



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ &  
ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ  
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

---

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ & ΒΙΩΣΙΜΗ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ,  
ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ  
ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟ  
ΠΕΝΤΕΛΙΚΟ ΌΡΟΣ**

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΖΑΜΠΥΡΑΣ**

Πειραιάς, Μάιος, 2026



**UNIVERSITY OF PIRAEUS  
SCHOOL OF ECONOMICS, BUSINESS AND  
INTERNATIONAL STUDIES DEPARTMENT OF  
ECONOMICS**

---

**MSc. in Bioeconomy, Circular Economy  
&  
Sustainable Development**

**CLIMATE CHANGE ASSESSMENT OF PHYSICAL,  
SOCIAL AND ECONOMIC IMPACTS ON  
PENTELIKON MOUNTAIN**

**By JOHN TZABIRAS**

**Piraeus, Greece, May 2026**

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλαν να ολοκληρωθεί η διπλωματική αυτή εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπων Καθηγήτρια Δρ. Κ. Κοτταρίδη του τμήματος Οικονομικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς και τον κ. Φ. Τουραλή υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος Οικονομικής Επιστήμης για την σημαντικότερη καθοδήγηση και ουσιαστική συμβολή τους στην διεκπεραίωση της εργασίας μου.

# **Αποτίμηση φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο πεντελικό όρος**

## **Περίληψη**

Η παρούσα εργασία εξετάζει την κλιματική αλλαγή ως ένα πολυπαραγοντικό φαινόμενο με έντονες περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, εστιάζοντας στην περιοχή του Πεντελικού Όρους. Αρχικά παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, η οποία αποδίδεται κυρίως στις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και εκδηλώνεται διεθνώς με αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, μεταβολές στα πρότυπα βροχόπτωσης και ενίσχυση ακραίων καιρικών φαινομένων. Η Μεσόγειος και ειδικότερα η Ελλάδα συγκαταλέγονται στις ιδιαίτερα ευάλωτες περιοχές, καθώς αντιμετωπίζουν αυξανόμενη ξηρασία, συχνότερους καύσωνες και αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών και πλημμυρών, γεγονός που καθιστά αναγκαίο τον σχεδιασμό στρατηγικών προσαρμογής.

Στη συνέχεια, η εργασία αναλύει το φυσικό και γεωγραφικό πλαίσιο του Πεντελικού Όρους, το οποίο αποτελεί σημαντικό οικοσύστημα της Αττικής με πλούσια βιοποικιλότητα, δασικές εκτάσεις και υδρολογικά συστήματα. Παρουσιάζονται οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής, καθώς και η μεθοδολογία υποκλιμάκωσης κλιματικών μοντέλων (GCMs και RCMs), με χρήση σεναρίων εκπομπών (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5) και δεδομένων από έργα όπως το EURO-CORDEX και το LIFE AdaptInGR. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μελλοντικό κλίμα της περιοχής θα χαρακτηρίζεται από αύξηση της θερμοκρασίας, μείωση των βροχοπτώσεων και ενίσχυση της ξηρασίας, ιδιαίτερα στα υψηλά σενάρια εκπομπών.

Ακολούθως, εξετάζονται οι άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο Πεντελικό Όρος. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν σημαντική επιβάρυνση των δασικών οικοσυστημάτων, με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών, απώλεια βιοποικιλότητας και υποβάθμιση των οικοσυστημικών υπηρεσιών. Παράλληλα, οι υδατικοί πόροι δέχονται έντονες πιέσεις λόγω μείωσης της διαθεσιμότητας και αυξημένης ζήτησης, ενώ επηρεάζονται αρνητικά ο τουρισμός, το αστικό περιβάλλον και η ανθρώπινη υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές

έχουν σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές προεκτάσεις, καθώς επηρεάζουν την ποιότητα ζωής και αυξάνουν το κόστος διαχείρισης και αποκατάστασης.

Τέλος, η εργασία προτείνει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο μέτρων προσαρμογής και αντιμετώπισης, το οποίο περιλαμβάνει δράσεις μείωσης εκπομπών, βιώσιμη διαχείριση φυσικών πόρων, ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων και των υποδομών, καθώς και παρεμβάσεις σε αστικό, τουριστικό και υγειονομικό επίπεδο. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην πρόληψη δασικών πυρκαγιών, στη διαχείριση υδάτων και στην ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας μέσω πράσινων υποδομών. Συμπληρωματικά, προτείνονται δείκτες παρακολούθησης για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων και τη συνεχή προσαρμογή των πολιτικών, αναδεικνύοντας την ανάγκη για έναν ολοκληρωμένο, διατομεακό και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

# **Climate change assessment of physical, social and economic impacts on pentelikon mountain**

## **Abstract**

This thesis examines climate change as a complex and multidimensional phenomenon with significant environmental and socio-economic impacts, focusing on the Mount Pentelicus region in Greece. It first outlines the global context of climate change, which is primarily driven by anthropogenic greenhouse gas emissions and is manifested through rising average temperatures, altered precipitation patterns, and an increased frequency of extreme weather events. The Mediterranean region, and Greece in particular, are identified as highly vulnerable areas, experiencing more frequent heatwaves, prolonged droughts, and an elevated risk of wildfires and flooding, highlighting the urgent need for adaptation strategies.

The study then describes the physical and geographical characteristics of Mount Pentelicus, a key natural ecosystem in the Attica region, rich in biodiversity, forested areas, and important hydrological systems. It also presents the methodological framework used for climate projection analysis, including Global Climate Models (GCMs) and Regional Climate Models (RCMs), along with downscaling techniques and emission scenarios (RCP 2.6, RCP 4.5, and RCP 8.5), based on datasets such as EURO-CORDEX and LIFE AdaptInGR. The results indicate a future climate characterized by higher temperatures, reduced precipitation, and intensified drought conditions, especially under high-emission scenarios.

Furthermore, the thesis analyses both direct and indirect impacts of climate change on the Mount Pentelicus area. The findings show a significant deterioration of forest ecosystems, including increased wildfire risk, biodiversity loss, and degradation of ecosystem services. Water resources are also under increasing pressure due to reduced availability and growing demand, while tourism, the urban environment, and public health are negatively affected. These impacts generate considerable social and economic costs, reducing quality of life and increasing the burden on infrastructure and management systems.

Finally, the study proposes an integrated adaptation and mitigation framework, including measures for emission reduction, sustainable natural resource management, and strengthening

ecosystem and infrastructure resilience. Emphasis is placed on wildfire prevention, water management, and urban resilience through green infrastructure. Additionally, monitoring indicators are proposed to evaluate the effectiveness of adaptation measures and support continuous policy improvement. Overall, the thesis highlights the need for a coordinated, long-term, and cross-sectoral approach to effectively address the challenges posed by climate change in the study area.

*«ΤΟ ΕΡΓΟ ΠΟΥ ΕΚΠΟΝΗΘΗΚΕ ΕΧΕΙ ΓΡΑΦΤΕΙ ΑΠΟ ΕΜΕΝΑ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ. ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙ ΟΥΤΕ ΕΓΚΡΙΘΕΙ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΠΟΙΟΥ ΑΛΛΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Η ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ Η ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ, ΟΥΤΕ ΕΙΝΑΙ ΕΡΓΑΣΙΑ Η ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ Η ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ.*

*ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΑΝΕΤΡΕΞΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΥΣ, ΚΑΝΟΝΤΑΣ ΠΛΗΡΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟΥΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ, ΤΟΝ ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΟΙΚΟ Η ΤΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ, ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΠΟΥ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ. ΠΑΡΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΩΤΕΡΩ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΜΟΥ ΕΥΘΥΝΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΟΥΣΙΩΔΗ ΛΟΓΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΛΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΜΟΥ*

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	1
1.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΜΕΣΟΓΕΙΟ	6
1.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	13
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</b>	<b>16</b>
2.1 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	16
2.2 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟΥ ΌΡΟΥΣ	20
2.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	22
2.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	25
2.5 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	27
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ</b>	<b>32</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	32
3.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ GCMs	32
3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗ	34
3.4 ΧΩΡΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ RCMs	35
3.5 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΕΣ	38
3.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 1971-2000 (ΠΑΡΟΝ ΚΛΙΜΑ)	39
3.6.1 Βροχόπτωση και θερμοκρασία	39
3.6.2 Υγρασία και ταχύτητα ανέμου	45
3.6.3 Μετεωρολογικός Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιάς FWI (Fire Weather Index)	45
3.6.4 Διάρκεια ξηρασίας και αριθμός ξηρών ημερών	48
3.6.5 Αριθμός ημερών με $T_{mean} > 30^{\circ}C$ και $T_{max} > 35^{\circ}C$	48
3.6.6 Δείκτης Δυσφορίας Humidex $> 38^{\circ}C, 40^{\circ}C, 46^{\circ}C$	55
3.6.7 Κίνδυνος παγετού και μέρες ισχυρής βροχόπτωσης	59
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΜΕΣΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ</b>	<b>63</b>
4.1 ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	63
4.2 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	63
4.3 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ	69
4.4 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ FWI (FIRE WEATHER INDEX)	72
4.5 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΥ ΞΗΡΩΝ ΗΜΕΡΩΝ	75
4.6 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ $T_{MEAN} > 30^{\circ}C$ ΚΑΙ $T_{MAX} > 35^{\circ}C$	78
4.7 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΔΕΙΚΤΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑΣ HUMIDEX $> 38^{\circ}C, 40^{\circ}C, 46^{\circ}C$	81
4.8 ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΑΓΕΤΟΥ ΚΑΙ ΜΕΡΕΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	85
<b>5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΜΜΕΣΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ &amp; ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ</b>	<b>89</b>
5.1 ΔΑΣΙΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	89

5.2	ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	90
5.3	ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ	93
5.4	ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	94
5.5	ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	96
5.6	ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	99
<b>6</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ</b>	<b>101</b>
6.1	ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	101
6.2	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ	102
6.3	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ	108
<b>7</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>110</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>112</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1 Ιστορία της αλλαγής της θερμοκρασίας του πλανήτη και αιτίες της πρόσφατης υπερθέρμανσης (IPCC, 2021).....	3
Εικόνα 1-2 Παρατηρούμενες μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης.....	9
Εικόνα 1-3 Προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας στη λεκάνη της Μεσογείου στην ξηρά.....	10
Εικόνα 1-4 Προβλεπόμενη μεταβολή των βροχοπτώσεων στη λεκάνη της Μεσογείου. .	12
Εικόνα 2-1. Όρια του Πεντελικού Όρους σύμφωνα με το ΠΔ 755/21-10-1988.....	17
Εικόνα 2-2. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Περιοχής Πεντελικού Όρους .....	18
Εικόνα 2-3. Διοικητική διαίρεση του Πεντελικού όρους σύμφωνα με Καλλικράτη .....	19
Εικόνα 2-4. Ζώνες Προστασίας και φυσικές περιοχές στα όρια του Πεντελικού Όρους	21
Εικόνα 2-5. Εικόνα 2.5 Κάλυψη χρήσεων γης στα όρια του Πεντελικού Όρους .....	23
Εικόνα 2-6. Τύποι βλάστησης στα όρια του Πεντελικού Όρους.....	24
Εικόνα 2-7. Υδρολογικά στοιχεία του Πεντελικού Όρους.....	26
Εικόνα 2-8. Μέση βροχόπτωση 1971-2000 για το Πεντελικό Όρος.....	29
Εικόνα 2-9. Μέση θερμοκρασία 1971-2000 για το Πεντελικό Όρος.....	30
Εικόνα 2-10. Μέση Ηλιοφάνεια 1971-2000 για το Πεντελικό Όρος.....	31
Εικόνα 3-1. Χρονική εξέλιξη των Παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων (GCMs) .....	33
Εικόνα 3-2. Κυριότερα στάδια στατιστικής υποκλιμάκωσης, Wilby et al., (2004). .....	35
Εικόνα 3-3. Υποκλιμάκωση Παγκόσμιου Κλιματικού Μοντέλου (GCM) με Χωρικό Κλιματικό Μοντέλο (RCM) .....	37
Εικόνα 3-4. Μέση Ετήσια Θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	41
Εικόνα 3-5. Μέση Ετήσια Βροχόπτωση της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	42
Εικόνα 3-6. Μέση Ετήσια Ελάχιστη Θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000.	43
Εικόνα 3-7. Μέση Ετήσια Μέγιστη Θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000..	44
Εικόνα 3-8. Μέση Ετήσια Μέγιστη Σχετική Υγρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	46
Εικόνα 3-9. Μέση Ετήσια Ταχύτητα Ανέμου της περιόδου αναφοράς 1971-2000.....	47
Εικόνα 3-10. Μέσος μετεωρολογικός δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς (FWI) της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	49
Εικόνα 3-11. Αριθμός ημερών με ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς (FWI>50) της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	50
Εικόνα 3-12. Αριθμός ξηρών ημερών κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000.....	51
Εικόνα 3-13. Αριθμός διαδοχικών ξηρών ημερών κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	52
Εικόνα 3-14. Αριθμός ημερών $T_{mean}>30^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	53
Εικόνα 3-15 Αριθμός ημερών με $T_{max}>35^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	54
Εικόνα 3-16 Αριθμός ημερών με $Humidex>38^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	56
Εικόνα 3-17 Αριθμός ημερών με $Humidex>40^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	57
Εικόνα 3-18 Αριθμός ημερών με $Humidex>46^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	58

Εικόνα 3-19 Αριθμός ημερών με νυχτερινό παγετό $T_{min}<0oC$ κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	60
Εικόνα 3-20 Αριθμός ημερών με ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr>10mm$ ) κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	61
Εικόνα 3-21 Αριθμός ημερών με πολύ ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr>20mm$ ) κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 .....	62
Εικόνα 4-1 Μέση Ετήσια Θερμοκρασία α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	65
Εικόνα 4-2 Μέση Ετήσια Βροχόπτωση α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	66
Εικόνα 4-3 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Ελάχιστης Θερμοκρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5... ..	67
Εικόνα 4-4 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Μέγιστης Θερμοκρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5... ..	68
Εικόνα 4-5 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Σχετικής Υγρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	70
Εικόνα 4-6 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Ταχύτητας Ανέμου α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 □ .....	71
Εικόνα 4-7 Μεταβολή Μέσου Δείκτη Κινδύνου Πυρκαγιάς FWI (αντιπυρικής περιόδου) α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	73
Εικόνα 4-8 Μεταβολή Μέσου Δείκτη Ακραίου Κινδύνου Πυρκαγιάς ( $FWI>50$ ) α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	74
Εικόνα 4-9 Μεταβολή μέσου ετήσιου αριθμού ξηρών ημερών α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5... ..	76
Εικόνα 4-10 Μεταβολή Μέγιστης Διάρκειας ξηρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	77
Εικόνα 4-11 Μεταβολή μέσου αριθμού θερμών ημερών με $T>30oC$ α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	79
Εικόνα 4-12 Μεταβολή μέσου αριθμού θερμών ημερών με $T>35oC$ α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5 .....	80

Εικόνα 4-13 Μεταβολή αριθμού ημερών με δείκτη humidex > 38oC α) περίοδο 2031-2060 RCP 2.6 β) περίοδο 2071-2100 RCP 2.6 γ) περίοδο 2031-2060 RCP 4.5 δ) περίοδο 2071-2100 RCP 4.5 ε) περίοδο 2031-2060 RCP 8.5 στ) περίοδο 2071-2100 RCP 8.5 .....	82
Εικόνα 4-14 Μεταβολή αριθμού ημερών με δείκτη humidex > 40oC α) περίοδο 2031-2060 RCP 2.6 β) περίοδο 2071-2100 RCP 2.6 γ) περίοδο 2031-2060 RCP 4.5 δ) περίοδο 2071-2100 RCP 4.5 ε) περίοδο 2031-2060 RCP 8.5 στ) περίοδο 2071-2100 RCP 8.5 .....	83
Εικόνα 4-15 Μεταβολή αριθμού ημερών με δείκτη humidex > 46oC α) περίοδο 2031-2060 RCP 2.6 β) περίοδο 2071-2100 RCP 2.6 γ) περίοδο 2031-2060 RCP 4.5 δ) περίοδο 2071-2100 RCP 4.5 ε) περίοδο 2031-2060 RCP 8.5 στ) περίοδο 2071-2100 RCP 8.5 .....	84
Εικόνα 4-16 Μεταβολή αριθμού ημερών με νυχτερινό παγετό α) περίοδο 2031-2060 RCP 2.6 β) περίοδο 2071-2100 RCP 2.6 γ) περίοδο 2031-2060 RCP 4.5 δ) περίοδο 2071-2100 RCP 4.5 ε) περίοδο 2031-2060 RCP 8.5 στ) περίοδο 2071-2100 RCP 8.5...	86
Εικόνα 4-17 Μεταβολή αριθμού ημερών με ισχυρή βροχόπτωση (Pr>10mm) α) περίοδο 2031-2060 RCP 2.6 β) περίοδο 2071-2100 RCP 2.6 γ) περίοδο 2031-2060 RCP 4.5 δ) περίοδο 2071-2100 RCP 4.5 ε) περίοδο 2031-2060 RCP 8.5 στ) περίοδο 2071-2100 RCP 8.5 .....	87
Εικόνα 4-18 Μεταβολή αριθμού ημερών με πολύ ισχυρή βροχόπτωση (Pr>20mm) α) περίοδο 2031-2060 RCP 2.6 β) περίοδο 2071-2100 RCP 2.6 γ) περίοδο 2031-2060 RCP 4.5 δ) περίοδο 2071-2100 RCP 4.5 ε) περίοδο 2031-2060 RCP 8.5 στ) περίοδο 2071-2100 RCP 8.5 .....	88
Εικόνα 5-1 Ποσοστιαία κατανομή (%) της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την τελική χρήση (Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011 – 2012 (ΕΛΣΤΑΤ)).....	98



# 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Παγκόσμια κλιματική αλλαγή

Οι τελευταίες επιστημονικές μελέτες σχετικά με την κλιματική αλλαγή (IPCC, 2021) προκρίνουν βλτιώσεις σε εκτιμήσεις που βασίζονται σε παρατηρήσεις και πληροφορίες από αρχεία του παλαιοκλίματος και παρέχουν μια ολοκληρωμένη προβολή κάθε στοιχείου του κλιματικού συστήματος και των αλλαγών του μέχρι σήμερα. Νέες προσομοιώσεις κλιματικών μοντέλων, νέες αναλύσεις και μέθοδοι όπως ο συνδυασμός πολλαπλών σειρών στοιχείων οδηγούν σε βελτιωμένη κατανόηση της ανθρώπινης επιρροής σε ένα ευρύτερο φάσμα κλιματικών μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένων των ακραίων καιρικών συνθηκών και του κλίματος.

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι η ανθρώπινη επιρροή έχει ζεστάνει την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς και τη γη. Έχουν συμβεί αλλαγές διαδεδομένες και γρήγορες στην ατμόσφαιρα, τον ωκεανό, την κρύσφαιρα και τη βιόσφαιρα (IPCC, 1990,1992, 1996, 2001, 2007, 2014, 2021).

Οι παρατηρούμενες αυξήσεις στις συγκεντρώσεις καλά αναμεμιγμένων αερίων θερμοκηπίου (GHG) από το 1750 προκλήθηκαν αναμφίβολα από ανθρώπινες δραστηριότητες. Από το 2011, οι συγκεντρώσεις συνέχισαν να αυξάνονται στην ατμόσφαιρα, φτάνοντας τους ετήσιους μέσους όρους 410 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) για το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), 1866 μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) για το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και 332 ppb για το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) το 2019. Γη και ωκεανοί έχουν καταλάβει σχεδόν σταθερά αναλογία (σε παγκόσμιο επίπεδο περίπου 56% ετησίως) των εκπομπών CO<sub>2</sub> από ανθρώπινες δραστηριότητες τις τελευταίες έξι δεκαετίες, με περιφερειακές διαφορές.

Κάθε μία από τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες ήταν διαδοχικά θερμότερη από κάθε δεκαετία που προηγήθηκε από το 1850. Η Παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία τις δύο πρώτες δεκαετίες του 21ου αιώνα (2001–2020) ήταν 0,99 [0,84 έως 1,10] °C υψηλότερη από την περίοδο 1850–1900. Επίσης ήταν 1,09 [0,95 έως 1,20] °C υψηλότερη το 2011–2020 από ό,τι το 1850–1900, με μεγαλύτερες αυξήσεις στην ξηρά (1,59 [1,34 έως 1,83] °C) από ότι στους ωκεανούς (0,88 [0,68 έως 1,01] °C).

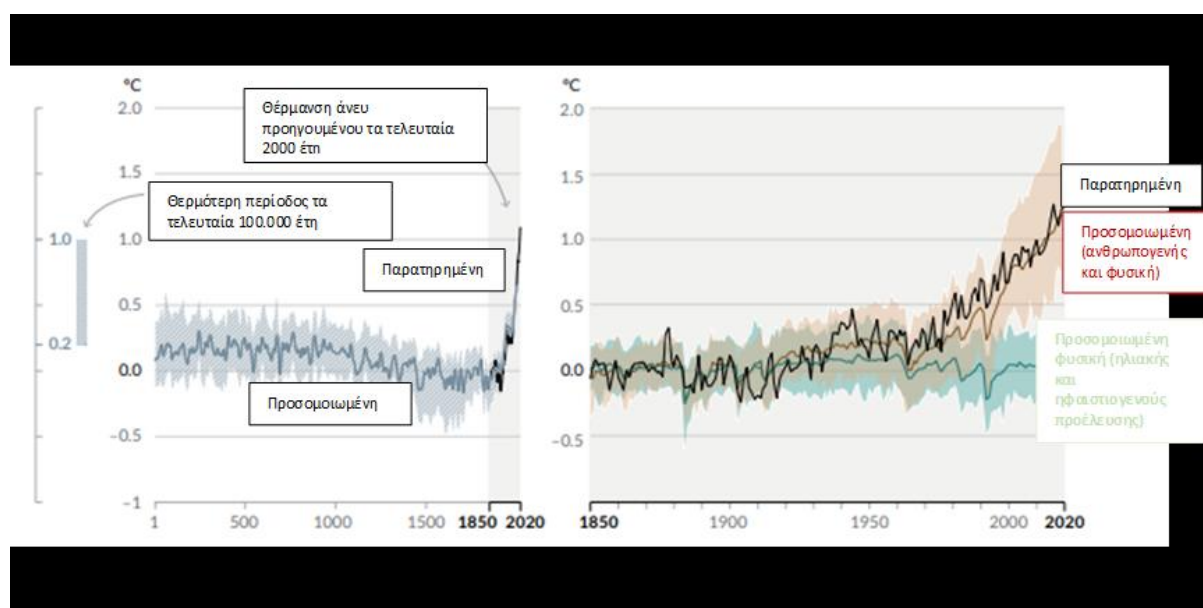
Το πιθανό εύρος της συνολικής αύξησης της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας που προκλήθηκε από τον άνθρωπο από το 1850-1900 έως το 2010-2019 είναι 0,8°C έως 1,3°C, με καλύτερη εκτίμηση 1,07°C. Είναι πιθανό ότι τα αέρια του θερμοκηπίου συνέβαλαν σε αύξηση της θερμοκρασίας από 1,0°C έως 2,0°C και οι ανθρωπογενείς αιτίες (κυρίως αεροζόλ) συνέβαλαν σε ψύξη από 0,0°C έως 0,8°C. Η παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία μεταβλήθηκε από -0,1°C έως +0,1°C και η εσωτερική μεταβλητότητα την άλλαξε κατά -0,2°C σε +0,2°C. Είναι πολύ πιθανό τα αέρια του θερμοκηπίου να είναι ο κύριος μοχλός της υπερθέρμανσης της τροπόσφαιρας από το 1979 και εξαιρετικά πιθανό ότι η υποβάθμιση της στοιβάδας του όζοντος που προκαλείται από τον άνθρωπο να ήταν ο κύριος παράγοντας ψύξης της κατώτερης στρατόσφαιρας μεταξύ του 1979 και των μέσων της δεκαετίας του 1990.

Η μέση παγκόσμια βροχόπτωση στην ξηρά έχει αυξηθεί πιθανότατα από το 1950, με ταχύτερο ρυθμό αύξησης από τη δεκαετία του 1980 (μέτρια εμπιστοσύνη). Είναι πιθανό ότι η ανθρώπινη επιρροή συνέβαλε στο μοτίβο των παρατηρούμενων αλλαγών βροχοπτώσεων από τα μέσα του 20ου αιώνα και εξαιρετικά πιθανό ότι η ανθρώπινη επιρροή συνέβαλε στο πρότυπο των παρατηρούμενων αλλαγών στην αλατότητα του ωκεανού κοντά στην επιφάνεια. Τα ίχνη καταγίδας μεσαίου γεωγραφικού πλάτους πιθανότατα έχουν μετατοπιστεί προς τους πόλους και στα δύο ημισφαίρια από τη Δεκαετία του 1980, με έντονη εποχικότητα στις τάσεις (μέτρια εμπιστοσύνη).

Η ανθρώπινη επιρροή είναι πολύ πιθανόν να ήταν ο κύριος μοχλός της παγκόσμιας υποχώρησης των παγετώνων από τη δεκαετία του 1990 και μείωσης στην Αρκτική περιοχή του θαλάσσιου πάγου μεταξύ 1979–1988 και 2010–2019 (μείωση περίπου 40% τον Σεπτέμβριο και περίπου 10% τον Μάρτιο). Ακόμη, δεν υπήρξε καμία σημαντική τάση στην περιοχή των θαλάσσιων πάγων της Ανταρκτικής από το 1979 έως το 2020 λόγω των περιφερειακών αντίθετων τάσεων και της μεγάλης εσωτερικής μεταβλητότητας. Η ανθρώπινη επιρροή πιθανότατα συνέβαλε στη μείωση της ανοιξιάτικης χιονοκάλυψης του Βορείου Ημισφαιρίου από το 1950 και είναι πολύ πιθανό να συνέβαλε στο παρατηρούμενο επιφανειακό λιώσιμο των πάγων της Γροιλανδία τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ωστόσο, υπάρχουν μόνο περιορισμένα στοιχεία, με μέτρια συμφωνία, για την ανθρώπινη επιρροή στην απώλεια μάζας πάγου της Ανταρκτικής.

Είναι σχεδόν βέβαιο ότι το πάνω στρώμα των ωκεανών (0–700 m) έχει θερμανθεί από τη δεκαετία του 1970 και εξαιρετικά πιθανό ότι η ανθρωπίνη επιρροή να ήταν ο κύριος μοχλός. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι ο κύριος μοχλός της οξίνισης της επιφάνειας των ωκεανών. Υπάρχει μεγάλη πεποίθηση ότι τα επίπεδα οξυγόνου έχουν πέσει στους περισσότερους ωκεανούς από τα μέσα του 20ου αιώνα και μέση εμπιστοσύνη ότι η ανθρωπίνη επιρροή συνέβαλε σε αυτή την πτώση.

## Η ανθρωπίνη επιρροή έχει ζεστάνει το κλίμα με ρυθμό που δεν έχει προηγούμενο τουλάχιστον τα τελευταία 2000 χρόνια



Εικόνα 1-1 Ιστορία της αλλαγής της θερμοκρασίας του πλανήτη και αιτίες της πρόσφατης υπερθέρμανσης (IPCC, 2021)

(α) Αλλαγές στη θερμοκρασία της παγκόσμιας επιφάνειας που ανακατασκευάστηκαν από αρχαία παλαιοκλίματος (συμπαγή γκριζα γραμμή, έτη 1–2000) και από απευθείας παρατηρήσεις (συμπαγή μαύρη γραμμή, 1850–2020), τόσο σε σχέση με το 1850–1900 όσο και σε δεκαετία κατά μέσο όρο. Η κάθετη γραμμή στα αριστερά δείχνει την εκτιμώμενη θερμοκρασία (πολύ πιθανό εύρος) κατά τη διάρκεια της θερμότερης πολυαιωνικής περιόδου των τελευταίων τουλάχιστον 100.000 ετών, η οποία συνέβη πριν από περίπου 6.500 χρόνια κατά τη διάρκεια της τρέχουσας μεσοπαγετώνειας περιόδου (Ολόκαινο). Η γκρι σκίαση με λευκές διαγώνιες γραμμές δείχνει τα πολύ πιθανά εύρη για τις ανακατασκευές θερμοκρασίας.

(β) Μεταβολές στην παγκόσμια θερμοκρασία επιφάνειας τα τελευταία 170 χρόνια (μαύρη γραμμή) σε σχέση με το 1850–1900 και κατά μέσο όρο ετησίως, σε σύγκριση με προσομοιώσεις κλιματικών μοντέλων (CMIP6) της απόκρισης θερμοκρασίας τόσο ανθρωπογενούς και φυσικής (καφέ) όσο και μόνο φυσικής (ηλιακή και ηφαιστειακή δραστηριότητα, πράσινο). Οι μονόχρωμες γραμμές δείχνουν τον μέσο όρο πολλών μοντέλων και οι χρωματιστές αποχρώσεις δείχνουν το πολύ πιθανό εύρος προσομοιώσεων.

Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε κατά 0,20 [0,15 έως 0,25] m μεταξύ 1901 και 2018. Ο μέσος ρυθμός ανόδου της στάθμης της θάλασσας ήταν 1,3 [0,6 έως 2,1] mm ετησίως-1 μεταξύ 1901 και 1971, αυξάνοντας σε 1,9 [0,8 έως 2,9] mm ετησίως μεταξύ 1971 και 2006 και περαιτέρω αύξηση σε 3,7 [3,2 έως 4,2] mm ετησίως μεταξύ 2006 και 2018. Η ανθρώπινη επιρροή ήταν πολύ πιθανό να είναι ο κύριος μοχλός αυτών των αυξήσεων τουλάχιστον από το 1971.

Οι αλλαγές στη βιόσφαιρα της γης από το 1970 συνάδουν με την υπερθέρμανση του πλανήτη: οι κλιματικές ζώνες έχουν μετατοπιστεί προς τους πόλους και στα δύο ημισφαίρια και η καλλιεργητική περίοδος έχει επιμηκυνθεί κατά μέσο όρο έως και δύο ημέρες ανά δεκαετία από τη δεκαετία του 1950 στα εξωτροπικά του βόρειου ημισφαιρίου.

Το 2019, οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> ήταν υψηλότερες από οποιαδήποτε άλλη στιγμή σε τουλάχιστον 2 εκατομμύρια χρόνια και οι συγκεντρώσεις του CH<sub>4</sub> και του N<sub>2</sub>O ήταν υψηλότερες από οποιαδήποτε άλλη στιγμή τα τελευταία 800.000 χρόνια. Από το 1750, οι αυξήσεις στις συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> (47%) και CH<sub>4</sub> (156%) υπερβαίνουν κατά πολύ – και οι αυξήσεις στο N<sub>2</sub>O (23%) είναι παρόμοιες με τις φυσικές αλλαγές πολλών χιλιετιών μεταξύ παγετώνων και μεσοπαγετώνων περιόδων τα τελευταία τουλάχιστον 800.000 χρόνια.

Η παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία έχει αυξηθεί ταχύτερα από το 1970 από ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη περίοδο 50 ετών τουλάχιστον τα τελευταία 2000 χρόνια. Οι θερμοκρασίες κατά την πιο πρόσφατη δεκαετία (2011–2020) υπερβαίνουν αυτές της πιο πρόσφατης θερμής περιόδου πολλών αιώνων, περίπου πριν από 6500 χρόνια [0,2°C έως 1°C σε σχέση με το 1850–1900]. Ως εκ τούτου, η επόμενη πιο πρόσφατη θερμή περίοδος ήταν περίπου πριν από 125.000 χρόνια, όταν η θερμοκρασία πολλαπλών αιώνων [0,5°C έως 1,5°C σε σχέση με το 1850–1900] επικαλύπτει τις παρατηρήσεις της πιο πρόσφατης δεκαετίας.

Την περίοδο 2011–2020, η μέση ετήσια περιοχή πάγου της Αρκτικής έφτασε στο χαμηλότερο επίπεδο από τουλάχιστον το 1850. Το καλοκαίρι η περιοχή του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής ήταν μικρότερη από οποιαδήποτε άλλη στιγμή τα τελευταία τουλάχιστον 1000 χρόνια. Η φύση της υποχώρησης των παγετώνων από τη δεκαετία του 1950, με όλους σχεδόν τους παγετώνες του κόσμου να υποχωρούν συγχρονισμένα, είναι άνευ προηγουμένου τουλάχιστον τα τελευταία 2000 χρόνια.

Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει ταχύτερα από το 1900 σε σχέση με οποιονδήποτε προηγούμενο αιώνα τα τελευταία τουλάχιστον 3000 χρόνια. Ο παγκόσμιος ωκεανός έχει θερμανθεί ταχύτερα τον περασμένο αιώνα από ό,τι από το τέλος της τελευταίας

μετάβασης από παγετώνες (πριν από περίπου 11.000 χρόνια). Μια μακροπρόθεσμη αύξηση στο pH της επιφάνειας των ανοιχτών ωκεανών σημειώθηκε κατά τα τελευταία 50 εκατομμύρια χρόνια. Ωστόσο, το pH των επιφανειακών ανοιχτών ωκεανών τόσο χαμηλό όσο τις τελευταίες δεκαετίες, είναι ασυνήθιστο τα τελευταία 2 εκατομμύρια χρόνια.

Η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο επηρεάζει ήδη πολλές καιρικές και κλιματικές ακραίες συνθήκες σε κάθε περιοχή σε όλη την υφήλιο. Τα αποδεικτικά στοιχεία παρατηρούμενων αλλαγών σε ακραίες καταστάσεις όπως καύσωνες, έντονες βροχοπτώσεις, ξηρασίες, και τροπικοί κυκλώνες έχουν ενισχυθεί σημαντικά.

Είναι σχεδόν βέβαιο ότι τα θερμά ακραία φαινόμενα (συμπεριλαμβανομένων των καυσώνων) έχουν γίνει πιο συχνά και πιο έντονα στις περισσότερες χερσαίες περιοχές από τη δεκαετία του 1950, ενώ τα ακραία ψυχρά (συμπεριλαμβανομένων των κυμάτων ψύχους) έχουν γίνει λιγότερο συχνά και λιγότερο σοβαρά, με σοβαρές ενδείξεις ότι η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο είναι ο κύριος μοχλός αυτών των αλλαγών. Μερικά πρόσφατα θερμά γεγονότα που παρατηρήθηκαν την τελευταία δεκαετία θα ήταν εξαιρετικά απίθανο να συμβούν χωρίς την ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα. Οι θαλάσσιοι καύσωνες έχουν διπλασιαστεί περίπου σε συχνότητα από τη δεκαετία του 1980 και η ανθρώπινη επίδραση έχει πολύ πιθανότητα συμβάλει στα περισσότερα από αυτά τουλάχιστον από το 2006.

Η συχνότητα και η ένταση των έντονων βροχοπτώσεων έχουν αυξηθεί από τη δεκαετία του 1950 στις περισσότερες χερσαίες περιοχές για τις οποίες τα δεδομένα παρατήρησης επαρκούν για την ανάλυση τάσεων και η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο είναι πιθανό να είναι ο κύριος μοχλός. Η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο έχει συμβάλει στην αύξηση των γεωργικών και οικολογικών ξηρασιών σε ορισμένες περιοχές λόγω αυξημένης εξατμισοδιαπνοής της γης.

Οι μειώσεις της παγκόσμιας χερσαίας βροχόπτωσης από μουσώνες, από τη δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 1980 αποδίδονται εν μέρει σε ανθρωπογενείς εκπομπές αεροζόλ στο βόρειο ημισφαίριο, αλλά οι αυξήσεις από τότε προήλθαν από την αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου και την εσωτερική μεταβλητότητα δεκαετίας έως πολλών δεκαετιών. Στη Νότια Ασία, την Ανατολική Ασία και τη Δυτική Αφρική, οι αυξήσεις στις βροχοπτώσεις των μουσώνων λόγω της θέρμανσης από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αντισταθμίστηκαν από τις μειώσεις της βροχόπτωσης των μουσώνων λόγω ψύξης από ανθρωπογενείς εκπομπές αερολυμάτων κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Στη Δυτική Αφρική οι αυξήσεις στις βροχοπτώσεις των μουσώνων από τη δεκαετία του 1980 οφείλονται εν μέρει

στην αυξανόμενη επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου και στη μείωση της ψύξης από την επίδραση των ανθρωπογενών εκπομπών αερολυμάτων στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Είναι πιθανό ότι η παγκόσμια αναλογία εμφάνισης σημαντικών τροπικών κυκλώνων (κατηγορίας 3-5) έχει αυξηθεί τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, και είναι πολύ πιθανό ότι το γεωγραφικό πλάτος στο δυτικό Βόρειο Ειρηνικό όπου οι τροπικοί κυκλώνες φθάνουν τη μέγιστη έντασή τους έχει μετατοπιστεί προς τα βόρεια. Αυτές οι αλλαγές δεν μπορούν να εξηγηθούν μόνο από την εσωτερική μεταβλητότητα. Υπάρχουν μικρές ενδείξεις στις μακροπρόθεσμες τάσεις (πολυδεκαετίες έως εκατονταετίες) για αύξηση στη συχνότητα των τροπικών κυκλώνων όλων των κατηγοριών. Οι μελέτες απόδοσης και η φυσική κατανόηση των φαινομένων δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο αυξάνει τις έντονες βροχοπτώσεις που σχετίζονται με τροπικούς κυκλώνες, αλλά οι περιορισμοί δεδομένων εμποδίζουν τη σαφή ανίχνευση προηγούμενων τάσεων σε παγκόσμια κλίμακα. Η ανθρώπινη επιρροή έχει πιθανώς αυξήσει την πιθανότητα σύνθετων ακραίων γεγονότων από τη δεκαετία του 1950. Αυτό περιλαμβάνει αυξήσεις στη συχνότητα ταυτόχρονων καυσώνων και ξηρασιών σε παγκόσμια κλίμακα, πυρκαγιές σε ορισμένες περιοχές των κατοικημένων ηπείρων και σύνθετες πλημμύρες σε ορισμένες τοποθεσίες (IPCC, 1990, 1992, 1996, 2001, 2007, 2014, 2021).

## 1.2 Κλιματική αλλαγή στην Μεσόγειο

Η Μεσόγειος έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες τις τελευταίες δεκαετίες, και αναμένεται να συνεχίσει να επηρεάζεται στο μέλλον (Cramer et al., 2018) Ορισμένες από τις εξελίξεις που αναμένεται να είναι εμφανείς περιλαμβάνουν:

- Αύξηση της Θερμοκρασίας: Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αναμένεται να είναι μία από τις κυρίαρχες αλλαγές, με επιπτώσεις στην υγεία, τη γεωργία και τα ύδατα.
- Αλλαγές στη Βροχόπτωση: Ενδέχεται να παρουσιαστούν αλλαγές στα μοτίβα βροχής, με πιθανή αύξηση της ξηρασίας σε ορισμένες περιοχές και αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων σε άλλες, έχοντας σοβαρές συνέπειες στη διαθεσιμότητα των υδάτων.
- Αλλαγές στον Υδρολογικό Κύκλο: Οι μεταβολές στη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία αναμένεται να επηρεάσουν τον υδρολογικό κύκλο, με επιπτώσεις στα ύδατα επιφανείας και τις υπόγειες υδροφορές.

➤ Αύξηση του Επιπέδου της Θάλασσας: Η αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας συμβάλλει στην άνοδο του επιπέδου της θάλασσας, με πιθανές συνέπειες για τις παράκτιες περιοχές.

Αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν οικολογικά συστήματα, γεωργία, υδάτινους πόρους και την ανθρώπινη υγεία. Η ανάγκη για προσαρμογή σε αυτές τις νέες συνθήκες είναι κρίσιμη, και η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών και πολιτικών γίνεται ακόμα πιο σημαντική για τη διατήρηση της βιωσιμότητας στην περιοχή της Μεσογείου.

Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις που υποδεικνύουν ότι η περιοχή της Μεσογείου έχει θερμανθεί σημαντικά. Οι περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο έχουν καταγράψει αυξημένες θερμοκρασίες τις τελευταίες δεκαετίες, και αυτή η τάση είναι σύμφωνη με τις γενικές τάσεις παγκοσμίως. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στη Μεσόγειο έχει αυξηθεί κατά περίπου 1.54 °C κατά μέσο όρο σε σύγκριση με την περίοδο 1860-1990. Αυτό αποτελεί υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης, που σημαίνει ότι οι επιστήμονες έχουν υψηλή βεβαιότητα για την ακρίβεια αυτού του αριθμού. Η θέρμανση αυτή υπερβαίνει τον παγκόσμιο μέσο όρο, καθώς αναφέρεται ότι είναι περίπου 0.4 °C περισσότερο από τον πλανητικό μέσο όρο θέρμανσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό, καθώς η υψηλότερη θέρμανση σε αυτή την περιοχή μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα, τη γεωργία, την υγεία και άλλους τομείς της κοινωνίας.

Οι προσομοιώσεις από διάφορα σύνολα κλιματικών μοντέλων παρέχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η θέρμανση στη Μεσόγειο θα συνεχιστεί κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα. Η απόφαση αυτή βασίζεται σε υψηλά επίπεδα εμπιστοσύνης, προκειμένου να αναγνωριστούν οι τάσεις στη θερμοκρασία και οι κλιματικές μεταβολές με βάση τα μοντέλα και τις δεδομένες που χρησιμοποιούνται.

Οι προβλέψεις για τη θέρμανση στη Μεσόγειο κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα εξαρτώνται από τα σενάρια εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων. Η προβλεπόμενη θέρμανση πάνω από την ξηρά, όπως περιγράφετε, είναι ως εξής:

- Για ένα σενάριο με χαμηλές εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων (RCP2.6), η προβλεπόμενη θέρμανση κατά τον 21ο αιώνα είναι της τάξης των 0.9-1.5 °C.
- Για ένα σενάριο με υψηλές εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων (RCP8.5), η προβλεπόμενη θέρμανση κατά τον 21ο αιώνα είναι της τάξης των 3.7-5.6 °C.

Τα σενάρια RCP (Representative Concentration Pathways) χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα διάφορα επίπεδα εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων και άλλων εκπομπών

που οδηγούν σε κλιματικές αλλαγές. Το RCP2.6 αντιπροσωπεύει ένα σενάριο με χαμηλές εκπομπές, ενώ το RCP8.5 αντιπροσωπεύει ένα σενάριο με υψηλές εκπομπές.

Τα υψηλά επίπεδα εμπιστοσύνης σημαίνουν ότι οι επιστήμονες έχουν υψηλή βεβαιότητα για την αξιοπιστία αυτών των προβλέψεων. Η αυξημένη θέρμανση έχει ευρύτατες επιπτώσεις στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία, και η μείωση των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση αυτών των επιπτώσεων.

Οι προβλέψεις αντανακλούν τις ανησυχίες για τις μελλοντικές αλλαγές στις θερμοκρασίες και τα κύματα καύσωνα στη Μεσόγειο λόγω της κλιματικής αλλαγής (Cramer et al., 2020) .

Οι επιπτώσεις αυτών των αλλαγών είναι σημαντικές και πολυσύνθετες. Τα κυριότερα σημεία είναι:

1. Αύξηση των Ακραίων Υψηλών Θερμοκρασιών: Η πρόβλεψη ότι οι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες θα αυξηθούν στο μέλλον είναι συμφωνία με την επίπτωση της γενικευμένης αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του θερμοκηπίου.
2. Εντατικοποίηση των Κυμάτων Καύσωνα: Η αυξημένη ένταση και διάρκεια των κυμάτων καύσωνα είναι ανησυχητική, καθώς αυτά μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, την ενέργεια και το περιβάλλον.
3. Συνέπειες της Αύξησης της Παγκόσμιας Θερμοκρασίας: Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2°C έχει σημαντικές επιπτώσεις, όπως η αύξηση των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών στη Μεσόγειο. Η αύξηση κατά 4°C συνεπάγεται ακόμα πιο σοβαρές επιπτώσεις, όπως δραματική αύξηση των τροπικών νυκτών και μείωση των ψυχρών ημερών.

Η φράση "μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης" που αναφέρεται στην ανίχνευση ανθρωπογενών τάσεων στη βροχόπτωση σημαίνει ότι, ενώ υπάρχει ένα επίπεδο εμπιστοσύνης, υπάρχει επίσης αβεβαιότητα στην ακριβή κατανόηση των αιτιών αυτών των τάσεων. Οι επιστημονικές μελέτες και παρατηρήσεις επιδιώκουν να αντλήσουν σαφή συμπεράσματα για τον τρόπο μεταβολής των μοτίβων βροχόπτωσης και τυχόν ανθρωπογενών επιδράσεων, αλλά η πολυπλοκότητα του κλίματος συνιστά πρόκληση σε αυτόν τον τομέα.

Είναι σημαντικό να συνεχίσουμε τις έρευνες για να κατανοήσουμε καλύτερα τις διαδικασίες που επηρεάζουν τις τάσεις της βροχόπτωσης και να βελτιώσουμε το επίπεδο εμπιστοσύνης στις προβλέψεις για το μέλλον.

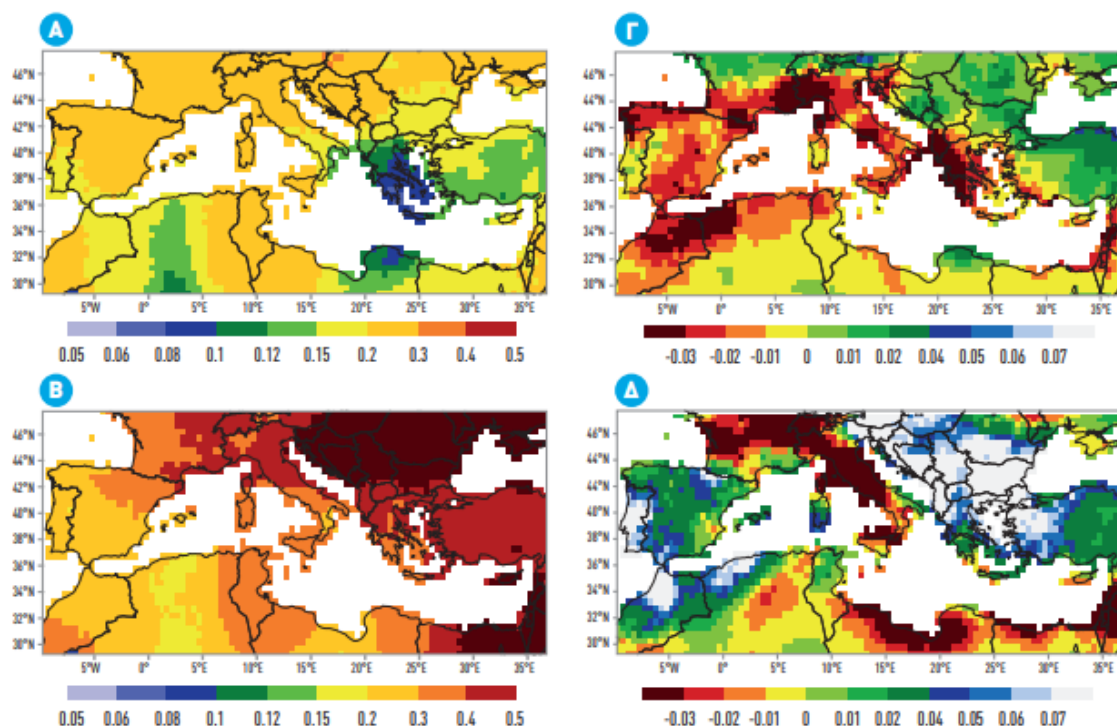
Η παρατηρούμενη τάση της μείωσης των χειμερινών βροχοπτώσεων στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης από το δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα αποτελεί σημαντική παρατήρηση.

Ωστόσο, η φράση "μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης" υποδεικνύει ότι υπάρχει ένα επίπεδο αβεβαιότητας σχετικά με την αξιοπιστία και τη σταθερότητα αυτής της παρατήρησης.

Η μείωση των χειμερινών βροχοπτώσεων μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο ύδωρ και το περιβάλλον. Είναι σημαντικό να συνεχίσουν οι ερευνητές να εξετάζουν την περαιτέρω εξέλιξη της βροχόπτωσης σε αυτήν την περιοχή και να διερευνούν τους παράγοντες που επηρεάζουν αυτήν την τάση.

Η χρονική συνέχεια των παρατηρήσεων και η χρήση πολυμετρικών μεθόδων ανάλυσης μπορούν να συμβάλουν στην αύξηση του επιπέδου εμπιστοσύνης και στην καλύτερη κατανόηση των αλλαγών στις βροχοπτώσεις.

Η πρόβλεψη για μείωση της βροχόπτωσης κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα στη Λεκάνη της Μεσογείου κατά τη θερμή περίοδο του έτους (από Απρίλιο έως Σεπτέμβριο) και κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με εξαίρεση τις βορειότερες περιοχές (όπως οι Άλπεις) όπου αναμένονται πιο υγρές συνθήκες στο μέλλον, αντιπροσωπεύει ένα μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης.



Εικόνα 1-2 Παρατηρούμενες μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης.

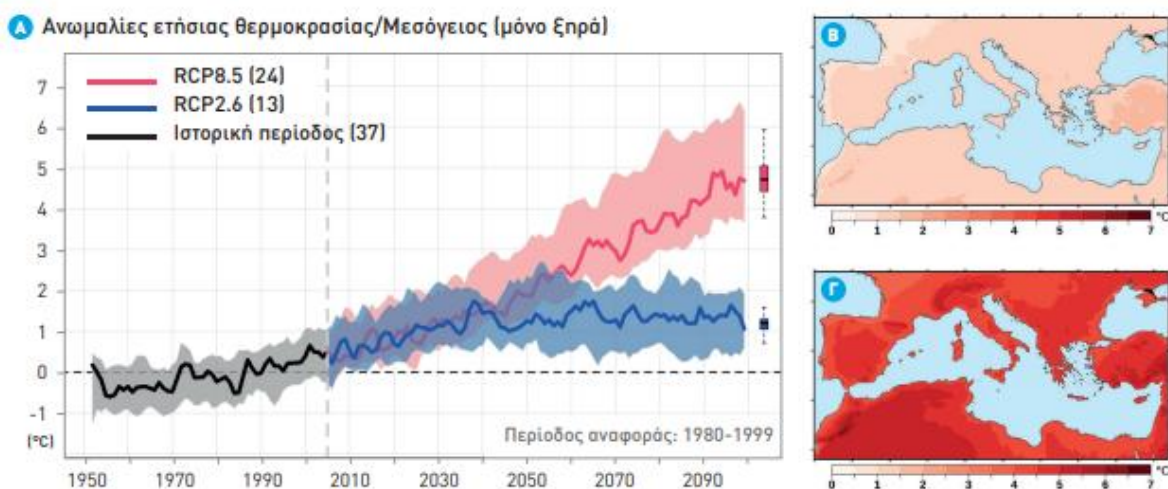
Πρόσφατες τάσεις της θερμοκρασίας (Α και Β, °C ανά δεκαετία) και της βροχόπτωσης (Γ και Δ, χιλιοστά ανά ημέρα και δεκαετία) στη λεκάνη της Μεσογείου στην ξηρά. Τα πεδία Α & Γ αποτελούν μέσο όρο για την περίοδο 1950-2018, τα πεδία Β & Δ για την περίοδο 1980-2018 (Cramer et al. 2020).

Ο μέσος ρυθμός μείωσης της βροχόπτωσης στη Μεσόγειο, που είναι περίπου 4% για κάθε βαθμό αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι, με βάση αυτόν τον μέσο ρυθμό, αναμένεται μια μείωση της βροχόπτωσης στη Μεσόγειο κατά ποσοστό που κυμαίνεται από 4% έως 22%, ανάλογα με το σενάριο για το τέλος του 21ου αιώνα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το μέγεθος αυτής της μείωσης μπορεί να διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών κλιματικών μοντέλων, καθιστώντας τις προβλέψεις σχετικά αβέβαιες για ορισμένες περιοχές. Αυτή η αβεβαιότητα είναι κοινή σε προβλέψεις κλιματικών μοντέλων λόγω των πολλών παραμέτρων που επηρεάζουν το κλίμα και των διαφορετικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση.

Αυτές οι προβλέψεις περιλαμβάνουν:

- Μεγαλύτερη Διαχρονική Μεταβλητότητα: Προβλέπεται μια κυρίαρχη μετατόπιση προς ένα καθεστώς βροχοπτώσεων με μεγαλύτερη διαχρονική μεταβλητότητα, υποδηλώνοντας ότι οι βροχοπτώσεις θα είναι πιο διακυμαντικές στον χρόνο.
- Μεγαλύτερη Ένταση και Ακραίες Τιμές: Αναμένεται μεγαλύτερη ένταση των βροχοπτώσεων, καθώς και μεγαλύτερες ακραίες τιμές βροχής, ιδίως το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο.
- Μειωμένη Συχνότητα Βροχοπτώσεων: Προβλέπεται μειωμένη συχνότητα βροχοπτώσεων, προειδοποιώντας για μεγαλύτερες περιόδους ξηρασίας, ιδίως το καλοκαίρι και σε νότιες περιοχές.



Εικόνα 1-3 Προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας στη λεκάνη της Μεσογείου στην ξηρά.

Προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας στη λεκάνη της Μεσογείου στην ξηρά. Προβλεπόμενες μεταβολές της ετήσιας θερμοκρασίας σε σχέση με την περίοδο αναφοράς του πρόσφατου παρελθόντος (1980-1999), με βάση τον μέσο όρο του συνόλου EURO-CORDEX 0,11°, A: προσομοιώσεις για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5, B: αύξηση της θερμοκρασίας στο τέλος του 21ου αιώνα (2080-2099) για το σενάριο RCP2.6, Γ: το ίδιο για το σενάριο RCP8.5 (Cramer et al. 2020)

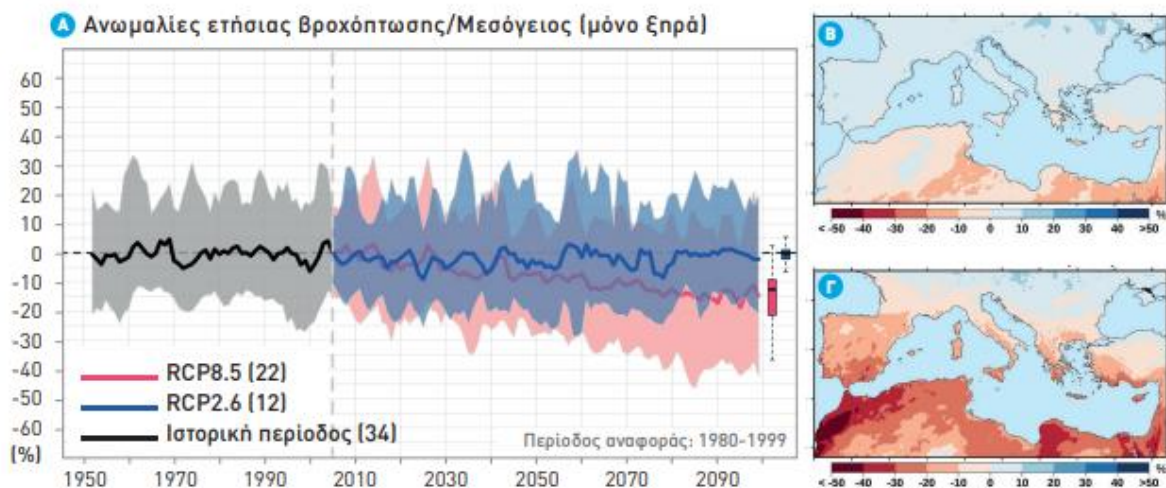
Δεν υπάρχουν σημαντικές τάσεις στον αριθμό των παρατηρούμενων κυκλώνων τις τελευταίες δεκαετίες, με χαμηλό ή μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης. Επιπλέον, οι μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις δείχνουν μείωση του αριθμού των κυκλώνων, ειδικά το χειμώνα, με μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Οι προβλέψεις για τις μελλοντικές ταχύτητες του ανέμου στη Μεσόγειο φαίνεται να συγκλίνουν σε μια περιορισμένη μείωση της ταχύτητας του ανέμου στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής, με εξαίρεση την αύξηση στο Αιγαίο Πέλαγος και τις βορειοανατολικές χερσαίες περιοχές. Ωστόσο παρατηρείται μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης σε αυτές τις προβλέψεις.

Η εξέλιξη της επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας στη λεκάνη της Μεσογείου παρουσιάζει ενδιαφέρον παρελθοντικό μοτίβο και προοπτικές για το μέλλον:

**Παρελθόν:** Σύμφωνα με τα δεδομένα, η επιφανειακή ηλιακή ακτινοβολία μειώθηκε από τη δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 1980, καταγράφοντας μείωση μεταξύ -3,5 και -5,2 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο και δεκαετία. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε ανάκαμψη με αύξηση μεταξύ +0,9 και +4,6 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο και δεκαετία. Αυτή η εξέλιξη φαίνεται να συμφωνεί με παγκόσμιες τάσεις.

**Μέλλον:** Στις μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις, αναμένεται ότι τα φορτία ανθρωπογενών αερολυμάτων πάνω από τη Μεσόγειο θα συνεχίσουν να μειώνονται, οδηγώντας έτσι σε αύξηση της επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1-4 Προβλεπόμενη μεταβολή των βροχοπτώσεων στη λεκάνη της Μεσογείου.

Προβλεπόμενες μεταβολές των ετήσιων βροχοπτώσεων σε σχέση με την περίοδο αναφοράς του πρόσφατου παρελθόντος (1980-1999), με βάση τον μέσο όρο του συνόλου EURO-CORDEX 0,11°, Α: προσομοιώσεις για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5, Β: ανωμαλίες βροχόπτωσης στο τέλος του 21ου αιώνα (2080-2099) για το σενάριο RCP2.6, Γ: το ίδιο για το σενάριο RCP8.5 (Cramer et al. 2020).

Η καθαρή απώλεια νερού σε ολόκληρη τη Μεσόγειο Θάλασσα έχει αυξηθεί από τις τελευταίες δεκαετίες του 20ού αιώνα, σύμφωνα με μέτριο επίπεδο εμπιστοσύνης. Η κύρια αιτία αυτής της αύξησης είναι η έντονη αύξηση της εξάτμισης λόγω της τοπικής αύξησης της θερμοκρασίας. Ο εκτιμώμενος ρυθμός μεταβολής της εξάτμισης σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά την περίοδο 1958-2006 είναι περίπου 0,7 χιλιοστά ανά ημέρα και °C ή 25% ανά °C.

Λόγω της θέρμανσης, οι διεργασίες δημιουργίας παγετώνων έχουν μετατοπιστεί σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Αναμένεται ότι οι παγετώνες της Μεσογείου θα συνεχίσουν να μειώνονται σε μάζα κατά τον 21ο αιώνα, και προβλέπεται η πλήρης εξαφάνιση των περισσότερων από αυτούς προς το τέλος του αιώνα, σύμφωνα με πολύ υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης. Αυτή η τάση συνδέεται με τις αυξανόμενες θερμοκρασίες που επηρεάζουν τη διάλυση των πάγων και τη μείωση της εκτεταμένης περιοχής κατάληψής τους.

Σε χαμηλότερα υψόμετρα, προβλέπεται ότι το ισοδύναμο νερού χιονιού θα μειωθεί κατά περίπου 25% (με εύρος 10% έως 40%) από τη δεκαετία 1986-2005 έως τη δεκαετία 2031-2050, ανεξάρτητα από το σενάριο. Αναμένεται ότι αυτή η μείωση θα συνεχιστεί, με πρόβλεψη μείωσης περίπου 30% έως το τέλος του 21ου αιώνα για το σενάριο χαμηλών

εκπομπών, αυξάνοντας έως και 80% για το σενάριο υψηλών εκπομπών, σύμφωνα με υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, παρατηρήθηκε αύξηση των μέσων επιφανειακών θερμοκρασιών σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου. Οι αυξήσεις αυτές κυμαίνονται μεταξύ +0,29 και +0,44 °C ανά δεκαετία, με εντονότερες τάσεις στις ανατολικές λεκάνες όπως η Αδριατική, το Αιγαίο, η Λεβαντίνη και το βορειοανατολικό Ιόνιο. Επιπλέον, τα θαλάσσια κύματα καύσωνα έχουν γίνει πιο μεγάλα σε διάρκεια και πιο έντονα, εμφανίζοντας υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης στην παρατήρηση αυτή. Η ευρεία αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας θα συνεχιστεί τον 21ο αιώνα.

Η στάθμη της θάλασσας στη Μεσόγειο αυξάνεται, ακολουθώντας παρόμοιες τάσεις με τις παγκόσμιες εξελίξεις. Αυτή η αύξηση παρουσιάζει έντονες χωρικές και θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στη Μεσόγειο, και προβλέπεται ότι θα επιταχυνθεί στο μέλλον.

Κατά μέσο όρο, στη λεκάνη της Μεσογείου, η μέση στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε κατά περίπου 1,4 χιλιοστά το χρόνο κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, με μια επιτάχυνση σε πιο πρόσφατα χρόνια (1993-2018) κατά περίπου 2,8 χιλιοστά το χρόνο. Αυτή η αύξηση της στάθμης της θάλασσας είναι συνέπεια της υπερθέρμανσης του πλανήτη, της τήξης των πάγων και άλλων παρατηρούμενων αλλαγών στο κλίμα.

### **1.3 Κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα**

Πληθώρα μελετών κλιματικής αλλαγής ανά την Ευρώπη συμφωνεί ότι η θερμοκρασιακή άνοδος προβάλλεται υψηλότερη στη Βόρεια Ευρώπη σε αντίθεση με τη Μεσόγειο. Τα πιο πολλά μοντέλα δείχνουν ότι η θερμοκρασία το χειμώνα θα αυξηθεί περισσότερο σε περιοχές της Βόρειας Ευρώπης και την καλοκαιρινή περίοδο εμφανίζεται εντονότερη σε περιοχές της Νότιας Ευρώπης (Διανέοσις, 2022). Ακόμη, η θερμοκρασιακή άνοδος που προβάλλεται για το χειμώνα στη περιοχή της Βόρειας Ευρώπης εμφανίζεται μεγαλύτερη από την καλοκαιρινή, ενώ όσον αφορά τη Νότια Ευρώπη η καλοκαιρινή θερμοκρασιακή αύξηση θα είναι λίγο ισχυρότερη από την χειμερινή. Αναφορικά με τη βροχόπτωση, οι περισσότερες εργασίες προβάλλουν αύξηση κατά τη χειμερινή περίοδο στη περιοχή της Βόρειας Ευρώπης και μικρά δείγματα καλοκαιρινή αύξησης της βροχόπτωσης. Κατά τον 20ο αιώνα παρατηρήθηκε μια αύξηση της βροχόπτωσης στη Βόρεια Ευρώπη γεγονός το οποίο

λαμβάνεται υπόψη από πολλά μοντέλα. Από την άλλη η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί στο ότι η καλοκαιρινή θερμοκρασία στην περιοχή της Νότιας Ευρώπης πιθανόν να μειωθεί ενώ οι ενδείξεις για μια αύξηση των βροχοπτώσεων του καλοκαιριού είναι πολύ μικρές. Υπάρχει γενικά διάσταση απόψεων σχετικά με τη μεταβολή του κλίματος στις περιοχές της Μεσογείου και πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα. Δεν είναι απλή διαδικασία και δεν αποτελεί ασφαλές συμπέρασμα να εκτιμηθούν οι κλιματικές απορρυθμίσεις σε αυτής της τάξης τη κλίμακα. Ωστόσο είναι ευρέως αποδεκτό από πληθώρα εργασιών ότι θα υπάρξει αισθητή θερμοκρασιακή αύξηση τα επόμενα χρόνια.

Η ετήσια θερμοκρασία κατά την περίοδο 1961-1990 έδειξε μια τάση στατιστικά σημαντικής αύξησης της θερμοκρασίας στη γη στη νοτιοανατολική Ευρώπη περίπου 0,4-0,6 °C ανά δεκαετία. Στα μέσα της δεκαετίας του '50 ξεκίνησε μια περίοδος ψύξης στη Βόρεια Ελλάδα και σταδιακά επεκτάθηκε και στις νότιες περιοχές της χώρας όπου άρχισε να εντοπίζεται στις αρχές της δεκαετίας του '70. Οι χαμηλότερες μέσες ετήσιες θερμοκρασίες στην Ελλάδα σημειώθηκαν τη δεκαετία του 1970 έως τις αρχές του 1980, λόγω κυρίως των πολύ κρύων καλοκαιριών και φθινοπώρων. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια της δεκαετίας του '90 (ενώ λίγο νωρίτερα σε ορισμένους μετεωρολογικούς σταθμούς) παρατηρήθηκε προοδευτική αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό φαίνεται να οφείλεται σε μια πιο έντονη θέρμανση κατά τη θερινή περίοδο.

Στην Ελλάδα, όπως και στην Ισπανία, η συχνότητα των κυμάτων καύσωνα τη δεκαετία του '90 ήταν περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή των τριών προηγούμενων δεκαετιών. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ενδείξεις παρόμοιας αντίστροφης τάσης στη συχνότητα των ψυχρών ακραίων περιστάσεων. Τα στοιχεία και από τους δύο σταθμούς της Αθήνας και της Κέρκυρας παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές αυξητικές τάσεις ως προς τη διάρκεια των κυμάτων καύσωνα, τόσο κατά την καλοκαιρινή περίοδο όσο και σε ετήσια βάση, ενώ η εμφάνιση κυμάτων ψύξης τόσο τον χειμώνα όσο και σε ετήσια βάση γίνεται πολύ λιγότερο συχνά. Στην ανατολική Μεσόγειο, η ένταση, το μήκος και ο αριθμός των κυμάτων καύσωνα έχουν αυξηθεί κατά έξι έως οκτώ από τη δεκαετία του 1960. Η περίοδος των θερμών άκρων έχει επιμηκυνθεί σημαντικά για την Κρήτη από το 1960.

Κατά την περίοδο 1960-1990 οι υψηλότερες βροχοπτώσεις βρέθηκαν στη δυτική Ελλάδα και το νοτιοανατολικό Αιγαίο, χειμώνα, φθινόπωρο και σε ετήσια βάση, ενώ οι βροχοπτώσεις το καλοκαίρι είναι μικρές, ιδιαίτερα στα νησιά του Αιγαίου, το Ισραήλ και τη Συρία. Οι βροχοπτώσεις στην Ελλάδα έχουν μειωθεί κατά το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα σε ετήσια

βάση και για τη χειμερινή περίοδο (-8 και -5 mm/δεκαετία, αντίστοιχα) και η περίοδος μείωσης φαίνεται να ξεκινά από τη δεκαετία του '70 (Διανέσις, 2022).. Τοπικά πολύ υψηλότερα ποσοστά μείωσης έχουν παρατηρηθεί για ορισμένους σταθμούς σε νησιά (-64 mm/δεκαετία στην Κέρκυρα και -52 mm/δεκαετία στη Μυτιλήνη). Αυτή η σταθερή μείωση της ετήσιας βροχής στην Ελλάδα από το 1950 βρέθηκε σε πολλές μελέτες. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρουσιαστεί για τις γειτονικές περιοχές και τη Μεσόγειο Θάλασσα γενικότερα, οι περισσότερες από τις οποίες παρουσιάζουν σημαντική μείωση των ετήσιων βροχοπτώσεων. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων που οδηγούν σε μια σταδιακή αποξήρανση της περιοχής της Μεσογείου. Ωστόσο, αυτές οι αλλαγές μπορεί να μην οφείλονται στην κλιματική αλλαγή, αλλά μπορούν να αποδοθούν στη φυσική μεταβλητότητα. Η δεκαετής μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα είναι αρκετά έντονη. Στην πραγματικότητα, τα πρόσφατα δεδομένα βροχοπτώσεων δεν δείχνουν συνεχή μείωση των βροχοπτώσεων: τα μηνιαία αθροίσματα βροχοπτώσεων και τα ετήσια ημερήσια μέγιστα αρχεία που προέρχονται από 136 σταθμούς σε όλη την Ελλάδα κατά την περίοδο 1940-2012 δείχνουν μείωση από το 1950, αύξηση από το 1980 και σταθερή βροχόπτωση κατά τη διάρκεια τα τελευταία 15 χρόνια αυτής της περιόδου στις περισσότερες περιφέρειες της Ελλάδας.

Όσον αφορά τα γεγονότα ακραίων βροχοπτώσεων, η μέση ημερήσια ένταση της καλοκαιρινής βροχόπτωσης παρουσιάζει θετική τάση κατά το δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα σε όλους τους σταθμούς εκτός από αυτόν της Λάρισας, ενώ η ένταση της χειμερινής και ετήσιας βροχόπτωσης παρουσιάζει αρνητική τάση.

Εκτός από την υπερθέρμανση του πλανήτη κατά τις τελευταίες δεκαετίες, μια φυσική εξήγηση της αυξημένης βροχόπτωσης στην Αθήνα θα μπορούσε να είναι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας: η επίδραση της εκτεταμένης δόμησης μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και η ταχεία αύξηση του πληθυσμού και του αριθμού των οχημάτων κυρίως μετά το 1970. Οι πιθανοί κύριοι παράγοντες που προκαλούν αλλαγές στις βροχοπτώσεις που προκαλούνται από τις αστικές περιοχές είναι οι μηχανικές αναταράξεις που προκύπτουν από την αυξημένη τραχύτητα της επιφάνειας, την προσθήκη αισθητής θερμότητας από τον αστικό θερμό αέρα και τους ανθρωπογενείς πυρήνες συμπύκνωσης που επιπλέον στον αστικό αέρα. Αυτοί οι παράγοντες είναι υπεύθυνοι για έντονες καταιγίδες συναγωγικής φύσης στις ανεπτυγμένες μεγαλουπόλεις.

## **2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **2.1 Προσανατολισμός και μορφολογία**

Το Πεντελικό (ή Πεντέλη) είναι το δεύτερο ψηλότερο όρος της Αττικής, με μέγιστο υψόμετρο 1.109 μέτρων και έχει συνολική έκταση 169,95 km<sup>2</sup>.

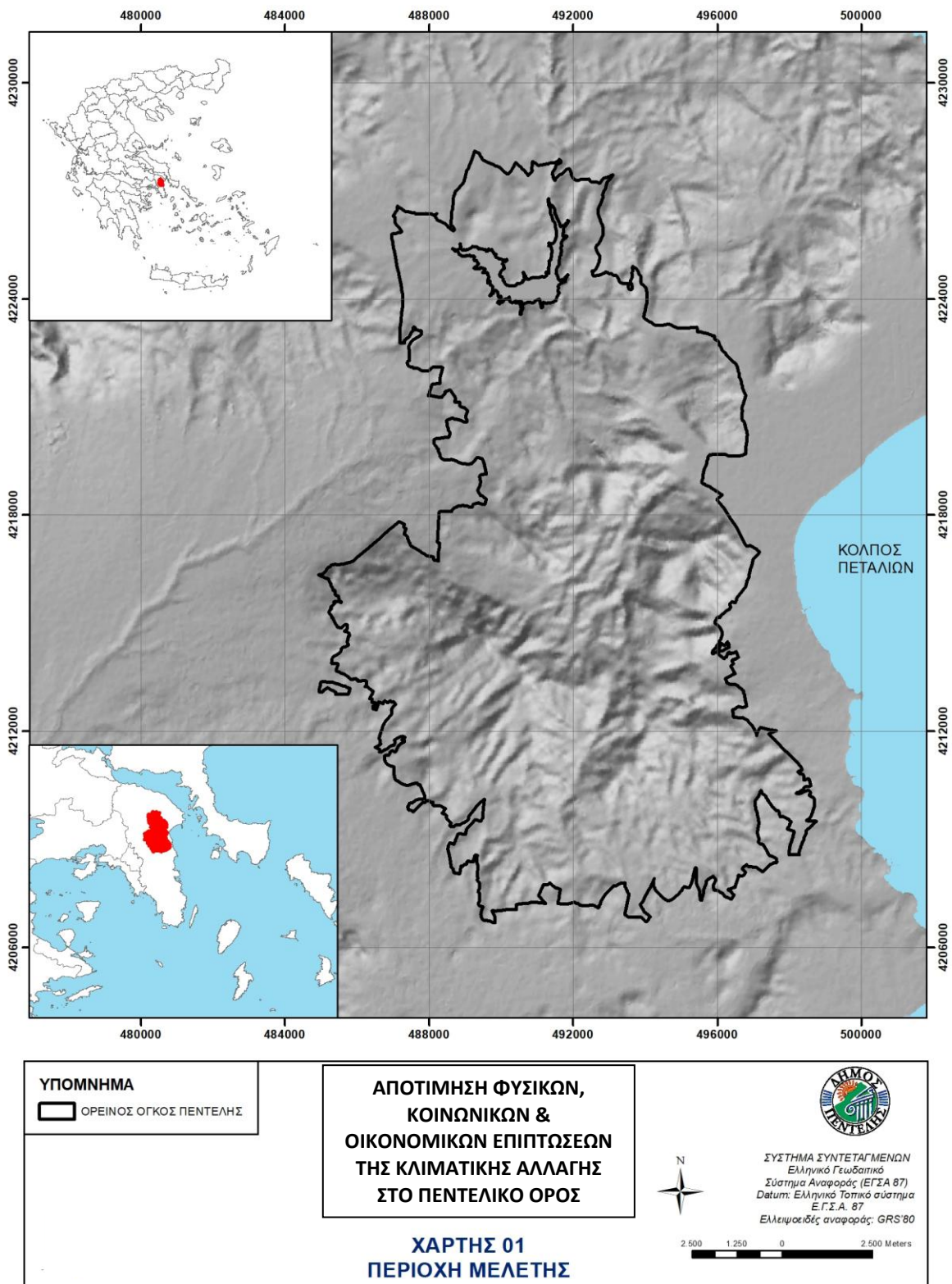
Έχει σχήμα πυραμίδας και οριοθετείται από το λεκανοπέδιο των Αθηνών στα νοτιοδυτικά, την πεδιάδα του Μαραθώνα στα βορειοανατολικά και την κοιλάδα της Μεσογαίας στα νότια, ενώ ανατολικά βρέχεται από τον Κόλπο των Πεταλιών (Εικ. 2.1).

Ο Βριλησσός, όπως αποκαλούνταν αρχικά, σύμφωνα με ιστορικά ντοκουμέντα αλλά και τη σημερινή του όψη χαρακτηρίζεται από τα λευκά και σκληρά του πετρώματα, αλλά και τα πλούσια πευκοδάση που τον περιβάλλουν σε χαμηλότερο υψόμετρο, καθώς και τα νερά που αναβλύζουν προς πάσα κατεύθυνση.

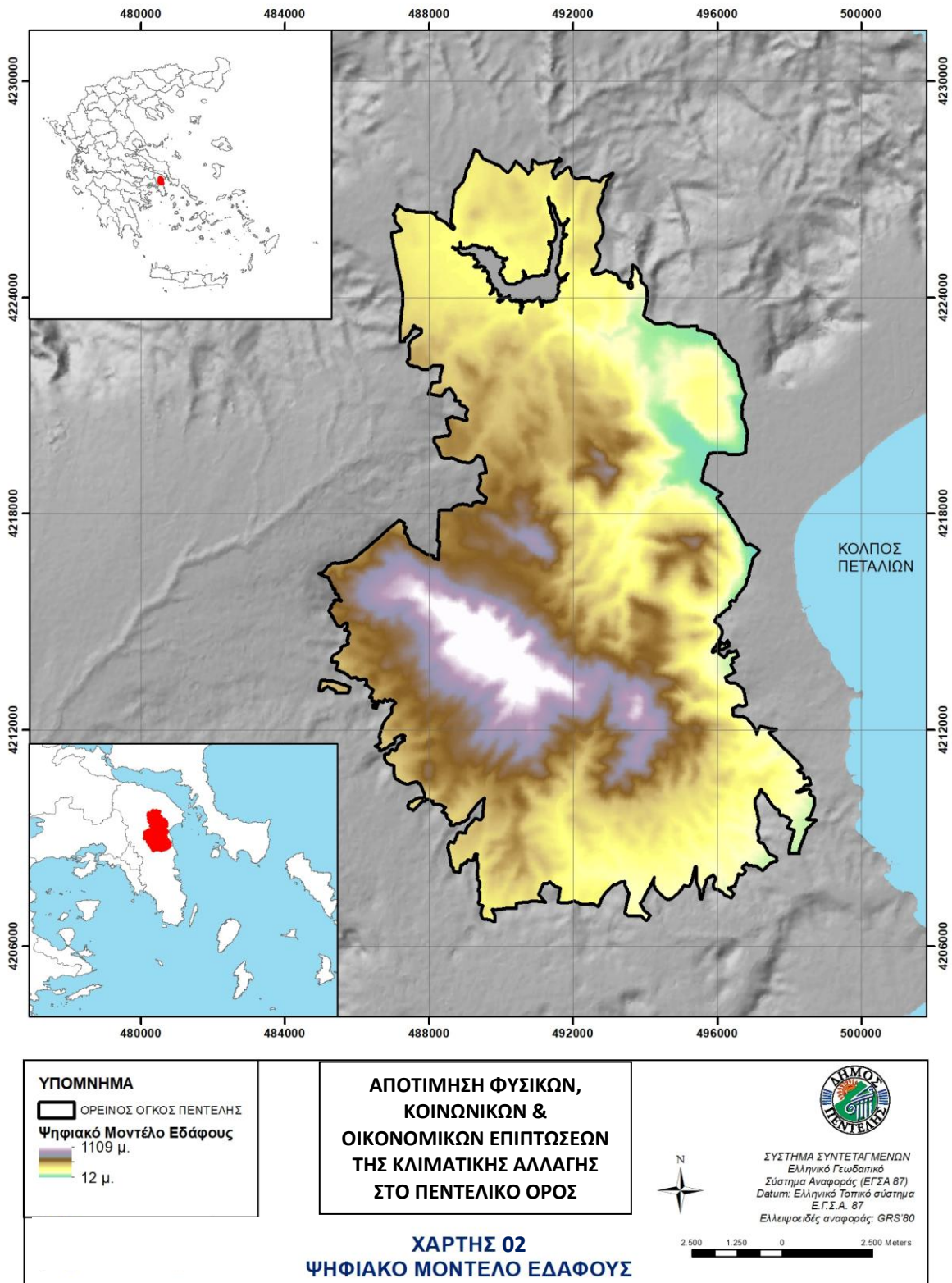
Οι κυριότερες κορυφές του είναι Πυργάρι (1109m), Μεγάλη Μαυρηνόρα (783m), Μικρή Μαυρηνόρα (677m), Διονυσοβούνι (650m), Βουνοκορφή (573m), Αγριλίκι (558m), Βραχάκι (494m), Μικρό Αγριλίκι (391m). Άλλα: Πύριζα, Άγιος Παντελεήμων, Καστρί, Βίγλα, Κουφός.

Το μέσο υψόμετρο της περιοχής σύμφωνα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Εικ. 2.2) του ΥΠΕΝ εκτιμάται σε 365,36 μ. με ελάχιστο τα 12 μ. και μέγιστο τα 1.109 μ.

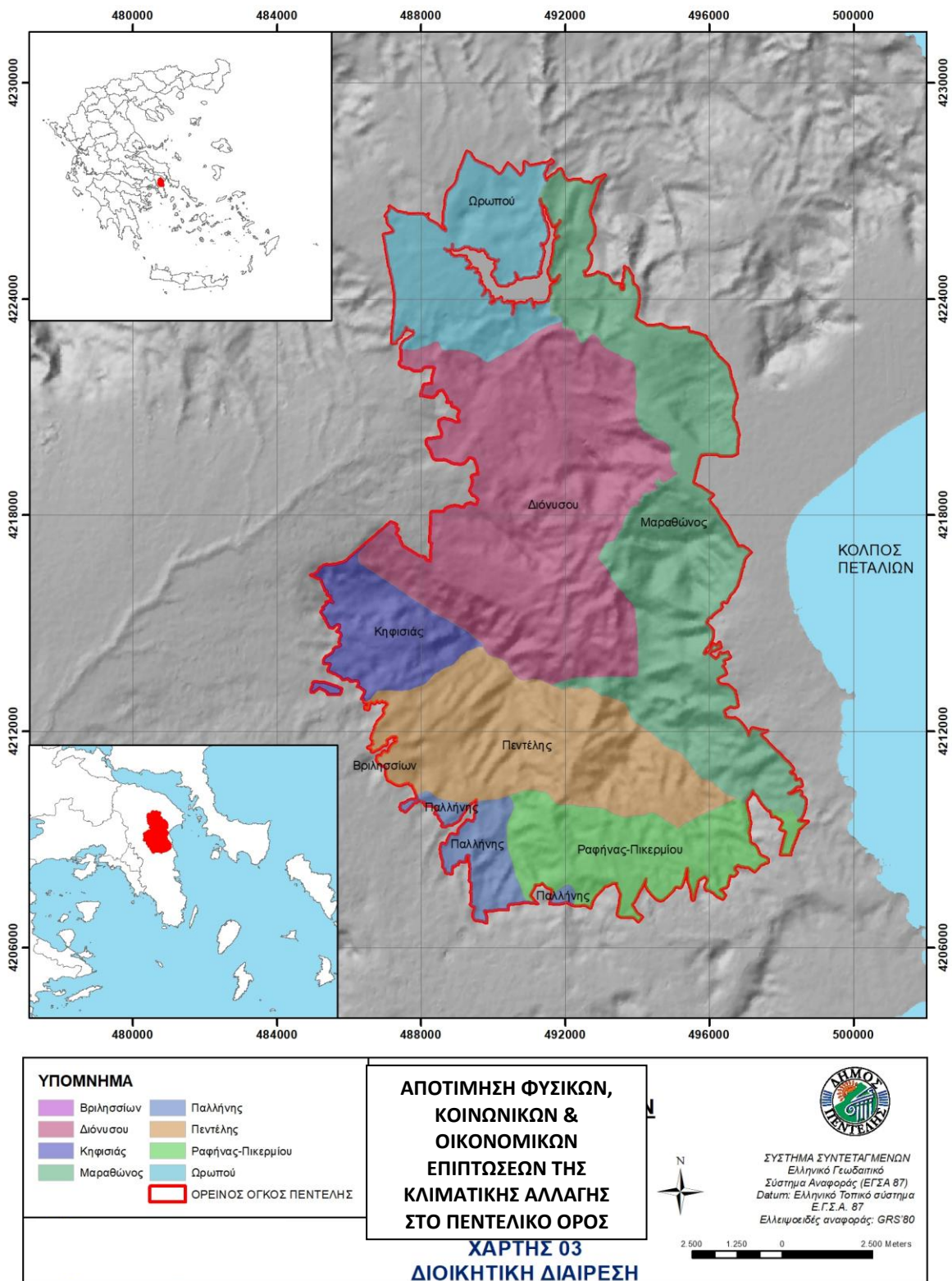
Η διοικητική διαίρεση του Πεντελικού Όρους παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3 όπου εύκολα κατανοείται ότι τμήματα του Πεντελικού εμπίπτουν σε διάφορους δήμους, όπως ο Δήμος Πεντέλης, ο Δήμος Μαραθώνα, ο Δήμος Ωρωπού, ο Δήμος Διονύσου, ο Δήμος Βριλησίων, ο Δήμος Παλλήνης, ο Δήμος Κηφισιάς και ο Δήμος Ραφήνας-Πικερμίου.



Εικόνα 2-1. Όρια του Πεντελικού Όρους σύμφωνα με το ΠΔ 755/21-10-1988



Εικόνα 2-2. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Περιοχής Πεντελικού Όρους



Εικόνα 2-3. Διοικητική διαίρεση του Πεντελικού όρους σύμφωνα με Καλλικράτη

## **2.2 Προστατευόμενες και φυσικές περιοχές του Πεντελικού Όρους**

Με την υπ' αριθμ. 25683/27.3.1969 απόφαση του Υφυπουργού Προεδρίας της Κυβέρνησης «Περί κηρύξεως ορέων Υμηττού, Πεντελικού, Πάρνηθας, Κορυδαλλού και Αιγάλεω ως τόπων χρυζόντων ειδικής προστασίας» (ΦΕΚ 236/Β/1969) το όρος της Πεντέλης κηρύχθηκε τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους. Αργότερα με το ΠΔ 755/21-10-1988 καθορίστηκαν τα όρια του και θεσμοθετήθηκαν ζώνες προστασίας και τα αντίστοιχα όρια τους (Εικ. 2.4).

Οι χρήσεις των παραπάνω ζωνών καθορίζονται ως εξής:

### **Ζώνη Α**

Η ζώνη αυτή καθορίζεται ως ζώνη αναψυχής, αθλητισμού και γεωργικής χρήσης. Επιτρέπεται η ανέγερση κτιρίων αναψυχής αθλητισμού και ορειβατικών καταφυγίων.

### **Ζώνη Β**

Η ζώνη αυτή καθορίζεται ως περιοχή γεωργικής χρήσης.

### **Ζώνη Γ**

Η ζώνη αυτή καθορίζεται ως περιοχή κατοικίας και γεωργικής χρήσης και επιτρέπεται η ανέγερση κατοικιών και γεωργικών αποθηκών.

### **Ζώνη Δ**

Η ζώνη αυτή καθορίζεται ως περιοχή αναψυχής και επιτρέπεται μόνο η εγκατάσταση υπαίθριων και εστεγασμένων καθιστικών και περιπτέρων που εξυπηρετούν την παραπάνω χρήση.

### **Ζώνη Ε**

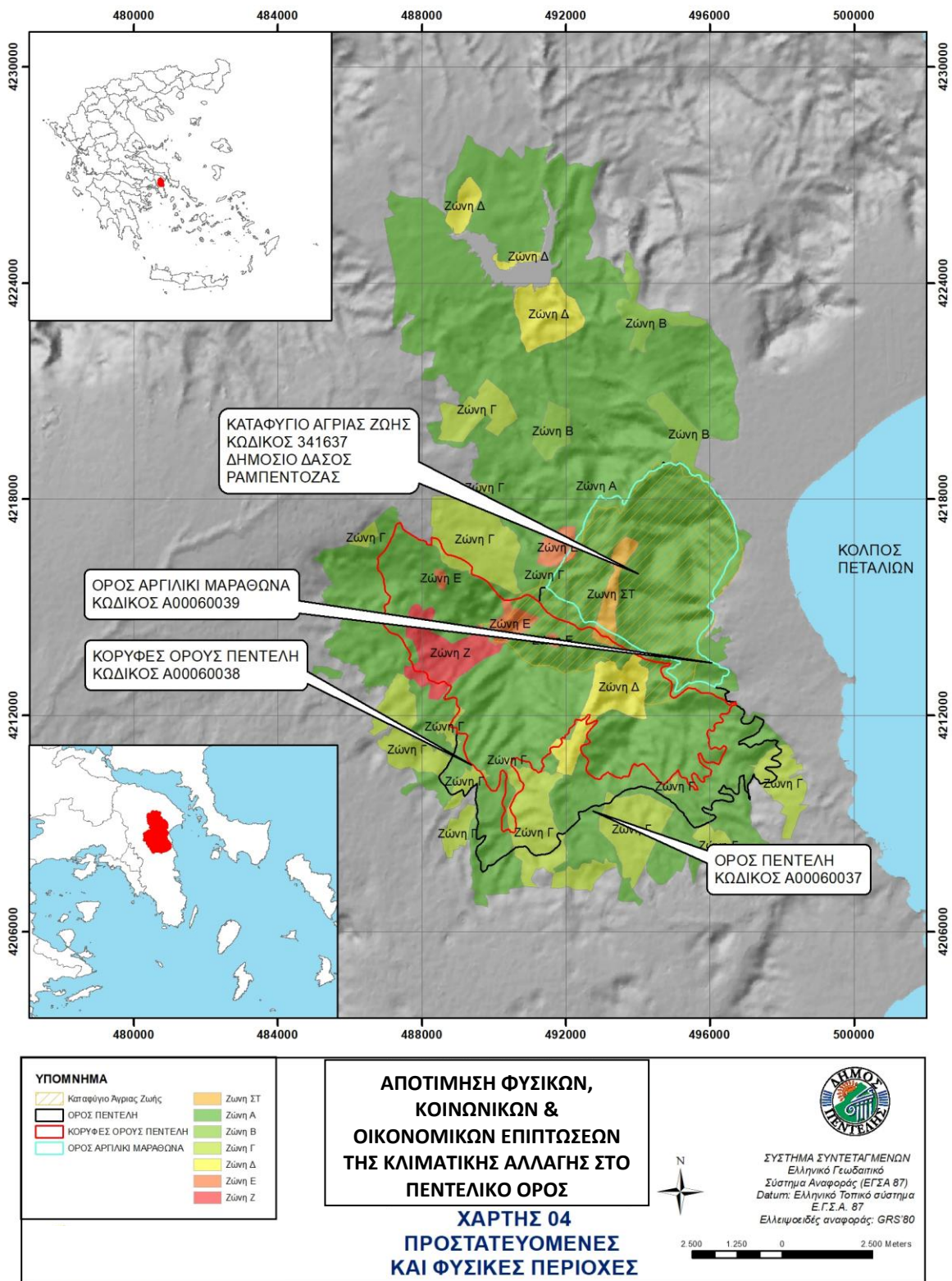
Η ζώνη αυτή καθορίζεται ως ζώνη λατομικής χρήσης και αποτελείται από τις περιοχές των λειτουργούντων λατομείων μαρμάρων.

### **Ζώνη ΣΤ**

Η ζώνη αυτή καθορίζεται ως περιοχή περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και αναψυχής και επιτρέπεται η ανέγερση κτιρίων που εξυπηρετούν τις χρήσεις αυτές.

### **Ζώνη Ζ**

Η ζώνη αυτή καθορίζεται ως περιοχή αναψυχής, πολιτιστικών εκδηλώσεων και αθλητισμού και επιτρέπεται η ανέγερση κτιρίων που εξυπηρετούν τις χρήσεις αυτές καθώς και η ανέγερση μουσείου.



Εικόνα 2-4. Ζώνες Προστασίας και φυσικές περιοχές στα όρια του Πεντελικού Όρους

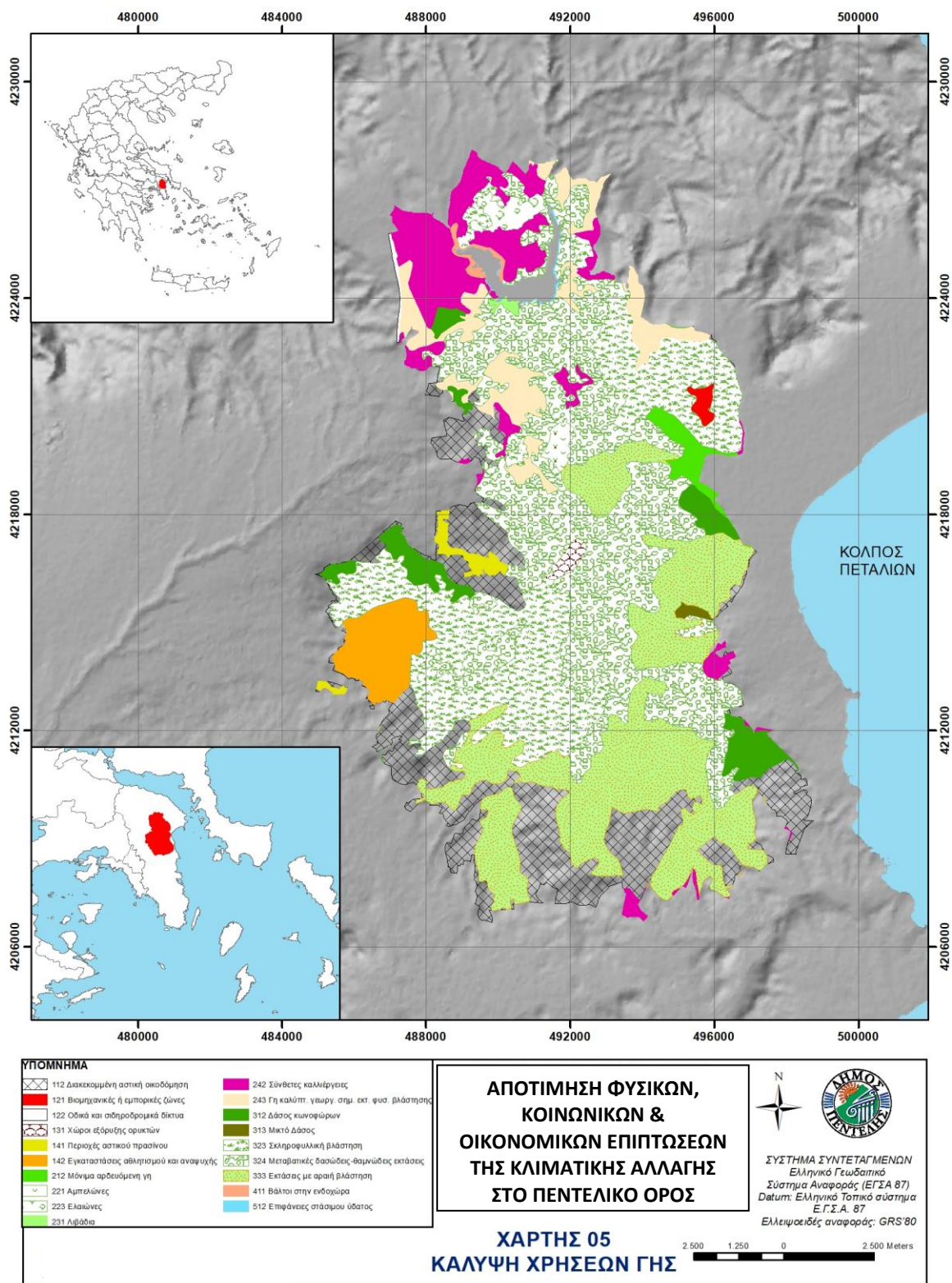
Από το 1976 έκταση 25,88 km<sup>2</sup> έχει χαρακτηριστεί καταφύγιο άγριας ζωής και πιο συγκεκριμένα το Δημόσιο Δάσος της Ραμπεντόζας με κωδικό 341637. Ακόμη στην ευρύτερη περιοχή του Πεντελικού όρους απαντώνται και άλλου είδους φυσικές περιοχές όπως οι βιότοποι Corine. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για το Όρος Πεντέλη με κωδικό A00060037 και έκταση 69,15 Km<sup>2</sup>, τις Κορυφές του Όρους Πεντέλη με κωδικό A00060038 και έκταση 34,52 Km<sup>2</sup>, και το όρος Αργιλίκι Μαραθώνα με κωδικό A00060039 και έκταση 19,25 Km<sup>2</sup>.

## 2.3 Χρήσεις γης και βλάστηση

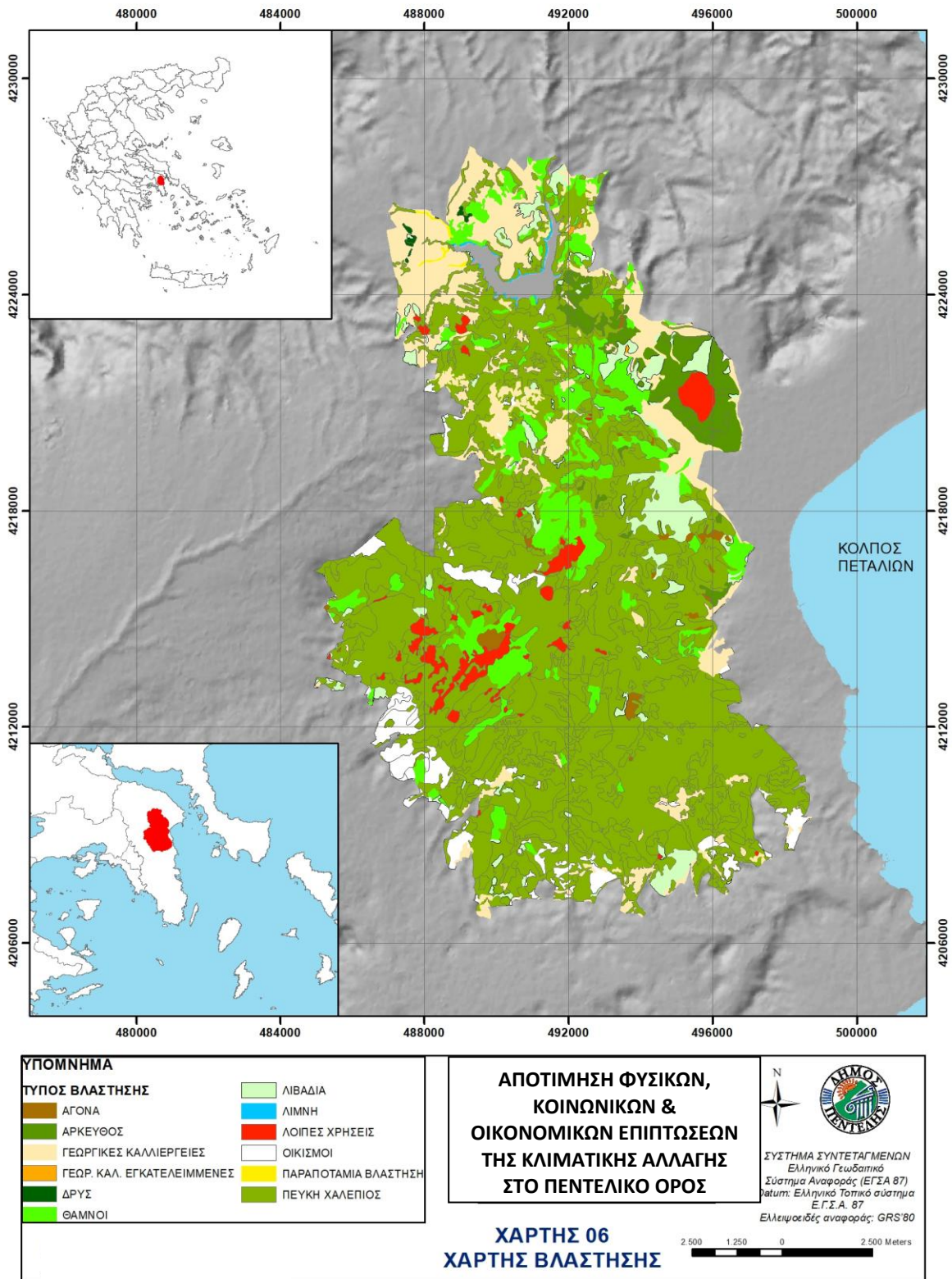
Τα δεδομένα του χάρτη κάλυψης χρήσεων γης προέρχονται από πρόγραμμα Corine Land Cover (CLC) της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (European Environment Agency). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πολύγωνα με τις αντίστοιχες εκτάσεις και τον κωδικό ταξινόμησης.

Πίνακας 2.1 Χρήσεις γης στο Πεντελικό όρος

A/A	Κωδικός	Περιγραφή	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
1	112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	2469,42	14,53
2	121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	51,69	0,30
3	131	Χώροι εξόρυξης ορυκτών	58,3	0,34
4	141	Περιοχές αστικού πρασίνου	109,75	0,65
5	142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	509,51	3,00
6	212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	175,3	1,03
7	221	Αμπελώνες	72,79	0,43
8	231	Λιβάδια	21,02	0,12
9	242	Σύνθετες καλλιέργειες	1135,49	6,68
10	243	Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	835,3	4,91
11	312	Δάσος κωνοφόρων	568,82	3,35
12	313	Μικτό δάσος	28,24	0,17
13	323	Σκληροφυλλική βλάστηση	2901,84	17,07
14	324	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	4542,2	26,73
15	333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	3311,02	19,48
16	223	Ελαιώνες	128,48	0,76
17	122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	26,36	0,16
18	411	Βάλτοι στην ενδοχώρα	42,44	0,25
19	512	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	7,63	0,04
<b>Σύνολο</b>			<b>16995,6</b>	<b>100,00</b>



Εικόνα 2-5. Εικόνα 2.5 Κάλυψη χρήσεων γης στα όρια του Πεντελικού Όρους



Εικόνα 2-6. Τύποι βλάστησης στα όρια του Πεντελικού Όρους

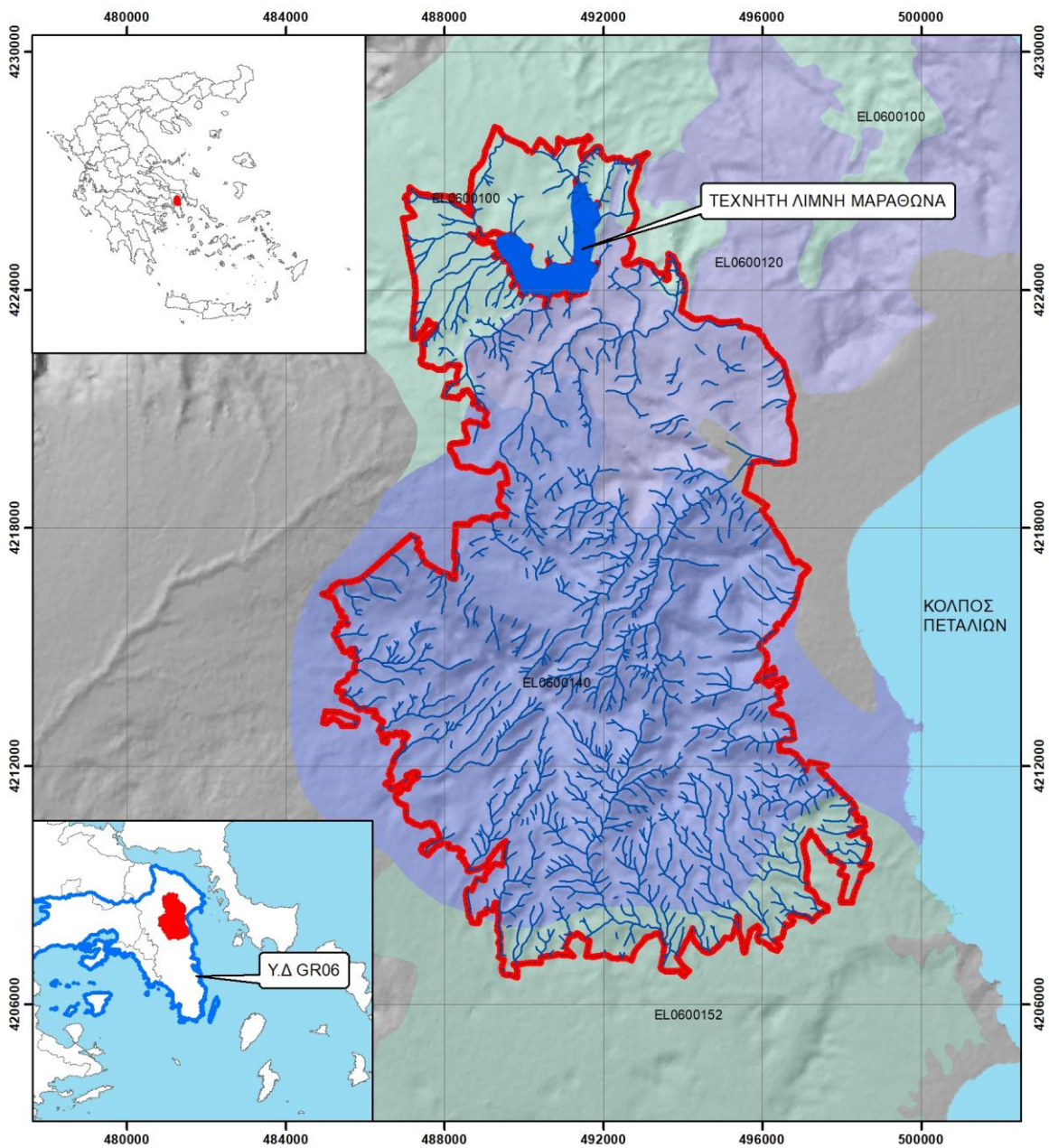
## 2.4 Υδρολογικά στοιχεία

Το Πεντελικό Όρος εμπίπτει στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής με κωδικό GR 06 και στη Λεκάνη απορροής GR 26 (Εικ. 2.7). Στο υπέδαφος του αναπτύσσονται τέσσερα υπόγεια υδατικά συστήματα, το Μαραθώνος Α με κωδικό EL0600120 και με καλή χημική και οικολογική κατάσταση, το Μαραθώνα Β με κωδικό EL0600130 και με κακή χημική και οικολογική κατάσταση, το Πεντέλης με κωδικό EL0600140 με καλή χημική κατάσταση και το Μεσογαίας Β με κωδικό EL0600152 και καλή χημική κατάσταση.

Από την άλλη τα κυριότερα ποτάμια υδατικά συστήματα είναι το Ρ.Λάκα με κωδικό EL0626R000000008N και καλή χημική και μέτρια οικολογική κατάσταση, το Ρέμα Παλιομιαούλη με κωδικό EL0626R000002009N με καλή χημική και καλή οικολογική κατάσταση. Επίσης το Ρέμα Ραφήνας 1 με κωδικό EL0626R000100010N με άγνωστη χημική κατάσταση και μέτρια οικολογική. Το Ρέμα Ραφήνας 2 με κωδικό EL0626R000100012N και καλή χημική και μέτρια οικολογική. Τέλος το Ρέμα Ραφήνας 3 με κωδικό EL0626R000100011N, με καλή χημική και μέτρια οικολογική κατάσταση.

Άλλα επιμέρους σημαντικά υδατορέματα είναι :

- Υδατόρεμα Διονύσου
- Υδατόρεμα Ποδονίφτη
- Εκάλης
- Υδατορεμα Φασιδέρι
- Αγίας Παρασκευής
- Κρυονέρι Παλλήνης
- Βίγκλα Παλλήνης
- Γέρακα
- Ξυλοκερατέας
- Ραπεντωσας
- Νέας Μάκρης
- Ιεράς Μονής Νταού Πεντέλης



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

	Τεχνητή Λίμνη Μαραθώνα
	Μαραθώνα Α
	Καπανδριτίου
	Πεντέλης
	Μεσογιάς Β
	Όριο Πεντελικού Όρους

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ,  
ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ &  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ  
ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ  
ΣΤΟ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟ ΟΡΟΣ**



ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ  
Ελληνικό Γεωδαϊκό  
Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87)  
Datum: Ελληνικό Τοπικό σύστημα  
Ε.Γ.Σ.Α. 87  
Ελλειψοειδής αναφοράς: GRS'80

2 500 1 250 0 2 500 Meters

**ΧΑΡΤΗΣ 07  
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Εικόνα 2-7. Υδρολογικά στοιχεία του Πεντελικού Όρους

## 2.5 Κλιματικές συνθήκες

Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη και αυτή η οποία χρησιμοποιήθηκε στον Κλιματικό Άτλαντα της Ελλάδας, είναι το σύστημα κλιματικής ταξινόμησης των Köppen – Geiger. Το κλίμα ταξινομείται σε πέντε ομάδες, συμβολιζόμενες με τα γράμματα A, B, C, D, και E; κάθε ομάδα υποδιαιρείται περαιτέρω σε τύπους και υποτύπους, οι οποίοι συμβολίζονται με ένα δεύτερο γράμμα, το οποίο αναφέρεται στη βροχόπτωση και ένα τρίτο, το οποίο αναφέρεται στη θερμοκρασία του αέρα. Σημειώνεται ότι τα πολικά κλίματα (ομάδα E) δεν διαφοροποιούνται βάσει της βροχοπτώσεως αλλά μόνο βάσει της θερμοκρασίας.

Ο κλιματικός τύπος της ευρύτερης περιοχής του Πεντελικού Όρους χαρακτηρίζεται ως Csa, Μεσογειακός τύπος κλίματος ή Μεσόθερμος τύπος κλίματος με ξηρό και θερμό καλοκαίρι. Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή το κλίμα της περιοχής ανήκει στην κύρια κατηγορία C, (κλίματα μέσου γεωγραφικού πλάτους, όπου η μέση ετήσια του θερμοκρασία θερμότερου μήνα είναι μεγαλύτερη από 10 ° C και του ψυχρότερου από -2 °C ως 1,8 °C) και στις κατηγορίες:

s: μεσογειακό κλίμα (με βροχές κατά τη διάρκεια του ψυχρού εξαμήνου, όπου η μέση βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα είναι μικρότερη από 40 mm και του υγρότερου τριπλάσια) και

a: κλίμα με μέση θερμοκρασία θερμότερου μηνός μεγαλύτερη από 22 ° C.

Οι τόποι αυτοί είναι παράκτιοι ή σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων από τη θάλασσα και έχουν υψόμετρο λιγότερο από 500 m. Ο χειμώνας είναι ήπιος ενώ το καλοκαίρι ζεστό.

### Βροχόπτωση

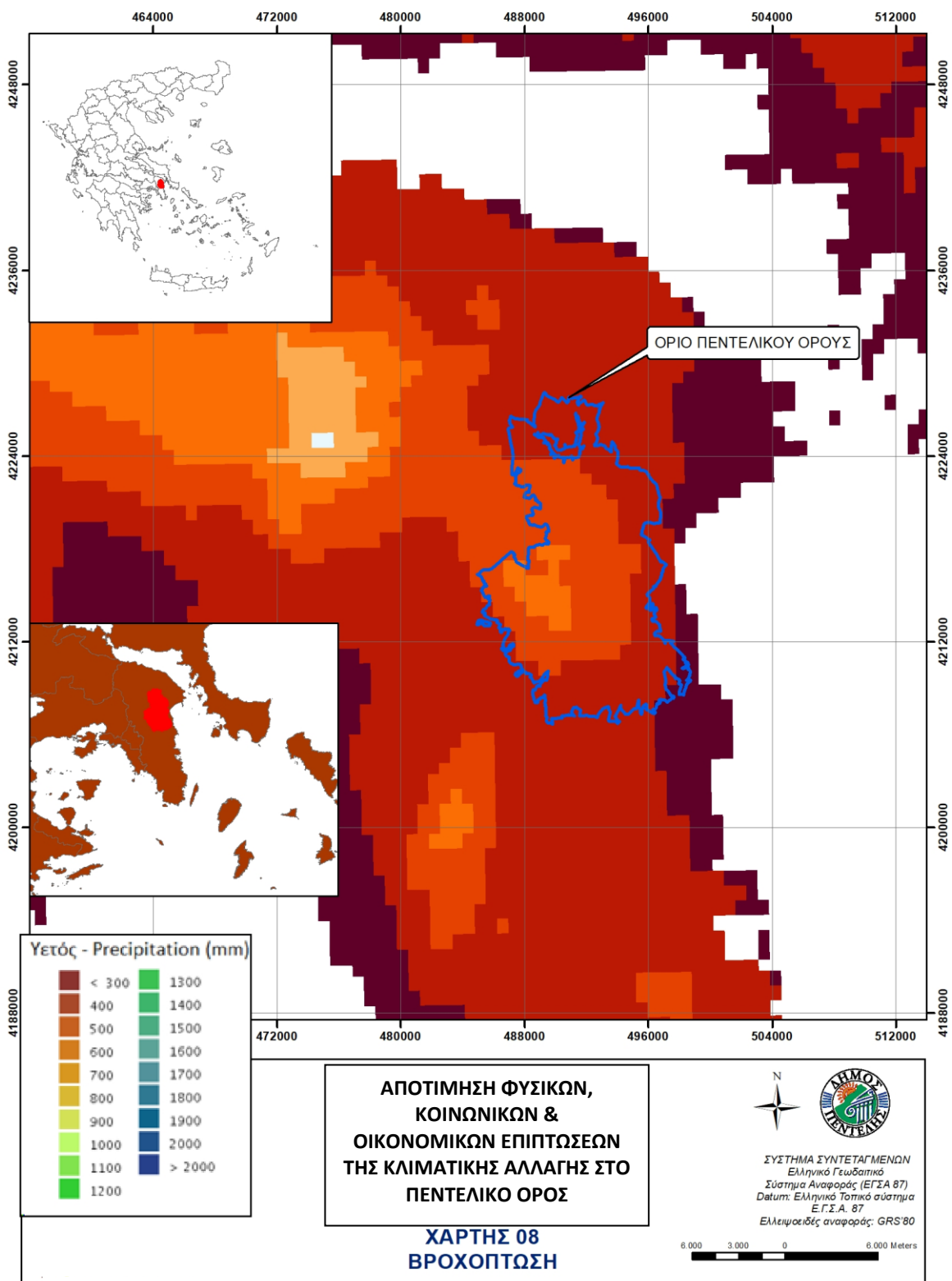
Ο υετός στο δίκτυο της ΕΜΥ μετράται με τυπικά βροχόμετρα (Εικ. 2.8). Οι μηνιαίες και ετήσιες αθροιστικές τιμές (σε mm) υπολογίζονται από της ημερήσιες μετρήσεις. Η μηνιαία τιμή υπολογίζεται είτε όταν όλες οι ημερήσιες τιμές είναι διαθέσιμες, ή όταν οι ελλείπουσες ημερήσιες τιμές ενσωματώνονται σε μία παρατήρηση στην οποία έχουν ενσωματωθεί όλες οι ελλείπουσες τιμές· η παρατήρηση αυτή αντιστοιχείται στην πρώτη ημέρα επανεκκίνησης των μετρήσεων.

### Θερμοκρασία

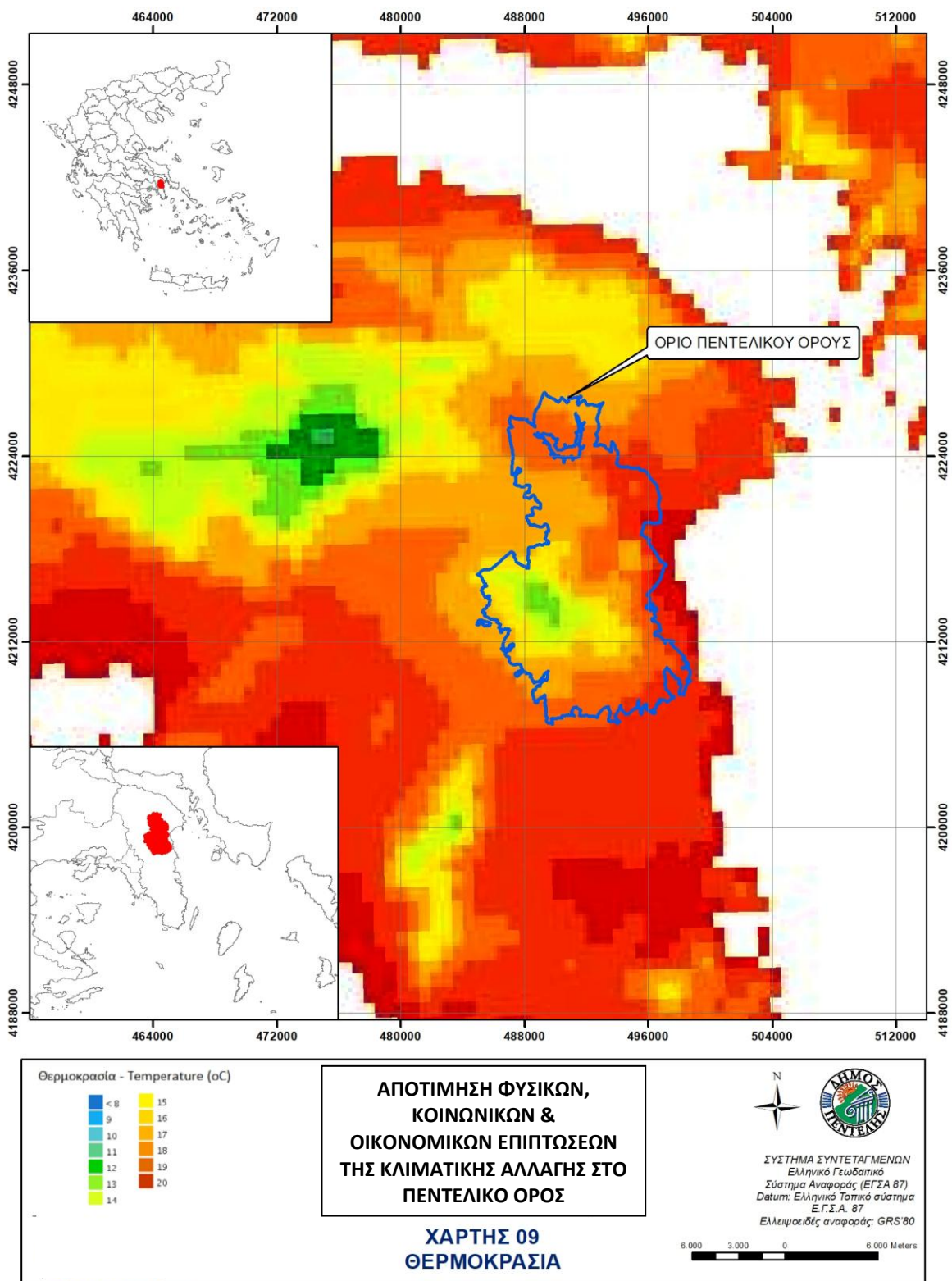
Βάσει των προτύπων του Παγκοσμίου Οργανισμού Μετεωρολογίας, η θερμοκρασία του αέρα μετρείται σε μετεωρολογικούς κλωβούς ύψους 2m από την επιφάνεια του εδάφους, με τη θύρα του κλωβού, στραμμένη στο Βορρά. Η θερμοκρασία του αέρα μετρείται καθημερινώς σε κύριες συνοπτικές ώρες (οκτώ ώρες, 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 UTC). Το δίκτυο της ΕΜΥ χρησιμοποιεί συνήθως υδραργυρικά θερμόμετρα. Στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζεται η μέση θερμοκρασία για την τριακονταετία 1971-2000 και για την περιοχή του Πεντελικού.

### **Ηλιοφάνεια**

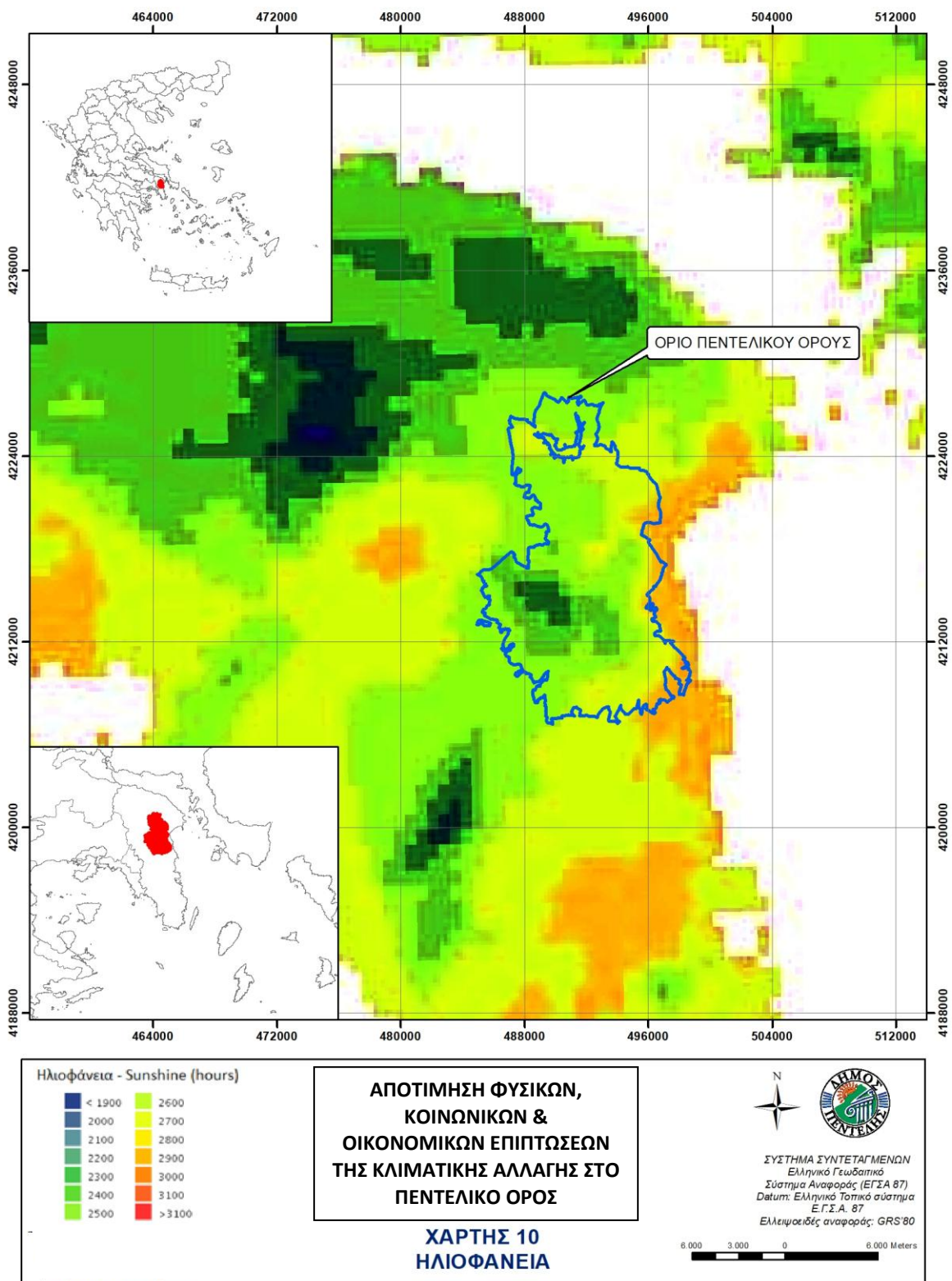
Η διάρκεια της ηλιοφάνειας μετρά το χρόνο της ηλιοφάνειας σε συγκεκριμένη περιοχή και σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο (συνήθως ημέρα, μήνα ή έτος). Αποτελεί ένδειξη του ποσοστού νεφοκάλυψης της περιοχής. Στους χάρτες η διάρκεια ηλιοφάνειας μετρείται σε ώρες ανά έτος (ετήσιοι χάρτες) και σε ώρες ανά μήνα (μηνιαίοι χάρτες). Η διάρκεια της ηλιοφάνειας στο δίκτυο σταθμών της ΕΜΥ μετρείται με ηλιογράφους (π.χ. CampbellStokes). Στην Εικόνα 2.10 παρουσιάζεται η μέση ηλιοφάνεια για την τριακονταετία 1971-2000 και για την περιοχή του Πεντελικού.



Εικόνα 2-8. Μέση βροχόπτωση 1971-2000 για το Πεντελικό Όρος



Εικόνα 2-9. Μέση θερμοκρασία 1971-2000 για το Πεντελικό Όρος



Εικόνα 2-10. Μέση Ηλιοφάνεια 1971-2000 για το Πεντελικό Όρος

## **3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ**

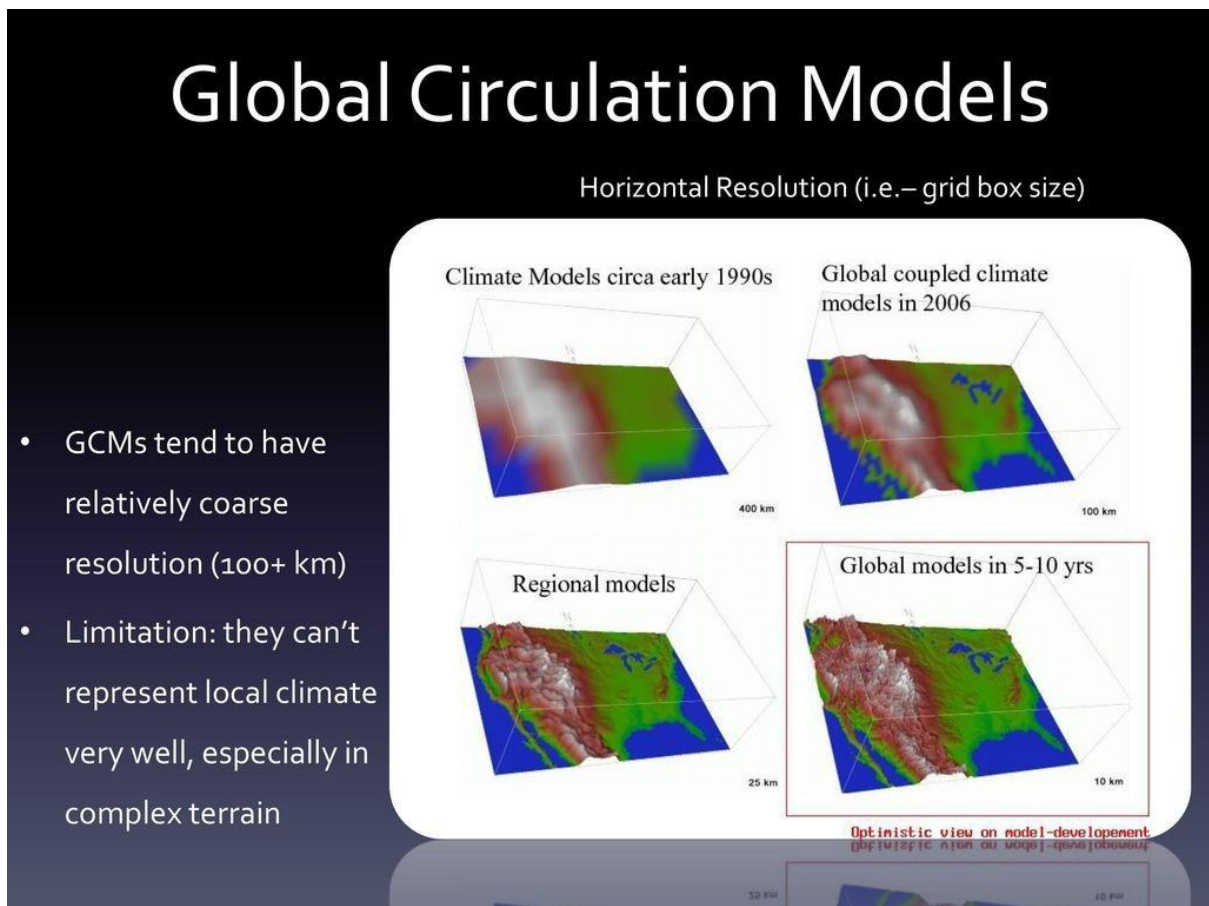
### **3.1 Γενικά**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η προσέγγιση μεθοδολογιών καταβιβασμού κλίμακας ή υποκλιμάκωσης. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται ο τρόπος που οι χωρικές κλιματικές πληροφορίες που προκύπτουν από μοντέλα γενικής πληροφορίας (GCMs) και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την ενίσχυση της χωρικής λεπτομέρειας. Οι μεθοδολογίες αυτές εξελίχθηκαν από το IPCC, (IPCC,1996, 2001, 2007, 2014) και εφαρμόζονται σε πληθώρα μελετών. Γενικά κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους: Γενικά μοντέλα κυκλοφορίας (AGCMs) υψηλής ανάλυσης, χωρικά κλιματικά μοντέλα (RCMs), και στατιστικές και δυναμικές μεθοδολογίες. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα τους και κάθε τύπος χρησιμοποιείται ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε μελέτης.

### **3.2 Μοντέλα Παγκόσμιας κυκλοφορίας GCMs**

Τα GCMs (Global Circulation Models) αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τις απαιτήσεις της παρούσας μελέτης δεδομένου ότι σκοπός της αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε μια περιορισμένη έκταση όπως αυτή του Πεντελικού Όρους. Τα πεδία ορισμού των GCMs είναι τεράστια και μας προμηθεύουν με πλανητικής χωρικής κλίμακας πληροφορίες για το κλίμα. Είναι μοντέλα που αναπτύσσονται σε μεγάλα ερευνητικά εργαστήρια και δίνουν τη δυνατότητα να αποθηκευτούν οι κλιματικές πληροφορίες. Ειδικότερα, μπορεί κανείς να πει ότι στην ουσία είναι προβολές στο μέλλον ατμοσφαιρικών ή ωκεάνιων μεταβλητών που ακολουθούν τις γενικές κατευθύνσεις των επιλεγμένων σεναρίων. Η απόκτηση πληροφοριών από τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα συνεπάγεται ότι το αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής σε μια περιοχή και τα κλιματικά χαρακτηριστικά διαφορετικών περιοχών προσφέρονται για την διεξαγωγή διαφυσικών και δυναμικών διαδικασιών μέσα στη δομή του μοντέλου.

Ωστόσο, οι περιορισμοί που υπάρχουν σε προσεγγίσεις όπου χρησιμοποιούνται κλιματικές πληροφορίες που προκύπτουν από GCMs είναι αρκετά σημαντικοί. Είναι γεγονός ότι τέτοιου είδους μοντέλα δεν έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν πληροφορίες σε μικρότερες κλίμακες και λογικά αδυνατούν να περιγράψουν κλιματικές διεργασίες σε επίπεδα μικρότερα από φατνίο. Για παράδειγμα, η επιρροή της βροχής σε μια ευρεία κλίμακα μπορεί να οφείλεται σε ένα μικρότερο πεδίο βουνού (με κλίμακα πιο μικρή από φατνίο). Επιπρόσθετα, πολλές εργασίες έχουν δείξει ότι τα GCMs δεν μπορούν να δώσουν αξιόπιστες κλιματικές πληροφορίες στην μικρότερη κλίμακα που παράγουν αποτελέσματα. Ωστόσο, παρά τους περιορισμούς που υπάρχουν τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα είναι το βασικό εργαλείο για χωρική διακριτοποίηση η οποία θα χρησιμοποιηθεί για διερεύνηση επιπτώσεων.



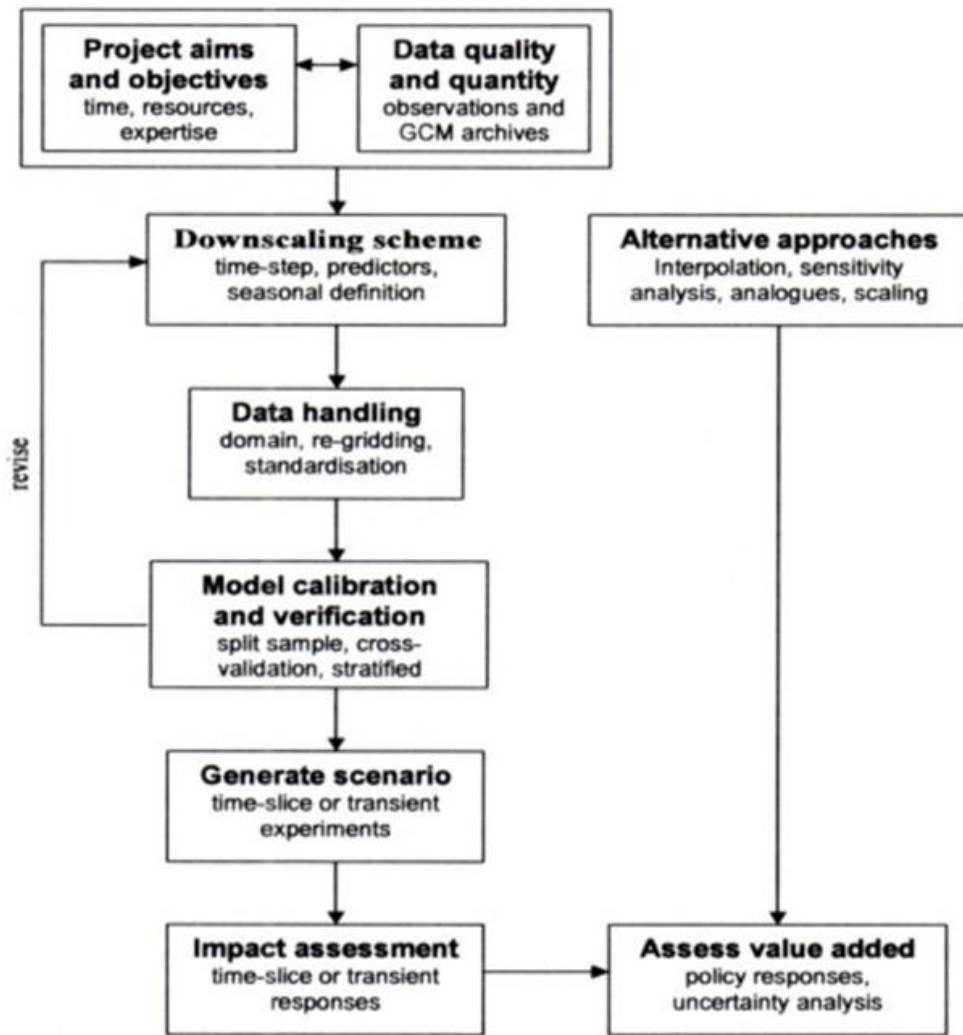
Εικόνα 3-1. Χρονική εξέλιξη των Παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων (GCMs)

### 3.3 Στατιστική υποκλιμάκωση

Η ανάλυση των GCMs είναι πολύ τραχιά (εκατοντάδες χιλιόμετρα) ενώ των RCMs μερικές δεκάδες χιλιόμετρα. Βέβαια οι περισσότερες μελέτες διερεύνησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής απαιτούν αξιόπιστες πληροφορίες σε πολύ μικρότερες κλίμακες από τις παραπάνω.

Ένας εύκολος τρόπος για να ενσωματωθεί το σήμα της κλιματικής μεταβολής σε τοπική μικρή κλίμακα είναι να εφαρμοστούν οι προβολές στο μέλλον από τα GCMs σε μια βάση παρατηρημένων δεδομένων τοπικής κλίμακας (για μια συγκεκριμένη περιοχή μελέτης) η οποία είναι γνωστή ως μέθοδος παράγοντα μεταβολής. Είναι μια μεθοδολογία που εφαρμόζεται δεν υπάρχουν αποτελέσματα από RCM, σε μελέτες ευαισθησίας και όταν επιβάλλεται να υπάρχει γρήγορη διαμόρφωση του σήματος της κλιματικής αλλαγής. Οι πληροφορίες για την κλιματική αλλαγή σε αναλύσεις επιπτώσεων είναι δυνατό να ενσωματωθεί με περισσότερο πολύπλοκες μεθοδολογίες αλλά αυτό συνήθως προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μόνο GCM. Σε αυτό το στάδιο το βασικό είναι η παροχή μιας βάσης δεδομένων και κατευθυντήριων γραμμών για πως εφαρμόζονται οι μέθοδοι καταβιβασμού κλίμακας στα κλιματικά μοντέλα.

Βασική παραδοχή του στατιστικού καταβιβασμού κλίμακας είναι ότι το χωρικό-τοπικό κλίμα επηρεάζεται από: τις κλιματικές συνθήκες (μεγάλης κλίμακας), και τα τοπιολογικά χαρακτηριστικά (δηλαδή χαρακτηριστικά τοπογραφίας, κατανομής θάλασσας-γης, και χρήσης γης (von Storch 1995,1999). Έτσι, τα τοπικά δεδομένα εξάγονται πρώτα και διαμορφώνουν ένα μοντέλο στατιστικής σύνδεσης μεγάλης κλίμακας εξαρτημένων μεταβλητών και ανεξάρτητων μεταβλητών. Έπειτα τα αποτελέσματα εξόδου του GCM ενσωματώνονται στο στατιστικό μοντέλο και προκύπτουν οι ανάλογες επιπτώσεις στις μεταβλητές τοπικής κλίμακας. Αυτό αποτελεί ένα βασικό πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων αφού εφαρμόζονται απευθείας στην έξοδο του GCM και έτσι απαιτούν μικρό όγκο υπολογισμών. Το κύριο θεωρητικό μειονέκτημα τους είναι το γεγονός ότι τα στατιστικά μοντέλα που δημιουργούνται έχουν πληροφορίες τόσο ιστορικές όσο και πιθανές μελλοντικές κάτι συμβαίνει και στα δυναμικά μοντέλα όσον αφορά τη φυσική τους παραμετροποίηση.



Εικόνα 3-2. Κυριότερα στάδια στατιστικής υποκλιμάκωσης, Wilby et al., (2004).

### 3.4 Χωρικά κλιματικά μοντέλα RCMs

Τα χωρικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) βασίζονται στη χρήση αρχικών συνθηκών, σε πρόσφατες μετεωρολογικές μεταβλητές συναρτήσεως του χρόνου και σε συνθήκες επιφανειακών ορίων. Συνήθως τα στοιχεία κατεύθυνσης προέρχονται από παγκόσμια κλιματικά μοντέλα ή από αρχείο παρατηρήσεων και ενσωματώνουν τις επιδράσεις τόσο των αεροζόλ όσο και των αερίων του θερμοκηπίου. Ο σχεδιασμός λοιπόν προϋποθέτει ότι το GCM θα αποδώσει την παγκόσμια κυκλοφορία σε μεγάλες κλίμακες ενώ το RCM θα χρησιμοποιηθεί για: α) την εκτίμηση των δυνάμεων σε μικρότερο επίπεδο από το παγκόσμιο

μοντέλο, και β) τον εμπλουτισμό της προσομοίωσης των διεργασιών της ατμόσφαιρας και των μεταβλητών του κλίματος σε μικρότερες κλίμακες.

Υπάρχουν δύο σημαντικά εμπόδια τα οποία είναι πρώτον ότι τα αποτελέσματα των σφαλμάτων στα στοιχεία κατεύθυνσης προέρχονται από GCMs, και δεύτερον ότι δεν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο χωρικό και παγκόσμιο κλίμα. Στη πράξη, σε μια επιστημονική προσέγγιση, θα πρέπει να αιτιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο επιλέγονται οι φυσικές παράμετροι, το μέγεθος του πεδίου καθώς και το εύρος της ανάλυσης του μοντέλου, η μέθοδος που ενσωματώνονται οι μεγάλης κλίμακας μετεωρολογικές συνθήκες και τέλος η εσωτερική ανομοιογένεια που προκύπτει από μη γραμμικές δυνάμεις ανεξάρτητες των ορίων ισχύος (Giorgi and Mearns, 1991, 1999; Ji and Vernekar 1997). Πολλά πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε περιορισμένο εύρος λόγω του μικρού μεγέθους του πεδίου και της ανάλυσης των προσομοιώσεων με χωρικά κλιματικά μοντέλα. Φυσικά τα πεδία των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων δεν αποθηκεύονται σε υψηλές συχνότητες (6 ώρες ή και περισσότερο) όπως επιτάσσει ένα RCM έτσι απαιτείται στενή συνεργασία μεταξύ των ερευνητών του εκάστοτε μοντέλου (παγκόσμιου ή χωρικού) για να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις με χωρικά κλιματικά μοντέλα.

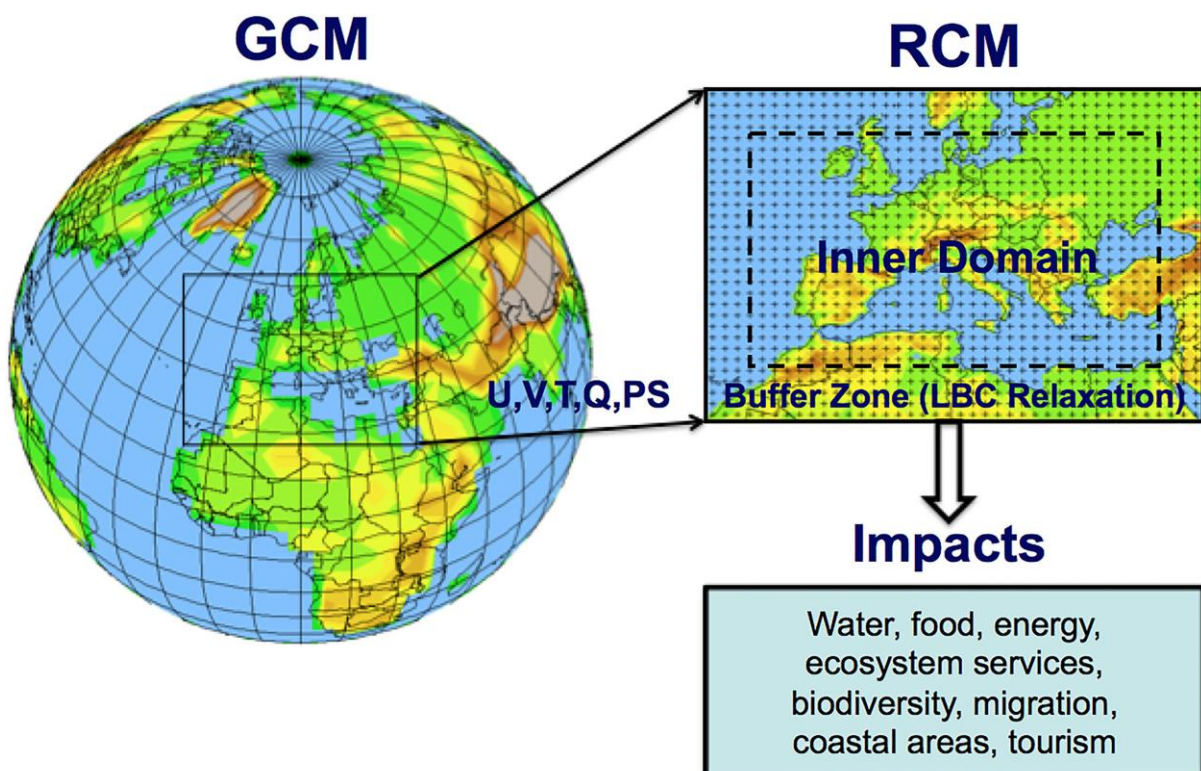
Το IPCC προσφέρει δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης. Η δημιουργία κατανοητών στατιστικών στοιχείων για το κλίμα προϋποθέτει την αναγνώριση των συστηματικών σφαλμάτων στα μοντέλα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή ενώ ούτως ώστε να καταστεί εφικτό τα μοντέλα ατμόσφαιρας να ισορροπήσουν με τις συνθήκες εδάφους θα πρέπει να υιοθετηθούν μακροχρόνια πειράματα.

Σε μια επιστημονική προσέγγιση ο τρόπος και τα κριτήρια που επιλέγεται η περιοχή ανάλυσης δεν αποτελεί μια απλή εργασία. Η αύξηση στο μέγεθος μιας περιοχής ανάλυσης είναι δυνατόν να προκύψει λόγω ταυτόχρονης μείωσης της επίδρασης της πίεσης του ορίου και με τον τρόπο αυτό να κυριαρχήσουν οι διεργασίες του εσωτερικού μοντέλου σε συγκεκριμένες περιόδους αλλά και μεταβλητές. Επομένως, η επίλυση των χωρικών μοντέλων μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς τη βάση δεδομένων-οδηγό η οποία δυσκολεύει την ερμηνεία των καταβιβασμένων μεταβλητών. Η περιοχή θα πρέπει να έχει επαρκή έκταση ούτως ώστε η επίδραση των τοπικών παραγόντων και η ενισχυμένη ανάλυση να μην μετριάζονται ή να επηρεάζονται από τις οριακές συνθήκες

Οι επιδράσεις των φυσικών δυνάμεων διαμορφώνονται από τις επιφανειακές δυνάμεις της γης, των ωκεανών και το θαλάσσιο πάγο. Με μεγαλύτερη ανάλυση επιτυγχάνεται καλύτερη

προσέγγιση του υδρολογικού κύκλου δεδομένου ότι η τοπογραφία είναι λεπτομερέστερη. Τα κυκλωνικά συστήματα και οι κάθετες ταχύτητες περιγράφονται πιο διεξοδικά αν επιλυθεί το μεγαλύτερο φάσμα των ατμοσφαιρικών διεργασιών αλλά αυτό μπορεί να προκαλέσει ανεπάρκειες στην προσομοίωση του τοπικού κλίματος.

Οι φυσικές διεργασίες υπεισέρχονται στα RCMs από μία καλά αξιολογημένη υπάρχουσα περιοχή με περιορισμένο μέγεθος και τροποποιημένη κατάλληλα για χρήση σε μελέτες κλιματικές ή εξάγεται άμεσα το GCM. Όταν συμβαίνει το πρώτο όλες οι ομάδες παραμετροποίησης βαθμονομούνται και πιστοποιούνται με βάση τις απαιτήσεις της προσομοίωσης. Όμως με αυτόν τον τρόπο η ανάλυση των διαφορών χωρικού-παγκόσμιου μοντέλου είναι πολύπλοκη, αφού οι διαφορές δεν σχετίζονται μόνο με την προσομοίωση. Στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει κοινή κλίμακα αναφοράς, έτσι όμως οι φυσικές διεργασίες που αναπτύσσονται για τα GCMs μπορεί να καταστούν πολύ αόριστες για λεπτομερείς αναλύσεις με χωρικά κλιματικά μοντέλα και να πρέπει να επανακαθοριστούν. Βέβαια και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει ικανοποιητική απόδοση οπότε η επιλογή εξαρτάται από τον μελετητή.



Εικόνα 3-3. Υποκλιμάκωση Παγκόσμιου Κλιματικού Μοντέλου (GCM) με Χωρικό Κλιματικό Μοντέλο (RCM)

Ωστόσο σε μελέτες επιπτώσεων κλιματικής μεταβολής εφόσον δεν υπάρχει περιορισμός στον τύπο της ανάλυσης η δεύτερη περίπτωση έχει τη δυνατότητα να μεγιστοποιήσει τη συμφωνία χωρικού-παγκόσμιου μοντέλου στις δυνάμεις ακτινοβολίας.

### 3.5 Κλιματική προβολές

Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών σε συνεργασία με την Ακαδημία Αθηνών ως εταίροι του έργου EURO-CORDEX είχαν την ευθύνη παραγωγής δεδομένων κλιματικών προβολών για την υποστήριξη της ανάλυσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τον σχεδιασμό πολιτικών και μέτρων προσαρμογής. Τα εν λόγω κλιματικά δεδομένα έχουν παραχθεί για 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2060 (εγγύς μέλλον) και 2071-2100 (απώτερο μέλλον) με περίοδο αναφοράς την περίοδο 1971-2000 (παρόν κλίμα). Οι μελλοντικές κλιματικές προβολές βασίζονται σε 3 σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Representative Concentration Pathways) της IPCC: το αυστηρό σενάριο μετριασμού (RCP 2.6), το ενδιάμεσο σενάριο μετριασμού (RCP4.5) και τέλος το ακραίο σενάριο με πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5). Με κατάλληλη επεξεργασία τα δεδομένα προσαρμόστηκαν και παράχθηκαν χάρτες κλιματικών προβολών για το Πεντελικό όρος.

Τα ζεύγη των GCMs/RCMs που χρησιμοποιήθηκαν καταγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί:

*Πίνακας 3.1 Παγκόσμια και Περιοχικά κλιματικά μοντέλα του έργου LIFE AdaptInGR*

Ινστιτούτο	Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο (RCM)	Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο (GCM)	GCM, RCM ζεύγος όπως χρησιμοποιήθηκαν
SMHI	RCA4	HadGEM2-ES MPI-ESM-LR	1. HadGEM2-ES_r1i1p1_RCA4 2. MPI-ESM-LR_r1i1pi_RCA4
DMI	HIRHAM5 CCLM4-8-17	EC-EARTH	3. EC-EARTH_r3i1p1_HIRHAM5 4. EC-EARTH_r12i1p1_CCLM4-8-17
KNMI	RACMO22E	CNRM-CM5 HadGEM2-ES	5. CNRM-CM5_r1i1p1_RACMO22E 6. HadGEM2-

			ES_r1i1pi_RACMO22E
MPI-CSC	REMO2009	MPI-M-MPI-ESM- LR	7. MPI-ESM- LR_r1i1pi_REMO2009

### 3.6 Αποτελέσματα περιόδου αναφοράς 1971-2000 (παρόν κλίμα)

Η προσαρμογή των αποτελεσμάτων για το Πεντελικό όρος έχει να κάνει με τη δημιουργία χαρτών συγκεκριμένων κλιματικών μεταβλητών σε επίπεδο κελιού (pixel) 500m x 500m.

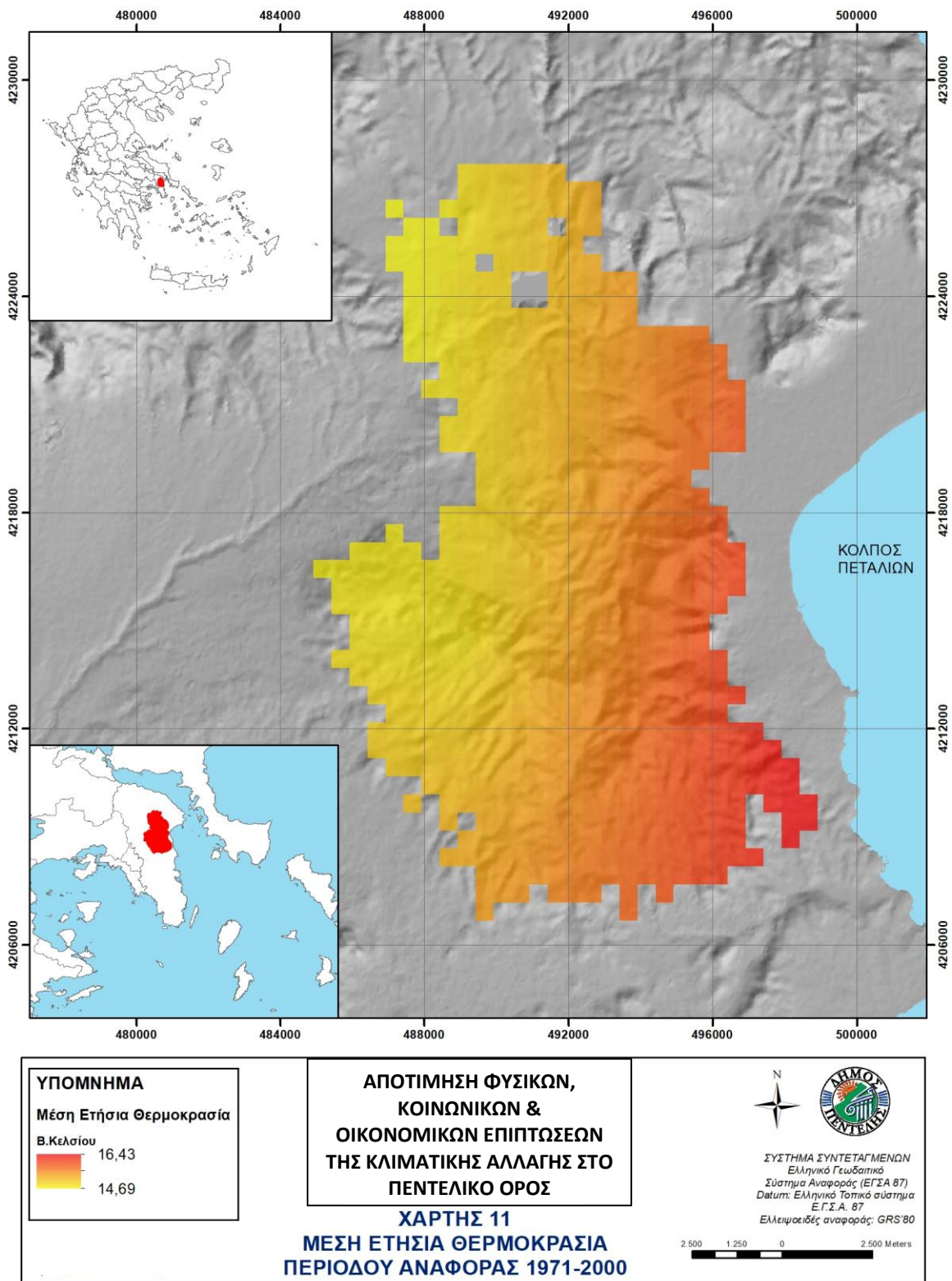
#### 3.6.1 Βροχόπτωση και θερμοκρασία

Στην Εικ. 3.4 παρουσιάζεται η μέση ετήσια θερμοκρασία για το Πεντελικό όρος η οποία προκύπτει από την προσομοίωση παρατηρημένων δεδομένων της περιόδου 1971-2000. Είναι σαφές ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 14,69 °C ως 16,43 °C κατά μήκος όλων των κελιών του Πεντελικού όρους. Οι πιο έντονες θερμοκρασίες αναπτύχθηκαν στο νοτιοανατολικό τμήμα στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Ραφήνας και στα δυτικά του Δήμου Μαραθώνα ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται στα δυτικότερα κελιά σε περιοχές των Δήμων Παλλήνης, Πεντέλης, Κηφισιάς και Ωρωπού.

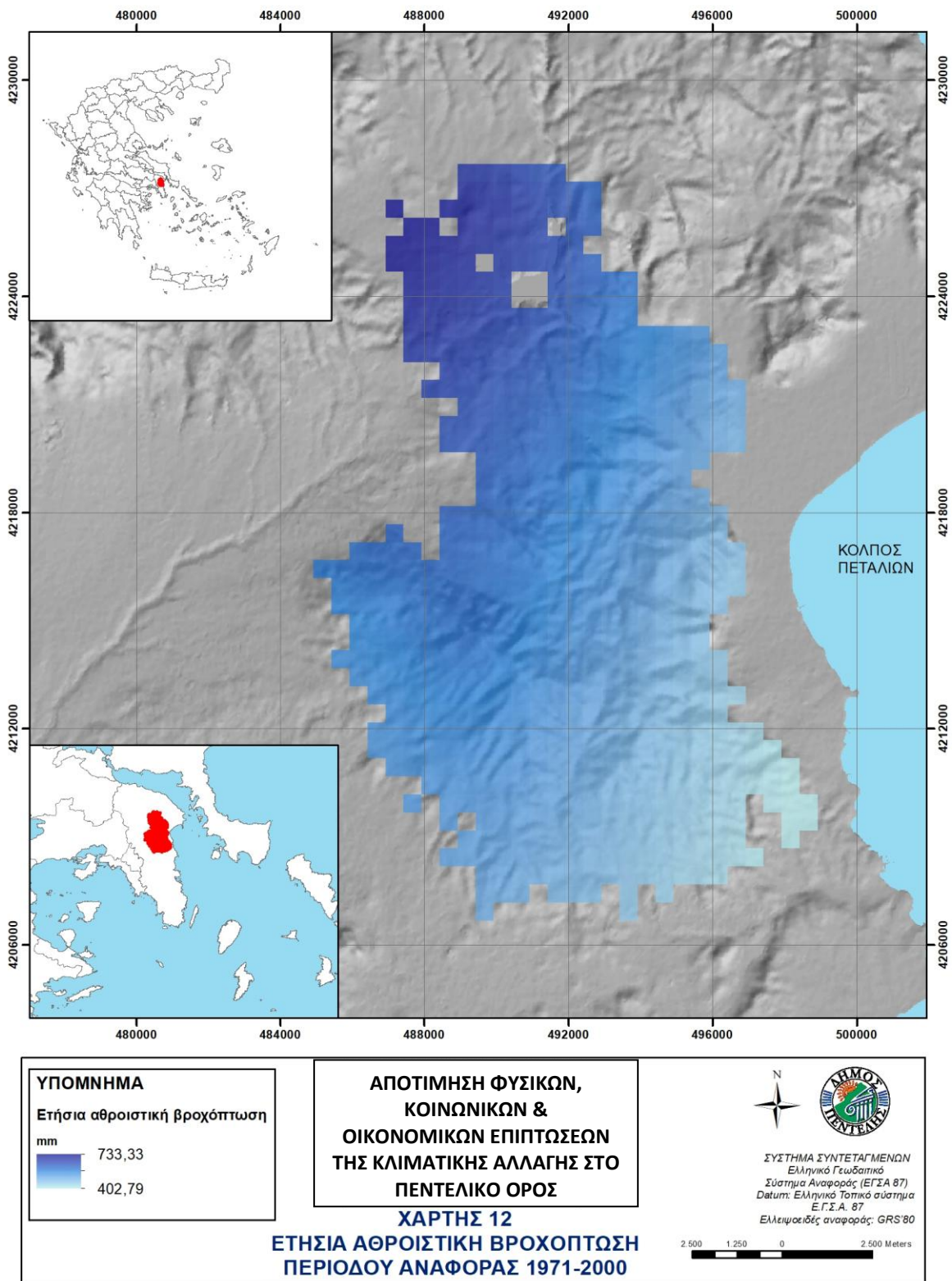
Αναφορικά με την βροχόπτωση είναι φανερό ότι οι προσομοιώσεις των μοντέλων επιτυγχάνουν να αναπαράγουν την παρατηρημένη βροχόπτωση της περιόδου 1971-2000 (Εικ. 3.5) η οποία κυμαίνεται από 400 mm ως 700 mm όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα του κλιματικού άτλαντα στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο (402,79 mm ως 733,33 mm προβάλλουν τα μοντέλα). Οι ισχυρότερες βροχοπτώσεις σημειώθηκαν στο βορειότερο τμήμα του Πεντελικού όρους στην περιοχή του Ωρωπού και του Μαραθώνα. Αντίθετα το νοτιοανατολικό τμήμα εμφανίζεται να δέχτηκε τις πιο ήπιες βροχοπτώσεις με μέση αθροιστική βροχόπτωση κοντά στα 400 mm.

Η χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 1971-2000 εμφανίζει κοινά χαρακτηριστικά με τη μέση ετήσια θερμοκρασία (Εικ. 3.6). Οι μεγαλύτερες ελάχιστες θερμοκρασίες σημειώθηκαν στο νοτιοανατολικό τμήμα ενώ οι χαμηλότερες στο δυτικό και βορειοδυτικό τμήμα. Αντίθετα, η μέση ετήσια μέγιστη θερμοκρασία παρουσιάζει

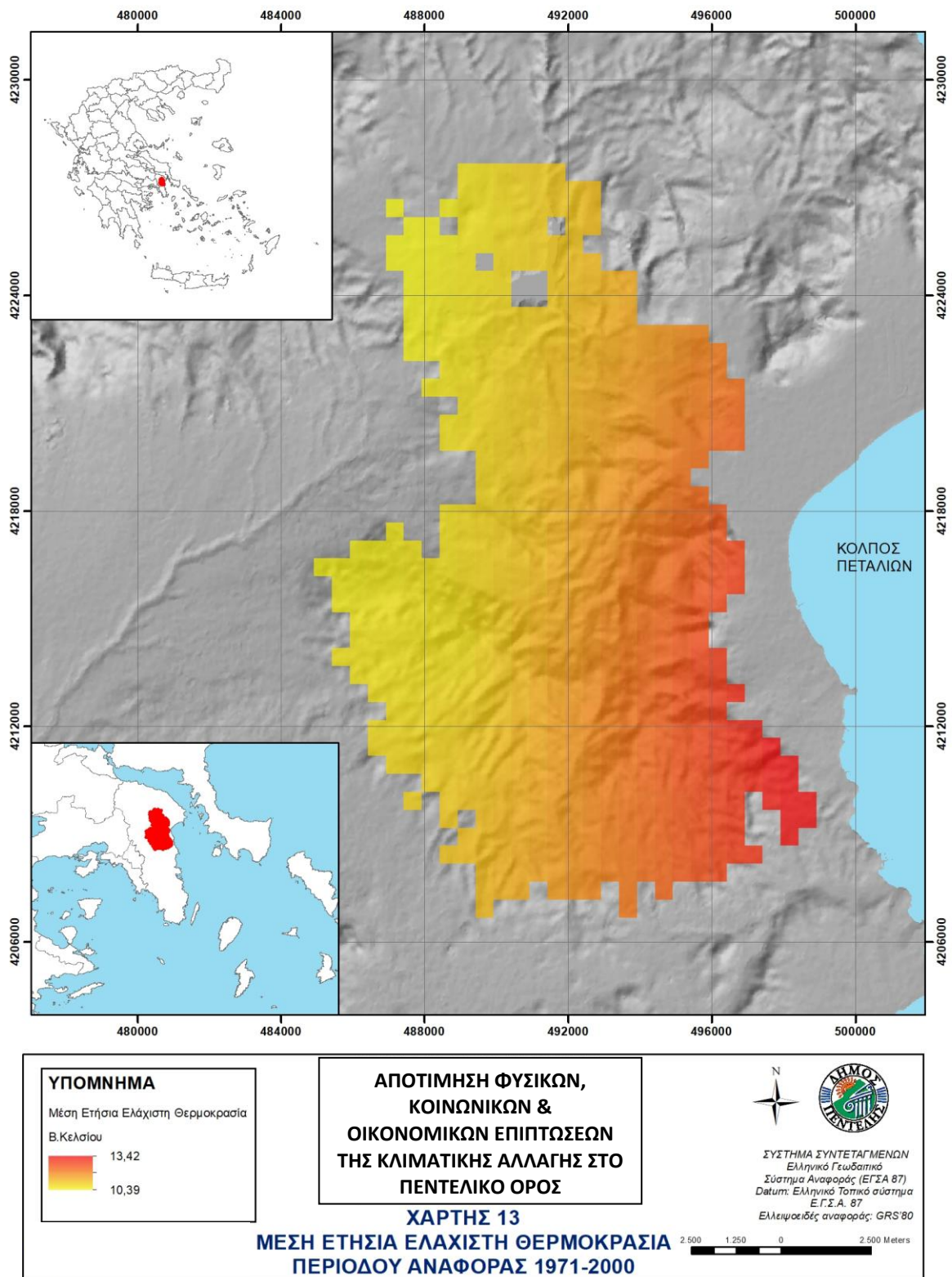
σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με την μέση ετήσια θερμοκρασία (Εικ. 3.7). Το νότιο (νοτιότερα τμήματα των Δήμων Πεντέλης, Κηφισιάς και Ραφήνας Πικερμίου) και το βορειοανατολικό τμήμα (περιοχή Ωρωπού και Μαραθώνα) εμφανίζουν τις υψηλότερες μέσες ετήσιες μέγιστες θερμοκρασίες της τάξης των 19,95 °C ενώ το νοτιοανατολικό τμήμα (ανατολικό τμήμα του Δήμου Ραφήνας) και βορειοδυτικό (δυτικό τμήμα του Δήμου Ωρωπού) εμφανίζουν τις χαμηλότερες μέσες ετήσιες μέγιστες θερμοκρασίες της τάξης των 19,43 °C.



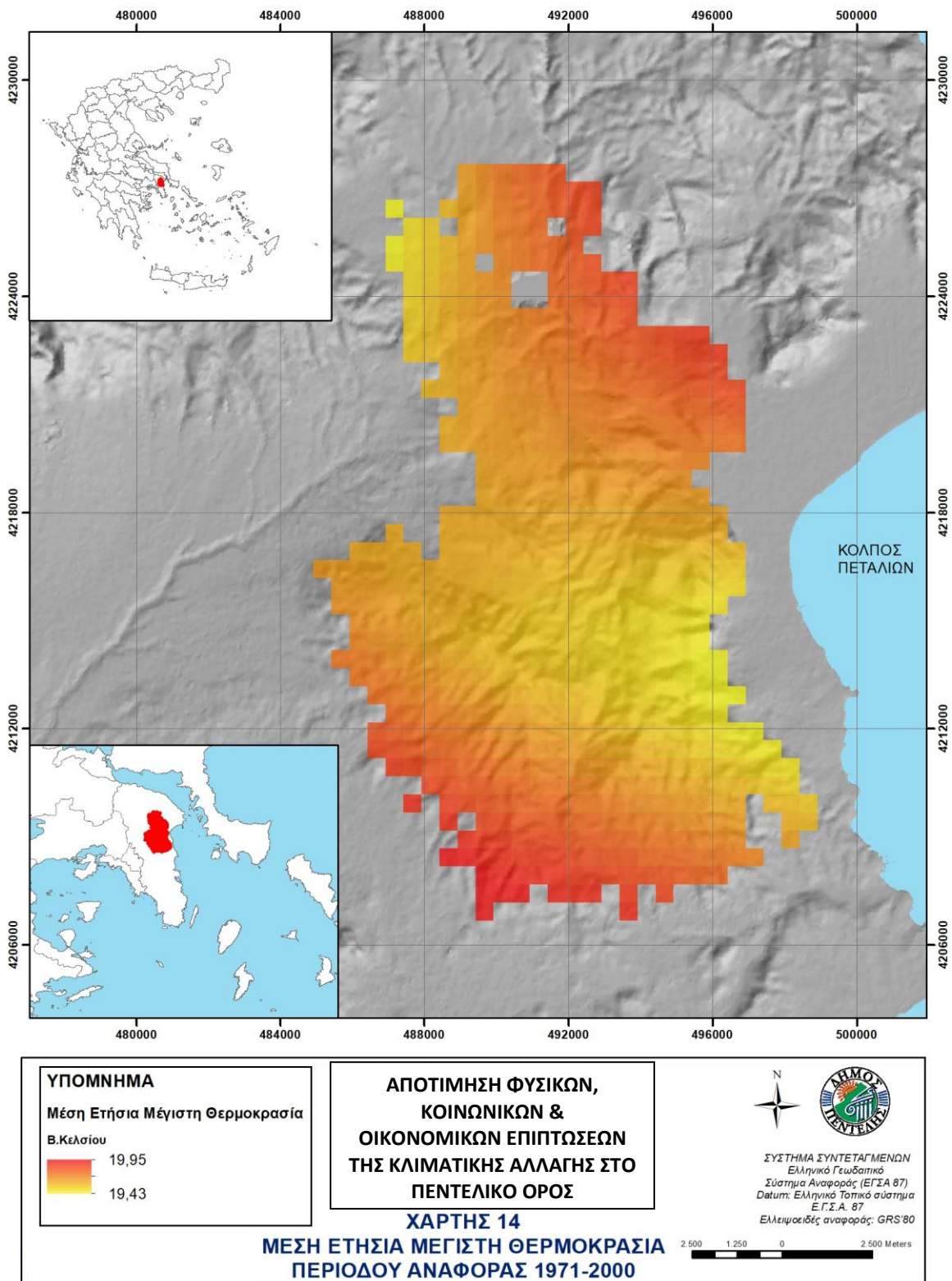
Εικόνα 3-4. Μέση Ετήσια Θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-5. Μέση Ετήσια Βροχόπτωση της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-6. Μέση Ετήσια Ελάχιστη Θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-7. Μέση Ετήσια Μέγιστη Θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000

### 3.6.2 Υγρασία και ταχύτητα ανέμου

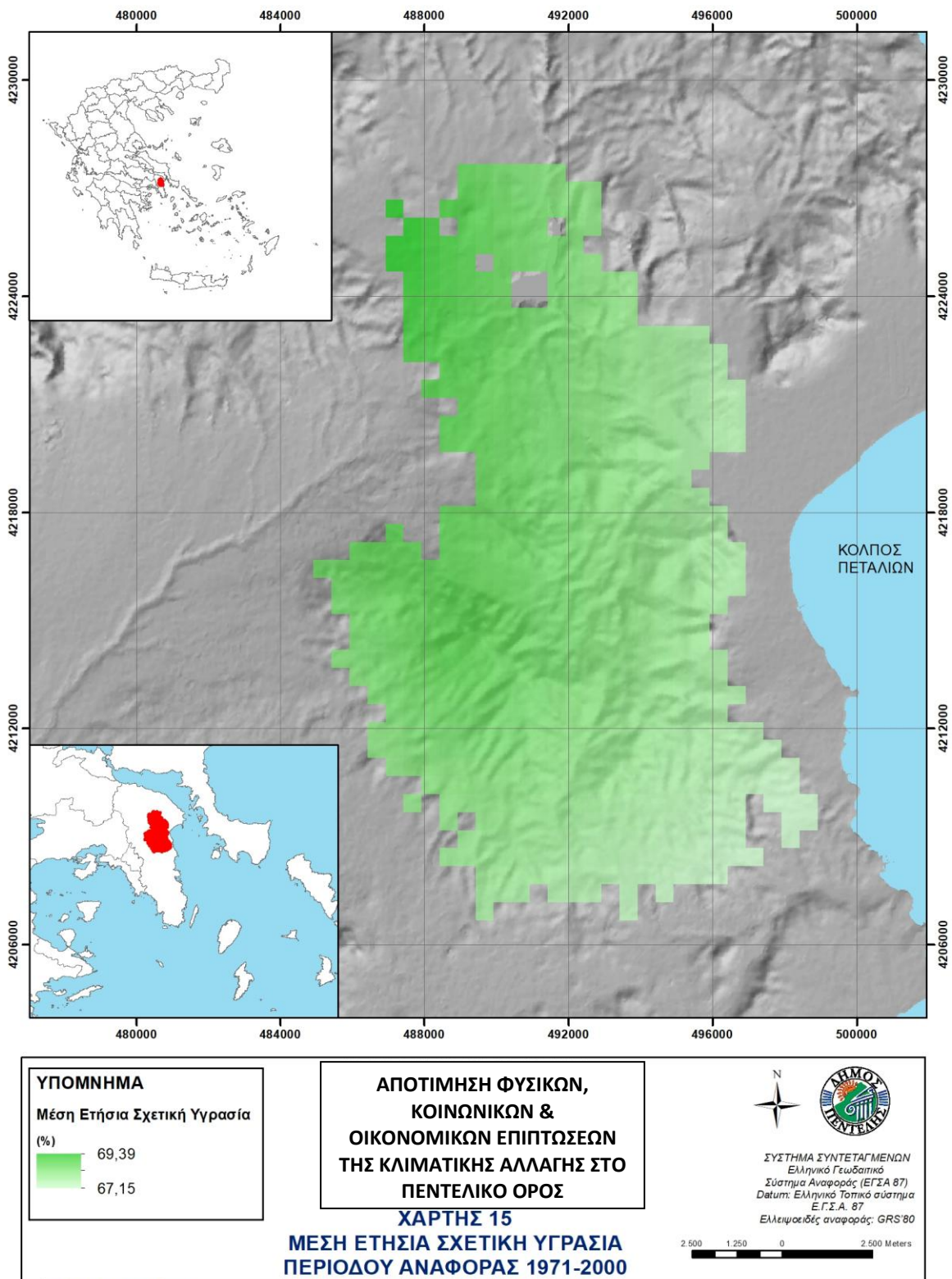
Η μέση ετήσια σχετική υγρασία για την περίοδο αναφοράς 1971-2000 παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.8. Το εύρος της κυμαίνεται μεταξύ 67,15% και 69,39% κατά μήκος όλων των κελιών του Πεντελικού όρους. Τα μικρότερα ποσοστά σχετικής υγρασίας παρατηρούνται στο νοτιοανατολικό τμήμα της μελετώμενης περιοχής ενώ τα μεγαλύτερα στο βορειοδυτικό. Από την άλλη η χωρική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου ακολουθεί μια γραμμική περίπου διαβάθμιση από το Βορρά προς το Νότο (Εικ. 3.9). Οι μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου παρατηρούνται στο ανατολικό τμήμα (5 m/s) ενώ οι μικρότερες στο δυτικό τμήμα (3,9 m/s).

### 3.6.3 Μετεωρολογικός Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιάς FWI (Fire Weather Index)

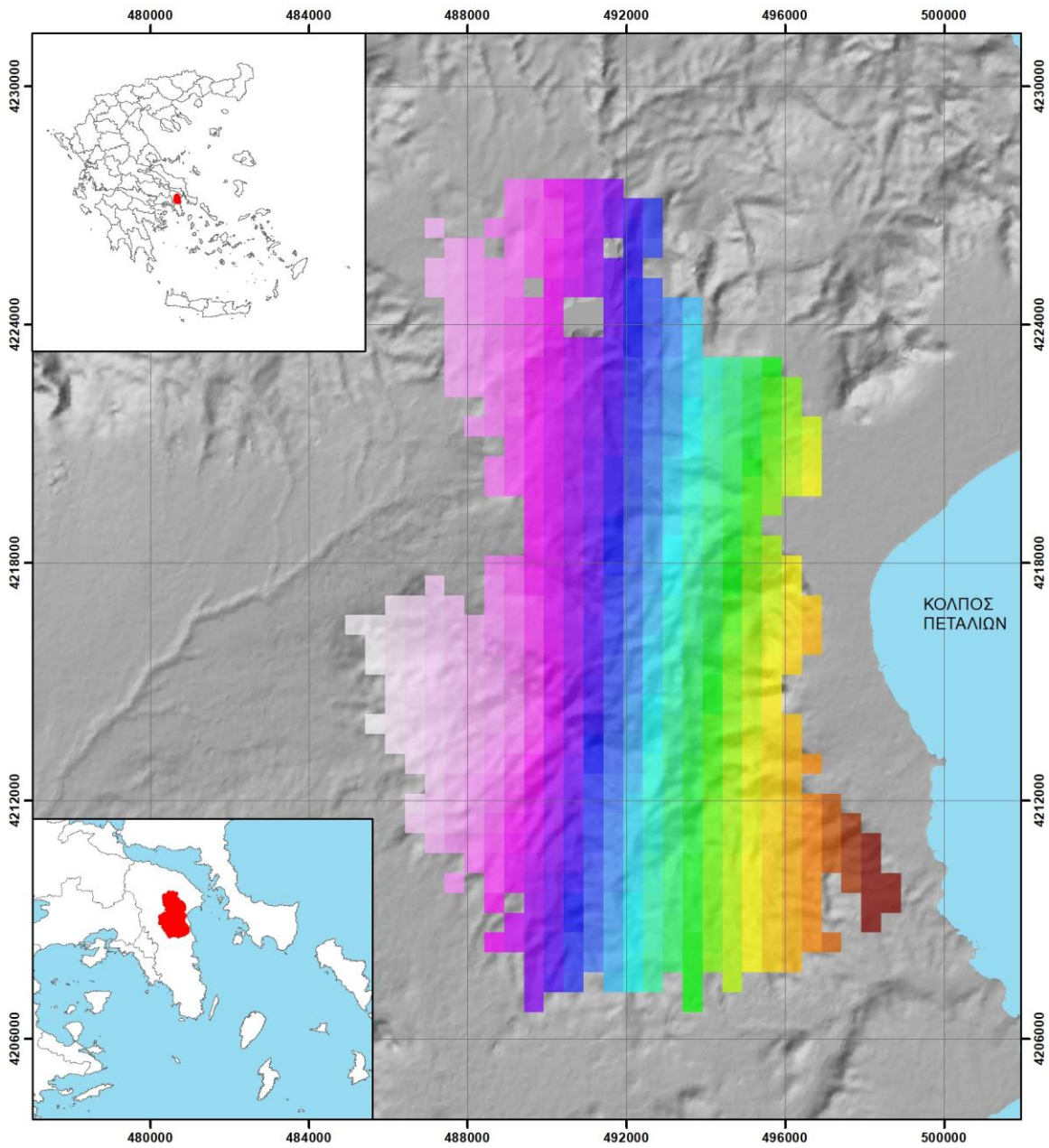
Ο δείκτης FWI δημιουργήθηκε για τα δάση του Καναδά (1987) και χρησιμοποιείται παγκόσμια (επιχειρησιακά- ερευνητικά) για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς σε ένα γενικευμένο τύπο καύσιμης ύλης. Πειράματα σε πορτογαλικά δάση απέδειξαν την αξιοπιστία του δείκτη και για τη Μεσόγειο (π.χ. Viegas et al., 1999). Μετά από περίοδο ελέγχου 5 χρόνων υιοθετήθηκε και στην Ευρώπη από το EFFIS-European Forest Fire Information System (<http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis>). Χρησιμοποιεί μόνο μετεωρολογικές παραμέτρους, λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση της υγρασίας της καύσιμης ύλης και του ανέμου στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Για τον υπολογισμό του απαιτούνται μεσημεριανές τιμές θερμοκρασίας, σχ. υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και 24ωρης βροχόπτωσης.

Για τα δάση της Ευρώπης Ο FWI χωρίζεται στις κλάσεις :

- Πολύ Χαμηλός <5.2
- Χαμηλός 5.2– 11.2
- Μέτριος 11.2 – 21.3
- Υψηλός 21.3 – 38.0
- Πολύ υψηλός 38.0-50.0
- Ακραίος > 50



Εικόνα 3-8. Μέση Ετήσια Μέγιστη Σχετική Υγρασία της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-9. Μέση Ετήσια Ταχύτητα Ανέμου της περιόδου αναφοράς 1971-2000

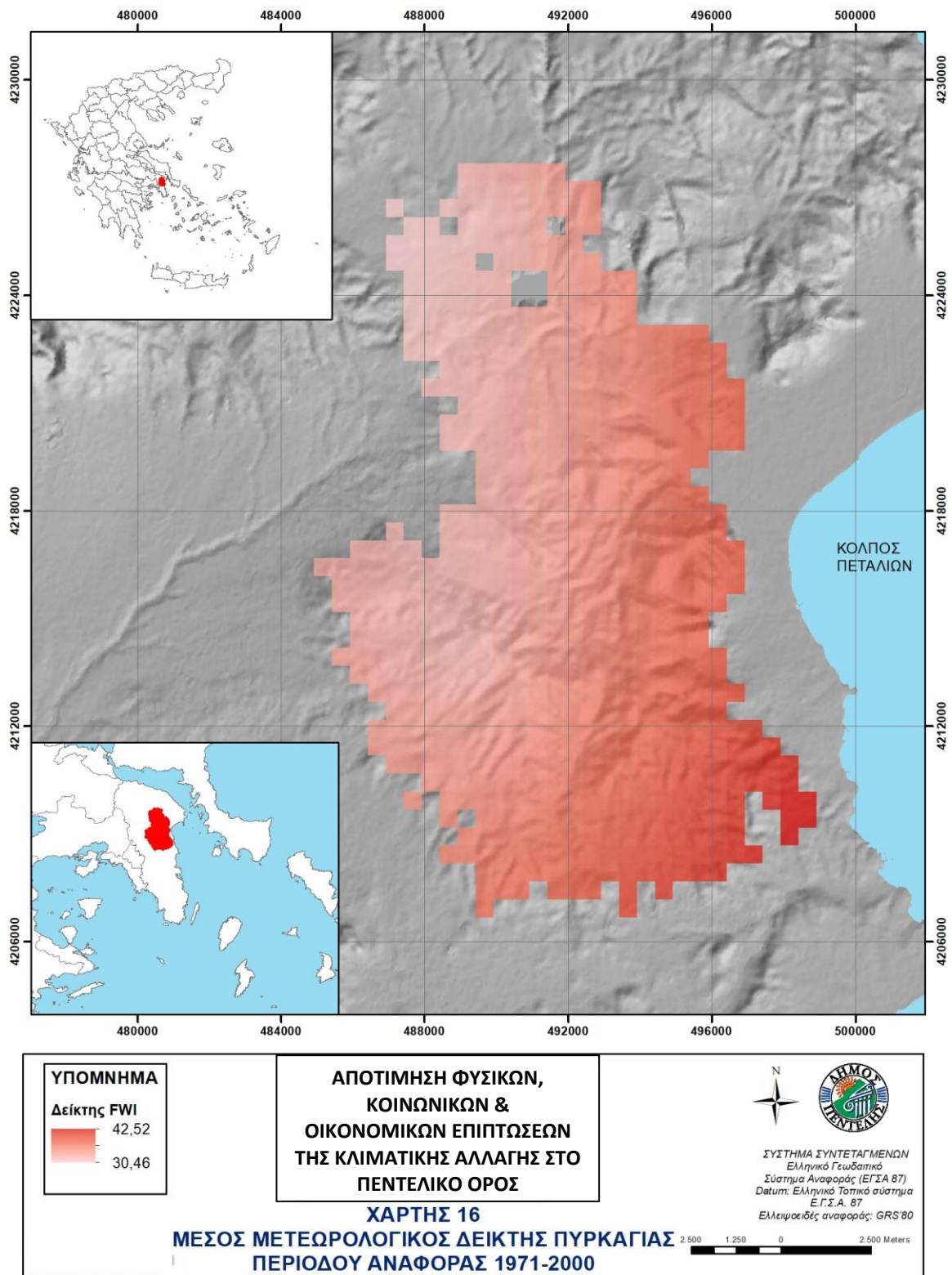
Στην Εικόνα 3.10 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του μέσου μετεωρολογικού δείκτη πυρκαγιάς FWI ενώ στην Εικόνα 3.11 παρουσιάζεται ο αριθμός ημερών με ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς ( $FWI > 50$ ). Είναι σαφές ότι με βάση την ταξινόμηση του δείκτη FWI το Πεντελικό όρος ανήκει είτε σε υψηλή είτε σε πολύ υψηλή κατηγορία κινδύνου πυρκαγιάς με τον μεγαλύτερο κίνδυνο να διατρέχει το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Ομοίως οι ημέρες που εμφανίζεται ακραίος κίνδυνος πυρκαγιάς κυμαίνονται από 30 ως 43 με τις περισσότερες ημέρες να παρουσιάζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα του Πεντελικού όρους.

#### **3.6.4 Διάρκεια ξηρασίας και αριθμός ξηρών ημερών**

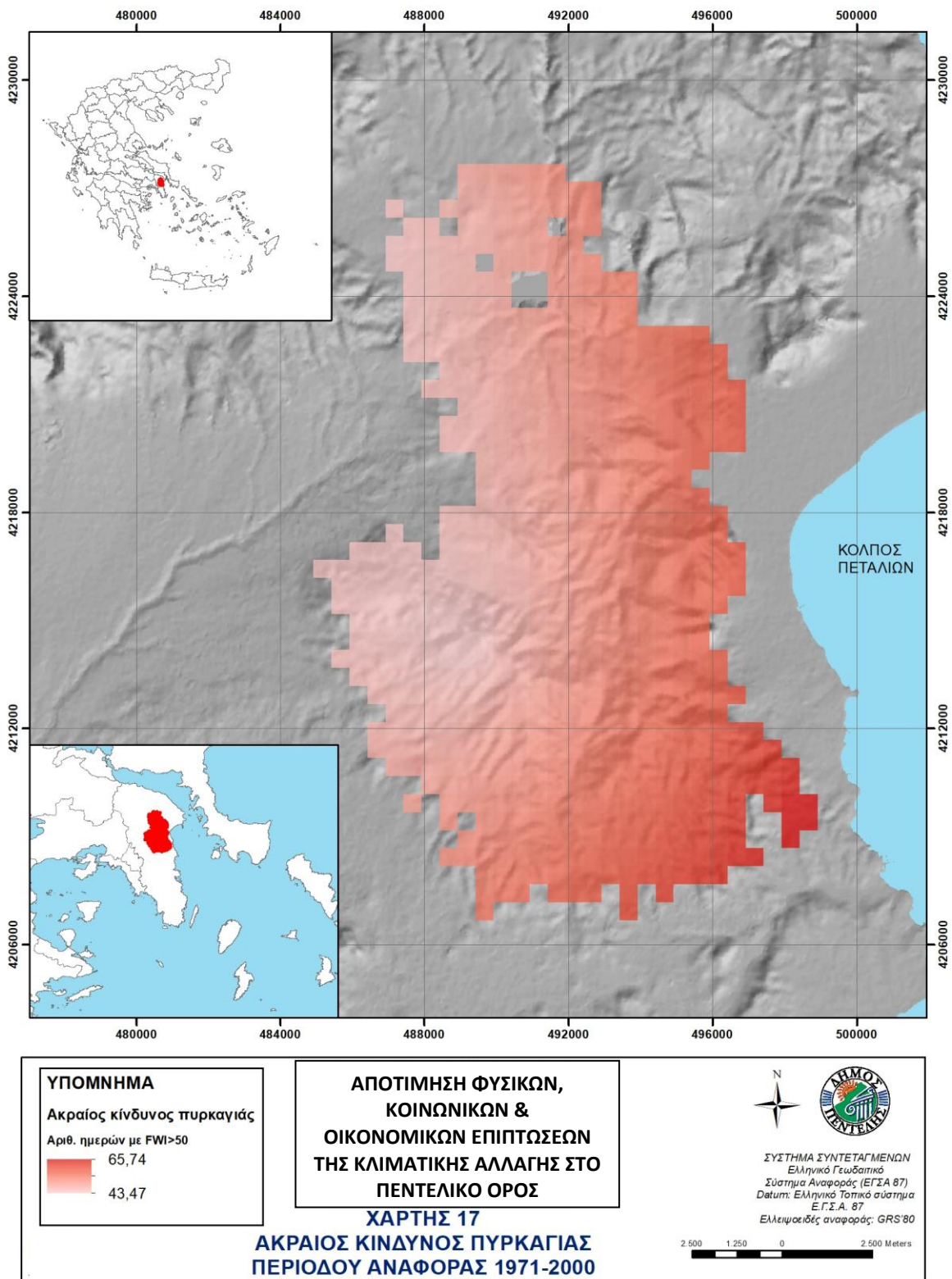
Η Εικόνα 3.12 παρουσιάζει τον αριθμό των ξηρών ημερών ( $Pr < 1\text{mm}$ , βροχόπτωση μικρότερη από 1 mm) ανά έτος για όλη την περίοδο 1971-2000. Είναι φανερό ότι το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης εμφανίζει τον μεγαλύτερο αριθμό ξηρών ημερών (308) ενώ το βορειοδυτικό τον μικρότερο (286). Επίσης η Εικόνα 3.13 παρουσιάζει το μέγιστο αριθμό διαδοχικών ξηρών ημερών (μέγιστη διάρκεια ξηρασίας) όπου και πάλι το νοτιοανατολικό τμήμα (νότιο τμήμα Δήμου Μαραθώνα, ανατολικό τμήμα Δήμου Ραφήνας-Πικερμίου) εμφανίζει τη μεγαλύτερη διάρκεια ξηρασίας με 85 συνεχόμενες ξηρές ημέρες ενώ το ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (ανατολικά τμήματα των Δήμων Ωρωπού, Κηφισιάς, Πεντέλης και Παλλήνης) παρουσιάζουν τη μικρότερη διάρκεια ξηρασίας με 58 ξηρές ημέρες.

#### **3.6.5 Αριθμός ημερών με $T_{\text{mean}} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $T_{\text{max}} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$**

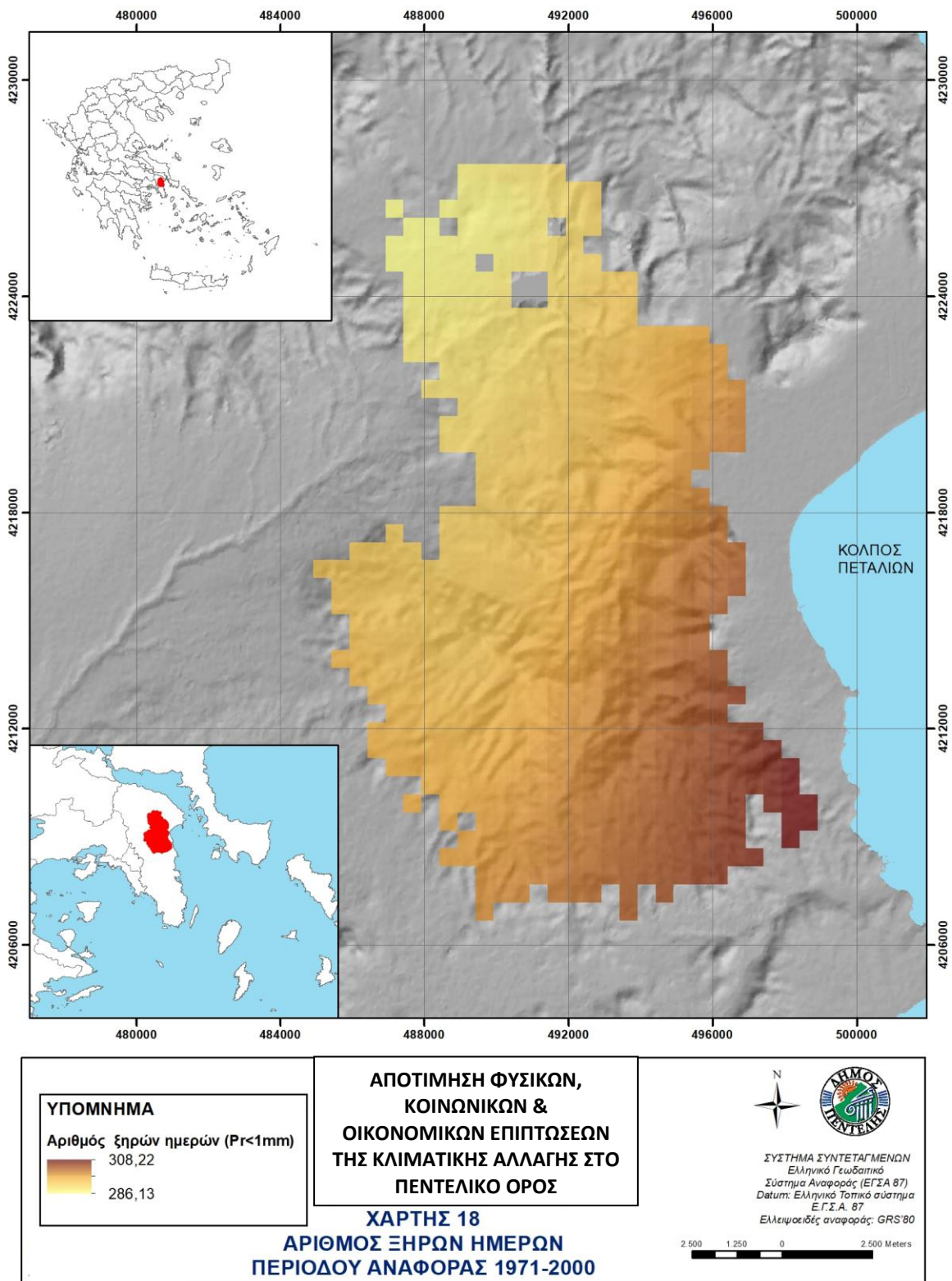
Η Εικόνα 3.14 παρουσιάζει τον αριθμό ημερών με μέση ετήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη των  $30^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{μέση}} > 30^{\circ}\text{C}$ ) ενώ η εικόνα 3.15 παρουσιάζει τον αριθμό ημερών με μέση ετήσια μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη των  $35^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{μέση}} > 35^{\circ}\text{C}$ ). Και στις δύο περιπτώσεις το δυτικό τμήμα του Πεντελικού όρους εμφανίζει τον μεγαλύτερο αριθμό θερμών ημερών ( $T_{\text{mean}} \approx 46$ ,  $T_{\text{max}} \approx 9,3$ ) ενώ το δυτικότερο τμήμα τον μικρότερο αριθμό ( $T_{\text{mean}} \approx 26$ ,  $T_{\text{max}} \approx 3,5$ ).



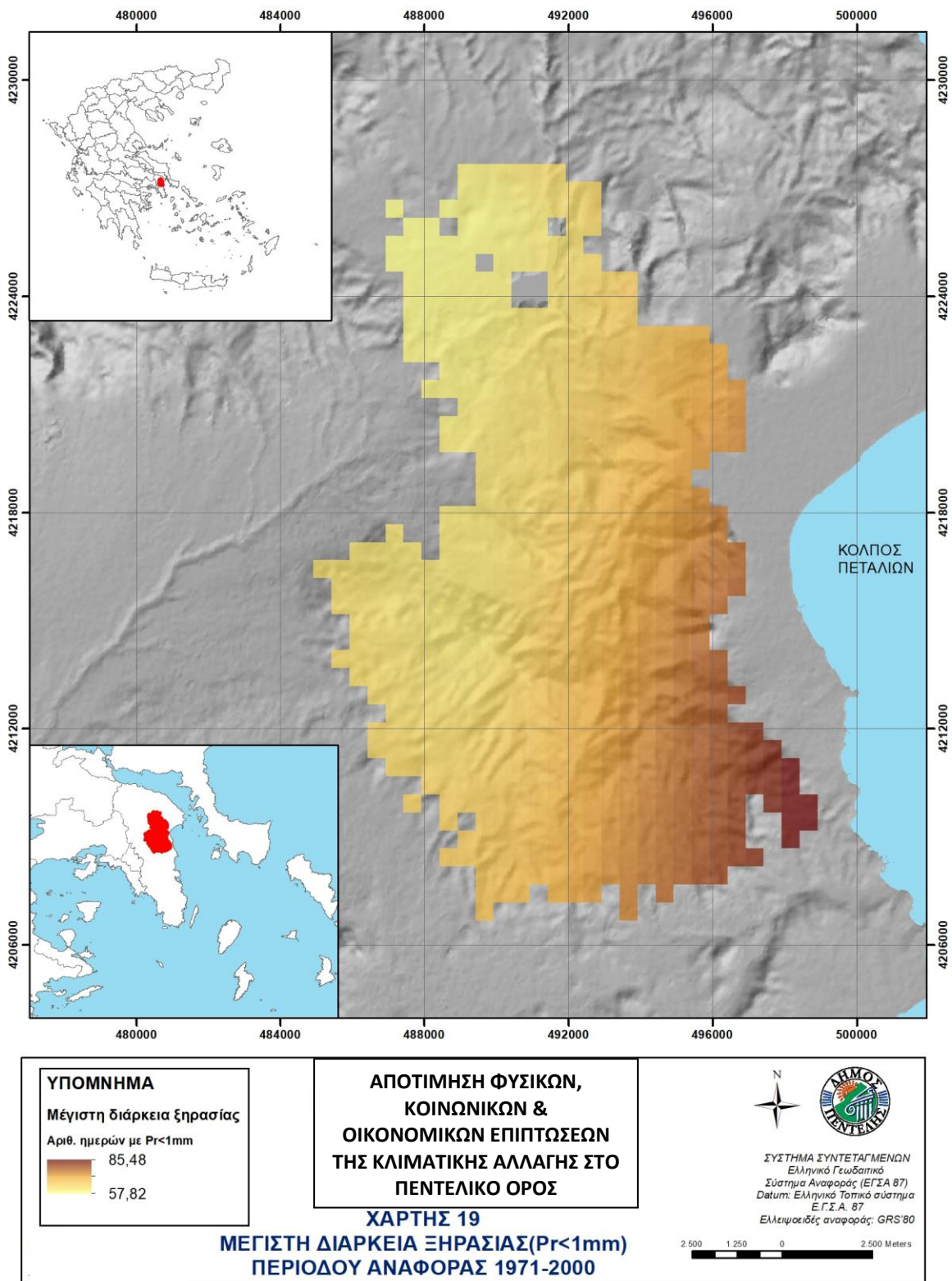
Εικόνα 3-10. Μέσος μετεωρολογικός δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς (FWI) της περιόδου αναφοράς 1971-2000



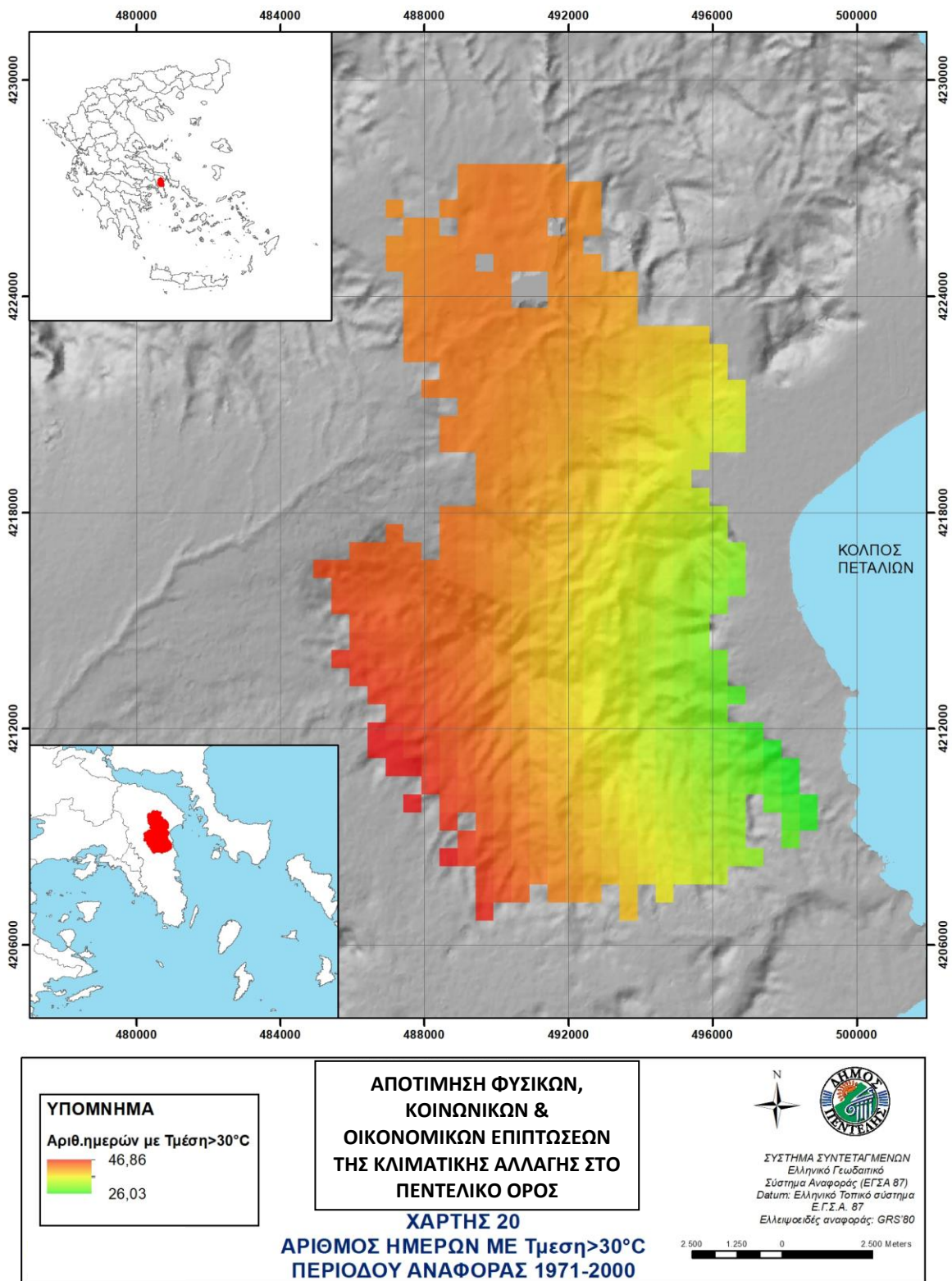
Εικόνα 3-11. Αριθμός ημερών με ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς (FWI>50) της περιόδου αναφοράς 1971-2000



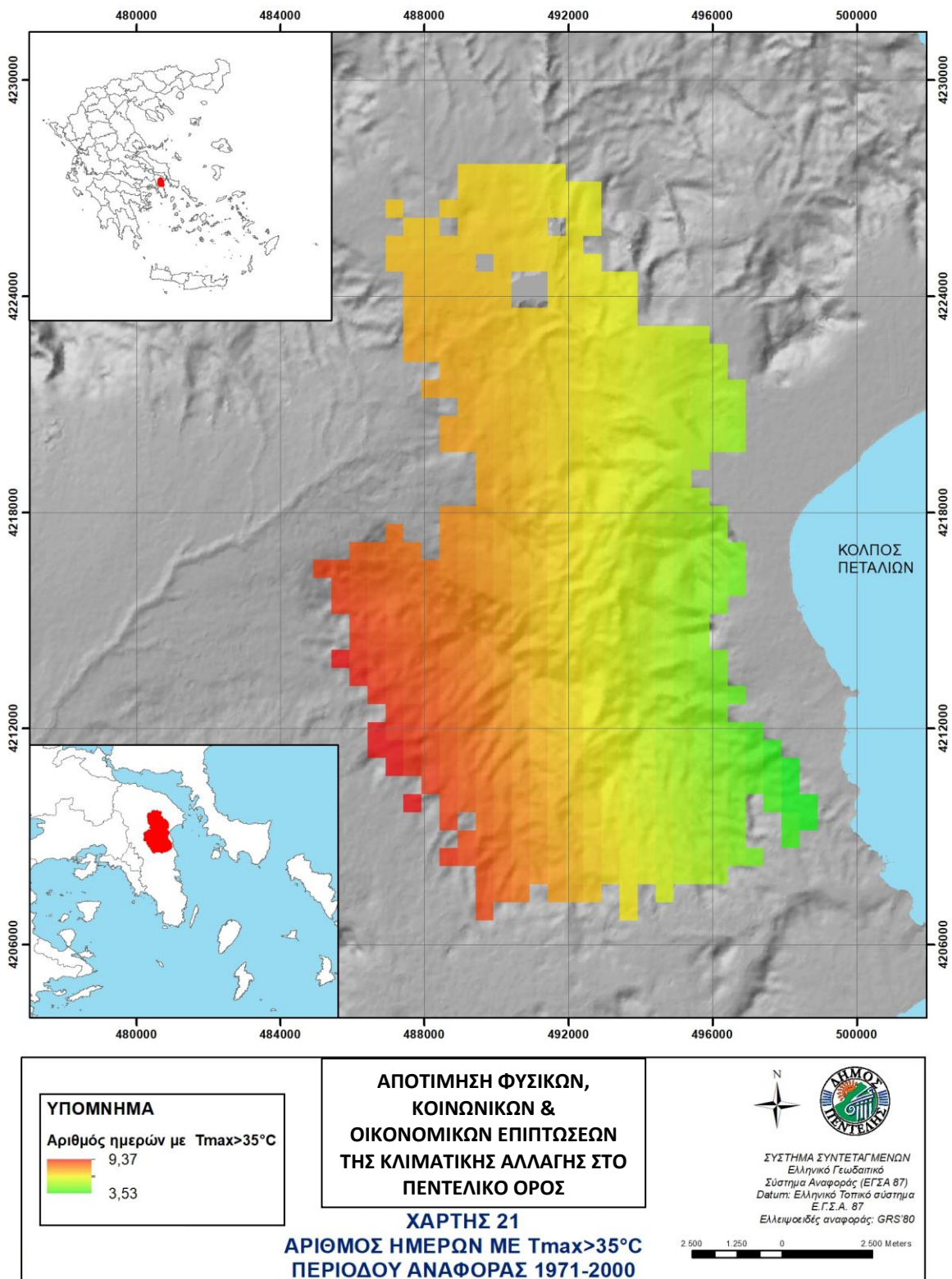
Εικόνα 3-12. Αριθμός ξηρών ημερών κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-13. Αριθμός διαδοχικών ξηρών ημερών κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-14. Αριθμός ημερών  $T_{mean} > 30^{\circ}\text{C}$  κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-15 Αριθμός ημερών με  $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$  κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000

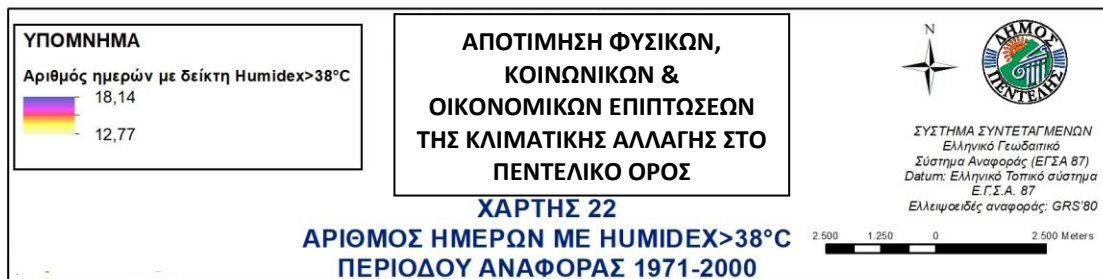
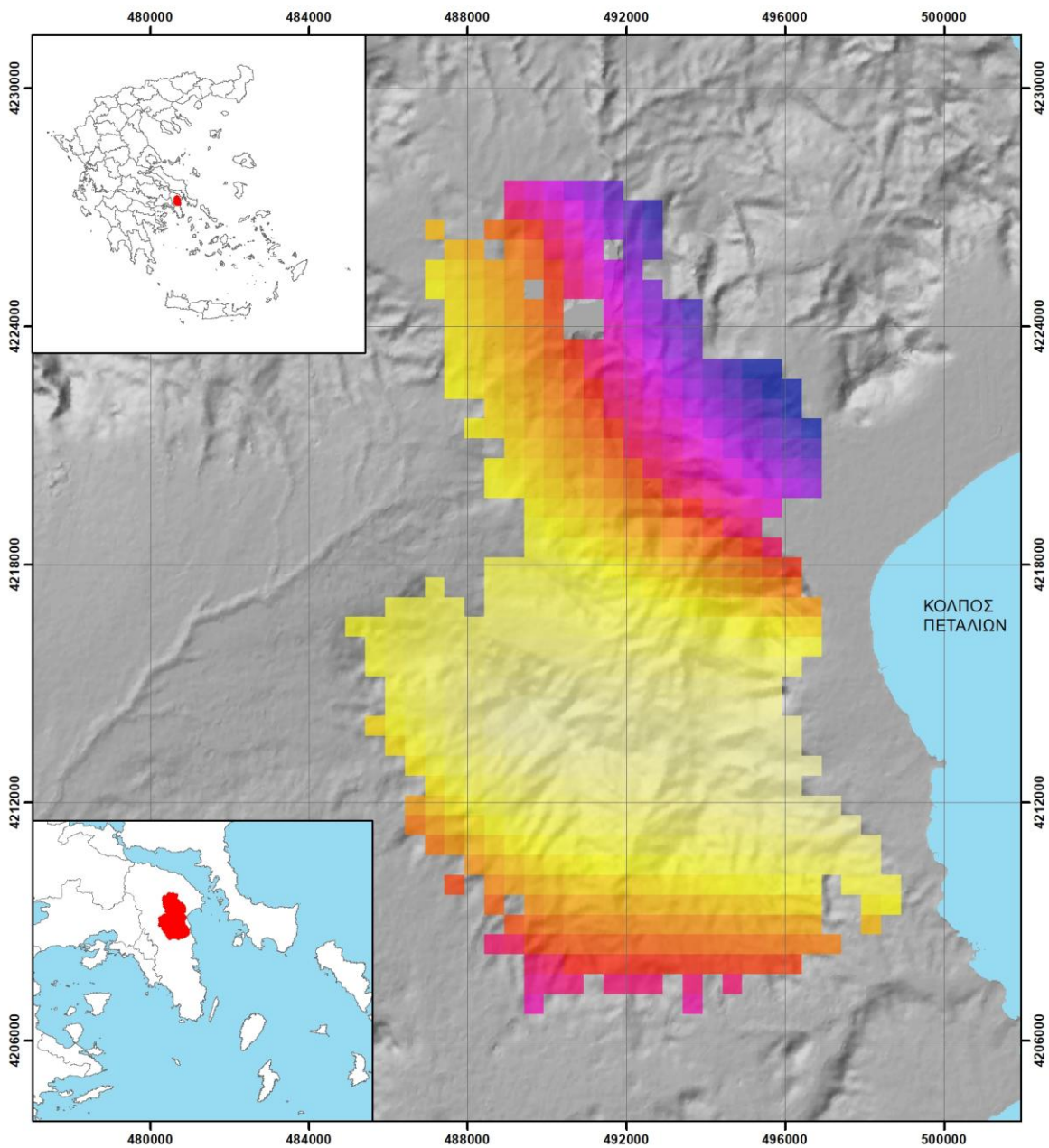
### 3.6.6 Δείκτης Δυσφορίας Humidex > 38°C, 40°C, 46°C

Ο humidex ("Hyu-mah-deks") είναι ένας δείκτης θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται από τους Καναδούς μετεωρολόγους για να περιγράψει πόσο ζεστός είναι ο καιρός για ένα άτομο, προσθέτοντας την επίδραση της θερμότητας και της υγρασίας. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία είναι 30 °C (86 °F) και ο υπολογισμένος humidex είναι 40, τότε αυτό σημαίνει ότι η υγρή ζέστη μοιάζει με ξηρή θερμοκρασία 40 °C (104 °F). Ο δείκτης χρησιμοποιείται ευρέως στα καναδικά δελτία καιρού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για να δώσει το επίπεδο δυσφορίας.

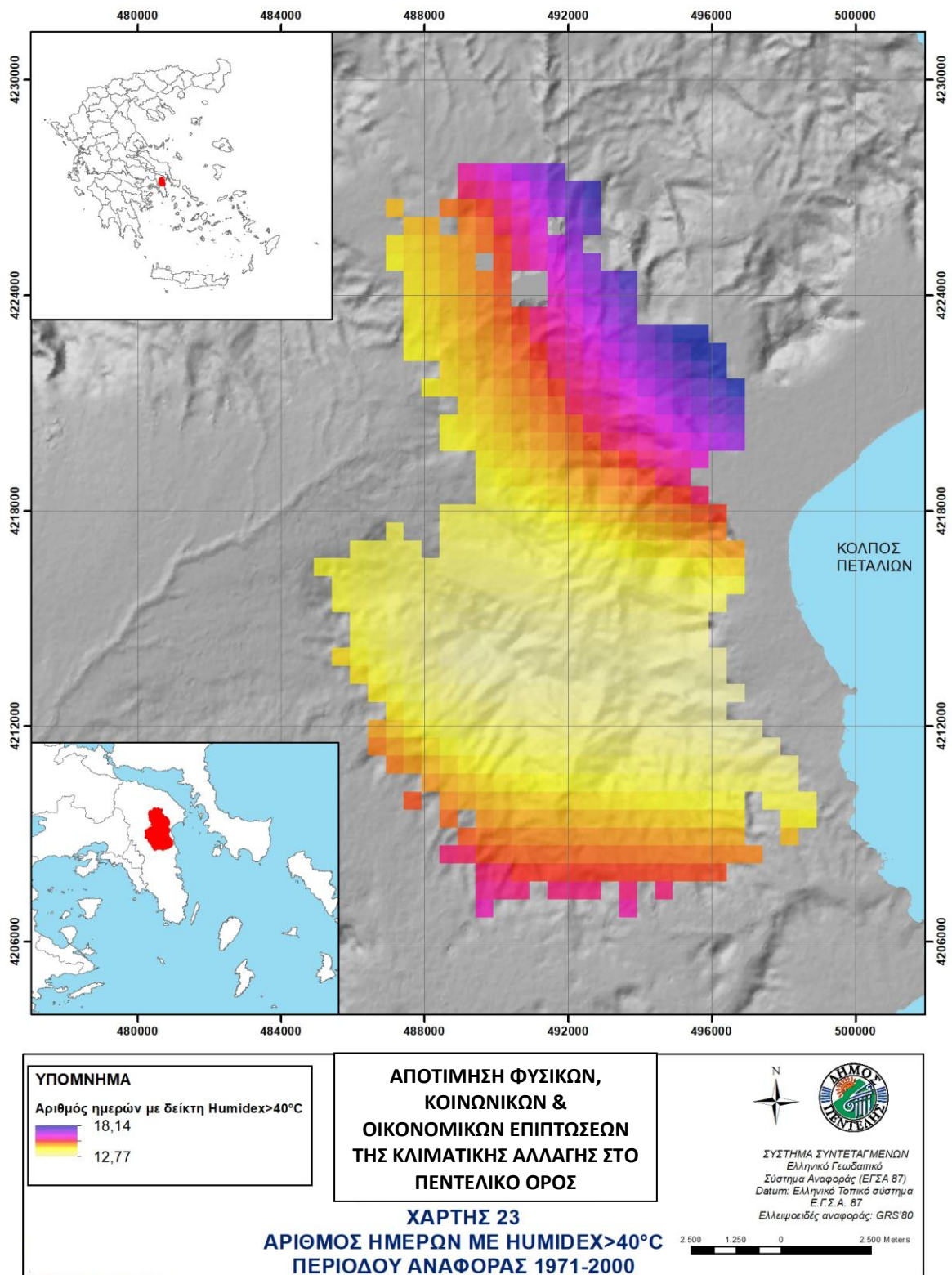
Σύμφωνα με τη Μετεωρολογική Υπηρεσία του Καναδά, η υγρασία τουλάχιστον 30 προκαλεί "κάποια δυσφορία", τουλάχιστον 40 προκαλεί "μεγάλη δυσφορία" και πάνω από 45 είναι "επικίνδυνη". Όταν ο humidex φτάνει το 54, τότε η θερμοπληξία είναι πολύ κοντά.

Ο σημερινός τύπος για τον προσδιορισμό του humidex αναπτύχθηκε από τους J.M. Masterton και F.A. Richardson της Υπηρεσίας Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Καναδά το 1979.

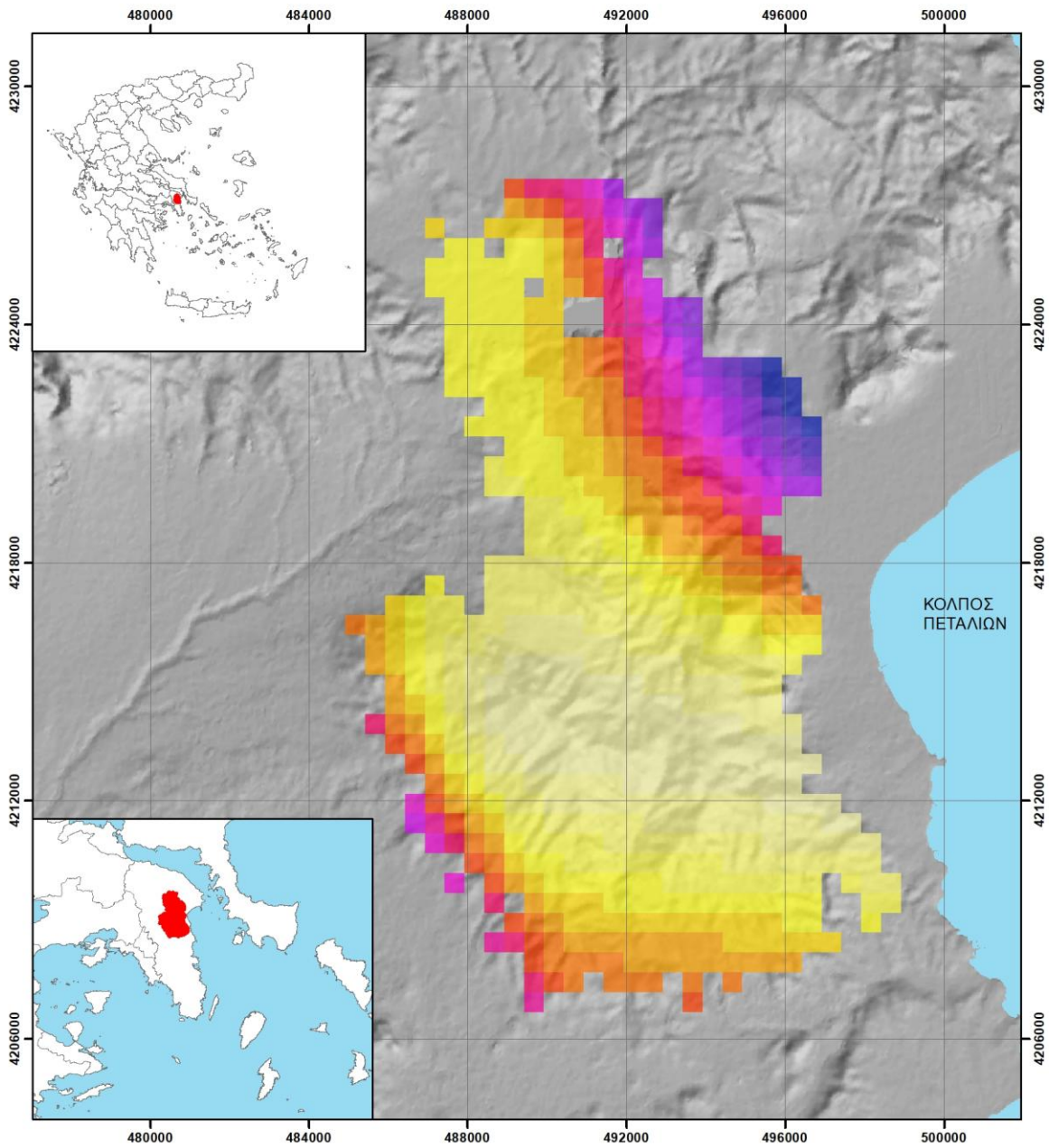
Οι Εικόνες 3.16, 3.17 και 3.18 παρουσιάζουν τον δείκτη Humidex 38, 40 και 46 °C αντίστοιχα. Αναφορικά με τον δείκτη Humidex > 38 °C, το βόρειο τμήμα του Πεντελικού στις περιοχές του Δήμου Ωρωπού και Μαραθώνα εμφανίζει το μεγαλύτερο αριθμό ημερών ενώ το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης εμφανίζει μικρό αριθμό ημερών εμφάνισης του δείκτη σε αυτή την τιμή. Ανάλογη είναι και η χωρική κατανομή του δείκτη Humidex > 40 °C με ακριβώς ίδια διακύμανση του αριθμού των ημερών. Στην περίπτωση του δείκτη Humidex > 46 °C, η χωρική κατανομή δεν αλλάζει σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κλάσεις του δείκτη, αλλάζει ωστόσο η διακύμανση του αριθμού των ημερών που εμφανίζεται αυτή η κλάση του δείκτη δεδομένου ότι είναι σχεδόν μηδενική η εμφάνιση του κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000 (0,11-0,3 αριθμός ημερών).



Εικόνα 3-16 Αριθμός ημερών με Humidex > 38°C κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-17 Αριθμός ημερών με Humidex > 40°C κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000



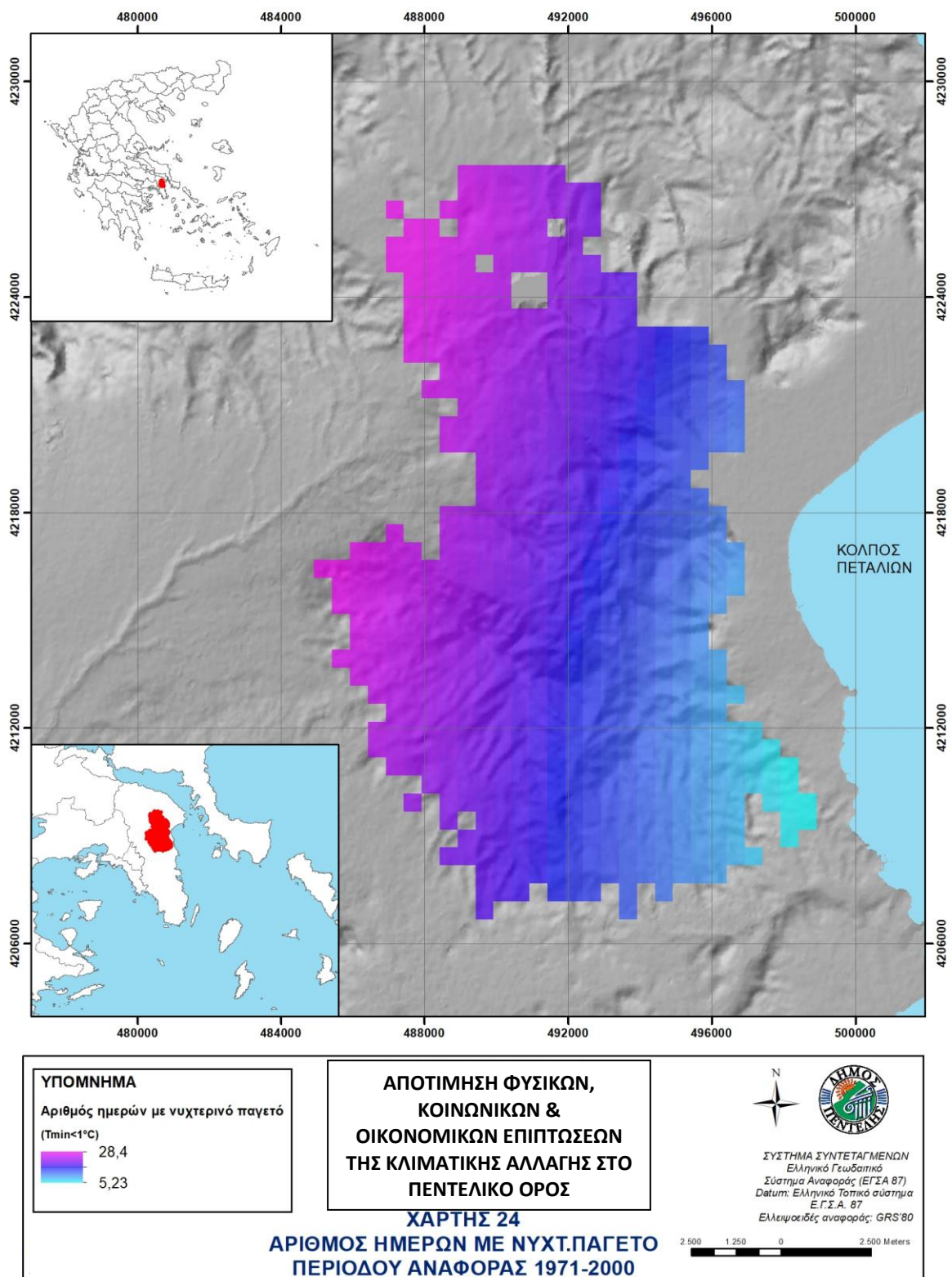
<p><b>ΥΠΟΜΝΗΜΑ</b></p> <p>Αριθμός ημερών με δείκτη Humidex &gt; 46°C</p> <p>0,3</p> <p>0,11</p>	<p><b>ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ &amp; ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟ ΠΕΝΤΕΛΙΚΟ ΟΡΟΣ</b></p> <p><b>ΧΑΡΤΗΣ 24</b></p> <p><b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ HUMIDEX &gt; 46°C ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 1971-2000</b></p>	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="font-size: small;">             ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ              Ελληνικό Γεωγραφικό              Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87)              Datum: Ελληνικό Τοπικό σύστημα              Ε.Γ.Σ.Α. 87              Ελλειψοειδές αναφοράς: GRS'80           </p> <div style="text-align: center;"> </div>
---	--	---

Εικόνα 3-18 Αριθμός ημερών με Humidex > 46°C κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000

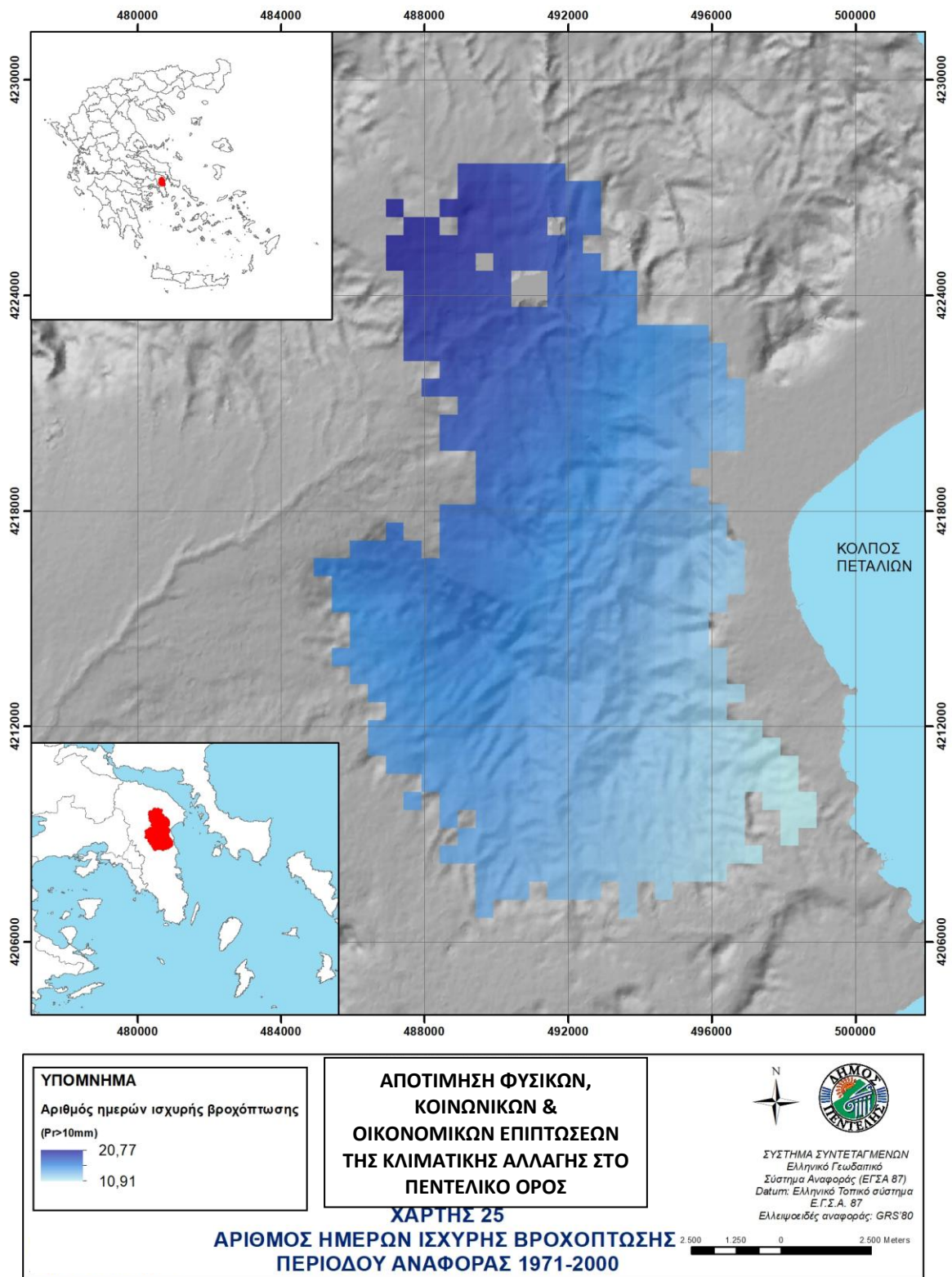
### 3.6.7 Κίνδυνος παγετού και μέρες ισχυρής βροχόπτωσης

Σημείο παγετού ή Σημείο πάχνης χαρακτηρίζεται το σημείο εκείνο της θερμοκρασίας του αέρα ενός τόπου, όπου οι υφιστάμενοι σ' αυτό υδρατμοί στερεοποιούνται, δηλαδή η θερμοκρασία του είναι κάτω από το 0 °C. Στην Εικόνα 3.19 παρουσιάζεται ο αριθμός ημερών με νυχτερινό παγετό ο οποίος για την περιοχή του Πεντελικού όρους κυμαίνεται από 5-28 ημέρες. Το μικρότερο αριθμό ημερών με νυχτερινό παγετό εμφανίζει το ανατολικό τμήμα και ιδιαίτερα το νοτιοανατολικό ενώ το ο μεγαλύτερος αριθμός παρουσιάζεται στο δυτικό τμήμα.

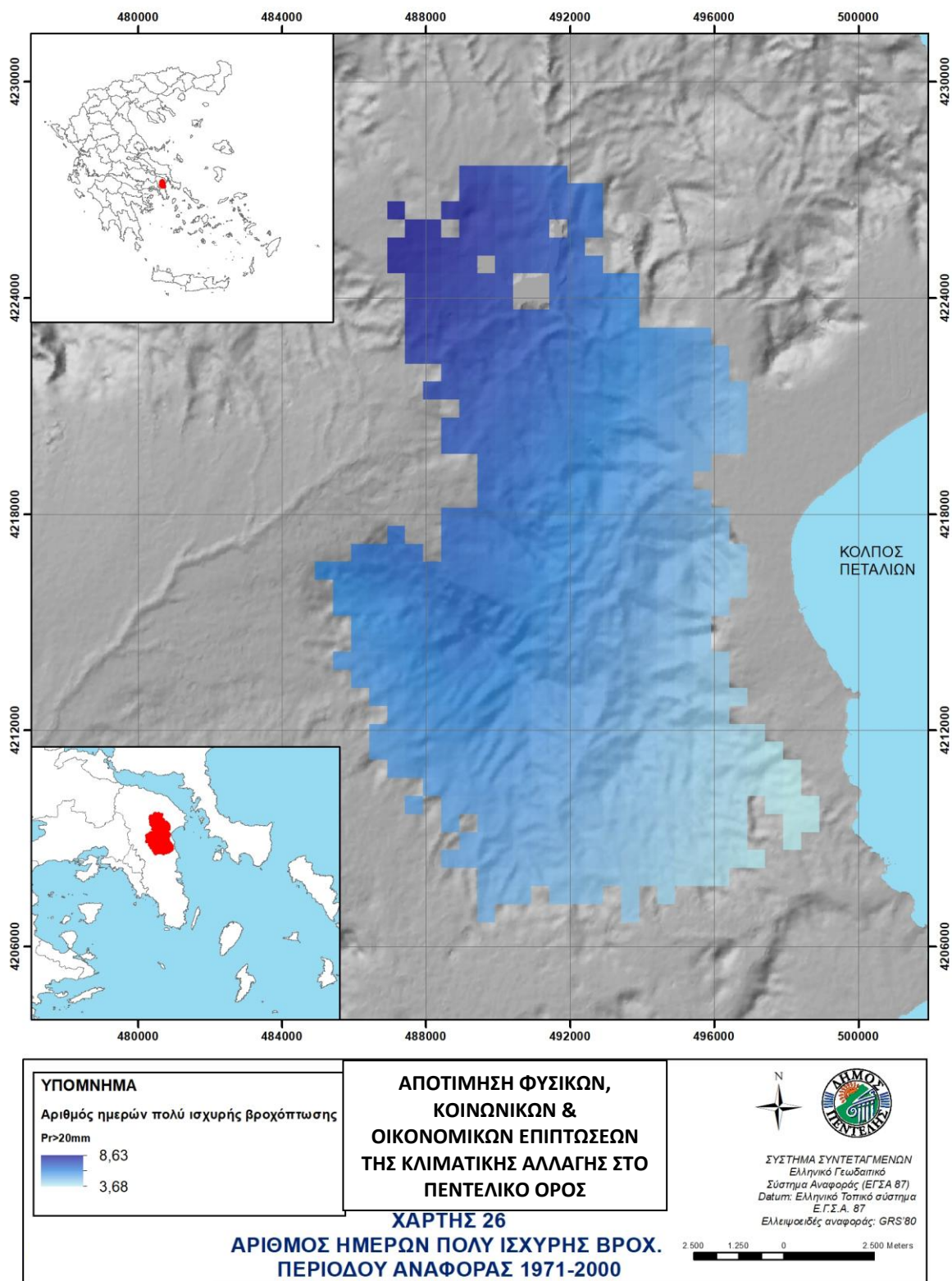
Η Εικόνα 3.20 δείχνει τον αριθμό ημερών με ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 10\text{mm}$ ) γεγονός που υποδηλώνει μέτρια αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας. Είναι σαφές ότι οι μέρες με ισχυρή βροχόπτωση κυμαίνονται από 11 ως 21 για την περιοχή του Πεντελικού όρους. Οι περισσότερες ημέρες έλαβαν χώρα στο βορειοδυτικό τμήμα και ιδιαίτερα στο δυτικό τμήμα του Δήμου Ωρωπού ενώ οι λιγότερες ημέρες στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής. Από την άλλη, στην Εικόνα 3.21 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του αριθμού ημερών με πολύ ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 20\text{mm}$ ) δηλαδή με αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας και όπως είναι εμφανές κυμαίνονται από 4 ως 9. Η χωρική κατανομή είναι όμοια με την περίπτωση της ισχυρής βροχόπτωσης ( $Pr > 10\text{mm}$ ) δηλαδή το βορειοδυτικό τμήμα δέχεται πολύ ισχυρή βροχόπτωση περισσότερες ημέρες σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή του Πεντελικού όρους.



Εικόνα 3-19 Αριθμός ημερών με νυχτερινό παγετό  $T_{min} < 0^{\circ}C$ ) κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-20 Αριθμός ημερών με ισχυρή βροχόπτωση ( $P_r > 10\text{mm}$ ) κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000



Εικόνα 3-21 Αριθμός ημερών με πολύ ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 20\text{mm}$ ) κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς 1971-2000

## **4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΜΕΣΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ**

### **4.1 Σενάρια μελλοντικού κλίματος**

Οι μεταβολές των κλιματικών δεικτών παρουσιάζονται για 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2060 (εγγύς μέλλον) και 2071-2100 (απώτερο μέλλον) με περίοδο αναφοράς την περίοδο 1971-2000 (παρόν κλίμα). Οι μελλοντικές κλιματικές προβολές βασίζονται σε 3 σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Representative Concentration Pathways) της IPCC: το αυστηρό σενάριο μετριασμού (RCP 2.6), το ενδιάμεσο σενάριο μετριασμού (RCP4.5) και τέλος το ακραίο σενάριο με πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5). Στην περίπτωση απουσίας πρόσθετων μέτρων για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αναμένεται να επαληθευτεί το σενάριο RCP8.5, ενώ, στην περίπτωση του σεναρίου RCP2.6 η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να συγκρατηθεί κάτω των 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα.

Συγκεκριμένα:

Το σενάριο RCP 2.6 βασίζεται στην υπόθεση ότι το μέγιστο των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συνέβη κατά την προηγούμενη δεκαετία 2010-2020, ενώ στη συνέχεια θα ακολουθήσει σημαντική μείωση.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP 4.5, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα αυξάνονται μέχρι το 2040 και μετά θα μειωθούν. Τέλος, με βάση το σενάριο RCP 8.5 οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα συνεχίσουν να αυξάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα. Οι δείκτες για τους οποίους παρουσιάζονται οι μεταβολές και αφορούν τον κλιματικό μέσο όρο της αντίστοιχης τριακονταετίας, είναι δεκαοκτώ (18).

### **4.2 Μεταβολές Βροχόπτωσης και θερμοκρασίας**

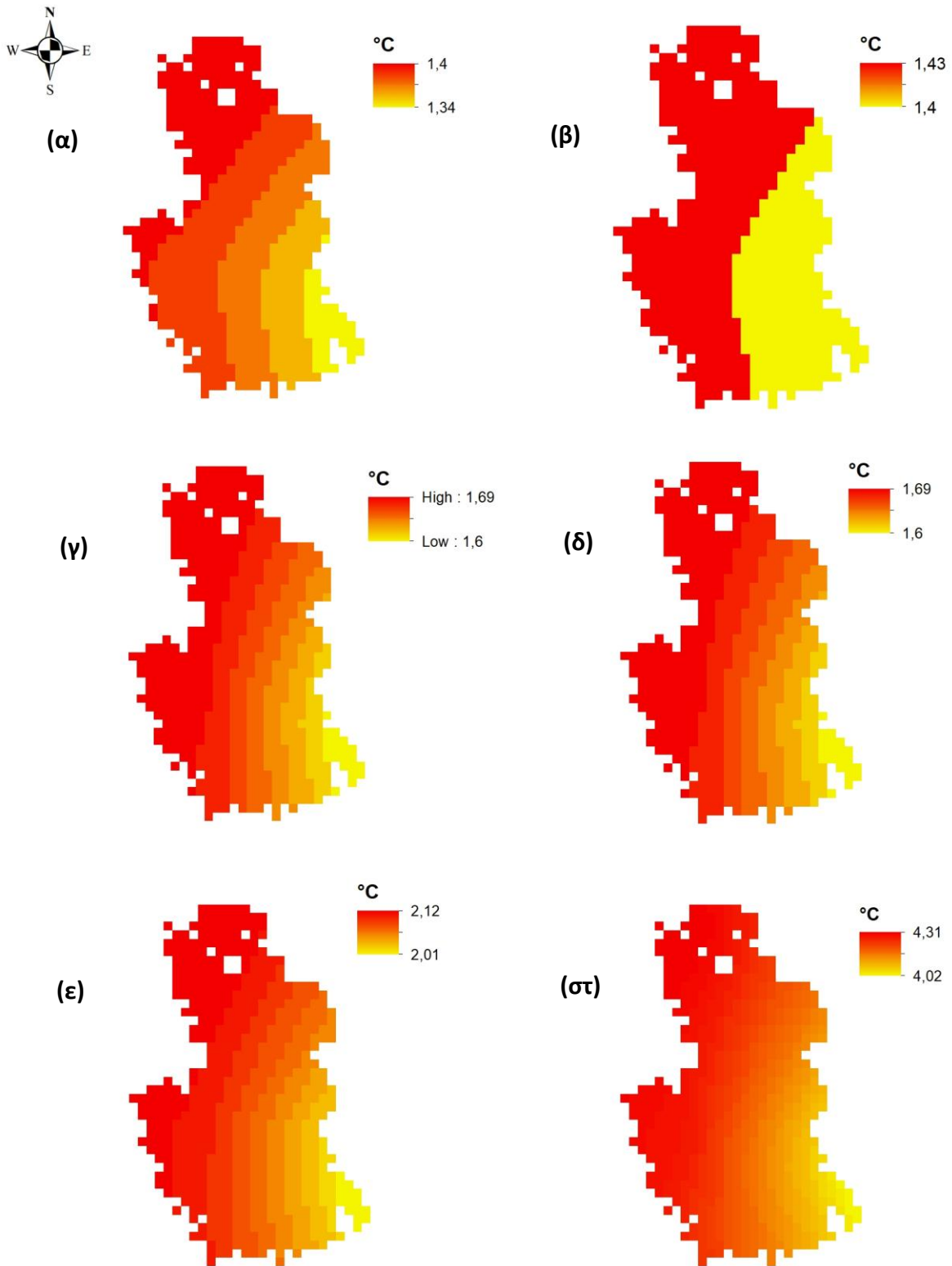
Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Αναφορικά με το σενάριο RCP 2.6 (Εικ. 4.1α,β) στο εγγύς μέλλον (2031-2060) προβάλλεται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1,4 °C και οι αυξήσεις διαβαθμίζονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά (1,34-1,3 °C). Από την άλλη στο

απώτερο μέλλον (2071-2100) παρατηρείται αύξηση πάνω από 1,4 °C και η διαβάθμιση είναι η ίδια με το εγγύς μέλλον δηλαδή από τα ανατολικά προς τα δυτικά (1,4-1,44 °C). Για το σενάριο RCP 4.5 και στο εγγύς μέλλον και στο απώτερο έχουμε αύξηση κατά 1,6-1,69 °C (Εικ. 4.1γ,δ). Σχετικά με το σενάριο RCP 8.5 για το εγγύς μέλλον παρατηρείται αύξηση 2-2,12 °C με διαβάθμιση από ανατολικά στα δυτικά, ενώ για το απώτερο μέλλον παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση 4,02-4,31 °C με τα ίδια χαρακτηριστικά διαβάθμισης (Εικ. 4.1ε,στ).

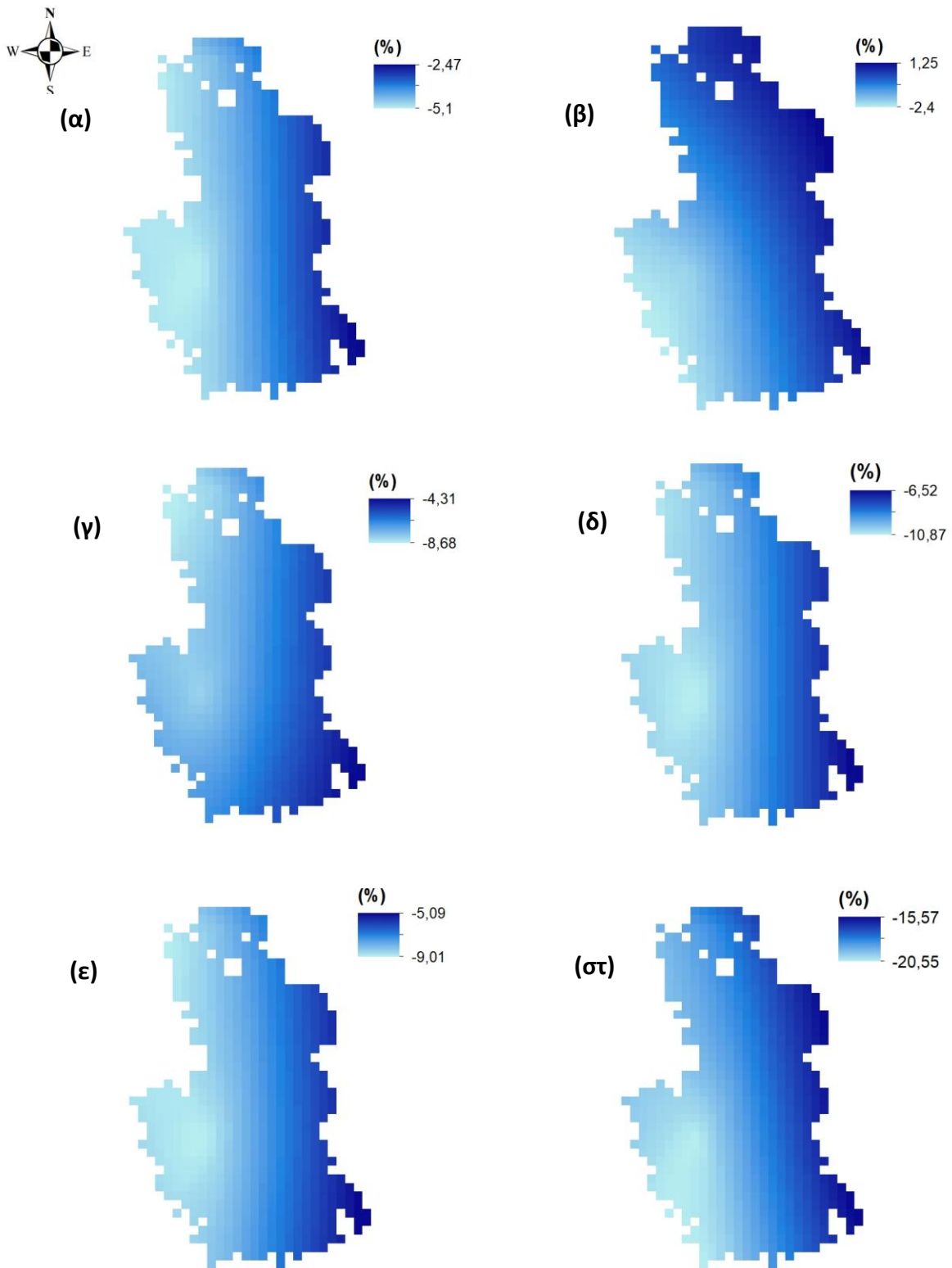
Η Εικόνα 4.2 δείχνει τις μεταβολές της βροχόπτωσης σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Είναι σαφές ότι για το σενάριο RCP 2.6 και το εγγύς μέλλον η βροχόπτωση μειώνεται από 2,47-5,1% με μεγαλύτερη μείωση στο δυτικό τμήμα (Εικ. 4.2α,β). Από την άλλη στο απώτερο μέλλον παρατηρείται μεταβολή από -2,4% μέχρι και 1,25%. Για το σενάριο RCP 4.5 και το εγγύς μέλλον η βροχόπτωση μειώνεται από 4,31% ως 8,68% ενώ στο απώτερο μέλλον μειώνεται από 6,52% ως 10,87% (Εικ. 4.2γ,δ). Όσον αφορά το σενάριο RCP 8.5 για την περίοδο 2031-2060 προβάλλει μείωση της βροχόπτωσης από 5,09% μέχρι 9,01% και για την περίοδο 2071-2100 μείωση 15,57% ως 20,55% (Εικ. 4.2ε,στ). Η διαβάθμιση είναι παρόμοια σε όλα τα σενάρια και περιόδους δηλαδή το δυτικό τμήμα δέχεται μεγαλύτερη μείωση βροχόπτωσης σε σχέση με το ανατολικό.

Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Για το σενάριο RCP 2.6 και το εγγύς μέλλον η ελάχιστη θερμοκρασία αυξάνεται από 1,32 – 1,38 °C ενώ για το απώτερο μέλλον από 1,36 μέχρι 1,4 °C (4.3α,β). Σχετικά με το σενάριο RCP 4.5 για την περίοδο 2031-2060 προβάλλεται αύξηση της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας από 1,58-1,69 °C ενώ για την περίοδο 2071-2100 έχουμε αύξηση από 2,25 ως 2,38 °C. Αναφορικά με το σενάριο RCP 8.5 η μέση ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία αυξάνεται από 1,98-2,12 °C για το εγγύς μέλλον και από 3,96 ως 4,28 °C για το απώτερο μέλλον.

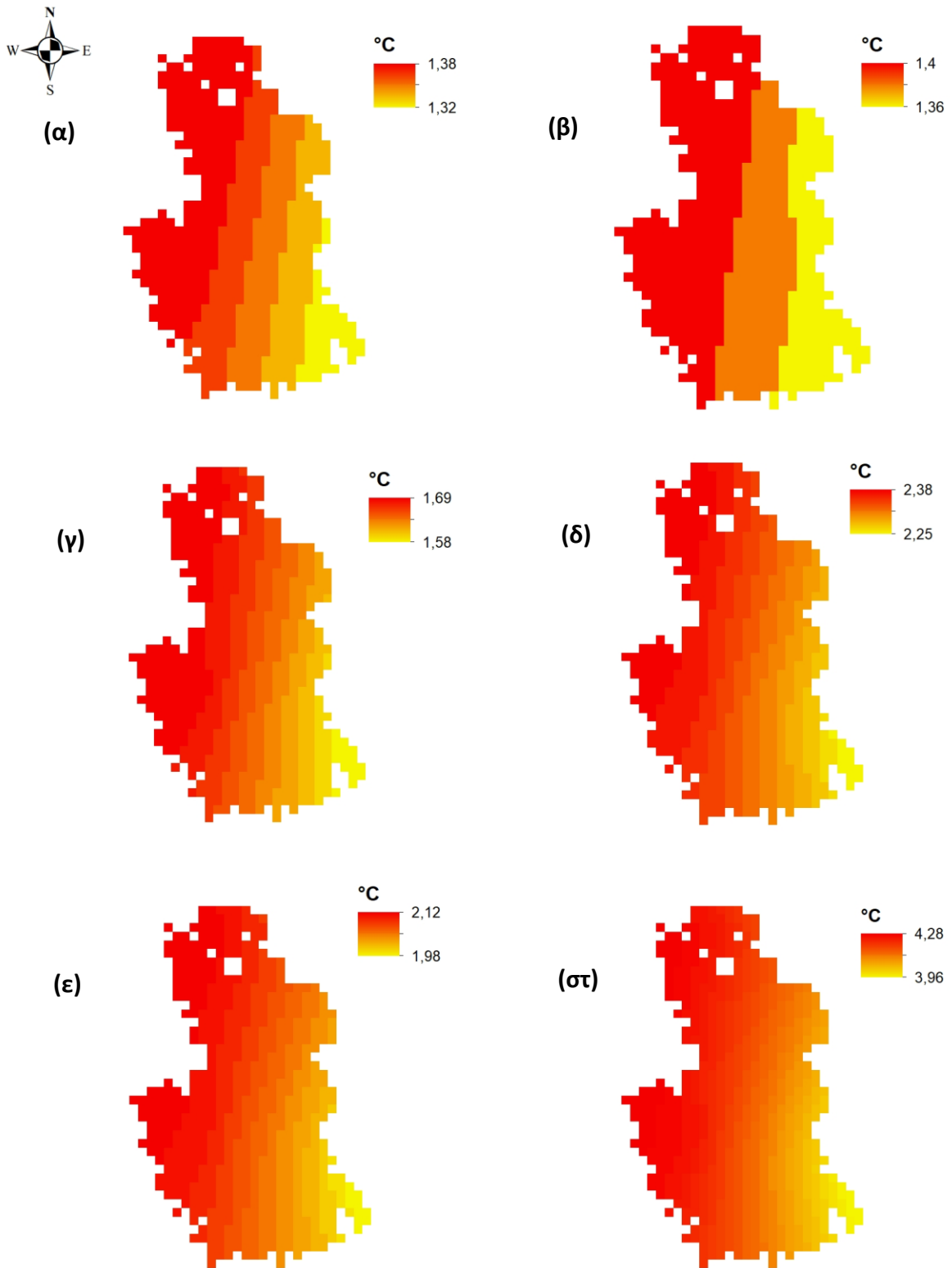
Η Εικόνα 4.4 δείχνει την μεταβολή της μέσης ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας η οποία για το σενάριο RCP 2.6 είναι 1,39-1,43 °C και 1,44-1,46 °C για εγγύς και απώτερο μέλλον. Αντίστοιχα για το σενάριο RCP 4.5 οι μεταβολές είναι 1,64-1,72 °C και 2,32-2,41 °C ενώ για το σενάριο RCP 8.5 είναι 2,07-2,16 °C και 4,14-4,39 για τις περιόδους 2061-2100 και 2071-2100 αντίστοιχα.



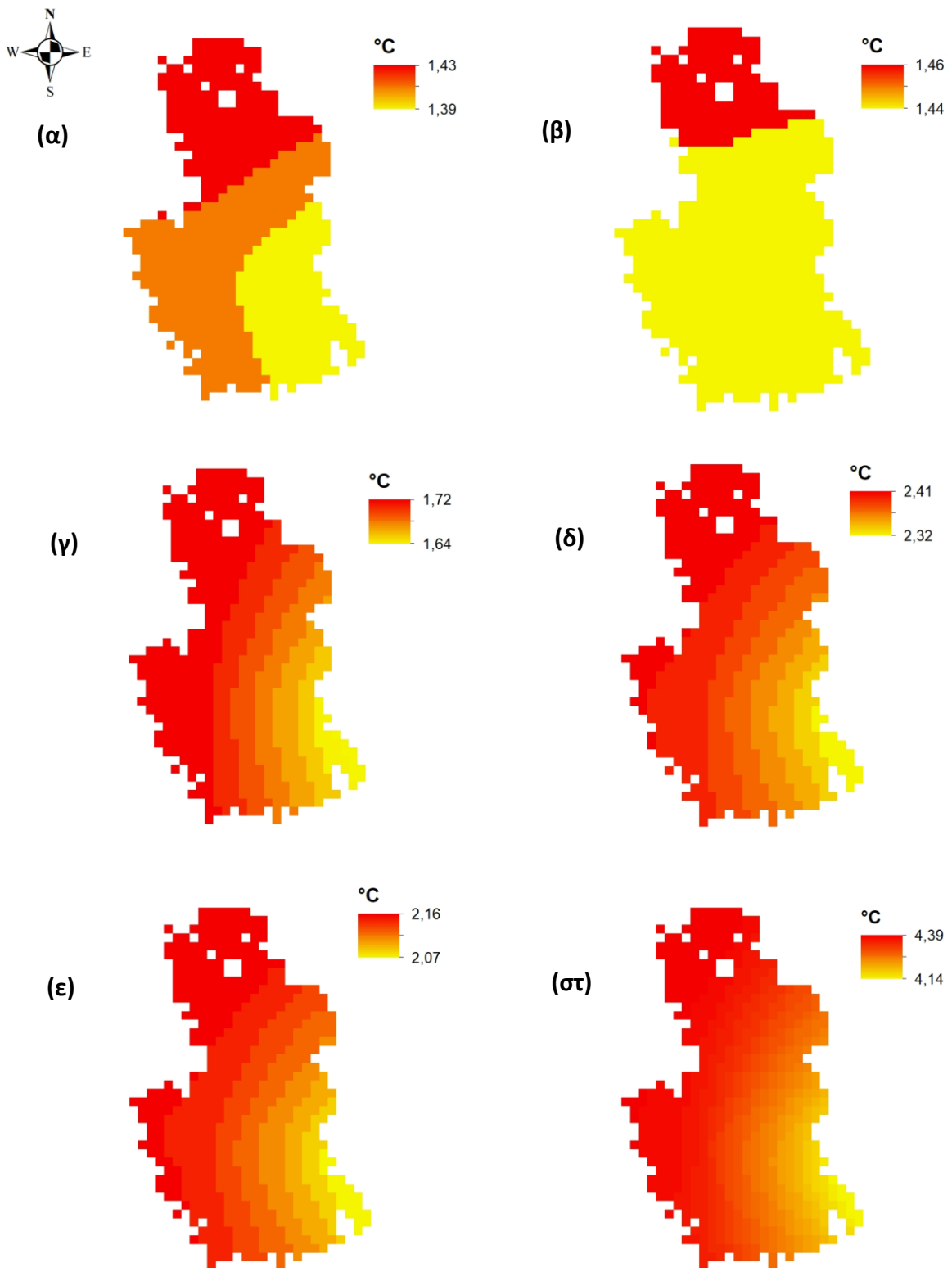
**Εικόνα 4-1 Μέση Ετήσια Θερμοκρασία α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5**



Εικόνα 4-2 Μέση Ετήσια Βροχόπτωση α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5



Εικόνα 4-3 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Ελάχιστης Θερμοκρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

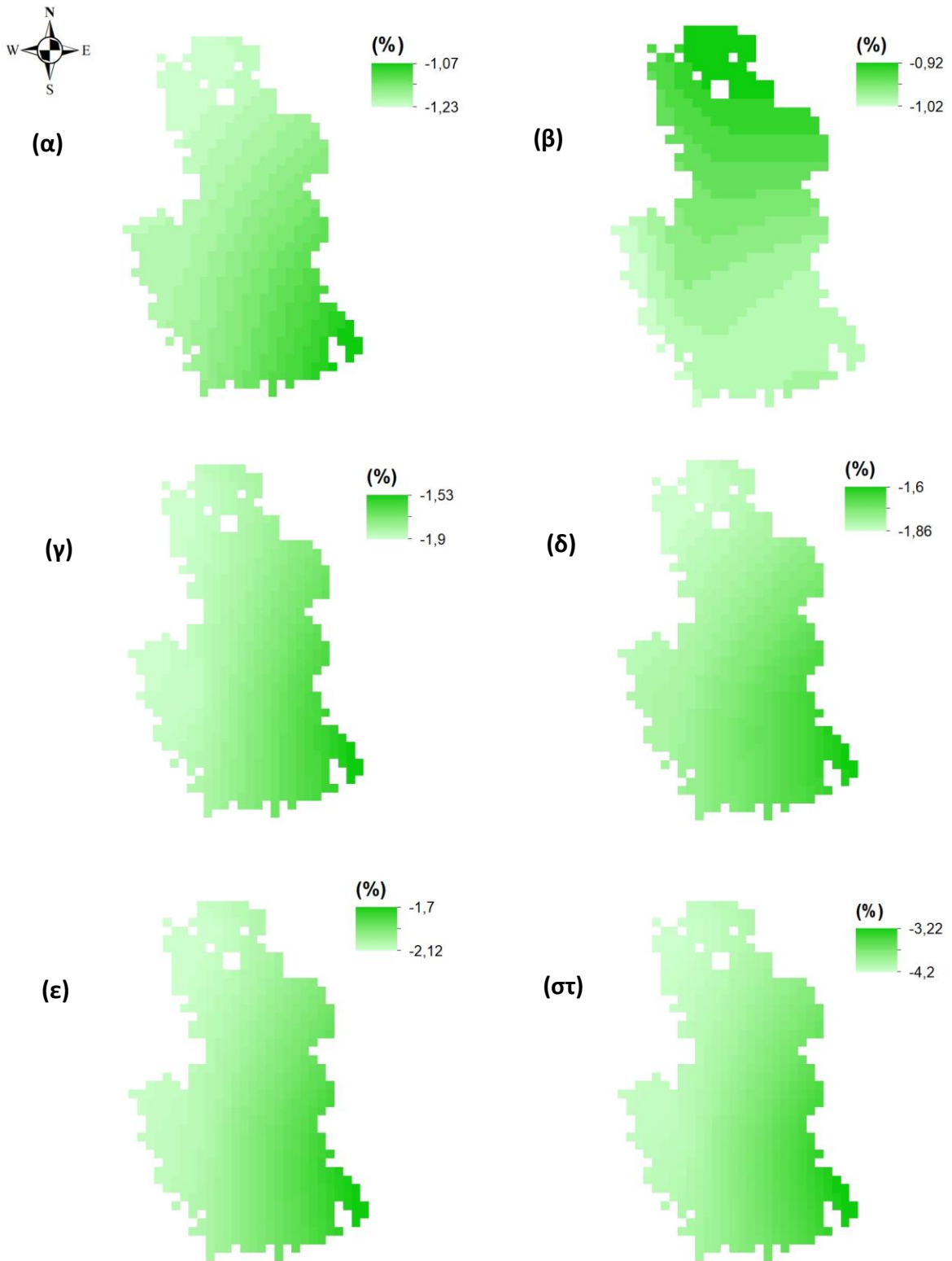


Εικόνα 4-4 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Μέγιστης Θερμοκρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

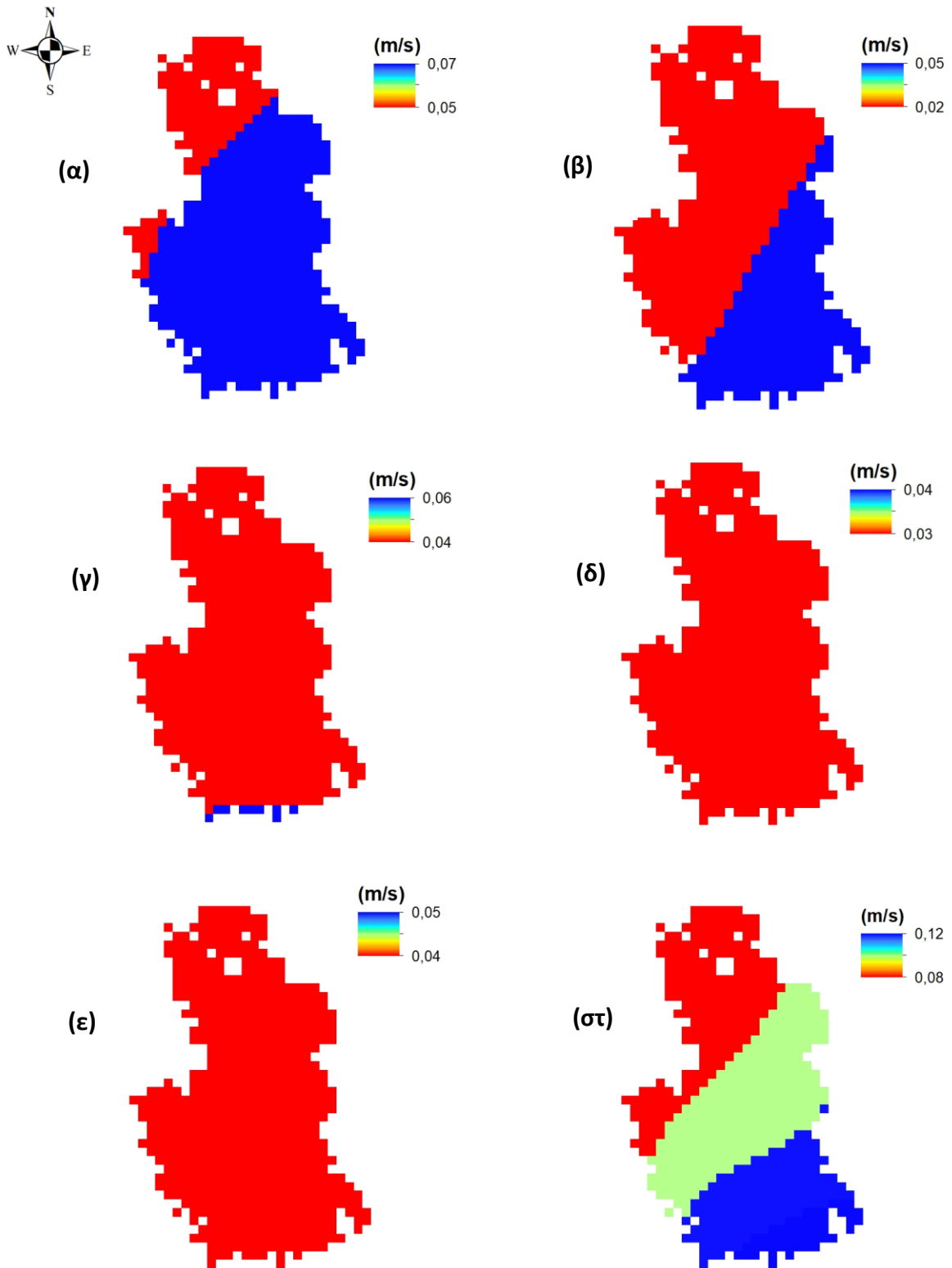
### 4.3 Μεταβολές Σχετικής Υγρασίας και Ταχύτητας Ανέμου

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Αναφορικά με το σενάριο RCP 2.6 (Εικ. 4.5α,β) στο εγγύς μέλλον (2031-2060) προβάλλεται μείωση της μέσης σχετικής υγρασίας από 1,07% ως 1,23% και οι αυξήσεις διαβαθμίζονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Στο απώτερο μέλλον (2071-2100) παρατηρείται μικρότερη μείωση (0,92%-1,02%) και η διαβάθμιση είναι από τα νότια προς τα βόρεια. Για το σενάριο RCP 4.5 και στο εγγύς μέλλον προβάλλεται μείωση από 1,53% ως 1,9% και στο απώτερο από 1,6%-1,86% (Εικ. 4.5γ,δ). Σχετικά με το σενάριο RCP 8.5 για το εγγύς μέλλον παρατηρείται μείωση 1,7%-2,12% με διαβάθμιση από ανατολικά στα δυτικά, ενώ για το απώτερο μέλλον παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση 3,22%-4,2% με τα ίδια χαρακτηριστικά διαβάθμισης (Εικ. 4.5ε,στ).

Η Εικόνα 4.6 δείχνει τις μεταβολές της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Είναι σαφές ότι για το σενάριο RCP 2.6 και το εγγύς μέλλον η ταχύτητα ανέμου αυξάνεται από 0,05-0,07 m/s με μεγαλύτερη μείωση στο νοτιοανατολικό τμήμα (Εικ. 4.6α,β). Η αύξηση είναι μικρότερη στα δυτικά σε σχέση με τα ανατολικά. Από την άλλη στο απώτερο μέλλον παρατηρείται μεταβολή από 0,02 μέχρι και 0,05 m/s. Για το σενάριο RCP 4.5 και το εγγύς μέλλον η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται από 0,04 ως 0,06 m/s ενώ στο απώτερο μέλλον αυξάνεται από 0,03 ως 0,04 m/s (Εικ. 4.6γ,δ). Όσον αφορά το σενάριο RCP 8.5 για την περίοδο 2031-2060 προβάλλει αύξηση από 0,04 μέχρι 0,05% και για την περίοδο 2071-2100 μεγαλύτερη αύξηση 0,08 ως 0,12 m/s (Εικ. 4.6ε,στ). Η διαβάθμιση είναι παρόμοια σε όλα τα σενάρια και περιόδους δηλαδή το δυτικό τμήμα δέχεται μεγαλύτερη της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με το ανατολικό.



Εικόνα 4-5 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Σχετικής Υγρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

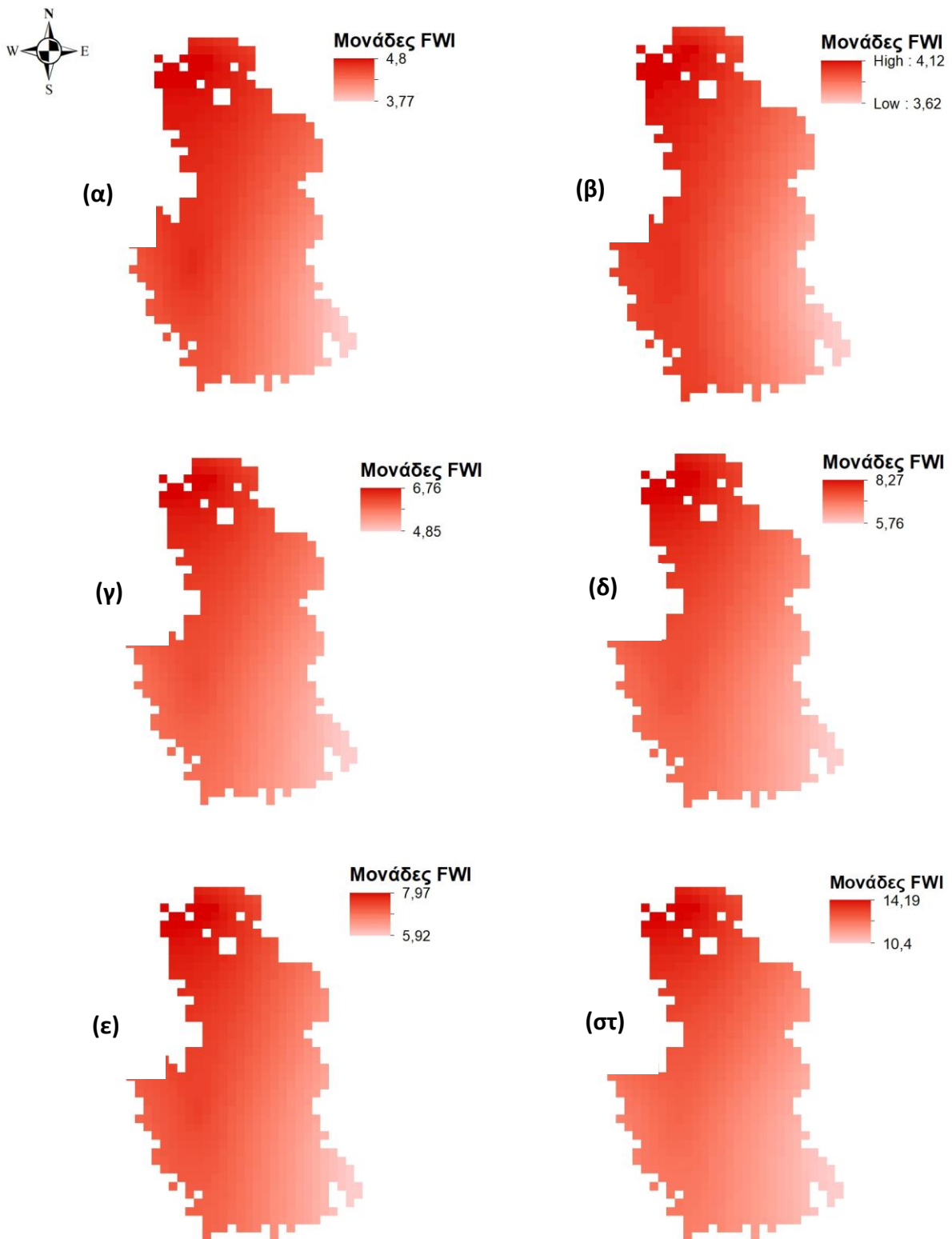


Εικόνα 4-6 Μεταβολή Μέσης Ετήσιας Ταχύτητας Ανέμου α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

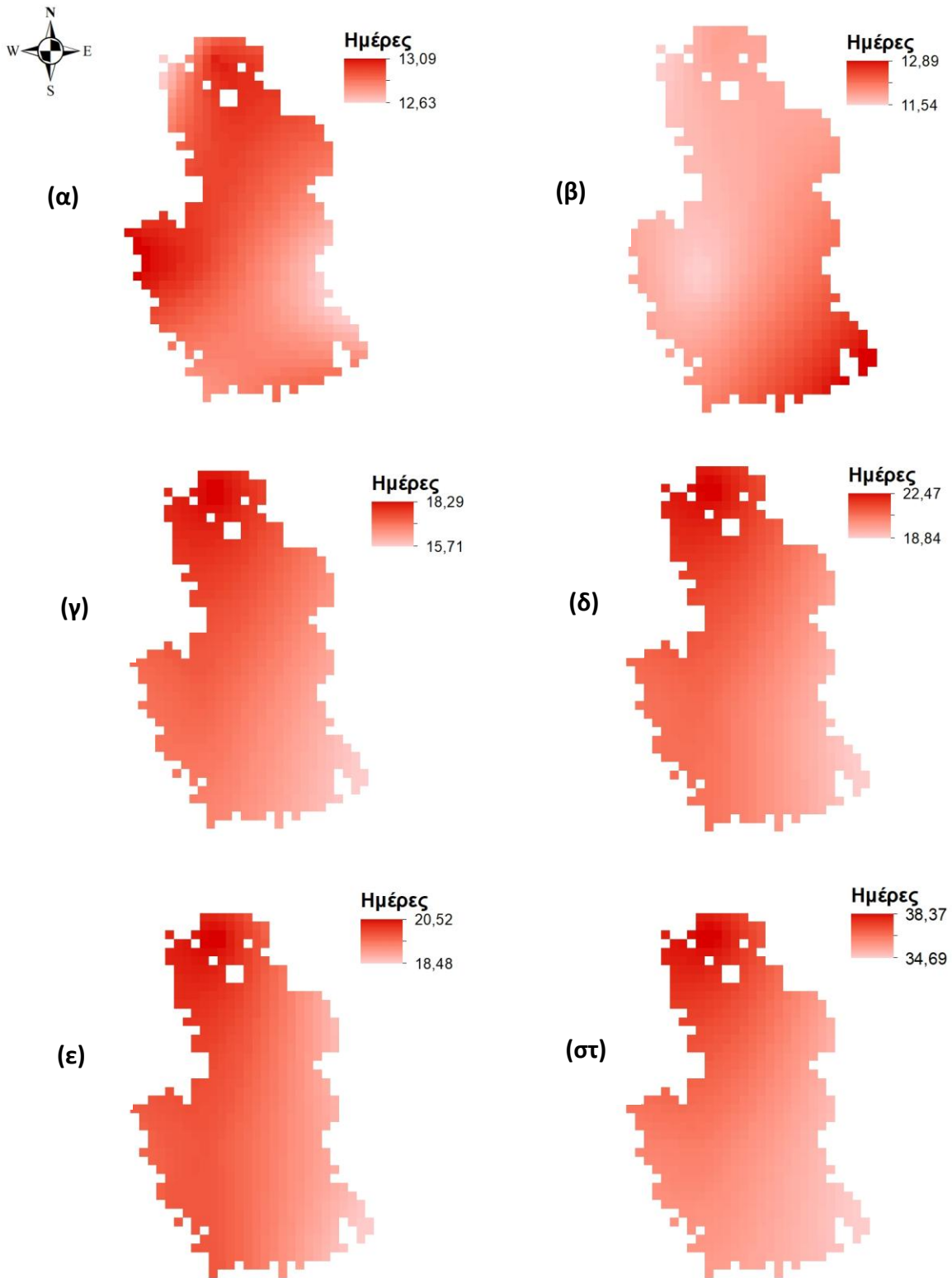
#### **4.4 Μεταβολές Μετεωρολογικού Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιάς FWI (Fire Weather Index)**

Η Εικόνα 4.7 παρουσιάζει τις μεταβολές του μετεωρολογικού δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Για το σενάριο RCP 2.6 και την βραχυπρόθεσμη περίοδο (2031-2060) ο δείκτης FWI αυξάνεται από 3,71 ως 4,8 μονάδες σε όλη την έκταση του Πεντελικού όρους (Εικ. 4.7α) Η μεταβολή αυτή πραγματοποιείται με μεγαλύτερη ένταση στο δυτικό τμήμα σε σχέση με το ανατολικό. Για την μακροπρόθεσμη περίοδο (2071-2100) προβάλλει αύξηση του δείκτη από 3,62 ως 4,12 μονάδες (Εικ. 4.7β). Όσον αφορά το σενάριο RCP 4.5 για την βραχυπρόθεσμη περίοδο προβάλλει αύξηση του δείκτη από 4,85 ως 6,76 μονάδες ενώ για τη μακροπρόθεσμη περίοδο δίνει αύξηση 5,26-8,27 μονάδες (Εικ. 4.7γ,δ). Το σενάριο RCP 8.5 την περίοδο 2031-2060 προβάλλει αύξηση μεταξύ 5,92-7,97 μονάδων ενώ για την περίοδο 2071-2100 σαφώς μεγαλύτερη αύξηση από 10,4 μέχρι 14,19 μονάδες (Εικ. 4.7ε,στ.).

Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζονται οι μεταβολές των ημερών με ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς ( $FWI > 50$ ) σε σχέση με την περίοδο 1971-2000. Αναφορικά με το σενάριο RCP 2.6 (Εικ. 4.8α,β) στο εγγύς μέλλον (2031-2060) προβάλλεται αύξηση από 12,63 ως 13,09 ημέρες και οι αυξήσεις διαβαθμίζονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Στο απώτερο μέλλον (2071-2100) παρατηρείται μικρότερη αύξηση (11,54-12,89) με την ίδια διαβάθμιση. Για το σενάριο RCP 4.5 και στο εγγύς μέλλον προβάλλεται αύξηση από 15,71 ως 18,29 ημέρες και στο απώτερο από 18,84 μέχρι 22,47 ημέρες (Εικ. 4.8γ,δ). Σχετικά με το σενάριο RCP 8.5 για το εγγύς μέλλον παρατηρείται αύξηση 18,48-20,52 ημέρες με διαβάθμιση από ανατολικά στα δυτικά, ενώ για το απώτερο μέλλον παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση 34,69-38,37 ημέρες με τα ίδια χαρακτηριστικά διαβάθμισης (Εικ. 4.8ε,στ).



Εικόνα 4-7 Μεταβολή Μέσου Δείκτη Κινδύνου Πυρκαγιάς FWI (αντιπυρικής περιόδου) α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

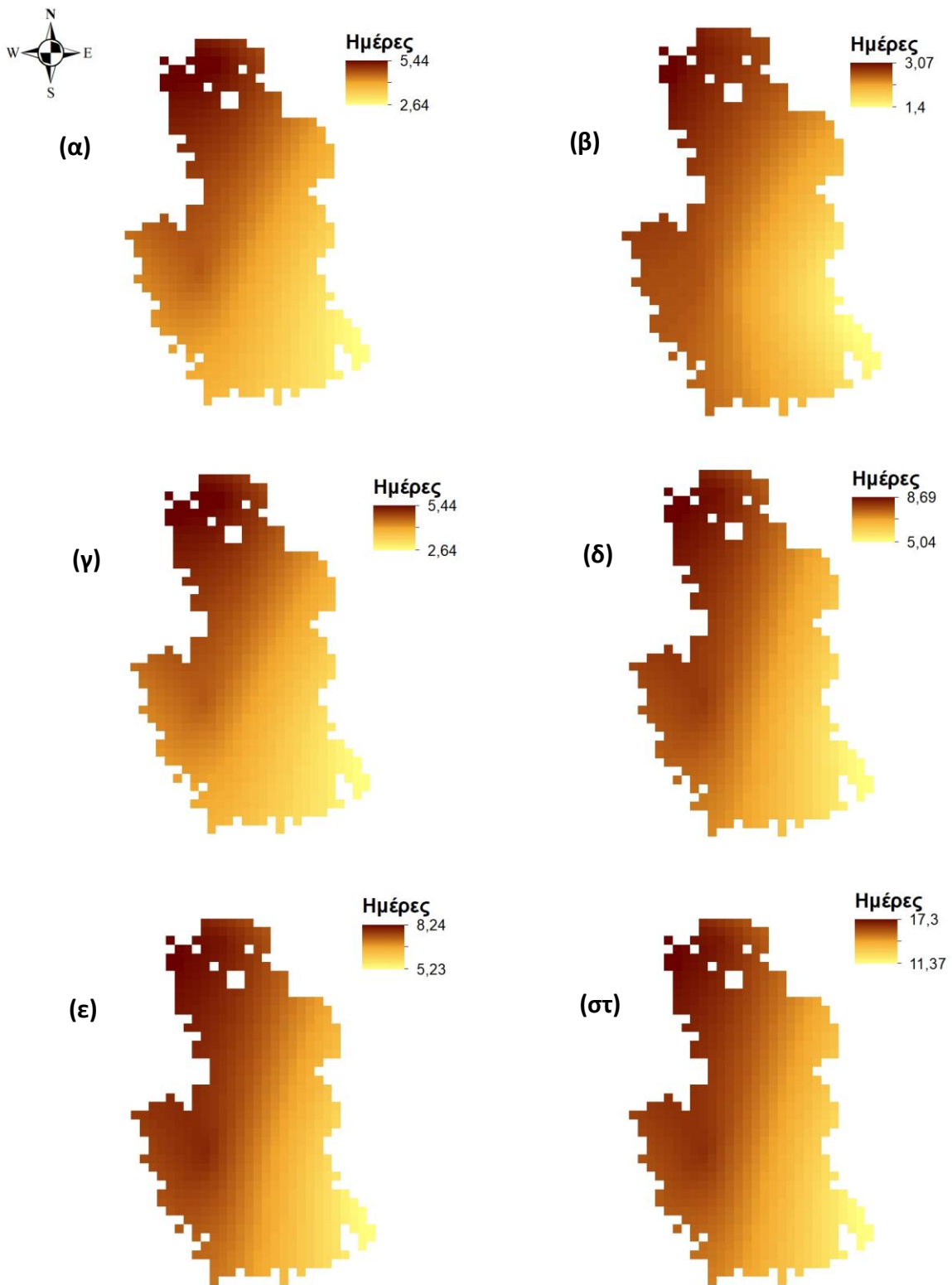


Εικόνα 4-8 Μεταβολή Μέσου Δείκτη Ακραίου Κινδύνου Πυρκαγιάς (FWI>50) α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

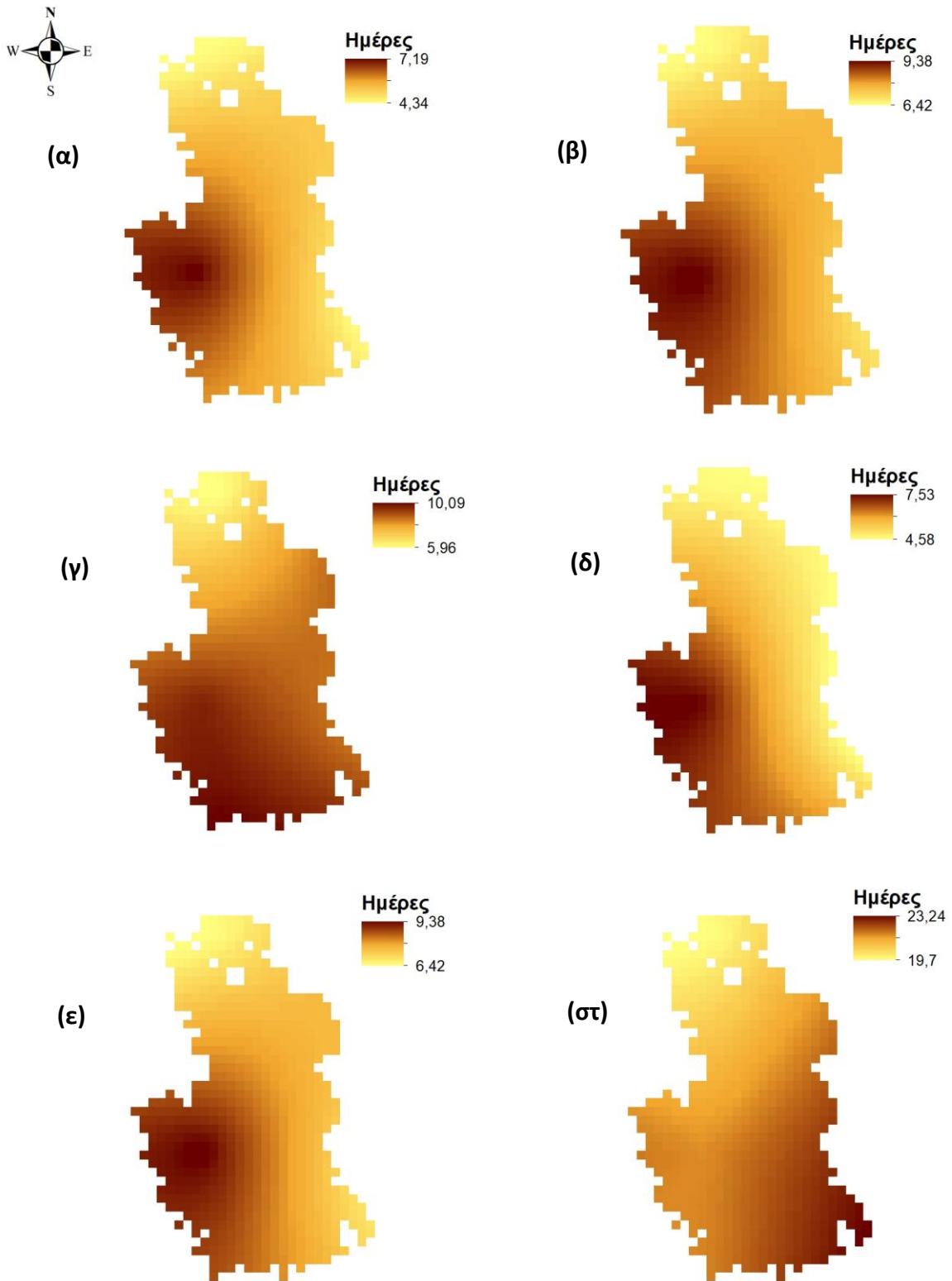
#### 4.5 Μεταβολές διάρκειας ξηρασίας και αριθμού ξηρών ημερών

Στην Εικόνα 4.9 παρουσιάζονται οι μεταβολές του αριθμού ξηρών ημερών σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Αναφορικά με το σενάριο RCP 2.6 (Εικ. 4.9α,β) στο εγγύς μέλλον (2031-2060) προβάλλεται αύξηση του αριθμού ξηρών ημερών από 2,64 ως 5,44 ημέρες και η αύξηση έχει διαβάθμιση από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Στο απώτερο μέλλον (2071-2100) παρατηρείται μικρότερη αύξηση (1,4-3,07) και η διαβάθμιση είναι ίδια. Για το σενάριο RCP 4.5 και στο εγγύς μέλλον προβάλλεται αύξηση από 2,64 ως 5,44 και στο απώτερο από 5,04-8,69 (Εικ. 4.9γ,δ). Σχετικά με το σενάριο RCP 8.5 για το εγγύς μέλλον παρατηρείται αύξηση 5,23-8,24 με διαβάθμιση από ανατολικά στα δυτικά, ενώ για το απώτερο μέλλον παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση 11,37-17,3 με τα ίδια χαρακτηριστικά διαβάθμισης (Εικ. 4.9ε,στ).

Η Εικόνα 4.10 δείχνει τις μεταβολές της μέγιστης διάρκειας ξηρασίας σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Είναι σαφές ότι για το σενάριο RCP 2.6 και το εγγύς μέλλον η μέγιστη διάρκεια ξηρασίας αυξάνεται από 4,34-7,19 ημέρες με μεγαλύτερη αύξηση στο νοτιοδυτικό τμήμα (Εικ. 4.10α,β). Η αύξηση είναι μικρότερη στα ανατολικά σε σχέση με τα δυτικά. Από την άλλη στο απώτερο μέλλον παρατηρείται μεταβολή από 6,42 μέχρι και 9,38 ημέρες. Για το σενάριο RCP 4.5 και το εγγύς μέλλον η μέγιστη διάρκεια ξηρασίας αυξάνεται από 5,96 ως 10,09 ημέρες ενώ στο απώτερο μέλλον αυξάνεται από 4,58 ως 7,53 ημέρες (Εικ. 4.10γ,δ). Όσον αφορά το σενάριο RCP 8.5 για την περίοδο 2031-2060 προβάλλει αύξηση από 6,42 μέχρι 9,38 ημέρες και για την περίοδο 2071-2100 μεγαλύτερη αύξηση 19,7 ως 23,24 ημέρες (Εικ. 4.10ε,στ). Η διαβάθμιση είναι παρόμοια σε όλα τα σενάρια και περιόδους εκτός από το RCP 8.5 (απώτερο μέλλον) δηλαδή το δυτικό τμήμα δέχεται μεγαλύτερη αύξηση της διάρκειας ξηρασίας σε σχέση με το ανατολικό.



Εικόνα 4-9 Μεταβολή μέσου ετήσιου αριθμού ξηρών ημερών α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

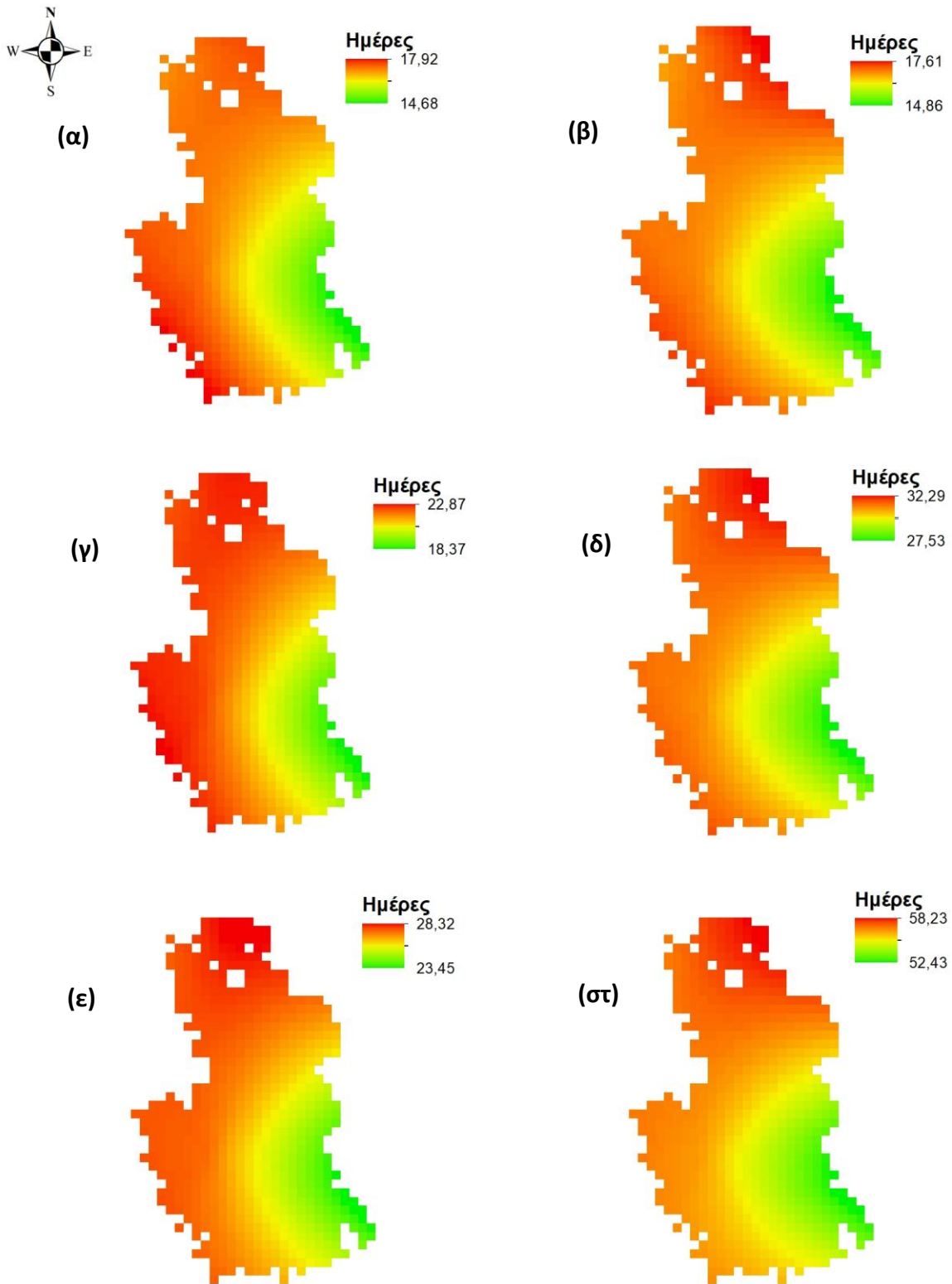


**Εικόνα 4-10 Μεταβολή Μέγιστης Διάρκειας Ξηρασίας α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5**

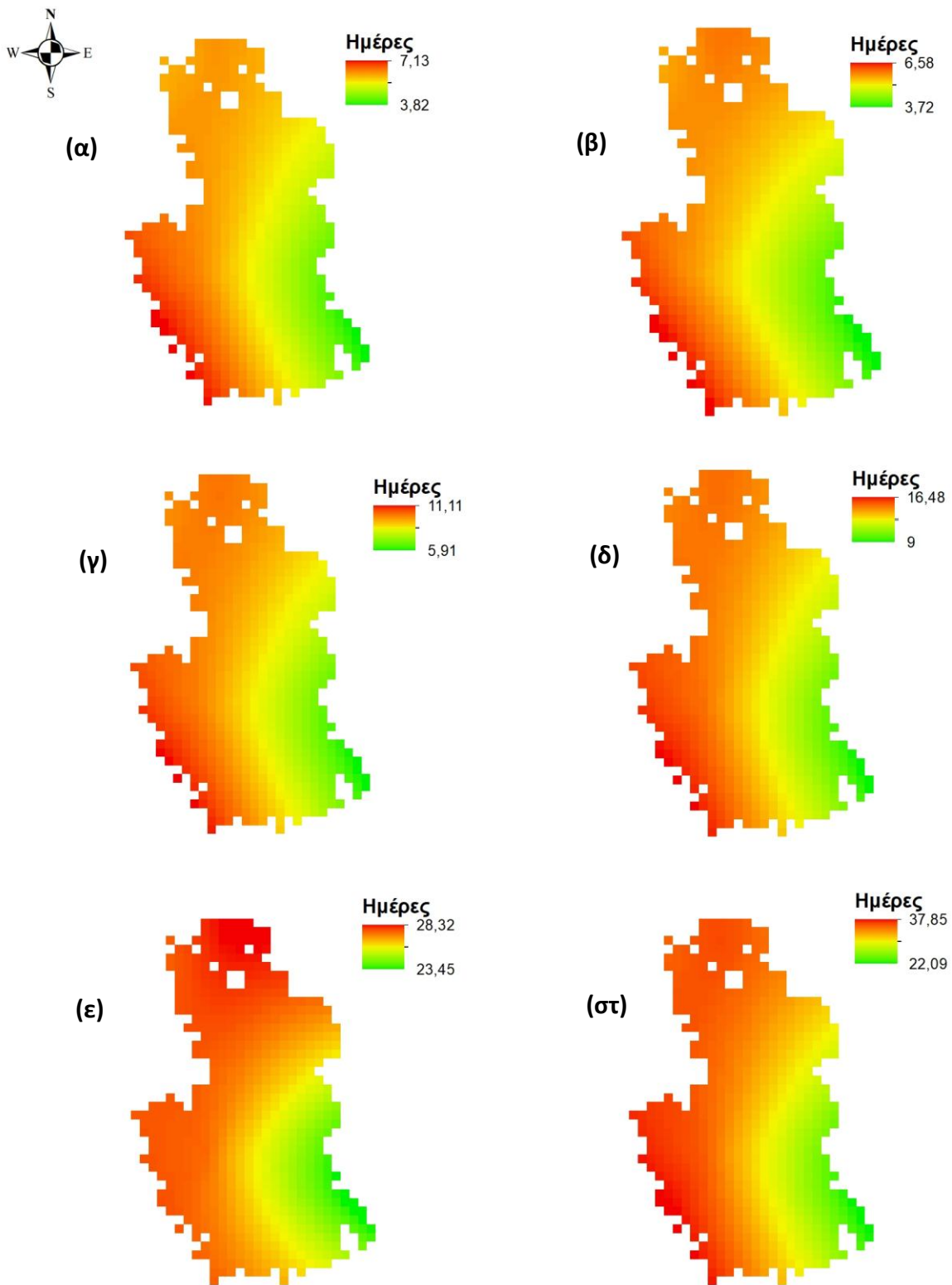
#### 4.6 Μεταβολή αριθμού ημερών με $T_{mean}>30\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $T_{max}>35\text{ }^{\circ}\text{C}$

Στην Εικόνα 4.11 παρουσιάζονται οι μεταβολές του αριθμού ημερών με  $T_{mean}>30\text{ }^{\circ}\text{C}$  σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Για το σενάριο RCP 2.6 και το εγγύς μέλλον ο αριθμός ημερών αυξάνεται από 14,32 – 17,92 ημέρες ενώ για το απώτερο μέλλον από 17,61 μέχρι 14,86 (4.11α,β). Σχετικά με το σενάριο RCP 4.5 για την περίοδο 2031-2060 προβάλλεται αύξηση του αριθμού ημερών με  $T_{mean}>30\text{ }^{\circ}\text{C}$  μεταξύ 18,27—22,87 ημέρες ενώ για την περίοδο 2071-2100 έχουμε αύξηση από 27,53 ως 32,29 ημέρες. Αναφορικά με το σενάριο RCP 8.5 ο αριθμός ημερών αυξάνεται από 23,45 ως 28,32 για το εγγύς μέλλον και από 52,43 μέχρι 58,23 ημέρες για το απώτερο μέλλον.

Η Εικόνα 4.12 δείχνει την μεταβολή αριθμού ημερών με  $T_{max}>35\text{ }^{\circ}\text{C}$  η οποία για το σενάριο RCP 2.6 είναι μεταξύ 3,82-7,13 ημερών 3,72-6,58 για εγγύς και απώτερο μέλλον. Αντίστοιχα για το σενάριο RCP 4.5 οι μεταβολές είναι 5,91-11,11 και 9-16,48 ενώ για το σενάριο RCP 8.5 είναι μεταξύ 23,45-28,32 ημερών και 22,09-37,85 για τις περιόδους 2061-2100 και 2071-2100 αντίστοιχα.



Εικόνα 4-11 Μεταβολή μέσου αριθμού θερμών ημερών με  $T > 30^{\circ}\text{C}$  α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5



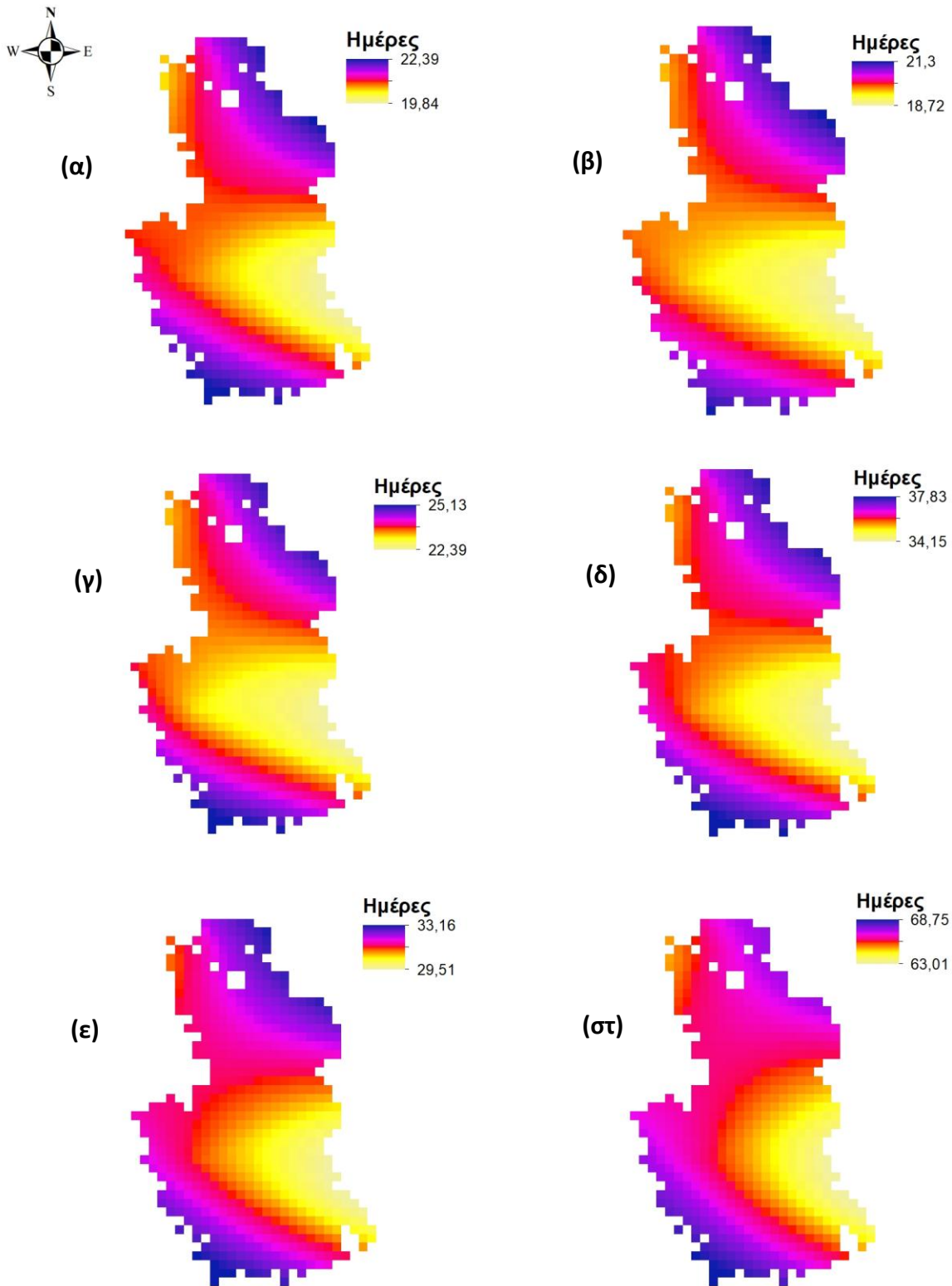
**Εικόνα 4-12** Μεταβολή μέσου αριθμού θερμών ημερών με  $T > 35^{\circ}\text{C}$  α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

Εικόνα 4.12. Μεταβολή μέσου αριθμού θερμών ημερών με  $T > 35^{\circ}\text{C}$  α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

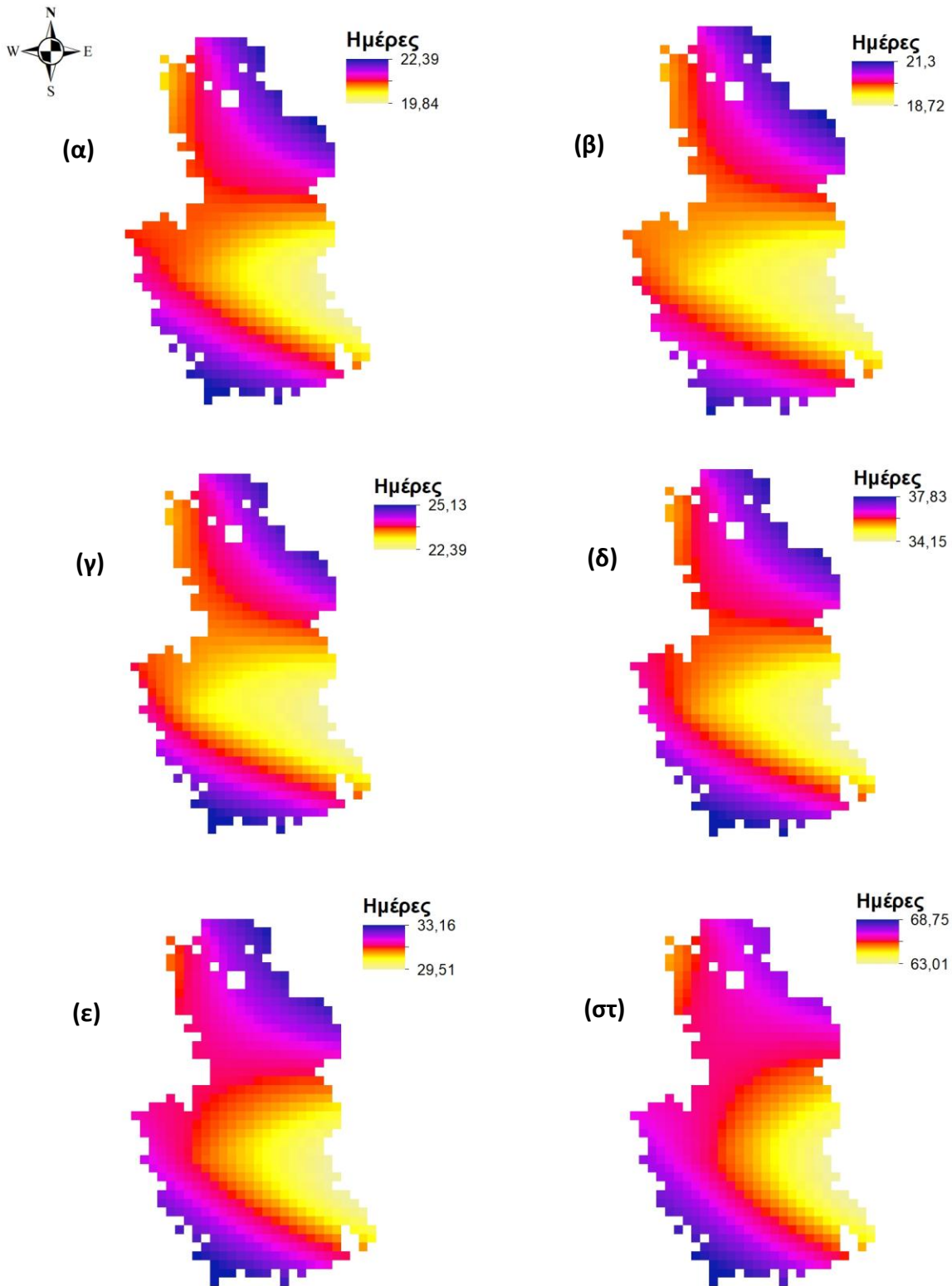
#### **4.7 Μεταβολές του αριθμού ημερών με δείκτη δυσφορίας Humidex $> 38^{\circ}\text{C}$ , $40^{\circ}\text{C}$ , $46^{\circ}\text{C}$**

Η Εικόνα 4.13 παρουσιάζει τις μεταβολές του αριθμού ημερών με δείκτη δυσφορίας Humidex  $> 38^{\circ}\text{C}$  σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Για το σενάριο RCP 2.6 και την βραχυπρόθεσμη περίοδο (2031-2060) ο δείκτης αυξάνεται από 19,84 ως 22,39 ημέρες σε όλη την έκταση του Πεντελικού όρους (Εικ. 4.13α) Για την μακροπρόθεσμη περίοδο (2071-2100) προβάλλει αύξηση του δείκτη από 18,72 ως 21,3 ημέρες (Εικ. 4.13β). Όσον αφορά το σενάριο RCP 4.5 για την βραχυπρόθεσμη περίοδο προβάλλει αύξηση του αριθμού ημερών με δείκτη δυσφορίας Humidex  $> 38^{\circ}\text{C}$  από 22,39 ως 25,13 ημέρες ενώ για τη μακροπρόθεσμη περίοδο δίνει αύξηση 34,14-37,83 ημερών (Εικ. 4.13γ,δ). Το σενάριο RCP 8.5 την περίοδο 2031-2060 προβάλλει αύξηση μεταξύ 29,51-33,16 ημερών ενώ για την περίοδο 2071-2100 σαφώς μεγαλύτερη αύξηση από 63,01 μέχρι 68,75 ημέρες (Εικ. 4.7ε,στ.). Για την περίπτωση του αριθμού ημερών με δείκτη Humidex  $> 40^{\circ}\text{C}$  τα αποτελέσματα είναι ταυτόσημα με αυτά του Humidex  $> 38^{\circ}\text{C}$ .

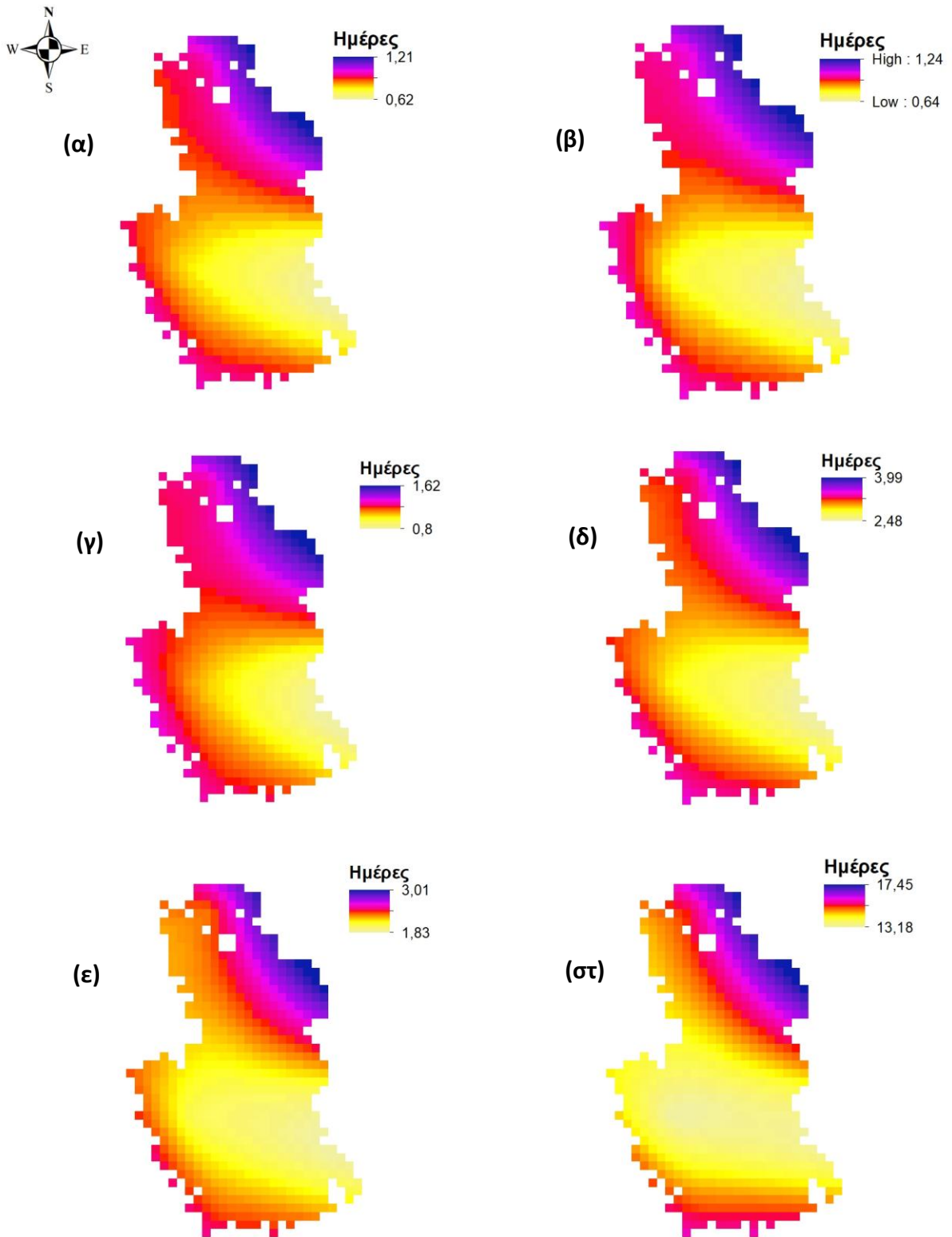
Στην Εικόνα 4.15 παρουσιάζονται οι μεταβολές των ημερών δείκτη Humidex  $> 46^{\circ}\text{C}$  σε σχέση με την περίοδο 1971-2000. Αναφορικά με το σενάριο RCP 2.6 (Εικ. 4.15α,β) στο εγγύς μέλλον (2031-2060) προβάλλεται αύξηση από 0,62 ως 1,21 ημέρες. Στο απώτερο μέλλον (2071-2100) παρατηρείται μικρότερη αύξηση (0,64-1,24) με την ίδια διαβάθμιση. Για το σενάριο RCP 4.5 και στο εγγύς μέλλον προβάλλεται αύξηση από 0,8 ως 1,62 ημέρες ενώ στο απώτερο από 2,48 μέχρι 3,99 μονάδες (Εικ. 4.15γ,δ). Σχετικά με το σενάριο RCP 8.5 για το εγγύς μέλλον παρατηρείται αύξηση 1,83-3,01 ημέρες ενώ για το απώτερο μέλλον παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση 13,18-17,45 ημέρες με τα ίδια χαρακτηριστικά διαβάθμισης (Εικ. 4.15ε,στ).



Εικόνα 4-13 Μεταβολή αριθμού ημερών με δείκτη humidex > 38oC α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5



Εικόνα 4-14 Μεταβολή αριθμού ημερών με δείκτη humidex > 40°C α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5



Εικόνα 4-15 Μεταβολή αριθμού ημερών με δείκτη humidex > 46οC α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

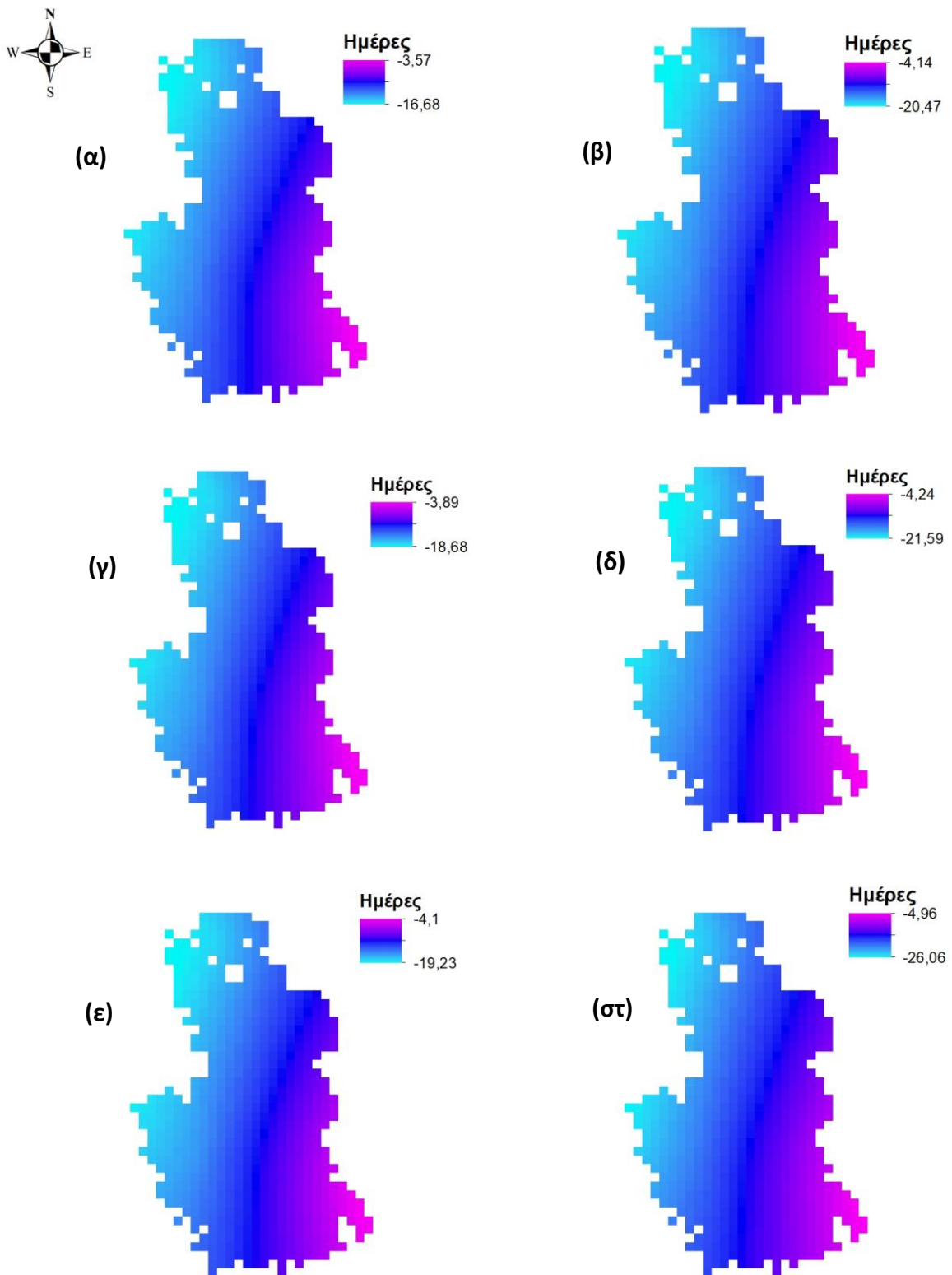
Εικόνα 4.15. Μεταβολή αριθμού ημερών με δείκτη humidex > 46°C α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

## 4.8 Κίνδυνος παγετού και μέρες ισχυρής βροχόπτωσης

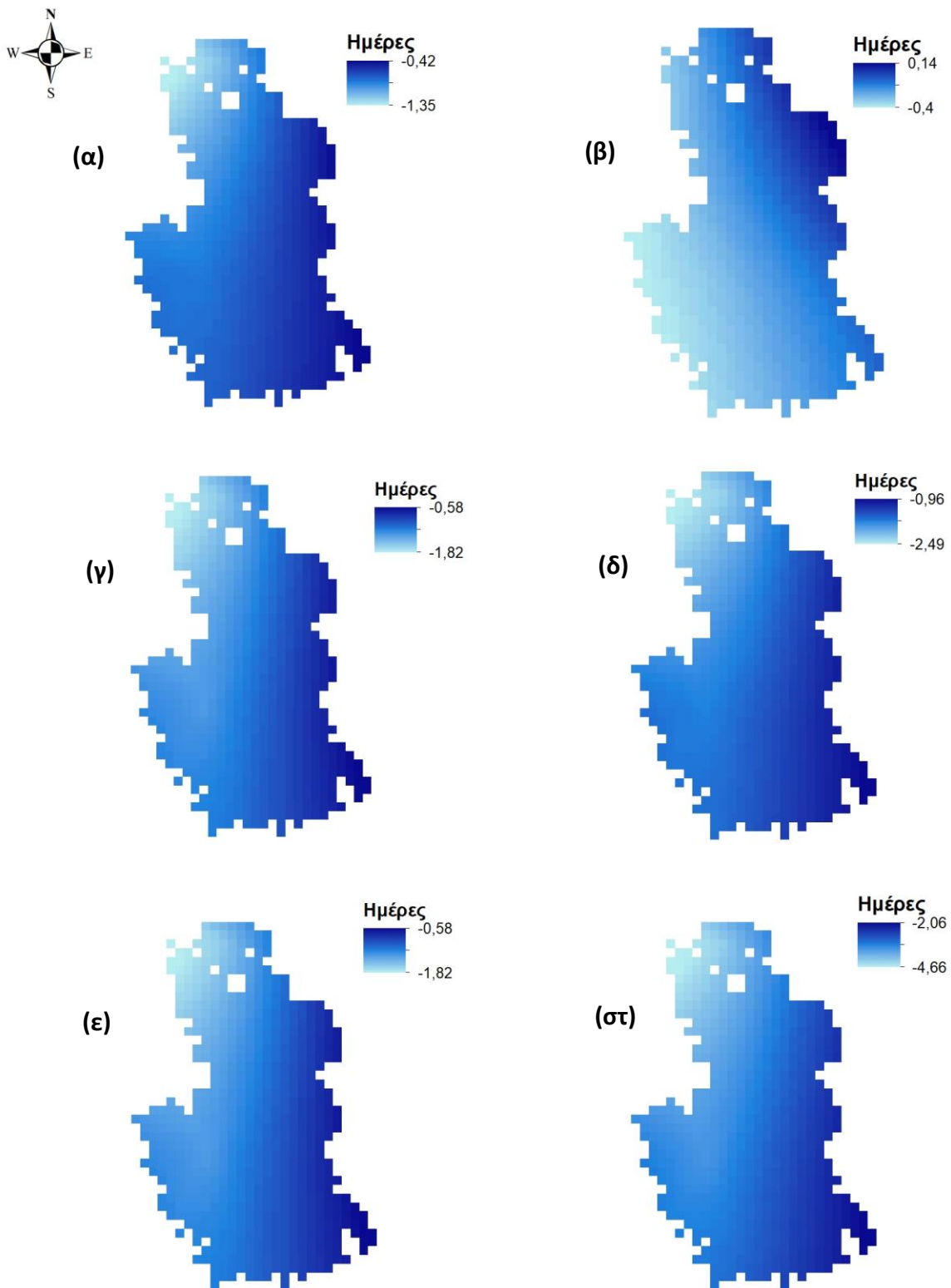
Στην Εικόνα 4.16 παρουσιάζονται οι μεταβολές του αριθμού ημερών με νυχτερινό παγετό σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000. Αναφορικά με το σενάριο RCP 2.6 (Εικ. 4.16α,β) στο εγγύς μέλλον (2031-2060) προβάλλεται μείωση των ημερών με νυχτερινό παγετό από 16,58-3,57 ημέρες και η μείωση έχει διαβάθμιση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Στο απώτερο μέλλον (2071-2100) παρατηρείται μικρότερη μείωση (-20,47 - -4,14) και η διαβάθμιση είναι ίδια. Για το σενάριο RCP 4.5 και στο εγγύς μέλλον προβάλλεται μείωση από 18,68 ως 3,89 και στο απώτερο από 21,59 μέχρι 4,24 ημέρες (Εικ. 4.16γ,δ). Σχετικά με το σενάριο RCP 8.5 για το εγγύς μέλλον παρατηρείται μείωση -19,23 ως -4,1, ενώ για το απώτερο μέλλον παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση από -26,06 μέχρι -4,96 με τα ίδια χαρακτηριστικά διαβάθμισης (Εικ. 4.16ε,στ).

Η Εικόνα 4.17 δείχνει τις μεταβολές του αριθμού των ημερών με ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 10\text{mm}$ ) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Είναι σαφές ότι για το σενάριο RCP 2.6 και το εγγύς μέλλον ο αριθμός των ημερών με ισχυρή βροχόπτωση μειώνεται από -1,35 ως -0,42 ημέρες με μεγαλύτερη μείωση στο βορειοδυτικό τμήμα (Εικ. 4.17α). Από την άλλη στο απώτερο μέλλον παρατηρείται μεταβολή από 0,14 μέχρι και -0,4 ημέρες. Για το σενάριο RCP 4.5 και το εγγύς μέλλον ο αριθμός ημερών με ισχυρή βροχόπτωση μειώνεται από -1,82 ως -1,82 ημέρες ενώ στο απώτερο μέλλον μειώνεται από -2,49 ως -0,96 ημέρες (Εικ. 4.17γ,δ). Όσον αφορά το σενάριο RCP 8.5 για την περίοδο 2031-2060 προβάλλει μείωση από -1,82 μέχρι -0,58 ημέρες και για την περίοδο 2071-2100 μεγαλύτερη μείωση -4,66 ως -2,06 ημέρες (Εικ. 4.17ε,στ).

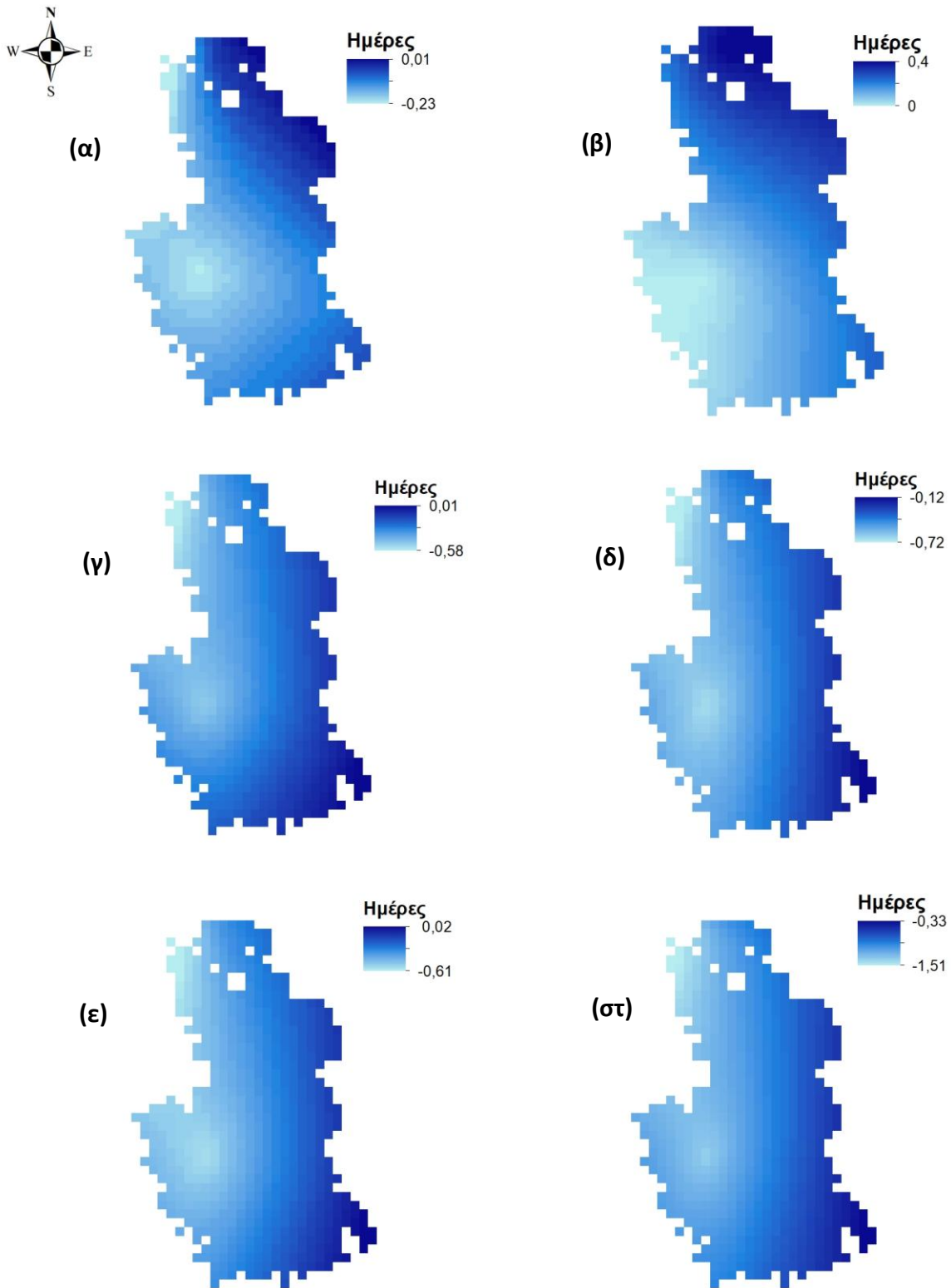
Η Εικόνα 4.18 δείχνει την μεταβολή αριθμού ημερών με πολύ ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 20\text{mm}$ ) η οποία για το σενάριο RCP 2.6 είναι από -0,23 ως 0,01 ημερών, από 0 ως 0,4 για εγγύς και απώτερο μέλλον. Αντίστοιχα για το σενάριο RCP 4.5 οι μεταβολές είναι -0,58 - -0,01 και -0,72 - -0,12 ενώ για το σενάριο RCP 8.5 είναι -0,61 ως -0,02 ημερών και από -1,51 - -0,33 για τις περιόδους 2061-2100 και 2071-2100 αντίστοιχα.



Εικόνα 4-16 Μεταβολή αριθμού ημερών με νυχτερινό παγετό α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5



Εικόνα 4-17 Μεταβολή αριθμού ημερών με ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 10\text{mm}$ ) α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5



Εικόνα 4-18 Μεταβολή αριθμού ημερών με πολύ ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 20\text{mm}$ ) α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

Εικόνα 4.18. Μεταβολή αριθμού ημερών με πολύ ισχυρή βροχόπτωση ( $Pr > 20\text{mm}$ ) α) περιόδου 2031-2060 RCP 2.6 β) περιόδου 2071-2100 RCP 2.6 γ) περιόδου 2031-2060 RCP 4.5 δ) περιόδου 2071-2100 RCP 4.5 ε) περιόδου 2031-2060 RCP 8.5 στ) περιόδου 2071-2100 RCP 8.5

## **5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΜΜΕΣΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ**

### **5.1 Δασικά οικοσυστήματα**

Η φυσιολογική εξέλιξη των δασικών ειδών εξαρτάται άμεσα από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, το νερό και το έδαφος, ενώ επηρεάζεται άμεσα από τις πυρκαγιές (Sigfus et al., 2001). Η αύξηση των μεγάλης κλίμακας δασικών πυρκαγιών βρίσκονται ανάμεσα στις πιο άμεσες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που επηρεάζουν τα μεσογειακά δάση. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (αύξηση της θερμοκρασίας και της καύσιμης ύλης λόγω παρατεταμένης ξηρασίας) σε συνδυασμό με τις αλλαγές χρήσεων γης, προκαλούν αύξηση της συχνότητας, της έντασης και της έκτασης των πυρκαγιών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συνολική μείωση των βροχοπτώσεων στα διαστήματα 2031-2060 και 2071-2100 θα είναι στο μεγαλύτερο μέρος του Πεντελικού όρους όπου εντοπίζονται δάση Χαλεπίου Πεύκης (Χωρική κατανομή βροχόπτωσης με βάση τα σενάρια κλιματικής αλλαγής). Τα δασικά οικοσυστήματα θα ζημιωθούν κατά κύριο λόγο από τα μειωμένα κατακρημνίσματα και τις υψηλές θερμοκρασίες που θα επικρατήσουν κατά την ξηροθερμική περίοδο. Είναι χαρακτηριστική η αύξηση του δείκτη μετεωρολογικού δείκτη πυρκαγιάς FWI και ειδικότερα σε τιμές άνω του 50 (συνθήκες ακραίου κινδύνου πυρκαγιάς). Η κλιματική αλλαγή ως προς την αύξηση της θερμοκρασίας, τη μείωση των βροχοπτώσεων και της εδαφικής υγρασίας, σε συνδυασμό με την αύξηση των πυρκαγιών, τις αλλαγές στις χρήσεις γης, την υποβάθμιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα αλλά και τις αναποτελεσματικές διαχειριστικές πρακτικές θα οδηγήσουν στην υποβάθμιση του δασικού οικοσυστήματος του Πεντελικού όρους, με αποτέλεσμα να εμφανιστούν φαινόμενα διάβρωσης. Η απώλεια εδάφους σε περιοχές με μεγάλη κλίση και έντονο ανάγλυφο, καθιστά αδύνατη την ανάκαμψη ενός οικοσυστήματος, εντείνοντας τον κίνδυνο ερημοποίησής του.

Από τις δασικές λειτουργίες που παρέχουν τα δασικά οικοσυστήματα σύμφωνα με τους Γ.Ξανθόπουλο, και συνεργάτες, 2015 για υπολογισμό της συνολικής αξίας της δασικής γης συμπεριλαμβάνονται: η παραγωγή ξυλείας και μη ξυλωδών δασικών προϊόντων (ρητίνη, χριστουγεννιάτικα δέντρα, μέλι κ.λπ.), η βόσκηση, το κυνήγι, η αναψυχή, η προστασία του εδάφους, η δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και η προστασία της βιοποικιλότητας. Στην προκειμένη περίπτωση του Πεντελικού όρους η αξία της δασικής γης αποτιμάται στα 500€/στρ. Είναι κατανοητό ότι η πρόβλεψη εξέλιξης των πυρκαγιών είναι αδύνατη, δεδομένης όμως της χωρικής κατανομής του δείκτη FWI που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για μελλοντικές κλιματικές προβολές και το γεγονός ότι το 66,9 % της συνολικής έκτασης του Πεντελικού όρους είναι δασική γη (2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, Πίνακας 2.1) εύκολα συμπεραίνεται ότι το κόστος θα είναι τεράστιο.

## **5.2 Υδατικοί πόροι**

Η αρχή του υδρολογικού κύκλου βρίσκεται στην εξάτμιση και στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση, χαλάζι κ.λπ.). Τα νερά των κατακρημνισμάτων διαμοιράζονται αρχικά στην εξάτμιση και διαπνοή, στην απορροή (μέσω των υδρογραφικών δικτύων) και στην κατεισδύση. Στη συνέχεια το νερό που απορρέει είτε εξατμίζεται στη διαδρομή του είτε κατεισδύει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μερικά και αντίθετα, νερό που έχει κατεισδύσει εξέρχεται στην επιφάνεια και συνεχίζει ως επιφανειακή απορροή και μερική εξάτμιση. Επίσης, το νερό που κατεισδύει, πριν εμπλουτίσει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, καλύπτει κατά προτεραιότητα τις υδατικές ανάγκες της εδαφικής και υπεδαφικής ζώνης και του ριζικού συστήματος (νερό κατακράτησης, προσρόφησης, τριχοειδές), στην οποία επιτελείται η ανάπτυξη φυτικών και ζωικών οργανισμών. Γίνεται επομένως φανερό ότι κάθε διατάραξη του καθεστώτος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων συνεπάγεται σημαντικές μεταβολές του υδρολογικού κύκλου, του υδρολογικού ισοζυγίου (επιφανειακά ύδατα) και του υδρογεωλογικού ισοζυγίου (υπόγεια ύδατα).

Οι υδατικοί πόροι παρέχουν αγαθά και υπηρεσίες, η διαχείριση των οποίων εμπεριέχει τόσο την οικονομική όσο την κοινωνική και την πολιτική διάσταση και αφορά αρκετούς τομείς της οικονομίας. Για το λόγο αυτό, οι πιθανές οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

στα ύδατα είναι πιθανό να επιδράσουν σε ευρύ φάσμα πολύ σημαντικών για την κοινωνία δραστηριοτήτων, με επέκταση σε αρκετούς τομείς της οικονομίας. Ειδικότερα αναμένεται:

1. Μειωμένη παραγωγικότητα λόγω της έλλειψης υδατικών πόρων (και της, εξαιτίας αυτού, πιθανής χειροτέρευσης της ποιότητας των υδάτων) στην περίπτωση που αυτοί αποτελούν εισροή στην παραγωγική διαδικασία (γεωργικός τομέας, τομέας παραγωγής ενέργειας από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, βιομηχανικός τομέας, δασοκομία).
2. Αύξηση του κόστους απορρύπανσης και επεξεργασίας αποβλήτων.
3. Μείωση της ασφάλειας (πλημμυρικά φαινόμενα, πυρκαγιές).
4. Μείωση του οφέλους από δραστηριότητες αναψυχής.
5. Απώλεια οφέλους λόγω βλαβών σε υδατικά οικοσυστήματα.
6. Αύξηση του κόστους απολήψεων από υπόγεια ύδατα.
8. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.
9. Απώλεια ευημερίας λόγω πιθανών περιορισμών στη χρήση του νερού.

Από τα παραπάνω συμπεράσματα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το 75-80% περίπου του συνολικού υδατικού δυναμικού της χώρας αποτελεί μέρος της ζήτησης νερού προς άρδευση, γίνεται αντιληπτό ότι η μεταβολή αυτή θα έχει άμεσες συνέπειες στο είδος και την έκταση των καλλιεργειών, σε συνδυασμό με τις αλλαγές αγροτικών πρακτικών.

Η ζημία προσδιορίζεται ως η διαφοροποίηση μεταξύ της κατάστασης αναφοράς και της αναμενόμενης κατάστασης από τις κλιματικές προβολές, δεδομένης της επίδρασης στην παροχή και την ποιότητα του νερού. Ο κίνδυνος αυξάνεται αναφορικά με παραμέτρους όπως π.χ. η πιθανότητα εμφάνισης έντονων πλημμυρικών φαινομένων, η πιθανότητα υπαλμύρωσης των υδροφορέων, η πιθανότητα εμφάνισης περιστατικών υγειονομικού ενδιαφέροντος λόγω χειροτέρευσης της ποιότητας των υδατικών πόρων και η μείωση της δυνατότητας χρήσης των μέσων πυρόσβεσης.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η μεταβολή της ολικής βροχόπτωσης σε όλη την περιοχή του Πεντελικού όρους. Οι μεταβολές κυμαίνονται από 1,25% αύξηση της βροχόπτωσης ως 20,55% μείωση, με τα περισσότερα σενάρια να προβάλλουν μείωση της βροχόπτωσης και στις δύο περιόδους (2031-2060 και 2071-2100). Μία σημαντική μείωση στην ολική βροχόπτωση θα σημάνει την μείωση των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων. Από την άλλη παρουσιάστηκε επίσης η επιμήκυνση της διάρκειας ξηρασίας και των ξηρών ημερών γεγονός που σημάνει επιπλέον ζήτηση αρδευτικού νερού για τις καλλιεργείες.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η ετήσια απολήψιμη ποσότητα ύδατος για ύδρευση σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> αναθεώρηση του ΣΔΛΑΠ του υδατικού Διαμερίσματος Αττικής. Επίσης όπως παρουσιάστηκε στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο κάτω από την περιοχή του Πεντελικού όρους εντοπίζονται τέσσερα ΥΥΣ (Υπόγεια Υδατικά Συστήματα), (Χάρτης 07, Υδρολογικά στοιχεία) τα οποία παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.2 με τις αντίστοιχες απολήψεις. Η τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα ενώ δεν ανήκει διοικητικά στην περιοχή που έχει κηρυχτεί ως Πεντελικό όρος, εξυπηρετεί υδρευτικά όμως κατοικημένες περιοχές του Πεντελικού. Δεδομένου ότι κόστος ύδρευσης έχει υπολογιστεί για το υδατικό διαμέρισμα Αττικής στα 0,89€/m<sup>3</sup> ενώ το αντίστοιχο κόστος άρδευσης από υπόγεια ύδατα προσεγγιστικά είναι 0,2 €/m<sup>3</sup>. Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 5.1 και 5.2 η ετήσια απολήψιμη ποσότητα για ύδρευση είναι 21,205 hm<sup>3</sup> η αντίστοιχη ποσότητα για άρδευση είναι 8,43 hm<sup>3</sup> μία αύξηση κατά 10% των υδατικών αναγκών θα σήμαινε επιβάρυνση κατά 2.000.000 €/έτος και αν σε αυτό ποσό προστεθούν τα κονδύλια για τη δημιουργία έργων τεχνητού εμπλουτισμού λόγω μείωσης των ανανεώσιμων αποθεμάτων γίνεται αντιληπτό το εύρος των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

**Πίνακας 5.1 Ετήσια απολήψιμη ποσότητα ύδατος για ύδρευση από επιφανειακά ΥΣ (1η αναθεώρηση ΣΔΛΑΠ ΥΔ Αττικής, 2017)**

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (hm <sup>3</sup> /έτος)	ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ
EL0626RL000000001H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΜΑΡΑΘΩΝΑ	19,5	Ύδρευση

**Πίνακας 5.2 Ετήσιες απολήψιμες ποσότητες ύδατος από υπόγεια ΥΣ (1η αναθεώρηση ΣΔΛΑΠ ΥΔ Αττικής, 2017)**

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΥΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΤΡΟΦΟΛΟΣΙΑ (hm <sup>3</sup> )	ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ (hm <sup>3</sup> )	ΑΡΔΕΥΣΗ (hm <sup>3</sup> )	ΥΔΡΕΥΣΗ (hm <sup>3</sup> )	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ (hm <sup>3</sup> )
EL0600100	ΚΑΠΑΝΔΡΙΤΙΟΥ	9	3,92	3,48	0,21	0,21
EL0600130	ΜΑΡΑΘΩΝΑ Α	25	2,86	2,44	0,32	0,11
EL0600140	ΠΕΝΤΕΛΗΣ	15,5	1,5	0,43	0,96	0,11
EL0600152	ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ Β	7,5	2,45	2,08	0,215	0,16

### 5.3 Τουρισμός

Ο τουρισμός αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κλάδους της ελληνικής οικονομίας, λόγω της υψηλής συμμετοχής του στο ΑΕΠ της χώρας και της ακόμη υψηλότερης στην απασχόληση. Η Ελλάδα αποτελεί κορυφαίο τουριστικό προορισμό παγκοσμίως καθώς τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των τουριστών αυξάνεται σταθερά: το 2004 14,2 εκατομμύρια άτομα επισκέφθηκαν την Ελλάδα, αριθμός που αυξήθηκε σε 17 εκατομμύρια το 2008 και σε 22 εκατομμύρια το 2014, σχεδόν το διπλάσιο του πληθυσμού της χώρας (ΕΟΤ, 2015).

Οι κλιματικές συνθήκες αποτελούν τμήμα του πωλούμενου τουριστικού προϊόντος και, κατ' επέκταση, το καθιστούν ευάλωτο στην κλιματική αλλαγή. Υψηλές θερμοκρασίες, ακραία καιρικά φαινόμενα και έλλειψη νερού είναι μόνο μερικές από τις επιπτώσεις που αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά τον κλάδο του τουρισμού.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι άμεσες φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο Πεντελικό όρος. Ειδικότερα έγινε ανάλυση για την αύξηση της θερμοκρασίας και την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης καυσώνων, την αύξηση των δασικών πυρκαγιών και την αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων. Η μέση θερμοκρασία προβάλλεται να αυξηθεί από 1,39 °C μέχρι 4,39 °C αναλόγως το κλιματικό σενάριο και την επιλεγμένη περίοδο (2031-2060 και 2071-2100). Η συχνότητα του καύσωνα ( $T_{max} > 35$  °C) αναμένεται επίσης να αυξηθεί από 3,72 ημέρες επιπλέον ως και 37,85 ημέρες. Η μέγιστη διάρκεια ξηρασίας θα αυξηθεί κατά 4,34 ημέρες και μέχρι 23,24 ημέρες. Ο αριθμός ημερών με ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς ( $FWI > 50$ ) αναμένεται να επιμηκυνθεί κατά 11,54 ημέρες και μέχρι και 34,69 ημέρες. Ο δείκτης δυσφορίας 38,39 και 46 προβάλλεται επίσης να αυξηθεί δραματικά.

Εκτιμάται, σύμφωνα με τα πορίσματα του πανευρωπαϊκού προγράμματος PESETA, ότι σε περίπτωση που η μέση θερμοκρασία αυξηθεί κατά 2,5 βαθμούς Κελσίου στη βόρεια Μεσόγειο (Ισπανία, Πορτογαλία, Ελλάδα), θα προκύψει μείωση των διανυκτερεύσεων κατά 1% και απώλειες εσόδων της τάξης των 825 εκατομμυρίων ευρώ ετησίως. Σε περίπτωση που η αύξηση αυτή ξεπεράσει τους 5 βαθμούς Κελσίου, οι απώλειες εσόδων θα αγγίξουν σχεδόν τα 5 δισ. ευρώ ετησίως (Ciscar et al., 2014).

**Πίνακας 5.3 Οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον Τουρισμό (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011)**

<b>Οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον Τουρισμό</b>
Πιθανή μείωση αριθμού αφίξεων
Πιθανή μείωση μέσου χρόνου παραμονής
Μείωση εποχικότητας
Μείωση διαθέσιμου εισοδήματος παγκοσμίως για τον Τουρισμό λόγω της πτώσης του ΑΕΠ, οφειλόμενης στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής
Κόστος αναγκαστικής διακοπής προσφερόμενης τουριστικής υπηρεσίας λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων
Έργα στην κατεύθυνση της μείωσης της ρύπανσης και των αέριων εκπομπών
Έργα αντιμετώπισης των φυσικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και αντιμετώπισης ακραίων φαινομένων (φράγματα, συστήματα ανακύκλησης νερού)
Ανάγκη ανάπτυξης βιοκλιματικών υποδομών
Αυξημένο κόστος συντήρησης παλαιότερων υποδομών
Υποβάθμιση πολιτιστικών και ιστορικών μνημείων (μελέτη UNESCO, 2007) και πιθανή καταστροφή αρχαιολογικών μνημείων
Κόστος εκπαίδευσης και προσαρμογής του προσωπικού στα νέα μέσα και τρόπους λειτουργίας

## 5.4 Φυσικό περιβάλλον

Η Ελλάδα πράγματι ξεχωρίζει για την υψηλή της βιοποικιλότητα, που οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Η ποικιλομορφία της χλωρίδας και πανίσχυρη θηλαστική και πουλερική ζωή συνθέτουν ένα οικοσύστημα πλούσιο και ποικίλο. Ορισμένοι κύριοι παράγοντες που συντελούν σε αυτήν την υψηλή βιοποικιλότητα περιλαμβάνουν:

- Γεωγραφία και Γεωλογία: Η γεωγραφική ποικιλία και η πολύπλοκη γεωλογία της Ελλάδας δημιουργούν πολλαπλά οικοσυστήματα με διάφορες συνθήκες και κλίματα.
- Κλίμα: Το κλίμα της Ελλάδας είναι ποικίλο, και αυτό δίνει τη δυνατότητα για την ύπαρξη πολλών διαφορετικών φυτών και ζώων.
- Ενδημικά Είδη: Η χώρα φιλοξενεί πολλά ενδημικά είδη, δηλαδή είδη που βρίσκονται μόνο σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

- **Ιστορικοί Παράγοντες:** Οι ανθρώπινες δραστηριότητες και ο πολιτισμός της Ελλάδας έχουν επίσης επηρεάσει τη βιοποικιλότητα, είτε θετικά είτε αρνητικά.

Η διατήρηση και προστασία αυτής της βιοποικιλότητας είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης και της διατήρησης των φυσικών οικοσυστημάτων. Η κλιματική αλλαγή αυξάνοντας τη θερμοκρασία επιδρά στον κύκλο των εποχών, επίδραση που εκτιμάται ότι θα συνεχιστεί ακόμη και αν μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σοβαρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα καθώς:

- (α) Ο φυσικός ρυθμός διαδικασιών όπως η αναπαραγωγή και η μετανάστευση ειδών τροποποιείται.
- (β) Τροποποιείται η διάρκεια της βλαστητικής περιόδου.
- (γ) Προκύπτουν αλλαγές στις κοινότητες των μεταναστευτικών πτηνών.
- (δ) Τα περισσότερα είδη αμφίβιων και ερπετών κινδυνεύουν να μην έχουν κατάλληλα ενδιαιτήματα μέχρι το 2050.
- (ε) Πάνω από 50% των ειδών της ευρωπαϊκής χλωρίδας εκτιμάται ότι θα καταστούν ευάλωτα μέχρι το 2080.

Άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους οικοτόπους είναι έμμεσες, μέσω των αλλαγών των αβιοτικών συνθηκών, οι οποίες περιλαμβάνουν, αλλαγές στον επιφανειακό ή υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ή αυξημένη διάβρωση.

Τα οικοσυστήματα συμβάλλουν στη διατήρηση της ισορροπίας του κλίματος και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής με διάφορους τρόπους:

- **Αποθήκευση άνθρακα:** Ορισμένα οικοσυστήματα, όπως οι υγρότοποι, αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες άνθρακα. Η διατήρηση αυτών των οικοσυστημάτων βοηθά στη μείωση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.
- **Ρύθμιση του κλίματος:** Οι δασικές περιοχές και άλλα οικοσυστήματα συμβάλλουν στη ρύθμιση των κλιματικών συνθηκών μέσω διαδικασιών όπως η φωτοσύνθεση, η εκπομπή οξυγόνου, και η απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας.
- **Διατήρηση της Υγρασίας:** Ορισμένα οικοσυστήματα συμβάλλουν στη διατήρηση της υγρασίας και στην αντιμετώπιση των ακραίων κλιματικών συνθηκών όπως ξηρασία και πλημμύρες.

- Η απώλεια ή η αλλαγή αυτών των οικοσυστημάτων λόγω της κλιματικής αλλαγής θα μπορούσε να έχει σοβαρές συνέπειες για τον πλανήτη, προκαλώντας εκτεταμένη απώλεια βιοποικιλότητας, αλλαγές στα ύδατα και τα εδάφη, καθώς και επιδείνωση των κλιματικών συνθηκών. Επομένως, η διατήρηση των οικοσυστημάτων αποτελεί καθοριστικό στοιχείο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Τα ενδημικά φυτά και σπονδυλωτά της Μεσογείου φαίνεται ότι είναι ιδιαίτερος ευάλωτος στις κλιματικές αλλαγές (Malcolm et al., 2006). Κάτω από συνθήκες μηδενικής δυνατότητας μετανάστευσης, τα περισσότερα αμφίβια και ερπετά στη Νοτιοδυτική Ευρώπη αναμένεται να αντιμετωπίσουν σημαντική απώλεια του εύρους εξάπλωσής τους (Araújo et al., 2006).

Η μείωση αφθονίας των ειδών είναι μια σοβαρή απειλή για τη βιοποικιλότητα. Η περιοχή της Νότιας Ευρώπης, περιλαμβανομένων της Ιβηρικής Χερσονήσου, της Ιταλίας και της Ελλάδας, φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ευάλωτη σε αυτήν τη διαδικασία.

## 5.5 Αστικό Περιβάλλον

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής που επηρεάζουν τις πόλεις προκαλούν σοβαρές προκλήσεις για τον αστικό περιβαλλοντικό σχεδιασμό και την αειφόρο ανάπτυξη. Ειδικότερα όπως διαπιστώθηκε στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο ο αριθμός των θερμών ημερών με  $T_{mean} > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  και ο αριθμός των ημερών με κάυσινα ( $T_{max} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά σε όλα τα κλιματικά σενάρια. Η συχνότητα των ισχυρών βροχοπτώσεων αναμένεται να μειωθεί από 5-10%, όχι όμως και η ένταση της. Οι κυριότερες επιπτώσεις για τις αστικές περιοχές του Πεντελικού όρους που αποτελούν το 15% περίπου της συνολικής του έκτασης (2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, Πίνακας 2.1) είναι:

- Πλημμύρες λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων: Οι αυξημένες περιπτώσεις ακραίων βροχοπτώσεων μπορούν να οδηγήσουν σε πλημμύρες, επηρεάζοντας την υποδομή των πόλεων και προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στην κινητικότητα και την υγεία των κατοίκων.
- Καύσωνες: Οι αυξημένες θερμοκρασίες, γνωστές ως καύσωνες, επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών, ενισχύοντας τη ζέστη και τον κίνδυνο θερμοπληξίας.

- **Επιβαρυσμένο θερμικό περιβάλλον:** Ο αστικός σχεδιασμός με πυκνές κτιριακές υποδομές και ελλιπείς πράσινες εκτάσεις μπορεί να δημιουργήσει ένα επιβαρυσμένο θερμικό περιβάλλον, με αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής και την υγεία των πολιτών.

Η αύξηση της θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα, γνωστή ως "αστική θερμική υποβάθμιση," οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η αποψίλωση του φυσικού πράσινου, η πυκνή οικοδόμηση, και οι ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας όπως τα οχήματα και τα κτίρια. Αυτό οδηγεί σε ανεπιθύμητες θερμικές επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η αφαίρεση του φυσικού πράσινου, όπως δέντρα και πάρκα, μειώνει την ικανότητα του περιβάλλοντος να αντιμετωπίζει τη θερμότητα και να παρέχει φυσική σκίαση.

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει πολλούς περιβαλλοντικούς και κλιματικούς παράγοντες, με δυνητικές φυσικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Οι κύριοι τομείς που επηρεάζονται είναι:

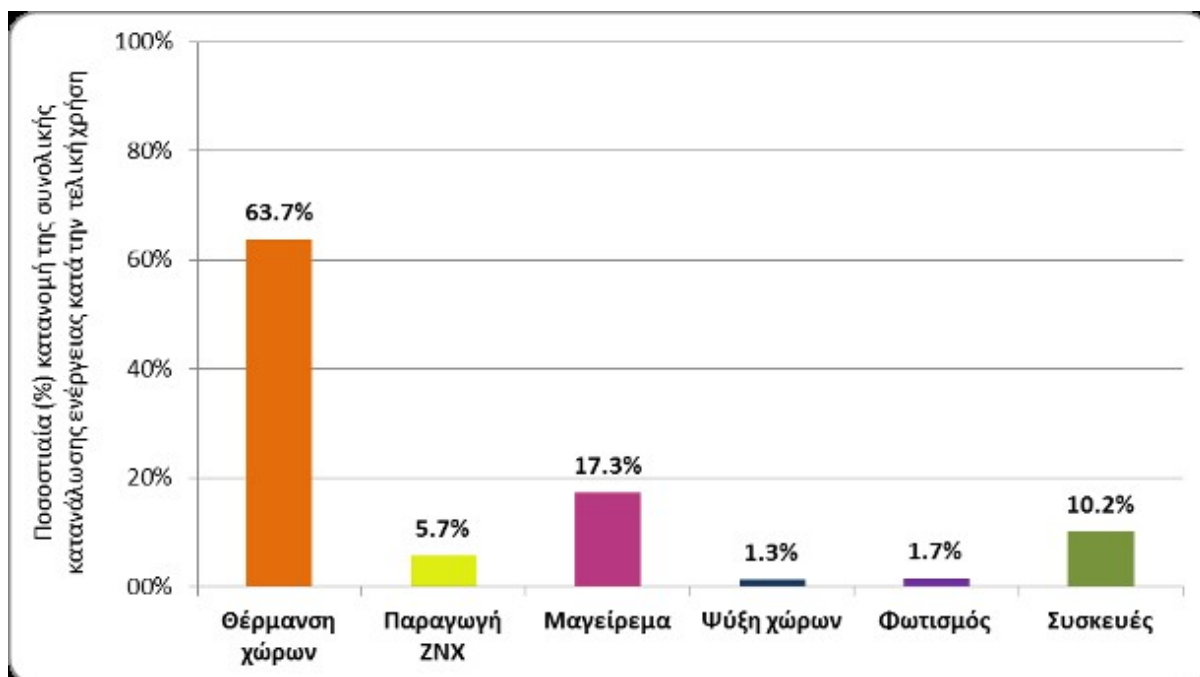
1. **Καταστροφές στο Δομημένο Περιβάλλον:** Αυξημένες πλημμύρες, θύελλες, καύσωνες και άλλα ακραία κλιματικά φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές στο δομημένο περιβάλλον, όπως καταρρεύσεις, πλημμύρες κτιρίων, και υλικές ζημιές.
2. **Επιπρόσθετο Λειτουργικό Κόστος σε Παραγωγικούς Τομείς:** Στους τομείς παραγωγής, η κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσει σε επιπρόσθετα λειτουργικά κόστη, όπως αυξημένα κόστη ενέργειας, προσαρμογή στο κλίμα, και απώλειες στην παραγωγή.
3. **Διακοπές Παροχής Υπηρεσιών:** Οι κλιματικές αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν διακοπές στην παροχή υπηρεσιών όπως τροφοδοσία νερού, ηλεκτρισμός, και μεταφορές λόγω ακραίων καιρικών συνθηκών.
4. **Ανθρώπινη Ευημερία:** Η θερμική άνεση, η υγεία και η γενική ευημερία του πληθυσμού μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά με την αύξηση της θερμοκρασίας και τη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων.

Αναφορικά με τις Θερμικές Ανάγκες των Κτιρίων:

- Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα μπορεί να μειώσει τις θερμικές ανάγκες των κτιρίων κατά τη χειμερινή περίοδο, μειώνοντας την ανάγκη για θέρμανση.

- Αντίθετα, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη ζήτηση για ψύξη κατά τη θερινή περίοδο, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες.
- Σε μη κλιματιζόμενα κτίρια, η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να επιφέρει δυσάρεστες συνθήκες θερμικής άνεσης, επιβαρύνοντας τους κατοίκους και μειώνοντας την ποιότητα ζωής.
- Η αυξημένη ζήτηση για ψύξη θα οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό, εκτός εάν υιοθετηθούν αποτελεσματικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια.
- Η αυξημένη ζήτηση για ψύξη οδηγεί σε αυξημένα έξοδα για τους καταναλωτές.

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ κατά μέσο όρο 13.994 kWh καταναλώνει κάθε νοικοκυριό στην Ελλάδα για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Το 63,7% της ενεργειακής κατανάλωσης προορίζεται για θέρμανση του χώρου και το 1,3% για ψύξη. Μία αύξηση κατά 10% στις ενεργειακές ανάγκες σημαίνει επιπλέον 1399,4 kWh/έτος και με μια μέση τιμή 0,15€/ kWh προκύπτει ετήσια επιβάρυνση 200€/έτος/νοικοκυριό.



Εικόνα 5-1 Ποσοστιαία κατανομή (%) της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά την τελική χρήση (Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά, 2011 – 2012 (ΕΛΣΤΑΤ))

## 5.6 Ανθρώπινη υγεία

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία μπορούν ενδεικτικά να ενταχθούν στις εξής τρεις κατηγορίες (WHO, 2003):

α) Άμεσες επιπτώσεις, που συνήθως προκαλούνται από ακραία καιρικά φαινόμενα (π.χ. θάνατοι από καύσωνες).

β) Έμμεσες επιπτώσεις, οι οποίες προκαλούνται ως συνέπεια περιβαλλοντικών αλλαγών και οικολογικών διαταραχών που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή (π.χ. αυξανόμενη απειλή από ασθένειες που μεταφέρονται από τα κουνούπια ή τα τρωκτικά).

γ) Διάφορες επιπτώσεις που προκαλούνται σε πληθυσμούς που πλήττονται από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και από οικονομικά προβλήματα λόγω της κλιματικής αλλαγής (π.χ. διατροφικά ή ακόμα και ψυχολογικά προβλήματα).

Οι προβλέψεις της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας αντικατοπτρίζουν την ανησυχητική πολυπλοκότητα και την ένταση των επιπτώσεων που η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει στην υγεία. Αναφέρονται ορισμένα από τα κύρια σημεία:

### **Καταιγίδες, Πλημμύρες, Ξηρασία, Πυρκαγιές:**

- Απειλή στα Υδάτινα Αποθέματα: Οι καταιγίδες και πλημμύρες μπορούν να επηρεάσουν τα υδάτινα αποθέματα και τη διαθεσιμότητα καθαρού νερού.
- Κύματα Ξηρασίας και Πυρκαγιές: Μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή τροφίμων και να αυξήσουν τον κίνδυνο πείνας.

### **Αύξηση Θερμοκρασίας:**

- Νοσηρότητα και Θνησιμότητα: Η υπερθέρμανση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα, ιδίως σε ευάλωτες ομάδες.
- Κίνδυνος από Καύσωνες: Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες αυξάνουν τον κίνδυνο από θερμοπληξίες και θερμικό στρες.

### **Επιπτώσεις στη Διατροφή:**

- Παραγωγή Τροφίμων: Οι αλλαγές στο κλίμα μπορεί να επηρεάσουν την παραγωγή τροφίμων και τη διαθεσιμότητά τους.
- Ποιότητα του Νερού και των Τροφίμων: Αυτό μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του νερού και των τροφίμων, επιδεινώνοντας την υγεία.

Οι 11 κατηγορίες αυξημένων περιπτώσεων ασθενειών που συνδέονται με την ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής, όπως αναγνωρίζονται από τις υγειονομικές αρχές στις Ηνωμένες Πολιτείες (CDC, 2009), είναι οι εξής:

1. Άσθμα, Αναπνευστικές Αλλεργίες και Ασθένειες από τον Ατμοσφαιρικό Αέρα
2. Νεοπλάσματα
3. Καρδιοαναπνευστικά Προβλήματα και Εμφράγματα
4. Τροφιμογενείς Ασθένειες και Λοιμώξεις
5. Νοσηρότητα και Θνησιμότητα από τη Ζέστη
6. Επιπλοκές στην Ανθρώπινη Ανάπτυξη
7. Βλάβες της Ψυχικής Υγείας και Διαταραχές Άγχους
8. Νευρολογικές Διαταραχές
9. Ασθένειες που Προκαλούνται από Φορείς
10. Ασθένειες που Προκαλούνται από το Νερό
11. Νοσηρότητα και Θνησιμότητα Λόγω Καιρικών Συνθηκών (Ακραία Καιρικά Φαινόμενα)

Αν κανείς λάβει υπόψη ότι η αξία της στατιστικής ζωής είναι 1.110.000€ ή ότι το κόστος ενός έτους ζωής αποτιμάται σε 59.000€ η κλιματική αλλαγή έχει σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Projection of Economic Impacts of Climate Change in Sectors of the European Union based on Bottom-Up Analysis, Watkiss et al., 2009).

## **6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

### **6.1 Πολιτικές αντιμετώπισης και προσαρμογής της κλιματικής αλλαγής**

Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτεί έναν συνδυασμό διάφορων μέτρων σε πολλούς τομείς της κοινωνίας. Τα παρακάτω είναι κάποια κύρια μέτρα που λαμβάνονται σε παγκόσμιο επίπεδο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής:

#### **Μείωση των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου:**

- Προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική).
- Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης σε κτίρια και μεταφορικά μέσα.
- Προώθηση της ηλεκτροκίνησης και των βιώσιμων μεταφορών.

#### **Βελτίωση της Διαχείρισης Υγρών και Φυσικών Πόρων:**

- Συντήρηση και ανάκτηση υγρότοπων και φυσικών οικοσυστημάτων.
- Αειφόρος διαχείριση των υδατικών πόρων και προστασία από την ερημοποίηση.

#### **Προσαρμογή στις Κλιματικές Αλλαγές:**

- Δημιουργία προγραμμάτων προσαρμογής για προστασία από κλιματικά ακραία γεγονότα.
- Ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κοινοτήτων και των υποδομών.

#### **Αειφορική Γεωργία και Δασοκομία:**

- Προώθηση πρακτικών που μειώνουν την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από τη γεωργία.
- Διατήρηση και αναδάσωση δασικών περιοχών.

### Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση:

- Ενημέρωση του κοινού για τις κλιματικές αλλαγές και τις συνέπειές τους.
- Ενίσχυση της κλιματικής παιδείας και εκπαίδευσης.

## 6.2 Προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης και προσαρμογής

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σημαντικότερα μέτρα ανά τομέα που προτείνονται για την αντιμετώπιση και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

### Πίνακας 6.1 Προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για το δασικό οικοσύστημα του Πεντελικού όρους

ΔΑΣΙΚΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ	
<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΑΣΙΚΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Εξέταση της υγείας του δάσους, δηλαδή αν υπάρχουν παθογόνοι οργανισμοί, όπως μύκητες και φλοιοφάγα έντομα και σε πιο βαθμό έχει προσβληθεί το δάσος</li><li>• Καταγραφή των μεταβολών στην υπάρχουσα δασική βλάστηση</li><li>• Φυτοκοινωνιολογική εκτίμηση με εκτίμηση της διαφοροποίησης της βλάστησης, υπολογισμό δεικτών Ellenberg, ταξινόμηση των φυτικών taxa σε χωρολογικές ενότητες, προσδιορισμός βιοτικών μορφών και εκτίμηση μεταβολής οικολογικών παραγόντων</li><li>• Οικοφυσιολογική εκτίμηση με την απογραφή των βιομετρικών χαρακτηριστικών των δέντρων με καταμέτρηση και παχυμέτρηση ζωντανών και νεκρών ιστάμενων και κατακείμενων, την απογραφή ορόφου θάμνων και αναγέννησης, την εκτίμηση της ζωτικότητας ή του βαθμού αποσύνθεσης των δέντρων και την δενδροχρονολόγηση</li><li>• εδαφολογική εκτίμηση με την περιγραφή του εδάφους, τις αναλύσεις θρεπτικών στοιχείων σε έδαφος και φυτικούς ιστούς και τη μέτρηση του διαθέσιμου για την ανάπτυξη των φυτών νερού.</li></ul>

<p><b>ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑ</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εγκατάσταση μόνιμων δειγματοληπτικών επιφανειών</li> <li>• Εγκατάσταση φορητών μετεωρολογικών σταθμών</li> <li>• Χρήση της τεχνολογίας με σύστημα συνεχούς παρακολούθησης και παροχής real time δεδομένων πεδίου οργάνωση σεμιναρίων, προγραμμάτων κατάρτισης με θέμα τη διαχείριση του δάσους</li> </ul>
<p><b>ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΠΟΥ ΔΙΑΤΗΡΟΥΝ ΤΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΩΣΤΕ ΝΑ ΜΗΝ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ Ο ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αραιώση της βλάστησης όπου είναι αναγκαίο για να μη συσσωρεύεται βιομάζα</li> <li>• Διατήρηση και αύξηση των μικτών δασικών συστάδων και της ποικιλότητας των ειδών, συνδυάζοντας διάφορες δομές δασών, δίνοντας προτεραιότητα σε ξηρανθεκτικά είδη.</li> <li>• Ενίσχυση και επιτάχυνση της διαδικασίας φυσικής αναγέννησης σε υπέργηρες συστάδες ή σε συστάδες που βρίσκονται σε κρίσιμη φάση για τη διατήρηση της δομής τους ως δάση. ενέργειες επίτευξης του στόχου είναι η υλοτόμηση και η απομάκρυνση των κορμών από την περιοχή που βρίσκεται σε φάση αναγέννησης, αφήνοντας, όμως, τα κλαδιά και τους σπόρους στην επιφάνεια, η δημιουργία αντιδιαβρωτικών έργων και η αποφυγή της βόσκησης.</li> <li>• Αντιμετώπιση της αποδάσωσης και της υποβάθμισης του δασικού οικοσυστήματος με ενέργειες δάσωσης και αναδάσωσης</li> <li>• Καταστολή των πυρκαγιών (Swetnam et al., 1999) με αραιώσεις, ελεγχόμενη φωτιά, δημιουργία αντιπυρικών ζωνών ή ζωνών με λιγότερο εύφλεκτα είδη (π.χ. πλατύφυλλα ανάμεσα σε κωνοφόρα), κλαδεύσεις δένδρων για τον περιορισμό των επικόρυφων πυρκαγιών, δίκτυο δασικών δρόμων, δασοπυροσβέστες, δασικοί πυροσβεστικοί σταθμοί κ.λπ. (Graham et al., 2004, Agee and Skinner, 2005) με σκοπό τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αύξηση της πυκνότητας των δασών</li> <li>• Περιορισμός και έλεγχος της βόσκησης, ώστε να μειωθεί η υπερβόσκηση αλλά και να αποτραπεί η ανάπτυξη πολύ πυκνών θαμνώνων που διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς</li> </ul>

**Πίνακας 6.2 Προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για τους υδατικούς πόρους του Πεντελικού όρους**

<b>ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ</b>	
<p><b>ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λεκάνες διείσδυσης / κατακράτησης υδάτων</li> <li>• Χρήση οικιακών συσκευών εξοικονόμησης νερού (σε δημοτικά κτήρια)</li> <li>• Συλλογή όμβριων υδάτων στα κτήρια με δεξαμενές κατακράτησης και αποθήκευσης νερού με παροχή κινητήρων</li> <li>• Προώθηση σχεδίου συλλογής βρόχινου νερού στους δημότες</li> <li>• Αποκατάσταση δικτύου διανομής νερού (μείωση διαρροών).</li> <li>• Μείωση διαρροών στο δίκτυο άρδευσης μέσω κατάρτισης προγράμματος συντήρησης και αναβάθμισης του δικτύου με ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης απωλειών νερού</li> <li>• Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένου νερού από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για άρδευση πάρκων κτλ.</li> <li>• Επαναχρησιμοποίηση γκρίζων νερών στις οικίες</li> <li>• Κήποι βροχής για την προσωρινή συγκράτηση και απορρόφηση του βρόχινου νερού που απορρέει από στέγες, δρόμους, αυλές κ.α.</li> </ul>
<p><b>ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δενδροφύτευση σε αστικές περιοχές</li> <li>• Τεχνητές λίμνες προσωρινής κατακράτησης υδάτων</li> <li>• Αποκατάσταση και αναγέννηση υλικών κοίτης κύριων ρεμάτων</li> <li>• Παρόχθιες δασώδεις ζώνες</li> <li>• Ρηχοί τάφροι με πέτρες/χαλίκια και κανάλια με βλάστηση για τη διήθηση του νερού</li> <li>• Τεχνητά κανάλια και μικρά υδατορεύματα</li> <li>• Κήποι βροχής για την προσωρινή συγκράτηση και απορρόφηση του βρόχινου νερού που απορρέει από στέγες, δρόμους, αυλές κ.α.</li> <li>• Πράσινες στέγες. Σχέδια χορηγίας και ιδιωτικές επενδύσεις.</li> <li>• Φυτεμένες λωρίδες γης για ενίσχυση της αποστράγγισης</li> <li>• Υδατοπερατά πεζοδρόμια</li> </ul>

**Πίνακας 6.3 Προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για τον τουρισμό του Πεντελικού όρους**

<b>ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ</b>	
<b>ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ενσωμάτωση των κλιματικών παραμέτρων της έκθεσης, της ευαισθησίας και της τρωτότητας στα κριτήρια χωροθέτησης νέων τουριστικών εγκαταστάσεων.</li> <li>• Πρόγραμμα ενεργειακών υποδομών με έμφαση στις ΑΠΕ και στις διασυνδέσεις, για τη διασφάλιση της ενεργειακής επάρκειας.</li> <li>• Ενίσχυση της ανθεκτικότητας μεταφορικών υποδομών σε ακραία καιρικά φαινόμενα.</li> <li>• Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας τουριστικών υποδομών με στόχο τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης.</li> <li>• Μέτρα και υποδομές για την επάρκεια των υδατικών πόρων και την αντιμετώπιση της ξηρασίας.</li> <li>• Πρόγραμμα αντιπλημμυρικών έργων σε ευάλωτες τουριστικές περιοχές για την προσαρμογή στην αυξημένη ένταση και συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων.</li> <li>• Ενσωμάτωση της διάστασης της κλιματικής αλλαγής στα κριτήρια του νόμου περί ιδιωτικών επενδύσεων στον τομέα του τουρισμού.</li> <li>• Καθιέρωση ειδικού σήματος για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή για τουριστικές εγκαταστάσεις</li> </ul>

**Πίνακας 6.4 Προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για το Φυσικό περιβάλλον του Πεντελικού όρους**

<b>ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</b>	
<b>ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υλοποίηση στοχευμένων δράσεων για την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση σχετικά με την προσαρμογή της βιοποικιλότητας στην κλιματική αλλαγή π.χ. οργάνωση δράσεων σε παγκόσμιες ημέρες για το περιβάλλον όπως Ημέρα της Γης ή International Day of Action for Rivers</li> <li>• Ανάπτυξη μηχανισμού και μητρώου για απογραφή, παρακολούθηση, και αξιολόγηση της βιοποικιλότητας στα αστικά κέντρα των πόλεων καθώς και στο οικόσυστημα του Πεντελικού όρους.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Βελτίωση της αναλογίας δομημένου χώρου και πρασίνου, με δένδροφύτευση εγκαταλελειμμένων δημοτικών τεμαχίων, στο κέντρο της πόλης σε χώρους σε δημόσια κτήρια όπως σχολεία, κυβερνητικά γραφεία, πλατείες, και ενίσχυση αστικών πάρκων κλπ για μείωση του φαινομένου της αστικής θερμονησίδας και μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη κατά την καλοκαιρινή περίοδο.</li> <li>• Δημιουργία θεματικών πάρκων βιοποικιλότητας/επικονιαστών</li> <li>• Προώθηση εγκατάστασης πράσινων οροφών</li> <li>• Συνδυασμός με μέτρα προσαρμογής δασικού οικοσυστήματος</li> </ul>
--	--

**Πίνακας 6.5 Προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για το Αστικό Περιβάλλον του Πεντελικού όρους**

<b>ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</b>	
<b>ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χρησιμοποίηση υλικών με υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (high albedo) για μείωση του φαινομένου της αστικής θερμονησίδας, π.χ. εγκατάστασης ψυχρών πεζοδρομίων στις σχετικές περιοχές των Δήμων, καθώς και προώθηση της εφαρμογής τους κατά την συντήρηση και αναβάθμιση υφιστάμενων πεζοδρομίων</li> <li>• Απαγόρευση της πλήρους στεγανοποίησης του εδάφους σε περιοχές ευαίσθητες σε φαινόμενα πλημμύρας. Αυτό είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσα από την χωροθέτηση των συγκεκριμένων περιοχών και την προώθηση διαπερατών υλικών στις δημόσιες συμβάσεις κατά την προμήθεια υλικών π.χ. διαπερατά πεζοδρόμια.</li> <li>• Προώθηση μέσα από τον χωροταξικό σχεδιασμό των φυτεμένων λωρίδων γης για ενίσχυση της αποστράγγισης</li> <li>• Σχεδιασμός υποδομών λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή</li> <li>• Προώθηση εγκατάστασης πράσινων στεγών</li> <li>• Εκπόνηση εξειδικευμένης μελέτης για την υπόδειξη των πλέον ευπαθών τμημάτων του οδικού δικτύου σε πλημμυρικά φαινόμενα</li> <li>• Προώθηση βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων</li> <li>• Εφαρμογή πιλοτικών δράσεων όπως προώθηση εφαρμογής ψυχρών πεζοδρομίων για τον μετριασμό του φαινομένου της</li> </ul>

	<p>αστικής θερμονησίδα</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Υιοθέτηση πολιτικής για τις Πράσινες Δημόσιες Συμβάσεις</li> <li>• Διάθεση και αύξηση κλιματιζόμενων δημόσιων κτιρίων σε ευάλωτες πληθυσμιακές ομάδες</li> <li>• Στέγαστρα και σκίαση στις στάσεις λεωφορείων</li> <li>• Ενημερωτικές ημερίδες και ενημερωτικό υλικό για την κλιματική αλλαγή</li> <li>• Υποδομές/Εξοπλισμός για συλλογή κλιματικών δεδομένων και παρακολούθηση</li> <li>• Ανάπτυξη από τον Δήμο, μηχανισμού καταγραφής ζημιών που προέρχονται από πλημμύρες και ακραία καιρικά φαινόμενα</li> <li>• Χρήση τεχνολογιών επικοινωνίας για τη διάχυση της πληροφορίας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και τη διάδοση οδηγιών για την ασφάλεια των χρηστών.</li> </ul>
--	--

**Πίνακας 6.6 Προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για την ανθρώπινη υγεία στο Πεντελικό όρος**

ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	
<p><b>ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανάπτυξη οργανωμένου σχεδίου δράσης για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της υψηλής θερμοκρασίας στην υγεία</li> <li>• Παροχή κατάλληλης ενημέρωσης στο κοινό για τη μείωση του κινδύνου μετάδοσης νοσημάτων.</li> <li>• Συμμετοχή των παρόχων υπηρεσιών υγείας και κοινωνικών υπηρεσιών στον σχεδιασμό της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή</li> <li>• Βελτίωση της ανθεκτικότητας των υποδομών υγειονομικής περίθαλψης απέναντι στα ακραία καιρικά φαινόμενα</li> <li>• Διασφάλιση της ικανότητας ανταπόκρισης των συστημάτων υγείας στην αυξανόμενη ζήτηση περίθαλψης ασθενών ή διαγνωστικών εξετάσεων.</li> <li>• Αύξηση των διαθέσιμων χώρων υποδοχής ευάλωτων ομάδων σε περιόδους με υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες. Οι χώροι αυτοί μπορούν να αποτελούν υφιστάμενα Δημοτικά κτίρια</li> <li>• Ενημερωτικές ημερίδες και υλικό για την κλιματική αλλαγή και πως επηρεάζει την υγεία. Τρόποι αντιμετώπισης- προστασίας.</li> </ul>

### 6.3 Προτεινόμενοι δείκτες παρακολούθησης

Η παρακολούθηση της προόδου σε ένα Σχέδιο Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή είναι πρώτιστης σημασίας μέσω της οποίας θα διασφαλίζεται ο προγραμματισμός και η υλοποίηση των επιμέρους δράσεων αλλά θα παρέχεται η δυνατότητα διαρκούς βελτίωσης και προσαρμογής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικοί από τους σημαντικότερους δείκτες παρακολούθησης οι οποίοι προτείνεται να ενταχθούν στον προγραμματισμό των δημοτικών αρχών της περιοχής του Πεντελικού όρους.

*Πίνακας 6.7 Προτεινόμενοι δείκτες παρακολούθησης για τις δημοτικές αρχές του Πεντελικού όρου*

ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ	
Αριθμός ή % (δημόσιων/οικιστικών/τρίτογενούς τομέα) κτιρίων τα οποία έχουν υποστεί ζημιές λόγω ακραίων καιρικών συνθηκών/φαινομένων	Ετησίως
Αριθμός υποδομών μεταφορών/ενέργειας/υδάτων/αποβλήτων/ΤΠΕ οι οποίες έχουν υποστεί ζημιές λόγω ακραίων καιρικών συνθηκών/φαινομένων	Ετησίως
% αλλαγή πράσινων περιοχών και υποδομών (έκταση)	%
% μεταβολής σφραγισμένων εδαφών/επιπέδου υγρασίας εδάφους	%
Επέκταση αντιπλημμυρικών έργων και υποδομών	Km
Μέση διάρκεια (σε ώρες) της διακοπής λειτουργίας των δημόσιων υπηρεσιών (παροχή ενέργειας/νερού, δημόσιες μεταφορές, υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης/πολιτικής προστασίας/αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης)	Ωρες
Αριθμός θανάτων οι οποίοι σχετίζονται με ακραία καιρικά φαινόμενα (π.χ. κύματα καύσωνα ή ψύχους)	Ετησίως
Αριθμός προειδοποιήσεων σε σχέση με την ποιότητα του αέρα	Ετησίως
% απώλειας βιοτόπων λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων	%
% αποκατεστημένων βιοτόπων που αποκαταστάθηκαν / % προστατευόμενων ειδών	%
% μεταβολής της απώλειας ύδατος (π.χ. λόγω διαρροής στο άρδευσης)	%
Ετήσιες άμεσες οικονομικές απώλειες σε € (στον εμπορικό /βιομηχανικό τομέα) λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων	€/ετησίως
Ετήσιο ποσό αποζημιώσεων σε € (π.χ. ασφάλεια)	€/ετησίως
Αριθμός διοργανώσεων ευαισθητοποίησης, απευθυνόμενων σε πολίτες και τοπικούς φορείς	Αριθμός
Αριθμός εκπαιδευτικών σεμιναρίων απευθυνόμενων στο προσωπικό	Αριθμός

Συχνότητα κυμάτων καύσωνα/ψύχους	Μηνιαίως & Ετησίως
Αριθμός ημερών/νυκτών με ακραία θερμοκρασία (συγκριτικά προς τις ετήσιες/εποχιακές θερμοκρασίες αναφοράς κατά τη διάρκεια της ημέρας/νύκτας)	Μηνιαίως & Ετησίως
% του πληθυσμού το οποίο ζει σε περιοχές κινδύνου (π.χ. πλημμύρα/ξηρασία/καύσωνας)	%

## 7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία ανέδειξε με σαφήνεια ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες περιβαλλοντικής και κοινωνικοοικονομικής πίεσης για την περιοχή του Πεντελικού όρους. Μέσα από την ανάλυση των κλιματικών προβολών και των επιπτώσεων σε κρίσιμους τομείς, προκύπτουν τα ακόλουθα βασικά συμπεράσματα:

Πρώτον, οι μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων, και ειδικότερα η αύξηση της θερμοκρασίας και η μείωση των βροχοπτώσεων, αναμένεται να εντείνουν τη συχνότητα και την ένταση ακραίων φαινομένων, όπως οι καύσωνες, οι παρατεταμένες ξηρασίες και οι δασικές πυρκαγιές. Η αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς επιβεβαιώνει τη σημαντική επιβάρυνση των δασικών οικοσυστημάτων.

Δεύτερον, τα δασικά οικοσυστήματα του Πεντελικού όρους εμφανίζονται ιδιαίτερα ευάλωτα, με αυξημένο κίνδυνο υποβάθμισης, απώλειας εδαφικών πόρων και ερημοποίησης. Η συχνότερη εκδήλωση πυρκαγιών και η μείωση της φυσικής αναγέννησης αναμένεται να επηρεάσουν αρνητικά τη βιοποικιλότητα και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες.

Τρίτον, οι υδατικοί πόροι της περιοχής αναμένεται να δεχθούν σημαντικές πιέσεις, λόγω της μείωσης των ανανεώσιμων αποθεμάτων και της αυξημένης ζήτησης, κυρίως για αρδευτικές χρήσεις. Η εξέλιξη αυτή συνεπάγεται αυξημένο οικονομικό κόστος διαχείρισης, καθώς και ενίσχυση των κινδύνων λειψυδρίας και υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτων.

Τέταρτον, σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις σε βασικούς τομείς της οικονομίας, όπως ο τουρισμός, όπου η αύξηση της θερμοκρασίας και η εμφάνιση ακραίων φαινομένων ενδέχεται να μειώσουν την ελκυστικότητα της περιοχής και να επηρεάσουν αρνητικά τα έσοδα και την απασχόληση.

Πέμπτον, το φυσικό περιβάλλον και η βιοποικιλότητα της περιοχής απειλούνται άμεσα, καθώς οι αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν τη γεωγραφική κατανομή, τη συμπεριφορά και την επιβίωση πολλών ειδών. Ιδιαίτερα ευάλωτα εμφανίζονται τα ενδημικά είδη, τα οποία ενδέχεται να υποστούν σημαντική μείωση του πληθυσμού τους.

Έκτον, το αστικό περιβάλλον αντιμετωπίζει αυξανόμενες προκλήσεις, όπως η ενίσχυση του φαινομένου της αστικής θερμονησίδας, η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για ψύξη, καθώς και η εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Οι επιπτώσεις αυτές επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα ζωής των κατοίκων και επιφέρουν πρόσθετο οικονομικό κόστος.

Έβδομον, οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι πολυδιάστατες και περιλαμβάνουν αύξηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας λόγω καυσώνων, επιδείνωση αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων, καθώς και αυξημένο κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών. Οι επιπτώσεις αυτές συνεπάγονται σημαντικό κοινωνικό και οικονομικό κόστος.

Τέλος, καθίσταται σαφές ότι η αποτελεσματική αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτεί έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό προσαρμογής, ο οποίος θα συνδυάζει τεχνικά, θεσμικά και κοινωνικά μέτρα. Η ενσωμάτωση των προτεινόμενων δράσεων σε τοπικές και περιφερειακές πολιτικές, καθώς και η συνεχής παρακολούθηση μέσω κατάλληλων δεικτών, αποτελούν κρίσιμες προϋποθέσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας της περιοχής.

Συνολικά, η εργασία καταδεικνύει ότι η κλιματική αλλαγή δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντική πρόκληση, αλλά και ζήτημα βιώσιμης ανάπτυξης, που απαιτεί άμεση κινητοποίηση και συντονισμένη δράση σε όλα τα επίπεδα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

- Αλμπάνης, Κ., Ξανθόπουλος, Γ., Σκουτέρη, Α., Θεοδωρίδης, Ν., Χριστοδούλου, Α. και Παλάσκας, Δ., 2015. Μεθοδολογία εκτίμησης της αξίας της δασικής γης στην Ελλάδα. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων.
- Διανέοσις, 2022. Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2017. 1η αναθεώρηση σχεδίου διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (EL06). Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. 2017.
- Τράπεζα της Ελλάδος, 2011. Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής

### Ξένη

- 44. IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Humidex : a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity by J.M. Masterton and F.A. Richardson. J. M Masterton; F. A Richardson; Canada. Atmospheric Environment Service. Downsview, Ont.: Environment Canada, Atmospheric Environment, 1979
- IPCC, 1990. Climate Change 1990: Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group I. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia, 410.
- IPCC, 1992. Climate Change 1992: The IPCC Supplementary Report; editors: J.T. Houghton.
- IPCC, 1996. Climate Change 1995: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Second Assessment Report (SAR), Edited by J.T. Houghton, L.G. Meira Filho.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: Contribution of Working Groups I, II and III. Synthesis Report on the Third Assessment Report (TAR), IPCC Publications/Reports: 2001.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, 2007. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies, Expert Meeting Report, 19–21 September, 2007
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- Sigfus J. Johnsen, Dorthe Dahl-Jensen, Niels Gundestrup, Jørgen P. Steffensen, Henrik B. Clausen, Heinz Miller, Valerie Masson-Delmotte, Arny E. Sveinbjörnsdóttir, James White, 2001. Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. <https://doi.org/10.1002/jqs.622>, 2001
- Viegas, Domingos & Bovio, Giovanni & Ferreira, Almerindo & Nosenzo, Antonio & Sol, Bernard. (1999). Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*. 9. 235-246. 10.1071/WF00015.
- Von Storch H., 1995. Inconsistencies at the interface of climate impact studies and global climate research. *Meteorologische Zeitschrift*, 4, 72-80
- Von Storch H., 1999. On the use of "inflation" in statistical downscaling. *Journal of Climate*, 12, 3505-3506.
- Wilby, Robert & Charles, Stephen & Zorita, Eduardo & Timbal, Bertrand & Whetton, Penny & Mearns, Linda., 2004. Guidelines For Use of Climate Scenarios Developed From Statistical Downscaling Methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Wolfgang Cramer, Joel Guiot, Katarzyna Marini, Brian Azzopardi, Mario V Balzan, et al.. MedECC 2020 Summary for Policymakers: In Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report. [Cramer W, Guiot J, Marini K (eds.)]. *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report*, Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, pp.11-40, 2020, 978-2-9577416-1-8. [ff10.5281/zenodo.5513887](https://doi.org/10.5281/zenodo.5513887). [ffhal03107451v2f](https://doi.org/10.5281/zenodo.5513887)
- Wolfgang Cramer, Joel Guiot, Marianela Fader, Joaquim Garrabou, Jean-Pierre Gattuso, et al.. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 2018, 8 (11), pp.972 - 980. [ff10.1038/s41558-018-0299-2](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2). [ffhal-01911390f](https://doi.org/10.5281/zenodo.5513887)