



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
**Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών**
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ ΦΥΣΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

**Αναγνώριση και χωρική αποτύπωση κλιματικών κινδύνων για την περιοχή της Ελλάδος
με τη χρήση δεδομένων Copernicus και ERA 5-Land**

Βάλβη Κλεονίκη

Επιβλέπων: Καθηγητής **Καρτάλης Κωνσταντίνος**

Μάρτιος, 2024

Αφιερώνεται στη Χριστίνα, στον Αλέξη,
στη Δάφνη και στη Χρυσούλα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	13
ABSTRACT	14
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1. Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	15
1.2. Διάρθρωση εργασίας	15
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	16
2.1 Κλιματολογία	16
2.1.1 Μέση-Μέγιστη-Ελάχιστη θερμοκρασία & Βροχόπτωση 1991-2020	16
2.1.2 Κλιματική Αλλαγή.....	18
2.1.3 Ακραία καιρικά φαινόμενα.....	20
2.1.4 Κλιματολογία Ανατολικής Μεσογείου.....	21
2.1.5 Κλιματολογία Ελλάδας	22
2.2 Θεωρητικό πλαίσιο για την εκτίμηση τρωτότητας	22
2.2.1 Τρωτότητα.....	22
2.2.2 Έκθεση	24
2.2.3 Κίνδυνος (Hazard).....	24
2.2.4 Ευαισθησία	24
2.2.5 Δυνητικές επιπτώσεις.....	25
2.2.6 Προσαρμοστική ικανότητα	25
2.2.7 Επικινδυνότητα (Risk).....	26
2.3 Κλιματικοί Δείκτες.....	27
2.4 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών	35
2.5 Κίνδυνοι.....	38
2.5.1 Ξηρασία	38
2.5.2 Πλημμύρα	39
2.5.3 Δασικές πυρκαγιές	40
2.5.4 Ακραία Θερμά Φαινόμενα.....	42

2.5.5	Ακραία φαινόμενα ψύχους.....	43
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	44
3.1	Στατιστικά Εργαλεία.....	45
3.1.1	Ανάλυση ακραίων τιμών (EVA).....	45
3.1.2	Mann-Kendall.....	46
3.1.3	Κλίση Sen.....	48
3.1.4	p-value.....	49
3.2	Εργαλεία ΓΣΠ.....	49
3.2.1	Αποκοπή ή περικοπή δεδομένων (Clip).....	49
3.2.2	Λειτουργίες ζώνης στατιστικής ανάλυσης (Zonal Statistics functions).....	50
3.2.3	Κανονικοποίηση (Normalization).....	50
3.2.4	Ταξινόμηση ή κατηγοριοποίηση (Classification).....	51
3.3	Google Earth Engine.....	51
3.4	Climate Data Operators (CDO).....	52
3.5	Climpact.....	52
4	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	53
4.1	Περιοχή μελέτης.....	53
4.2	Δεδομένα.....	54
4.2.1	ERA5-Land.....	54
4.2.2	Προσομοιώσεις Κλιματικών Μοντέλων.....	54
4.2.3	Δορυφορικά Δεδομένα -LANDSAT 8.....	55
4.2.4	Δορυφορικά Δεδομένα- Όργανο MODIS.....	56
4.2.5	Κάλυψη γης Corine – Corine Land Cover (CLC).....	58
4.2.6	Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	59
4.2.7	Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας.....	59
4.2.8	Θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους - Land Surface Temperature (LST).....	60
4.2.9	Υδατική Καταπόνηση –Baseline Water Stress (BWS).....	61
4.2.10	Κατανομή πληθυσμού – Population.....	61
4.2.11	Δείκτης Καιρού Πυρκαγιάς - Fire Weather Index (FWI).....	61
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	64
5.1	Μέση κλιματολογική κατάσταση στην Ελλάδα για την ιστορική περίοδο 1971-2022.....	64
5.2	Ακραία καιρικά φαινόμενα στην Ελλάδα για την ιστορική περίοδο 1971-2022.....	73

5.3	Τάσεις.....	77
5.4	Ανάλυση Ακραίων Τιμών (EVA).....	82
5.5	Εκτίμηση Δυνητικών Επιπτώσεων της ιστορικής περιόδου	84
5.5.1	Δασική Πυρκαγιά.....	85
5.5.2	Πλημμύρα	91
5.5.3	Ξηρασία	100
5.5.4	Ακραία φαινόμενα ψύχους.....	111
5.5.5	Ακραία θερμά επεισόδια.....	120
5.6	Εκτίμηση Δυνητικών Επιπτώσεων της μελλοντικής περιόδου	134
5.6.1	Δασική πυρκαγιά.....	134
5.6.2	Πλημμύρα	137
5.6.3	Ξηρασία	140
5.6.4	Ακραία επεισόδια ψύχους.....	143
5.6.5	Ακραία θερμά επεισόδια.....	146
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	151
6.1	Συμπεράσματα.....	151
6.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	152
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	153

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Αναγνώριση και χωρική αποτύπωση κλιματικών κινδύνων για την περιοχή της Ελλάδος με τη χρήση δεδομένων Copernicus και ERA 5-Land» εκπονήθηκε από τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Βάλβη Κλεονίκη (BSc Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον) του τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια του ΠΜΣ Φυσική Εφαρμογών.

Η εργασία μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή κ. Καρτάλη Κωνσταντίνο, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά γι' αυτή την ευκαιρία που μου έδωσε, το συνεχές ενδιαφέρον του, αλλά και την άριστη συνεργασία. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ασημακοπούλου Μαργαρίτα - Νίκη για όλη τη συνεισφορά της, καθώς και τον κ. Φιλιππόπουλο Κώστα για τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την Αθηνά Ζαζάνη και τον Ηλία Αγαθαγγελίδη για τη στήριξη και τη βοήθειά τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, όπως και όλους όσους ήταν δίπλα μου από την αρχή αυτού του μεταπτυχιακού προγράμματος έως το τέλος.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: (α) Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Ελλάδα 1991-2020, (β) Μέση ετήσια βροχόπτωση στην Ελλάδα 1991-2020	17
Εικόνα 2.2: Μηνιαία μέση-ελάχιστη-μέγιστη θερμοκρασία και βροχόπτωση στην Ελλάδα 1991-2020...	18
Εικόνα 2.3: Οι κύκλοι του Milankovitch.....	19
Εικόνα 2.4: Απεικόνιση ακραίων καιρικών φαινομένων	21
Εικόνα 2.5: Συνιστώσες της τρωτότητας	23
Εικόνα 2.6: Σχηματική απεικόνιση της επιρροής της προσαρμογής στον κίνδυνο	26
Εικόνα 2.7: Διαχείριση και εκτίμηση της επικινδυνότητας (risk).....	27
Εικόνα 2.8: Οι χρήσεις των κλιματικών δεικτών	35
Εικόνα 2.9: Πολλαπλά επίπεδα πληροφορίας.....	36
Εικόνα 2.10: Τα συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ	36
Εικόνα 2.11: Αναπαράσταση δεδομένων διανυσματικής μορφής, vector	37
Εικόνα 2.12: Αναπαράσταση δεδομένων ψηφιδωτής μορφής, raster	37
Εικόνα 2.13: Διαφορά στη μεγέθυνση μεταξύ εικόνων vector και raster.....	38
Εικόνα 2.14: Τα είδη της ξηρασίας και η χρονική ακολουθία τους	39
Εικόνα 2.15: Σχηματική απεικόνιση των βασικών παραγόντων για την εμφάνιση πυρκαγιάς, γνωστό κι ως " το τρίγωνο της φωτιάς"	41
Εικόνα 3.1: Οι ακραίες παρατηρήσεις σύμφωνα με τις τεχνικές α) Block Maxima και β) POT.....	46
Εικόνα 3.2: Η λειτουργία της αποκοπής.....	49
Εικόνα 3.3: Παράδειγμα χρήσης zonal statistics.....	50
Εικόνα 4.1: Οι περιφέρειες της Ελλάδας	53
Εικόνα 4.2: Landsat 8.....	56
Εικόνα 4.3: Aqua MODIS.....	57
Εικόνα 4.4: Terra MODIS	57
Εικόνα 4.5: Απεικόνιση των κατηγοριών κυμαίνεται το CLC μαζί με τη χρωματική τους απεικόνιση	58
Εικόνα 4.6: Υπολογισμός NDVI σε δύο είδη βλάστησης	59
Εικόνα 4.7: Χωρική κατανομή του βαθμού επικινδυνότητας πλημμύρας στην Ελλάδα.	60
Εικόνα 4.8: Οι τιμές των δεικτών και η κατηγοριοποίηση της επικινδυνότητας του κινδύνου της πυρκαγιάς	62
Εικόνα 4.9: Χωρική κατανομή των ειδών της καύσιμης ύλης για την Ελλάδα	63

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4-1: Κλιματικά Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν	54
Πίνακας 4-2: Φασματικές περιοχές και χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat 8	55
Πίνακας 4-3: Φασματικές περιοχές του θερμικού υπέρυθρου και χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα MODIS	57
Πίνακας 5-1: Σύνολο δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων για τον εκάστοτε κλιματικό κίνδυνο	84
Πίνακας 5-2: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στην πυρκαγιά	87
Πίνακας 5-3: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στην ξηρασία	103
Πίνακας 5-4: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στα ακραία φαινόμενα ψύχους	115
Πίνακας 5-5: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στα ακραία θερμά επεισόδια	126

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 5-1: Χωρική κατανομή της Μέσης Ημερήσιας Μέγιστης Θερμοκρασία (TXm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020	65
Σχήμα 5-2: Χωρική κατανομή της διαφοράς στη Μέση Ημερήσια Μέγιστη Θερμοκρασία (TXm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000.....	66
Σχήμα 5-3: Χωρική κατανομή της Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας (TMm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020	67
Σχήμα 5-4: Χωρική κατανομή της Διαφοράς στη Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία (TMm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000.....	68
Σχήμα 5-5: Χωρική κατανομή της Μέσης Ημερήσιας Ελάχιστης Θερμοκρασίας (TNm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020	69
Σχήμα 5-6: Χωρική κατανομή της Διαφοράς στη Μέση Ημερήσια Ελάχιστη Θερμοκρασία (TNm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000.....	70
Σχήμα 5-7: Χωρική κατανομή της ετήσιας συνολικής βροχόπτωσης (PRCPTOT) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020.....	71
Σχήμα 5-8: Χωρική κατανομή της διαφοράς στην ετήσια συνολική βροχόπτωση PRCPTOT μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000.....	72
Σχήμα 5-9: Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών κατά τις οποίες η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 20 mm (R20mm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020.....	73
Σχήμα 5-10: Χωρική κατανομή της διαφοράς στον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 20 mm (R20mm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000	74
Σχήμα 5-11: Χωρική κατανομή του Αριθμού των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 35°C (TXge35) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020.....	75
Σχήμα 5-12: Χωρική κατανομή της διαφοράς στον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 35°C (TXge35) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000.....	76
Σχήμα 5-13: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την TXm για την ιστορική κλιματική περίοδο	77
Σχήμα 5-14: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την TMm για την ιστορική κλιματική περίοδο.....	78
Σχήμα 5-15: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την TNm για την ιστορική κλιματική περίοδο.....	79
Σχήμα 5-16: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την PRCPTOT για την ιστορική κλιματική περίοδο	80
Σχήμα 5-17: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την R20mm για την ιστορική κλιματική περίοδο	81
Σχήμα 5-18: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την TXge35 για την ιστορική κλιματική περίοδο.....	82
Σχήμα 5-19: Χρόνοι επιστροφής ακραίων τιμών για την παράμετρο της αθροιστικής βροχόπτωσης 10, 20 και 50 ετών.....	83
Σχήμα 5-20: Χρόνοι επιστροφής ακραίων τιμών για την παράμετρο της θερμοκρασίας 10, 20 και 50 ετών.....	84
Σχήμα 5-21: Χωρική κατανομή της έκθεσης με τον κανονικοποιημένο Fire Weather Index (FWI) για την κλιματική περίοδο 1981-2010 στην Ελλάδα.....	86
Σχήμα 5-22: Χωρική κατανομή του ομαδοποιημένου δείκτη καύσιμης ύλης, παραμέτρου της ευαισθησίας σε δασικές πυρκαγιές για την περιοχή της Ελλάδας	88
Σχήμα 5-23: Χωρική κατανομή της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της δασικής πυρκαγιάς για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1987-2010	89

Σχήμα 5-24: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	90
Σχήμα 5-25: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση).....	91
Σχήμα 5-26: Χωρική κατανομή του ετήσιου αριθμού ημερών με ύψος βροχής ≥ 20 mm υπολογισμένος σε ημέρες (R20mm) για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010	92
Σχήμα 5-27: Χωρική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής των εξαιρετικά υγρών ημερών R99pTOT για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010.....	93
Σχήμα 5-28: Χωρική κατανομή του μέγιστου ύψους ημερήσιας βροχής (Rx1da), υπολογισμένο σε mm για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο.....	94
Σχήμα 5-29: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης σε πλημμυρικά επεισόδια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	95
Σχήμα 5-30: Χωρική Κατανομή του δείκτη ευαισθησίας σε πλημμυρικά επεισόδια για την Ελλάδα.....	96
Σχήμα 5-31: Χωρική κατανομή του βαθμού των δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1981-2010	97
Σχήμα 5-32: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	98
Σχήμα 5-33: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση)	99
Σχήμα 5-34: Χωρική κατανομή της ετήσιας συνολικής βροχόπτωσης των υγρών ημερών PRCPTOT για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010.....	100
Σχήμα 5-35: Χωρική κατανομή των συνεχόμενων ξηρών ημερών για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010	101
Σχήμα 5-36: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης στη ξηρασία για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	102
Σχήμα 5-37: Χωρική κατανομή των χρήσεων γης σχετικά με τον κίνδυνο της ξηρασίας στην Ελλάδα. ...	104
Σχήμα 5-38: Χωρική κατανομή της πληθυσμιακής πυκνότητας για την Ελλάδα.....	105
Σχήμα 5-39: Χωρική κατανομή του δείκτη NDVI για την Ελλάδα.	106
Σχήμα 5-40: Χωρική κατανομή του δείκτη της υδατικής καταπόνησης για την Ελλάδα (ο δείκτης αυτός παρέχεται σε επίπεδο περιφέρειας)	107
Σχήμα 5-41: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη ευαισθησίας για το κλιματικό κίνδυνο της ξηρασίας για την Ελλάδα	108
Σχήμα 5-42: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη δυνητικών επιπτώσεων της ξηρασίας για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010.....	109
Σχήμα 5-43: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων της ξηρασίας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010.	110
Σχήμα 5-44: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση)	111
Σχήμα 5-45: Χωρική κατανομή των τάξεων του δείκτη ημερών παγετού για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	112
Σχήμα 5-46: Χωρική κατανομή των τάξεων του δείκτη διάρκειας ψυχρών επεισοδίων για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	113
Σχήμα 5-47: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης σε ακραία φαινόμενα ψύχους για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010.....	114

Σχήμα 5-48: Χωρική κατανομή του δείκτη ευαισθησίας σχετικά με την κάλυψη γης στα ακραία επεισόδια ψύχους για την Ελλάδα	116
Σχήμα 5-49: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη ευαισθησίας σε ακραία ψυχρά φαινόμενα για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	117
Σχήμα 5-50: Χωρική κατανομή των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων τα ακραία φαινόμενα ψύχους για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1981-2010.....	118
Σχήμα 5-51: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων φαινομένων ψύχους ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	119
Σχήμα 5-52: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων φαινομένων ψύχους ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση).....	120
Σχήμα 5-53: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη WSDI για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010.	121
Σχήμα 5-54: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη των καλοκαιρινών ημερών για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010.....	122
Σχήμα 5-55: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη τροπικών νυχτών για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010.	123
Σχήμα 5-56: Χωρική κατανομή του αριθμού της κατηγοριοποίησης του δείκτη TXge35, για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010	124
Σχήμα 5-57: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης σε ακραία θερμά φαινόμενα για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010.....	125
Σχήμα 5-58: Χωρική κατανομή του δείκτη ευαισθησίας σχετικά με την κάλυψη γης στα ακραία θερμά επεισόδια για την Ελλάδα	127
Σχήμα 5-59: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη LST για την Ελλάδα	128
Σχήμα 5-60: Χωρική Κατανομή της κατηγοριοποίησης του NDVI για την Ελλάδα	129
Σχήμα 5-61: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη ευαισθησίας σε ακραία θερμά φαινόμενα για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010.....	130
Σχήμα 5-62: Χωρική κατανομή του βαθμού των δυνητικών επιπτώσεων από ακραία θερμά επεισόδια για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1981-2010.....	131
Σχήμα 5-63: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων θερμών φαινομένων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010	132
Σχήμα 5-64: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων θερμών φαινομένων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση).....	133
Σχήμα 5-65: Χωρική απεικόνιση σε επίπεδο περιφέρειας του συνόλου των υπό μελέτη κλιματικών κινδύνων για την κλιματική περίοδο 1981-2010	134
Σχήμα 5-66: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης της δασικής πυρκαγιάς για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	135
Σχήμα 5-67: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της δασικής πυρκαγιάς για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	136
Σχήμα 5-68: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της δασικής πυρκαγιάς ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	137
Σχήμα 5-69: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης της πλημμύρας για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010.....	138

Σχήμα 5-70: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	139
Σχήμα 5-71: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης πλημμύρας ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010.....	140
Σχήμα 5-72: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης της ξηρασίας για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010.....	141
Σχήμα 5-73: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της ξηρασίας για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	142
Σχήμα 5-74: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης της ξηρασίας ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010.....	143
Σχήμα 5-75: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης των ακραίων επεισοδίων ψύχους για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	144
Σχήμα 5-76: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων επεισοδίων ψύχους για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	145
Σχήμα 5-77: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης των ακραίων επεισοδίων ψύχους ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	146
Σχήμα 5-78: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης των ακραίων θερμών επεισοδίων για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010.....	147
Σχήμα 5-79: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων θερμών επεισοδίων για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	148
Σχήμα 5-80: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης των ακραίων θερμών επεισοδίων ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010	149
Σχήμα 5-81: Χωρική απεικόνιση σε επίπεδο περιφέρειας της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων του συνόλου των υπό μελέτη κλιματικών κινδύνων μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010.....	150

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των επικρατούντων κλιματικών κινδύνων και η εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων βάσει της ανάπτυξης συνδυαστικών δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας στην Ελλάδα για τις παρελθοντικές, τρέχουσες και μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Επίσης, παρουσιάζονται οι μεταβολές στη μέση κλιματική κατάσταση και στα ακραία γεγονότα, καθώς και κλιματικές τάσεις και οι χρόνοι επιστροφής ακραίων τιμών με την εφαρμογή του ελέγχου Mann-Kendall και της θεωρίας ακραίων τιμών. Η διπλωματική εργασία εντοπίζεται στη μελέτη των κινδύνων από δασικές πυρκαγιές, πλημμύρα, ξηρασία, και από ακραία επεισόδια υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της έκθεσης των περιοχών σε κλιματικούς κινδύνους είναι δεδομένα επανάλυσης υψηλής χωρικής ανάλυσης (ERA5-Land), σε συνδυασμό με αποτελέσματα προσομοιώσεων περιοχικών κλιματικών μοντέλων χωρικής ανάλυσης 12km. Η ευαισθησία των περιοχών προσδιορίστηκε μέσω της ανάλυσης προϊόντων δορυφορικής τηλεπισκόπησης, παράλληλα με την εξέταση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής της Ελλάδας. Τέλος, τα παραπάνω ενσωματώθηκαν σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και παράχθηκε εργαλείο απεικόνισης των δυνητικών επιπτώσεων των κλιματικών κινδύνων τόσο σε υψηλή χωρική ανάλυση όσο και σε επίπεδο περιφέρειας. Η έρευνα επικεντρώνεται στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει την Ελλάδα και μπορεί να παράσχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την προσαρμογή και τον μετριασμό των επιπτώσεων των κλιματικών κινδύνων σε επίπεδο περιφέρειας.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, ακραία καιρικά φαινόμενα, κλιματικοί κίνδυνοι, δυνητικές επιπτώσεις, Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

ABSTRACT

The aim of the present study is the identification of the prevailing climate hazards and the assessment of their potential impacts based on the development of exposure and sensitivity indicators in Greece for past, current, and future climatic conditions. Moreover, changes in the climatology and extreme events, as well as climate trends and return levels of extreme values are presented by applying the Mann-Kendall test and the extreme value theory. The thesis is focused on the study of potential impacts of forest fires, floods, droughts, and extreme episodes of high and low temperatures. The data used to determine the exposure are high-resolution reanalysis data (ERA5-Land), in addition to the simulations of Regional Climate Models with a spatial resolution of 12km. The sensitivity to climate hazards was determined through the analysis of Earth Observation products, along with the examination of the geomorphological features of the Greek region. Finally, all the above were incorporated into a Geographic Information System, and a tool was developed that illustrates the potential impact of climate hazards at both high spatial resolution and at the prefecture level. This study focuses on understanding how climate change may be impacting Greece and can provide valuable insights for the adaption to and mitigation of the effects of climate hazards on a regional scale.

Keywords: climate change, extreme weather events, climate hazards, potential impacts, Geographical Information System.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων των επικρατέστερων κλιματικών κινδύνων στην Ελλάδα για την παρούσα και μελλοντική κλιματική περίοδο σε επίπεδο περιφέρειας. Οι κίνδυνοι που επιλέχθηκαν είναι: η δασική πυρκαγιά, η πλημμύρα, η ξηρασία, τα ακραία θερμικά φαινόμενα και τα ακραία φαινόμενα ψύχους. Αρχικά, αναγνωρίστηκαν οι κλιματικοί κίνδυνοι, καθορίστηκαν και υπολογίστηκαν οι κλιματικοί δείκτες ανά κίνδυνο για την ιστορική περίοδο 1981-2010 και για τη μελλοντική περίοδο 2026-2045, με τη χρήση εκτιμήσεων περιοχικών μοντέλων και του πιο επιθετικού σεναρίου εκπομπών (RCP 8.5). Έπειτα, αναγνωρίστηκε η ευαισθησία της εκάστοτε περιοχής στους επιλεγμένους κλιματικούς κινδύνους σε περιφερειακή κλίμακα. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι δυνητικές επιπτώσεις του κάθε κινδύνου συνδυάζοντας την εκτιμώμενη έκθεση και ευαισθησία. Όλα τα παραπάνω αποτυπώθηκαν σε χάρτες με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΠΣ).

1.2. Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε επτά κεφάλαια Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή του κάθε κεφαλαίου:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή, περιγράφεται ο σκοπός της εν λόγω εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό υπόβαθρο, αναλύονται όλες οι έννοιες που αναφέρονται στην εργασία και είναι απαραίτητες για την κατανόηση της. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται οι κλιματικοί κίνδυνοι που θα μελετηθούν.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία, γίνεται εκτενής περιγραφή της διαδικασίας και των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα στατιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύεται το μαθηματικό υπόβαθρό τους. Επίσης, περιγράφονται οι εντολές και οι εργαλειοθήκες που ήταν απαραίτητα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 4: Περιοχή μελέτης – Δεδομένα, περιλαμβάνει μία αναλυτική περιγραφή των περιφερειών της χώρας και αναλύει τα χαρακτηριστικά των δεδομένων του ERA-5 Land που χρησιμοποιήθηκαν. Σε αυτό το κεφάλαιο παρέχονται πληροφορίες για τις προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων, τους δορυφόρους και προϊόντα αυτών.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα, αξιοποιώντας τους υπολογισμούς παρατίθενται οι χάρτες που κατασκευάστηκαν με σκοπό την οπτικοποίησή τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Επιπρόσθετα, υπάρχουν και διαγράμματα, μέσω των οποίων φαίνεται η σύνθεση των κινδύνων.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα, συνοψίζονται τα κυριότερα αποτελέσματα και αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη. Επιπλέον, παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

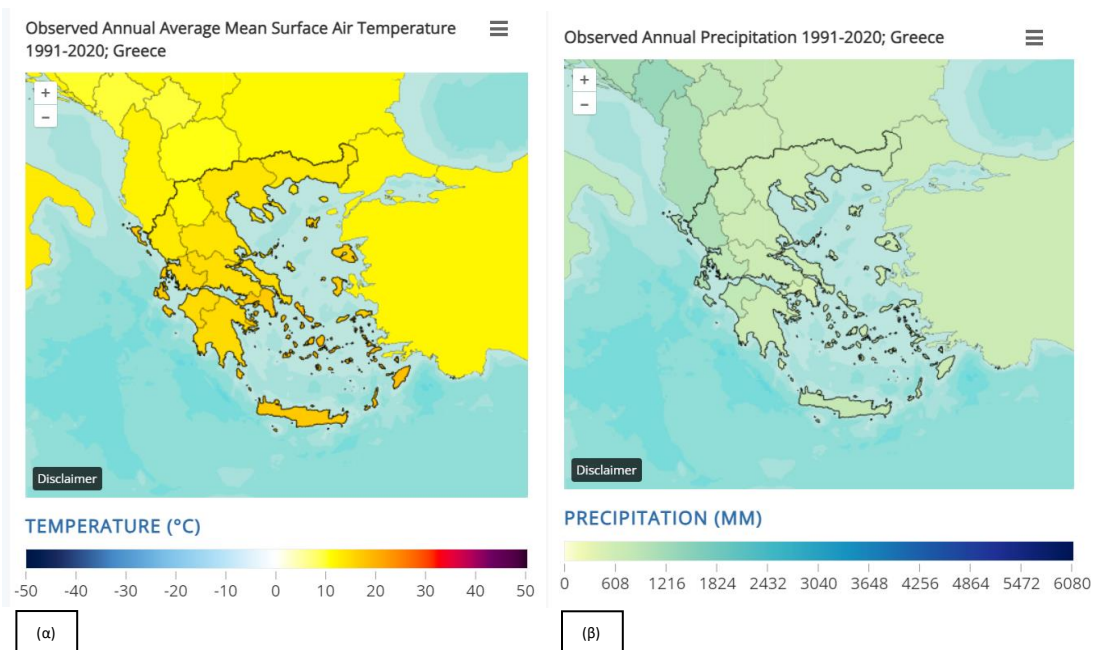
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Κλιματολογία

Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται μεσογειακό, με ήπιους και υγρούς χειμώνες στις νότιες πεδινές και νησιωτικές περιοχές. Οι χειμώνες είναι ψυχροί με ισχυρές χιονοπτώσεις στα ορεινά των κεντρικών και βόρειων περιοχών και τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά, με τις βροχοπτώσεις να είναι σπάνιες. Η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του έτους είναι υψηλότερη στη Νότια Ελλάδα, σε σύγκριση με τη Βόρεια. Ο ζεστός και ξηρός αέρας συχνά μετριάζεται από συστήματα εποχιακών ήπιων ανέμων. Η μέση ετήσια θερμοκρασία, όπως μετρήθηκε από μετεωρολογικούς σταθμούς, την περίοδο 2001 – 2015 είναι υψηλότερη συγκριτικά με την προηγούμενη δεκαετία, ενώ το διάστημα 1961 – 1990 ήταν ακόμη χαμηλότερη.

2.1.1 Μέση-Μέγιστη-Ελάχιστη θερμοκρασία & Βροχόπτωση 1991-2020

Η αθροιστική μέση τιμή της επιφανειακής θερμοκρασίας του αέρα κατά την τριακονταετία 1991-2020 στην Ελλάδα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1 (α), κυμάνθηκε από 11,29 °C στη Δυτική Μακεδονία έως 18,17 °C στο Νότιο Αιγαίο. Όσον αφορά την αθροιστική βροχόπτωση (Εικόνα 2.1 (β)), η Ήπειρος και τα νησιά του Ιονίου Αιγαίου εμφάνισαν με διαφορά τα περισσότερα χιλιοστά βροχόπτωσης από τις υπόλοιπες περιφέρειες της χώρας, καθώς ξεπέρασαν τα 1.000 mm. Πιο συγκεκριμένα, στην Ήπειρο έφτασαν τα 1.052,58 mm, ενώ στα νησιά του Ιονίου τα 1.027,05 mm. Η χαμηλότερη βροχόπτωση παρατηρήθηκε στην Αττική με μόλις 501,21 mm.

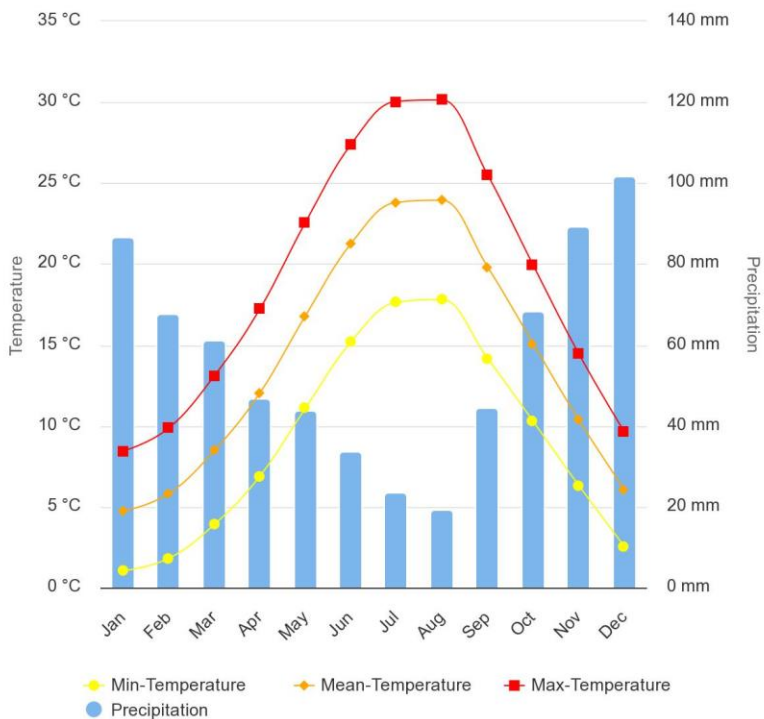


Εικόνα 2.1: (α) Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Ελλάδα 1991-2020, (β) Μέση ετήσια βροχόπτωση στην Ελλάδα 1991-2020

(World Bank Climate Change Knowledge Portal, n.d.)

Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2, η μέση ετήσια θερμοκρασία σε ολόκληρη τη χώρα κυμαίνεται από 4,5–24 °C. Οι τιμές είναι χαμηλότερες κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές τους τους καλοκαιρινούς μήνες. Όμοια διακύμανση παρουσιάζουν οι τιμές των ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών, με τις ελάχιστες να κυμαίνονται από 1–18 °C και τις μέγιστες από 8,5–30 °C. Όσον αφορά τη βροχόπτωση, εμφανίζει τιμές από 19–102 mm. Τα περισσότερα χιλιοστά βροχής εμφανίζονται κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, ενώ τα λιγότερα τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Η μέση ετήσια θερμοκρασίας για το διάστημα 1991–2020 είναι 14.06 °C και η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 686.57 mm.

**Monthly Climatology of Min-Temperature, Mean-Temperature, Max-Temperature & Precipitation 1991-2020
Greece**



Highcharts.com

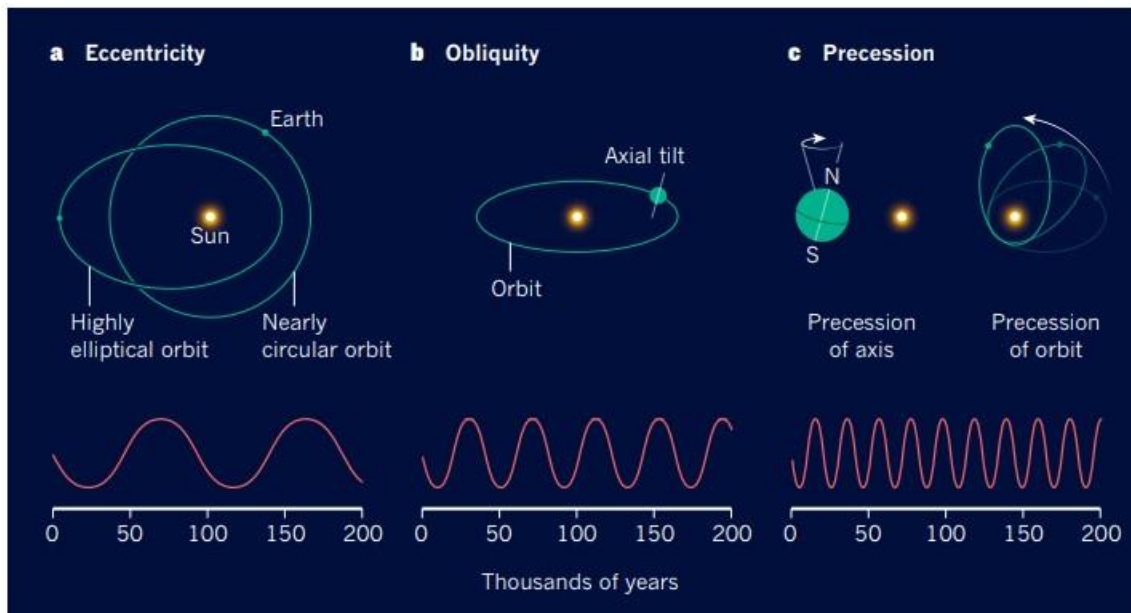
Εικόνα 2.2: Μηνιαία μέση-ελάχιστη-μέγιστη θερμοκρασία και βροχόπτωση στην Ελλάδα 1991-2020
(World Bank Climate Change Knowledge Portal, n.d.)

2.1.2 Κλιματική Αλλαγή

Κλιματική αλλαγή θεωρείται μία αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που αφορά τη μέση τιμή του ή/και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του που παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μπορεί να οφείλεται σε φυσικές εσωτερικές ή εξωτερικές διεργασίες ή σε ανθρωπογενείς επιδράσεις που μεταβάλλουν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας ή της χρήσης γης. Η ελάχιστη χρονική περίοδος για να οριστεί το κλίμα μιας περιοχής είναι 30 χρόνια, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (*World Meteorological Organization*, n.d.) και 20 χρόνια σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή στις εκθέσεις AR5 (*AR5 Synthesis Report*, n.d.) και AR6 (*AR6 Synthesis Report*, n.d.).

Το κλίμα επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους. Ορισμένες από αυτές είναι η θερμοκρασία, η υγρασία του αέρα, η πίεση της ατμόσφαιρας, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος, η ένταση και η διεύθυνση του ανέμου κ.α. Οι παράμετροι αυτοί έχουν υποστεί σημαντικές διακυμάνσεις από τη δημιουργία της γης μέχρι σήμερα και προβλέπεται να υποστούν κι άλλες στο μέλλον. Κατά τον 20^ο αιώνα ο ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας ήταν 0,75°C / 100 χρόνια (*Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation — IPCC*, n.d.). Ένας από τους παράγοντες που προκάλεσαν αυτή την αύξηση της θερμοκρασίας ήταν η ανθρωπίνη δραστηριότητα, για το λόγο αυτό έχει επικρατήσει η φράση «ανθρωπογενής κλιματικής αλλαγής».

Γενικότερα, οτιδήποτε προκαλεί μεταβολή στην ποσότητα της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας και διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να οδηγήσει σε κλιματική αλλαγή. Ορισμένοι φυσικοί παράγοντες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή είναι η ηλιακή ακτινοβολία, οι διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των ωκεάνιων ρευμάτων. Εκτός αυτών, η ηφαιστειακή δραστηριότητα προκαλεί μείωση της μέσης θερμοκρασίας λόγω των μικροσωματιδίων και των αερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και μειώνουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμα και η τεκτονική δραστηριότητα προκαλεί μεταβολές στο κλίμα λόγω της μετακίνησης των ηπείρων και του κλεισίματος ή του ανοίγματος των ωκεάνιων διόδων. Ένας ακόμη παράγοντας είναι οι μεταβολές στην τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο, οι οποίες ερμηνεύονται από τη θεωρία του Milankovitch (Εικόνα 2.3). Η θεωρία αυτή συσχετίζει τις κινήσεις της γης, δηλαδή την εκκεντρότητα (eccentricity), τη λόξευση (obliquity) και τη μετάπτωση (precession) του άξονα με τη μακροπρόθεσμη αλλαγή του κλίματος.



Εικόνα 2.3: Οι κύκλοι του Milankovitch

(Maslin, 2016)

Μόνο οι φυσικές μεταβολές δεν επαρκούν για να εξηγήσουν αυτή τη θερμοκρασιακή αλλαγή. Συνεπώς, συμβάλλουν και κάποιες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η υποβάθμιση των δασών μέσω της αποψίλωσης, που οδηγεί σε αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα, καθώς δεν δεσμεύεται κατά τη φωτοσύνθεση. Επιπλέον, οι βιομηχανικές δραστηριότητες, οι οποίες απελευθερώνουν αέρια του θερμοκηπίου και οι μεταφορές λόγω των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούν τα οχήματα είναι οι βασικότερες αιτίες της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Ένας ακόμα παράγοντας που συντελεί στην κλιματική αλλαγή είναι η εσφαλμένη διαχείριση των απορριμμάτων, κυρίως η εναπόθεση οργανικών αποβλήτων σε χωματερές, στις οποίες αποσυντίθενται και μπορεί να παράγουν μέσω της διάσπασής τους μεθάνιο (CH_4).

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ποικίλλουν από τόπο σε τόπο. Σε ορισμένες περιοχές λιώνουν οι πάγοι και ανεβαίνει η στάθμη της θάλασσας, ενώ άλλες πλήττονται από καύσωνες και ξηρασία. Αναλυτικότερα, στους πόλους προκαλείται κατάρρευση των όγκων πάγου λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη και τήξη των παγετώνων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και κατ' επέκταση την πρόκληση πλημμυρών και διάβρωσης στις ακτές και στις παράκτιες περιοχές. Σε άλλες περιοχές του πλανήτη, παρατηρούνται φαινόμενα ισχυρών βροχοπτώσεων και άλλα ακραία καιρικά γεγονότα, με συνέπεια την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, τον περιορισμό των υδατικών πόρων και πολλές φορές την πλημμύρα.

Η νότια Ευρώπη και ειδικά η Ελλάδα πλήττεται από κύματα καύσωνα, δασικές πυρκαγιές και ξηρασία, λόγω λειψυδρίας. Σαφώς, η κλιματική αλλαγή έχει επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, καθώς κατά τη διάρκεια εκδήλωσης ακραίων φαινομένων είναι δύσκολη πολλές φορές ακόμα και η επιβίωσή τους, παράλληλα αυξήθηκε η μετάδοση ασθενειών και φορέων νόσων από το νερό. Επιπλέον, προκαλούνται πολλές υλικές ζημιές με αποτέλεσμα την επιβάρυνση της κοινωνίας και της οικονομίας. Εκτός των άλλων πλήττεται η χλωρίδα, η πανίδα και άλλοι τομείς που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, όπως για παράδειγμα η γεωργία, η ενέργεια και ο τουρισμός.

2.1.3 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Ακραία καιρικά φαινόμενα θεωρούνται τα φαινόμενα που είναι σπάνια σε ένα συγκεκριμένο μέρος για συγκεκριμένη εποχή του χρόνου. Αποτελούν το 10^ο ή το 90^ο εκατοστημόριο της παρατηρούμενης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των μεταβλητών που τα χαρακτηρίζουν και διαφέρουν από τόπο σε τόπο. Ο χαρακτηρισμός "ακραίο" για ένα φαινόμενο είναι υποκειμενικός. Πιο συγκεκριμένα, κάποιες μελέτες θεωρούν ένα γεγονός ακραίο όταν είναι πρωτόγνωρο, ενώ άλλες μελέτες θεωρούν ακραία γεγονότα, τα γεγονότα μέτριας έντασης που εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα το χρόνο.

Για τον ορισμό των ακραίων φαινομένων χρησιμοποιούνται δύο προσεγγίσεις. Η μία αφορά τον προσδιορισμό σχετικών οριακών τιμών και η άλλη το προσδιορισμό απόλυτων οριακών τιμών πάνω από τα οποία οι συνθήκες θεωρούνται ακραίες. Όσον αφορά τις μεταβολές των ακραίων τιμών, αυτές μπορούν να εξεταστούν είτε εστιάζοντας στις αλλαγές της συχνότητας των ακραίων καταστάσεων, είτε στις αλλαγές της έντασής τους. Οι πιο κοινοί τύποι ακραίων καιρικών φαινομένων είναι οι ακόλουθοι (*AR6 Synthesis Report*, n.d.):

1. Πυρκαγιά: ανεξέλεγκτη φωτιά που εξαπλώνεται ραγδαία. Ενισχύεται από τους ανέμους και από το πρόσφορο έδαφος.
2. Πλημμύρα: υπερχειλίση του νερού λόγω έντονων βροχοπτώσεων ή κυματισμού ή τήξης του πάγου και του χιονιού.
3. Καταιγίδα: σύντομη και έντονη βροχόπτωση με ισχυρούς ανέμους, αστραπές και κεραυνούς.
4. Ξηρασία: ελάχιστες βροχοπτώσεις για παρατεταμένο χρονικό διάστημα.
5. Καύσωνας: υψηλές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα.
6. Τυφώνας και κυκλώνας: ισχυρές καταιγίδες με έντονη βροχόπτωση και ισχυρούς ανέμους. Η διαφορά των δύο εννοιών είναι ότι το παραπάνω φαινόμενο στον Ατλαντικό ωκεανό ονομάζονται τυφώνας, ενώ στον Ειρηνικό ωκεανό ονομάζεται κυκλώνας.

7. Χιονοθύελλα: πτώση μεγάλης ποσότητας χιονιού σε συνδυασμό με ισχυρούς ανέμους. Χαρακτηρίζεται από περιορισμένη ορατότητα (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Απεικόνιση ακραίων καιρικών φαινομένων

Οι επιπτώσεις αυτών των φαινομένων είναι κοινωνικοοικονομικές αλλά και οικολογικές. Αναλυτικότερα, έχουν καταγραφεί πάρα πολλοί θάνατοι ανθρώπων και ζώων, ζημιές σε σπίτια και καταστήματα, καταστροφές σε αγροτικές καλλιέργειες, σε χωράφια και σε οικοσυστήματα. Στον μέλλον, οι μελέτες προβλέπουν την αύξηση της έντασης και της συχνότητας των ακραίων φαινομένων (Rummuikainen, 2012). Για τους λόγους αυτούς, τα κέντρα ερευνών που ασχολούνται με το κλίμα προσπαθούν συνεχώς να κατανοήσουν τα ακραία φαινόμενα και τις αιτίες που τα προκαλούν, ώστε να καταφέρουν να τα προβλέψουν σε κάποιο βαθμό.

2.1.4 Κλιματολογία Ανατολικής Μεσογείου

Η περιοχή της Μεσογείου βρίσκεται σε μία μεταβατική ζώνη μεταξύ των υποτροπικών και των κλιμάτων μέσου γεωγραφικού πλάτους (Alpert et al., 2005). Χαρακτηρίζεται από επίμονες θερμές και ξηρές καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και ευμετάβλητες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Kushnir et al., 2017). Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία μεγάλης κλίμακας και η αλληλεπίδρασή της με τα περιφερειακά συνοπτικά συστήματα και τα συστήματα υψηλής πίεσης καθορίζουν τα ακραία καιρικά φαινόμενα (Hochman et al., 2022). Τα φαινόμενα όπως πλημμύρα, καταιγίδα, ακραία φαινόμενα ψύχους, στην πλειοψηφία τους συνδέονται είτε με τα χαμηλά βαρομετρικά της Κύπρου είτε με τα χαμηλά της Ερυθράς Θάλασσας. Αντίθετα, τα ακραία θερμικά φαινόμενα και ο καύσωνας σχετίζονται με το βαρομετρικό χαμηλό της Περσίας ή τα υποτροπικά συστήματα υψηλής πίεσης το καλοκαίρι ή με τους κυκλώνες Σαράφ (Sharav) την άνοιξη (Hochman et al., 2022).

Σύμφωνα με τις κλιματικές προβλέψεις, η ανατολική Μεσόγειος πρόκειται να γίνει θερμότερη και ξηρότερη (Zittis et al., 2019). Επιπλέον, η τάση εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων εκτιμάται να αυξηθεί (*Evaluation and Projection of Extreme Precipitation Indices in the Eastern Mediterranean Based on CMIP5 Multi-model Ensemble - Samuels - 2018 - International Journal of Climatology - Wiley Online Library*, n.d.). Αυτού του είδους τα ακραία φαινόμενα στις περισσότερες περιπτώσεις συνδέονται είτε με την εμφάνιση ενισχυμένων πλημμυρών (Tarolli et al., 2012) είτε με τη δυνητική εμφάνιση ξηρασίας (*Spatiotemporal Drought Variability in the Mediterranean over the Last 900 Years - Cook - 2016 - Journal of Geophysical Research: Atmospheres - Wiley Online Library*, n.d.). Στην περιοχή επίσης έχουν αυξηθεί οι μελέτες σχετικά με την κλιματική μεταβλητότητα (Lelieveld et al., 2012), τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία (Khader et al., 2015) και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που ευνοούν τις έντονες βροχοπτώσεις (Dayan et al., 2015).

2.1.5 Κλιματολογία Ελλάδας

Ακραία μετεωρολογικά και κλιματικά φαινόμενα έχουν σημειωθεί και στην Ελλάδα, με τη μορφή ακραίων θερμοκρασιών. Σύμφωνα με έρευνες (Katsoulis & Hatzianastassiou, 2005; Χορλακί et al., 2003), έχει διαπιστωθεί ότι οι ακραίες τιμές των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών σχετίζονται περισσότερο με τις αντίστοιχες τιμές των μέσων μεγίστων μηνιαίων θερμοκρασιών, παρά με αυτές των ελαχίστων. Οι θερμοί θερινοί μήνες συνδέονται με καθοδικές κινήσεις και ευστάθεια, με αυξημένη μεταφορά αερίων μαζών από τα βορειοανατολικά στην μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα και αυξημένη δυτική ροή στην κατώτερη τροπόσφαιρα (Χορλακί et al., 2003). Η αντίστροφη διαδικασία συμβαίνει κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από σύγκλιση και αστάθεια. Αναφορικά με τις ψυχρές εισβολές, η μεγαλύτερη πιθανότητα για την πρόσκλησή τους είναι όταν η εξάπλωση του Σιβηρικού αντικυκλώνα φτάνει την μέγιστη επέκταση του (Pappas et al., 2004)

Υπάρχουν και έρευνες που έχουν επικεντρωθεί στις ακραίες τιμές ημερήσιας βροχόπτωσης. Πολλές από τις ακραίες βροχοπτώσεις στη χώρα μας έχουν προέλθει από την κυκλωνική δραστηριότητα πάνω από την κεντρική Μεσόγειο θάλασσα. Όσο για τη γεωγραφική κατανομή τους, αυτή καθορίζεται από την ακριβή θέση και ένταση των συστημάτων στην επιφάνεια και στην ανώτερη ατμόσφαιρα, την εποχή του έτους και τη διεύθυνση της ροής πάνω από την χώρα (Houssos et al., 2008). Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης αυξάνονται παρά τη μείωση της συνολικής βροχόπτωσης (Zittis et al., 2022).

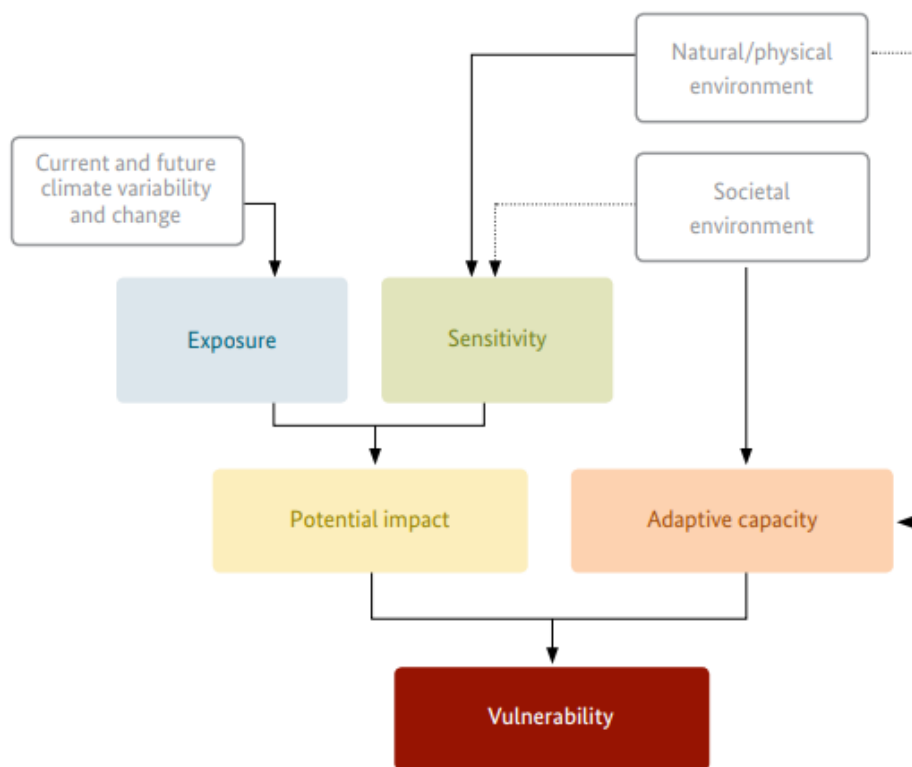
2.2 Θεωρητικό πλαίσιο για την εκτίμηση τρωτότητας

2.2.1 Τρωτότητα

Η τρωτότητα στην κλιματική αλλαγή ερμηνεύει τη σχέση αιτίου/αποτελέσματος πίσω από την κλιματική αλλαγή και το αντίκτυπό της στους ανθρώπους, στην οικονομία και στα κοινωνικοοικολογικά συστήματα. Η 4^η έκθεση της Διακυβερνητικής Ομάδας για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel for Climate Change – IPCC) (*AR4 Climate Change 2007*, n.d.), αναφέρεται στην τρωτότητα ως εξής: "(...) ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα είναι ευάλωτο και ανίκανο να αντιμετωπίσει δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής μεταβλητότητας και των ακραίων φαινομένων. Τρωτότητα είναι η συνάρτηση του χαρακτήρα, του μεγέθους και του ρυθμού της

κλιματικής αλλαγής και της διακύμανσης στην οποία εκτίθεται ένα σύστημα, της ευαισθησίας του και της προσαρμοστικής του ικανότητας" (Parry, 2007).

Βάσει αυτού του ορισμού, διακρίνονται τέσσερις παράγοντες που καθορίζουν αν και σε ποιο βαθμό ένα σύστημα είναι τρωτό στην κλιματική αλλαγή. Αυτοί οι παράγοντες φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2.5) και είναι οι εξής: έκθεση (exposure), ευαισθησία (sensitivity), δυνητικές επιπτώσεις (potential impact) και προσαρμοστική ικανότητα (adaptive capacity). Ειδικότερα, η έκθεση και η ευαισθησία ενός συστήματος στην κλιματική αλλαγή καθορίζουν τις δυνητικές επιπτώσεις. Οι δυνητικές επιπτώσεις και η προσαρμοστική ικανότητα καθορίζουν την τρωτότητα (*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 — English, n.d.*).



Εικόνα 2.5: Συνιστώσες της τρωτότητας

(*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 — English, n.d.*).

Η τρωτότητα δεν είναι ένα μετρήσιμο μέγεθος, ενώ χαρακτηρίζεται από σημαντική πολυπλοκότητα, καθώς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Παράλληλα οι παράγοντες που θα πρέπει

να ληφθούν υπόψη δεν είναι συγκεκριμένοι, ενώ οι μέθοδοι για την ποσοτικοποίησή της δεν είναι επαρκώς προσδιορισμένοι. Για το λόγο αυτό γίνεται αξιολόγηση της τρωτότητας και όχι μέτρησή της. Συνεπώς, η τρωτότητα εξετάζει τα χαρακτηριστικά των εκτεθειμένων στοιχείων και του συστήματος στο οποίο αυτά ανήκουν, ώστε να μελετηθεί εάν προκαλούν αύξηση ή μείωση ενός συγκεκριμένου κλιματικού κινδύνου. Η αξιολόγηση της τρωτότητας υποστηρίζει τη λήψη των αναγκαίων μέτρων για τη μείωση της (Goklany, 1995; Smit et al., 2000).

2.2.2 Έκθεση

Η έκθεση συνδέεται άμεσα με τις κλιματικές παραμέτρους, δηλαδή τον χαρακτήρα, το μέγεθος, τον ρυθμό αλλαγής και τις διακυμάνσεις του κλίματος. Οι βασικοί δείκτες της έκθεσης περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, τη ξηρασία, τη βροχόπτωση και την εξατμισοδιαπνοή. Ο βαθμός έκθεσης εκφράζεται με διάφορους τρόπους, όπως με ποσοστό, απόλυτο αριθμό ή πυκνότητα των στοιχείων που κινδυνεύουν (π.χ. του πληθυσμού). Με την πάροδο του χρόνου η έκθεση αλλάζει, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ή τη μείωση κάθε κινδύνου. Συνεπώς, ο κίνδυνος δεν είναι ο ίδιος ούτε από περιοχή σε περιοχή αλλά ούτε στην ίδια περιοχή από χρόνο σε χρόνο. Αλλαγή της έκθεσης συνεπάγεται αλλαγή της σημαντικότητας του κάθε κινδύνου.

2.2.3 Κίνδυνος (Hazard)

Ως κίνδυνος ορίζεται η αλληλεπίδραση μιας κλιματικής παραμέτρου ή/και ενός πιθανού κλιματικού κινδύνου (potential climate hazard), για παράδειγμα η ξηρασία, με το σύστημα που εκτίθεται σε αυτόν (Adger & Kelly, 1999; Pelling & Uitto, 2001). Οι κίνδυνοι διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Διακριτοί επαναλαμβανόμενοι κίνδυνοι, που περιλαμβάνουν τους απλούς και τους σύνθετους κινδύνους.
2. Αλλαγές στις μέσες συνθήκες που επικρατούν από μερικά έτη έως δεκαετίες. Είναι πιθανό, οι αλλαγές αυτές να οφείλονται στα ακραία καιρικά φαινόμενα.
3. Μεμονωμένοι κίνδυνοι, όπως αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες που σχετίζονται με αλλαγές της ωκεάνιας κυκλοφορίας. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν απότομες κλιματικές αλλαγές που συνδέονται με την εμφάνιση νέων κλιματικών συνθηκών που επικράτησαν από μερικούς αιώνες έως χιλιετίες (Adger & Brooks, 2003).

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να συνδεθεί και με τις τρεις κατηγορίες κινδύνων. Παρόλα αυτά οι εκδηλώσεις της κλιματικής αλλαγής και κυρίως η συχνότητα και η ένταση των κινδύνων διαφέρουν ανάλογα με τον τόπο και το χρόνο.

2.2.4 Ευαισθησία

Η ευαισθησία είναι ο βαθμός κατά τον οποίο ένα σύστημα επηρεάζεται θετικά ή αρνητικά από την κλιματική μεταβλητότητα ή την κλιματική αλλαγή. Η επίδραση αυτή μπορεί να είναι άμεση ή έμμεση και διαμορφώνεται από φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος (π.χ. τοπογραφία, κάλυψη γης, τύπος εδάφους), τις ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. πληθυσμός, διαχείριση υδατικών πόρων), τους κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες (π.χ. πυκνότητα πληθυσμού, ΑΕΠ ανά κάτοικο).

2.2.5 Δυνητικές επιπτώσεις

Οι δυνητικές επιπτώσεις προκύπτουν με το συνδυασμό της έκθεσης με την ευαισθησία. Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να είναι άμεσες, δηλαδή φυσικές επιπτώσεις ή έμμεσες, δηλαδή να αφορούν το κοινωνικό σύνολο, το εμπόριο, κλπ.

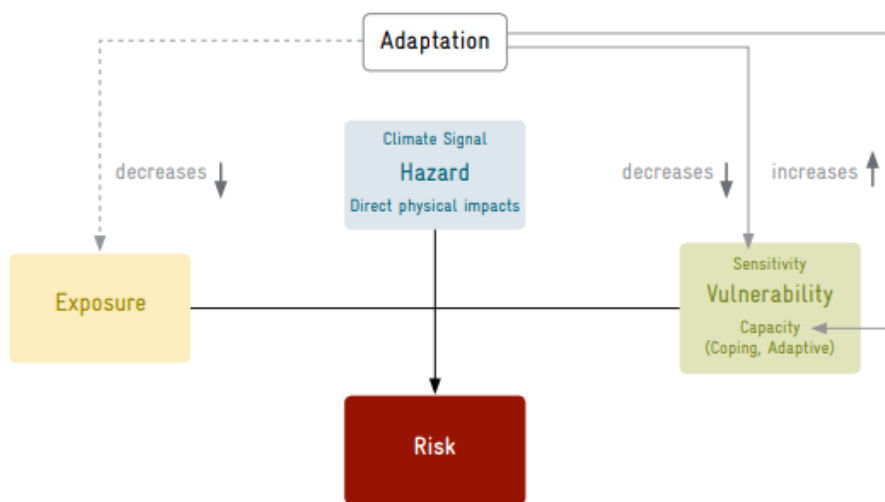
2.2.6 Προσαρμοστική ικανότητα

Ο όρος προσαρμοστική ικανότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος, να προσαρμόζεται στην κλιματική αλλαγή (συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής μεταβλητότητας και των ακραίων φαινομένων), για να μετριάσει τις πιθανές ζημιές, να εκμεταλλευτεί τις ωφέλιμες δυνατότητες στο ανθρωπογενές περιβάλλον ή να αντιμετωπίσει τις συνέπειες (Patter et al., 2007). Συνεπώς, εξαρτάται από τους διαθέσιμους οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους και από την επιλογή των κινδύνων που προσαρμόζεται το σύστημα. Για παράδειγμα, μία περιοχή μπορεί να είναι προετοιμασμένη να αντιμετωπίσει έναν καύσωνα, αλλά να αιφνιδιαστεί από μία πλημμύρα. Για να ενισχυθεί η ικανότητα προσαρμογής απαραίτητη είναι η συλλογή πληροφοριών που αφορούν τη φύση και την εξέλιξη των κλιματικών κινδύνων που αντιμετωπίζει μια κοινωνία ή ένα οικοσύστημα από ιστορικά δεδομένα και εκτιμήσεις για μελλοντικές κλιματικές περιόδους. Οι κλιματικές εκτιμήσεις είναι καθοριστικές, καθώς διευκολύνουν την πρόληψη από κινδύνους που δύναται να εμφανιστούν.

Για τον προσδιορισμό της προσαρμοστικής ικανότητας χρησιμοποιείται η μεθοδολογία που ανέπτυξε το Παγκόσμιο Ταμείο για το Περιβάλλον (GEF) του UNDP (2003) (Adger & Brooks, 2003). Η μεθοδολογία προβλέπει την εξέταση του ρόλου των εξωτερικών και των εσωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν τα συστήματα. Σε ποια από τις δύο κατηγορίες ανήκει κάποιος παράγοντας εξαρτάται από την κλίμακα του υπό μελέτη συστήματος. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητος ο ορισμός μιας χωρικής κλίμακας.

Σε εθνικό επίπεδο, η ικανότητα προσαρμογής συνδέεται με παράγοντες όπως η υγεία, ο αναλφαβητισμός και η διακυβέρνηση (Brooks et al., 2005) που σε 2^ο επίπεδο σχετίζονται με την οικονομική ανάπτυξη. Σε τοπική κλίμακα, οι παράγοντες διαφέρουν και επιλέγονται αυτοί που είναι σημαντικοί για την κατά περίπτωση κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, είναι παράγοντες που καθορίζονται από τη φύση του κινδύνου, τα χαρακτηριστικά του συστήματος και του πληθυσμού.

Γενικά, τα μέτρα προσαρμογής είναι δυνατό να μειώσουν τη τρωτότητα και σε ορισμένες περιπτώσεις και την ευαισθησία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κινδύνου (Εικόνα 2.6). Πιο αναλυτικά, η τρωτότητα μειώνεται είτε με μείωση της ευαισθησίας (sensitivity), είτε με αύξηση της ικανότητας προσαρμογής (capacity).



Εικόνα 2.6: Σχηματική απεικόνιση της επιρροής της προσαρμογής στον κίνδυνο

(*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 — English, n.d.*)

2.2.7 Επικινδυνότητα (Risk)

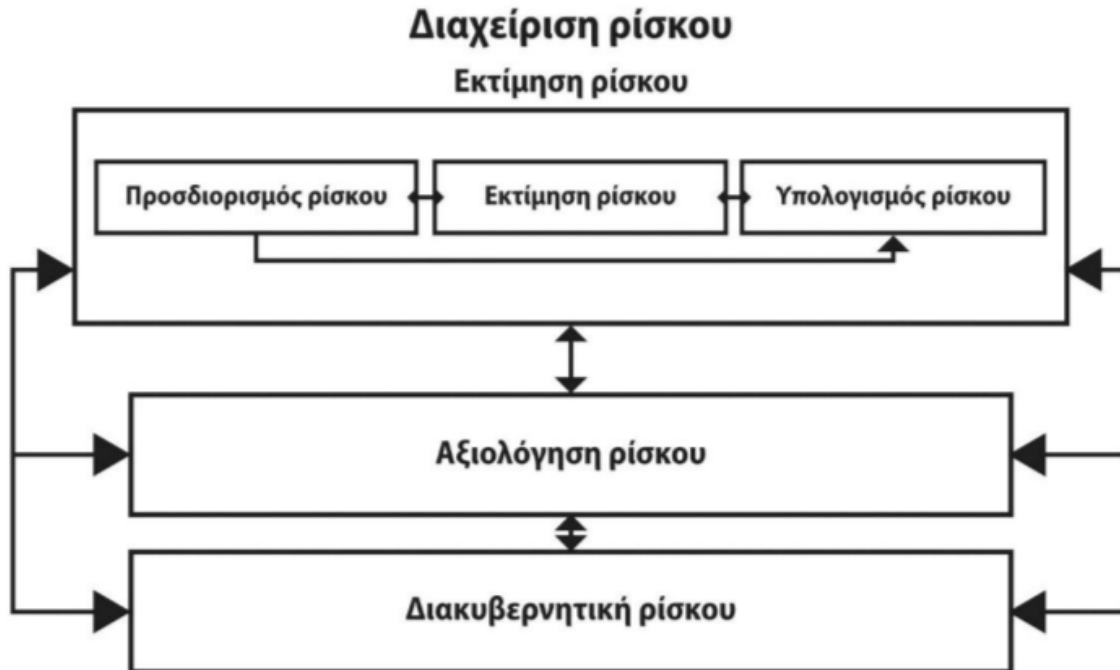
Ως επικινδυνότητα ή διακινδύνευση ορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης δυσμενών συνεπειών στα ανθρώπινα ή/και φυσικά συστήματα. Στο πλαίσιο των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, η εκτίμηση της δυνητικής επικινδυνότητας προκύπτει από την αλληλεπίδραση των κινδύνων που σχετίζονται με το κλίμα, της έκθεσης και της τρωτότητας των επηρεαζόμενων συστημάτων (IPCC AR6, 2021). Για την προσέγγιση των περιβαλλοντικών κινδύνων έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες. Μία από αυτές είναι η ανάλυση της δυνητικής επικινδυνότητας, η οποία πραγματοποιείται με εκτίμηση και διαχείριση του πιθανού κινδύνου. Οι μεθοδολογίες έχουν τρία στάδια:

Στάδιο 1: Πριν την εκδήλωση του φαινομένου να έχει γίνει η πρόγνωση του και οι έγκαιρες προειδοποιήσεις.

Στάδιο 2: Κατά τη διάρκεια του φαινομένου να γίνεται η παρακολούθησή του.

Στάδιο 3: Αφού ολοκληρωθεί το φαινόμενο να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση των καταστροφών που προκλήθηκαν εξ' αιτίας του.

Ωστόσο, για να υλοποιηθούν τα παραπάνω θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στατιστικές μέθοδοι, να γίνει ποσοτικοποίηση των κλιματικών κινδύνων και να συλλεχθούν πληροφορίες για παρελθοντικά φαινόμενα και τις επιπτώσεις τους στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στο τέλος, αξιολογείται η επικινδυνότητα βάσει της εκτίμησης των επιπτώσεων και την ανάλυση του κόστους – οφέλους των επιλογών προσαρμογής με σκοπό την ανάπτυξη μέτρων αντιμετώπισης (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7: Διαχείριση και εκτίμηση της επικινδυνότητας (risk)

(Δαλέζιος & Dalezios, 2016)

2.3 Κλιματικοί Δείκτες

Ένας κλιματικός δείκτης είναι ένα διαγνωστικό μέγεθος, το οποίο βοηθά στο χαρακτηρισμό ενός γεωφυσικού συστήματος. Έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι για την εξαγωγή δεικτών. Για παράδειγμα, έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα από επίγειους σταθμούς και δορυφορικές παρατηρήσεις, από σημεία πλέγματος (grid point) ή από περιφερειακούς μέσους όρους. Επιπλέον, άλλοι δείκτες βασίζονται σε εμπειρικές συναρτήσεις, ενώ άλλες σε περιστρεφόμενο EOF (εμπειρικές ορθογώνιες συναρτήσεις). Κάποιοι δείκτες χρησιμοποιούν μία μεταβλητή, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν συνδυασμό μεταβλητών. Ορισμένοι από τους δείκτες παρατίθενται παρακάτω μαζί με τους ορισμούς τους (*Indices, n.d.-a*):

- **FD** (Number of frost days): ο ετήσιος αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία $TN < 0^{\circ}\text{C}$.
- **TNlt2** (TN below 2°C): ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία $TN < 2^{\circ}\text{C}$.
- **TNltm2** (TN below -2°C): ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία $TN < -2^{\circ}\text{C}$.
- **TNltm20** (TN below -20°C): ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία $TN < -20^{\circ}\text{C}$.
- **SU** (Number of summer days): ο ετήσιος αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία $TX > 25^{\circ}\text{C}$.

- **ID** (Number of icing days): ο ετήσιος αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία $T_X < 0^\circ\text{C}$.
- **TR** (Number of tropical nights): ο ετήσιος αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία $T_N > 20^\circ\text{C}$.
- **GSL** (Growing season length): Ετήσια καταμέτρηση μεταξύ του πρώτου διαστήματος τουλάχιστον 6 ημερών με μέση ημερήσια θερμοκρασία $T_G > 5^\circ\text{C}$ και του πρώτου διαστήματος μετά την 1^η Ιουλίου 6 ημερών με $T_G < 5^\circ\text{C}$. (Ετήσια θεωρείται 1^η Ιανουαρίου – 31^η Δεκεμβρίου για το Βόρειο Ημισφαίριο, ενώ 1^η Ιουλίου – 30^η Ιουνίου για το Νότιο Ημισφαίριο.)
- **TXx** (Monthly maximum value of daily maximum temperature): Έστω T_{Xx} οι ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες του μήνα k και της περιόδου j . Η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία από τις μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κάθε μήνα είναι όταν $T_{Xx_{kj}} = \max(T_{Xx_{kj}})$.
- **TNx** (Monthly maximum value of daily minimum temperature): Έστω T_{Nx} οι ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες του μήνα k και της περιόδου j . Η μέγιστη ημερήσια από τις ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κάθε μήνα είναι όταν $T_{Nx_{kj}} = \max(T_{Nx_{kj}})$.
- **TXn** (Monthly minimum value of daily maximum temperature): Έστω T_{Xn} οι ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες του μήνα k και της περιόδου j . Η ελάχιστη ημερήσια από τις μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κάθε μήνα είναι όταν $T_{Xn_{kj}} = \min(T_{Xn_{kj}})$.
- **TNn** (Monthly minimum value of daily minimum temperature): Έστω T_{Nn} οι ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες του μήνα k και της περιόδου j . Η ελάχιστη ημερήσια από τις ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κάθε μήνα είναι όταν $T_{Nn_{kj}} = \min(T_{Nn_{kj}})$.
- **TMm** (Mean TM): Η μέση ημερήσια θερμοκρασία των μέσων θερμοκρασιών.
- **TXm** (Mean TX): Η μέση ημερήσια θερμοκρασία των μέγιστων θερμοκρασιών.
- **TNm** (Mean TN): Η μέση ημερήσια θερμοκρασία των ελαχίστων θερμοκρασιών.
- **TN10p** (Percentage of days when $T_N < 10$ th percentile): Έστω $T_{N_{ij}}$ η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία την ημέρα i της περιόδου j και $T_{N_{in}10}$ το 10^ο εκατοστημόριο της ημερολογιακής ημέρας, με επίκεντρο ένα παράθυρο 5 ημερών για την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Το ποσοστό του χρόνου για την περίοδο αναφοράς προσδιορίζεται όπου: $T_{N_{ij}} < T_{N_{in}10}$.
- **TX10p** (Percentage of days when $T_X < 10$ th percentile): Έστω $T_{X_{ij}}$ η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία την ημέρα i της περιόδου j και $T_{X_{in}10}$ το 10^ο εκατοστημόριο της ημερολογιακής ημέρας, με επίκεντρο ένα παράθυρο 5 ημερών για την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Το ποσοστό του χρόνου για την περίοδο αναφοράς προσδιορίζεται όπου: $T_{X_{ij}} < T_{X_{in}10}$.
- **TN90p** (Percentage of days when $T_N > 90$ th percentile): Έστω $T_{N_{ij}}$ η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία την ημέρα i της περιόδου j και $T_{N_{in}90}$ το 90^ο εκατοστημόριο της ημερολογιακής ημέρας, με επίκεντρο ένα παράθυρο 5 ημερών για την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Το ποσοστό του χρόνου για την περίοδο αναφοράς προσδιορίζεται όπου: $T_{N_{ij}} > T_{N_{in}90}$.
- **TX90p** (Percentage of days when $T_X > 90$ th percentile): Έστω $T_{X_{ij}}$ η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία την ημέρα i της περιόδου j και $T_{X_{in}90}$ το 90^ο εκατοστημόριο της ημερολογιακής ημέρας, με επίκεντρο ένα παράθυρο 5 ημερών για την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Το ποσοστό του χρόνου για την περίοδο αναφοράς προσδιορίζεται όπου: $T_{X_{ij}} > T_{X_{in}90}$.
- **WSDI** (Warm spell duration index: annual count of days with at least 6 consecutive days when $T_X > 90$ th percentile): Έστω $T_{X_{ij}}$ η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία την ημέρα i της περιόδου j και $T_{X_{in}90}$ το 90^ο εκατοστημόριο της ημερολογιακής ημέρας με κέντρο ένα παράθυρο 5 ημερών για την περίοδο βάσης 1961-1990. Ο αριθμός των ημερών ανά περίοδο αθροίζεται όταν σε διαστήματα τουλάχιστον 6 διαδοχικών ημερών ισχύει $T_{X_{ij}} > T_{X_{in}90}$.

- **WSDId** (User-defined WSDI): Ο ετήσιος αριθμός των ημερών που παρατηρούνται συμβάντα όπου d ή περισσότερες διαδοχικές μέρες παρουσιάζουν $TX > 90^\circ$ εκατοστημορίου.
- **CSDI** (Cold spell duration index: annual count of days with at least 6 consecutive days when $TN < 10$ th percentile): Έστω TN_{ij} η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία την ημέρα i της περιόδου j και TX_{in10} το 10° εκατοστημόριο της ημερολογιακής ημέρας με κέντρο ένα παράθυρο 5 ημερών για την περίοδο βάσης 1961-1990. Ο αριθμός των ημερών ανά περίοδο αθροίζεται όταν σε διαστήματα τουλάχιστον 6 διαδοχικών ημερών ισχύει $TN_{ij} < TN_{in10}$.
- **CSDId** (User-defined CSDI): Ο ετήσιος αριθμός των ημερών που παρατηρούνται συμβάντα όπου d ή περισσότερες διαδοχικές μέρες παρουσιάζουν $TN < 10^\circ$ εκατοστημορίου.
- **TXgt50p** (Percentage of days with temperature above the median): Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες $TX > 50^\circ$ εκατοστημορίου.
- **TX95t** (Very warm day threshold): Η τιμή του 95ου εκατοστημορίου του TX .
- **TMge5** (TM of greater than or equal to $5^\circ C$): Ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέση ημερήσια θερμοκρασία $TM \geq 5^\circ C$.
- **TMlt5** (TM of at least $5^\circ C$): Ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέση ημερήσια θερμοκρασία $TM < 5^\circ C$.
- **TMge10** (TM of greater than or equal to $10^\circ C$): Ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέση ημερήσια θερμοκρασία $TM \geq 10^\circ C$.
- **TMlt10** (TM of at least $10^\circ C$): Ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέση ημερήσια θερμοκρασία $TM < 10^\circ C$.
- **TXge30** (TX of greater than or equal to $30^\circ C$): Ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία $TX \geq 30^\circ C$.
- **TXge35** (TX of greater than or equal to $35^\circ C$): Ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία $TX \geq 35^\circ C$.
- **TXdTNd** (User-defined consecutive number of hot days and nights): Ο ετήσιος αριθμός d των διαδοχικών ημερών, οι οποίες είναι στο $TX > 95^\circ$ εκατοστημόριο και στο $TN > 95^\circ$ εκατοστημόριο, όπου $10 \geq d \geq 2$.
- **HDDheatn** (Heating degree days): Το ετήσιο άθροισμα $n - TM$, όπου n είναι μια τιμή που ορίζει ο χρήστης, συγκεκριμένη για την τοποθεσία θερμοκρασία βάσης και $TM < n$. Είναι μέτρο ενεργειακής ζήτησης που απαιτείται για την θέρμανση ενός κτιρίου.
- **CDDcoldn** (Cooling degree days): Το ετήσιο άθροισμα $TM - n$, όπου n είναι μια τιμή που ορίζει ο χρήστης, συγκεκριμένη για την τοποθεσία θερμοκρασία βάσης και $TM > n$. Είναι μέτρο ενεργειακής ζήτησης που απαιτείται για την ψύξη ενός κτιρίου.
- **GDDgrown** (Growing degree days): Το ετήσιο άθροισμα $TM - n$, όπου n είναι μια τιμή που ορίζει ο χρήστης, συγκεκριμένη για την τοποθεσία θερμοκρασία βάσης και $TM > n$. Χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των ρυθμών ανάπτυξης των φυτών.
- **DTR** (Daily temperature range): Έστω TX_{ij} και TN_{ij} η ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αντίστοιχα την ημέρα i της περιόδου j . Ο τύπος του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους είναι:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (TX_{ij} - TN_{ij})}{I}$$
- **Rx1day** (Monthly maximum 1-day precipitation): Έστω RR_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης την ημέρα i της περιόδου j . Το μέγιστο της 1 ημέρας για την περίοδο j είναι $Rx1day_j = \max (RR_{ij})$.
- **Rx5day** (Monthly maximum consecutive 5-day precipitation): Έστω RR_{kj} το ποσό βροχόπτωσης για το διάστημα 5 ημερών που λήγει την k της περιόδου j . Τότε οι μέγιστες τιμές των 5 ημερών για την περίοδο j είναι $Rx5day_j = \max (RR_{kj})$.

- **RXdday** (User-defined consecutive days PR amount): Μέγιστο της d-ημέρας της συνολικής βροχόπτωσης.
- **SPI** (Standardised Precipitation Index): Δείκτης για τη μέτρηση της ξηρασίας σε χρονικές κλίμακες 3, 6 και 12 μήνες. Είναι ένα μέτρο το οποίο προσδιορίζεται ως έλλειμμα βροχόπτωσης. Υπολογίστηκε με τη χρήση του SPEI στην R.
- **SPEI** (Standardised Precipitation Evapotranspiration Index): Δείκτης για τη μέτρηση της ξηρασίας σε χρονικές κλίμακες 3, 6 και 12 μήνες. Χρησιμοποιεί τη βροχόπτωση και την εξάτμιση. Υπολογίστηκε με τη χρήση του SPEI στην R.
- **SDII** (Simple precipitation intensity index): Έστω RR_{wj} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης που καταγράφεται τις υγρές ημέρες w κατά την περίοδο j ($RR \geq 1\text{mm}$). Όπου W είναι ο αριθμός των υγρών ημερών κατά την περίοδο j .

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$
- **R10mm** (Annual count of days when PRCP $\geq 10\text{mm}$): Έστω RR_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης την ημέρα i της περιόδου j . Να μετρηθεί ο αριθμός των ημερών κατά τις $RR_{ij} \geq 10\text{mm}$.
- **R20mm** (Annual count of days when PRCP $\geq 20\text{mm}$): Έστω RR_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης την ημέρα i της περιόδου j . Να μετρηθεί ο αριθμός των ημερών κατά τις $RR_{ij} \geq 20\text{mm}$.
- **Rnnmm** (Annual count of days when PRCP $\geq nn\text{mm}$, where nn is a user-defined threshold): Έστω RR_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης την ημέρα i της περιόδου j . Να μετρηθεί ο αριθμός των ημερών κατά τις $RR_{ij} \geq nn\text{mm}$.
- **CDD** (Maximum length of dry spell: maximum number of consecutive days with $RR < 1\text{mm}$): Έστω RR_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης την ημέρα i της περιόδου j . Να μετρηθεί ο μεγαλύτερος αριθμός των διαδοχικών ημερών όπου $RR_{ij} < 1\text{mm}$.
- **CWD** (Maximum length of wet spell: maximum number of consecutive days with $RR \geq 1\text{mm}$): Έστω RR_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης την ημέρα i της περιόδου j . Να μετρηθεί ο μεγαλύτερος αριθμός των διαδοχικών ημερών όπου $RR_{ij} \geq 1\text{mm}$.
- **R95p** (Annual total PRCP when $RR > 95\text{th}$ percentile): Έστω RR_{wj} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης που καταγράφεται σε μια υγρή ημέρα w ($RR \geq 1\text{mm}$) κατά την περίοδο i και RR_{wn95} το 95^ο εκατοστημόριο της βροχόπτωσης σε υγρές ημέρες κατά την περίοδο 1961-1990. Το W είναι ο αριθμός των υγρών ημερών. Ο τύπος εύρεσης του δείκτη είναι:

$$R95p = \sum_{w=1}^W PP_{wj}, \text{ όταν } RR_{wj} > RR_{wn95}$$
- **R99p** (Annual total PRCP when $RR > 99\text{th}$ percentile): Έστω RR_{wj} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης που καταγράφεται σε μια υγρή ημέρα w ($RR \geq 1\text{mm}$) κατά την περίοδο i και RR_{wn99} το 99^ο εκατοστημόριο της βροχόπτωσης σε υγρές ημέρες κατά την περίοδο 1961-1990. Το W είναι ο αριθμός των υγρών ημερών. Ο τύπος εύρεσης του δείκτη είναι:

$$R99p = \sum_{w=1}^W PP_{wj}, \text{ όταν } RR_{wj} > RR_{wn99}$$
- **PRCPTOT** (Annual total precipitation on wet days): Έστω RR_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης την ημέρα i της περιόδου j . Ο τύπος υπολογισμού του δείκτη είναι:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$
- **TXbdTNbd** (User-defined consecutive number of cold days and nights): Ο ετήσιος αριθμός d των διαδοχικών ημερών κατά τις οποίες το $TX < 5^\circ$ εκατοστημόριο και το $TN < 5^\circ$ εκατοστημόριο, όταν $10 \geq d \geq 2$.
- **HWN (EHF/Tx90/Tn90)** (Heatwave number (HWN) as defined by either the Excess Heat Factor (EHF), 90th percentile of TX or the 90th percentile of TN): Ο αριθμός των μεμονωμένων καυσώνων που καταγράφονται κάθε καλοκαίρι (Μάιος-Σεπτέμβριος για το Βόρειο Ημισφαίριο, ενώ

Νοέμβριος-Μάρτιος στο Νότιο Ημισφαίριο). Καύσωνας θεωρείται όταν τρεις ή περισσότερες ημέρες, είτε η EHF είναι θετική, η $TX > 90^\circ$ εκατοστημόριο, είτε $TN < 90^\circ$ εκατοστημόριο, όπου τα εκατοστημόρια υπολογίζονται από την περίοδο που καθορίζει ο χρήστης.

- **HWF (EHF/Tx90/Tn90)** (Heatwave frequency (HWF) as defined by either the Excess Heat Factor (EHF), 90th percentile of TX or the 90th percentile of TN): Ο αριθμός των ημερών που επικρατεί καύσωνας, όπως ορίζεται από το HWN.
- **HWD (EHF/Tx90/Tn90)** (Heatwave duration (HWD) as defined by either the Excess Heat Factor (EHF), 90th percentile of TX or the 90th percentile of TN): Η διάρκεια του μεγαλύτερου καύσωνα κατά την περίοδο μελέτης, όπως ορίζεται από το HWN.
- **HWM (EHF/Tx90/Tn90)** (Heatwave magnitude (HWM) as defined by either the Excess Heat Factor (EHF), 90th percentile of TX or the 90th percentile of TN): Η μέση θερμοκρασία όλων των καυσώνων κατά την περίοδο μελέτης, όπως ορίζεται από το HWN.
- **HWA (EHF/Tx90/Tn90)** (Heatwave amplitude (HWA) as defined by either the Excess Heat Factor (EHF), 90th percentile of TX or the 90th percentile of TN): Η μέγιστη ημερήσια τιμή του θερμότερου καύσωνα. Θερμότερος θεωρείται ο καύσωνας που έχει την υψηλότερη τιμή HWM.
- **CWN_ECF_ECF** (Coldwave number (CWN) as defined by Excess Cold Factor (ECF)): Ο αριθμός των μεμονωμένων ακραίων φαινομένων ψύχους που συμβαίνουν κάθε χρόνο.
- **CWF_ECF** (Coldwave frequency (HWF) as defined by Excess Cold Factor (ECF)): Ο αριθμός των ημερών που παρατηρήθηκαν ακραία φαινόμενα ψύχους, όπως ορίζεται από το CWN_ECF.
- **CWD_ECF** (Coldwave duration (CWD) as defined by Excess Cold Factor (ECF)): Η διάρκεια του μεγαλύτερου ακραίου φαινομένου ψύχους κατά την περίοδο μελέτης, όπως ορίζεται από το CWN_ECF.
- **CWM_ECF** (Coldwave magnitude (CWM) as defined by Excess Cold Factor (ECF)): Η μέση θερμοκρασία όλων των ακραίων φαινομένων ψύχους κατά την περίοδο μελέτης, όπως ορίζεται από το CWN_ECF.
- **CWA_ECF** (Coldwave amplitude (CWA) as defined by Excess Cold Factor (ECF)): Η ελάχιστη ημερήσια τιμή του ψυχρότερου ακραίου φαινομένου ψύχους. Ψυχρότερο θεωρείται το ακραίο φαινόμενο ψύχους με το χαμηλότερο EWM_ECF.

Οι κλιματικοί δείκτες μπορούν να περιγράψουν διαφορετικούς τομείς, όπως η υγεία, η γεωργία και η σίτιση, οι υδάτινοι πόροι και η σίτιση, οι ακτές, ο περιορισμός των καταστροφών, η αλιεία, η δασοκομία και η κρυόσφαιρα (Εικόνα 2.8).

Index 	Health	Agriculture and food security	Water resources and food security	Coasts	Disaster Risk Reduction	Energy	Fisheries	Forestry/GHGs	Cryosphere
FD Frost days	✓	✓			✓			✓	✓
TNlt2 TN below 2 °C		✓						✓	✓
TNltm2 TN below -2 °C		✓						✓	✓
TNltm20 TN below -20 °C		✓			✓			✓	✓
ID Ice Days		✓			✓			✓	✓
SU Summer days	✓				✓				
TR Tropical nights	✓	✓			✓			✓	
GSL Growing season length		✓			✓			✓	
TXx MaxTX		✓				✓		✓	✓
TNn Min TN		✓				✓		✓	✓
WSDI Warm spell duration indicator	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
WSDId User-defined WSD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CSDI Cold spell duration indicator	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
CSDId User-defined CSD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TXgt50p Fraction of days with above-median temperature	✓	✓	✓					✓	
TX95t Very warm day threshold	✓	✓							
TMge5 TM of at least 5 °C		✓						✓	
TMlt5 TM below 5 °C		✓						✓	
TMge10 TM of at least 10 °C		✓						✓	

TMlt10 TM below 10 °C		✓				✓
TXge30 TX of at least 30 °C	✓	✓				✓
TXge35 TX of at least 35 °C	✓	✓		✓	✓	✓
TXdTnd User-defined consecutive number of hot days and nights	✓	✓	✓	✓		✓
HDDheatn Heating Degree Days	✓				✓	
CDDcoldn Cooling Degree Days	✓				✓	
GDDgrown Growing Degree Days	✓	✓				✓
CDD Consecutive Dry Days	✓	✓	✓	✓		✓
R20mm Number of very heavy rain days		✓	✓			✓
PRCPTOT Annual total wet-day PR		✓	✓			✓
R95pTOT Contribution from very wet days		✓	✓			✓
R99pTOT Contribution from extremely wet days		✓	✓			✓
RXdday User-defined consecutive days PR amount	✓	✓	✓	✓		✓
SPI Standardised Precipitation Index	✓	✓	✓	✓		✓
SPEI Standardised Precipitation Evapotranspiration Index	✓	✓	✓	✓		✓
TXbdTNbd User-defined consecutive number of cold days and nights	✓	✓	✓			✓
DTR Daily Temperature Range						✓
TNx Max TN						✓
TXn Min TX						✓
TMm Mean TM			✓			✓

HWM (EHF/TX90/TN90) Heatwave magnitude (HWM) as defined by either the Excess Heat Factor (EHF), 90th percentile of TX or the 90th percentile of TN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HWA (EHF/TX90/TN90) Heatwave amplitude (HWA) as defined by either the Excess Heat Factor (EHF), 90th percentile of TX or the 90th percentile of TN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CWN (ECF) Coldwave number (CWN) as defined by the Excess Cold Factor (ECF)	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
CWF (ECF) Coldwave frequency (CWF) as defined by the Excess Cold Factor (ECF)	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
CWD (ECF) Coldwave duration (CWD) as defined by the Excess Cold Factor (ECF)	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
CWM (ECF) Coldwave magnitude (CWM) as defined by the Excess Cold Factor (ECF)	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
CWA (ECF) Coldwave amplitude (CWA) as defined by the Excess Cold Factor (ECF)	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓

Εικόνα 2.8: Οι χρήσεις των κλιματικών δεικτών

(Indices, n.d.-b)

2.4 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ή Geographic Information System (GIS) δημιουργούν, διαχειρίζονται, αναλύουν και χαρτογραφούν όλους τους τύπους δεδομένων. Ακόμη, έχουν τη δυνατότητα χαρτογραφικής αποτύπωσης των δεδομένων. Συνεπώς, παρουσιάζουν χάρτες με πολλαπλές πληροφορίες (Εικόνα 2.9). Ένα ΓΣΠ αποτελείται από:

- το υλικό, δηλαδή τον εξοπλισμό και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη χρήση ενός ΓΣΠ,
- το λογισμικό, δηλαδή τα προγράμματα και οι διαδικασίες που εκτελούνται στη συσκευή,
- τα δεδομένα, τα οποία κατανέμονται στο χώρο και μεταβάλλονται στο χρόνο,
- τις διαδικασίες, όπως είναι η συλλογή, η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων,
- το ανθρώπινο δυναμικό, το οποίο συντονίζει τα στατιστικά μέρη και
- το διαδίκτυο, το οποίο βοηθά στην αναζήτηση πληροφοριών, στην επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ χρηστών ((Καϊμάρης & Καρανικόλας, 2014), (*Geographical Information Systems: A Renaissance of Geodemographics for Public Service Delivery* - Paul Longley, 2005, n.d.)) (Εικόνα 2.10)



Εικόνα 2.9: Πολλαπλά επίπεδα πληροφορίας

(GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics | Esri, n.d.)



Εικόνα 2.10: Τα συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ

(Geographical Information Systems: A Renaissance of Geodemographics for Public Service Delivery - Paul Longley, 2005, n.d.)

Τα ΓΣΠ έχουν πολλές εφαρμογές σε κοινωνικό, οικονομικό, εκπαιδευτικό, περιβαλλοντικό και διαχειριστικό επίπεδο. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται σε δημογραφικές έρευνες, στην αρχαιολογία,

στις μεταφορές, στα οδικά δίκτυα, στην τοπική αυτοδιοίκηση. Επιπλέον, έχουν εφαρμογές στις γεωεπιστήμες, στις φυσικές καταστροφές, στο κτηματολόγιο, στις επιστήμες υγείας, στην εγκληματικότητα, στην ανάλυση της αγοράς κ.α.. Η διαδρομή από τον καθορισμό ενός προβλήματος μέχρι τη λήψη των αποφάσεων είναι η εξής: ορίζεται το πρόβλημα, γίνεται αναζήτηση δεδομένων από διάφορες βάσεις δεδομένων και πηγές, πραγματοποιούνται στατιστικοί έλεγχοι και υπολογισμοί, έπειτα χωρική ανάλυση και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων με θεματικούς χάρτες, διαγράμματα, ανάλυση τάσεων, μοντελοποίηση κ.α. μέσω των ΓΣΠ, τέλος γίνεται η λήψη των αποφάσεων.

Τα γεωγραφικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν με δύο μορφές: τα δεδομένα διανυσματικής μορφής (vector) και τα δεδομένα ψηφιδωτής μορφής (raster). Οι εικόνες vector αποτελούνται από σημεία, γραμμές και πολύγωνα και μπορούν να υποστούν οποιαδήποτε κλιμάκωση μεγέθους χωρίς να αλλοιώνονται ποιοτικά διότι βασίζονται στην απεικόνισή τους σε αλγόριθμο και όχι εικονοστοιχεία (Εικόνα 2.11). Έτσι, όσο κι αν ο χρήστης αυξομειώσει το μέγεθος της εικόνας (μεγέθυνση – σμίκρυνση), η ανάλυσή της δε θα μεταβληθεί. Συνήθεις τύποι εικόνων vector είναι: *EPS*, *SVG*.



Εικόνα 2.11: Αναπαράσταση δεδομένων διανυσματικής μορφής, vector

(ScholarSpace -, n.d.)

Οι εικόνες raster ή bitmap είναι η κατηγορία εικόνων που παράγονται κατά τη σάρωση ή τη φωτογράφιση ενός αντικειμένου και αποτελούνται από εικονοστοιχεία (pixels) ή μικρές κουκκίδες (tiny dots), τα οποία περιέχουν κάποιο χρώμα. Εξαιτίας των εικονοστοιχείων που τα συνθέτουν, εξαρτώνται από την ανάλυση (resolution), δηλαδή όσο περισσότερα εικονοστοιχεία υπάρχουν στην εικόνα, τόσο καλύτερη ανάλυση θα έχει, άρα και υψηλότερη ποιότητα εικόνας (Εικόνα 2.12). Επομένως, αν ο χρήστης μεγεθύνει την εικόνα θα «χαλάσει» η ανάλυσή της, δηλαδή δε θα φαίνεται τόσο καθαρά όσο πριν (Εικόνα 2.13). Συνήθεις τύποι εικόνων raster είναι: *JPG*, *TIFF*, *GIF*, *PNG*, *BMP*.



Εικόνα 2.12: Αναπαράσταση δεδομένων ψηφιδωτής μορφής, raster

(ScholarSpace -, n.d.)



Εικόνα 2.13: Διαφορά στη μεγέθυνση μεταξύ εικόνων vector και raster

(ScholarSpace -, n.d.)

2.5 Κίνδυνοι

Οι κίνδυνοι που θα αναλυθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι: η ξηρασία, η πυρκαγιά, η πλημμύρα, τα ακραία θερμικά φαινόμενα και τα ακραία φαινόμενα ψύχους.

2.5.1 Ξηρασία

Ως ξηρασία ορίζεται η έλλειψη βροχοπτώσεων για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και αποτελεί μέρος της φυσιολογικής κλιματικής μεταβλητότητας σε πολλές κλιματικές ζώνες. Δεν έχει συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, δηλαδή μπορεί να αναπτυχθεί γρήγορα και να διαρκέσει μερικές εβδομάδες ή να παραμείνει για μήνες ή ακόμη και χρόνια (Δούβης, 2009). Οι αιτίες πρόκλησης του φαινομένου είναι πολλές και σύνθετες. Εκτός από την έλλειψη βροχοπτώσεων, αιτίες θεωρούνται και η κλιματική αλλαγή, καθώς επηρεάζεται η θερμοκρασία και η βροχόπτωση, η υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων, η αποψίλωση των δασών, η αλλαγή ροής των ποταμών και των ρεμάτων κ.α.. Οι βασικοί τύποι ξηρασίας είναι οι ακόλουθοι (Δαλέζιος & Dalezios, 2016):

- Μετεωρολογική ή κλιματολογική ξηρασία: είναι ένα φυσικό γεγονός περιοχικής κλίμακας και βασίζεται στην έλλειψη βροχοπτώσεων στη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Τα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας είναι η χαμηλότερη βροχόπτωση από το μέσο όρο της περιοχής για ορισμένο χρονικό διάστημα και μπορεί να προκαλέσει έλλειψη της υγρασίας του εδάφους.
- Υδρολογική ξηρασία: βασίζεται στην επίδραση της έλλειψης βροχοπτώσεων στην παροχή νερού σε ροές ρευμάτων, ταμιευτήρες και σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Το χαρακτηριστικό της υδρολογικής ξηρασίας είναι όταν η παροχή των επιφανειακών ή των υπόγειων υδάτων είναι μικρότερη από την ελάχιστη παροχή που απαιτείται για την κανονική λειτουργία μιας λεκάνης απορροής. Δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της βροχόπτωσης και της κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων αποθεμάτων νερού, ενώ διαπιστώνεται καθυστέρηση από το χρονικό διάστημα απουσίας βροχοπτώσεων έως την εμφάνιση αυτών των ελλείψεων στα επιφανειακά και υπόγεια υδρολογικά συστήματα.
- Γεωργική ή αγρομετεωρολογική ξηρασία: βασίζεται στις επιπτώσεις στη γεωργία από έλλειψη βροχοπτώσεων, μείωση των υπόγειων και εδαφικών υδάτων. Αυτός ο τύπος ξηρασίας παρατηρείται όταν δεν έχει υγρασία στο έδαφος, με αποτέλεσμα τη μείωση των καλλιεργειών. Δεν έχει άμεση σχέση η βροχόπτωση με τη διείδυση στο έδαφος, καθώς η διείδυση εξαρτάται κυρίως από τον τύπο και την κλίση του εδάφους. Οι περιοχές που είναι πιο ευάλωτες στην

γεωργική ξηρασία είναι αυτές που τα εδάφη τους έχουν μικρή ικανότητα συγκράτησης του νερού (Εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.14: Τα είδη της ξηρασίας και η χρονική ακολουθία τους

(Δαλέζιος & Dalezios, 2016)

Αναφορικά με την αντιμετώπισή της, χρήζει στρατηγικών διαχειρίσεων των υδατικών πόρων και αειφόρων πρακτικών. Ειδικότερα, η ανάπτυξη δομών αποθήκευσης νερού και υδροδότησης και η προώθηση της βιοποικιλότητας, με σκοπό την προσαρμογή των οικοσυστημάτων. Επιπλέον, η χρήση αποτελεσματικών συστημάτων άρδευσης και η επιλογή πιο ανθεκτικών στην ξηρασία ποικιλιών φυτών. Τέλος, ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η ενημέρωση του κοινού αλλά ειδικά των αγροτών για την αντιμετώπιση του φαινομένου αλλά και για τη χρήση νέων τεχνολογιών και η ψυχολογική και οικονομική υποστήριξη των ανθρώπων που πλήττονται από αυτό.

2.5.2 Πλημμύρα

Στην Ελλάδα εκδηλώνονται πλημμυρικά γεγονότα με σημαντικές επιπτώσεις τόσο στις ζωές ανθρώπων και ζώων, όσο και στα κτίρια. Επομένως, είναι απαραίτητη η γνώση της διάρκειας και της συχνότητας των ακραίων βροχοπτώσεων, ώστε να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός υδρολογικών έργων και συστημάτων/δικτύων παροχέτευσης. Εκτός των άλλων, η γνώση της έντασης της βροχόπτωσης είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη, για να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις που δύναται να επιφέρει ένα τέτοιο φαινόμενο.

Τα τελευταία έτη παρατηρείται αυξητική τάση των βροχοπτώσεων και κατ' επέκταση των πλημμυρών (Zittis et al., 2022). Ο σαφής προσδιορισμός της αιτίας και του αποτελέσματος αυτής της αύξησης δεν είναι εύκολος, καθώς πραγματοποιούνται ταχείες και συχνά ταυτόχρονες αλλαγές στον πληθυσμό και στις υποδομές. Εκτός όμως από τις ξαφνικές, μεγάλης έντασης και διάρκειας βροχοπτώσεις, αιτίες των πλημμυρών είναι το λιώσιμο του χιονιού και του πάγου και οι καταστροφές

τεχνικών έργων συγκέντρωσης νερού. Καθώς επίσης, η εντατική αστικοποίηση στις κοίτες των ποταμών και ο ενισχυμένος υδρολογικός κύκλος θεωρούνται πιθανές αιτίες αυτού του φαινομένου. Όσον αφορά την πρόκληση πλημμυρικών φαινομένων, οι παράγοντες μπορεί να είναι κοινωνικοί, οικονομικοί, κλιματικοί ή/και γεωλογικοί.

Οι επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων διακρίνονται σε διάφορους τομείς. Πιο συγκεκριμένα, αφορούν τραυματισμούς και θανάτους ανθρώπων και ζώων, καταστροφές κατοικιών, καταστημάτων και άλλων περιουσιακών στοιχείων. Επίσης προκαλούν, προβλήματα υδροδότησης και ηλεκτροδότησης, ζημιές σε υποδομές, όπως γέφυρες και δρόμους, και γενικότερα προβλήματα στο οικοσύστημα και τους υγροτόπους. Για την εκτιμηθούν οι επιπτώσεις, οι Pielke & Downton (2002) κατέγραψαν δέκα δείκτες για τη βροχόπτωση:

1. συνολική βροχόπτωση
2. αριθμός ημερών με βροχή
3. αριθμός ημερών ακραίων βροχοπτώσεων (>2 ίντσες)
4. αριθμός ισχυρών βροχοπτώσεων διάρκειας 2 ημερών
5. αριθμός ισχυρών βροχοπτώσεων διάρκειας 3 ημερών
6. αριθμός ισχυρών βροχοπτώσεων διάρκειας 5 ημερών
7. αριθμός ισχυρών βροχοπτώσεων διάρκειας 7 ημερών
8. ποσοστό βροχοπτώσεων μιας περιοχής πολύ πάνω από το κανονικό τη χειμερινή περίοδο (Οκτώβριος-Απρίλιος)
9. ποσοστό μιας περιοχής με αριθμό υγρών ημερών πολύ πάνω από το φυσιολογικό
10. ποσοστό μιας περιοχής με πολύ πάνω από το κανονικό της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης από μιας ημέρας ακραία γεγονότα (Pielke et al., n.d.).

Στην Ελλάδα, οι απορροές έχουν κυρίως εποχική διακύμανση: το χειμώνα και την άνοιξη, εξαιτίας των βροχοπτώσεων και το λιώσιμο του χιονιού, οι απορροές είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με το καλοκαίρι. Παρόλα αυτά υπάρχουν και μόνιμες μεταβολές στην απορροή εξαιτίας φυσικών καταστροφών, αποψίλωση των δασών και κατασκευή ταμιευτήρων. Τέλος, αλλαγές στη θερμοκρασία και στη βροχόπτωση επηρεάζουν την απορροή.

Όσον αφορά την αντιμετώπιση των πλημμυρών, χρειάζεται υδρολογική διαχείριση, δηλαδή κατασκευή φραγμάτων και αντιπλημμυρικών έργων, καθώς και διεξαγωγή δειγματοληψιών. Επίσης, ο προσεκτικός σχεδιασμός των αστικών περιοχών είναι απαραίτητος για την αποφυγή θυμάτων και ζημιών. Η εκπαίδευση του κοινού για την ορθή αντιμετώπιση του φαινομένου είναι αναγκαία, όπως και η ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης από τους κρατικούς μηχανισμούς.

Συμπερασματικά, εξαιρετικά σημαντική είναι η πρόγνωση των ακραίων συμβάντων, αλλά πιο σημαντική είναι η πρόγνωση του μεγέθους και του χρόνου εμφάνισης μιας πλημμύρας. Όμως, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα, οι έρευνα θα πρέπει να προσανατολιστούν στην ελάττωσή της, με πιο ακριβή πρόβλεψη του του υδρολογικού κύκλου και της κλιματικής αλλαγής.

2.5.3 Δασικές πυρκαγιές

Οι δασικές εκτάσεις είναι ένας ανανεώσιμος πόρος με τεράστια και μοναδική συμβολή στο φυσικό περιβάλλον και στους οργανισμούς που ζουν σε αυτό. Ίσως το βασικότερο όλων, είναι η

διαδικασία της φωτοσύνθεσης και η απομάκρυνση διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Επίσης, τα δάση προσφέρουν τροφή σε ανθρώπους και ζώα, ρητίνη, ξύλο, βοηθούν στην απορρόφηση νερού από τις ρίζες τους και προσφέρονται ως χώροι αναψυχής. Μία φωτιά για να ξεσπάσει χρειάζεται τρία στοιχεία: έναν οξειδωτικό παράγοντα, συνήθως οξυγόνο, κάποια καύσιμη ύλη και θερμότητα. Αυτό είναι το λεγόμενο τρίγωνο της φωτιάς (Εικόνα 2.15). Για να σβήσει η φωτιά πρέπει να απομακρυνθεί ένα από τα τρία στοιχεία.



Εικόνα 2.15: Σχηματική απεικόνιση των βασικών παραγόντων για την εμφάνιση πυρκαγιάς, γνωστό κι ως "το τρίγωνο της φωτιάς"

(*Wikipedia, the free encyclopedia*, n.d.)

Οι αιτίες λόγω των οποίων ξεσπά μία πυρκαγιά ποικίλλουν ανάλογα με την περιοχή, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τους ανθρωπογενείς παράγοντες. Για παράδειγμα, ένας κεραυνός δύναται να προκαλέσει πυρκαγιά, ημέρες με υψηλές θερμοκρασία, ξηρασία και έντονους ανέμους, είναι μέρες επικίνδυνες για να ξεσπάσει κάποια φωτιά. Όμως, οι πιο συχνές πυρκαγιές, τουλάχιστον στην Ελλάδα, προκαλούνται από ανθρώπινη δραστηριότητα, είτε αυτή είναι από αμέλεια είτε με πρόθεση. Για παράδειγμα, κατά την καύση ξερών κλαδιών σε κάποιο χωράφι, υπάρχει περίπτωση να χαθεί από τον έλεγχο του αγρότη και να ξεσπάσει πυρκαγιά. Επιπρόσθετα, από βραχυκύκλωμα σε υποσταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας είτε από καύσεις απορριμμάτων ελλοχεύει ο κίνδυνος. Με τη γνώση των αιτιών θα είναι δυνατός και ο σχεδιασμός μέτρων πρόληψης. Οι δασικές πυρκαγιές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Δαλέζιος & Dalezios, 2016):

1. Πυρκαγιά εδάφους ή υπόγεια: η καύσιμη ύλη είναι οργανική ύλη, η οποία συσσωρεύεται σε δάση βορείων περιοχών. Όταν υπάρχει βλάστηση, οι πυρκαγιές εδάφους μετατρέπονται σε πυρκαγιές επιφανείας.
2. Πυρκαγιά επιφανείας ή έρπουσα: η καύσιμη ύλη είναι ζωντανή βλάστηση, ξηρά κλαδιά και άλλα υπολείμματα ξύλων. Λόγω της υπερθέρμανσης, βλάπτεται το κατώτερο μέρος των δέντρων και νεκρώνεται.
3. Πυρκαγιά κόμης ή επικόρυφη: η καύσιμη ύλη είναι η κόμη των δέντρων. Λόγω της υπερθέρμανσης τα δέντρα νεκρώνουν. Είναι η πιο επικίνδυνη πυρκαγιά, καθώς από αυτή καταστρέφονται τα μεγάλα δάση.

Επειδή μία δασική πυρκαγιά τις περισσότερες φορές είναι μεγάλη σε μέγεθος, οι επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η κυριότερη επίπτωση είναι η καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας του δάσους και η αλλαγή της οικολογικής ισορροπίας. Αυτά χρειάζονται πολλά χρόνια για να επανέλθουν στην κατάσταση που ήταν πριν τη φωτιά. Εξίσου, σημαντική συνέπεια είναι η καταστροφή των δασικών πόρων και κατ' επέκταση η επιδείνωση της ποιότητας του αέρα. Εκτός των παραπάνω, καίγονται τα σπίτια και οι περιουσίες των πολιτών, καθώς και πεθαίνουν πολλοί άνθρωποι και ακόμη περισσότερα ζώα.

Αναφορικά με τα μέτρα προστασίας των δασικών πυρκαγιών, αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα προληπτικά μέτρα. Σε αυτή ανήκουν όλα τα μέτρα που στόχο έχουν τη μείωση της πιθανότητας ανάφλεξης μιας δασικής πυρκαγιάς ή τη μείωση της πιθανότητας εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς. Επίσης περιλαμβάνει, τα μέτρα που σκοπεύουν τη δημιουργία ενός μηχανισμού γρήγορου εντοπισμού και αντιμετώπισης πυρκαγιάς. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα μέτρα επέμβασης. Τα μέτρα αυτής της κατηγορίας έχουν άμεση σχέση με το τρίγωνο της φωτιάς. Ειδικότερα, η κατασκευή μιας αντιπυρικής ζώνης, μπορεί να απομακρύνει την καύσιμη ύλη, η κατάβρεξη με νερό, μπορεί να περιορίσει τη θερμική ενέργεια και η κάλυψη της φωτιάς με χώμα, νερό ή άλλο υλικό, μπορεί να απομακρύνει το οξυγόνο.

2.5.4 Ακραία Θερμά Φαινόμενα

Ως ακραίο θερμό φαινόμενο ορίζεται η περίπτωση κατά την οποία η θερμοκρασία μιας περιοχής είναι υψηλότερη από ένα όριο (απόλυτο ή ποσοστιαίο) της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για μία περίοδο συνεχόμενων ημερών (Wu et al., 2019). Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά αυτής της περιόδου είναι τα εξής: θερμοκρασία υψηλότερη από τη συνηθισμένη θερμοκρασία της εποχής, ασθενείς άνεμοι, χαμηλή υγρασία. Τα ακραία θερμά φαινόμενα επηρεάζουν αρνητικά τον τρόπο ζωής και την υγεία όλων των ζωντανών οργανισμών. Όλες αυτές οι συνθήκες πρέπει να διαρκούν ένα παρατεταμένο χρονικό διάστημα, συνήθως από αρκετές ημέρες έως εβδομάδες. Τέτοια φαινόμενα εμφανίζονται τους καλοκαιρινούς μήνες στα μέσα και υψηλά γεωγραφικά πλάτη, ενώ είναι ενδημικά στους τροπικούς. Είναι ένα ιδιαίτερα επικίνδυνο φαινόμενο, καθώς προκαλεί προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και πολλούς θανάτους σε όλο τον κόσμο αλλά και στην Ελλάδα. Η ποσοτική εκτίμηση του καύσωνα γίνεται με τη βοήθεια δεικτών, κάποιοι από τους οποίους περιέχουν το ισοζύγιο ενέργειας του σώματος των ζωντανών οργανισμών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ισοζύγιο ενέργειας είναι πολλοί. Ορισμένοι από αυτούς είναι η ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία, ο αερισμός, η ηλικία και τη κατάσταση της υγείας του ατόμου.

Οι καύσωνες έχουν άμεση σχέση με την παρουσία συστημάτων υψηλών πίεσεων στην ατμόσφαιρα, διότι καθώς ο αέρας βυθίζεται, υφίστανται συμπίεση και προκαλείται θέρμανση του. Μία ακόμη αιτία αύξησης της θερμοκρασίας αποτελεί η απουσία νεφοκάλυψης. Πιο συγκεκριμένα, όταν δεν υπάρχουν νέφη στον ουρανό, η άμεση ακτινοβολία του Ήλιου που φτάνει στο έδαφος είναι μεγαλύτερη, άρα η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη και κατά συνέπεια και η θερμοκρασία. Επίσης, η γεωγραφία της κάθε περιοχής, δηλαδή αν είναι αστικό περιβάλλον, πεδιάδα, έρημος ή οροσειρά ενισχύει ή όχι φαινόμενα τοπικού καύσωνα. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη συχνότητα και την ένταση του φαινομένου. Οι δραστηριότητες των ανθρώπων μπορούν να επιδεινώσουν την αύξηση της θερμοκρασίας. Εκτός των άλλων, μεγάλες περίοδοι ξηρασίας, αεροχείμαρροι (jet streams), αλλά και ωκεάνια φαινόμενα, όπως το El Niño και το La Niña, επηρεάζουν την ατμόσφαιρα.

Οι επιπτώσεις που προκαλούν οι καύσωνες είναι πολύπλευρες. Το βασικότερο όλων είναι ότι προκαλούν νέα προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων και ειδικότερα στις ευπαθείς ομάδες ή επιδεινώνουν τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα. Υπάρχει κίνδυνος αφυδάτωσης των ανθρώπων και των ζώων αλλά και ανεπάρκειας νερού για τις καλλιέργειες και για άλλες χρήσεις. Κατ' επέκταση, δημιουργείται κοινωνικό και οικονομικό πρόβλημα στους αγρότες, στην παραγωγικότητα και στην ιατροφαρμακευτική περίθαλψη. Επιπρόσθετα, τέτοιες συνθήκες ευνοούν την έναρξη πυρκαγιάς. Κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα, οι απαιτήσεις για κλιματισμό είναι αυξημένες, συνεπώς καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας και υπερφορτώνεται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

2.5.5 Ακραία φαινόμενα ψύχους

Φαινόμενα ψύχους με χαμηλές τιμές θερμοκρασίας και ισχυρούς ανέμους παρατηρούνται κάθε χειμώνα σε τουλάχιστον ένα μέρος της Ελλάδας. Ψυχρό κύμα θεωρείται μία παρατεταμένη περίοδος, κατά την οποία η θερμοκρασία υποχωρεί κάτω από το θερμοκρασιακό μέσο όρο της περιοχής, δηλαδή από τις τυπικές τιμές της εποχής. Η διάρκεια τέτοιων φαινομένων ποικίλλει, δηλαδή μπορεί να διαρκέσουν από αρκετές ημέρες έως εβδομάδες. Αυτή την κατάσταση μπορεί να την επιβαρύνει ο άνεμος, καθώς εξαιτίας του η αίσθηση του κρύου είναι πιο ανυπόφορη.

Τα ψυχρά κύματα συνδέονται με τα συστήματα υψηλών πιέσεων, τα οποία προκαλούν βύθιση του αέρα και ψύχουν την επιφάνεια. Κάποιες από τις ψυχρές αέριες μάζες προέρχονται από τις πολικές ή αρκτικές περιοχές ή συνδέονται με τους αεροχείμαρους (jet streams) και κατευθύνονται νότια προς τα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Επιπλέον, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά ορισμένων περιοχών, π.χ. οροσειρές, σε συνδυασμό με τους καθοδικούς ανέμους ευνοούν την ανάπτυξη και την κίνηση αερίων μαζών χαμηλής θερμοκρασίας. Η χιονοκάλυψη ενισχύει το ψύχος, διότι η ακτινοβολία του Ήλιου καθώς πέφτει πάνω στην επιφάνεια του χιονιού ανακλάται ισχυρά, με αποτέλεσμα να μην φτάνει στο έδαφος, άρα να μην μπορεί να απορροφηθεί και να θερμάνει την επιφάνεια. Άλλη αιτία ανάπτυξης ψυχρών κυμάτων είναι τα πρότυπα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και μερικά ωκεάνια φαινόμενα, όπως το El Niño και το La Niña.

Ομοίως με τις επιπτώσεις των ακραίων θερμικών φαινομένων, η βασική επίπτωση των ακραίων φαινομένων ψύξης αφορά την υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Πιο αναλυτικά, υπάρχει κίνδυνος υποθερμίας και κρυοπαγημάτων αν εκτεθούν ώρες στο κρύο, τραυματισμών και ατυχημάτων στους δρόμους εξαιτίας του πάγου. Οι άστεγοι θα αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα, αφού δεν έχουν να καταφύγουν σε κάποιο ασφαλές χώρο. Πιθανώς δημιουργηθεί πρόβλημα λόγω της αυξημένης ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια των πολιτών για να καταφέρουν να θερμανθούν και ζημιές σε σωλήνες και άλλες υποδομές. Επίσης, θα πληχθεί η γεωργία, καθώς θα καταστραφούν τα πιο ευαίσθητα φυτά και θα μειωθεί η απόδοση των καλλιεργειών και τα υδάτινα οικοσυστήματα, αφού θα δημιουργηθεί πάγους σε λίμνες, ποτάμια και πηγές. Πρόβλημα θα αντιμετωπίσουν και τα ζώα, επειδή δε θα βρίσκουν εύκολα νερό και τροφή. Τέλος, ελλοχεύει ο κίνδυνος της εκδήλωσης καταιγίδας με χιονόπτωση και συσσώρευση πάγου.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων επιλεγμένων κλιματικών κινδύνων που αφορούν την περιοχή της Ελλάδας, τόσο σε χωρική ανάλυση 1km όσο και σε κλίμακα περιφέρειας. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε βασίστηκε στο θεωρητικό πλαίσιο για την εκτίμηση της τρωτότητας (Κεφάλαιο 2.2) και είναι κοινή για τους κινδύνους που εξετάστηκαν, δίνοντας έμφαση στην εξέταση των δυνητικών επιπτώσεων. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε τόσο σε ιστορικά κλιματικά δεδομένα όσο και σε προσομοιώσεις κλιματικών μοντέλων.

Αρχικά με στόχο την αναγνώριση των μεταβολών στις κλιματικές συνθήκες στην περιοχή της Ελλάδας για τις μέσες κλιματικές συνθήκες (TXm, TMm, TNm, PRCPTOT) και για μεταβολές σχετικά με την συχνότητα εμφάνισης τιμών (R20mm, TXge35) πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω:

1. Υπολογισμός και οπτικοποίηση των μέσων κλιματικών συνθήκων για τις περιόδους 1971-2000, 1981-2010 και 1991-2020.
2. Υπολογισμός των γραμμικών τάσεων και των κλίσεων σύμφωνα με τον στατιστικό έλεγχο Mann-Kendall και της κλίσης Sen.
3. Εφαρμογή της ανάλυσης ακραίων τιμών για τον επανεμφάνιση των ακραίων γεγονότων (return periods).

Η μεθοδολογία σχετικά με την εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων για τους υπό μελέτη κινδύνους βασίστηκε στα παρακάτω βήματα:

1. Επιλογή των χρονικών περιόδων ενδιαφέροντος (ιστορική και μελλοντική περίοδος)
2. Επιλογή βάσης κλιματικών δεδομένων επανανάλυσης, κλιματικών προσομοιώσεων και κλιματικών σεναρίων.
3. Επιλογή δεικτών για τον προσδιορισμό της έκθεσης και της ευαισθησίας ανά κίνδυνο.
4. Υπολογισμός κλιματικών δεικτών.
5. Σύνθεση δεικτών σε περιβάλλον ΓΣΠ.
6. Υπολογισμός έκθεσης και ευαισθησίας ανά κίνδυνο.
7. Εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων των κινδύνων στην ιστορική περίοδο.
8. Εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στους υπό μελέτη κινδύνους.

Η ποσοτική εκτίμηση της έκθεσης κάθε περιοχής στον εκάστοτε κλιματικό κίνδυνο πραγματοποιήθηκε για την παρούσα (1981- 2010) κλιματική περίοδο αλλά και για την μελλοντική (2026 – 2045) για το δυσμενέστερο σενάριο RCP 8.5. Σημειώνεται ότι η ευαισθησία των περιοχών θεωρείται σταθερή για τις διαφορετικές κλιματικές περιόδους. Οι παράγοντες που καθορίζουν την έκθεση, καθώς και οι διαφορές μεταξύ των δυο κλιματικών περιόδων για τον εκάστοτε κλιματικό κίνδυνο αποτυπώνονται σε χάρτες, αφού πρώτα οι τιμές τους κανονικοποιούνται και αναπαρίστανται μέσω ενός διακριτού φάσματος που λαμβάνει τιμές από το 1-5 με ξεχωριστή χρωματική απεικόνιση της κάθε τάξης.

Για τον προσδιορισμό της ευαισθησίας της περιοχής μελέτης σημαντικό ρόλο έχουν τα εγγενή χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως η μορφολογία της, η κάλυψη γης, ο τύπος της βλάστησης κτλ. Για την εκτίμηση της ευαισθησίας των περιοχών στον εκάστοτε κλιματικό κίνδυνο επιλέχθηκε μια σειρά δεικτών ικανών να χαρακτηρίσουν την περιοχή ως ευάλωτη ή μη στον υπό μελέτη κλιματικό κίνδυνο. Επίσης, για τις παραμέτρους της ευαισθησίας έγινε χαρτογραφική απεικόνιση για ολόκληρο τον ελλαδικό

χώρο με χρωματική κωδικοποίηση του φάσματος των τιμών τους. Το τελικό βήμα για την εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων των κλιματικών κινδύνων είναι ο συνδυασμός των παραπάνω δεικτών και παραγόντων. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι μια περιοχή με υψηλό εκτιμώμενο βαθμό έκθεσης και ευαισθησίας εκτιμάται ότι πρόκειται να αντιμετωπίσει σοβαρές επιπτώσεις στη περίπτωση εμφάνισης του συγκεκριμένου κινδύνου. Για την ιστορική κλιματική περίοδο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επανάλυσης ERA5-Land. Αντίστοιχα, για την μελλοντική κλιματική περίοδο χρησιμοποιήθηκαν περιοχικά κλιματικά μοντέλα χωρικής ανάλυσης 12 km από τα οποία εξήχθησαν οι τιμές των παραμέτρων θερμοκρασίας επιφανείας αέρα και συνολικής βροχόπτωσης με τη χρήση του πιο επιθετικού σεναρίου εκπομπών (RCP 8.5) .

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στατιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας για την εκτίμηση των κλιματικών τάσεων, των χρόνων επανεμφάνισης ακραίων τιμών, την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, αλλά και για την εύρεση των δεικτών.

3.1 Στατιστικά Εργαλεία

3.1.1 Ανάλυση ακραίων τιμών (EVA)

Η θεωρία των ακραίων τιμών (Extreme Value Theory - EVT) παρέχει ένα πλαίσιο για την ανάλυση των ακραίων τιμών που εμφανίζονται στις ουρές των στατιστικών κατανομών των μετεωρολογικών μεταβλητών. Η θεωρία αυτή μαζί με τους περιγραφικούς δείκτες, βοηθούν στην αξιολόγηση της έντασης και της συχνότητας ακραίων φαινομένων. Σπάνια φαινόμενα θεωρούνται τα γεγονότα που βρίσκονται στις ουρές της κατανομής πιθανότητας των μετεωρολογικών μεταβλητών. Για τη μελέτη της κατανομής των ακραίων τιμών υπάρχουν δύο μέθοδοι. Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται “peaks-over-threshold” ή μέθοδος POT, ενώ η δεύτερη ονομάζεται “block maxima” (*World Meteorological Organization, n.d.*) (Εικόνα 3.1).

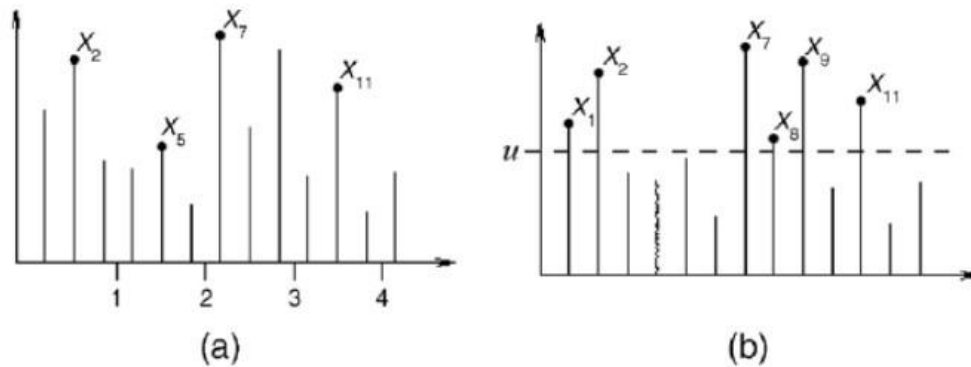
Η μέθοδος POT χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των κλιματικών μεταβλητών ή δεικτών που έχουν υπερβεί το ανώτερο όριο (σχετικό ή απόλυτο) και χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της συμπεριφοράς των υπερβάσεων πάνω από ένα όριο (κατώφλι) και τη διαδικασία της υπέρβασης του ορίου αυτού. Έτσι, υπό κατάλληλες συνθήκες οι ακραίες τιμές που προσδιορίζονται με αυτόν τον τρόπο, θα έχουν κατανομή Pareto ή GP. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτεί περισσότερες αποφάσεις από το χρήστη, ενώ το πλεονέκτημα της είναι ότι δυνητικά οδηγεί σε ακριβέστερες εκτιμήσεις των ακραίων τιμών.

Με τη δεύτερη μέθοδο εξετάζεται το δείγμα των ακραίων τιμών έπειτα από επιλογή της μέγιστης ή της ελάχιστης τιμής για κάθε υποσύνολο (μπλοκ). Η κατανομή που προκύπτει από τα μέγιστα των υποσυνόλων ονομάζεται Generalized Extreme Value ή GEV. Η κατανομή αυτή έχει τρεις παραμέτρους: θέση, κλίμακα και σχήμα, οι οποίες μπορούν να εκτιμηθούν με τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (*The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) Values of Meteorological Elements - Jenkinson - 1955 - Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society - Wiley Online Library, n.d.*), την μέθοδο L-Ροπών (L-Moments) (Hosking, 1990), ή τη μέθοδο των ροπών (Moments). Η μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγάλα δείγματα και όταν το κλίμα πιθανολογείται πως δεν είναι στάσιμο, ενώ η μέθοδος L-Ροπών χρησιμοποιείται σε μικρά δείγματα.

Η παράμετρος του σχήματος καθορίζει εάν η κατανομή που εφαρμόζεται θα έχει άνω, κάτω ή καθόλου όριο. Εάν δεν υπάρχει όριο, η τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου είναι μηδέν και η κατανομή ονομάζεται Gumbel (Gumbel, 2019). Στις άλλες δύο περιπτώσεις, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της θέσης των ακροτάτων τιμών ώστε να χαρακτηριστεί το σχήμα θετικό ή αρνητικό (*A Hybrid Estimator for Generalized Pareto and Extreme-Value Distributions: Communications in Statistics - Theory and Methods: Vol 27, No 4, n.d.*).

Απαραίτητος είναι ο στατιστικός έλεγχος της κατανομής, ο οποίος βρίσκει κατά πόσο η μεταβλητή ακολουθεί την κατανομή που εφαρμόζεται (test the goodness-of-fit of the fitted distribution). Η αξιολόγηση της αβεβαιότητας των εκτιμήσεων των παραμέτρων της κατανομής από τον υπολογισμό των τυπικών σφαλμάτων και των διαστημάτων εμπιστοσύνης είναι μία ακόμη σημαντική διαδικασία.

Η θεωρία των ακραίων τιμών που διέπει τις κατανομές GP και GEV απαιτεί ορισμένες παραδοχές, όπως η στασιμότητα. Γενικά, η εμπιστοσύνη σε ένα επίπεδο απόδοσης μειώνεται ραγδαία όταν η περίοδος είναι μεγαλύτερη από περίπου δύο φορές το μήκος του αρχικού συνόλου δεδομένων.



Εικόνα 3.1: Οι ακραίες παρατηρήσεις σύμφωνα με τις τεχνικές α) Block Maxima και β) POT (Bhattacharyya & Ritolia, 2008)

3.1.2 Mann-Kendall

Κατά τη μελέτη των χρονοσειρών πραγματοποιούνται στατιστικοί έλεγχοι με σκοπό την εύρεση της μονοτονίας, της κλίσης και το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών. Οι στατιστικοί έλεγχοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους παραμετρικούς στατιστικούς ελέγχους και τους μη παραμετρικούς. Μία βασική διαφορά μεταξύ τους είναι ότι οι παραμετρικοί έλεγχοι προϋποθέτουν τα δεδομένα που εξετάζονται να ακολουθούν την κανονική κατανομή, ενώ οι μη παραμετρικοί δεν έχουν αυτή την προϋπόθεση. Επίσης, χρησιμοποιούν διαφορετικές παραμέτρους με σκοπό την εύρεση της τάσης της χρονοσειράς.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε μη παραμετρικός στατιστικός έλεγχος. Πιο αναλυτικά, εφαρμόστηκε Mann-Kendal τεστ για τον προσδιορισμό της τάσης και κλίση Sen για την εκτίμηση του μεγέθους της τάσης. Η δοκιμή Mann-Kendall είναι μη παραμετρικός έλεγχος για τη μηδενική κλίση της

γραμμικής παλινδρόμησης των δεδομένων σε σχέση με το χρόνο. Το τεστ εφαρμόζεται εάν η χρονοσειρά ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο: $x_i = f(t_i) + \varepsilon_i$ (Σχέση 3.1)

Όπου το $f(t)$ είναι μία γνησίως μονότονη συνάρτηση (αύξουσα ή φθίνουσα) ως προς το χρόνο, τα ε_i είναι από την ίδια κατανομή με μηδενική μέση τιμή.

Εάν $n \leq 40$, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη διαδικασία.

Έστω $\text{sgn}(x_j - x_k)$ είναι μία indicator function που παίρνει τιμές 1, 0 ή 1 σύμφωνα με τη σχέση (Σχέση 3.2):

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{If } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{If } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{If } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (\text{Σχέση 3.2})$$

Η Mann-Kendall υπολογίζεται ως εξής (Σχέση 3.3):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (\text{Σχέση 3.3})$$

Όταν τα x_j και x_k είναι οι ετήσιες τιμές κατά τα έτη j και k , όπου $j > k$.

Εάν $n > 40$, χρησιμοποιείται η δοκιμή κανονικής προσέγγισης (Gilbert, 1987). Το 1975 ο Kendall πρότεινε να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος για $n < 10$, εκτός αν υπάρχουν πολλές συζευγμένες ομάδες. Ο υπολογισμός της διακύμανσης του S γίνεται ως εξής (Σχέση 3.4):

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (\text{Σχέση 3.4})$$

Όπου q είναι το πλήθος των συζευγμένων ομάδων, t_p είναι το πλήθος των τιμών της p -οστής ομάδας.

Με τα παραπάνω αποτελέσματα υπολογίζεται το Z ως εξής (Σχέση 3.5):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{If } S > 0 \\ 0 & \text{If } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{If } S < 0 \end{cases} \quad (\text{Σχέση 3.5})$$

Η τιμή που θα προκύψει, υποδηλώνει εάν η τάση είναι στατιστικά σημαντική. Η κατανομή της μεταβλητής Z είναι κανονική. Ειδικότερα, η θετική τιμή Z αντιστοιχεί σε ανοδική τάση, ενώ η αρνητική τιμή σε καθοδική τάση. Για να ελεγχθεί η τάση σε επίπεδο σημαντικότητας α , η αρχική υπόθεση H_0 απορρίπτεται εάν $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$, όπου $Z_{1-\alpha/2}$ προκύπτει από τους τυπικούς πίνακες κανονικής αθροιστικής κατανομής. Στα στατιστικά τεστ, η σημαντικότητα α μπορεί να ισούται με κάποια από τις ακόλουθες τιμές: 0,001, 0,01, 0,05, 0,1. (Nanda et al., 2022)

Συνεπώς, ο έλεγχος Mann-Kendall είναι ένα στατιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εξέταση της τάσης μιας χρονοσειράς δεδομένων. Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται για να εκτιμηθεί η τάση των μετεωρολογικών δεδομένων ERA5 Land κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων που ορίστηκαν. Ο έλεγχος Mann-Kendall αξιολογεί εάν η τάση είναι στατιστικά σημαντική και αν έχει αυξητική, μειούμενη ή σταθερή πορεία.

Τα πλεονεκτήματα του ελέγχου Mann-Kendall είναι ότι αφού είναι μη παραμετρική μέθοδος, κάνει ελάχιστες υποθέσεις για την υποκείμενη κατανομή των δεδομένων. Επιπλέον, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην ανίχνευση της μονοτονίας των τάσεων. Αντίθετα, δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και την κλίση της τάσης. Ένα ακόμη μειονέκτημά της είναι ότι δεν δίνει πάντα αξιόπιστο αποτέλεσμα στις ακραίες τιμές.

3.1.3 Κλίση Sen

Η κλίση Sen είναι μία άλλη μη παραμετρική μέθοδος, η οποία δίνει το μέγεθος της κλίσης (αλλαγή ανά μονάδα χρόνου). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν θεωρείται γραμμική η τάση. Άρα η Σχέση 1 γίνεται: $f(t) = Q_t + B$ (Σχέση 3.6)

Όπου Q είναι η κλίση και B είναι μία σταθερά ($y=ax+b$)

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για την εύρεση της κλίσης της Σχέσης 6 είναι ο ακόλουθος (Σχέση 3.7):

$$Q_t = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (\text{Σχέση 3.7})$$

Όπου x_j και x_k είναι οι τιμές των δεδομένων σε χρονικές στιγμές j και k , όπου $j > k$.

Υπολογίζονται δηλαδή πρώτα οι κλίσεις όλων των επιμέρους ζευγών τιμών, όπου N είναι ο αριθμός τους. Η διάμεσος του N είναι η κλίση Sen. Αυτή η διαδικασία υπολογίζεται σε δύο διαστήματα εμπιστοσύνης $\alpha=0,01$ και $\alpha=0,05$. Όμως το 1968 ο Sen Ένα αμφίπλευρο διάστημα εμπιστοσύνης 100 $(1-\alpha)\%$ σχετικά με την πραγματική κλίση μπορεί να ληφθεί με τη δεδομένη μη παραμετρική τεχνική. Αυτή η διαδικασία βασίζεται στην κανονική κατανομή για $n < 10$, εκτός αν υπάρχουν πολλαπλοί δεσμοί και είναι η γενίκευση της θεωρίας των Hollander και Wolfe (1973) όταν υπάρχουν ties ή/και πολλαπλές παρατηρήσεις ανά χρονική περίοδο. Έτσι, ο υπολογισμός γίνονται όπως φαίνεται παρακάτω (Σχέση 3.8 και Σχέση 3.9):

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{VAR(S)} \quad (\text{Σχέση 3.8})$$

$$M_1 = \frac{N - C_a}{2}, M_2 = \frac{N + C_a}{2} \quad (\text{Σχέση 3.9})$$

Επομένως, η κλίση Sen είναι ένας στατιστικός έλεγχος, ο οποίος βοηθά στην εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής των δεδομένων σε διάφορα χρονικά διαστήματα. Υπολογίζεται με βάση τις διαφορές των δυνατών ζευγών παρατηρήσεων στο χρόνο και είναι ανθεκτικός σε ακραίες τιμές. Η κλίση Sen μπορεί να προσφέρει πρόσθετα στατιστικά στοιχεία και να συμπληρώσει ή να ενισχύσει τα αποτελέσματα του ελέγχου Mann-Kendall.

Αυτός ο στατιστικός έλεγχος είναι ευαίσθητος στις ακραίες τιμές, οπότε δίνει σημαντικές πληροφορίες για αυτές. Επιπλέον, εκτιμά την κλίση και τον ρυθμό μεταβολής των δεδομένων. Τα μειονεκτήματα του είναι ότι παρόλο που υποθέτει γραμμική τάση, δεν είναι έμπιστος στην ανίχνευση μη γραμμικών τάσεων. Τέλος, μπορεί να είναι ευαίσθητος στην επιλογή χρονικών διαστημάτων.

Αναφορικά με τους δύο ελέγχους, εάν ένας ερευνητής ενδιαφέρεται για την ύπαρξη ή όχι τάσης στα δεδομένα που μελετά, χωρίς την γνώση του μεγέθους της, αρκεί ο έλεγχος Mann-Kendall. Εάν όμως, τον ενδιαφέρει η ποσοτικοποίηση της κλίσης ή ο ρυθμός των δεδομένων και αυτά είναι απαλλαγμένα από ακραίες τιμές, τότε είναι πιο κατάλληλη η κλίση Sen. Βέβαια, αν χρησιμοποιηθούν και τα δύο, θα

είναι ικανή η πραγματοποίηση σύγκρισης των αποτελεσμάτων τους και θα είναι πιο ολοκληρωμένο και πιο κοντά στο πραγματικό το αποτέλεσμα που θα εξαχθεί.

3.1.4 p-value

Στην έρευνα, εφαρμόζονται στατιστικές μέθοδοι διαχωρισμού του σήματος από το θόρυβο, οι οποίες βοηθούν στην κατανόηση των δεδομένων και στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Όλες οι στατιστικές δοκιμές περιέχουν ένα στατιστικό έλεγχο και τον προσδιορισμό της p -τιμής (*The P Value and Statistical Significance: Misunderstandings, Explanations, Challenges, and Alternatives - Chittaranjan Andrade, 2019, n.d.*). Ως p -τιμή (p -value) ή παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας (observed level of significance) ορίζεται το ελάχιστο επίπεδο σημαντικότητας για το οποίο απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση (H_0), για τις δοθείσες παρατηρήσεις (διαθέσιμα δεδομένα).

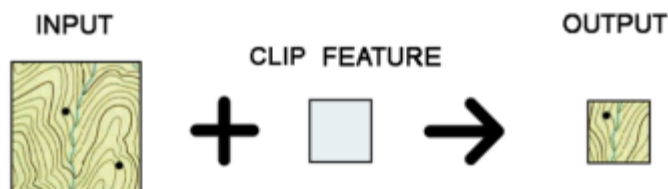
Στην πράξη, όταν είναι διαθέσιμη η p -τιμή, διεξάγουμε τον έλεγχο υπόθεσης με βάση τον παρακάτω κανόνα: Απορρίπτουμε την H_0 αν p -value $< a$, όπου a είναι το επίπεδο σημαντικότητας a . Συνήθεις τιμές για το a είναι οι 0.10, 0.05 και 0.01. Αντίθετα, «μεγάλες» τιμές σημαίνει ότι δεν μπορούμε να απορρίψουμε την H_0 στο αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας, οπότε η απόφαση είναι η αποδοχή (μη απόρριψη) της H_0 . Ένας κανόνας απόφασης μέσω της p -τιμής, ο οποίος έχει επικρατήσει, είναι ο εξής: αν p -value < 0.05 , τότε απορρίπτεται η H_0 , ενώ αν p -value ≥ 0.05 , τότε δεν απορρίπτεται η H_0 .

3.2 Εργαλεία ΓΣΠ

Όπως αναφέρθηκε, η επεξεργασία και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ειδικότερα σε QGIS και ArcGIS Pro. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν γι' αυτούς τους σκοπούς αναλύονται στη συνέχεια.

3.2.1 Αποκοπή ή περικοπή δεδομένων (Clip)

Η λειτουργία clip είναι η αποκοπή ενός επιπέδου επεξεργασίας στα όρια ενός άλλου επιπέδου που ονομάζεται επίπεδο αποκοπής (Εικόνα 3.2). Χρησιμοποιείται όταν απαιτείται η δημιουργία μιας βάσης χωρικών δεδομένων στα όρια της περιοχής μελέτης.

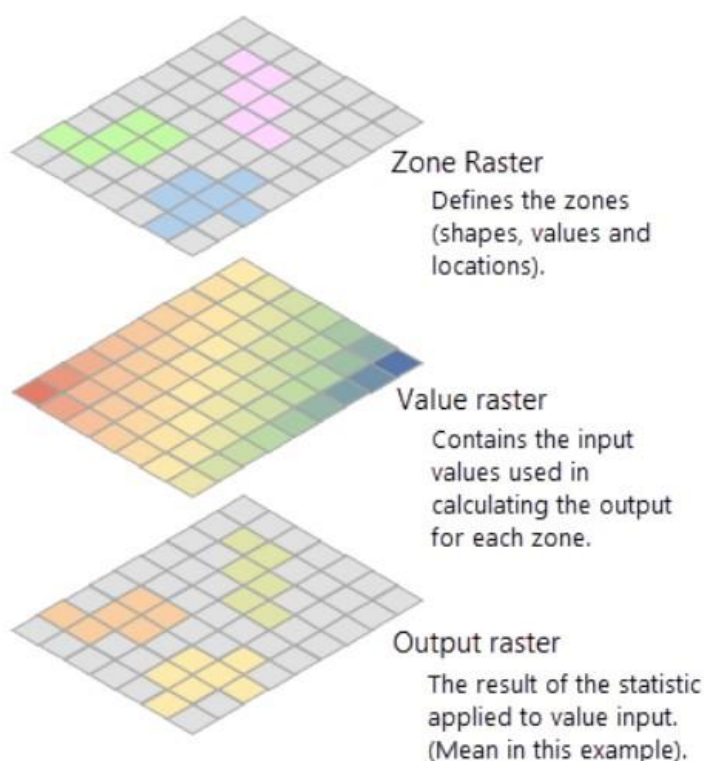


Εικόνα 3.2: Η λειτουργία της αποκοπής

(Χαλκιάς et al., 2016)

3.2.2 Λειτουργίες ζώνης στατιστικής ανάλυσης (Zonal Statistics functions)

Η πράξη Zonal Statistics, δηλαδή η εύρεση των στατιστικών στοιχείων των ζωνών, πραγματοποιείται σε ένα περιβάλλον GIS και είναι ο τρόπος υπολογισμού των στατιστικών στοιχείων των τιμών που έχουν τα κελιά ενός αρχείου raster βάσει των ζωνών που ορίζονται σε ένα άλλο αρχείο (Εικόνα 3.3). Υπάρχουν δύο εργαλεία που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό και ονομάζονται Zonal Statistics και Zonal Statistics as Table. Η διαφορά τους είναι ότι το πρώτο υπολογίζει μόνο ένα στατιστικό στοιχείο κάθε φορά και δημιουργεί ένα αρχείο εξόδου (raster). Ενώ το δεύτερο, υπολογίζει ένα ή περισσότερα στοιχεία χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα υποσύνολα ή άλλα στοιχεία και δημιουργεί έναν πίνακα εξόδου. Και από τα δύο προκύπτει μία ενιαία τιμή σε όλα τα κελιά για κάθε ζώνη.



Εικόνα 3.3: Παράδειγμα χρήσης zonal statistics

(How Zonal Statistics Tools Work—ArcGIS Pro | Documentation, n.d.)

3.2.3 Κανονικοποίηση (Normalization)

Η κανονικοποίηση των τιμών της υπό μελέτη μεταβλητής, είναι η μετατροπή του εύρους των τιμών που εμφανίζει αυτή σε άλλο διάστημα κανονικοποίησης, για παράδειγμα σε διάστημα (0,1). Με άλλα λόγια, αλλάζει η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της. Ένας τρόπος να πραγματοποιηθεί αυτό είναι ο

υπολογισμός του ακόλουθου πηλίκου στο εργαλείο Raster Calculator. Το πηλίκο είναι το εξής (Σχέση 3.10):

$$\frac{\text{μεταβλητή} - \text{min}}{\text{max} - \text{min}} \quad (\text{Σχέση 3.10}),$$

όπου min είναι η ελάχιστη τιμή του εύρους τιμών της μεταβλητής και max είναι η μέγιστη τιμή του εύρους τιμών της μεταβλητής. Έτσι, δημιουργείται ένα αρχείο εξόδου (raster) με τιμές από 0 έως 1.

3.2.4 Ταξινόμηση ή κατηγοριοποίηση (Classification)

Η κατηγοριοποίηση είναι μια πράξη που υπολογίζεται στο εργαλείο Raster Calculator. Είναι στην κρίση του ερευνητή σε πόσες τάξεις θα χωρίσει το δείγμα του. Μία τακτική κλίμακα ταξινόμησης έχει πέντε κλάσεις, οι οποίες έχουν τους εξής διαβαθμιζόμενους χαρακτηρισμούς:

- Τάξη 1: πολύ χαμηλός κίνδυνος,
- Τάξη 2: χαμηλός κίνδυνος,
- Τάξη 3: μέτριος κίνδυνος,
- Τάξη 4: υψηλός κίνδυνος και
- Τάξη 5: πολύ υψηλός κίνδυνος.

Για παράδειγμα, μία πράξη που κατηγοριοποιεί ένα κανονικοποιημένο δείγμα (δηλαδή με εύρος τιμών από 0 έως 1), είναι η ακόλουθη:

```
("μεταβλητή" >= 0 AND "μεταβλητή" < 0.2) * 1 +  
("μεταβλητή" >= 0.2 AND "μεταβλητή" < 0.4) * 2 +  
("μεταβλητή" >= 0.4 AND "μεταβλητή" < 0.6) * 3 +  
("μεταβλητή" >= 0.6 AND "μεταβλητή" < 0.8) * 4 +  
("μεταβλητή" >= 0.8 AND "μεταβλητή" <= 1) * 5 .
```

Με αυτόν τον τρόπο ταξινομούνται οι περιοχές του επιπέδου επεξεργασίας σε πέντε κατηγορίες και οπτικοποιούνται σε χάρτη.

3.3 Google Earth Engine

Το Earth Engine είναι μία πλατφόρμα που προσφέρει διαδικτυακή πρόσβαση σε έναν μεγάλο κατάλογο δορυφορικών εικόνων και άλλων χωρικών δεδομένων και βοηθά στην επεξεργασία και την οπτικοποίησή τους. Χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς, από ακαδημαϊκούς έως κυβερνητικούς χρήστες. Δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής αρχείων από άλλα προγράμματα αλλά και η εξαγωγή αρχείων και η επεξεργασία τους σε άλλα προγράμματα. Μέσω αυτής της πλατφόρμας, οι χρήστες μπορούν να επεξεργάζονται τα δεδομένα διαφόρων δορυφόρων, όπως των EROS (USGS/NASA) Landsat, MODIS, Sentinel-1, NAIP, αλλά και δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, υψομέτρου και κλιματικά δεδομένα CHIRPS. Συνεπώς, διαθέτει δορυφορικές εικόνες από όλη τη Γη, για περισσότερα από σαράντα χρόνια, οι οποίες ανανεώνονται καθημερινά.

Η διαφορά του Earth Engine από το Google Earth είναι ότι το πρώτο αναλύει γεωχωρικά δεδομένα, όπως η δασοκάλυψη, τα ύδατα, η αλλαγή της χρήσης γης, ενώ το δεύτερο προσφέρει μία εικονική υδρόγειο σφαίρα για εξερεύνηση του εδάφους, των δρόμων, των κτιρίων κ.α. Το Google Earth Engine έχει πληθώρα εργαλείων, όπως τη δυνατότητα κοινής εργασίας και κοινοποίησης των δεδομένων, τη μεταφόρτωση (upload) δεδομένων του χρήστη προς ανάλυση κ.α.

3.4 Climate Data Operators (CDO)

Το CDO είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που περιέχει μια συλλογή πολλαπλών μαθηματικών και λογικών διεργασιών για την τυποποιημένη επεξεργασία κλιματικών δεδομένων και NWP μοντέλων. Οι διαθέσιμες διεργασίες είναι περισσότεροι από 400 και περιλαμβάνουν απλές στατιστικές και αριθμητικές συναρτήσεις, επιλογή δεδομένων, εργαλεία ανάλυσης και χωρική παρεμβολή. Υποστηρίζει διάφορες μορφές δεδομένων εισόδου και εξόδου, συμπεριλαμβανομένων των GRIB (GRIdded Binary) και netCDF (Network Common Data Form). Επιπλέον, το CDO μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα λειτουργικά συστήματα, όπως Linux, macOS και Windows και είναι δωρεάν διαθέσιμο για λήψη και χρήση. Δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επεξεργάζεται τα δεδομένα, χωρίς να αποθηκεύονται τα ενδιάμεσα αποτελέσματα σε αρχεία.

3.5 Climpack

Το Climpack είναι ένα υπολογιστικό πακέτο ανοιχτού κώδικα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των κλιματικών δεικτών με τη χρήση της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας καθώς και του συνολικού ύψους βροχής. Αυτά τα δεδομένα εισάγονται στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού R και εξάγονται αποτελέσματα όπως η συχνότητα, η διάρκεια και το μέγεθος διαφόρων κλιματικών ακραίων φαινομένων. Οι δείκτες που υπολογίζονται από το Climpack είναι διαθέσιμοι σε μηνιαία αλλά και ετήσια χρονική κλίμακα και έχουν προταθεί από τους World Meteorological Organization's Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI). Εκτός από την ανάλυση των κλιματικών κινδύνων, το Climpack βοηθά στην πρόβλεψη μελλοντικών σεναρίων, στην εκτίμηση των επιπτώσεων που τυχόν επιφέρουν αλλαγές εξαιτίας τους, καθώς και την αξιολόγηση ορισμένων εναλλακτικών μέτρων προσαρμογής.

4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ

4.1 Περιοχή μελέτης

Περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι όλος ο Ελλαδικός χώρος. Η εργασία έχει εκπονηθεί επίσης σε επίπεδο περιφέρειας:

- Περιφέρεια Αττικής
- Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης
- Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου
- Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας
- Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας
- Περιφέρεια Ηπείρου
- Περιφέρεια Θεσσαλίας
- Περιφέρεια Ιονίων Νήσων
- Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας
- Περιφέρεια Κρήτης
- Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου
- Περιφέρεια Πελοποννήσου
- Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας (Εικόνα 4.1)



Εικόνα 4.1: Οι περιφέρειες της Ελλάδας

4.2 Δεδομένα

4.2.1 ERA5-Land

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη αποτελούν προϊόν του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων (ECMWF) και παρέχονται από το Copernicus. Ειδικότερα, πρόκειται για ωριαία δεδομένα ERA5-Land από το 1971 έως και το 2022. Τα ERA5-Land είναι δεδομένα επανάλυσης, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για την εξέλιξη κλιματικών μεταβλητών και έχουν προκύψει από την περαιτέρω επεξεργασία της βάσης δεδομένων ERA5 climate reanalysis που επίσης είναι προϊόν του ECMWF. Τα δεδομένα επανάλυσης συνδυάζουν δεδομένα από μοντέλα και παρατηρήσεις.

Το ERA5-Land χρησιμοποιεί ως είσοδο για τον έλεγχο των προσομοιωμένων πεδίων γης τις ατμοσφαιρικές μεταβλητές ERA5, όπως η θερμοκρασία του αέρα και η υγρασία του αέρα. Αυτό ονομάζεται ατμοσφαιρικός εξαναγκασμός (forcing). Χωρίς τη διόρθωση του ατμοσφαιρικού forcing, οι εκτιμήσεις που βασίζονται στο μοντέλο μπορεί να αποκλίνουν γρήγορα από την πραγματικότητα. Επομένως, το ατμοσφαιρικό forcing χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της προσομοίωσης. Όπως κάθε προσομοίωση έτσι κι αυτή έχει σε κάποιο βαθμό αβεβαιότητα, η οποία αυξάνεται όσο πιο πίσω στο χρόνο αναφερόμαστε.

Τα χαρακτηριστικά του ERA5-Land είναι τα ακόλουθα: είναι παγκόσμια, έχουν τύπο πλέγματος, έχουν ανάλυση 9 km και το αρχείο είναι μορφής grid. Οι χωρικές και χρονικές αναλύσεις, το καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμο για κάθε είδους εφαρμογή στην επιφάνεια της γης, όπως είναι η πρόβλεψη φαινομένων πλημμύρας ή ξηρασίας. Κατ' επέκταση, βοηθά τους φορείς στη λήψη αποφάσεων και παρέχει στις επιχειρήσεις και τους ιδιώτες πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του κλίματος.

4.2.2 Προσομοιώσεις Κλιματικών Μοντέλων

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα προσομοιώσεων περιοχικών κλιματικών μοντέλων του προγράμματος EURO CORDEX με χωρική ανάλυση τα 12km και σενάριο μελλοντικών εκπομπών RCP 8.5 . Οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν έχουν υποστεί διόρθωση μεροληψίας (bias correction) για την αντιπροσωπευτικότερη εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών. Τα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής (Πίνακας 4-1):

Πίνακας 4-1: Κλιματικά Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν

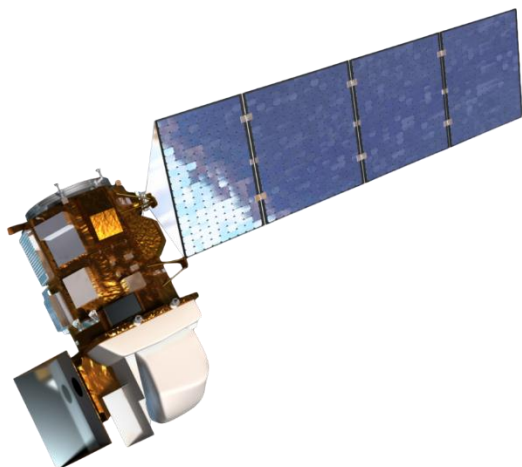
Μοντέλα Παγκόσμιας Κυκλοφορίας (GCM)	Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCM)	Σενάριο Εκπομπών (RCP)	Αρχικές Συνθήκες
EC-EARTH	RAMCOE22	8.5	r1i1p1
EC-EARTH	RCA	8.5	r12i1p1
HadGEM2-ES	RACMO22E	8.5	r1i1p1
HadGEM2-ES	RCA4	8.5	r1i1p1
MPI-M-MPI-ESM-LR	RCA4	8.5	r1i1p1

4.2.3 Δορυφορικά Δεδομένα-LANDSAT 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 (Εικόνα 4.2), αρχικά γνωστός ως Landsat Data Continuity Mission (LDCM), πρόκειται για μια σύμπραξη της Εθνικής Διοίκησης Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA, n.d.) και της Γεωλογικής εταιρίας των ΗΠΑ (USGS.Gov / Science for a Changing World, n.d.) και είναι σε λειτουργία από το 2013. Ο δορυφόρος φέρει δύο όργανα, το Operational Land Imager (OLI) και το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Το OLI μετρά στο ορατό, το εγγύς υπέρυθρο και το υπέρυθρο μικρού μήκους κύματος (VNIR, NIR και SWIR) του φάσματος, ενώ το TIRS μετρά τη θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης σε δύο θερμικές ζώνες. Αυτά παρέχουν εποχιακή κάλυψη της παγκόσμιας χερσαίας μάζας με εικόνες χωρικής ανάλυσης 30m (VIS, NIR, SWIR), 100m (θερμικό) και 15m (παγχρωματικό-PAN) (Loveland & Irons, 2016). Στην περιοχή μελέτης η χρονική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat είναι περίπου 16 ημέρες. Τα χαρακτηριστικά (μήκος κύματος και χωρική ανάλυση) των εννέα καναλιών του OLI παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4-2):

Πίνακας 4-2: Φασματικές περιοχές και χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου Landsat 8

Κανάλια	Φασματική περιοχή	Μήκος κύματος (μm)	Χωρική ανάλυση
1	Αιωρούμενα σωματίδια	0.43-0.45	30
2	Μπλε	0.450-0.51	30
3	Πράσινο	0.53-0.59	30
4	Κόκκινο	0.64-0.67	30
5	Εγγύς Υπέρυθρο	0.85-0.88	30
6	Μέσο Υπέρυθρο	1.57-1.65	30
7	Μέσο Υπέρυθρο	2.11-2.29	30
8	Παγχρωματικό	0.50 - 0.68	15
9	Μέσο Υπέρυθρο	1.36-1.38	30
10	Θερμικό Υπέρυθρο	10.6-11.19	100
11	Θερμικό Υπέρυθρο	11.5-12.51	100



Εικόνα 4.2: Landsat 8

(Landsat Science, n.d.)

4.2.4 Δορυφορικά Δεδομένα-Όργανο MODIS

Το φασματοραδιόμετρο απεικόνισης μέτριας ανάλυσης MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) είναι ένα βασικό όργανο στους δορυφόρους Aqua (EOS PM) (Εικόνα 4.3) και Terra (EOS AM) (Εικόνα 4.4). Η τροχιά του Terra είναι από βορρά προς νότο και πάνω από τον Ισημερινό διέρχεται το πρωί, ενώ ο Aqua κινείται από νότο προς βορρά και από τον Ισημερινό περνάει το απόγευμα. Το όργανο MODIS διαθέτει 36 φασματικές ζώνες (κανάλια) με μήκος κύματος από 0,4μm - 14,4μm, με υψηλή ραδιομετρική ευαισθησία. Έχει χωρική ανάλυση από 250m - 1.000m και για την πλειοψηφία των γεωγραφικών πλατών παρέχει δύο εικόνες κάθε μέρα, ενώ για την κάλυψη όλων των σημείων του πλανήτη χρειάζεται μία έως δύο ημέρες λόγω των χαρακτηριστικών της τροχιάς του. Αυτή η υψηλή χρονική ανάλυση του οργάνου MODIS οφείλεται σε έναν συνδυασμό τεχνικών χαρακτηριστικών.

Πρώτα από όλα, είναι πολικής τροχιάς που σημαίνει ότι περνά πάνω από τον ισημερινό στην ίδια τοπική ηλιακή ώρα σε κάθε τροχιά. Η τροχιά του Terra έχει περίοδο περίπου 99 λεπτών, ενώ η περίοδος της τροχιάς του Aqua είναι περίπου 98,7 λεπτά. Αυτή η σχετικά μικρή περίοδος τροχιάς διευκολύνει τη συχνή κάλυψη της γήινης επιφάνειας. Επίσης, έχει μεγάλο εύρος σάρωσης, γεγονός που του επιτρέπει να καλύπτει μια μεγάλη κλίμακα περιοχή της γήινης επιφάνειας σε κάθε πέρασμά του. Δύο ακόμα χαρακτηριστικά που προσδίδουν την υψηλή του χρονική ανάλυση είναι η τεχνική σάρωσης της γήινης επιφάνειας και δυνατότητα επικάλυψης και συρραφής των δεδομένων από διαδοχικές τροχιές του, που του διασφαλίζουν την επικάλυψη κενών στα δεδομένα συλλογής. Οι καταγραφές που υπάρχουν από τον MODIS είναι από το 2002. Οι εφαρμογές του είναι πολλές, όπως για παράδειγμα, η ανίχνευση πυρκαγιών και καμένων εκτάσεων η κατηγοριοποίηση σε τάξεις κάλυψη γης (Land Cover). Τα χαρακτηριστικά (μήκος κύματος και χωρική ανάλυση) των τριάντα έξι καναλιών είναι τα εξής (Πίνακας 4-3):

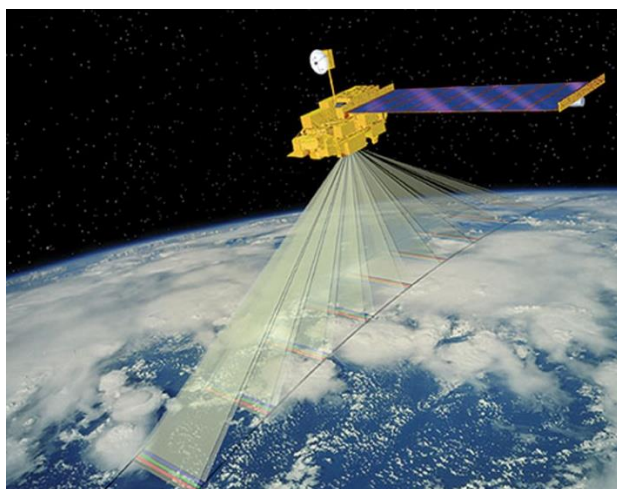
Πίνακας 4-3: Φασματικές περιοχές του θερμικού υπέρυθρου και χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα MODIS

Κανάλια	Φασματική περιοχή	Μήκος κύματος (μm)	Χωρική ανάλυση(m)
29	Θερμικό Υπέρυθρο	8.400-8.700	1000
30	Θερμικό Υπέρυθρο	9.580-9.880	1000
31	Θερμικό Υπέρυθρο	10.780-11.280	1000
32	Θερμικό Υπέρυθρο	11.770-12.270	1000
33	Θερμικό Υπέρυθρο	13.185-13.485	1000
34	Θερμικό Υπέρυθρο	13.485-13.758	1000
35	Θερμικό Υπέρυθρο	13.785-14.085	1000
36	Θερμικό Υπέρυθρο	14.085-14.385	1000



Εικόνα 4.3: Aqua MODIS

(NASA Ocean Color, n.d.)



Εικόνα 4.4: Terra MODIS

(NASA Ocean Color, n.d.)

4.2.5 Κάλυψη γης Corine – Corine Land Cover (CLC)

Το Land cover είναι ένα ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων, το οποίο αφορά την κάλυψη και τη χρήση της γης στην Ευρώπη. Το πρώτο σύνολο δεδομένων δημιουργήθηκε το 1990 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με το πρόγραμμα CORINE (Coordination of Information on the Environment). Συνεπώς, στην τρέχουσα μορφή του προσφέρει μία πανευρωπαϊκή απογραφή της κάλυψης και της χρήσης γης με 44 θεματικές κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής (Εικόνα 4.5):

ARTIFICIAL SURFACES	FOREST AND SEMINATURAL AREA
URBAN FABRIC	FORESTS
111 Continuous urban fabric	311 Broad-leaved forest
112 Discontinuous urban fabric	312 Coniferous forest
	313 Mixed forest
INDUSTRIAL, COMMERCIAL AND TRANSPORT UNITS	SCRUBS AND/OR HERBACEOUS VEGETATION
121 Industrial, commercial and public units	321 Natural grassland
122 Road and rail networks and associated land	322 Moors and heathland
123 Port areas	324 Transitional woodland-scrub
124 Airport	OPEN SPACES WITH LITTLE OR NO VEGETATION
MINES, DUMPS AND CONSTRUCTION SITES	331 Beaches, dunes, sand
131 Mineral extraction sites	332 Bare rock
132 Dump sites	333 Sparsely vegetated areas
133 Construction sites	334 Burnt areas
ARTIFICIAL NON-AGRICULTURAL VEGETATED AREAS	335 Glaciers and perpetual snow
141 Green urban areas	WETLANDS
142 Sport and leisure facilities	INLAND WETLANDS
AGRICULTURAL AREAS	411 Inland marshes
ARABLE LAND	412 Peat bogs
211 Non-irrigated arable land	COASTAL WETLANDS
PERMANENT CROPS	421 Salt marshes
221 Vineyards	423 Intertidal flats
222 Fruit trees and berries plantations	WATER BODIES
PASTURES	INLAND WATERS
231 Pastures	511 Water courses
HETEROGENEOUS AGRICULTURAL AREAS	512 Water bodies
242 Complex cultivation patterns	MARINE WATERS
243 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	521 Coastal lagoons
	522 Estuaries
	523 Sea and ocean

Εικόνα 4.5: Απεικόνιση των κατηγοριών κυμαίνεται το CLC μαζί με τη χρωματική τους απεικόνιση

Πηγή: (Keil et al., 2015)

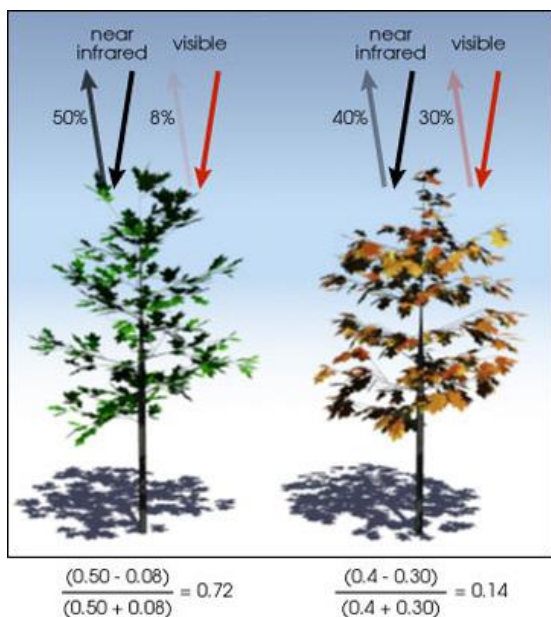
Κάθε έξι χρόνια, πραγματοποιείται ενημέρωση των δεδομένων για τυχόν αλλαγές. Η τελευταία ενημέρωση έγινε το 2018. Τα προϊόντα του Corine Land Cover χρησιμοποιούνται από πληθώρα χρηστών, καθώς διαθέτουν πολλές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η αξιολόγηση της κλιματικής αλλαγής, η περιβαλλοντική παρακολούθηση αλλά και ο χωροταξικός σχεδιασμός. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα από Sentinel-2 και Landsat-8.

4.2.6 Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Ο δείκτης βλάστησης εξάχθηκε από δεδομένα του οργάνου MODIS και χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της βλάστησης και της υγείας των φυτών. Για να υπολογιστεί χρησιμοποιείται η ένταση του ορατού (VIS) και του εγγύς υπέρυθρου φωτός (NIR). Βασίζεται στην ιδιότητα ότι η χλωροφύλλη που περιέχουν τα φυτά απορροφά το ορατό φως, ενώ ανακλά το εγγύς υπέρυθρο. Ο NDVI, δηλαδή ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς ισούται με το λόγο της διαφοράς της NIR με την VIS, διά το άθροισμα της NIR με την VIS ακτινοβολίας σύμφωνα με τη σχέση (Σχέση 4.1):

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \text{ (Σχέση 4.1)}$$

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.6) απεικονίζεται ο υπολογισμός του δείκτη για δυο διαφορετικές καταστάσεις βλάστησης. Αριστερά φαίνεται ένα υγιές φυτό, ενώ δεξιά ένα μη υγιές. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε περιοχές με υδάτινες επιφάνειες, ανθρωπογενείς κατασκευές, βράχους, σύννεφα ή χιόνι. Το γυμνό έδαφος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0,1 - 0,2 και τα φυτά έχουν πάντα θετικές τιμές μεταξύ 0,2 και 1. Η υγιής βλάστηση έχει τιμές NDVI πάνω από 0,5, ενώ η αραιή βλάστηση πιθανότατα θα είναι μεταξύ 0,2 και 0,5.



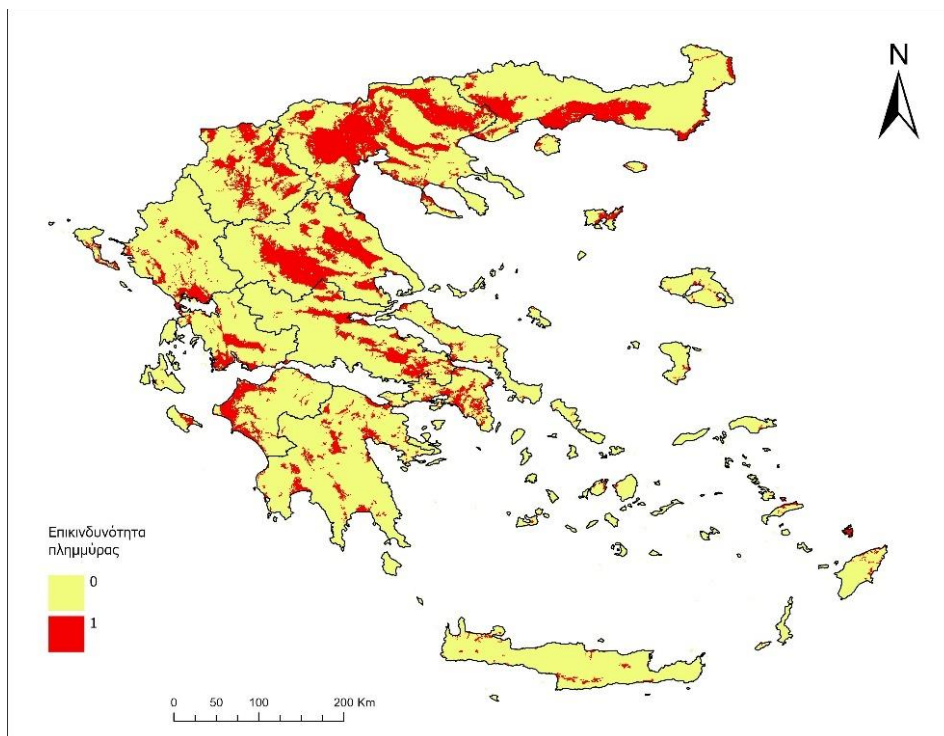
Εικόνα 4.6: Υπολογισμός NDVI σε δύο είδη βλάστησης

(ESA - Eduspace GR - Παγκόσμια αλλαγή - Δείκτες βλάστησης, 2013)

4.2.7 Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας

Ο εν λόγω δείκτης περιέχει δεδομένα τα οποία απεικονίζουν επιρρεπείς περιοχές σε πλημμυρικά φαινόμενα. Τα δεδομένα προέρχονται από τα σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας προσβάσιμα από την ιστοσελίδα του Υπουργείου (<https://floods.ypeka.gr/>).

Στις περιοχές που εκτιμάται πιθανή εμφάνιση πλημμυρικών επεισοδίων αποδίδεται η τιμή 1 και αντιστοιχούν σε περιοχές με μεγάλη ευαισθησία στον συγκεκριμένο κλιματικό κίνδυνο. Αντίστοιχα, οι περιοχές με την τιμή 0 είναι αυτές που κρίνονται χαμηλής ευαισθησίας. Η χωρική κατανομή των περιοχών παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7: Χωρική κατανομή του βαθμού επικινδυνότητας πλημμύρας στην Ελλάδα.

4.2.8 Θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους - Land Surface Temperature (LST)

Η επιφανειακή θερμοκρασία είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος και αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα του ισοζυγίου ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος και των τυρβωδών ανταλλαγών ενέργειας μεταξύ επιφάνειας και ατμόσφαιρας. Με την ανάπτυξη των τεχνικών της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός της επιφανειακής θερμοκρασίας μέσω της καταγραφής της εκπεμπόμενης από το έδαφος ακτινοβολίας στο θερμικό υπέρυθρο (thermal infrared, TIR) τμήμα του φάσματος. Η εκτιμώμενη επιφανειακή θερμοκρασία με αυτόν τον τρόπο αναφέρεται ως «επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους» (Land Surface Temperature, LST). Για την απλούστευση των υπολογισμών έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι για τον υπολογισμό του LST χρησιμοποιώντας την καταγραφόμενη ακτινοβολία από έναν δορυφόρο σε μία ή περισσότερες φασματικές ζώνες. Το LST βρίσκει σημαντική εφαρμογή σε πλήθος ερευνητικών μελετών, για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωεπιστημονικές μελέτες, (Hall et al., 2012; *Space Observations of Inland Water Bodies Show Rapid Surface Warming since 1985 - Schneider - 2010 - Geophysical Research Letters - Wiley Online Library*, n.d.), στην ποσοτικοποίηση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, στην καλύτερη

κατανόηση της χωρικής δυναμικής των θερμικών κυμάτων (Dousset et al., 2011; Luvall et al., 2015a, 2015b).

4.2.9 Υδατική Καταπόνηση –Baseline Water Stress (BWS)

Αυτό το σύνολο δεδομένων δείχνει τη βασική αξιολόγηση της υδατικής καταπόνησης σε εθνική κλίμακα. Η Βασική Υδατική Καταπόνηση εκφράζει το λόγο της συνολικής ζήτησης σε νερό προς τα διαθέσιμα ανανεώσιμα αποθέματα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων μιας περιοχής. Η συνολική ζήτηση περιλαμβάνει οικιακές, αρδευτικές, κτηνοτροφικές και βιομηχανικές χρήσεις, ενώ τα διαθέσιμα ανανεώσιμα αποθέματα περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις της κατανάλωσης νερού και των φραγμάτων. Αποτελεί ένα μέτρο του επιπέδου ανταγωνισμού για το διαθέσιμο γλυκό νερό. Υψηλές τιμές του δείκτη BWS δηλώνουν μεγαλύτερο ανταγωνισμό των καταναλωτών, δηλαδή οι περιοχές αυτές αντιμετωπίζουν προβλήματα εξάντλησης των υδατικών πόρων (Aqueduct 4.0). Έχει ιδιαίτερη σημασία για τη βιωσιμότητα των υδατικών πόρων και τη διαχείρισή τους. Ο δείκτης βοηθά στην παρακολούθηση της υδατικής κατάστασης μιας περιοχής και στην ανάπτυξη πολιτικών και πρακτικών για τη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες κινδύνου υδατικής καταπόνησης: χαμηλή, χαμηλή έως μέτρια, μέτρια έως υψηλή, υψηλή και εξαιρετικά υψηλή και προβάλλονται για κάθε χώρα σε επίπεδο περιφέρειας.

4.2.10 Κατανομή πληθυσμού – Population

Σύμφωνα με την κατανομή του πληθυσμού, τα παγκόσμια δεδομένα σύγχρονης ανάλυσης είναι απαραίτητα για την καταγραφή των επιπτώσεων της αύξησης του πληθυσμού, την παρακολούθηση των αλλαγών και το σχεδιασμό των παρεμβάσεων. Οι πρόσφατες απογραφές του πληθυσμού αναλύονται σε κελιά πλέγματος περίπου 100x100m μέσω προσεγγίσεων μηχανικής μάθησης. Αυτό το σύνολο δεδομένων περιέχει ανάλυση του εκτιμώμενου πληθυσμού ανά ομάδες ηλικίας και φύλου. Ο δείκτης του πληθυσμού είναι σημαντικός για την κατανόηση των κοινωνικών, οικονομικών και δημογραφικών τάσεων μιας περιοχής.

4.2.11 Δείκτης Καιρού Πυρκαγιάς- Fire Weather Index (FWI)

Ο Δείκτης Καιρού Πυρκαγιάς (FWI) είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας για την εκδήλωση και την εξάπλωση μιας πυρκαγιάς κατά την αντιπυρική περίοδο του Βορείου ημισφαιρίου (Ιούνιος-Σεπτέμβριος). Το FWI υπολογίζεται από το μοντέλο ECMWF, και από το μοντέλο MeteoFrance. Ο Δείκτης Καιρού Πυρκαγιάς χαρτογραφείται σε 5 κατηγορίες (χαμηλή, μεσαία, υψηλή, πολύ υψηλή και ακραία) (Εικόνα 4.8). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο πιο ευνοϊκές είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν για την εκδήλωση πυρκαγιάς.

Αποτελείται από διάφορα στοιχεία που λαμβάνουν υπόψη τις επιδράσεις της υγρασίας της καύσιμης ύλης και του ανέμου στη συμπεριφορά και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Αναλυτικότερα, ο FWI έχει προκύψει συνδυάζοντας τους δείκτες Initial Spread Index (ISI) και Build up Index (BUI). Ο πρώτος δείκτης εκφράζει το ρυθμό εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς και ο δεύτερος δείκτης, ο Build up Index, εκφράζει

την συνολική ποσότητα καυσίμου που μπορεί να καταναλωθεί από ένα κινούμενο πύρινο μέτωπο (Canadian Forest Service Publications / Natural Resources Canada, n.d.)

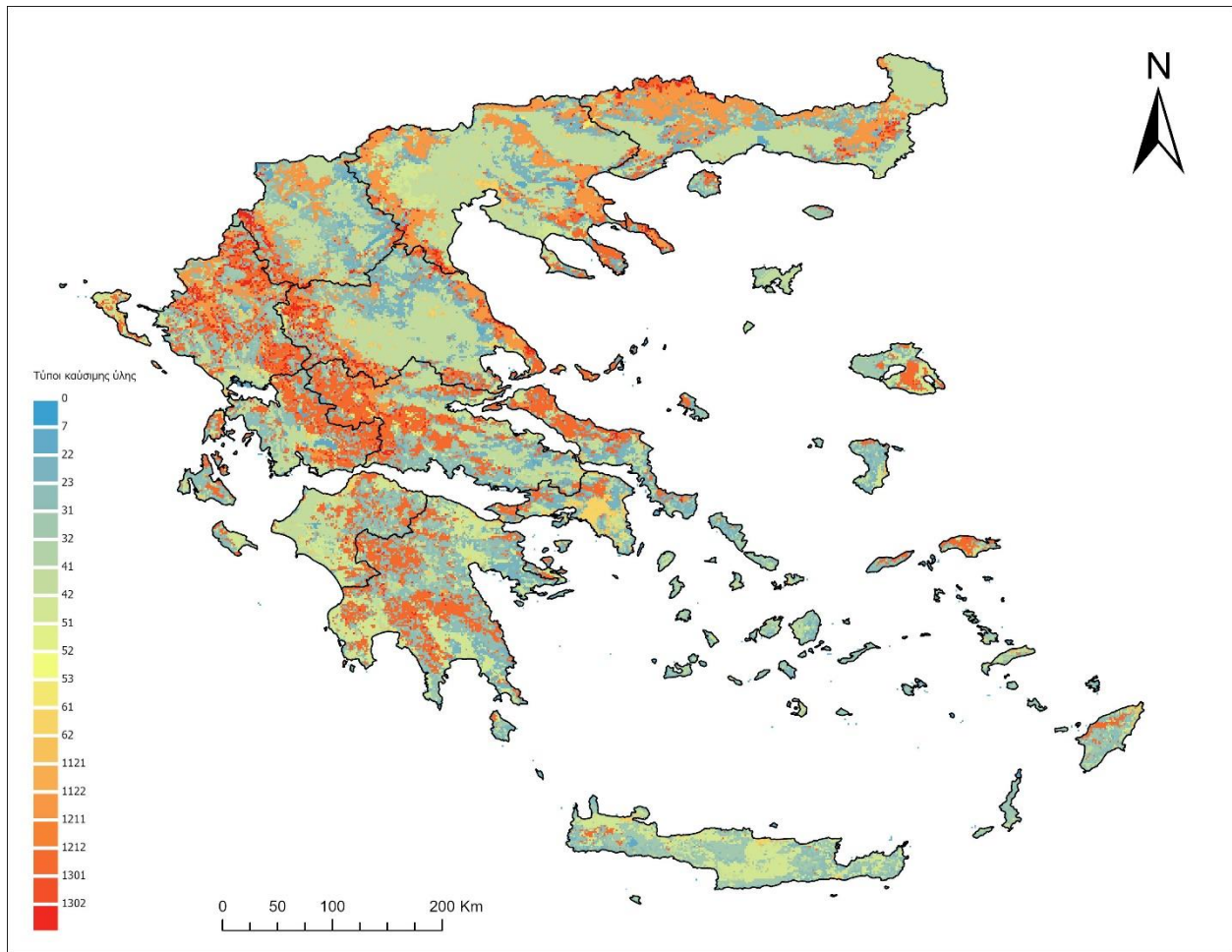
Fire Danger Classes	FWI	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI
Low	<11.2	< 86.1	< 27.9	< 334.1	< 5.0	< 40.7
Moderate	11.2 - 21.3	86.1 - 89.2	27.9 - 53.1	334.1 - 450.6	5.0 - 7.5	40.7 - 73.3
High	21.3 - 38.0	89.2 - 93.0	53.1 - 140.7	450.6 - 749.4	7.5 - 13.4	73.3 - 178.1
Very High	38.0 - 50	>=93.0	>=140.7	>=749.4	>=13.4	>=178.1
Extreme	>= 50					

Εικόνα 4.8: Οι τιμές των δεικτών και η κατηγοριοποίηση της επικινδυνότητας του κινδύνου της πυρκαγιάς

(CMES, 2019)

Όσον αφορά την ευαισθησία ενός τόπου εξετάζεται η καύσιμη ύλη που εμφανίζεται σε αυτόν. Το σύστημα ταξινόμησης των καυσίμων περιλαμβάνει 85 τύπους, οι οποίοι κατατάσσονται σε 6 κατηγορίες καύσιμης ύλης. Οι κατηγορίες καυσίμων που συναντώνται στη Ευρώπη ταξινομούνται κι η χωρική τους κατανομή αναπαρίσταται στον χάρτη καυσίμων FirEurisk, κύρια πηγή του οποίου είναι τα δεδομένα κάλυψης γης Copernicus του 2019 (Copernicus GLC map). Από αυτό το χάρτη, απομονώθηκαν τα είδη βλάστησης της Ελλάδας, τα οποία αποτυπώνονται στο χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 4.9). Οι ονομασίες και οι κωδικοί τους είναι οι εξής:

- 0 Ελλιπή Δεδομένα
- 7 Μη καύσιμα
- 22 Μεσαία θαμνώδης έκταση
- 23 Υψηλοί θάμνοι
- 31 Χαμηλά λιβάδια
- 32 Μεσαία λιβάδια
- 41 Ποώδης καλλιεργήσιμη έκταση
- 42 Ξυλώδεις καλλιεργήσιμες εκτάσεις
- 51 Δέντρα και εκτάσεις με τύρφη/ ημιτύρφη
- 52 Θάμνοι και τυρφώδεις/ ημι-τυρφώδεις εκτάσεις
- 53 Λιβάδια και εκτάσεις με τύρφη/ ημι-τύρφη
- 61 Αστικός συνεχής ιστός
- 62 Αστικός ασυνεχής ιστός
- 1121 Ανοιχτό δάσος φυλλοβόλων πλατύφυλλων
- 1122 Κλειστό δάσος φυλλοβόλων πλατύφυλλων
- 1211 Ανοιχτό δάσος με αείφυλλα βελονοφύλλα
- 1212 Κλειστό αειθαλές δάσος βελονοφύλλων
- 1301 Ανοιχτό μικτό δάσος
- 1302 Κλειστό μικτό δάσος



Εικόνα 4.9: Χωρική κατανομή των ειδών της καύσιμης ύλης για την Ελλάδα

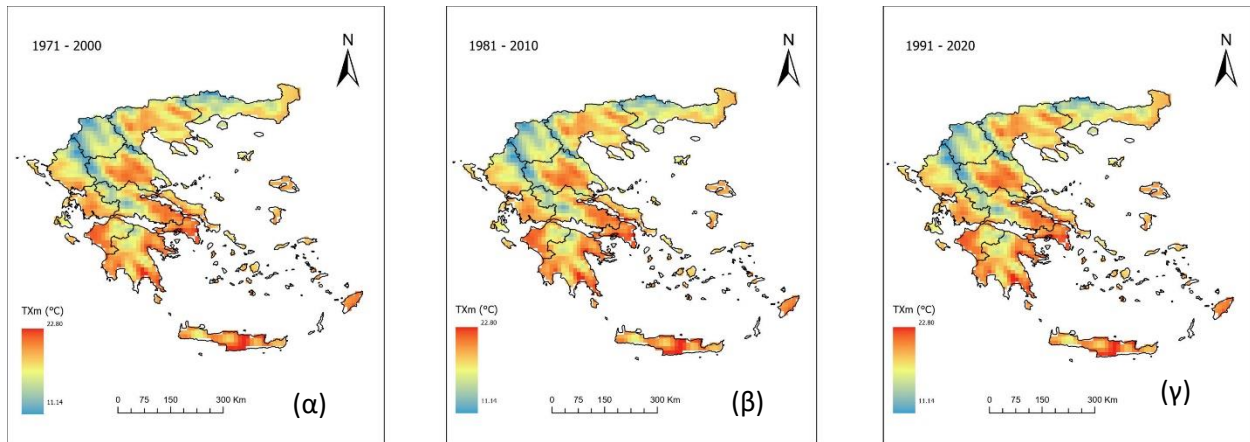
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων, αρχικά ως προς την εξέλιξη της κλιματολογίας στην περιοχή της Ελλάδας. Αυτό αφορά την μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια τιμή της θερμοκρασίας, το ύψος βροχής ανά έτος καθώς και τις ακραίες τιμές της βροχόπτωσης και της μέγιστης θερμοκρασίας, για τις οποίες μελετήθηκαν οι δείκτες που αποτυπώνουν το σύνολο των ημερών ανά έτος που η συνολική βροχόπτωση υπερέβη τα 20 χιλιοστά και η μέγιστη θερμοκρασία τους 35 βαθμούς Κελσίου. Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ERA5-Land για τις τριακονταετίες 1971-2000, 1981-2010 και 1991-2020 (Κεφάλαιο 5.1 και 5.2). Παράλληλα για τις ανωτέρω μεταβλητές υπολογίστηκε η κλίση Sen για την χρονική περίοδο 1971-2020 για τον εντοπισμό των γραμμικών τάσεων που παρατηρούνται στην Ελλάδα (Κεφάλαιο 5.3). Με στόχο την εκτίμηση επανεμφάνισης ακραίων τιμών της βροχόπτωσης αναλύθηκαν τα δεδομένα του ημερήσιου ύψους βροχής σύμφωνα με την Θεωρία των Ακραίων τιμών και παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις επανεμφάνισης για 10, 20 και 50 χρόνια αντίστοιχα (Κεφάλαιο 5.4).

Στη συνέχεια, στο πλαίσιο του εντοπισμού και της εκτίμησης των κλιματικών κινδύνων στην Ελλάδα μελετήθηκαν δείκτες που εκφράζουν την έκθεση και την ευαισθησία του ελλαδικού χώρου στους επιλεγμένους κινδύνους και σχηματίστηκε συνθετικός δείκτης δυνητικών επιπτώσεων που αφορά κάθε ένα από αυτούς, τόσο για την παρελθούσα (1981-2010) όσο και για την μελλοντική (2026-2045) κλιματική περίοδο (Κεφάλαιο 5.5 και Κεφάλαιο 5.6) σε ανάλυση 1km και σε κλίμακα περιφέρειας. Για την μελλοντική κλιματική περίοδο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα προσομοιώσεων κλιματικών μοντέλων και υπολογίστηκαν οι διαφορές μεταξύ των δεικτών ώστε να εντοπιστούν καλύτερα τυχόν μεταβολές στις πιθανές επιπτώσεις (Κεφάλαιο 5.6). Παράλληλα, πραγματοποιείται η χωρική αποτύπωση των δυνητικών επιπτώσεων για το σύνολο των δεικτών ανά περιφέρεια, παρέχοντας έτσι ένα εποπτικό εργαλείο για τους πιθανούς κλιματικούς κινδύνους που μπορεί να έρθει αντιμέτωπη μια περιφέρεια αλλά και την επιτακτικότητα τους.

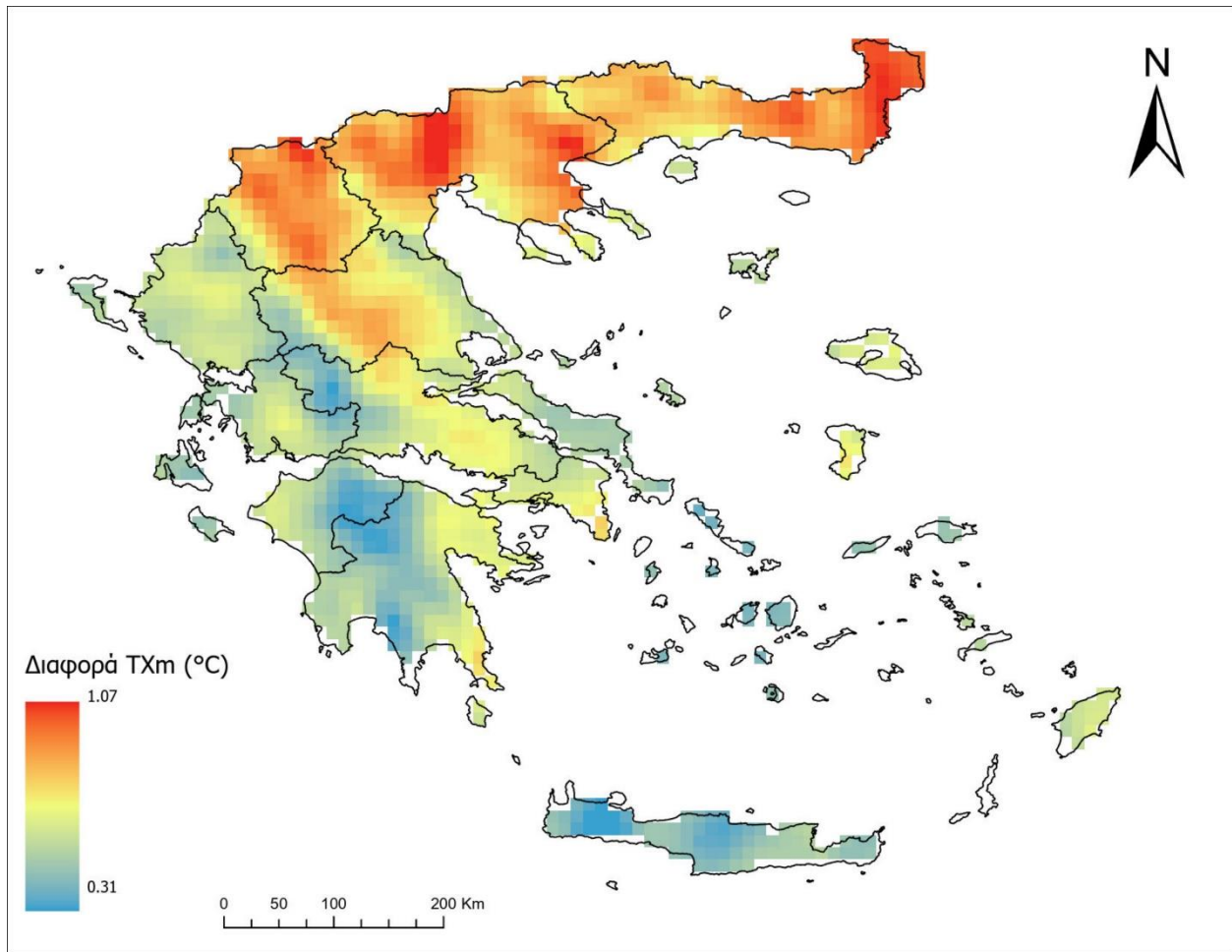
5.1 Μέση κλιματολογική κατάσταση στην Ελλάδα για την ιστορική περίοδο 1971-2022

Ο πρώτος δείκτης παρουσιάζεται στο Σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5-1) και είναι ο TXm, δηλαδή η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία. Αυτός λαμβάνει τιμές από 11,14°C έως 22,80°C. Οι τιμές του που ξεπερνούν τους 20°C απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα και βρίσκονται κυρίως στα κεντρικά και νότια τμήματα της χώρας. Ειδικότερα, η κεντρική Κρήτη, η Ρόδος, οι παραθαλάσσιες περιοχές της Πελοποννήσου, η Αττική και ορισμένες περιοχές της κεντρικής Θεσσαλίας και της κεντρικής Μακεδονίας, παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Εν αντιθέσει, οι μικρότερες τιμές του δείκτη, τιμές μικρότερες από 13°C, συγκεντρώνονται στις ορεινές περιοχές της χώρας, όπως η οροσειρά της Πίνδου, η οροσειρά της Ροδόπης, κατά μήκος ενός νοητού άξονα μεταξύ του όρους Βόρας και του Ολύμπου και στη Βόρεια Πελοπόννησο.



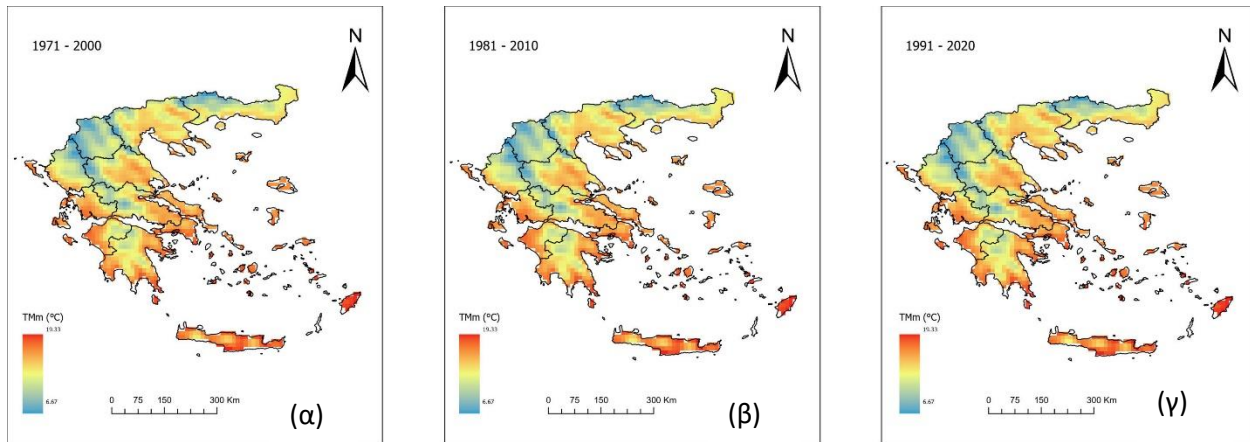
Σχήμα 5-1: Χωρική κατανομή της Μέσης Ημερήσιας Μέγιστης θερμοκρασία (TXm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020

Συγκρίνοντας τους τρεις χάρτες οπτικά δεν εντοπίζονται σημαντικές διαφορές αναφορικά τα πρότυπα της μέσης ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας μεταξύ των τριών τριακονταετιών. Οι περιοχές με υψηλές τιμές του δείκτη φαίνεται να διατηρούνται στη γενικότερη έκτασή τους σταθερές, όπως και οι περιοχές με τις ελάχιστες τιμές. Για πιο λεπτομερή συμπεράσματα, δημιουργήθηκε ένας χάρτης (Σχήμα 5-2) ο οποίος απεικονίζει τη διαφορά στην μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία μεταξύ των ετών 1971-2000 και 1991-2020. Οι τιμές των διαφορών υπολογίστηκαν θετικές στο σύνολο τους. Συνεπώς, όπως διαπιστώνεται και από τη χαρτογραφική αποτύπωση, σε ολόκληρη τη χώρα η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία αυξήθηκε στη τελευταία τριακονταετία από $+0,31^{\circ}\text{C}$ έως και $+1,07^{\circ}\text{C}$ σε ορισμένες περιοχές σε σύγκριση με την περίοδο 1971-2000. Ενδεικτικά, οι περιοχές στις οποίες η μεταβολή της μέσης ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας ήταν μεγαλύτερη βρίσκονται στα βόρεια της χώρας, δηλαδή σε όλη τη Μακεδονία και τη Θράκη. Αντίθετα, οι μικρότερες μεταβολές παρατηρήθηκαν στα νησιά και ειδικά στην Κρήτη, στην Κεντρική Πελοπόννησο και στα όρια Στερεάς και Δυτικής Ελλάδας, χωρίς αυτό να μην υποδεικνύει αύξηση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιακών μεγίστων.



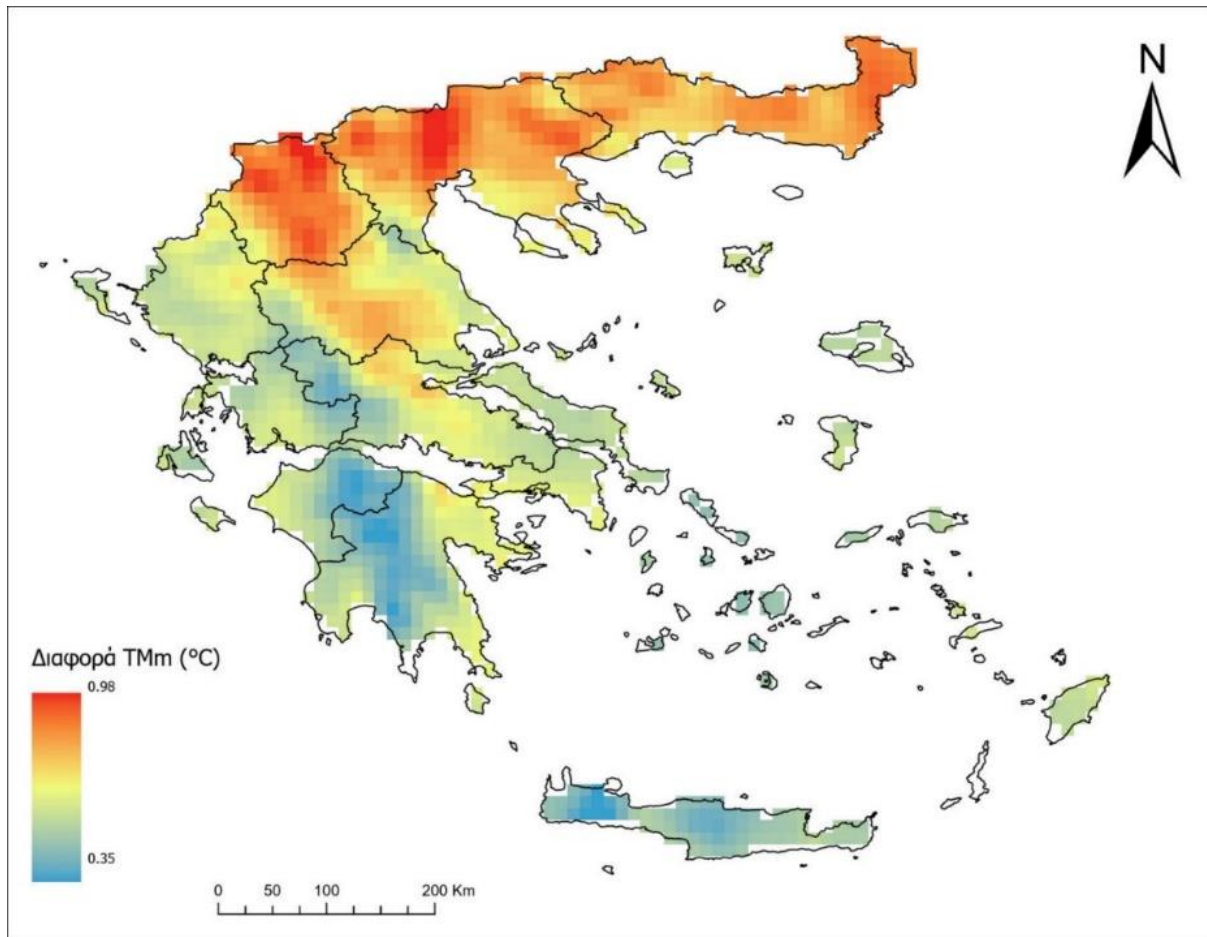
Σχήμα 5-2: Χωρική κατανομή της διαφοράς στη Μέση Ημερήσια Μέγιστη θερμοκρασία (TXm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000.

Ακολούθως, παρουσιάζεται ο δείκτης που περιγράφει τη μέση ημερήσια θερμοκρασία (TMm) (Σχήμα 5-3). Το εύρος τιμών της μέσης ημερήσιας μέσης θερμοκρασίας είναι από 19,33°C έως 6,67°C. Οι υψηλότερες τιμές συγκεντρώνονται στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους και ειδικά στη Ρόδο και στην Κρήτη. Μέτριες προς υψηλές είναι οι τιμές σε όλα σχεδόν τα παράλια της χώρας. Χαμηλές μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες εμφανίζουν στις οροσειρές της Κεντρικής και Βόρειας χώρας, από τη Ροδόπη και την Πίνδο έως την Κεντρική Πελοπόννησο. Η κατανομή των μέσων τιμών (TMm) συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με την κατανομή των μεγίστων τιμών θερμοκρασίας (TXm).



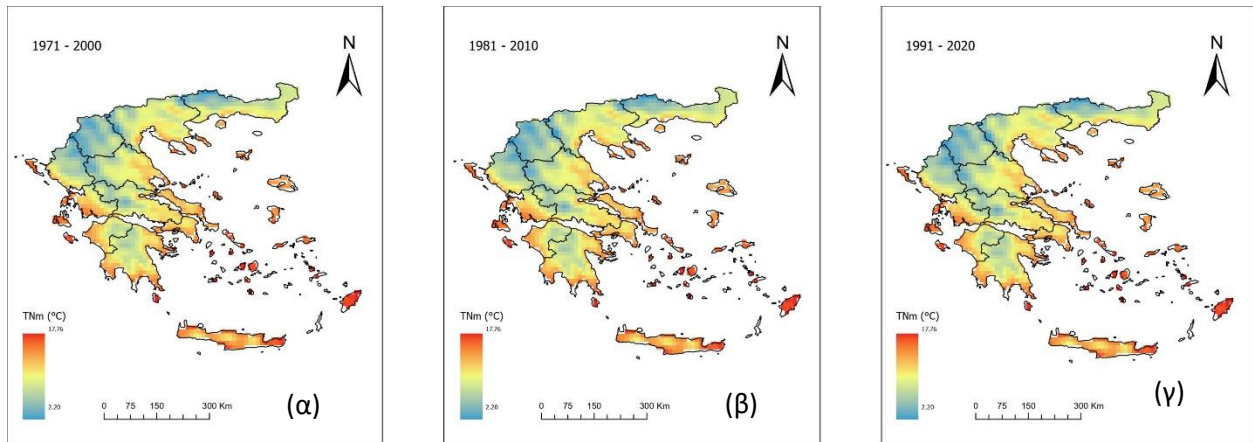
Σχήμα 5-3: Χωρική κατανομή της Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας (Tm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020

Από τις τρεις τριακονταετίες δε φαίνεται μεγάλη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας. Αναλυτικότερα, οι παράκτιες περιοχές και τα νησιά της χώρας εξακολουθούν να έχουν τις υψηλότερες τιμές, ενώ οι ορεινές περιοχές έχουν τις χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας. Αναλύοντας το χάρτη που απεικονίζει τη διαφορά μεταξύ των κλιματικών περιόδων 1971-2000 και 1991-2020 (Σχήμα 5-4), παρατηρούνται μόνο θετικές τιμές, οι οποίες δεν ξεπερνούν τον 1°C. Συνεπώς, η μέση ημερήσια θερμοκρασία αυξήθηκε σε ολόκληρη την Ελλάδα από 0,35°C έως 0,98°C. Οι περιοχές που εμφάνισαν τη μεγαλύτερη μεταβολή της θερμοκρασίας είναι η Μακεδονία και η Θράκη, ενώ η Κρήτη, η Πελοπόννησος και η Δυτική Ελλάδα παρουσιάζουν την μικρότερη αύξηση.



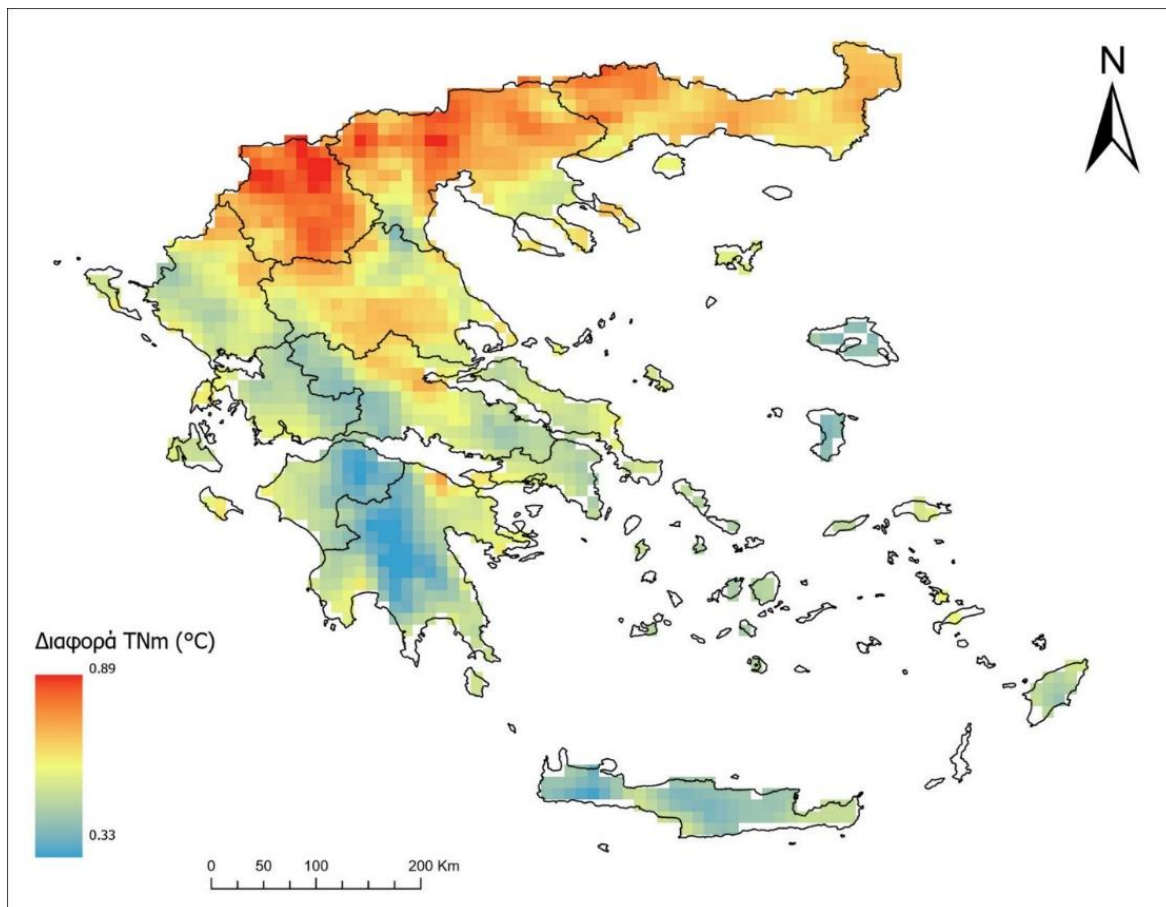
Σχήμα 5-4: Χωρική κατανομή της Διαφοράς στη Μέση Ημερήσια θερμοκρασία (TMm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000

Ο τρίτος δείκτης σχετικός με τη θερμοκρασία που απεικονίζεται είναι η μέση ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία (TNm) (Σχήμα 5-5). Το εύρος τιμών αυτού του δείκτη είναι από 2,20°C έως 17,76°C. Οι υψηλές τιμές του δείκτη παρατηρούνται μόνο στην παράκτια ζώνη, στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους, με το μέγιστο να σημειώνεται στα νησιά των Κυκλάδων και στη Ρόδο. Οι χαμηλές τιμές του δείκτη απλώνονται σε μεγάλη έκταση και περιλαμβάνουν εκτός από τις ορεινές περιοχές, σχεδόν ολόκληρη την Ήπειρο, την Κεντρική Ελλάδα και την Πελοπόννησο.



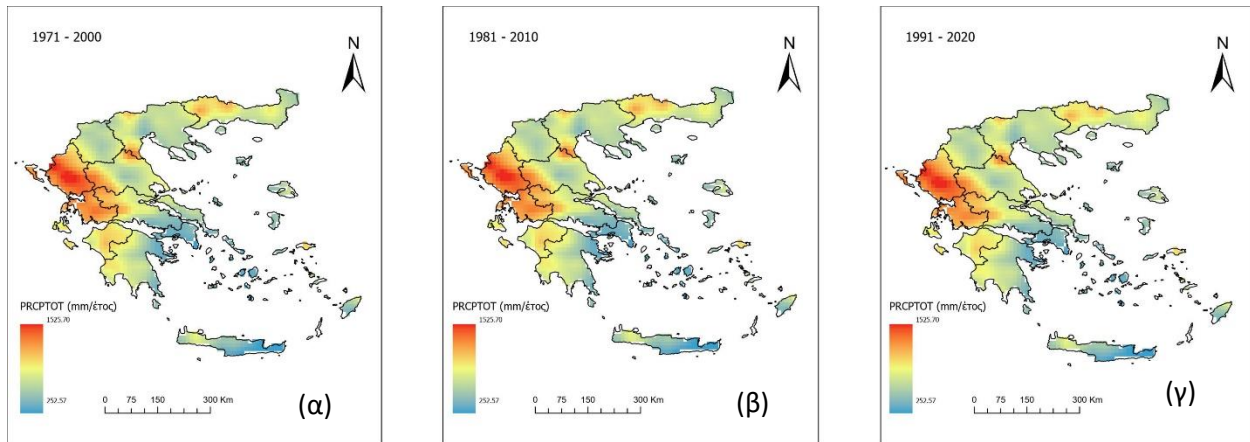
Σχήμα 5-5: Χωρική κατανομή της Μέσης Ημερήσιας Ελάχιστης θερμοκρασίας (TNm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020

Οι μεταβολές μεταξύ των τιμών του TNm των τριών περιόδων είναι σχετικά μικρότερες από τις αντίστοιχες για τον δείκτη ΤΧm. Κυμαίνονται από 0,33°C έως 0,89°C, δηλαδή είναι μικρότερες από 1°C. Αξιολογώντας τον χάρτη των διαφορών (Σχήμα 5-6), είναι φανερό ότι οι μεγαλύτερες θερμοκρασιακές αλλαγές εξακολουθούν να σημειώνονται στη Βόρεια Ελλάδα και ειδικά στη Δυτική και Κεντρική Μακεδονία. Μικρότερες παραμένουν οι μεταβολές στην Πελοπόννησο, στην Κρήτη, στη Δυτική ηπειρωτική χώρα, σε ορισμένα νησιά του Αιγαίου και στον Όλυμπο.



Σχήμα 5-6: Χωρική κατανομή της Διαφοράς στη Μέση Ημερήσια Ελάχιστη Θερμοκρασία (TNm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000

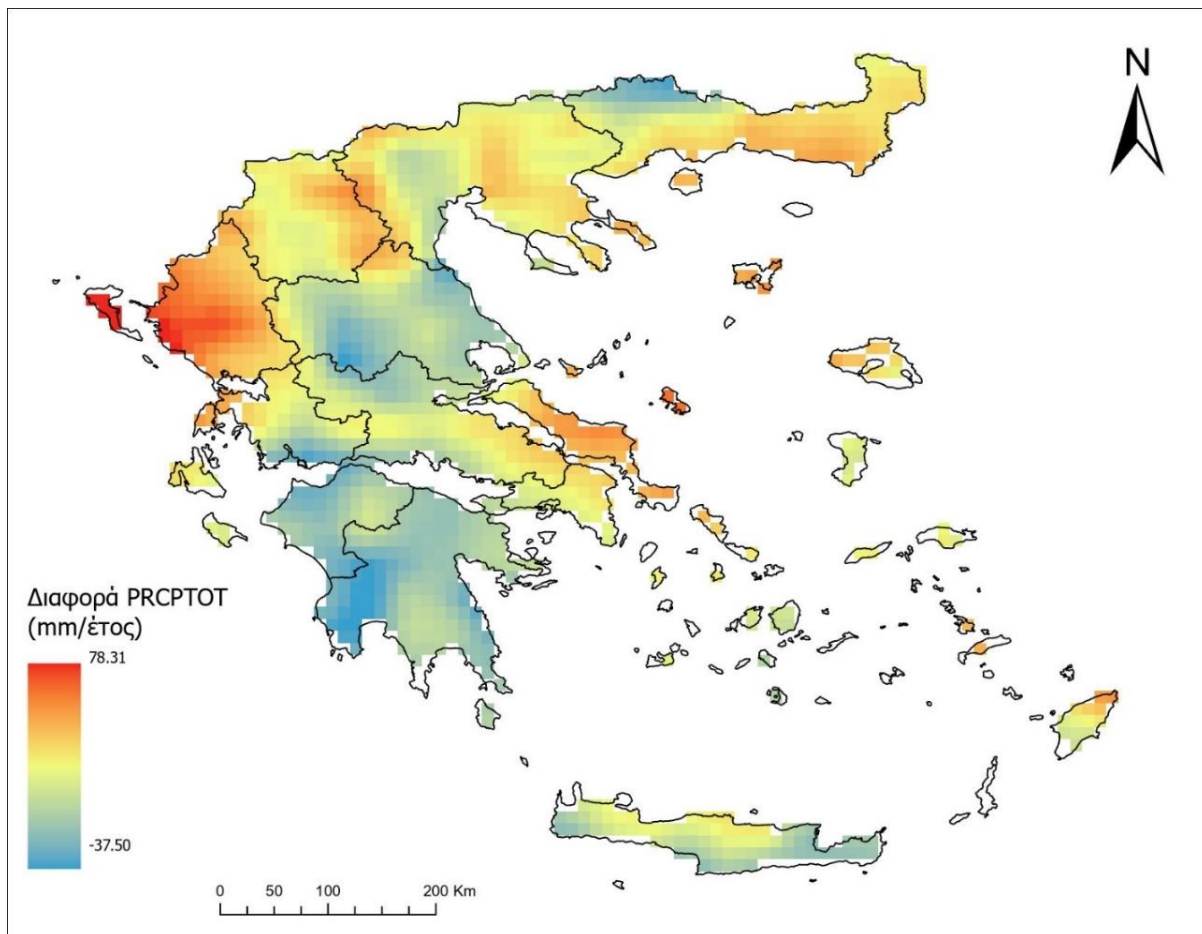
Εκτός από τις θερμοκρασίες, χαρακτηριστικό για τη μέση κατάσταση του κλίματος μιας περιοχής αποτελεί και το ύψος βροχής. Ο επόμενος δείκτης που υπολογίστηκε και απεικονίστηκε (Σχήμα 5-7) είναι η ετήσια συνολική βροχόπτωση. Το εύρος των τιμών της είναι από 252,57 mm έως 1.525,70 mm ανά έτος. Από τους χάρτες των τριών τριακονταετιών, παρατηρείται ότι τα περισσότερα χιλιοστά βροχής σημειώθηκαν στη Δυτική Ελλάδα και κυρίως στην Ήπειρο. Όμως, αρκετά ψηλές τιμές είχε και στα όρια της Κεντρικής Μακεδονίας με τη Θεσσαλία, ανατολικά της οροσειράς του Ολύμπου, αλλά στην Ανατολική Μακεδονία. Η υπόλοιπη ανατολική χώρα, η οροσειρά της Πίνδου και το μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου είχαν μέτριες τιμές. Οι περιοχές με τη μικρότερη βροχόπτωση ήταν η Αττική, η Κρήτη, τα νησιά του Αιγαίου και η Ανατολική Πελοπόννησος.



Σχήμα 5-7: Χωρική κατανομή της ετήσιας συνολικής βροχόπτωσης (PRCPTOT) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020.

Συγκρίνοντας τους χάρτες του Σχήματος 5-7, δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις των χιλιοστών βροχόπτωσης που καταγράφηκαν. Εύκολα εντοπίζεται ότι η Δυτική Ελλάδα και κάποιες περιοχές της Βόρειας χώρας έχουν υψηλές τιμές που ξεπερνούν κατά πολύ τα 1.000 mm, ενώ οι Νοτιοανατολικές περιοχές και τα νησιά του Αιγαίου έχουν τιμές μικρότερες από 600 mm. Καλύτερη εικόνα της διαφοράς φαίνεται στον χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 5-8), ο οποίος αποτυπώνει τη διαφορά των ετών 1971-2000 και 1991-2020. Το εύρος τιμών της βροχόπτωσης, όπως φαίνεται στο υπόμνημα έχει θετικές και αρνητικές τιμές.

Οι θετικές τιμές (κίτρινες, πορτοκαλί και κόκκινες περιοχές) αφορούν περιοχές στις οποίες αυξήθηκε η βροχόπτωση, ενώ οι αρνητικές τιμές (πράσινες και μπλε περιοχές) αφορούν περιοχές στις οποίες η βροχόπτωση μειώθηκε με το χρόνο. Οι μειώσεις που εμφάνισαν κάποιες περιοχές ήταν λιγότερο από 40 mm/έτος, ενώ οι αυξήσεις πλησίασαν τα 80 mm/έτος. Συνεπώς οι περιοχές που σημείωσαν αύξηση της βροχόπτωσης είναι ολόκληρη η Μακεδονία, η Θράκη, η Ήπειρος, η Δυτική και η Στερεά Ελλάδα. Αντίθετα, η βροχόπτωση μειώθηκε στην Πελοπόννησο και Κρήτη και στο βόρειο τμήμα του νομού Δράμας (Ανατολική Μακεδονίας).

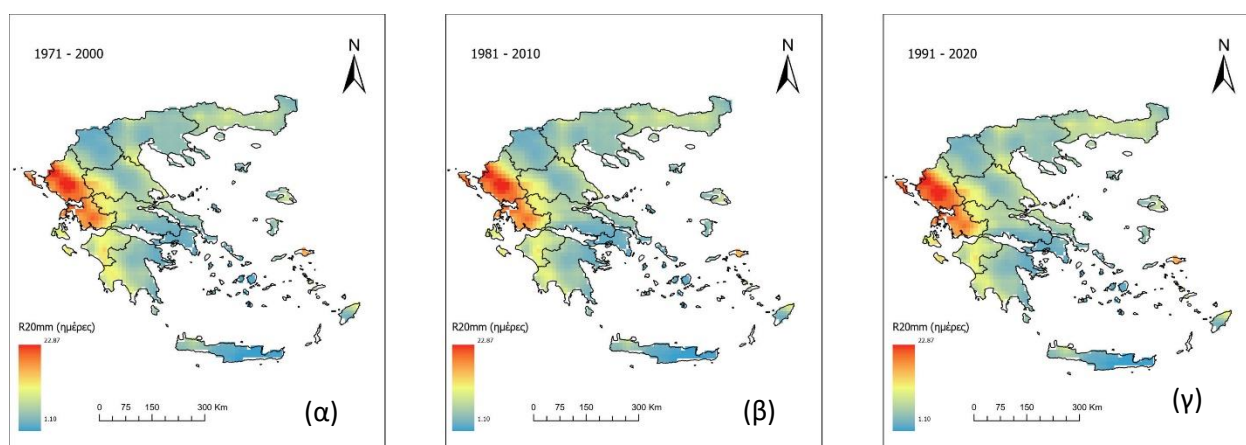


Σχήμα 5-8: Χωρική κατανομή της διαφοράς στην ετήσια συνολική βροχόπτωση PRCPTOT μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000

Συμπερασματικά, οι δείκτες που συνθέτουν τη μέση κατάσταση του κλίματος στην Ελλάδα μελετήθηκαν για τρεις ξεχωριστές κλιματικές περιόδους προκειμένου να αξιολογηθεί η χωρική τους κατανομή και να εντοπιστούν διαφορές είτε στην κατανομή είτε στην ένταση (τιμή) τους. Συνοπτικά, για όλους τους δείκτες η χωρική κατανομή παραμένει η ίδια, πιο συγκεκριμένα οι πεδινές, νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της χώρας εμφανίζουν τις υψηλότερες ημερήσιες μέσες θερμοκρασίας ενώ ο κύριος όγκος της ετήσιας συνολικής βροχόπτωσης φαίνεται να συγκεντρώνεται στα δυτικά τμήματα της χώρας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζουν οι χάρτες που αποτυπώνουν τις χωρικές κατανομές των διαφορών των τιμών των δεικτών μεταξύ της πρώτης (1971-2000) με τη τρίτη τριακονταετία (1991-2020). Για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, μέγιστη, μέση και ελάχιστη οι θετικές μεταβολές επικεντρώνονται στο Βόρειο τομέα της χώρας και ίσως υποδηλώνουν κάποια αυξητική τάση, που θα μελετηθεί σε επόμενη ενότητα της έρευνας. Η ετήσια μέση βροχόπτωση κυμαίνεται με περιοχές τις δυτικής Ελλάδας να συγκεντρώνουν το κύριο όγκο βροχής και άλλες στα νότια τμήματα της χώρας να εμφανίζουν σημαντική πτώση των τιμών του δείκτη.

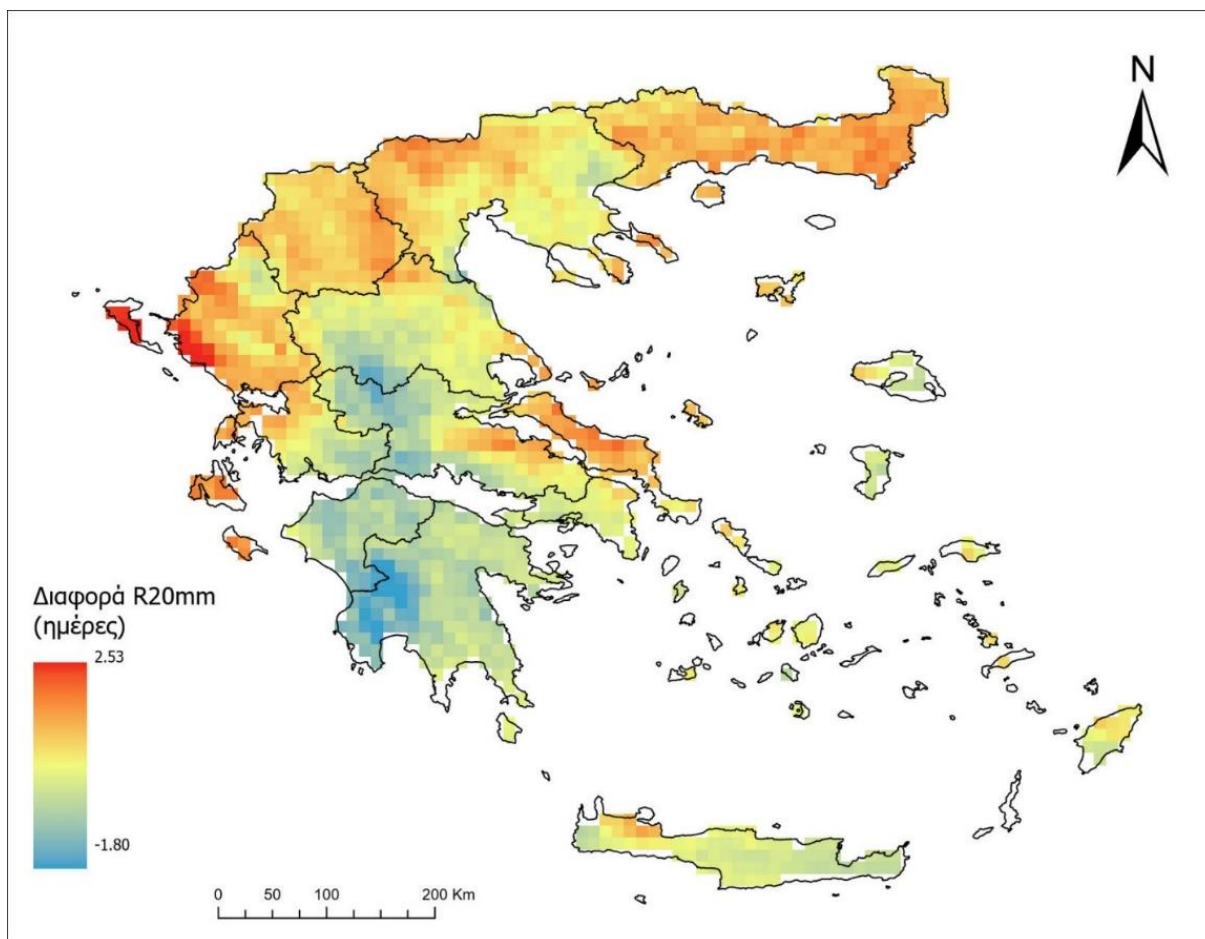
5.2 Ακραία καιρικά φαινόμενα στην Ελλάδα για την ιστορική περίοδο 1971-2022

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν δύο δείκτες, οι οποίοι περιγράφουν τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Ο πρώτος δείκτης είναι ο R20mm, δηλαδή ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 20 mm. Το εύρος των ημερών κατά τις τρεις τριακονταετίες είναι από 1 ημέρα έως σχεδόν 23 ημέρες (Σχήμα 5-9). Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές στις οποίες η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 20 mm, είναι ορισμένες από τις περιοχές που αναφέρθηκαν πριν ως περιοχές αυξημένης αθροιστικής βροχόπτωσης. Οι περιοχές αυτές είναι η Ήπειρος, μέρος της Δυτικής Ελλάδας, η Κέρκυρα, η Λευκάδα και η Σάμος. Όσον αφορά τις υπόλοιπες περιοχές υψηλής βροχόπτωσης, δηλαδή την κεντρική χώρα, την Ανατολική Πελοπόννησο και το μεγαλύτερο μέρος της Μακεδονίας και της Θράκης, οι ημέρες που ξεπεράστηκαν τα 20 mm είναι μεταξύ 8-18 ημερών. Τέλος, τα 20 mm βροχής ξεπεράστηκαν λιγότερες από 5 μέρες στην οροσειρά της Πίνδου, στην Αττική, στην Κρήτη, στην Ανατολική Πελοπόννησο και νησιά του Αιγαίου.



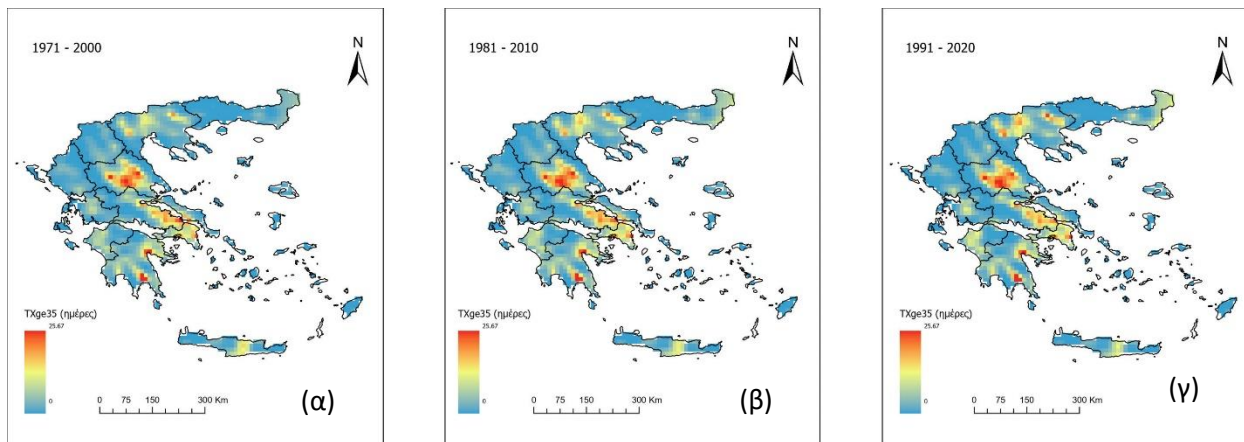
Σχήμα 5-9: Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών κατά τις οποίες η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 20 mm (R20mm) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β) 1981-2010, (γ) 1991-2020.

Αντιπαραθέτοντας τους τρεις χάρτες (Σχήμα 5-9), δε διακρίνονται μεγάλες διαφορές στον αριθμό των ημερών που ξεπερνούν τα 20 mm. Οι περιοχές με υψηλότερη αθροιστική βροχόπτωση έχουν στην πλειοψηφία τους σε κάθε τριακονταετία και μεγαλύτερη τιμή του δείκτη R20mm. Από το χάρτη που δημιουργήθηκε με τη διαφορά της τελευταίας από την πρώτη τριακονταετία (Σχήμα 5-10), εντοπίζονται μεγάλες διαφορές σε σχετικά μικρή χωρική έκταση. Ειδικότερα, ο αριθμός της διαφοράς των ημερών είναι από σχεδόν -2 έως 2,5 ημέρες. Οι αρνητικές τιμές (ψυχρά χρώματα) της διαφοράς υποδηλώνουν ότι με την πάροδο του χρόνου, οι ημέρες που τα χιλιοστά βροχόπτωσης ήταν μεγαλύτερα από 20 mm ελαττώθηκαν, ενώ οι θετικές τιμές (θερμά χρώματα) δηλώνουν ότι οι ημέρες υπέρβασης του ορίου ήταν περισσότερες. Συνεπώς, οι περιοχές που εμφάνισαν μείωση ήταν η Κεντρική Ελλάδα, η Αττική, η Πελοπόννησος, η Ανατολική Κρήτη και ορισμένα νησιά του Αιγαίου. Από την άλλη, οι περιοχές που υπερέβησαν περισσότερες μέρες τα 20 mm, ήταν η υπόλοιπη ηπειρωτική χώρα, τα νησιά του Ιονίου και τα νησιά του Βορείου Αιγαίου.



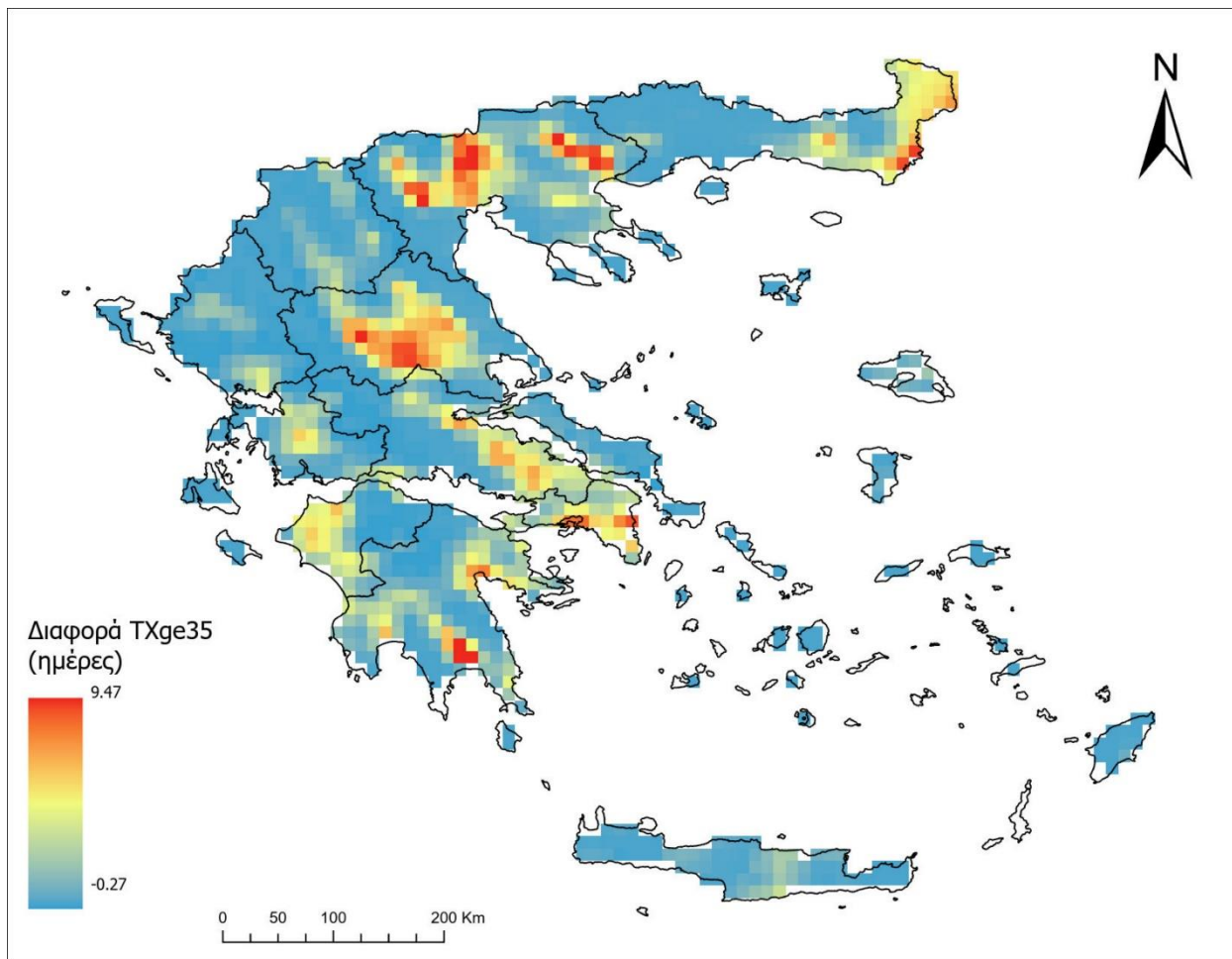
Σχήμα 5-10: Χωρική κατανομή της διαφοράς στον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 20 mm (R20mm) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000

Τέλος, υπολογίστηκε ο δείκτης TXge35, ο οποίος περιγράφει τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 35°C. Το εύρος των ημερών που καταγράφηκε σύμφωνα με τους χάρτες (Σχήμα 5-11) είναι από 0 έως 25,67 ημέρες. Η μεγαλύτερη έκταση της ηπειρωτικής χώρας αλλά και όλα τα νησιά πλην της Κρήτης, δεν σημειώνουν ημέρες υπέρβασης ή είναι ελάχιστες σε αριθμό. Τέλος, οι περιοχές στις οποίες οι ημέρες υπέρβασης είναι περισσότερες από 18 είναι σε ολόκληρη την Αττική, στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, στη Θεσσαλία, στην Κεντρική Μακεδονία και στην Ανατολική Πελοπόννησο.



Σχήμα 5-11: Χωρική κατανομή του Αριθμού των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 35°C (TXge35) για τις 3 κλιματικές περιόδους (α) 1971-2000, (β)1981-2010, (γ)1991-2020

Παρατηρώντας τους χάρτες των τριακονταετιών, φαίνονται ορισμένες διαφοροποιήσεις στις ημέρες υπέρβασης του ορίου θερμοκρασίας. Αυτό επαληθεύεται από τον χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 5-12), στον οποίο αποτυπώνεται η διαφορά 1971-2000 και 1991-2020. Οι τιμές του υπομνήματος είναι από αρνητικές, κοντά στο μηδέν, έως θετικές κοντά στο 10. Οι αρνητικές τιμές (μπλε χρώμα), που είναι και η πλειοψηφία των περιοχών της χώρας, υποδηλώνουν ότι ο αριθμός των ημερών που ξεπέρασαν τους 35°C είναι λιγότερες συγκριτικά με αυτές που ήταν την πρώτη τριακονταετία. Οι υπόλοιπες τιμές είναι θετικές, επομένως σε εκείνες τις περιοχές αυξήθηκαν οι ημέρες με θερμοκρασία υψηλότερη από 35° C, κατά περίπου 5 ημέρες στη Θράκη, την Κεντρική Μακεδονία, τη Θεσσαλία, την Αττική, την Ανατολική Στερεά Ελλάδα, τη Δυτική Ελλάδα και τη Νότια Πελοπόννησο. Οι ημέρες υπέρβασης πλησίασαν τις 10 στις κόκκινες περιοχές που αφορούν μεμονωμένα μέρη στη Θράκη, την Κεντρική Μακεδονία, τη Θεσσαλία, τη Νότια Αττική και Νότια Πελοπόννησο.

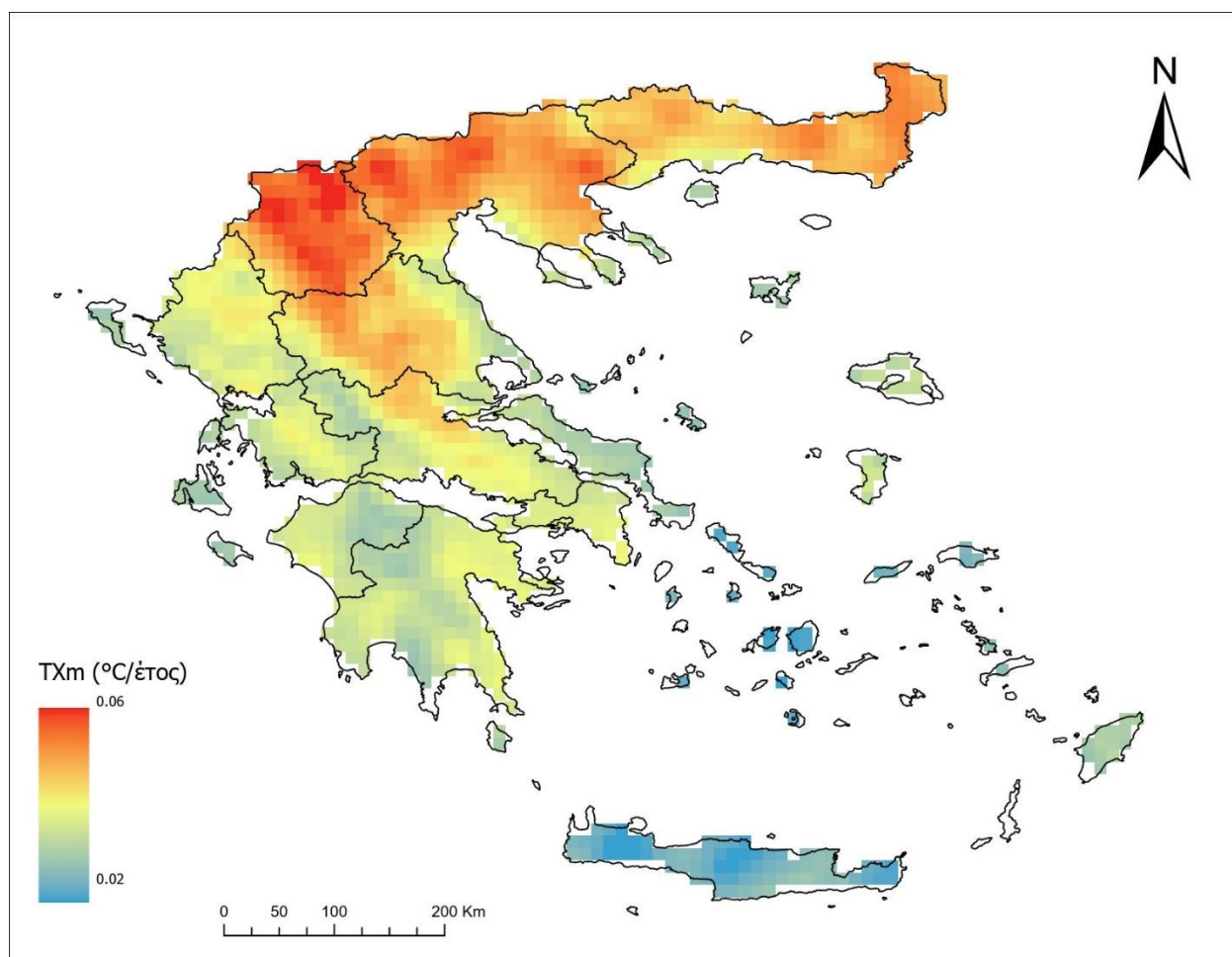


Σχήμα 5-12: Χωρική κατανομή της διαφοράς στον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 35°C (TXge35) μεταξύ των τριακονταετιών 1991-2020 και 1971-2000.

Συνεπώς, από τους δείκτες που μελετήθηκαν για τα ακραία καιρικά φαινόμενα της Ελλάδας, δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη μεταβολή στις ημέρες υπέρβασης του δείκτη R20mm συγκρίνοντας τις τρεις τριακονταετίες, αλλά η μεταβολή που σημειώθηκε για τις ημέρες υπέρβασης του δείκτη TXge35 είναι αρκετά σημαντική. Αυτό το συμπέρασμα εξάχθηκε συγκρίνοντας το εύρος του αριθμού των ημερών υπέρβασης σε κάθε τριακονταετία και του αριθμού υπέρβασης στη διαφορά της τελευταίας με την πρώτη. Από την παραπάνω σύγκριση επισημαίνεται ότι η θερμοκρασιακή μεταβολή των τελευταίων δεκαετιών είναι σφοδρότερη, με περιοχές να σημειώνουν έως και 10 μέρες κατά μέσο όρο τριακονταετία όπου η θερμοκρασία τους ξεπέρασε τους 35° C.

5.3 Τάσεις

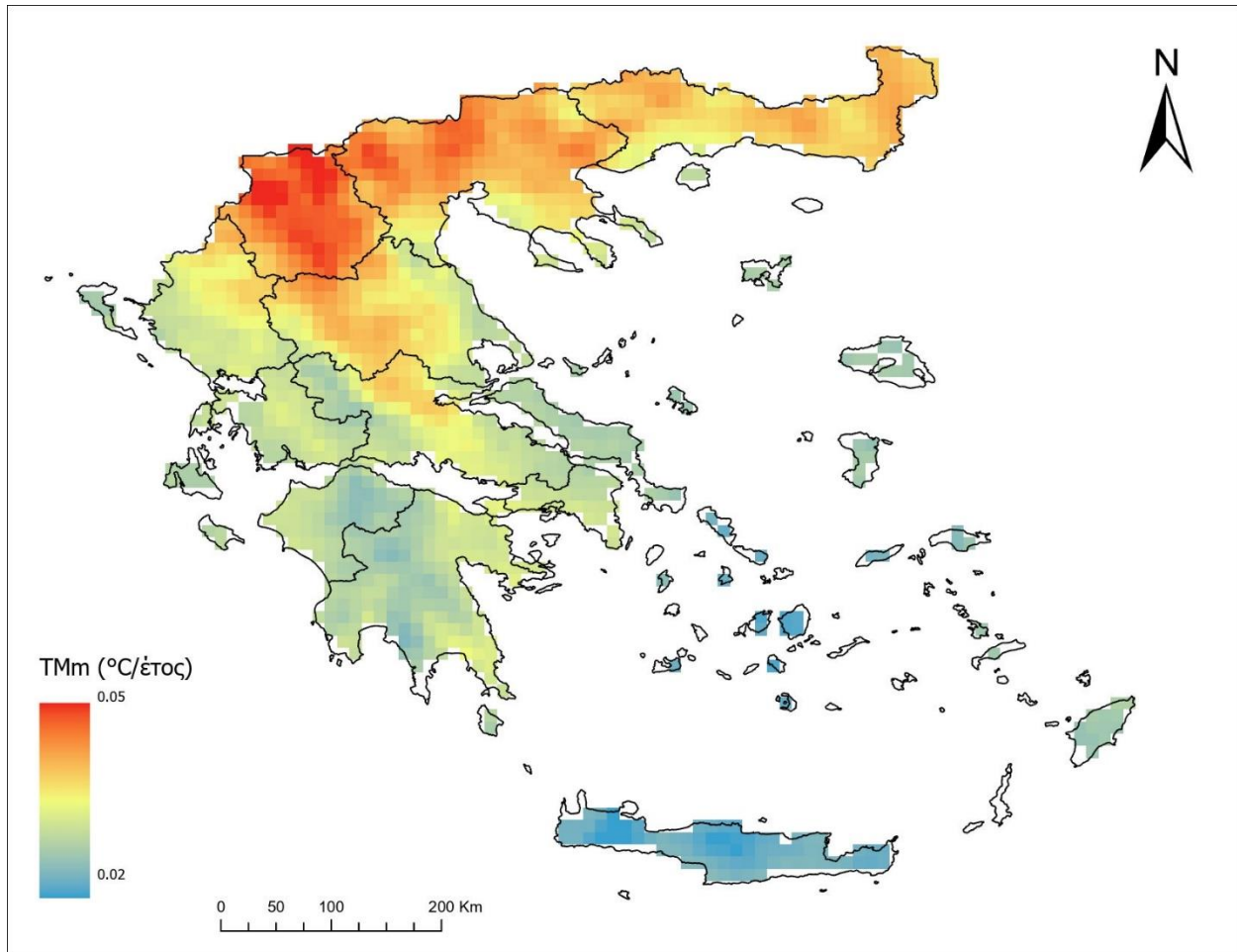
Για τους επιλεγμένους κλιματικούς δείκτες που περιγράφουν τη μέση κλιματική κατάσταση και τα ακραία φαινόμενα, υπολογίστηκε και απεικονίστηκε η γραμμική κλίση Sen. Αρχικά ο δείκτης της θερμοκρασίας ΤΧm (Σχήμα 5-13), έχει θετική κλίση. Συνεπώς, η μέση ημερήσια θερμοκρασία των μέγιστων θερμοκρασιών έχει αυξητική τάση. Όπως φαίνεται και στο χάρτη αυξάνεται από 0,2 °C/δεκαετία έως 0,6 °C/δεκαετία. Πιο μεγάλη κλίση άρα πιο απότομη αύξηση της τιμής της θερμοκρασίας έχει στην Κεντρική και Βόρεια χώρα, με τις μεγαλύτερες τιμές να είναι συγκεντρωμένες στη Δυτική Μακεδονία, στη δυτική Κεντρική Μακεδονία και στη Θράκη. Αντίθετα, τη μικρότερη αύξηση εμφανίζει η Κρήτη και τα νησιά των Κυκλάδων.



Σχήμα 5-13: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την ΤΧm για την ιστορική κλιματική περίοδο

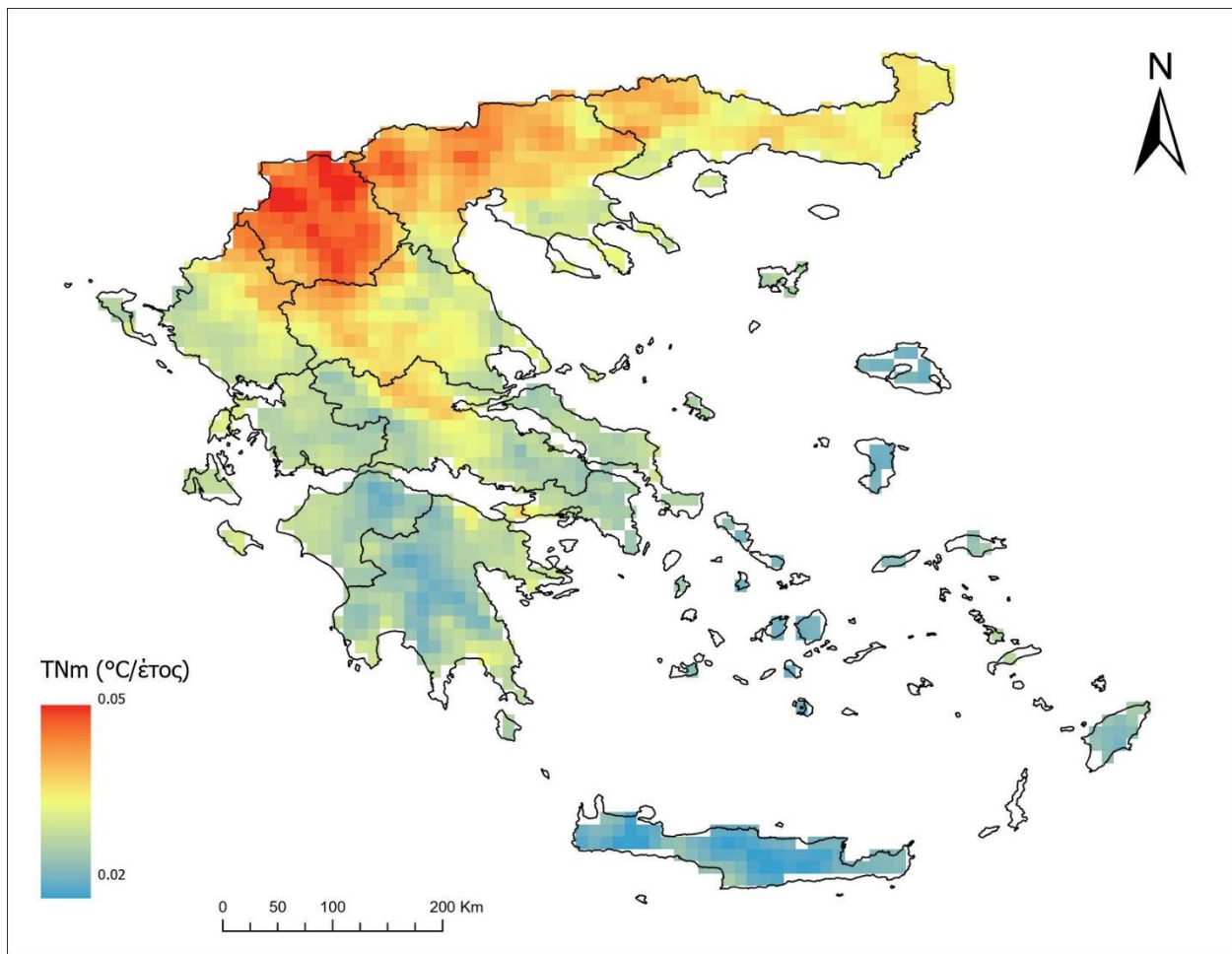
Έπειτα, ο επόμενος δείκτης που περιγράφει τη θερμοκρασία ΤΜm (Σχήμα 5-14), έχει παρόμοιο εύρος τιμών με τον προηγούμενο, δηλαδή κυμαίνεται από 0,2 °C/δεκαετία έως 0,5 °C/δεκαετία. Επομένως, και η μέση ημερήσια μέση θερμοκρασία έχει θετική κλίση Sen, άρα ο δείκτης εμφανίζει αυξητική τάση. Οι περιοχές με τις ακραίες υψηλές τιμές είναι η Δυτική Μακεδονία και η δυτική Κεντρική

Μακεδονία, ενώ οι περιοχές με τις χαμηλές τιμές είναι η Κρήτη, οι Κυκλάδες και μεμονωμένες περιοχές της Πελοποννήσου.



Σχήμα 5-14: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την TmM για την ιστορική κλιματική περίοδο

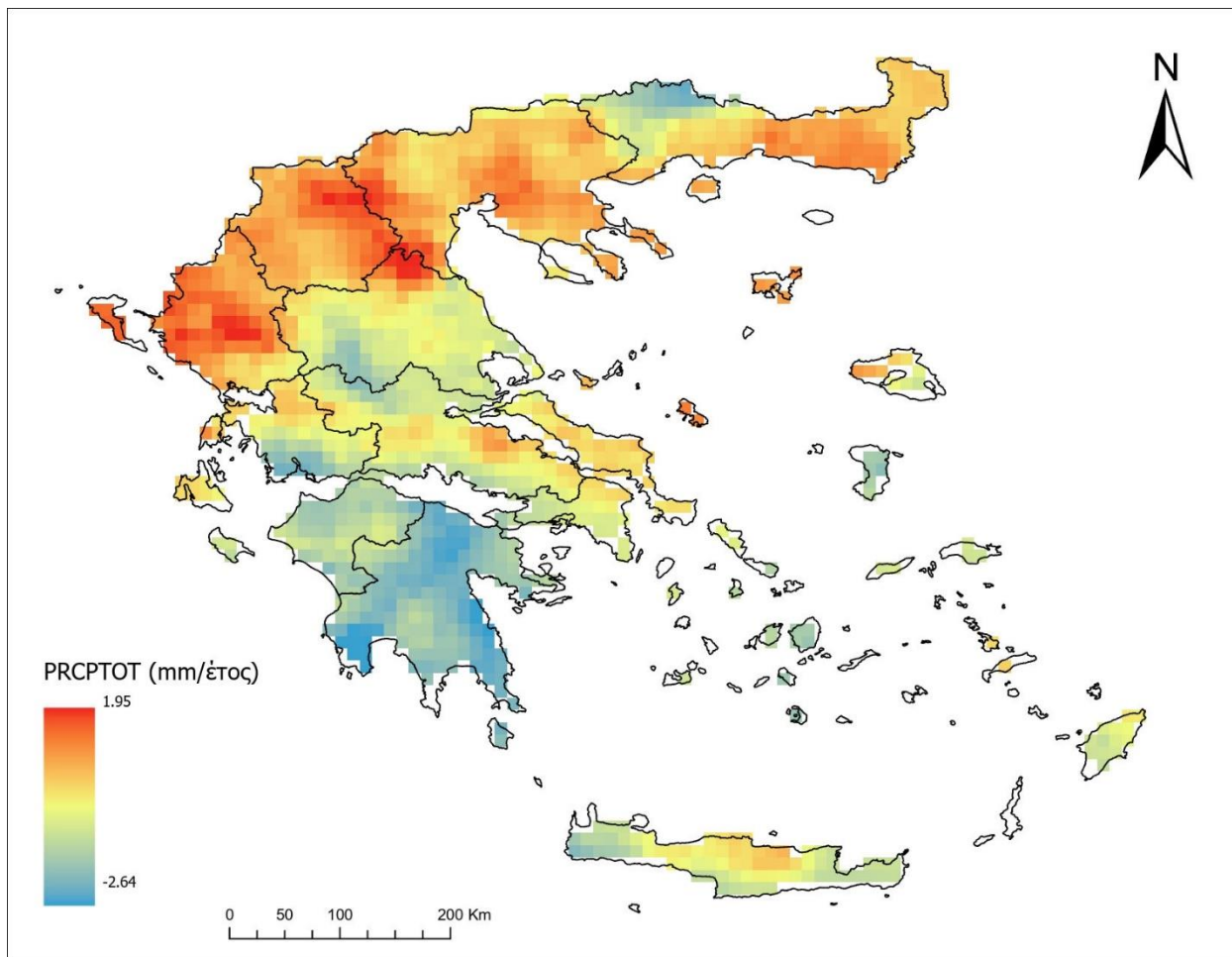
Ο τελευταίος δείκτης θερμοκρασίας είναι ο TNm (Σχήμα 5-15) και έχει ίδιο εύρος τιμών με το δείκτη μέσης θερμοκρασίας, δηλαδή μεταξύ 0,2 °C/δεκαετία και 0,5 °C/δεκαετία. Όμοια με τους δύο προηγούμενους χάρτες και ο χάρτης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας των ελαχίστων θερμοκρασιών έχει αυξητικές τάσεις, λόγω της θετικής κλίσης. Οι υψηλές τιμές είναι συγκεντρωμένες βόρεια, ενώ οι χαμηλές είναι νότια. Πιο συγκεκριμένα, η Δυτική Ελλάδα έχει σε όλη την έκτασή της τιμές μεγαλύτερες από 0,4 °C/δεκαετία και η δυτική Κεντρική Μακεδονία έχει υψηλές τιμές κοντά στους 0,4 °C/δεκαετία. Παρόλα αυτά, οι περιοχές με μικρή κλίση είναι περισσότερες. Για παράδειγμα, σε ολόκληρη την Κρήτη οι τιμές είναι χαμηλές, στην πλειοψηφία των νησιών του Αιγαίου Πελάγους και στον μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου.



Σχήμα 5-15: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την TNm για την ιστορική κλιματική περίοδο

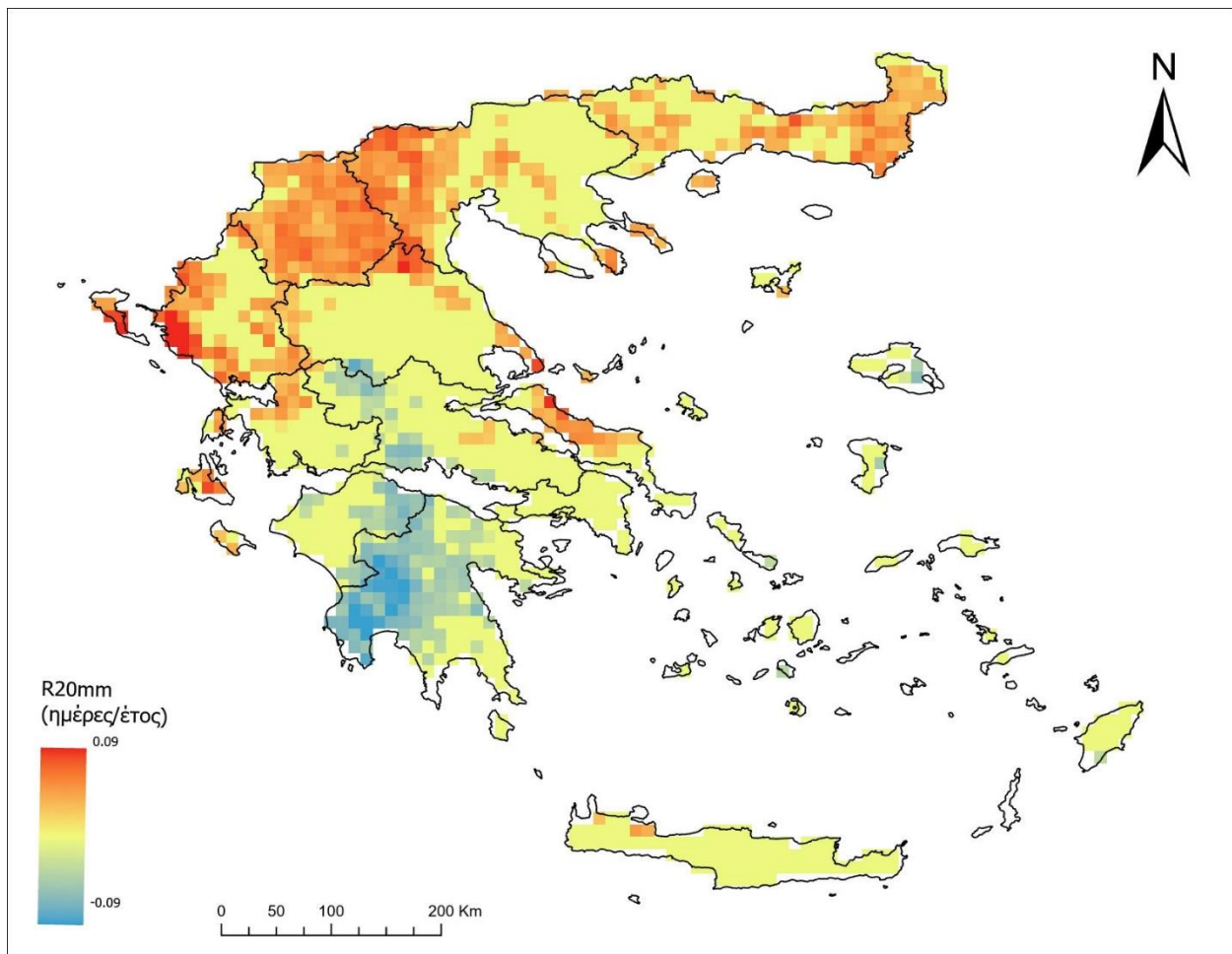
Συμπερασματικά, η ΤΧm έχει μεγαλύτερο εύρος τιμών σε σχέση με τους άλλους δύο δείκτες κατά 0,1 °C/δεκαετία, αν και οι τρεις δείκτες έχουν αυξητική τάση της θερμοκρασίας. Η Δυτική Μακεδονία έχει τις υψηλότερες τιμές, ενώ η Κρήτη και οι Κυκλάδες έχουν τις χαμηλότερες τιμές και στους τρεις χάρτες.

Έπειτα, ο χάρτης με την κλίση Sen για τη βροχόπτωση (Σχήμα 5-16) έχει αρνητικές και θετικές τιμές. Οι περιοχές με θετικές τιμές κλίσης εμφανίζουν αυξητική τάση στη βροχόπτωση, οι περιοχές με αρνητικές τιμές εμφανίζουν μειωτική τάση, ενώ αυτές με μηδενική κλίση παρουσιάζουν σταθερή βροχόπτωση. Όσον αφορά την περιοχή της Ελλάδας, θετική κλίση έχει η Ήπειρος, ολόκληρη η Μακεδονία και η Θράκη, εκτός από την οροσειρά της Ροδόπης που έχει αρνητική, ορισμένα από τα νησιά του Βορείου Αιγαίου και του βορείου Ιονίου Πελάγους. Αρνητικές τιμές εμφανίζει η Πελοπόννησος σε όλη την έκτασή της, τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου, το μεγαλύτερο μέρος της Κρήτης, της Δυτικής Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στην Ήπειρο και στο όριο της Δυτικής με την Κεντρική Μακεδονία, ενώ οι χαμηλότερες τιμές στην Πελοπόννησο. Ωστόσο, υπάρχουν και πολλές περιοχές που είναι στην περιοχή του μηδενός, όπως η Αττική, η Στερεά Ελλάδα και ορισμένα νησιά στα κεντρικά Πελάγη.



Σχήμα 5-16: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την PRCPTOT για την ιστορική κλιματική περίοδο

Όσον αφορά το δείκτη R20mm (Σχήμα 5-17), έχει θετικές και αρνητικές τιμές κλίσης από -0,9 ημέρες/δεκαετία έως 0,9 ημέρες/δεκαετία. Η μεγαλύτερη έκταση της χώρας έχει τιμές κοντά στο μηδέν, πρακτικά αυτό σημαίνει ότι δεν αναγνωρίζεται κάποια τάση για την ακραία βροχόπτωση. Οι περιοχές με θετική κλίση, άρα αυξητική τάση είναι τα νησιά του Ιονίου, η δυτική Ήπειρος, ολόκληρη η Δυτική Ελλάδα, η δυτική μεριά της Κεντρικής Μακεδονίας, η Θράκη και η Εύβοια. Αρνητικές κλίσεις, άρα μειωτική τάση έχει η βροχόπτωση στις περιοχές της Πελοποννήσου και στη δυτική Στερεά Ελλάδα.



Σχήμα 5-17: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την R20mm για την ιστορική κλιματική περίοδο

Τελευταίος χάρτης (Σχήμα 5-18) που απεικονίζει την κλίση Sen αφορά το δείκτη TXge35. Αυτός ο χάρτης έχει τιμές από το μηδέν και δεν ξεπερνούν το 0,5, αυτό σημαίνει ότι στην μεγαλύτερη έκταση του ελλαδικού χώρου δεν αναγνωρίζεται κάποια συγκεκριμένη τάση για την θερμοκρασία άνω των 35° C , ενώ λίγες περιοχές εμφανίζουν μικρή αυξητική τάση. Οι περιοχές οι οποίες έχουν αυξητική τάση βροχόπτωσης δεν παρουσιάζουν κάποια ομοιομορφία ως προς την χωρική τους κατανομή. Ορισμένες από αυτές είναι η Αττική, η ανατολική και νότια Στερεά Ελλάδα, διάσπαρτες περιοχές στην Πελοπόννησο και τη Δυτική Ελλάδα, η κεντρική Θεσσαλία, δύο τμήματα της Κεντρικής Μακεδονίας και η ανατολική Θράκη.



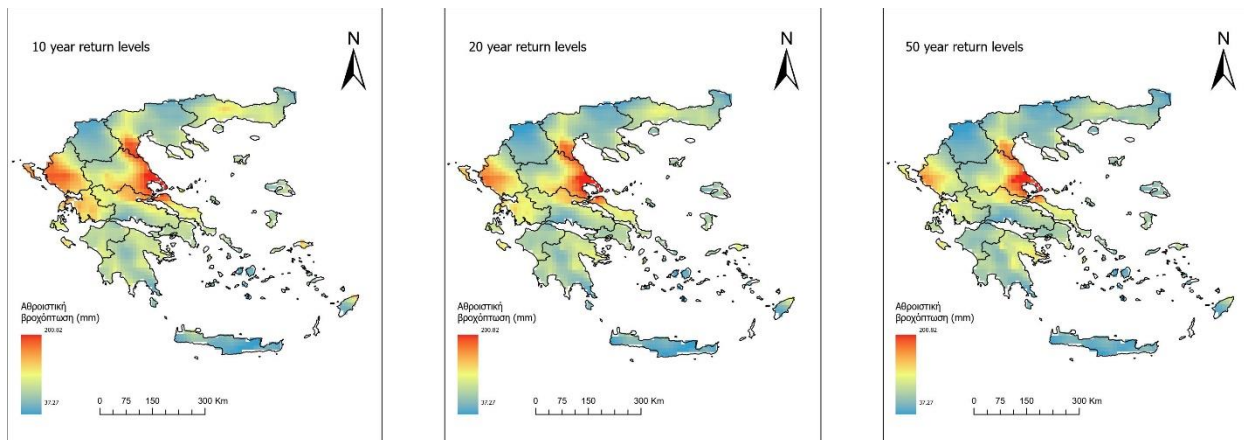
Σχήμα 5-18: Χωρική κατανομή της Κλίση Sen για την TXge35 για την ιστορική κλιματική περίοδο

5.4 Ανάλυση Ακραίων Τιμών (EVA)

Το επόμενο βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων, αποτελεί η ανάλυση των ακραίων τιμών που εντοπίστηκαν κατά τα έτη 1971-2022. Κατά το βήμα αυτό κατασκευάστηκαν χάρτες οι οποίοι περιγράφουν τα όρια της βροχόπτωσης που υπολογίστηκαν σύμφωνα με την εφαρμογή της θεωρίας των ακραίων τιμών (EVA) ότι θα ξεπεραστούν μια φορά τα επόμενα 10, 20 και 50 χρόνια. Η εφαρμογή της μεθόδου βασίστηκε στον ορισμό των ακραίων τιμών σύμφωνα με την μέθοδο block maxima, όπου η μέγιστη τιμή των ημερήσιων τιμών ανά έτος θεωρείται ως ακραία τιμή της υπό μελέτης μεταβλητής. Η προσαρμογή κατάλληλων συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας οδήγησε στην εξαγωγή των χαρτών των περιόδων επανεμφάνισης (return levels).

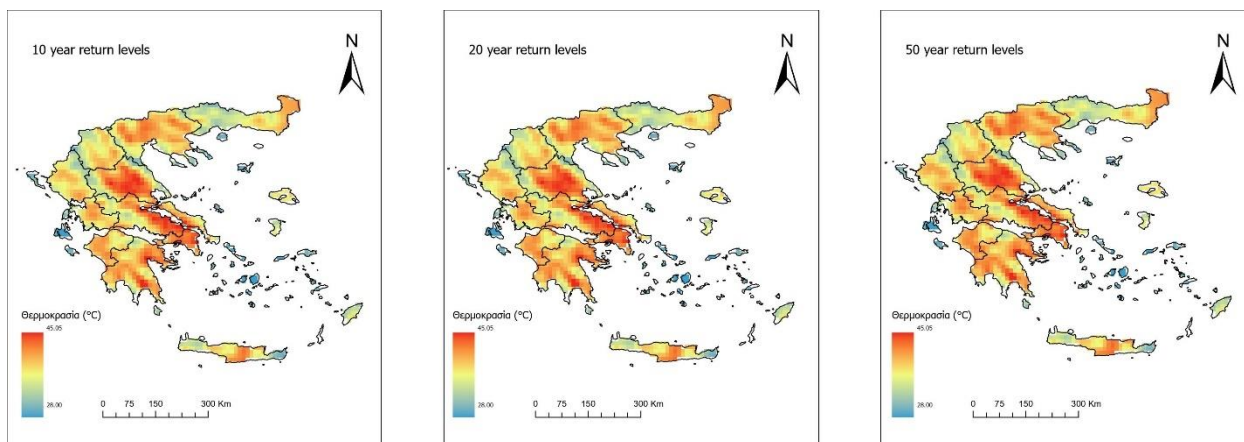
Στο Σχήμα 5-19 αποτυπώνεται η πιθανότητα της αθροιστικής βροχόπτωσης να φτάσει τα εικονιζόμενα χιλιοστά σε 10, σε 20 και σε 50 χρόνια. Πάνω από 140 mm θα φτάσει η βροχόπτωση στην Ήπειρο και στη Θεσσαλία. Η Ήπειρος ήταν αναμενόμενο να χρωματιστεί κόκκινη, καθώς και στους προηγούμενους χάρτες βροχόπτωσης ήταν η περιοχή με τις υψηλότερες τιμές στην Ελλάδα. Αντίθετα, παρ' όλο που η Θεσσαλία είχε μέτρια βροχόπτωση στο παρελθόν, οι πιθανότητες για υψηλή βροχόπτωση στα επόμενα χρόνια είναι εξαιρετικά μεγάλες. Περιοχές στις οποίες θα ξεπεραστεί η βροχόπτωση αλλά

θα φτάσει λιγότερα χιλιοστά από τις προαναφερθείσες είναι η Ανατολική και Δυτική Μακεδονία, η Κεντρική Ελλάδα και η Πελοπόννησος. Οι υπόλοιπες περιοχές χώρας, συμπεριλαμβανομένων και αρκετών νησιών ενώ τους αποδίδονται αρκετά χιλιοστά βροχής σε σχέση με τη μέση επικρατούσα κατάσταση, αυτά δε θα ξεπεράσουν τα 60 mm. Συγκρίνοντας τους τρεις χάρτες παρατηρείται ότι στα 50 χρόνια, τα επεισόδια της βροχόπτωσης που θα ξεπεραστούν το θεσπισμένο όριο θα είναι λιγότερα από αυτά που ήταν στα 20 χρόνια και ακόμα πιο λίγα από αυτά που ήταν στα 10 χρόνια. Αυτό φαίνεται πολύ έντονα στην Ήπειρο, τη Θεσσαλία και την Ανατολική Μακεδονία.



Σχήμα 5-19: Χρόνοι επιστροφής ακραίων τιμών για την παράμετρο της αθροιστικής βροχόπτωσης 10, 20 και 50 ετών.

Όσον αφορά το Σχήμα 5-20 αναπαριστά τα τρία return levels για τη θερμοκρασία, δηλαδή τη τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας που αναμένεται να ξεπεραστεί κατά μία φορά τα επόμενα 10, 20 και 50 έτη, σύμφωνα με τις ιστορικές παρατηρήσεις της περιόδου 1971-2022. Οι υψηλότερες τιμές που εντοπίζονται κατά τα επόμενα 20 έτη είναι στην Αττική, την κεντρική Θεσσαλία και ένα μέρος της Στερεάς Ελλάδας φαίνεται να πλησιάζουν και να ξεπερνούν τους 40°C. Η Κεντρική Μακεδονία, η Ήπειρος, η Δυτική Ελλάδα, η μεγαλύτερη έκταση της Πελοποννήσου θα ξεπεράσουν τους 35°C, δηλαδή αρκετά υψηλότερη τιμή από τη μέγιστη θερμοκρασία που είχε αποτυπωθεί σε προηγούμενους χάρτες. Τέλος, υψηλή για τα ιστορικά τους δεδομένα θερμοκρασία θα παρουσιάσουν τα νησιά της χώρας και στο Αιγαίο και στο Ιόνιο Πέλαγος που θα ξεπεράσει τους 30°C. Συγκρίνοντας τους τρεις χάρτες, φαίνεται ότι στα 50 χρόνια η μέγιστη θερμοκρασία που αναμένεται να ξεπεράσει το θεσπισμένο όριο θα είναι μεγαλύτερη από αυτή που εκτιμάται στα 20 και 10 χρόνια.



Σχήμα 5-20: Χρόνοι επιστροφής ακραίων τιμών για την παράμετρο της θερμοκρασίας 10, 20 και 50 ετών.

5.5 Εκτίμηση Δυνητικών Επιπτώσεων της ιστορικής περιόδου

Σύμφωνα με την μεθοδολογία για να προσδιοριστούν οι δυνητικές επιπτώσεις του κάθε κινδύνου απαραίτητο είναι να προσδιοριστεί η έκθεση και η ευαισθησία. Για κάθε κλιματικό κίνδυνο έχουν επιλεγεί σύνθετοι δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας, με σκοπό τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων. Συνοπτικά οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε κίνδυνο είναι (Πίνακας 5-1):

Πίνακας 5-1: Σύνολο δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων για τον εκάστοτε κλιματικό κίνδυνο

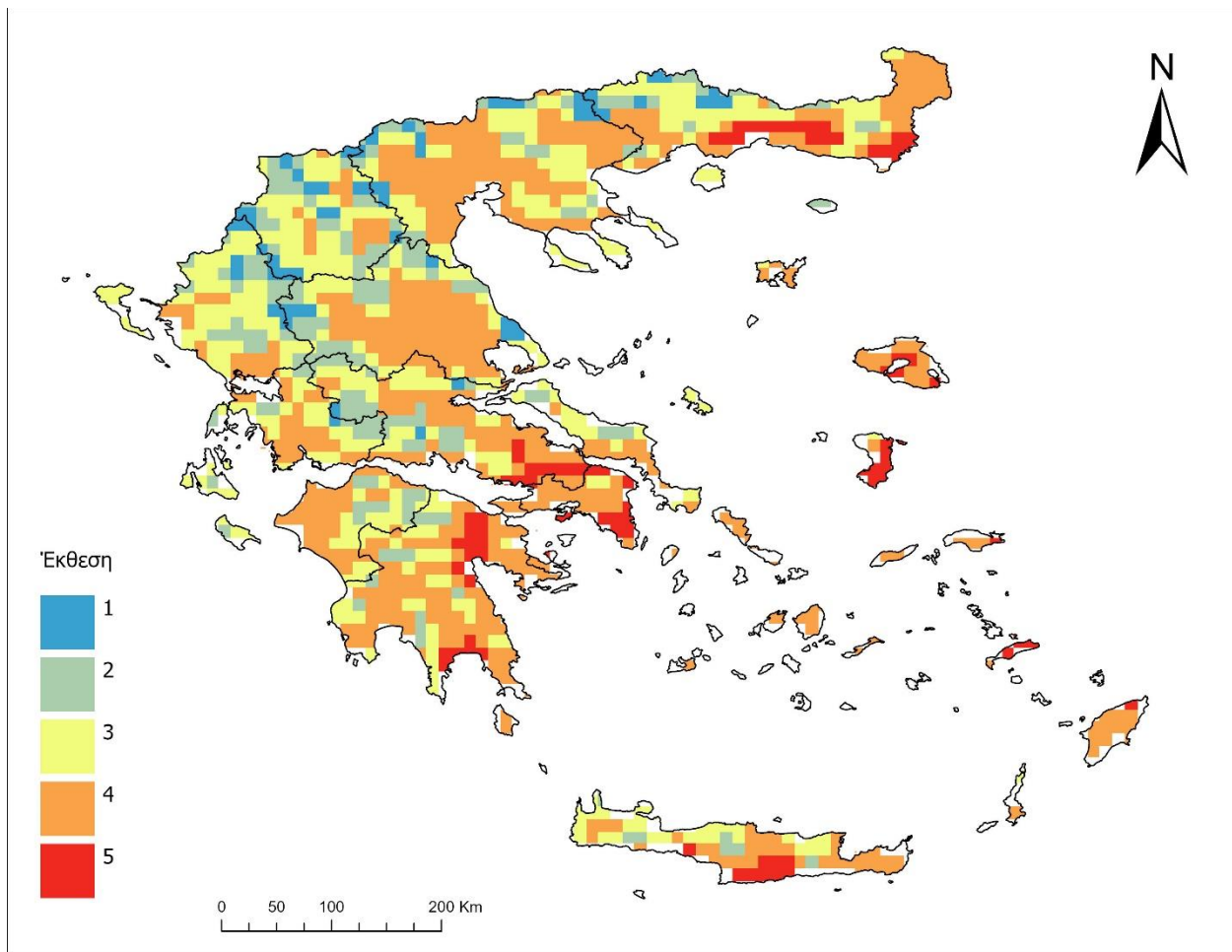
Κίνδυνοι	Δυνητικές Επιπτώσεις	
	Έκθεση	Ευαισθησία
Δασική Πυρκαγιά	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Δείκτης Καιρού Πυρκαγιάς (FWI) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Καύσιμη ύλη (Fuels)
Πλημμύρα	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ετήσιος αριθμός ημερών με ύψος βροχής ≥ 20 mm (R20mm) ▪ Συνολικό ύψος βροχής των εξαιρετικά υγρών ημερών (R99ptot) ▪ Μέγιστο ύψος ημερήσιας βροχής (Rx1day) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Πλημμυρικές ζώνες (Flood zones)
Ξηρασία	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ετήσια συνολική βροχόπτωση (PRCPTOT) ▪ Συνεχείς ξηρές ημέρες (CDD) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Υδατική καταπόνηση (BWS) ▪ Κάλυψη γης (Land Cover) ▪ Κατανομή πληθυσμού (Population)

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)
Ακραία επεισόδια ψύχους	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ετήσιος αριθμός ημερών όταν η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία $TN < 0^{\circ}C$ (FD) ▪ Ετήσιος αριθμός ημερών με τουλάχιστον 6 συνεχόμενες ημέρες όταν $TN < 10o$ εκατοστημόριο (CSDI) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Κάλυψη γης (Land Cover) ▪ Κατανομή πληθυσμού (Population) ▪ Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)
Ακραία θερμά επεισόδια	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ετήσιος αριθμός ημερών με τουλάχιστον 6 συνεχόμενες ημέρες όταν η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία $TX > 90o$ εκατοστημόριο (WSDI) ▪ Ετήσιος αριθμός ημερών όταν $TX > 25^{\circ}C$. (SU) ▪ Ετήσιος αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία $TN > 20^{\circ}C$ (TR) ▪ Ο αριθμός των ημερών όταν $TX \geq 35^{\circ}C$ (TXge35) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους (LST) ▪ Κάλυψη γης (Land Cover) ▪ Κατανομή πληθυσμού (Population) ▪ Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)

5.5.1 Δασική Πυρκαγιά

Για τη μελέτη της έκθεσης μιας περιοχής σε δασική πυρκαγιά, επιλέχθηκε ο σύνθετος δείκτης Fire Weather Index για το χρονικό διάστημα 1981-2010. Τα δεδομένα εξήχθησαν από το Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-tourism-fire-danger-indicators?tab=overview>).

Οι τιμές του αρχικά κανονικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το εύρος των τιμών του στην περιοχή της Ελλάδας και ταξινομήθηκαν σε πέντε τάξεις έκθεσης μιας περιοχής σε πυρκαγιά οι οποίες κατά αύξοντα αριθμό είναι: πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή έκθεση (Σχήμα 5-21). Οι δύο πρώτες κατηγορίες είναι χρωματισμένες με μπλε χρώμα, η μέτρια έκθεση με κίτρινο και οι δύο υψηλότερες με κόκκινο χρώμα. Στο χάρτη αποτυπώνεται η μεταβλητότητα του δείκτη. Συγκεκριμένα η Ήπειρος, η Δυτική και Ανατολική Μακεδονία και τα νησιά του Ιονίου έχουν πολύ χαμηλή έως μέτρια έκθεση. Αντίθετα, η Θεσσαλία, η Αττική, τα νησιά του Αιγαίου έχουν αμιγώς υψηλή έκθεση. Οι υπόλοιπες περιοχές, όπως η Κεντρική Μακεδονία, η Θράκη, η Κρήτη και η Πελοπόννησος έχουν σχεδόν και από τις πέντε κατηγορίες.



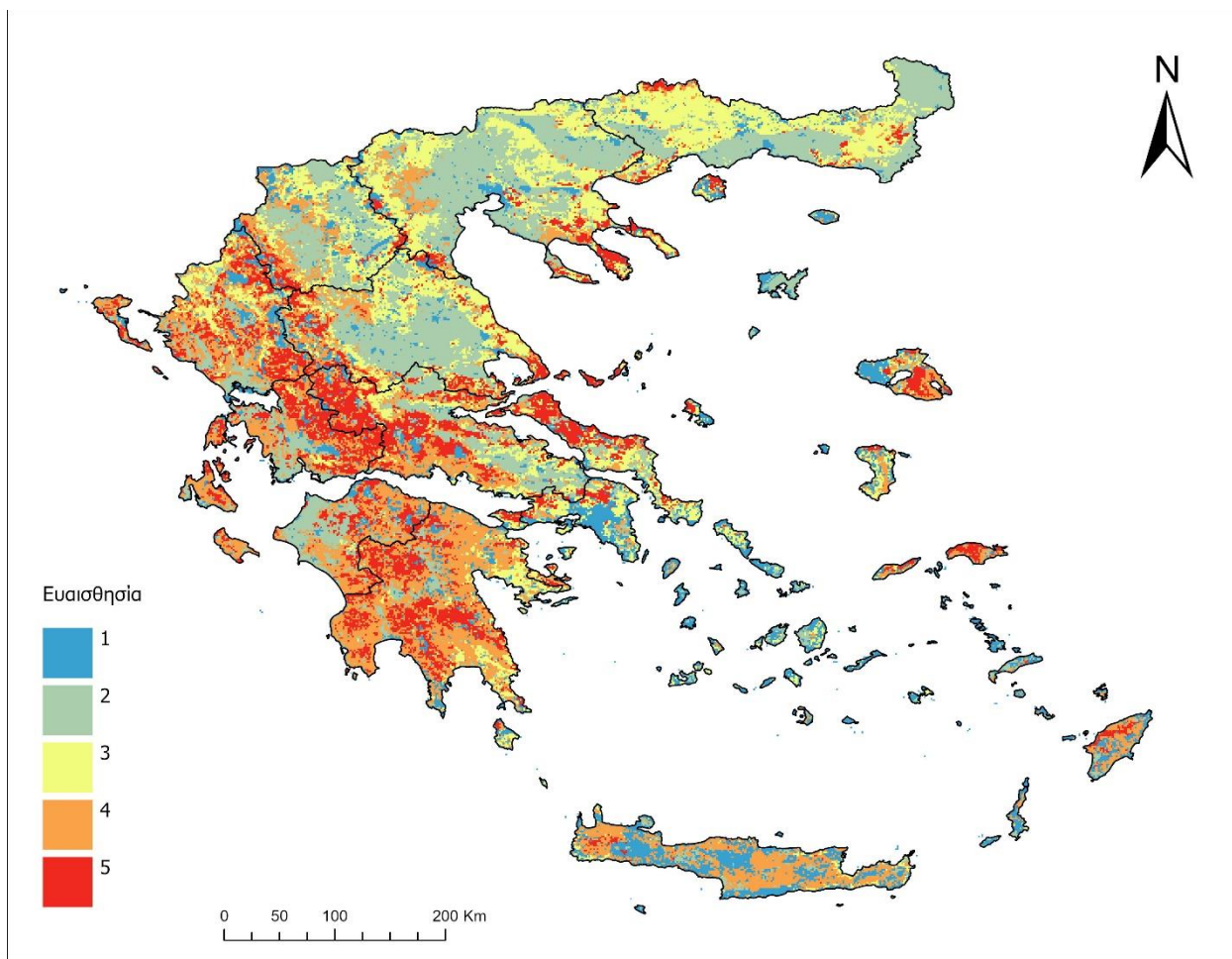
Σχήμα 5-21: Χωρική κατανομή της έκθεσης με τον κανονικοποιημένο Fire Weather Index (FWI) για την κλιματική περίοδο 1981-2010 στην Ελλάδα

Αναφορικά με την ευαισθησία, χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης η καύσιμη ύλη. Τα δεδομένα εξήχθησαν από την μελέτη των (Aragoneses et al., 2023). Πιο συγκεκριμένα, οι τύποι βλάστησης που συναντώνται στην Ελλάδα χωρίστηκαν σε 5 κατηγορίες ανάλογα με το πόσο ευαίσθητη καθιστούν την περιοχή στον κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς. Ενδεικτικά οι κατηγορίες είναι: πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή ευαισθησία μιας περιοχής σε πυρκαγιά. Ο διαχωρισμός πραγματοποιήθηκε βάσει βιβλιογραφικής έρευνας και συγκεκριμένα η κάθε κατηγορία περιλαμβάνει τα εξής είδη (Πίνακας 5.2):

Πίνακας 5-2: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στην πυρκαγιά.

Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
0 Ελλιπή δεδομένα	41 Πρώδης καλλιεργήσιμη έκταση	22 Μεσαία θαμνώδης έκταση	23 Υψηλοί θάμνοι	1212 Κλειστό αειθαλές δάσος βελονοφύλλων
7 Μη καύσιμα	51 Δέντρα και εκτάσεις με τύρφη/ημιτύρφη	1301 Ανοιχτό μικτό δάσος - Open mixed forest	42 Ξυλώδεις καλλιεργήσιμες εκτάσεις	
31 Χαμηλά λιβάδια	52 Θάμνοι και τυρφώδεις/ημι-τυρφώδεις εκτάσεις	1122 Κλειστό δάσος φυλλοβόλων πλατύφυλλων	1302 Κλειστό μικτό δάσος	
32 Μεσαία λιβάδι	53 Λιβάδια και εκτάσεις με τύρφη/ημι-τύρφη		1211 Ανοιχτό δάσος με αείφυλλα βελονοφύλλα	
61 Αστικός συνεχής ιστός	1121 Ανοιχτό δάσος φυλλοβόλων πλατύφυλλων			
62 Αστικός ασυνεχής ιστός	41 Πρώδης καλλιεργήσιμη έκταση			

Στον χάρτη του δείκτη ευαισθησίας (Σχήμα 5-22), με κόκκινο και πορτοκαλί χρώμα αποτυπώνονται οι περιοχές με πολύ υψηλή και υψηλή ευαισθησία ως προς την καύσιμη ύλη (δασικές περιοχές με πυκνή βλάστηση), με κίτρινο χρώμα οι περιοχές με μέτρια ευαισθησία και με μπλε χρώμα οι περιοχές με χαμηλή και πολύ χαμηλή ευαισθησία (χαμηλή βλάστηση και οι αστικές περιοχές). Η βλάστηση στις περισσότερες εκτάσεις δεν είναι συνεχής, αλλά διακόπτεται από διαφορετικά είδη, γι' αυτό και η ευαισθησία διαφέρει. Πιο συγκεκριμένα, σχεδόν όλη η δυτική χώρα, από την Ήπειρο έως και την Πελοπόννησο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες. Η Μακεδονία, η Θράκη, η Θεσσαλία και η Αττική, στην πλειοψηφία τους έχουν μικρή ευαισθησία είτε γιατί είναι αστικά κέντρα είτε γιατί κατακλύζονται από κάμπους. Ακόμη, παρατηρείται σποραδική εμφάνιση περιοχών υψηλής ευαισθησίας, δηλαδή πυκνών δασικών περιοχών, μέσα σε περιοχές που επικρατεί χαμηλότερη βλάστηση και κρίνονται με μικρότερη ευαισθησία. Όσον αφορά τα νησιά, στο Ιόνιο Πέλαγος έχουν σχεδόν σε όλη τους την έκταση υψηλή ευαισθησία, όπως και στην Κρήτη, τη Ρόδο, τη Μυτιλήνη, τη Θάσο, τη Σάμο, την Ικαρία και τις Σποράδες. Τα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου έχουν χαμηλή και πολύ χαμηλή ευαισθησία, καθώς επικρατεί ξηρασία.

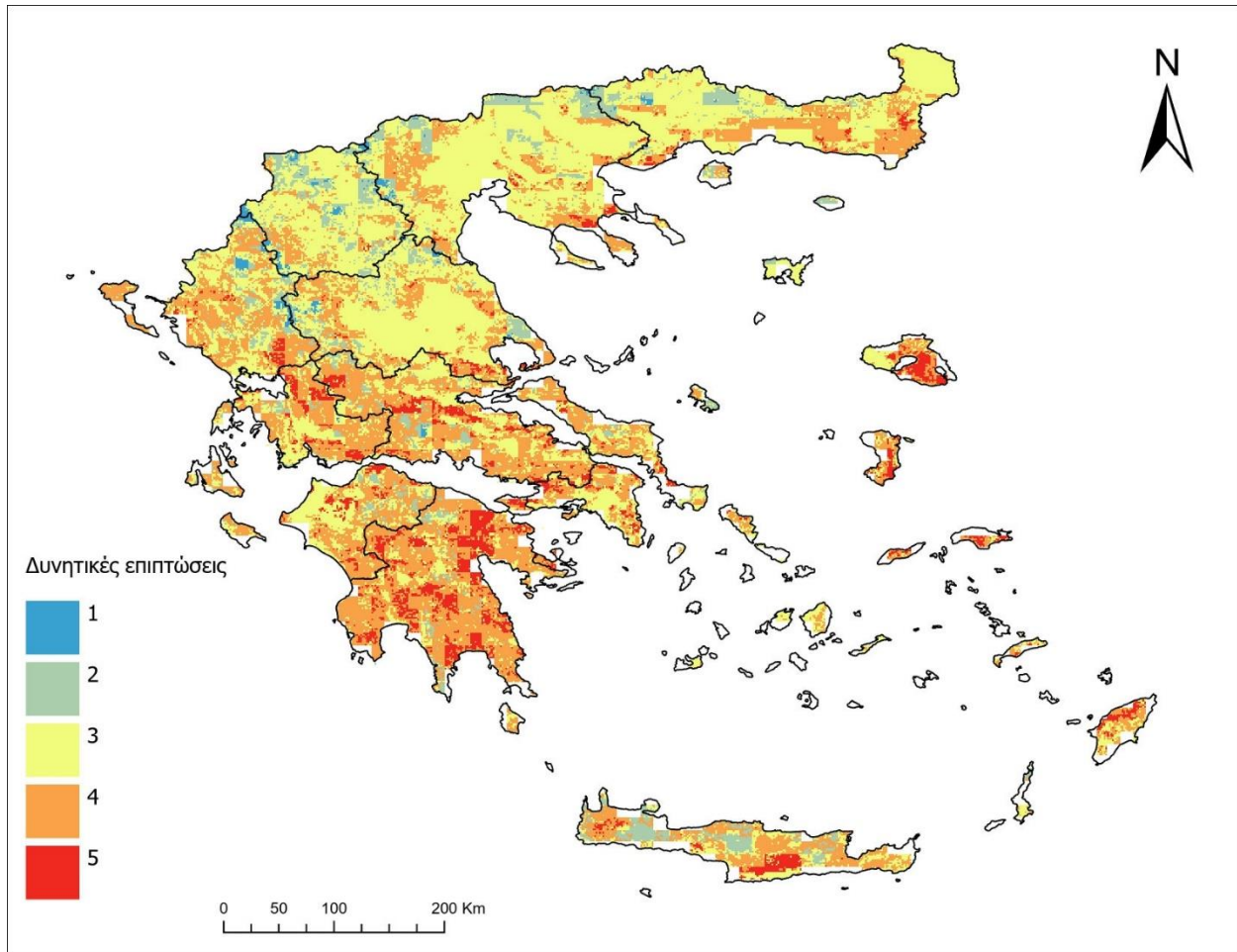


Σχήμα 5-22: Χωρική κατανομή του ομαδοποιημένου δείκτη καύσιμης ύλης, παραμέτρου της ευαισθησίας σε δασικές πυρκαγιές για την περιοχή της Ελλάδας.

Στη συνέχεια, παράχθηκε ο συνδυαστικός δείκτης των δυνητικών επιπτώσεων του κινδύνου της δασικής πυρκαγιάς (Σχήμα 5-23). Σε αυτό το χάρτη, έχει συμβάλει η έκθεση και η ευαισθησία κατά 50% η καθεμία, ώστε να κατηγοριοποιηθεί ο βαθμός των δυνητικών επιπτώσεων από 1 έως 5. Οι μπλε περιοχές έχουν βαθμό δυνητικών επιπτώσεων 1, οι πράσινες έχουν 2, οι κίτρινες έχουν 3, οι πορτοκαλί έχουν 4 και οι κόκκινες έχουν βαθμό 5. Πιο συγκεκριμένα, αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές με υψηλότερο βαθμό δυνητικών επιπτώσεων κρίνεται να κινδυνεύουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην περίπτωση εμφάνισης δασικής πυρκαγιάς, καθώς εμφανίζουν και υψηλή έκθεση στο συγκεκριμένο κίνδυνο και υψηλή ευαισθησία.

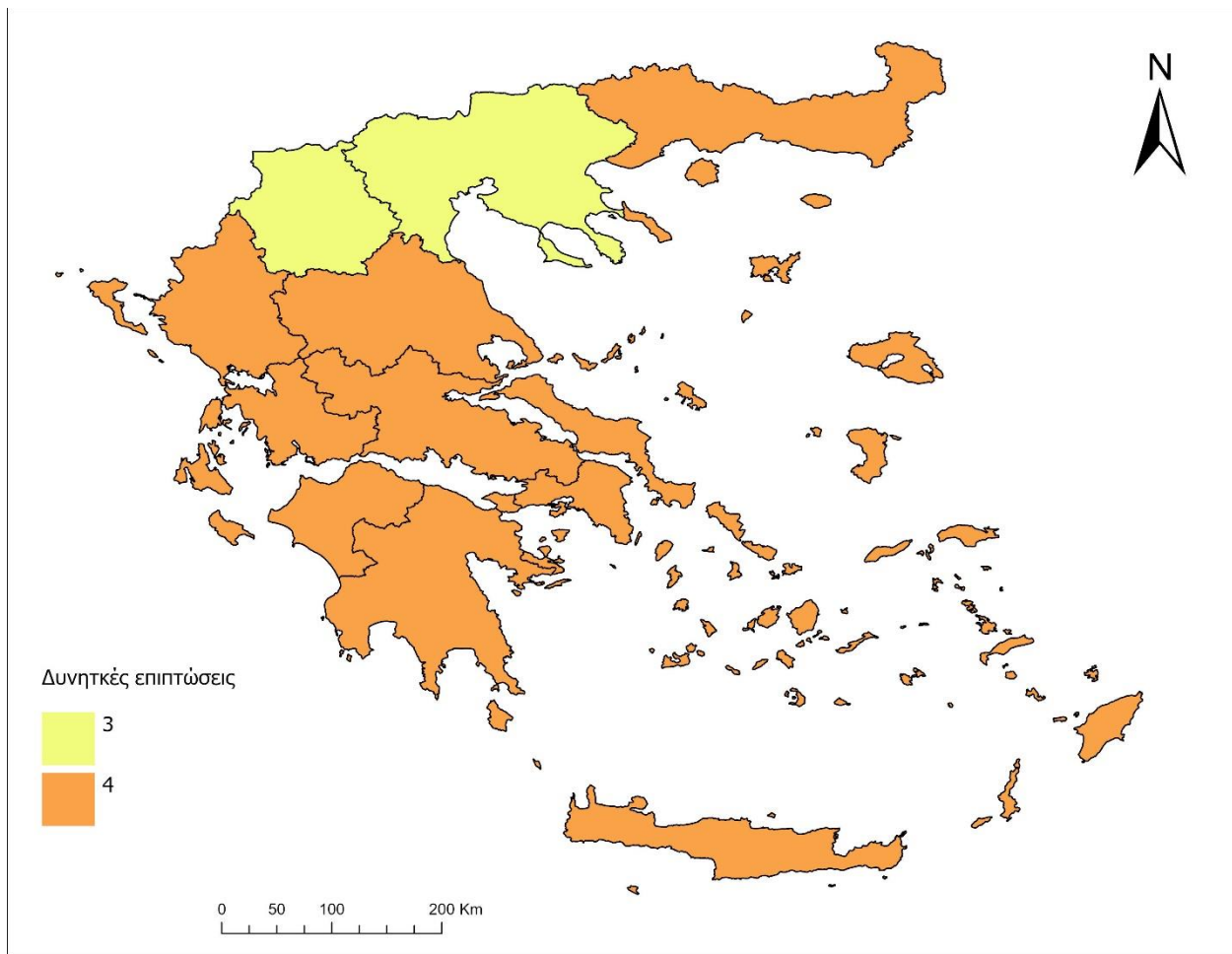
Αναλυτικότερα, το Βόριο τμήμα της χώρας εκτιμάται να φέρει μέτριες πιθανές επιπτώσεις, με εξαίρεση κάποιες περιοχές. Αντίθετα, στο νότιο κομμάτι, καθώς και σε όλα τα νησιά υπερτερούν οι υψηλές και πολύ υψηλές τιμές που χαρακτηρίζουν σφοδρότητα πιθανών επιπτώσεων. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται στην Πελοπόννησο, στην Αττική και στα Ανατολικά Δωδεκάνησα. Πολύ μικρή τιμή του

συνδυαστικού δείκτη κατανέμεται στις περιοχές όπως η οροσειρά της Πίνδου, η οροσειρά της Ροδόπης και η Δυτική Μακεδονία.

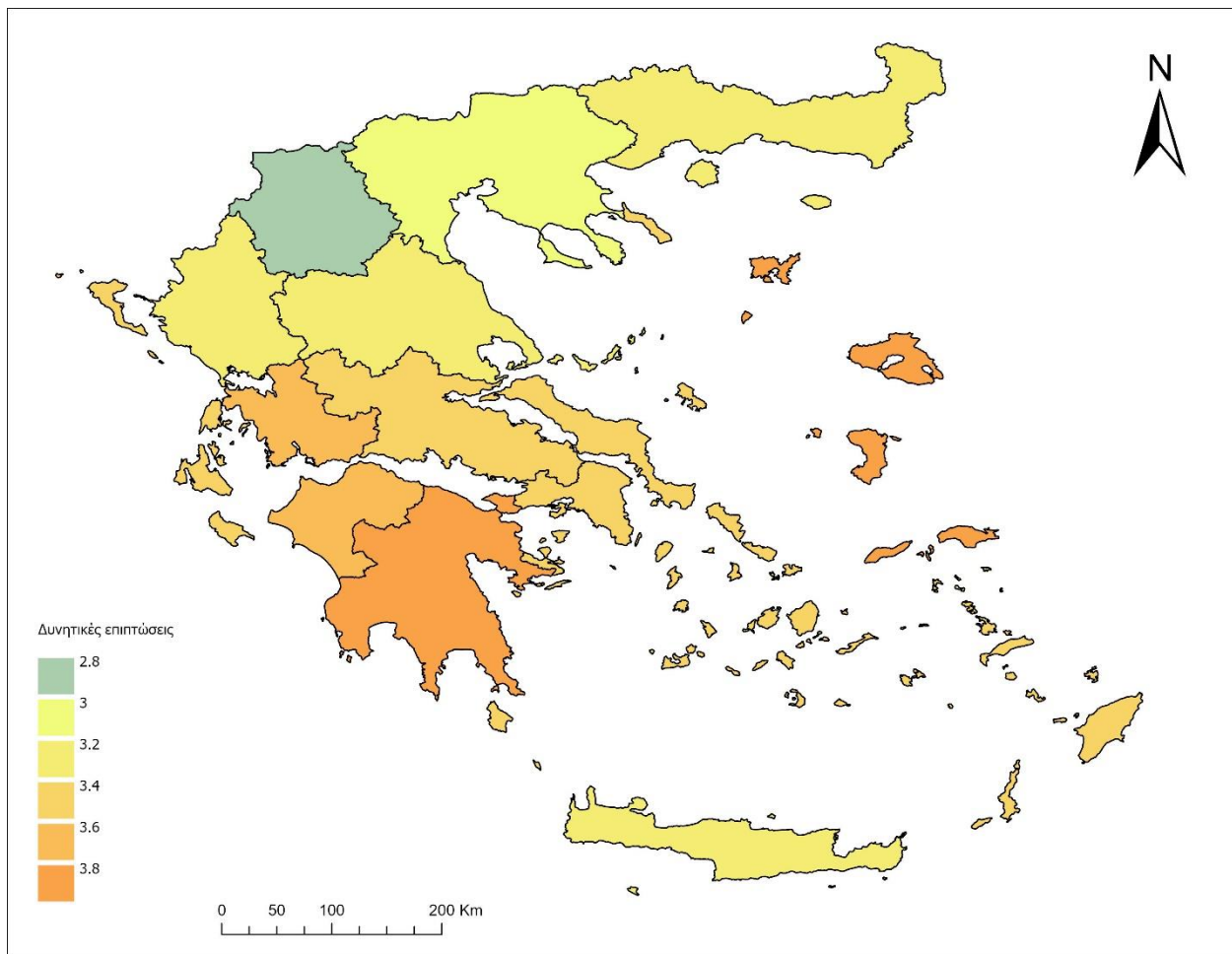


Σχήμα 5-23: Χωρική κατανομή της τάξης των δυτητικών επιπτώσεων της δασικής πυρκαγιάς για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1987-2010

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των τάξεων δυτητικών επιπτώσεων ανά περιφέρεια (Σχήμα 5-24). Χωρίζοντάς αυτές τις μέσες τιμές σε 5 τάξεις παρατηρείται ότι οι τάξεις που εμφανίζονται στο χάρτη είναι μόνο η 3 και η 4, καθώς οι περιοχές έχουν τιμές από 2,7 έως 3,7. Επομένως, επειδή οι τιμές είχαν μικρό εύρος, πραγματοποιήθηκε επιπλέον διαβάθμιση ανά 0,2 και το αποτέλεσμα απεικονίζεται στο Σχήμα 5-25. Η χρωματική κλίμακα του δεύτερου χάρτη παρουσιάζει κάποιες διαφοροποιήσεις όπως αναγράφονται στον υπόμνημα. Ειδικότερα, οι περιοχές που έχουν μέση τιμή 3 είναι η Δυτική και η Κεντρική Μακεδονία με εξαίρεση το Άγιο Όρος, που έχουν μέτριες τιμές βαθμού δυτητικών επιπτώσεων. Όλη η υπόλοιπη χώρα έχει υψηλές τιμές που δεν ξεπερνούν όμως το 3,8. Η περιφέρεια με τη μικρότερη μέση τιμή είναι η Δυτική Μακεδονία, ενώ η περιφέρεια με την υψηλότερη είναι η Πελοπόννησος και ακολουθεί το Βόρειο Αιγαίο.



Σχήμα 5-24: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

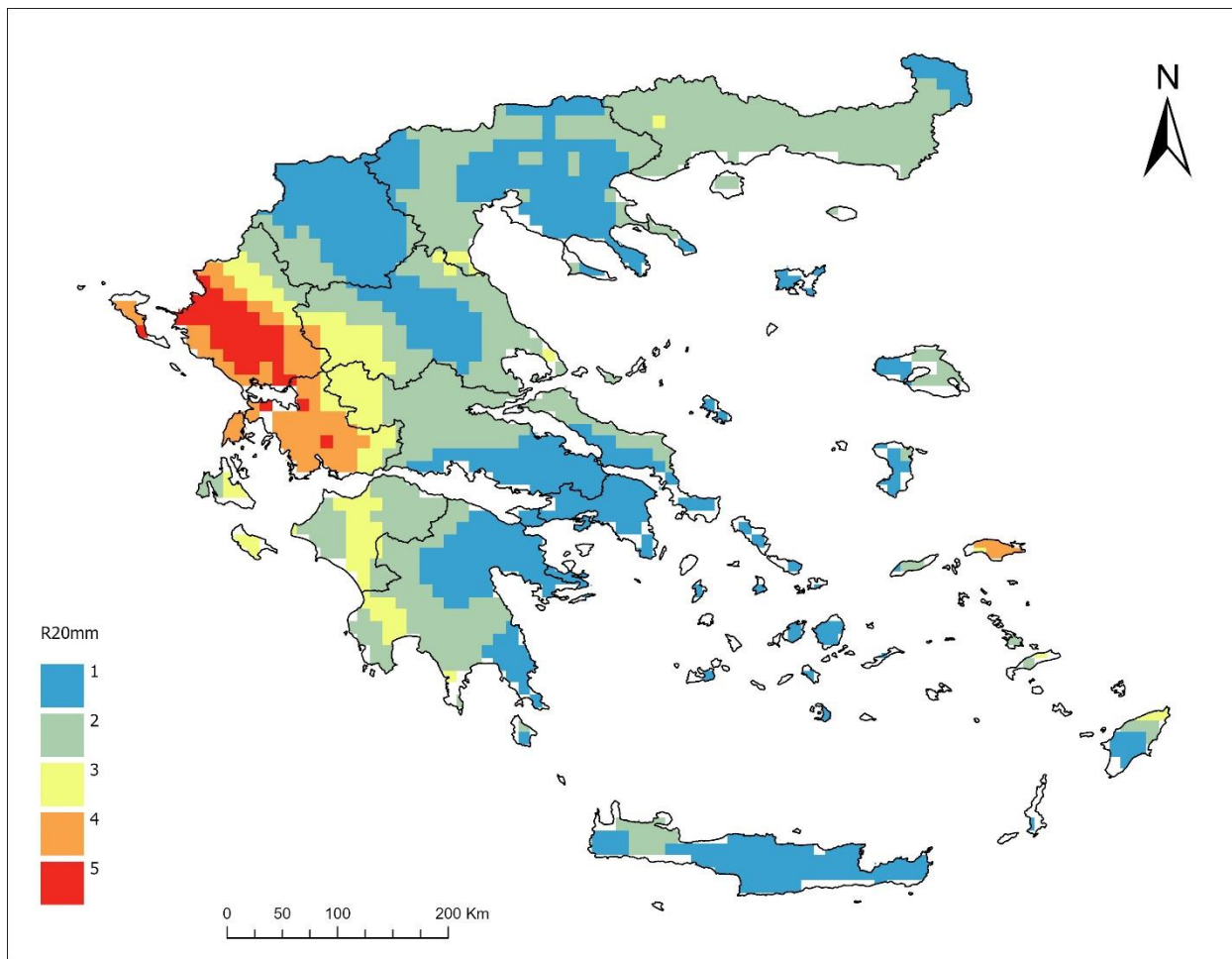


Σχήμα 5-25: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση)

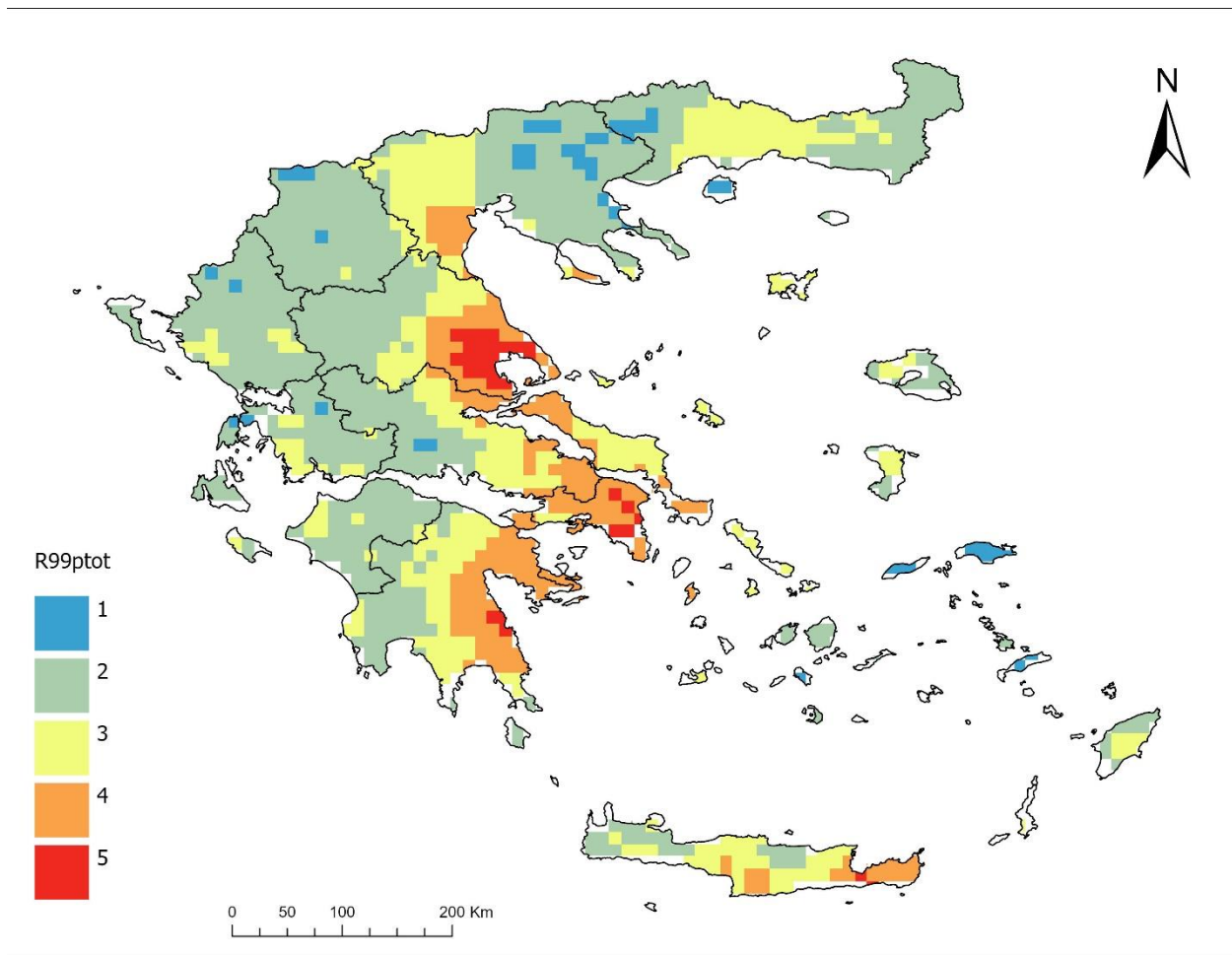
5.5.2 Πλημμύρα

Με σκοπό την περιγραφή της έκθεσης των πλημμυρικών φαινομένων, δημιουργήθηκε ένας σύνθετος κλιματικός δείκτης, αποτελούμενος από τους επιμέρους τρεις κλιματικούς δείκτες που θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν περισσότερο τον συγκεκριμένο κίνδυνο. Ο καθένας από αυτούς επηρεάζει το φαινόμενο κατά 33,3%, όπως βρέθηκε και έπειτα από την ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA). Αυτοί οι τρεις δείκτες, δηλαδή οι τρεις συνιστώσες της έκθεσης της κάθε περιοχής σε πλημμύρα είναι οι ακόλουθοι και η μεταβλητότητά τους στην Ελλάδα αποτυπώνεται στους χάρτες που έπονται:

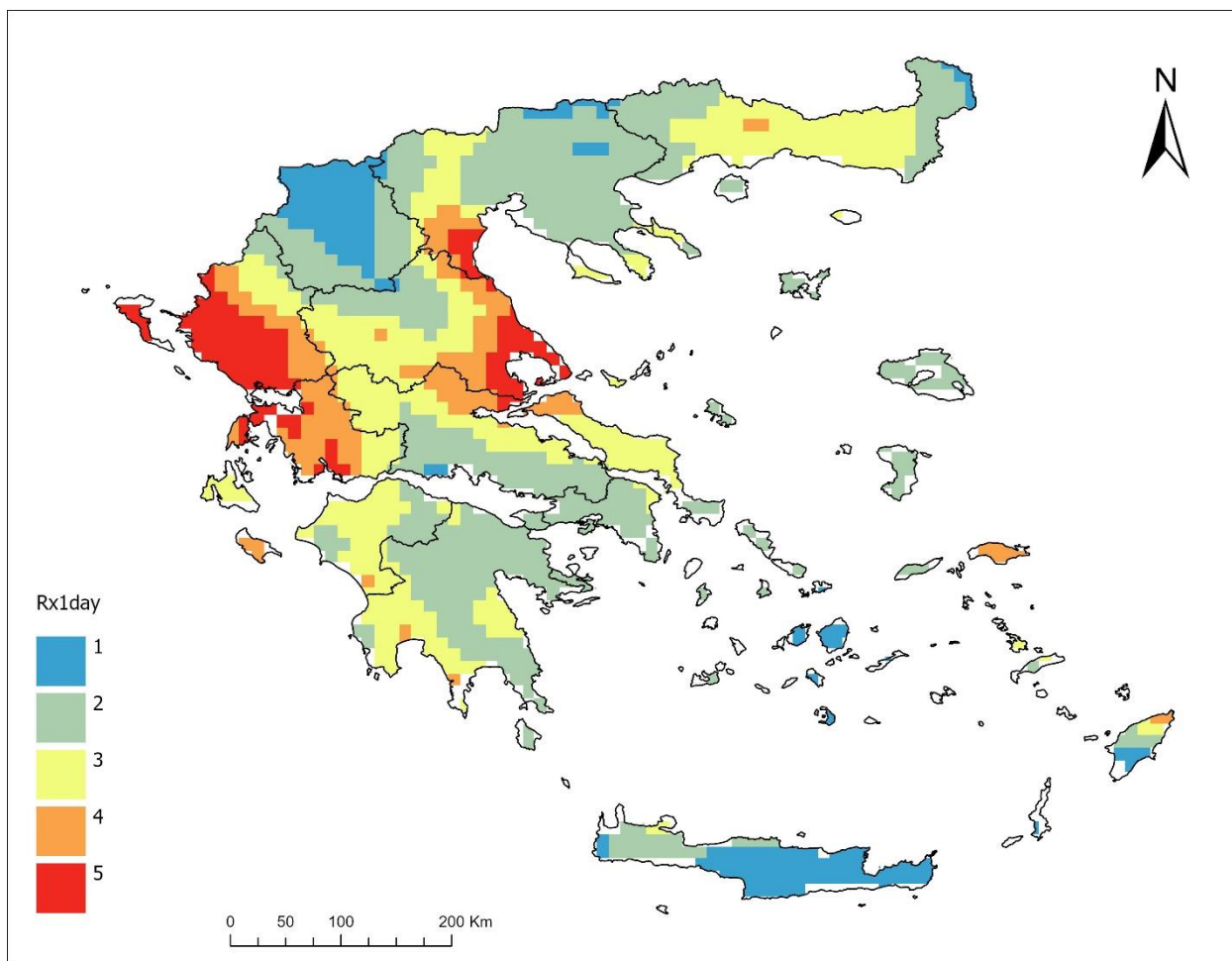
- R20mm, ο ετήσιος αριθμός ημερών με ύψος βροχής ≥ 20 mm υπολογισμένος σε ημέρες ανά έτος (Σχήμα 5-26).
- R99p_{tot}, το συνολικό ύψος βροχής των εξαιρετικά υγρών ημερών, δηλαδή όταν το ημερήσιο ποσό βροχής $> 99^{\circ}$ εκατοστημόριο υπολογισμένο σε mm (Σχήμα 5-27).
- Rx1day, το μέγιστο ύψος ημερήσιας βροχής υπολογισμένο σε mm (Σχήμα 5-28).



Σχήμα 5-26: Χωρική κατανομή του ετήσιου αριθμού ημερών με ύψος βροχής ≥ 20 mm υπολογισμένος σε ημέρες (R20mm) για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010



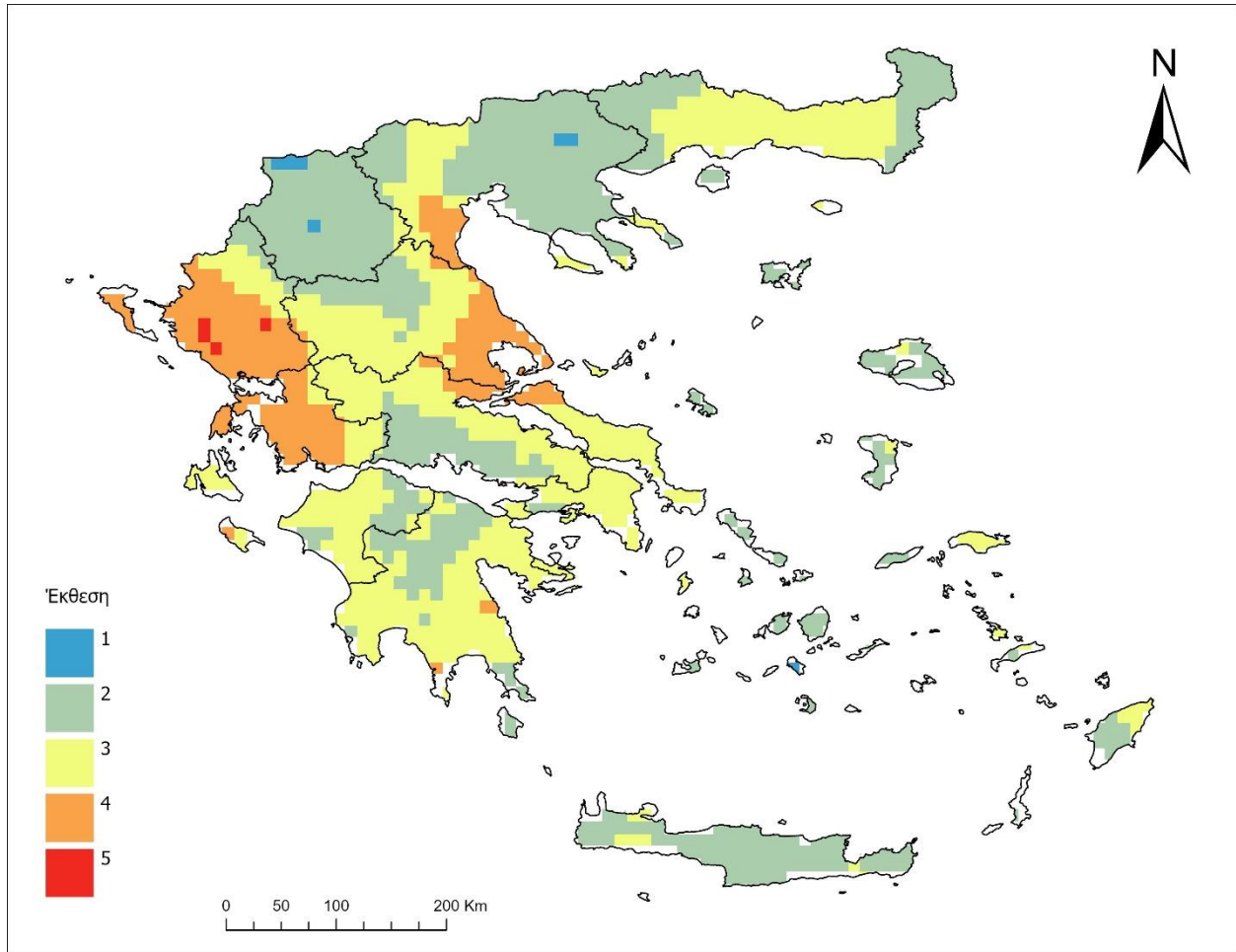
Σχήμα 5-27: Χωρική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής των εξαιρετικά υγρών ημερών R99ptot για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010



Σχήμα 5-28: Χωρική κατανομή του μέγιστου ύψους ημερήσιας βροχής (Rx1da), υπολογισμένο σε mm για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο

Στο χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 5-29) αποτυπώνεται ο βαθμός της έκθεσης του κινδύνου της πλημμύρας, όπως προκύπτει από την σύνθεση των δεικτών που επιλέχθηκαν (Ο βαθμός 1 αντιστοιχεί σε πολύ χαμηλή έκθεση και ο βαθμός 5 αντιστοιχεί σε πολύ υψηλή έκθεση). Οι περιοχές που εμφανίζονται με πολύ χαμηλή και πολύ υψηλή έκθεση στον κίνδυνο της πλημμύρας είναι λίγες και μεμονωμένες. Αναλυτικότερα, πολύ χαμηλή έκθεση εμφανίζεται στο νομό Σερρών, στο νομό Φλώρινας και στα όρια των νομών Καστοριάς και Κοζάνης. Χαμηλή είναι η έκθεση στη μεγαλύτερη έκταση της Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας, στη δυτικά της Ανατολικής Μακεδονίας, την ανατολική Θράκη, τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, την Κρήτη και αρκετά τετραγωνικά χιλιόμετρα στις περιφέρειες της Θεσσαλίας, της Στερεάς Ελλάδας και της Πελοποννήσου. Η έκθεση είναι υψηλή στη δυτική Ελλάδα και κάποια νησιά του Ιονίου Πελάγους, καθώς και στην ανατολική Θεσσαλία και στα όριά της με τις δύο περιφέρειες που συνορεύει. Πολύ υψηλή έκθεση έχουν οι νομοί Θεσπρωτίας και Ιωαννίνων. Τέλος, μέτρια έκθεση στον κίνδυνο της πλημμύρας εμφανίζουν οι υπόλοιπες περιοχές της χώρας.

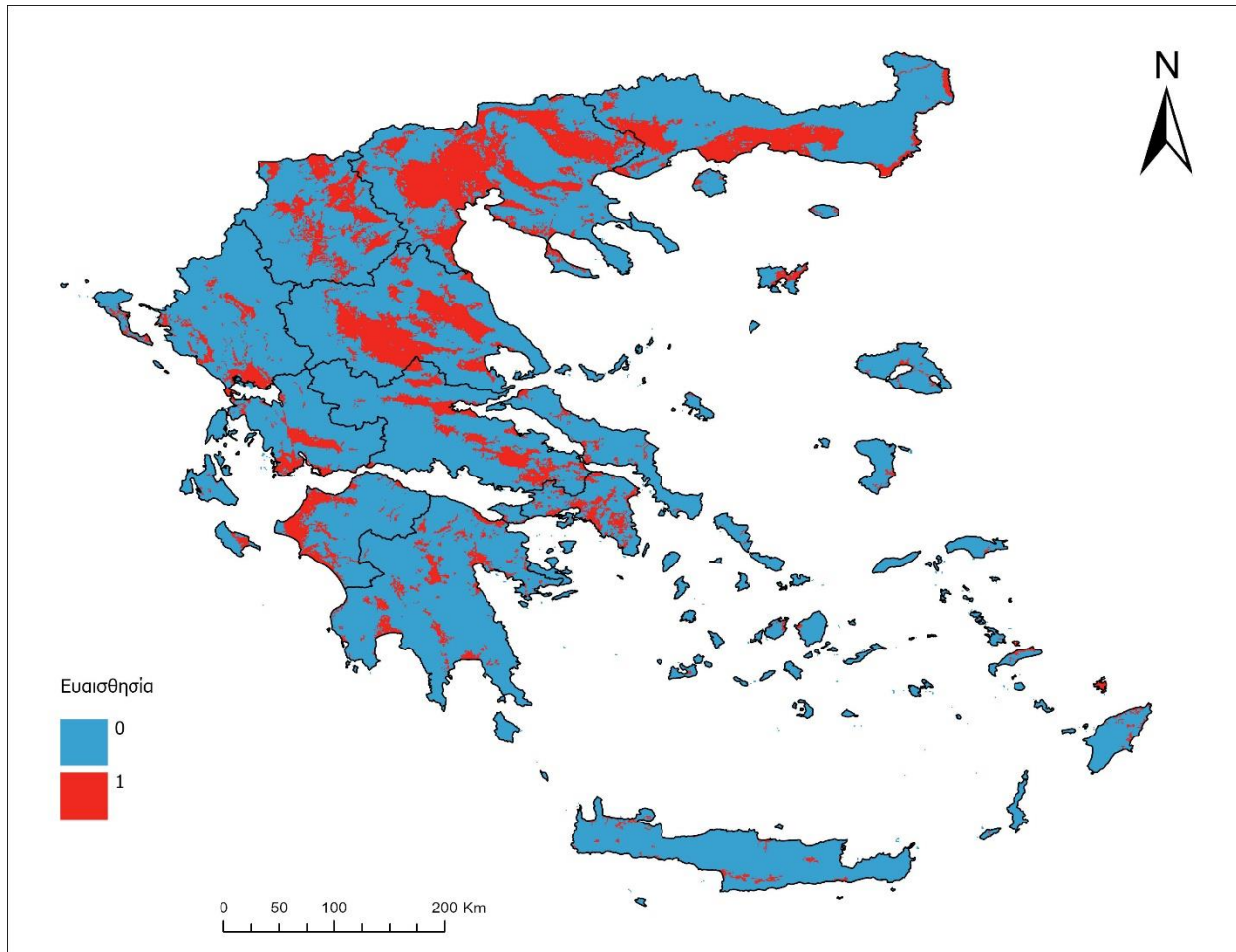
Συγκριτικά, με τις περιοχές που εντοπίζονται με υψηλή έκθεση στον κίνδυνο της πλημμύρας, ταυτίζονται με τις περιοχές που οι τιμές του δείκτη Rx1day είναι υψηλές, ενώ οι περιοχές με χαμηλή έκθεση ταυτίζονται και με εκείνες που εντοπίζονται από τις χαμηλές τιμές όλων των δεικτών.



Σχήμα 5-29: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης σε πλημμυρικά επεισόδια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

Όσον αφορά τον προσδιορισμό της ευαισθησίας των περιοχών σε φαινόμενα πλημμύρας, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης πιθανών πλημμυρικών ζωνών (Flood zones) που εξάχθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) (<http://geoportal.ypen.gr/geonetwork/srv/search?keyword=Natural%20risk%20zones>) και απεικονίζει περιοχές που είναι πιο ευεπίφορες στην πλημμύρα σε σχέση με άλλες. Στον χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 5-30) παρουσιάζονται δύο τάξεις. Η μπλε τάξη που έχει την τιμή μηδέν και η κόκκινη τάξη που έχει την τιμή 1. Η πρώτη τάξη αντιστοιχεί σε περιοχές που δεν είναι επιρρεπείς στην εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων, ενώ η δεύτερη τάξη αντιστοιχεί στις περιοχές που παρουσιάζουν πιθανότητα εμφάνισης. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο μέρος της χώρας δεν είναι επιρρεπές σε πλημμυρικά φαινόμενα, ωστόσο υπάρχουν αρκετές περιοχές, όπως ορισμένες περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας

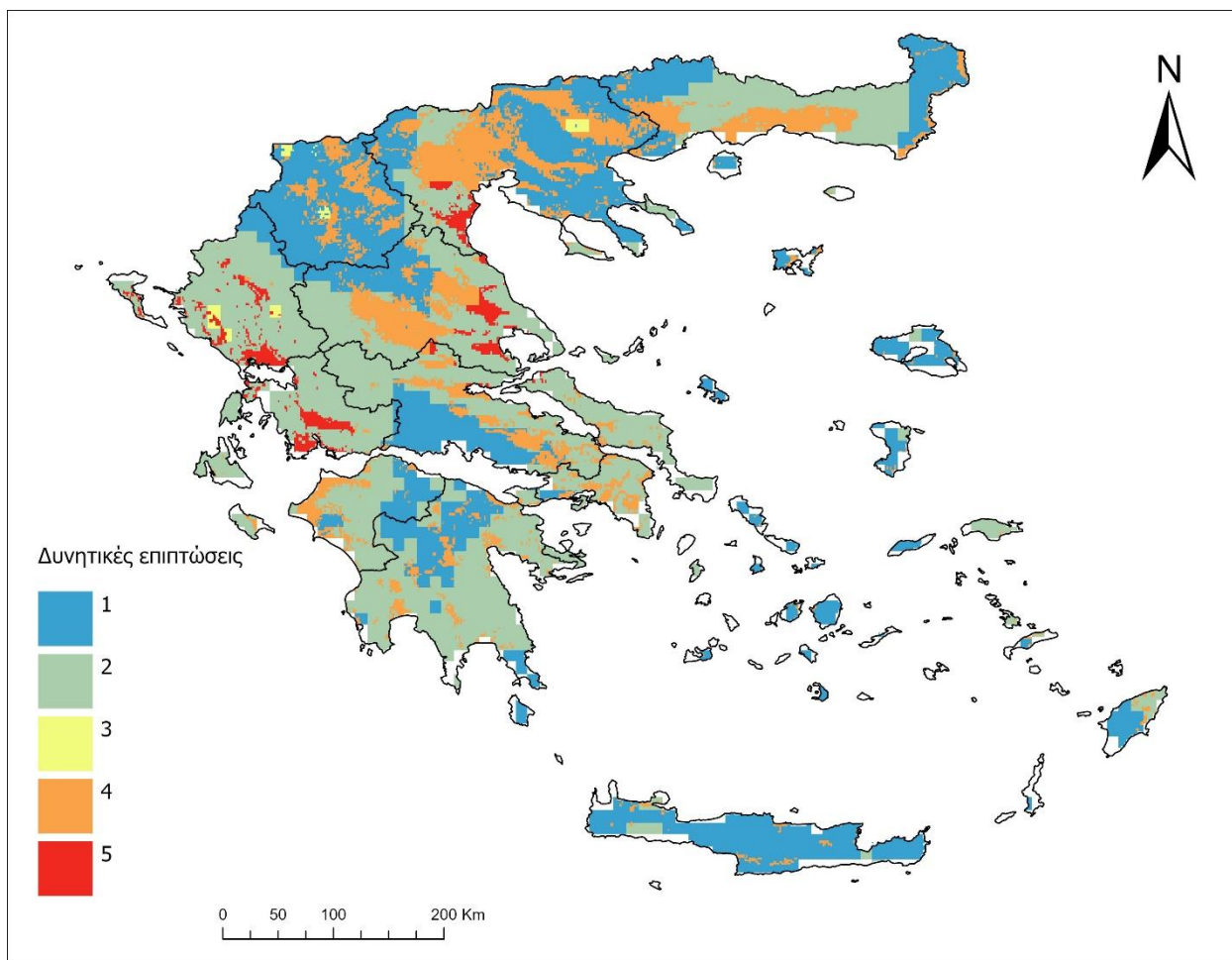
και Θράκης, η μεγαλύτερη έκταση της Κεντρικής Μακεδονίας, σχεδόν η μισή Δυτική Μακεδονία και μεγάλο τμήμα της κεντρικής Θεσσαλίας που είναι ευαίσθητες σε πλημμυρικά γεγονότα. Εκτός από αυτές τις συνεχείς εκτάσεις, εμφανίζονται και άλλες πιο μικρές στις περιφέρειες της Ηπείρου, της Δυτικής Ελλάδας, της Πελοποννήσου και της Αττικής.



Σχήμα 5-30: Χωρική Κατανομή του δείκτη ευαισθησίας σε πλημμυρικά επεισόδια για την Ελλάδα

Η συμβολή της έκθεσης και της ευαισθησίας στην εξαγωγή των δυνητικών επιπτώσεων θεωρήθηκε ότι είναι ισόποση και ίση με 50%. Συνεπώς, με την κατάλληλη ομαδοποίηση απεικονίστηκαν από το 1 έως το 5 οι δυνητικές επιπτώσεις, όπου ο βαθμός 1 αντιστοιχεί σε περιοχές που εκτιμώνται να μη φέρουν σημαντικές επιπτώσεις, έχουν χαμηλή έκθεση και ευαισθησία στον κίνδυνο της πλημμύρας, ενώ ο βαθμός 5 αντιστοιχεί σε σφοδρές επιπτώσεις στο κίνδυνο της πλημμύρας (Σχήμα 5-31). Δεν παρατηρείται κάποια ομοιογένεια ανά περιφέρεια, εκτός από τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη που αντιστοιχούν σε τιμή δυνητικών επιπτώσεων 1. Επιπλέον, τα νησιά του Ιονίου εμφανίζουν ομοιογένεια και έχουν τιμή 2, με κάποιες τοπικές τιμές 5 στην Κέρκυρα. Η υπόλοιπη ηπειρωτική χώρα έχει τιμές επιπτώσεων από 1 έως 2 και 4. Πιο συγκεκριμένα, η Θράκη και ανατολικά της Ανατολικής Μακεδονίας, η Κεντρική Μακεδονία, ολόκληρη η Δυτική Μακεδονία, τη βόρεια Θεσσαλία και κάποιες εκτάσεις μεταξύ

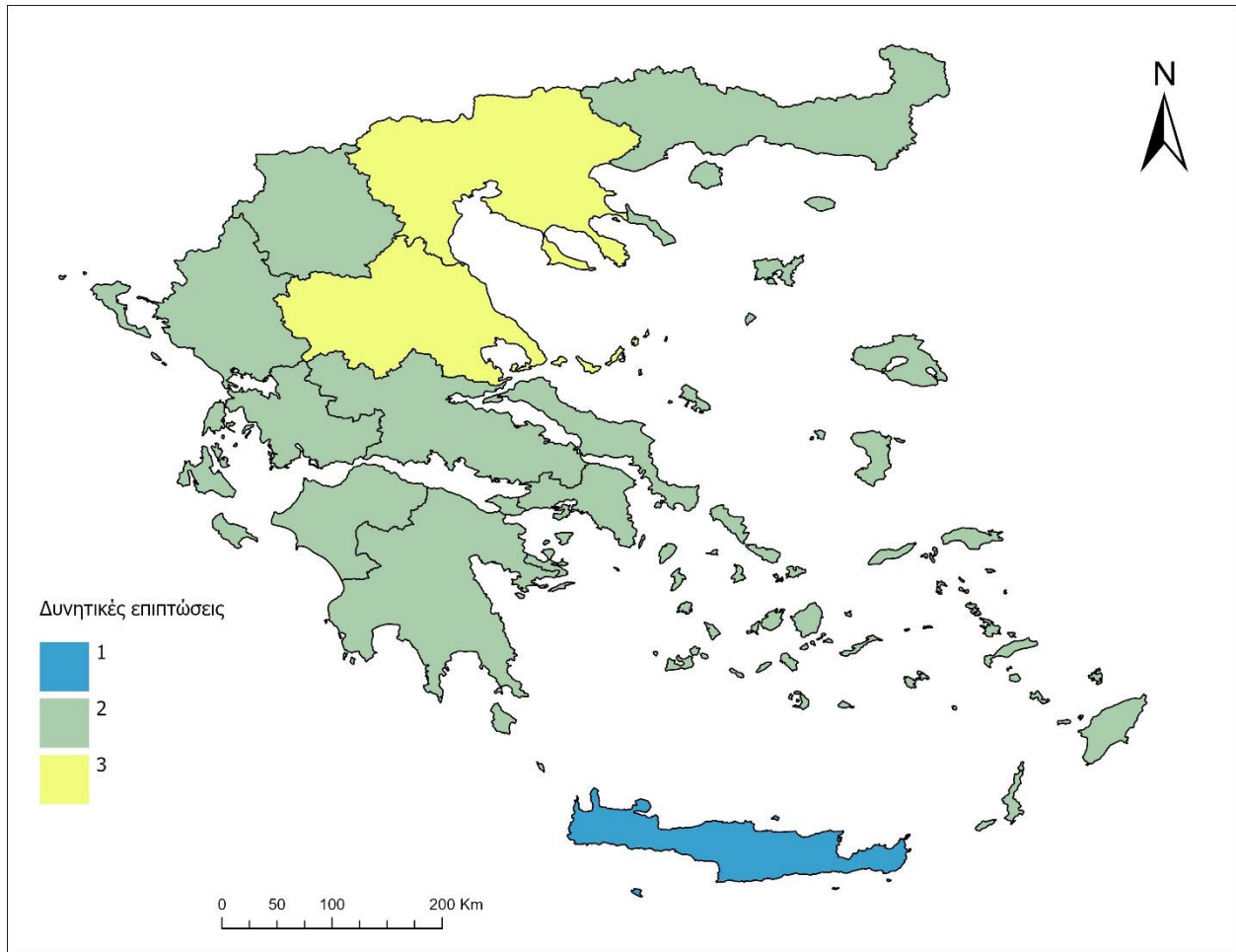
της Δυτικής Ελλάδας και της Πελοποννήσου και της νοτιοδυτικής Στερεάς Ελλάδας έχουν πολύ μικρές τιμές που αντιστοιχούν στην πρώτη τάξη. Οι περιοχές με δυνητικές επιπτώσεις 3 είναι ελάχιστες και βρίσκονται στις Σέρρες, στη Φλώρινα, στην Κοζάνη, στα Ιωάννινα και τη Θεσπρωτία. Η τιμή 4 βρίσκεται στις ίδιες περιφέρειες με τη μικρότερη τάξη, ενώ η μεγαλύτερη τάξη βρίσκεται σε σχετικά μικρές εκτάσεις των περιφερειών της Ηπείρου, της βόρειας Δυτικής Ελλάδας, της νοτιοδυτικής Κεντρικής Μακεδονίας και της ανατολικής Θεσσαλίας.



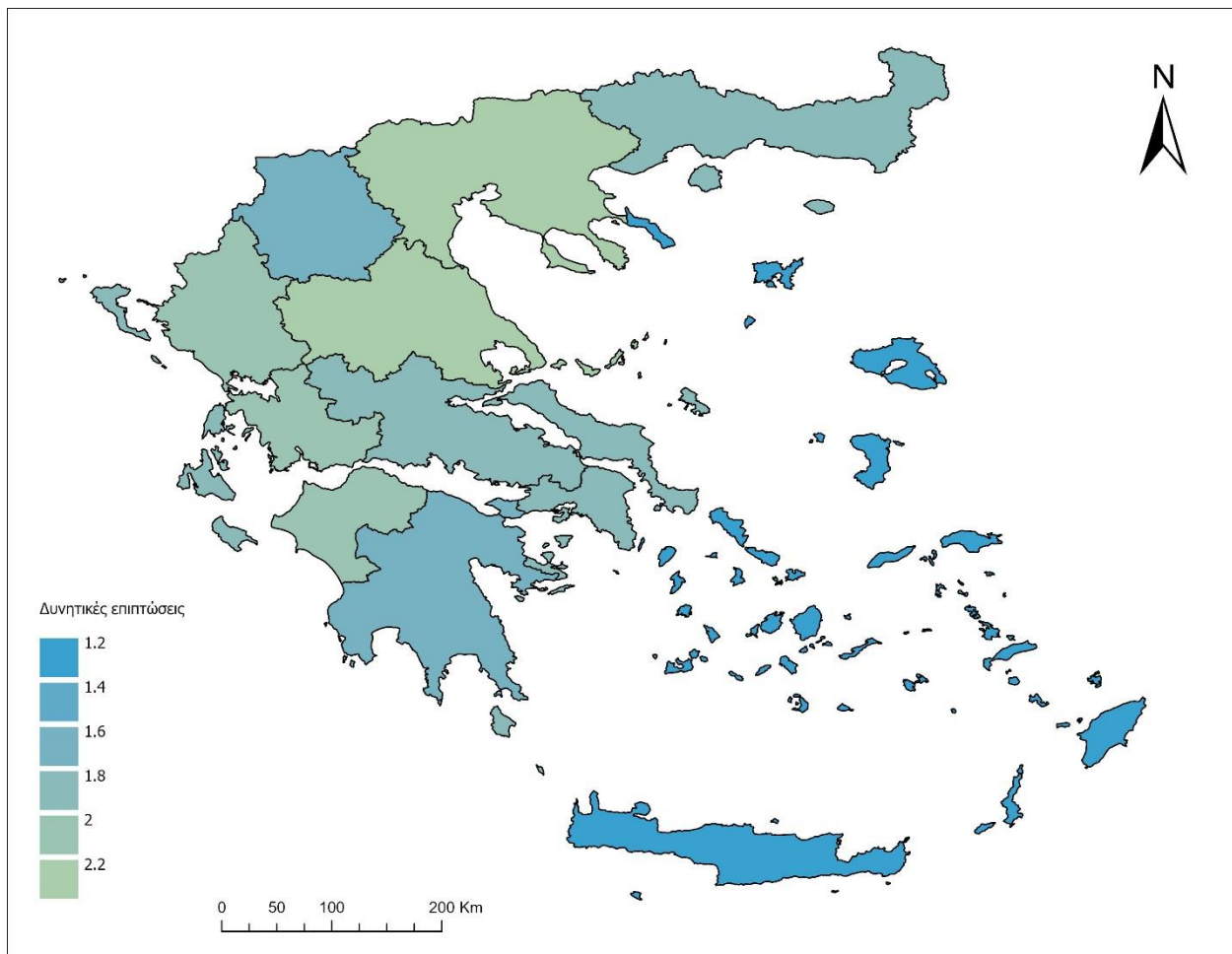
Σχήμα 5-31: Χωρική κατανομή του βαθμού των δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1981-2010

Τέλος, υπολογίστηκαν και απεικονίστηκαν οι δυνητικές επιπτώσεις ανά περιφέρεια με το εργαλείο zonal statistic στο ArcGIS Pro. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ο χάρτης που ακολουθεί (Σχήμα 5-32). Το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 1 έως 2,1, γι' αυτό οι περιφέρειες αντιστοιχούν στις τάξεις 2 και 3. Ομοίως, πραγματοποιήθηκε επιπλέον διαβάθμιση ανά 0,2 για να υπάρχει ακριβέστερη πληροφορία και να μπορούν να συγκριθούν οι περιφέρειες μεταξύ τους (Σχήμα 5-33). Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή δυνητικών επιπτώσεων της Κρήτης είναι στα όρια της πρώτης με τη δεύτερη τάξη, ενώ στη μεγαλύτερη τάξη ανήκει η Θεσσαλία και η Κεντρική Μακεδονία, χωρίς βέβαια η

τιμή να ξεπερνά το 2,2. Γενικότερα, τα νησιά του Αιγαίου έχουν αρκετά μικρότερες τιμές σε σχέση με την ηπειρωτική χώρα.



Σχήμα 5-32: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

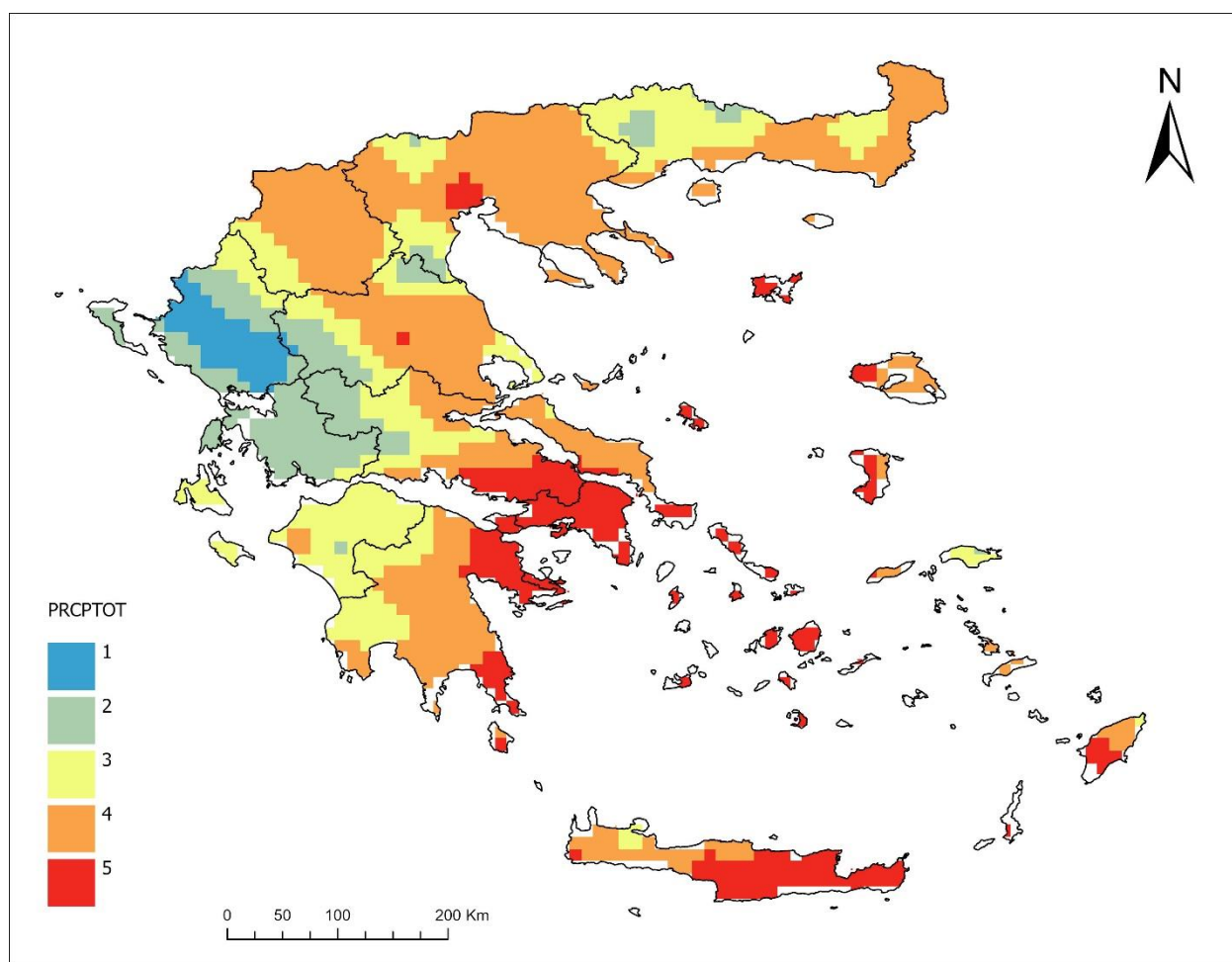


Σχήμα 5-33: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση)

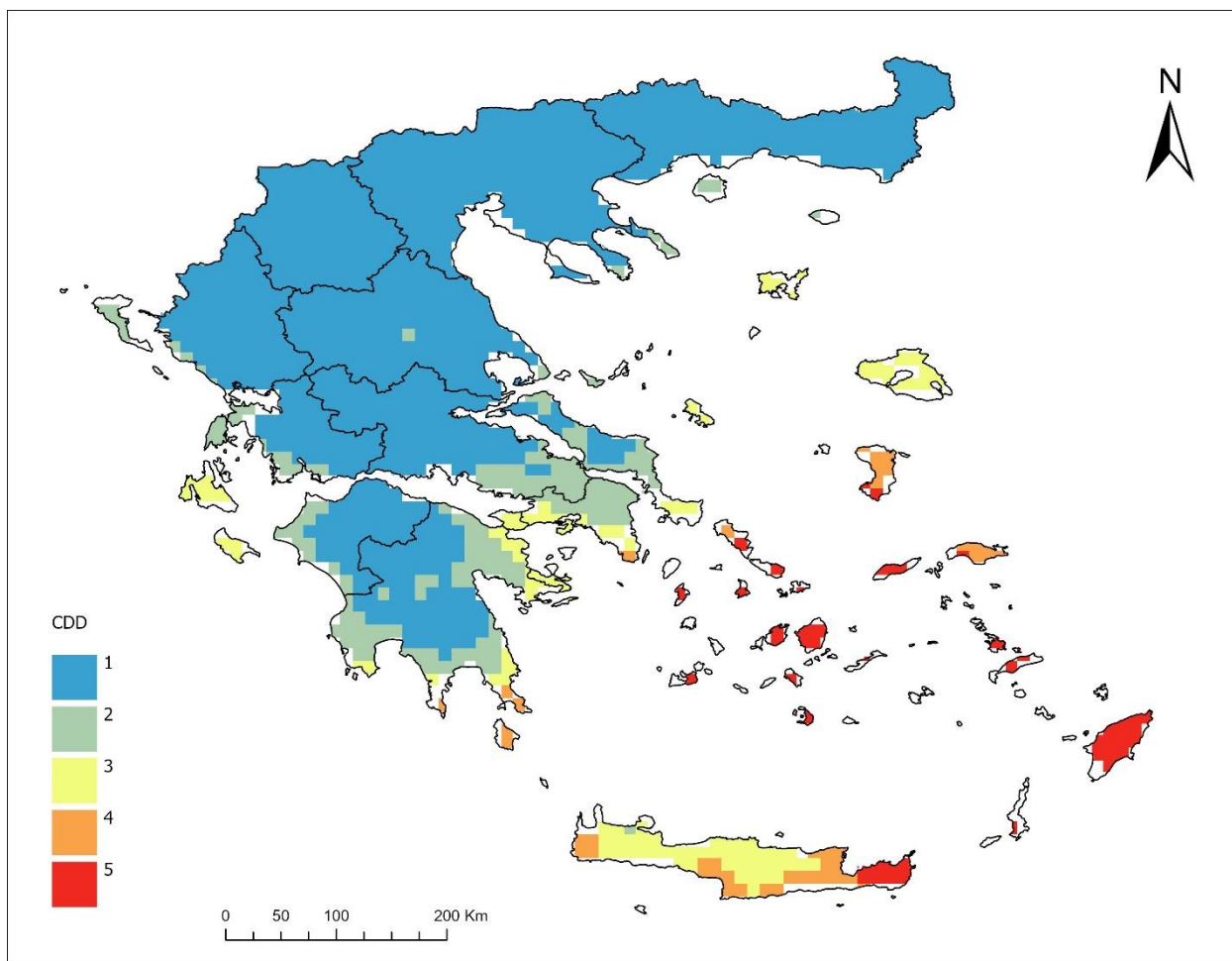
5.5.3 Ξηρασία

Όσον αφορά τη μελέτη της έκθεσης των φαινομένων ξηρασίας, δημιουργήθηκε ένας σύνθετος κλιματικός δείκτης, ο οποίος αποτελείται από τους δύο κλιματικούς δείκτες που θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν περισσότερο τον συγκεκριμένο κίνδυνο. Το ποσοστό επιρροής του κάθε δείκτη είναι 50%. Οι δυο συνιστώσες της έκθεσης των περιοχών στην ξηρασία είναι οι ακόλουθοι και η μεταβλητότητά τους στο χώρο της Ελλάδας φαίνεται στους χάρτες που έπονται:

- PRCPTOT, η ετήσια συνολική βροχόπτωση των υγρών ημερών υπολογισμένη σε mm/έτος (Σχήμα 5-34).
- CDD, η μέγιστη διάρκεια ξηρής περιόδου, δηλαδή οι συνεχείς ξηρές ημέρες με ημερήσιο ποσό βροχόπτωσης < 1mm υπολογισμένο σε ημέρες (Σχήμα 5-35).

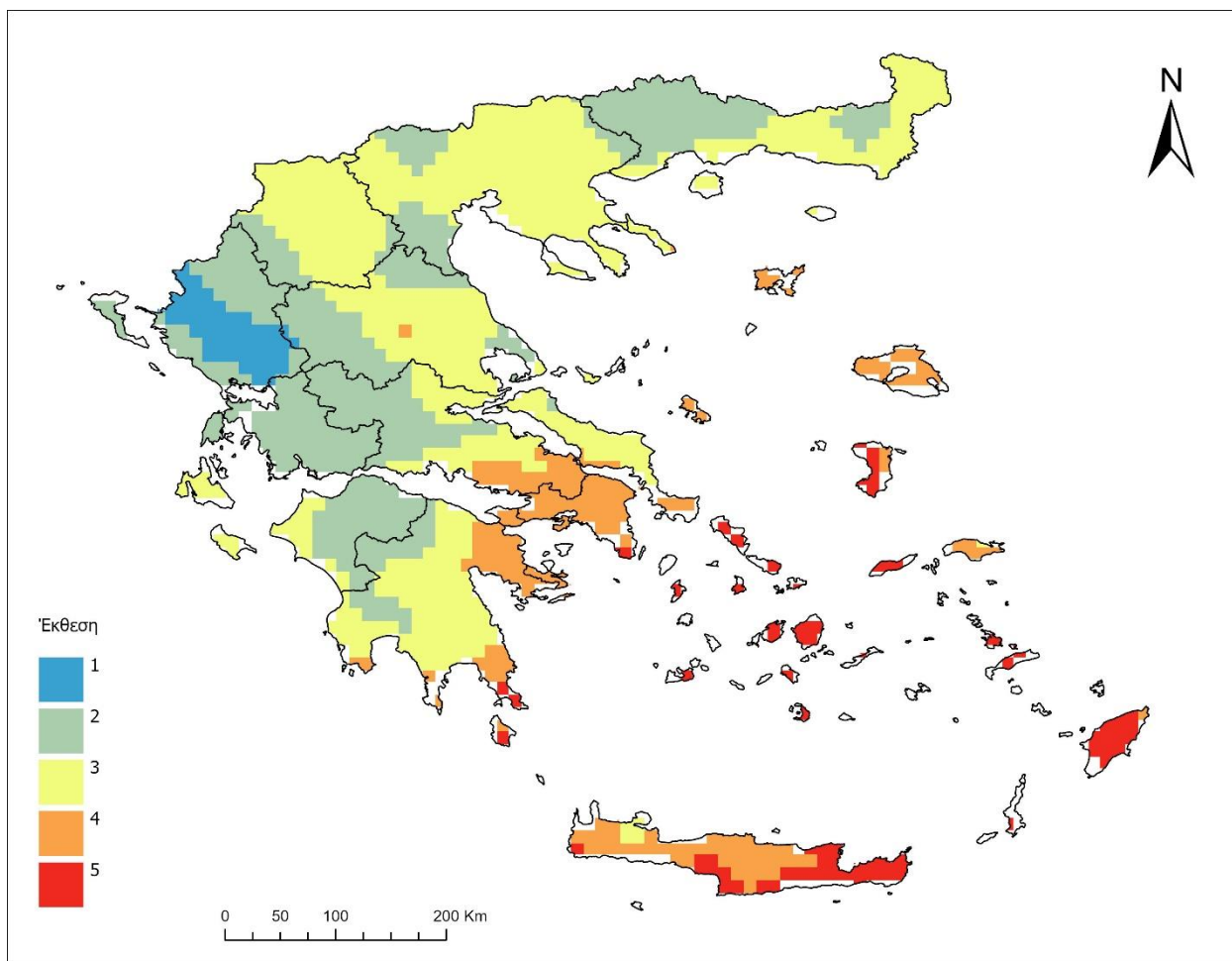


Σχήμα 5-34: Χωρική κατανομή της ετήσιας συνολικής βροχόπτωσης των υγρών ημερών PRCPTOT για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010



Σχήμα 5-35: Χωρική κατανομή των συνεχόμενων ξηρών ημερών για την Ελλάδα για τη κλιματική περίοδο 1981-2010

Μελετώντας τον χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 5-36), ο βαθμός της έκθεσης στην ξηρασία αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κλάσεων. Την τιμή 1 έχει το μεγαλύτερο μέρος της Ηπείρου, ενώ αμέσως υψηλότερο βαθμό έκθεσης έχει η δυτική Ελλάδα από τα ελληνοαλβανικά σύνορα έως και τη Δυτική Ελλάδα και μεμονωμένες περιοχές της Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας. Μέτρια έκθεση εμφανίζει η Αττική, τα παράλια της Πελοποννήσου. Οι υψηλότερες τιμές έκθεσης εμφανίζονται στην Κρήτη και στα νησιά του Αιγαίου, ειδικότερα στις Κυκλάδες. Η υπόλοιπη χώρα παρουσιάζει μέτρια ένταση στην ξηρασία.

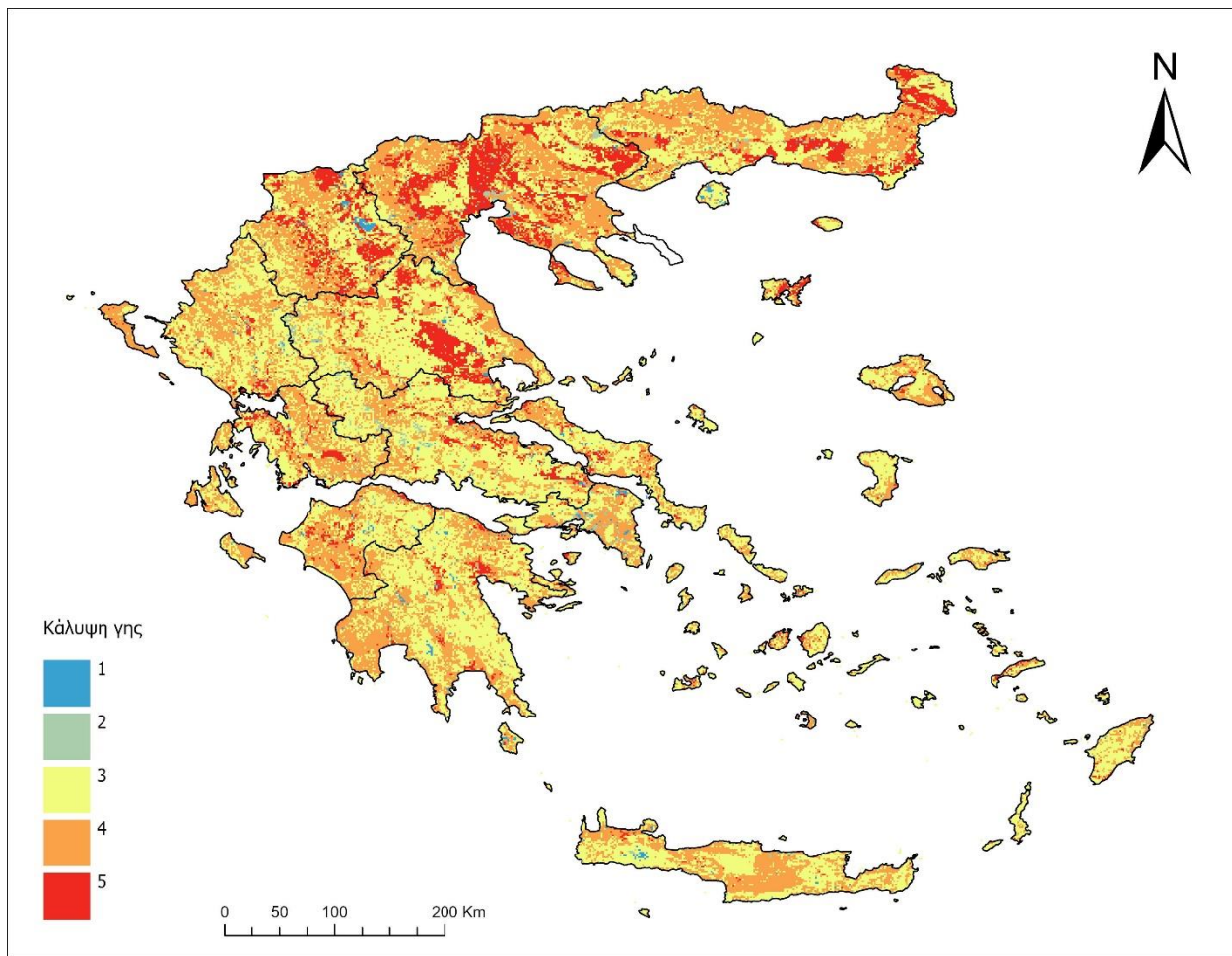


Σχήμα 5-36: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης στη ξηρασία για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

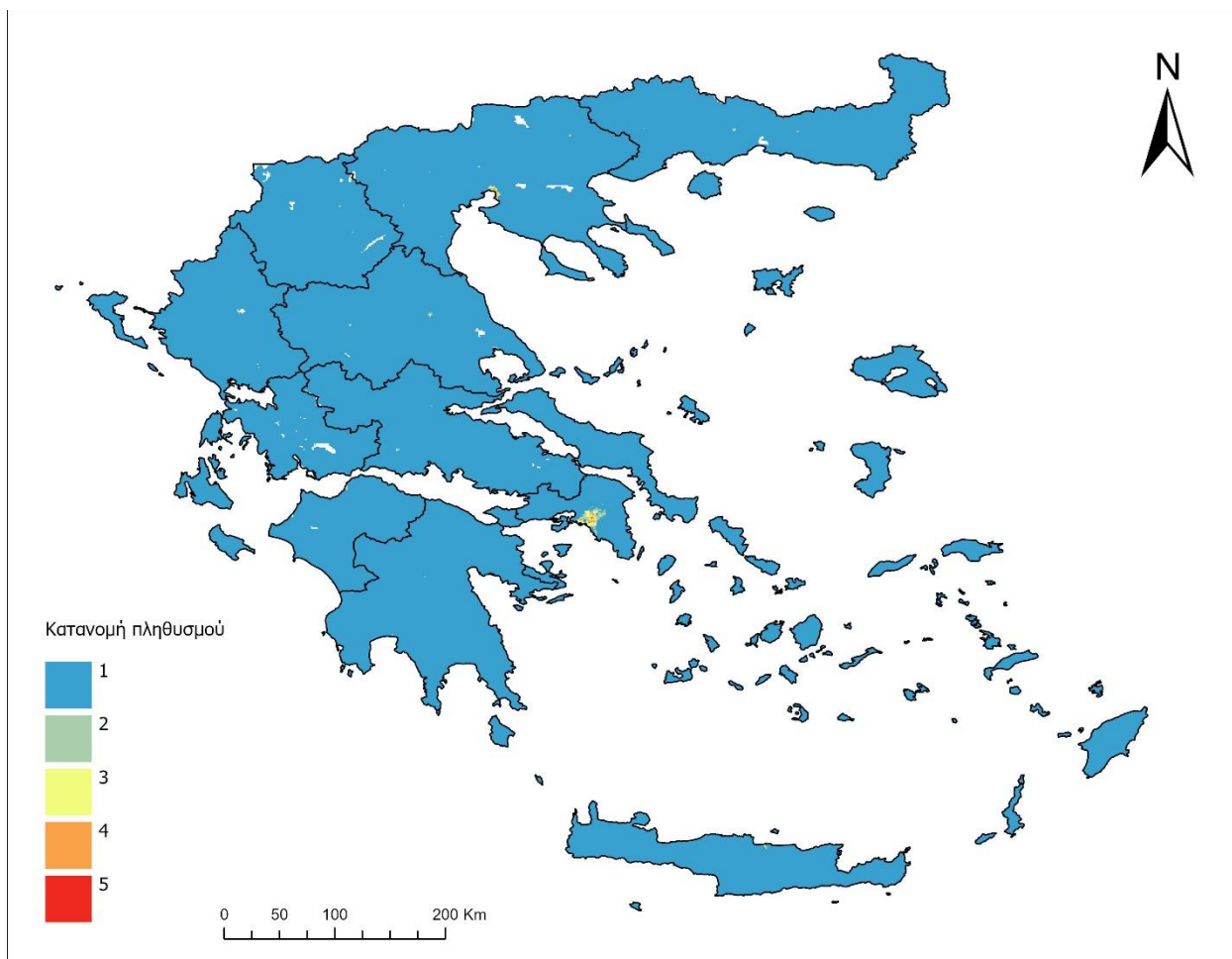
Η ευαισθησία των περιοχών που εκτίθενται στην ξηρασία προσδιορίζεται από έναν σύνθετο δείκτη που δημιουργήθηκε ως συνδυασμός των ακόλουθων επιμέρους δεικτών: Υδατική Καταπόνηση (Baseline Water stress -BWS), Κάλυψης Γης (Land Cover -CLC), Πληθυσμιακής πυκνότητας και NDVI. Ο κάθε δείκτης επηρεάζει την ευαισθησία κατά 25%. Η χωρική αποτύπωση των επιμέρους δεικτών αποτυπώνεται στις εικόνες που ακολουθούν (Σχήμα 5-37 – Σχήμα 5-40). Να επισημανθεί ότι έπειτα από βιβλιογραφική έρευνα, διαχωρίστηκε η κάλυψη γης σε 5 κατηγορίες με κριτήριο τη ξηρασία σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5-3).

Πίνακας 5-3: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στην ξηρασία

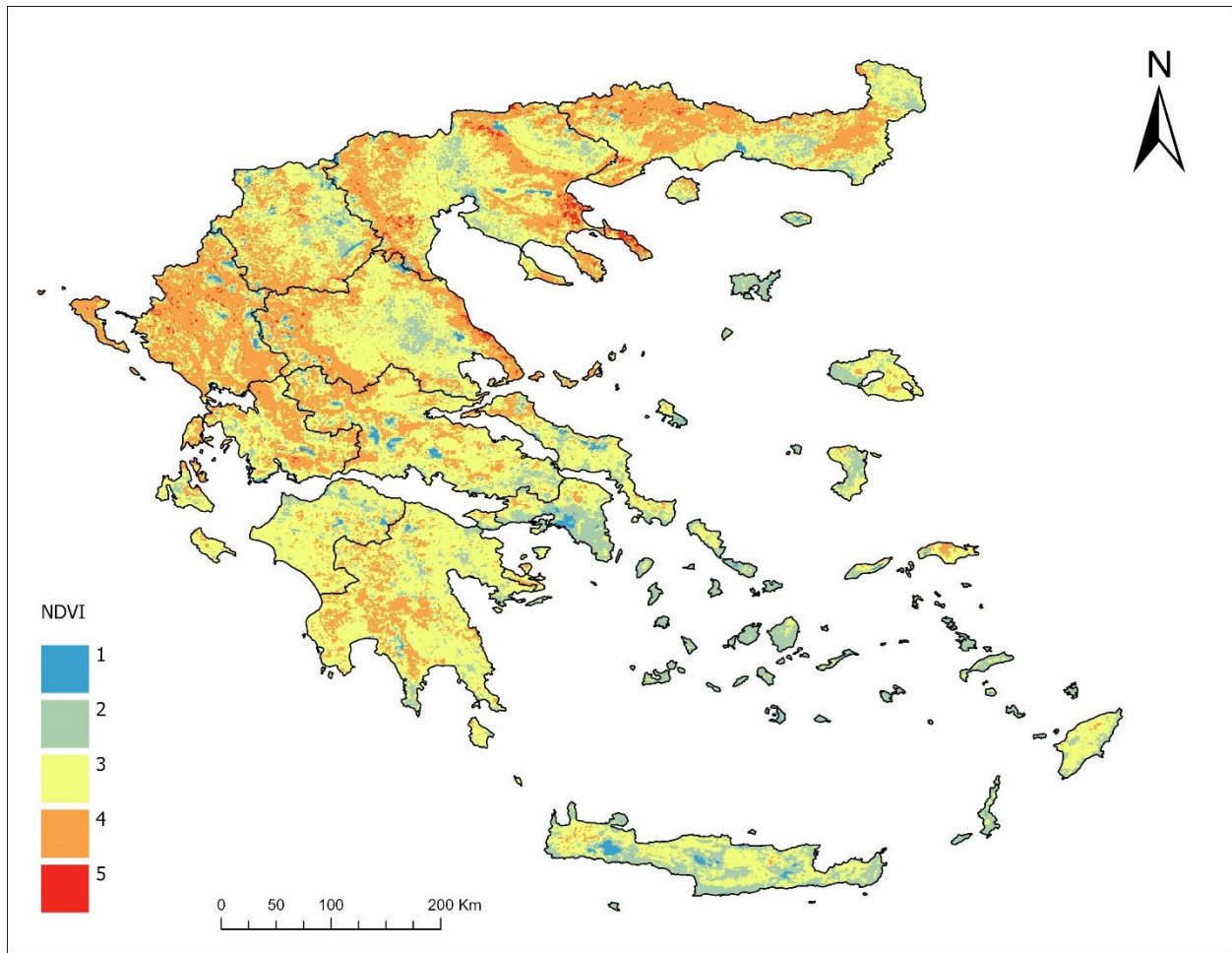
Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Port areas	Agro-forestry areas	Permanently irrigated land	Green urban areas	Rice fields
Airports	Moors and heathland	Intertidal flats	Pastures	Annual crops associated with permanent crops
Bare rocks	Sport and leisure facilities	Estuaries	Complex cultivation patterns	Wetlands and swamp forests
Burnt areas	Beaches - dunes – sands	Sea and ocean	Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation	Water bodies
Road and rail networks and associated land	Industrial or commercial units	Sparsely vegetated areas	Vineyards	Non-irrigated arable land
Construction sites		Salt marshes	Olive groves	Fruit trees and berry plantations
Mineral extraction sites		Glaciers and perpetual snow	Mixed forest	Water courses
		Peat bogs	Broad-leaved forest	Water bodies
		Inland marshes	Continuous urban fabric	Coastal lagoons
		Moisture-intensive forests and vegetation	Discontinuous urban fabric	
		Natural grasslands		
		Sclerophyllous vegetation		
		Coniferous forest		
		Transitional woodland-shrub		



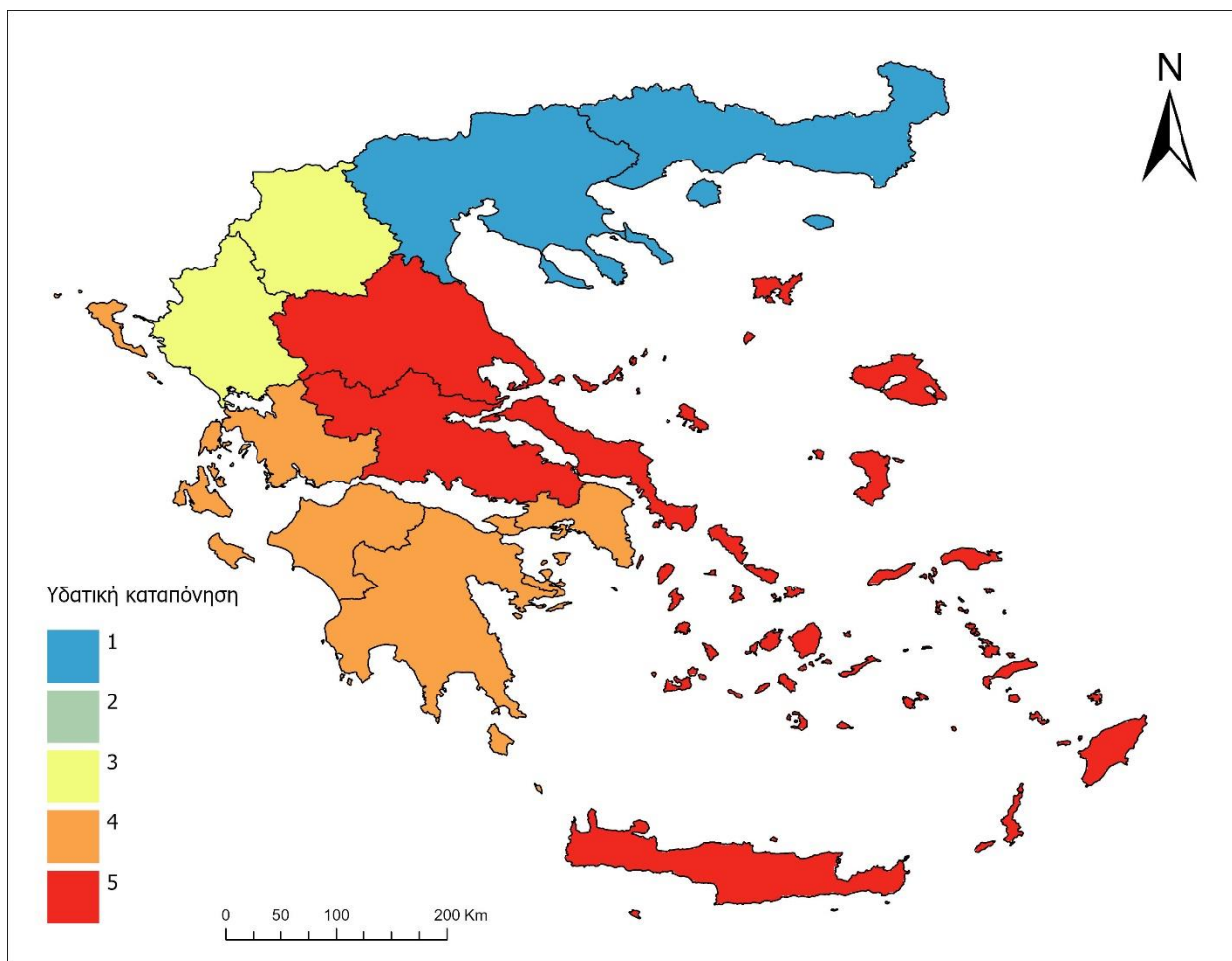
Σχήμα 5-37: Χωρική κατανομή των χρήσεων γης σχετικά με τον κίνδυνο της ξηρασίας στην Ελλάδα.



Σχήμα 5-38: Χωρική κατανομή της πληθυσμιακής πυκνότητας για την Ελλάδα.



Σχήμα 5-39: Χωρική κατανομή του δείκτη NDVI για την Ελλάδα.

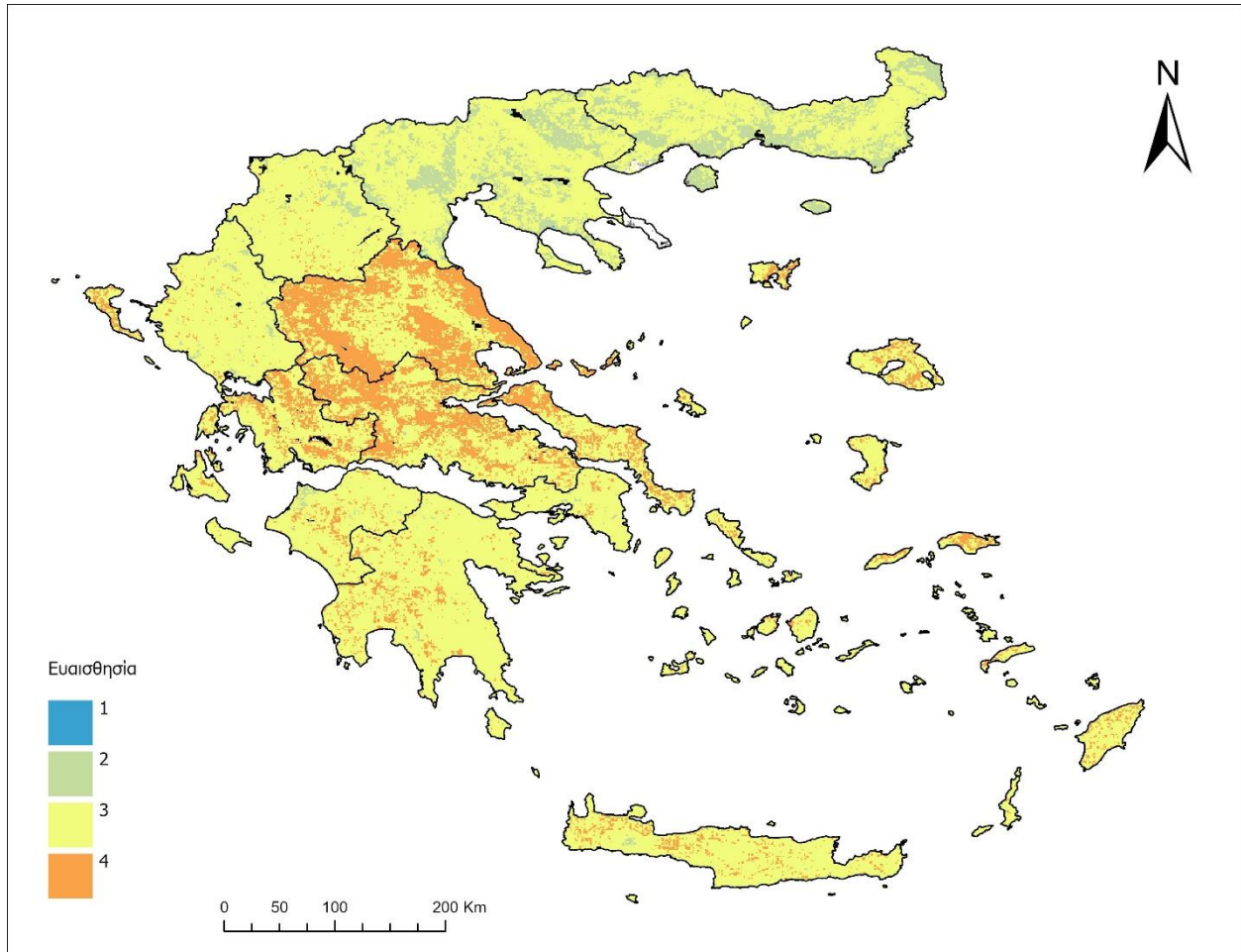


Σχήμα 5-40: Χωρική κατανομή του δείκτη της υδατικής καταπόνησης για την Ελλάδα (ο δείκτης αυτός παρέχεται σε επίπεδο περιφέρειας)

Η σύνθεση των επιμέρους δεικτών (Σχήμα 5-41) αποτελεί την ευαισθησία της κάθε περιοχής σε φαινόμενα ξηρασίας. Ο βαθμός ευαισθησίας είναι από 1, πολύ χαμηλή έως 4 υψηλή ευαισθησία. Η μεγαλύτερη έκταση της χώρας αντιστοιχεί σε βαθμό 3, δηλαδή σε μέτρια ευαισθησία. Ωστόσο, παρατηρείται ότι η Θεσσαλία και η Στερεά Ελλάδα στο μεγαλύτερο μέρος τους έχουν βαθμό ευαισθησίας 4. Η βόρεια Ελλάδα έχει χαμηλή ευαισθησία σε αρκετές περιοχές με τιμή 2, ενώ από το γεωγραφικό πλάτος της Χαλκιδικής και νότια, η ευαισθησία είναι τοπικά υψηλή.

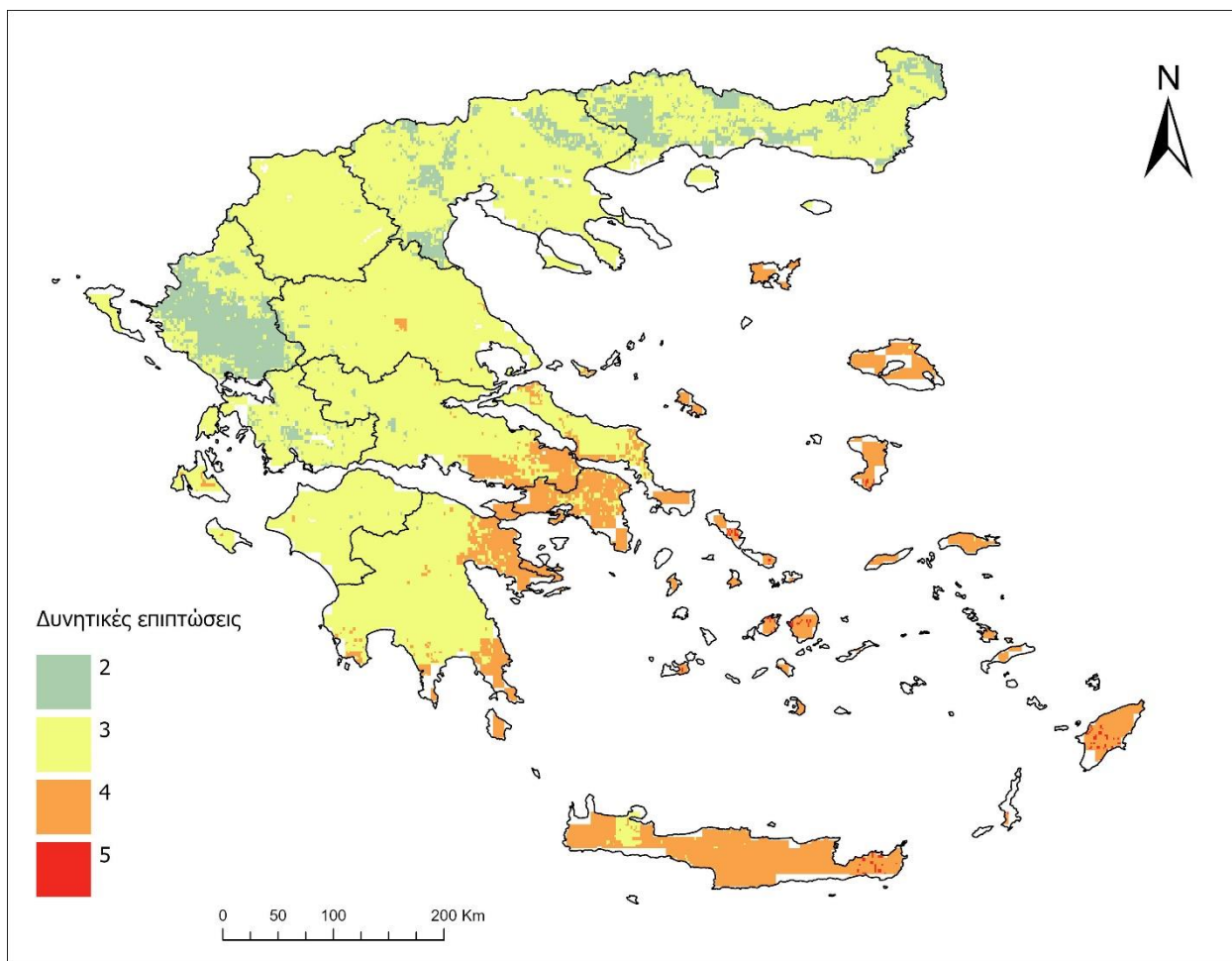
Παρατηρώντας την χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη ξηρασίας επισημαίνεται ότι οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευαισθησία στον κλιματικό κίνδυνο της ξηρασίας είναι επίσης οι περιοχές που εμφανίζουν υψηλές τιμές, δηλαδή μεγάλη ευαισθησία, όσον αφορά και τους επιμέρους δείκτες της υδατικής καταπόνησης, της κάλυψης γης και του είδους της βλάστησης. Στη πλειοψηφία τους πρόκειται για αγροτικές περιοχές με χαμηλή βλάστηση και υψηλή κατανάλωση των υδάτινων πόρων. Επίσης εξαιρετικά ευαίσθητες κρίνονται και αρκετές περιοχές της νησιωτικής Ελλάδας όπου εντοπίζονται σποραδικά μέγιστα του δείκτη ευαισθησίας και μπορεί να εξηγηθεί από την χαμηλή πρόσβαση σε πόσιμο νερό ή νερό για αγροτικές και οικιακές δραστηριότητες, τον τύπο της βλάστησης που επικρατεί στα νησιά

κυρίως του Αιγαίου αλλά και τη κάλυψη γης. Τέλος, τα μεγάλα αστικά κέντρα με τις αδιαπέρατες επιφάνειες και την συσσώρευση μεγάλου ποσοστού του πληθυσμού εκεί εμφανίζουν τοπικά μέγιστα στον συνδυαστικό δείκτη ευαισθησίας στη ξηρασία.



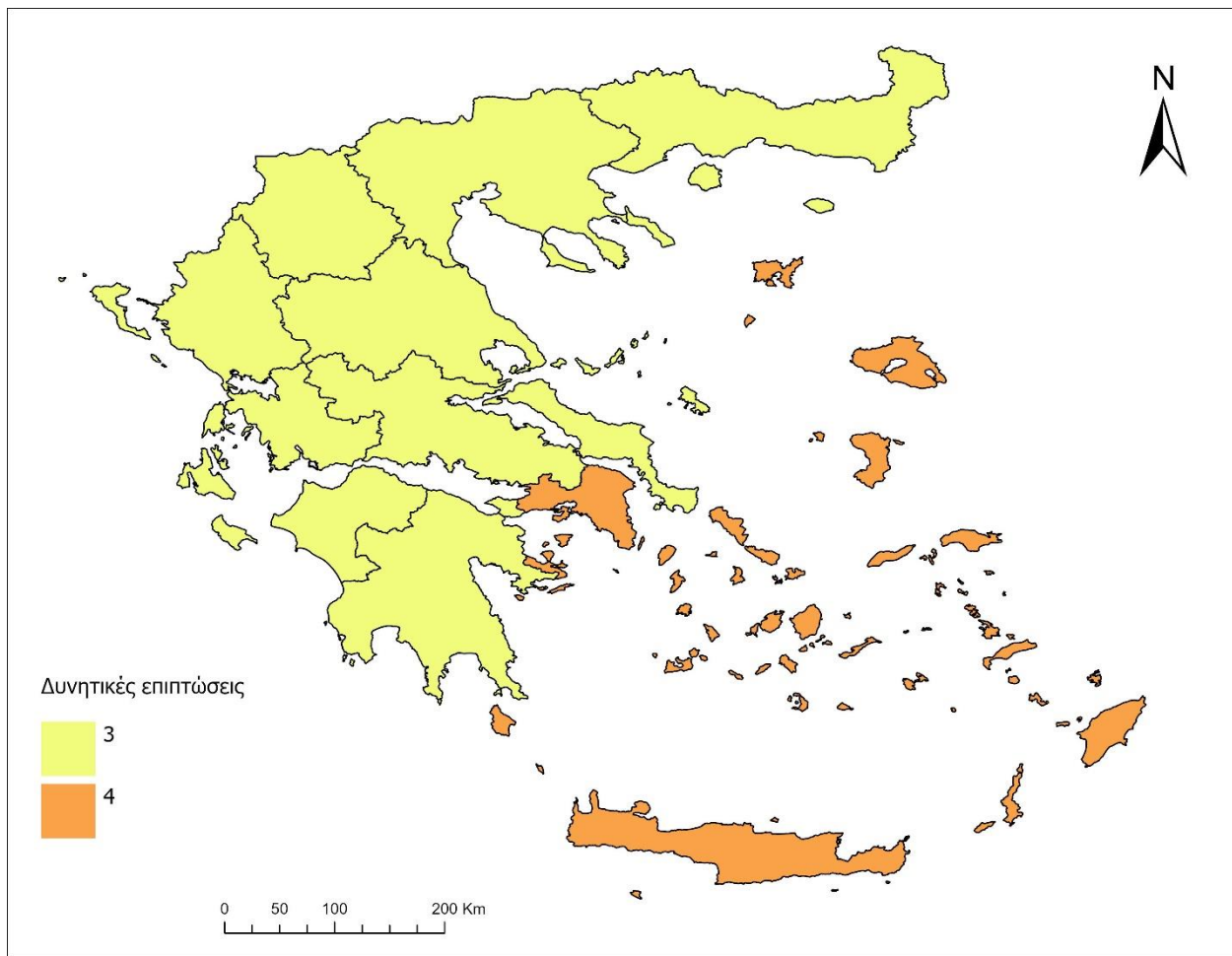
Σχήμα 5-41: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη ευαισθησίας για το κλιματικό κίνδυνο της ξηρασίας για την Ελλάδα

Με σκοπό την εύρεση και ποσοτικοποίηση των δυνητικών επιπτώσεων για φαινόμενα ξηρασίας, χρησιμοποιώντας τους δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας και ισόποσα βάρη προκύπτει ο χάρτης των δυνητικών επιπτώσεων (Σχήμα 5-42), ο οποίος περιέχει τιμές δυνητικών επιπτώσεων από 2 έως 5, δηλαδή από χαμηλές έως πολύ υψηλές. Οι περιοχές με τις υψηλότερες τιμές είναι τα νησιά του Αιγαίου, η Κρήτη, η Αττική, η νότια Στερεά Ελλάδα και οι παράκτιες περιοχές της Πελοποννήσου. Χαμηλές τιμές παρατηρούνται πιο βόρεια, δηλαδή στην Ήπειρο και διάσπαρτα στην Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη. Η υπόλοιπη Ελλάδα έχει μέσες τιμές του δείκτη.

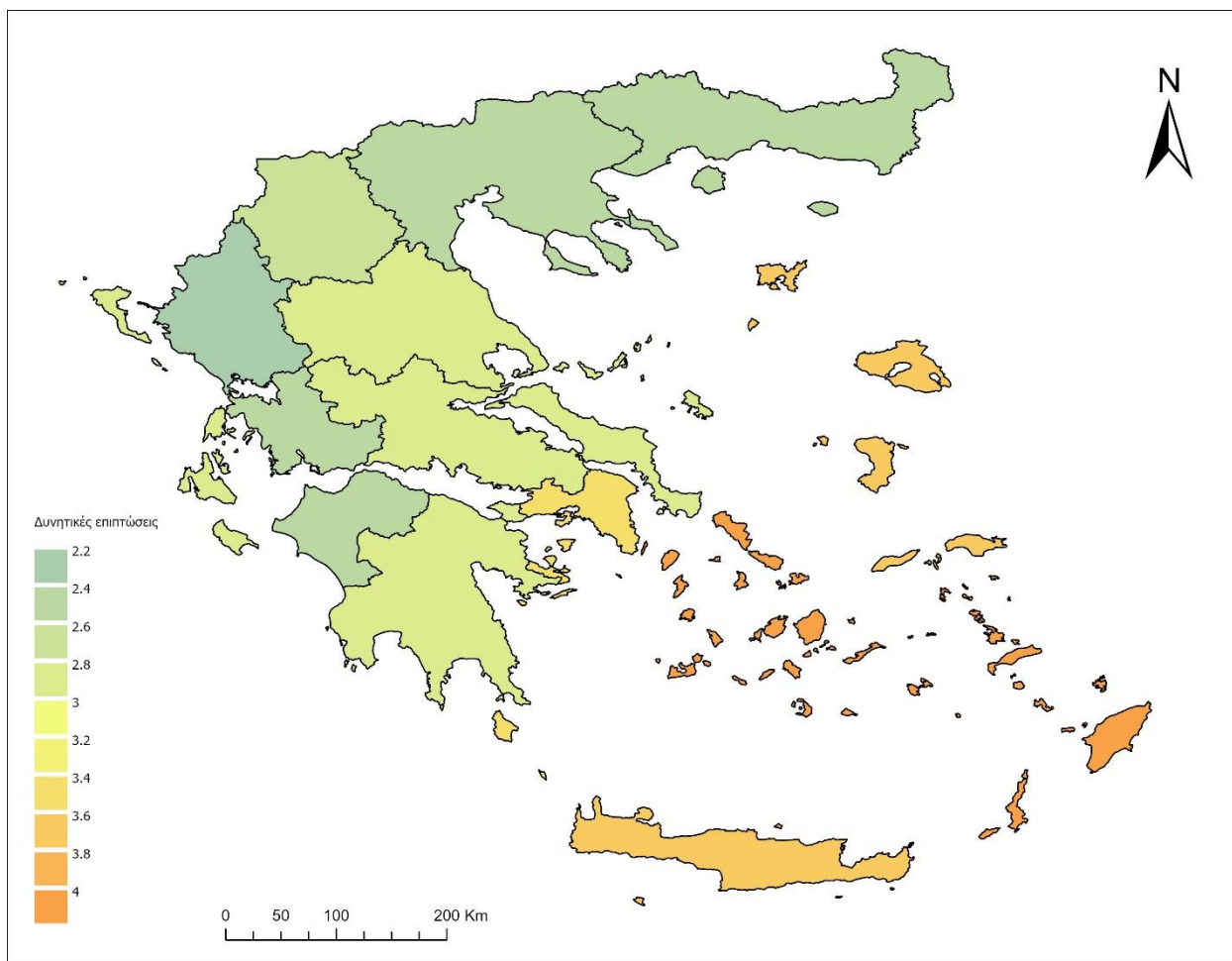


Σχήμα 5-42: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη δυνητικών επιπτώσεων της ξηρασίας για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010

Οι μέσες τιμές ανά περιφέρεια κυμαίνονται από 2 έως 3,9. Για το λόγο αυτό οι αντίστοιχες τάξεις είναι οι 3 και 4 (Σχήμα 5-43). Σε σύγκριση με τους προηγούμενους κινδύνους, η ξηρασία έχει περισσότερες διαφοροποιήσεις της μέσης τιμής ανά περιφέρεια. Και σε αυτή την περίπτωση διαβαθμίστηκαν οι μέσες τιμές των περιφερειών ανά 0,2 και αποτυπώθηκαν σε χάρτη (Σχήμα 5-44). Οι περιοχές με την μεγαλύτερη μέση τιμή είναι τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου και έπονται η Κρήτη, τα νησιά του Βορείου Αιγαίου και η Αττική. Οι υπόλοιπες περιφέρειες της χώρα έχουν αρκετά μικρότερες τιμές, με την Ήπειρο να έχει την ελάχιστη, ανήκοντας στην δεύτερη τάξη.



Σχήμα 5-43: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων της ξηρασίας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010.

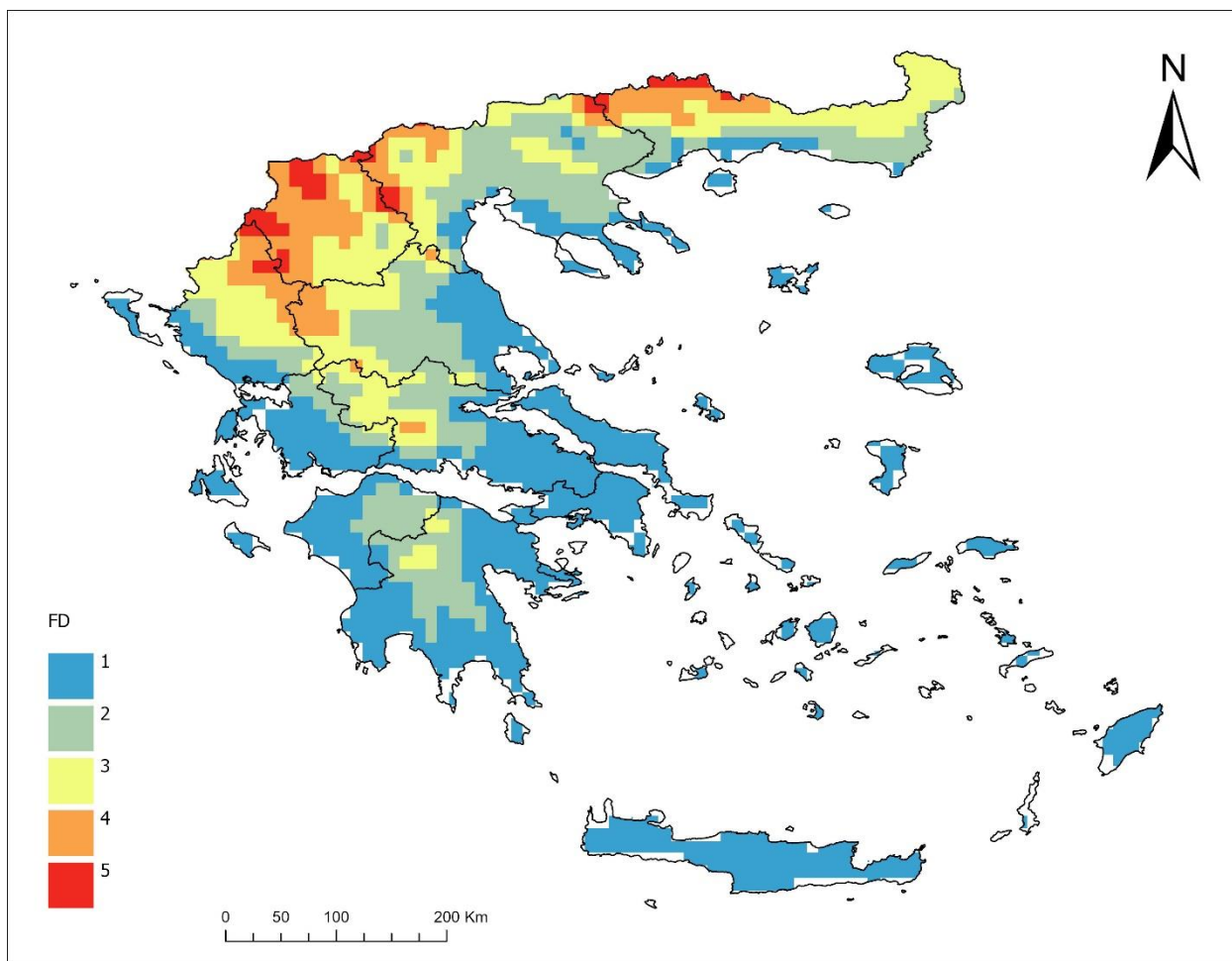


Σχήμα 5-44: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής του βαθμού δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση)

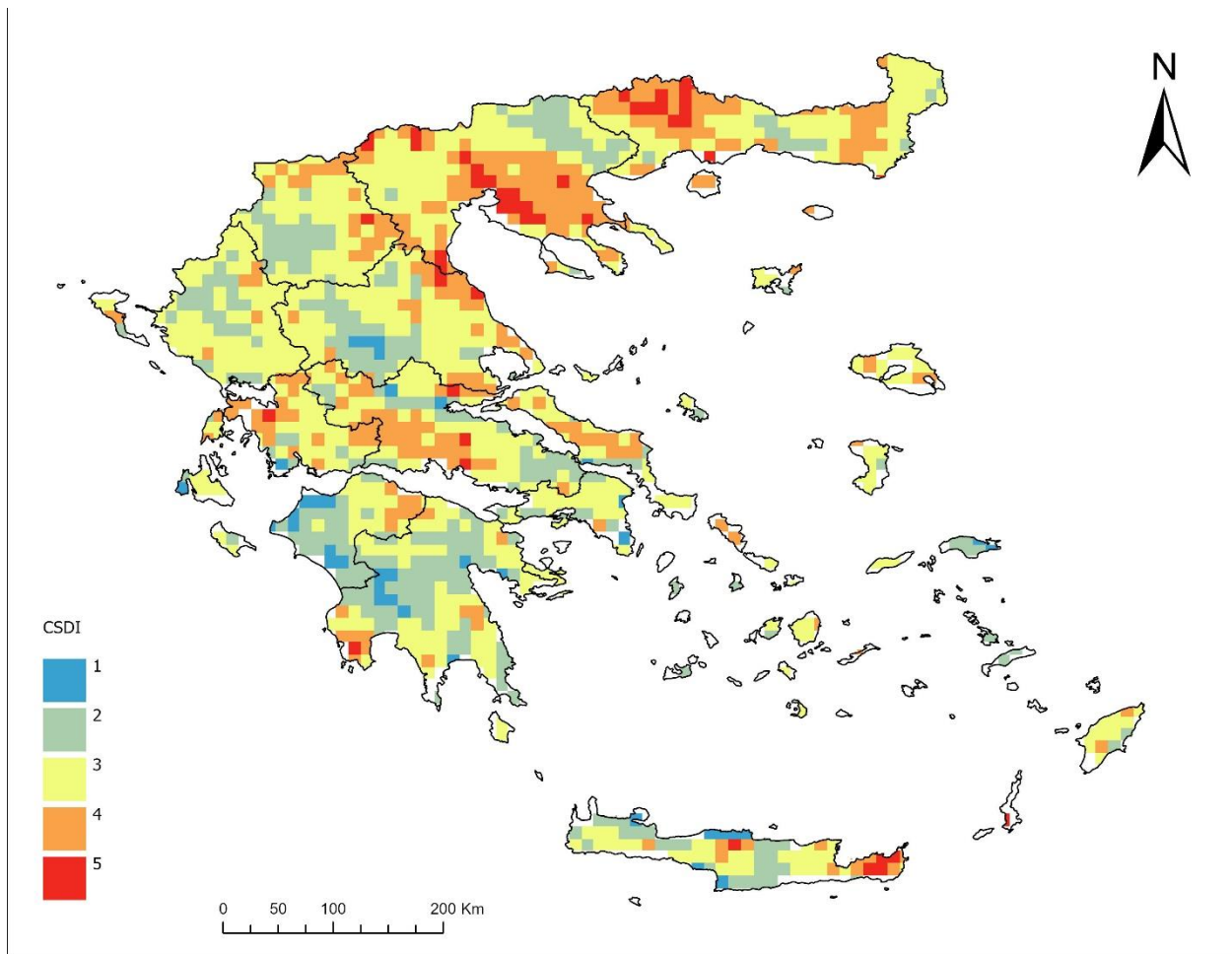
5.5.4 Ακραία φαινόμενα ψύχους

Για τη μελέτη της έκθεσης των ακραίων ψυχρών φαινομένων, δημιουργήθηκε ένας σύνθετος κλιματικός δείκτης, αποτελούμενος από δύο κλιματικούς δείκτες, οι οποίοι θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν περισσότερο τα επεισόδια αυτά. Αυτοί οι δύο δείκτες αναφέρονται στη συνέχεια και απεικονίζονται στους χάρτες που ακολουθούν, ύστερα από την διαδικασία κανονικοποίησης και διακριτοποίησης των τιμών τους στην περιοχή της Ελλάδας σε πέντε τάξεις.

- FD, ο αριθμός των ημερών παγετού, δηλαδή ο ετήσιος αριθμός ημερών όταν η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία $< 0^{\circ}\text{C}$ υπολογισμένος σε ημέρες (Σχήμα 5-45).
- CSDI, ο δείκτης διάρκειας ψυχρών επεισοδίων, δηλαδή ο ετήσιος αριθμός ημερών με τουλάχιστον 6 συνεχόμενες ημέρες όταν η ελάχιστη θερμοκρασία $< 10^{\circ}$ εκατοστημόριο υπολογισμένος σε ημέρες (Σχήμα 5-46).



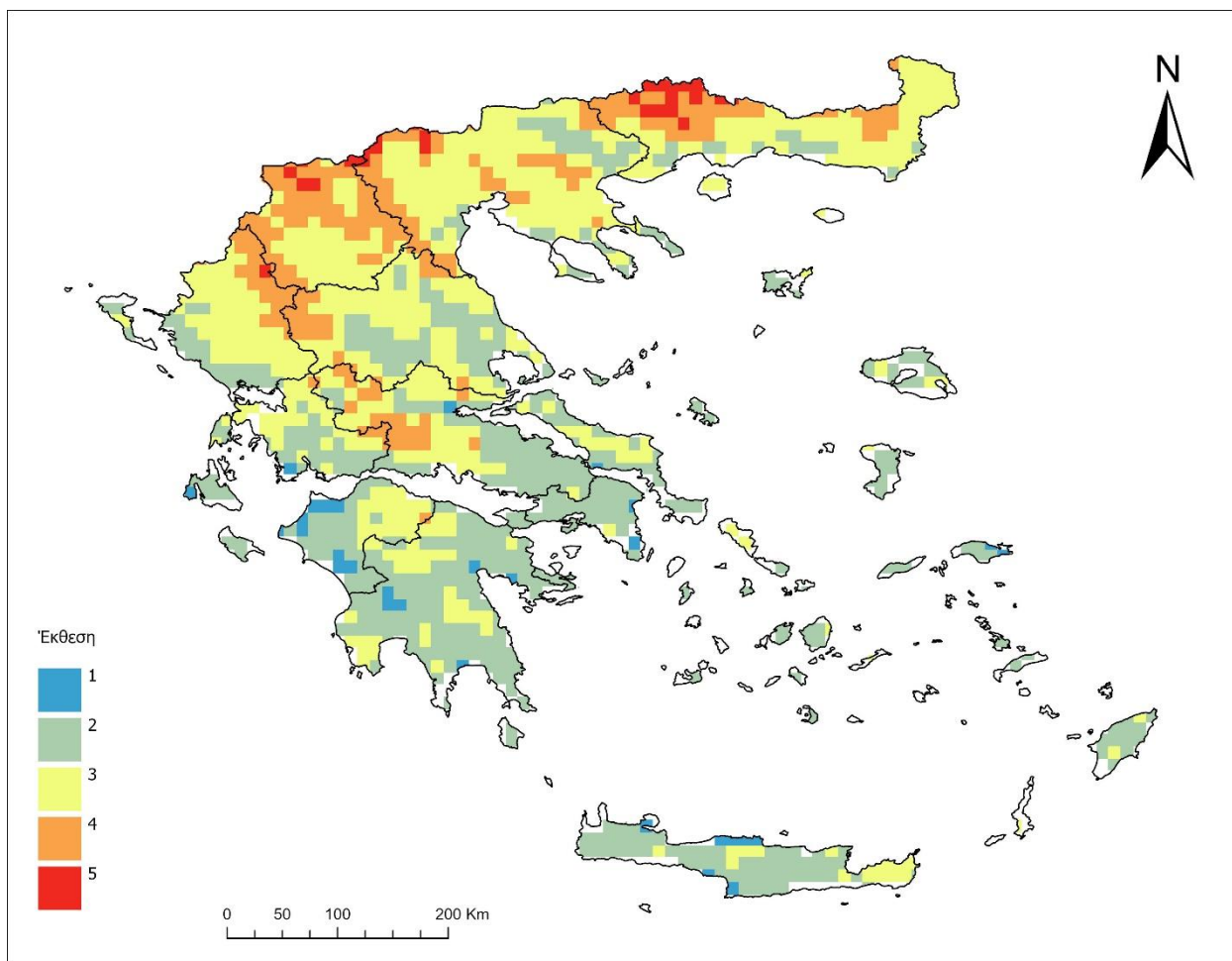
Σχήμα 5-45: Χωρική κατανομή των τάξεων του δείκτη ημερών παγετού για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010



Σχήμα 5-46: Χωρική κατανομή των τάξεων του δείκτη διάρκειας ψυχρών επεισοδίων για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

Αναφορικά με τα ψυχρά επεισόδια, η αποτύπωση της έκθεσής τους στο χάρτη (Σχήμα 5-47), έχει εύρος από 1 έως 5, δηλαδή χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή. Οι περιοχές με υψηλότερη έκθεση εντοπίζονται σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο. Υψηλή έκθεση έχουν οι περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, στα ανατολικά και στα δυτικά σύνορα της περιφέρειας της Δυτικής Μακεδονίας, κάποιες διάσπαρτες περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας και στις δυτικές περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας και τη Θράκη. Πολύ χαμηλές τιμές εντοπίζονται στην Πελοπόννησο, στην Αττική και την Κρήτη σε μικρές περιοχές μερικών χιλιομέτρων. Η υπόλοιπη βόρεια χώρα εμφανίζει κυρίως μέτρια έκθεση στα ψυχρά επεισόδια, ενώ η νότια χαμηλή έκθεση.

Ο τελικός χάρτης της έκθεσης της Ελλάδας στα ψυχρά φαινόμενα ταυτίζεται στις περιοχές με υψηλή έκθεση με τον αντίστοιχο χάρτη του δείκτη ημερών παγετού, ενώ στην υπόλοιπη χώρα έχει τιμές υψηλότερης έκθεσης. Συγκρίνοντας τον τελικό χάρτη με αυτόν του δείκτη CSDI, υπάρχουν ομοιότητες κυρίως στις περιοχές από χαμηλή έως μέτρια έκθεση.



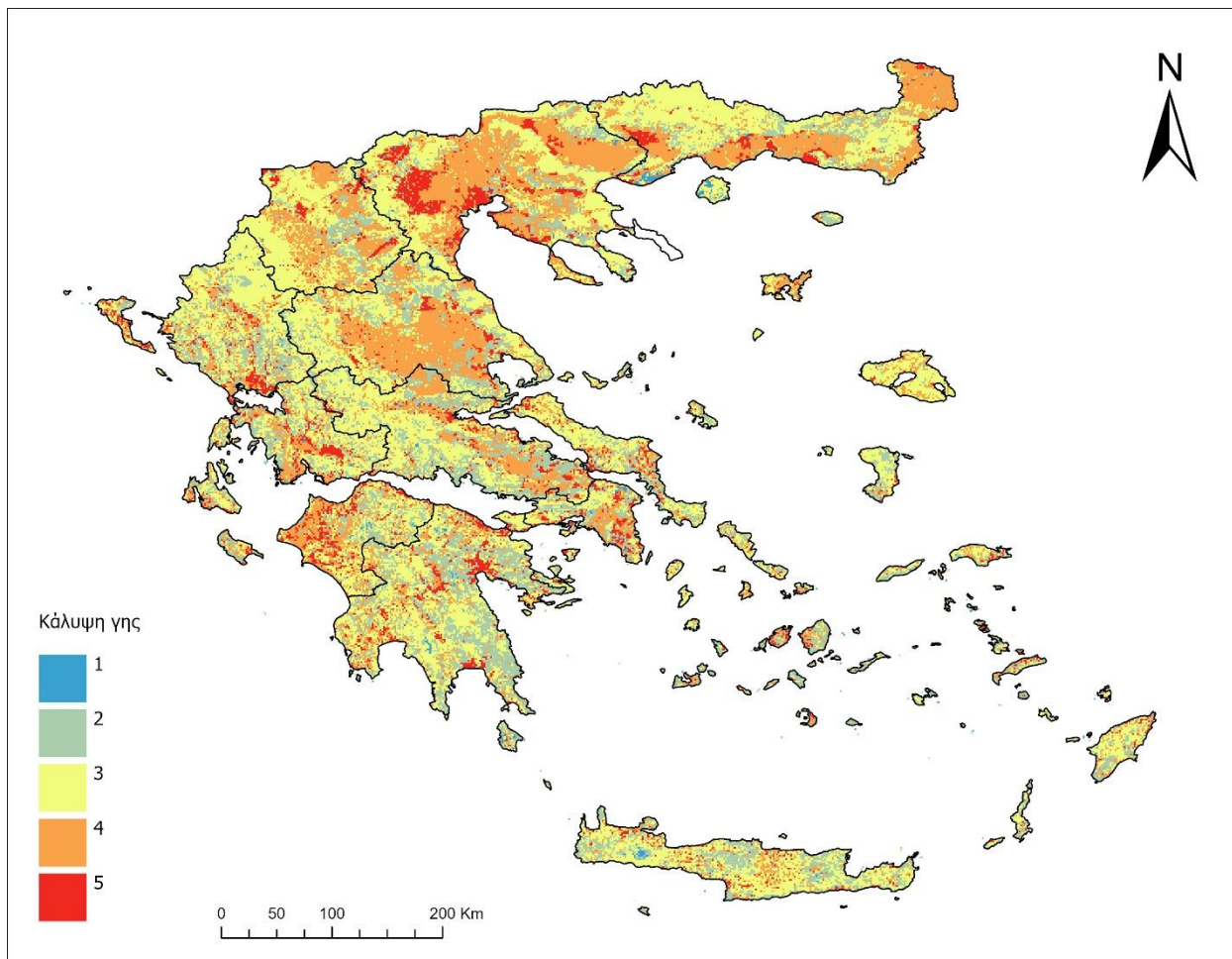
Σχήμα 5-47: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης σε ακραία φαινόμενα ψύχους για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

Σε ότι αφορά την ευαισθησία σε φαινόμενα ψύχους, προσδιορίστηκε ένας σύνθετος δείκτης, χρησιμοποιώντας την κάλυψη γη (Land Cover) (Σχήμα 5-48), την πληθυσμιακή πυκνότητα και το NDVI (Σχήμα 5-49). Ο διαχωρισμός της κάλυψης γης πραγματοποιήθηκε με κριτήριο τα φαινόμενα ψύχους σε 5 κατηγορίες, έπειτα από βιβλιογραφική έρευνα (Πίνακας 5-4):

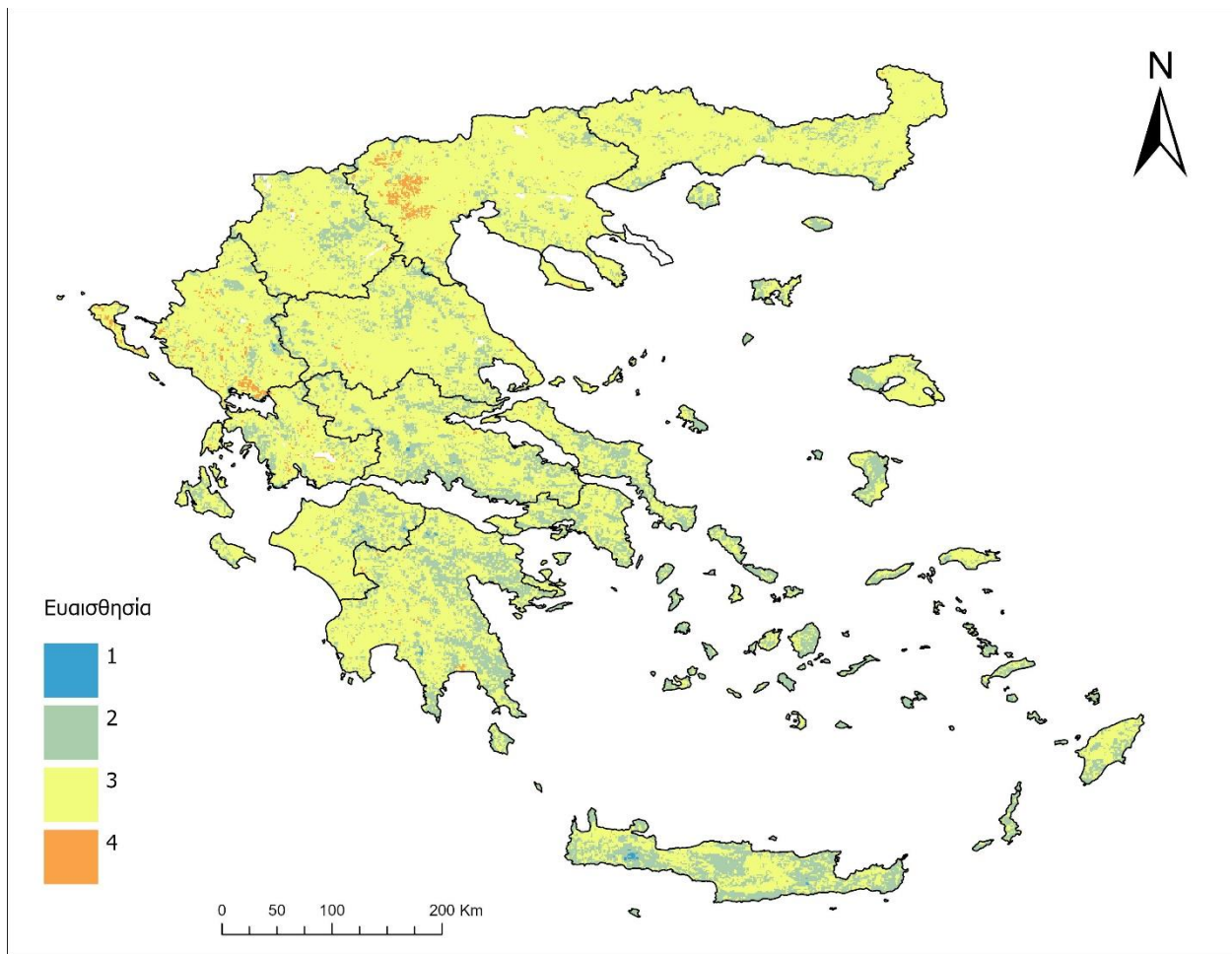
Πίνακας 5-4: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στα ακραία φαινόμενα ψύχους.

Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Bare rocks	Sport and leisure facilities	Coniferous forest	Water courses	Water bodies
Burnt areas	Industrial or commercial units	Broad-leaved forest	Continuous urban fabric	Annual crops associated with permanent crops
Dump sites	Port areas	Olive groves	Discontinuous urban fabric	Road and rail networks and associated land
Beaches – dunes – sands	Airports	Pastures	Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation	Complex cultivation patterns
Glaciers and perpetual snow	Mineral extraction sites	Green urban areas	Agro-forestry areas	Fruit trees and berry plantations
Sea and ocean	Construction sites	Natural grasslands	Vineyards	Rice fields
Bare rocks	Coastal lagoons	Transitional woodland – shrub	Permanently irrigated land	
Burnt areas	Moors and heathland	Estuaries	Non-irrigated arable land	
	Sclerophyllous vegetation	Inland marshes		
	Salt marshes	Peat bogs		
	Salines	Intertidal flats		
	Sparsely vegetated areas			

Οι τάξεις που εμφανίζονται είναι τέσσερις από πολύ χαμηλή ευαισθησία έως υψηλή ευαισθησία. Οι περισσότερες περιοχές έχουν μικρή έως μέτρια ευαισθησία, ενώ υπάρχουν δύο περιοχές, μία στην ανατολική Κεντρική Μακεδονία και μία στην Ήπειρο με υψηλή ευαισθησία.

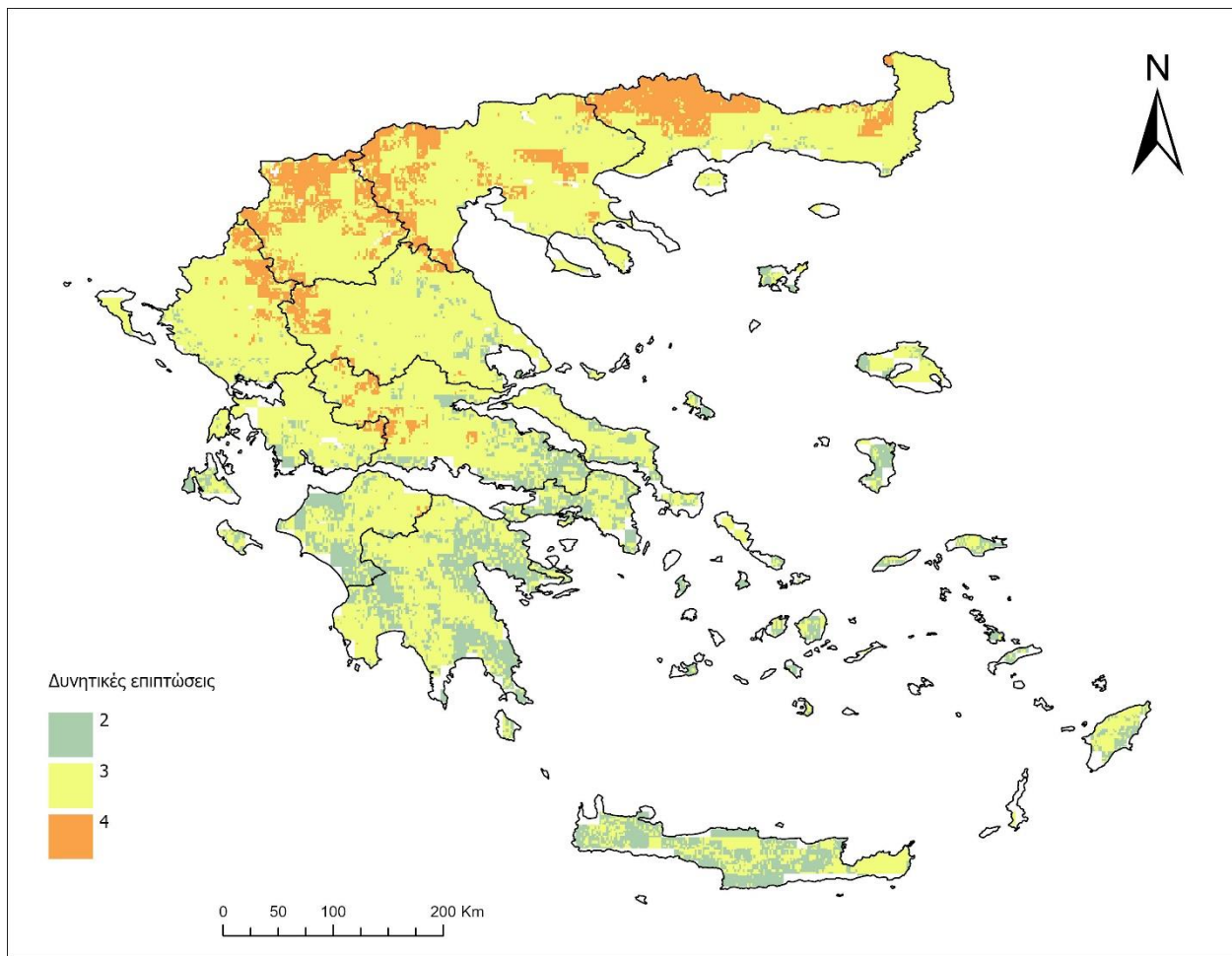


Σχήμα 5-48: Χωρική κατανομή του δείκτη ευαισθησίας σχετικά με την κάλυψη γης στα ακραία επεισόδια ψύχους για την Ελλάδα



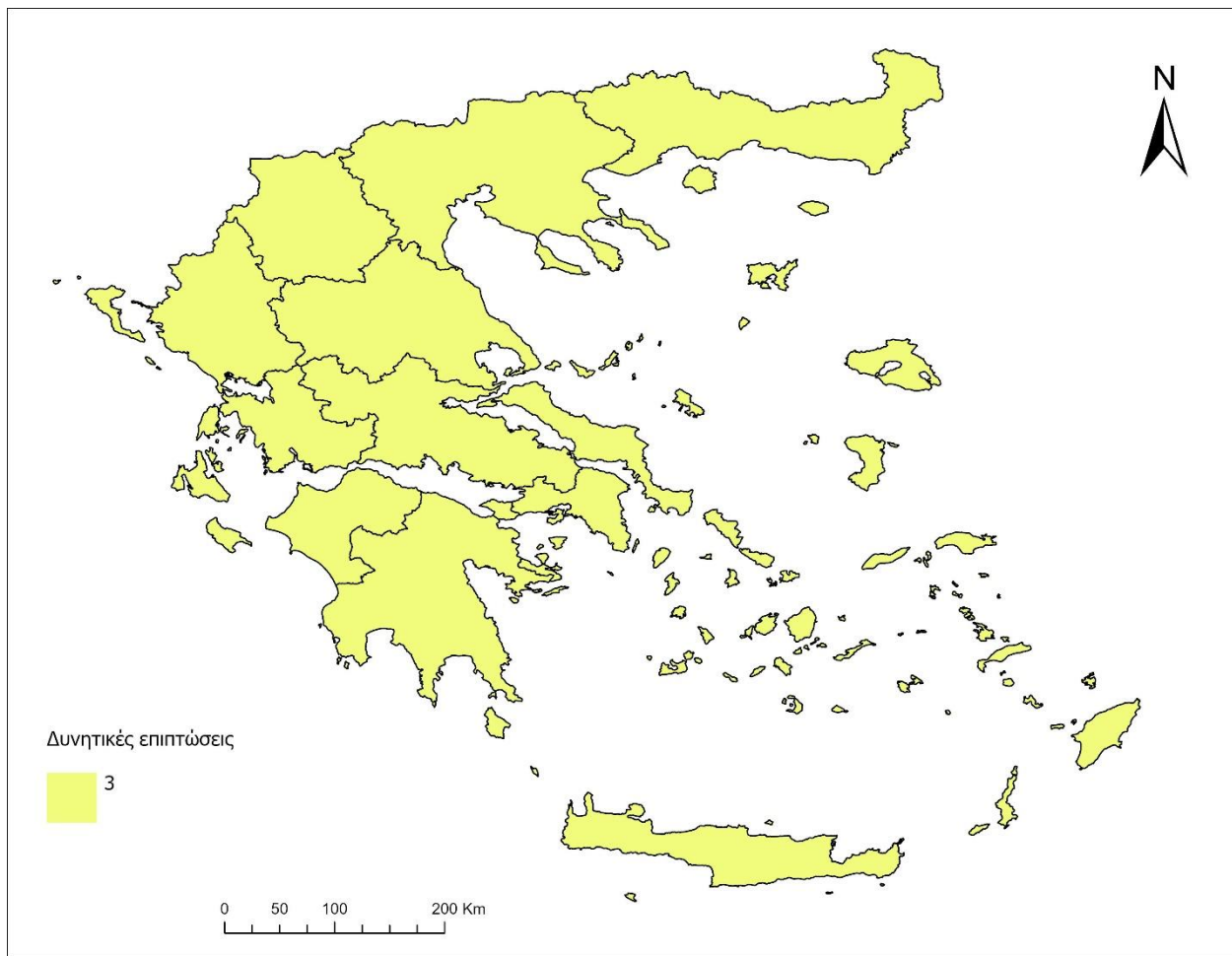
Σχήμα 5-49: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη ευαισθησίας σε ακραία ψυχρά φαινόμενα για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

Συνδυάζοντας την έκθεση και την ευαισθησία και για τα ακραία φαινόμενα ψύχους, προκύπτει ο ακόλουθος χάρτης (Σχήμα 5-50) με τις τάξεις των δυνητικών επιπτώσεων να κυμαίνονται μεταξύ του 2-4, δηλαδή από χαμηλές έως υψηλές δυνητικές επιπτώσεις. Την μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει η κατηγορία 3, άρα στις περισσότερες περιοχές εκτιμάται μέτρια η πιθανότητα εμφάνισης επιπτώσεων στα ακραία φαινόμενα ψύχους. Οι περιοχές με υψηλότερες τιμές εντοπίζονται κυρίως στα βόρεια της χώρας και σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο, ενώ οι χαμηλότερες τιμές στην νότια και νησιωτική Ελλάδα.

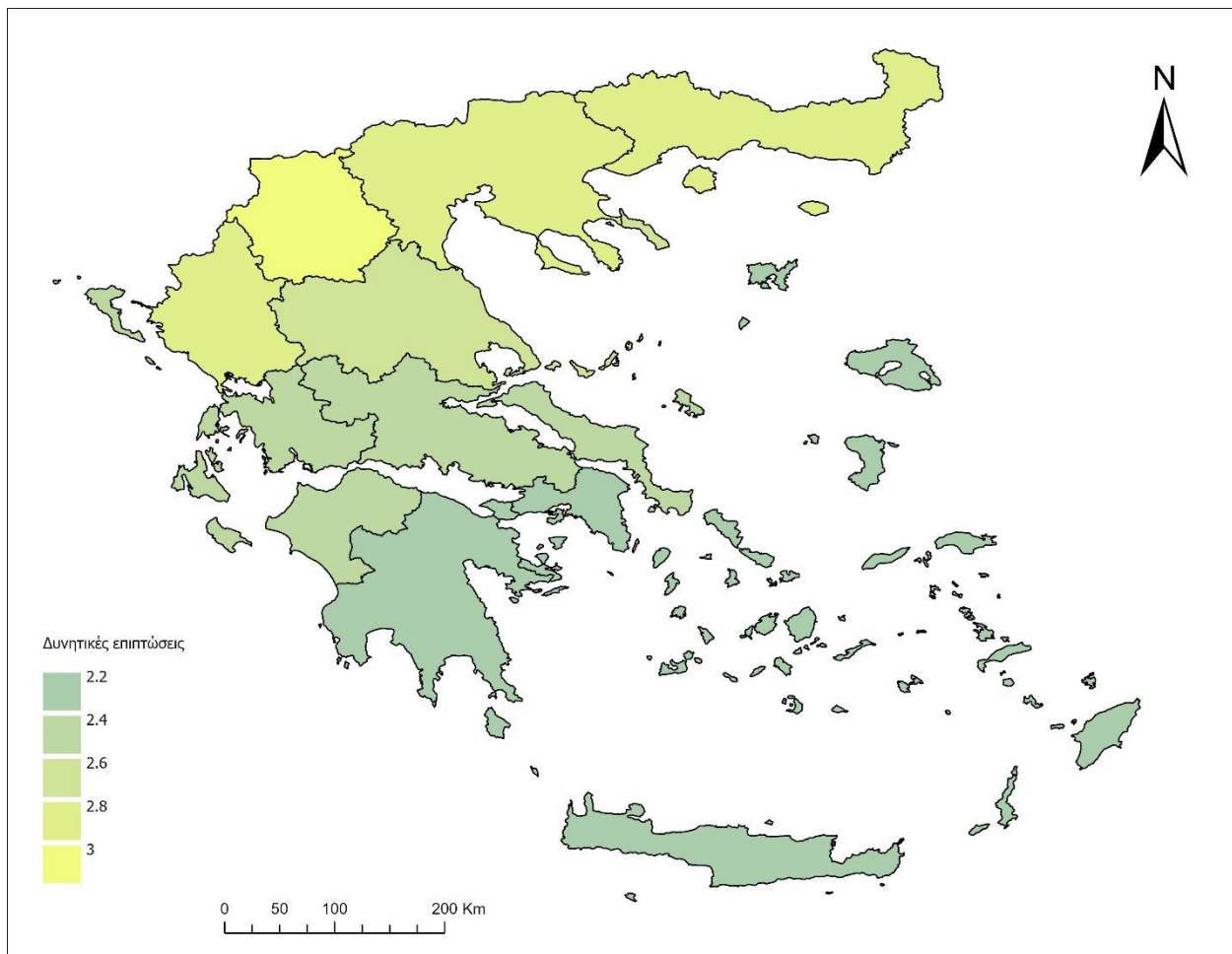


Σχήμα 5-50: Χωρική κατανομή των τάξεων των δυσητικών επιπτώσεων τα ακραία φαινόμενα ψύχους για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1981-2010.

Οι αντίστοιχες μέσες τιμές των τάξεων των δυσητικών επιπτώσεων παρουσιάζονται στα Σχήματα 5-51 και 5-52. Η περιφέρεια με τη μικρότερη μέση τιμή είναι η Κρήτη και ακολουθεί η Αττική με τα νησιά του Αιγαίου. Αντίθετα, τη μεγαλύτερη τιμή εμφανίζει η Δυτική Μακεδονία.



Σχήμα 5-51: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων φαινομένων ψύχους ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

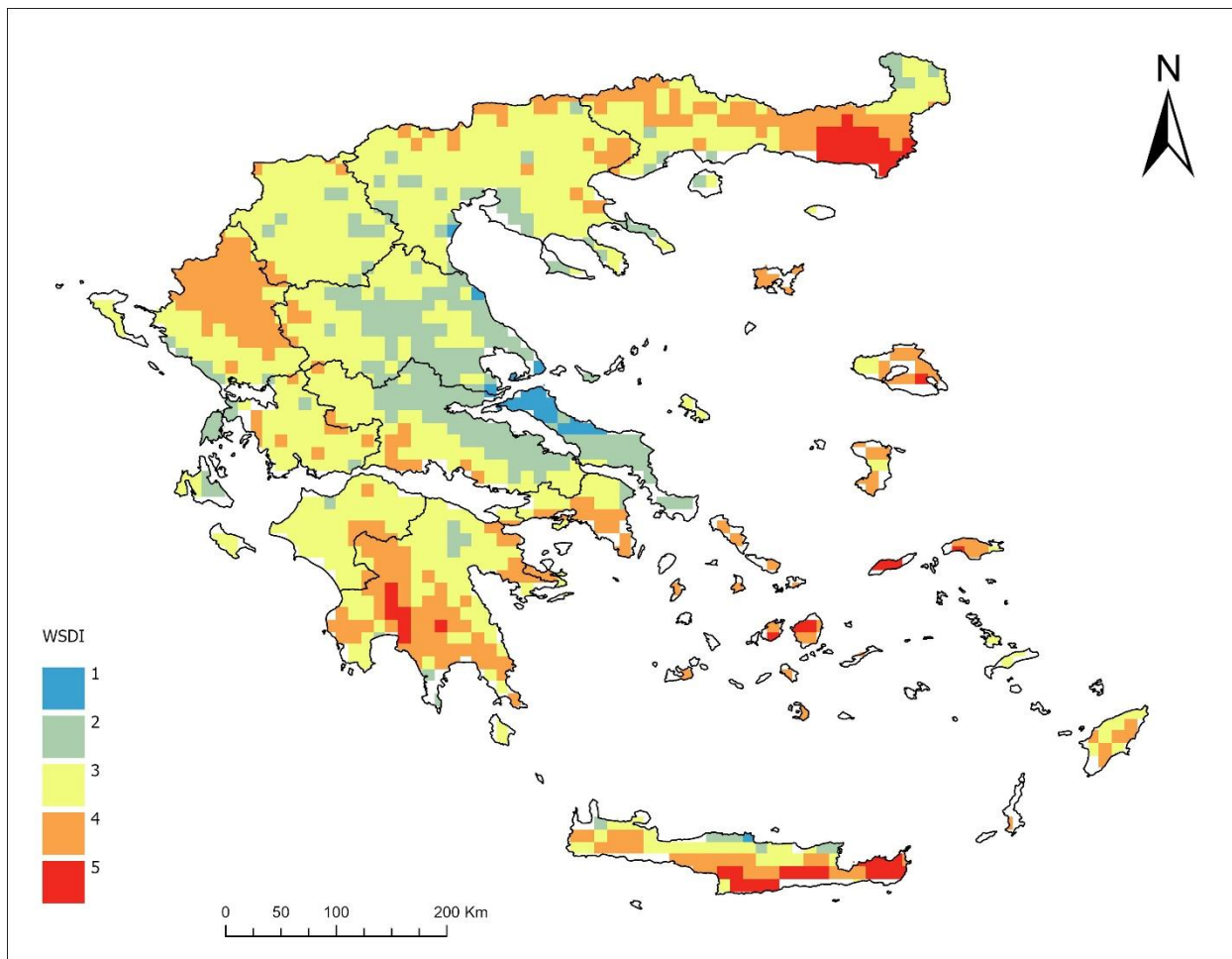


Σχήμα 5-52: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων φαινομένων ψύχους ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση)

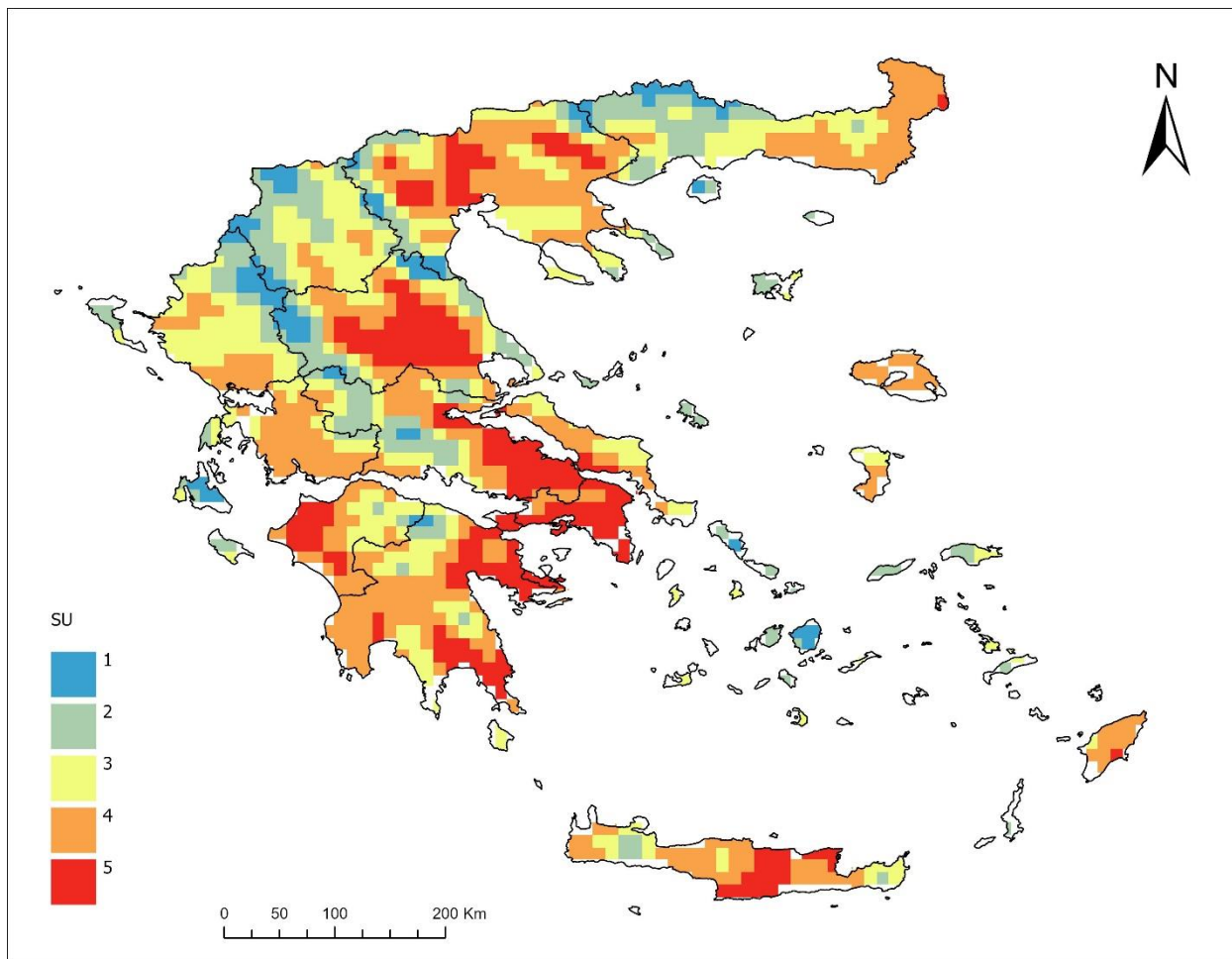
5.5.5 Ακραία θερμά επεισόδια

Τέλος, για την περιγραφή της έκθεσης των θερμών φαινομένων, δημιουργήθηκε ένας σύνθετος κλιματικός δείκτης, ο οποίος περιέχει τέσσερις κλιματικούς δείκτες που θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν περισσότερο τα θερμά επεισόδια. Οι τέσσερις συνιστώσες της έκθεσης αναφέρονται παρακάτω και η σημαντικότητά τους στην κάθε περιοχή οπτικοποιείται στους χάρτες που ακολουθούν:

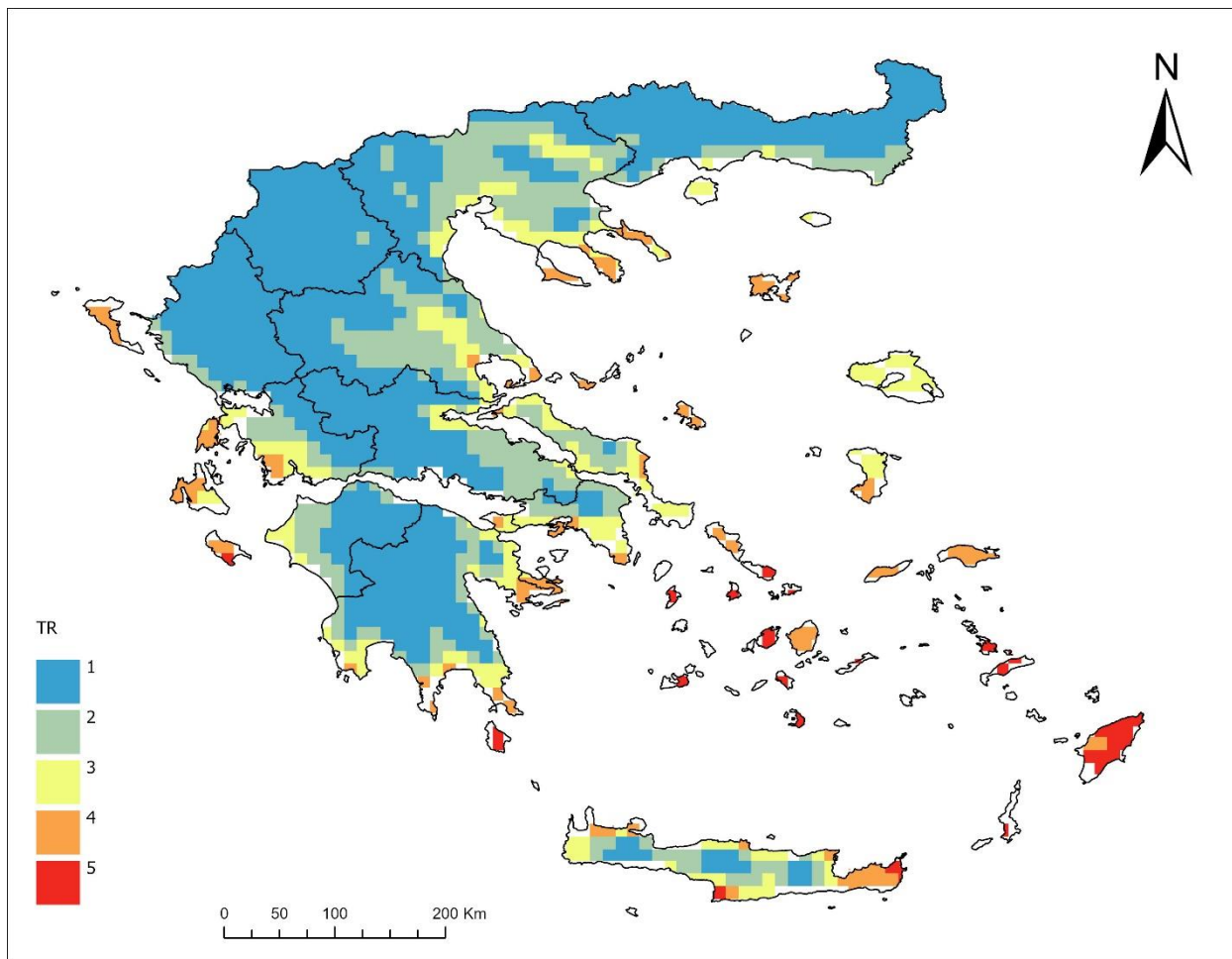
- WSDI, ο δείκτης διάρκειας θερμών επεισοδίων, δηλαδή ο ετήσιος αριθμός ημερών με τουλάχιστον 6 συνεχόμενες ημέρες όταν η μέγιστη θερμοκρασία $> 90^{\circ}$ εκατοστημόριο υπολογισμένος σε ημέρες (Σχήμα 5-53).
- SU, ο αριθμός των καλοκαιρινών ημερών, δηλαδή ο ετήσιος αριθμός ημερών όταν η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία $> 25^{\circ}\text{C}$ υπολογισμένος σε ημέρες (Σχήμα 5-54).
- TR, ο αριθμός των τροπικών νυχτών υπολογισμένος σε ημέρες (Σχήμα 5-55).
- TXge35, ο αριθμός των ημερών όπου η μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση με 35°C υπολογισμένος σε ημέρες (Σχήμα 5-56).



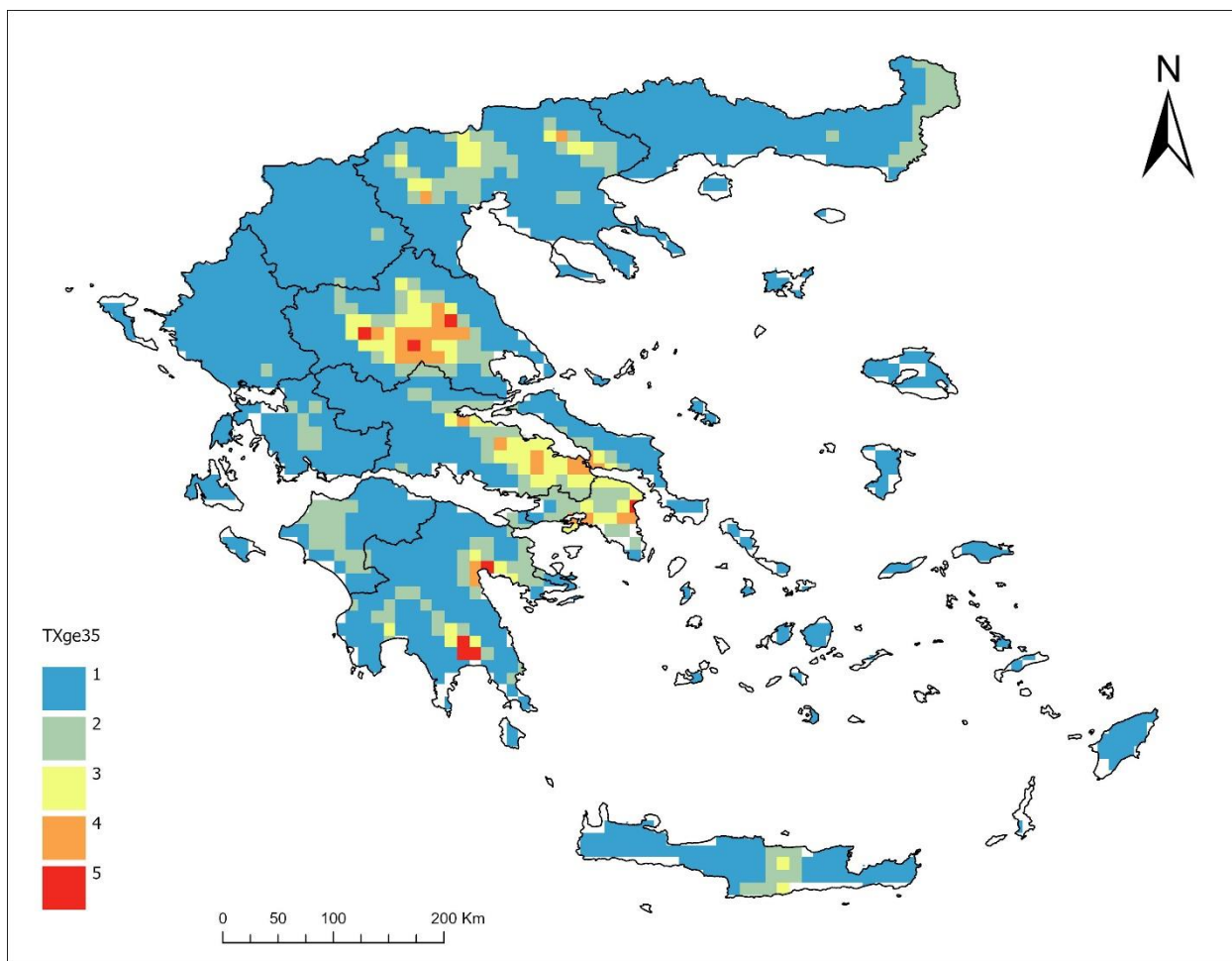
Σχήμα 5-53: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη WSDI για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010.



Σχήμα 5-54: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη των καλοκαιρινών ημερών για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010

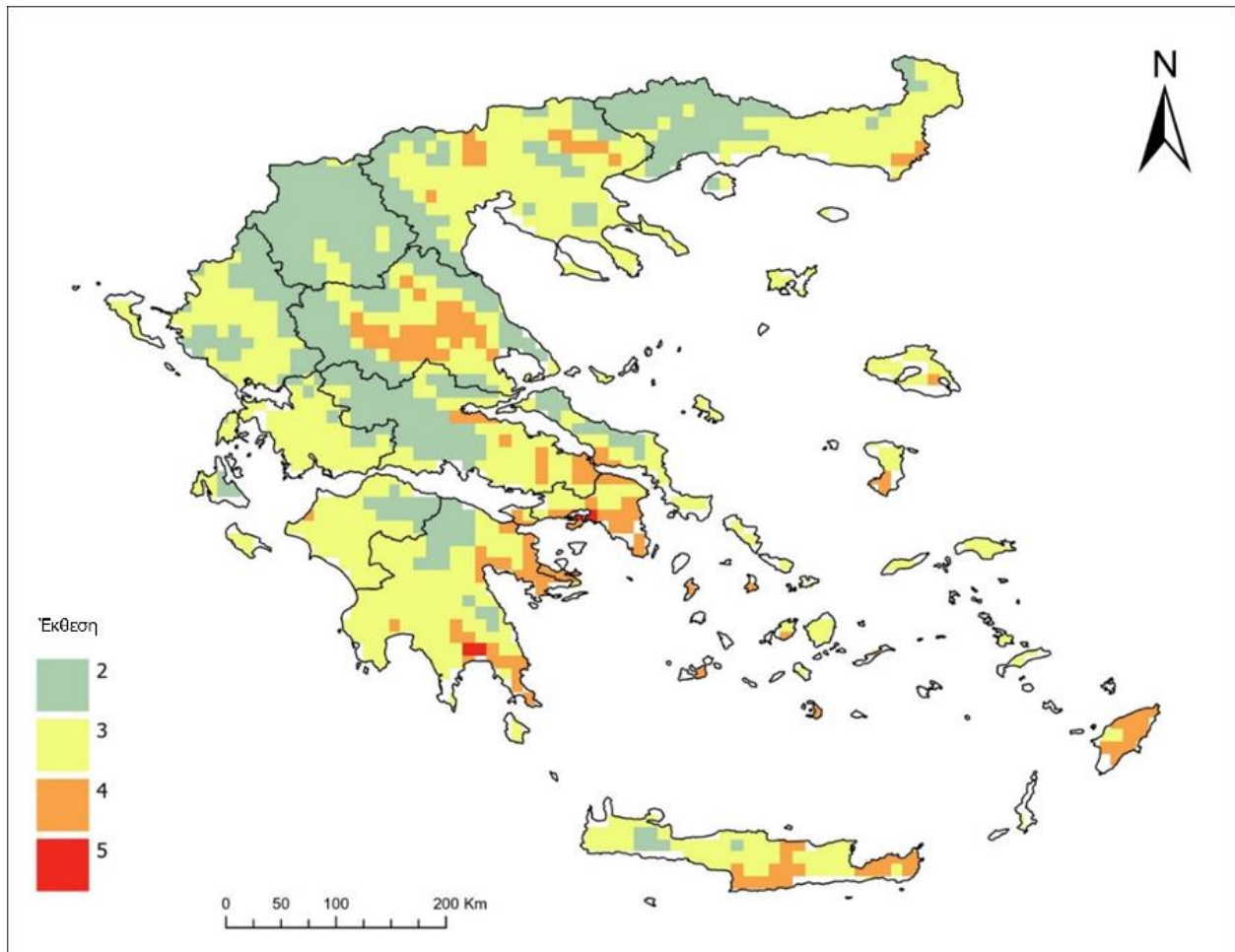


Σχήμα 5-55: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη τροπικών νυχτών για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010.



Σχήμα 5-56: Χωρική κατανομή του αριθμού της κατηγοριοποίησης του δείκτη TXge35, για την Ελλάδα την κλιματική περίοδο 1981-2010

Η σύνθεση των ανωτέρω δεικτών χρησιμοποιώντας ισόποσα βάρη σε δείκτη έκθεσης σε θερμά επεισόδια παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-57. Σε σχέση με την έκθεση των προηγούμενων κινδύνων, τα θερμά επεισόδια δεν έχουν περιοχές με πολύ χαμηλή έκθεση. Επίσης, οι περιοχές με πολύ υψηλή έκθεση είναι μόνο τρεις και δεν ξεπερνούν τα 20 km, είναι το νησί της Σαλαμίνας και το Πέραμα στην Αττική και οι παράκτιες περιοχές του Λακωνικού Κόλπου. Η πλειοψηφία των περιοχών βρίσκονται σε χαμηλή έως μέτρια έκθεση. Χαμηλή έχουν οι περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας, της Ηπείρου, περιμετρικά της Θεσσαλίας στην ανατολική Στερεά Ελλάδα και στις βόρειες περιοχές της Πελοποννήσου και της Εύβοιας. Οι υπόλοιπες περιοχές εμφανίζουν μέτρια έκθεση, με εξαίρεση την κεντρική Θεσσαλία, την ανατολική Στερεά Ελλάδα, την Αττική, τη Ρόδο και ορισμένες περιοχές ανατολικά της Πελοποννήσου και της Κρήτης, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή έκθεση στα θερμικά φαινόμενα.

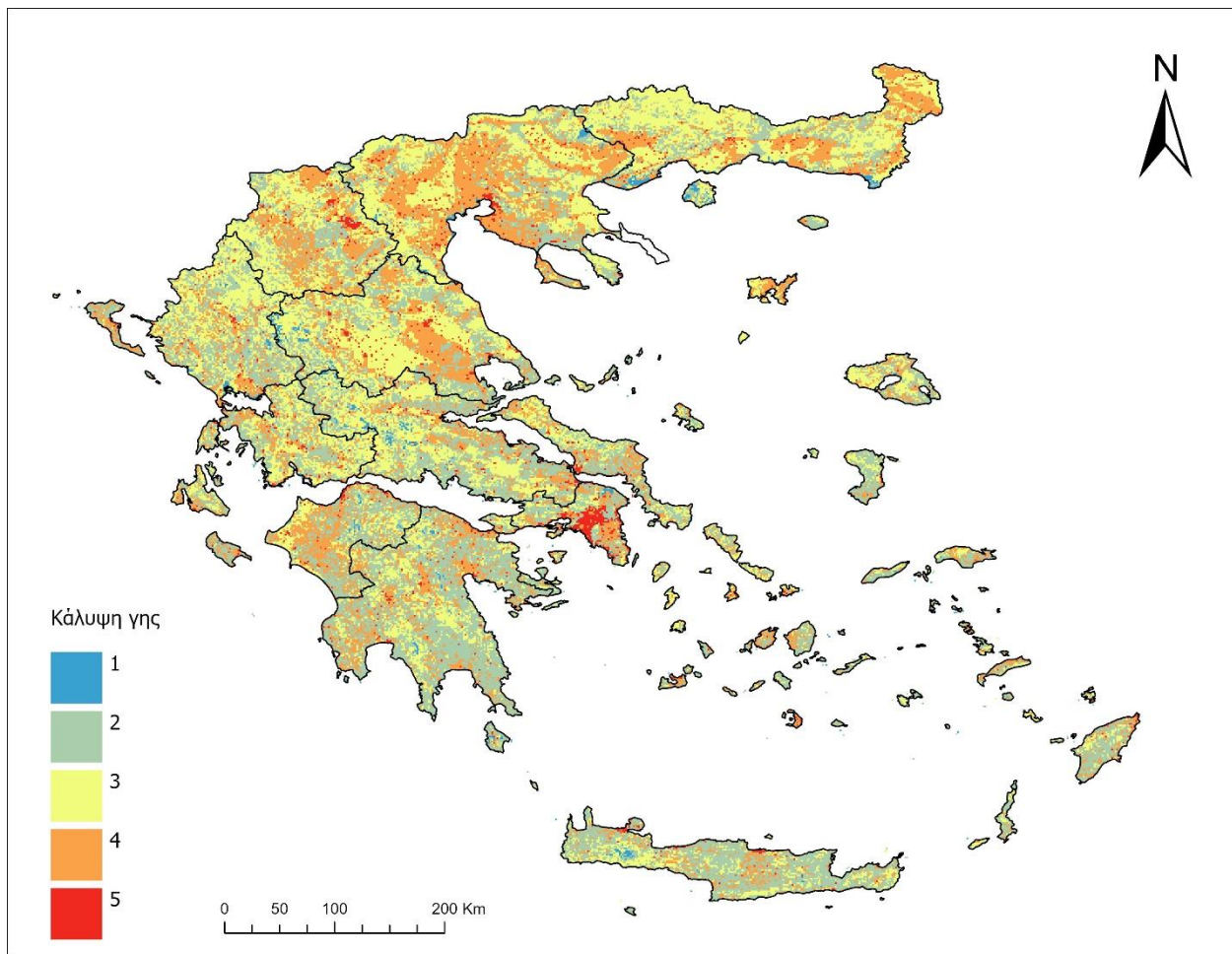


Σχήμα 5-57: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης σε ακραία θερμά φαινόμενα για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

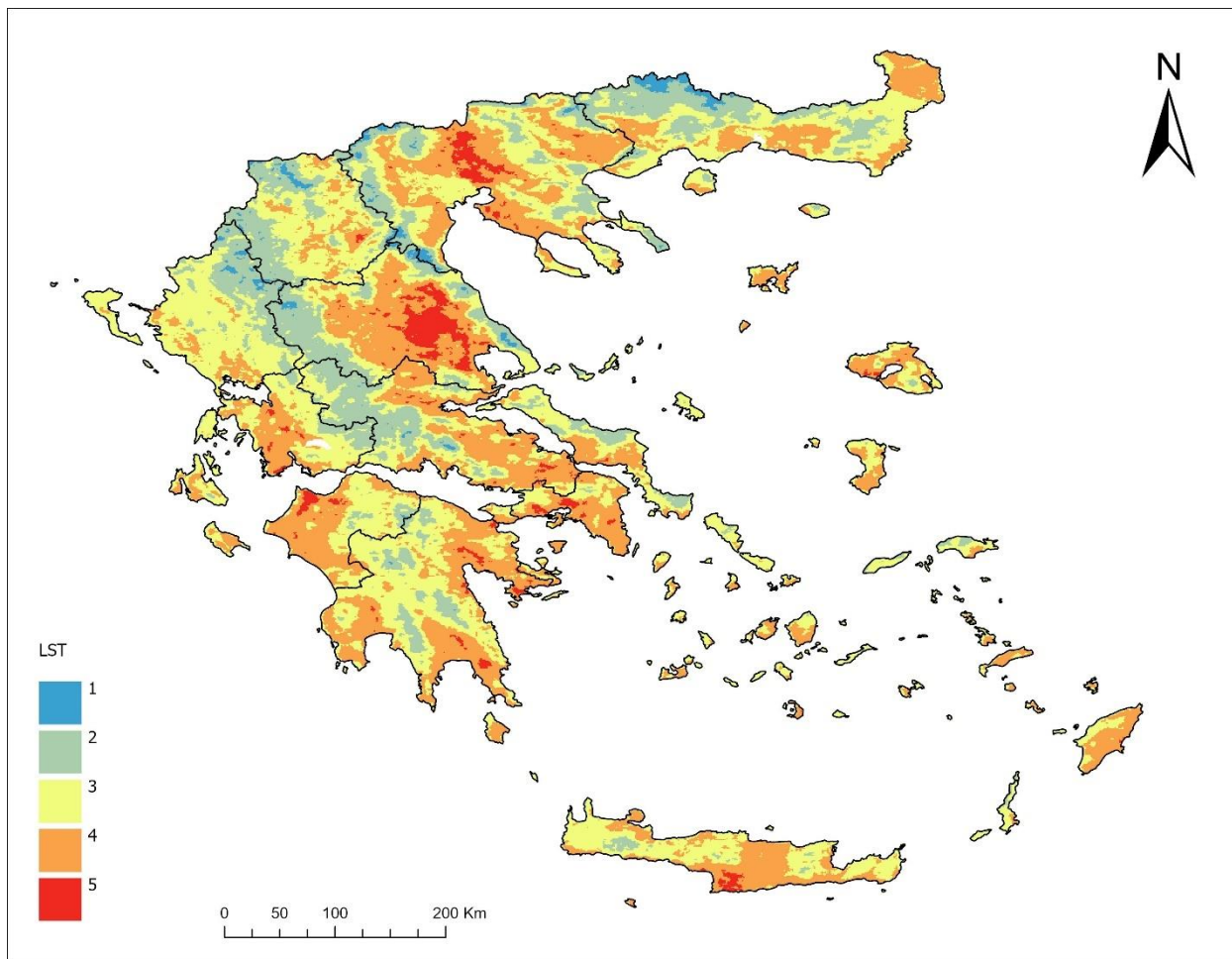
Αναφορικά με την ευαισθησία της Ελλάδας σε θερμά επεισόδια, δημιουργήθηκε ένας συνθετικός δείκτης, ο οποίος περιέχει τέσσερις επιμέρους δείκτες (Επιφανειακή θερμοκρασία -LST, Κάλυψη γης - Land Cover, Πληθυσμιακή πυκνότητα και NDVI). Η χωρική αποτύπωση αυτών των επιμέρους δεικτών αποτυπώνεται στους χάρτες που ακολουθούν (Σχήμα 5-58 – Σχήμα 5-60). Η κάλυψη γης χωρίστηκε σε 5 κατηγορίες έπειτα από βιβλιογραφική έρευνα, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5-5):

Πίνακας 5-5: Κατάταξη των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης σε επίπεδα ευαισθησίας στα ακραία θερμά επεισόδια.

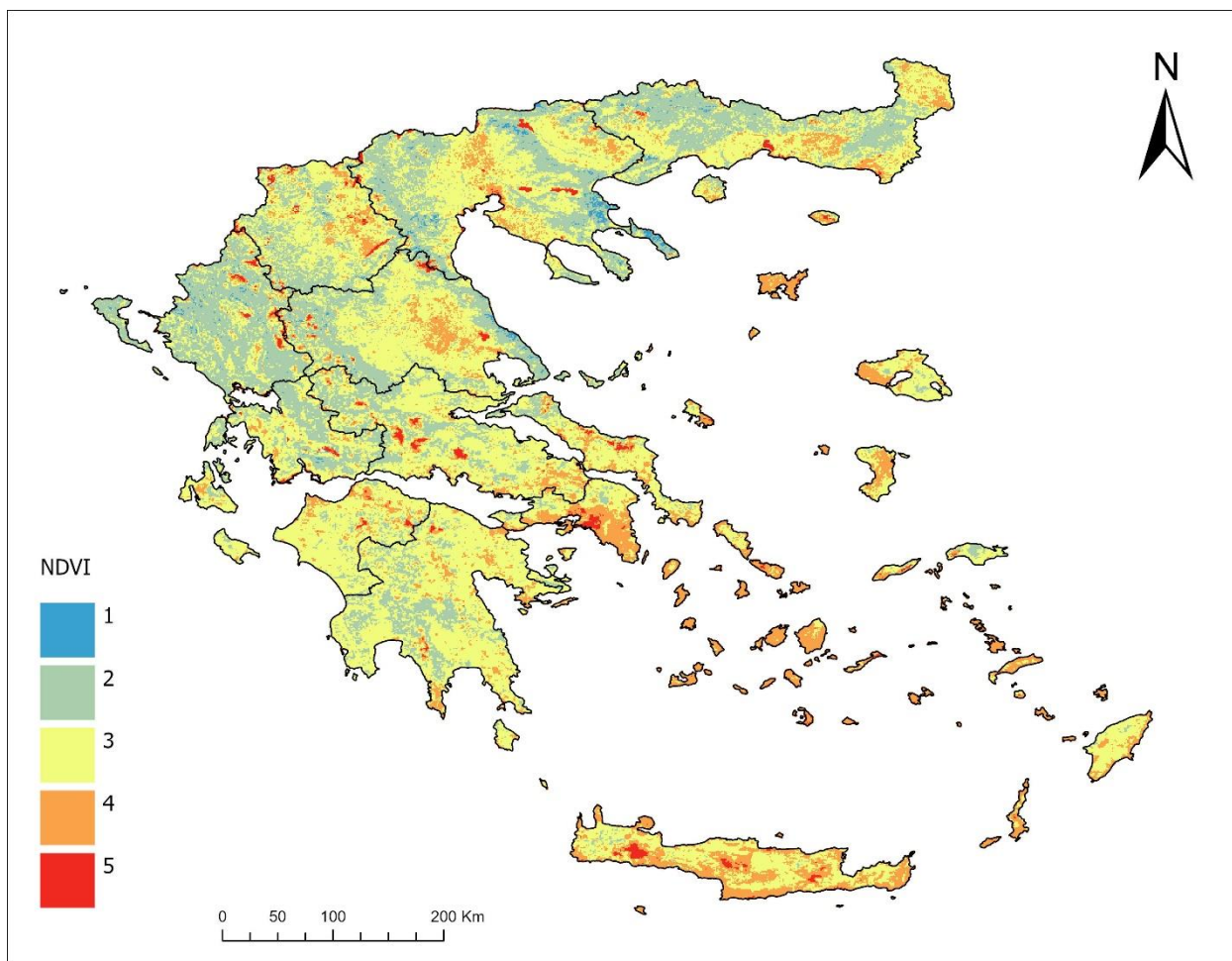
Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Salt marshes	Sclerophyllous vegetation	Agro-forestry areas	Green urban areas	Continuous urban fabric
Salines	Transitional woodland-shrub	Broad-leaved forest	Non-irrigated arable land	Discontinuous urban fabric
Intertidal flats	Sparsely vegetated areas	Coniferous forest	Rice fields	Road and rail networks and associated land
Estuaries	Glaciers and perpetual snow	Mixed forest	Vineyards	Port areas
Sea and ocean	Water bodies	Natural grasslands	Fruit trees and berry plantations	Airports
Bare rocks	Coastal lagoons	Permanently irrigated land	Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation	Mineral extraction sites
Moors and heathland	Olive groves	Pastures	Industrial or commercial units	Beaches - dunes – sands
Burnt areas	Inland marshes		Complex cultivation patterns	Dump sites
	Water courses		Peat bogs	Construction sites
				Annual crops associated with permanent crops
				Sport and leisure facilities



Σχήμα 5-58: Χωρική κατανομή του δείκτη ευαισθησίας σχετικά με την κάλυψη γης στα ακραία θερμά επεισόδια για την Ελλάδα



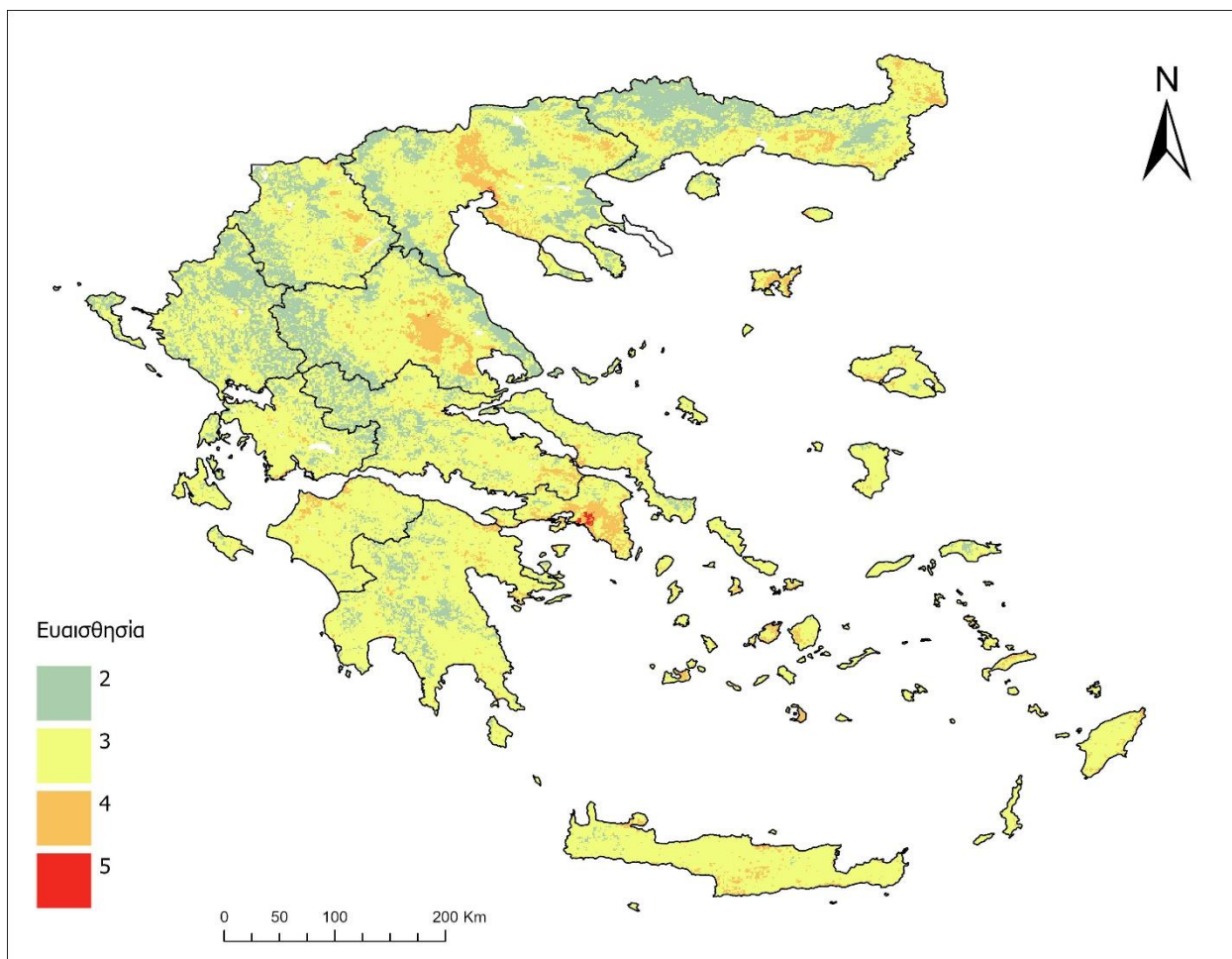
Σχήμα 5-59: Χωρική κατανομή της κατηγοριοποίησης του δείκτη LST για την Ελλάδα



Σχήμα 5-60: Χωρική Κατανομή της κατηγοριοποίησης του NDVI για την Ελλάδα

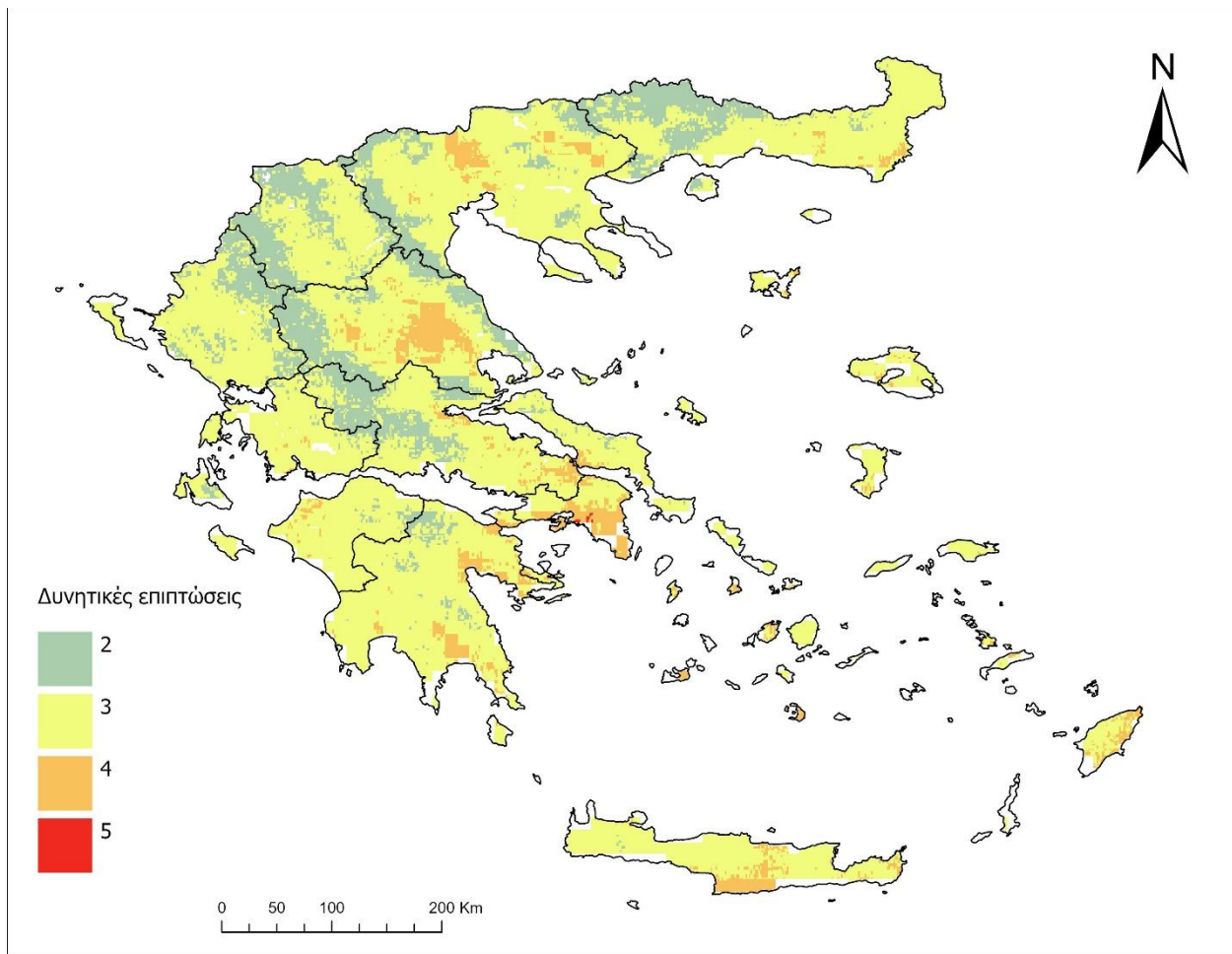
Με σκοπό την οπτικοποίηση της ευαισθησίας της κάθε περιοχής στα ακραία θερμικά φαινόμενα, υπολογίστηκαν οι τέσσερις επιμέρους δείκτες. Ο χάρτης που ακολουθεί προβάλλει αυτό το αποτέλεσμα (Σχήμα 5-61). Η ευαισθησία αυτού του κινδύνου είναι χαμηλή έως πολύ υψηλή για την Ελλάδα. Στη μεγαλύτερη έκτασή της, η ευαισθησία είναι μέτρια, ενώ σε ένα τμήμα της Αττικής είναι πολύ υψηλή. Διάφορες διάσπαρτες περιοχές της χώρας εμφανίζουν μικρή ευαισθησία, αλλά λιγότερες είναι οι περιοχές που εμφανίζουν υψηλή ευαισθησία, όπως η κεντρική Θεσσαλία και Κεντρική Μακεδονία και κάποιες περιοχές της Θράκης.

Αντιπαραθέτοντας την ευαισθησία του συνδυαστικού δείκτη με τους επιμέρους δείκτες ερμηνεύεται η χωρική του κατανομή. Ορεινές περιοχές με πυκνή βλάστηση και δασικές εκτάσεις παρουσιάζουν χαμηλή ευαισθησία, εν αντιθέσει με τα μεγάλα αστικά κέντρα που λόγω της κάλυψης γης της συσσώρευσης πληθυσμού και άλλων παραγόντων εμφανίζουν μέγιστο στην ευαισθησία στους καύσωνες.



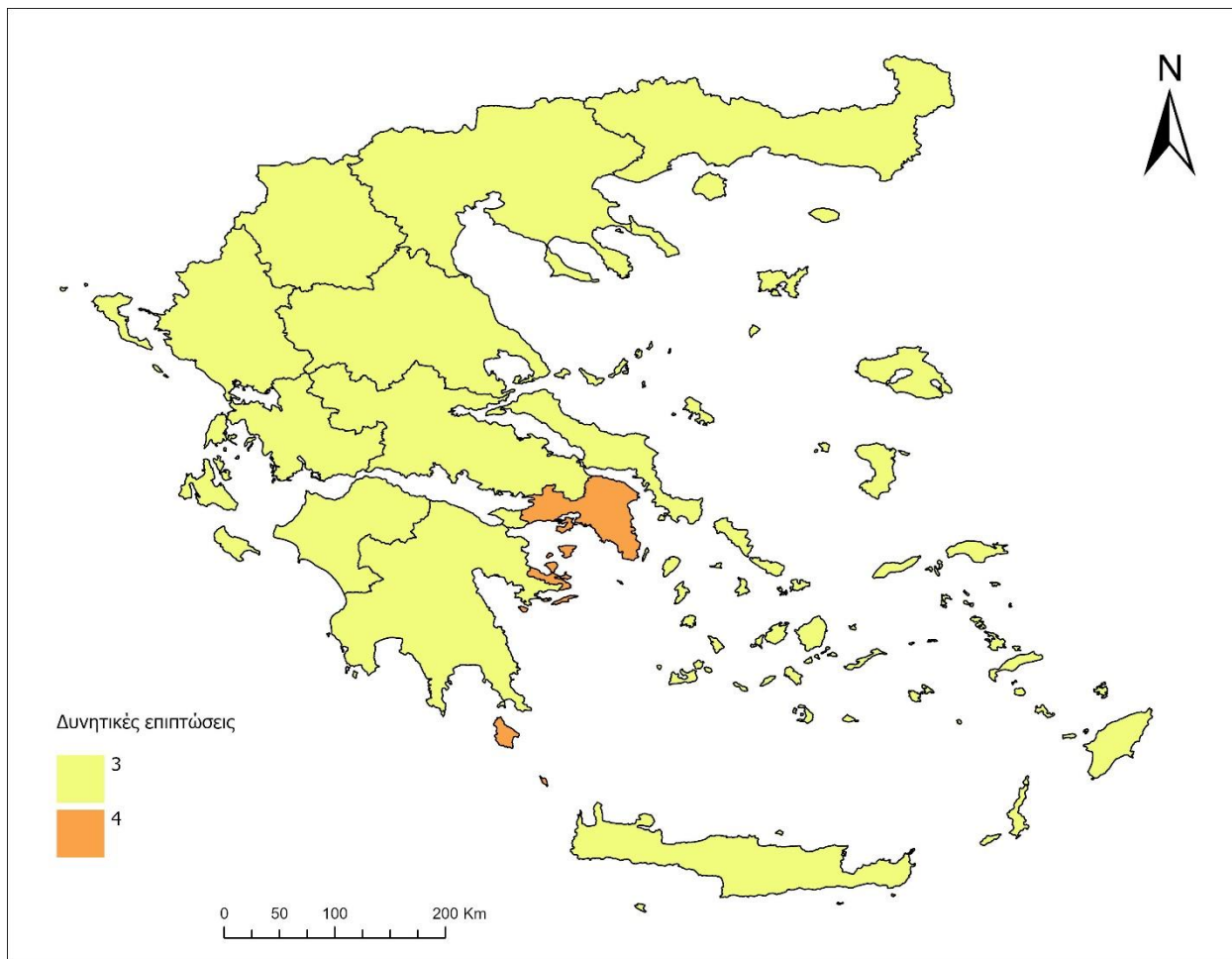
Σχήμα 5-61: Χωρική κατανομή του συνδυαστικού δείκτη ευαισθησίας σε ακραία θερμά φαινόμενα για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010

Με σκοπό την εύρεση των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων θερμών επεισοδίων της Ελλάδας, συντέθηκαν οι χάρτες της έκθεσης και της ευαισθησίας. Οι τάξεις των δυνητικών επιπτώσεων είναι από χαμηλές έως πολύ υψηλές, δηλαδή από 2 έως 5 (Σχήμα 5-62). Την μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει η κατηγορία 3, τη μικρότερη η κατηγορία 5 που βρίσκεται σε ορισμένες περιοχές της Αττικής. Μικρότερη τιμή βαθμού δυνητικών επιπτώσεων εμφανίζεται στην οροσειρά της Πίνδου, στα όρια μεταξύ της Δυτικής και της Κεντρικής Μακεδονίας και στην Ανατολική Μακεδονία. Αντίθετα, οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στην κεντρική Θεσσαλία, στην Αττική και μικρότερες περιοχές σε άλλες περιφέρειες της χώρας.

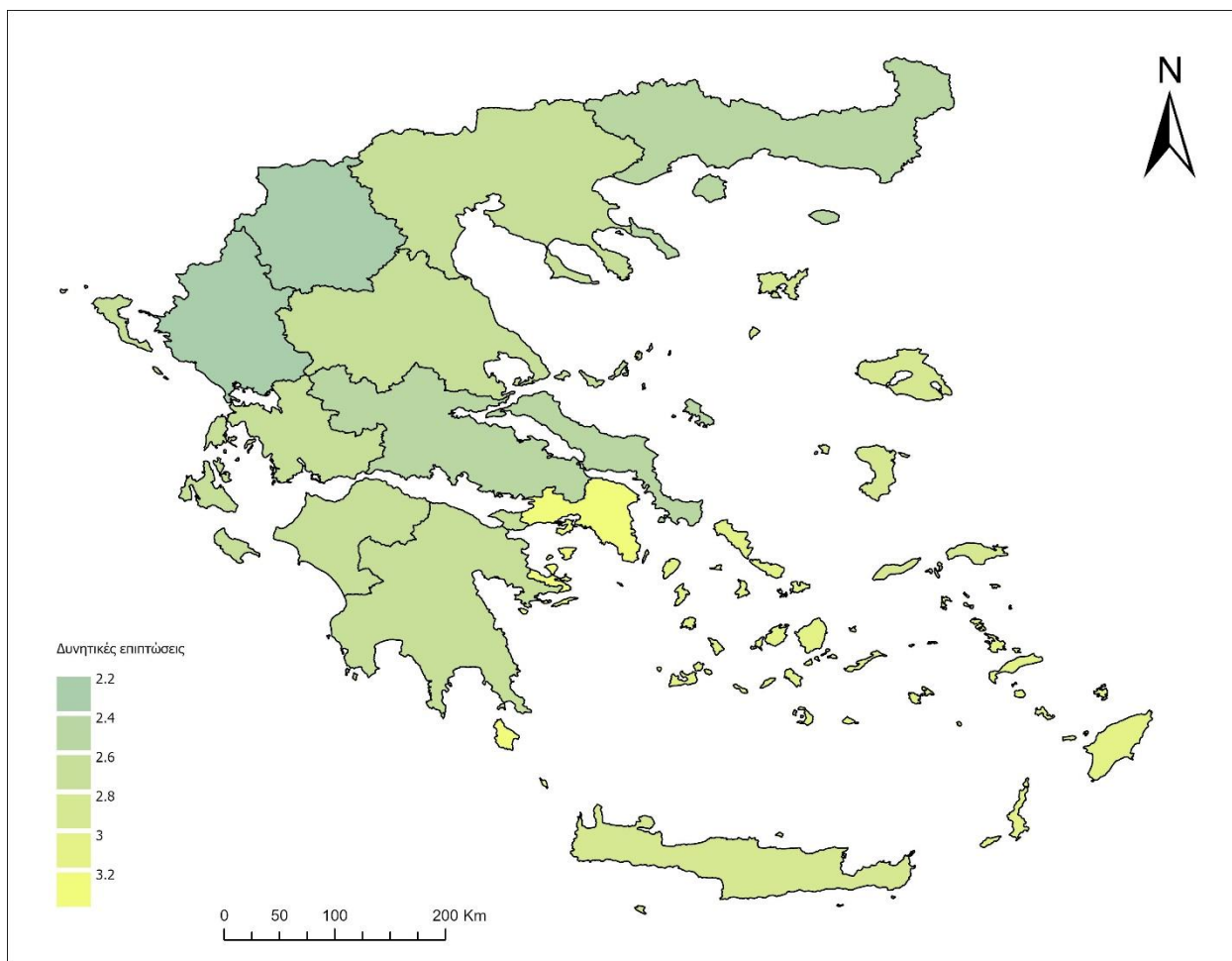


Σχήμα 5-62: Χωρική κατανομή του βαθμού των δυναμικών επιπτώσεων από ακραία θερμά επεισόδια για την Ελλάδα κατά την κλιματική περίοδο 1981-2010

Το εύρος των μέσων τιμών ανά περιφέρεια (Σχήμα 5-63) που παρατηρήθηκε είναι από 2,2 έως 3. Επειδή το εύρος είναι μικρό πραγματοποιήθηκε περαιτέρω διαχωρισμός ανά 0,2 και η αποτύπωση με τα ανάλογα χρώματα (Σχήμα 5-64). Αναλυτικά, οι περιφέρειες με υψηλότερη τιμή είναι η Αττική και τα νησιά του Αιγαίου, συμπεριλαμβανομένης της Κρήτης. Ωστόσο μόνο η Αττική ξεπερνά την τιμή 3.

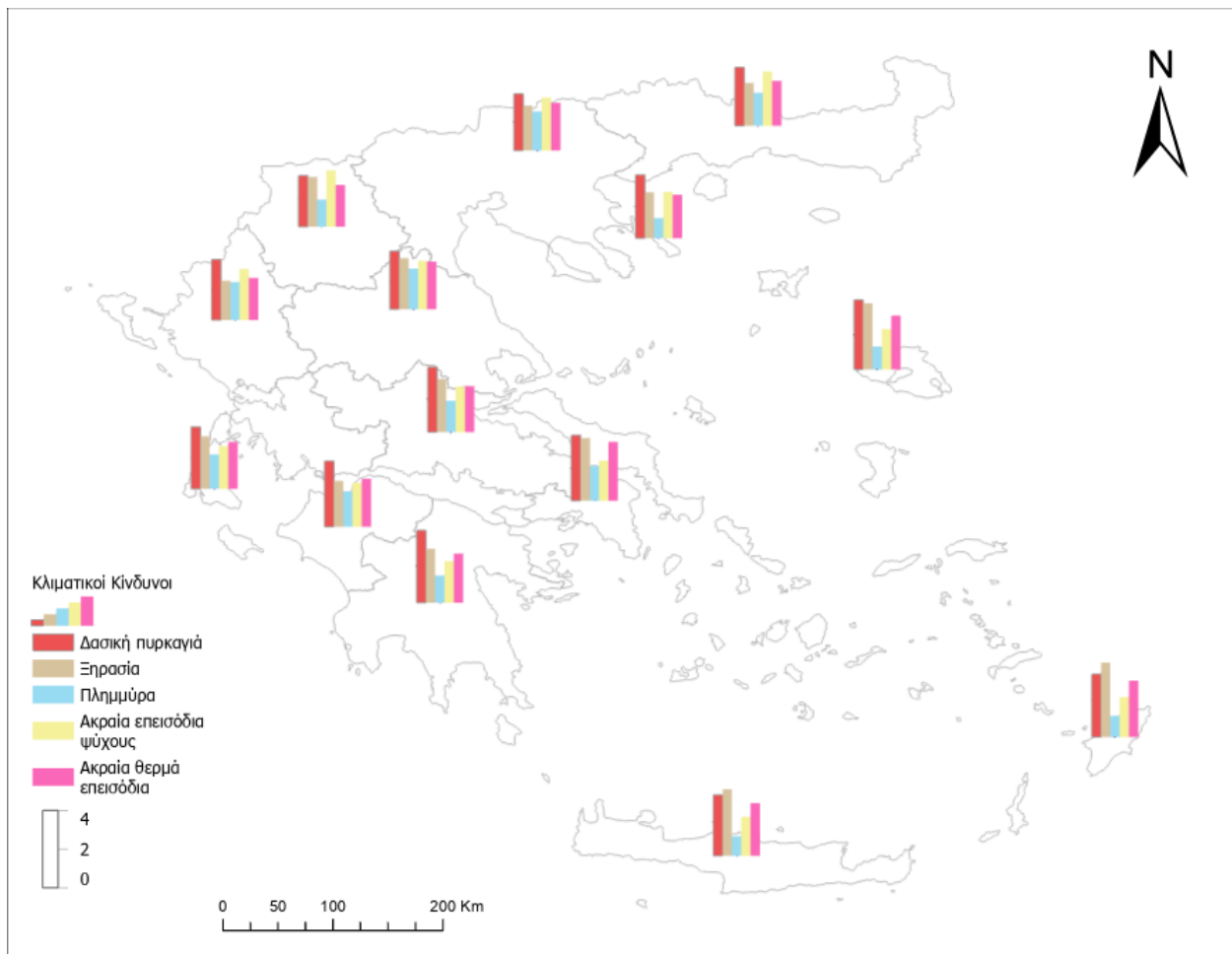


Σχήμα 5-63: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων θερμών φαινομένων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010



Σχήμα 5-64: Χωρική κατανομή της μέσης τιμής των τάξεων δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων θερμών φαινομένων ανά περιφέρεια για την Ελλάδα για την κλιματική περίοδο 1981-2010 (νέα διαβάθμιση)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το εργαλείο που υπολογίζει και απεικονίζει μέσω χάρτη των δυνητικών επιπτώσεων για το σύνολο των δεικτών ανά περιφέρεια (Σχήμα 5-65). Οι διαφορετικοί κίνδυνοι ακολουθούν χρωματική κωδικοποίηση, όπως φαίνεται στο υπόμνημα του χάρτη. Ενδεικτικά, η κόκκινη ράβδος αντιστοιχεί στον κλιματικό κίνδυνο της πυρκαγιάς, η καφέ στην ξηρασία, η μπλε στην πλημμύρα, η κίτρινη στα ακραία φαινόμενα ψύχους και η ροζ στα ακραία καιρικά φαινόμενα. Το συνολικό εύρος όλων των κινδύνων είναι από 1 -το οποίο εμφανίστηκε στην πλημμύρα- έως 3,9 -το οποίο εμφανίστηκε στην ξηρασία. Σε όλες τις περιοχές εκτός από την Κρήτη και το Νότιο Αιγαίο, η πυρκαγιά παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές. Σε αυτά τα νησιά μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζει η ξηρασία, η οποία και στις υπόλοιπες περιφέρειες έχει αρκετά υψηλή τιμή. Στη βόρεια Ελλάδα, τα ακραία φαινόμενα ψύχους έχουν υψηλότερη τιμή από τα ακραία θερμά επεισόδια, ενώ παρατηρείται το αντίθετο για μικρότερα γεωγραφικά πλάτη. Σε όλες τις περιφέρειες η πλημμύρα έχει τις μικρότερες μέσες τιμές και ειδικά στο Αιγαίο, την Πελοπόννησο και την Κρήτη. Στη Θεσσαλία και την Κεντρική Μακεδονία, και οι πέντε κλιματικοί κίνδυνοι παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές.



Σχήμα 5-65: Χωρική απεικόνιση σε επίπεδο περιφέρειας του συνόλου των υπό μελέτη κλιματικών κινδύνων για την κλιματική περίοδο 1981-2010

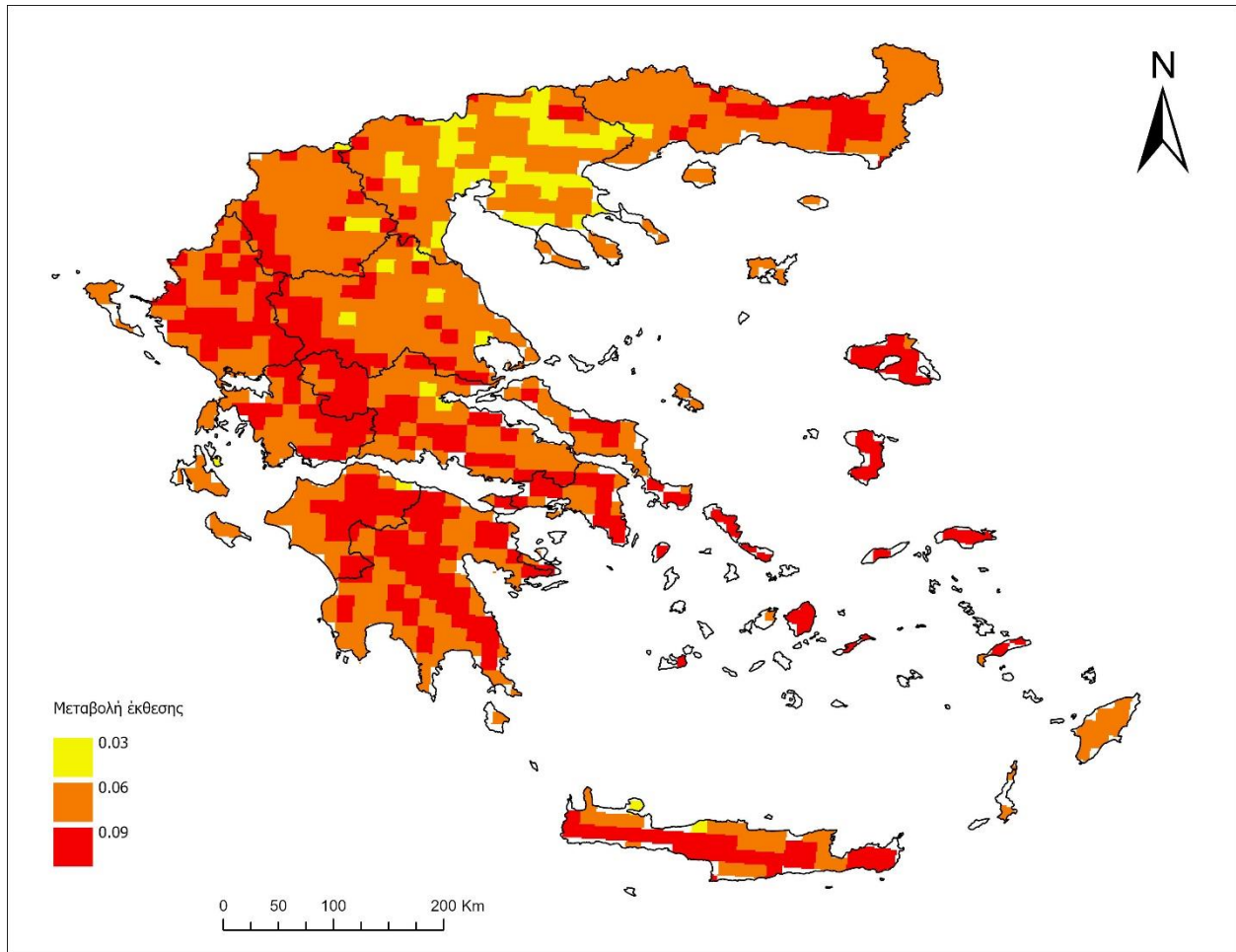
5.6 Εκτίμηση Δυνητικών Επιπτώσεων της μελλοντικής περιόδου

Με σκοπό τον υπολογισμό τη μεταβολή των δυνητικών επιπτώσεων του κάθε κινδύνου που αναμένονται την περίοδο 2026-2045 σε σύγκριση με την περίοδο 1981-2010 σύμφωνα με κλιματικές προσομοιώσεις για το δυσμενέστερο σενάριο RCP 8.5, υπολογίστηκε η μεταβολή της έκθεσης για κάθε κίνδυνο και κάνοντας τη θεώρηση ότι η ευαισθησία στους κινδύνους παραμένει σταθερή, συντέθηκαν οι τελικοί δείκτες μεταβολής των δυνητικών επιπτώσεων. Στην συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες μεταβολής της έκθεσης και των δυνητικών επιπτώσεων ανά κίνδυνο.

5.6.1 Δασική πυρκαγιά

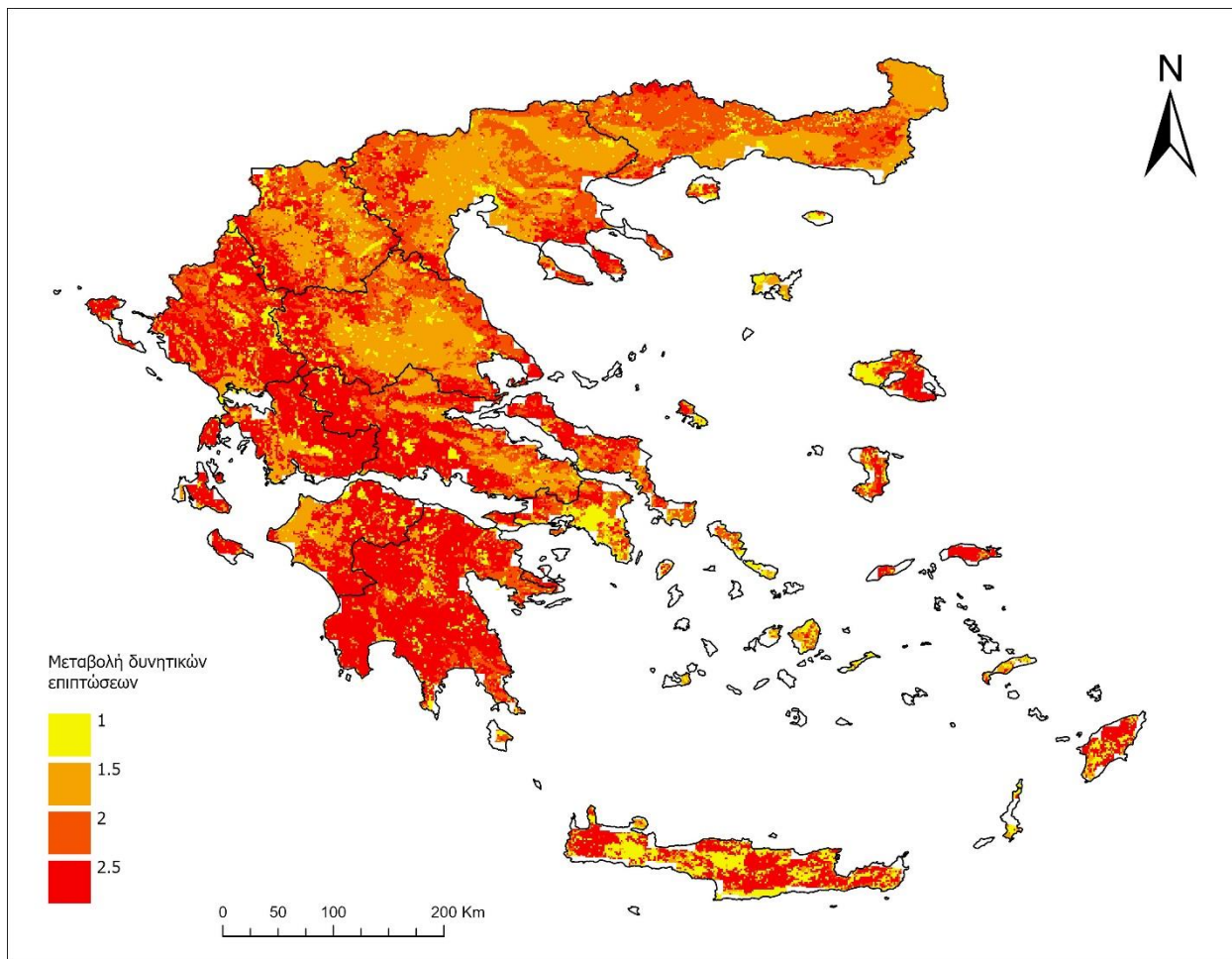
Η έκθεση παρουσιάζει μικρή αύξηση για τον κίνδυνο της πυρκαγιάς. Ειδικότερα, ο συνδυαστικός δείκτης έχει τιμές αύξησης από 0,03 έως 0,09 στη κλίμακα των τάξεων (Σχήμα 5-66). Οι περιοχές που παρουσιάζουν σχεδόν μηδενική μεταβολή είναι η ένα μεγάλο μέρος της Κεντρικής Μακεδονίας και περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας, της Θεσσαλίας και της Στερεάς Ελλάδας. Αντίθετα, οι περιοχές τη

μεγαλύτερη μεταβολή έκθεσης είναι τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, μεγάλη έκταση της Κρήτης, της Πελοποννήσου, της Αττικής η οροσειρά της Πίνδου.



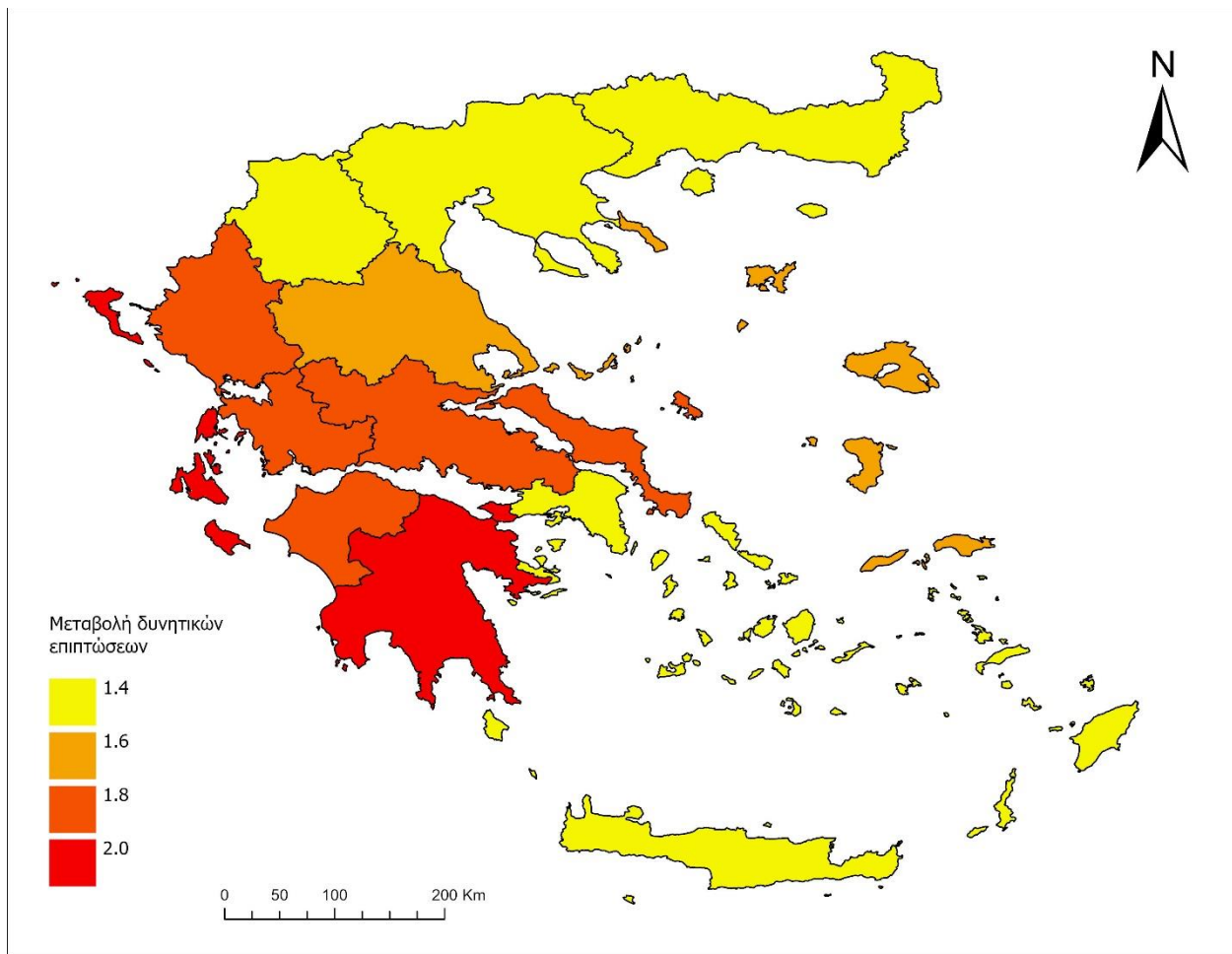
Σχήμα 5-66: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης της δασικής πυρκαγιάς για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

Συνδυάζοντας την προαναφερθείσα έκθεση με την ευαισθησία, δηλαδή την καύσιμη ύλη, παρήχθη ο ακόλουθος χάρτης, ο οποίος παρουσιάζει τη μεταβολή των δυνητικών επιπτώσεων (Σχήμα 5-67). Στο χάρτη διακρίνεται αύξηση των επιπτώσεων από 1 έως 2,5 τάξεις. Πιο αναλυτικά, στις περιοχές της δυτικής Ελλάδας, του 50% της Κρήτης και της Πελοποννήσου προβλέπεται αύξηση έως και 2,5 τάξεις σχεδόν σε όλη την έκτασή τους. Η κεντρική και βόρεια Ελλάδα εμφανίζει μικρότερη αύξηση, ενώ η Αττική και το 50% της Κρήτης εμφανίζουν μεταβολή κατά μία τάξη.



Σχήμα 5-67: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της δασικής πυρκαγιάς για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

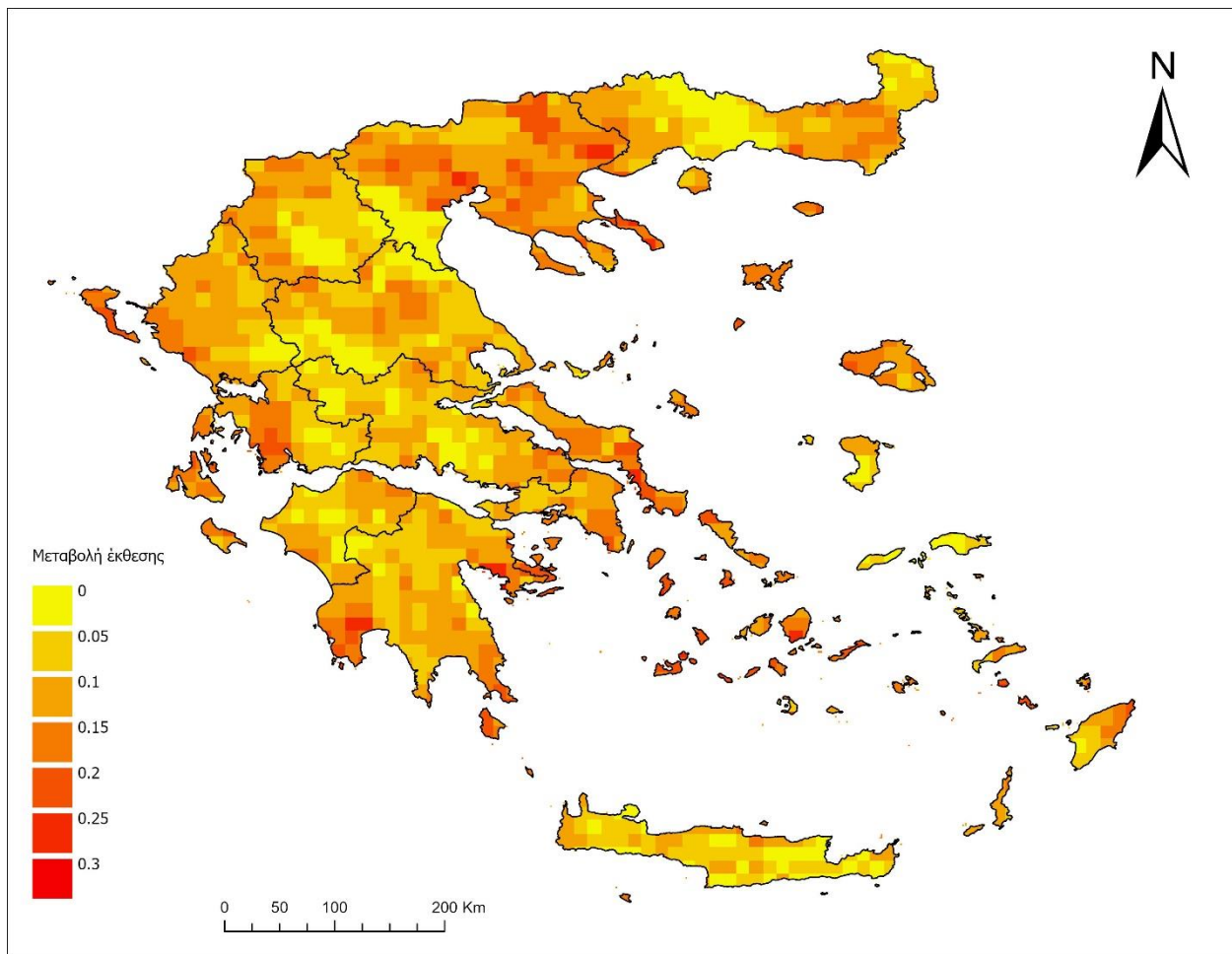
Οι μέσες τιμές της μεταβολής των δυνητικών επιπτώσεων ανά περιφέρεια παρουσιάζονται αντίστοιχα στο Σχήμα 5-68. Παρατηρείται αύξηση των τάξεων από 1,4 έως 2. Την τιμή 2 φτάνουν οι περιφέρειες της Πελοποννήσου και τα νησιά του Ιονίου ενώ οι υπόλοιπες περιφέρειες εκτιμάται να έχουν μικρότερη αύξηση της τάξης δυνητικών επιπτώσεων.



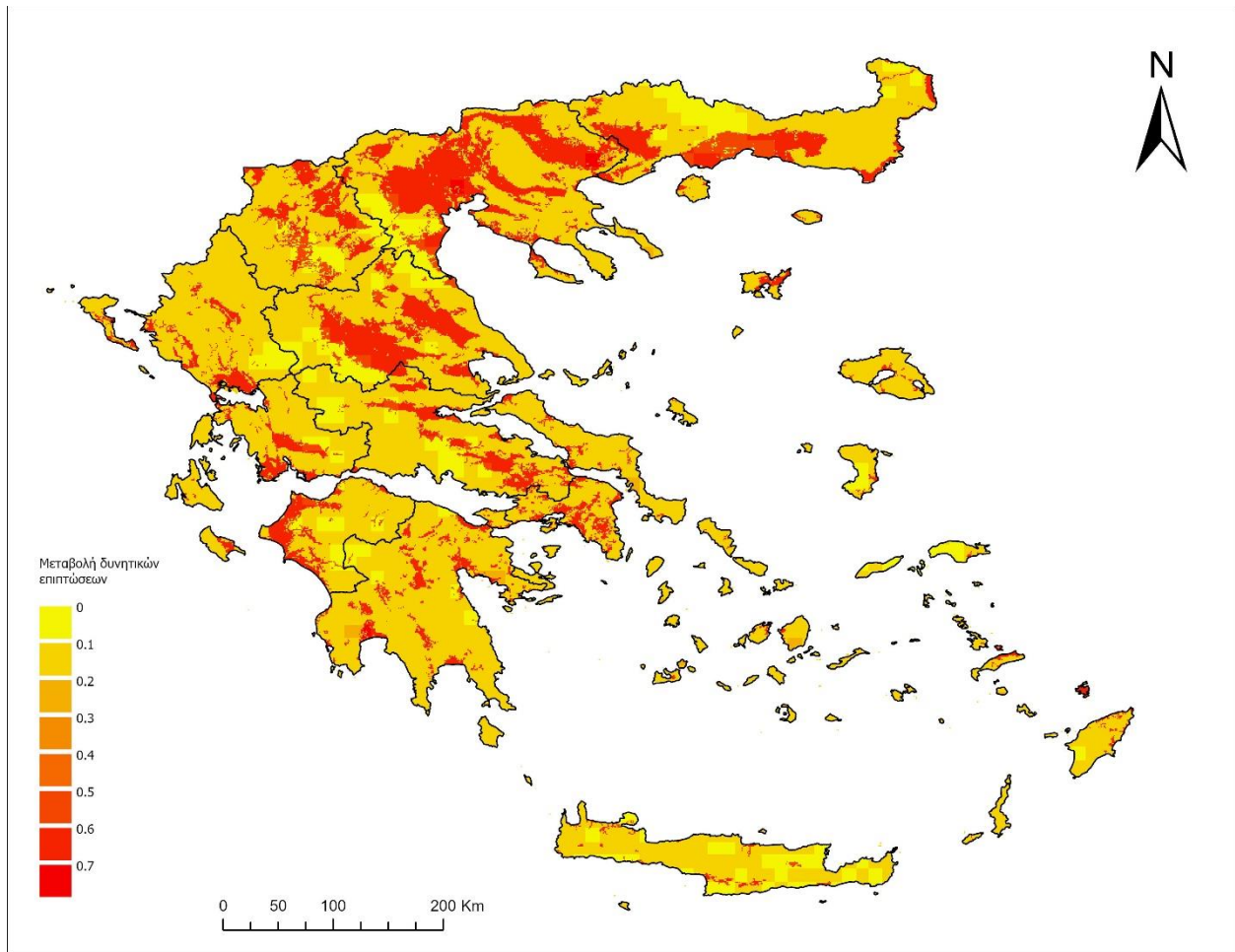
Σχήμα 5-68: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της δασικής πυρκαγιάς ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

5.6.2 Πλημμύρα

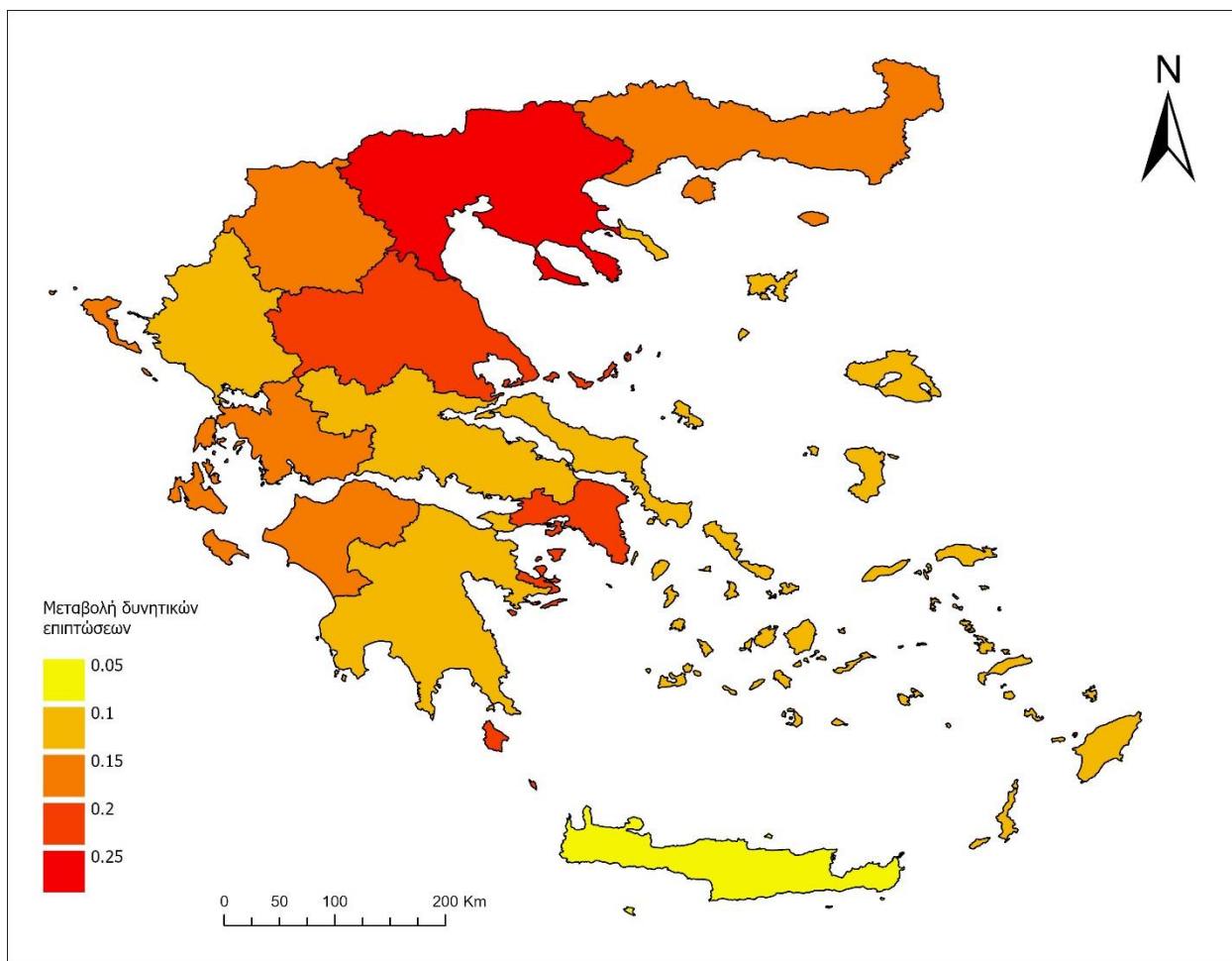
Οι μεταβολές του συνδυαστικού δείκτη της έκθεσης του κινδύνου της πλημμύρας έχει θετικές τιμές, οι οποίες κυμαίνονται από 0 και δεν ξεπερνούν το 0,3, άρα προβλέπεται αύξηση των δυνητικών επιπτώσεων (Σχήμα 5-69). Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές αύξησης εντοπίζονται στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου Πελάγους, στην Κεντρική Μακεδονία και τοπικά σε κάποιες παράκτιες περιοχές. Μηδενική μεταβολή παρατηρείται στην Ανατολική Μακεδονία, σε ορισμένες περιοχές της Κρήτης και στα όρια των περιφερειών της βορειοδυτικής χώρας. Ο αντίστοιχος χάρτης μεταβολής των δυνητικών επιπτώσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-70 και η μέση τιμή του ανά περιφέρεια στο Σχήμα 5-71.



Σχήμα 5-69: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης της πλημμύρας για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010



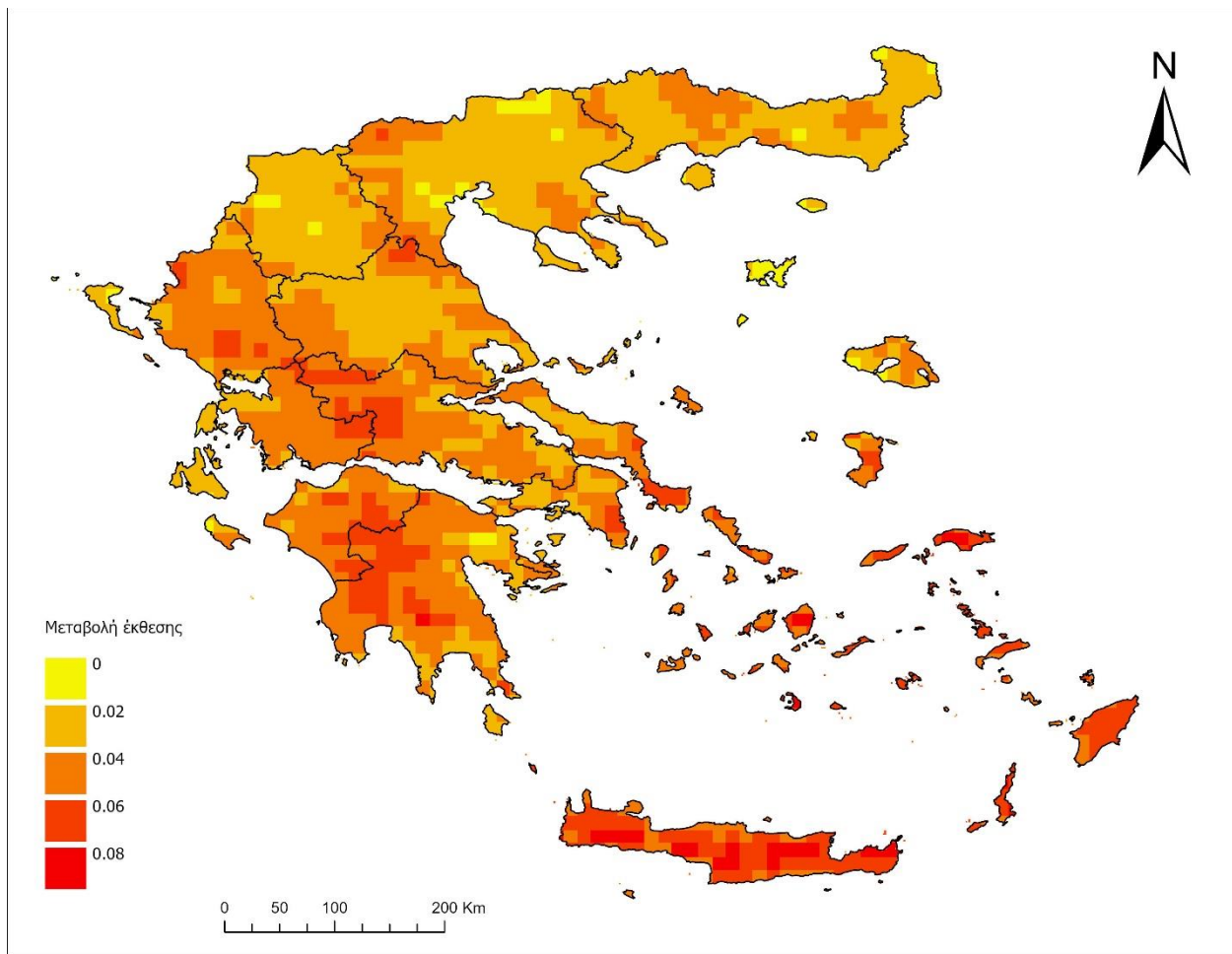
Σχήμα 5-70: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010



Σχήμα 5-71: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης πλημμύρας ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

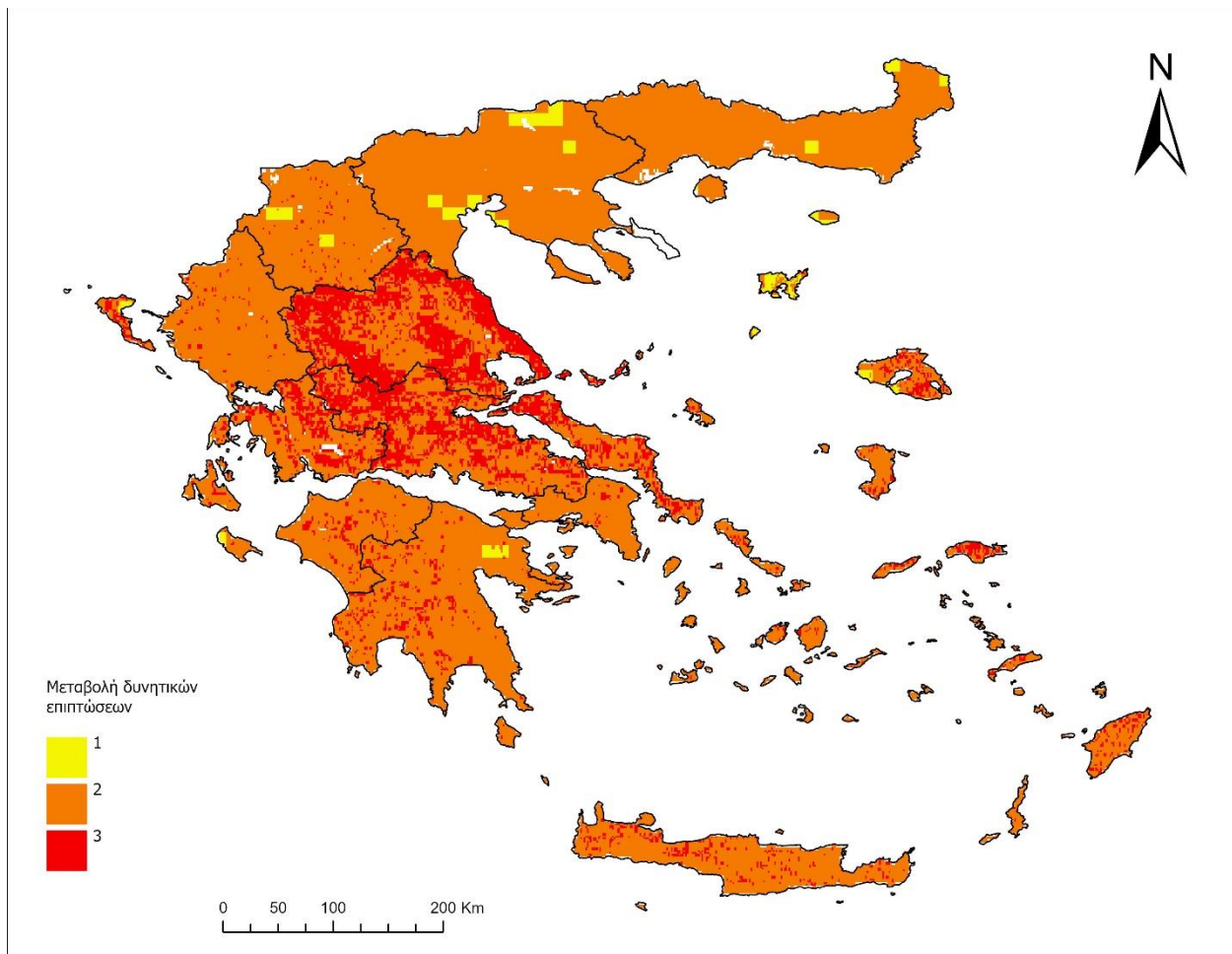
5.6.3 Ξηρασία

Ο κίνδυνος της ξηρασίας έχει μικρή αύξηση τάξης, η οποία δεν ξεπερνά το 0,08 (Σχήμα 5-72). Οι περιοχές στις οποίες η αύξηση της έκθεσης είναι μεγαλύτερη είναι η Κρήτη και τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου. Μικρές αυξήσεις συναντώνται στην κεντρική Πελοπόννησο και στην Πίνδο. Τέλος, μηδενική ή πολύ μικρή αύξηση του βαθμού έκθεσης εμφανίζεται στο μεγαλύτερο τμήμα της Μακεδονίας και της Θράκης και στην κεντρική Θεσσαλία.

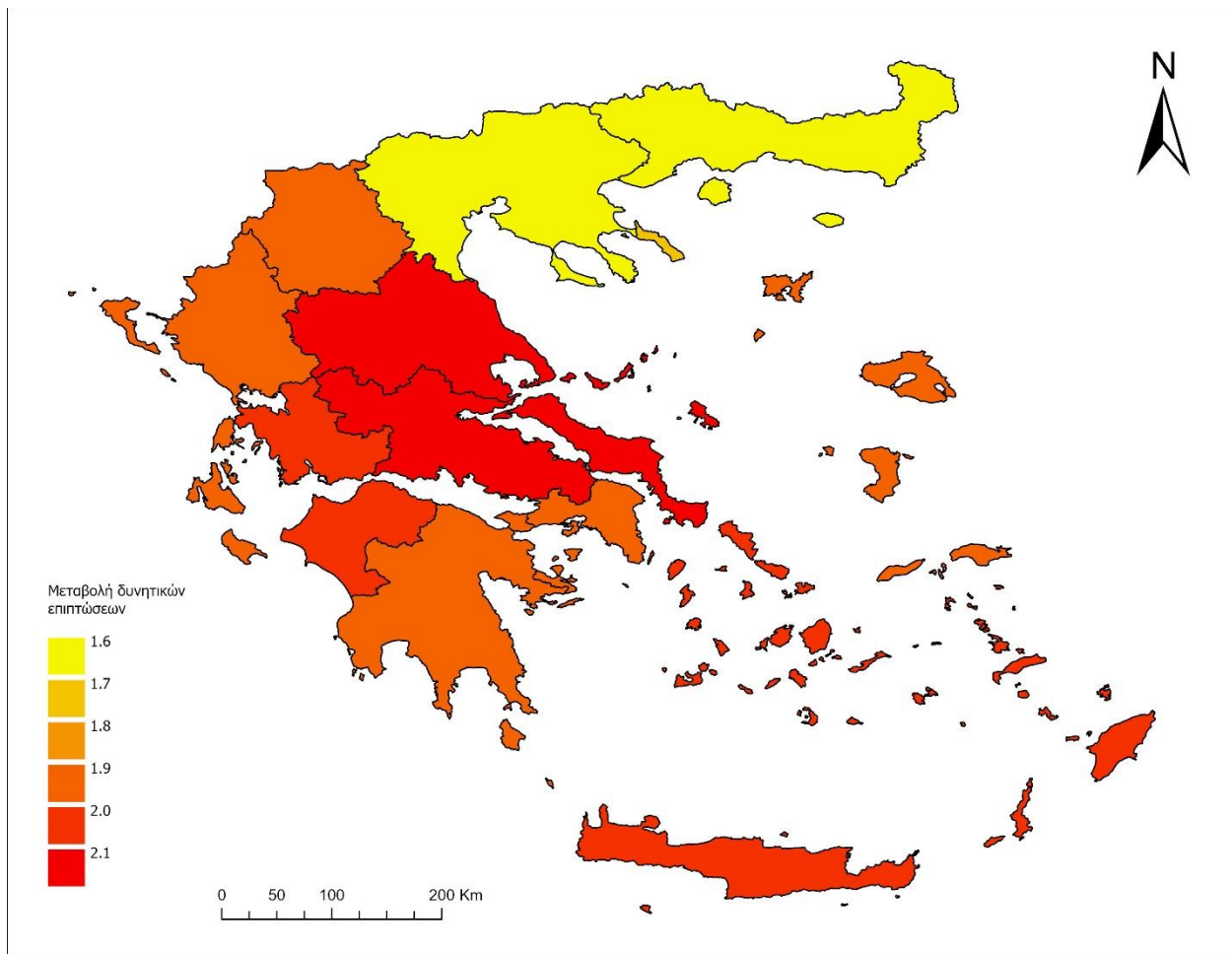


Σχήμα 5-72: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης της ξηρασίας για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

Αναφορικά με το χάρτη των μεταβολών της εκτίμησης των δυνητικών επιπτώσεων (Σχήμα 5-73), προέκυψε από το συνδυασμό του προηγούμενου χάρτη της έκθεσης με τους δείκτες ευαισθησίας της ξηρασίας που παρουσιάστηκαν για το διάστημα 1981-2010 να παραμένουν σταθεροί, το μεγαλύτερο μέρος της χώρας εμφανίζει αύξηση κατά 2 τάξεις, ενώ υπάρχουν περιοχές, κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα με μικρότερη αύξηση περίπου 1 τάξη. Παρόλα αυτά, η Θεσσαλία στην περισσότερη έκτασή της, η Στερεά Ελλάδα και η βόρεια Δυτική Ελλάδα, υπολογίζονται με αύξηση κατά 3 τάξεις. Ο αντίστοιχος χάρτης ανά περιφέρεια παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-74.



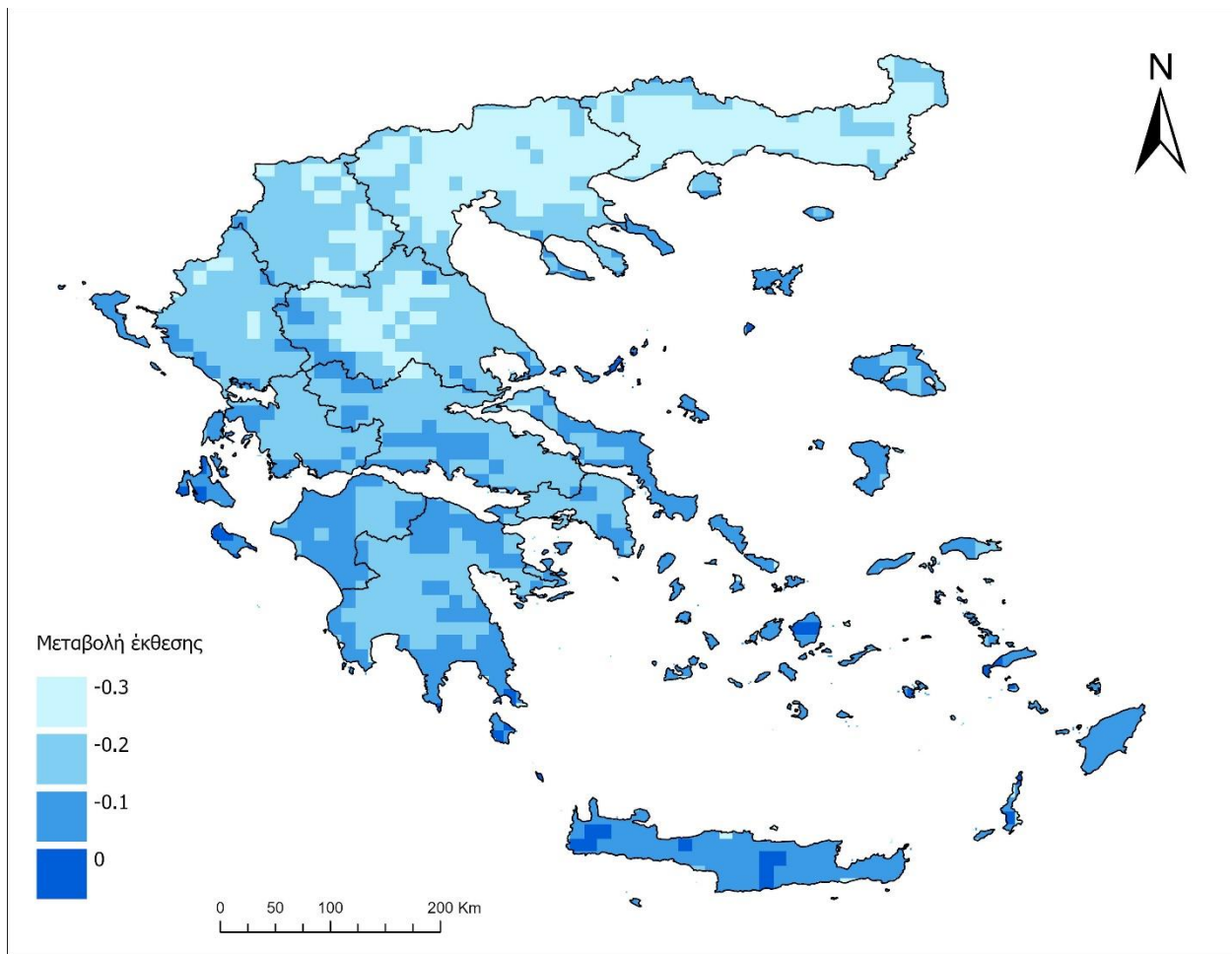
Σχήμα 5-73: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων της ξηρασίας για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010



Σχήμα 5-74: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης της ξηρασίας ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

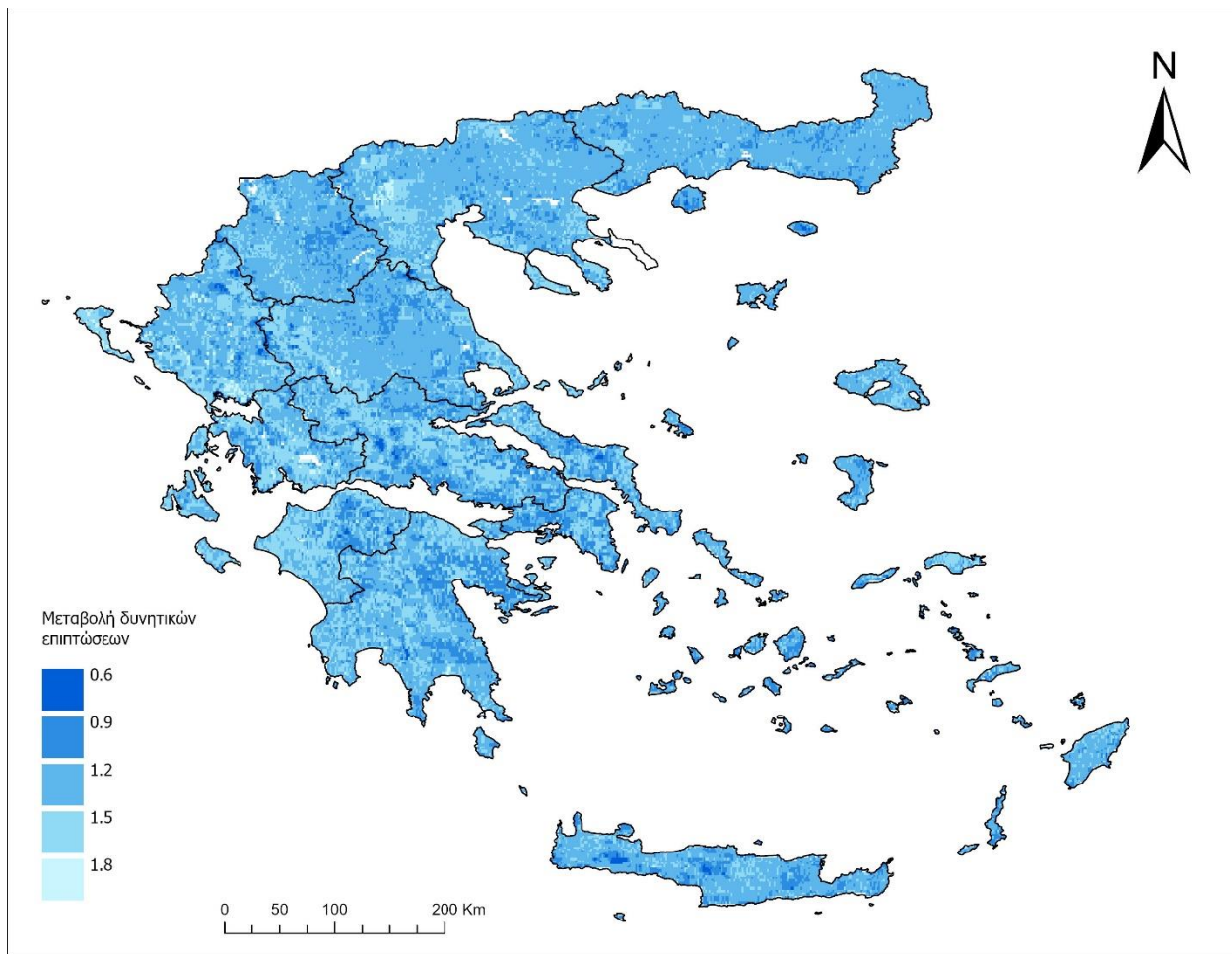
5.6.4 Ακραία επεισόδια ψύχους

Ο χάρτης των ακραίων επεισοδίων εμφανίζει διαφορετική συμπεριφορά από τους υπόλοιπους. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές της έκθεσης είναι μηδενικές ή μειώνονται από το 1981-2010 στο 2026-2045. Τα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου εμφανίζουν μηδενική αλλαγή, ενώ στα πιο βόρεια της χώρας η έκθεση μειώνεται από 0,1 έως 0,3 τάξεις. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη μείωση είναι η Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία και η Θράκη. Επιπλέον, σε κάποιες περιοχές της Θεσσαλίας και της ανατολικής Δυτικής Μακεδονίας εμφανίζεται επίσης μείωση της έκθεσης (Σχήμα 5-75).

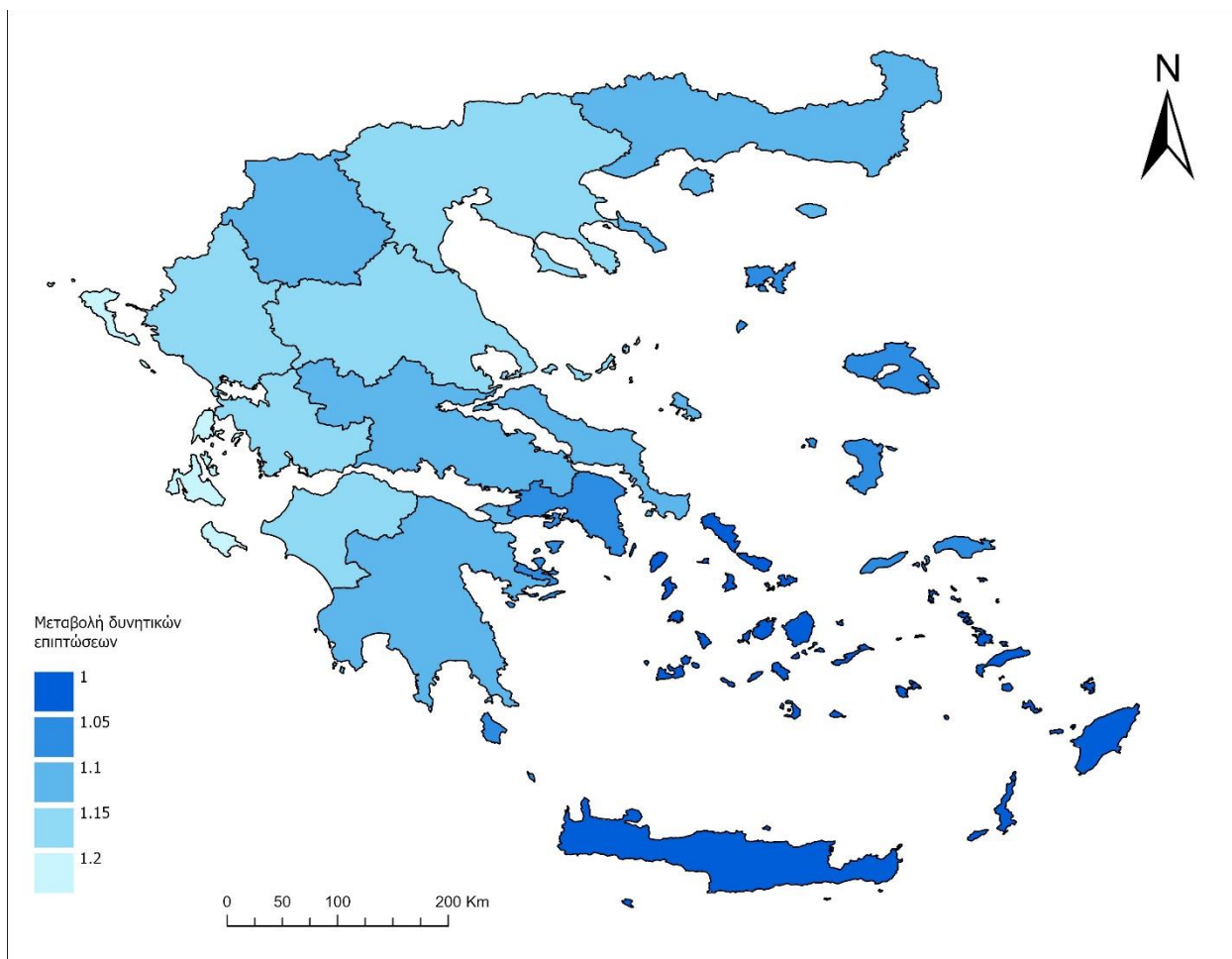


Σχήμα 5-75: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης των ακραίων επεισοδίων ψύχους για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

Για την εκτίμηση της μεταβολής των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων επεισοδίων ψύχους, συνηπολογίστηκε ο συνδυαστικός δείκτης της έκθεσης με την ευαισθησία που είχε υπολογιστεί κατά το διάστημα 1981-2010, καθώς θεωρείται σταθερή. Το αποτέλεσμα αποτυπώνεται στο χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 5-76) και οι τιμές μείωσης είναι από 0,6 έως 1,8 τάξεις, ενώ αντίστοιχα η μέση τιμή ανά περιφέρεια στο χάρτη του Σχήματος 5-77. Η μεγαλύτερη μείωση των δυνητικών επιπτώσεων όπως αναμένεται παρουσιάζεται στην νότια Ελλάδα.



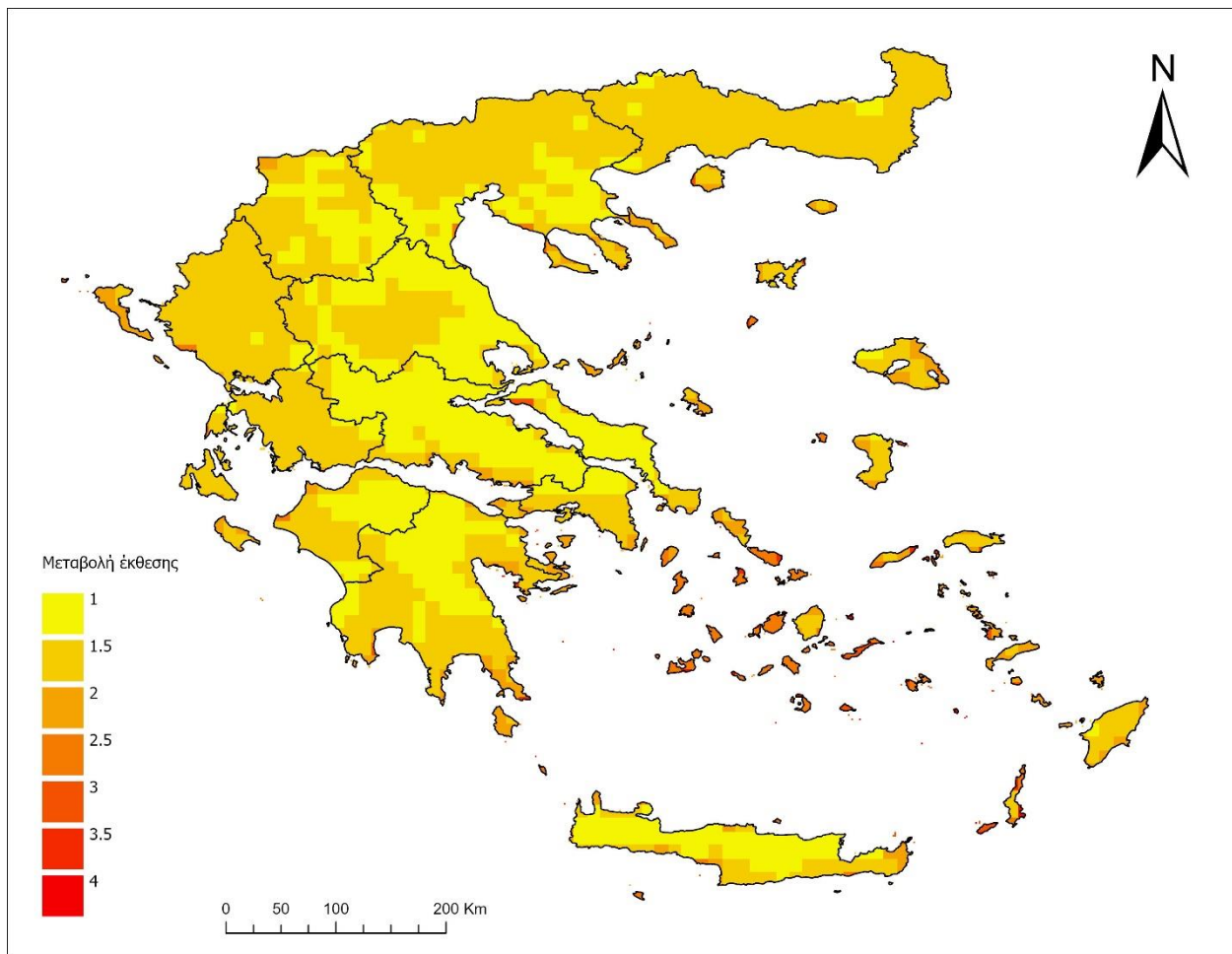
Σχήμα 5-76: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων επεισοδίων ψύχους για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010



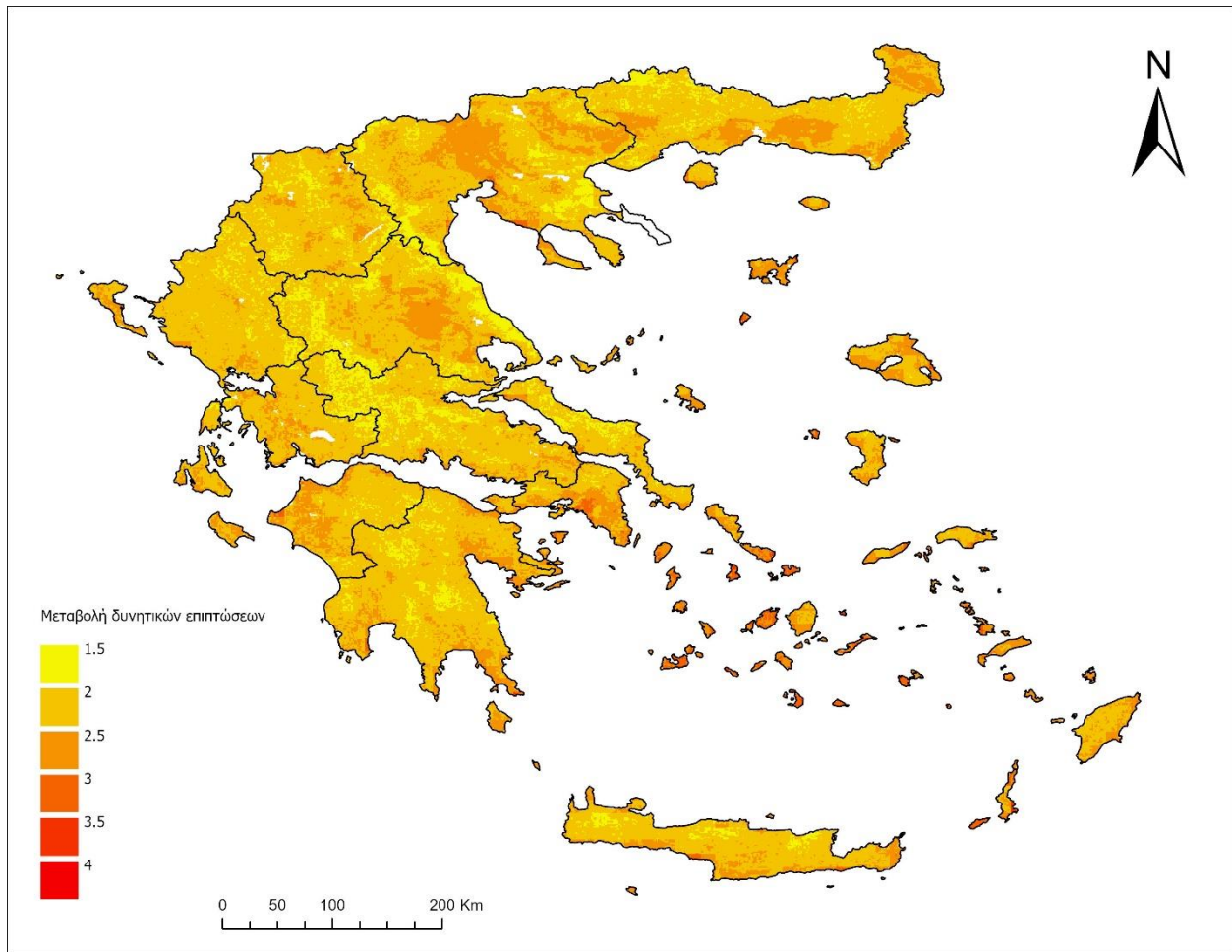
Σχήμα 5-77: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης των ακραίων επεισοδίων ψύχους ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

5.6.5 Ακραία θερμά επεισόδια.

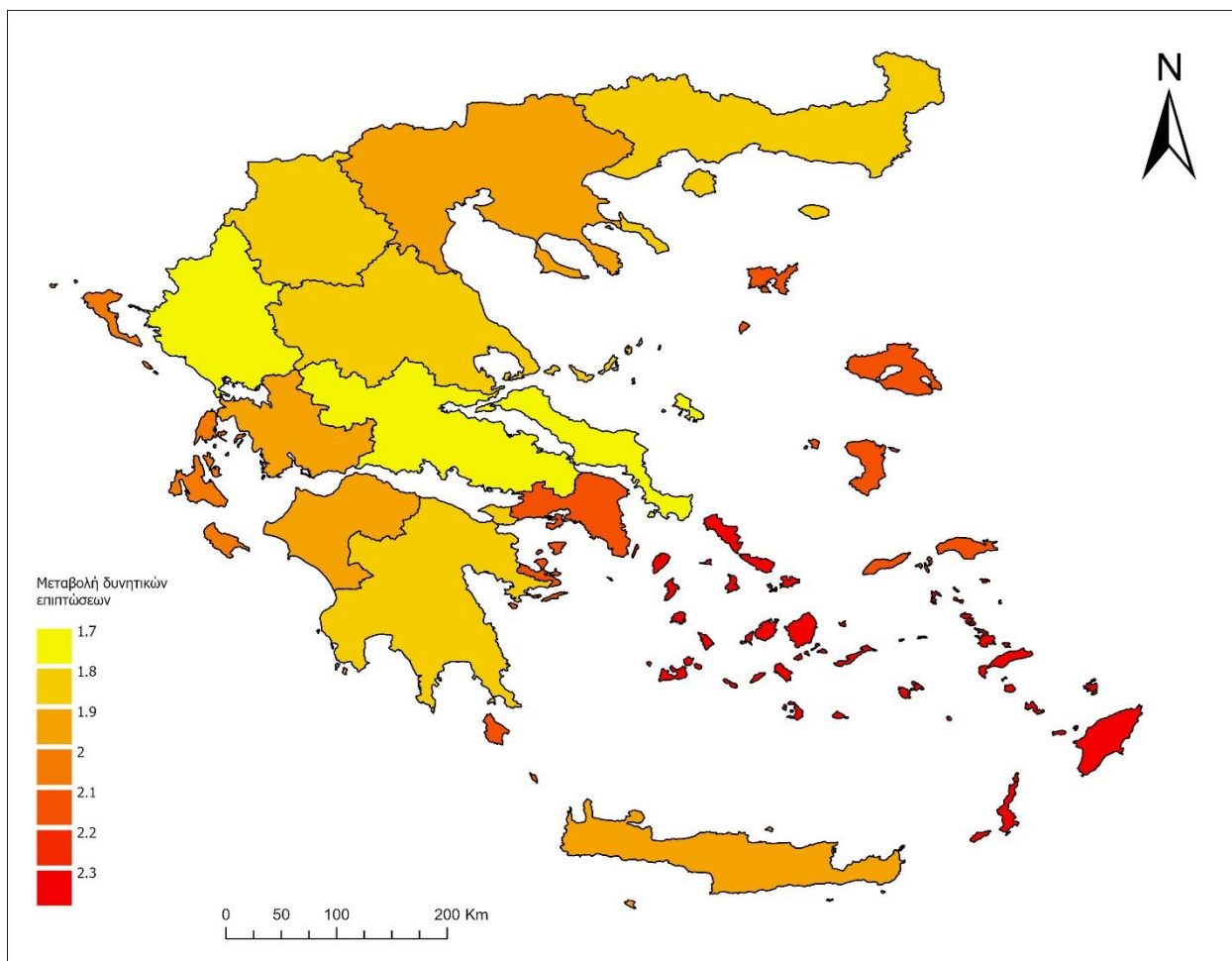
Η έκθεση των ακραίων θερμών επεισοδίων προβλέπεται ότι θα παρουσιάσει μεγάλη αύξηση. Ειδικότερα, εμφανίζονται τιμές αύξησης από 1 έως 4 τάξεις. Η μεγαλύτερη έκταση της χώρας έχει τιμές μεταβολής κατά 1 και 1,5 τάξη, καθώς και τα περισσότερα νησιά. Υπάρχουν όμως κάποιες περιοχές περιμετρικά της ηπειρωτικής χώρας και στα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων, όπου η αύξηση του βαθμού έκθεσης είναι από 2 έως και 4 τάξεις (Σχήμα 5-78). Αντίστοιχα στις δυνητικές επιπτώσεις στην μεγαλύτερη έκταση της χώρας, παρατηρείται αύξηση κατά 2 τάξεις (Σχήμα 5-79). Σε ορισμένες περιοχές κάθε περιφέρειας ο βαθμός αύξησης των επιπτώσεων είναι λίγο μικρότερος, δηλαδή 1,5 ή λίγο μεγαλύτερος, δηλαδή 2,5. Οι περιοχές στις οποίες η αύξηση είναι από 3 τάξεις και πάνω είναι ορισμένα νησιά των Κυκλάδων και μικρές περιοχές της Αττικής. Η αύξηση των δυνητικών επιπτώσεων ανά περιφέρεια παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-80.



Σχήμα 5-78: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης του συνδυαστικού δείκτη έκθεσης των ακραίων θερμών επεισοδίων για την Ελλάδα μεταξύ των κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

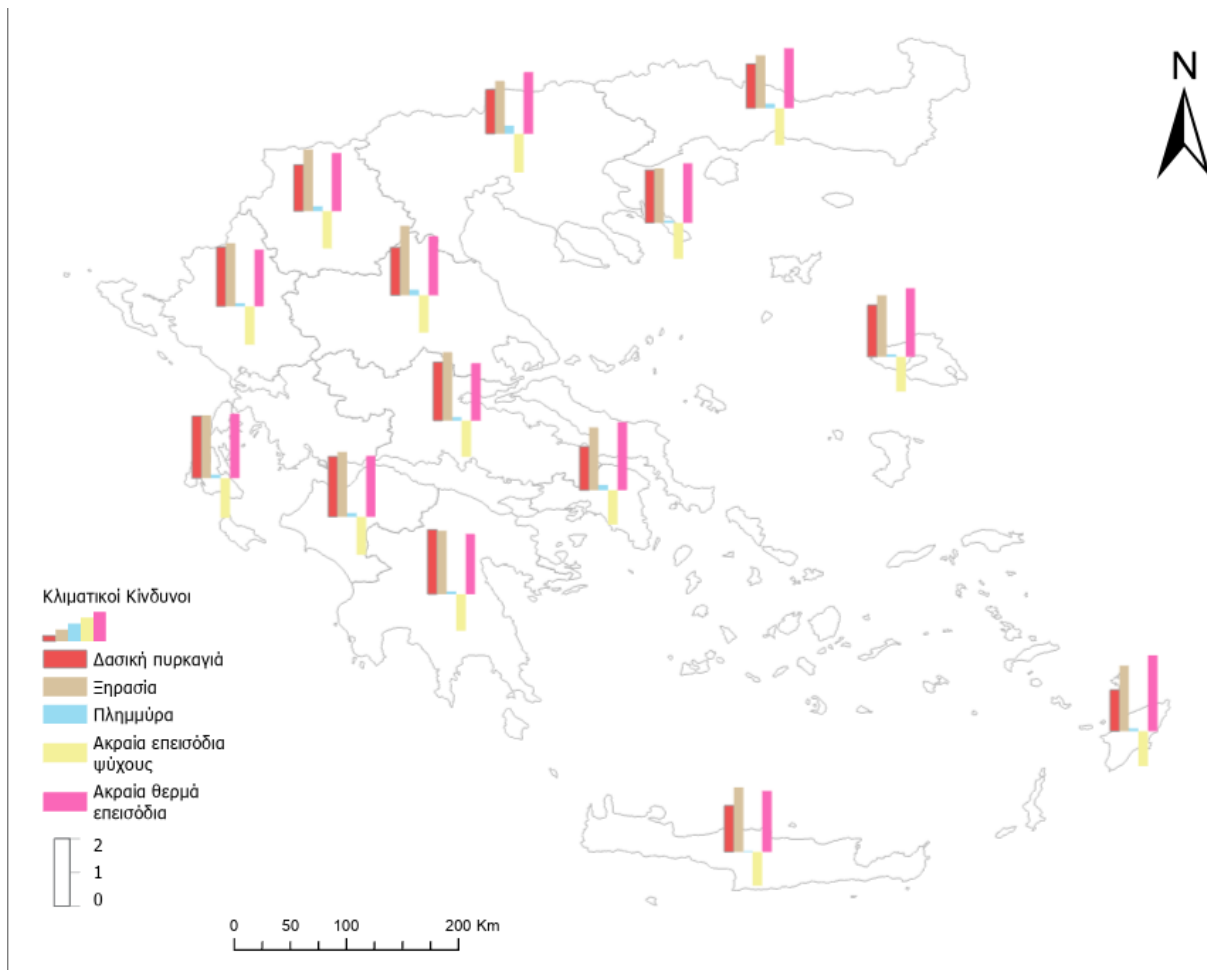


Σχήμα 5-79: Χωρική κατανομή της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων των ακραίων θερμών επεισοδίων για την Ελλάδα μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010



Σχήμα 5-80: Χωρική κατανομή των μέσων τιμών της μεταβολής της τάξης των ακραίων θερμών επεισοδίων ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

Τέλος, παρουσιάζεται ο χάρτης που αποτυπώνει την εκτίμηση των μεταβολών των τάξεων των δυνητικών επιπτώσεων για το σύνολο των δεικτών ανά περιφέρεια μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010 (Σχήμα 5-81). Οι διαφορετικοί κίνδυνοι ακολουθούν χρωματική κωδικοποίηση, όπως φαίνεται στο υπόμνημα της εικόνας αυτής, ίδιο με αυτή του χάρτη στο Σχήμα 5-65. Το συνολικό εύρος όλων των κινδύνων είναι από -1,2 -το οποίο εμφανίστηκε στα ακραία επεισόδια ψύχους- έως 2,3 -το οποίο εμφανίστηκε στα ακραία θερμά επεισόδια. Ο κίνδυνος της πλημμύρα εμφανίζει σημαντικά μικρότερες μεταβολές σε όλες τις περιφέρειες, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους. Στις περισσότερες περιφέρειες της χώρας, η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρείται στην ξηρασία, η οποία εκτιμάται να μεταβληθεί κατά δύο τάξεις στη Θεσσαλία και τη Στερεά Ελλάδα. Ιδιαίτερα υψηλές εκτιμώνται τα ακραία θερμά επεισόδια στα νησιά του Αιγαίου καθώς δύναται να αυξηθούν κατά δύο τάξεις. Αναφορικά με τον κίνδυνο της πυρκαγιάς, μεγαλύτερες τιμές εμφανίζει στη δυτική χώρα.



Σχήμα 5-81: Χωρική απεικόνιση σε επίπεδο περιφέρειας της μεταβολής της τάξης των δυνητικών επιπτώσεων του συνόλου των υπό μελέτη κλιματικών κινδύνων μεταξύ κλιματικών περιόδων 2026-2045 και 1981-2010

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη των δυνητικών επιπτώσεων από κλιματικούς κινδύνους στην περιοχή της Ελλάδας την παρούσα κλιματική περίοδο (1981-2010) και η εκτίμηση των μεταβολών τους την περίοδο 2026-2045 σύμφωνα με εκτιμήσεις κλιματικών μοντέλων για το δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο RCP 8.5. Η μελέτη εντοπίστηκε στους κλιματικούς κινδύνους της δασικής πυρκαγιάς, της πλημμύρας, της ξηρασίας και των θερμών και ψυχρών επεισοδίων και βασίστηκε στον υπολογισμό κλιματικών δεικτών τόσο από δεδομένα επανα-ανάλυσης με χωρική ανάλυση περίπου 9 km (ERA5-Land) όσο και από κλιματικές προσομοιώσεις με χωρική ανάλυση περίπου τα 12 km. Επίσης αξιοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα για την εξέταση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής της Ελλάδας για τον προσδιορισμό της ευαισθησίας κρίσιμων συστημάτων όπως το αστικό περιβάλλον με έμφαση στην υγεία του πληθυσμού, ο πρωτογενής τομέας με έμφαση στη γεωργία καθώς και τα οικοσυστήματα με έμφαση στα δάση και στους υδατικούς πόρους της χώρας.

Αρχικά, εντοπίστηκαν οι τάσεις που έχουν παρατηρηθεί στην κλιματολογία της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στην περιοχή της Ελλάδας την περίοδο 1971-2022 και εντοπίστηκαν οι διαφορές στις κλιματολογίες της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας καθώς και της βροχόπτωσης τις περιόδους 1971-2000, 1981-2010 και 1991-2020. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν την αύξηση της θερμοκρασίας έως και 0.5 °C την δεκαετία για την μέση και ελάχιστη θερμοκρασία και έως 0.6 °C την δεκαετία για την μέγιστη θερμοκρασία. Οι περιοχές με την μεγαλύτερη αύξηση είναι στην Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε μεταβολές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή της Νοτιοανατολικής Ευρώπης και στο ισχυρότερο σήμα της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή. Σχετικά με την εξέταση των τάσεων της ετήσιας βροχόπτωσης εντοπίζονται περιοχές με τάση αύξησης αλλά και εκτεταμένες περιοχές με τάση μείωσης κυρίως στην Νότια και Κεντρική Ελλάδα. Χαρακτηριστικά, η τάση μείωσης στην περιοχή της Αθήνας είναι έως και 8 mm την δεκαετία ενώ στον Θεσσαλικό κάμπο έως και 7 mm την δεκαετία. Τα αποτελέσματα των μεταβολών στην κλιματολογία των μέσων τιμών των μετεωρολογικών παραμέτρων αναδεικνύουν την σημαντικότητα της επιλογής τις πιο αντιπροσωπευτικής τριακονταετίας για την χρήση των δεδομένων ως περιόδου αναφοράς σε μελέτες της κλιματικής αλλαγής.

Σχετικά με τις τάσεις μεταβολής ακραίων γεγονότων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας εξετάστηκαν επίσης και οι διαχρονικές μεταβολές στους δείκτες R20mm (πλήθος ημερών ανά έτος με ύψος βροχής μεγαλύτερο των 20mm) και TXge35 (πλήθος ημερών ανά έτος με μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη των 35 °C). Τα αποτελέσματα ως προς την τάση αύξησης του δείκτη TXge35 αναδεικνύουν τις περιοχές που έχει παρατηρηθεί τα τελευταία έτη η σημαντικότερη αύξηση των ακραίων θερμών επεισοδίων που εντοπίζονται στα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας όπως η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη και η Πάτρα καθώς και στον Θεσσαλικό κάμπο. Όσον αφορά την μελέτη των τάσεων των ακραίων γεγονότων βροχόπτωσης τα χωρικά πρότυπα που εντοπίστηκαν είναι σε μεγάλη συμφωνία με τα αντίστοιχα της μελέτης για το συνολικό βροχομετρικό ύψος ανά έτος. Ειδικότερα, ως προς την ακραία βροχόπτωση μοντελοποιήθηκαν οι ακραίες τιμές της με τη χρήση της Θεωρίας Ακραίων Τιμών και εντοπίστηκαν οι τιμές του ημερήσιου ύψους βροχής που θα ξεπεραστούν μια φορά τα επόμενα 10, 20 και 50 χρόνια. Οι περιοχές με τα μεγαλύτερα ύψη βροχής εντοπίζονται στην Δυτική Ελλάδα αλλά και στην Ανατολική Θεσσαλία. Πρέπει να σημειωθεί ότι περιορισμό της μεθοδολογίας αποτελεί η χρήση των ιστορικών δεδομένων για την

εκτίμηση του αναμενόμενου ύψους βροχής τα επόμενα έτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της κακοκαιρίας Daniel όπου και λόγω κλιματικής αλλαγής με μεταβολές στην κυκλοφορία και στην αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, οδήγησε σε ύψος βροχής στην περιοχή που ξεπέρασε τα 700 mm. Η ανάλυση για τις ακραίες τιμές βροχόπτωσης, ενώ εντοπίζει με ακρίβεια τις περιοχές κινδύνου στην περίπτωση της κακοκαιρίας Daniel, υποεκτιμά το συνολικό ύψος βροχής.

Σχετικά με τους κλιματικούς κινδύνους, η προσέγγιση της σύνθεσης της έκθεσης και της ευαισθησίας των υπό μελέτη περιβαλλοντικών συστημάτων ανέδειξε σημαντικά αποτελέσματα που δυνητικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο της προσαρμογής και του μετριασμού των επιπτώσεων των κλιματικών κινδύνων. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων η προσαρμοστική ικανότητα των συστημάτων θεωρήθηκε μηδενική με αποτέλεσμα οι δυνητικές επιπτώσεις των κινδύνων στα συστήματα που παρουσιάζονται να είναι οι μέγιστες δυνατές. Τα αποτελέσματα για την δασική πυρκαγιά αναδεικνύουν τον αυξημένο κίνδυνο που διατρέχει η Νότια Ελλάδα και την αύξηση των δυνητικών επιπτώσεων που αναμένεται την εικοσαετία 2026-2045. Αντίστοιχα, σε όλη την ελλαδική χώρα αναμένεται να ενταθούν τα θερμά επεισόδια, ιδιαίτερα στην Ανατολική Ελλάδα και στην νησιωτική χώρα. Τα συστήματα που αναμένεται να επηρεαστούν σημαντικά από την ανωτέρω μεταβολή είναι η υγεία του πληθυσμού στα αστικά κέντρα, η αγροτική παραγωγή και η κτηνοτροφία. Έμφαση πρέπει να δοθεί στην προσαρμογή του τομέα του τουρισμού στις περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένη ευπάθεια. Σχετικά με το κίνδυνο πλημμύρας, οι περιοχές επικινδυνότητας σύμφωνα με την ανάλυση ιστορικών στοιχείων από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, αναμένονται στο σύνολο τους να παρουσιάσουν ακόμα μεγαλύτερες δυνητικές επιπτώσεις. Η εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων του κλιματικού κινδύνου της ξηρασίας ανέδειξε ότι οι περιοχές με την υψηλότερη επικινδυνότητα είναι τα νησιά του Αιγαίου, η Κρήτη και η Αττική, ενώ αύξηση εντοπίζεται στην Θεσσαλία και στην Στερεά Ελλάδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναμένεται περαιτέρω πίεση στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους της χώρας για την αποτελεσματικότερη ύδρευση της αγροτικής παραγωγής. Στο πλαίσιο αυτό προτείνεται η χρήση γεωργίας ακριβείας για την καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Προτείνεται μελλοντική έρευνα στην επέκταση της ανάλυσης των δυνητικών επιπτώσεων με τη χρήση επιπλέον κλιματικών προσομοιώσεων διαφορετικών κλιματικών σεναρίων, όπως για παράδειγμα η χρήση προσομοιώσεων από τα μοντέλα του προγράμματος CMIP6. Επιπλέον, η ανάλυση μπορεί να εμπλουτισθεί με την συμπερίληψη επιπλέον κλιματικών κινδύνων, όπως φαινόμενα που σχετίζονται με ισχυρούς ανέμους καθώς και την μελέτη του συνδυασμού κλιματικών κινδύνων, όπως η ξηρασία και τα ακραία θερμά επεισόδια. Η έρευνα μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με διαφορετικά πλαίσια αξιολόγησης της επικινδυνότητας που αναφέρονται στην σύνθεση των επιμέρους δεικτών της έκθεσης, της ευαισθησίας και της προσαρμοστικής ικανότητας ανά περιβαλλοντικό σύστημα που εκτίθεται στους κλιματικούς κινδύνους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A hybrid estimator for generalized pareto and extreme-value distributions: *Communications in Statistics—Theory and Methods*: Vol 27, No 4. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03610929808832136?casa_token=qp0eOAYguclAAAAA:lvVbaGrT0TJO6I1T17t8_A-yvMTb7osZ957I_6UL297GrdST7HKs6GveH2VL2cghBNXBIRXmRMaBWPI
- Adger, W. N., & Brooks, N. (2003). Does global environmental change cause vulnerability to disaster? In *Natural Disaster and Development in a Globalizing World*. Routledge.
- Adger, W. N., & Kelly, P. M. (1999). Social Vulnerability to Climate Change and the Architecture of Entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4(3), 253–266. <https://doi.org/10.1023/A:1009601904210>
- Agathangelidis, I., Cartalis, C., Polydoros, A., Mavrakou, T., & Philippopoulos, K. (2022). Can Satellite-Based Thermal Anomalies Be Indicative of Heatwaves? An Investigation for MODIS Land Surface Temperatures in the Mediterranean Region. *Remote Sensing*, 14(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/rs14133139>
- Alpert, P., Price, C., Krichak, S. O., Ziv, B., Saaroni, H., Osetinsky, I., Barkan, J., & Kishcha, P. (2005). Tropical tele-connections to the Mediterranean climate and weather. *Advances in Geosciences*, 2, 157–160. <https://doi.org/10.5194/adgeo-2-157-2005>
- AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report — IPCC. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 — IPCC. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- Aragoneses, E., García, M., Salis, M., Ribeiro, L. M., & Chuvieco, E. (2023). Classification and mapping of European fuels using a hierarchical, multipurpose fuel classification system. *Earth System Science Data*, 15(3), 1287–1315. <https://doi.org/10.5194/essd-15-1287-2023>
- Bhattacharyya, M., & Ritolia, G. (2008). Conditional VaR using EVT – Towards a planned margin scheme. *International Review of Financial Analysis*, 17(2), 382–395. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2006.08.004>
- Brooks, N., Neil Adger, W., & Mick Kelly, P. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15(2), 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>
- Canadian Forest Service Publications | Natural Resources Canada. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://web.archive.org/web/20180103192246/http://cfs.nrcan.gc.ca/publications/download-pdf/19927>
- Cartalis, C., Synodinou, A., Proedrou, M., Tsangrassoulis, A., & Santamouris, M. (2001). Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: An assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management*, 42(14), 1647–1656. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00156-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00156-4)

- CMES. (2019). Fire danger indices historical data from the Copernicus Emergency Management Service [dataset]. [object Object]. <https://doi.org/10.24381/CDS.0E89C522>
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., Mauri, E., & Vandentorren, S. (2011). Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), 313–323. <https://doi.org/10.1002/joc.2222>
- ESA - Eduspace GR - Παγκόσμια αλλαγή—Δείκτες βλάβστησης. (2013, June 3). European Space Agency. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEMRTITWT1H_0.html
- European Climate Risk Assessment—European Environment Agency. (n.d.). [Publication]. Retrieved March 14, 2024, from <https://www.eea.europa.eu/publications/european-climate-risk-assessment>
- Evaluation and projection of extreme precipitation indices in the Eastern Mediterranean based on CMIP5 multi-model ensemble—Samuels—2018—International Journal of Climatology—Wiley Online Library. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.5334?casa_token=qV8aXLavYA4AAAAA%3Az2TXDR3XoP39QBuMVEhr3AdCEFTn_vp4HaN5xuRYdoisJyzPi7DL5Tp7wP1SlcAWwOJXmfAuXi95IDuEBQ
- Evelpidou, N., Cartalis, C., Karkani, A., Saitis, G., Philippopoulos, K., & Spyrou, E. (2023). A GIS-Based Assessment of Flood Hazard through Track Records over the 1886–2022 Period in Greece. *Climate*, 11(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/cli11110226>
- Geographical Information Systems: A renaissance of geodemographics for public service delivery—Paul Longley, 2005. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1191/0309132505ph528pr?casa_token=WuP35dx3TFcAAAAA:BaGWz14BHebRfmnYkP3WnrqXYfmbJq7YDye5DJ0hXe185dO_vZfrKkzG3Wdi2AkBZRu9kPxp2Hsh8
- Gilbert, R. O. (1987). *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. John Wiley & Sons.
- GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics | Esri. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.esri.com/en-us/home>
- Goklany, I. M. (1995). Strategies to enhance adaptability: Technological change, sustainable growth and free trade. *Climatic Change*, 30(4), 427–449. <https://doi.org/10.1007/BF01093855>
- Gumbel, E. J. (2019). *Statistics of Extremes*. In *Statistics of Extremes*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/gumb92958>
- Hall, D. K., Comiso, J. C., DiGirolamo, N. E., Shuman, C. A., Key, J. R., & Koenig, L. S. (2012). A Satellite-Derived Climate-Quality Data Record of the Clear-Sky Surface Temperature of the Greenland Ice Sheet. *Journal of Climate*, 25(14), 4785–4798. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00365.1>
- Hochman, A., Marra, F., Messori, G., Pinto, J. G., Raveh-Rubin, S., Yosef, Y., & Zittis, G. (2022). Extreme weather and societal impacts in the eastern Mediterranean. *Earth System Dynamics*, 13(2), 749–777. <https://doi.org/10.5194/esd-13-749-2022>
- Hosking, J. R. M. (1990). L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 52(1), 105–124. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x>

- Houssos, E. E., Lolis, C. J., & Bartzokas, A. (2008). Atmospheric circulation patterns associated with extreme precipitation amounts in Greece. *Advances in Geosciences*, 17, 5–11. <https://doi.org/10.5194/adgeo-17-5-2008>
- How zonal statistics tools work—ArcGIS Pro | Documentation. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-zonal-statistics-works.htm>
- Indices. (n.d.-a). Climpect. Retrieved March 9, 2024, from <https://climpect-sci.org/indices>
- Indices. (n.d.-b). Climpect. Retrieved March 10, 2024, from <https://climpect-sci.org/indices>
- Katsoulis, B. D., & Hatzianastassiou, N. (2005). Analysis of hot spell characteristics in the Greek region. *Climate Research*, 28(3), 229–241. <https://doi.org/10.3354/cr028229>
- Keil, M., Esch, T., Divanis, A., Marconcini, M., Metz-Marconcini, A., Ottinger, M., Voinov, S., Wiesner, M., Wurrm, M., & Zeidler, J. (2015). Updating the Land Use and Land Cover Database CLC for the Year 2012—„Backdating“ of DLM-DE of the Reference Year 2009 to the Year 2006. Final Report at the German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, on behalf of the Federal Environment Agency.
- Kushnir, V. A., Barad, D. H., Albertini, D. F., Darmon, S. K., & Gleicher, N. (2017). Systematic review of worldwide trends in assisted reproductive technology 2004–2013. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 15(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s12958-016-0225-2>
- Landsat Science. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., Hannides, C., Lange, M. A., Tanarhte, M., Tyrlis, E., & Xoplaki, E. (2012). Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change*, 114(3), 667–687. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4>
- Loveland, T. R., & Irons, J. R. (2016). Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. *Remote Sensing of Environment*, 185, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.033>
- Luvall, J. C., Quattrochi, D. A., Rickman, D. L., & Estes, M. G. (2015a). BOUNDARY LAYER (ATMOSPHERIC) AND AIR POLLUTION | Urban Heat Islands. In G. R. North, J. Pyle, & F. Zhang (Eds.), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)* (pp. 310–318). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00442-4>
- Luvall, J. C., Quattrochi, D. A., Rickman, D. L., & Estes, M. G. (2015b). BOUNDARY LAYER (ATMOSPHERIC) AND AIR POLLUTION | Urban Heat Islands. In G. R. North, J. Pyle, & F. Zhang (Eds.), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)* (pp. 310–318). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00442-4>
- Maslin, M. (2016). In Retrospect: Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature*, 540, 208–210. <https://doi.org/10.1038/540208a>
- Nanda, A. M., Yousuf, M., Tali, P. A., Ul Hussan, Z., & Ahmed, P. (2022). Assessment of earthquake-triggered landslides along NH 1D in J&K, India: Using multivariate approaches. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(3), 3679–3686. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01322-1>
- NASA. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.nasa.gov/>
- NASA Ocean Color. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
- Pappas, C., Hatzianastassiou, N., & Katsoulis, B. D. (2004). Analysis of cold spells in the Greek region. *Climate Research*, 27(3), 211–223. <https://doi.org/10.3354/cr027211>
- Parry, M. L. (2007). *Climate Change 2007 - Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press.

- Pelling, M., & Uitto, J. I. (2001). Small island developing states: Natural disaster vulnerability and global change. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 3(2), 49–62. <https://doi.org/10.3763/ehaz.2001.0306>
- Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation—IPCC. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>
- 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—English. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/guidances/risk-supplement-to-the-vulnerability-sourcebook-guidance-on-how-to-apply-the-vulnerability-sourcebook2019s-approach-with-the-new-ipcc-ar5-concept-of-climate-risk>
- Rummukainen, M. (2012). Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3. <https://doi.org/10.1002/wcc.160>
- ScholarSpace -, -. (n.d.). Research Guides: All About Images: Raster vs. Vector Images. Retrieved March 10, 2024, from <https://guides.lib.umich.edu/c.php?g=282942&p=1885352>
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J. T., & Wandel, J. (2000). An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability. In S. M. Kane & G. W. Yohe (Eds.), *Societal Adaptation to Climate Variability and Change* (pp. 223–251). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3010-5_12
- Space observations of inland water bodies show rapid surface warming since 1985—Schneider—2010—*Geophysical Research Letters—Wiley Online Library*. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010GL045059>
- Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years—Cook—2016—*Journal of Geophysical Research: Atmospheres—Wiley Online Library*. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015JD023929>
- Tarolli, P., Borga, M., Morin, E., & Delrieu, G. (2012). Analysis of flash flood regimes in the North-Western and South-Eastern Mediterranean regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(5), 1255–1265. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1255-2012>
- The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements—Jenkinson—1955—*Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society—Wiley Online Library*. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.49708134804?casa_token=sjUhvVuYmIEAAAAA:fH1yBKhcJETw9_5MVQPoj0P_47kj27ZeTpaUhr309yQYkeJcJGjegQ5lg12DsSnKs3dfeGDtbYATNjAu9g
- The P Value and Statistical Significance: Misunderstandings, Explanations, Challenges, and Alternatives—Chittaranjan Andrade, 2019. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.4103/IJPSYM.IJPSYM_193_19
- USGS.gov | Science for a changing world. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.usgs.gov/>
- Wikipedia, the free encyclopedia. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.wikipedia.org/>
- World Meteorological Organization. (n.d.). World Meteorological Organization. Retrieved March 10, 2024, from <https://wmo.int/>

- Wu, X., Hao, Z., Hao, F., Singh, V. P., & Zhang, X. (2019). Dry-hot magnitude index: A joint indicator for compound event analysis. *Environmental Research Letters*, 14(6), 064017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1ec7>
- Xoplaki, E., González-Rouco, J., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Rickli, R., & Wanner, H. (2003). Interannual summer air temperature variability over Greece and its connection to the large-scale atmospheric circulation and Mediterranean SSTs 1950–1999. *Climate Dynamics*, 20(5), 537–554. <https://doi.org/10.1007/s00382-002-0291-3>
- Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinicolaou, P., Howari, F., Jrrar, A., Kaskaoutis, D. G., Kulmala, M., Lazoglou, G., Mihalopoulos, N., Lin, X., Rudich, Y., Sciare, J., Stenchikov, G., ... Lelieveld, J. (2022). Climate Change and Weather Extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics*, 60(3), e2021RG000762. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>
- Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Klangidou, M., Proestos, Y., & Lelieveld, J. (2019). A multi-model, multi-scenario, and multi-domain analysis of regional climate projections for the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2621–2635. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01565-w>
- Δαλέζιος, Ν., & Dalezios, Ν. (2016). Αγρομετεωρολογία: Ανάλυση και προσομοίωση. <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/3730>
- Δούβης, Κ. (2009). Μελέτη των ακραίων κλιματικών φαινομένων στην Ελλάδα με μεθόδους υποκλιμάκωσης [Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας]. <http://hdl.handle.net/10442/hedi/22726>
- Καϊμάρης, Δ., & Καρανικόλας, Ν. (2014). Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (IKEEBOOK-2015-303). Ζήτη. <https://ikee.lib.auth.gr/record/274151>
- Χαλκιάς, Χ., Chalkias, C., Γκούσια, Μ., & Gkousia, M. (2016). Γεωγραφική ανάλυση με την αξιοποίηση της γεωπληροφορικής. <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/4546>