επίσης από την τρωτότητα του συστήματος υποδηλώνοντας αντίστοιχα τα στοιχεία που διακρίνουν τους παράγοντες ευαισθησίας (*sensitivity*) και προσαρμοστικής ικανότητας (*adaptive capacity*) στο μοντέλο εκτίμησης της διακινδύνευσης. Πιο συγκεκριμένα, συντελούν στον εντοπισμό των ιδιοτήτων του φυσικού περιβάλλοντος καθώς και ορισμένων κοινωνικοοικονομικών πτυχών που καθιστούν το σύστημα ευάλωτο ως προς τις συνέπειες που επιφέρουν οι κίνδυνοι. Επιπλέον, βάσει των προκαθορισμένων ενδιάμεσων επιπτώσεων, άρα και των κινδύνων, προσδιορίζονται εξίσου τα στοιχεία που περιγράφουν την ικανότητα ενός συστήματος να ανταπεξέλθει ευκολότερα σε δυσμενείς κατάστασεις και να προσαρμοστεί στις μελλοντικές συνθήκες. Αυτά μπορεί να σχετίζονται με τους τομείς της γνώσης και των επιστημών, τα τεχνολογικά μέσα ή/και τους οικονομικούς πόρους.

Στο επόμενο στάδιο ανάπτυξης των "αλυσίδων επιπτώσεων" καθορίζεται η συνιστώσα της έκθεσης (*exposure*) του εκάστοτε μοντέλου εκτίμησης, επισημαίνοντας τα στοιχεία υψίστης σημασίας που απαντώνται στο σύστημα αναφοράς, τα οποία αναμένεται να επωμισθούν τις δυσμενείς επιπτώσεις που αποδίδονται στην παράμετρο διακινδύνευσης. Υπογραμμίζεται ότι η έννοια της έκθεσης συχνά συγχέεται με την τρωτότητα του συστήματος και πιο συγκεκριμένα με την παράμετρο ευαισθησίας, γι' αυτό και τα εκτεθειμένα στοιχεία που επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με τα υπόλοιπα, είναι προτιμότερο να συγκαταλέγονται στη συνιστώσα της τρωτότητας (GIZ & EURAC, 2017). Για παράδειγμα, προσμετρώντας τον πληθυσμό στα εκτεθειμένα στοιχεία, η πληθυσμιακή πυκνότητα μπορεί να προσδιοριστεί ως παράμετρος έκθεσης, ενώ τα ηλικιωμένα άτομα ως παράμετρος ευαισθησίας.

Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι οι "αλυσίδες επιπτώσεων" συμβάλλουν καθοριστικά στη διερεύνηση και τέλος στον εντοπισμό των κατάλληλων μέτρων που μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να επέλθει μείωση της τρωτότητας ή/και της έκθεσης του συστήματος αναφοράς. Τα μέτρα αυτά εντάσσονται στη συνιστώσα της προσαρμοστικής ικανότητας (*adaptive capacity*) του μοντέλου διακινδύνευσης. Αφού έχουν διευκρινιστεί όλα τα παραπάνω, ολοκληρώνεται η δεύτερη φάση της διαδικασίας ανάπτυξης ενός μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης.

4.3.2.3 Προσδιορισμός και επιλογή δεικτών

Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των στοιχείων που έχουν προσδιοριστεί μέσω των "αλυσίδων επιπτώσεων", ο αναλυτής πρέπει να κρίνει ποια από αυτά περιγράφουν επαρκώς και με σαφήνεια τους επιμέρους παράγοντες του μοντέλου διακινδύνευσης ώστε να τα συμπεριλάβει στην ανάλυση ως δείκτες κινδύνου, τρωτότητας και έκθεσης αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, ένας δείκτης κρίνεται ορθός και μπορεί να ενταχθεί στο μοντέλο εφόσον είναι ακριβής, σαφώς ορισμένος, απολύτως συναφής με τη συνιστώσα που προσδιορίζει, ενώ παράλληλα συνάδει με τη χωρική και χρονική κλίμακα της ανάλυσης και προέρχεται από μια έγκυρη, αξιόπιστη, προσιτή πηγή απ' όπου είναι δυνατή κι η απόκτηση δεδομένων μελλοντικά (Fritzsche et al., 2014; GIZ & EURAC, 2017).

Επιπλέον, οποιαδήποτε μεταβολή (αύξηση ή μείωση) του δείκτη πρέπει να υποδηλώνει ξεκάθαρα την επίδρασή της (θετική ή αρνητική) στη συνιστώσα όπου εντάσσεται. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το πλήθος των ημερών με μέγιστη θερμοκρασία άνω των 30°C θα μπορούσε να αποτελέσει έναν ορθό δείκτη της παραμέτρου κινδύνου ως προς την πιθανή εμφάνιση φαινομένων ξηρασίας στην περιοχή ενδιαφέροντος. Σύμφωνα λοιπόν με τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν, στο τρίτο στάδιο εκτίμησης της διακινδύνευσης επιλέγονται οι πλέον καταλληλότεροι δείκτες κινδύνου, τρωτότητας κι έκθεσης αντίστοιχα, οι οποίοι προσδιορίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντανακλούν κρίσιμες καταστάσεις ή την έκβαση αυτών αλλά και να μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω στη μετέπειτα ανάλυση.

4.3.2.4 Εύρεση και διαχείριση δεδομένων

Στο τέταρτο στάδιο ανάπτυξης ενός μοντέλου επικινδυνότητας, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (*GIZ*), περιλαμβάνεται το σύνολο των διαδικασιών συλλογής των δεδομένων, προετοιμασίας και σύνδεσης των τελευταίων με τους επιλεγμένους δείκτες, που καθιστούν εφικτή τη χρήση τους τόσο στην ποιοτική όσο και στην ποσοτική εκτίμηση της παραμέτρου διακινδύνευσης (Fritzsche et al., 2014). Ύστερα από τη συλλογή τους διενεργείται εξίσου ο προληπτικός έλεγχος ποιότητας κι εκτελούνται όλες οι απαιτούμενες ενέργειες για να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στην κατάλληλη μορφή, ανταποκρίνονται στο χωρικό και χρονικό πλαίσιο που ορίζονται για την εκάστοτε μελέτη αλλά και ότι δεν εντοπίζονται μη έγκυρες ή ελλειπούσες εγγραφές.

Όσον αφορά τα γεωχωρικά δεδομένα, επίσης είναι πολύ σημαντικό να ελεγχθεί εάν αυτά αναπαριστώνται βάσει του ίδιου προβολικού συστήματος κι εφόσον χρειάζεται, να εφαρμοστούν οι αναγκαίες τροποποιήσεις. Ολοκληρώνοντας τις παραπάνω διαδικασίες, ο αναλυτής πρέπει να έχει στην κατοχή του μια συγκεντρωτική κατάσταση των δεικτών που προσδιορίζουν τους κύριους παράγοντες προσδιορισμού της διακινδύνευσης καθώς και μια βάση δεδομένων στην οποία εμπεριέχονται όλα τα δεδομένα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της διακινδύνευσης (Fritzsche et al., 2014).

4.3.2.5 Κανονικοποίηση τιμών

Το επόμενο βήμα για την εκτίμηση της διακινδύνευσης αφορά την κανονικοποίηση των τιμών κάθε επιλεγμένου δείκτη. Με τον όρο "κανονικοποίηση" νοείται η μετατροπή των τιμών ενός συνόλου δεικτών, που ορίζονται βάσει διαφορετικής κλίμακας και μονάδας μέτρησης, σε μια κοινή κλίμακα (Fritzsche et al., 2014). Καθώς οι επιμέρους δείκτες συχνά εκφράζονται σε ανόμοιες κλίμακες (κατηγορική, τακτική, αριθμητική κ.ά.), γίνεται κατανοητό ότι δεν είναι εφικτή η άθροιση αυτών για την εκτίμηση του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης δίχως να έχει προηγηθεί η κανονικοποίησή των τιμών τους.

Συνεπώς, στις σχετικές εκθέσεις του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (Fritzsche et al., 2014; GIZ & EURAC, 2017) προτείνεται ο μετασχηματισμός των δεικτών βάσει μιας κοινής κλίμακας από μηδέν (0) έως ένα (1) όπου οι υψηλότερες τιμές υποδεικνύουν συνθήκες που επιβαρύνουν το σύστημα αναφοράς και ταυτόχρονα ενισχύουν την πιθανότητα εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων.

Για τον σκοπό αυτό, αρχικά προσδιορίζεται η κλίμακα μέτρησης του εκάστοτε δείκτη σύμφωνα με την οποία στη συνέχεια υλοποιείται η διαδικασία μετατροπής των τιμών του. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι η κλίμακα μέτρησης των δεικτών ενός μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο έχουν προσδιοριστεί σε προηγούμενο στάδιο, ώστε να αποτυπώνουν με πλήρη σαφήνεια τα φαινόμενα και τις συνθήκες που περιγράφουν. Επιπρόσθετα, η κλίμακα μέτρησης ενός δείκτη αποτελεί βασικό κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου κανονικοποίησης. Σύμφωνα με την οδηγία του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (Fritzsche et al., 2014) συγκεκριμένα, οι τιμές των δεικτών που ορίζονται βάσει μιας αριθμητικής κλίμακας κανονικοποιούνται με τη επίλυση της ακόλουθης συνάρτησης.

$$X_{i,\,0\text{ to }1} = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$$

όπου X_i : η αρχική τιμή, X_{min} : η μικρότερη τιμή του δείκτη, X_{max} : η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη και $X_{i,\,0\text{ to }1}$: η κανονικοποιημένη τιμή εντός του εύρους 0 έως 1

Παράλληλα, ελέγχεται εάν ικανοποιείται η συνθήκη που ορίζει ότι οι μικρότερες τιμές του δείκτη αντανακλούν τις πιο ευνοϊκές συνθήκες και αντίστροφα οι μεγαλύτερες τιμές, την αρνητική επίδραση αυτού στο υπό μελέτη σύστημα. Σε αντίθετη περίπτωση, ο κανονικοποιημένος πλέον δείκτης θα πρέπει να μετασχηματιστεί εκ νέου έτσι ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη το μηνιαίο εισόδημα του πληθυσμού ως ένα δείκτη προσαρμοστικής ικανότητας (*adaptive capacity*) στο μοντέλο εκτίμησης της διακινδύνευσης, η μετατροπή των κανονικοποιημένων τιμών κρίνεται αναγκαία καθώς το υψηλότερο εισόδημα φαίνεται ότι ενισχύει την ικανότητα προσαρμογής του συστήματος αναφοράς στις αρνητικές συνέπειες που ενέχει η διακινδύνευση, η οποία αντιθέτως εντείνεται μειώνοντας τις τιμές του εν λόγω δείκτη.

Μηνιαίο εισόδημα	Κανονικοποιημένη τιμή	Τιμή τελικού δείκτη
2.060	1.0	0.0
1.200	0.5	0.5
750	0.23	0.77
540	0.10	0.9
360	0.0	1.0

Πίνακας 4.3 Παράδειγμα κανονικοποίησης και τελικού μετασχηματισμού του δείκτη μηνιαίου εισοδήματος.

Στον Πίνακα 4.3 εντοπίζονται οι κανονικοποιημένες τιμές του μηνιαίου εισοδήματος καθώς και οι τιμές που προέκυψαν εφαρμόζοντας τις κατάλληλες μετατροπές ώστε ο δείκτης να μπορεί δυνητικά να αξιοποιηθεί για την αξιολόγηση της διακινδύνευσης.

Με την υλοποίηση της διαδικασίας που περιγράφηκε επιτυγχάνεται η μετατροπή των τιμών κάθε δείκτη του μοντέλου επικινδυνότητας σε μια κοινή κλίμακα μέτρησης από 0 έως 1. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος κατηγοριοποίησης δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε δείκτες που ορίζονται βάσει μιας κατηγορικής κλίμακας, γι' αυτό συνιστάται ο μετασχηματισμός της τελευταίας σε τακτική κλίμακα μέτρησης αναθέτοντας μια τιμή από ένα (1) έως πέντε (5) στις διακριτές κατηγορίες του εκάστοτε δείκτη ανάλογα με την επίδρασή τους ως προς τη διακινδύνευση.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες που αξιολογούνται με την τιμή 1 δρουν κατασταλτικά ως προς τη διακινδύνευση, ενώ αντίθετα με την τιμή 5 προσδιορίζονται οι συνθήκες στις οποίες αποδίδονται οι δριμύτερες επιπτώσεις που εκδηλώνονται στο σύστημα αναφοράς (Πίνακας 4.4). Οι τιμές 1, 2, 3, 4, και 5 επιλέγονται αντίστοιχα για καθεμία κατηγορία σύμφωνα με την υπάρχουσα σχετική βιβλιογραφία και την κρίση των εμπειρογνωμόνων ή άλλων αρμόδιων φορέων και στη συνέχεια τροποποιούνται ώστε να αντιστοιχιστούν στην προκαθορισμένη κλίμακα εύρους από 0 έως 1.

Τιμές εντός του εύρους 0 – 1	Τιμές εντός του εύρους 1 – 5	Περιγραφή επίδρασης
0.0 – 0.2	1	Βέλτιστη (οι πρακτικές βελτίωσης δεν είναι αναγκαίες)
> 0.2 – 0.4	2	Αρκετά θετική
> 0.4 – 0.6	3	Ουδέτερη
> 0.6 – 0.8	4	Αρκετά αρνητική
> 0.8 – 1.0	5	Αρνητική (μπορεί να επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις)

Πίνακας 4.4 Ενδεικτική ταξινόμηση των τιμών ενός δείκτη ανάλογα με την επίδρασή του ως προς τη διακινδύνευση[14].

Για τη διεξαγωγή του επόμενου σταδίου που αφορά την άθροιση των δεικτών κινδύνου, τρωτότητας και έκθεσης αντίστοιχα, το σύνολο των δεδομένων θα πρέπει να έχει κανονικοποιηθεί με βάση τη συγκεκριμένη κλίμακα μέτρησης (Fritzsche et al., 2014; GIZ & EURAC, 2017).

4.3.2.6 Προσδιορισμός συντελεστών στάθμισης και άθροιση δεικτών

Κατά το έκτο στάδιο αξιολόγησης της επικινδυνότητας, οι επιμέρους δείκτες του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης (*risk*) αθροίζονται ανά κατηγορία διαμορφώνοντας αντίστοιχα τον σύνθετο δείκτη κινδύνου (*hazard*), τρωτότητας (*vulnerability*) και έκθεσης (*exposure*). Σε περίπτωση όμως που ορισμένες συνιστώσες κρίνονται πιο σημαντικές από τις υπόλοιπες για την έκβαση της ανάλυσης, θα πρέπει να οριστούν για εκείνες διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας. Επομένως, σε όσους δείκτες καθορίζονται από συνιστώσες που συμβάλλουν περισσότερο από άλλους στην ενίσχυση της διακινδύνευσης, αποδίδεται μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας και αντίστροφα. Παρ' όλα αυτά, αν θεωρηθεί ότι η επίδραση όλων των συνιστωσών στην παράμετρο διακινδύνευσης είναι ισάξια, ορίζεται ο ίδιος συντελεστής βαρύτητας για το σύνολο των δεικτών που συνθέτουν το μοντέλο επικινδυνότητας (Fritzsche et al., 2014).

14 Πηγή: Fritzsche et al., 2014; GIZ & EURAC, 2017

Η στάθμιση των συνιστωσών ενός μοντέλου εκτίμησης διακινδύνευσης μπορεί να επιτευχθεί με βάση τις υποδείξεις της σχετικής βιβλιογραφίας ή την κρίση των εμπειρογνωμόνων ανάλογα με το αντικείμενο μελέτης. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ένα ευρύ πλήθος τεχνικών στάθμισης όπου περιλαμβάνονται προηγμένες στατιστικές μέθοδοι όπως η ανάλυση παραγόντων (*Factor Analysis*) και η ανάλυση κύριων συνιστωσών (*Principal Components Analysis – PCA*), καθώς και διάφορες συμμετοχικές μέθοδοι, όπως η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Δεδομένου ότι οι στατιστικές μέθοδοι χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα καθώς απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις για την εφαρμογή τους, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (Fritzsche et al., 2014), οι συμμετοχικές μέθοδοι είναι πιο πρακτικές στη χρήση τους κι επομένως συνιστώνται για τον προσδιορισμό των συντελεστών στάθμισης κατά την αξιολόγηση της διακινδύνευσης. Επιπρόσθετα, διευκρινίζεται ότι η εφαρμογή των συμμετοχικών μεθόδων προσδίδει διαφάνεια στον ορισμό των συντελεστών στάθμισης, αποτρέποντας έτσι τη διατύπωση αντικρουόμενων απόψεων σχετικά με τα αποτελέσματα της εκάστοτε ανάλυσης επικινδυνότητας.

Αφού προσδιοριστεί ο συντελεστής στάθμισης κάθε δείκτη εφαρμόζοντας ιδανικά μια συμμετοχική μέθοδο, ο αναλυτής μπορεί να μεταβεί στο επόμενο στάδιο εκτίμησης της διακινδύνευσης κατά το οποίο τα στοιχεία που περιγράφουν τις τρεις κύριες συνιστώσες του μοντέλου αθροίζονται με σκοπό την δημιουργία των σύνθετων δεικτών κινδύνου, τρωτότητας και έκθεσης. Οι σύνθετοι δείκτες (*composite indicators - CI*) χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους επιστημονικούς τομείς για τη διερεύνηση κι αποτύπωση πολυδιάστατων εννοιών. Ειδικότερα, ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (*Organisation for Economic Co-operation and Development - Organisation for Economic Cooperation and Development*) ορίζει τον σύνθετο δείκτη ως ένα ποσοτικό ή ποιοτικό μέτρο που προκύπτει από μια αλληλουχία παρατηρηθέντων γεγονότων τα οποία φανερώνουν τις συνθήκες που επικρατούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ταυτόχρονα επισημαίνει πως όταν ο ίδιος δείκτης προσδιορίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μπορεί να αναδείξει τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα συναφή στοιχεία μεταβάλλονται σε βάθος χρόνου (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008).

Παρότι οι σύνθετοι δείκτες καθίστανται εξαιρετικά χρήσιμοι για την επίλυση ενός πολύπλοκου προβλήματος, εξετάζοντάς τους μεμονωμένα, οι υποκείμενοι προσδιοριστικοί παράγοντες αυτών δεν μπορούν να εντοπιστούν με μεγάλη ευκολία αλλά ούτε και να κατανοηθούν πλήρως. Εντούτοις, στα πλαίσια αξιολόγησης της διακινδύνευσης, ο βαθμός στον οποίο οι επιμέρους δείκτες συντελούν στη διαμόρφωση των σύνθετων δεικτών κινδύνου, τρωτότητας και έκθεσης αντίστοιχα πρέπει να γίνεται άμεσα αντιληπτός από κάθε τυχόν ενδιαφερόμενο φορέα (Fritzsche et al., 2014).

Το γεγονός αυτό πρέπει να λαβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τη διεξαγωγή μελετών επικινδυνότητας που αποσκοπούν στην ανάδειξη περιοχών προτεραιότητας για τη λήψη ειδικών μέτρων προσαρμογής. Επομένως, οι πληροφορίες που παρέχονται τόσο από το σύνολο των δεικτών του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης όσο και από κάθε σύνθετο δείκτη θα πρέπει να αξιοποιούνται συνδυαστικά ώστε να διερευνηθούν σε βάθος τα κύρια αίτια των επιπτώσεων που θα επέλθουν δυνητικά στο υπό μελέτη σύστημα κι έπειτα να καθοριστούν τα μέτρα πρόληψης, αντιμετώπισης και προσαρμογής που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε αυτό.

Για την άθροιση των μεμονωμένων δεικτών κινδύνου, τρωτότητας και έκθεσης, μέσω της ειδικής έκθεσης του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας, συνιστάται ο υπολογισμός του σταθμισμένου μέσου όρου (*weighted arithmetic mean*) καθώς αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη και απλή μέθοδο άθροισης πολλαπλών στοιχείων διαφορετικής σπουδαιότητας (Fritzsche et al., 2014).

Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό του σύνθετου δείκτη (CI) κάθε βασικού προσδιοριστικού παράγοντα της διακινδύνευσης ξεχωριστά, οι επιμέρους δείκτες πολλαπλασιάζονται με τους συντελεστές βαρύτητας που έχουν προσδιοριστεί για εκείνους στο προηγούμενο στάδιο, στη συνέχεια τα γινόμενα που προκύπτουν αθροίζονται και τέλος το άθροισμα των τελευταίων διαιρείται με το άθροισμα όλων των συντελεστών βαρύτητας όπως υποδεικνύεται βάσει της ακόλουθης συνάρτησης :

$$CI = (I_1 \cdot w_1 + I_2 \cdot w_2 + ... + I_n \cdot w_n) / (w_1 + w_2 + ... + w_n)$$

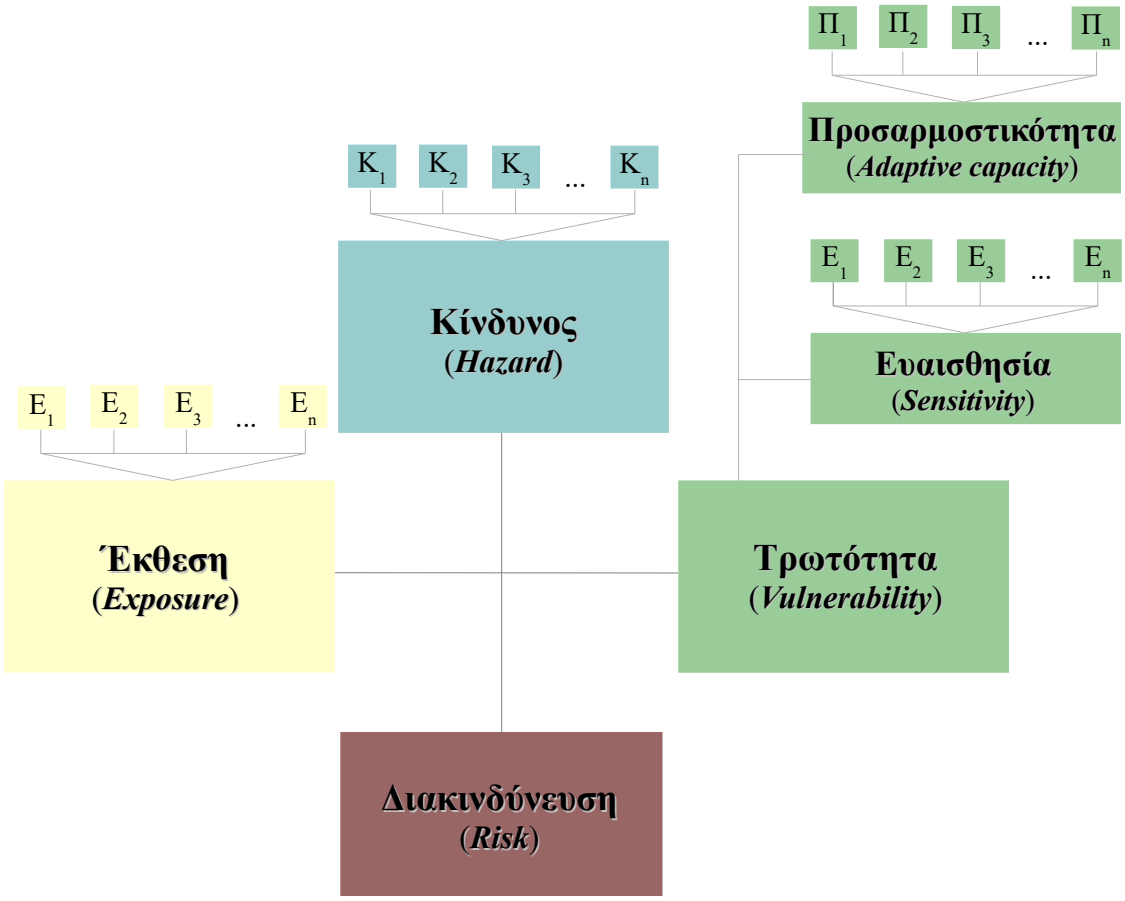
όπου I : ο εκάστοτε δείκτης κινδύνου, τρωτότητας ή έκθεσης
και w : ο συντελεστής βαρύτητάς του

Από την άλλη μεριά, αν η συμβολή των μεμονωμένων δεικτών στις παραμέτρους έκθεσης, τρωτότητας ή κινδύνου του συστήματος αναφοράς θεωρείται ισάξια, τότε οι αντίστοιχοι σύνθετοι δείκτες υπολογίζονται από το πηλίκο του αθροίσματος όλων των συναφών δεικτών διά του πλήθους τους.

Με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου μπορούν να εξαχθούν ουσιώδη συμπεράσματα μόνο σε περίπτωση που οι τιμές κάθε μεμονωμένου δείκτη έχουν επαναπροσδιοριστεί με βάση μια κοινή κλίμακα μέτρησης και για τους τρεις κύριους παράγοντες προσδιορισμού της διακινδύνευσης. Επιπλέον, οι χαμηλές ή υψηλές τιμές του εκάστοτε δείκτη πρέπει να υποδηλώνουν αντίστοιχα χαμηλό ή υψηλό βαθμό επικινδυνότητας, επηρεάζοντας ομοίως και την πιθανότητα εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων σε ένα σύστημα.

Κατά συνέπεια, εάν για παράδειγμα ένας δείκτης έχει συντελεστή βαρύτητας ίσο με την τιμή 2 τότε θεωρείται δύο φορές πιο σημαντικός από όλους τους δείκτες με συντελεστή βαρύτητας ίσο με την τιμή 1 (Fritzsche et al., 2014). Όπως γίνεται αντιληπτό, η επιλογή των κατάλληλων συντελεστών στάθμισης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική διότι καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτό το στάδιο της ανάλυσης.

Συνοψίζοντας, το έκτο στάδιο της μεθοδολογίας εκτίμησης της συνιστώσας διακινδύνευσης ολοκληρώνεται αθροίζοντας το σύνολο των μεμονωμένων δεικτών επικινδυνότητας, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία εντάσσονται, ώστε να προσδιοριστούν αντίστοιχα οι παράμετροι κινδύνου (*Hazard*), ευαισθησίας (*Sensitivity*), προσαρμοστικής ικανότητας (*Adaptive capacity*) κι έκθεσης (*Exposure*), σύμφωνα με την ιεραρχική δομή του μοντέλου.



Διάγραμμα.4.4 Άθροιση των επιμέρους δεικτών
του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης[15].

Τέλος, αθροίζονται επίσης οι παράμετροι ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητας με την εφαρμογή της ίδιας μεθόδου άθροισης (σταθμισμένος μέσος όρος) και με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται ο σύνθετος δείκτης τρωτότητας (*Vulnerability*), ο οποίος σε συνδυασμό με τους σύνθετους δείκτες κινδύνου κι έκθεσης συντελεί στον προσδιορισμό της διακινδύνευσης, όπως περιγράφεται στο επόμενο στάδιο της ανάλυσης (Fritzsche et al., 2014; GIZ & EURAC, 2017). Η εν λόγω διαδικασία αναπαρίσταται γραφικά στο Διάγραμμα 4.4.

15 Πηγή: GIZ & EURAC, 2017

4.3.2.7 Άθροιση κύριων συνιστωσών διακινδύνευσης

Στο έβδομο στάδιο της ανάλυσης, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (*GIZ*), τα τρία βασικά δομικά στοιχεία του μοντέλου επικινδυνότητας αθροίζονται με σκοπό τη δημιουργία του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης που ενδέχεται να εμφανίσει το υπό μελέτη σύστημα.

Όπως αναλύεται σε επόμενη ενότητα, διάφορες μέθοδοι άθροισης των επιμέρους στοιχείων μπορούν να εφαρμοστούν για τον υπολογισμό του εν λόγω δείκτη. Ωστόσο, προτείνεται η χρήση της μεθόδου του σταθμισμένου μέσου όρου (*weighted arithmetic mean*) για τον προσδιορισμό της παραμέτρου διακινδύνευσης, σύμφωνα με την οποία υπολογίζονται και οι σύνθετοι δείκτες κινδύνου, τρωτότητας κι έκθεσης κατά το έκτο στάδιο της ανάλυσης.

Ειδικότερα, ο σύνθετος δείκτης διακινδύνευσης ορίζεται βάσει των κύριων συνιστωσών του και των συντελεστών στάθμισης αυτών ως εξής:

$$\textbf{Διακινδύνευση} = (\ \textbf{Κίνδυνος} \cdot w_{K} + \textbf{Τρωτότητα} \cdot w_{Ευπ.} + \textbf{Έκθεση} \cdot w_{Εκ.}\ ) \ /\ (\ w_{K} + w_{Ευπ.} + w_{Εκ.}\ )$$

όπου w_{K} , $w_{Ευπ.}$ και $w_{Εκ.}$: ο συντελεστής στάθμισης της συνιστώσας κινδύνου, τρωτότητας κι έκθεσης αντίστοιχα

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου υποδηλώνουν τον βαθμό επικινδυνότητας που πρόκειται δυνητικά να εμφανίσει το σύστημα ενδιαφέροντος. Δεδομένου ότι όλοι οι δείκτες που αξιοποιούνται στη μελέτη έχουν ήδη τροποποιηθεί σε προηγούμενο στάδιο ώστε να εφράζονται βάσει μια κοινής κλίμακας μέτρησης από μηδέν (0) έως ένα (1) και παράλληλα οι μεγαλύτερες τιμές τους να αντιστοιχούν σε υψηλότερο βαθμό διακινδύνευσης και αντίστροφα, οι τιμές του τελικού σύνθετου δείκτη μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες, από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή διακινδύνευση, όπως περιγράφεται στον Πίνακα 4.5.

Τιμή σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης	Περιγραφή
0.0 – 0.2	Πολύ χαμηλή
> 0.2 – 0.4	Χαμηλή
> 0.4 – 0.6	Μέτρια
> 0.6 – 0.8	Υψηλή
> 0.8 – 1.0	Πολύ υψηλή

Πίνακας 4.5 Κατηγοριοποίηση των τιμών του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης[16].

4.3.2.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Αφού υλοποιηθούν όλες οι διαδικασίες που προαναφέρθηκαν, στο τελικό στάδιο ανάπτυξης ενός μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης παρουσιάζονται τα ευρήματα της μελέτης, με γνώμονα τους κύριους στόχους της ανάλυσης επικινδυνότητας. Υπό αυτό το πρίσμα, θα πρέπει να επιλεγούν τα κατάλληλα μέσα για την πληρέστερη περιγραφή κι ερμηνεία των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη το σύνολο των ομάδων ή/και φορέων στους οποίους απευθύνεται η εκάστοτε μελέτη όπως επίσης τα στοιχεία εκείνα που κρίνονται εξαιρετικά χρήσιμα για την εκτέλεση επακόλουθων ενεργειών, όπως τον σχεδιασμό στρατηγικών προσαρμογής στις δυσμενείς συνθήκες. Ακόμη, επισημαίνεται ότι οι πληροφορίες που αντλούνται από κάθε συνιστώσα του μοντέλου (κίνδυνος, τρωτότητα, έκθεση) ξεχωριστά είναι εξίσου σημαντικές με την τελική αξιολόγηση της διακινδύνευσης, γι' αυτό και θα πρέπει ιδανικά να συμπεριλαμβάνονται στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης (GIZ & EURAC, 2017).

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, στο τελευταίο στάδιο αξιολόγησης της εκάστοτε παραμέτρου διακινδύνευσης συντάσσεται μια τεκμηριωμένη έκθεση στην οποία εμπεριέχονται όλα τα στοιχεία που συμβάλλουν στην ορθή ερμηνεία και βαθύτερη κατανόηση των τελικών αποτελεσμάτων. Επομένως, στην έκθεση αυτή θα πρέπει να περιγράφονται με σαφήνεια τόσο οι στόχοι που έχουν τεθεί όσο και οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την επίτευξή τους καθώς και τα ευρήματα που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή της ανάλυσης επικινδυνότητας.

16 Πηγή: GIZ & EURAC, 2017

Οι στόχοι, ειδικότερα, αποτελούν έναν καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης της δομής της έκθεσης αξιολόγησης. Για παράδειγμα, εάν η μελέτη αποσκοπεί στον προσδιορισμό των μέτρων προσαρμογής που πρέπει να ληφθούν, κρίνεται απολύτως αναγκαίο να γίνει εκτενής αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των επιμέρους δεικτών, όπως επίσης να δοθούν περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με την απόκτηση των δεδομένων και τους εμπειρογνώμονες που ενεπλάκησαν στα διάφορα στάδια της ανάλυσης (Fritzsche et al., 2014). Το σύνολο των στοιχείων αυτών μπορεί να αξιοποιηθεί μελλοντικά για την επαναξιολόγηση των συνθηκών που συντελούν στην εμφάνιση αρνητικών επιπτώσεων αναφορικά με την παράμετρο διακινδύνευσης που διερευνάται ανά περίπτωση.

Επιπρόσθετα, η οπτικοποίηση των ευρημάτων της εκάστοτε ανάλυσης επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας συγκεντρωτικών πινάκων, διαγραμμάτων και χαρτών που συνιστούν ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία τόσο για την κατανόηση κι ερμηνεία των αποτελεσμάτων όσο και για την εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων. Καθένα από αυτά τα μέσα εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό και κατά συνέπεια η χρήση τους δεν ενδείκνυται για όλες τις περιπτώσεις (Fritzsche et al., 2014).

Όπως γίνεται αντιληπτό, η επιλογή του κατάλληλου μέσου οπτικοποίησης είναι υψίστης σημασίας διότι μέσω αυτής μπορεί να διασφαλιστεί η πληρέστερη παρουσίαση των ευρημάτων της ανάλυσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι χαρτογραφικές αναπαραστάσεις μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά για την απεικόνιση των γεωχωρικών δεδομένων και τη διεξαγωγή συγκρίσεων μεταξύ ποικίλων συστημάτων και περιοχών ενδιαφέροντος ή/και σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες. Οι σχετικοί χάρτες μπορούν να δημιουργηθούν στο περιβάλλον εργασίας ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (*Geographic Information System – GIS*).

Συνοψίζοντας, με βάση τη σχετική οδηγία του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (Fritzsche et al., 2014), για την σύνταξη μιας τεκμηριωμένης έκθεσης αξιολόγησης της υπό εξέταση παραμέτρου διακινδύνευσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής :

- **Ευρύτερο πλαίσιο και στόχοι** (ιδρύματα κι εμπλεκόμενοι φορείς, σύστημα αναφοράς, χωρική και χρονική κλίμακα της ανάλυσης, κ.ά.)
- **Μεθοδολογία** (δείκτες που αξιοποιήθηκαν, κριτήρια επιλογής αυτών και μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για τη στάθμιση κι άθροιση τους, πληροφορίες σχετικά με τις πηγές δεδομένων, τους εμπειρογνώμονες που μετείχαν στην ανάλυση, κ.ά.)
- **Ευρήματα** (μεμονωμένοι δείκτες, παράγοντες κινδύνου, τρωτότητας κι έκθεσης, σύνθετος δείκτης διακινδύνευσης, προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διεξαγωγή της ανάλυσης, αβεβαιότητες που χαρακτηρίζουν την αξιολόγηση της διακινδύνευσης, κ.ά.)
- **Συμπεράσματα** (στρατηγικές προσαρμογής που μπορούν να εφαρμοστούν, συστήματα και περιοχές που πρέπει να τεθούν σε προτεραιότητα, εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν, κ.ά.)

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι το σύνολο των ομάδων ή/και φορέων στους οποίους απευθύνεται η μελέτη αποτελεί βασικό κριτήριο για την επιλογή των στοιχείων που κρίνεται αναγκαίο να συμπεριληφθούν στην εν λόγω έκθεση. Για παράδειγμα, τα ευρήματα μιας ανάλυσης μπορεί να φανούν πιο χρήσιμα από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν στις επιμέρους διαδικασίες για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής κι επομένως αυτά θα πρέπει να παρουσιαστούν λεπτομερώς. Τέλος, διευκρινίζεται ότι τα μέσα που επιλέγονται για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να παρέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε να γίνονται πλήρως κατανοητά τα ευρήματα της εκάστοτε ανάλυσης χωρίς να χρειάζεται κάποιος να ανατρέξει στο συνοδευτικό κείμενο (Fritzsche et al., 2014).

Κεφάλαιο 5ο : Υλικά και μέθοδοι

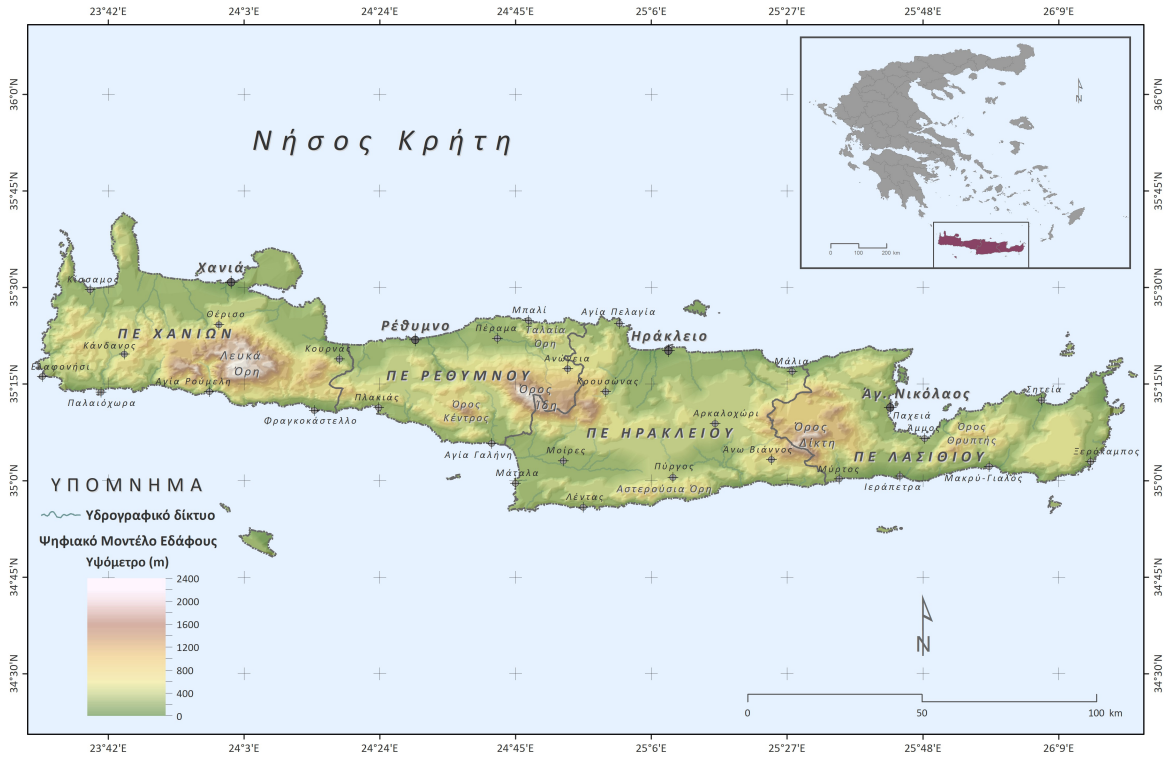
5.1 Περιοχή μελέτης

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, διερευνήθηκε η διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς στη νήσο Κρήτη κατά την χρονική περίοδο αναφοράς 1986 – 2005 καθώς επίσης για τις προκαθορισμένες μελλοντικές περιόδους εξέτασης 2046 – 2065 και 2081 – 2100 με βάση τις Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5), όπως αυτές ορίζονται από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*). Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από κλιματολογικής αλλά και οικονομικής άποψης, αφενός λόγω της γεωγραφικής της θέσης στην λεκάνη της Μεσογείου κι αφετέρου λόγω της δραστηριοποίησής της στον τουριστικό τομέα.

Η Κρήτη χωροθετείται νότια του Αιγαίου πελάγους σε απόσταση 160 km περίπου από την ελληνική ηπειρωτική χώρα ενώ διαβρέχεται από το Κρητικό και Λιβυκό πέλαγος στο βόρειο και νότιο άκρο της αντίστοιχα. Εκτείνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά καταλαμβάνοντας συνολική έκταση 8.330 km², με μήκος ακτογραμμής 1.046 km και μέγιστο υψόμετρο που φτάνει τα 2.456 m στην κορυφή του όρους Ίδη (Ψηλορείτης). Ακόμη, αναφέρεται ότι η απόσταση μεταξύ του δυτικού και του ανατολικού άκρου της νήσου υπολογίζεται στα 256 km[17].

Με γνώμονα τη γεωγραφική της θέση, η νήσος Κρήτη εντάσσεται στη μεσογειακή κλιματική ζώνη, γεγονός που καθιστά εύκρατο το κλίμα της. Συνεπώς, οι κλιματολογικές συνθήκες είναι αρκετά ήπιες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Τα επίπεδα υγρασίας ωστόσο παραμένουν ιδιαίτερα υψηλά, ειδικά σε περιοχές πλησίον της ακτής, με τα μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης να εντοπίζονται ως επί το πλείστον στο δυτικό τμήμα του νησιού. Οι χιονοπτώσεις δε εμφανίζονται σπάνια στις πεδινές εκτάσεις, σε αντίθεση με τις ορεινές περιοχές όπου αυτού του είδους τα φαινόμενα παρατηρούνται αρκετά συχνά. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στους 25-30°C κατά τη θερινή περίοδο, ενώ στη νότια ακτή του νησιού καταγράφονται υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τις βόρειες και ορεινές περιοχές όπου είναι κατά βάση ψυχρότερες[17].

17 Πηγή: https://www.crete.gov.gr/perifereia/



Χάρτης 5.1 Απεικόνιση της περιοχής μελέτης.

Όσον αφορά τη μορφολογία της περιοχής, οι ορεινές περιοχές που εκτείνονται σε υψόμετρο άνω των 700 m καλύπτουν το 21,6% της έκτασης της Κρήτης, ενώ επιβλητικές οροσειρές κυριαρχούν σε όλο το μήκος της, από τα ανατολικά έως τα δυτικά[18]. Ειδικότερα, οι ορεινοί όγκοι των Λευκών Ορέων, της Ίδης και της Δίκτης κατέχουν δεσπόζουσα θέση εντός της ΠΕ Χανίων, Ρεθύμνου – Ηρακλείου και Λασιθίου αντίστοιχα. Τα Λευκά Όρη είναι η μεγαλύτερη σε έκταση οροσειρά του νησιού, με μέγιστο υψόμετρο 2.453 m. Η υψηλότερη κορυφή της Κρήτης που απαντάται στα 2.456 m εντοπίζεται ωστόσο στην οροσειρά της Ίδης κεντρικά της νήσου ενώ στα ανατολικά, το μεγαλύτερο υψόμετρο που έχει καταγραφεί βρίσκεται στην κορυφή του όρους Δίκτη στα 2.148 m. Επιπρόσθετα, άλλοι ορεινοί όγκοι που υψώνονται στην περιοχή της Κρήτης είναι το όρος Κέντρος (1777 m) και τα Ταλαία όρη (1088 m) στο νομό Ρεθύμνου, τα Αστερούσια Όρη (1231 m) στα νότια της ΠΕ Ηρακλείου κι η οροσειρά της Θρυπτής (1476 m) στο νομό Λασιθίου[19]. Αυτοί συναντώνται αντίστοιχα από τα δυτικά προς τα ανατολικά του νησιού, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα έντονο ανάγλυφο εδάφους.

18 Πηγή: http://www.ecovalue-crete.eu/el/news/379
19 Πηγή: https://www.incrediblecrete.gr/mountains/

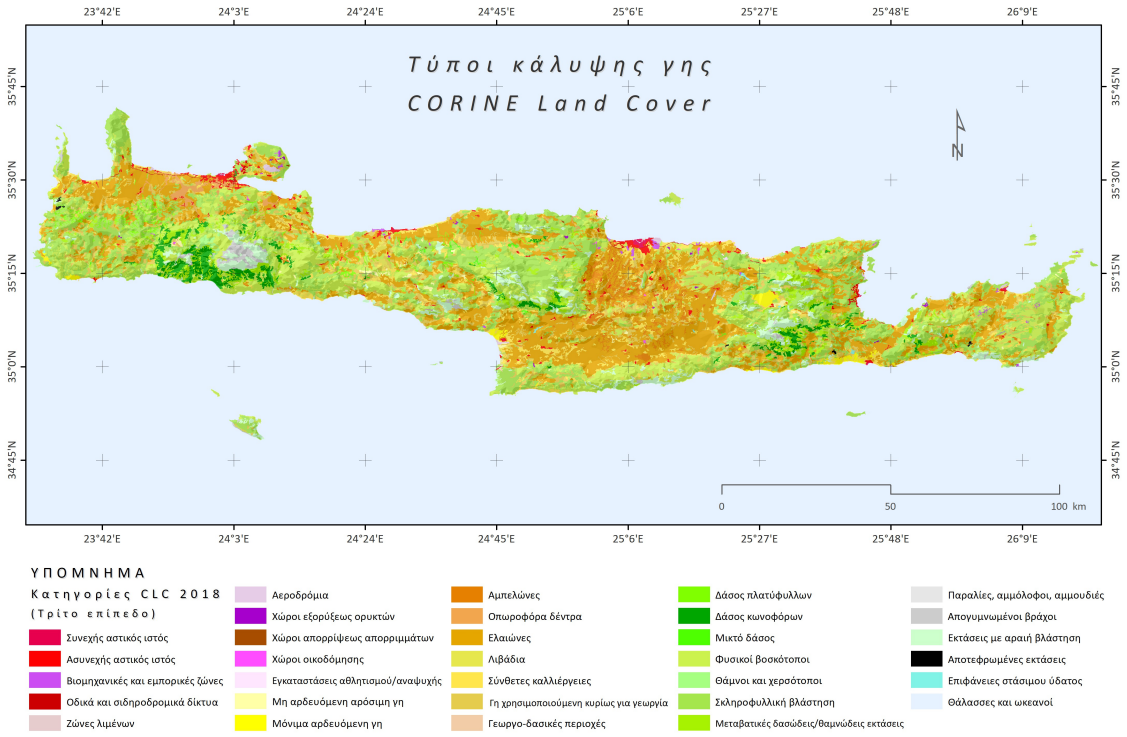
Η γεωλογική δομή και η μορφολογία του νησιού έχουν συντελέσει διαχρονικά στον σχηματισμό εύφορων οροπεδίων όπως αυτό του Ομαλού Χανίων στα Λευκά Όρη, της Νίδας στο όρος Ίδη καθώς και το οροπέδιο του Καθαρού στην οροσειρά της Δίκτης. Επιπλέον, η ύπαρξη χαράδρων μεγάλου βάθους αποτελεί ακόμα ένα κύριο γνώρισμα της περιοχής. Ενδεικτικά αναφέρονται τα φαράγγια της Σαμαριάς και της Ίμπρου στην ΠΕ Χανίων, το Κουρταλιώτικο φαράγγι στην ΠΕ Ρεθύμνου, το φαράγγι του Ρούβα στην κεντρική Κρήτη, όπως επίσης τα φαράγγια του Χα και της Ζάκρου στην ΠΕ Λασιθίου[20].

Αναφορικά με τους επικρατέστερους τύπους κάλυψης γης, όπως αυτοί προκύπτουν βάσει του υποβάθρου *CORINE Land Cover (2018)*[21], το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης καταλαμβάνουν οι ελαιώνες, σε ποσοστό 25,7% επί της συνολικής έκτασης της Περιφέρειας Κρήτης. Αυτοί μάλιστα συγκεντρώνονται κατά κύριο λόγο εντός της ΠΕ Ηρακλείου, με ιδιαίτερα έντονη παρουσία ωστόσο και στην υπόλοιπη έκταση του νησιού. Ένα αντίστοιχα υψηλό ποσοστό κάλυψης (24,1%) διατηρεί η σκληροφυλλική βλάστηση η οποία κυριαρχεί εξίσου κατά μήκος της περιοχής, ενώ έπονται οι βοσκότοποι με ποσοστό κάλυψης 17,5%.

Από την άλλη πλευρά, οι εκτάσεις που αντιστοιχούν στις κατηγορίες 2.2.1, 2.4.2, 2.4.3, 3.1.2, 3.2.4 και 3.3.3 του υπομνήματος *CORINE Land Cover (2018)* δεν κρίνονται αμελητέες καθώς αθροιστικά συνεισφέρουν το 27,9% της κάλυψης ολόκληρης της έκτασης του νησιού, ενώ το υπολειπόμενο ποσοστό διαμοιράζεται στους τύπους κάλυψης γης που απομένουν. Ειδικότερα, στον Χάρτη 5.2 διακρίνεται η χωρική κάλυψη των επικρατέστερων κατηγοριών του εν λόγω υποβάθρου.

20 Πηγή: https://www.crete.gov.gr/perifereia/

21 Το σχετικό υπόβαθρο διατίθεται μέσω της επίσημης ιστοσελίδας του Ευρωπαϊκού προγράμματος παρακολούθησης της Γης "*Copernicus Land Monitoring"*: https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012



Χάρτης 5.2 Χωρική κατανομή των τύπων κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης.

5.1.1 Δημογραφικά στοιχεία

Η νήσος Κρήτη μαζί με τα νησιά μικρότερης έκτασης που την περιβάλλουν, όπως η Γαύδος, η Γαυδοπούλα, η Δία, η Χρυσή, το Κουφονήσι, οι Διονυσάδες Νήσοι κ.ά. συνιστούν μία από τις δεκατρείς Περιφέρειες της Ελλάδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Κρήτη αποτελεί το πολυπληθέστερο και μεγαλύτερο σε έκταση νησί της Ελλάδας ενώ συγχρόνως βρίσκεται στην πέμπτη θέση της κατάταξης των νησιωτικών περιοχών της Μεσογείου με τη μεγαλύτερη έκταση μετά τη Σικελία, τη Σαρδηνία, την Κύπρο και την Κορσική[22].

Η Περιφέρεια Κρήτης συγκεντρώνει το 5,76% του πληθυσμού της χώρας καθώς στο νησί απαντώνται συνολικά 623.065 κάτοικοι με βάση τα στοιχεία της απογραφής του μόνιμου πληθυσμού για το έτος 2011, όπως αυτά διατίθενται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ)[23].

22 Πηγή: https://www.crete.gov.gr/perifereia/
23 Πηγή: https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/2011

Σύμφωνα με τις μεταρρυθμίσεις που επέφερε η εφαρμογή του προγράμματος "Καλλικράτης", η Περιφέρεια Κρήτης διαιρείται διοικητικά σε τέσσερις Περιφερειακές Ενότητες, τους πρώην Νομούς Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου και Χανίων. Ακόμη αναφέρεται ότι η εν λόγω περιφέρεια συνίσταται πλέον μόνο από 24 δημοτικές ενότητες, ύστερα από τις προκύπτουσες συνενώσεις μεταξύ των 68 προγενέστερων δήμων.

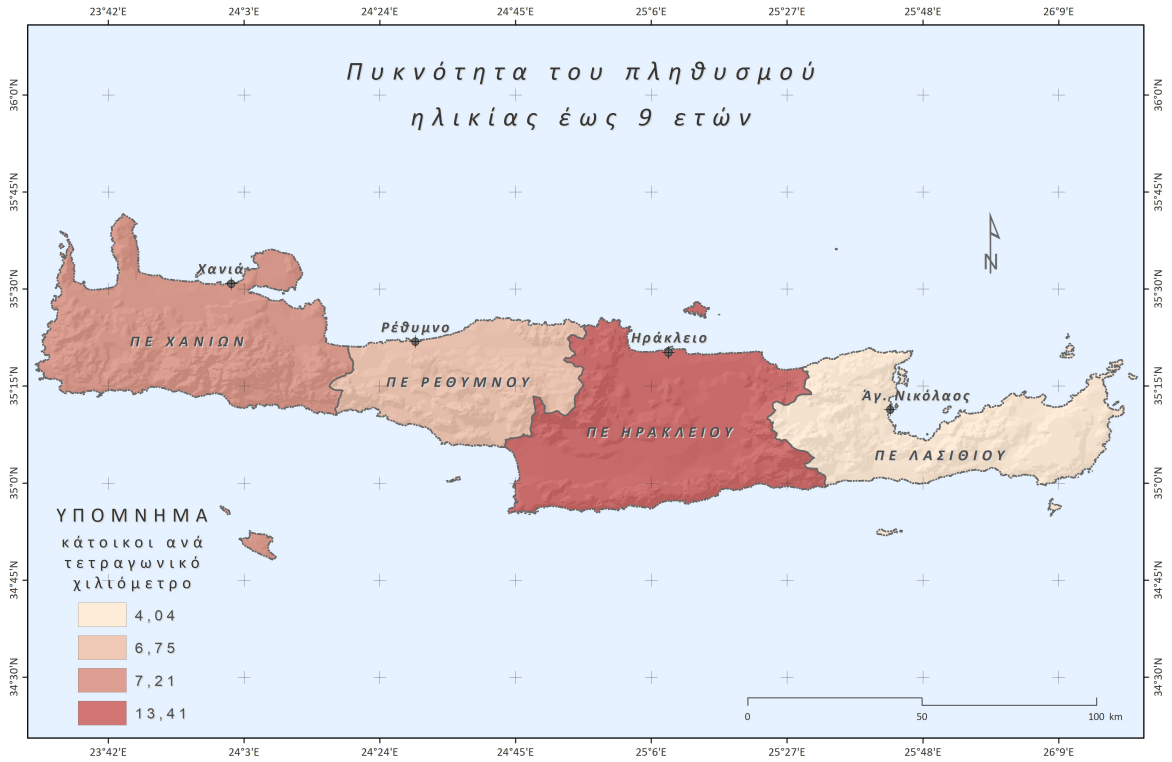
Η ΠΕ Ηρακλείου ειδικότερα φιλοξενεί το 49% του πληθυσμού της περιφέρειας του νησιού, ο οποίος ανέρχεται στους 305.490 μόνιμους κατοίκους και έπεται η ΠΕ Χανίων, με πληθυσμό 156.585 κατοίκων. Στην ΠΕ Ρεθύμνου έχουν καταγραφεί συνολικά 85.609 κάτοικοι, ενώ η ΠΕ Λασιθίου κατέχει μόλις το 12% του μόνιμου πληθυσμού της Περιφέρειας Κρήτης καθώς ο πληθυσμός της υπολογίζεται σε 75.381 κατοίκους.

Όσον αφορά την ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού της νήσου Κρήτης, διαπιστώνεται ότι η ΠΕ Ηρακλείου διατηρεί επίσης το υψηλότερο ποσοστό συγκέντρωσης τόσο του νεότερου όσο και του γηραιότερου πληθυσμού, ηλικίας έως 9 ετών και άνω των 65 ετών αντίστοιχα. Από την άλλη μεριά, η ΠΕ Λασιθίου εμφανίζει το χαμηλότερο ποσοστό (10%) ως προς την κατανομή του πληθυσμού νεότερης ηλικίας συγκριτικά με τις υπόλοιπες Περιφερειακές Ενότητες. Εντούτοις, το χαμηλότερο ποσοστό (13%) συγκέντρωσης του γηραιότερου πληθυσμού εντοπίζεται στην ΠΕ Ρεθύμνου όπου φαίνεται ότι διαμένουν οι λιγότεροι κάτοικοι, ηλικίας 65 ετών και άνω.

Τόπος μόνιμης διαμονής	**Πληθυσμός**	**Ηλικιακή ομάδα**	
		0 – 9 ετών	**> 65 ετών**
ΠΕ Ηρακλείου	305.490	35.350	51.530
ΠΕ Λασιθίου	75.381	7.345	16.725
ΠΕ Ρεθύμνου	85.609	10.092	14.199
ΠΕ Χανίων	156.585	17.137	27.462
Περιφέρεια Κρήτης	**623.065**	**69.924**	**109.916**

Πίνακας 5.1 Πληθυσμός κατά τόπο μόνιμης διαμονής
και ηλικιακή ομάδα ενδιαφέροντος[24].

24 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ / Απογραφή Πληθυσμού 2011

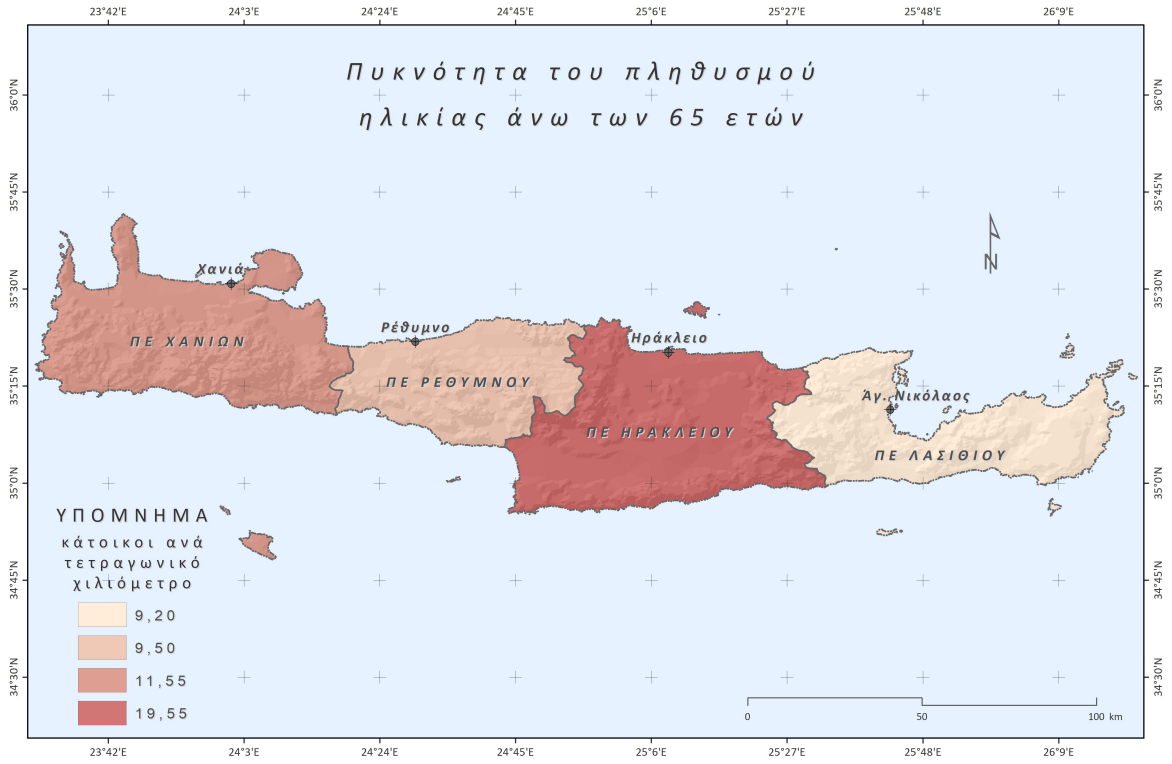


Χάρτης 5.3 Πληθυσμιακή πυκνότητα των ατόμων ηλικίας έως 9 ετών ανά Περιφερειακή Ενότητα[25].

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η ΠΕ Ηρακλείου παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της πυκνότητας του πληθυσμού έναντι των υπολοίπων, όπως αυτή υπολογίζεται περίπου σε 115,9 κατοίκους ανά km². Η ΠΕ Λασιθίου αντίθετα διακρίνεται από τη μικρότερη πληθυσμιακή πυκνότητα, με 41,4 κατοίκους ανά km², ενώ στις ΠΕ Χανίων και Ρεθύμνου αντιστοιχούν 65,8 και 57,2 κάτοικοι ανά km² βάσει των στοιχείων της απογραφής πληθυσμού του 2011.

Σχετικά με την κατανομή του πληθυσμού ηλικίας έως 9 ετών, οι ΠΕ Ηρακλείου και Λασιθίου εμφανίζουν αντίστοιχα τη μεγαλύτερη και μικρότερη πληθυσμιακή πυκνότητα, με 13,4 και 4 κατοίκους περίπου ανά km². Για την ΠΕ Χανίων, η πυκνότητα του πληθυσμού αυτής της ηλικιακής ομάδας υπολογίζεται περίπου σε 7,2 κατοίκους ανά km² ενώ για την ΠΕ Ρεθύμνου μειώνεται ελαφρώς σε 6,75 κατοίκους ανά km².

25 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ / Απογραφή Πληθυσμού 2011



Χάρτης 5.4 Πληθυσμιακή πυκνότητα των ατόμων ηλικίας 65 ετών και άνω ανά Περιφερειακή Ενότητα[26].

Τέλος, η μέγιστη τιμή της πυκνότητας του πληθυσμού ηλικίας 65 ετών και άνω παρατηρείται στην ΠΕ Ηρακλείου όπου συγκεντρώνονται σχεδόν 19,6 κάτοικοι ανά km². Ακολουθούν οι ΠΕ Χανίων και Ρεθύμνου για τις οποίες υπολογίζονται περίπου 11,6 και 9,5 κάτοικοι ανά km² αντίστοιχα. Ωστόσο, η ΠΕ Λασιθίου εμφανίζει την ελάχιστη τιμή της πυκνότητας του πληθυσμού αυτής την ηλικιακής ομάδας, με 9,2 κατοίκους ανά km², παρότι η ΠΕ Ρεθύμνου κατέχει το χαμηλότερο ποσοστό ως προς την κατανομή του γηραιότερου πληθυσμού.

26 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ / Απογραφή Πληθυσμού 2011

5.1.2 Οικονομικά στοιχεία

Η οικονομία της Περιφέρειας Κρήτης συνδέεται ως επί το πλείστον με τον αγροτικό τομέα, τον τουρισμό και το εμπόριο. Σύμφωνα μάλιστα με την Ακαθάριστη Αξία Παραγωγής, το 35% της οικονομικής δραστηριότητας συνθέτουν οι κλάδοι του τουρισμού και του εμπορίου, ενώ σχεδόν το 20% αυτής αποδίδεται αθροιστικά στους τομείς της γεωργίας/δασοκομίας/αλιείας, της μεταποίησης και των κατασκευών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο οι τουριστικές υπηρεσίες όσο και ένα σημαντικό τμήμα της αγροτικής και μεταποιητικής παραγωγής απευθύνονται στη διεθνή αγορά.

Όσον αφορά το καθεστώς απασχόλησης των μόνιμων κατοίκων της Περιφέρειας Κρήτης, τα στοιχεία της απογραφής πληθυσμού του 2011 από την ΕΛΣΤΑΤ[27] καταδεικνύουν ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά, άνω του 80% ανά Περιφερειακή Ενότητα ως προς τον οικομικά ενεργό πληθυσμό. Στην ΠΕ Ηρακλείου ειδικότερα απαντώνται συνολικά οι περισσότεροι απασχολούμενοι κάτοικοι του νησιού σε αντίθεση με την ΠΕ Λασιθίου όπου βρίσκονται οι λιγότεροι, παρότι η τελευταία εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό απασχόλησης που προσεγγίζει το 87%.

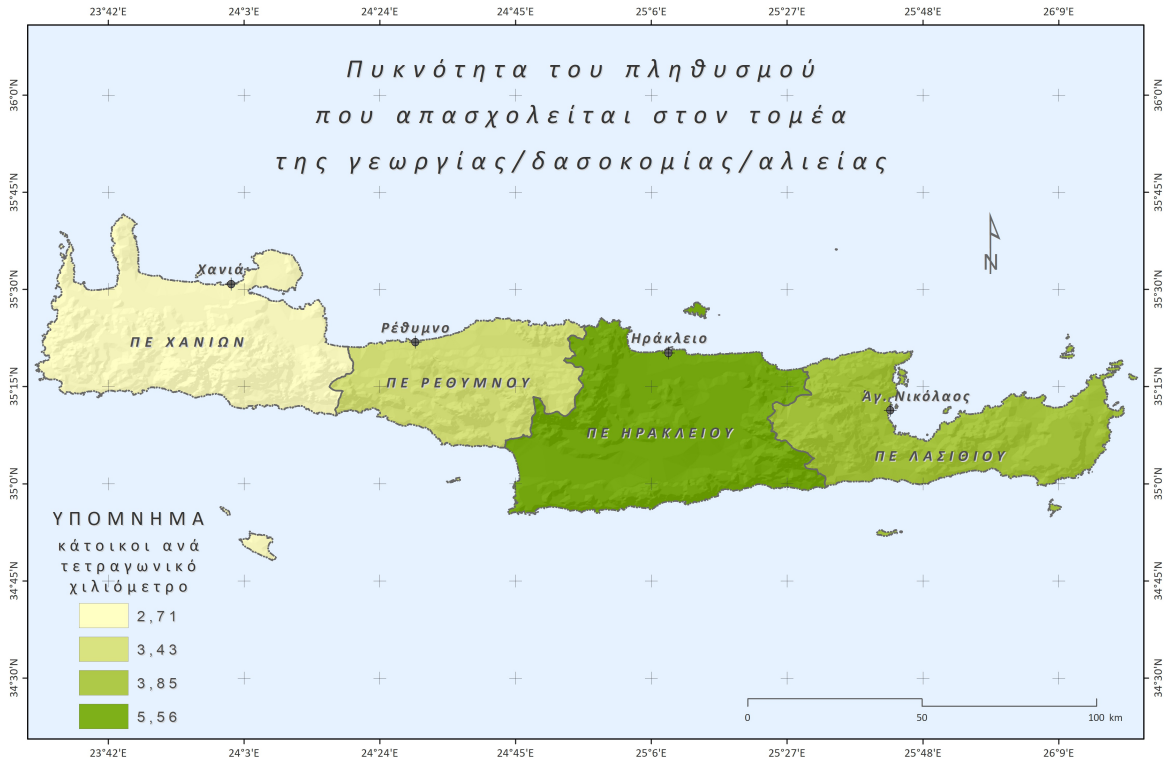
Τόπος μόνιμης διαμονής	**Οικονομικά ενεργός πληθυσμός**		
	Σύνολο	**Απασχολούμενοι**	**Άνεργοι**
ΠΕ Ηρακλείου	133.666	109.627	24.039
ΠΕ Λασιθίου	33.005	28.593	4.412
ΠΕ Ρεθύμνου	35.641	30.499	5.142
ΠΕ Χανίων	67.561	56.999	10.562
Περιφέρεια Κρήτης	**269.873**	**225.718**	**44.155**

Πίνακας 5.2 Οικονομικά ενεργός πληθυσμός κατά τόπο μόνιμης διαμονής[28].

Επιπρόσθετα, σχετικά με την κατανομή των απασχολούμενων στον τομέα της γεωργίας/δασοκομίας/αλιείας, το μεγαλύτερο πλήθος αυτών (14.660) συγκεντρώνεται στην ΠΕ Ηρακλείου με ποσοστό 44% επί του συνόλου σε ολόκληρη την Περιφέρεια Κρήτης. Εντούτοις, το χαμηλότερο ποσοστό κατέχει η περιφερειακή εντότητα Ρεθύμνου με 5.139 απασχολούμενους σε αυτό τον κλάδο δραστηριότητας.

27 Πηγή: https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM04/2011
28 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ / Απογραφή Πληθυσμού 2011

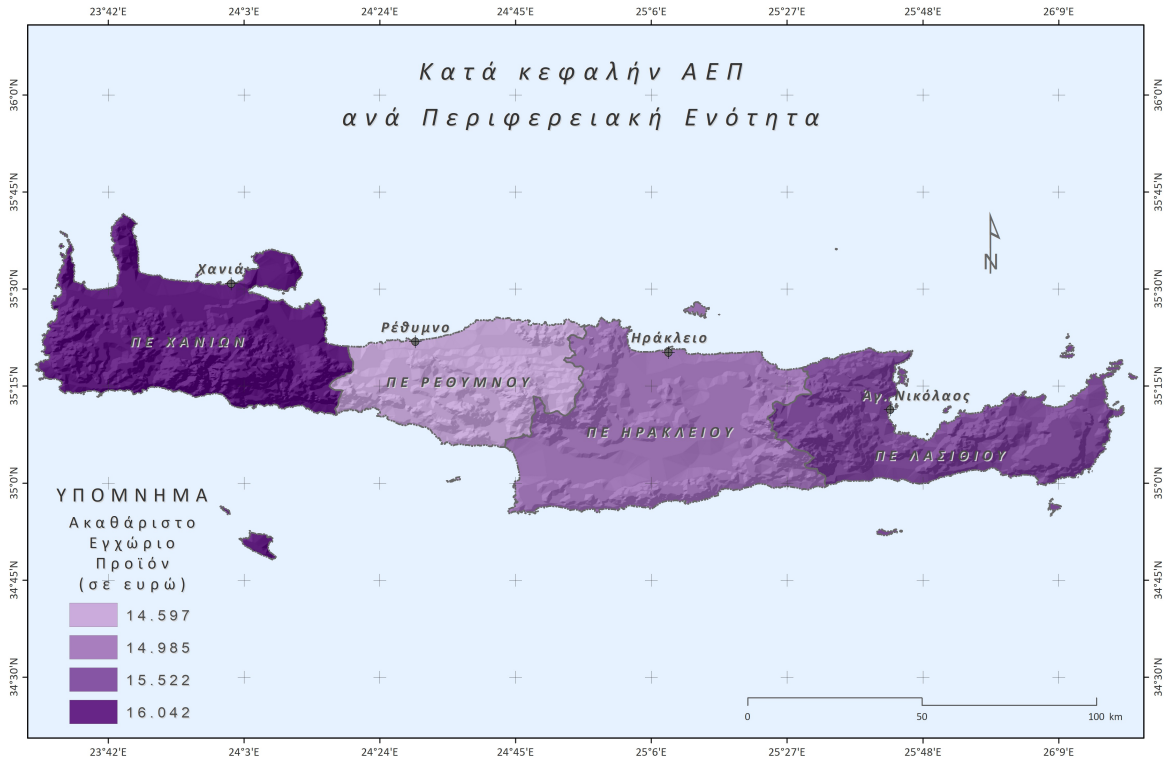
Από την άλλη μεριά, οι ΠΕ Λασιθίου και Χανίων εμφανίζουν σχεδόν όμοια ποσοστά απασχόλησης της τάξης του 20% καθώς 7.015 και 6.444 κατοίκοι αντίστοιχα καταπιάνονται με σχετικές εργασίες. Παρόλα αυτά, επισημαίνεται ότι η ΠΕ Χανίων είναι εκείνη που εμφανίζει την ελάχιστη πληθυσμιακή πυκνότητα (2,7 κάτοικοι ανά km²) αναφορικά με τους απασχολούμενους στον εν λόγω τομέα, ακολουθούμενη διαδοχικά από τις ΠΕ Ρεθύμνου και Λασιθίου, ενώ η μέγιστη πυκνότητα (5,6 κάτοικοι ανά km²) υπολογίζεται για την ΠΕ Ηρακλείου.



Χάρτης 5.5 Πληθυσμιακή πυκνότητα των απασχολούμενων στον τομέα της γεωργίας/δασοκομίας/αλιείας ανά Περιφερειακή Ενότητα[29].

Ακόμη, το μέσο κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ)[30] της Περιφέρειας Κρήτης ανέρχεται στις 15.262 ευρώ, σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ για το ίδιο έτος. Σε τοπικό επίπεδο, πιο συγκεκριμένα, το μέγιστο κατά κεφαλήν ΑΕΠ συναντάνται στην ΠΕ Χανίων για την οποία υπολογίζεται στις 16.042 ευρώ, ενώ αντίθετα το ελάχιστο αποδίδεται στην ΠΕ Ρεθύμνου όπου αυτό δεν υπερβαίνει τις 14.597 ευρώ. Ωστόσο, αναφορικά με τις ΠΕ Λασιθίου και Ηρακλείου, το κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν διαφοροποιείται σημαντικά από το μέσο όρο όπως υπολογίζεται στις 15.522 και 14.985 ευρώ αντίστοιχα.

29 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ / Απογραφή Πληθυσμού 2011
30 Πηγή: https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SEL57/-



Χάρτης 5.6 Κατανομή του κατά κεφαλήν ΑΕΠ ανά Περιφερειακή Ενότητα[31].

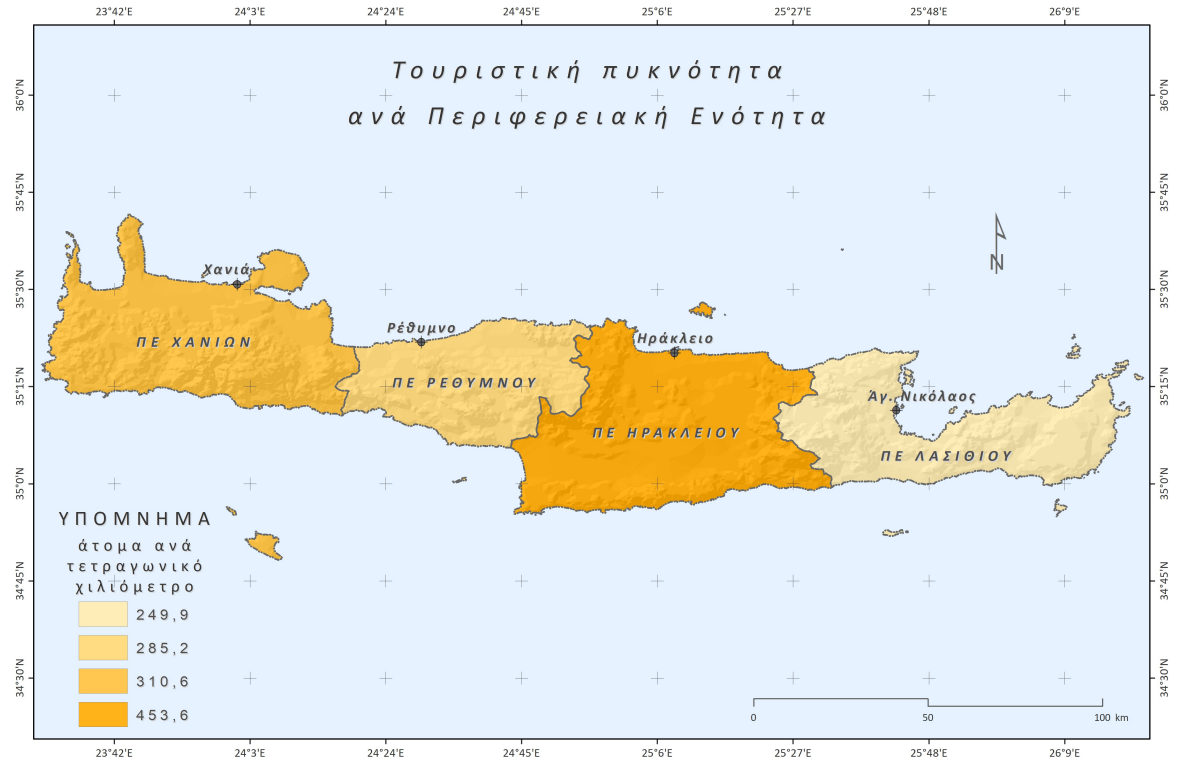
Τέλος, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί η συνεισφορά του τουριστικού τομέα στην οικονομική ενίσχυση του νησιού. Συνεπώς, για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας επιπλέον αξιοποιήθηκαν τα στατιστικά στοιχεία που δίνονται στην τεχνική έκθεση του Ινστιτούτου του Συνδέσμου Ελληνικών Τουριστικών Επιχειρήσεων (ΙΝΣΕΤΕ)[32] με τίτλο "Βασικά τουριστικά μεγέθη της Περιφέρειας Κρήτης". Τα συγκεκριμένα δεδομένα αφορούν μεταξύ άλλων το σύνολο των αφίξεων αλλοδαπών και ημεδαπών ανά Περιφερειακή Ενότητα, όπως αυτές παραθέτονται στον Πίνακα 5.3. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, ειδικότερα, η ΠΕ Ηρακλείου αποτέλεσε τον προορισμό με την υψηλότερη επισκεψιμότητα κατά το έτος παρατήρησης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 2011 στον Κρατικό Αερολιμένα Ηρακλείου "Ν. Καζαντζάκης" έφθασαν συνολικά 2.608.856 αλλοδαποί και ημεδαποί τουρίστες, ενώ στο αεροδρόμιο Χανίων "Ι. Δασκαλογιάννης" σημειώθηκαν αντίστοιχα 874.608 αφίξεις.

31 Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ / Απογραφή Πληθυσμού 2011
32 Πηγή: https://insete.gr/perifereies/

Προορισμός	Αφίξεις		
	Σύνολο	Αλλοδαπών	Ημεδαπών
ΠΕ Ηρακλείου	1.195.714	1.056.862	138.852
ΠΕ Λασιθίου	454.764	386.452	68.312
ΠΕ Ρεθύμνου	426.632	367.637	58.995
ΠΕ Χανίων	738.500	620.040	118.460
Περιφέρεια Κρήτης	**2.815.610**	**2.430.991**	**384.619**

Πίνακας 5.3 Στοιχεία αφίξεων αλλοδαπών και ημεδαπών τουριστών κατά το έτος 2011[33].

Συνοψίζοντας, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί εξίσου ότι η ΠΕ Λασιθίου παρουσιάζει συγκριτικά την ελάχιστη τουριστική πυκνότητα έναντι των υπολοίπων Περιφερειακών Ενοτήτων της Κρήτης. Ωστόσο, το σύνολο των αφίξεων που καταγράφηκαν για την ίδια δεν υπολείπεται σε σημαντικό βαθμό από αυτό της ΠΕ Ρεθύμνου, η οποία έπεται στη συγκεκριμένη κατάταξη.



Χάρτης 5.7 Τουριστική πυκνότητα ανά Περιφερειακή Ενότητα Κρήτης για το έτος 2011[33].

33 Πηγή: ΙΝΣΕΤΕ / "Βασικά τουριστικά μεγέθη της Περιφέρειας Κρήτης"

5.2 Ανάπτυξη μοντέλου διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς

5.2.1 Κρίση εμπειρογνωμόνων

Στα πλαίσια βαθμονόμησης της διακινδύνευσης (risk) ως προς την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών σε τουριστικές περιοχές των νησιωτικών κρατών της Μεσογείου, διεξήχθει από τους Bacciu et al. (2021) μια ερευνητική μελέτη της οποίας τα αποτελέσματα βασίστηκαν στην κρίση ενός συνόλου επιστημόνων κι εμπειρογνωμόνων με εξειδικευμένες γνώσεις στις δασικές πυρκαγιές και στους παράγοντες εμφάνισής τους.

Με σκοπό την διερεύνηση της διακινδύνευσης που αφορά την εκδήλωση ενός πιθανού συμβάντος δασικής πυρκαγιάς, συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις με τους ειδικούς οι οποίοι ανέλυσαν τη σπουδαιότητα των συνιστωσών που εντείνουν τη διακινδύνευση αποδίδοντας σε καθεμία από αυτές έναν βαθμό σημαντικότητας, όπως επίσης στους επιμέρους προσδιοριστικούς τους δείκτες. Στο σύνολο των ειδικών που μετείχαν στην εν λόγω έρευνα περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι :

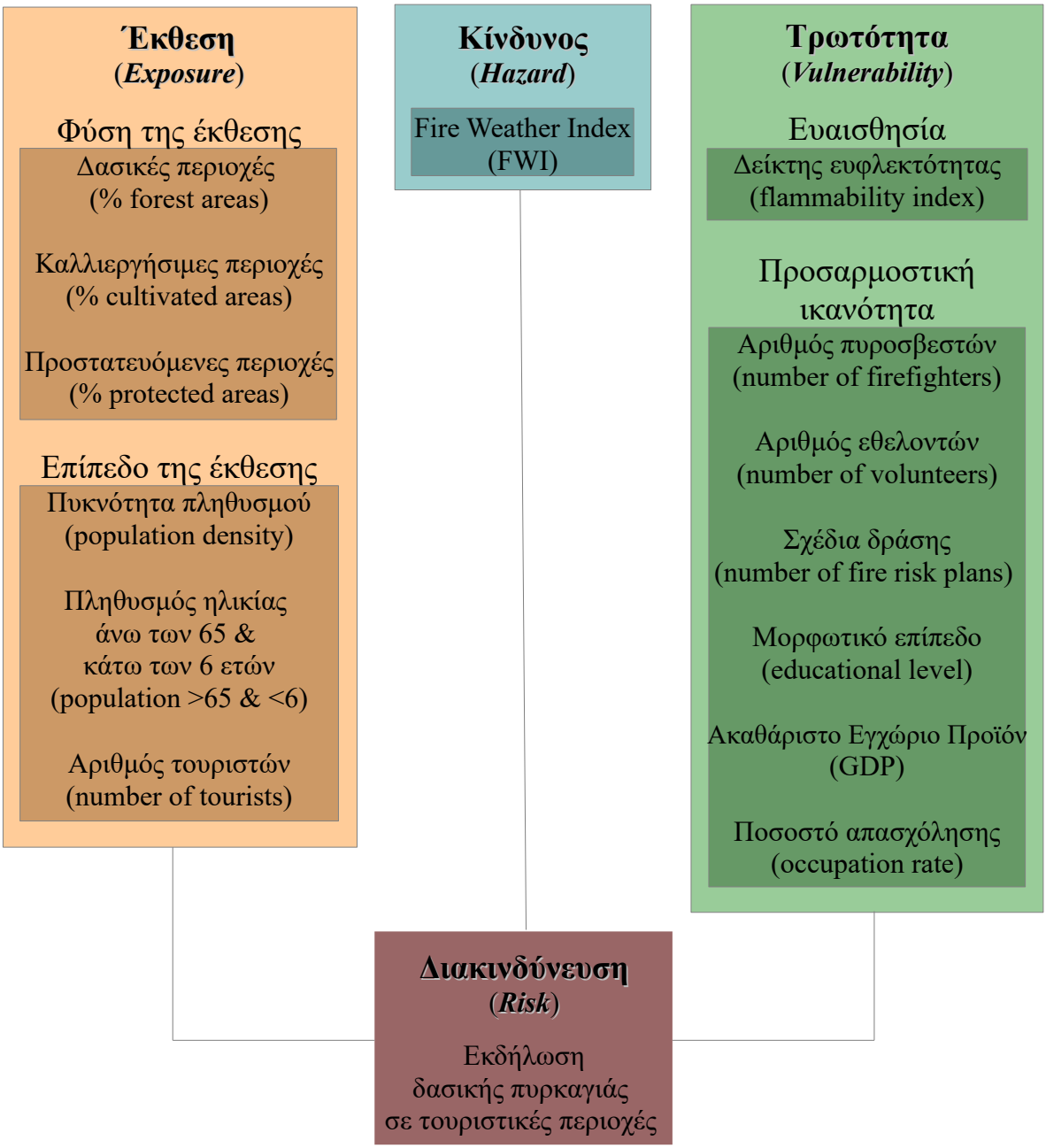
1) Dominique Morvan, διευθυντής στο Τμήμα Μηχανικής του Πανεπιστημίου Aix-Marseille (*Département de Mécanique – Faculté des Sciences d'Aix-Marseille Université*) στη Γαλλία.
2) Thomas Curt, διευθυντής της ερευνητικής ομάδας που μελετά τον κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς στο γαλλικό ερευνητικό ινστιτούτο IRSTEA (*Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture*).
3) Sébastien Lahaye, συντονιστής του ευρωπαϊκού έργου FIRE-IN (*FIre and REscue Innovation Network – H2020*) του οργανισμού SAFE Cluster και πρωην μέλος του πυροσβεστικού σώματος της Γαλλίας.
4) Philippe Caramelle, αναπληρωτής διευθυντής της Εθνικής Δασικής Υπηρεσίας ONF (*Office national des forêts*) στην Κορσική.

		Ερευνητικοί τομείς
Dominique Morvan	Aix-Marseille Université (AMU)	Εκδήλωση και επέκταση δασικών πυρκαγιών, μοντελοποίηση πυρκαγιών, ζώνες μίξης δασών / οικισμών
Thomas Curt	IRSTEA	Αναλύσεις επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών
Sébastien Lahaye	SAFE Cluster	Παράγοντες κινδύνου και τρωτότητας πυρκαγιάς, ανθεκτικότητα των πληθυσμών, μεγάλης έντασης πυρκαγιές, στρατηγικές πυρόσβεσης
Philippe Caramelle	Office national des forêts (ONF)	Μοντελοποίηση συμπεριφοράς πυρκαγιάς, παράγοντες επικινδυνότητας, λειτουργία οικοσυστημάτων και βιοποικιλότητα σε σχέση με τις πυρκαγιές, διαχείριση και καταστολή πυρκαγιών

Πίνακας 5.4 Ειδικοί αναλυτές.

Ειδικότερα, οι εμπειρογνώμονες κλήθηκαν να αξιολογήσουν τη συμβολή των επιμέρους συνιστωσών ως προς τη διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς στις τουριστικές περιοχές βάσει των κύριων στοιχείων που την περιγράφουν τα οποία καθορίζονται σύμφωνα με τις υποδείξεις του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (*Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ*) και της πέμπτης έκθεσης αξιολόγησης (*AR5*) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (*IPCC*). Συνεπώς, τα δομικά στοιχεία της διακινδύνευσης περιγράφηκαν μέσω των κύριων συνιστωσών της, οι οποίες αναφέρονται στον κίνδυνο (*hazard*), στην έκθεση (*exposure*) και στην τρωτότητα (*vulnerability*) των περιοχών ενδιαφέροντος.

Κάθε παράγοντας αναλύθηκε περαιτέρω σε μεμονωμένους δείκτες οι οποίοι κρίθηκαν κατάλληλοι ως προς τον προσδιορισμό της διακινδύνευσης, ενώ για τους παράγοντες της έκθεσης και της τρωτότητας οι σχετικοί δείκτες ταξινομήθηκαν αντίστοιχα σε δύο υπο-κατηγορίες. Σε αυτό το πλαίσιο, ζητήθηκε από τους ειδικούς να βαθμονομήσουν τους δείκτες ανάλογα με την συνάφεια και την κρισιμότητά τους, λαμβάνοντας υπόψη εξίσου το επίπεδο σημαντικότητας αυτών ως προς την κατηγορία όπου εντάσσονται και κατά συνέπεια ως προς τη διακινδύνευση η οποία στην προκειμένη περίπτωση συνδέεται με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς σε τουριστικές περιοχές.



Διάγραμμα 5.1 Ιεραρχική δομή της διακινδύνευσης
ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς σε τουριστικές περιοχές.

Στην προσπάθεια ανάπτυξης μιας ενιαίας μεθόδου, προκειμένου να ευνοηθεί η συζήτηση με τους ειδικούς καθώς και να διασφαλιστεί η συγκρισιμότητα μεταξύ των απόψεών τους αναφορικά με τη σημαντικότητα των κύριων συνιστωσών και των επιμέρους δεικτών, ζητήθηκε αρχικά να προσδιοριστεί για τον κάθε δείκτη μια χρωματική ένδειξη, βάσει της κλίμακας από σκούρο πράσινο έως κόκκινο χρώμα (σκούρο πράσινο / πράσινο / κίτρινο / πορτοκαλί / κόκκινο).

Η σκοπιμότητα του προσδιορισμού της χρωματικής ένδειξης έγκειται στη βαθμονόμηση του εκάστοτε δείκτη ανάλογα με τη συνάφεια και την σημαντικότητα αυτού ως προς τη συνιστώσα διακινδύνευσης, δεδομένου ότι οι ενδείξεις με πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα υποδηλώνουν αντίστοιχα και μέγιστη σπουδαιότητα.

Ωστόσο, εφαρμόζοντας την εν λόγω μέθοδο βαθμονόμησης κατά τη διενέργεια της πρώτης συνέντευξης, διαπιστώθηκε ότι τίθενται αρκετοί περιορισμοί στην αξιολόγηση του επιπέδου σημαντικότητας καθώς το σκούρο πράσινο και πράσινο χρώμα δεν επιλέχθηκαν για κανένα δείκτη λόγω της ερμηνείας που αποδίδεται σε αυτόν. Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμο να υιοθετηθεί μια διαφορετική προσέγγιση υποκαθιστώντας τη χρωματική με μια ποιοτική κλίμακα αξιολόγησης της επίδρασης των δεικτών (“πολύ περιορισμένη” / “περιορισμένη” / “μέτρια” / “ισχυρή” / “πολύ ισχυρή”), βάσει της οποίας αποδίδεται η σπουδαιότητα του εκάστοτε δείκτη για τον προσδιορισμό της διακινδύνευσης.

Συνεπώς, μετέπειτα ζητήθηκε επιπλέον από τους ειδικούς να κατατάξουν τους δείκτες ενδιαφέροντος ανάλογα με τον βαθμό επίδρασής τους στους επιμέρους παράγοντες διακινδύνευσης αλλά και βάσει της συμβολής του εκάστοτε δείκτη στην εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς. Οι εμπειρογνώμονες κλήθηκαν ακόμη να προσδιορίσουν τους συντελεστές στάθμισης των κύριων συνιστωσών και των υπο-κατηγοριών τους, το οποίο ήταν εξαρχής το ζητούμενο της μελέτης, όπως υποδεικνύεται βάσει του Πίνακα 5.5.

Σε επόμενο στάδιο, στον κάθε δείκτη αποδόθηκε μια τιμή βάσει της αριθμητικής κλίμακας από το ένα (1) έως το πέντε (5), σε συνάρτηση με τη σπουδαιότητά του όπως αυτή καθορίστηκε από τους εμπειρογνώμονες, θέτοντας την τιμή 5 στους δείκτες με πολύ ισχυρή επίδραση, την τιμή 4 σε όσους διακρίνονται από ισχυρή επίδραση και ούτω καθεξής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα συμπεράσματα που διεξήχθησαν από τις συνεντεύξεις καθώς και τα αποτελέσματα της περαιτέρω ανάλυσης σχετικά με τη στάθμιση των μεμονωμένων δεικτών και των κύριων δομικών στοιχείων της παραμέτρου διακινδύνευσης.

5	Πολύ ισχυρή επίδραση
4	Ισχυρή επίδραση
3	Μέτρια επίδραση
2	Περιορισμένη επίδραση
1	Πολύ περιορισμένη επίδραση

Πίνακας 5.5 Ιεραρχική κλίμακα
του βαθμού επίδρασης.

5.2.2 Παράγοντας Έκθεσης

5.2.2.1 Φύση της έκθεσης

- **Δασικές περιοχές**

  Το σύνολο των εμπειρογνωμόνων χαρακτηρίζει την επίδραση των δασικών περιοχών στην διαμόρφωση της παραμέτρου διακινδύνευσης ως "*πολύ ισχυρή*" υπερτονίζοντας την σπουδαιότητα του δείκτη για τις τουριστικές περιοχές των νησιωτικών κρατών της Μεσογείου.

- **Καλλιεργήσιμες περιοχές**

  Ο ρόλος του δείκτη θεωρείται κατά κύριο λόγο σημαντικός, παρ' όλο που οι απόψεις των ειδικών δεν ταυτίζονται απόλυτα. Ο Morvan αναφέρει ότι οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις μειώνουν τη διακινδύνευση διότι μέσω αυτών ελαχιστοποιείται η επιφάνεια της άγονης γης και κατ' επέκταση μειώνεται η καύσιμη ύλη σε μια περιοχή. Εντούτοις, σε περίπτωση πυρκαγιάς το οικονομικό κόστος είναι σημαντικό, γι' αυτό και ο ίδιος περιγράφει την επίδραση του δείκτη ως "*μέτρια*". Από την άλλη μεριά, ο Lahaye προσδιορίζει ως "*πολύ ισχυρή*" τη συμβολή των καλλιεργήσιμων περιοχών σημειώνοντας ότι ο βαθμός σπουδαιότητας αυτών εξαρτάται από τον τύπο καλλιέργειάς τους, θέση την οποία συμμερίζεται και ο Caramelle. Ο τελευταίος χαρακτηρίζει τις περιοχές αυτές ως "*ισχυρής*" επίδρασης, σε πλήρη συμφωνία με τον Curt ο οποίος τονίζει εξίσου πως η επίδραση του δείκτη στη διαμόρφωση της παραμέτρου διακινδύνευσης είναι άλλωτε θετική κι άλλωτε αρνητική, αλλά σε κάθε περίπτωση σημαντική.

- **Προστατευόμενες περιοχές**

  Οι περιοχές αυτές συνιστούν, κατά γενική ομολογία, έναν δείκτη με ουδέτερη επίδραση όσον αφορά την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς. Όπως αναφέρουν οι Morvan και Curt, οι προστατευόμενες περιοχές αφενός διακρίνονται από μικρότερη τρωτότητα σε σχέση με τις άλλες δύο περιοχές ενδιαφέροντος, λόγω της επιτήρησής τους και των μέτρων που λαμβάνονται για την ευαισθητοποίηση του πληθυσμού, αφετέρου έχουν ισχυρή επίδραση ως προς τη διακινδύνευση. Ο Lahaye επισημαίνει εξίσου πως αυτές οι περιοχές επιδρούν είτε θετικά είτε αρνητικά στη διαμόρφωση της παραμέτρου διακινδύνευσης ανάλογα με τις μεθόδους διαχείρισής τους. Επιπλέον, ο Caramelle συνδέει τις προστατευόμενες περιοχές με την τουριστική ελκυστικότητα υπογραμμίζοντας ότι η μερική ή ολική καταστροφή τους σε περίπτωση πυρκαγιάς έχει άμεσα αρνητικό αντίκτυπο. Υπό αυτό το πρίσμα, οι ειδικοί προσδιορίζουν την επίδραση του δείκτη ως "*μέτρια*", με εξαίρεση τον Caramelle ο οποίος αξιολογεί αυτή ως "*ισχυρή*".

5.2.2.2 Επίπεδο της έκθεσης

- **Πυκνότητα πληθυσμού**

  Η σημαντικότητα του δείκτη ως προς τη διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς κυμαίνεται σε μέτρια επίπεδα, γεγονός που προκύπτει από τις αντικρουόμενες θέσεις των ειδικών. Ο Curt επισημαίνει πως όσο αυξάνεται η πυκνότητα του πληθυσμού τόσο αυξάνεται και η διακινδύνευση καθώς το 90% των πυρκαγιών, κατά προσέγγιση, προκαλείται από ανθρώπινη παρέμβαση. Συνεπώς, εκείνος αξιολογεί την επίδραση του δείκτη στη διακινδύνευση ως "*πολύ ισχυρή*". Εντούτοις, ο Caramelle προσδιορίζει "*μέτρια*" επίδραση της πυκνότητας του πληθυσμού, παρ' όλο που συμμερίζεται την ίδια άποψη, αναφέροντας επιπλέον ότι οι κατοικήσιμες περιοχές είναι λιγότερο ευάλωτες στην εμφάνιση πυρκαγιάς. Από την άλλη μεριά, ο Morvan υπογραμμίζει τον ρόλο που διαδραματίζει ο δείκτης στη συσσώρευση της βιομάζας χαρακτηρίζοντας την επίδραση αυτού ως "περιορισμένη" καθώς η μείωση της πυκνότητας του πληθυσμού επιφέρει αύξηση της καύσιμης ύλης και αντίστροφα. Ο ίδιος προσδιορισμός αποδίδεται εξίσου από τον Lahaye ο οποίος αναφέρει

αναφέρει πως το επίπεδο σημαντικότητας του δείκτη αυξάνεται κυρίως για πληθυσμούς που εντοπίζονται κοντά σε εκτεταμένες δασικές περιοχές.

- **Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού (ηλικίας άνω των 65 & κάτω των 6 ετών)**

  Ο πληθυσμός που ανήκει στις ηλικιακές ομάδες των ατόμων 65 ετών και άνω, όπως επίσης κάτω των 6 ετών, φαίνεται να συμβάλλει καθοριστικά στη διαμόρφωση της συνιστώσας διακινδύνευσης. Ειδικότερα, οι εμπειρογνώμονες συγκλίνουν στην άποψη ότι οι ευπαθείς ομάδες πληθυσμού εντείνουν την έκθεση του συστήματος αναφοράς. Συνεπώς, οι Morvan και Curt προσδιορίζουν την επίδραση του δείκτη ως "*ισχυρή*", ενώ ο δεύτερος τονίζει την δυσκολία που εμφανίζεται για αυτές τις ηλικιακές ομάδες σε περίπτωση εκκένωσης της πληγείσας περιοχής. Ωστόσο, ο Lahaye θεωρεί τον δείκτη αυτό λιγότερο σημαντικό επειδή, όπως αναφέρει, ο πληθυσμός των υπόλοιπων ηλικιακών ομάδων δεν γνωρίζει εξίσου πως να δράσει σε ένα πιθανό συμβάν πυρκαγιάς. Επιπλέον, ο Caramelle σημειώνει ότι τα γηραιότερα και νεότερα άτομα αντίστοιχα βρίσκονται συνήθως υπό την προστασία λιγότερο ευάλωτων ατόμων, γεγονός που αντισταθμίζει μερικώς την τρωτότητα που εμφανίζουν. Επομένως, οι Lahaye και Caramelle χαρακτηρίζουν τον δείκτη ως "*μέτριας*" επίδρασης.

- **Αριθμός τουριστών**

  Ο δείκτης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός ως προς τη διακινδύνευση με βάση τις θέσεις των εμπειρογνωμόνων. Σύμφωνα με τον Morvan, πιο συγκεκριμένα, η συνάθροιση τουρίστων σε μια περιοχή ευνοεί την ανάπτυξη υποδομών ευάλωτων σε πυρκαγιά καθώς και επικίνδυνες συμπεριφορές. Ο Curt επισημαίνει πως οι τουρίστες αυξάνουν τον βαθμό της έκθεσης καθώς βρίσκονται συχνά σε περιβάλλοντα υψηλής επικινδυνότητας, όπως για παράδειγμα σε κατασκηνώσεις, ενώ ο Caramelle συμπληρώνει ότι οι ίδιοι δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένοι για μια ενδεχόμενη πυρκαγιά και αγνοούν τον κίνδυνο εμφάνισής της. Ο Lahaye αναφέρει ακόμη πως αυτή η μερίδα του πληθυσμού είναι δύσκολο να ευαισθητοποιηθεί ως προς την προστασία του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται, καθορίζοντας επίσης ότι η επίδρασή του στη διαμόρφωση της παραμέτρου διακινδύνευσης είναι "*πολύ ισχυρή*". Οι Morvan και Curt προσδιορίζουν εξίσου την επίδραση του δείκτη ως "*πολύ ισχυρή*", ενώ ο Caramelle περιγράφει αυτή ως "*ισχυρή*".

5.2.3 Παράγοντας Τρωτότητας

5.2.3.1 Ευαισθησία

- **Δείκτης ευφλεκτότητας**

  Οι απόψεις των ειδικών σχετικά με τον δείκτη ευφλεκτότητας ταυτίζονται απόλυτα καθώς προσδιορίζουν την επίδραση αυτού στη συνιστώσα διακινδύνευσης ως "*πολύ ισχυρή*". Ο Curt, ειδικότερα, επισημαίνει την σπουδαιότητα του δείκτη ως προς τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, την ταχύτητα και την ένταση αυτής καθώς σχετίζεται με τις καιρικές συνθήκες κι επομένως μπορεί να εκτιμηθεί και να γίνει εύκολα αντιληπτός.

5.2.3.2 Προσαρμοστική ικανότητα

- **Αριθμός πυροσβεστών**

  Η σπουδαιότητα του δείκτη ως προς τη διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς στα νησιωτικά κράτη της Μεσογείου θεωρείται μέση έως υψηλή σύμφωνα με τις θέσεις των εμπειρογνωμόνων. Οι Morvan, Curt και Lahaye αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι η σημαντικότητα του δείκτη εξαρτάται από τις υπηρεσίες πυρόσβεσης οι οποίες διαφοροποιούνται ανά χώρα. Επιπλέον, ο Caramelle υπογραμμίζει τον κρίσιμο ρόλο του πυροσβεστικού σώματος στον περιορισμό επέκτασης της πυρκαγιάς και στη διαχείρισή της, προσδιορίζοντας την επίδραση του δείκτη ως "*πολύ ισχυρή*". Ο Morvan αποδίδει εξίσου υψηλή σημαντικότητα στον δείκτη περιγράφοντας την επίδραση αυτού ως "*ισχυρή*". Ωστόσο, οι Curt και Lahaye καθορίζουν "*μέτρια*" την συμβολή του δείκτη ως προς τη διαμόρφωση της παραμέτρου διακινδύνευσης, ενώ ο τελευταίος αναφέρει επίσης ότι η δράση του πυροσβεστικού σώματος ενάντια στις πυρκαγιές μεγάλης έντασης οι οποίες επιφέρουν τις πιο δυσμενείς κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις, είναι περιορισμένη.
- **Αριθμός εθελοντών**

  Όσον αφορά την συμβολή των εθελοντών, οι απόψεις των ειδικών διίστανται αποδίδοντας προσεγγιστικά μέση σπουδαιότητα στον δείκτη. Ειδικότερα, οι Morvan και Curt επισημαίνουν ότι η συμβολή των εθελοντικών οργανώσεων δασοπροστασίας και πυρόσβεσης διαφοροποιείται ανά χώρα, ενώ ο πρώτος χαρακτηρίζει την επίδραση του δείκτη στη διακινδύνευση ως "*ισχυρή*". Ωστόσο, εφόσον οι εθελοντές

είναι γενικότερα λιγότερο έμπειροι και συχνά αδυνατούν να προσαρμοστούν σε απαιτητικές συνθήκες, ο Curt θεωρεί ότι η επίδραση αυτού του δείκτη είναι "*περιορισμένη*". Ο Lahaye συμμερίζεται αυτή την άποψη και αποδίδει εξίσου χαμηλό βαθμό σπουδαιότητας στον δείκτη, ενώ ο Caramelle κρίνει ότι η συμβολή των εθελοντών λαμβάνεται υπόψη σε συνδυασμό με αυτή του πυροσβεστικού σώματος, μη διαχωρίζοντας τους δύο δείκτες.

- **Σχέδια δράσης**

  Το σύνολο των ειδικών κατατάσσει τα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών στους πιο κρίσιμους παράγοντες αναφορικά με τη διακινδύνευση εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών. Ο Morvan τονίζει τη σημαντικότητα των στρατηγικών πρόληψης και διαχείρισης των χρήσεων γης στην καταστολή των πυρκαγιών προσδιορίζοντας την επίδραση του δείκτη ως "*πολύ ισχυρή*". Επιπλέον, ο Curt κρίνει απαραίτητη την εφαρμογή των σχεδίων διαχείρισης της γης υπογραμμίζοντας ωστόσο την διαφορά μεταξύ του σχεδιασμού και της εφαρμογής των συναφών δράσεων, θέση την οποία υποστηρίζει εξίσου ο Caramelle. Ο Lahaye συμπληρώνει ότι συχνά μεσολαβεί αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα από την έναρξη ανάπτυξης των σχεδίων δράσης που αναμένεται να τεθούν σε εφαρμογή έως την έγκριση και υλοποίηση αυτών. Σε αυτό το πλαίσιο, και οι τρεις εμπειρογνώμονες αξιολογούν ως "*ισχυρή*" την επίδραση του δείκτη στην παράμετρο διακινδύνευσης.

- **Μορφωτικό επίπεδο**

  Οι απόψεις των ειδικών σχετικά με τη συμβολή του μορφωτικού επιπέδου του πληθυσμού στη διαμόρφωση της συνιστώσας διακινδύνευσης ταυτίζονται απόλυτα καθώς εκείνοι κρίνουν ότι δεν υπάρχει καμία συσχέτιση μεταξύ αυτού του δείκτη και της εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών. Εντούτοις, οι ειδικοί επισημαίνουν πως η ενίσχυση της ευαισθητοποίησης του πληθυσμού όσον αφορά τα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης ενός ενδεχόμενου συμβάντος θεωρείται πιο σημαντική συγκριτικά με το μορφωτικό επίπεδο ως προς τη συνιστώσα που διερευνάται. Γι' αυτό και ο συγκεκριμένος δείκτης δεν κρίθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθεί στην ανάλυση, ύστερα από την αξιολόγηση των ειδικών.

- **Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν**

  Η σημαντικότητα του δείκτη ως προς τη διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς κυμαίνεται σε μέτρια επίπεδα, σύμφωνα με τις θέσεις των ειδικών. Ο Curt, πιο συγκεκριμένα, υπογραμμίζει την ευρεία χρήση του δείκτη σε αντίστοιχες αναλύσεις ευρωπαϊκών χωρών προσδιορίζοντας την επίδραση αυτού ως "*ισχυρή*", όπως και ο Lahaye ο οποίος αντίστοιχα αξιολογεί σημαντικό τον ρόλο του δείκτη στην προσαρμοστική ικανότητα του πληθυσμού και κατ' επέκταση στο επίπεδο διακινδύνευσης. Από την άλλη μεριά, ο Morvan τονίζει ότι οι χώρες με περισσότερους οικονομικούς πόρους δεν εμφανίζουν απαραίτητα και λιγότερα συμβάντα πυρκαγιάς κι επομένως χαρακτηρίζει "*περιορισμένη*" την επίδραση του δείκτη στη διαμόρφωση της συνιστώσας διακινδύνευσης. Ο Caramelle αντιθέτως κρίνει τον δείκτη μη αξιοποιήσιμο καθώς θεωρεί ότι οι οικονομικοί πόροι λαμβάνονται υπόψη μέσω των υπηρεσιών πυρόσβεσης και του αντίστοιχου δείκτη.

- **Ποσοστό απασχόλησης**

  Η συμβολή του ποσοστού απασχόλησης του πληθυσμού στη διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς κρίνεται σημαντική, παρ' όλο που οι απόψεις των εμπειρογνωμόνων διίστανται. Ειδικότερα, οι Morvan και Lahaye αξιολογούν την επίδραση του ποσοστού απασχόλησης ως "*πολύ ισχυρή*" και "*ισχυρή*" αντίστοιχα, ενώ ο πρώτος συσχετίζει τον δείκτη με τη διαθεσιμότητα της καύσιμης ύλης. Ο Curt προσδιορίζει την επίδραση του ποσοστού απασχόλησης ως "*μέτρια*", αν και θεωρεί ότι δεν είναι σε θέση να αξιολογήσει τον δείκτη με αντικειμενικά κριτήρια με βάση το γνωστικό του πεδίο. Τέλος, ο Caramelle αναφέρει ότι το ποσοστό απασχόλησης δε φαίνεται να σχετίζεται με την πιθανότητα εμφάνισης συμβάντων δασικής πυρκαγιάς, γι' αυτό και δεν αποδίδει βαθμό σπουδαιότητας στον δείκτη.

5.2.4 Κατάταξη δεικτών έκθεσης και τρωτότητας

Σε συνέχεια της βαθμονόμησης των δεικτών που εντάσσονται σε κάθε παράγοντα διακινδύνευσης (Πίνακας 5.6) αναφορικά με την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών στα νησιωτικά κράτη της Μεσογείου, οι εμπειρογνώμονες κατέταξαν τους πρώτους με κριτήριο τη συνάφεια και τον βαθμό σπουδαιότητάς τους ως προς την έκθεση (*exposure*) και την τρωτότητα (*vulnerability*) της περιοχής ενδιαφέροντος (Πίνακας 5.7).

		Dominique Morvan	Thomas Curt	Sébastien Lahaye	Philippe Caramelle	M.O.
Έκθεση	Δασικές περιοχές	5	5	5	5	5.00
	Αριθμός τουριστών	5	5	5	4	4.75
	Καλλιεργήσιμες περιοχές	3	4	5	4	4.00
	Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	4	4	3	3	3.50
	Προστατευόμενες περιοχές	3	3	3	4	3.25
	Πυκνότητα πληθυσμού	2	5	2	3	3.00
Τρωτότητα	Δείκτης ευφλεκτότητας	5	5	5	5	5.00
	Σχέδια δράσης	5	4	4	4	4.25
	Ποσοστό απασχόλησης	5	3	4	-	4.00
	Αριθμός πυροσβεστών	4	3	3	5	3.75
	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	2	4	4	-	3.33
	Αριθμός εθελοντών	4	2	2	-	2.67
	Μορφωτικό επίπεδο	-	-	-	-	-

Βαθμός σπουδαιότητας

Χαμηλός Μέσος Υψηλός

Πίνακας 5.6 Βαθμονόμηση των δεικτών έκθεσης και τρωτότητας.

Ωστόσο, η αξιολόγηση του Morvan που υλοποιήθηκε σε πρωταρχικό στάδιο δεν περιλαμβάνει τέτοιου είδους κατάταξη διότι αξιοποιήθηκε μια διαφορετική μέθοδος βαθμονόμησης, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα. Συνεπώς, για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, η εν λόγω σειρά κατάταξης των επιμέρους δεικτών επικινδυνότητας προσδιορίστηκε σύμφωνα με τον βαθμό σπουδαιότητας που αποδίδει τόσο ο ίδιος όσο και το σύνολο των ειδικών που μετείχαν στην έρευνα.

5.2.5 Παράγοντας Κινδύνου

Στα πλαίσια ανάπτυξης του μοντέλου διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς σε τουριστικές περιοχές των νησιωτικών κρατών της Μεσογείου, για τον προσδιορισμό της συνιστώσας κινδύνου επιλέχθηκε ο Καναδικός δείκτης εκτίμησης του κινδύνου πυρκαγίας (*Fire Weather Index – FWI*).

Οι εμπειρογνώμονες που κλήθηκαν να βαθμονομήσουν το σύνολο των δεικτών ως προς τη συμβολή τους στη διαμόρφωση της παραμέτρου διακινδύνευσης, καταδεικνύουν τη σπουδαιότητα και τη συνάφεια του συγκεκριμένου δείκτη αναφορικά με την εκδήλωση συμβάντων δασικής πυρκαγιάς. Ωστόσο, οι ίδιοι δεν αποδίδουν μεμονωμένα στον δείκτη *FWI* έναν βαθμό σπουδαιότητας καθώς ο τελευταίος προκύπτει μέσω της στάθμισης των επιμέρους συνιστωσών διακινδύνευσης στο στάδιο της μετέπειτα αξιολόγησης.

	Dominique Morvan	Thomas Curt	Sébastien Lahaye	Philippe Caramelle	
Φύση Έκθεσης	Δασικές περιοχές	Δασικές περιοχές	Δασικές περιοχές	Δασικές περιοχές	1
	Καλλιεργήσιμες περιοχές	Προστατευόμενες περιοχές	Καλλιεργήσιμες περιοχές	Προστατευόμενες περιοχές	2
	Προστατευόμενες περιοχές	Καλλιεργήσιμες περιοχές	Προστατευόμενες περιοχές	Καλλιεργήσιμες περιοχές	3
Επίπεδο Έκθεσης	Αριθμός τουριστών	Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	Αριθμός τουριστών	Αριθμός τουριστών	1
	Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	Αριθμός τουριστών	Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	Πυκνότητα πληθυσμού	2
	Πυκνότητα πληθυσμού	Πυκνότητα πληθυσμού	Πυκνότητα πληθυσμού	Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	3
Ευαισθησία	Δείκτης ευφλεκτότητας	Δείκτης ευφλεκτότητας	Δείκτης ευφλεκτότητας	Δείκτης ευφλεκτότητας	1
Προσαρμοστική ικανότητα	Σχέδια δράσης	Σχέδια δράσης	Σχέδια δράσης	Αριθμός πυροσβεστών	1
	Ποσοστό απασχόλησης	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	Ποσοστό απασχόλησης	Αριθμός εθελοντών**	2
	Αριθμός πυροσβεστών	Αριθμός πυροσβεστών	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	Σχέδια δράσης	3
	Αριθμός εθελοντών	Ποσοστό απασχόλησης	Αριθμός πυροσβεστών	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν*	4
	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	Αριθμός εθελοντών	Αριθμός εθελοντών	Ποσοστό απασχόλησης*	5
	Μορφωτικό επίπεδο*	Μορφωτικό επίπεδο*	Μορφωτικό επίπεδο*	Μορφωτικό επίπεδο*	6

*Ο δείκτης δεν περιλαμβάνεται στην ανάλυση.
**Κατατάσσεται στην ίδια θέση με τον δείκτη που προηγείται.

Πίνακας 5.7 Ιεραρχική κατάταξη δεικτών έκθεσης και τρωτότητας.

5.2.6 Στάθμιση συνιστωσών διακινδύνευσης

Τα συμπεράσματα των αξιολογήσεων του συνόλου των εμπειρογνωμόνων, όσον αφορά την τελική βαθμονόμηση των κύριων στοιχείων του μοντέλου διακινδύνευσης, παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω ως εξής:

- **Dominique Morvan**

  "Οι χώρες με περισσότερους οικονομικούς πόρους και περισσότερα σχέδια δράσης δεν εμφανίζουν απαραίτητα και λιγότερα συμβάντα πυρκαγιάς, γεγονός που καταδεικνύει τη σπουδαιότητα της συνιστώσας του κινδύνου και τα όρια της ανθρώπινης παρέμβασης."

  - Κίνδυνος : **60%** ή **50%**
  - Έκθεση : **20%** ή **30%**
    Φύση της έκθεσης : 70%
    Επίπεδο της έκθεσης : 30%
  - Τρωτότητα : **20%**
    Ευαισθησία : 75% ή 80%
    Προσαρμοστική ικανότητα : 25% ή 20%

- **Thomas Curt**

  "Η συνιστώσα του κινδύνου είναι σημαντικός αλλά όχι απαραίτητα ο κρισιμότερος, εκτός από τις περιπτώσεις που αφορούν σε συμβάντα πυρκαγιάς μεγάλης έντασης, με ιδιαίτερα καταστροφικές συνέπειες."

  - Κίνδυνος : **20%**
  - Έκθεση : **40%**
    Φύση της έκθεσης : 40% ή 30%
    Επίπεδο της έκθεσης : 60% ή 70%
  - Τρωτότητα : **40%**
    Ευαισθησία : 75%
    Προσαρμοστική ικανότητα : 25%

- **Sébastien Lahaye**

  "Εάν ο δείκτης FWI δεν σημειώσει αύξηση, η πιθανότητα ανάπτυξης πυρκαγιάς που παρουσιάζει ακραία συμπεριφορά θα είναι μικρότερη. Τα κύρια στοιχεία του δείκτη ωστόσο διαφοροποιούνται ανά περιοχή."

  - Κίνδυνος : **33%**
  - Έκθεση : **33%**
    Φύση της έκθεσης : 80%
    Επίπεδο της έκθεσης : 20%
  - Τρωτότητα : **33%**
    Ευαισθησία : 70% ή 75%
    Προσαρμοστική ικανότητα : 30% ή 25%

- **Philippe Caramelle**

  "Όσο περισσότερος είναι ο πληθυσμός που εκτείθεται στον κίνδυνο, τόσο υψηλότερη είναι η διακινδύνευση."

  - Κίνδυνος : **50%**
  - Έκθεση : **25%**
    Φύση της έκθεσης : 70%
    Επίπεδο της έκθεσης : 30%
  - Τρωτότητα : **25%**
    Ευαισθησία : 60%
    Προσαρμοστική ικανότητα : 40%

Οι συντελεστές στάθμισης των κύριων συνιστωσών της παραμέτρου διακινδύνευσης αλλά και των επιμέρους δεικτών έκθεσης και τρωτότητας εμφανίζονται στους ακόλουθους συγκεντρωτικούς πίνακες. Τα στοιχεία αυτά αξιοποιούνται στα μετέπειτα στάδια της παρούσας μελέτης κατά την εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*) η οποία χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα τόσο για την επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων όσο και για την στάθμιση των δομικών στοιχείων ενός μοντέλου διακινδύνευσης, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και τις υποδείξεις του Κοινού Κέντρου Ερευνών (*JRC*) που δίνονται στο σχετικό εγχειρίδιο (GIZ & EURAC, 2017).

Ειδικότερα, οι συντελεστές βαρύτητας των τριών δομικών στοιχείων (κίνδυνος, έκθεση, τρωτότητα) του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς καθώς και των υπο-κατηγοριών τους (φύση της έκθεσης, επίπεδο της έκθεσης, ευαισθησία, προσαρμοστική ικανότητα) συνοψίζονται στον Πίνακα 5.8, ενώ ακόμη υπολογίζεται ο αριθμητικός μέσος των συντελεστών αυτών βάσει της κρίσης του συνόλου των εμπειρογνωμόνων.

Συμπληρωματικά, στον Πίνακα 5.9 δίνεται η ποσοστιαία συμβολή των επιμέρους συνιστωσών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου στη διακινδύνευση, αναφορικά με τον υπολογιζόμενο μέσο όρο. Τέλος, με γνώμονα τον μέσο βαθμό σπουδαιότητας που αποδόθηκε στους επιλεγμένους δείκτες επικινδυνότητας, όπως περιγράφεται σε προηγούμενη ενότητα, υπολογίστηκε αντίστοιχα ο συντελεστής βαρύτητάς τους ανά υπο-κατηγορία και έπειτα το ποσοστό της επίδρασης αυτών ως προς τη διαμόρφωση του τελικού σύνθετου δείκτη (Πίνακας 5.10).

			Dominique Morvan	Thomas Curt	Sébastien Lahaye	Philippe Caramelle	M.O.
Διακινδύνευση	**Έκθεση**	**Σύνολο**	**0.20 / 0.30**	**0.40**	**0.33**	**0.25**	**0.30**
		Φύση της έκθεσης	0.70	0.40 / 0.30	0.80	0.70	0.64
		Επίπεδο της έκθεσης	0.30	0.60 / 0.70	0.20	0.30	0.36
	Τρωτότητα	**Σύνολο**	**0.20**	**0.40**	**0.33**	**0.25**	**0.30**
		Ευαισθησία	0.75 / 0.80	0.75	0.70 / 0.75	0.60	0.71
		Προσαρμοστικότητα	0.25 / 0.20	0.25	0.30 / 0.25	0.40	0.29
	Κίνδυνος		**0.60 / 0.50**	**0.20**	**0.33**	**0.50**	**0.40**

Πίνακας 5.8 Συντελεστές βαρύτητας των συνιστωσών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου ανά εμπειρογνώμονα.

	Διακινδύνευση						
	Κίνδυνος	Τρωτότητα			Έκθεση		
		Προσαρμοστική ικανότητα	Ευαισθησία	Σύνολο	Επίπεδο της έκθεσης	Φύση της έκθεσης	Σύνολο
Συντελεστής βαρύτητας	**0.40**	0.29	0.71	**0.30**	0.36	0.64	**0.30**
Ποσοστό επί τοις εκατό (%)	**40%**	9%	21%	**30%**	11%	19%	**30%**

Πίνακας 5.9 Ποσοστιαία συμβολή των επιμέρους συνιστωσών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου στη διαμόρφωση του δείκτη διακινδύνευσης.

		Δείκτης	Βαθμός σπουδαιότητας	Συντελεστής βαρύτητας ανά υπο-κατηγορία	Ποσοστό επί τοις εκατό (%)
Διακινδύνευση	Έκθεση	Δασικές περιοχές	5.00	0.41	7.79%
		Καλλιεργήσιμες περιοχές	4.00	0.33	6.27%
		Προστατευόμενες περιοχές	3.25	0.26	4.94%
		Αριθμός τουριστών	4.75	0.42	4.62%
		Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	3.50	0.31	3.41%
		Πυκνότητα πληθυσμού	3.00	0.27	2.97%
	Τρωτότητα	Δείκτης ευφλεκτότητας	5.00	1.00	21%
		Σχέδια δράσης	4.25	0.24	2.16%
		Ποσοστό απασχόλησης	4.00	0.22	1.98%
		Αριθμός πυροσβεστών	3.75	0.21	1.89%
		Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	3.33	0.18	1.62%
		Αριθμός εθελοντών	2.67	0.15	1.35%
		Μορφωτικό επίπεδο	-	-	-
	Κίνδυνος	Fire Weather Index - FWI	-	1.00	40%
				Σύνολο :	**100%**

Πίνακας 5.10 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης.

5.3 Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας βάσει της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Analytic Hierarchy Process – AHP)

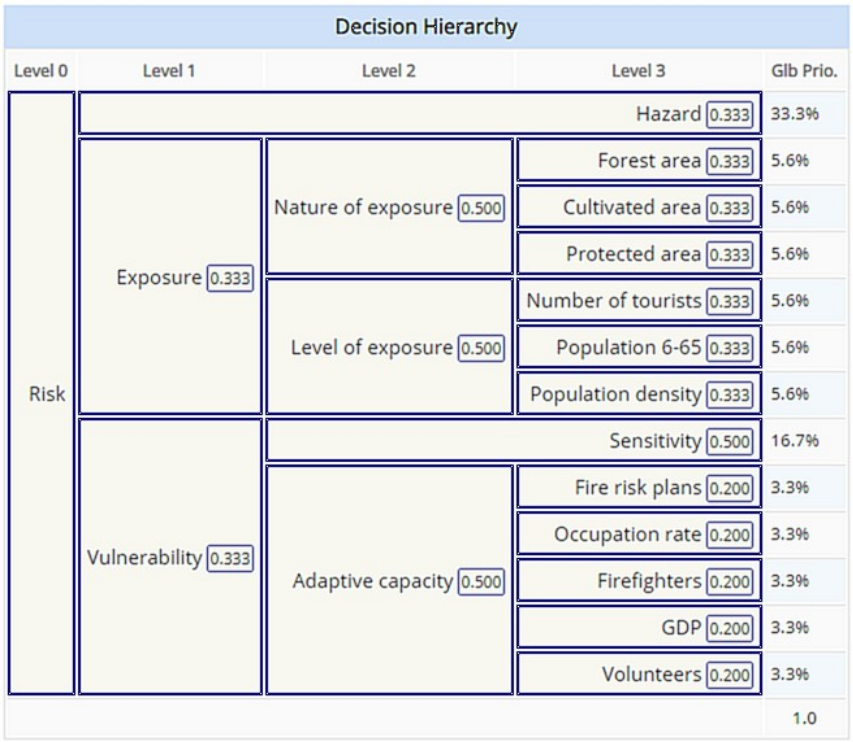
Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της διαδικασίας βαθμονόμησης των κύριων συνιστωσών διακινδύνευσης ως προς την εμφάνιση δασικών πυρκαγιών, η οποία διεξήχθει από ειδικούς αναλυτές όπως περιγράφεται σε προηγούμενη ενότητα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, πιο συγκεκριμένα, αφορούν κατά βάση τον βαθμό σπουδαιότητας που αποδίδουν οι ειδικοί σε κάθε δείκτη που περιγράφει την έκθεση και την τρωτότητα της περιοχής ενδιαφέροντος όπως επίσης τους συντελεστές στάθμισης που οι ίδιοι καθορίζουν αντίστοιχα για τους παράγοντες έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου. Ακόμη ένα στοιχείο που κρίθηκε σκόπιμο να ληφθεί υπόψη είναι η σειρά κατάταξης των επιμέρους δεικτών διακινδύνευσης, η οποία προσδιορίστηκε εξίσου από τους ειδικούς.

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων είναι η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) στα πλαίσια της οποίας δημιουργήθηκε η διαδικτυακή εφαρμογή *BPMSG's AHP Online System*[34]. Σε πρώτο στάδιο, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής αυτής με απώτερο στόχο τον υπολογισμό του συντελεστή βαρύτητας κάθε μεμονωμένου στοιχείου στην ιεραρχία του μοντέλου διακινδύνευσης, ώστε τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου *AHP* να συγκριθούν με εκείνα που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Έπειτα, τα δεδομένα που παράχθηκαν μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής αξιοποιήθηκαν περαιτέρω για την επεξεργασία και αναπαράσταση των γεωχωρικών δεδομένων ως προς την ανάδειξη της παραμέτρου διακινδύνευσης, στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap του λογισμικού ArcGIS της ESRI.

Κατά το πρώτο στάδιο της ανάλυσης προσδιορίστηκε η ιεραρχική δομή του μοντέλου διακινδύνευσης σε τρία επίπεδα βάσει της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας. Ειδικότερα, στο πρώτο επίπεδο ταξινομήθηκαν οι κύριοι προσδιοριστικοί παράγοντες (Κίνδυνος-*Hazard*, Έκθεση-*Exposure*, Τρωτότητα-*Vulnerability*) και στο δεύτερο επίπεδο, οι υπο-κατηγορίες στις οποίες αναλύονται.

34 Πηγή: https://bpmsg.com/ahp/

Αυτές αφορούν τη φύση της έκθεσης (*nature of exposure*), το επίπεδο της έκθεσης (*level of exposure*), την ευαισθησία (*sensitivity*) και την προσαρμοστική ικανότητα (adaptive capacity), οι οποίες εντάσσονται αντίστοιχα στις κατηγορίες της έκθεσης και της τρωτότητας. Στο τρίτο επίπεδο κατανεμήθηκαν οι συναφείς δείκτες των εν λόγω συνιστωσών με εξαίρεση τον δείκτη *Fire Weather Index* (*FWI*) και τον δείκτη ευφλεκτότητας καθώς αυτοί αποτελούν τα μοναδικά στοιχεία που περιγράφουν τις παραμέτρους κινδύνου κι ευαισθησίας. Συνεπώς, ο συντελεστής βαρύτητάς τους ορίζεται βάσει της κατηγορίας στην οποία εντάσσονται και ως εκ τούτου οι δείκτες αυτοί κατανέμονται έμμεσα στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο της ιεραρχίας αντίστοιχα.



Εικόνα 5.1 Ιεραρχική δομή του μοντέλου διακινδύνευσης[35].

```
Risk:Hazard,Exposure,Vulnerability;
Exposure:Nature of exposure,Level of exposure;
Nature of exposure:Forest area,Cultivated area,Protected area;
Level of exposure:Number of tourists,Population 6-65,Population density;
Vulnerability:Sensitivity,Adaptive capacity;
Adaptive capacity:Fire risk plans,Occupation
rate,Firefighters,GDP,Volunteers;
```

Εικόνα 5.2 Περιγραφικά στοιχεία των συνιστωσών διακινδύνευσης[35].

35 Πηγή: https://bpmsg.com/ahp/

Σε δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκαν οι συγκρίσεις ανά ζεύγη κριτηρίων τα οποία στην προκειμένη περίπτωση αντιστοιχούν στους τρεις κύριους παράγοντες προσδιορισμού της διακινδύνευσης, στις υπο-κατηγορίες αυτών και στους δείκτες που υπάγονται στις τελευταίες. Στο πλαίσιο λειτουργίας της διαδικτυακής εφαρμογής *BPMSG's AHP Online System*, οι δυαδικές συγκρίσεις διεξάγονται μεμονωμένα για κάθε επίπεδο της ιεραρχίας. Επομένως, η εν λόγω διαδικασία υλοποιήθηκε σε διαδοχικές φάσεις αναφορικά με τη σύγκριση μεταξύ:

1. Κύριων συνιστωσών (Κίνδυνος, Έκθεση, Τρωτότητα)
2. Υπο-κατηγοριών Έκθεσης (Φύση της έκθεσης, Επίπεδο της έκθεσης)
3. Υπο-κατηγοριών Τρωτότητας (Ευαισθησία, Προσαρμοστική ικανότητα)
4. Δεικτών διακινδύνευσης (ανά υπο-κατηγορία)

Κατά τη διεξαγωγή των συγκρίσεων στις δύο πρώτες φάσεις της ανάλυσης προσδιορίστηκε το ποσοστό συμβολής πρώτον, των συνιστωσών κινδύνου-έκθεσης-τρωτότητας και δεύτερον, των στοιχείων έκθεσης και τρωτότητας αντίστοιχα στη διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς. Οι δυαδικές συγκρίσεις μεταξύ των δεικτών διακινδύνευσης, κατέδειξαν στη συνέχεια τα τελικά αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης καθορίζοντας τους συντελεστές βαρύτητας.

Όσον αφορά το τρίτο επίπεδο της ιεραρχίας, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι οι συγκρίσεις υλοποιήθηκαν βάσει τριών εναλλακτικών προσεγγίσεων ώστε να διερευνηθούν οι διακυμάνσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Με βάση την πρώτη προσέγγιση, πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή που τέθηκε για να περιγράψει τη σχετική σημασία ενός δείκτη έναντι κάποιου άλλου αντιστοιχεί σε υψηλό βαθμό σπουδαιότητας (*Strong importance*) σύμφωνα με τη θεμελιώδη κλίμακα του Saaty. Επομένως, το εύρος τιμών που αξιοποιήθηκε σε αυτή την προσέγγιση κυμαίνεται από ένα (1) έως πέντε (5) γεγονός που καθιστά αυτή την πιο μετριοπαθή σε σύγκριση με τις άλλες δύο. Στη δεύτερη και τρίτη προσέγγιση το εύρος τιμών κυμαίνεται από ένα (1) έως επτά (7) και εννέα (9) αντίστοιχα, όπου τα ανώτερα όρια υποδηλώνουν πολύ υψηλό και μέγιστο βαθμό σπουδαιότητας (*Very strong / Extreme importance*). Τα διακριτικά γνωρίσματα των προσεγγίσεων που ακολουθήθηκαν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Προσέγγιση	Εύρος τιμών βαθμονόμησης	Βαθμός σπουδαιότητας σύμφωνα με την κλίμακα Saaty
1η	1 – 5	Ίση σημασία – Υψηλή σημασία
2η	1 – 7	Ίση σημασία – Πολύ υψηλή σημασία
3η	1 – 9	Ίση σημασία – Ύψιστη σημασία

Πίνακας 5.11 Προσεγγίσεις ανάλυσης με βάση την κλίμακα Saaty.

Όπως γίνεται αντιληπτό, για τις δυαδικές συγκρίσεις όπου στον έναν εκ των δύο δεικτών διακινδύνευσης έχει αποδοθεί ο μέγιστος βαθμός σπουδαιότητας σύμφωνα με την κρίση του εκάστοτε εμπειρογνώμονα, τέθηκε η μέγιστη τιμή του εύρους της αντίστοιχης προσέγγισης ανά περίπτωση. Για τις συγκρίσεις που αφορούν όλους τους υπόλοιπους δείκτες προσδιορίστηκε μια διαφορετική τιμή ανάλογα με τη σχετική σημασία τους αλλά και την κατάταξή τους ως προς την κατηγορία που εντάσσονται, όπως υπέδειξαν και πάλι οι ειδικοί κατά τα πρώτα στάδια της ανάλυσης. Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί ότι η συγκεκριμένη διαδικασία διεξήχθη ταυτόχρονα με γνώμονα την εξασφάλιση της ελάχιστης τιμής του λόγου συνέπειας (*Consistency Ratio – CR*), ώστε να προσεγγίζει όσο το δυνατόν το 0% που υποδηλώνει πλήρη συνέπεια μεταξύ των συγκρίσεων.

Στη συνέχεια αποτυπώνεται ένα απλό παράδειγμα δυαδικών συγκρίσεων αναφορικά με το τρίτο επίπεδο της ιεραρχικής δομής του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης, με σκοπό την κατανόηση της μεθοδολογίας που υιοθετήθηκε για τη βαθμονόμηση των επιμέρους δεικτών (Εικόνα ,σελ). Ειδικότερα, σε αυτή την περίπτωση ο εμπειρογνώμονας (Philippe Caramelle) χαρακτηρίζει την επίδραση του δείκτη “αριθμός πυροσβεστών” ως πολύ υψηλή και του δείκτη “σχέδια δράσης” ως υψηλή, αποδίδοντας την τιμή πέντε (5) και τέσσερα (4) αντίστοιχα ως προς τον βαθμό σπουδαιότητάς τους, με βάση την προκαθορισμένη κλίμακα που αξιοποιήθηκε στο πρωταρχικό στάδιο της ανάλυσης. Επιπλέον, θεωρεί τη συμβολή του δείκτη “αριθμός πυροσβεστών” ισάξια με εκείνη του δείκτη “αριθμός εθελοντών” ως προς το επίπεδο διακινδύνευσης, ενώ κρίνει ότι οι δείκτες “Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν” και “ποσοστό απασχόλησης” δε σχετίζονται με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς και κατ' επέκταση δεν συμβάλλουν στην παράμετρο διακινδύνευσης.

Στο παράδειγμα που εμφανίζεται παρακάτω ακολουθείται η τρίτη προσέγγιση με εύρος τιμών από ένα (1) έως εννέα (9). Λαμβάνοντας υπόψη την κρίση του εμπειρογνώμονα, για τις συγκρίσεις που αφορούν τη σχετική σημασία του δείκτη "αριθμός πυροσβεστών" έναντι όλων των υπολοίπων δεικτών επικινδυνότητας προσδιορίζεται συνεπώς η τιμή 9. Εξαίρεση αποτελεί η σύγκριση που αποτυπώνει τη σχετική σημασία του ιδίου δείκτη έναντι των σχεδίων δράσης καθώς η επίδραση των δεικτών αυτών θεωρείται εξίσου σημαντική αλλά όχι απολύτως ίση.



	A - wrt Adaptive capacity - or B?		Equal	How much more?
1	◉ Fire risk plans	○ Occupation rate	○1	○2 ○3 ○4 ◉5 ○6 ○7 ○8 ○9
2	○ Fire risk plans	◉ Firefighters	○1	◉2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9
3	◉ Fire risk plans	○ GDP	○1	○2 ○3 ○4 ◉5 ○6 ○7 ○8 ○9
4	○ Fire risk plans	◉ Volunteers	○1	◉2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9
5	○ Occupation rate	◉ Firefighters	○1	○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ◉9
6	◉ Occupation rate	○ GDP	◉1	○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9
7	○ Occupation rate	◉ Volunteers	○1	○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ◉9
8	◉ Firefighters	○ GDP	○1	○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ◉9
9	◉ Firefighters	○ Volunteers	◉1	○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9
10	○ GDP	◉ Volunteers	○1	○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ◉9

CR = 0% OK

Calculate Submit

Εικόνα 5.3 Βαθμονόμησης δεικτών διακινδύνευσης[36].

Με βάση την κλίμακα του Saaty, η σύγκριση αυτή λαμβάνει την τιμή 2 η οποία υποδηλώνει μια μικρή διαφοροποίηση μεταξύ των δύο δεικτών, ενώ παράλληλα ο δείκτης "σχέδια δράσης" χαρακτηρίζεται υψηλής σημαντικότητας κι επομένως για τις αντίστοιχες συγκρίσεις επιλέγεται η τιμή 5. Τέλος, για τις συγκρίσεις που υπολείπονται καθορίζεται η τιμή 1 μέσω της οποίας υπονοείται ότι η συμβολή και η σημαντικότητα των επιμέρους δεικτών ("αριθμός πυροσβεστών" / "αριθμός εθελοντών" και "Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν" / "ποσοστό απασχόλησης") ως προς τη διακινδύνευση είναι ίση.

36 Πηγή: https://bpmsg.com/ahp/

Κρίνεται σκόπιμο να υπογραμμιστεί ότι η επιλογή των τιμών που καθορίζονται για τις δυαδικές συγκρίσεις μεταξύ των στοιχείων που συνθέτουν ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα εφαρμόζοντας την μέθοδο *AHP*, βασίζεται εξίσου στην υποκειμενική κρίση του αποφασίζοντα. Με βάση την προσέγγιση που περιγράφηκε προηγούμενως, πιο συγκεκριμένα, στις συγκρίσεις που αποτυπώνουν τη σημαντικότητα των σχεδίων δράσης έναντι του ΑΕΠ και του ποσοστού απασχόλησης ενδεχομένως θα μπορούσε να τεθεί η τιμή 4 ή 6 αντανακλώντας ομοίως τον υψηλό βαθμό σπουδαιότητας του δείκτη, σύμφωνα με την κλίμακα Saaty. Στην πρώτη περίπτωση ο λόγος συνέπειας (*CR*) που προκύπτει κατά τη διεξαγωγή των συγκρίσεων ισούται με εκείνον που προσδιορίζεται για το προηγούμενο παράδειγμα, ενώ διαφοροποιείται ελαφρώς επιλέγοντας την τιμή 6 με αποτέλεσμα οι δύο τιμές να είναι εξίσου αποδεκτές. Ωστόσο, για τις εν λόγω συγκρίσεις έχει επιλεγεί η τιμή 5 η οποία αντιστοιχεί σε ένα από τα βασικά επίπεδα σημαντικότητας σύμφωνα με την θεμελιώδη κλίμακα της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.

Συνοψίζοντας, οι συγκρίσεις ανά ζεύγη κύριων συνιστωσών διακινδύνευσης, υπο-κατηγοριών έκθεσης-τρωτότητας κι επιμέρους δεικτών, υλοποιήθηκαν στα τρία επίπεδα της ιεραρχίας διαδοχικά. Λαμβάνοντας υπόψη τις απόψεις των ειδικών αναλυτών σχετικά με τη σπουδαιότητα των δομικών στοιχείων του μοντέλου διακινδύνευσης, πραγματοποιήθηκαν όλες οι εφικτές δυαδικές συγκρίσεις για τον καθένα ξεχωριστά σε τρία στάδια βάσει των προσεγγίσεων που περιγράφηκαν. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής, μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής *BPMSG's AHP Online System* προέκυψαν τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης τα οποία αφορούν τις καθολικές προτεραιότητες (*global priorities*) των παραμέτρων της ιεραρχίας, δηλαδή τους συντελεστές βαρύτητάς τους. Αυτά αναλύονται εκτενέστερα στην επόμενη ενότητα.

5.3.1 Συντελεστές βαρύτητας ανά προσέγγιση της AHP

Η διαδικασία υλοποίησης των δυαδικών συγκρίσεων ως προς την ανάδειξη της συμβολής και της σπουδαιότητας των περιγραφικών στοιχείων της διακινδύνευσης στα πλαίσια λειτουργίας της διαδικτυακής εφαρμογής *BPMSG's AHP Online System*, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τριών συνόλων δεδομένων. Αυτά περιλαμβάνουν τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας των συνιστωσών διακινδύνευσης οι οποίοι υπολογίστηκαν βάσει των τριών διαφορετικών προσεγγίσεων που ακολουθήθηκαν. Οι τιμές που επιλέχθηκαν για κάθε σύγκριση μεταξύ των επιμέρους στοιχείων της ιεραρχίας διαφοροποιούνται ανά προσέγγιση, γεγονός που αποτυπώνεται και στα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης.

Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση ειδικότερα, κατά την οποία το εύρος τιμών που αξιοποιήθηκαν κυμαίνεται από ένα (1) έως πέντε (5) όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο παράγοντας διακινδύνευσης με τον υψηλότερο συντελεστή βαρύτητας είναι αυτός του κινδύνου (*hazard*). Η συνιστώσα τρωτότητας (*vulnerability*) κατέχει το μικρότερο βάρος στο πρώτο επίπεδο της ιεραρχίας του μοντέλου διακινδύνευσης παρότι δεν τροποποιείται σε μεγάλο βαθμό συγκριτικά με εκείνο της έκθεσης (*exposure*).

Όσον αφορά τις υπο-κατηγορίες των κύριων συνιστωσών, η παράμετρος ευαισθησίας (*sensitivity*) συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό συμβολής ως προς την διακινδύνευση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς, αντανακλώντας τον υψηλό βαθμό σπουδαιότητας του δείκτη ευφλεκτότητας. Η "φύση της έκθεσης" (*nature of exposure*) συνιστά μια εξίσου πολύ σημαντική παράμετρο του δεύτερου ιεραρχικού επιπέδου. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι δείκτες "δασικές περιοχές", "αριθμός τουριστών" και "σχέδια δράσης" εμφανίζουν αντίστοιχα τον υψηλότερο συντελεστή στάθμισης ανά υπο-κατηγορία. Οι καθολικές προτεραιότητες (*global priorities*) που προσδιορίστηκαν βάσει αυτής της προσέγγισης συγκεντρώνονται στον Πίνακα 5.12.

		Δείκτης	Συντελεστής βαρύτητας ανά υπο-κατηγορία	Ποσοστό επί τοις εκατό (%)
Διακινδύνευση	Έκθεση	Δασικές περιοχές	0.57	11.1%
		Καλλιεργήσιμες περιοχές	0.22	4.4%
		Προστατευόμενες περιοχές	0.21	4.1%
		Αριθμός τουριστών	0.48	5.6%
		Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	0.33	3.8%
		Πυκνότητα πληθυσμού	0.19	2.2%
		ΣΥΝΟΛΟ		**31.2%**
	Τρωτότητα	Δείκτης ευφλεκτότητας	1.00	22.1%
		Σχέδια δράσης	0.38	3.1%
		Ποσοστό απασχόλησης	0.17	1.4%
		Αριθμός πυροσβεστών	0.20	1.6%
		Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	0.13	1.1%
		Αριθμός εθελοντών	0.12	1.0%
		ΣΥΝΟΛΟ		**30.3%**
	Κίνδυνος	Fire Weather Index - FWI	1.00	**38.5%**

CR : 0.5%

Πίνακας 5.12 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης (1η προσέγγιση).

Η δεύτερη προσέγγιση της ανάλυσης, για την οποία καθορίστηκε το εύρος τιμών από ένα (1) έως επτά (7), ανέδειξε εξίσου την σπουδαιότητα τόσο της συνιστώσας κινδύνου όσο και της παραμέτρου ευαισθησίας αναφορικά με το πρώτο και δεύτερο ιεραρχικό επίπεδο αντίστοιχα. Συγκριτικά με την πρώτη προσέγγιση, ωστόσο, ο συντελεστής βαρύτητας της συνιστώσας έκθεσης είναι ελαφρώς υψηλότερος από εκείνον της τρωτότητας χωρίς όμως να διαφοροποιείται αισθητά. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η συμβολή της παραμέτρου "φύση της έκθεσης" ως προς τη διακινδύνευση, γεγονός το οποίο οφείλεται εν μέρει στην αύξηση του συντελεστή βαρύτητας του δείκτη "δασικές περιοχές" που παρατηρείται σε σχέση με την προηγούμενη προσέγγιση. Μεταξύ των υπολοίπων στοιχείων της ιεραρχίας δεν εντοπίζονται σημαντικές διαφορές όπως διακρίνεται στον Πίνακα 5.13.

Συμπληρωματικά, εφαρμόζοντας την τελευταία προσέγγιση, βάσει της οποίας το εύρος τιμών κυμαίνεται από ένα (1) έως (9), τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με το πρώτο και δεύτερο επίπεδο της ιεραρχίας του μοντέλου διακινδύνευσης είναι όμοια με εκείνα της πρώτης προσέγγισης. Εντούτοις, επισημαίνονται ορισμένες τροποποιήσεις ως προς τις καθολικές προτεραιότητες των δεικτών που εντάσσονται στη συνιστώσα της έκθεσης.

Ειδικότερα, ο συντελεστής βαρύτητας του δείκτη "δασικές περιοχές" παρουσιάζει αύξηση η οποία εξισορροπείται από την παρατηρούμενη μείωση στους δείκτες "καλλιεργήσιμες περιοχές" και "προστατευόμενες περιοχές" αντίστοιχα. Παράλληλα υπογραμμίζεται ότι ο δείκτης "αριθμός τουριστών" εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό συμβολής ως προς τη διακινδύνευση σε σύγκριση και με τις δύο άλλες προσεγγίσεις. Τα τελικά αποτελέσματα της τρίτης προσέγγισης συνοψίζονται στον Πίνακα 5.14.

		Δείκτης	Συντελεστής βαρύτητας ανά υπο-κατηγορία	Ποσοστό επί τοις εκατό (%)
Διακινδύνευση	Έκθεση	Δασικές περιοχές	0.69	15.2%
		Καλλιεργήσιμες περιοχές	0.16	3.6%
		Προστατευόμενες περιοχές	0.15	3.2%
		Αριθμός τουριστών	0.58	5.4%
		Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	0.28	2.6%
		Πυκνότητα πληθυσμού	0.14	1.3%
		ΣΥΝΟΛΟ		**31.3%**
	Τρωτότητα	Δείκτης ευφλεκτότητας	1.00	22.1%
		Σχέδια δράσης	0.43	3.5%
		Ποσοστό απασχόλησης	0.15	1.1%
		Αριθμός πυροσβεστών	0.18	1.5%
		Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	0.12	1.0%
		Αριθμός εθελοντών	0.12	1.0%
		ΣΥΝΟΛΟ		**30.2%**
	Κίνδυνος	Fire Weather Index - FWI	1.00	**38.5%**

CR : 0.5%

Πίνακας 5.13 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης (2η προσέγγιση).

		Δείκτης	Συντελεστής βαρύτητας ανά υπο-κατηγορία	Ποσοστό επί τοις εκατό (%)
Διακινδύνευση	Έκθεση	Δασικές περιοχές	0.74	14.5%
		Καλλιεργήσιμες περιοχές	0.14	2.7%
		Προστατευόμενες περιοχές	0.12	2.4%
		Αριθμός τουριστών	0.60	7.0%
		Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	0.29	3.4%
		Πυκνότητα πληθυσμού	0.11	1.3%
		ΣΥΝΟΛΟ		**31.3%**
	Τρωτότητα	Δείκτης ευφλεκτότητας	1.00	22.1%
		Σχέδια δράσης	0.44	3.6%
		Ποσοστό απασχόλησης	0.14	1.1%
		Αριθμός πυροσβεστών	0.20	1.6%
		Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	0.11	0.9%
		Αριθμός εθελοντών	0.11	0.9%
		ΣΥΝΟΛΟ		**30.2%**
	Κίνδυνος	Fire Weather Index - FWI	1.00	**38.5%**

CR : 0.2%

Πίνακας 5.14 Συντελεστής βαρύτητας ανά δείκτη διακινδύνευσης (3η προσέγγιση).

Συμπερασματικά, οι τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις της ανάλυσης αναφορικά με τον τρόπο διεξαγωγής των δυαδικών συγκρίσεων δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται σημαντικά, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, καθεμία προσέγγιση αναδεικνύει τη σημασία διαφορετικών στοιχείων της ιεραρχίας. Όσον αφορά την πρώτη, πιο συγκεκριμένα, οι δείκτες ‘‘καλλιεργήσιμες περιοχές’’ και ‘‘προστατευόμενες περιοχές’’ εμφανίζουν το υψηλότερο ποσοστό συμβολής ως προς την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τις άλλες προσεγγίσεις. Ακόμη, ο συντελεστής βαρύτητας του δείκτη ‘‘δασικές περιοχές’’ μεγιστοποιείται εφαρμόζοντας τη δεύτερη προσέγγιση ενώ με βάση την τρίτη, αυξάνεται το ποσοστό συμβολής του δείκτη ‘‘αριθμός τουριστών’’.

Από την άλλη μεριά, οι μεταβολές που παρατηρούνται στους συντελεστές βαρύτητας των παραμέτρων προσαρμοστικής ικανότητας είναι ανεπαίσθητες. Κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί επίσης ότι ο δείκτης *Fire Weather Index* (*FWI*) αποτελεί την κρισιμότερη παράμετρο της ιεραρχίας, όπως υποδηλώνει το ποσοστό συμβολής της συνιστώσας κινδύνου στη διακινδύνευση βάσει και των τριών προσεγγίσεων.

Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου *AHP* με αυτά που προέκυψαν από τη χρήση της ιεραρχικής κλίμακας εύρους από ένα (1) έως (5) για την αξιολόγηση της σημαντικότητας των επιμέρους στοιχείων του μοντέλου διακινδύνευσης, οι διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ των συντελεστών βαρύτητάς τους είναι μηδαμινές. Ταυτόχρονα, η σειρά κατάταξης των δεικτών ανά υπο-κατηγορία, ως προς τη συμβολή τους στο επίπεδο διακινδύνευσης, παραμένει αμετάβλητη εφαρμόζοντας καθεμία προσέγγιση. Εντούτοις, οι δείκτες των υπο-κατηγορίων που βρίσκονται στην κορυφή της κατάταξης συγκεντρώνουν αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό αναλογικά με εκείνους που υπολείπονται, βάσει της ανάλυσης που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας.

5.4 Εκτίμηση του δείκτη διακινδύνευσης στο περιβάλλον ArcMap

5.4.1 Προεργασία γεωχωρικών δεδομένων

5.4.1.1 Δείκτες έκθεσης

Η συνιστώσα της έκθεσης στο μοντέλο εκτίμησης της διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στη νήσο Κρήτη, όπως έχει ήδη διατυπωθεί σε προηγούμενη ενότητα, συνίσταται από τους εξής δείκτες :

1. Δασικές περιοχές
2. Καλλιεργήσιμες περιοχές
3. Προστατευόμενες περιοχές
4. Αριθμός τουριστών
5. Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού
6. Πυκνότητα πληθυσμού

Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν αρχικά για την χωρική απεικόνιση των δύο πρώτων δεικτών προήλθαν από το υπόβαθρο *CORINE Land Cover 2018*. Ειδικότερα, οι περιοχές δασικής κάλυψης αντιστοιχούν στις κατηγορίες 3.1.1., 3.1.2., 3.1.3., 3.2.1., 3.2.2., 3.2.3. και 3.2.4. ενώ οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις εμπίπτουν στις κατηγορίες 2.1.1., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.3. και 2.4.4. βάσει του τρίτου επιπέδου του υπομνήματος *CLC 2018*. Σύμφωνα λοιπόν με την προηγούμενη ταξινόμηση, από το αρχικό υπόβαθρο κάλυψης γης ψηφιδωτής μορφής (*raster layer*) με χωρική διακριτική ικανότητα 100 × 100 m, διατηρήθηκαν μόνο οι χωρικές οντότητες που αναφέρονται στις συγκεκριμένες κατηγορίες με σκοπό τη δημιουργία δύο ξεχωριστών θεματικών επιπέδων (*layers*) αναπαράστασης των δασικών και καλλιεργήσιμων περιοχών αντίστοιχα.

Έπειτα, για τον καθορισμό του τρίτου δείκτη έκθεσης χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων παγκόσμιας εμβέλειας *World Database on Protected Areas – WDPA*[37] μέσω της οποίας αντλήθηκαν οι χωρικές πληροφορίες σχετικά με τις προστατευόμενες περιοχές εντός της περιφέρειας Κρήτης. Στο γεωχωρικό υπόβαθρο που διατίθεται συγκεκριμένα αναπαριστώνται τόσο τα χερσαία όσο και τα θαλάσσια οικοσυστήματα που βρίσκονται υπό καθεστώς προστασίας. Τα τελευταία, ωστόσο, εξαιρέθηκαν από το μοντέλο διακινδύνευσης διότι δεν ανταποκρίνονται στους σκοπούς της παρούσας ανάλυσης.

Επομένως, παράχθηκε ένα νέο θεματικό επίπεδο όπου απεικονίζονται μόνο οι χερσαίες προστατευόμενες περιοχές. Ακόμη επισημαίνεται ότι το πρωτογενές σύνολο δεδομένων παρέχεται σε διανυσματική μορφή (*vector layer*) και κατά συνέπεια ήταν αναγκαία η μετατροπή αυτού του επιπέδου πληροφορίας σε ένα ψηφιδωτό θεματικό επίπεδο χωρικής διακριτικής ικανότητας 100 × 100 m, προκειμένου όλα τα χωρικά δεδομένα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους.

Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά τους υπόλοιπους δείκτες έκθεσης αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία της απογραφής πληθυσμού του 2011 από την ΕΛΣΤΑΤ καθώς και τα δεδομένα τουριστικής κίνησης από το Ινστιτούτο του Συνδέσμου Ελληνικών Τουριστικών Επιχειρήσεων (ΙΝΣΕΤΕ) για το ίδιο έτος, όπως αυτά αναλύονται στα Κεφάλαια 5.1.1 και 5.1.2. Πιο συγκεκριμένα, η πληθυσμιακή πυκνότητα καθεμιάς από τις Περιφερειακές Ενότητες της Κρήτης επαναπροσδιορίστηκε ώστε να βρεθούν οι κάτοικοι ανά εκτάριο (ha) το οποίο αντιστοιχεί στη χωρική μονάδα αναφοράς της παρούσας ανάλυσης. Όμοια, κρίθηκε σκόπιμο να υπολογιστεί το πλήθος των ευπαθών ατόμων, ηλικίας 0 έως 9 ετών και άνω των 65 ετών, καθώς και το πλήθος των τουριστών ανά εκτάριο.

37 Διατίθεται μέσω της ιστοσελίδας: https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa

Για τη χωρική απεικόνιση των προαναφερθέντων στοιχείων έγινε χρήση του θεματικού επιπέδου αναπαράστασης των ΠΕ της Ελλάδας[38], το οποίο είναι διαθέσιμο σε διανυσματική μορφή μέσω της διαδικτυακής υπηρεσίας παροχής ανοικτών γεωχωρικών δεδομένων *GEODATA.gov.gr*. Από αυτό διατηρήθηκαν μόνο οι χωρικές οντότητες που αντιστοιχούν στην περιοχή μελέτης, δηλαδή οι ΠΕ Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου και Χανίων. Στον περιγραφικό πίνακα (*attribute table*) του νέου επιπέδου πληροφορίας καταχωρήθηκαν τα συναφή στοιχεία αναφορικά με τους δείκτες "Αριθμός τουριστών", "Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού" και "Πυκνότητα πληθυσμού" για τους οποίους δημιουργήθηκαν συνολικά τέσσερα μεμονωμένα θεματικά επίπεδα.

Ωστόσο, αυτά τα επίπεδα χωρικής πληροφορίας χρειάστηκε στη συνέχεια να μετατραπούν σε επίπεδα πληροφορίας ψηφιδωτής μορφής, ίδιας χωρικής διακριτικής ικανότητας 100 × 100 m, με στόχο την εξασφάλιση της συγκρισιμότητας μεταξύ του συνόλου δεδομένων αλλά και την ορθή διεξαγωγή της επακόλουθης χωρικής ανάλυσης.

5.4.1.2 Δείκτες τρωτότητας

Στο μοντέλο αξιολόγησης του επιπέδου διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών εντός της περιφέρειας Κρήτης, όπως ορίζεται σε προηγούμενη ενότητα, η συνιστώσα της τρωτότητας περιγράφεται από τους εξής δείκτες :

1. Δείκτης ευφλεκτότητας
2. Σχέδια δράσης
3. Ποσοστό απασχόλησης
4. Αριθμός πυροσβεστών
5. Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
6. Αριθμός εθελοντών

38 Διατίθεται μέσω της ιστοσελίδας: https://geodata.gov.gr/dataset/oria-nomon-el-stat

Η ευφλεκτότητα συνιστά μια πολυσύνθετη ιδιότητα της βλάστησης η οποία είναι αρκετά δύσκολο να οριστεί επιστημονικά. Ωστόσο, αυτή διακρίνεται από τρεις βασικές έννοιες: α) την αναφλεξιμότητα (*ignitability*), β) την καύση (*combustibility*) και γ) τη βιωσιμότητα (*sustainability*) της καύσιμης ύλης (Anderson, 1970; Trabaud, 1976). Η αναφλεξιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα ανάφλεξης των καύσιμων υλικών η οποία προσδιορίζεται από το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την έκθεση αυτών σε μια πηγή θερμότητας έως την ανάφλεξή τους. Το δεύτερο χαρακτηριστικό της ευφλεκτότητας υποδηλώνει τον τρόπο με τον οποίο διενεργείται η διαδικασία της καύσης ύστερα από την ανάφλεξη του καύσιμου υλικού, ενώ η έννοια της βιωσιμότητας περιγράφει την ικανότητα του τελευταίου να φλέγεται σε βάθος χρόνου (Saura-Mas et al., 2010). Συμπληρωματικά, οι Martin et al. (1993) αναφέρουν ακόμη ένα περιγραφικό στοιχείο της ευφλεκτότητας, την αναλωσιμότητα (*consumability*), προσδιορίζοντας μέσω αυτής της έννοιας τον βαθμό στον οποίο η βλάστηση μπορεί δυνητικά να καταστραφεί από μια πυρκαγιά.

Τα παραπάνω προσδιοριστικά στοιχεία της ευφλεκτότητας επηρεάζονται από ένα πλήθος παραγόντων με ποικίλους τρόπους. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν μεταξύ άλλων τη δομή και την πυκνότητα της καύσιμης ύλης, την περιεκτικότητά της σε υγρασία, την χημική της σύσταση αλλά και τη διάταξή της (Xanthopoulos et al. 2012). Ειδικότερα, τα επίπεδα σχετικής υγρασίας των καύσιμων υλικών φαίνεται ότι επιδρούν τόσο στην ανάφλεξή τους όσο και στον ρυθμό καύσης τους, γεγονός το οποίο συμβάλλει έμμεσα στον καθορισμό του ρυθμού επέκτασης μιας δυνητικής πυρκαγιάς. Γι' αυτό και η συγκεκριμένη παράμετρος συμπεριλαμβάνεται σε όλα τα συστήματα αξιολόγησης της συμπεριφοράς πυρκαγιάς.

Με βάση όσα προαναφέρθηκαν, είναι κατανοητό ότι η ευφλεκτότητα συνδέεται άρρηκτα με τις εγγενείς ιδιότητες της βλάστησης και ότι ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα του καύσιμου υλικού, την κατάσταση, την διάταξή του στον χώρο και την τοποθεσία του. Συνεπώς, τα εν λόγω στοιχεία σχετικά με την ευφλεκτότητα της βλάστησης μιας περιοχής, σε συνδυασμό με τα μετεωρολογικά δεδομένα, κρίνονται καθοριστικά για την εκτίμηση του ενδεχόμενου κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, η ευφλεκτότητα της νεκρής οργανική ύλης και το ανεμολογικό καθεστώς της εκάστοτε περιοχής διερευνώνται συνδυαστικά, από τις αρμόδιες τοπικές υπηρεσίες σε αρκετές περιοχές της Μεσογείου, κατά την αξιολόγηση του κινδύνου εμφάνισης συμβάντων πυρκαγιάς.

Με την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκε η ανάγκη καθορισμού μιας ευρείας κατηγοριοποίησης των τύπων δασικής και χορτολιβαδικής βλάστησης του ευρωπαϊκού χώρου ως προς το επίπεδο ευφλεκτότητάς τους. Για τον σκοπό αυτό λοιπόν, συντάχθηκε ένα ερωτηματολόγιο από τους Xanthopoulos et al. (2012) το οποίο διανεμήθηκε σε ένα μεγάλο πλήθος εμπειρογνωμόνων σε θέματα δασικών πυρκαγιών, από χώρες της Ευρώπης και της Βόρειας Αφρικής. Το ερωτηματολόγιο στόχευε στην αξιολόγηση των δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων αυτών των χωρών σχετικά με την ευφλεκτότητά τους και κατ' επέκταση τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς.

Οι εμπειρογνώμονες βαθμολόγησαν συνολικά 60 διαφορετικούς τύπους βλάστησης, βάσει κοινής ιεραρχικής κλίμακας από 1 έως 5. Λαμβάνοντας υπόψη τις βαθμολογίες που δόθηκαν υπολογίστηκε η μέση τιμή ευφλεκτότητας ανά τύπο βλάστησης, η οποία αντιπροσωπεύει εξίσου τον βαθμό επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς αναφορικά με τους συναφείς τύπους δασικής κάλυψης. Η αντιστοιχία μεταξύ των διερευνώμενων τύπων βλάστησης και των ευρωπαϊκών τύπων δασών συγκεκριμένα έγινε από τους ειδικούς σύμφωνα με τις υποδείξεις του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος.

Σε αυτό το πλαίσιο, διαμορφώθηκαν συνολικά πέντε κατηγορίες κινδύνου σε συνάρτηση με τον δείκτη ευφλεκτότητας (*Flammability Index – FI*) ανά τύπο βλάστησης, όπως αυτές διατυπώθηκαν από τους Xanthopoulos et al. (2012) ως εξής:

- **Πολύ χαμηλός κίνδυνος** ($1.0<FI<1.8$) : Λίγες πυρκαγιές εκδηλώνονται λόγω των χαμηλών επιπέδων ευφλεκτότητας ακόμη και υπό ακραίες καιρικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία > 38 °C, σχετική υγρασία < 15%, ταχύτητα ανέμου > 30 km/ h).
- **Χαμηλός κίνδυνος** ($1.8<FI<2.6$) : Τα συμβάντα πυρκαγιάς δεν θεωρούνται αμελητέα, ενώ τα είδη βλάστησης που κατατάσσονται σε αυτή την κατηγορία διακρίνονται ως εύφλεκτα υπό ακραίες καιρικές συνθήκες.
- **Μέτριος κίνδυνος** ($2.6<FI<3.4$) : Πολυάριθμες πυρκαγιές σημειώνονται ειδικότερα κατά τη θερινή περίοδο όπου είναι πιθανό να επιφέρουν σημαντικά προβλήματα ελέγχου και κατάσβεσης.

- **Υψηλός κίνδυνος** (3.4<*FI*<4.2) : Η εκδήλωση πυρκαγιών κατά τη θερινή περίοδο χαρακτηρίζεται εξαιρετικά πιθανή και παράλληλα εάν αυτές δεν αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά σε αρχικό στάδιο μπορούν να ξεφύγουν από τον έλεγχο των αρμόδιων αρχών.
- **Πολύ υψηλός κίνδυνος** (4.2<*FI*<5.0) : Οι εκδηλωμένες πυρκαγιές είναι άφθονες ακόμη και σε σχετικά ήπιες συνθήκες για την εποχή, ενώ υπό καθεστώς ακραίων καιρικών συνθηκών μπορεί να προκληθούν ακόμη και μεγαπυρκαγιές (*mega-fires*).

Με γνώμονα την παραπάνω κατηγοριοποίηση και τη μεθοδολογική προσέγγιση που εφάρμοσαν οι Corona et al. (2014) και μετέπειτα οι Bacciu et al. (2021) ως προς την ανάδειξη των ζωνών διαφορετικού επιπέδου ευφλεκτότητας, για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης όμοια επιχειρήθηκε η ταξινόμηση των κύριων τύπων δασικής και χορτολιβαδικής βλάστησης της Κρήτης ανά κατηγορία κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς, ανάλογα με την τιμή του δείκτη ευφλεκτότητας που αντιστοιχεί στον καθένα.

Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα του υποβάθρου κάλυψης γης *CORINE Land Cover (2018)* προκειμένου να εντοπιστούν αρχικά όλοι οι τύποι βλάστησης που βρίσκονται εντός των ορίων της Περιφέρειας Κρήτης, για τους οποίους στη συνέχεια προσδιορίστηκε η αντίστοιχη τιμή του δείκτη ευφλεκτότητας.

Συνεπώς, οι τύποι κάλυψης γης που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες "Γεωργικές περιοχές" και "Δάση και ημι-φυσικές περιοχές" του πρώτου επιπέδου του υπομνήματος CLC 2018 αντιστοιχήθηκαν με τους συναφείς τύπους βλάστησης της ταξινόμησης των Xanthopoulos et al. (2012) ώστε να καθοριστούν οι ζώνες ευφλεκτότητας στην περιοχή της Κρήτης. Ειδικότερα, βάσει αυτής της αντιστοίχισης υπολογίστηκε η μέση τιμή ευφλεκτότητας ανά τύπο κάλυψης γης, η οποία κυμαίνεται στο εύρος τιμών από 1.7 έως 5.0 υποδεικνύοντας πέντε διαφορετικές ζώνες, "πολύ χαμηλής" έως "πολύ υψηλής" ευφλεκτότητας αντίστοιχα. Επισημαίνεται ωστόσο ότι για τους υπόλοιπους τύπους κάλυψης γης που δεν εμπίπτουν στις δύο παραπάνω κατηγορίες αποδόθηκε η τιμή 0 καθώς οι εκτάσεις αυτές δεν εμφανίζουν κανενός είδους βλάστηση.

Κατηγορίες CLC 2018 (Τρίτο επίπεδο)	**Εμβαδόν (km²)**	**Δείκτης ευφλεκτότητας**	**Κατάταξη**
2.4.2. Σύνθετες καλλιέργειες	442,33	1.7	Πολύ χαμηλή
2.4.3. Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία	658,06	1.7	Πολύ χαμηλή
2.1.1. Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	32,46	2.0	Χαμηλή
2.2.1. Αμπελώνες	352,28	2.0	Χαμηλή
2.2.2. Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	50,16	2.0	Χαμηλή
2.2.3. Ελαιώνες	2.137,79	2.0	Χαμηλή
3.3.3. Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	338,38	2.0	Χαμηλή
2.4.4. Γεωργο-δασικές περιοχές	1,23	2.95	Μέτρια
2.3.1. Λιβάδια	59,30	3.0	Μέτρια
3.2.1. Φυσικοί βοσκότοποι	1.459,01	3.0	Μέτρια
3.2.4. Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	318,44	3.0	Μέτρια
3.1.1. Δάσος πλατύφυλλων	70,77	3.68	Υψηλή
3.1.3. Μικτό δάσος	10,22	3.96	Υψηλή
3.1.2. Δάσος κωνοφόρων	219,15	4.24	Πολύ υψηλή
3.2.3. Σκληροφυλλική βλάστηση	2.006,77	4.67	Πολύ υψηλή
3.2.2. Θάμνοι και χερσότοποι	12,99	5.0	Πολύ υψηλή

Πίνακας 5.15 Ταξινόμηση των τύπων βλάστησης της Κρήτης ανά κατηγορία ευφλεκτότητας.

Με βάση την προαναφερθείσα ταξινόμηση υπολογίστηκε το ποσοστό κάλυψης όλων των ζωνών ευφλεκτότητας ως προς τη συνολική επιφάνεια της Περιφέρειας Κρήτης. Όπως προκύπτει λοιπόν από την έκταση που καταλαμβάνει κάθε τύπος κάλυψης γης του γεωχωρικού υποβάθρου *CORINE Land Cover (2018)* μεμονωμένα, οι περιοχές "χαμηλής" ευφλεκτότητας κατέχουν το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (34,95%) επί της συνολικής έκτασης του νησιού. Εντούτοις, το χαμηλότερο ποσοστό κάλυψης (0,97%) εμφανίζει η ζώνη "υψηλής" ευφλεκτότητας η οποία εκτείνεται μόλις σε 80,99 km², ενώ το αμέσως υψηλότερο ποσοστό διατηρούν οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από "πολύ χαμηλή" ευφλεκτότητα οι οποίες καλύπτουν το 13,21% της έκτασης της Κρήτης. Αναφορικά με τις ζώνες "μέτριας" και "πολύ υψηλής" ευφλεκτότητας, συνολικής επιφάνειας 1.837,98 km² και 2.238,91 km², το ποσοστό κάλυψης φτάνει αντίστοιχα το 22,06% και 26,88%.

Οι τιμές ευφλεκτότητας ανά κατηγορία κάλυψης γης, όπως αυτές προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία, καταχωρήθηκαν στον περιγραφικό πίνακα (*attribute table*) του γεωχωρικού υποβάθρου *CORINE Land Cover (2018)* που διατίθεται σε διανυσματική μορφή (*vector layer*), αφού προηγουμένως είχαν απομονωθεί οι χωρικές οντότητες που βρίσκονται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης. Σαν αποτέλεσμα, παράχθηκε ένα νέο θεματικό επίπεδο το οποίο περιλαμβάνει όλους τους τύπους κάλυψης γης που συναντώνται στην Περιφέρεια Κρήτης σε συνάρτηση με τον δείκτη ευφλεκτότητας που εμφανίζει καθένας από αυτούς.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά τους δείκτες "Ποσοστό απασχόλησης" και "Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν" αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία της απογραφής του 2011 που διατίθενται από την ΕΛΣΤΑΤ. Για τον πρώτο δείκτη, πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε το πλήθος των απασχολούμενων στον τομέα της γεωργίας/δασοκομίας/αλιείας ανά εκτάριο, για καθεμία από τις Περιφερειακές Ενότητες της Κρήτης. Διευκρινίζεται ότι η προσέγγιση αυτή προτιμήθηκε αντί του προσδιορισμού του ποσοστού απασχόλησης ώστε να υπάρχει συνοχή μεταξύ των θεματικών επιπέδων που συμπεριλήφθηκαν στην μετέπειτα χωρική ανάλυση. Θα ήταν αβάσιμο ωστόσο να ακολουθηθεί η ίδια τακτική στην περίπτωση του δεύτερου δείκτη, γι' αυτό και οι τιμές του ΑΕΠ διατηρήθηκαν αυτούσιες.

Από την άλλη μεριά, για τη δημιουργία των χωρικών επιπέδων πληροφορίας και των δύο δεικτών εφαρμόστηκε η μέθοδος που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, μέσω της οποίας παράχθηκαν αντίστοιχα τα θεματικά επίπεδα που αφορούν τους δείκτες "Αριθμός τουριστών", "Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού" και "Πυκνότητα πληθυσμού".

Τέλος, επισημαίνεται πως υπήρξαν αρκετοί περιορισμοί σχετικά με τους υπόλοιπους δείκτες τρωτότητας καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα είναι ελλιπή κι επομένως δεν επαρκούν για τον σαφή και ορθό καθορισμό τους. Κατά συνέπεια δεν ήταν εφικτό να συμπεριληφθούν στην επικείμενη χωρική ανάλυση κι έτσι εξαιρέθηκαν. Εντούτοις, εκτιμάται ότι αυτή η συνθήκη δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στα τελικά αποτελέσματα καθώς η ποσοστιαία συμβολή των εν λόγω δεικτών στη διαμόρφωση του επιπέδου διακινδύνευσης είναι σχεδόν αμελητέα, όπως προέκυψε βάσει της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας κατά το στάδιο εύρεσης των συντελεστών βαρύτητάς τους.

5.4.1.3 Δείκτης κινδύνου

Η συνιστώσα του κινδύνου περιλαμβάνει έναν και μοναδικό δείκτη, με βάση την προκαθορισμένη δομή του μοντέλου διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στη νήσο Κρήτη. Αυτός συγκεκριμένα είναι ο δείκτης *Fire Weather Index – FWI* ο οποίος μάλιστα κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς (38,5%) στη διαμόρφωση της συνιστώσας διακινδύνευσης συγκριτικά με τους υπόλοιπους δείκτες, όπως ανέδειξαν τα αποτελέσματα της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*) σε προηγούμενο στάδιο της παρούσας μελέτης. Δεδομένης της σπουδαιότητάς του λοιπόν, κρίθηκε απολύτως αναγκαίο ο εν λόγω δείκτης να συμπεριληφθεί στην επικείμενη χωρική ανάλυση. Για τον σκοπό αυτό ποικίλες διαδικασίες έλαβαν χώρα προκειμένου να παραχθούν τα απαραίτητα χωρικά επίπεδα πληροφορίας μέσω της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων. Ειδικότερα, στη συνέχεια περιγράφεται εκτενώς η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

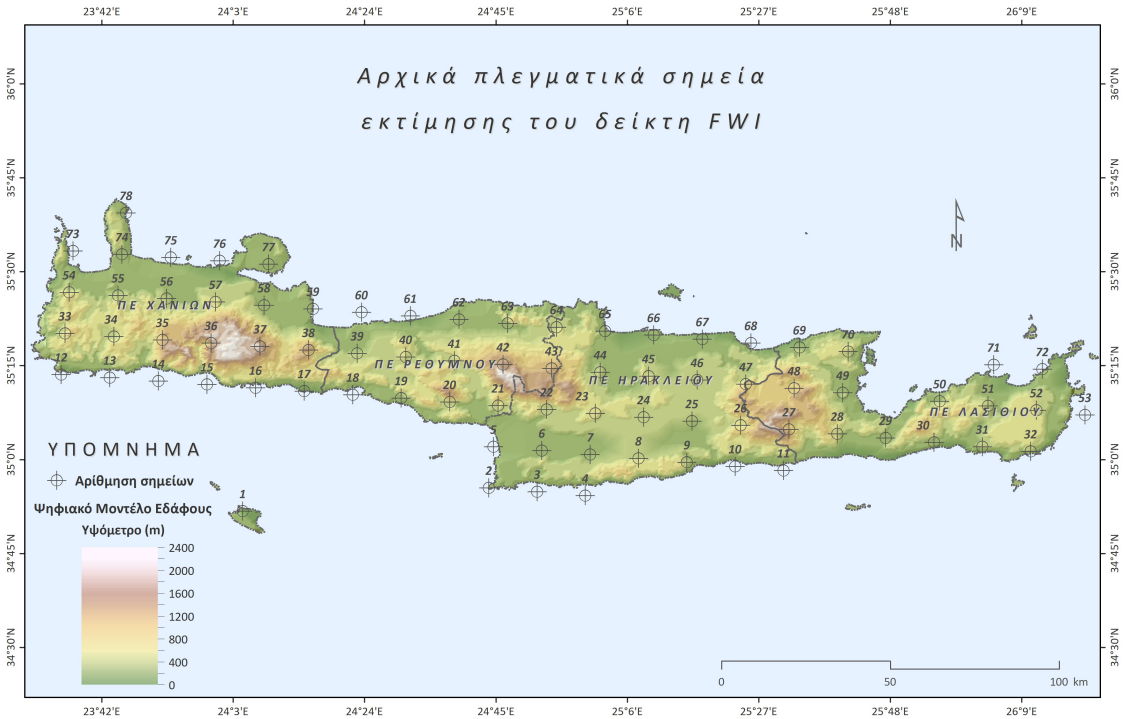
Αρχικά, για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη *FWI*, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων που προέκυψαν μέσω της σύζευξης των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (*Regional Climate Models – RCMs*) και του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου (*Global Climate Model – GCM*), τα οποία διατίθενται στα πλαίσια της ευρωπαϊκής πρωτοβουλίας *EURO – CORDEX*. Όσον αφορά τις μελλοντικές χρονικές περιόδους εξέτασης, οι προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων βασίζονται στις Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (*Representative Concentration Pathways – RCPs*) RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5, όπως αυτές ορίστηκαν στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (*AR5*) της IPCC για την κλιματική αλλαγή. Πιο συγκεκριμένα, οι χρονικές περίοδοι που επιλέχθηκαν προς διερεύνηση συνάδουν αντίστοιχα με τις μελλοντικές περιόδους αναφοράς που προσδιορίζονται στην *AR5*. Συνεπώς η ιστορική περίοδος αναφοράς καλύπτει την εικοσαετία 1986-2005, ενώ το εγγύς μέλλον αφορά την περίοδο 2026 – 2045 και το μακρινό μέλλον, το χρονικό διάστημα από το 2081 έως το 2100. Τα ζεύγη των κλιματικών μοντέλων που αξιοποιήθηκαν συνοψίζονται στον Πίνακα 5.16.

GCM/RCM pairs	Experiments
ICHEC-EC-EARTH/RCA4	Historical RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5
MPI-M-MPI-ESM-LR/RCA4	Historical RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5
MOHC-HadGEM2-ES/RCA4	Historical RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5

Πίνακας 5.16 Κλιματικά μοντέλα που αξιοποιήθηκαν
για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη FWI.

Ειδικότερα, ο δείκτης FWI προσδιορίστηκε για την περίοδο εμφάνισης πυρκαγιάς της λεκάνης της Μεσογείου η οποία ορίζεται από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο, σε συνάρτηση με τα παραπάνω κλιματικά μοντέλα, σενάρια και τις προκαθορισμένες χρονικές περιόδους. Οι υπολογισμοί υλοποιήθηκαν, πιο συγκεκριμένα, για καθένα από τα επιλεγμένα ζεύγη GCM/RCM και έπειτα βάσει αυτών προσδιορίστηκε η μέση τιμή του δείκτη κατά την περίοδο αναφοράς (1986 – 2005) αλλά και για τις δύο μελλοντικές περιόδους ενδιαφέροντος (2046 – 2065 και 2081 – 2100).

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, από το σύνολο δεδομένων που παράχθηκε διατηρήθηκαν μόνο οι μετρήσεις εκείνες οι οποίες αντιστοιχούν στις γεωγραφικές θέσεις εκτίμησης του δείκτη FWI που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή της νήσου Κρήτης. Οι εν λόγω θέσεις αναπαριστώνται γραφικά στον Χάρτη 5.8, ενώ ακόμα οι εκτιμώμενες μέσες τιμές του δείκτη FWI για καθεμία από αυτές, σε αντιστοιχία με τις Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5) και τις προκαθορισμένες χρονικές περιόδους (1986 – 2005 / 2046 – 2065 / 2081 – 2100), συγκεντρώνονται στον Πίνακα ΙΙ που δίνεται στο Παράρτημα.



Χάρτης 5.8 Απεικόνιση των πλεγματικών σημείων εκτίμησης του δείκτη FWI.

Συμπληρωματικά, στον Πίνακα 5.17 δίνεται η μέση τιμή των μετρήσεων του δείκτη FWI για το σύνολο των ανωτέρω θέσεων παρατήρησης ανά κλιματικό σενάριο και χρονική περίοδο αντίστοιχα. Τα στοιχεία αυτά καταδεικνύουν ότι στο μεγαλύτερο μέρος της Κρήτης εμφανίζεται κατά μέσο όρο χαμηλός βαθμός κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς για την χρονική περίοδο αναφοράς (1986 – 2005) κι επιπλέον, σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν βάσει της Αντιπροσωπευτικής Πορείας Συγκέντρωσης RCP2.6, ο δείκτης FWI φαίνεται ότι αυξάνεται κατά 10% περίπου στα μέσα του αιώνα ενώ η ανοδική αυτή τάση παύει να υφίσταται κατά το έτος 2100.

Εντούτοις, σε σχέση με τις εκτιμήσεις που αφορούν την Αντιπροσωπευτική Πορεία Συγκέντρωσης RCP8.5, ο βαθμός επικινδυνότητας σημειώνει σημαντική αύξηση κατά 35% περίπου εώς τα τέλη του 21^{ου} αιώνα καθώς σε αρκετές περιοχές του κεντρικού και νότιου τμήματος του νησιού εμφανίζεται υψηλός κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς, γεγονός που αποδεικνύεται εξίσου μέσω της παρατήρησης των χαρτογραφικών υποβάθρων που παράχθηκαν σε επόμενο στάδιο.

Χρονική περίοδος / RCP	X_{mean}
Περίοδος Αναφοράς (*1986 – 2005*)	32,4053
RCP2.6 (*2046 – 2065*)	35,7994
RCP2.6 (*2081 – 2100*)	35,3483
RCP4.5 (*2046 – 2065*)	36,7912
RCP4.5 (*2081 – 2100*)	38,7999
RCP8.5 (*2046 – 2065*)	39,004
RCP8.5 (*2081 – 2100*)	45,1233

Πίνακας 5.17 Μέση τιμή του δείκτη FWI στην Κρήτη
ανά χρονική περίοδο εξέτασης και κλιματικό σενάριο.

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι γεωγραφικές θέσεις που αποτυπώνονται στον Χάρτη 5.8 παραπέμπουν μονάχα σε σημειακές μετρήσεις κι έτσι τα δεδομένα στοιχεία δεν καλύπτουν πλήρως την περιοχή μελέτης. Επομένως, η δημιουργία ενός συνεχούς πεδίου που φέρει την πληροφορία των εκάστοτε τιμών του δείκτη FWI για ολόκληρη την έκταση της Κρήτης, κρίθηκε αναγκαία ως προς την διεξαγωγή της επικείμενης ανάλυσης. Γι' αυτόν τον λόγο, στη συνέχεια υλοποιήθηκε η διαδικασία χωρικής παρεμβολής μέσω της οποίας, κατά κανόνα, επιτυγχάνεται η εκτίμηση των τιμών ενός χαρακτηριστικού σε σημεία τα οποία δεν ανήκουν στο υπό εξέταση δείγμα βάσει των μετρήσεων που αντιστοιχούν στα σημεία που έχουν καταγραφεί (Κουτσόπουλος, 2005).

Η ανάπτυξη της θεωρίας των μεθόδων χωρικής παρεμβολής ουσιαστικά στηρίζεται στον πρώτο νόμο της γεωγραφίας του Tobler σύμφωνα με τον οποίο κάθε οντότητα σχετίζεται με όλες τις υπόλοιπες, όμως όσες είναι γειτονικές παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό συσχέτισης συγκριτικά με εκείνες που είναι πιο απομακρυσμένες (Tobler, 1970).

Συνοπτικά, οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής κατατάσσονται σε τρεις ευρείες κατηγορίες: α) στις **μεθόδους τοπικών εκτιμήσεων**, β) στις **μεθόδους γενικευμένων προσεγγίσεων** και γ) στις **γεωστατιστικές μεθόδους** χωρικής συσχέτισης. Σύμφωνα με τις μεθόδους που υπάγονται στην πρώτη κατηγορία, η τιμή ενός χαρακτηριστικού σε μια θέση που δεν περιλαμβάνεται στα πρωτογενή δεδομένα εκτιμάται σύμφωνα με τα στοιχεία που προέρχονται από τα καθορισμένα σημεία στην άμεσα γειτονική περιοχή του. Αντίθετα, κατά την εφαρμογή των μεθόδων γενικευμένων προσεγγίσεων, οι ανάλογες εκτιμήσεις πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα στοιχεία όλων των καταγεγραμμένων σημείων εντός της περιοχής μελέτης.

Ωστόσο, μέσω της εφαρμογής των μεθόδων χωρικής παρεμβολής τόσο της πρώτης όσο και της δεύτερης κατηγορίας αναδεικνύεται ο τρόπος με τον οποίο η μέση ή η αναμενόμενη τιμή της υπό εξέταση χωρικής διαδικασίας μεταβάλλεται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης (Κουτσόπουλος, 2005). Επιπρόσθετα, επισημαίνεται ότι οι δύο αυτές κατηγορίες ανήκουν στην ευρύτερη ομάδα των ντετερμινιστικών μεθόδων χωρικής παρεμβολής καθώς τα αποτελέσματα τους εξαρτώνται αποκλειστικά κι άμεσα από τις μετρήσεις στα γειτονικά σημεία ως προς τις νέες θέσεις εκτίμησης των τιμών της παραμέτρου που εξετάζεται ανά περίπτωση.

Η ανάπτυξη των στοχαστικών/γεωστατιστικών μεθόδων, από την άλλη μεριά, βασίζεται στη χρήση στατιστικών μοντέλων για τη δημιουργία μιας συνεχούς επιφάνειας χωρικής πληροφορίας, στα οποία εμπεριέχεται η έννοια της χωρικής αυτοσυσχέτισης. Συνεπώς, δεν λαμβάνονται υπόψη μόνο οι τιμές της μεταβλητής ενδιαφέροντος στις εκάστοτε δειγματοληπτικές θέσεις, αλλά και οι στατιστικές σχέσεις μεταξύ αυτών των τιμών. Γι' αυτό και οι γεωστατιστικές τεχνικές αποδίδουν επιπλέον ένα μέτρο ακρίβειας των προβλέψεων που παρέχουν. Εντούτοις, οι ίδιες εμφανίζουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα ως προς την εφαρμογή τους συγκριτικά με τις ντετερμινιστικές μεθόδους διότι απαιτούν τη λήψη αρκετών αποφάσεων κατά τη διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων του μοντέλου που αξιοποιείται.

Στις πλέον διαδεδομένες μεθόδους τοπικών εκτιμήσεων για τη διεξαγωγή της χωρικής παρεμβολής συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων η μέθοδος εύρεσης του Χωρικού Κινητού Μέσου (Spatial Moving Average), η μέθοδος της Αντιστρόφου Βαρύνουσας Απόστασης (Inverse Distance Weighting – IDW), η μέθοδος τριγωνοποίησης Delaunay (Triangulated Irregular Network – TIN), η ψηφιδοποίηση Dirichlet (πολύγωνα Thiessen) καθώς και η εφαρμογή συναρτήσεων Splines. Όσον αφορά την υλοποίηση γενικευμένων προσεγγίσεων, χαρακτηριστική είναι η μέθοδος ανάλυσης επιφάνειας τάσης (trend surface analysis) καθώς και η χρήση ταξινομικών μεθόδων όπως η ανάλυση διασποράς (ANalysis Of VAriance – ANOVA), ενώ η μέθοδος Kriging, τέλος, αποτελεί την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη γεωστατιστική μέθοδο χωρικής παρεμβολής.

Μέσω του λογισμικού ArcMap, στο περιβάλλον εργασίας του οποίου διεξήχθη κι η επικείμενη χωρική ανάλυση, παρέχεται ένα σύνολο εργαλείων για την εφαρμογή μεθόδων χωρικής παρεμβολής όπως οι IDW, Spline και Kriging που προαναφέρθηκαν. Με σκοπό τον προσδιορισμό των τιμών του δείκτη FWI σε ολόκληρη την έκταση της εξεταζόμενης περιοχής, από αυτές επιλέχθηκε η μέθοδος Spline καθώς αυτή παρέχει εκτιμήσεις της εκάστοτε μεταβλητής ενδιαφέροντος με την αξιοποίηση μιας μαθηματικής συνάρτησης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας συνεχούς, ομαλά μεταβαλλόμενης επιφάνειας χωρίς ιδιαίτερα έντονες διακυμάνσεις των τιμών στις περιοχές μεταξύ των σημείων εισόδου. Ειδικότερα, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται κατά την επιλογή του εργαλείου Spline βασίζεται στην εφαρμογή της ακόλουθης συνάρτησης :

$$S(x,y) = T(x,y) + \sum_{j=1}^{N} \lambda_j R(r_j)$$

ώστε j = 1, 2, ... , N όπου N είναι το πλήθος των σημείων για τα οποία οι τιμές ορίζονται από τα πρωτογενή δεδομένα, λ_j είναι οι συντελεστές που προκύπτουν από την επίλυση ενός συστήματος γραμμικών εξισώσεων και r_j είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου j και του εκάστοτε σημείου προσομοίωσης.

Στην παραπάνω εξίσωση, η συνάρτηση τάσης $T(x, y)$ όπως και η παράμετρος $R(r_j)$ ορίζονται με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με τον τύπο της μεθόδου παρεμβολής Spline που επιλέγεται ανά περίπτωση. Κατά γενικό κανόνα, η μέθοδος Spline αναπτύσσεται είτε βάσει του τύπου ομαλοποιησης

“ομαλοποίησης” (*Regularised Spline Type*) είτε βάσει του τύπου “ανάδειξης της τάσης” (*Tension Spline type*). Η εφαρμογή του πρώτου τύπου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας σταδιακά μεταβαλλόμενης επιφάνειας της οποίας όμως οι προκύπτουσες τιμές ενδέχεται να μην εμπίπτουν στο εύρος τιμών του υπό εξέταση δείγματος. Αντίθετα, μέσω του δεύτερου τύπου παράγεται μια λιγότερο ομαλή επιφάνεια με τιμές που περιορίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από το αντίστοιχο εύρος τιμών.

Συνεπώς, εφαρμόζοντας την πρώτη (*Regularised Spline Type*) ή την δεύτερη μέθοδο (*Tension Spline type*) χωρικής παρεμβολής αντίστοιχα, η συνάρτηση τάσης ορίζεται ως $T(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y$ ή $T(x, y) = \alpha_1$, ενώ η παράμετρος $R(r_j)$ για καθεμία από αυτές τις μεθόδους δίνεται από τους εξής μαθηματικούς τύπους :

$$R(r) = \frac{1}{2\pi}\left\{\frac{r^2}{4}\left[\ln\left(\frac{r}{2\tau}\right) + C_E - 1\right] + \tau^2\left[\mathrm{K}_0\left(\frac{r}{\tau}\right) + C_E + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right)\right]\right\}$$

$$R(r) = -\frac{1}{2\pi\phi^2}\left[\ln\left(\frac{r\phi}{2}\right) + C_E + K_0(r\phi)\right]$$

όπου α_i είναι οι συντελεστές που βρίσκονται μέσω της επίλυσης ενός συστήματος γραμμικών εξισώσεων, r είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων προσωμοίωσης και των σημείων του δείγματος, τ^2 και φ^2 είναι οι παράμετροι βαρύτητας, K_0 είναι η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel και C_E είναι σταθερά που ισούται με 0.577215.

Οι παράμετροι βαρύτητας τ^2 και φ^2 ουσιαστικά καθορίζουν τον βαθμό της συνέχειας της παραγόμενης επιφάνειας ως προς τη διακύμανση των τιμών. Συγκεκριμένα, για τη μέθοδο *Regularised Spline* όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος τόσο πιο ομαλή θα είναι κι η επιφάνεια που θα προκύψει, ενώ όσον αφορά τη μέθοδο *Tension Spline* ισχύει το αντίστροφο. Η τιμή του βάρους θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη του μηδενός και στις δύο περιπτώσεις. Γι' αυτόν τον λόγο, κατά τη διενέργεια της πρώτης μεθόδου οι τιμές βαρύτητας που ορίζονται τυπικά είναι 0, 0.001, 0.01, 0.1 και 0.5 ενώ για τη δεύτερη μέθοδο επιλέγονται οι τιμές 0, 1, 5 και 10.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι όσες περισσότερες σημειακές μετρήσεις χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της χωρικής παρεμβολής με τη μέθοδο Spline, τόσο ομαλότερη και πιο συνεχής θα είναι κι η τελική επιφάνεια (Franke, 1982; Mitáš & Mitášová, 1988).

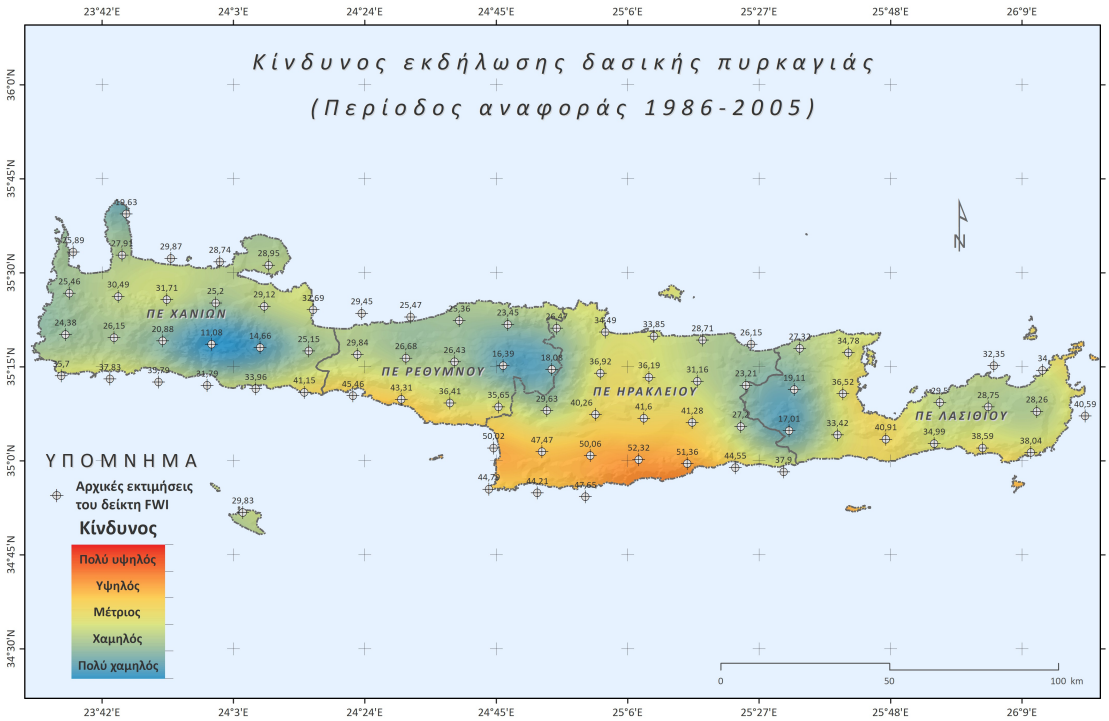
Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε η πρώτη μέθοδος χωρικής παρεμβολής *Regularised Spline* με στόχο τη δημιουργία μιας συνεχούς και ομαλής επιφάνειας παρατήρησης των τιμών του δείκτη FWI η οποία καλύπτει όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Ως εκ τούτου, αξιοποιήθηκαν οι σημειακές μετρήσεις που εμφανίζονται στον Πίνακα 5.17 και αντιστοιχούν στην περίοδο αναφοράς 1986 – 2005 καθώς και σε καθεμία από τις Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5) μεμονωμένα, ανά χρονική περιόδο (2046 – 2065 / 2081 – 2100) εκτίμησης του δείκτη.

Ειδικότερα, ύστερα από την εισαγωγή των πρωτογενών δεδομένων στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap, έγινε χρήση του ειδικού εργαλείου *Spline* που παρέχεται μέσω της εργαλειοθήκης *Spatial Analyst Tools / Interpolation* προκειμένου να παραχθούν τα ζητούμενα ψηφιδωτά επίπεδα αναπαράστασης της χωρικής κατανομής του δείκτη FWI στην περιοχή της Κρήτης. Γι' αυτά καθορίστηκε το ίδιο μέγεθος ψηφίδας (100 × 100 m) ώστε η χωρική διακριτική ικανότητά τους να συμπίπτει με εκείνη όλων των υπολοίπων θεματικών επιπέδων των δεικτών έκθεσης και τρωτότητας κι έτσι συνδυαστικά να μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά κατά το τελικό στάδιο διενέργειας της σταθμισμένης χαρτογραφικής υπέρθεσης των συνιστωσών διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγίας, όπως περιγράφεται σε επόμενη ενότητα.

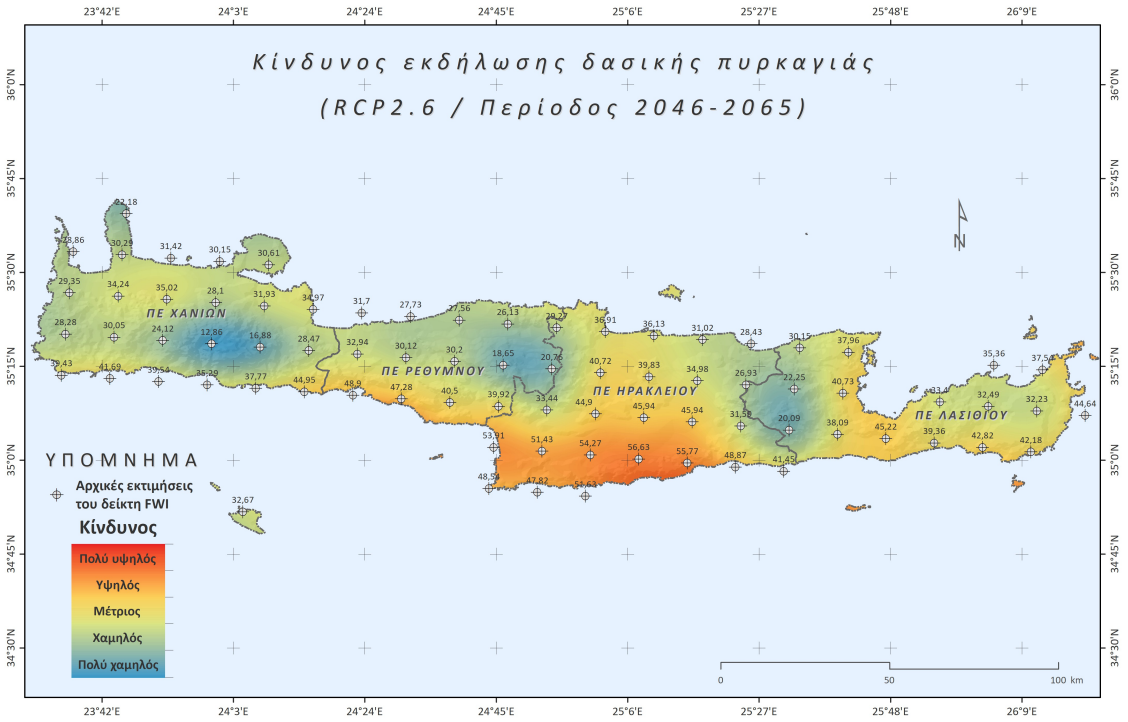
Μετά το πέρας της χωρικής παρεμβολής δια της μεθόδου *Spline* προέκυψαν συνολικά επτά θεματικά επίπεδα ψηφιδωτής μορφής (raster layers) τα οποία εμπεριέχουν την πληροφορία σχετικά με τη μέση τιμή του δείκτη FWI ανά χωρική μονάδα αναφοράς, για όλη την έκταση της Κρήτης. Στον Πίνακα 5.18 διακρίνεται η προκύπτουσα μέγιστη κι ελάχιστη τιμή για καθένα από τα παραγόμενα επίπεδα πληροφορίας, σε αντιστοιχία με την Αντιπροσωπευτική Πορεία Συγκέντρωσης (RCP) / κλιματικό σενάριο και την χρονική περίοδο που αφορούν. Συμπληρωματικά, παρατίθενται ακολούθως οι σχετικοί χάρτες επικινδυνότητας για την περίοδο αναφοράς καθώς και για το εγγύς και μακρινό μέλλον ανά κλιματικό σενάριο, με σκοπό τη βαθύτερη κατανόηση της επίδρασης αυτής της μεταβλητής στη διαμόρφωση της συνιστώσας διακινδύνευσης.

Θεματικό επίπεδο ανά χρονική περίοδο και RCP		X_{min}	X_{max}	X_{mean}
1°	**Περίοδος Αναφοράς** (*1986 – 2005*)	**10,5882**	55,2924	**31,2188**
2°	**RCP2.6** (*2046 – 2065*)	12,2968	59,5224	**34,6722**
3°	**RCP2.6** (*2081 – 2100*)	12,1718	59,0469	**34,2392**
4°	**RCP4.5** (*2046 – 2065*)	14,2644	60,5373	**35,7682**
5°	**RCP4.5** (*2081 – 2100*)	15,9128	62,1036	**37,8812**
6°	**RCP8.5** (*2046 – 2065*)	16,5923	62,5251	**38,1158**
7°	**RCP8.5** (*2081 – 2100*)	22,8227	**69,0822**	**44,5172**

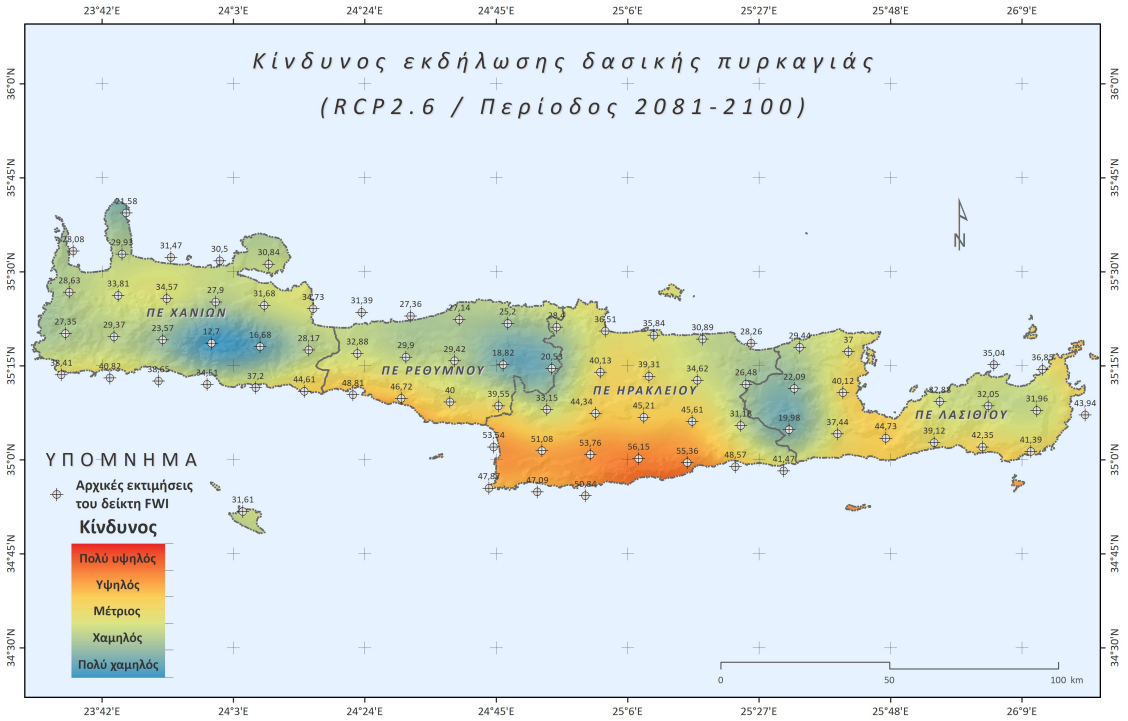
Πίνακας 5.18 Εύρος τιμών του δείκτη FWI ανά θεματικό επίπεδο.



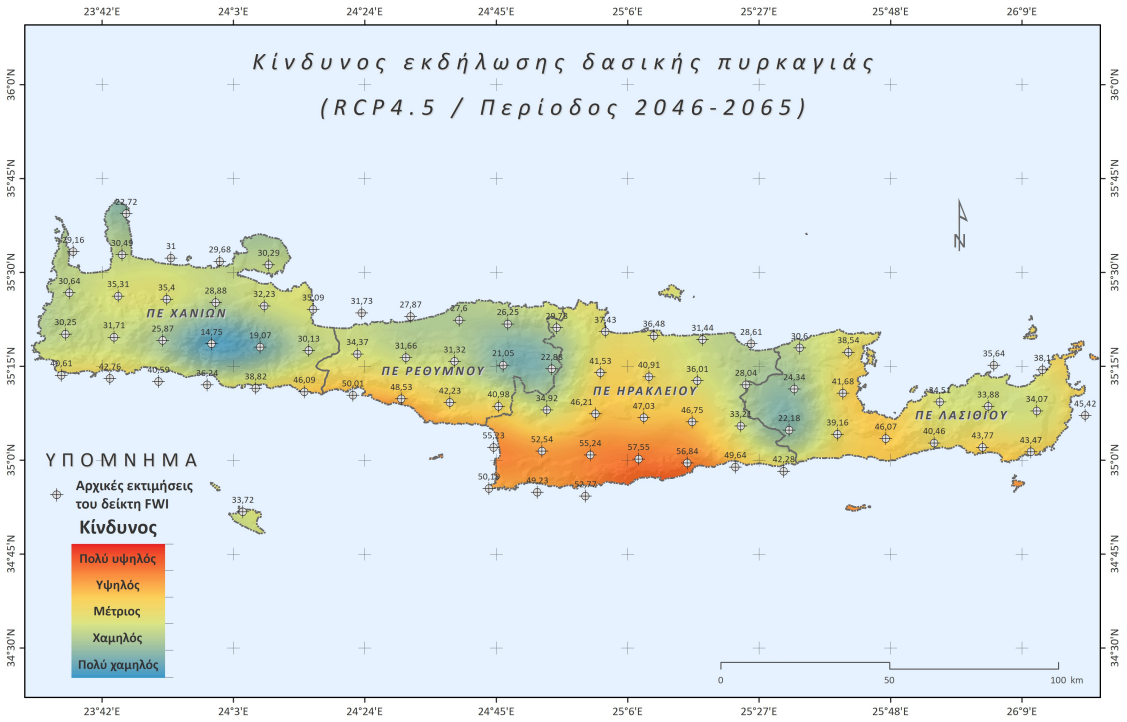
Χάρτης 5.9 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο αναφοράς (1986 – 2005).



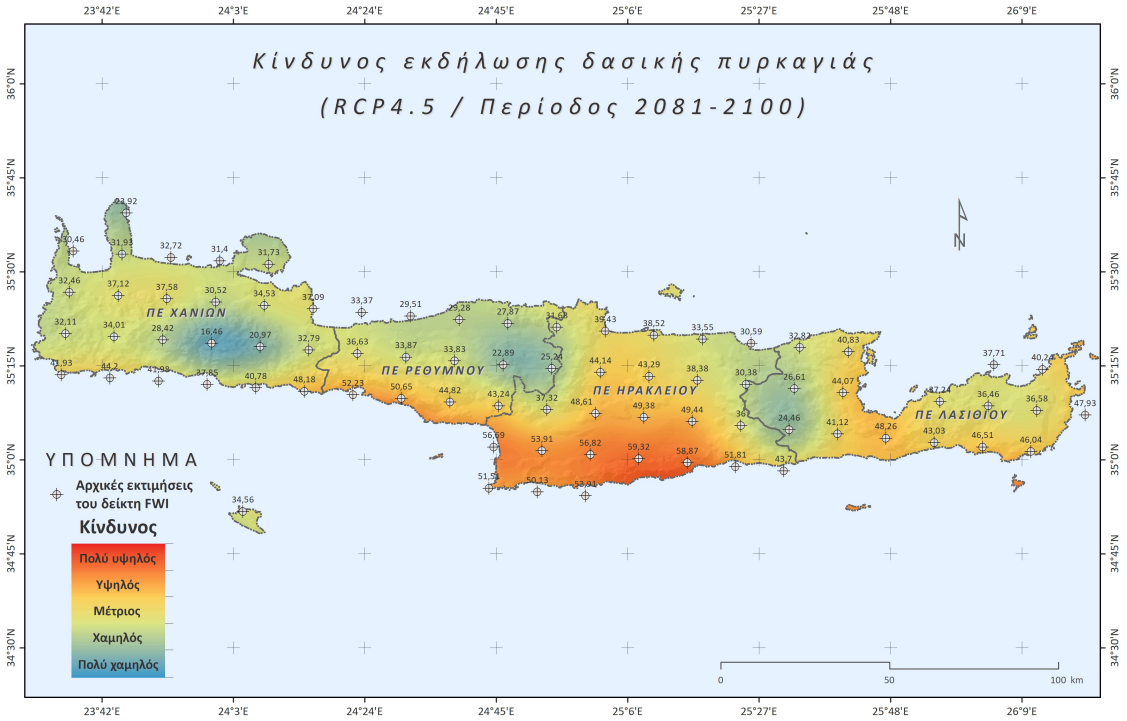
Χάρτης 5.10 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2046 – 2065 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6.



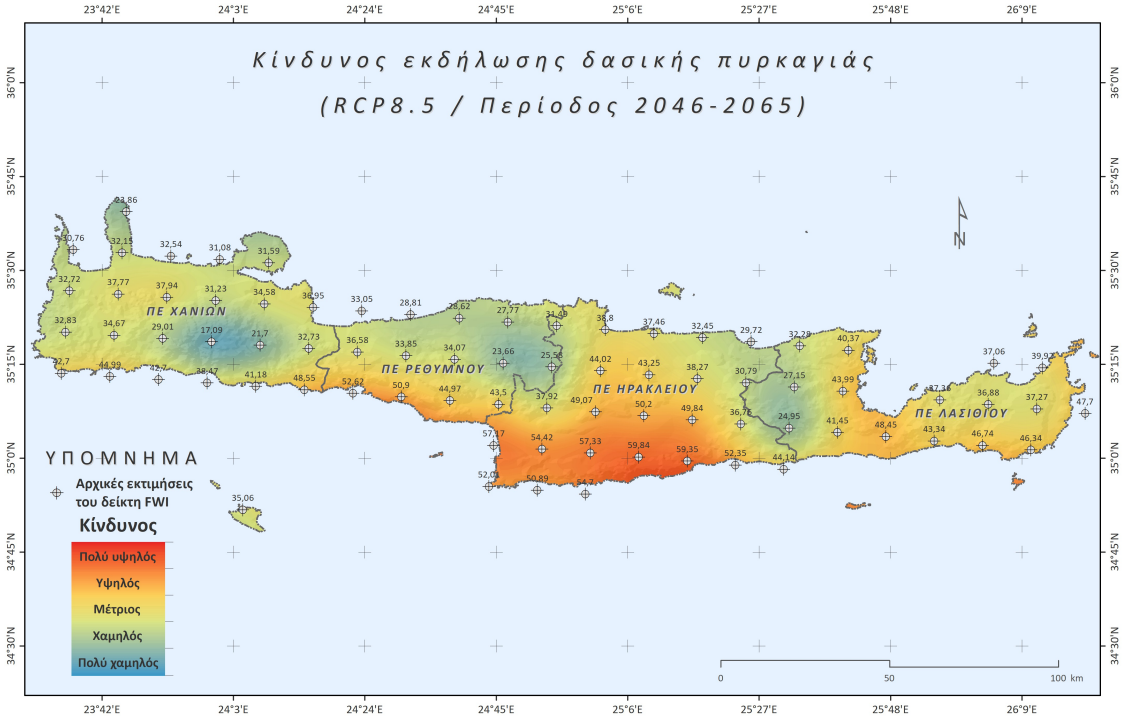
Χάρτης 5.11 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2081 – 2100 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6.



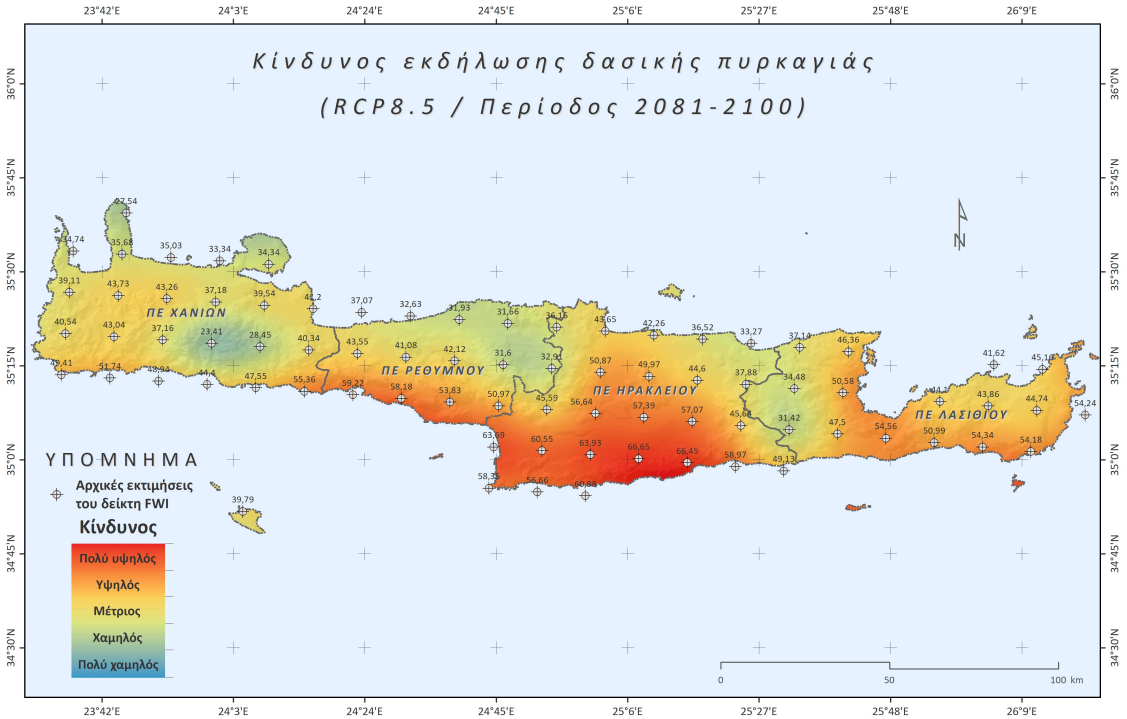
Χάρτης 5.12 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2046 – 2065 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5.



Χάρτης 5.13 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2081 – 2100 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5.



Χάρτης 5.14 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2046 – 2065 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5.



Χάρτης 5.15 Βαθμός επικινδυνότητας αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς κατά την περίοδο 2081 – 2100 βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5.

5.4.2 Διαδικασία κανονικοποίησης τιμών

Οι δείκτες έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπως γίνεται αντιληπτό, διακρίνονται από μεμονωμένα σύνολα τιμών διαφορετικού εύρους και παράλληλα αποδίδονται με διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Το γεγονός αυτό θέτει αρκετούς περιορισμούς στην παρούσα ανάλυση καθώς τα δεδομένα δεν θεωρούνται συγκρίσιμα μεταξύ τους και κατ' επέκταση δεν μπορούν να αξιοποιηθούν αυτούσια για την εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή της Κρήτης. Επομένως, κρίθηκε αναγκαία η εφαρμογή των κατάλληλων ανά περίπτωση μεθόδων κανονικοποίησης των τιμών όλων των δεικτών που συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο διακινδύνευσης.

Μέσω της επισκόπησης της σχετικής βιβλιογραφίας (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008) διαπιστώνεται η ύπαρξη ποικίλων μεθόδων που εφαρμόζονται ευρύτατα για την επίτευξη του σκοπού αυτού (βλ. Κεφάλαιο 4.3.2.5). Στα πλαίσια ανάπτυξης του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης ωστόσο, η μέθοδος που επιλέχθηκε ταυτίζεται με εκείνη που συστήνεται από τον Γερμανικό Οργανισμό Διεθνούς Συνεργασίας (Fritzsche et al., 2014) για την κανονικοποίηση των τιμών όσων δεικτών ορίζονται βάσει μιας αριθμητικής κλίμακας. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται πιο συγκεκριμένα μέσω της επίλυσης της ακόλουθης συνάρτησης :

$$X_{i,\,0\,to\,1} = (X_i - X_{min}) \,/\, (X_{max} - X_{min})$$

όπου X_i : η αρχική τιμή, X_{min} : η μικρότερη τιμή του δείκτη, X_{max} : η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη και $X_{i,\,0\,to\,1}$: η κανονικοποιημένη τιμή εντός του εύρους [0, 1].

Προτού εφαρμοστεί λοιπόν η εν λόγω μέθοδος, σε πρώτη φάση καθορίστηκε το επιθυμητό εύρος τιμών [0, 100] προκειμένου όλοι οι δείκτες να προσδιοριστούν εκ νέου βάσει αυτής της κοινής βαθμολογικής κλίμακας. Καθένας από τους δείκτες διακινδύνευσης στη συνέχεια τροποποιήθηκε ώστε να οριστεί σε αυτό το εύρος τιμών με σκοπό να καταστεί σαφές ότι οι μεγαλύτερες τιμές, όσες δηλαδή τείνουν προς το 100, αντιστοιχούν σε υψηλότερο βαθμό έκθεσης, τρωτότητας ή κινδύνου και το αντίστροφο.

Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι η συνθήκη αυτή δεν ικανοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις. Στο συγκεκριμένο μοντέλο διακινδύνευσης, για παράδειγμα, όσο αυξάνεται το πλήθος των απασχολούμενων στον τομέα της γεωργίας/δασοκομίας/αλιείας τόσο ελαττώνεται ο βαθμός της τρωτότητας του συστήματος υπό διερεύνηση. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα και για τον δείκτη "Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν" καθώς οι μεγαλύτερες τιμές αντανακλούν χαμηλότερα επίπεδα τρωτότητας. Συνεπώς, η συνάρτηση κανονικοποίησης που δίνεται παραπάνω σχέση θα πρέπει να μετασχηματιστεί σε : $X_{i,\ 0\ to\ 1} = 1 - [(X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})]$ προκειμένου οι υψηλότερες παραγόμενες τιμές να υποδηλώνουν δυσχερέστερες καταστάσεις υπό όρους τρωτότητας.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ορισμένοι δείκτες του μοντέλου διακινδύνευσης εκ των οποίων τα χωρικά επίπεδα πληροφορίας ορίζονται συναρτήσει δύο διακριτών τιμών (0 και 1). Αυτοί είναι οι δείκτες έκθεσης "Δασικές περιοχές" , "Καλλιεργήσιμες περιοχές" και "Προστατευόμενες περιοχές" για τους οποίους η τιμή ένα (1) αποδίδεται σε όλη την έκταση που καλύπτουν αντίστοιχα τα δάση, οι καλλιέργειες και οι ζώνες υπό καθεστώς προστασίας. Αντίθετα, με την τιμή μηδέν (0) καθορίζονται όλες εκείνες οι περιοχές που δεν εμπίπτουν σε αυτές τις τρεις κατηγορίες. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή της παραπάνω συνάρτησης κανονικοποίησης δεν είναι εφικτή καθώς οι δείκτες αυτοί εκφράζονται μέσω μιας κατηγορικής κλίμακας κι επομένως κρίθηκε αναγκαία η εκ νέου δημιουργία των σχετικών θεματικών επιπέδων ώστε να ανταποκρίνονται στο επιθυμητό εύρος τιμών [0, 100]. Αυτό επιτυγχάνεται πιο συγκεκριμένα στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap μέσω του διαθέσιμου εργαλείου *Reclassify* αντικαθιστώντας τις αρχικές με τις νέες τιμές. Σαν αποτέλεσμα, σ' αυτές τις τρεις περιοχές ενδιαφέροντος αντιστοιχεί πλέον η τιμή 100 στα θεματικά επίπεδα που προέκυψαν ενώ όλη η υπόλοιπη έκταση προσδιορίζεται από την τιμή 0.

Όμοια με τους προαναφερόμενους δείκτες, για την κανονικοποίηση των τιμών του δείκτη ευφλεκτότητας έγινε χρήση του ιδίου εργαλείου που παρέχεται στα πλαίσια λειτουργίας του συγκεκριμένου λογισμικού. Ωστόσο, επειδή το εν λόγω σύνολο δεδομένων διακρίνεται σε πέντε κατηγορίες, από "πολύ χαμηλή" έως "πολύ υψηλή" ευφλεκτότητα, έγινε αντιστοίχιση αυτών με τη μέση τιμή των ίσων διαστημάτων που προκύπτουν δεδομένου του επιδιωκόμενου εύρους τιμών [0, 100].

Συνεπώς, για τις ζώνες “πολύ χαμηλής” ευφλεκτότητας καθορίστηκε η τιμή δέκα (10), οι ζώνες που χαρακτηρίζονται ως “χαμηλής” ευφλεκτότητας έλαβαν την τιμή τριάντα (30) και ούτω καθεξής.Αντίστοιχα, για την έκταση που καλύπτουν οι περιοχές “μέτριας”, “υψηλής” και “πολύ υψηλής” ευφλεκτότητας προσδιορίστηκαν οι τιμές πενήντα (50), εβδομήντα (70) και ενενήντα (90) υποδηλώνοντας διαδοχικά υψηλότερα επίπεδα τρωτότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα, η διαδικασία κανονικοποίησης των υπολοίπων δεικτών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου υλοποιήθηκε επίσης στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap με τη χρήση των συναφών θεματικών επιπέδων ψηφιδωτής μορφής (*raster layers*), όπως αυτά προέκυψαν σε προηγούμενο στάδιο της ανάλυσης (βλ. Κεφάλαιο 5.4.1). Ειδικότερα, αξιοποιήθηκε και πάλι το εργαλείο *Raster Calculator* μέσω του οποίου ορίστηκε η σχετική συνάρτηση κανονικοποίησης ανά δείκτη ενδιαφέροντος με βάση το αρχικό εύρος τιμών του συνυπολογίζοντας τις ιδιαιτερότητες που προαναφέρθηκαν.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να διευκρινιστεί πως όλες οι συναρτήσεις που εφαρμόστηκαν έχουν οριστεί σύμφωνα με το επιθυμητό εύρος τιμών από 0 έως 100 (Πίνακας 5.19). Ωστόσο, όσον αφορά τους δείκτες έκθεσης, θεωρήθηκε προτιμότερο να αντικατασταθεί η ελάχιστη τιμή του συνόλου δεδομένων αυτών με την τιμή μηδέν (0) ώστε οι κανονικοποιημένες πλέον ελάχιστες τιμές να μην ταυτιστούν με την πλήρη απουσία συνθηκών που μπορούν να ενισχύσουν τον βαθμό διακινδύνευσης. Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι η συνάρτηση κανονικοποίησης του δείκτη *FWI* ορίστηκε με βάση την ελάχιστη και μέγιστη τιμή που εμφανίζεται συγκεντρωτικά για όλα τα κλιματικά σενάρια και τις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους.

Το αποτέλεσμα όλων των παραπάνω διαδικασιών ήταν η δημιουργία συνολικά δεκαεπτά νέων θεματικών επιπέδων ψηφιδωτής μορφής και ίσης χωρικής διακριτικής ικανότητας (100 × 100 m) μέσω του προγράμματος ArcMap. Αυτά αντιστοιχούν στους δείκτες έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου του μοντέλου διακινδύνευσης αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή της Κρήτης, όπως διαμορφώθηκαν ύστερα από την κανονικοποίηση των πρωτογενών δεδομένων βάσει της κοινής βαθμολογικής κλίμακας από μηδέν (0) έως εκατό (100). Τα συγκεκριμένα χωρικά επίπεδα πληροφοριών στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο σχετικό εργαλείο χωρικής ανάλυσης που επιλέχθηκε κατά τη διεξαγωγή του τελικού σταδίου εκτίμησης του βαθμού διακινδύνευσης (βλ. Κεφάλαιο 5.4.3).

Δείκτης		X_{min}	X_{max}	Συνάρτηση κανονικοποίησης
Αριθμός τουριστών		2,4981	**4,5364**	$\mathbf{X_{i,\ 0\ to\ 100} = (X_i / 4{,}5364) \times 100}$
Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού ηλικίας 0 - 9		0,0403	**0,1341**	$\mathbf{X_{i,\ 0\ to\ 100} = (X_i / 0{,}1341) \times 100}$
Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού ηλικίας 65+		0,0919	**0,1955**	$\mathbf{X_{i,\ 0\ to\ 100} = (X_i / 0{,}1955) \times 100}$
Πυκνότητα πληθυσμού		0,4141	**1,1590**	$\mathbf{X_{i,\ 0\ to\ 100} = (X_i / 1{,}1590) \times 100}$
Ποσοστό απασχόλησης		**0,0271**	**0,0556**	$\mathbf{X_{i,\ 0\ to\ 100} = 100 - [[(X_i - 0{,}0271) / 0{,}0285] \times 100]}$
Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν		**14.597**	**16.042**	$\mathbf{X_{i,\ 0\ to\ 100} = 100 - [[(X_i - 14.597) / 1.445] \times 100]}$
Δείκτης FWI	**Περίοδος Αναφοράς** (*1986-2005*)	**10,5882**	55,2924	$\mathbf{X_{i,\ 0\ to\ 100} = [(X_i - 10{,}5882) / 58{,}494] \times 100}$
	RCP2.6 (*2046-2065*)	12,2968	59,5224	
	RCP2.6 (*2081-2100*)	12,1718	59,0469	
	RCP4.5 (*2046-2065*)	14,2644	60,5373	
	RCP4.5 (*2081-2100*)	15,9128	62,1036	
	RCP8.5 (*2046-2065*)	16,5923	62,5251	
	RCP8.5 (*2081-2100*)	22,8227	**69,0822**	

Πίνακας 5.19 Εφαρμογή της συνάρτησης κανονικοποίησης ανά δείκτη έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου.

5.4.3 Υλοποίηση σταθμισμένου αθροίσματος

Ύστερα από τη δημιουργία όλων των απαραίτητων χωρικών επιπέδων πληροφορίας αναφορικά με τους δείκτες έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου, σε τελικό στάδιο επιχειρήθηκε η εκτίμηση της διακινδύνευσης εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών στη νήσο Κρήτη. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε η χαρτογραφική υπέρθεση των συναφών θεματικών επιπέδων στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap, αξιοποιώντας το εργαλείο "*Weighted Sum*" που παρέχεται στα πλαίσια λειτουργίας του λογισμικού.

Η επιλογή του εν λόγω εργαλείου χωρικής ανάλυσης έγινε με βάση τις υποδείξεις του Γερμανικού Οργανισμού Διεθνούς Συνεργασίας (*German Agency for International Cooperation – GIZ*) για την υλοποίηση της διαδικασίας άθροισης των επιμέρους δεικτών ως προς την ανάδειξη του βαθμού διακινδύνευσης. Ειδικότερα, όπως αναφέρεται στη σχετική έκθεση (Fritzsche et al., 2014), ο υπολογισμός του σταθμισμένου μέσου όρου (*weighted arithmetic mean*) συνιστά μια ευρέως χρησιμοποιούμενη και απλή τεχνική άθροισης πολλαπλών στοιχείων διαφορετικής σπουδαιότητας η οποία βρίσκει εξίσου εφαρμογή στην εκτίμηση του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης που προσδιορίζεται από την ακόλουθη συνάρτηση :

$$CI = (I_1 \cdot w_1 + I_2 \cdot w_2 + ... + I_n \cdot w_n) \; / \; (w_1 + w_2 + ... + w_n)$$

όπου I : ο εκάστοτε δείκτης έκθεσης, τρωτότητας ή κινδύνου

και w : ο συντελεστής βαρύτητάς του.

Το εργαλείο "*Weighted Sum*" πιο συγκεκριμένα παρέχει τη δυνατότητα διεξαγωγής της σταθμισμένης άθροισης διαφορετικών θεματικών επιπέδων ψηφιδωτής μορφής πολλαπλασιάζοντας καθένα από αυτά με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας. Στην παρούσα μελέτη, ο βαθμός διακινδύνευσης κατά συνέπεια εκτιμήθηκε βάσει των περιγραφικών δεικτών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές βαρύτητας που υπολογίστηκαν για καθέναν από αυτούς μέσω της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*) σε προηγούμενο στάδιο (βλ. Κεφάλαιο 5.3.1).

Καθώς, ωστόσο, ορισμένοι από τους δείκτες τρωτότητας ("Σχέδια δράσης" / "Αριθμός πυροσβεστών" / "Αριθμός εθελοντών") εξαιρέθηκαν από την ανάλυση λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων, κρίθηκε αναγκαίο να υπολογιστούν εκ νέου οι συντελεστές βαρύτητας όλων των υπολοίπων δεικτών διακινδύνευσης.

Προκειμένου λοιπόν να διατηρηθεί ο βαθμός σπουδαιότητας που καθορίστηκε μεμονωμένα για κάθε δείκτη, το υπολειπόμενο ποσοστό συνεισφοράς των προαναφερθέντων δεικτών τρωτότητας αποδόθηκε αναλογικά στους εναπομείναντες δείκτες έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου. Σαν αποτέλεσμα, οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας, ανά προσέγγιση της *AHP*, επαναπροσδιορίστηκαν έτσι ώστε το άθροισμά τους να ισούται με τη μονάδα, όπως φαίνεται παρακάτω στον συγκεντρωτικό Πίνακα 5.21.

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο "*Weighted Sum*" για κάθε προσέγγιση της *AHP* ξεχωριστά, σε πρώτη φάση προέκυψε ο βαθμός διακινδύνευσης αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην Περιφέρεια Κρήτης κατά τη χρονική περίοδο αναφοράς 1986 – 2005. Πιο συγκεκριμένα, παράχθηκαν τρία νέα θεματικά επίπεδα ψηφιδωτής μορφής, μέσω των οποίων ο σύνθετος δείκτης διακινδύνευσης αποτυπώνεται χωρικά λαμβάνοντας τιμές ανά ψηφίδα εντός του προκαθορισμένου εύρους [0, 100].

Ακόμη, το σύνολο τιμών κάθε θεματικού επιπέδου διαμερίστηκε σε πέντε ίσα διαστήματα που αντιστοιχίζονται με τις προκύπτουσες κατηγορίες διακινδύνευσης από "πολύ χαμηλή" έως "πολύ υψηλή" (Πίνακας 5.20). Επισημαίνεται ότι η μέθοδος κατηγοριοποίησης του επιπέδου διακινδύνευσης σε ίσα διαστήματα τιμών επιλέγχθηκε με σκοπό να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα μεταξύ των παραγόμενων θεματικών επιπέδων, ώστε να είναι πλήρως διακριτές και κατανοητές οι διαφοροποιήσεις στις τελικές χαρτογραφικές απεικονίσεις.

Εύρος τιμών	**Διακινδύνευση**
0 – 20	Πολύ χαμηλή
20 – 40	Χαμηλή
40 – 60	Μέτρια
60 – 80	Υψηλή
80 – 100	Πολύ υψηλή

Πίνακας 5.20 Κατηγοριοποίηση του επιπέδου διακινδύνευσης σε ίσα διαστήματα τιμών.

Βάσει των διαμορφωμένων επιπέδων πληροφορίας που προέκυψαν από την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, έπειτα δημιουργήθηκαν οι σχετικοί χάρτες αναπαράστασης των ζωνών διακινδύνευσης. Αυτοί παρατίθενται στην ενότητα παρουσίασης των τελικών αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας (βλ. Κεφάλαιο 6).

Επιπρόσθετα, σε επόμενο στάδιο υπολογίστηκε ο σύνθετος δείκτης διακινδύνευσης σύμφωνα με τις τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις της *AHP*, για τις μελλοντικές περιόδους εξέτασης (2046 – 2065 / 2081 – 2100) σε αντιστοιχία με τις Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5. Δεδομένης της υπερίσχυσης του δείκτη *FWI* έναντι των δεικτών έκθεσης και τρωτότητας, όπως καταδεικνύεται από την κατανομή της ποσοστιαίας συνεισφοράς τους στη διαμόρφωση της συνιστώσας διακινδύνευσης, διερευνήθηκε κατά πόσον η μεταβολή του πρώτου διαχρονικά μπορεί να επιφέρει μεμονωμένα σημαντικές διαφοροποιήσεις στο σύνθετο δείκτη ενδιαφέροντος.

Για τον σκοπό αυτό, όλοι οι υπόλοιποι δείκτες θεωρήθηκαν αμετάβλητοι σε βάθος χρόνου κι επομένως αξιοποιήθηκαν τα ίδια χωρικά δεδομένα με αυτά της περιόδου αναφοράς. Εντούτοις, κατά τη διεξαγωγή της σταθμισμένης άθροισης των παραμέτρων διακινδύνευσης στο περιβάλλον εργασίας του ArcMap, ο δείκτης *FWI* προσδιορίστηκε βάσει των θεματικών επιπέδων που παράχθηκαν σε προηγούμενο στάδιο της ανάλυσης (βλ. Κεφάλαιο 5.4.1.3) ανά χρονική περίοδο και κλιματικό σενάριο αντίστοιχα.

Η παραπάνω διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συνολικά έξι ακόμα επιπέδων πληροφορίας για κάθε προσέγγιση της *AHP* τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογραφική απεικόνιση του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης, όπως αυτός τροποποιείται ανάλογα με το εξεταζόμενο κλιματικό σενάριο έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα. Οι τιμές του εν λόγω δείκτη στα παραγόμενα ψηφιδωτά θεματικά επίπεδα ταξινομήθηκαν και πάλι σε πέντε κατηγορίες, από "πολύ χαμηλή" έως "πολύ υψηλή" διακινδύνευση, ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές εκείνες εντός της Περιφέρειας Κρήτης όπου η πιθανότητα εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς μεγιστοποιείται σε βάθος χρόνου.

Οι σχετικοί χάρτες παρουσιάζονται κι αναλύονται εκτενέστερα στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, σε αντιπαραβολή με τα στοιχεία που προέκυψαν αναφορικά με την περίοδο αναφοράς 1986 – 2005. Συνοψίζοντας, στον Πίνακα 5.22 δίνεται η ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης σε αντιστοιχία με τη διερευνητική προσέγγιση της *AHP* που υιοθετήθηκε, τη χρονική περίοδο εξέτασης και το εκάστοτε κλιματικό σενάριο.

		Δείκτης	1η προσέγγιση		2η προσέγγιση		3η προσέγγιση	
			Ποσοστό (%)	w_i	Ποσοστό (%)	w_i	Ποσοστό (%)	w_i
Διακινδύνευση	Έκθεση	Δασικές περιοχές	11.1%	0.120	15.2%	0.160	14.5%	0.150
		Καλλιεργήσιμες περιοχές	4.4%	0.047	3.6%	0.040	2.7%	0.028
		Προστατευόμενες περιοχές	4.1%	0.043	3.2%	0.034	2.4%	0.025
		Αριθμός τουριστών	5.6%	0.060	5.4%	0.060	7.0%	0.075
		Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού	3.8%	0.040	2.6%	0.030	3.4%	0.036
		Πυκνότητα πληθυσμού	2.2%	0.023	1.3%	0.014	1.3%	0.014
		ΣΥΝΟΛΟ	**31.2%**	**0.333**	**31.3%**	**0.338**	**31.3%**	**0.328**
	Τρωτότητα	Δείκτης ευφλεκτότητας	22.1%	0.230	22.1%	0.230	22.1%	0.240
		Ποσοστό απασχόλησης	1.4%	0.015	1.1%	0.012	1.1%	0.012
		Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	1.1%	0.012	1.0%	0.010	0.9%	0.010
		ΣΥΝΟΛΟ	**24.6%**	**0.257**	**24.2%**	**0.252**	**24.1%**	**0.262**
	Κίνδυνος	Fire Weather Index - FWI	**38.5%**	**0.410**	**38.5%**	**0.410**	**38.5%**	**0.410**

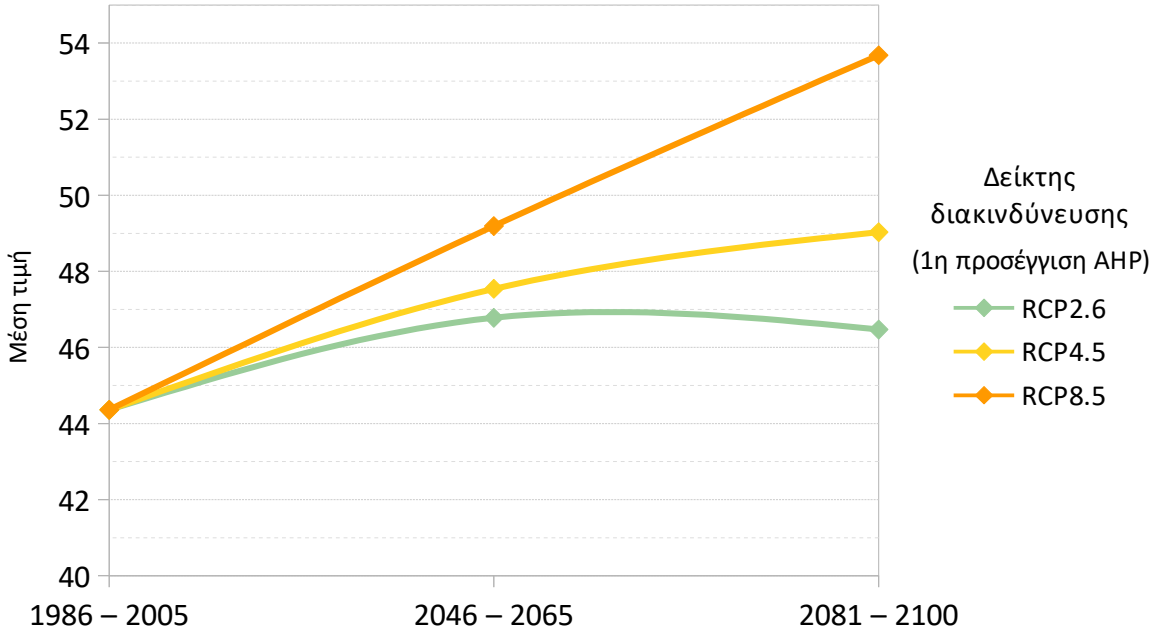
Πίνακας 5.21 Συντελεστές βαρύτητας των δεικτών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου ανά προσέγγιση της AHP.

Θεματικό επίπεδο			X_{min}	X_{max}	X_{mean}
1η προσέγγιση	***Περίοδος αναφοράς 1986 – 2005***		**12,7384**	**80,8291**	**44,3551**
	RCP2.6	*2046 – 2065*	14,3031	83,7670	46,7757
		2081 – 2100	14,1570	83,4029	46,4722
	RCP4.5	*2046 – 2065*	15,6811	84,4280	47,5439
		2081 – 2100	16,9780	85,4307	49,0250
	RCP8.5	*2046 – 2065*	17,2284	85,7475	49,1894
		2081 – 2100	20,0313	90,5594	53,6763
2η προσέγγιση	***Περίοδος αναφοράς 1986 – 2005***		**11,1974**	**81,8828**	**44,2455**
	RCP2.6	*2046 – 2065*	12,3950	84,8203	46,6660
		2081 – 2100	12,3073	84,4566	46,3625
	RCP4.5	*2046 – 2065*	13,7813	85,4818	47,4342
		2081 – 2100	14,9362	86,4844	48,9153
	RCP8.5	*2046 – 2065*	15,4131	86,8012	49,0797
		2081 – 2100	18,6559	91,6130	53,5667
3η προσέγγιση	***Περίοδος αναφοράς 1986 – 2005***		**11,6628**	**82,9828**	**44,9775**
	RCP2.6	*2046 – 2065*	12,8604	85,9203	47,3981
		2081 – 2100	12,7727	85,5566	47,0946
	RCP4.5	*2046 – 2065*	14,2467	86,5818	48,1663
		2081 – 2100	15,4016	87,5844	49,6474
	RCP8.5	*2046 – 2065*	15,8785	87,9012	49,8118
		2081 – 2100	20,0213	92,7131	54,2987

Πίνακας 5.22 Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή του δείκτη διακινδύνευσης ανά προσέγγιση της AHP, χρονική περίοδο εξέτασης και κλιματικό σενάριο.

Κεφάλαιο 6ο : Παρουσίαση αποτελεσμάτων

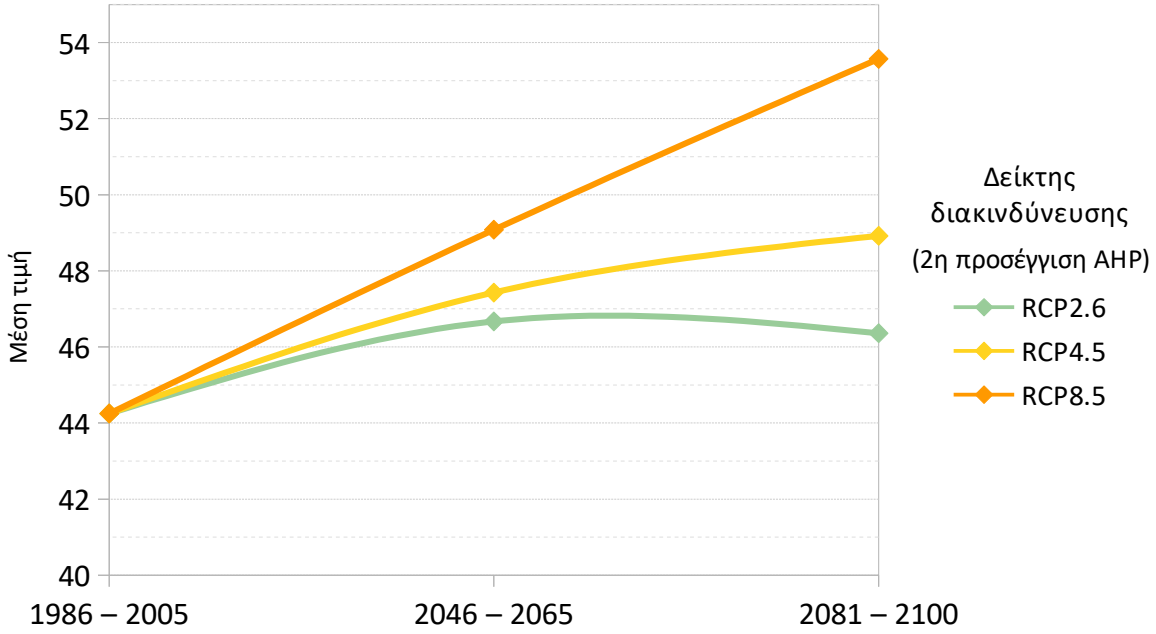
Τα αποτελέσματα της χωρικής ανάλυσης η οποία διεξήχθη στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap, υπήρξαν εξαιρετικά κρίσιμα ως προς τη διερεύνηση του βαθμού διακινδύνευσης που εμφανίζει διαχρονικά η νήσος Κρήτη σχετικά με την ενδεχόμενη εμφάνιση συμβάντων δασικής πυρκαγιάς. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον αρχικά παρουσιάζει η διακύμανση της μέσης τιμής του παραγόμενου σύνθετου δείκτη σε συνάρτηση με το εκάστοτε κλιματικό σενάριο (RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5) και τη χρονική περίοδο εξέτασης (1986 – 2005 / 2046 – 2065 / 2081 – 2100), ανά διαφορετική προσέγγιση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*).



Διάγραμμα 6.1 Διαχρονική εξέλιξη του δείκτη διακινδύνευσης με βάση την 1η προσέγγιση της AHP.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η πιθανότητα εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς μεγιστοποιείται κατά την περίοδο 2081 – 2100 σε ολόκληρη την έκταση της Κρήτης με βάση το λεγόμενο "απαισιόδοξο" σενάριο RCP8.5, όμοια και για τις τρεις προσεγγίσεις της μεθόδου *AHP*. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην καθοριστική συνεισφορά του δείκτη κινδύνου *Fire Weahter Index* (*FWI*) στη διαμόρφωση του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης, ο οποίος

ο οποίος λαμβάνει αντίστοιχα τη μέγιστη τιμή του κατά τα τέλη του 21ου αιώνα βάσει του ιδίου κλιματικού σεναρίου (βλ. Κεφάλαιο 5.4.1.3). Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή του δείκτη διακινδύνευσης εκτιμάται ότι θα σημειώσει αύξηση της τάξης του 21% σε σύγκριση με τα δεδομένα της περιόδου αναφοράς 1986 – 2005.

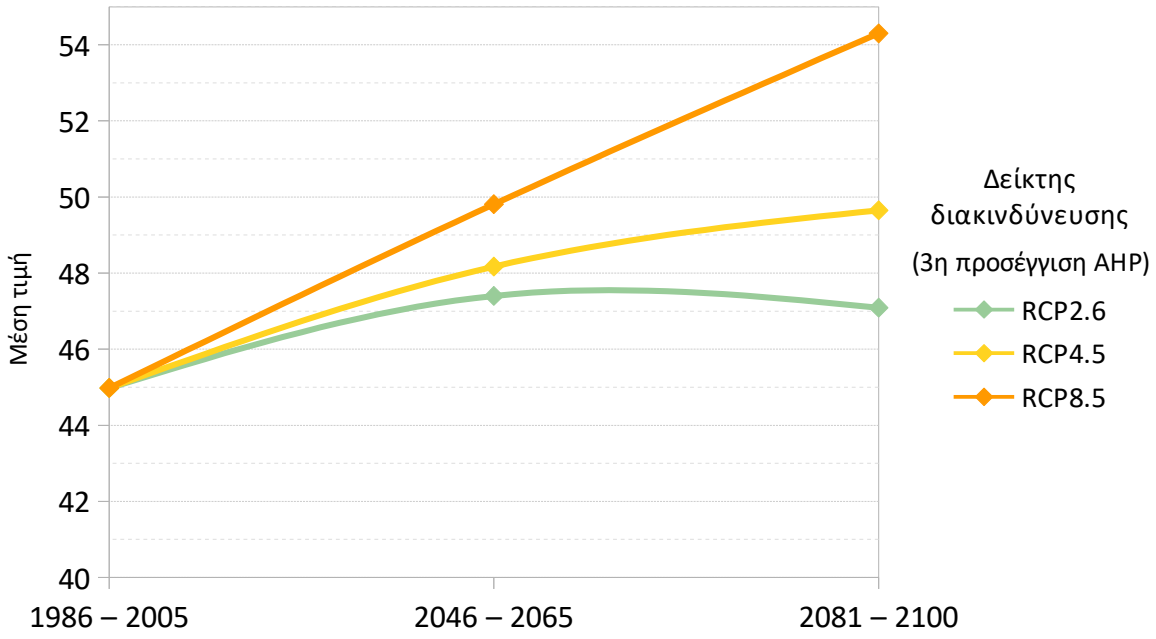


Διάγραμμα 6.2 Διαχρονική εξέλιξη του δείκτη διακινδύνευσης με βάση την 2η προσέγγιση της AHP.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των κλιματικών σεναρίων RCP4.5 και RCP8.5, τα στοιχεία που προέκυψαν ύστερα από την εφαρμογή και των τριών προσεγγίσεων της *AHP* καταδεικνύουν την αύξηση του βαθμού διακινδύνευσης μεταξύ των μελλοντικών περιόδων εξέτασης, περίπου κατά 3% και 9% αντίστοιχα. Εντούτοις, ο δείκτης ενδιαφέροντος εμφανίζεται ελαφρώς αυξημένος βάσει του σεναρίου RCP2.6 ως προς την ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή του για το εγγύς μέλλον (2046 – 2065) έναντι της μεταγενέστερης περιόδου. Η εν λόγω τάση μπορεί επίσης να αιτιολογηθεί μέσω της κατανομής των τιμών του δείκτη *FWI* δεδομένης της αντίστοιχης μείωσης αυτού σε ποσοστό 1,3% κατά την περίοδο 2081 – 2100 συγκριτικά με το αμέσως προηγούμενο χρονικό διάστημα που μελετάται.

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης της μεθόδου *AHP*, η μέση τιμή του δείκτη διακινδύνευσης αναμένεται να αυξηθεί στο εγγύς μέλλον (2046 – 2065) κατά 5,5%, 7,2% και 10,9% σε σχέση με τα επίπεδο αναφοράς της περιόδου 1986 – 2005, βάσει των σεναρίων κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα. Για το χρονικό διάστημα δε από το έτος 2081 έως το 2100 εκτιμάται περαιτέρω αύξηση του δείκτη κατά 3,3 και 10,1 ποσοστιαίες μονάδες όσον αφορά τα δύο τελευταία σενάρια. Με βάση το πρώτο κλιματικό σενάριο, αντίθετα παρατηρείται ελαφρά πτώση της μέσης τιμής του δείκτη της τάξης του 0,6% σε σύγκριση με την αντίστοιχη τιμή της περιόδου εξέτασης 2046 – 2065.

Μελετώντας τα στοιχεία που προέκυψαν ύστερα από την εφαρμογή και των άλλων δύο προσεγγίσεων της *AHP*, φαίνεται πως ο βαθμός διακινδύνευσης σημειώνει αύξηση στο εγγύς μέλλον, σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου αναφοράς, κατά το ίδιο ποσοστό με αυτό που υπολογίστηκε για την πρώτη προσέγγιση αναφορικά με τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα. Ακόμη, αξίζει να αναφερθεί ότι οι τάσεις αυξομείωσης του δείκτη διακινδύνευσης κατά τη μεταγενέστερη χρονική περίοδο (2081 – 2100) ταυτίζονται σχεδόν απόλυτα με εκείνες που ανέδειξε η πρώτη προσέγγιση.



Διάγραμμα 6.3 Διαχρονική εξέλιξη του δείκτη διακινδύνευσης με βάση την 3η προσέγγιση της AHP.

Όπως γίνεται κατανοητό, δεν διαπιστώνονται σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τις μέσες τιμές του δείκτη διακινδύνευσης ανά προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε. Όσον αφορά δε τις μέγιστες κι ελάχιστες τιμές που προέκυψαν για κάθε κλιματικό σενάριο και χρονική περίοδο εξέτασης, οι διαφορές μεταξύ των τριών προσεγγίσεων είναι επίσης ανεπαίσθητες, γεγονός που αποτυπώνεται χωρικά και στους παραγόμενους χάρτες.

Επιπλέον, συγκρίνοντας τα αντίστοιχα χαρτογραφικά υπόβαθρα, η παρατηρούμενη ομοιογένεια ως προς την χωρική κατανομή των ζωνών διακινδύνευσης στην περιοχή της Κρήτης αποδίδεται πρωτίστως στους παραπλήσιους συντελεστές βαρύτητας που αποδόθηκαν στους δείκτες έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου σύμφωνα με την εκάστοτε προσεγγίση που υιοθετήθηκε.

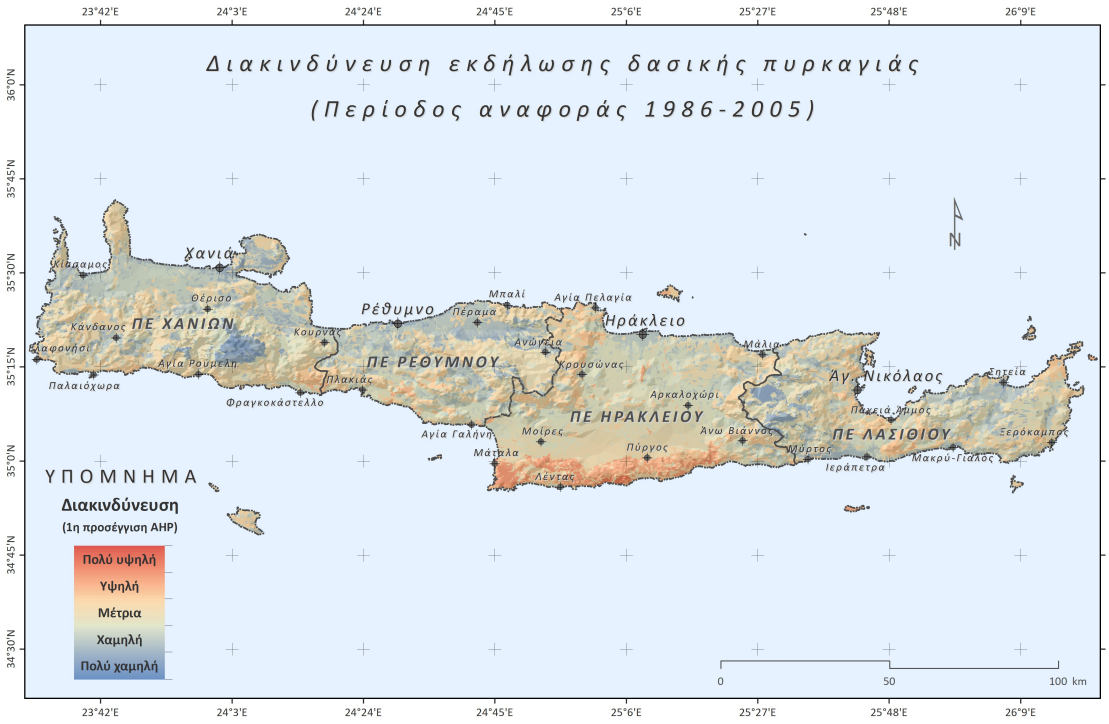
Στην επόμενη ενότητα αναλύονται περαιτέρω τα στοιχεία που ανέδειξε καθεμία από τις προσεγγίσεις της μεθόδου *AHP* ξεχωριστά, με στόχο την βαθύτερη κατανόηση των τελικών αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης.

6.1 Αποτελέσματα σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση της AHP

6.1.1 Εκτιμήσεις για την περίοδο 1986 – 2005 (1^{η} προσέγγιση)

Η διαδικασία της στάθμισμένης άθροισης των δεικτών έκθεσης, τρωτότητας και κινδύνου που υλοποιήθηκε στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ArcMap συνέβαλε καθοριστικά στην οριοθέτηση των ζωνών διακινδύνευσης εντός της Περιφέρειας Κρήτης καθώς και στην ανάδειξη των πιο ευάλωτων περιοχών διαχρονικά. Αναφορικά με την περίοδο αναφοράς 1986 – 2005 ειδικότερα, βάσει των δεδομένων που ανέκυψαν από την εφαρμογή της πρώτης προσέγγισης της μεθόδου *AHP*, η μέση τιμή (X_{mean} : 44,3551) του σύνθετου δείκτη ενδιαφέροντος που προσδιορίστηκε για όλη την περιοχή μελέτης κατατάσσεται στην κατηγορία "μέτριας" διακινδύνευσης. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό μέσω της παρατήρησης του ακόλουθου χάρτη, τη μεγαλύτερη έκταση του νησιού καταλαμβάνει η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης ενώ ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι ζώνες "χαμηλής", "υψηλής", "πολύ χαμηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης.

Αναλυτικότερα, οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από “υψηλή” και “πολύ υψηλή” διακινδύνευση ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς εκτείνονται αθροιστικά σε έκταση 674,16 km². Αυτές εντοπίζονται κατά κύριο λόγο εντός της ΠΕ Ηρακλείου, σε ποσοστό 65,4% επί του συνόλου, όπου η παρουσία τους είναι κυρίαρχη στο νότιο άκρο της. Οι ΠΕ Λασιθίου, Ρεθύμνου και Χανίων εμφανίζουν αντίστοιχα το υπόλοιπο 19,8%, 8,8% και 6% των περιοχών αυτών. Μάλιστα αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένες εκτάσεις καλύπτονται αποκλειστικά και μόνο από δάση.

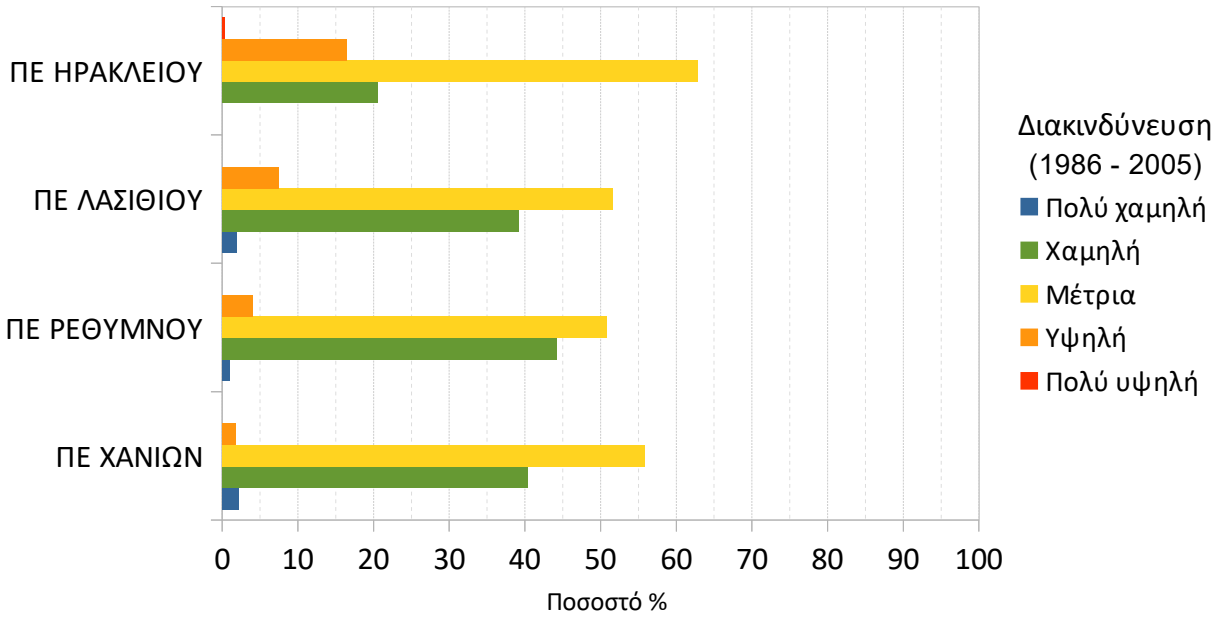


Χάρτης 6.1 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 1986 – 2005 (1η προσέγγιση AHP).

Η ζώνη “μέτριας” διακινδύνευσης απαντάται στο 56,2% της συνολικής έκτασης του νησιού διατηρώντας συγχρόνως το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης κατά την περίοδο αναφοράς. Η ΠΕ Ηρακλείου φιλοξενεί και πάλι το μεγαλύτερο ποσοστό (35,4%) των περιοχών που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία, οι οποίες καταλαμβάνουν έκταση 1.655 km². Στη συνέχεια έπονται οι ΠΕ Χανίων, Λασιθίου και Ρεθύμνου, εντός των οποίων η συγκεκριμένη ζώνη διακινδύνευσης καλύπτει συνολική έκταση ίση με 1.326 km², 940 km² και 759 km² αντίστοιχα.

Το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (34,5%) μετά από την προαναφερθείσα ζώνη κατέχουν οι περιοχές εκείνες εντός της Περιφέρειας Κρήτης οι οποίες διακρίνονται από "χαμηλή" διακινδύνευση. Αυτές εκτείνονται πιο συγκεκριμένα σε έκταση 2.875 km² ενώ εντοπίζονται κατ' αντιστοιχία στις ΠΕ Χανίων, Λασιθίου, Ρεθύμνου και Ηρακλείου σε ποσοστό 33,4%, 24,8%, 23% και 18,8% επί του συνόλου. Διευκρινίζεται επίσης ότι οι περιοχές που κατατάσσονται σε αυτή την κατηγορία κατά βάση εμπίπτουν στις ζώνες "χαμηλής" ευφλεκτότητας, σύμφωνα με την ταξινόμηση των τύπων κάλυψης γης του γεωχωρικού υποβάθρου *CORINE Land Cover (2018)* (βλ. Κεφάλαιο 5.4.1.2).

Οι ζώνες "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης, από την άλλη μεριά, αντιστοιχούν μόλις στο 1,2% της συνολικής έκτασης του νησιού. Οι περιοχές επέκτασής τους ταυτίζονται κατά κύριο λόγο με τους ορεινούς όγκους των Λευκών Ορέων και του Όρους Δίκτη καταλαμβάνοντας έκταση 50 km² και 35 km² περίπου. Εντούτοις, χαρακτηριστική είναι η παντελής απουσία των ζωνών αυτών εντός της ΠΕ Ηρακλείου, ενώ δεν φαίνεται να υπερβαίνουν τα 15 km² κάλυψης στην ΠΕ Ρεθύμνου.



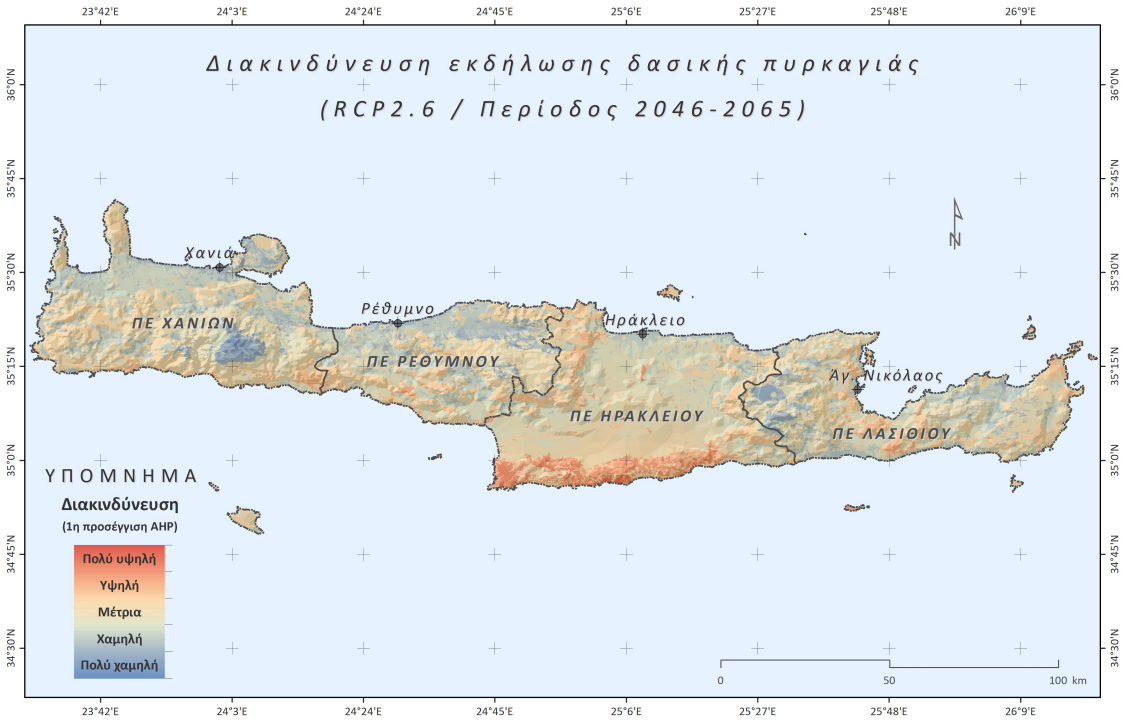
Διάγραμμα 6.4 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα κατά την περίοδο 1986 – 2005 (1η προσέγγιση AHP).

Συνοψίζοντας, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης καλύπτει πάνω από το 50% της συνολικής έκτασης κάθε Περιφερειακής Ενότητας της Κρήτης, ενώ η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης διατηρεί το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης που κυμαίνεται περίπου από 20-45%. Ακόμη, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης της *AHP*, σε λιγότερο από το 20% της έκτασης των ΠΕ Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου και Χανίων φαίνεται ότι εκτείνονται οι ζώνες "πολύ χαμηλής" και "υψηλής" διακινδύνευσης κατά την περίοδο αναφοράς 1986 – 2005. Τέλος, επισημαίνεται ότι οι πιο ευάλωτες περιοχές ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς χωροθετούνται στο νότιο τμήμα της ΠΕ Ηρακλείου όπου η έκτασή τους υπολογίζεται μόλις στα 7,9 km².

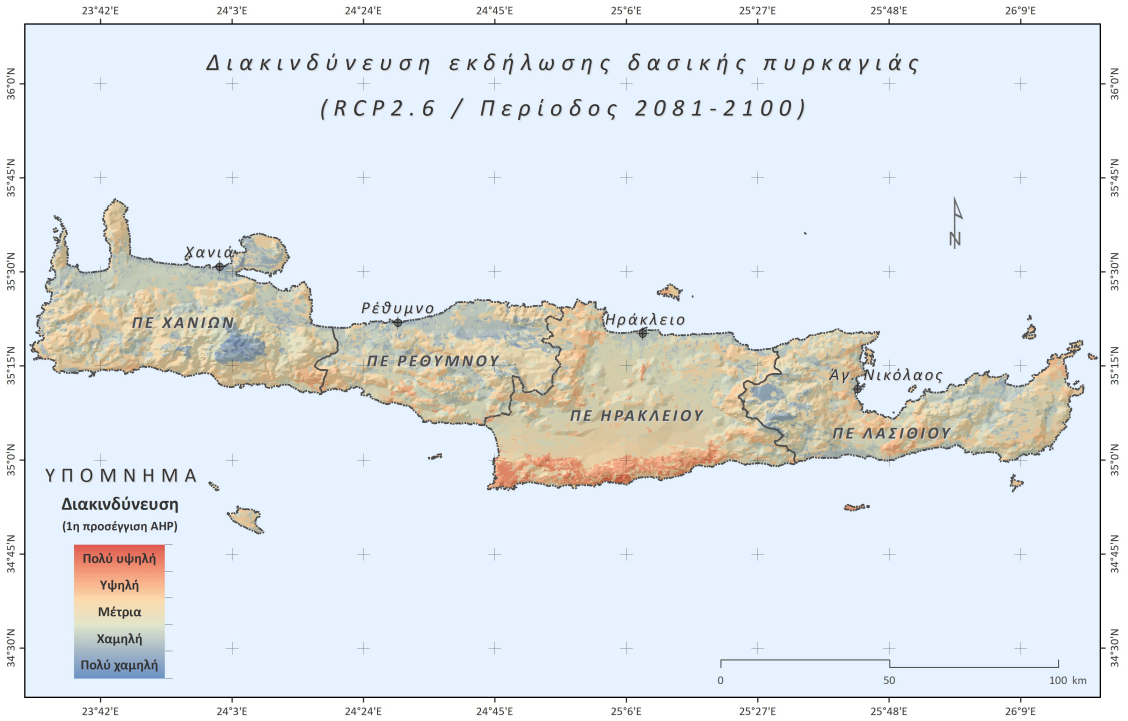
6.1.2 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (1η προσέγγιση)

Ύστερα από την εφαρμογή της πρώτης προσέγγισης της μεθόδου *AHP* βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6, η προκύπτουσα μέση τιμή (X_{mean} : 46,7757) του σύνθετου δείκτη ενδιαφέροντος κατέδειξε "μέτριο" βαθμό διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή της Κρήτης για το εγγύς μέλλον (2046 – 2065). Ειδικότερα, η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης αναμένεται να καλύψει το 57,9% της συνολικής επιφάνειας του νησιού εκτεινόμενη περί τα 4.823 km². Η έκταση αυτή πρόκειται μάλιστα να σημειώσει περαιτέρω αύξηση κατά 16 μονάδες σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που αφορούν τη μεταγενέστερη περίοδο εξέτασης (2081 – 2100), διατηρώντας παράλληλα το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (58%).

Την προαναφερθείσα ζώνη διαδέχονται οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από "χαμηλό" βαθμό διακινδύνευσης και στις δύο μελλοντικές περιόδους καταλαμβάνοντας έκταση 2.461 km² και 2.498 km² αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, οι περιοχές αυτές εντοπίζονται κατά κύριο λόγο εντός των ΠΕ Χανίων και Ρεθύμνου, στα βόρεια τμήματά τους όπου ο δείκτης ευφλεκτότητας της καύσιμης ύλης λαμβάνει χαμηλότερες τιμές. Επιπρόσθετα, η παρουσία των ζωνών "χαμηλής" διακινδύνευσης στην ΠΕ Λασιθίου δεν θεωρείται αμελητέα καθώς εκεί φαίνεται ότι συγκεντρώνεται περίπου το 24% της συνολικής έκτασης αυτών κατά το εγγύς και μακρινό μέλλον.

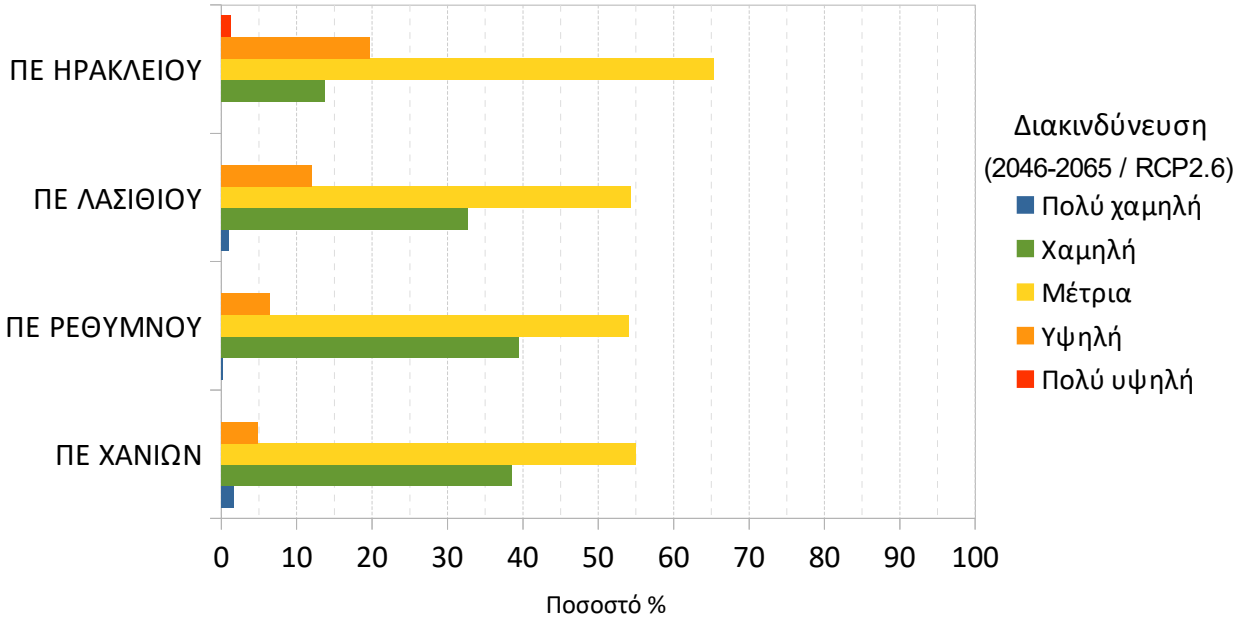


Χάρτης 6.2 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).



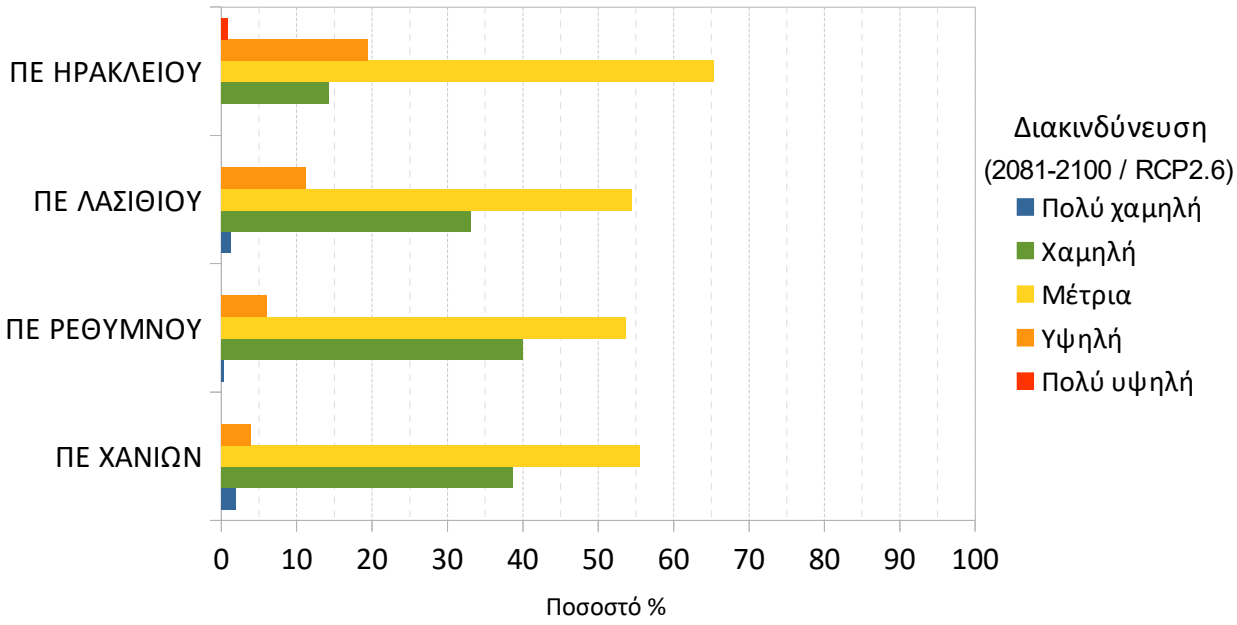
Χάρτης 6.3 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).

Η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης κατέχει το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης στην Περιφέρεια Κρήτης, τόσο κατά την περίοδο 2046 – 2065 όσο και για το επόμενο χρονικό διάστημα, εκτεινόμενη αντίστοιχα σε επιφάνεια 949 km² και 903 km². Εντοπίζεται πρωτίστως στο νότιο και δυτικό άκρο της ΠΕ Ηρακλείου καθώς επίσης στα κεντρικά και βορειοανατολικά τμήματα της ΠΕ Λασιθίου. Εντούτοις, οι άλλες δύο ΠΕ εμφανίζονται λιγότερο επιβαρυμένες συγκριτικά με τις προηγούμενες αν και η ύπαρξη αυτής της ζώνης διακινδύνευσης είναι εμφανής. Ειδικότερα, στις περιοχές επέκτασής της κυριαρχεί η δασική βλάστηση γεγονός που καθιστά αυτές εξαιρετικά ευάλωτες στην περίπτωση εκδήλωσης ενός συμβάντος πυρκαγιάς.



Διάγραμμα 6.5 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).

Από την άλλη πλευρά, στις ζώνες "πολύ χαμηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης εντάσσεται μεμονωμένα λιγότερο από το 1% της συνολικής έκτασης του νησιού, αναφορικά και με τις δύο μελλοντικές περιόδους εξέτασης. Η δεύτερη ζώνη μάλιστα βρίσκεται μόνο εντός των ορίων της ΠΕ Ηρακλείου, στο νότιο και πάλι άκρο της, όπου εκτείνεται στα 33 km² και 24 km² με βάση τις εκτιμήσεις για την περίοδο 2046 – 2065 και 2081 – 2100 αντίστοιχα. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η ζώνη επέκτασης των περιοχών "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης αναμένεται να αυξηθεί κατά 3 μονάδες περίπου έως τα τέλη του 21ου αιώνα, σε σύγκριση με την προηγούμενο διάστημα (2046 – 2065), καλύπτοντας έκταση 67 km².



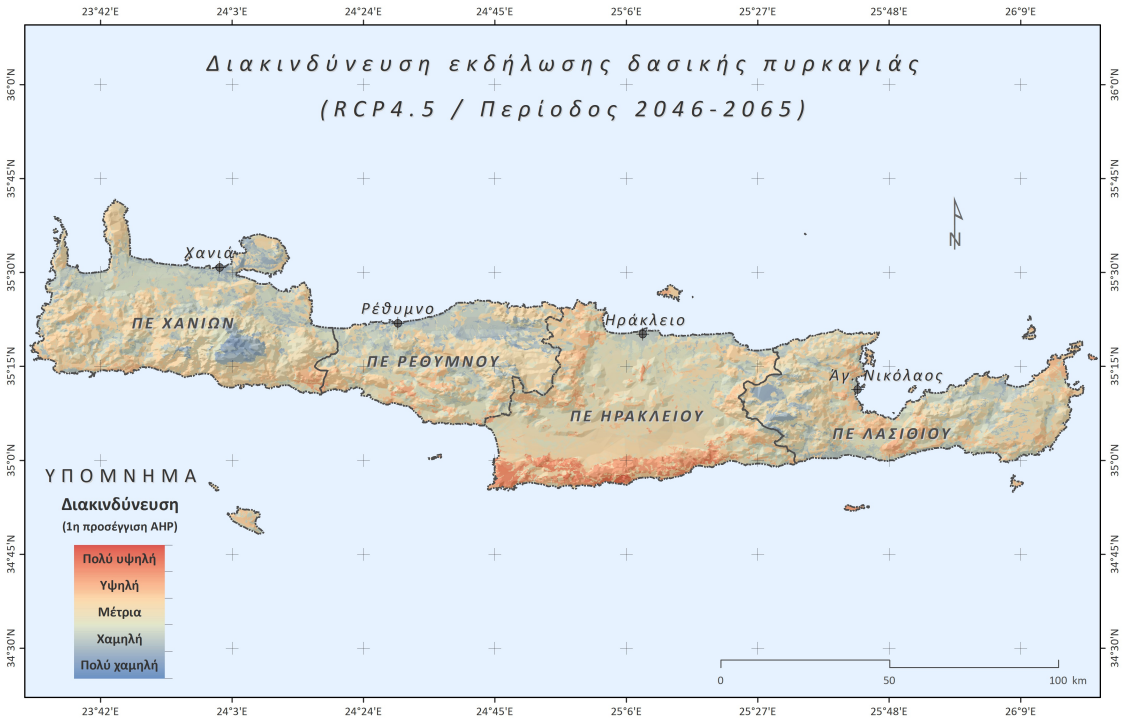
Διάγραμμα 6.6 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (1η προσέγγιση AHP).

Συμπερασματικά, όπως αναδείχθηκε μέσω της πρώτης προσέγγισης της *AHP*, η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης εξακολουθεί να κατέχει το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης στην Περιφέρεια Κρήτης στο εγγύς και μακρινό μέλλον, βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6. Το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 50% της έκτασης κάθε Περιφερειακής Ενότητας ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα, στην ΠΕ Ηρακλείου το ποσοστό κάλυψης της ζώνης αυτής υπολογίζεται σε 65,3% τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον. Μελετώντας επίσης τα Διαγράμματα 6.5 και 6.6, δεν εντοπίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο μελλοντικών περιόδων εξέτασης, μολονότι παρατηρείται μια ελαφρά μείωση της έκτασης που καλύπτει η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης σε τοπική κλίμακα. Το ποσοστό κάλυψης των περιοχών "πολύ χαμηλής" και "χαμηλής" διακινδύνευσης αντιθέτως εκτιμάται ότι θα σημειώσει διαχρονικά μικρή αύξηση.

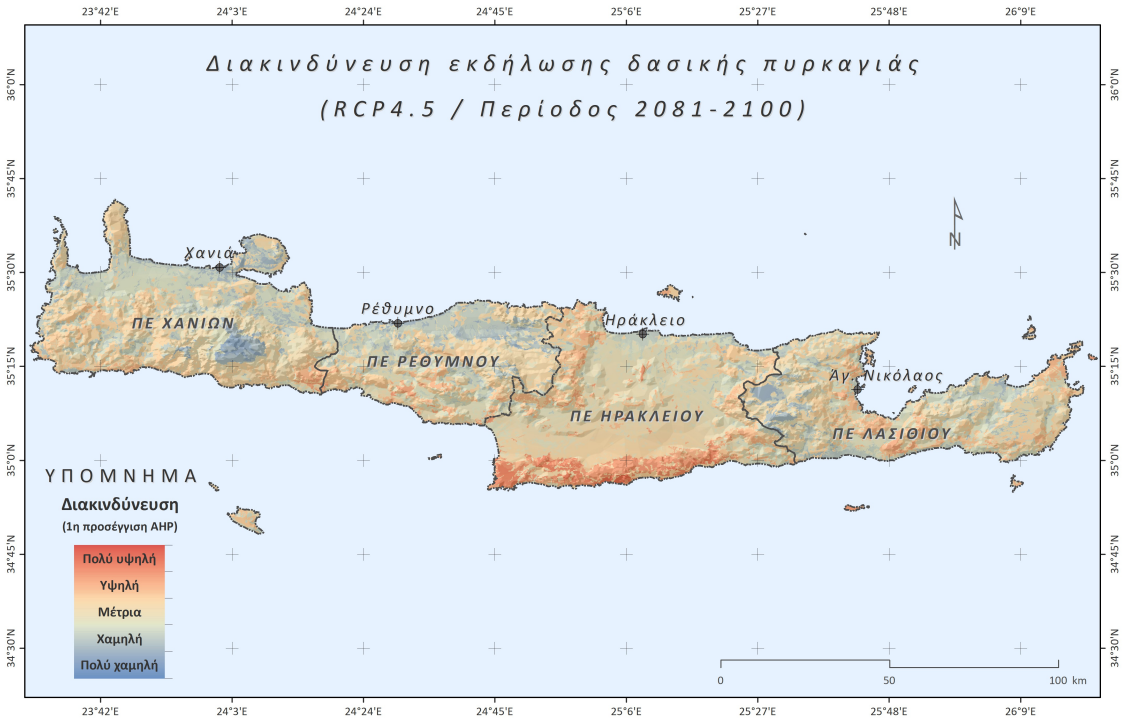
6.1.3 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 (1η προσέγγιση)

Η πρώτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 ανέδειξε επίσης την επικράτηση της ζώνης "μέτριας" διακινδύνευσης στην Περιφέρεια Κρήτης, τόσο στο εγγύς (X_{mean} : 47,5439) όσο και στο μακρινό μέλλον (X_{mean} : 49,0250). Η εν λόγω ζώνη ειδικότερα εκτιμάται ότι θα καλύψει έκταση 4.805 km² κατά την περίοδο 2046 – 2065 και 4.725 km² κατά την περίοδο 2081 – 2100. Ωστόσο, συγκριτικά με τα στοιχεία που ανέκυψαν βάσει του σεναρίου RCP2.6 αναφορικά με τις τιμές αυτές, παρατηρείται σχετική μείωση σε ποσοστό 0,4% και 2,4% αντίστοιχα.

Η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης διατηρεί και πάλι το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (28,3%) στο νησί με βάση τις εκτιμήσεις για το εγγύς μέλλον, το οποίο όμως αναμένεται να μειωθεί κατά 2,5 μονάδες έως τα τέλη του 21ου αιώνα. Σε σχέση με τα δεδομένα του κλιματικού σεναρίου RCP2.6, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί επίσης ότι οι περιοχές που κατατάσσονται σε αυτή τη ζώνη φαίνεται ότι συρρικνώνονται διαχρονικά καθώς δεν υπερβαίνουν την έκταση των 2.355 km² και 2.147 km² αντίστοιχα κατά τις δύο μελλοντικές περιόδους εξέτασης.



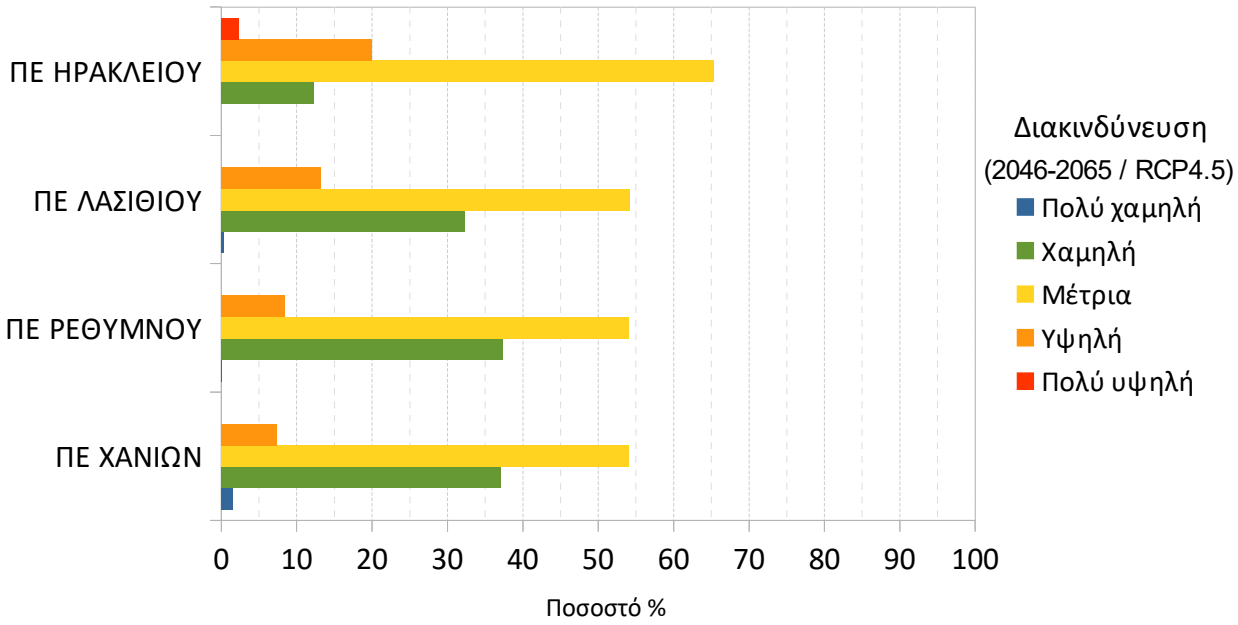
Χάρτης 6.4 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).



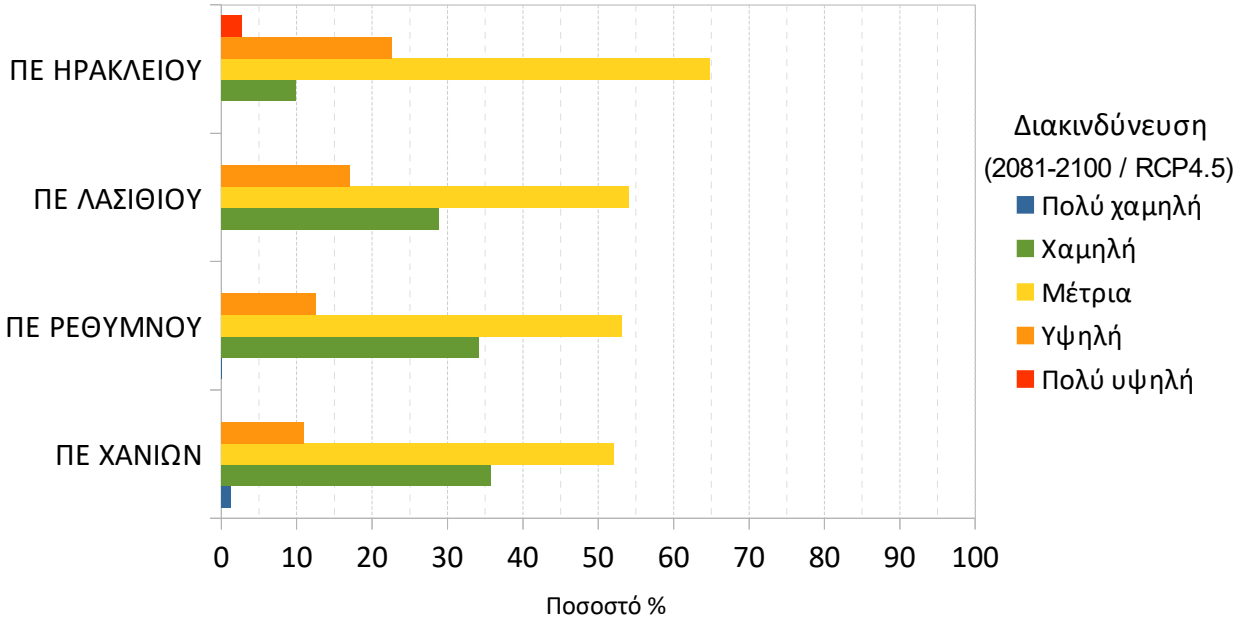
Χάρτης 6.5 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).

Από την άλλη μεριά, οι περιοχές που διακρίνονται από "υψηλό" βαθμό διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς, καταλαμβάνουν το 12,8% και 16,3% της συνολικής έκτασης της Περιφέρειας Κρήτης βάσει των εκτιμήσεων για την περίοδο 2046 – 2065 και 2081 – 2100 αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, όπως διαπιστώθηκε ύστερα από τη σύγκριση των στοιχείων που κατέδειξαν τα κλιματικά σενάρια RCP2.6 και RCP4.5, οι περιοχές αυτές επεκτείνονται περαιτέρω τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο, με κυριάρχη παρουσία εντός της ΠΕ Ηρακλείου.

Όσον αφορά τις ζώνες "πολύ χαμηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης, αυτές κατέχουν τα μικρότερα ποσοστά κάλυψης (<1%) στην περιοχή μελέτης καλύπτοντας έκταση 43 km² και 60 km² αντίστοιχα κατά την περίοδο 2046 – 2065. Σε αυτό το σημείο, επισημαίνεται πως η επιφάνεια της πρώτης ζώνης αναμένεται να ελαττωθεί σχεδόν κατά το ήμισυ έως το τέλος του αιώνα, ενώ η δεύτερη ζώνη αντίθετα πρόκειται να επεκταθεί σε μεγαλύτερη έκταση, ίση με 71 km². Ενδεικτικά αναφέρεται ακόμη ότι οι περιοχές "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης παύουν να υφίστανται εντός της ΠΕ Λασιθίου κατά την περίοδο 2081 – 2100, βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5.



Διάγραμμα 6.7 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).



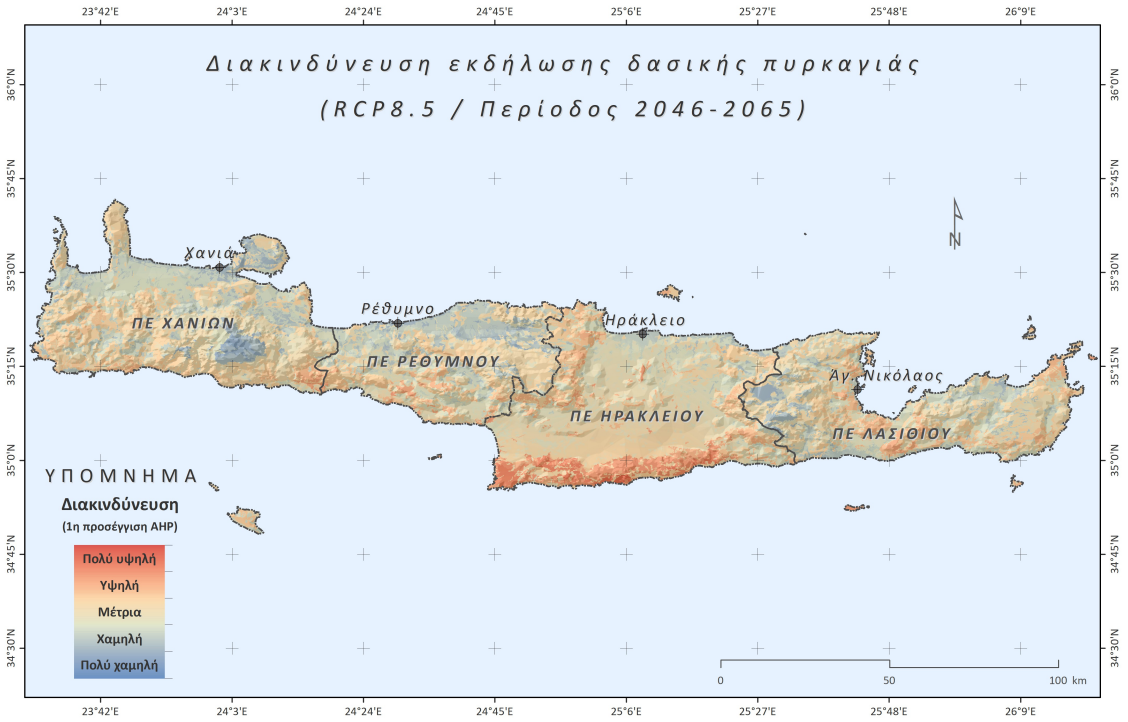
Διάγραμμα 6.8 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (1η προσέγγιση AHP).

Συνοψίζοντας, με βάση τα στοιχεία που ανέδειξε η πρώτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* για τις δύο μελλοντικές περιόδους εξέτασης αναφορικά με το κλιματικό σενάριο RCP4.5, διευκρινίζεται ότι η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης εκτείνεται στο μεγαλύτερο μέρος όλων των Περιφερειακών Ενοτήτων της Κρήτης, σε ποσοστό άνω του 50% επί της συνολικής έκτασής τους. Εντούτοις, οι περιοχές "χαμηλής" διακινδύνευσης διατηρούν το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης σε κάθε ΠΕ με εξαίρεση αυτή του Ηρακλείου όπου υπερτερεί η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης.

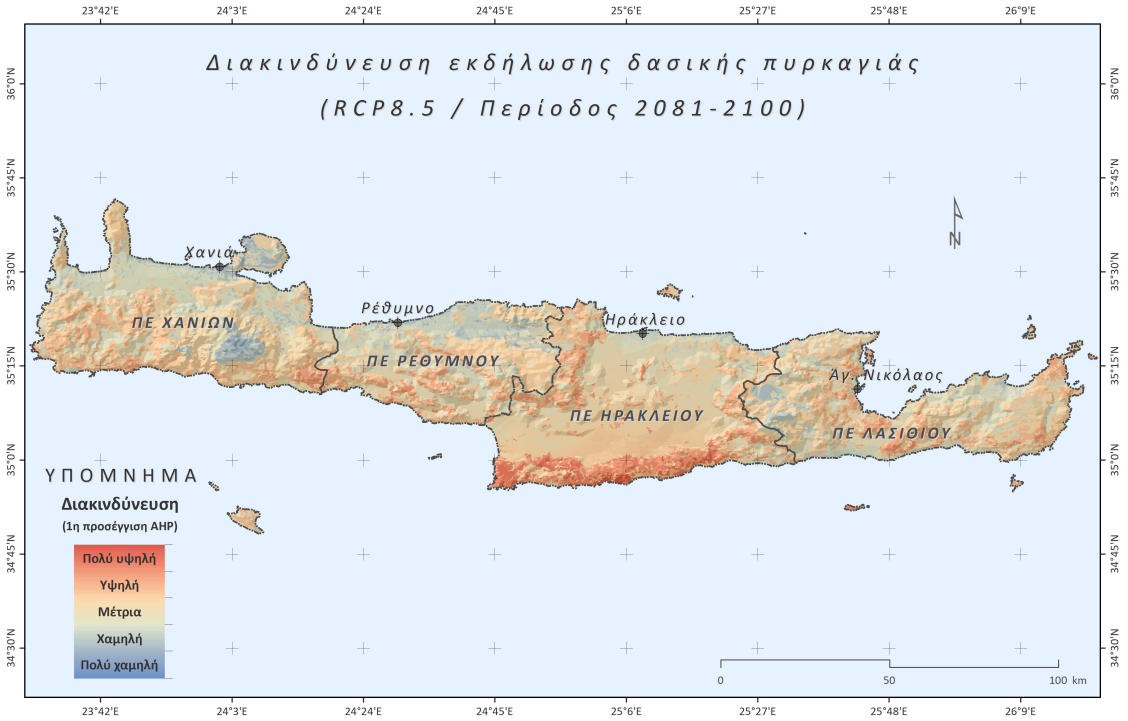
Χαρακτηριστική είναι ωστόσο η χωρική επέκταση της τελευταίας κατά την περίοδο 2081 – 2100 σε αντίθεση με τη ζώνη "χαμηλού" βαθμού διακινδύνευσης της οποίας η έκταση μειώνεται αισθητά εντός των ορίων όλων των Περιφερειακών Ενοτήτων. Τέλος, εξίσου σημαντική είναι η αύξηση που παρατηρείται στο ποσοστό κάλυψης της ζώνης "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης, όχι τόσο διαχρονικά αλλά κυρίως συγκριτικά με τις εκτιμήσεις βάσει του σεναρίου RCP2.6. Το ποσοστό αυτό ειδικότερα φαίνεται ότι υπερδιπλασιάζεται στο εγγύς και μακρινό μέλλον.

6.1.4 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5 (1η προσέγγιση)

Η Περιφέρεια Κρήτης, όμοια με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, διακρίνεται από "μέτριο" βαθμό διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* και τις εκτιμήσεις του κλιματικού σεναρίου RCP8.5. Ο βαθμός αυτός, πιο συγκεκριμένα, σημειώνει αύξηση κατά τα τέλη του 21ου αιώνα (X_{mean} : 53,6763) έναντι του εκτιμώμενου μέσου επιπέδου διακινδύνευσης για την περίοδο 2046 – 2065 (X_{mean} : 49,1894). Ωστόσο, η συνολική έκταση 4.726 km² που αναμένεται να καλύψει η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης στο εγγύς μέλλον δεν διαφέρει ιδιαίτερα από εκείνη που υπολογίζεται βάσει των σεναρίων RCP2.6 και RCP4.5 αντίστοιχα για την ίδια χρονική περίοδο. Στο μακρινό μέλλον αντίθετα η έκταση αυτή μειώνεται σε ποσοστό 9% περίπου καθώς η παρουσία της ζώνης "υψηλής" διακινδύνευσης συγχρόνως εντείνεται.



Χάρτης 6.6 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).

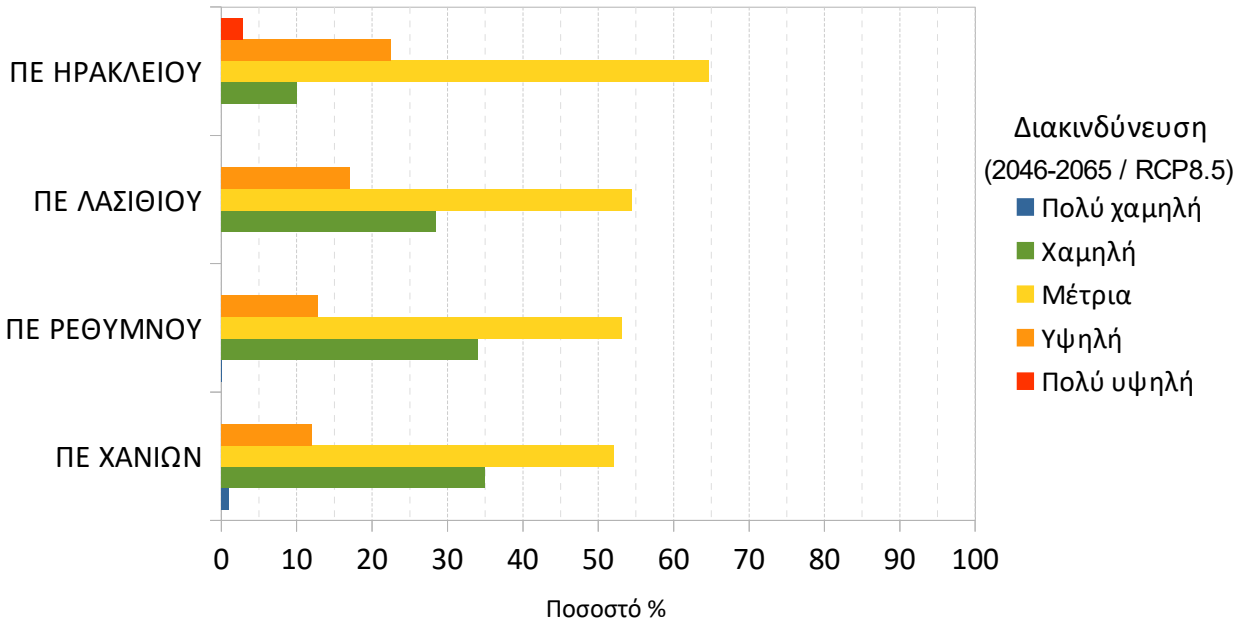


Χάρτης 6.7 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).

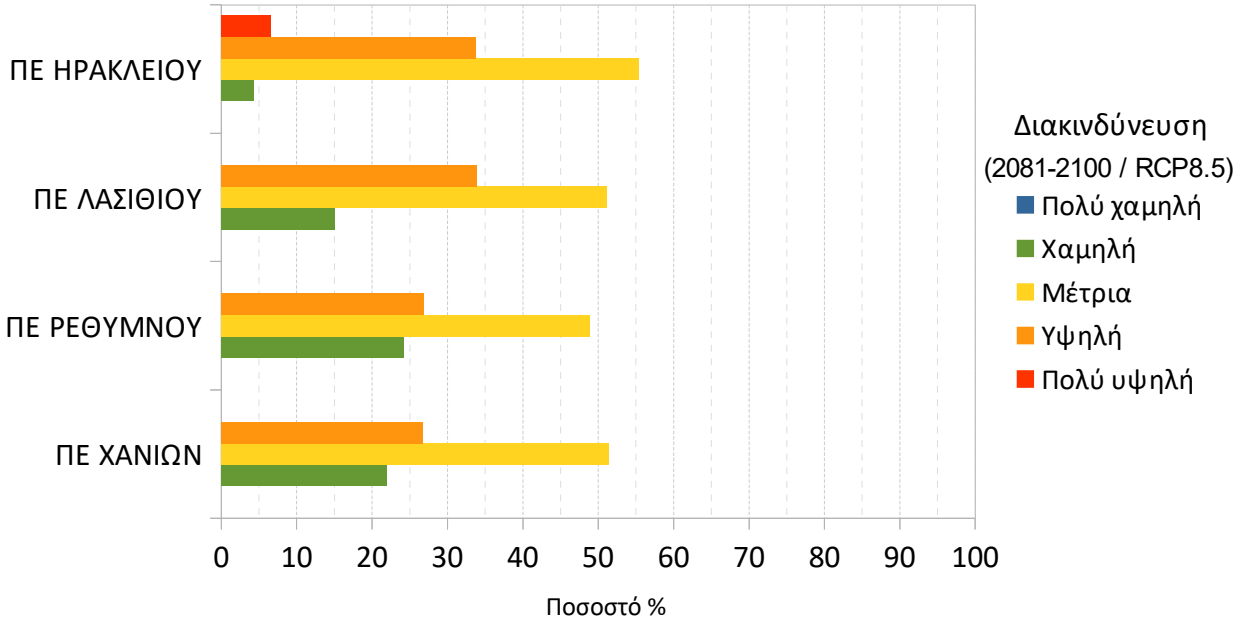
Οι περιοχές "χαμηλής" διακινδύνευσης, από την άλλη πλευρά, εκτιμάται ότι θα καλύπτουν το 25,5% της ολικής επιφάνειας του νησιού κατά την περίοδο 2046 – 2065, ποσοστό εμφανώς ελαττωμένο σε σχέση με τα αντίστοιχα δεδομένα των σεναρίων RCP2.6 και RCP4.5. Η συνολική έκταση των περιοχών αυτών πρόκειται μάλιστα να μειωθεί κατά 67% περίπου στο μακρινό μέλλον, υπολογιζόμενη στα 1.269 km². Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί ότι η ζώνη "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης κατέχει το χαμηλότερο ποσοστό κάλυψης (0,3%) στην Περιφέρεια Κρήτης το οποίο οριακά εκμηδενίζεται κατά την περίοδο 2081 – 2100 διατηρώντας την ελάχιστη επιφάνεια μόλις 1 km² εντός της ΠΕ Χανίων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο ρυθμός επέκτασης της ζώνης "υψηλής" διακινδύνευσης στην περιοχή μελέτης καθώς παρατηρείται διαχρονικά αυξητική τάση κατά 84% έως τα τέλη του 21ου αιώνα. Η ζώνη αυτή αναμένεται να καλύψει συνολική έκταση 2.542 km² έναντι των 1.381 km² που υπολογίζονται για το εγγύς μέλλον. Επιπλέον, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που ανέδειξαν μεμονωμένα τα τρία διαφορετικά κλιματικά σενάρια, η προοδευτική αύξηση της έκτασης που καταλαμβάνουν οι περιοχές "υψηλού" βαθμού διακινδύνευσης είναι εμφανής τόσο για την περίοδο 2046 – 2065 όσο και για το μεταγενέστερο χρονικό διάστημα εξέτασης. Πιο αναλυτικά, κατά την περίοδο 2081 – 2100 το ποσοστό κάλυψης της εν λόγω ζώνης εντός των ΠΕ Λασιθίου, Ρεθύμνου και Χανίων υπερδιπλασιάζεται σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό για το εγγύς μέλλον, ενώ εμφανίζει εξίσου σημαντική αύξηση (50%) και στην ΠΕ Ηρακλείου.

Συμπληρωματικά, η ζώνη "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης περιορίζεται εντός των ορίων της ΠΕ Ηρακλείου και στην προκειμένη περίπτωση καταλαμβάνοντας έκταση 76 km² με βάση τις εκτιμήσεις για την περίοδο 2046 – 2065, η οποία σημειώνει περαιτέρω αύξηση κατά 100 μονάδες στο μακρινό μέλλον. Σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5, το ποσοστό κάλυψης της συγκεκριμένης ζώνης εκτιμάται στο 6,6% κατά την περίοδο 2081 – 2100 έναντι του 0,9% και 2,7% που προκύπτει αντίστοιχα βάσει των σεναρίων RCP2.6 και RCP4.5. Ακόμη, συγκρίνοντας διαδοχικά τα σχετικά αποτελέσματα των κλιματικών σεναρίων ενδιαφέροντος (RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5) γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι περιοχές "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης επεκτείνονται επίσης στο εγγύς μέλλον.



Διάγραμμα 6.9 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).



Διάγραμμα 6.10 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (1η προσέγγιση AHP).

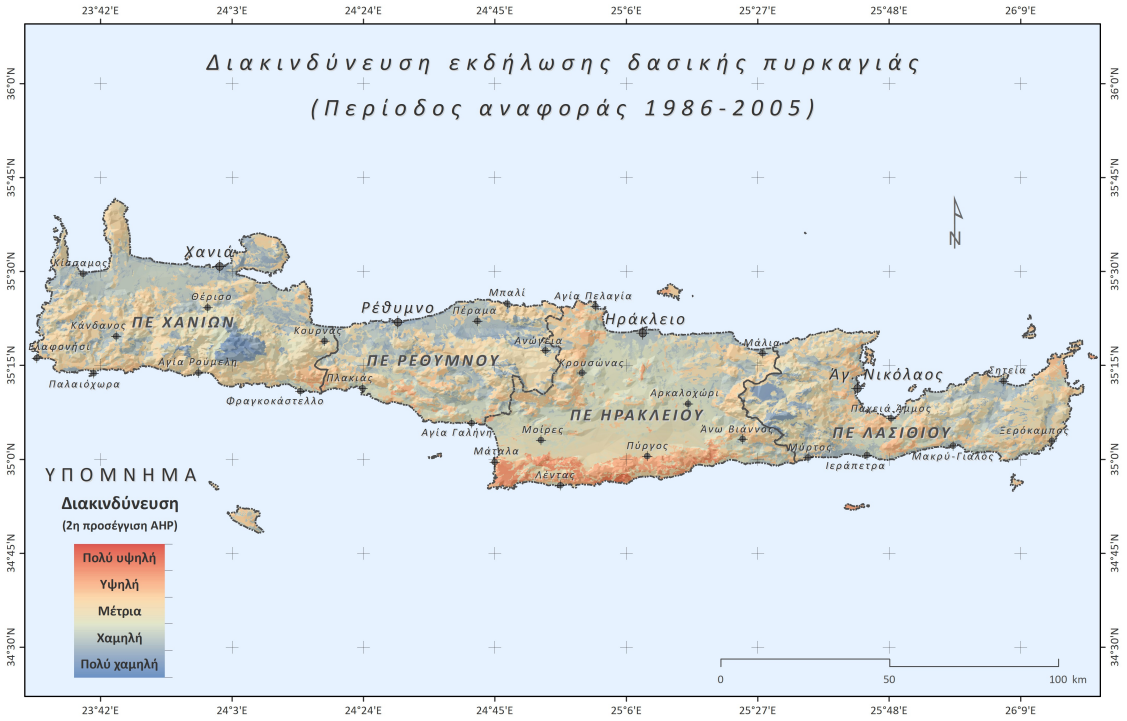
Ανακεφαλαιώνοντας, όπως κατέδειξε η πρώτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5, κατά την περίοδο 2046 – 2065 το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης εντός των ΠΕ Κρήτης διατηρεί η ζώνη "μέτριου" επιπέδου διακινδύνευσης ακολουθούμενη από τη ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης. Η δεύτερη εντούτοις εναλλάσσεται με τη ζώνη που χαρακτηρίζεται από "υψηλό" βαθμό διακινδύνευσης κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις αναφορικά με τα σενάρια RCP2.6 και RCP4.5 σύμφωνα με τις οποίες η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης εξακολουθεί να κατέχει το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης.

Εξαίρεση αποτελεί η ΠΕ Ηρακλείου εντός της οποίας οι περιοχές "υψηλής" διακινδύνευσης εκτείνονται σε μεγαλύτερη έκταση (594 km²) συγκριτικά με αυτή που καλύπτει η ζώνη "χαμηλού" βαθμού διακινδύνευσης (264 km²) στο εγγύς μέλλον. Τέλος, όπως γίνεται αντιληπτό μέσω της παρατήρησης των ακόλουθων διαγραμμάτων, ο βαθμός "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγίας εντείνεται σημαντικά σε βάθος χρόνου επιβαρύνοντας το νότιο τμήμα της ΠΕ Ηρακλείου.

6.2 Αποτελέσματα σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση της AHP

6.2.1 Εκτιμήσεις για την περίοδο 1986 – 2005 (2η προσέγγιση)

Η δεύτερη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε με στόχο την εκτίμηση του σύνθετου δείκτη ενδιαφέροντος ανέδειξε, όμοια με την πρώτη προσέγγιση, "μέτριο" βαθμό διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην Περιφέρεια Κρήτης κατά την περίοδο αναφοράς 1986 – 2005 σύμφωνα με την υπολογιζόμενη μέση τιμή (X_{mean} : 44,2455). Όπως διακρίνεται λοιπόν και στη σχετική χαρτογραφική αναπαράσταση, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης κατατάσσεται στη ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης η οποία καλύπτει συνολική έκταση 4.156 km².



Χάρτης 6.8 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 1986 – 2005 (2η προσέγγιση AHP).

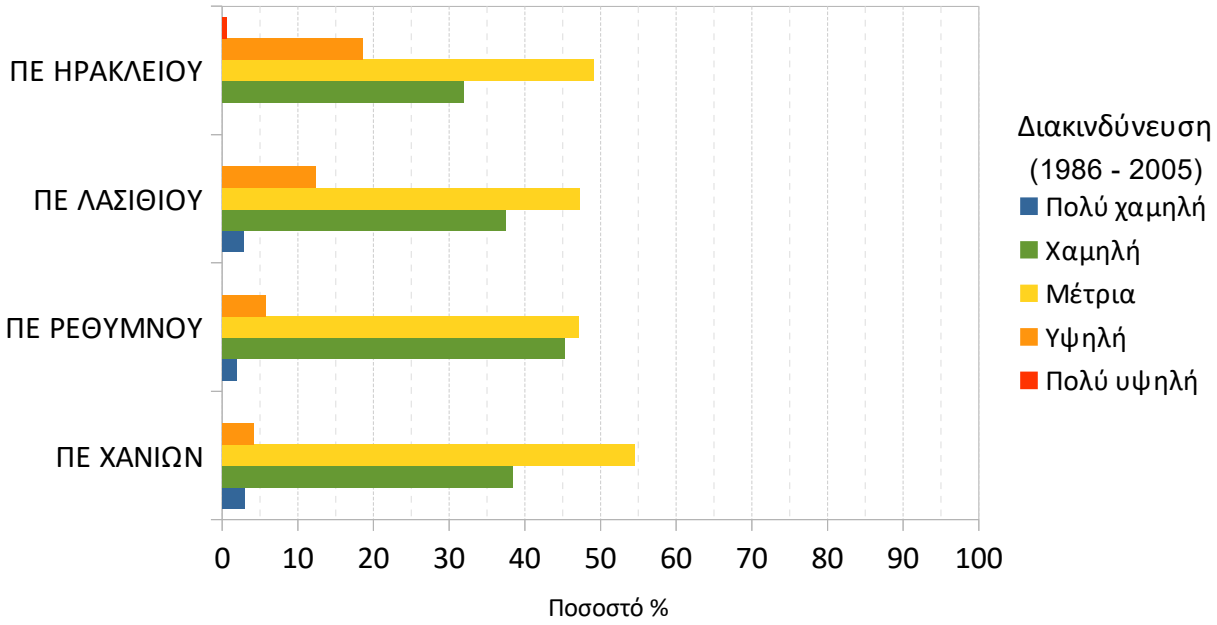
Επισημαίνεται ωστόσο ότι η έκταση αυτή εμφανίζεται μειωμένη κατά 13% περίπου σε σχέση με τα αντίστοιχα δεδομένα που προέκυψαν βάσει της πρώτης προσέγγισης της *AHP*. Ακόμη, το μεγαλύτερο ποσοστό (31,2%) επί του συνόλου της προαναφερεθείσας έκτασης εντοπίζεται εντός της ΠΕ Χανίων, σε αντίθεση με την πρώτη προσέγγιση η οποία κατέδειξε υψηλότερο ποσοστό εντός της ΠΕ Ηρακλείου. Παρ' όλα αυτά, το χωρικό μοτίβο των ζωνών διακινδύνευσης δεν εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Από την άλλη πλευρά, η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης διατηρεί και σε αυτή την περίπτωση το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (37,4%) στη νήσο εκτεινόμενη στα 3.114 km² ενώ έπονται οι ζώνες "υψηλής", "πολύ χαμηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης κατά φθίνουσα σειρά, με ποσοστό 10,8%, 1,8% και 0,2% αντίστοιχα. Αναφορικά με την πρώτη ζώνη, ειδικότερα, η ΠΕ Χανίων κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό (29,3%) της έκτασης των περιοχών που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία ακολουθούμενη από τις ΠΕ Ηρακλείου (27%), Λασιθίου (21,9%) και Ρεθύμνου (21,8%). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περιοχές αυτές διακρίνονται ως "χαμηλής" ευφλεκτότητας σύμφωνα με την ταξινόμηση των τύπων κάλυψης γης του γεωχωρικού υποβάθρου *CORINE Land Cover (2018).*

Όσον αφορά τις ζώνες "υψηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης, οι οποίες καλύπτουν αθροιστικά έκταση 909 km², παρατηρούνται επίσης ορισμένες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο προσεγγίσεων. Αρχικά, οι περιοχές "υψηλής" διακινδύνευσης που βρίσκονται εντός των ορίων κάθε ΠΕ φαίνεται ότι καταλαμβάνουν μεμονωμένα μεγαλύτερη έκταση από εκείνη που υπολογίστηκε βάσει της πρώτης προσέγγισης της μεθόδου *AHP*. Στις ΠΕ Λασιθίου, Ρεθύμνου και Ηρακλείου πιο συγκεκριμένα, οι συναφείς εκτάσεις παρουσιάζουν αύξηση της τάξης του 13%, 67% και 44% κατ' αντιστοιχία, ενώ στην ΠΕ Χανίων η έκταση της ζώνης "υψηλής" διακινδύνευσης υπερδιπλασιάζεται σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση.

Επιπρόσθετα, οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από "πολύ υψηλό" βαθμό διακινδύνευσης, οι οποίες απαντώνται αποκλειστικά στο νότιο τμήμα της ΠΕ Ηρακλείου, εκτείνονται σε ελαφρώς μεγαλύτερη έκταση 12,2 km² αντί των 7,9 km² που κατέδειξε η πρώτη προσέγγιση της *AHP*. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα και με τις δύο προσεγγίσεις, διευκρινίζεται ότι στις ζώνες "υψηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης κυριαρχεί η δασική βλάστηση, γεγονός που προσδίδει και υψηλότερο βαθμό ευφλεκτότητας στις περιοχές επέκτασής τους.

Εντούτοις, με βάση τη δεύτερη προσέγγιση της μεθόδου *AHP*, η ζώνη "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης εκτείνεται σε απροσδόκητα μεγαλύτερη έκταση (152 km²) από εκείνη που υπολογίζεται βάσει της πρώτης προσέγγισης (100 km²) για την Περιφέρεια Κρήτης. Η έκταση αυτή αντιστοιχεί στο 1,8% της συνολικής επιφάνειας του νησιού και κατανέμεται κυρίως στις ΠΕ Χανίων (71 km²) και Λασιθίου (51 km²) όπου δεσπόζουν αντίστοιχα τα Λευκά Όρη και το Όρος Δίκτη. Συμπληρωματικά, η εν λόγω ζώνη απουσιάζει από την ΠΕ Ηρακλείου, ενώ η έκτασή της εκτιμάται στα 30 km² εντός των ορίων της ΠΕ Ρεθύμνου.

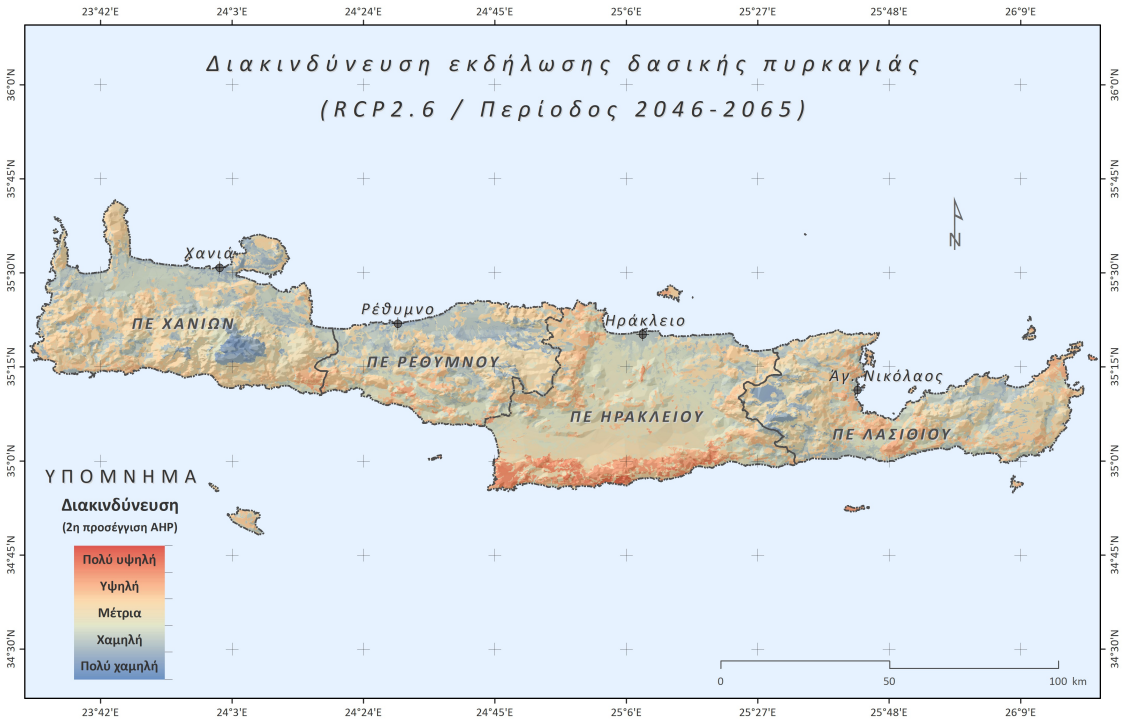


Διάγραμμα 6.11 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα κατά την περίοδο 1986 – 2005 (2η προσέγγιση AHP).

Συνοψίζοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι το ποσοστό κάλυψης της ζώνης "μέτριας" διακινδύνευσης προσεγγίζει το 50% αναφορικά με τα στοιχεία που προέκυψαν από την εφαρμογή της δεύτερης προσέγγισης της μεθόδου *AHP* για τις ΠΕ Ηρακλείου, Λασιθίου και Ρεθύμνου. Το μεγαλύτερο ποσοστό (54,5%) ωστόσο στην προκειμένη περίπτωση διατηρεί η ΠΕ Χανίων, σε αντίθεση με την πρώτη προσέγγιση η οποία κατέδειξε σημαντικά υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (62,8%) εντός της ΠΕ Ηρακλείου. Η τελευταία κατέχει επίσης το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης της ζώνης "υψηλής" διακινδύνευσης (18,5%) ενώ η ΠΕ Λασιθίου εμφανίζει τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση, της τάξης του 67,6%, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο προσεγγίσεων. Τέλος, υψηλότερο ποσοστό κάλυψης της συγκεκριμένης ζώνης παρατηρείται και στις άλλες τρεις Περιφερειακές Ενότητες παρότι η αντίστοιχη αύξηση θεωρείται αμελητέα.

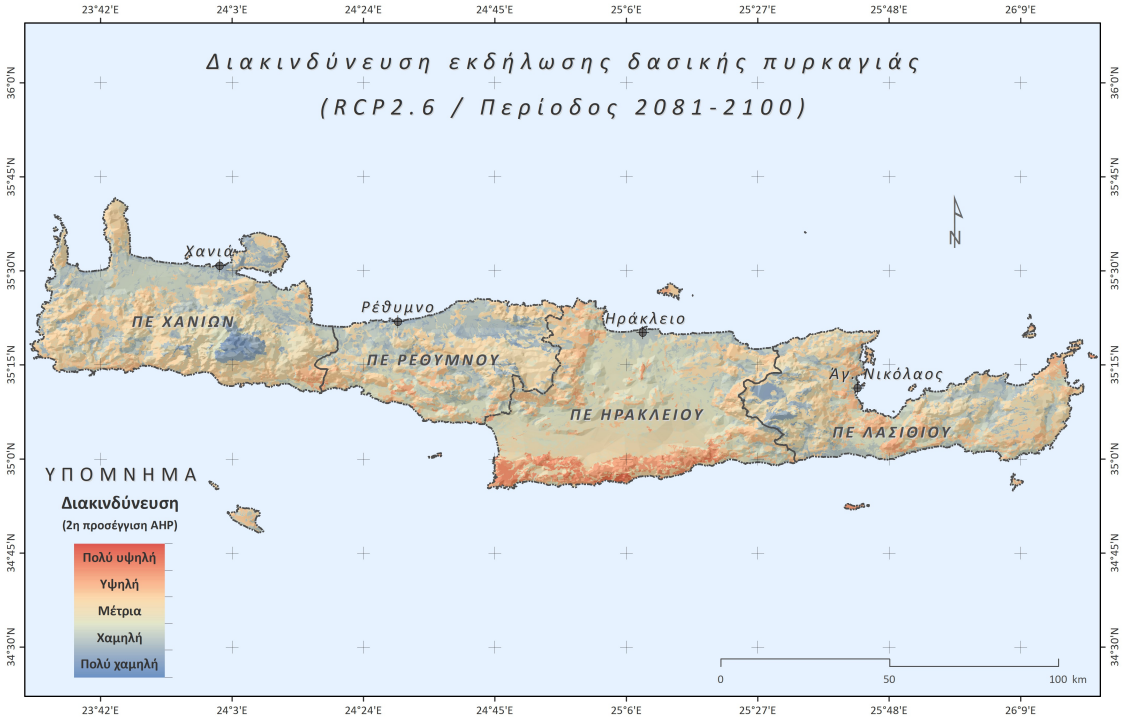
6.2.2 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (2η προσέγγιση)

Εφαρμόζοντας τη δεύτερη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* στο επόμενο στάδιο βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6, όμοια διαπιστώθηκε ότι η Περιφέρεια Κρήτης διακρίνεται από "μέτριο" βαθμό διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον. Ειδικότερα, η μέση τιμή του δείκτη ενδιαφέροντος δεν αναμένεται να υπερβεί τις 47 μονάδες κατά τις περιόδους 2046 – 2065 (X_{mean} : 46,6660) και 2081 – 2100 (X_{mean} : 46,3625) αντίστοιχα. Σύμφωνα λοιπόν με τις εκτιμήσεις για το εγγύς μέλλον, η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης που κατέχει και το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (50%) του νησιού εκτιμάται ότι θα καλύπτει έκταση 4.165 km² η οποία πρόκειται να σημειώσει μικρή αύξηση, της τάξης του 0,7%, κατά τη μεταγενέστερη περίοδο εξέτασης. Τα συγκεκριμένα στοιχεία δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτά που κατέδειξε η πρώτη προσέγγιση της *AHP* μολονότι παρατηρείται σχετική μείωση της έκτασης που καλύπτει η εν λόγω ζώνη κατά 16% περίπου.



Χάρτης 6.9 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).

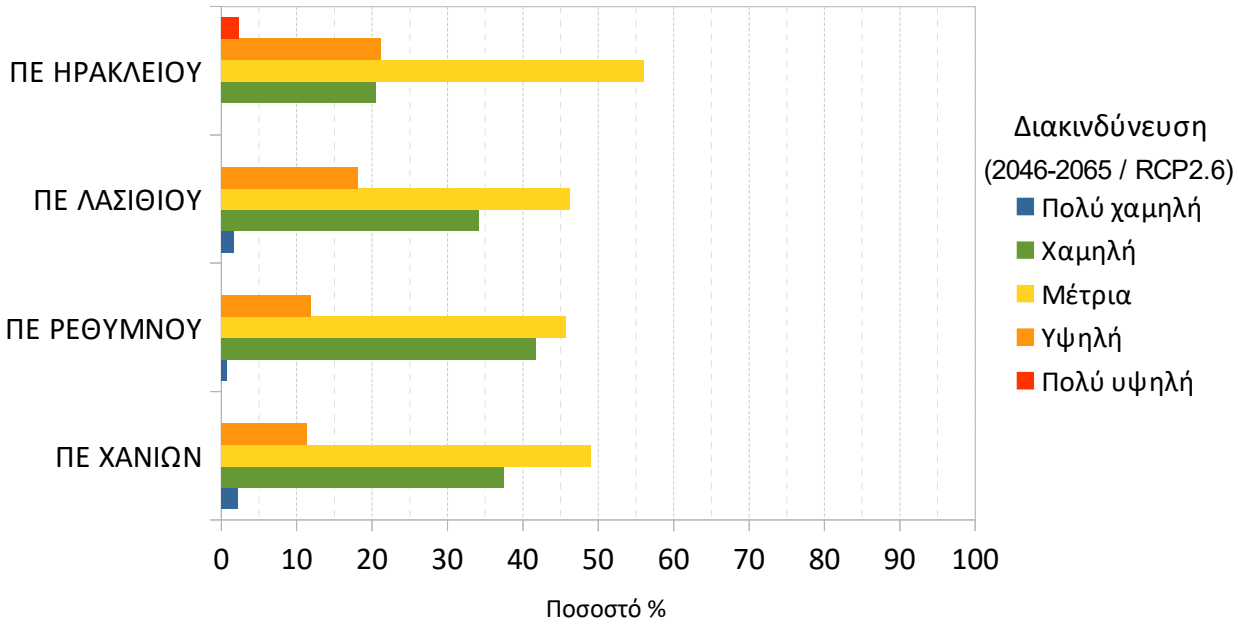
Επιπλέον, όπως αναδείχθηκε και μέσω της διερεύνησης των αποτελεσμάτων της πρώτης προσέγγισης, η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης είναι εκείνη που κατέχει το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης στην περιοχή μελέτης, εκτεινόμενη σε επιφάνεια 2.679 km² και 2.729 km² αναφορικά με τις δύο μελλοντικές περιόδους εξέτασης αντίστοιχα. Στη συνέχεια έπονται κατά φθίνουσα σειρά οι ζώνες "υψηλής", "πολύ χαμηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγισης της *AHP* οι περιοχές "χαμηλού" βαθμού διακινδύνευσης καλύπτουν ελαφρώς μεγαλύτερη έκταση από αυτή που υπολογίζεται βάσει της πρώτης. Ωστόσο, η κατανομή τους ανά Περιφερειακή Ενότητα δεν φαίνεται να διαφοροποιείται καθώς οι περιοχές αυτές εντοπίζονται και πάλι στα μέρη όπου ο δείκτης ευφλεκτότητας της καύσιμης ύλης λαμβάνει χαμηλότερες τιμές.



Χάρτης 6.10 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).

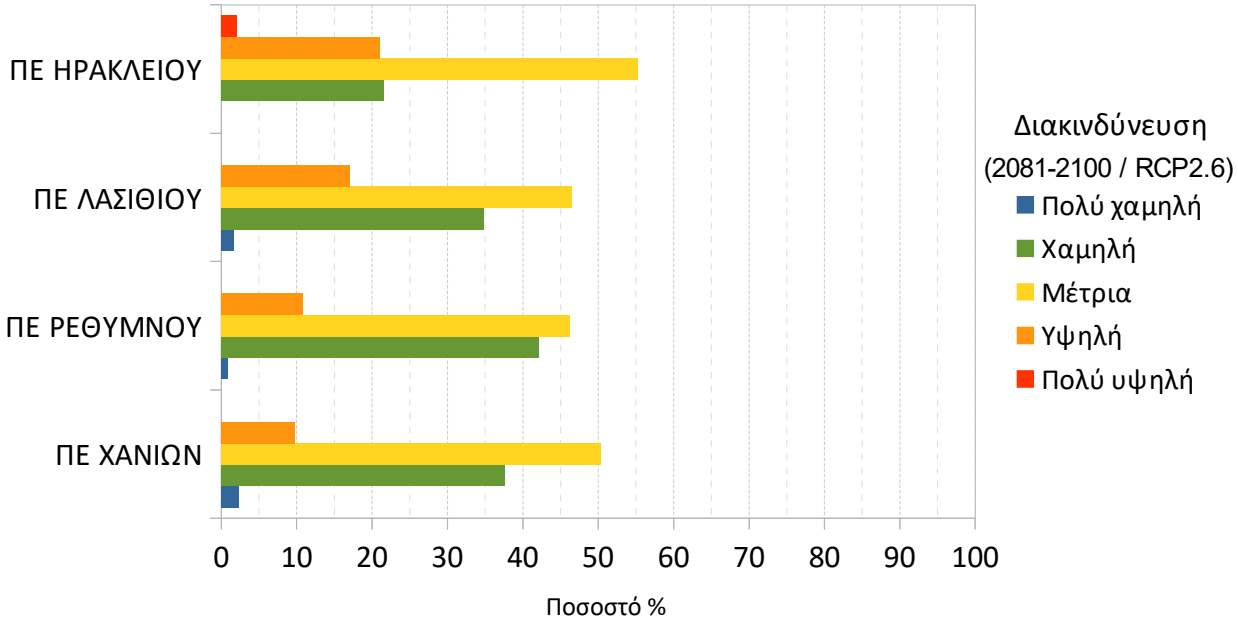
Από την άλλη μεριά, η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης εκτιμάται ότι θα καλύψει το 16% της ολικής επιφάνειας της νήσου κατά την περίοδο 2046 – 2065, ποσοστό το οποίο εμφανίζει αναπάντεχα μικρή πτώση (15%) κατά το μεταγενέστερο χρονικό διάστημα. Οι περιοχές που εντάσσονται σε αυτή τη ζώνη απαντώνται στο μεγαλύτερο μέρος τους εντός της

ΠΕ Ηρακλείου στο νότιο και δυτικό τμήμα της. Αυτές εντοπίζονται επίσης κεντρικά της ΠΕ Λασιθίου αλλά και σε διάσπαρτα σημεία εντός των ορίων των υπόλοιπων Περιφερειακών Ενοτήτων που καλύπτονται από δασώδεις εκτάσεις. Επισημαίνεται συγχρόνως ότι η συνολική έκταση που καλύπτει η εν λόγω ζώνη διακινδύνευσης παρουσιάζει αύξηση κατά 40,5% και 38,9% αντίστοιχα για το εγγύς και μακρινό μέλλον συγκριτικά με τα στοιχεία που κατέδειξε η πρώτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP*, γεγονός που αντανακλάται και σε τοπικό επίπεδο.



Διάγραμμα 6.12 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).

Συμπληρωματικά, τα νότια τμήματα της ΠΕ Ηρακλείου όπου χωροθετείται η ζώνη "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης αναμένεται να καλύψουν έκταση 61 km² κατά την περίοδο 2046 – 2065 η οποία υπολογίζεται να μειωθεί περίπου στα 57 km² έως τα τέλη του 21ου αιώνα. Παρ' όλα αυτά, χαρακτηριστική είναι η αύξηση του ποσοστού κάλυψης της συγκεκριμένης ζώνης σε σχέση με τα δεδομένα της πρώτης προσέγγισης της *AHP* και για τις δύο χρονικές περιόδους εξέτασης. Ακόμη, συγκρίνοντας τα αντίστοιχα στοιχεία των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων, αυξητική τάση εμφανίζουν και οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από πολύ "χαμηλό" βαθμό διακινδύνευσης, η οποία ωστόσο δεν υπερβαίνει το 46,5% για το εγγύς και μακρινό μέλλον. Αυτές μάλιστα εκτιμάται ότι θα επεκταθούν περαιτέρω στα 99 km² κατά την περίοδο 2081 – 2100 αυξάνοντας την έκτασή τους κατά 6,2 μονάδες σε σύγκριση με το προηγούμενο διάστημα αναφοράς.



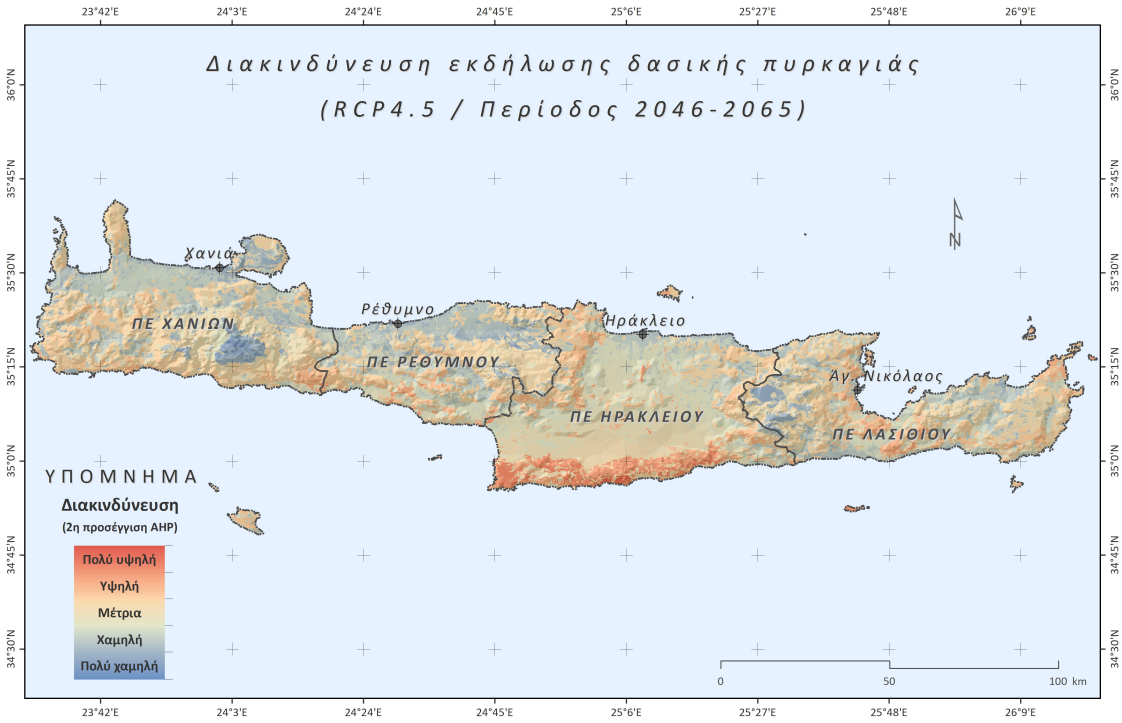
Διάγραμμα 6.13 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (2η προσέγγιση AHP).

Συνοψίζοντας, η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης διατηρεί το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας κάθε Περιφερειακής Ενότητας της Κρήτης κατά την περίοδο 2046 – 2065 με βάση το κλιματικό σενάριο RCP2.6 και τη δεύτερη προσέγγιση της *AHP*. Κατά τη μεταγενέστερη περίοδο εξέτασης παρατηρούνται ελαφρώς υψηλότερες τιμές με εξαίρεση την ΠΕ Ηρακλείου για την οποία εκτιμάται μικρή πτώση του ποσοστού κάλυψης της εν λόγω ζώνης.

Όπως ανέδειξε και η πρώτη προσέγγιση, εντούτοις δεν εντοπίζονται ουσιώδεις μεταβολές μεταξύ των δύο μελλοντικών περιόδων εξέτασης, αν και η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης φαίνεται ότι συρρικνώνεται μερικώς σε βάθος χρόνου, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο προσεγγίσεων. Από την άλλη μεριά, το ποσοστό κάλυψης των περιοχών "πολύ χαμηλής" και "χαμηλής" διακινδύνευσης εκτιμάται ότι θα σημειώσει μικρή αύξηση σε τοπική κλίμακα έως τα τέλη του 21ου αιώνα, σε αντίθεση με τις περιοχές "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης οι οποίες αναμένεται να καλύψουν ελαφρώς μικρότερη έκταση.

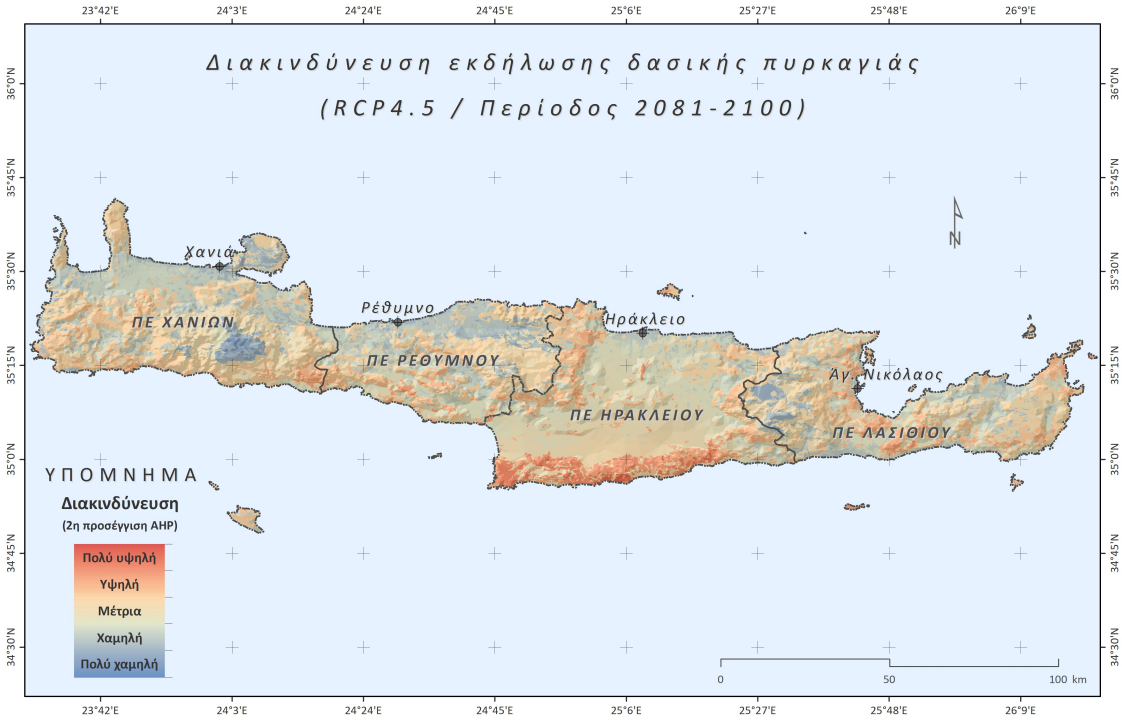
6.2.3 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 (2η προσέγγιση)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δεύτερης προσέγγισης της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5, η Περιφέρεια Κρήτης αναδείχθηκε ως "μέτριας" διακινδύνευσης αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς λαμβάνοντας υπόψη τη μέση τιμή του σχετικού δείκτη για τις περιόδους 2046 – 2065 (X_{mean} : 47,4342) και 2081 – 2100 (X_{mean} : 48,9153). Η ζώνη επέκτασης αυτής της κατηγορίας ειδικότερα αναμένεται να καλύψει συνολική επιφάνεια 4.139 km² και 4.011 km² στο εγγύς και μακρινό μέλλον αντίστοιχα, η οποία να διαφέρει σημαντικά από εκείνη που προκύπτει με βάση τις εκτιμήσεις του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 αν και υπολογίζεται ελαφρώς μικρότερη. Εντούτοις, περισσότερο αισθητή είναι η ματαβολή του ποσοστού κάλυψης της εν λόγω ζώνης σε σύγκριση με τα δεδομένα της πρώτης προσέγγισης της *AHP* καθώς αυτό μεταπίπτει σε 49,7% από 57,7% για την περίοδο 2046 – 2065 και σε 48,2% από 56,7% για τη μεταγενέστερη περίοδο εξέτασης.



Χάρτης 6.11 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).

Το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης κατέχει η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης η οποία εκτιμάται ότι θα καταλαμβάνει το 30,9% της συνολικής έκτασης της Κρήτης κατά την περίοδο 2046 – 2065 και αντίστοιχα το 28,6% κατά τα τέλη του 21ου αιώνα. Σε σχέση με τα στοιχεία που ανέδειξε το κλιματικό σενάριο RCP2.6 βάσει της ίδιας προσέγγισης, τα ποσοστά αυτά εμφανίζονται σχετικά ελαττωμένα. Αντίθετα, οι παραπάνω τιμές σημειώνουν αύξηση κατά 2,6 και 2,8 ποσοστιαίες μονάδες στο εγγύς και μακρινό μέλλον σε σύγκριση με τα συναφή δεδομένα της πρώτης προσέγγισης της *AHP*. Στην προκειμένη περίπτωση, παρ' όλα αυτά, είναι εμφανής διαχρονικά η συρρίκνωση των περιοχών που εντάσσονται σε αυτή τη ζώνη διακινδύνευσης, γεγονός που αντανακλάται εξίσου σε επίπεδο Περιφερειακής Ενότητας.



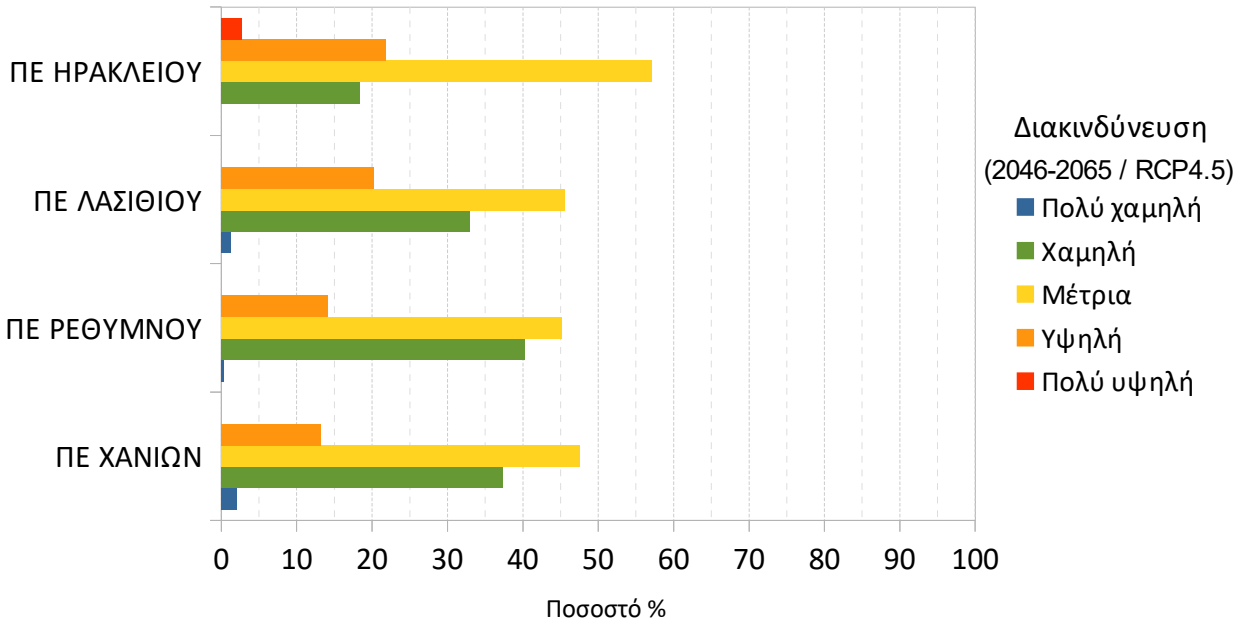
Χάρτης 6.12 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).

Από την άλλη πλευρά, οι περιοχές που διακρίνονται από "υψηλή" διακινδύνευση παρουσιάζουν σημαντική αύξηση σε βάθος χρόνου αναφορικά με την έκταση που αναμένεται να καλύψουν. Κατά την περίοδο 2081 – 2100, πιο συγκεκριμένα, η τελευταία εκτιμάται συνολικά στα 1.802 km² έναντι των 1.466 km² που προσδιορίζονται για το εγγύς μέλλον. Παράλληλα

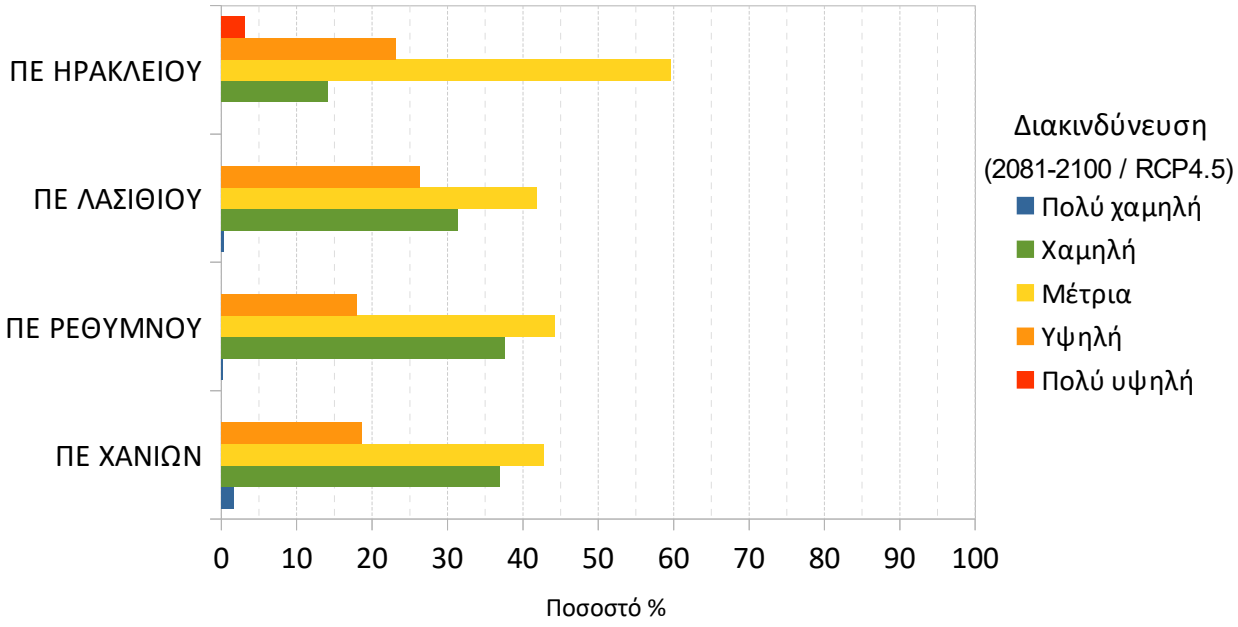
Παράλληλα, εντοπίζεται αύξηση του ποσοστού κάλυψης της σχετικής ζώνης διακινδύνευσης εντός των ορίων κάθε Περιφερειακής Ενότητας της Κρήτης. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί επίσης ότι το κλιματικό σενάριο RCP4.5 κατέδειξε αναλογικά υψηλότερο ποσοστό κάλυψης της ζώνης αυτής σε σύγκριση με το "αισιόδοξο" σενάριο RCP2.6 βάσει της δεύτερης προσέγγισης της *AHP*, τόσο σε ευρεία όσο και σε τοπική κλίμακα. Ελαφρώς αυξημένα εμφανίζονται όμοια στο εγγύς και μακρινό μέλλον τα ποσοστά κάλυψης που προέκυψαν σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση έναντι της πρώτης. Ωστόσο, οι περιοχές "υψηλής" διακινδύνευσης εξακολουθούν να εμπίπτουν στις ζώνες επέκτασης της δασικής βλάστησης εντός της Περιφέρειας Κρήτης.

Επιπρόσθετα, η ζώνη "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης σημειώνει διαχρονικά αύξηση κατά 13,8% αναφορικά με την έκταση που αναμένεται να καλύπτει κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα σε σχέση με την προγενέστερη περίοδο εξέτασης. Η εν λόγω ζώνη εκτείνεται και σε αυτή την περίπτωση μόνο εντός της ΠΕ Ηρακλείου, σε ορισμένες περιοχές του νοτίου τμήματός της. Επισημαίνεται μάλιστα ότι το εκτιμώμενο ποσοστό κάλυψης της σχετικής ζώνης διακινδύνευσης εμφανίζεται αυξημένο περίπου κατά μισή μονάδα στο εγγύς μέλλον (2,7%) σε σύγκριση με τα ανάλογα στοιχεία του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (2,3%) και αντίστοιχα αυξημένο κατά μία μονάδα στο μακρινό μέλλον (3,1%). Ακόμη, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που ανέδειξε η δεύτερη προσέγγιση της *AHP* έναντι της πρώτης, βάσει του διερευνώμενου κλιματικού σεναρίου παρατηρείται και πάλι ποσοστιαία αύξηση κατά τις δύο χρονικές περιόδους εξέτασης, παρότι αυτή είναι ασθενέστερη.

Όσον αφορά δε τις περιοχές που προσδιορίζονται από "πολύ χαμηλή" διακινδύνευση ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς εκτιμάται ότι αυτές να συρρικνωθούν διαχρονικά καλύπτοντας συνολική έκταση μόλις 52 km² κατά την περίοδο 2081 – 2100 αντί των 78 km² που υπολογίζονται για το εγγύς μέλλον. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές αυτές παρουσιάζουν μείωση της τάξης του 18,8% και 90,3% διαδοχικά για τις δύο μελλοντικές περιόδους εξέτασης συγκρίνοντάς τες με τα παραγόμενα στοιχεία του κλιματικού σεναρίου RCP2.6. Εντούτοις, οι εκτάσεις της εν λόγω ζώνης που αναφέρονται παραπάνω εμφανίζονται αυξημένες κατά 79,6% και 80,6% στο εγγύς και μακρινό μέλλον αντίστοιχα σε σχέση με τα δεδομένα της πρώτης προσέγγισης της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε με βάση το κλιματικό σενάριο RCP4.5.



Διάγραμμα 6.14 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).



Διάγραμμα 6.15 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (2η προσέγγιση AHP).

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα, γίνεται κατανοητό εν κατακλείδι ότι η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης διατηρεί το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης εντός όλων των Περιφερειακών Ενοτήτων της Κρήτης κατά τις περίοδους 2046 – 2065 και 2081 – 2100. Ωστόσο, κατά τα τέλη του 21ου αιώνα παρατηρείται μερική συρρίκνωση των περιοχών που εντάσσονται σε αυτή τη ζώνη σε κάθε Περιφερειακή Ενότητα εκτός αυτής του Ηρακλείου όπου το αντίστοιχο ποσοστό κάλυψης προσεγγίζει το 60%.

Συμπληρωματικά, η έκταση που καταλαμβάνουν μεμονωμένα οι ζώνες "υψηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης αναμένεται να παρουσιάσει σημαντική αύξηση διαχρονικά. Ειδικότερα, πιο χαρακτηριστική είναι η μεταβολή του ποσοστού κάλυψης των περιοχών "υψηλού" επιπέδου διακινδύνευσης εντός της ΠΕ Λασιθίου που υπολογίζεται στο 26,4% κατά την περίοδο 2081 – 2100 έναντι του 20,2% που προκύπτει για το προγενέστερο χρονικό διάστημα. Τέλος, σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση της *AHP* που εφαρμόστηκε βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5, ακόμη εκτιμάται πως οι ζώνες "χαμηλής" και "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης σε βάθος χρόνου θα κατέχουν συγκριτικά μικρότερα ποσοστά κάλυψης ανά Περιφερειακή Ενότητα.

6.2.4 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5 (2η προσέγγιση)

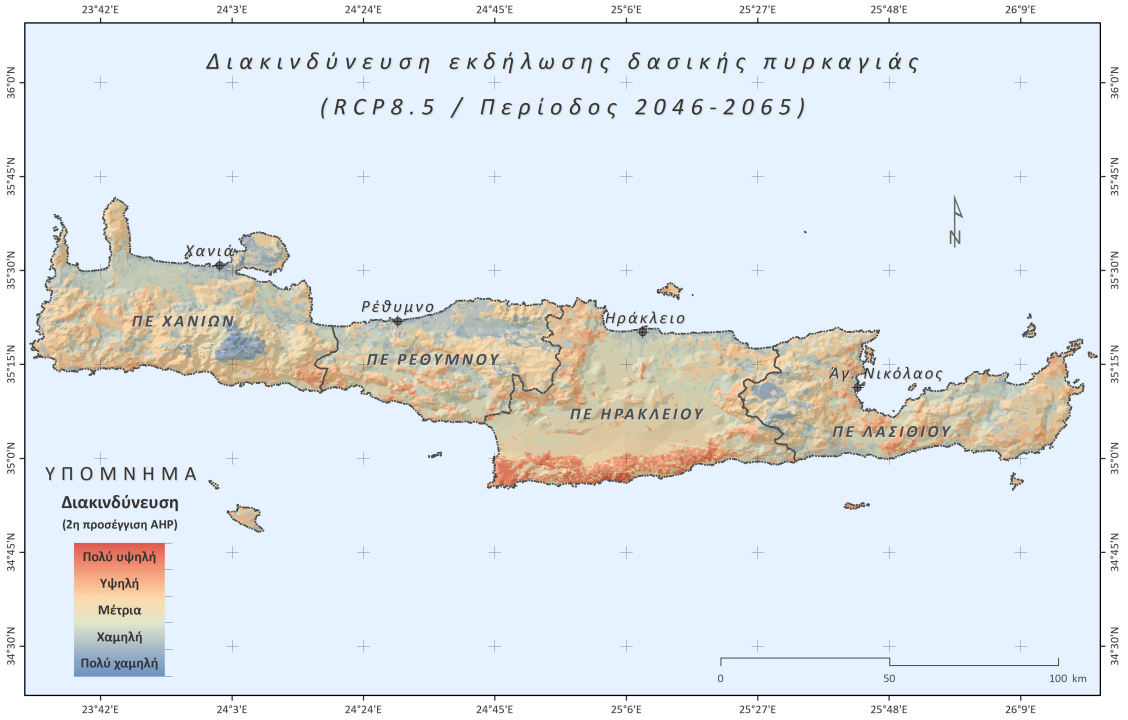
Η δεύτερη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 κατέδειξε επίσης "μέτρια" επίπεδα διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην Περιφέρεια Κρήτης για το εγγύς (X_{mean} : 49,0797) και μακρινό μέλλον (X_{mean} : 53,5667). Συγκριτικά με τα αποτελέσματα της πρώτης προσέγγισης, ωστόσο, η μέση τιμή του δείκτη ενδιαφέροντος εμφανίζεται ελαφρώς μειωμένη, παρότι και πάλι σημειώνει σχετική αύξηση σε βάθος χρόνου. Από την άλλη μεριά, η εκτιμώμενη επιφάνεια της ζώνης "μέτριας" διακινδύνευσης φαίνεται ότι θα μειωθεί έως τα τέλη του 21ου αιώνα κατά 7,8% σε σχέση με αυτή που υπολογίζεται για την προγενέστερη περίοδο αναφοράς, η οποία εκτείνεται περίπου στα 3.982 km².

Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι η συνολική έκταση που αναμένεται να καλύψει η προαναφερθείσα ζώνη, κατά την περίοδο 2046 – 2065, παρουσιάζει μείωση της τάξης του 4,6% και 3,6% σε σύγκριση με τα στοιχεία της δεύτερης προσέγγισης της *AHP* που προέκυψαν βάσει των κλιματικών σεναρίων RCP2.6 και RCP4.5. Αντίστοιχη μείωση σε ποσοστό 13,5% και 8,6% διαπιστώθηκε επίσης ύστερα από τη σύγκριση των συναφών δεδομένων για την περίοδο 2081 – 2100.

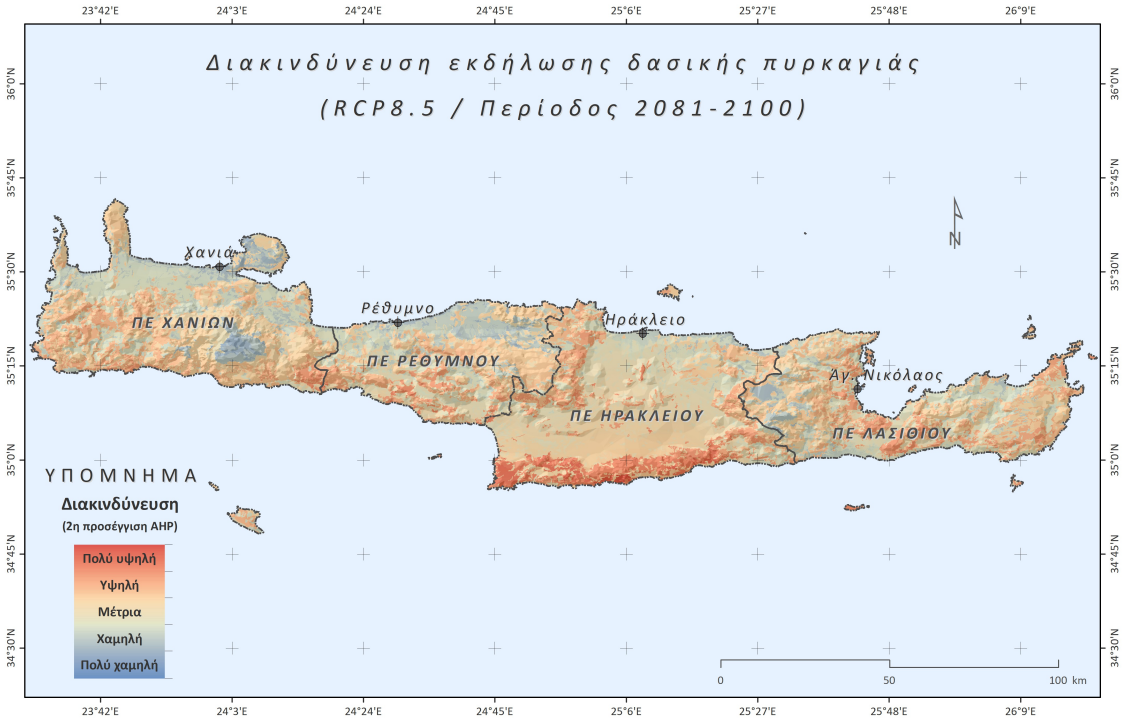
Μεγάλο βαθμό επεκτατικότητας εμφανίζει αντίθετα η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης καθώς η έκτασή της αναμένεται να αυξηθεί κατά 48,4% έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα υπολογιζόμενη σε 2.724 km² έναντι των 1.835 km² που εκτιμώνται για το προγενέστερο χρονικό διάστημα εξέτασης. Οι τιμές αυτές μάλιστα είναι συγκριτικά υψηλότερες από εκείνες που ανέδειξε αντίστοιχα η πρώτη προσέγγιση της *AHP*.

Συμπληρωματικά, επισημαίνεται ότι το ποσοστό κάλυψης της σχετικής ζώνης διακινδύνευσης στην Περιφέρεια Κρήτης μεγιστοποιείται σύμφωνα με το πιο "απαισιόδοξο" σενάριο RCP8.5 τόσο στο εγγύς (22%) όσο και στο μακρινό μέλλον (32,7%), αυξάνοντας την τιμή του κατά 6 και 4,4 μονάδες για την περίοδο 2046 – 2065 σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των σεναρίων RCP2.6 και RCP4.5. Ακόμα μεγαλύτερη αύξηση κατά 17,7 και 11,1 ποσοστιαίες μονάδες παρατηρείται αντίστοιχα για την περίοδο 2081 – 2100 πάντα με βάση τα στοιχεία της δεύτερης προσέγγισης.

Ωστόσο, η σημαντικότερη διαφοροποίηση μεταξύ των στοιχείων που ανέδειξαν τα τρία διαφορετικά κλιματικά σενάρια έγκειται στο γεγονός ότι το αναμενόμενο ποσοστό κάλυψης της ζώνης "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης στην προκειμένη περίπτωση παρουσιάζει τη μέγιστη μεταβολή διαχρονικά. Βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5, κατά την περίοδο 2081 – 2100 πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 7,7% επί της συνολικής έκτασης της ΠΕ Ηρακλείου όπου απαντάται κατά κύριο λόγο, έναντι του 3,2% που εκτιμάται για την περίοδο 2046 – 2065. Επιπρόσθετα, η συνολική έκταση που αναμένεται να καλύψει η συγκεκριμένη ζώνη διακινδύνευσης στο εγγύς (85 km²) και μακρινό μέλλον (208 km²) εμφανίζεται μεγαλύτερη κατά 9 και 32 μονάδες αντίστοιχα σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις της πρώτης προσέγγισης της *AHP*.



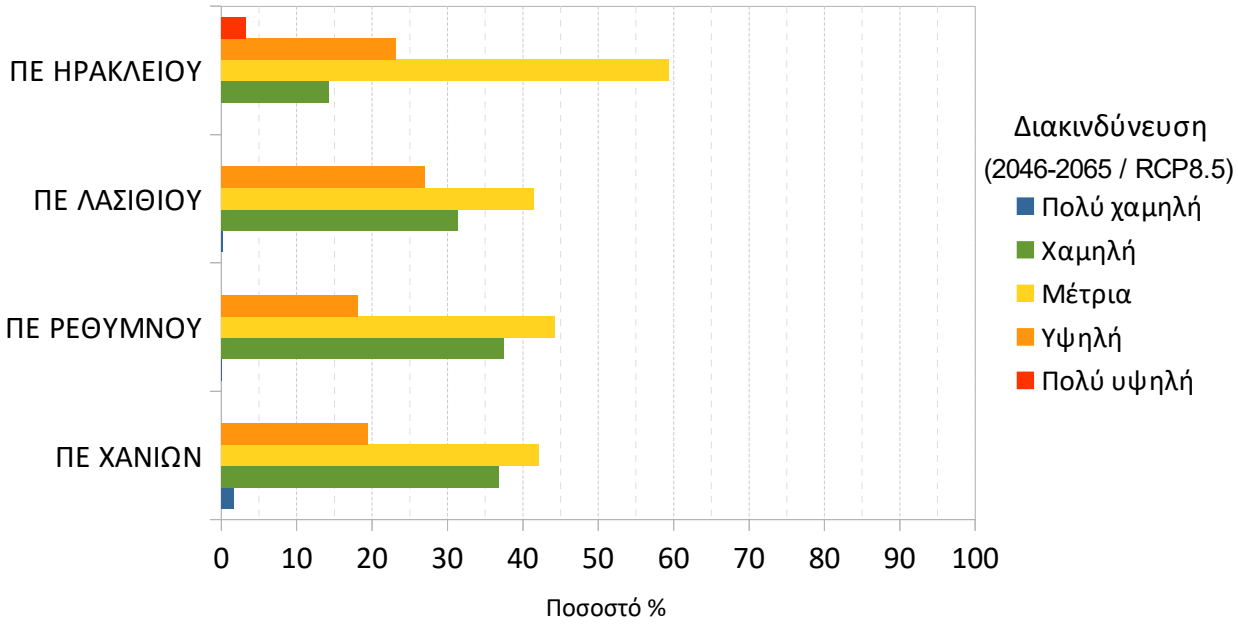
Χάρτης 6.13 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2η προσέγγιση AHP).



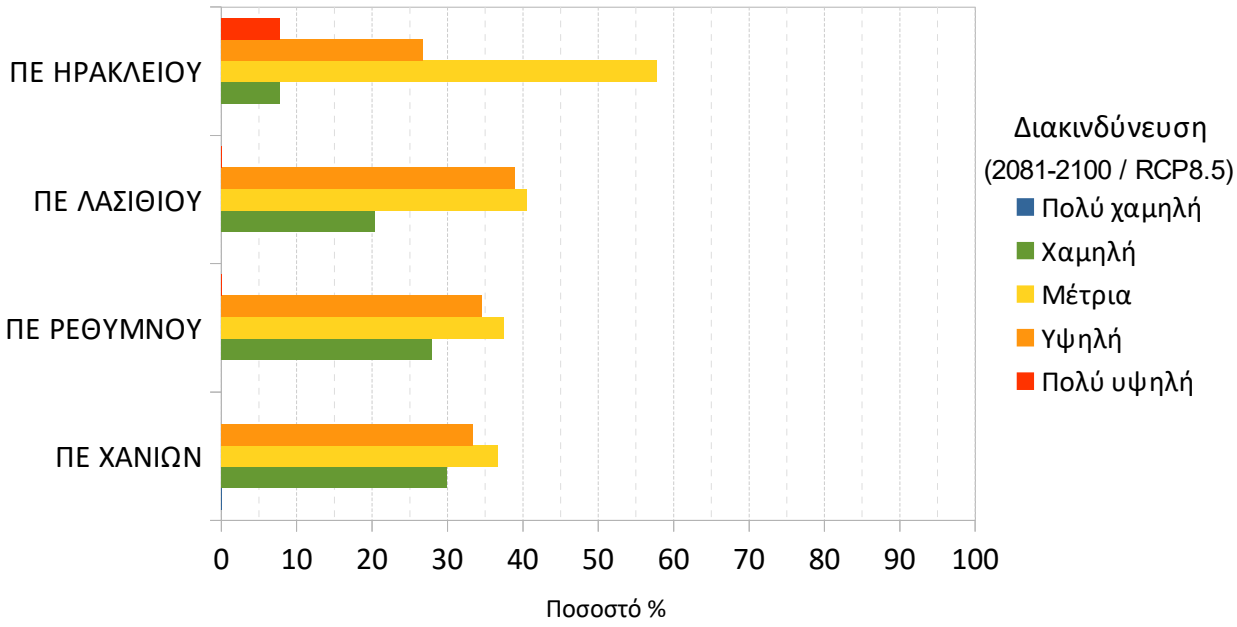
Χάρτης 6.14 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2η προσέγγιση AHP).

Μελετώντας εκτενέστερα τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων της μεθόδου *AHP*, από την άλλη μεριά, και οι περιοχές που διακρίνονται από "χαμηλή" και "πολύ χαμηλή" διακινδύνευση εκτιμάται ότι θα καταλαμβάνουν αρκετά μεγαλύτερη έκταση εντός της Περιφέρειας Κρήτης, σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση. Εντούτοις, σε βάθος χρόνου οι εκτάσεις αυτές και πάλι μειώνονται καθώς το ποσοστό κάλυψης των σχετικών ζωνών επί της συνολικής επιφάνειας του νησιού δεν αναμένεται κατ' αντιστοιχία να υπερβεί το 20,5% και 0,04% κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, έναντι του 28,6% και 0,5% που προσδιορίζεται για το εγγύς μέλλον.

Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι τα ποσά αυτά είναι σαφώς μικρότερα από εκείνα που υπολογίζονται αναφορικά με τα κλιματικά σενάρια RCP2.6 και RCP4.5, σε τέτοιο σημείο ώστε η ζώνη "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης να απουσιάζει πλήρως από τις ΠΕ Ηρακλείου, Λασιθίου και Ρεθύμνου κατά την περίοδο 2081 – 2100.



Διάγραμμα 6.16 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2^{η} προσέγγιση AHP).



Διάγραμμα 6.17 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (2η προσέγγιση AHP).

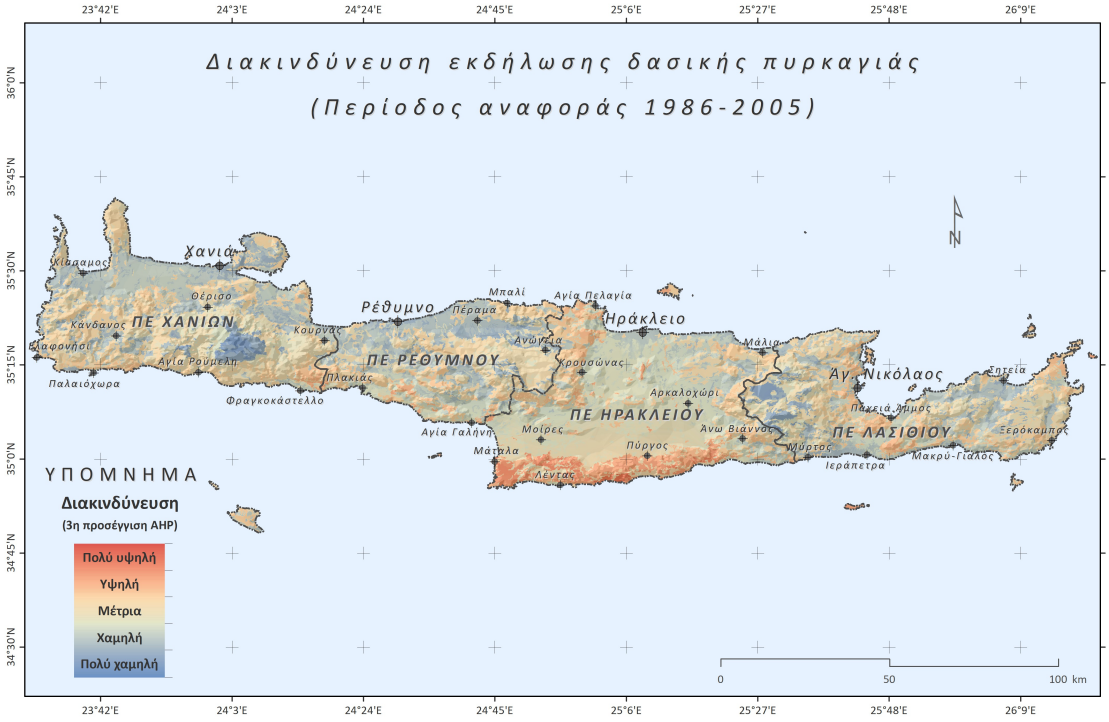
Συμπερασματικά, οι περιοχές "μέτριας" διακινδύνευσης διατηρούν το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης, τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον, σε κάθε Περιφερειακή Ενότητα. Σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση της *AHP*, τα ποσοστά αυτά ελαττώνονται σε βάθος χρόνου χωρίς όμως να εντοπίζονται ιδιαίτερα σημαντικές μεταβολές. Η ΠΕ Ηρακλείου ωστόσο κατέχει το μέγιστο ποσοστό κάλυψης της ζωνης "μέτριας" διακινδύνευσης το οποίο μάλιστα υπερβαίνει κατά πολύ τα αντίστοιχα ποσοστά εντός των υπολοίπων Περιφερειακών Ενοτήτων. Επιπλέον, το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης συγκεντρώνουν οι περιοχές "χαμηλής" διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065, οι οποίες εντούτοις εναλλάσσονται με όσες διακρίνονται από "υψηλή" διακινδύνευση ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς, κατά τα τέλη του 21ου αιώνα.

Παράλληλα, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι τα ποσοστά κάλυψης των ζωνών "μέτριας" και "υψηλής" διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα οριακά ταυτίζονται στο μακρινό μέλλον. Εξαίρεση αποτελεί η ΠΕ Ηρακλείου εντός της οποίας υπερτερεί η πρώτη έναντι της δεύτερης ζώνης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει εξίσου η διαχρονική εξέλιξη της ζώνης "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης, η οποία κατά την περίοδο 2081 – 2100 αναμένεται να επεκταθεί μερικώς και στις άλλες Περιφερειακές Ενότητες πέραν αυτής του Ηρακλείου, παρότι δεν φαίνεται να εμφανίζει υψηλά ποσοστά κάλυψης εντός των ορίων τους.

6.3 Αποτελέσματα σύμφωνα με την τρίτη προσέγγιση της AHP

6.3.1 Εκτιμήσεις για την περίοδο 1986 – 2005 (3η προσέγγιση)

Τα αποτελέσματα της τρίτης προσέγγισης της μεθόδου *AHP*, όπως και των προηγούμενων προσεγγίσεων, κατέδειξαν "μέτριο" μέσο επίπεδο διακινδύνευσης (X_{mean} : 44,9775) αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς στην Περιφέρεια Κρήτης κατά την περίοδο αναφοράς 1986 – 2005. Η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης είναι αυτή που κατέχει συνεπώς το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης (49,8%) ως προς τη συνολική επιφάνεια της περιοχής μελέτης, καλύπτοντας έκταση 4.149 km². Όμοια με την πρώτη προσέγγιση, το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης αυτής (32,6%) ειδικότερα διατηρεί η ΠΕ Ηρακλείου. Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο ότι μέσω της τρίτης προσέγγισης της *AHP* προέκυψε το ελάχιστο παρατηρούμενο ποσοστό κάλυψης της εν λόγω ζώνης συγκριτικά με τις άλλες δύο προσεγγίσεις.



Χάρτης 6.15 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 1986 – 2005 (3η προσέγγιση AHP).

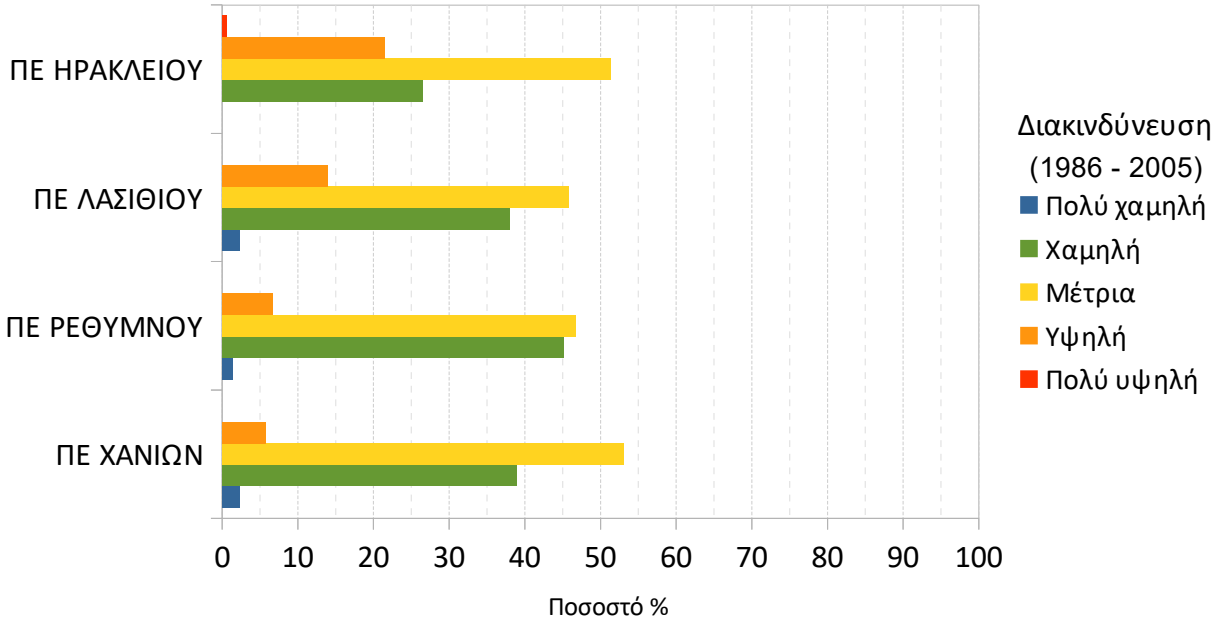
Τις περιοχές που εντάσσονται στη συγκεκριμένη κατηγορία διαδέχονται όσες χαρακτηρίζονται από "χαμηλό" βαθμό διακινδύνευσης, καταλαμβάνοντας συνολική έκταση 2.990 km² η οποία αντιστοιχεί στο 35,9% της επιφάνειας του νησιού.

Όπως διαπιστώθηκε βάσει και των άλλων δύο προσεγγίσεων, στη συνέχεια ακολουθούν οι ζώνες "υψηλής", "πολύ χαμηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης με ποσοστό κάλυψης 12,7%, 1,4% και 0,2% αντίστοιχα. Ειδικότερα, η έκταση που καλύπτει η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης δεν διαφέρει σημαντικά συγκρίνοντας τα στοιχεία των ΠΕ Ηρακλείου (697 km²), Λασιθίου (692 km²) και Ρεθύμνου (677 km²), σε αντίθεση με αυτή των Χανίων όπου οι συναφείς περιοχές εκτείνονται στα 924 km². Επισημαίνεται και πάλι ότι η περιοχή επέκτασης της εν λόγω ζώνης διακρίνεται ως "χαμηλής" ευφλεκτότητας σύμφωνα με την ταξινόμηση των τύπων κάλυψης γης του γεωχωρικού υποβάθρου *CORINE Land Cover (2018).*

Από την άλλη πλευρά, οι ζώνες "υψηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης εκτιμάται ότι καταλαμβάνουν αθροιστικά έκταση περίπου ίση με 1.073 km², εμφανώς αυξημένη σε σχέση με τις τιμές που ανέδειξαν αντίστοιχα οι άλλες δύο προσεγγίσεις της μεθόδου *AHP*. Η ΠΕ Χανίων, πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζει τη μέγιστη αύξηση όσον αφορά τη χωρική κάλυψη των περιοχών "υψηλής" διακινδύνευσης, τόσο συγκριτικά με την πρώτη όσο και με τη δεύτερη προσέγγιση, καθώς η έκτασή τους υπολογίζεται στα 136 km² αντί των 41 km² και 98 km². Σχετικά με τις υπόλοιπες ΠΕ της Κρήτης, το εύρος της ποσοστιαίας μεταβολής κυμαίνεται από 31,4% έως 89% κι από 12,8% έως 16,7% σε σύγκριση με την πρώτη και δεύτερη προσέγγιση της *AHP* αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, η ζώνη "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης, η οποία εξακολουθεί να εντοπίζεται μόνο εντός των ορίων της ΠΕ Ηρακλείου, καλύπτει ακόμα μεγαλύτερη έκταση (16,7 km²) σύμφωνα με την τρίτη προσέγγιση.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει εξίσου η επέκταση της ζώνης "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης αφού εκτιμάται αύξηση του ποσοστού κάλυψής της στην Περιφέρεια Κρήτης κατά 16,7% περίπου σε σχέση με το αντίστοιχο που υπολογίζεται βάσει της πρώτης προσέγγισης της *AHP*. Ειδικότερα, η ζώνη αυτή εκτείνεται στα 118 km² κι απαντάται πρωτίστως στις ΠΕ Χανίων (55 km²) και Λασιθίου (42 km²) όπως και στις δύο προηγούμενες προσεγγίσεις. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι η συνολική έκταση της συγκεκριμένης ζώνης εμφανίζεται ελαττωμένη κατά 28,5% σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή που προσδιορίστηκε σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, αν και η κατανομή της έκτασης αυτής ανά Περιφερειακή Ενότητα δεν διαφοροποιείται σε σημαντικό βαθμό.

Συμπληρωματικά, λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που αποτυπώνονται στο Διάγραμμα 6.18, γίνεται αντιληπτό ότι σχεδόν το 50% της συνολικής έκτασης κάθε Περιφερειακή Ενότητα της Κρήτης καλύπτεται από περιοχές "μέτριας" διακινδύνευσης κατά τη χρονική περίοδο αναφοράς. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με τα δεδομένα της πρώτης προσέγγισης παρατηρείται σχετική μείωση των μεμονωμένων ποσοστών κάλυψης, με τη μεγαλύτερη μεταβολή (22%) να εντοπίζεται για την ΠΕ Ηρακλείου. Εντούτοις, σε σύγκριση με τη δεύτερη προσέγγιση της *AHP* εντοπίζεται και πάλι μεν μείωση, βέβαια μικρότερης τάξης, αλλά χαρακτηριστική είναι επίσης η ελαφρά αύξηση (4,7%) του ποσοστού κάλυψης της εν λόγω ζώνης διακινδύνευσης.



Διάγραμμα 6.18 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα κατά την περίοδο 1986 – 2005 (3η προσέγγιση AHP).

Ακόμη, το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης της ζώνης "υψηλής" διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς διατηρεί η ΠΕ Ηρακλείου (21,5%), ενώ έπονται οι ΠΕ Λασιθίου (13,9%), Ρεθύμνου (6,7%) και Χανίων (5,7%). Αυτή η σειρά κατάταξης δεν διαφέρει ανά προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε, παρότι τα αντίστοιχα ποσοστά κάλυψης αυξάνονται διαδοχικά. Το ίδιο ισχύει και για τη ζώνη "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης καθώς το σχετικό ποσοστό μεταβάλλεται από 0,3% σε 0,6% αναφορικά με την πρώτη και τρίτη προσέγγιση.

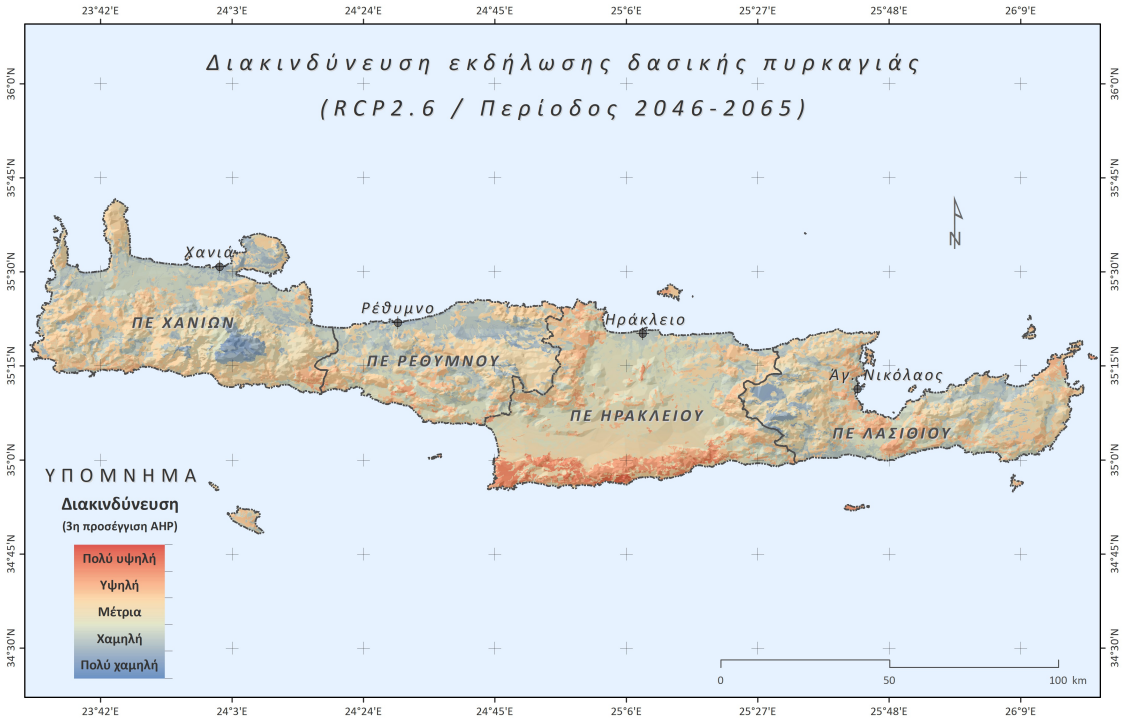
Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από "χαμηλό" βαθμό διακινδύνευσης, από την άλλη μεριά, φαίνεται ότι συρρικνώνονται μερικώς ανά Περιφερειακή Ενότητα, συγκρίνοντας τα στοιχεία της τρίτης προσέγγισης με αυτά της πρώτης και δεύτερης αντίστοιχα, χωρίς όμως να παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις. Εξαίρεση ωστόσο αποτελεί η ΠΕ Ηρακλείου για την οποία το ποσοστό κάλυψης της ζώνης "χαμηλής" διακινδύνευσης, σύμφωνα με την τρίτη προσέγγιση της *AHP*, αυξάνεται κατά 6 ποσοστιαίες μονάδες σε σχέση με τα δεδομένα της πρώτης προσέγγισης. Τέλος, όσον αφορά την επέκταση της ζώνης "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης επίσης δεν εντοπίζονται αξιοσημείωτες μεταβολές μεταξύ των τριών διαφορετικών προσεγγίσεων.

6.3.2 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (3η προσέγγιση)

Η τρίτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 με στόχο την εκτίμηση του δείκτη ενδιαφέροντος κατέδειξε επίσης "μέτριο" βαθμό διακινδύνευσης στην Περιφέρεια Κρήτης στο εγγύς και μακρινό μέλλον με βάση τις προκύπτουσες μέσες τιμές. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι οι τιμές αυτές εμφανίζουν ελαφρά αύξηση συγκριτικά με τα δεδομένα των δύο προηγούμενων προσεγγίσεων. Ειδικότερα, τόσο για την περίοδο 2046 – 2065 (X_{mean} : 47,3981) όσο και για τη μεταγενέστερη περίοδο (X_{mean} : 47,0946), σημειώνεται αύξηση κατά 1,3% και 1,6% αναφορικά με την πρώτη και δεύτερη προσέγγιση αντίστοιχα. Αντίθετα, στην προκειμένη περίπτωση η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης καταλαμβάνει τη μικρότερη έκταση σε σχέση με αυτή που υπολογίζεται βάσει των άλλων δύο προσεγγίσεων της *AHP*. Το ποσοστό κάλυψης της ζώνης αυτής εκτιμάται μάλιστα σε λιγότερο από 50% της συνολικής επιφάνειας του νησιού και για τις δύο μελλοντικές περιόδους εξέτασης.

Στη συνέχεια έπεται η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς, η οποία καταλαμβάνει το 30,9% της επιφάνειας της Κρήτης κατά την περίοδο 2046 – 2065 και αντίστοιχα το 31,5% κατά την περίοδο 2081 – 2100. Όσον αφορά το εγγύς μέλλον πιο συγκεκριμένα το ποσοστό αυτό εμφανίζει σχετική αύξηση (4,7%) σε σύγκριση με τα στοιχεία της πρώτης προσέγγισης ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη εντοπίζεται αντίθετα μικρή μείωση της τάξης του 3,9%.

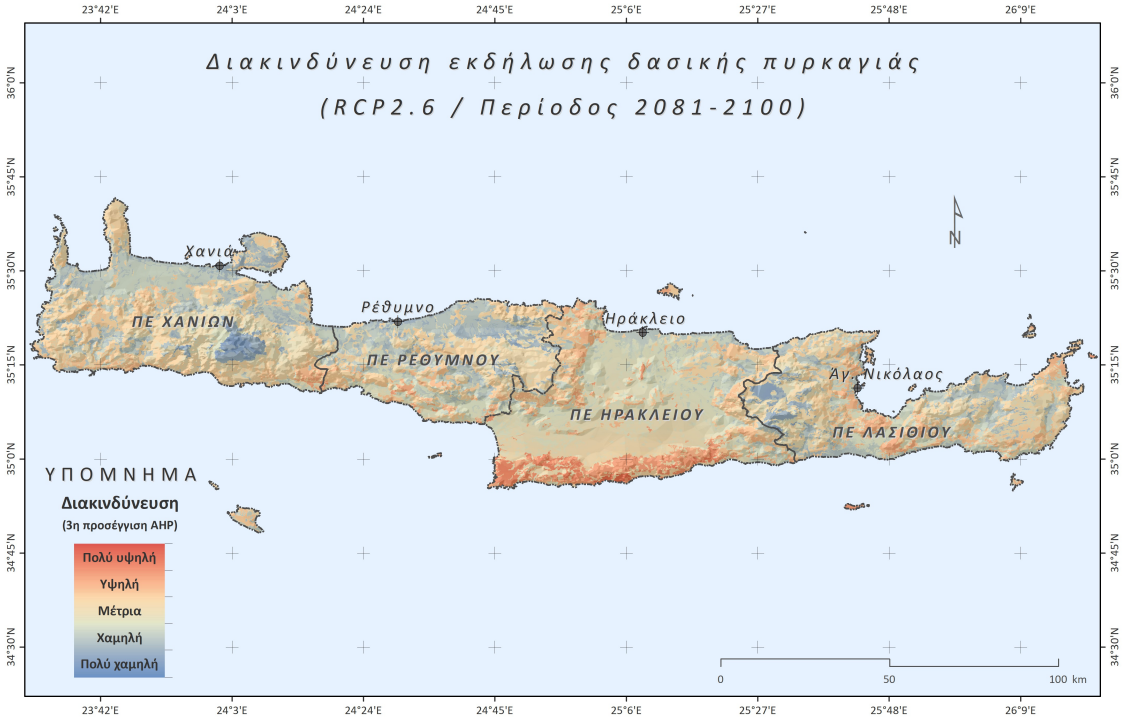
Όμοια για το μακρινό μέλλον παρατηρείται αύξηση του ποσοστού κάλυψης της εν λόγω ζώνης κατά 5% συγκριτικά με τα στοιχεία που ανέδειξε η πρώτη προσέγγιση της *AHP* και μείωση κατά 4,1% σε σχέση με τη δεύτερη. Εντούτοις, παρά τις όποιες διαφοροποιήσεις των τιμών αυτών, οι περιοχές που εντάσσονται στη συγκεκριμένη ζώνη διακινδύνευσης διακρίνονται κατά βάση από "χαμηλή" ευφλεκτότητα κι επομένως πάλι εμπίπτουν στη ζώνη επέκτασης της τελευταίας.



Χάρτης 6.16 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).

Η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης, από την άλλη πλευρά, παρουσιάζει έως τώρα τη μέγιστη επεκτατικότητα συγκριτικά με τα δεδομένα των άλλων δύο προσεγγίσεων καθώς αυτή αναμένεται να καλύψει συνολική έκταση 1.487 km² στο εγγύς μέλλον. Έως τα τέλη του 21ου αιώνα, η εν λόγω έκταση ενδεχομένως να ελαττωθεί κατά 4,7%. Η κατανομή της ωστόσο ανά Περιφερειακή Ενότητα δεν φαίνεται να διαφοροποιείται σημαντικά σε βάθος χρόνου.

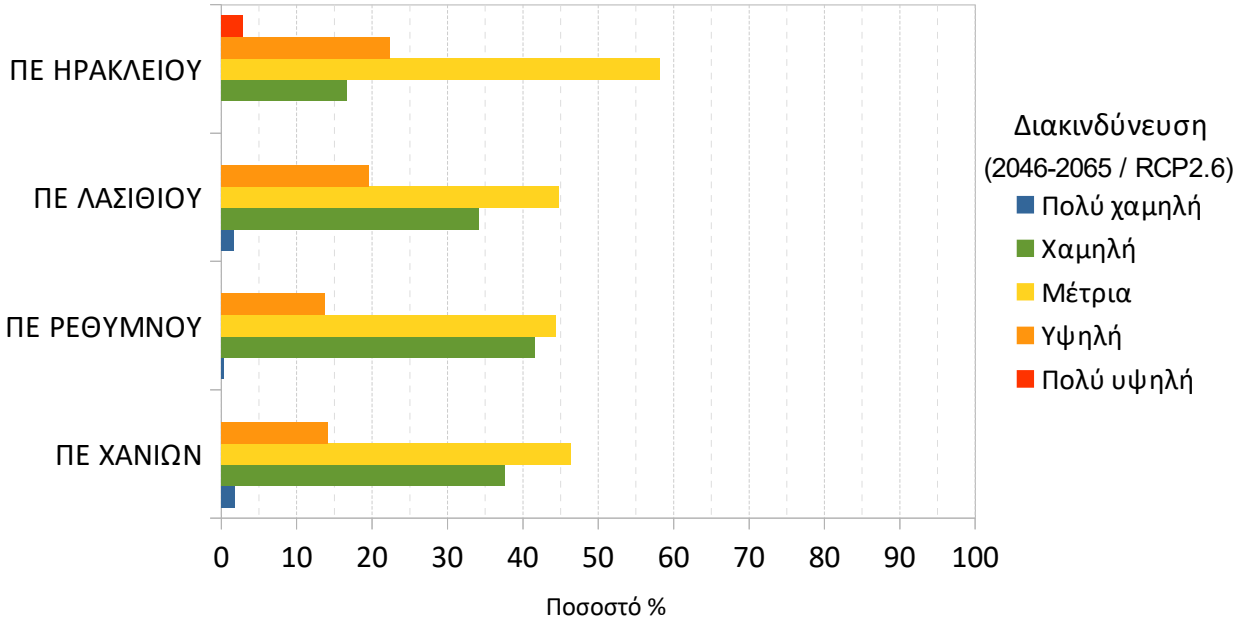
Ειδικότερα, σε σχέση με τα στοιχεία της πρώτης προσέγγισης της μεθόδου *AHP*, η έκταση που καλύπτει η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης σημειώνει αύξηση περίπου κατά 538 και 518 μονάδες αντίστοιχα για την περίοδο 2046 – 2065 και 2081 – 2100. Επιπλέον, η συνολική έκταση των περιοχών που κατατάσσονται σε αυτή την κατηγορία αυξάνεται κατά 154 και 167 μονάδες περίπου στο εγγύς και μακρινό μέλλον σε σύγκριση με τις τιμές που προέκυψαν βάσει της δεύτερης προσέγγισης.



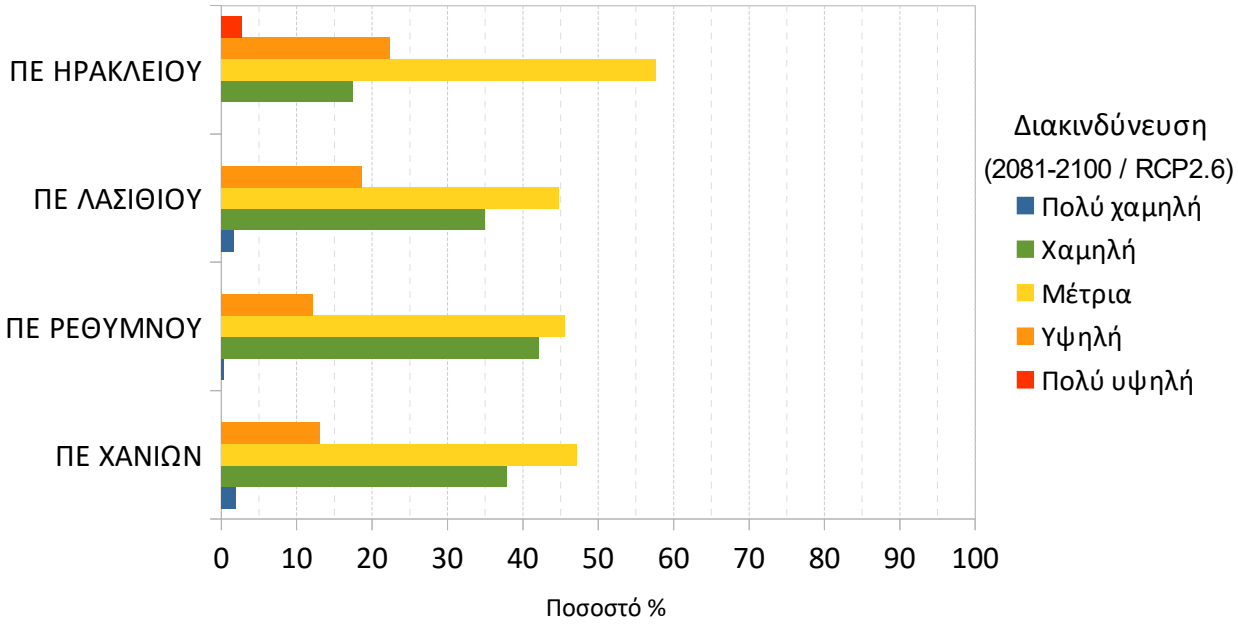
Χάρτης 6.17 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).

Το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης κατέχουν οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από "πολύ χαμηλό" βαθμό διακινδύνευσης οι οποίες πρέπει να σημειωθεί ότι δεν εκτείνονται σε πολύ μεγαλύτερη έκταση από εκείνη που υπολογίζεται για τις περιοχές "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης. Κατά την περίοδο 2046 – 2065, πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι η ζώνη "πολύ χαμηλής" και "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης θα καταλαμβάνει μεμονωμένα σχεδόν το 1% της ολικής έκτασης του νησιού, ενώ σε σχέση με τη μεταγενέστερη περίοδο τα στοιχεία αυτά δεν διαφέρουν ιδιαίτερα.

Παρ' όλα αυτά, επισημαίνεται ότι η τρίτη προσέγγιση της *AHP* κατέδειξε το μέγιστο ποσοστό κάλυψης της ζώνης "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης συγκριτικά με τις προηγούμενες δύο προσεγγίσεις, αν και η επιφάνεια που καλύπτει παρουσιάζει ελαφρά μείωση έως τα τέλη του 21ου αιώνα.



Διάγραμμα 6.19 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).



Διάγραμμα 6.20 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 (3η προσέγγιση AHP).

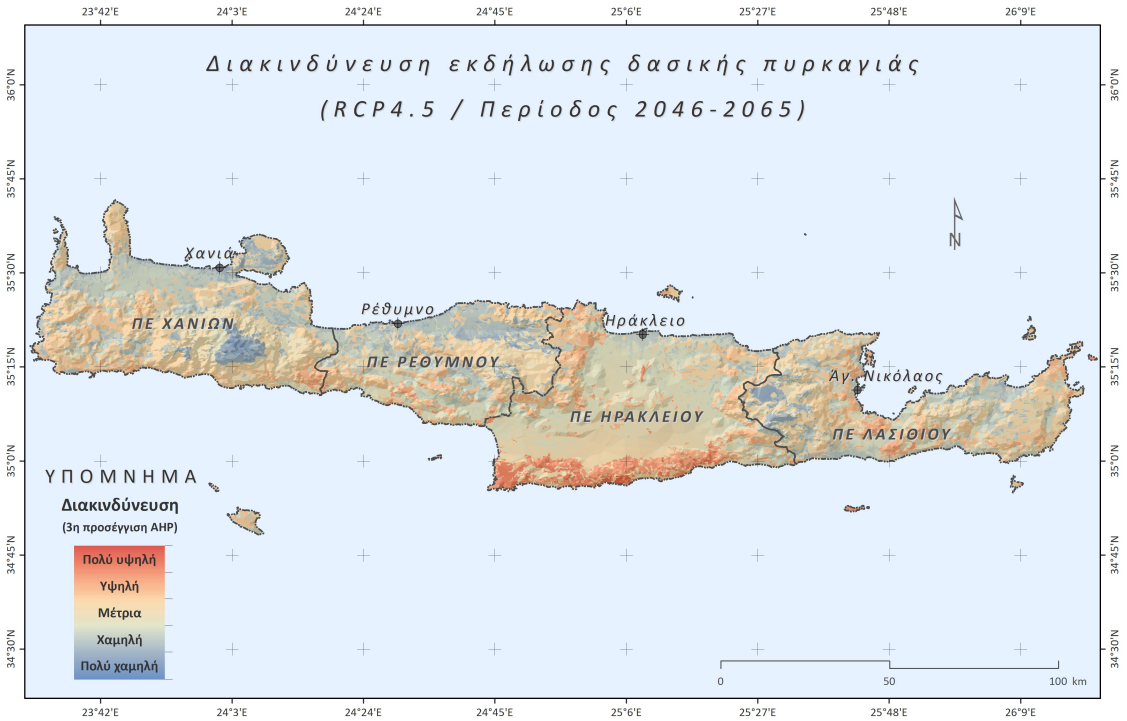
Ανακεφαλαιώνοντας, η τρίτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6 κατέδειξε σε τοπικό επίπεδο, όμοια με τις προηγούμενες προσεγγίσεις, την επικράτηση της ζώνης "μέτριας" διακινδύνευσης έναντι των υπολοίπων. Η ΠΕ Ηρακλείου συγκεκριμένα διατηρεί το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης της εν λόγω ζώνης και για τις δύο χρονικές περιόδους εξέτασης. Επιπλέον, οι περιοχές που διακρίνονται από υψηλό βαθμό διακινδύνευσης κατέχουν διαχρονικά το μέγιστο ποσοστό κάλυψης εντός της ίδιας ΠΕ στην οποία απαντώνται κατ' αποκλειστικότητα και όσες περιοχές χαρακτηρίζονται από "πολύ υψηλή" διακινδύνευση.

Παράλληλα, συγκρίνοντας τα αντίστοιχα στοιχεία των δύο μελλοντικών περιόδων ανά Περιφερειακή Ενότητα, γίνεται κατανοητό ότι το ποσοστό κάλυψης της ζώνης "μέτριας" διακινδύνευσης γενικότερα αναμένεται να αυξηθεί σε βάθος χρόνου, σε αντίθεση με αυτό της ζώνης "υψηλού" βαθμού διακινδύνευσης το οποίο εκτιμάται ότι θα μειωθεί ελάχιστα. Εντούτοις, το ποσοστό κάλυψης των περιοχών "πολύ χαμηλής" και "χαμηλής" διακινδύνευσης πρόκειται να εμφανίσει μικρή αύξηση σε τοπική κλίμακα έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα. Τέλος, όπως συμπεραίνεται και μέσω της διερεύνησης των προηγούμενων δύο προσεγγίσεων, δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες αλλαγές μεταξύ των περιόδων 2046 – 2065 και 2081 – 2100.

6.3.3 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 (3^{η} προσέγγιση)

Η τρίτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* που εφαρμόστηκε σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 κατέδειξε σαφώς υψηλότερες μέσες τιμές του δείκτη διακινδύνευσης συγκριτικά με τις άλλες δύο προσεγγίσεις τόσο κατά την περίοδο 2046 – 2065 (X_{mean} : 48,1663) όσο και κατά το μεταγενέστερο διάστημα 2081 – 2100 (X_{mean} : 49,6474). Ωστόσο, οι τιμές αυτές υποδηλώνουν και πάλι ότι η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης είναι εκείνη που επικρατεί στη μεγαλύτερη έκταση της Περιφέρειας Κρήτης, εκτεινόμενη στα 4.061 km² και 3.955 km² στο εγγύς και μακρινό μέλλον αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, επισημαίνεται πως η επιφάνεια κάλυψής της ελαχιστοποιείται σε σχέση με αυτή που προέκυψε βάσει της πρώτης και δεύτερης προσέγγισης παρουσιάζοντας μείωση κατά 18,3% και 1,9% αναφορικά με την περίοδο 2046 – 2065.

Επιπλέον, μελετώντας τα στοιχεία της μεταγενέστερης περιόδου εξέτασης παρατηρείται διαδοχικά μείωση της συνολικής έκτασης που καλύπτει η εν λόγω ζώνη κατά 19,5% και 1,4%. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι το ποσοστό κάλυψης των περιοχών "μέτριου" βαθμού διακινδύνευσης για το εγγύς (48,8%) και μακρινό μέλλον (47,5%) εμφανίζεται ελαφρώς ελαττωμένο σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά που υπολογίζονται βάσει των δεδομένων του κλιματικού σεναρίου RCP2.6.



Χάρτης 6.18 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).

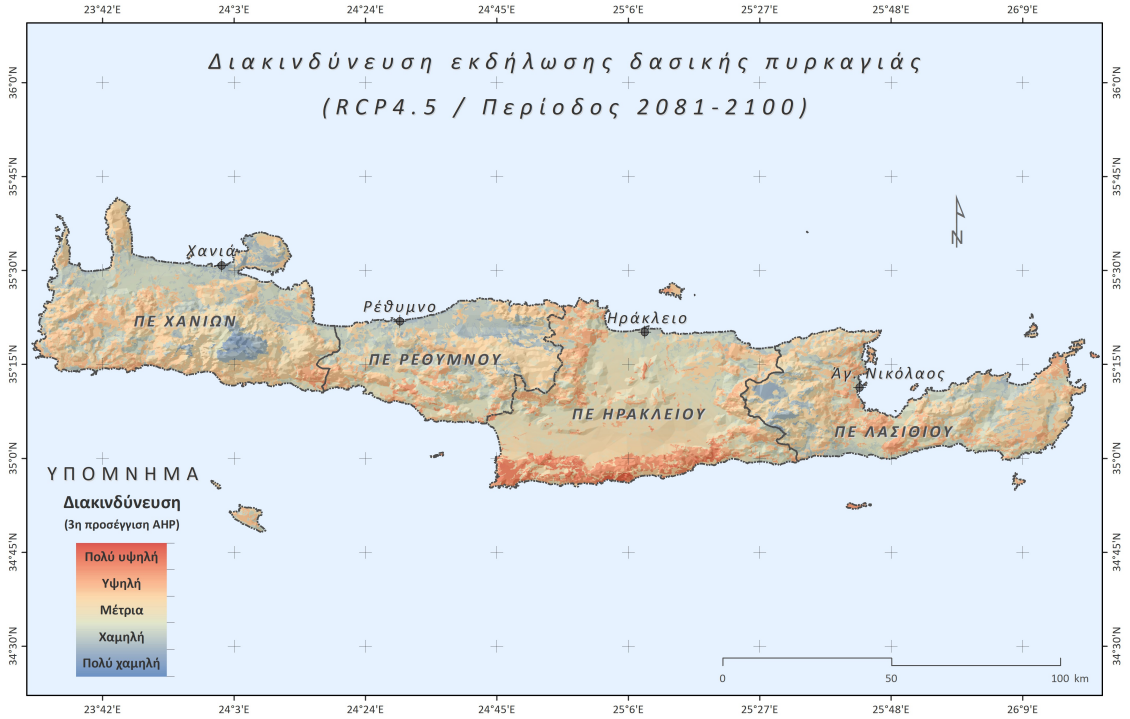
Οι περιοχές που διακρίνονται από "χαμηλή" διακινδύνευση ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς διατηρούν το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης σε ολόκληρη την Περιφέρεια Κρήτης για τις περιόδους 2046 – 2065 (29,7%) και 2081 – 2100 (27,7%). Ωστόσο, αναφέρεται ότι τα αντίστοιχα ποσοστά που αναδείχθηκαν μέσω της πρώτης προσέγγισης της *AHP* είναι συγκριτικά μικρότερα κατά 1,4 και 1,9 μονάδες στο εγγύς και μακρινό μέλλον ενώ αντίθετα αυτά που προέκυψαν μέσω της δεύτερης προσέγγισης είναι μεγαλύτερα κατά 1,2 και 0,9 μονάδες.

Ακόμη, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 με αυτά του πιο "αισιόδοξου" σεναρίου RCP2.6, γίνεται κατανοητό ότι η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν οι περιοχές "χαμηλής" διακινδύνευσης μειώνεται. Εδικότερα, εκτιμάται μείωση σε ποσοστό 4,2% αναφορικά με την περίοδο 2046 – 2065 το οποίο ενισχύεται σε 14% κατά τα τέλη του 21ου αιώνα, σύμφωνα με την τρίτη προσέγγιση της *AHP*.

Από την άλλη πλευρά, οι περιοχές "υψηλής" διακινδύνευσης επεκτείνονται διαχρονικά σε ακομά μεγαλύτερη έκταση, εκτιμώμενη στα 1.926 km² για την περίοδο 2081 – 2100 ένταντι των 1.637 km² που υπολογίζονται για την προγενέστερη περίοδο εξέτασης. Η τρίτη προσέγγιση μάλιστα ανέδειξε το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης της σχετικής ζώνης, σε σχέση με τις δύο προηγούμενες τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον. Για την περίοδο 2046 – 2065, πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση της έκτασης που καλύπτει η συγκεκριμένη ζώνη διακινδύνευσης κατά 53,5% και 11,6% συγκριτικά με τα στοιχεία της πρώτης και δεύτερης προσέγγισης αντίστοιχα. Ανάλογη αύξηση της τάξης του 41,7% και 6,9% εντοπίζεται και για το χρονικό διάστημα 2081 – 2100.

Συμπληρωματικά, οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από "υψηλό" βαθμό διακινδύνευσης αναμένεται να καλύψουν στο εγγύς μέλλον μεγαλύτερο ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας του νησιού (19,7%) από αυτό που καταδεικνύουν τα δεδομένα του κλιματικού σεναρίου RCP2.6 (17,9%). Στα τέλη του 21ου αιώνα δε, το ποσοστό κάλυψης των περιοχών αυτών ανέρχεται σε 23,1% σε αντίθεση με τις εκτιμήσεις βάσει του προ-αναφερόμενου σεναρίου (17,1%).

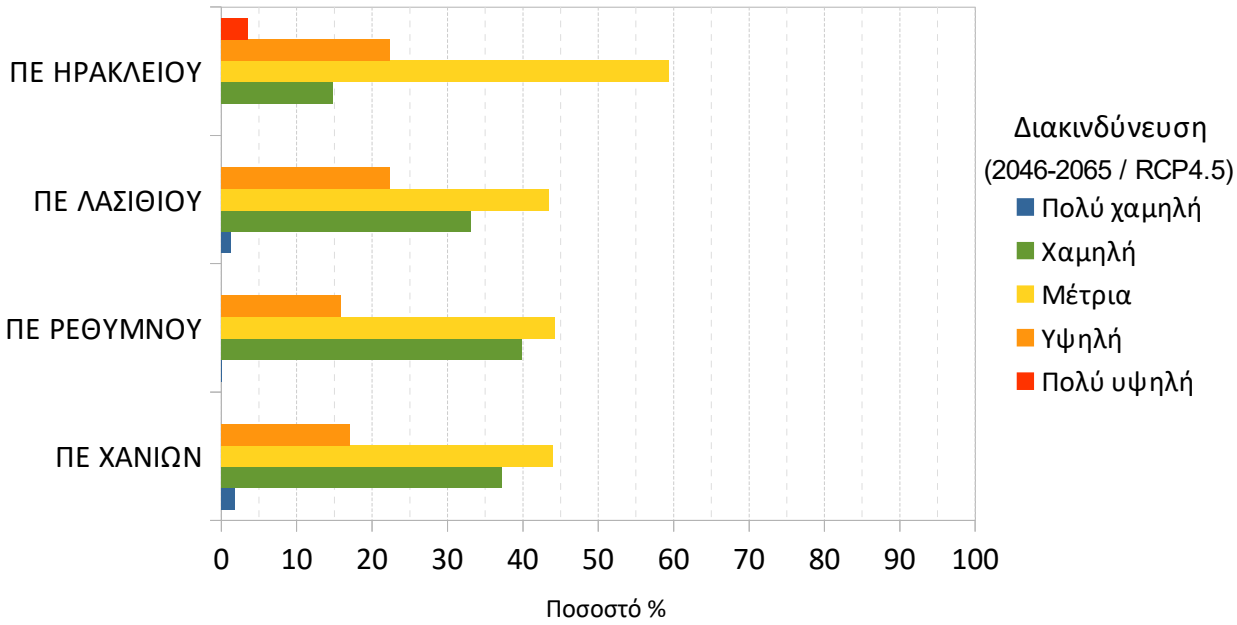
Αξιοσημείωτη είναι επίσης η διαχρονική επέκταση της ζώνης "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης που εντοπίζεται αποκλειστικά στο νότιο τμήμα της ΠΕ Ηρακλείου. Η συνολική επιφάνεια της εν λόγω ζώνης, συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά 8 μονάδες σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο εξέτασης, υπολογιζόμενη περίπου στα 100 km² για την περίοδο 2081 – 2100. Συγκριτικά με τα αντίστοιχα στοιχεία των άλλων δύο προσεγγίσεων της μεθόδου *AHP*, μέσω της τρίτης προσέγγισης αναδείχθηκε το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης αυτής ως προς τη συνολική έκταση της ΠΕ Ηρακλείου, αναφορικά και με τις δύο περιόδους εξέτασης, 2046 – 2065 (3,5%) και 2081 – 2100 (3,8%). Αξίζει να αναφερθεί ακόμη ότι τα ποσοστά αυτά υπερτερούν σημαντικά έναντι εκείνων που προκύπτουν αντίστοιχα για το εγγύς (2,9%) και μακρινό μέλλον (2,7%) σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP2.6.



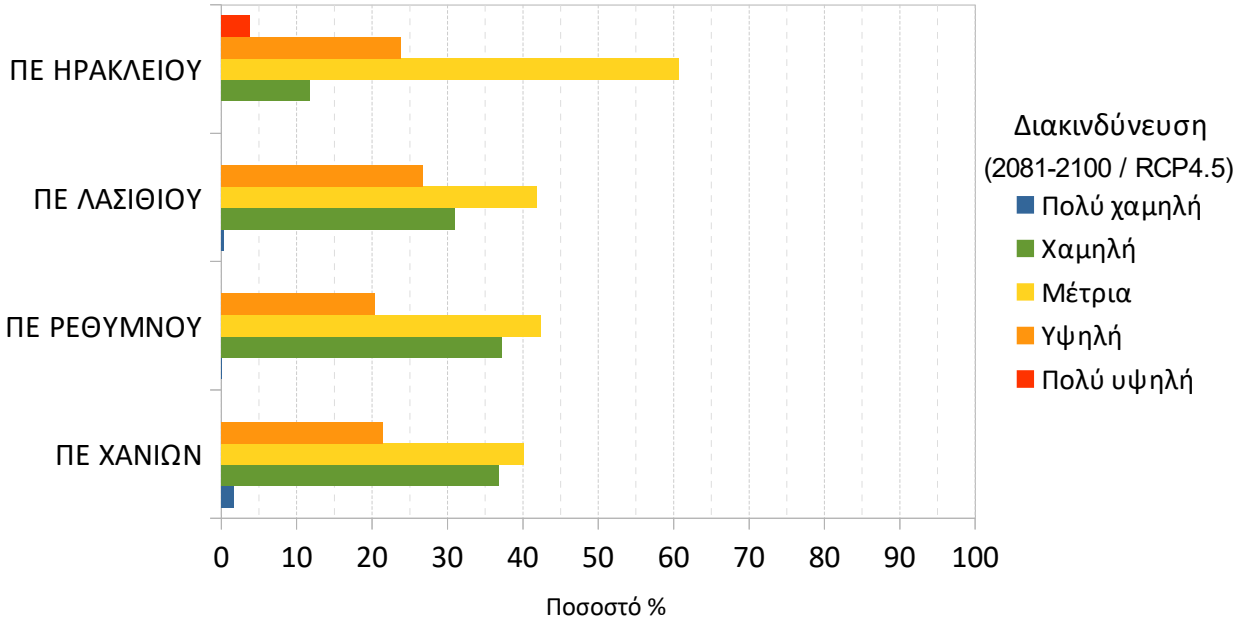
Χάρτης 6.19 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).

Εντούτοις, όσον αφορά τις περιοχές που εντάσσονται στην κατηγορία “πολύ χαμηλής” διακινδύνευσης καθίσταται σαφές ότι η επιφάνειά τους πρόκειται να ελαττωθεί έως τα τέλη του 21ου αιώνα, εκτιμώμενη σε 45 km² εντός της Περιφέρειας Κρήτης. Κατά την περίοδο 2046 – 2065, η έκταση των περιοχών αυτών εμφανίζεται μεν αυξημένη σε ποσοστό 48% συγκριτικά με την αναμενόμενη για το μεταγενέστερο διάστημα, παραμένει δε ελαφρώς μικρότερη σε σχέση με εκείνη που προσδιορίζεται σύμφωνα με την δεύτερη προσέγγιση της *AHP*.

Για την ίδια χρονική περίοδο, τα στοιχεία καταδεικνύουν αντίθετα αύξηση της συνολικής επιφάνειας που καλύπτει η συγκεκριμένη ζώνη διακινδύνευσης κατά 54,4% σε σύγκριση με τα αντίστοιχα δεδομένα της πρώτης προσέγγισης. Ανάλογες είναι κι οι μεταβολές που διαπιστώνονται για την περίοδο 2081 – 2100 ανά προσέγγιση της *AHP*. Συγκρίνοντας ακόμη τα δεδομένα που προέκυψαν βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP4.5 με αυτά του πιο “αισιόδοξου” σεναρίου RCP2.6, γίνεται κατανοητό ότι στην πρώτη περίπτωση οι περιοχές “πολύ χαμηλού” βαθμού διακινδύνευσης καταλαμβάνουν σαφώς μικρότερη έκταση στο εγγύς και μακρινό μέλλον.



Διάγραμμα 6.21 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).



Διάγραμμα 6.22 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (3η προσέγγιση AHP).

Συνοψίζοντας, με βάση τα στοιχεία που ανέδειξε η τρίτη προσέγγιση της *AHP* αναφορικά με το κλιματικό σενάριο RCP4.5, η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης διατηρεί το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης σε τοπικό επίπεδο, το οποίο εκτιμάται περίπου σε 45% ανά Περιφερειακή Ενότητα για την περίοδο 2046 – 2065. Ωστόσο, μικρή πτώση σε 40% περίπου σημειώνεται κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, με εξαίρεση την ΠΕ Ηρακλείου εντός της οποίας το ποσοστό κάλυψης της ζώνης αυτής υπερβαίνει το 60% παρουσιάζοντας αύξηση κατά 1,4 μονάδες σε σχέση με την εκτίμηση της προηγούμενης περιόδου αναφοράς. Επιπλέον, η ίδια μαζί με την ΠΕ Λασιθίου εμφανίζονται αρκετά επιβαρυμένες στο εγγύς μέλλον καθώς η ζώνη "υψηλού" βαθμού διακινδύνευσης αναμένεται να καλύψει λίγο παραπάνω από το 22% της έκτασής τους, αν και σε βάθος χρόνου η επιφάνειά της φαίνεται ότι θα αυξηθεί σημαντικά εντός όλων των Περιφερειακών Ενοτήτων της Κρήτης.

Χαρακτηριστική είναι εξίσου η διαχρονική επέκταση της ζώνης "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Τέλος, όσον αφορά τις περιοχές που διακρίνονται από "χαμηλή" και "πολύ χαμηλή" διακινδύνευση ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς, εκτιμάται ότι αυτές θα συρρικνωθούν κατά την περίοδο 2081 – 2100 εντός των ορίων του νησιού, κατέχοντας σχεδόν μηδενικό ποσοστό κάλυψης σε κάθε Περιφερειακή Ενότητα, εξαιρουμένης αυτής των Χανίων (1,6%).

6.3.4 Εκτιμήσεις βάσει του κλιματικού σεναρίου RCP8.5 (3^{η} προσέγγιση)

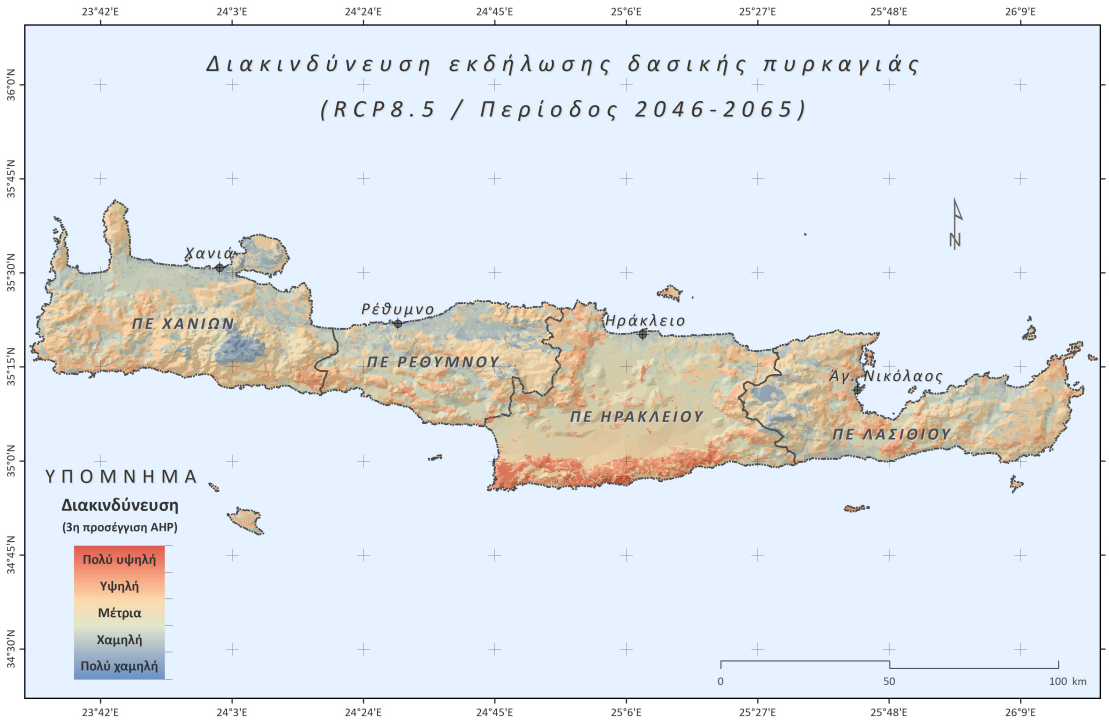
Ύστερα από την εφαρμογή της τρίτης προσέγγισης της *AHP* διαπιστώθηκε πως η Περιφέρεια Κρήτης διακρίνεται από "μέτριο" βαθμό διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για το εγγύς και μακρινό μέλλον. Ειδικότερα, βάσει του πιο "απαισιόδοξου" κλιματικού σεναρίου RCP8.5 το μέσο επίπεδο διακινδύνευσης αναμένεται να αυξηθεί κατά 9% έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα (X_{mean} : 54,2987) σε σύγκριση με το εκτιμώμενο επίπεδο της περίοδου 2046 – 2065 (X_{mean} : 49,8118).

Η έκταση που καλύπτουν οι περιοχές "μέτριας" διακινδύνευσης, ωστόσο, παρουσιάζει σχετική μείωση της τάξης του 8,5% κατά την περίοδο 2081 – 2100 σε σχέση με το προγενέστερο χρονικό διάστημα εξέτασης, γεγονός το οποίο αποδίδεται εν μέρει στην ταυτόχρονη χωρική εξάπλωση της ζώνης "υψηλού" βαθμού διακινδύνευσης.

Επιπλέον, η έκταση αυτή δεν φαίνεται να διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό από εκείνη που προσδιορίζεται μέσω της δεύτερης προσέγγισης της *AHP* για τις δύο μελλοντικές περιόδους, αν και συγκριτικά με τα στοιχεία της πρώτης προσέγγισης εντούτοις εμφανίζεται αρκετά μειωμένη. Επισημαίνεται ακόμη ότι το ποσοστό κάλυψης της αντίστοιχης ζώνης διακινδύνευσης σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης υπολογίζεται στο 47,2% για το εγγύς μέλλον, ενώ αυτό δεν υπερβαίνει το 43,6% κατά τη μεταγενέστερη περίοδο αναφοράς. Οι συγκεκριμένες τιμές λοιπόν είναι σαφώς μικρότερες από εκείνες που ανέδειξαν αντίστοιχα τα κλιματικά σενάρια RCP2.6 και RCP4.5.

Από την άλλη πλευρά, η συνολική επιφάνεια των περιοχών που εντάσσονται στην κατηγορία "χαμηλής" διακινδύνευσης εκτιμάται σε 2.302 km² για το εγγύς μέλλον διατηρώντας το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης στην Περιφέρεια Κρήτης. Οι περιοχές αυτές ωστόσο πρόκειται να συρρικνωθούν κατά 46,4% έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα καταλαμβάνοντας συγκριτικά τη μικρότερη έκταση που προσδιορίζεται βάσει των τριών κλιματικών σεναρίων. Η εν λόγω τάση είναι διακριτή και σε τοπικό επίπεδο καθώς η ζώνη "χαμηλού" βαθμού διακινδύνευσης δεν αναμένεται να καλύψει περισσότερο από το 30% της έκτασης κάθε Περιφερειακής Ενότητας μεμονωμένα, κατά την περίοδο 2081 – 2100. Χαρακτηριστική είναι εξίσου η παντελής απουσία των περιοχών που διακρίνονται ως "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης για το ίδιο χρονικό διάστημα, μολονότι στο εγγύς μέλλον εκείνες εξακολουθούν να εντοπίζονται εντός των ορίων του νησιού, σε μικρή βέβαια έκταση.

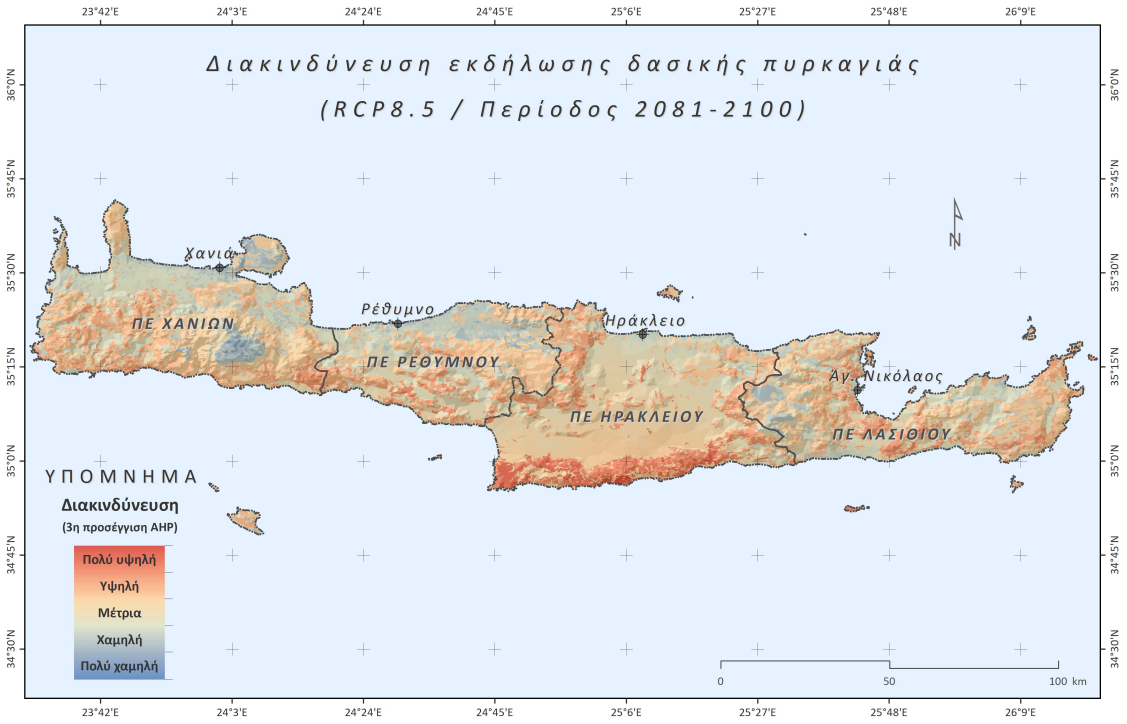
Η ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης πρόκειται να εμφανίσει το αμέσως υψηλότερο ποσοστό κάλυψης στην περιοχή μέλετης μετά από αυτό που κατέχει η ζώνη μέτριου βαθμού διακινδύνευσης κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα. Ειδικότερα, η έκταση που εκτιμάται να καλύψει υπολογίζεται σε 2.904 km² σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 48,9% σε σχέση με τα στοιχεία της περιόδου 2046 – 2065. Αξίζει να αναφερθεί ότι η συνολική επιφάνεια της εν λόγω ζώνης μεγιστοποιείται σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της τρίτης προσέγγισης της *AHP* συγκριτικά με αυτές των άλλων δύο προσεγγίσεων, τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον, γεγονός που αποτυπώνεται χωρικά και σε επίπεδο Περιφερειακής Ενότητας.



Χάρτης 6.20 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2046 – 2065 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).

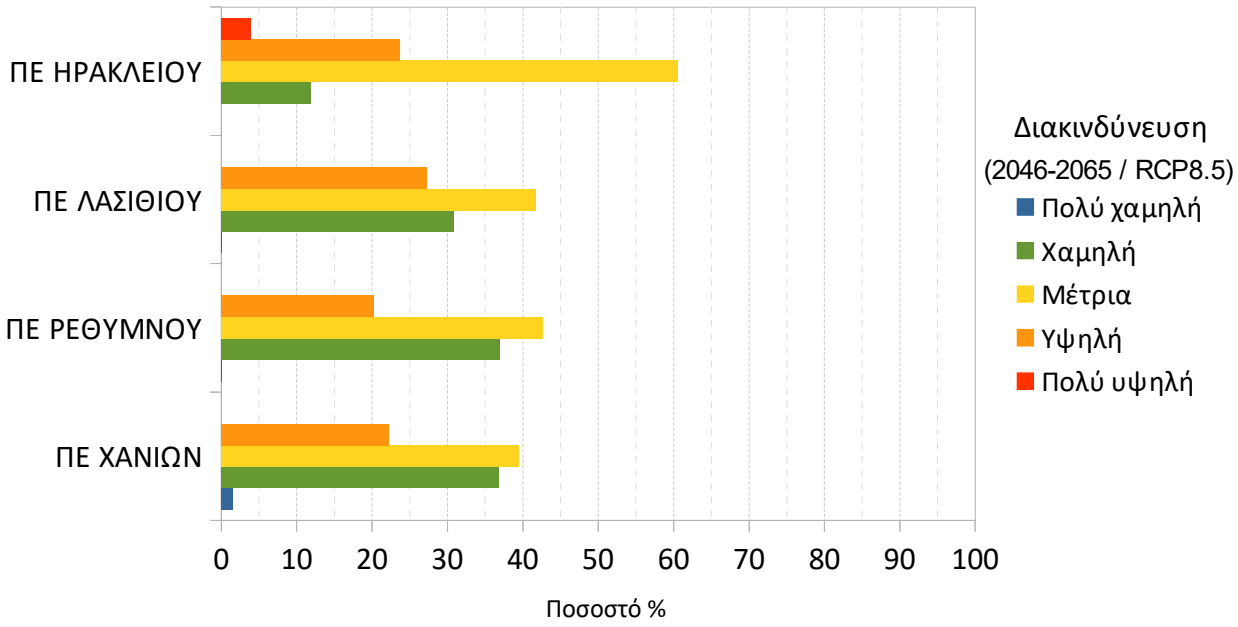
Επιπρόσθετα, το ποσοστό κάλυψης των περιοχών "υψηλής" διακινδύνευσης στην Περιφέρεια Κρήτης ανέρχεται στο 23,4% κατά την περίοδο 2046 – 2065 και αντίστοιχα στο 34,9% κατά το μεταγενέστερο χρονικό διάστημα εξέτασης. Τα ποσοστά αυτά υπερτερούν έναντι εκείνων που ανέδειξαν τα κλιματικά σενάρια RCP2.6 και RCP4.5 συγκεκριμένα κατά 5,5 και 3,7 μονάδες, αναφορικά με το εγγύς μέλλον και αντίστοιχα κατά 17,8 και 11,8 μονάδες, αναφορικά με την περίοδο 2081 – 2100.

Η ζώνη "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης, τέλος, απαντάται μόνο εντός της ΠΕ Ηρακλείου, αποκλειστικά στο νότιο τμήμα της, με βάση τις εκτιμήσεις για την περίοδο 2046 – 2065. Εντούτοις, κατά τα τέλη του 21ου αιώνα η ζώνη αυτή αναμένεται να επεκταθεί και σε ορισμένες περιοχές που βρίσκονται εντός των ορίων όλων των υπολοίπων Περιφερειακών Ενοτήτων, των οποίων όμως η έκταση θα μπορούσε να θεωρηθεί αμελητέα. Για το ίδιο χρονικό διάστημα, η συνολική επιφάνεια της εν λόγω ζώνης διακινδύνευσης εκτιμάται περίπου στα 225 km² σημειώνοντας αύξηση σχεδόν κατά 121 μονάδες έναντι της προγενέστερης περιόδου εξέτασης.

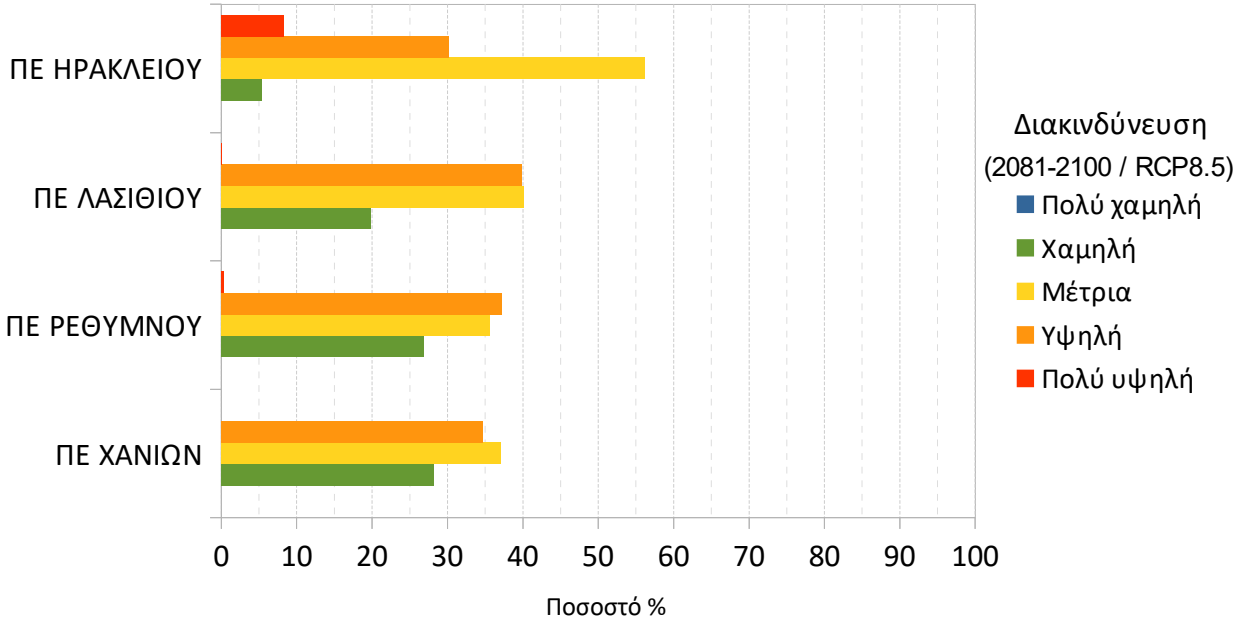


Χάρτης 6.21 Βαθμός διακινδύνευσης κατά την περίοδο 2081 – 2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).

Συμπληρωματικά, επισημαίνεται ότι η τρίτη προσέγγιση της *AHP* κατέδειξε τα υψηλότερα ποσοστά κάλυψης αυτής της ζώνης σε σύγκριση με τις άλλες δύο προσεγγίσεις, τα οποία αντιστοιχούν στο 3,9% της έκτασης της ΠΕ Ηρακλείου για το εγγύς μέλλον και στο 8,3% αυτής για την περίοδο 2081 – 2100. Σαφώς υψηλότερα εμφανίζονται επίσης τα προηγούμενα ποσοστά σε σχέση με εκείνα που προέκυψαν αντίστοιχα βάσει των κλιματικών σεναρίων RCP2.6 και RCP4.5.



Διάγραμμα 6.23 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).



Διάγραμμα 6.24 Ποσοστό κάλυψης των ζωνών διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο μακρινό μέλλον σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (3η προσέγγιση AHP).

Ανακεφαλαιώνοντας, οι περιοχές της Κρήτης που διακρίνονται από "μέτριο" βαθμό διακινδύνευσης αναφορικά με την εκδήλωση δασικής πυρκαγιάς διατηρούν το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης κατά τις περιόδους 2046 – 2065 και 2081 – 2100 με βάση το "απαισιόδοξο" κλιματικό σενάριο RCP8.5 και την τρίτη προσέγγιση της *AHP*. Όπως αναδείχθηκε και μέσω των άλλων δύο προσεγγίσεων, η ζώνη "χαμηλής" διακινδύνευσης κατέχει το αμέσως μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης ανά Περιφερειακή Ενότητα στο εγγύς μέλλον, αν και εκτιμάται ότι σε βάθος χρόνου αυτή θα αντικατασταθεί από την ζώνη "υψηλής" διακινδύνευσης στη σειρά κατάταξης.

Έως τα τέλη 21^{ου} αιώνα, οι περιοχές "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης αναμένεται επίσης να έχουν επεκταθεί σε ακόμα μεγαλύτερη έκταση από εκείνη που υπολογίζεται αντίστοιχα βάσει της πρώτης και δεύτερης προσέγγισης της *AHP*. Αντίθετα, οι περιοχές που εντάσσονται στην κατηγορία "πολύ χαμηλής" διακινδύνευσης πρόκειται σταδιακά να εξαλειφθούν.

Τέλος, διευκρινίζεται ότι τα στοιχεία που προέκυψαν σύμφωνα με την τρίτη προσέγγιση της μεθόδου *AHP* δεν διαφοροποιούνται αισθητά από αυτά που ανέδειξε αντίστοιχα η δεύτερη. Τα αποτελέσματα της πρώτης έναντι της τρίτης προσέγγισης ωστόσο καταδεικνύουν αρκετά υψηλότερα ποσοστά κάλυψης της ζώνης "μέτριας" διακινδύνευσης ανά Περιφερειακή Ενότητα, ενώ παράλληλα υποδηλώνουν και χαμηλότερα ποσοστά κάλυψης των περιοχών "υψηλού" βαθμού διακινδύνευσης δασικής πυρκαγιάς.

Συμπεράσματα

Το μοντέλο διακινδύνευσης το οποίο αναπτύχθηκε σύμφωνα με του μεθοδολογικό πλαίσιο που προτείνεται από τον Γερμανικό Οργανισμό Διεθνούς Συνεργασίας (GIZ & EURAC, 2017) κατά την εκπόνηση της παρούσας ερευνητικής εργασίας, συντέλεσε καθοριστικά στην εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με την ενδεχόμενη μελλοντική εκδήλωση δασικών πυρκαγιών στην Περιφέρεια Κρήτης. Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν ανά χρονική περίοδο εξέτασης (1986 – 2005 / 2046 – 2065 / 2081 – 2100) και κλιματικό σενάριο (RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5), καθίσταται σαφές ότι ο δείκτης ενδιαφέροντος αναμένεται να εμφανίσει διαχρονικά αυξητική τάση ως προς τη μέση τιμή του.

Ειδικότερα, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που βασίστηκαν στο κλιματικό σενάριο RCP8.5, η μέση τιμή του δείκτη διακινδύνευσης πρόκειται να σημειώσει αύξηση της τάξης του 20% περίπου έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα σε σχέση με τα παρατηρούμενα επίπεδα της περιόδου αναφοράς (1986 – 2005). Για το ίδιο χρονικό διάστημα επιπλέον αναμένεται αύξηση κατά 4,7 και 10,5 ποσοστιαίες μονάδες αντίστοιχα με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP2.6 και RCP4.5. Οι τιμές αυτές μάλιστα δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό, διερευνώντας μεμονωμένα τα παραγόμενα δεδομένα των τριών προσεγγίσεων της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (*AHP*) που εφαρμόστηκαν.

Με στόχο την εύρεση των συντελεστών βαρύτητας κάθε δείκτη κινδύνου, έκθεσης και τρωτότητας που συνθέτει το μοντέλο διακινδύνευσης, διαπιστώθηκε ότι η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (*AHP*) συνιστά μια ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδο η οποία αποδίδει εξίσου ικανοποιητικά σε σύγκριση με τη στατιστική ανάλυση που εφαρμόζεται αντίστοιχα από τους Bacciu et al. (2021) στη σχετική μελέτη. Αξίζει να σημειωθεί ακόμη πως οι τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς τον τρόπο διεξαγωγής των συγκρίσεων ανά ζεύγη δεικτών δεν επιφέρουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των τελικών αποτελεσμάτων καθώς οι προκύπτουσες τιμές των συντελεστών βαρύτητας κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα. Ωστόσο, δεν μπορεί να παραβλεφθεί το γεγονός ότι μέσω της καθεμιάς προσέγγισης αναδεικνύεται και η μέγιστη συμβολή διαφορετικών δεικτών στη δόμηση του εν λόγω μοντέλου διακινδύνευσης.

Επιπρόσθετα, η χωρική ανάλυση που υλοποιήθηκε μέσω του λογισμικού ArcMap συνέβαλε στην ανάδειξη των πιο ευάλωτων περιοχών της νήσου ως προς την εμφάνιση δασικής πυρκαγιάς σε βάθος χρόνου. Αυτές ταυτίζονται πρωτίστως με τις ζώνες δασώδους βλάστησης και δευτερευόντως με τις εκτάσεις που διακρίνονται από υψηλή ευφλεκτότητα, ενώ ακόμα κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι η παρουσία τους είναι έκδηλη στο νότιο τμήμα της ΠΕ Ηρακλείου η οποία συγκεντρώνει το μέγιστο ποσοστό χωρικής κάλυψης των περιοχών "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης σύμφωνα με όλα τα κλιματικά σενάρια, τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον. Εντούτοις, επισημαίνεται ότι η ζώνη "μέτριας" διακινδύνευσης είναι εκείνη που κυριαρχεί διαχρονικά σε ολόκληρη την Περιφέρεια Κρήτης αλλά και εντός των ορίων κάθε Περιφερειακής Ενότητας ξεχωριστά.

Παρότι λοιπόν το διαμορφωμένο μοντέλο διακινδύνευσης επιτέλεσε επιτυχώς τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης, η ελλιπή διαθεσιμότητα των στοιχείων που συνθέτουν τους παράγοντες έκθεσης και τρωτότητας, όσον αφορά τις χρονικές περιόδους 2046 – 2065 και 2081 – 2100, θέτει σαφείς περιορισμούς στην εκτίμηση του τελικού δείκτη ενδιαφέροντος. Ειδικότερα, μέσω της παραδοχής που έγινε αποδεκτή -ότι όλες οι συνθήκες πέραν όσων καθορίζονται από τη διακύμανση του δείκτη *Fire Weather Index* (*FWI*) παραμένουν αμετάβλητες- η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εν μέρει ελαττώνεται. Η αξιοποίηση ενός πλήρους κι έγκυρου συνόλου δεδομένων, το οποίο έχει προέλθει από κατάλληλες διαδικασίες προσομοίωσης των μελλοντικών συνθηκών, επομένως μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στην εξασφάλιση της βέλτιστης αποδοτικότητας του μοντέλου διακινδύνευσης.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας κατέδειξαν τη σταδιακή επέκταση των ζωνών "υψηλής" έως "πολύ υψηλής" διακινδύνευσης στην Περιφέρεια Κρήτης και συγχρόνως τη συρρίκνωση των λιγότερο ευάλωτων περιοχών μεταξύ των χρονικών περιόδων εξέτασης, έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα. Συμπερασματικά, γίνεται κατανοητό ότι η πιθανότητα εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς μεγιστοποιείται διαχρονικά, γεγονός το οποίο αναπόφευκτα θα έχει άμεσο αντίκτυπο στη "γαλάζια" οικονομία του νησιού επιδρώντας καταλυτικά στη βιώσιμη τουριστική ανάπτυξη.

Έχοντας λοιπόν επίγνωση της δυσχερούς κατάστασης που αναμένεται πλέον με σχετική βεβαιότητα να πλήξει το μεγαλύτερο μέρος της Περιφέρειας Κρήτης, το συγκεκριμένο μοντέλο διακινδύνευσης θα μπορούσε, εν κατακλείδι, να αποτελέσει εξίσου ένα χρήσιμο εργαλείο για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Σε αυτό το πλαίσιο, η συμβολή του κρίνεται μείζονος σημασίας για την υποστήριξη των αποφάσεων που αφορούν τα μακρο-πρόθεσμα μέτρα πρόληψης και διαχείρισης των κινδύνων που ενέχει η δυνητική εκδήλωση δασικών πυρκαγιών υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Alberdi Asensio, I., Baycheva-Merger, T., Bouvet, A., Bozzano, M., Caudullo, G., Cienciala, E., Corona, P., Domínguez Torres, G., Houston Durrant, T., Edwards, D., Estreguil, C., Ferreti, M., Fischer, U., Freudenschuss, A., Gasparini, P., Godinho Ferreira, P., Hansen, K., Hiederer, R., Inhaizer, H., … Zingg, A. (2015). State of Europe's forests 2015. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (FOREST EUROPE). Madrid, Spain.

Alexandrian, D., & Esnault, F. (1999). FAO meeting on public policies affecting forest fires. FAO Forestry Paper. Rome, Italy: FAO. Retrieved September 12, 2021 from https://www.fao.org/publications/card/en/c/e0977f97-06a3-5b5b-b9a2-f9de8877d269/

Allen, M.R., Dube, O.P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., Perez, R., Wairiu, M., & Zickfeld, K. (2018). Framing and Context. In V., Masson-Delmotte, P., Zhai, H.O., Pörtner, D., Roberts, J., Skea, P.R., Shukla, A., Pirani, W., Moufouma-Okia, C., Péan, R., Pidcock, S., Connors, J.B.R., Matthews, Y., Chen, X., Zhou, M.I., Gomis, E., Lonnoy, T., Maycock, M., Tignor, & T., Waterfield (Eds.). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 49-92). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157940.003

Anderson, H.E. (1970). Forest fuel ignitibility. *Fire Technology*, *6*, 312-319. https://doi.org/10.1007/BF02588932

Bacciu, V., Hatzaki, M., Karali, A., Cauchy, A., Giannakopoulos, C., Spano, D., & Briche, E. (2021). Investigating the climate-related risk of forest fires for Mediterranean islands' blue economy. *Sustainability*, *13*(18), 10004. https://doi.org/10.3390/su131810004

Badia, A., Saurí, D., Cerdan, R., & Llurdés J.C. (2002). Causality and management of forest fires in Mediterranean environments: an example from Catalonia. *Environmental Hazards*, *4*, 23-32. https://doi.org/10.3763/ehaz.2002.0403

Bedia, J., Herrera, S., Camia, A., Moreno, J.M., & Gutiérrez, J.M. (2014). Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Climatic Change*, *122*, 185-199. https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z

Camia, A., & Amatulli, G. (2009). Weather factors and fire danger in the Mediterranean. In E., Chuvieco (Ed.). *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems* (pp. 71-82). Berlin, Germany: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01754-4_6

Challot, A. (1990). Sylvo-pastoralisme : de quoi s'agit-il ?. Revue forestière française, AgroParisTech, 42 (S), pp.173-179. https://doi.org/10.4267/2042/26131

Chelli, S., Maponi, P., Campetella, G., Monteverde, P., Foglia, M., Paris, E., Lolis, A., & Panagopoulos, T. (2014). Adaptation of the Canadian Fire Weather Index to Mediterranean forests. *Natural Hazards*, *75*, 1795–1810. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1397-8

Cherif, S., Doblas-Miranda, E., Lionello, P., Borrego, C., Giorgi, F., Iglesias, A., Jebari, S., Mahmoudi, E., Moriondo, M., Pringault, O., Rilov, G., Somot, S., Tsikliras, A., Vila, M., & Zittis, G. (2020). Drivers of change. In W., Cramer, J., Guiot, & K., Marini (Eds.). *Climate and environmental change in the Mediterranean basin - Current situation and risks for the future*. *First Mediterranean Assessment Report*. Marseille, France: Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP. https://doi.org/10.5281/zenodo.4768833

Corona, P., Ferrari, B., Cartisano, R., & Barbati, A. (2014). Calibration assessment of forest flammability potential in Italy. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, *7*(5), 300-305. https://doi.org/10.3832/ifor1123-007

Countryman, C.M. (1976). Heat - Its role in wildland fire. Part 3 - Heat conduction and wildland fire. Berkeley, CA: United States Forest Service. Retrieved September 4, 2021 from https://www.frames.gov/documents/behaveplus/publications/Countryman_1976_Part3_ HeatConductionWildlandFire_blue_ocr.pdf

de Rigo, D., Bosco, C., San-Miguel-Ayanz, J., Houston Durrant, T., Barredo, J.I., Strona, G., Caudullo, G., Di Leo, M., & Boca, R. (2016). Forest resources in Europe: an integrated perspective on ecosystem services, disturbances and threats. In J., San-Miguel-Ayanz, D., de Rigo, G., Caudullo, T., Houston Durrant, & A., Mauri (Eds.). *European atlas of forest tree species* (pp. 8-19). Luxembourg: Publication Office of the European Union. Retrieved September 2, 2021 from https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/european-atlas/atlas-download-page/

de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Artés Vivancos, T., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Forest fire danger extremes in Europe under climate change: Variability and uncertainty. EUR 28926 EN, Luxembourg: Publication Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/13180

Dimitrakopoulos, A.P., Bemmerzouk, A.M., & Mitsopoulos, I.D. (2011). Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment. *Meteorological Applications*, *18*(1), 83-93. https://doi.org/10.1002/met.214

Dupuy, J.L. (2009). Fire start and spread. In Y., Birot (Ed.). *Living with wildfire: what science can tell us* (pp. 27-31). Discussion Paper 15. Joensuu, Finland: European Forest Institute.

European Commission (2010). Forest Fires in Europe 2009 – EUR 24502 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, pp. 1-88. https://doi.org/10.2788/74089

European Commission (2013). Evalsed Sourcebook: Method and Techniques. Brussels: European Commission. Retrieved October 26, 2021 from https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/evalsed-sourcebook-method-and-techniques

European Environment Agency (2004). Impacts of Europe's Changing Climate: An Indicator-Based Assessment. EEA Report No 2/2004. Copenhagen, Denmark: Office for Official Publications of the European Communities. Retrieved November 11, 2021 from https://www.eea.europa.eu/publications/climate_report_2_2004

Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K.A., Stocks, B.J., & Wotton, B.M. (2006). Forest fires and climate change in the 21st century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *11*(4), 847-859. http://dx.doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7

Food and Agriculture Organization (2006). Fire management: voluntary guidelines. Principles and strategic actions. Fire Management Working Paper 17. Rome, Italy: Forest Resources Development Service, Forest Management Division, Forestry Department, FAO. Retrieved September 7, 2021 from https://www.fao.org/3/j9255e/j9255e00.htm

Food and Agriculture Organization & United Nations Environment Programme (2020). The State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people. Rome, Italy: FAO and UNEP. https://doi.org/10.4060/ca8642en

Founda, D., & Giannakopoulos, C. (2009). The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece – A typical summer in the future climate?. *Global and Planetary Change*, *67*(3-4), 227-236. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.03.013

Founda, D., Giannakopoulos, C., Sarantopoulos, A., Petrakis, M., & Zerefos, C. (2008). Estimating present and future fire risk in Greece: Links with the destructive fires of summer 2007. *Geophysical Research Abstracts*, *10*, EGU2008-A-07848.

Franke, R. (1982). Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. *Computer and Mathematics with Applications*, *8*(4), 273–281. Retrieved November 4, 2021 from https://core.ac.uk/download/pdf/36732510.pdf

Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bollin, C., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., & Kahlenborn, W. (2014). The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. Bonn and Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Retrieved October 14, 2021 from https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=203

Fujioka, F.M., Gill, A.M., Viegas, D.X. & Wotton, B.M. (2008). Chapter 21: Fire Danger and Fire Behavior Modeling Systems in Australia, Europe, and North America. In A., Bytnerowicz, M., Arbaugh, A., Riebau, & C., Andersen (Eds.). *Developments in Environmental Science* (Vol. 8, pp. 471-497). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1474-8177(08)00021-1

Gan, X., Fernandez, I.C., Guo, J., Wilson, M., Zhao, Y., Zhou, B., & Wu, J. (2017). When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. *Ecological Indicators*, *81*, 491–502. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.068

Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., & Lampin, C. (2012). A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe. *Environmental Management*, *51*, 651–662. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z

Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, P., Moriondo, M., Kostopoulou, E., & Goodess, C.M. (2009). Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming. *Global and Planetary Change*, *68*(3), 209-224. http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.06.001

Gill, A.M., & Moore, P.H.R. (1996). Ignitibility of leaves of Australian plants: A contract report to the Australian flora foundation. Canberra, Australia: Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Plant Industry. Retrieved September 7, 2021 from http://aff.antl.com.au/wp-content/uploads/Gill_ignitibility_final.pdf

GIZ & EURAC (2017). Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Retrieved October 14, 2021 from https://www.adaptationcommunity.net/publications/risk-supplement-to-the-vulnerability-sourcebook/

Goepel, K.D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, *10* (3), 469-487. https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590

Good, P., Moriondo, M., Giannakopoulos, C., & Bindi, M.C. (2008). The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: relevance to climate model studies. *International Journal of Wildland Fire*, *17*, 155–165. https://doi.org/10.1071/WF07001

Henderson, M., Kalabokidis, K., Marmaras, E., Konstantinidis, P., & Marangudakis, M. (2005). Fire and Society: A Comparative Analysis of Wildfire in Greece and the United States, *Human Ecology Review*, *12*(2), 169-182. Retrieved September 6, 2021 from http://www.jstor.org/stable/24707531

Ho, W., Xu, X., & Dey, P.K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: a literature review. *European Journal of Operational Research*, *202*(1), 16-24. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009

Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R., & Zhou, G. (2018). Impacts of 1.5ºC Global Warming on Natural and Human Systems. In V., Masson-Delmotte, P., Zhai, H.O., Pörtner, D., Roberts, J., Skea, P.R., Shukla, A., Pirani, W., Moufouma-Okia, C., Péan, R., Pidcock, S., Connors, J.B.R., Matthews, Y., Chen, X., Zhou, M.I., Gomis, E., Lonnoy, T., Maycock, M., Tignor, & T., Waterfield (Eds.). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 175-312). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157940.005

Iliadis, L.S., Papastavrou, A.K., & Lefakis, P.D. (2002). A computer-system that classifies the prefectures of Greece in forest fire risk zones using fuzzy sets. *Forest Policy and Economics*, *4*, 43-54. ISSN: 1389-9341.

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved October 8, 2021 from https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/

IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC. Retrieved October 10, 2021 from https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/

IPCC (2014a). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved October 26, 2021 from https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/

IPCC (2014b). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC. Retrieved October 11, 2021 from https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

IPCC (2018). Summary for Policymakers. In V., Masson-Delmotte, P., Zhai, H.O., Pörtner, D., Roberts, J., Skea, P.R., Shukla, A., Pirani, W., Moufouma-Okia, C., Péan, R., Pidcock, S., Connors, J.B.R., Matthews, Y., Chen, X., Zhou, M.I., Gomis, E., Lonnoy, T., Maycock, M., Tignor, & T., Waterfield (Eds.). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 8-24). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157940.001

IPCC (2021). Summary for Policymakers. In V., Masson-Delmotte, P., Zhai, A., Pirani, S.L., Connors, C., Péan, S., Berger, N., Caud, Y., Chen, L., Goldfarb, M.I., Gomis, M., Huang, K., Leitzell, E., Lonnoy, J.B.R., Matthews, T.K., Maycock, T., Waterfield, O., Yelekçi, R., Yu, & B., Zhou (Eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of*

Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved June 9, 2022 from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Jappiot, M., Gonzalez-Olabarria, J.R., Mampin-Mailler, C., & Borgniet, L. (2009). Assessing wildfire risk in time and space. In Y., Birot (Ed.). *Living with wildfire: what science can tell us. A contribution to the science-policy dialogue* (pp. 41-47). JRC55146. Joensuu, Finland: European Forest Institute. Retrieved September 3, 2021 from http://firefficient.ctfc.cat/docs/Living%20with%20wildfires.pdf

Jia, G., Shevliakova, E., Artaxo, P., De Noblet-Ducoudré, N., Houghton, R., House, J., Kitajima, K., Lennard, C., Popp, A., Sirin, A., Sukumar, R., & Verchot, L. (2019). Land–climate interactions. In P.R., Shukla, J., Skea, E., Calvo Buendia, V., Masson-Delmotte, H.O., Pörtner, D.C., Roberts, P., Zhai, R., Slade, S., Connors, R., van Diemen, M., Ferrat, E., Haughey, S., Luz, S., Neogi, M., Pathak, J., Petzold, J., Portugal Pereira, P., Vyas, E., Huntley, … J., Malley (Eds.). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 131-248). Retrieved October 16, 2021 from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/05_Chapter-2.pdf

Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J., & Bowman, D.M.J.S. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, *6*, 1-11 https://doi.org/10.1038/ncomms8537

Kalabokidis, K., Gatzojannis, S., & Galatsidas, S. (2002). Introducing wildfire into forest management planning: towards a conceptual approach. *Forest Ecology and Management*, *158*(1-3), 41-50. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00715-5

Karanikola, P., Tampakis, S., Manolas, E., & Papalinardos, I. (2011). The 2007 forest fires in the prefecture of Ilia: the views of citizens with regard to the actions taken before, during and after the fires. *International Journal of Environmental Studies*, *68*(5), 687-701. https://doi.org/10.1080/00207233.2011.590302

Little, R.J.A., & Rubin, D.B. (2002). Statistical Analysis with Missing Data. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. http://dx.doi.org/10.1002/9781119013563

Mancini, L.D., Corona, P., & Salvati, L. (2018). Ranking the importance of Wildfires' human drivers through a multi-model regression approach. *Environmental Impact Assessment Review*, *72*, 177-186. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.06.003

Martin, R.E., Gordon, D.A., Gutierrez, M.E., Lee, D.S., Molina, D.M., Schroeder, R.A., Sapsis, D.B., Stephens, S.L., & Chambers, M. (1994). Assessing the flammability of domestic and wildland vegetation. In 'Proceedings of the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology', 26–28 October 1993, pp. 130–137, Society of American Foresters.

McDowell, N.G., & Allen, C.D. (2015). Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nature Climate Change*, *5*, 669-672. https://doi.org/10.1038/nclimate2641

MedECC (2020). Summary for Policymakers. In W., Cramer, J., Guiot, & K., Marini (Eds.). *Climate and environmental change in the Mediterranean basin - Current situation and risks for the future*. *First Mediterranean Assessment Report*. Marseille, France: Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP. https://doi.org/10.5281/zenodo.4768833

Mitáš, L., & Mitášová, H. (1988). General variational approach to the interpolation problem. *Computer and Mathematics with Applications*, *16*(12), 983–992. https://doi.org/10.1016/0898-1221(88)90255-6

Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., & Corte-Real, J. (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research*, *31*, 85-95. https://doi.org/10.3354/cr031085

Moritz, M.A., Parisien, M.A., Batllori, E., Krawchuk, M.A., Van Dorn, J., Ganz, D.J., & Hayhoe, K. (2012). Climate change and disruptions to global fire activity. *Ecosphere*, *3*(6), 1-22. http://dx.doi.org/10.1890/ES11-00345.1

Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., & Wilbanks, T.J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747-756. https://doi.org/10.1038/nature08823

Mouillot, F., Rambal, S., & Joffre, R. (2002). Simulating climate change impacts on fi re frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem. *Global Change Biology*, *8*(5), 423-437. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00494.x

Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., … Dadi, Z. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental*

Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved October 28, 2021 from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). Tools for Composite Indicators Building. European Comission. EUR 21682 EN. JRC31473. Ispra, Italy: Institute for the Protection and Security of the Citizen. Retrieved October 20, 2021 from https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC31473

Olsson, L., Barbosa, H., Bhadwal, S., Cowie, A., Delusca, K., Flores-Renteria, D., Hermans, K., Jobbagy, E., Kurz, W., Li, D., Sonwa, D.J., & Stringer, L. (2019). Land Degradation. In P.R., Shukla, J., Skea, E., Calvo Buendia, V., Masson-Delmotte, H.O., Pörtner, D.C., Roberts, P., Zhai, R., Slade, S., Connors, R., van Diemen, M., Ferrat, E., Haughey, S., Luz, S., Neogi, M., Pathak, J., Petzold, J., Portugal Pereira, P., Vyas, E., Huntley, … J., Malley (Eds.). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 345-436). Retrieved October 16, 2021 from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/07_Chapter-4.pdf

Oppenheimer, M., Campos, M., Warren, R., Birkmann, J., Luber, G., O'Neill, B., & Takahashi, K. (2014). Emergent risks and key vulnerabilities. In C.B., Field, V.R., Barros, D.J., Dokken, K.J., Mach, M.D., Mastrandrea, T.E., Bilir, M., Chatterjee, K.L., Ebi, Y.O., Estrada, R.C., Genova, B., Girma, E.S., Kissel, A.N., Levy, S., MacCracken, P.R., Mastrandrea, & L.L.White (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1039-1099). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.024

Organisation for Economic Cooperation and Development (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. Paris, France: OECD publishing. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en

Pausas, J.G. (2004). Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change*, *63*, 337-350. https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000018508.94901.9c

Pérez, B., Cruz, A., Fernandez-Gonzalez, F., & Moreno, J.M. (2003). Effects of the recent land-use history on the postfire vegetation of uplands in Central Spain. *Forest Ecology and Management*, *182*, 273-283. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00069-0

Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B., & Tryjanowski, P. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In M.L., Parry, O.F., Canziani, J.P., Palutikof, P.J., van der Linden, & C.E., Hanson (Eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 79-131). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved October 18, 2021 from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter1-1.pdf

Saaty, R.W. (1987). The analytic hierarchy process: What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9, 161-176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8

Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York, NY: McGraw-Hill International Book Company. Retrieved October 25, 2021 from https://www.worldcat.org/search?qt=worldcat_org_all&q=0070543712

Saisana, M., & Tarantola, S. (2002). State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development. EUR 20408 EN. Ispra, Italy: European Commission, Joint Research Centre. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1505.1762

San-Miguel-Ayanz, J., & Camia, A. (2009). Forest fires at a glance: Facts, figures and trends in the EU. In Y., Birot (Ed.). *Living with wildfires: What science can tell us. A contribution to the science-policy dialogue* (pp. 11-18). JRC55146. Joensuu, Finland: European Forest Institute. Retrieved September 3, 2021 from http://firefficient.ctfc.cat/docs/Living%20with%20wildfires.pdf

San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Libertà, G., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., Maianti, P., Vivancos, T.A., Oom, D., Pfeiffer, H., Nuijten, D., & Leray, T. (2018). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018. ISBN 978-92-76-11234-1. https://doi.org/10.2760/1128

San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J.M., & Camia, A. (2013). Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management*, *294*, 11-22. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.050

San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Strobl, P., Liberta, G., Giovando, C., Boca, R., Sedano, F., Kempeneers, P., McInerney, D., Withmore, C., Santos de Oliveira, S., Rodrigues, M., Durrant, T., Corti, P., Oehler, F., Vilar, L., & Amatulli, G. (2012) Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: the European Forest Fire Information System (EFFIS). In J., Tiefenbacher (Ed.). *Approaches to Managing Disaster – Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts* (pp. 87–108). Rijeka, Croatia: InTechOpen. https://doi.org/10.5772/28441

Saura-Mas, S., Paula, S., Pausas, J.G., & Lloret, F. (2010). Fuel loading and flammability in the Mediterranean Basin woody species with different post-fire regenerative strategies. *International Journal of Wildland Fire*, *19*(6), 783-794. https://doi.org/10.1071/WF09066

Simon, H.A. (1960). The new science of management decision. New York, NY: Harper and Brothers Publishers. Retrieved October 22, 2021 from https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.b3376401&view=1up&seq=7

Sirca, C., Salis, M., Arca, B., Duce, P., & Spano, D. (2018). Assessing the performance of fire danger indexes in a Mediterranean area. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, *11*(5), 563-571. https://doi.org/10.3832/ifor2679-011

Solomon, S., Dube, K., Stone, K., Yu, P., Kinnison, D., Toon, O.B., Strahan, S.E., Rosenlof, K.H., Portmann, R., Davis, S., Randel, W., Bernath, P., Boone, C., Bardeen, C.G., Bourassa, A., Zawada, D., & Degenstein, D. (2022). On the stratospheric chemistry of midlatitude wildfire smoke. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(10), 1-9. https://doi.org/10.1073/pnas.2117325119

Sommers, W.T., Coloff, S.G., & Conard, S.G. (2011). Synthesis of Knowledge: Fire history and climate change. Report Submitted to the Joint Fire Science Program for Project (09-2-01-09). pp. 190 + 6 Appendices. Retrieved November 15, 2021 from http://digitalcommons.unl.edu/jfspsynthesis/19

Tampakis, S., Papageorgiou, A., Karanikola, P., Arabatzis, G., & Tsantopoulos, G. (2005). The forest fires in the Mediterranean from a policy point of view. *New Medit*, *4*(3), 47-51. Retrieved September 20, 2021 from https://newmedit.iamb.it/share/img_new_medit_articoli/109_47tampakis.pdf

Tobler, W.R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region.*Economic Geography*, *46*, 234-240. https://doi.org/10.2307/143141

Trabaud, L. (1976). Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéennes. *Oecologia Plantarum*, *11*, 117-136. Retrieved September 4, 2021 from https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201303049599

Triantaphyllou, E., Shu, B., Nieto Sanchez, S., & Ray, T. (1998). Multi-criteria decision making: An operations research approach. In J.G., Webster (Ed.). *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering* (pp. 175-186). New York, NY: John Wiley & Sons. Retrieved October 22, 2021 from https://www.researchgate.net/publication/284107964_Multi-criteria_decision_making_An_operations_research_approach

United Nations (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. New York, NY: United Nations General Assembly. Retrieved October 25, 2021 from https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf

United Nations Environment Programme (2019). Emissions Gap Report 2019: Executive summary. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme. Retrieved November 7, 2021 from https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020

Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., & Rose, S.K. (2011). The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, *109*, 5-31. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z

Van Wagner, C.E. (1974). The structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Publication 1333. pp. 44. Chalk River, Ontario: Canadian Forest Service. Retrieved September 11, 2021 from https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=24864

Van Wagner, C.E. (1987). Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report vol. 35. Ottawa, Canada: Canadian Forestry Service. Retrieved September 11, 2021 from https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927

Williams, A.P., Allen, C.D., Macalady, A.K., Griffin, D., Woodhouse, C.A., Meko, D.M., Swetnam, T.W., Rauscher, S.A., Seager, R., Grissino-Mayer, H.D., Dean, J.S., Cook, E.R., Gangodagamage, C., Cai, M., & McDowell, N.G. (2012). Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, *3*, 292-297. https://doi.org/10.1038/nclimate1693

Williams, C.A., Gu, H., MacLean, R., Masek, J.G., & Collatz, G.J. (2016). Disturbance and the carbon balance of US forests: a quantitative review of impacts from harvests, fires, insects, and droughts. *Global and Planetary Change*, *143*, 66-80. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.06.002

World Wildlife Fund (2001). An analysis of key issues that underlie forest fires and shape subsequent fire management strategies in 12 countries in the Mediterranean basin. Final Report May 200l. WWF project 9Z0731.0l. Retrieved September 1, 2021 from https://ec.europa.eu/environment/forests/pdf/meeting140504_wwfsecondocument.pdf

Wotton, B.M., & Beverly, J.L. (2005). Stand specific litter moisture content calibrations for the Canadian Fine Fuel Moisture Code. *International Journal of Wildland Fire*, *16*(4), 463-472. Retrieved September 15, 2021 from https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=27473

Xanthopoulos, G., Calfapietra, C., & Fernandes, P. (2012). Fire Hazard and Flammability of European Forest Types. In F., Moreira, M., Arianoutsou, P., Corona, & J., De las Heras (Eds.). *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. Managing Forest Ecosystems*, vol 24. Dordrecht, Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8_4

Zopounidis, C. (1999). Multicriteria decision aid in financial management. *European Journal of Operational Research*, *119*, 404-415. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00142-3

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

Αγιοβλασίτης, Η.Π. (2011). Δημιουργία μοντέλων διαχείρισης δασικών πυρκαγιών και σχεδίαση χαρτών επικινδυνότητας σε ζώνες μείξης δάσους κατοικιών της Αττικής. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών. https://doi.org/10.12681/eadd/30302

Επιτροπή για τις Προοπτικές Διαχείρισης Πυρκαγιών Δασών και Υπαίθρου (2019). Έκθεση της Ανεξάρτητης Επιτροπής που έχει συσταθεί με την Πρωθυπουργική Απόφαση Υ60 (ΦΕΚ 3937/Β/2018) για την ανάλυση των υποκείμενων αιτιών και τη διερεύνηση των προοπτικών διαχείρισης των μελλοντικών πυρκαγιών δασών και υπαίθρου στην Ελλάδα. Αθήνα, Ιανουάριος, 2019. Ανακτήθηκε 16 Σεπτεμβρίου, 2021 από https://government.gov.gr/report-on-landscape-fires-in-greece/

Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (2011a). Μεταβολές στην ένταση και την κατανομή των φυσικών καταστροφών. Αθήνα: Τράπεζα της Ελλάδος. Ανακτήθηκε 23 Οκτωβρίου, 2021 από https://www.bankofgreece.gr/trapeza/koinwnikh-eythynh/viwsimotita-klimatikh-allagh/emeka/ereyna

Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (2011b). Οικονομικές και φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στα δάση και τα δασικά οικοσυστήματα της Ελλάδας. Αθήνα: Τράπεζα της Ελλάδος. Ανακτήθηκε 23 Οκτωβρίου, 2021 από https://www.bankofgreece.gr/trapeza/koinwnikh-eythynh/viwsimotita-klimatikh-allagh/emeka/ereyna

Καϊλίδης, Δ., & Καρανικόλα, Π. (2004). Δασικές Πυρκαγιές: 1900 – 2000. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη. ISBN: 960-7425-83-9.

Καλαμποκίδης, Κ., Ηλιόπουλος, Ν., & Γλιγλίνος, Δ. (2013). Πυρο-Μετεωρολογία και συμπεριφορά δασικών πυρκαγιών σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα. Αθήνα: Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ. ISBN: 978-960-508-045-7.

Κουτσόπουλος, Κ. (2005). Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και ανάλυση χώρου. Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Κωνσταντινίδης, Π. (2003). Μαθαίνοντας να ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Χριστοδουλίδη. ISBN: 960-8183-37-5.

Μακρυκώστας-Πυργιώτης, Ε. (2018). Διαχείριση και αντιμετώπιση κινδύνου δασικών πυρκαγιών με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). Μεταπτυχιακή διατριβή. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών. Ανακτήθηκε 14 Οκτωβρίου, 2021 από https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2836742/theFile

Μητσόπουλος, Ι. (2005). Ανάλυση και διαχείριση πυρκαγιών κόμης σε δάση χαλεπίου πεύκης. Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος. https://doi.org/10.26262/heal.auth.ir.39681

Ξανθόπουλος, Γ., & Βαρελά, Β. (1999). Κατανομή της επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα με βάση τα στοιχεία της περιόδου 1983-1993. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 10*(2), 178-190. ISSN: 1105-9478.

Παγκύπρια Ένωση Δασολόγων (2016). Έκθεση εισηγήσεων για την ενίσχυση της δασοπυρόσβεσης στην Κύπρο. Λευκωσία, Κύπρος: Παγκύπρια Ένωση Δασολόγων. Ανακτήθηκε 11 Σεπτεμβρίου, 2021 από http://capf-forests.eu/docs/DosopyrosvesiFinal.pdf

Ταμπάκης, Σ., & Καρανικόλα, Π. (2015). Δασικές πυρκαγιές και κοινωνία. Ορεστιάδα: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων. Ανακτήθηκε 19 Σεπτεμβρίου, 2021 από https://perivallonkai epikoinonia.wordpress.com/δασικές-πυρκαγιές-και-κοινωνία/

Τσαγκάρη, Κ., Καρέτσος, Γ., & Προύτσος, Ν. (2011). Δασικές πυρκαγιές Κρήτης, 1983-2005. Αθήνα: WWF Ελλάς, ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ. σελ. 192, ISBN: 978-960-7506-25-2. Ανακτήθηκε 16 Οκτωβρίου, 2021 από http://www.oikoskopio.gr/pyroskopio/ pdfs/pyrkagies-ellada.pdf

Διαδικτυακοί σύνδεσμοι

- https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2019-0079_EL.html
- https://www.fireservice.gr/el/synola-dedomenon
- https://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technical-background/fire-danger-forecast/
- https://bpmsg.com/ahp/
- https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/inform-index/InDepth/Methodology
- https://www.crete.gov.gr/perifereia/
- http://www.ecovalue-crete.eu/el/news/379
- https://www.incrediblecrete.gr/mountains/
- https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012
- https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/2011
- https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM04/2011
- https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SEL57/-
- https://insete.gr/perifereies/
- https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa
- https://geodata.gov.gr/dataset/oria-nomon-el-stat

Παράρτημα

Πρώτο επίπεδο	Δεύτερο επίπεδο	Τρίτο επίπεδο
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1. Αστικός ιστός	1.1.1. Συνεχής αστικός ιστός
		1.1.2. Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2. Βιομηχανικές-εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1. Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
		1.2.2. Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
		1.2.3. Ζώνες λιμένων
		1.2.4. Αεροδρόμια
	1.3. Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1. Χώροι εξορύξεως ορυκτών
		1.3.2. Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
		1.3.3. Χώροι οικοδόμησης
	1.4. Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1. Περιοχές αστικού πρασίνου
		1.4.2. Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1. Αρόσιμη γη	2.1.1. Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
		2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
		2.1.3. Ορυζώνες
	2.2. Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1. Αμπελώνες
		2.2.2. Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
		2.2.3. Ελαιώνες
	2.3. Λιβάδια	2.3.1. Λιβάδια
	2.4. Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1. Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες
		2.4.2. Σύνθετες καλλιέργειες
		2.4.3. Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
		2.4.4. Γεωργο-δασικές περιοχές

3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1. Δάση	3.1.1. Δάσος πλατύφυλλων
		3.1.2. Δάσος κωνοφόρων
		3.1.3. Μικτό δάσος
	3.2. Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.1. Φυσικοί βοσκότοποι
		3.2.2. Θάμνοι και χερσότοποι
		3.2.3. Σκληροφυλλική βλάστηση
		3.2.4. Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3. Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1. Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές
		3.3.2. Απογυμνωμένοι βράχοι
		3.3.3. Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
		3.3.4. Αποτεφρωμένες εκτάσεις
		3.3.5. Παγετώνες και αέναο χιόνι
4. Υγρότοποι	4.1. Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1. Βάλτοι στην ενδοχώρα
		4.1.2. Τυρφώνες
	4.2. Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	4.2.1. Παραθαλάσσιοι βάλτοι
		4.2.2. Αλυκές
		4.2.3. Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1. Χερσαία ύδατα	5.1.1. Υδατορρεύματα
		5.1.2. Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2. Θαλάσσια ύδατα	5.2.1. Παράκτιες λιμνοθάλασσες
		5.2.2. Εκβολές ποταμών
		5.2.3. Θάλασσες και ωκεανοί

Πίνακας Ι. Υπόμνημα CORINE Land Cover 2018

			Μέση τιμή του δείκτη FWI ανά γεωγραφική θέση						
	Συντεταγμένες (WGS84)		Περίοδος αναφοράς	RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
Θέση	lon	lat	*1986-2005*	*2046-2065*	*2081-2100*	*2046-2065*	*2081-2100*	*2046-2065*	*2081-2100*
1	24,0755	34,8625	29,8316	32,6689	31,6095	33,7248	34,5585	35,0631	39,7871
2	24,7307	34,9246	44,7864	48,5373	47,8731	50,1935	51,5130	52,0105	58,3541
3	24,8594	34,9145	44,2060	47,8175	47,0931	49,2293	50,1312	50,8931	56,6644
4	24,988	34,9042	47,6507	51,6313	50,8377	52,7699	53,9095	54,7021	60,8772
5	24,7434	35,0341	50,0199	53,9061	53,5368	55,2286	56,6918	57,1653	63,6924
6	24,8723	35,024	47,4726	51,4269	51,0819	52,5359	53,9054	54,4156	60,5484
7	25,0011	35,0137	50,0615	54,2655	53,7571	55,2436	56,8215	57,3304	63,9292
8	25,1299	35,0032	52,3235	56,6331	56,1473	57,5536	59,3172	59,8430	66,6523
9	25,2587	34,9925	51,3618	55,7725	55,3649	56,8399	58,8740	59,3536	66,4519
10	25,3874	34,9817	44,5538	48,8678	48,5680	49,6401	51,8050	52,3471	58,9661
11	25,5161	34,9706	37,9026	41,4530	41,4723	42,2772	43,6959	44,1369	49,1282
12	23,5923	35,226	35,6997	39,4323	38,4110	40,6057	41,9293	42,7004	49,4062
13	23,7217	35,2176	37,8254	41,6875	40,8173	42,7648	44,2020	44,9903	51,7447
14	23,8512	35,2091	35,7854	39,5373	38,6488	40,5929	41,9774	42,7020	48,9386
15	23,9805	35,2003	31,7851	35,2880	34,5101	36,2415	37,8451	38,4651	44,4017
16	24,1099	35,1913	33,9643	37,7653	37,1962	38,8238	40,7820	41,1787	47,5517
17	24,2392	35,1821	41,1455	44,9518	44,6121	46,0907	48,1841	48,5532	55,3581
18	24,3685	35,1728	45,4621	48,9040	48,8093	50,0104	52,2345	52,6226	59,2179
19	24,4977	35,1632	43,3071	47,2763	46,7216	48,5255	50,6519	50,8966	58,1813
20	24,6269	35,1535	36,4103	40,5033	40,0047	42,2301	44,8159	44,9666	53,8348
21	24,7561	35,1436	35,6485	39,9234	39,5542	40,9845	43,2398	43,5008	50,9680
22	24,8852	35,1335	29,6255	33,4387	33,1542	34,9182	37,3243	37,9237	45,5900
23	25,0143	35,1232	40,2589	44,8989	44,3368	46,2052	48,6071	49,0718	56,6436
24	25,1433	35,1127	41,6038	45,9392	45,2087	47,0262	49,3790	50,1998	57,3860
25	25,2723	35,102	41,2758	45,9381	45,6065	46,7469	49,4369	49,8379	57,0734
26	25,4013	35,0911	27,2031	31,5928	31,1849	33,2066	35,9982	36,7583	45,6383
27	25,5302	35,08	17,0095	20,0945	19,9776	22,1838	24,4600	24,9542	31,4193
28	25,6591	35,0688	33,4229	38,0923	37,4446	39,1625	41,1204	41,4452	47,4995
29	25,788	35,0573	40,9112	45,2185	44,7263	46,0654	48,2576	48,4469	54,5580
30	25,9167	35,0457	34,9936	39,3619	39,1215	40,4571	43,0323	43,3366	50,9922

31	26,0455	35,0339	38,5925	42,8206	42,3490	43,7690	46,5095	46,7399	54,3442
32	26,1742	35,0218	38,0416	42,1781	41,3897	43,4722	46,0414	46,3381	54,1783
33	23,6028	35,3357	24,3815	28,2836	27,3469	30,2486	32,1074	32,8323	40,5385
34	23,7325	35,3273	26,1532	30,0502	29,3744	31,7052	34,0092	34,6710	43,0368
35	23,8622	35,3187	20,8759	24,1233	23,5689	25,8689	28,4184	29,0062	37,1648
36	23,9918	35,3099	11,0788	12,8613	12,7040	14,7474	16,4590	17,0867	23,4142
37	24,1214	35,3009	14,6568	16,8774	16,6802	19,0671	20,9701	21,7020	28,4515
38	24,2509	35,2917	25,1547	28,4670	28,1668	30,1335	32,7921	32,7338	40,3406
39	24,3805	35,2824	29,8406	32,9365	32,8830	34,3669	36,6298	36,5775	43,5510
40	24,5099	35,2728	26,6846	30,1198	29,9015	31,6610	33,8699	33,8475	41,0788
41	24,6394	35,263	26,4306	30,1984	29,4237	31,3230	33,8280	34,0691	42,1228
42	24,7688	35,2531	16,3914	18,6476	18,8222	21,0479	22,8886	23,6637	31,6001
43	24,8982	35,243	18,0766	20,7554	20,5304	22,8848	25,2384	25,5838	32,9143
44	25,0275	35,2326	36,9156	40,7198	40,1330	41,5330	44,1432	44,0158	50,8722
45	25,1568	35,2221	36,1932	39,8256	39,3098	40,9096	43,2861	43,2460	49,9669
46	25,286	35,2114	31,1595	34,9844	34,6191	36,0147	38,3844	38,2652	44,6035
47	25,4152	35,2005	23,2143	26,9350	26,4760	28,0382	30,3808	30,7893	37,8816
48	25,5444	35,1894	19,1143	22,2491	22,0936	24,3415	26,6145	27,1536	34,4797
49	25,6735	35,1781	36,5162	40,7258	40,1227	41,6837	44,0714	43,9917	50,5762
50	25,9316	35,155	29,5049	33,4031	32,8784	34,5132	37,2395	37,3649	44,0973
51	26,0606	35,1432	28,7545	32,4941	32,0517	33,8780	36,4581	36,8839	43,8630
52	26,1896	35,1311	28,2551	32,2283	31,9603	34,0667	36,5812	37,2677	44,7443
53	26,3185	35,1189	40,5903	44,6411	43,9364	45,4170	47,9305	47,7024	54,2422
54	23,6134	35,4454	25,4572	29,3464	28,6324	30,6384	32,4552	32,7248	39,1127
55	23,7434	35,4369	30,4868	34,2362	33,8132	35,3070	37,1171	37,7701	43,7309
56	23,8733	35,4283	31,7140	35,0189	34,5744	35,3998	37,5806	37,9383	43,2609
57	24,0031	35,4195	25,2005	28,0964	27,9014	28,8820	30,5198	31,2253	37,1756
58	24,1329	35,4105	29,1239	31,9298	31,6757	32,2278	34,5274	34,5782	39,5431
59	24,2627	35,4013	32,6876	34,9724	34,7334	35,0931	37,0862	36,9492	41,1995
60	24,3925	35,3919	29,4509	31,7028	31,3933	31,7326	33,3655	33,0537	37,0712
61	24,5222	35,3823	25,4704	27,7260	27,3630	27,8688	29,5067	28,8066	32,6284
62	24,6519	35,3726	25,3628	27,5588	27,1368	27,6023	29,2841	28,6198	31,9319
63	24,7815	35,3626	23,4503	26,1294	25,2022	26,2497	27,8690	27,7692	31,6556
64	24,9112	35,3524	26,4735	29,2680	28,4019	29,7768	31,6834	31,4919	36,1610

65	25,0407	35,3421	34,4920	36,9109	36,5127	37,4259	39,4334	38,7992	43,6465
66	25,1703	35,3316	33,8542	36,1307	35,8412	36,4802	38,5164	37,4645	42,2623
67	25,2997	35,3208	28,7087	31,0219	30,8945	31,4403	33,5484	32,4506	36,5180
68	25,4292	35,3099	26,1499	28,4280	28,2598	28,6110	30,5897	29,7212	33,2686
69	25,5586	35,2988	27,3220	30,1524	29,4401	30,5959	32,8172	32,2785	37,1360
70	25,688	35,2875	34,7829	37,9584	37,0006	38,5397	40,8274	40,3713	46,3563
71	26,0758	35,2525	32,3468	35,3638	35,0372	35,6414	37,7076	37,0576	41,6173
72	26,205	35,2404	34,0044	37,5434	36,8502	38,1006	40,2398	39,9155	45,1566
73	23,624	35,555	25,8898	28,8595	28,0784	29,1600	30,4645	30,7637	34,7413
74	23,7542	35,5466	27,9093	30,2871	29,9302	30,4918	31,9327	32,1474	35,6768
75	23,8843	35,5379	29,8731	31,4175	31,4664	30,9955	32,7189	32,5395	35,0331
76	24,0145	35,5291	28,7411	30,1539	30,5019	29,6758	31,4016	31,0817	33,3421
77	24,1445	35,5201	28,9484	30,6108	30,8402	30,2922	31,7260	31,5860	34,3380
78	23,7651	35,6562	19,6259	22,1827	21,5754	22,7187	23,9224	23,8643	27,5387

Πίνακας ΙΙ. Μέση τιμή του δείκτη FWI ανά γεωγραφική θέση,
κλιματικό σενάριο και χρονική περίοδο εξέτασης.