



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (ΠΕΣΠΚΑ) ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Παραδοτέο 5 «Σενάρια κλιματικής αλλαγής με χρήση του επιλεγμένου
περιφερειακού κλιματικού μοντέλου»

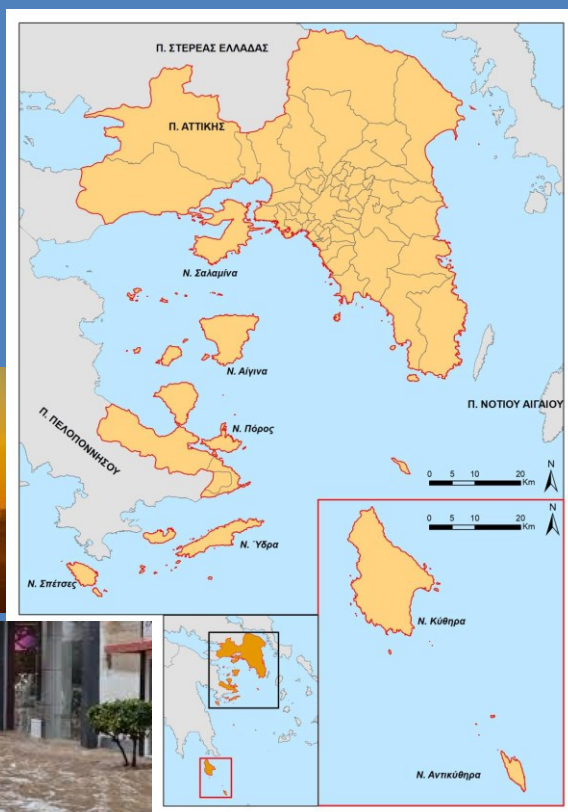
Ανάδοχος Μελετητής:



«ADVANCED ENVIRONMENTAL STUDIES ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
ΑΝΩΝΥΜΗ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ»

ΔΙΑΚΡ. Τ. «ΑΔΕΝΣ Α.Ε.»

Βασ. Σοφίας 98Α, Τ.Κ. 115 28, Αθήνα, Τηλ. 2107257539, Fax:
2107788668, Email: info@adens.gr



Νοέμβριος 2020

ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (ΠΕΣΠΚΑ) ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Παραδοτέο 5

Σενάρια κλιματικής αλλαγής με χρήση του επιλεγμένου περιφερειακού
κλιματικού μοντέλου

Ανάδοχος



«ADVANCED ENVIRONMENTAL STUDIES
ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ»

ΔΙΑΚΡ. Τ. «ADENS Α.Ε.»

Βασ. Σοφίας 98Α, Τ.Κ. 115 28, Αθήνα,
Τηλ. 2107257539, Fax: 2107788668,
Email: info@adens.gr

Το παραδοτέο συντάχθηκε από:

- Ακαδημία Αθηνών
Χρήστος Σ. Ζερεφός
Γιάννης Καψωμενάκης
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
Γιαννακόπουλος Χρήστος
Βαρώτσος Β. Κων/νος
Κιτσαρά Γιάννα
Γρατσέα Μυρτώ
- Τμήμα Φυσικής ΕΚΠΑ
Μαρία Τόμπρου
Αγγελική Ντάντου
Γιώργος Παπαγγελής

Αναθεωρήσεις:

Έκδοση	Ημερομηνία	Παρατηρήσεις
Εκδ. 1 (v.1)	28.11.2019	Αρχική έκδοση
Εκδ. 2 (v.2)	23.11.2020	Τελική έκδοση

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Αντικείμενο παρούσας έκθεσης	1
2	ΓΕΝΙΚΑ	4
2.1	Το κλίμα της Περιφέρειας Αττικής	4
2.2	Κλιματικά μοντέλα	4
2.2.1	Παγκόσμια μοντέλα	4
2.2.2	Περιοχικό μοντέλο	5
2.3	Κλιματικά σενάρια	11
2.4	Μεθοδολογία παραγωγής κλιματικών προσομοιώσεων υψηλής χωρικής ανάλυσης	12
3	ΚΛΙΜΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	14
3.1	Ετήσιες και εποχικές μετεωρολογικές παράμετροι	14
3.1.1	Ετήσια Θερμοκρασία	14
3.1.2	Εποχική Θερμοκρασία	14
3.1.3	Ετήσια Βροχόπτωση	16
3.1.4	Εποχική Βροχόπτωση	17
3.1.5	Σχετική Υγρασία	19
3.1.6	Άνεμος	20
3.1.7	Νεφοκάλυψη	21
3.2	Δείκτες ακραίων καιρικών καταστάσεων	22
3.2.1	Ακραία Μεγίστων Θερμοκρασιών	22
3.2.2	Ακραία Βροχοπτώσεων	23
3.2.3	Σύνοψη Δεικτών ακραίων καιρικών καταστάσεων	25
4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ	26
4.1	Αλλαγές στις ετήσιες και εποχικές μετεωρολογικές παραμέτρους	26
4.1.1	Ετήσια Θερμοκρασία	26
4.1.2	Εποχική Θερμοκρασία	29
4.1.3	Ετήσια Βροχόπτωση	33
4.1.4	Σχετική Υγρασία	34
4.1.5	Άνεμος	36
5	ΑΝΥΨΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	38
5.1	Παγκόσμια αύξηση της στάθμης της θάλασσας	38
5.2	Αύξηση της στάθμης της θάλασσας στην ευρωπαϊκή ακτογραμμή	42
5.3	Αύξηση της στάθμης της θάλασσας στην ανατολική Μεσόγειο και στην Περιφέρεια Αττικής	45
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1	Διοικητική διαίρεση Περιφέρειας Αττικής.....	3
Σχήμα 3-1	Παρατηρούμενη μέση μηνιαία θερμοκρασία στην Αθήνα την περίοδο 1985-2014. Η κόκκινη, μπλε και πράσινη καμπύλη αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία, αντίστοιχα.	14
Σχήμα 3-2	Μέση εποχική μέγιστη θερμοκρασία περιόδου 1981-2000.....	15
Σχήμα 3-3	Αριθμός ημερών με μέγιστη θερμοκρασία άνω των 35° C περιόδου 1981-2000.....	16
Σχήμα 3-4	Ετήσια κατανομή της βροχόπτωσης για την περίοδο 1985-2014 (μαύρες μπάρες) και αριθμός υγρών ημερών (ημερήσια βροχόπτωση > 1mm) ανά μήνα (μπλε καμπύλη) για τον σταθμό της Αθήνας.....	16
Σχήμα 3-5	Εποχικές τάσεις για τη συνολική βροχόπτωση για το διάστημα 1985-2014 στην Αθήνα.....	17
Σχήμα 3-6	Εποχική συνολική βροχόπτωση για το διάστημα 1981-2000 στην Αττική.....	18
Σχήμα 3-7	Μέση εποχική σχετική υγρασία περιόδου 1981-2000 στην Αττική.....	19
Σχήμα 3-8	Μέση εποχική ταχύτητα του ανέμου (σε m/sec) για την περίοδο 1981-2000.....	20
Σχήμα 3-9	Μέση χειμερινή (αριστερά), θερινή (μέσο) και ετήσια (αριστερά) τιμή του κλάσματος νεφοκάλυψης (%) περιόδου 1971-2000.....	21
Σχήμα 3-10	Ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τους 30oC (πράσινες μπάρες), 35oC (μαύρες μπάρες) και 40oC (κόκκινες μπάρες) στην Αθήνα την περίοδο 1985-2014.....	22
Σχήμα 3-11	Ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τους 20°C στην Αθήνα την περίοδο 1985-2014.....	23
Σχήμα 3-12	Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μίας (1) ημέρας για την περίοδο 1985-2014 στην Αθήνα... ..	24
Σχήμα 3-13	Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση κατά τη διάρκεια πέντε (5) ημερών για την περίοδο 1985-2014 στην Αθήνα.	24
Σχήμα 4-1	Διαφορές των προβλέψεων της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000 για την Αττική.....	27
Σχήμα 4-2	Διαφορές των προβλέψεων της ελάχιστης ετήσιας θερμοκρασίας για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000 για την Αττική.....	28
Σχήμα 4-3	Μεταβολή της μέσης θερινής μέγιστης θερμοκρασίας κατά τις περιόδους 2031-2050 (επάνω) και 2081-2100 (κάτω) για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (αριστερά) και το RCP8.5 (δεξιά) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000 για την Αττική.....	29
Σχήμα 4-4	Μεταβολή του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών με μέγιστη θερμοκρασία άνω των 35° C για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000 στην Αττική.....	30
Σχήμα 4-5	Μεταβολή του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία άνω των 20° C για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000 στην Αττική.....	32
Σχήμα 4-6	Μεταβολή της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000 στην Αττική.....	33
Σχήμα 4-7	Ποσοστιαίες μεταβολές της ετήσιας σχετικής υγρασίας για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα σχήματα αριστερά αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) και τα σχήματα δεξιά αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000).....	34
Σχήμα 4-8	Ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης καλοκαιρινής σχετικής υγρασίας για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα σχήματα αριστερά αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) και τα σχήματα δεξιά αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000).....	35
Σχήμα 4-9	Ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα αριστερά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος	

	(2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1971-2000) και τα δεξιά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000).	36
Σχήμα 4-10	Ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης θερινής ταχύτητας του ανέμου για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα αριστερά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1971-2000) και τα δεξιά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000).	37
Σχήμα 5-1	Ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο από 1880 έως 2015 με βάση 3 επιστημονικές μελέτες. Όλες οι τιμές είναι σχετικά με τη μέση στάθμη της περιόδου 1993-2012 κατά τη διάρκεια της οποίας τα τρία σετ ταυτίζονται. Στο σχήμα εμφανίζονται επίσης σκιασμένα τα διαστήματα αβεβαιότητας των προβλέψεων (http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-2/assessment)	39
Σχήμα 5-2	Προβλέψεις της ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα κατά τη διάρκεια του 21 ^{ου} αιώνα σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005 από τον συνδυασμό του CMIP5 με μοντέλα προσομοίωσης διεργασιών, για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5. Το υπό μελέτη εύρος παρατηρείται σαν μια κοινή γραμμή. Τα υπολογιζόμενα εύρη για τη μέση κατά την περίοδο 2081-2100 για όλα τα σενάρια RCP είναι οι σκιασμένες κάθετες γραμμές, με την αντίστοιχη μέση τιμή να δίνεται στην οριζόντια γραμμή	41
Σχήμα 5-3	Τάσεις στην απόλυτη στάθμη της θάλασσας στις Ευρωπαϊκές θάλασσες με βάση μετρήσεις μέσω δορυφόρου (1992-2013).....	43
Σχήμα 5-4	Προβλεπόμενη αλλαγή στη σχετική στάθμη της θάλασσας. Η εικόνα εμφανίζει την προβλεπόμενη αλλαγή της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο 2081-2100 σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005 για το μέσο σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP4.5 με βάση το κλιματικό μοντέλο CMIP5. Οι προβλέψεις θεωρούν την κίνηση της γης εξαιτίας της ισοστατικής προσαρμογής των πάγων αλλά όχι την καθίζηση λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων [14].	44
Σχήμα 5-5	Χωρική κατανομή της προβλεπόμενης μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο 2031-2060 (εγγύς μέλλον) σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000 για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 (αριστερά) και το σενάριο εκπομπών RCP8.5 (δεξιά) με βάση το κλιματικό μοντέλο MPI-ESM-MR στην ανατολική Μεσόγειο.	45
Σχήμα 5-6	Χωρική κατανομή της προβλεπόμενης μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο 2071-2100 (μακρινό μέλλον) σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000 για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 (αριστερά) και το σενάριο εκπομπών RCP8.5 (δεξιά) με βάση το κλιματικό μοντέλο MPI-ESM-MR στην ανατολική Μεσόγειο	46
Σχήμα 5-7	Κλιματικές προβλέψεις των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας στις ακτογραμμές της Αττικής σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πράσινη καμπύλη) και RCP8.5 (κόκκινη καμπύλη). Η μαύρη καμπύλη αναπαριστά την ιστορική περίοδο 1971-2005.	47

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5-1	Αλλαγή στη μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα και στη μέση ανύψωση της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα.....	41
-------------	--	----

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1	Οι χρήσεις γης και η εδαφοκάλυψη της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, από τη δορυφορική εικόνα (Landsat Thematic Mapper, Πανεπιστήμιο Αιγαίου), χωρικής ανάλυσης 30x30 m. Οι αποχρώσεις του γκρι αντιστοιχούν σε 7 αστικές κατηγορίες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν 6 περιοχές με διαφορετική πυκνότητα κατοικιών και μία βιομηχανική/εμπορική κατηγορία.....	6
Εικόνα 2-2	Οι χρήσεις γης και η εδαφοκάλυψη των τριών πλεγμάτων εφαρμογής του μοντέλου: η ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Ελλάδας με χωρική ανάλυση 9x9 km, η ευρύτερη περιοχή της στερεάς Ελλάδας και της ανατολικής Πελοποννήσου με χωρική ανάλυση 3x3 km και η ευρύτερη περιφέρεια Αττικής με χωρική ανάλυση 1x1 km.....	7
Εικόνα 2-3	Πεδία α) θερμοκρασίας αέρα και ανέμου β) θερμοκρασίας εδάφους και γ) σχετικής υγρασίας και ανέμου στις 12:00 UT (αριστερά) και 20:00 UT (δεξιά) στις 19/09/2007	10
Εικόνα 2-4	Πεδία μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα ανά Δήμο στις 01/01/1995 (αριστερά) και 01/08/1995 (δεξιά).....	10
Εικόνα 2-5	Κλιματικά σενάρια (Representative Concentration Pathways - RCPs): α) αλλαγή της ενίσχυσης της ακτινοβολίας (radiative forcing) συγκριτικά με την προ-βιομηχανική εποχή και β) εκπομπές CO ₂ για τα διάφορα RCPs σενάρια. Με έντονο χρώμα σημειώνονται τα τέσσερα RCPs σενάρια και με λεπτές γραμμές τα μεμονωμένα σενάρια από 30 περίπου υποψήφια RCPs σενάρια (Moss et al., 2010)	12

ΠΙΚΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Συντομογραφία	Επεξήγηση
ΠεΣΠΚΑ	Περιφερειακό Σχέδιο για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή
IPCC	Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change)
UNEP	Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme)
GCM	Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Global Circulation Models)
RCM	Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (Regional Climate Models)
RCP	Κλιματικά Σενάρια Εκπομπών Αερίων (Representative Concentration Pathways)

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο παρούσας έκθεσης

Το έργο «Κατάρτιση του Περιφερειακού Σχεδίου για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ) Περιφέρειας Αττικής» ΣΥΜΒΑΣΗ αρ. 106/2019 ανατέθηκε μετά από δημόσιο διαγωνισμό άνω των ορίων με ανοιχτή διαδικασία μέσω ΕΣΗΔΗΣ στην εταιρεία μελετών ADENSA.E. Η σχετική σύμβαση υπογράφηκε στις 28-08-2019.

Η σύμβαση περιλαμβάνεται στο 1^ο υποέργο της Πράξης: «Περιφερειακό Σχέδιο για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ) Αττικής», η οποία έχει ενταχθεί στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Αττική 2014-2020» με βάση την απόφαση ένταξης με αρ. πρωτ. 374/05-03-2018 της ΕΙΔΙΚΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Ε.Π. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και έχει λάβει κωδικό MIS 5023609.

Κύριος στόχος του έργου είναι η κατάρτιση του Περιφερειακού Σχεδίου Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή της Περιφέρειας Αττικής σε συμμόρφωση με το ακόλουθο θεσμικό πλαίσιο:

- Άρθρα 42 (Εθνική Στρατηγική για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή - ΕΣΠΚΑ), 43 (Περιφερειακά Σχέδια για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή - ΠεΣΠΚΑ), 44 (Εθνικό Συμβούλιο για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή - ΕΣΠ), 45 (Πρώτη Εθνική Στρατηγική για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή) του Νόμου 4414/2016 (ΦΕΚ 149/Α/2016)
- ΥΑ Αριθ. οικ.: 11258/ 16.03.2017 «Εξειδίκευση περιεχομένου Περιφερειακών Σχεδίων για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ), σύμφωνα με το άρθρο 43 του Νόμου 4414/2016 (Α'149)» (ΦΕΚ 873/Β/2017)
- ΥΑ οικ. 34768/4.8.2017 «Σύσταση, συγκρότηση και κανονισμός λειτουργίας του Εθνικού Συμβουλίου για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΕΣΠ), σύμφωνα με το άρθρο 44 του ν. 4414/2016 (Α'149)» (ΦΕΚ 3246/Β/2017)

Το ΠεΣΠΚΑ θα αξιολογήσει τις πιθανές επιπτώσεις (ευκαιρίες και απειλές) από την κλιματική αλλαγή, εστιάζοντας στον τρόπο με τον οποίο οι κλιματικοί κίνδυνοι ενδέχεται να εκδηλωθούν κατά τον 21^ο αιώνα, ελλείψει δράσης.

Το ΠεΣΠΚΑ θα επιδιώξει να αντιμετωπίσει τα ακόλουθα θέματα:

- Αξιολόγηση των κλιματικών κινδύνων υπό το πρίσμα των μεθόδων αξιολόγησης και γνώσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής
- Μια πληρέστερη αξιολόγηση του τρόπου αλληλεπίδρασης του κλίματος με τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες και του τρόπου με τον οποίο αυτοί οι παράγοντες κινδύνου ενδέχεται να αλλάξουν στο μέλλον, για παράδειγμα εξαιτίας της οικονομικής ανάπτυξης, της μεταβολής του πληθυσμού, των αλλαγών στις χρήσεις γης κλπ.
- Πώς οι επιπτώσεις των δράσεων προσαρμογής ενδέχεται να μεταβάλουν τα επίπεδα κινδύνου.

- Εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων και ιεράρχηση των δράσεων που απαιτούνται για τις διάφορες απειλές και ευκαιρίες,
- Κατανόηση της συνεργιστικής επίδρασης των διαφόρων κινδύνων που δρουν από κοινού.
- Αξιολόγηση των αβεβαιοτήτων, των περιορισμών και του επιπέδου εμπιστοσύνης στις υποκείμενες αποδείξεις και αναλύσεις για διάφορους κινδύνους.

Το ΠεΣΠΚΑ θα καλύψει την Περιφέρεια Αττικής (Σχ. 1-1) και θα χρησιμοποιηθεί για να ενημερώσει τόσο την Περιφέρεια όσο και τις Αρμόδιες Αρχές για τις μελλοντικές προτεραιότητες για την πολιτική προσαρμογής

Η παρούσα έκθεση αφορά στο 5^ο παραδοτέο του Έργου «Σενάρια κλιματικής αλλαγής με χρήση του επιλεγμένου περιφερειακού κλιματικού μοντέλου». Σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές του έργου απαιτείται η χρήση τουλάχιστον 2 από τα πλέον πρόσφατα σενάρια κλιματικής αλλαγής της IPCC ενώ τα αποτελέσματα θα καλύπτουν τουλάχιστον τις παραμέτρους που ακολουθούν. Ο λόγος που οι μελλοντικές περίοδοι είναι διαφορετικές για κάθε παράμετρο οφείλεται στη χρήση διαφορετικών μοντέλων για τον υπολογισμό των παραμέτρων αυτών.

- **Ετήσια και εποχικά στοιχεία**
 - Θερμοκρασίας
 - Βροχόπτωσης
 - Σχετικής Υγρασίας
 - Ταχύτητας Ανέμου
 - Ηλιοφάνειας
- **Δείκτες Ακραίων κλιματικών συνθηκών, όπως**
 - Αριθμός ημερών παγετού
 - Αριθμός τροπικών νυκτών
 - Αριθμός υγρών ημερών



Σχήμα 1-1

Διοικητική διαίρεση Περιφέρειας Αττικής

2 ΓΕΝΙΚΑ

2.1 Το κλίμα της Περιφέρειας Αττικής

Η έντονη αστικοποίηση σε συνδυασμό με τις αυξημένες θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας και τα πιο συχνά ακραία φαινόμενα, όπως τα κύματα καύσωνα, έχουν ως αποτέλεσμα πιο έντονο αστικό θερμικό κίνδυνο παγκοσμίως.

Το κλίμα της Αττικής είναι εύκρατο και εντάσσεται κλιματολογικά στον μεσογειακό τύπο κλίματος. Βροχές σημειώνονται κυρίως από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο αλλά συνολικά ολόκληρο τον χρόνο τα ύψη βροχής είναι πολύ χαμηλά και δεν ξεπερνούν τα 400-450mm. Περισσότερες βροχές σημειώνονται στα ανατολικά και στα βόρεια διαμερίσματα του νομού. Χιονοπτώσεις σημειώνονται κάθε σχεδόν χρόνο στα γύρω ορεινά της Αττικής πιο σπάνια στα βόρεια προάστια των Αθηνών και ακόμα πιο σπάνια στο κέντρο της πόλης. Βεβαίως τα τελευταία χρόνια τα χιόνια έχουν κάνει πολλές φορές αισθητή την παρουσία τους στην πόλη (2002-2004-2006-2008). Η θερμοκρασία ακόμα και τους χειμερινούς μήνες κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα με την μέση του Ιανουαρίου να κυμαίνεται στους 9.2°C. Τους καλοκαιρινούς μήνες οι θερμοκρασίες φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα και για λίγες ημέρες εμφανίζεται καύσωνας με θερμοκρασίες που ξεπερνούν ακόμα και τους 40°C. Στο λεκανοπέδιο και στις πυκνοδομημένες περιοχές επικρατούν συνθήκες που επιβαρύνουν σημαντικά το ήδη θερμό φυσικό κλίμα της Αττικής.

2.2 Κλιματικά μοντέλα

2.2.1 Παγκόσμια μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα, επίσης γνωστά ως μοντέλα γενικής κυκλοφορίας ή GCM, είναι πολυσύνθετα μοντέλα που προσομοιώνουν την εξέλιξη του κλίματος, και δίνουν ως αποτέλεσμα τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για τον πλανήτη. Χρησιμοποιούν αριθμητικές μεθόδους για να προσομοιώσουν τις αλληλεπιδράσεις της ατμόσφαιρας με τους ωκεανούς, την επιφάνεια της γης και τις πολικές περιοχές. Η πιο διαδεδομένη χρήση των κλιματικών μοντέλων τα τελευταία χρόνια είναι η εκτίμηση της πορείας της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου (κλιματική αλλαγή).

Σενάρια κλιματικής αλλαγής που προέρχονται άμεσα από εξαγόμενα GCM μπορεί να μη διαθέτουν επαρκή χωρική διακριτική ικανότητα για να αποδώσουν αλλαγές σε μια περιοχή ή ειδική τοποθεσία. Ειδικότερα, η χωρική διακριτική ικανότητα των GCM σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά επιφάνειας εδάφους και ορογραφίας είναι σε μεγάλο βαθμό απλοποιημένα σε σχέση με την πραγματικότητα, με αποτέλεσμα την απώλεια κάποιων χαρακτηριστικών, που μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιοχικό κλίμα. Το κενό αυτό έρχονται να καλύψουν τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα ή RCM (Regional Climate Models), τα οποία χρησιμοποιούν γενικά τις ίδιες αρχές φυσικής με τα GCM, αλλά παρέχουν εξαγόμενα για μέρος του πλανήτη σε υψηλότερη διακριτική ικανότητα, τυπικά μεταξύ 10-50 km. Τα RCM δημιουργούνται από την ενσωμάτωση ενός δευτερεύοντος μοντέλου σε μια ή περισσότερες μοναδιαίες κλίμακες των GCM. Εξαγόμενα από GCM, όπως πίεση, άνεμος, θερμοκρασία και βροχόπτωση σε διάφορες στάθμες για την περιοχή ειδικού πεδίου ενδιαφέροντος, χρησιμοποιούνται στα RCM.

2.2.2 Περιοχικό μοντέλο

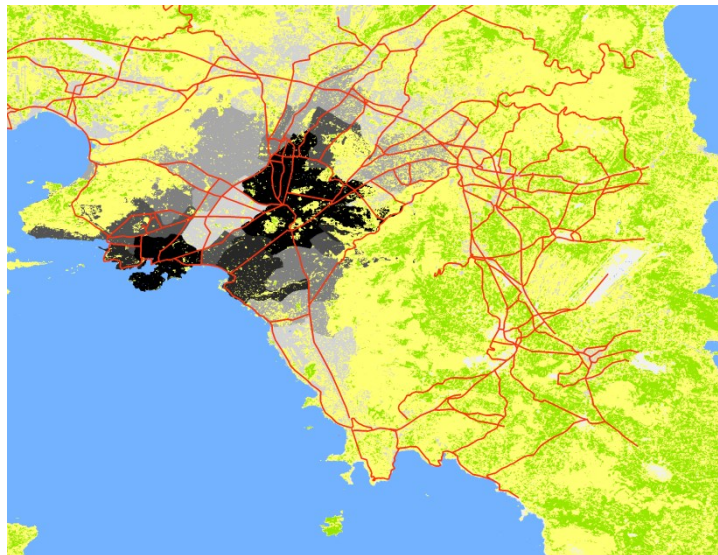
Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόζεται το περιοχικό μοντέλο Weather Research and Forecasting (WRF) έκδοση v3.9.1 (Skamarock et al., 2008). Το μοντέλο αυτό είναι ένα σύστημα αριθμητικής πρόγνωσης καιρού και προσομοίωσης των διεργασιών της ατμόσφαιρας, κατάλληλα σχεδιασμένο τόσο για ερευνητικές όσο και για επιχειρησιακές εφαρμογές. Έχει αναπτυχθεί από το Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικών Ερευνών των ΗΠΑ (NCAR), την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ (NOAA), την Υπηρεσία Καιρού της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ (AFWA), το Ναυτικό Ερευνητικό Εργαστήριο των ΗΠΑ, το Πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα και την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας των ΗΠΑ (FAA). Αποτελεί έναν ευέλικτο και εξελιγμένο κώδικα νέας γενιάς, με τη δυνατότητα να εκτελείται αποτελεσματικά από μικρές υπολογιστικές μονάδες (λάπτοπ, PC) έως και υπολογιστικά συστήματα υψηλών επιδόσεων (super computers).

Ο δυναμικός πυρήνας του μοντέλου (Advanced Research WRF, ARW) χρησιμοποιεί τις μη υδροστατικές εξισώσεις του Euler. Για την επίλυση των εξισώσεων στο οριζόντιο επίπεδο χρησιμοποιεί εναλλασσόμενο Arakawa C οριζόντιο πλέγμα, ενώ στο κατακόρυφο επίπεδο το σύστημα Eta-συντεταγμένων, οι οποίες ακολουθούν την τοπογραφία, με δυνατότητα προεπιλεγμένου αριθμού και διάταξης καθ' ύψος των Eta-επιπέδων (με το ανώτερο επίπεδο να βρίσκεται στα 50 hPa ~ 20 km). Στο WRF-ARW εκτός από τον δυναμικό πυρήνα ARW περιλαμβάνονται επίσης αλγόριθμοι φυσικής που προσφέρουν αριθμητικές και δυναμικές επιλογές, προ-επεξεργαστές για τη δημιουργία των αρχικών συνθηκών (WRF Preprocessing System - WPS), όπως και σύστημα για την αφομοίωση δεδομένων (WRF-Var Data assimilation). Το μοντέλο καλύπτει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως ιδεατές προσομοιώσεις, ανάπτυξη αλγορίθμων παραμετροποίησης φυσικών διεργασιών (μικροφυσικής νεφών, ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, ακτινοβολίας, εδάφους: φυσική βλάστησης και ανθρωπογενών επιφανειών), αφομοίωσης δεδομένων, κ.α. Το μοντέλο προσομοιώνει επιτυχώς τις μετεωρολογικές συνθήκες από την πλανητική έως και τη μικρο-κλίμακα (π.χ. αστική κλίμακα), καθώς έχει τη δυνατότητα της πολλαπλής χωρικής εστίασης (multiplenesting). Επίσης, το μοντέλο υποστηρίζει και κλιματικές εφαρμογές σε περιοχική κλίμακα, τόσο για πραγματικές συνθήκες όσο και για μελλοντικά κλιματικά σενάρια με την ανάλογη διαμόρφωση 'configuration' και τα ανάλογα δεδομένα εισόδου.

Οι αριθμητικές προσομοιώσεις πραγματοποιούνται με την εφαρμογή εστίασης 'διπλής κατεύθυνσης' (two-waynesting), όπου το χρονικό βήμα επίλυσης των εξισώσεων υποδιαιρείται και οι περιοχές εστίασης αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, έτσι ώστε οι περιοχές με τη μεγαλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα όχι μόνο να δέχονται πληροφορία από τις ευρύτερες περιοχές αλλά να επηρεάζουν και αυτές τις ευρύτερες περιοχές εφαρμογής, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στην προσομοίωση των μετεωρολογικών παραμέτρων. Επιλέχθηκε το μοντέλο παραμετροποίησης του εδάφους Noah- Multi parameterization Land Surface Model (Noah-MP LSM) (Niu et al., 2011), σε συνδυασμό με το μοντέλο ενός στρώματος (single-layer) αστικού θόλου Urban Canopy Model (UCM) (Tewari et al., 2007 και οι αναφορές τους). Στο σχήμα Noah-MP LSM επιλέχθηκε το τροποποιημένο σύστημα μεταφοράς ακτινοβολίας 'δύο ρευμάτων' (two stream) (Yang and Friedl, 2003; Niu and Yang, 2004). Για την παραμετροποίηση του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος εφαρμόζεται το σχήμα Yonsei University (YSU) (Hong et al., 2006), για την ακτινοβολία μικρού και μεγάλου μήκους κύματος το μοντέλο Rapid Radiative Transfer Model for Global (RRTMG) (Iacono et al., 2008), για το επιφανειακό

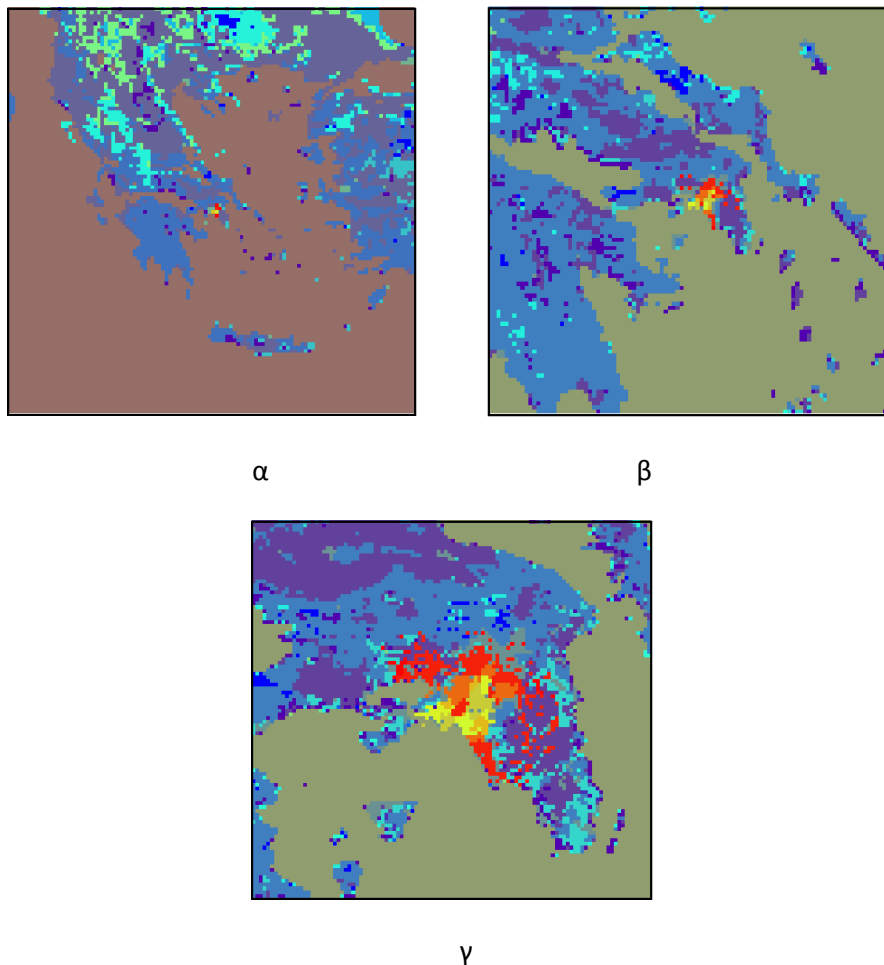
στρώμα η αναθεωρημένη θεωρία ομοιότητας MM5 (Jimenez et al., 2012) και τέλος, για την παραμετροποίηση της μικροφυσικής το σχήμα κλεισίματος πρώτης τάξης (WSM) 3-class (Hong et al., 2004).

Όσον αφορά στη χρήση της γης και τους τύπους εδάφους, χρησιμοποιούνται τα προκαθορισμένα σύνολα δεδομένων του Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer (MODIS) με 21 κατηγορίες χρήσης γης και 16 κατηγορίες εδάφους. Οι αριθμητικές προσομοιώσεις συμπληρώνονται με δεδομένα υψηλής ανάλυσης σχετικά με τη χωρική κατανομή των χρήσεων γης και της εδαφοκάλυψης, που προέρχονται από ανάλυση δορυφορικής εικόνας. Συγκεκριμένα, η χρήση γης της ευρύτερης περιοχής της Αττικής αντικατοπτρίζεται από τη συλλογή στοιχείων βλάστησης και αστικών χρήσεων γης από μια δορυφορική εικόνα χωρικής ανάλυσης 30 m (Landsat Thematic Mapper, Πανεπιστήμιο Αιγαίου) όπως φαίνεται στο σχήμα 1, ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Parangelis et al. (2012). Επιπλέον, εφαρμόζεται κατηγοριοποίηση επτά διαφορετικών αστικών τύπων κυρίως με βάση το ύψος του κτιρίων και την πυκνότητα της δόμησης. Και οι δύο κώδικες του Noah LSM-MP και του UCM προσαρμόζονται έτσι ώστε να λαμβάνουν υπόψη το σύνολο των δεδομένων χρήσης γης της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 2-1 Οι χρήσεις γης και η εδαφοκάλυψη της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, από τη δορυφορική εικόνα (Landsat Thematic Mapper, Πανεπιστήμιο Αιγαίου), χωρικής ανάλυσης 30x30 m. Οι αποχρώσεις του γκρι αντιστοιχούν σε 7 αστικές κατηγορίες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν 6 περιοχές με διαφορετική πυκνότητα κατοικιών και μία βιομηχανική/εμπορική κατηγορία

Για την προσομοίωση του επιλεγμένου ενδεικτικού παρόντος έτους, οι αρχικές, πλευρικές και οριακές συνθήκες λαμβάνονται από τα δεδομένα μοντέλων παγκόσμιας κλίμακας Era-Interim Project (ds627.0) με χωρική ανάλυση από $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ έως $0.703^{\circ} \times 0.703^{\circ}$ και ανανέωση ανά 6 ώρες. Για τις προσομοιώσεις εφαρμόζεται τριπλό πλέγμα εστίασης (σχ. 2), όπου το πρώτο πλέγμα περιλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Ελλάδας με χωρική ανάλυση 9x9 km, το δεύτερο την ευρύτερη περιοχή της στερεάς Ελλάδας και της ανατολικής Πελοποννήσου με χωρική ανάλυση 3x3 km και το τρίτο είναι εστιασμένο στην ευρύτερη περιφέρεια Αττικής με χωρική ανάλυση 1x1 km. Στον κατακόρυφο άξονα θεωρήθηκαν 38 επίπεδα Eta (έως τα 50 hPa) με μεγαλύτερη ανάλυση κοντά στην επιφάνεια και πάνω από το αστικό οριακό στρώμα.



Εικόνα 2-2 Οι χρήσεις γης και η εδαφοκάλυψη των τριών πλεγμάτων εφαρμογής του μοντέλου: η ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Ελλάδας με χωρική ανάλυση 9x9 km, η ευρύτερη περιοχή της στερεάς Ελλάδας και της ανατολικής Πελοποννήσου με χωρική ανάλυση 3x3 km και η ευρύτερη περιφέρεια Αττικής με χωρική ανάλυση 1x1 km.

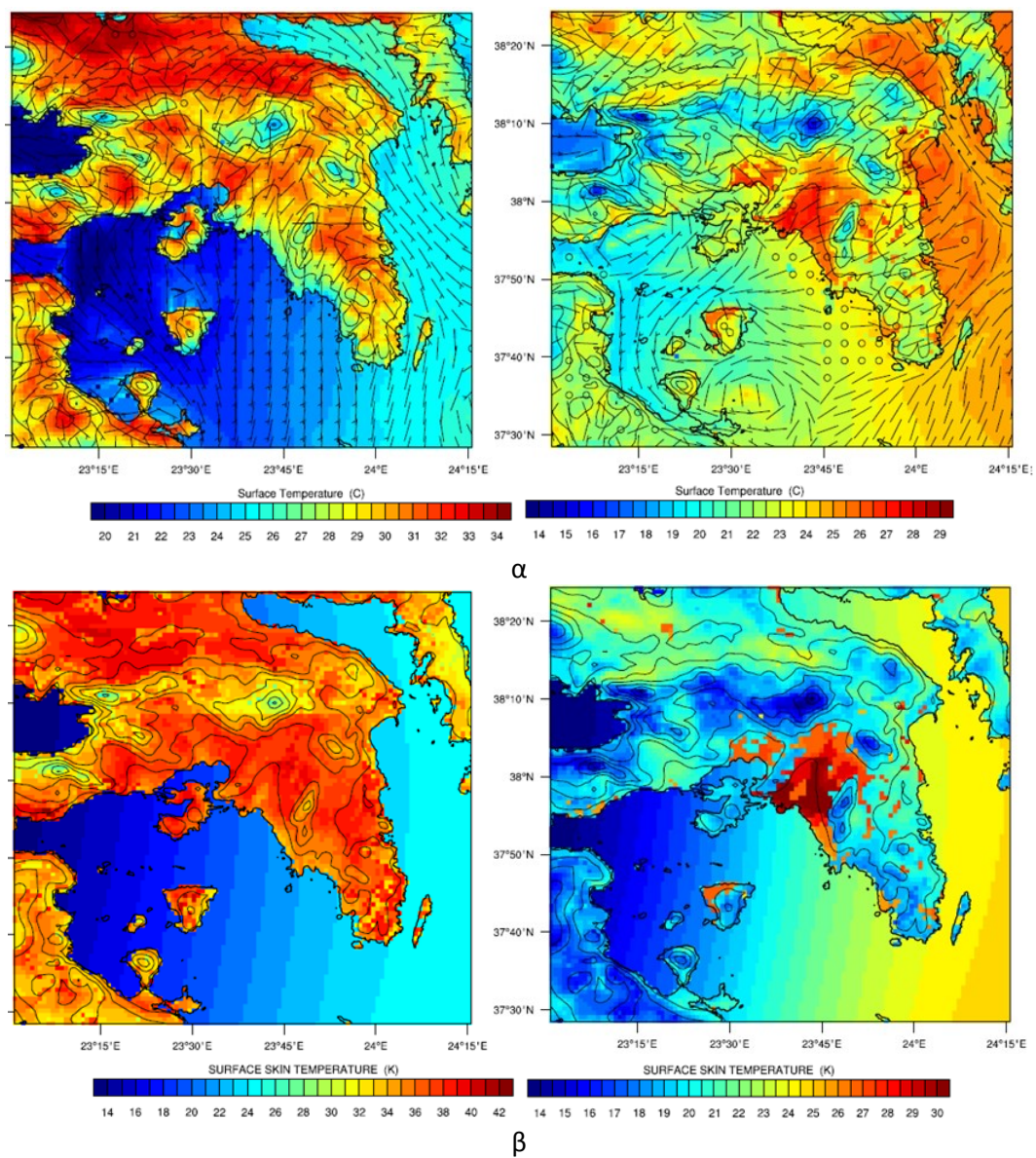
Για την προσομοίωση των επιλεγμένων μελλοντικών ετών (2080, 2100) οι αρχικές, πλευρικές και οριακές συνθήκες λαμβάνονται από τα δεδομένα NCAR CESM Global Bias-Corrected CMIP5 Output to Support WRF/MPAS Research dataset (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds316.1/#!description>). Το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει τα διορθωμένα δεδομένα εξόδου ενός κλιματικού μοντέλου από την 1η έκδοση του μοντέλου NCAR's Community Earth System Model (CESM1), που συμμετείχε στην 5η φάση του πειράματος συσχετισμένου μοντέλου Coupled Model Intercomparison Experiment (CMIP5). Η συγκεκριμένη δράση υποστηρίχθηκε από την 5η έκθεση αξιολόγησης της διακυβερνητικής επιτροπής για την κλιματική αλλαγή Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report (IPCC AR5). Τα δεδομένα παρεμβάλλονται σε 26 επίπεδα πίεσης και παρέχονται σε αρχεία ανά 6ωρα διαστήματα. Οι μεταβλητές διορθώθηκαν προκαταρκτικά χρησιμοποιώντας τα πεδία Interim Re analysis (ERA-Interim) του European Centre for Medium – Range Weather Forecasts (ECMWF) για την περίοδο 1981-2005, ακολουθώντας τη

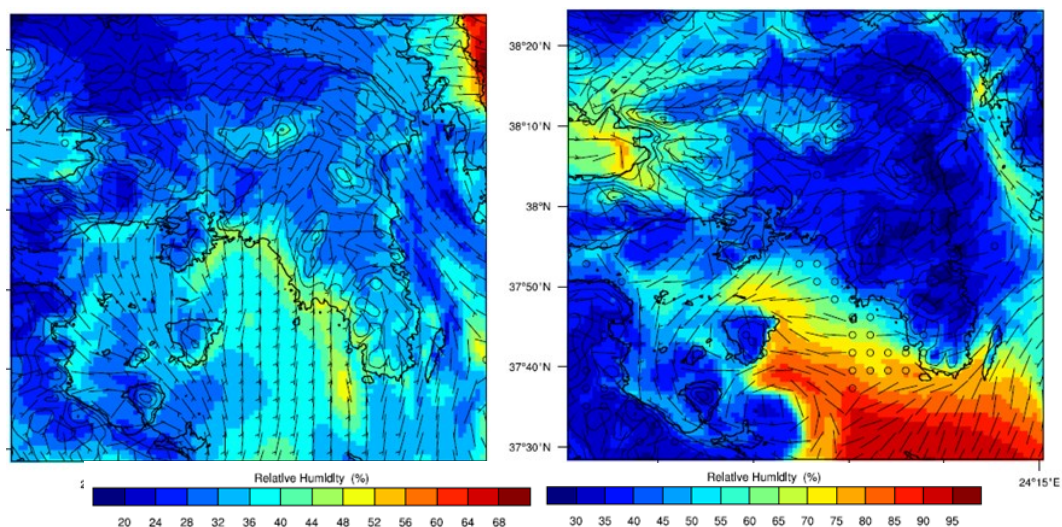
μέθοδο των Bruyère et al. (2014). Τα αρχεία είναι διαθέσιμα για προσομοιώσεις του 20ου αιώνα (1951-2005) καθώς και τρία συνακόλουθα μελλοντικά σενάρια (Representative Concentration Pathway, RCP), τα RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5, για τα έτη 2006-2100.

Το μετεωρολογικό μοντέλο WRF παρέχει πλήθος στοιχείων/μεταβλητών εξόδου, όπως το τρισδιάστατο πεδίο του ανέμου, πεδία θερμοκρασίας, πίεσης και αναλογίας μίγματος υδρατμών, υετού, νεφών, χιονιού, ταχύτητα τριβής, ροών ακτινοβολίας, θερμότητας, ύψους οριακού στρώματος κ.α. ανά τακτά χρονικά διαστήματα (της τάξης της μίας ώρας). Τα δεδομένα που δίνονται από το περιοχικό μοντέλο, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, είναι:

- Πεδία μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου, επικρατούσας διεύθυνσης, μέσης και αθροιστικής ημερήσιας βροχόπτωσης καθώς και ώρες ηλιοφάνειας για να πραγματοποιηθεί ο υποβιβασμός κλίμακας (downscaling) των κλιματικών μοντέλων για το επιλεγμένο ενδεικτικό παρόν έτος.
- Τιμές μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας ανά Δήμο για το επιλεγμένο ενδεικτικό παρόν έτος και τα μελλοντικά έτη (RCP4.5 και RCP8.5) για τις στατιστικές επιδημιολογικές μελέτες που εκπονήθηκαν από τον Τομέα της Υγείας
- Μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ανά 8 διευθύνσεις, μέση και μέγιστη μηνιαία ταχύτητα ανέμου ανά 8 διευθύνσεις και χρονοσειρές ωριαίων τιμών ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου σε επιλεγμένα σημεία των παράκτιων περιοχών (πχ. λιμάνια) για το επιλεγμένο ενδεικτικό παρόν έτος και τα μελλοντικά έτη (RCP4.5 και RCP8.5) για τον Τομέα των Υποδομών –Παράκτιες Ζώνες
- Χάρτης χρήσεων γης για τον Τομέα της Γεωργίας-Κτηνοτροφίας

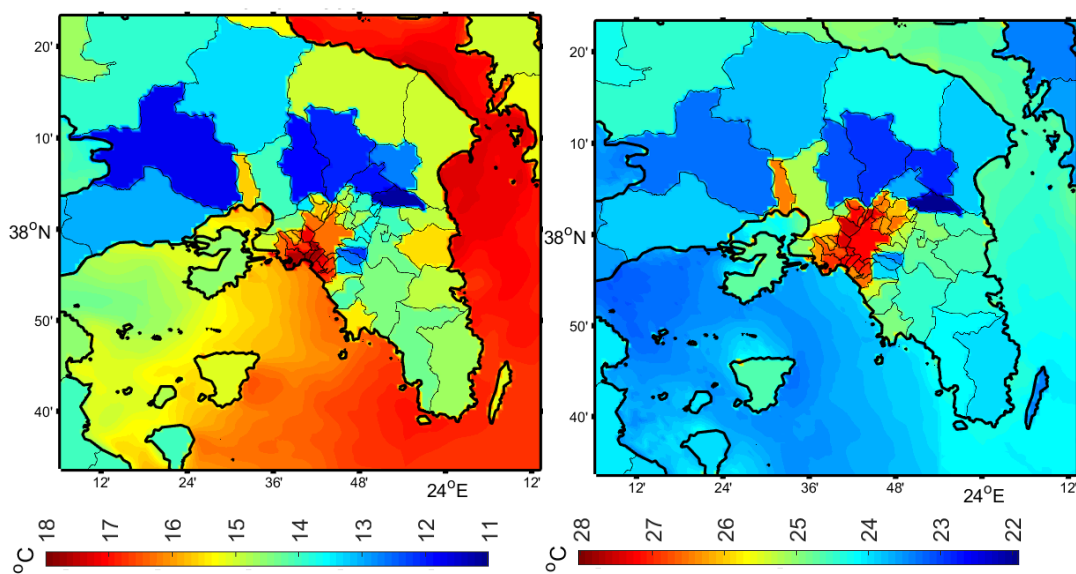
Στις ακόλουθες εικόνες, παρουσιάζονται ενδεικτικά πεδία θερμοκρασίας αέρα, θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους, ανέμου, σχετικής υγρασίας και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα ανά Δήμο από την εφαρμογή του περιοχικού μοντέλου WRF στο τρίτο πλέγμα.





γ

Εικόνα 2-3 Πεδία α) θερμοκρασίας αέρα και ανέμου β) θερμοκρασίας εδάφους και γ) σχετικής υγρασίας και ανέμου στις 12:00 UT (αριστερά) και 20:00 UT (δεξιά) στις 19/09/2007



Εικόνα 2-4 Πεδία μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα ανά Δήμο στις 01/01/1995 (αριστερά) και 01/08/1995 (δεξιά)

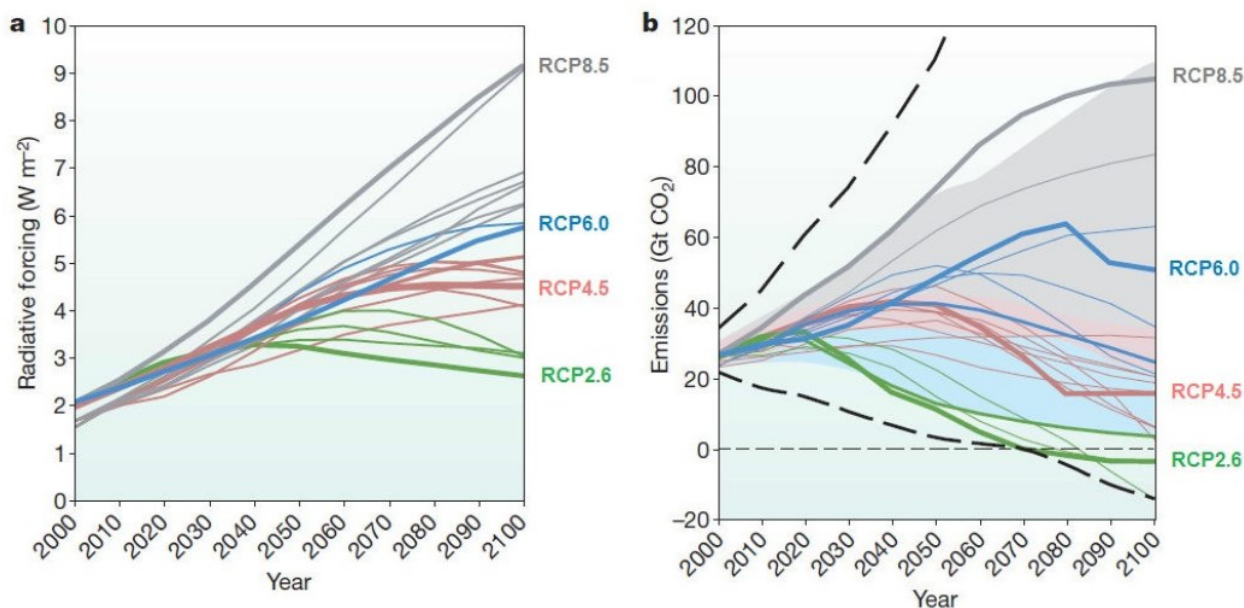
2.3 Κλιματικά σενάρια

Με βάση τις εκτιμήσεις της Πέμπτης Έκθεσης Αξιολόγησης (Fifth Assessment Report- AR5) της IPCC, έχουν προταθεί τέσσερα κλιματικά σενάρια εκπομπών αερίων (Representative Concentration Pathways - RCPs), τα οποία συνδέονται με χρονοσειρές συγκεντρώσεων εκλυόμενων αερίων του θερμοκηπίου, αιωρούμενων σωματιδίων και χημικά ενεργών αερίων στην ατμόσφαιρά, καθώς και με αλλαγές χρήσεων γης. Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν τα τέσσερα αυτά διαφορετικά σενάρια είναι ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού, οι οικονομικές δραστηριότητες, ο τρόπος ζωής, οι πηγές ενέργειας, η τεχνολογική ανάπτυξη, οι μελλοντικές χρήσεις γης και η γενικότερη πολιτική απέναντι στις κλιματικές αλλαγές. Στα σενάρια αυτά περιλαμβάνονται ένα ήπιο σενάριο (RCP2.6), δύο μέτρια (RCP4.5 και RCP6.0) και ένα σενάριο με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις εκλυόμενων αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5). Το RCP2.6 είναι ένα αντιπροσωπευτικό σενάριο στο οποίο η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας συγκριτικά με την προ-βιομηχανική εποχή εκτιμάται κάτω από 2°C (IPCC, 2014).

Στη συγκεκριμένη εργασία, οι κλιματικές προβλέψεις έχουν βασιστεί στο μέτριο (RCP4.5) και στο ακραίο σενάριο (RCP8.5), τα οποία περιγράφονται λεπτομερώς παρακάτω:

Το **RCP4.5** αναπτύχθηκε από την ομάδα GCAM του Ινστιτούτου Pacific Northwest National Laboratory's Joint Global Change Research Institute (JGCRI) των Ηνωμένων Πολιτειών. Πρόκειται για ένα σενάριο σταθεροποίησης κατά το οποίο το ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας σταθεροποιείται μετά το 2100, χωρίς να υπερβαίνει τον μακροπρόθεσμο στόχο (Clarke et al. 2007). Το συγκεκριμένο σενάριο λαμβάνει υπόψιν του ότι θα υλοποιηθούν προγράμματα αναδάσωσης και ότι θα πραγματοποιηθούν αλλαγές στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Επιπλέον οι εκπομπές μεθανίου αναμένονται να είναι σταθερές, ενώ οι εκπομπές CO₂ επιτρέπεται να αυξηθούν με αργούς ρυθμούς έως το 2040 και να αρχίσουν να μειώνονται από τότε και μετά. Το RCP4.5 αντιπροσωπεύει γενική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και στη χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ υποθέτει αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της χρήσης πυρηνικής ενέργειας (Thomson et al., 2011).

Το **RCP8.5** αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο MESSAGE και το IIASA Integrated Assessment Framework του International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) στην Αυστρία. Το σενάριο αυτό χαρακτηρίζεται από αυξανόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οδηγώντας σε υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου (Riahi et al. 2007). Αναπαριστά μία μελλοντική κατάσταση κατά την οποία δεν θα υλοποιηθούν πολιτικές μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και οι εκπομπές μεθανίου και N₂O θα αυξηθούν με ταχείς ρυθμούς μέχρι το τέλος του αιώνα. Θα αυξηθεί η χρήση γης λόγω του αυξανόμενου πληθυσμού καθώς και η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας και για τη μετακίνηση (Riahi et al., 2011).

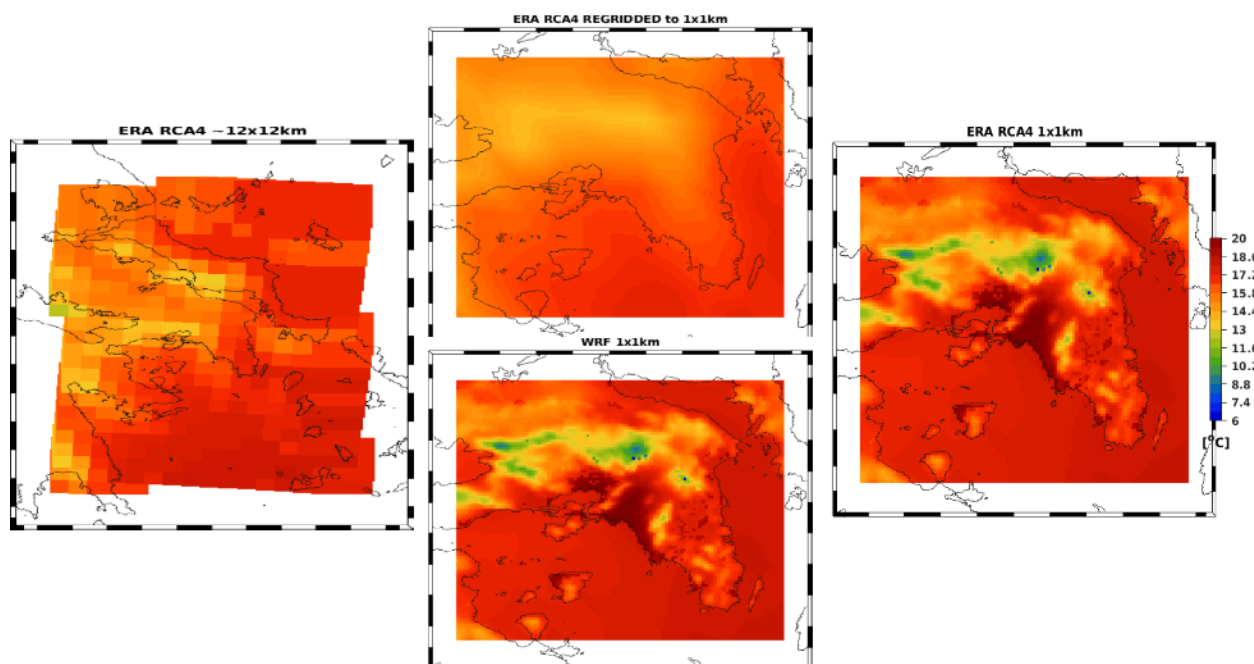


Εικόνα 2-5 Κλιματικά σενάρια (Representative Concentration Pathways - RCPs): α) αλλαγή της ενίσχυσης της ακτινοβολίας (radiative forcing) συγκριτικά με την προ-βιομηχανική εποχή και β) εκπομπές CO₂ για τα διάφορα RCPs σενάρια. Με έντονο χρώμα σημειώνονται τα τέσσερα RCPs σενάρια και με λεπτές γραμμές τα μεμονωμένα σενάρια από 30 περίπου υποψήφια RCPs σενάρια (Moss et al., 2010)

2.4 Μεθοδολογία παραγωγής κλιματικών προσομοιώσεων υψηλής χωρικής ανάλυσης

Στην παρούσα μελέτη παράχθηκαν κλιματικές προσομοιώσεις σε υψηλή χωρική ανάλυση (1x1 km). Για το σκοπό αυτό συνδυάστηκαν τα αποτελέσματα του περιοχικού μοντέλου WRF με αυτά του περιοχικού κλιματικού μοντέλου MPI-RCA4 (χωρική ανάλυση 12x12 km). Αναλυτικότερα, αρχικά πραγματοποιήθηκε προσομοίωση με το μοντέλο WRF, για το έτος 1995 το οποίο χαρακτηρίστηκε ως τυπικό κλιματικό έτος της περιόδου 1981-2000 από την ανάλυση μακρών χρονοσειρών παρατηρησιακών δεδομένων από το σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών που θεωρείται αντιπροσωπευτικός για την Αττική, ώστε να υπολογιστούν τα πεδία των μετεωρολογικών μεταβλητών ενδιαφέροντος σε πλέγμα χωρικής ανάλυσης 1x1km. Στη συνέχεια, τα δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου επαναχарτογραφήθηκαν (remapping) στο συγκεκριμένο πλέγμα χωρικής ανάλυσης και εφαρμόστηκε μέθοδος διόρθωσης των συστηματικών σφαλμάτων (bias correction) του περιοχικού κλιματικού μοντέλου σε σχέση με τα δεδομένα του WRF. Κατά αυτόν τον τρόπο συνδυάστηκε η υψηλή χωρική ανάλυση του WRF με τις πολυετείς μελλοντικές προσομοιώσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου (Σχήμα 2.6).

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται αποτελέσματα για τρεις χρονικές περιόδους: την περίοδο 1981-2000 (περίοδος αναφοράς) καθώς και των δυο μελλοντικών περιόδων 2031-2050 και 2081-2100 υπό τα μελλοντικά κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Χρησιμοποιούνται, επίσης, τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία, βροχόπτωση) 30 ετών (1985-2014) από το σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.



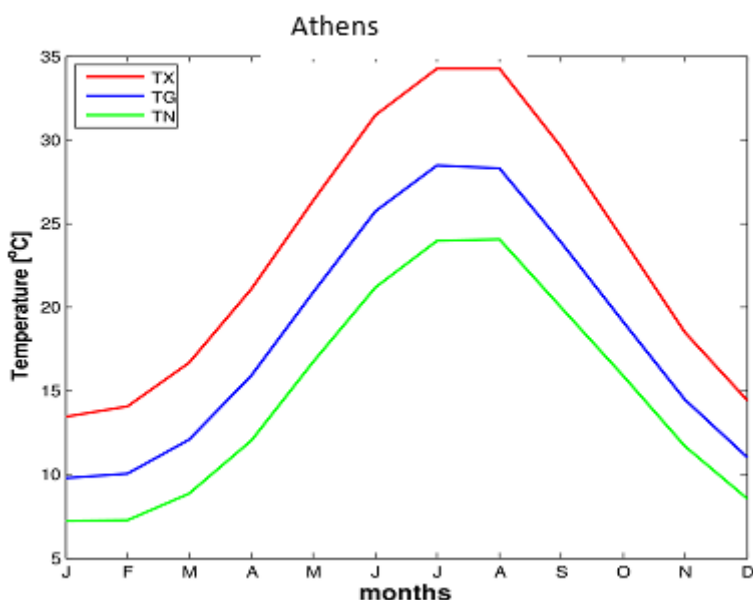
Σχήμα 2-6 Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας ώστε να παραχθούν κλιματικές προσομοιώσεις σε χωρική ανάλυση 1x1 km για τη μέση μέγιστη θερμοκρασία του έτους 1995.

3 ΚΛΙΜΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

3.1 Ετήσιες και εποχικές μετεωρολογικές παράμετροι

3.1.1 Ετήσια Θερμοκρασία

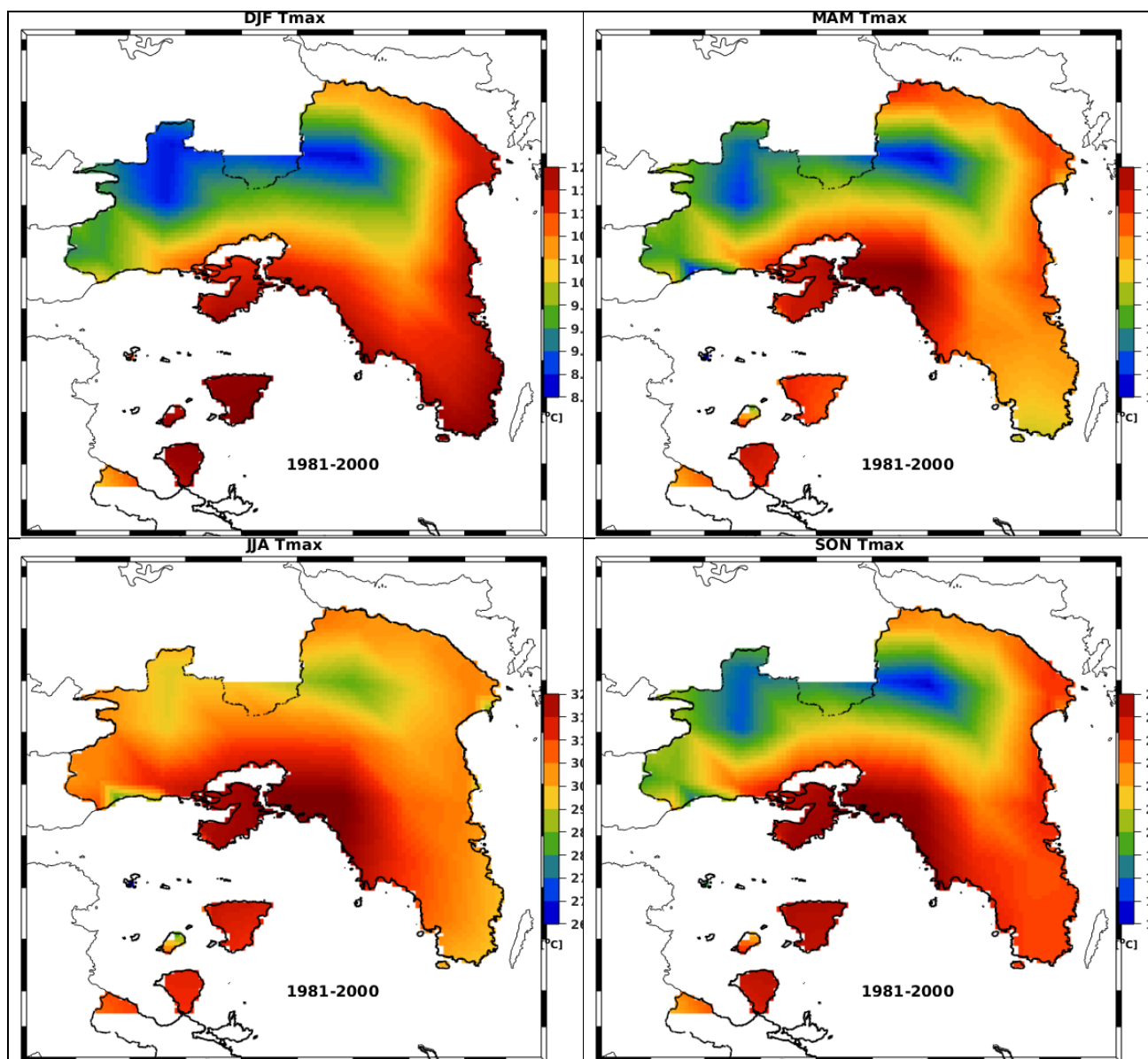
Στο Σχήμα 3-1 παρουσιάζεται ο μέσος ετήσιος κύκλος της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (ελάχιστη, μέση και μέγιστη) για το διάστημα 1985-2014. Ο εποχικός κύκλος είναι τυπικός του Μεσογειακού κλίματος, με χειμερινές ελάχιστες θερμοκρασίες και θερινές μέγιστες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Η μέση κλιματική θερινή τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας στην Αθήνα είναι 34 °C και η αντίστοιχη ελάχιστη 24 °C. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η μέση θερμοκρασία είναι 10 °C, η ελάχιστη 7 °C και η μέγιστη 14 °C.



Σχήμα 3-1 Παρατηρούμενη μέση μηνιαία θερμοκρασία στην Αθήνα την περίοδο 1985-2014. Η κόκκινη, μπλε και πράσινη καμπύλη αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία, αντίστοιχα.

3.1.2 Εποχική Θερμοκρασία

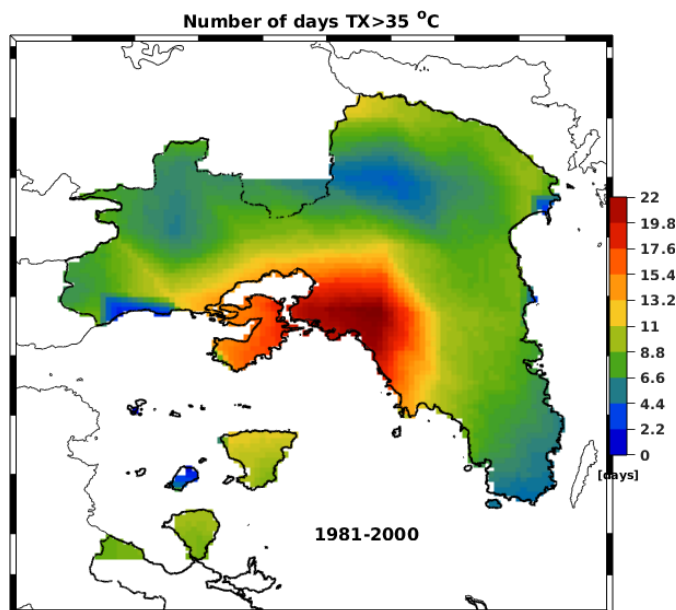
Οι μέσες μέγιστες θερμοκρασίες της Αττικής για κάθε εποχή κατά την περίοδο 1981-2000 παρουσιάζονται στα Σχήμα 3-2. Ο χειμώνας υπολογίζεται για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο (DJF), η άνοιξη για τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο (MAM), το καλοκαίρι για τους μήνες Ιούλιο, Ιούνιο και Αύγουστο (JJA), το φθινόπωρο για τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο (SON). Έτσι στην Αττική η μέση χειμερινή μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 9.8 °C στο βόρειο ηπειρωτικό τμήμα έως τους 11.5 °C στο κεντρικό, νότιο παράκτιο μέρος της χερσονήσου της Αττικής (Σχ. 3-2). Την άνοιξη η μέγιστη θερμοκρασία στην κεντρική αστική περιοχή είναι 19.5 °C, ενώ μικρότερες είναι οι τιμές της, 18.3 °C στη νότια και παραλιακή Αττική (Σχ. 3-2). Η μέση μέγιστη καλοκαιρινή θερμοκρασία φτάνει τους 32 °C στην κεντρική αστική περιοχή και την Δυτική Αττική και τους περίπου 30.3 °C για την υπόλοιπη Αττική (Σχ. 3-2).



Σχήμα 3-2 Μέση εποχική μέγιστη θερμοκρασία περιόδου 1981-2000

Η μέγιστη θερμοκρασία του φθινοπώρου κυμαίνεται μεταξύ 19-20° C στο βόρειο τμήμα του τομέα έως 21.5° C στο νότιο ηπειρωτικό τμήμα και 22° στην αστική περιοχή της Αθήνας .

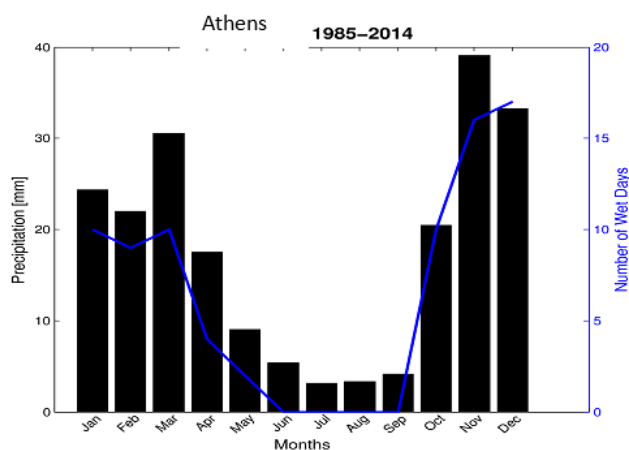
Στο σχήμα 3-3 απεικονίζεται ο αριθμός των ημερών με τη μέγιστη θερμοκρασία άνω των 35° C. Οι «πολύ θερμές» ημέρες κυμαίνονται μεταξύ 15 και 20 ετησίως στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της Αττικής. Στις νότιες και τις παράκτιες περιοχές αυτές φθάνουν μέχρι 7 ημέρες. Αυτό οφείλεται στην επίδραση της στενής γειτνίασης με τη θάλασσα, όπου το ευεργετικό αποτέλεσμα της θαλασσινής αύρας παίζει βασικό ρόλο στην άμβλυνση της έντονης θερμότητας το καλοκαίρι.



Σχήμα 3-3 Αριθμός ημερών με μέγιστη θερμοκρασία άνω των 35° C περιόδου 1981-2000

3.1.3 Ετήσια Βροχόπτωση

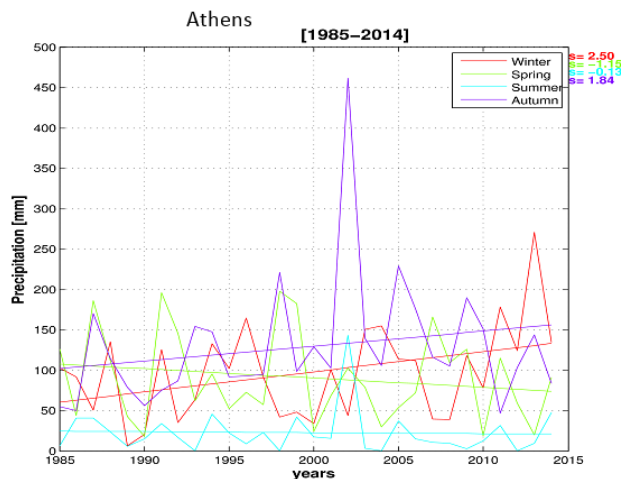
Στην Αθήνα, τα επίπεδα της συνολικής βροχόπτωσης είναι χαμηλά (μικρότερα από 10mm) από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο και δεν υπάρχουν καθόλου υγρές μέρες καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού (Σχ. 3-4). Η υγρή περίοδος ουσιαστικά ξεκινά τον Οκτώβριο και λήγει τον Απρίλιο, αγγίζοντας τα 40mm τον Νοέμβριο.



Σχήμα 3-4 Ετήσια κατανομή της βροχόπτωσης για την περίοδο 1985-2014 (μαύρες μπάρες) και αριθμός υγρών ημερών (ημερήσια βροχόπτωση > 1mm) ανά μήνα (μπλε καμπύλη) για τον σταθμό της Αθήνας

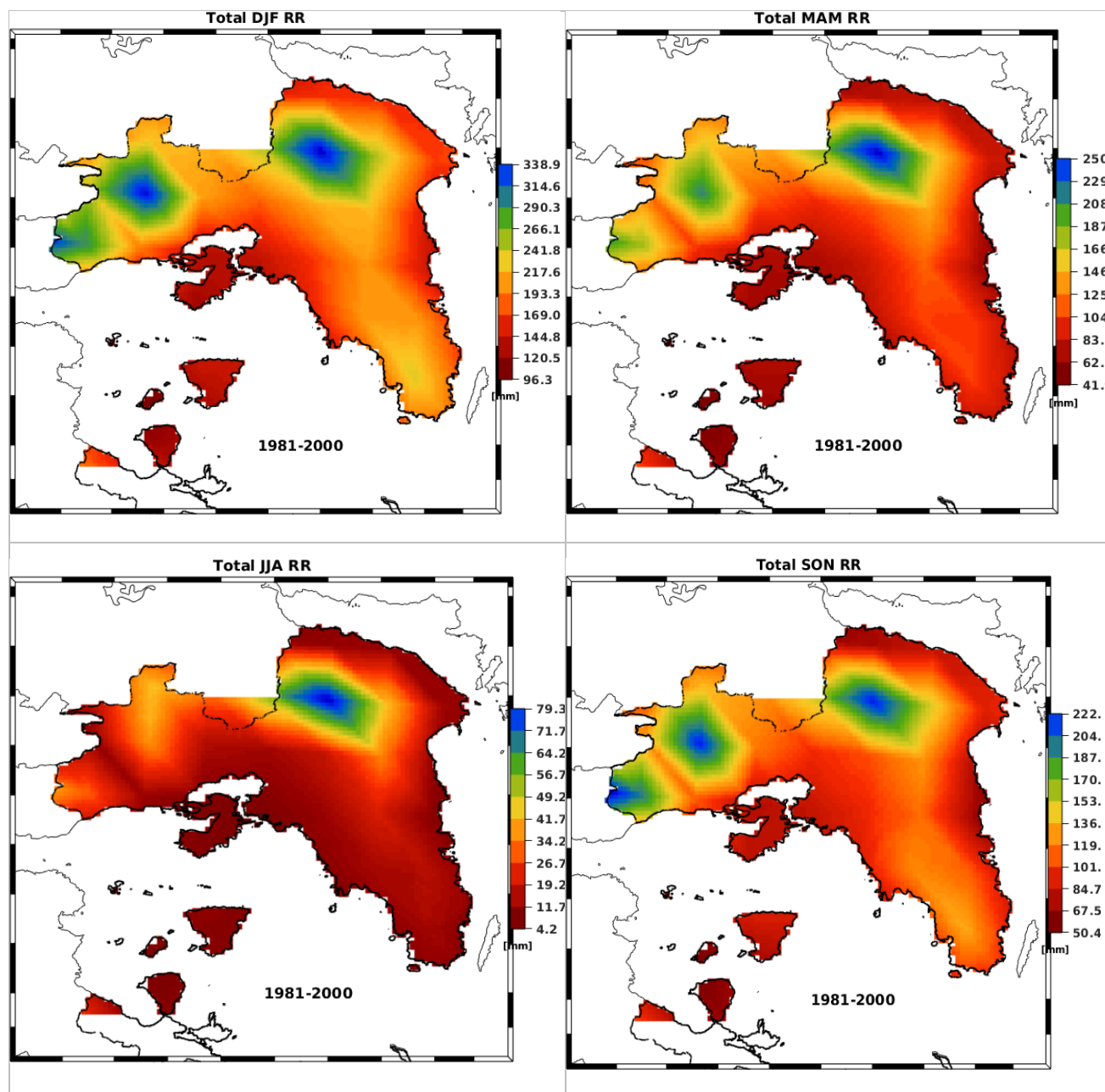
3.1.4 Εποχική Βροχόπτωση

Στο Σχήμα 3-5 φαίνεται η συνολική βροχόπτωση για κάθε εποχή ξεχωριστά για την περίοδο 1985-2014. Φαίνεται ότι η συνολική χειμερινή βροχόπτωση έχει αυξηθεί κατά 17.7 mm τα τελευταία 30 χρόνια στην Αθήνα, ενώ κατά τη διάρκεια της άνοιξης έχει μειωθεί κατά 35 mm. Όσον αφορά στη θερινή περίοδο, καμία σημαντική αλλαγή δεν έχει παρατηρηθεί, ενώ τους φθινοπωρινούς μήνες παρατηρήθηκε αύξηση κατά 55.2 mm.



Σχήμα 3-5 Εποχικές τάσεις για τη συνολική βροχόπτωση για το διάστημα 1985-2014 στην Αθήνα

Οι μέσες εποχικές συνολικές βροχοπτώσεις για την Αττική κατά την περίοδο 1981-2000 παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-6. Το χειμώνα (DJF) οι βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 170-220 mm και το φθινόπωρο (SON) από 90-130mm στην Αττική. Εξαίρεση αποτελούν τα βόρεια της περιφέρειας, όπου η βροχόπτωση είναι έως και 100mm μεγαλύτερη εξαιτίας των ορεινών όγκων της περιοχής. Την άνοιξη (MAM) η βροχόπτωση είναι περίπου 85mm και το καλοκαίρι (JJA) κάτω από 10mm σχεδόν σε όλη την Αττική (Σχήμα 3-6)

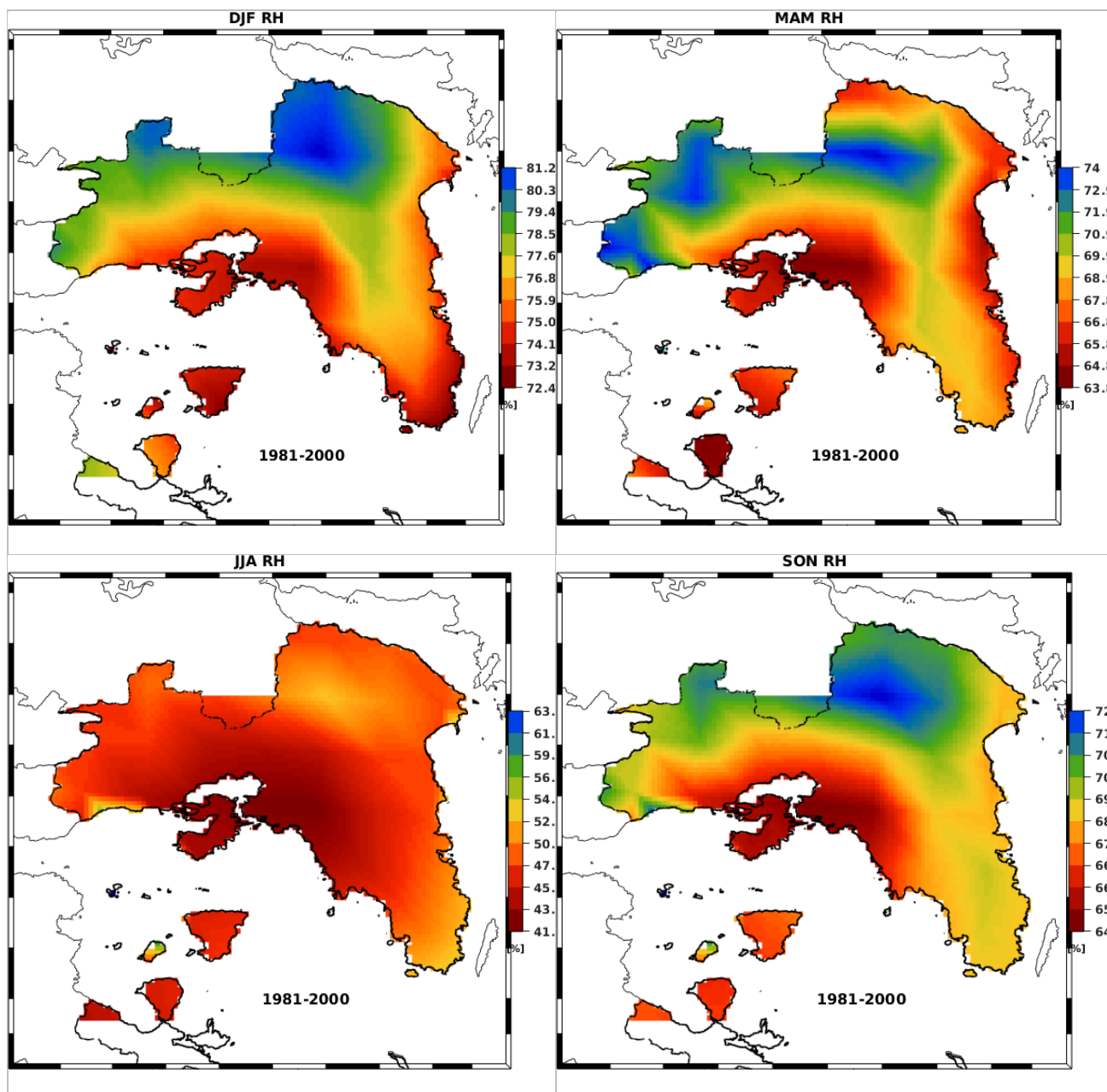


Σχήμα 3-6

Εποχική συνολική βροχόπτωση για το διάστημα 1981-2000 στην Αττική

3.1.6 Σχετική Υγρασία

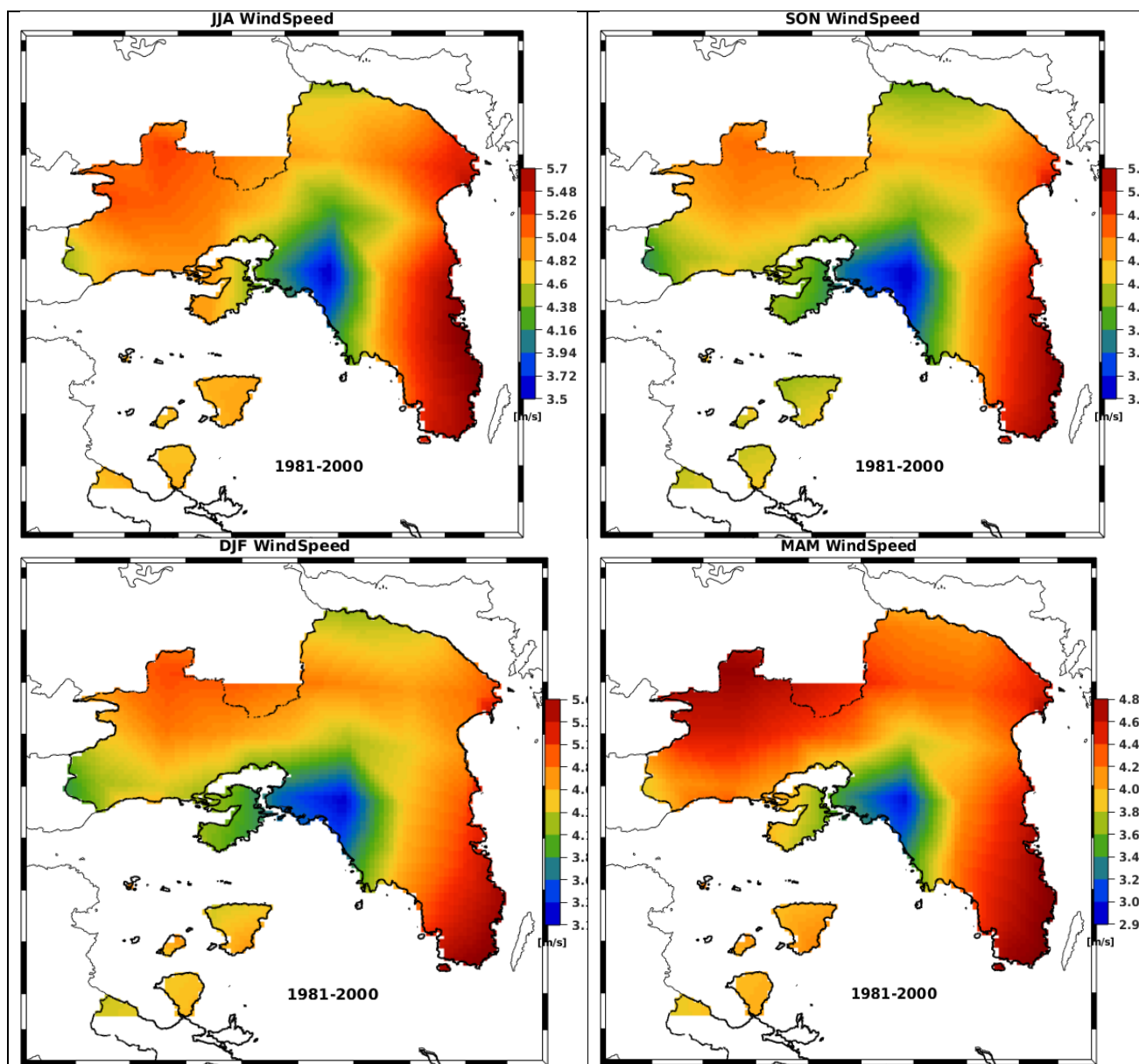
Οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την σχετική υγρασία επιδεινώνουν συνθήκες κρίσιμες για την ανθρώπινη δυσφορία και την υγεία. Για την Αττική και την περίοδο 1981-2000, η μέση καλοκαιρινή σχετική υγρασία κυμαίνεται από 46% στη βόρεια και κεντρική περιοχή σε περίπου 52% στις νότιες παραθαλάσσιες περιοχές (βλ. Σχήμα 3-7). Το χειμώνα η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 75-80%, την άνοιξη και το φθινόπωρο από 65-72%.



Σχήμα 3-7 Μέση εποχική σχετική υγρασία περιόδου 1981-2000 στην Αττική

3.1.7 Άνεμος

Στο σχήμα 3-8 φαίνεται η χωρική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου κατά την περίοδο 1981-2000. Είναι εμφανές ότι η μορφή της χωρικής κατανομής είναι όμοια τόσο κατά το χειμώνα όσο και κατά το θέρος αλλά και κατά το σύνολό του έτους με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται στα νότια και ανατολικά παράλια (5.5 m/sec) της Αττικής και δευτερευόντως στα βορειοδυτικά τμήματα της περιφέρειας ενώ οι ελάχιστες τιμές εμφανίζονται στα κεντρικά και νοτιοδυτικά (3.3-4 m/sec) τμήματα του λεκανοπεδίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σχετικά υψηλές καλοκαιρινές (είναι περίπου ίδιες με τις χειμερινές) τιμές της ταχύτητας του ανέμου στις περιοχές των μεγίστων αφενός μετριάζουν τις συνθήκες δυσφορίας αλλά αφετέρου επιτείνουν τις ευνοϊκές για καταστροφικές πυρκαγιές συνθήκες στην περιφέρεια.

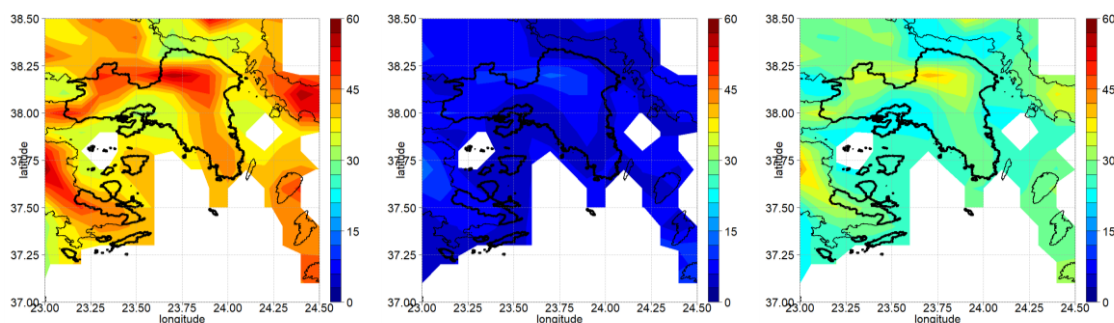


Σχήμα 3-8

Μέση εποχική ταχύτητα του ανέμου (σε m/sec) για την περίοδο 1981-2000

3.1.8 Νεφοκάλυψη

Στο σχήμα 3-9 φαίνεται η χωρική κατανομή του κλάσματος νεφοκάλυψης (σε %) κατά την περίοδο 1971-2000. Οι μέγιστες τιμές του κλάσματος νεφοκάλυψης εμφανίζονται στα ορεινά του νομού (Πάρνηθα, Πεντέλη, Υμηττό και Γεράνια Όρη) και οι ελάχιστες τιμές στο κέντρο του λεκανοπεδίου ως συνέπεια των επικρατούντων βορείων ανέμων. Στο σχήμα 3.9 είναι εμφανής και η εποχική κύμανση της νέφωσης στην περιφέρεια Αττικής με τις μέγιστες τιμές κατά τη χειμερινή περίοδο και τις ελάχιστες κατά το θέρος οπότε και οι τιμές τις νέφωσης αγγίζουν το 0.

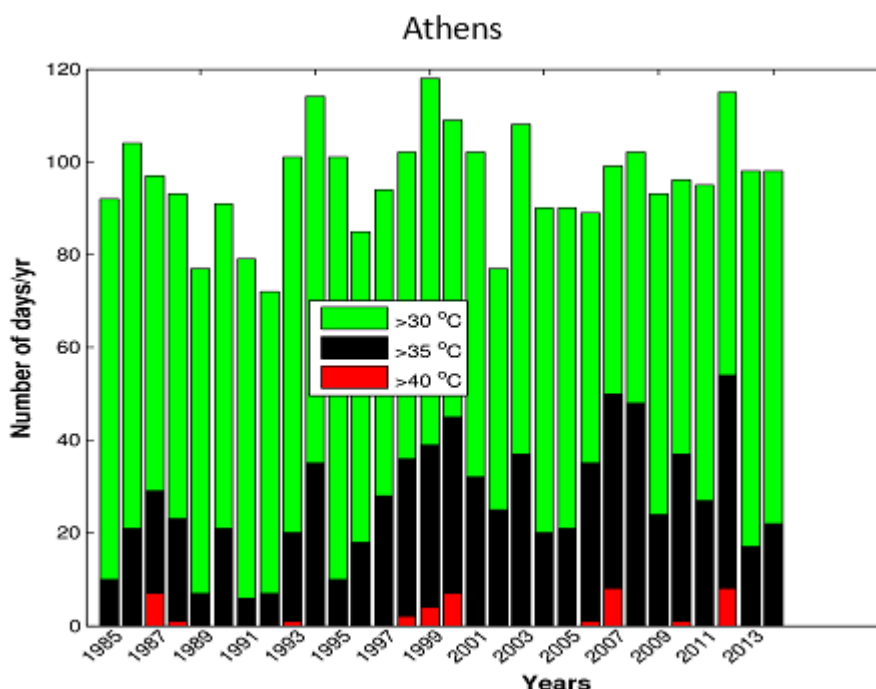


Σχήμα 3-9 Μέση χειμερινή (αριστερά), θερινή (μέσο) και ετήσια (αριστερά) τιμή του κλάσματος νεφοκάλυψης (%) περιόδου 1971-2000

3.2 Δείκτες ακραίων καιρικών καταστάσεων

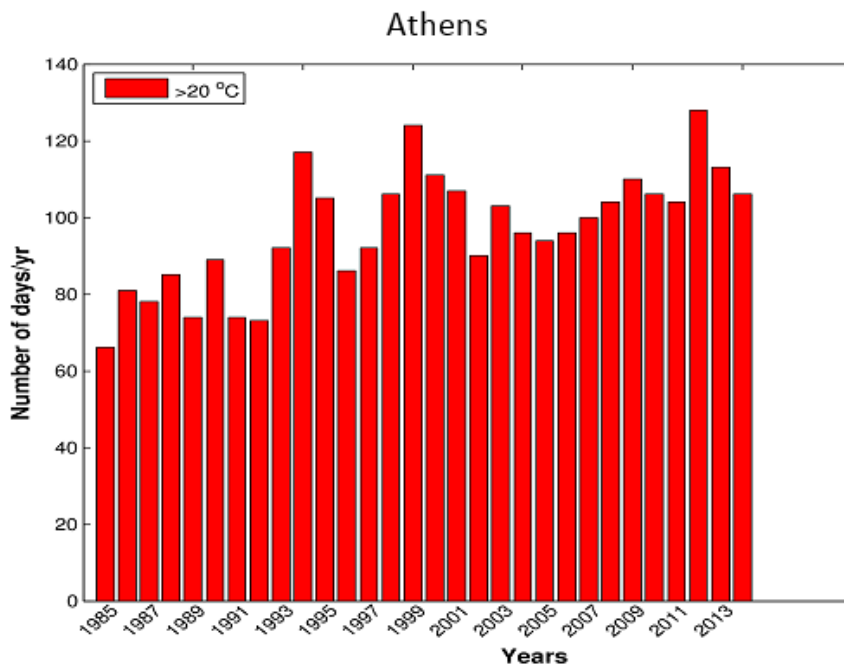
3.2.1 Ακραία Μεγίστων Θερμοκρασιών

Οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν συσχετισθεί με αυξημένη θνησιμότητα ακόμα και σε ήπια κλίματα (Hajat et al., 2006; Armstrong et al., 2011). Στο Σχήμα 3-10 παρουσιάζεται ο αριθμός των υπερβάσεων της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας σε ετήσια βάση για τα έτη 1985 -2014. Μία έντονα αυξητική τάση παρατηρείται για μέγιστες θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 35°C στην Αθήνα. Πιο συγκεκριμένα, ο ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 30°C, 35°C και 40°C κυμαίνονται αντιστοίχως από 72 έως 158, από 6 έως 54 και από 0 έως 8.



Σχήμα 3-10 Ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τους 30oC (πράσινες μπάρες), 35oC (μαύρες μπάρες) και 40oC (κόκκινες μπάρες) στην Αθήνα την περίοδο 1985-2014.

Στο σχήμα 3-11 φαίνεται ο ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τους 20°C. Ο αριθμός αυτός κυμαίνεται από 66 έως 128 μέρες ετησίως με μία αυξητική τάση της τάξης των 1.3 days/yr, γεγονός που σημαίνει συνολική αύξηση κατά 40 μέρες για την υπό εξέταση περίοδο των 30 ετών.



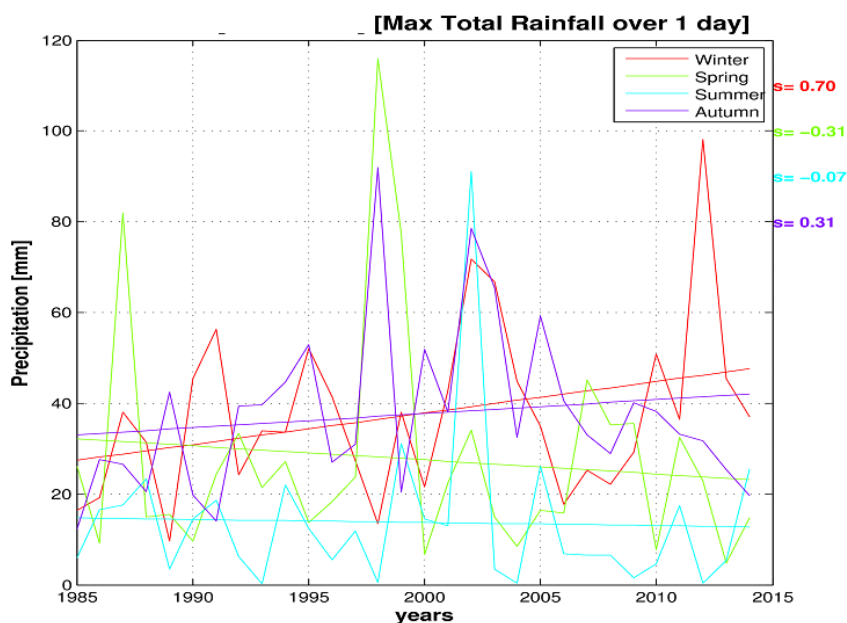
Σχήμα 3-11 Ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τους 20°C στην Αθήνα την περίοδο 1985-2014

3.2.2 Ακραία Βροχοπτώσεων

Στα Σχήματα 3-12 και 3-13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δύο δεικτών ακραίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1985-2014.

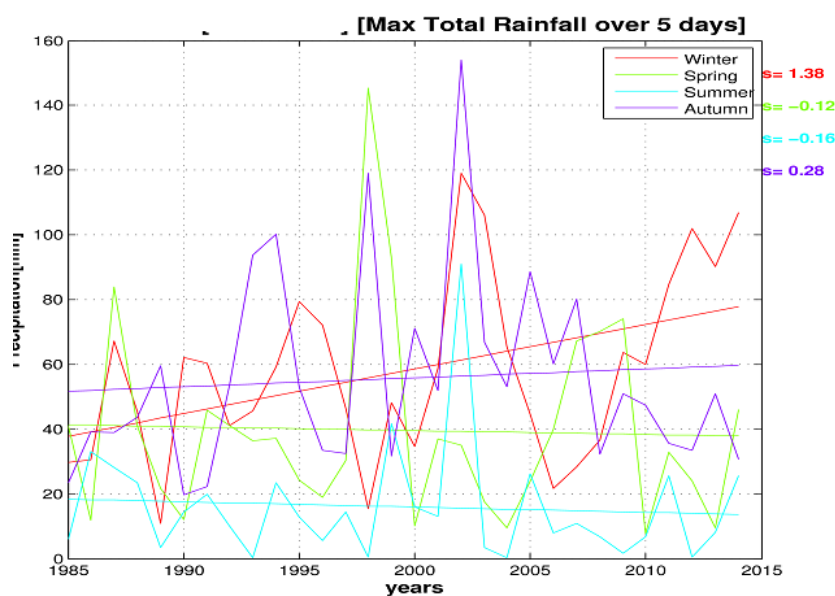
Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 3-12 φαίνεται η μέγιστη ετήσια βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μίας (1) ημέρας ανά εποχή. Αναλόγως την εποχή, η τάση μπορεί να καταδεικνύει αύξηση ή μείωση του εν λόγω δείκτη στο διάστημα των 30 ετών που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη τάση παρουσιάζεται τον χειμώνα, οπότε η τιμή του δείκτη έχει αυξηθεί κατά 21 mm. Η αντίστοιχη αύξηση για το φθινόπωρο είναι 9.3 mm. Για την περίοδο της άνοιξης καθώς και για τη θερινή περίοδο, η τάση εμφανίζει μία ήπια μείωση.

Στο Σχήμα 3-13 φαίνεται η μέγιστη ετήσια βροχόπτωση κατά τη διάρκεια πέντε (5) ημερών ανά εποχή. Και πάλι η μεγαλύτερη αυξητική τάση αφορά στη χειμερινή περίοδο, καταδεικνύοντας μία αύξηση της τάξης των 40mm για όλη την υπό εξέταση περίοδο. Αντίθετα με τον προηγούμενο δείκτη, μείωση κατά 8 mm έχει καταγραφεί για το φθινόπωρο.



Σχήμα 3-12

Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μίας (1) ημέρας για την περίοδο 1985-2014 στην Αθήνα



Σχήμα 3-13

Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση κατά τη διάρκεια πέντε (5) ημερών για την περίοδο 1985-2014 στην Αθήνα.

3.2.3 Σύνοψη Δεικτών ακραίων καιρικών καταστάσεων

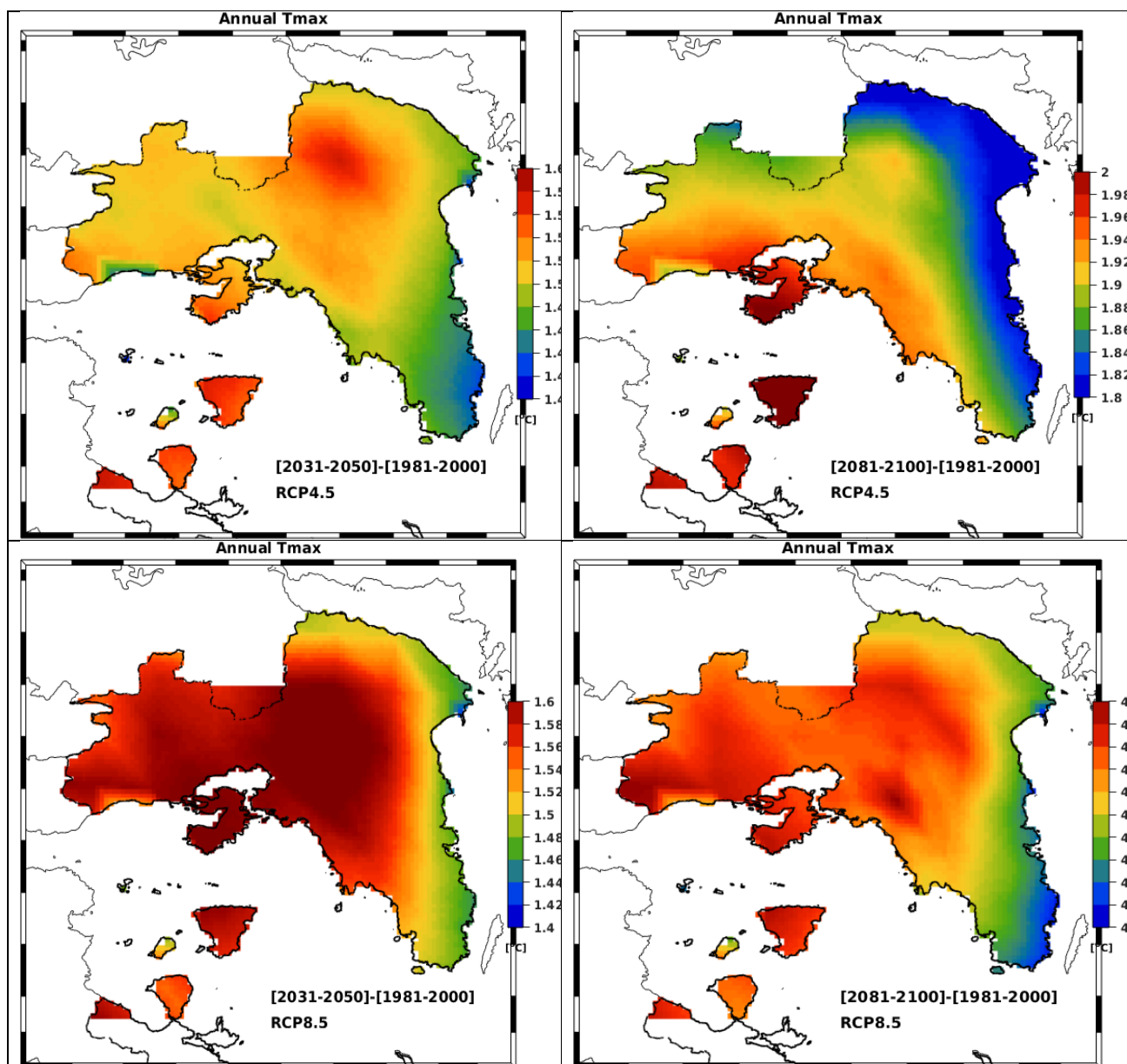
- Αριθμός ημερών ανά έτος με $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$
- Αριθμός ημερών ανά έτος με $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$
- Αριθμός ημερών ανά έτος με $T_{max} > 40^{\circ}\text{C}$
- Αριθμός ημερών ανά έτος με $T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$
- Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση (mm) κατά τη διάρκεια μίας (1) ημέρας
- Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση (mm) κατά τη διάρκεια πέντε (5) ημερών

4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ

4.1 Αλλαγές στις ετήσιες και εποχικές μετεωρολογικές παραμέτρους

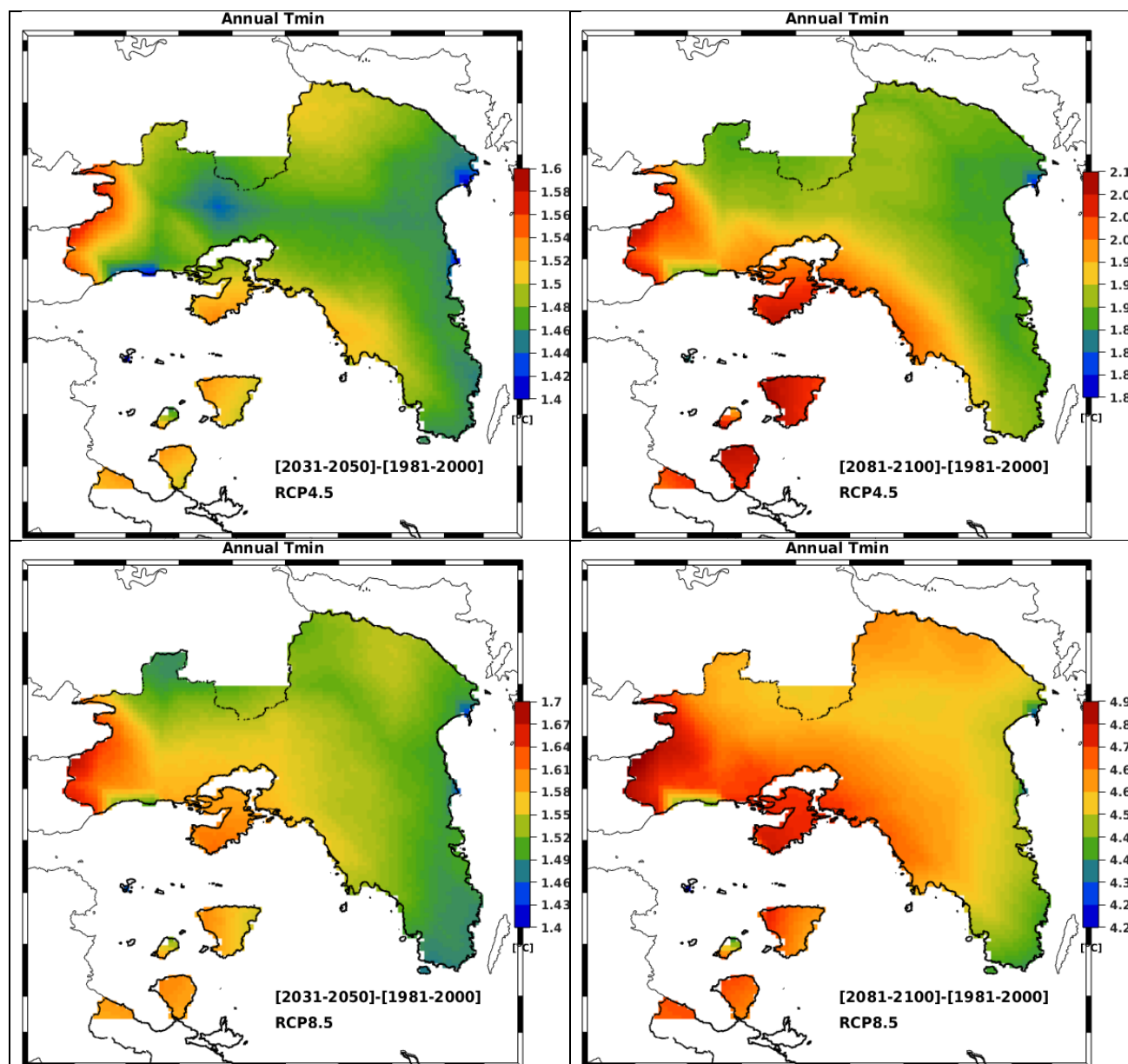
4.1.1 Ετήσια Θερμοκρασία

Στο Σχήμα 4-1 παρουσιάζονται τα οι διαφορές των μέσων ετήσιων μέγιστων θερμοκρασιών για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 και 2081-2100 για τα 2 κλιματικά σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000. Τα αποτελέσματα δείχνουν την μέγιστη θερμοκρασία στην περιοχή της Αττικής να αυξάνεται κατά 1.5 -1.6 °C (RCP4.5-RCP8.5) για την περίοδο 2031-2050 και φτάνει σε μια αύξηση των 1.9 °C σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5, ενώ για το ακραίο σενάριο RCP8.5 προβλέπεται αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας ως 4.7°C για την περίοδο 2081-2100.



Σχήμα 4-1 Διαφορές των προβλέψεων της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000 για την Αττική

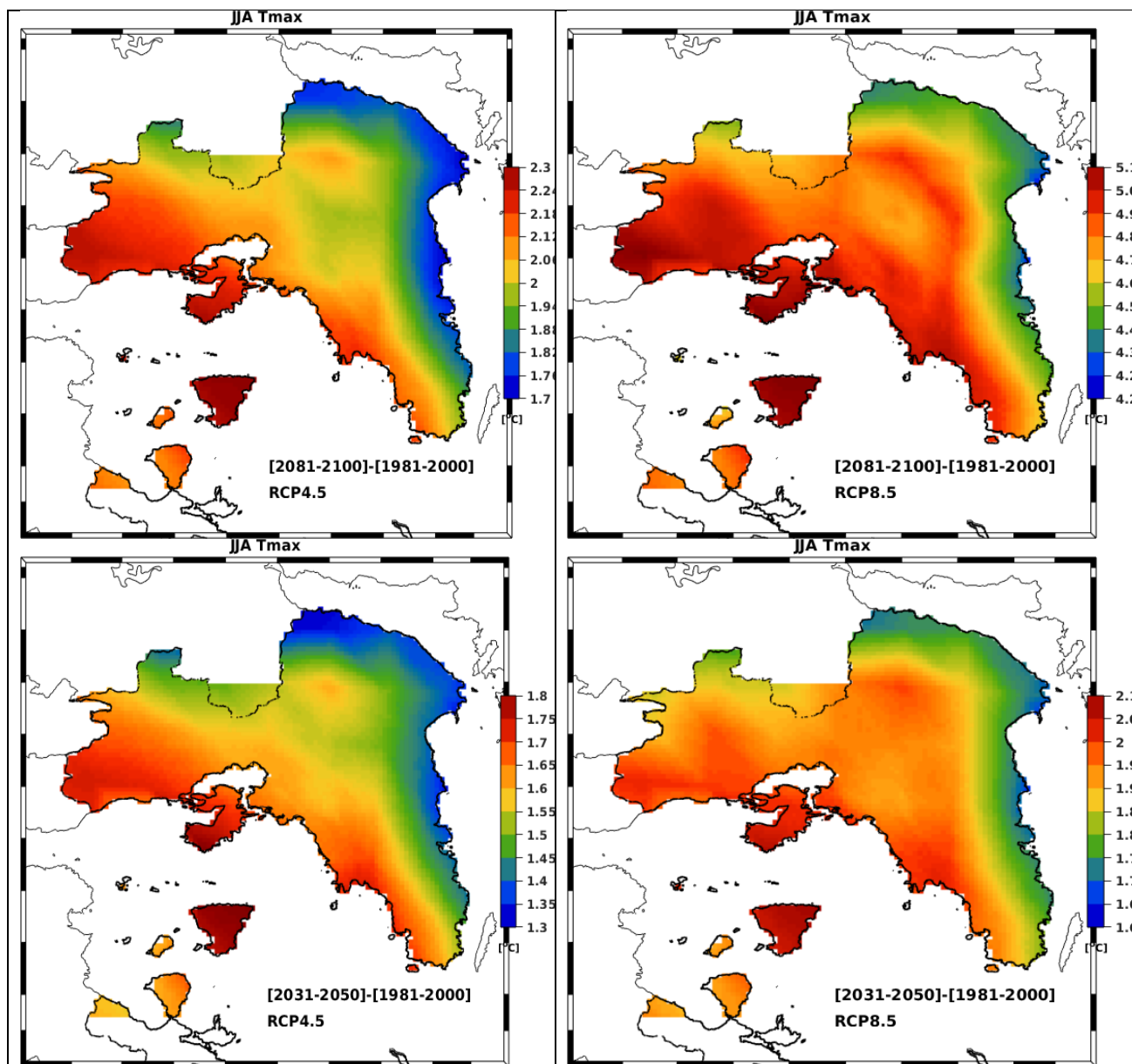
Στο Σχήμα 4-2 παρουσιάζονται τα οι διαφορές των μέσων ετήσιων ελαχίστων θερμοκρασιών για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 και 2081-2100 για τα 2 κλιματικά σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000. Οι κλιματικές προβλέψεις της ελάχιστης θερμοκρασίας για την περιοχή της Αττικής, σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5, δείχνουν μια αύξηση 1.5°C (Σχ. 4-2), και μια αύξηση περίπου 2.0°C μέχρι το 2100. Αντιστοίχως, για το ακραίο σενάριο RCP8.5 η αύξηση προβλέπεται να είναι 1.6°C για το κοντινό μέλλον (2031-2050) και να φτάνει τους 4.6 στο μακρινό μέλλον (2081-2100).



Σχήμα 4-2 Διαφορές των προβλέψεων της ελάχιστης ετήσιας θερμοκρασίας για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000 για την Αττική

4.1.2 Εποχική Θερμοκρασία

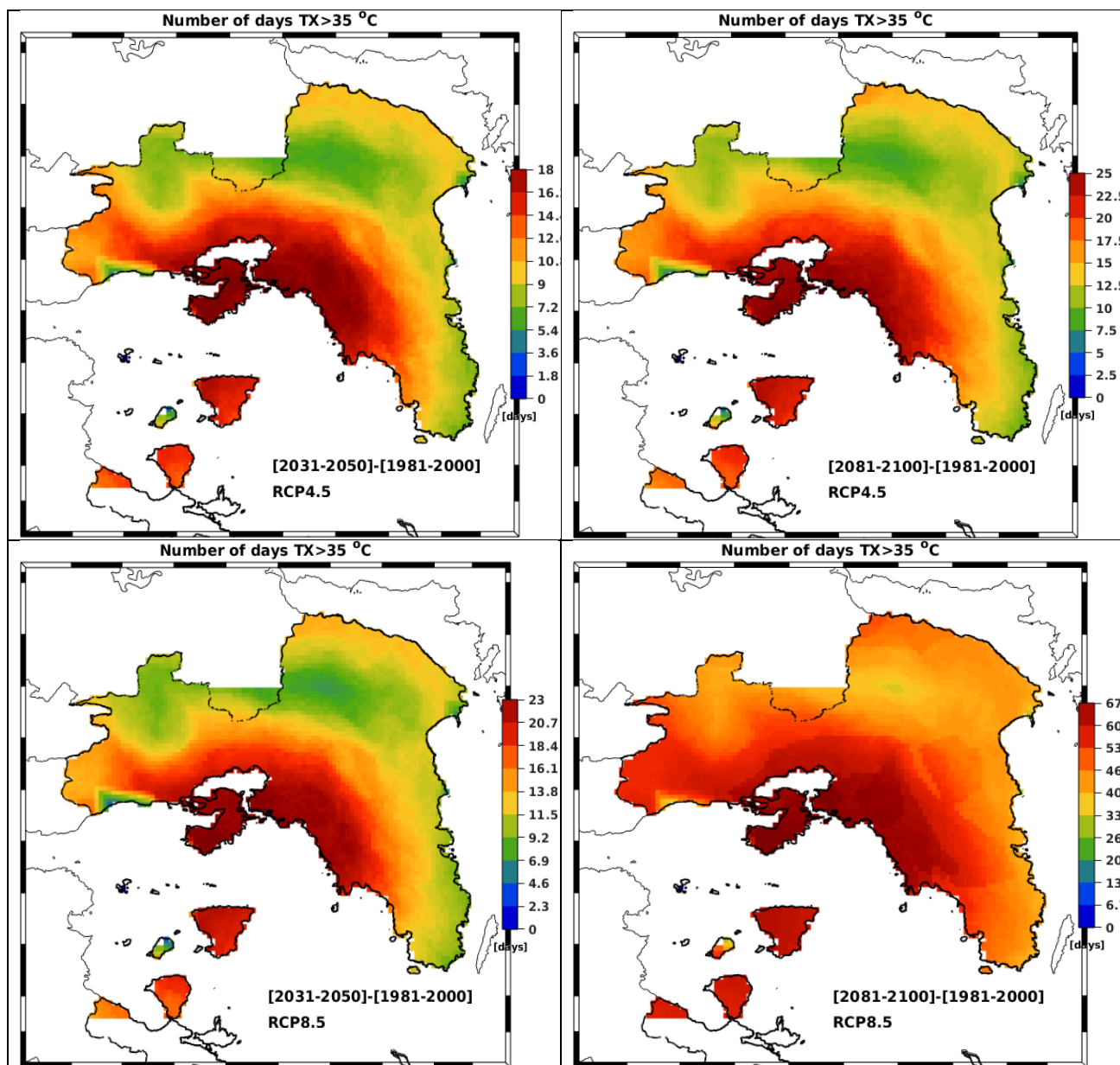
Στο εγγύς μέλλον, η μέση θερινή μέγιστη θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί σε ολόκληρη την Αττική. Η αύξηση αυτή θα κυμανθεί από 1.4 -1.7° C (RCP4.5) μέχρι τους 1.8-2.0 °C (RCP8.5) για την περίοδο 2031-2050 (Σχ-4-3).



Σχήμα 4-3 Μεταβολή της μέσης θερινής μέγιστης θερμοκρασίας κατά τις περιόδους 2031-2050 (επάνω) και 2081-2100 (κάτω) για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (αριστερά) και το RCP8.5 (δεξιά) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της περιόδου αναφοράς 1981-2000 για την Αττική

Στο μακρινό μέλλον αναμένονται μεγαλύτερες αυξήσεις της μέγιστης θερμοκρασίας του καλοκαιριού έως 2.1 °C (RCP4.5) και 4.9 °C (RCP8.5) στην αστική περιοχή της Αθήνας και στο βορειοδυτικό τμήμα της Αττικής. (Σχ-4-3).

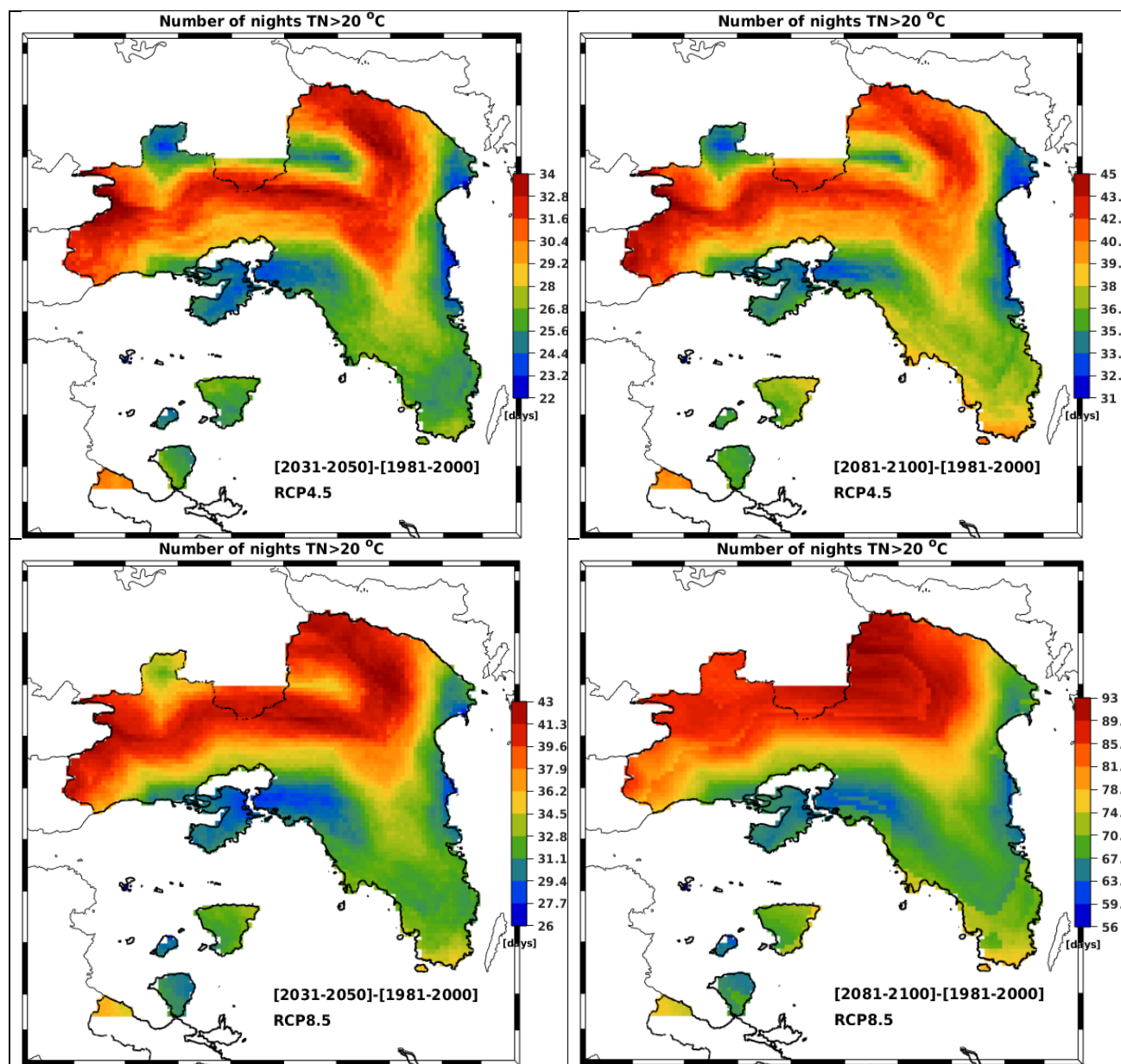
Ιδιαίτερα σημαντική είναι επίσης και η προβλεπόμενη αύξηση του μέσου ετήσιου αριθμού των ημερών με θερμοκρασίες >35°C έως 15-19 ημέρες (RCP4.5- RCP 8.5) για το κοντινό μέλλον και πάνω από 22-55 ημέρες (RCP4.5- RCP 8.5 αντίστοιχα) έως το 2100 στις αστικές περιοχές της Αττικής (βλ. Σχ.4-4).



Σχήμα 4-4 Μεταβολή του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών με μέγιστη θερμοκρασία άνω των 35° C για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000 στην Αττική

Ο παράγοντας αυτός επηρεάζει με της σειρά του μια σειρά από τομείς, όπως η ενέργεια (σημαντική αύξηση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη) κατανάλωση νερού, αύξηση στη ζήτηση υπηρεσιών υγείας για ιδιαίτερα ευάλωτα τμήματα του πληθυσμού, αύξηση στο μεταφορικό έργο που θα επιτελείται μέσω των οδικών υποδομών κυρίως προς θαλάσσιες περιοχές κλπ.

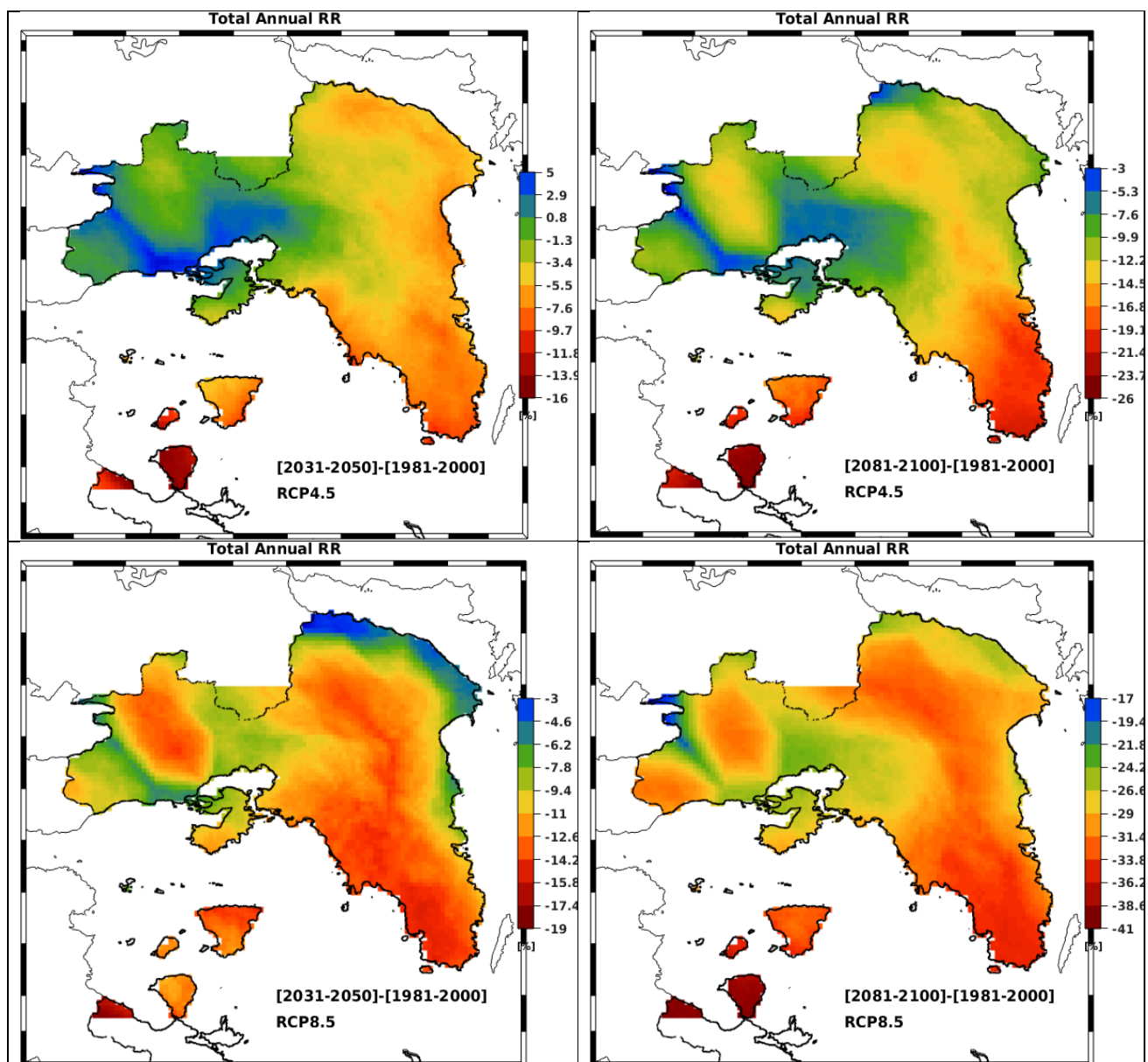
Μια άλλη παράμετρος, μεγάλης σημασίας για τις αστικές περιοχές, είναι η αλλαγή στον αριθμό των ζεστών νυχτών ανά έτος. Αυτές είναι νύχτες όπου η νυχτερινή θερμοκρασία υπερβαίνει τους 20° C και χαρακτηρίζονται ως «τροπικές νύχτες». Στο εγγύς μέλλον, ο αριθμός των τροπικών νυχτών θα αυξηθεί κατά 27-33 (RCP4.5- RCP 8.5 αντίστοιχα) ημέρες ετησίως στο νότιο και κεντρικό τμήμα, ενώ περισσότερες κατά 5 ημέρες θα είναι στα βόρεια της Περιφέρειας. Μέχρι το τέλος του αιώνα, ο δείκτης αυξάνεται κατά 37-69 ημέρες (RCP4.5- RCP 8.5 στο νότιο τμήμα της Αττικής και της Αθήνας, και κατά 41-85 ημέρες στο βόρειο τμήμα της χερσονήσου(βλ. Σχ.4-5).



Σχήμα 4-5 Μεταβολή του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία άνω των 20° C για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000 στην Αττική

4.1.3 Ετήσια Βροχόπτωση

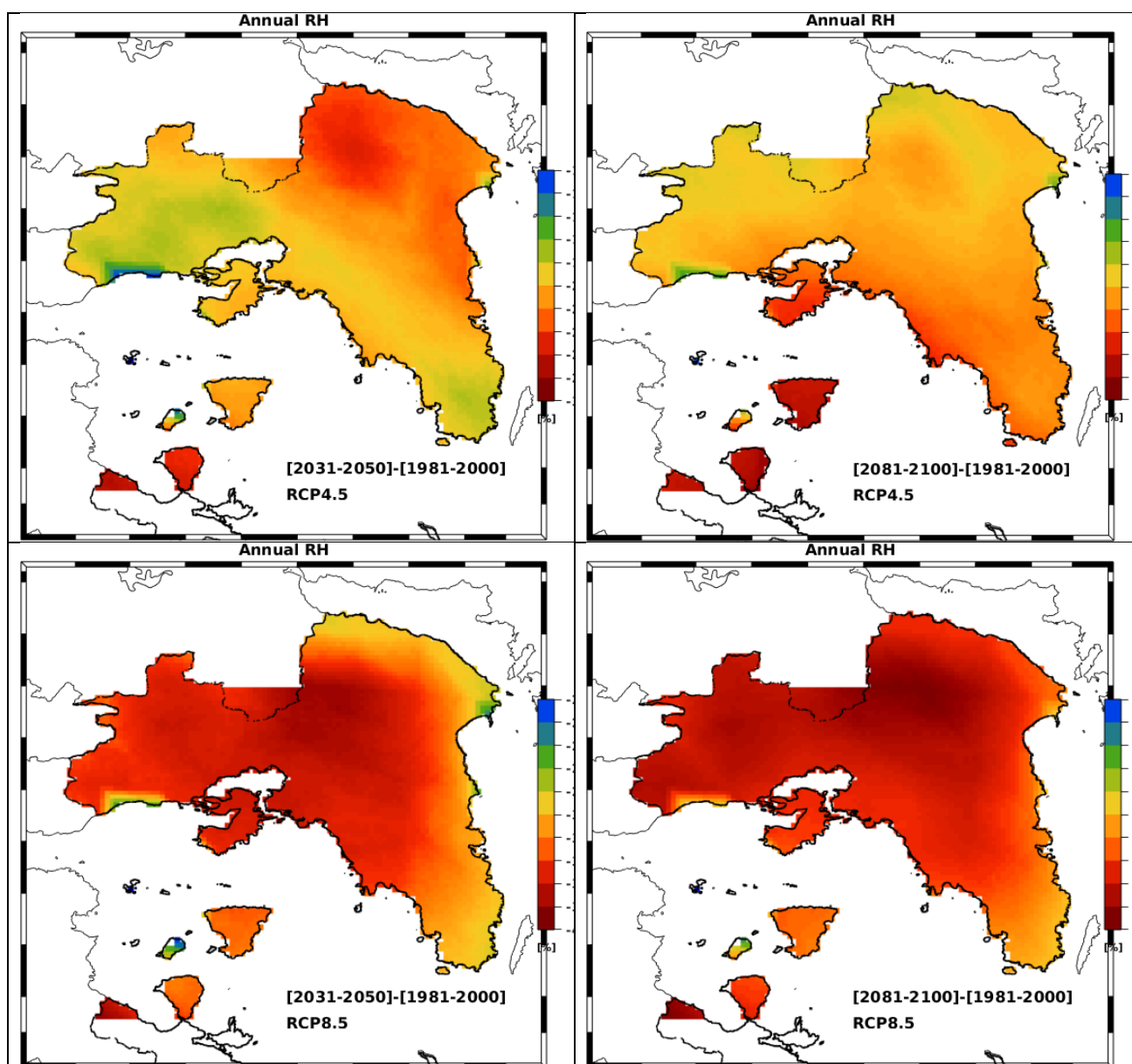
Στο Σχήμα 4-6 παρουσιάζονται οι διαφορές στις μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις για τη συνολική ετήσια βροχόπτωση για τις μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000. Για την Αττική, και τα δύο κλιματικά σενάρια παρουσιάζουν μια πτωτική τάση των βροχοπτώσεων. Το ήπιο σενάριο RCP4.5 δείχνει μείωση 6 mm για το κοντινό μέλλον και περίπου 15 mm για το μακρινό μέλλον, ενώ για το ακραίο σενάριο με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις εκλυόμενων αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5) η μείωση είναι 12.5 mm για το κοντινό μέλλον και περίπου 32 mm για το μακρινό μέλλον.



Σχήμα 4-6 Μεταβολή της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2031-2050 (αριστερά) και 2081-2100 (δεξιά) και για τα 2 κλιματικά σενάρια το RCP4.5 (επάνω) και το RCP8.5 (κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000 στην Αττική

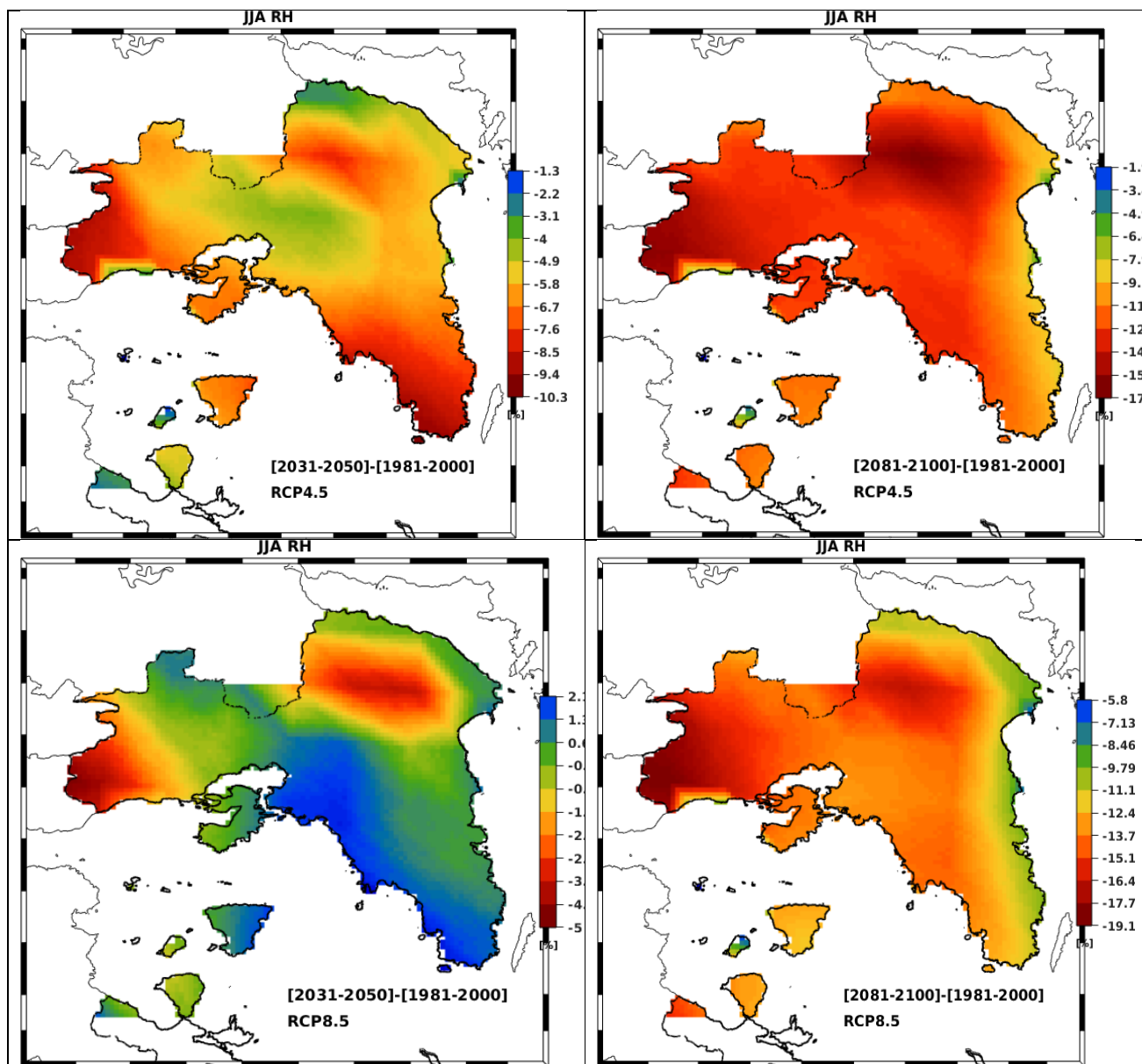
4.1.4 Σχετική Υγρασία

Στο σχήμα 4-7 εικονίζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές της ετήσιας σχετικής υγρασίας στην Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω) μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) (αριστερά) και μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) (δεξιά). Κατά το εγγύς μέλλον οι ποσοστιαίες μειώσεις της μέσης ετήσιας τιμής της σχετικής υγρασίας είναι μικρές 2-3% (RCP4.5-RCP8.5) στην περιφέρεια αλλά στο μακρινό μέλλον οι εκτιμώμενες μειώσεις είναι μεγαλύτερες και ξεπερνούν το 7% σε όλη την περιφέρεια Αττικής για την περίπτωση του σεναρίου RCP8.5.



Σχήμα 4-7 Ποσοστιαίες μεταβολές της ετήσιας σχετικής υγρασίας για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα σχήματα αριστερά αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) και τα σχήματα δεξιά αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000)

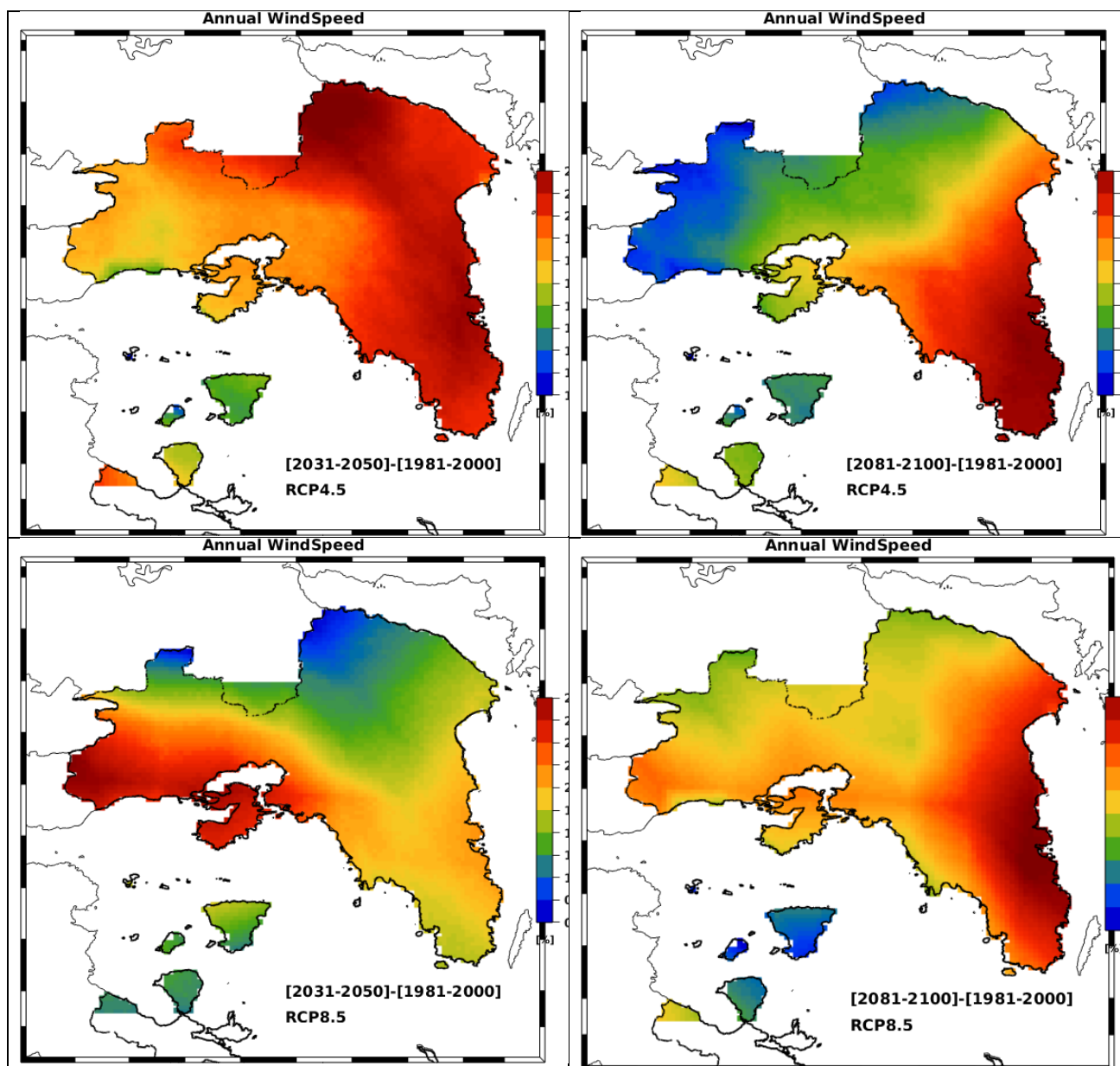
Οι μεταβολές της σχετικής υγρασίας παρουσιάζουν και εποχική κύμανση με σχεδόν μηδενικές μειώσεις κατά τη χειμερινή περίοδο και στον αντίποδα πολύ σημαντικές μειώσεις κατά τη θερινή περίοδο (σχήμα 4-8) οπότε και αγγίζουν το 7% στα νότια τμήματα του λεκανοπεδίου κατά το εγγύς μέλλον για το RCP4.5 ενώ στο μακρινό μέλλον ξεπερνούν το 12% για τα 2 σενάρια.



Σχήμα 4-8 Ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης καλοκαιρινής σχετικής υγρασίας για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα σχήματα αριστερά αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) και τα σχήματα δεξιά αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000)

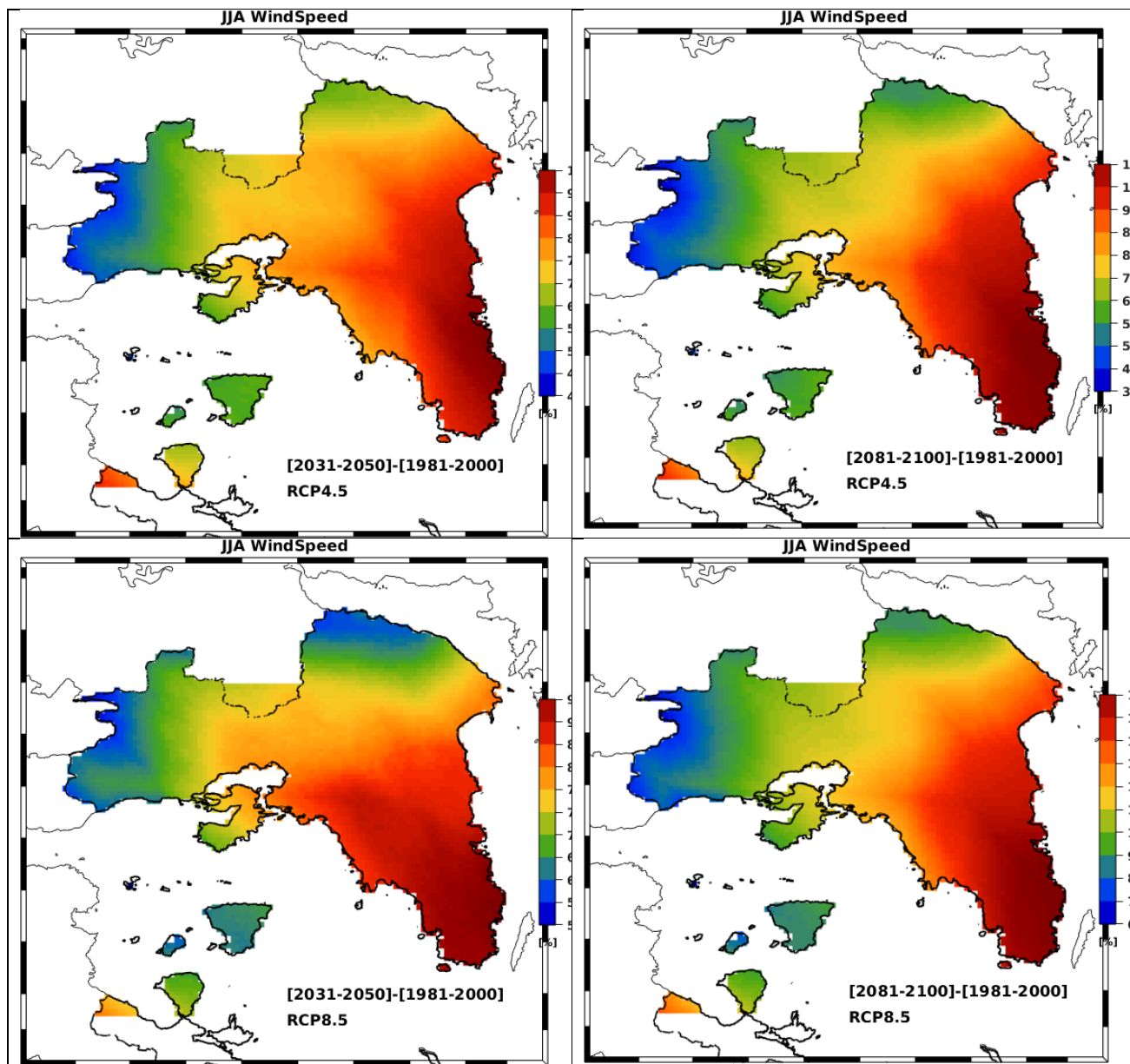
4.1.5 Άνεμος

Στο σχήμα 4-9 εικονίζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές στις ετήσιες τιμές της ταχύτητας του ανέμου στην Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω) μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) (αριστερά) και μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000) (δεξιά). Οι αυξήσεις στην τιμή του ανέμου είναι περίπου 2% στο κοντινό μέλλον, ενώ και στο μακρινό μέλλον οι εκτιμώμενες αυξήσεις είναι ελαφρώς μεγαλύτερες 3.8% (RCP4.5) και 5.5% για την περίπτωση του σεναρίου RCP8.5 στα νότια και ανατολικά τμήματα του νομού Αττικής.



Σχήμα 4-9 Ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα αριστερά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1971-2000) και τα δεξιά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000).

Εν τούτοις κατά το θέρος (Σχ. 4-10) με βάσει της εκτιμήσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου MPI-RCA4 αναμένεται σημαντική ενίσχυση των ανέμων τόσο κατά το εγγύς όσο και κατά το μακρινό μέλλον και υπό τα δύο υπό μελέτη σενάρια εκπομπών. Οι αυξήσεις αυτές θα πλησιάσουν στα νότια και ανατολικά του νομού το 9% στο εγγύς μέλλον ενώ κατά το μακρινό μέλλον εκτιμάται ότι θα ξεπεράσουν το 15% στην περίπτωση του σεναρίου εκπομπών RCP8.5. Οι παραπάνω αυξήσεις αν και θα μετριάσουν κάπως την αύξηση των ακραίων θερμών επιβαρύνσεων του πληθυσμού θα αυξήσουν σημαντικά των κίνδυνό εκδήλωσης και την ταχύτητα εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών.



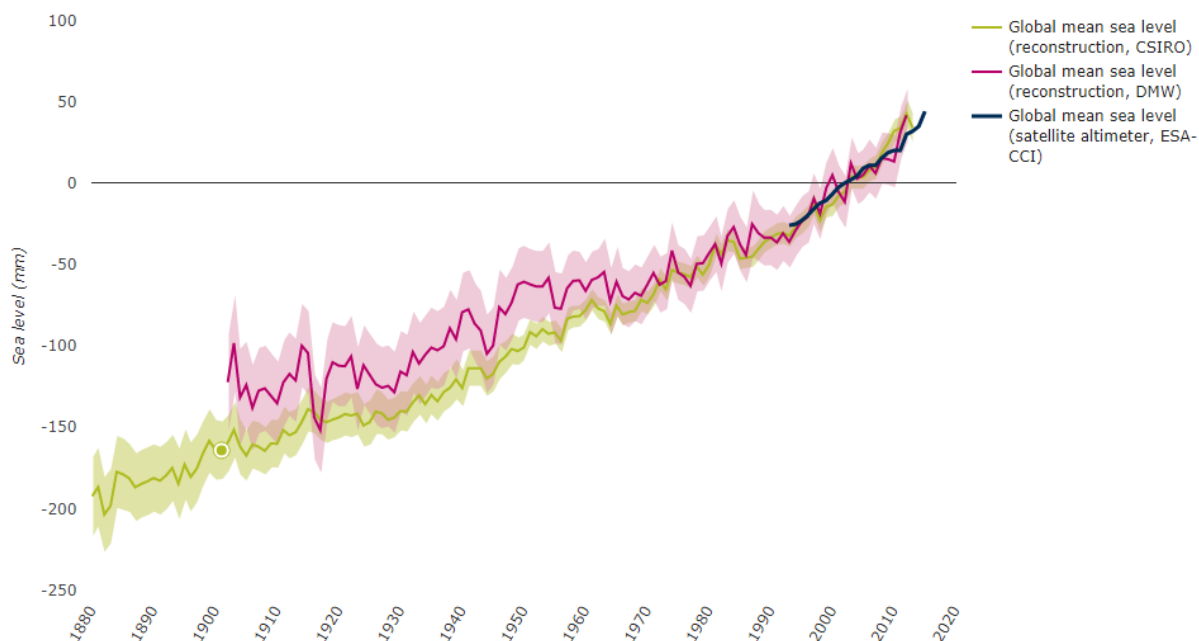
Σχήμα 4-10 Ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης θερινής ταχύτητας του ανέμου για την Αττική σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πάνω) και RCP8.5 (κάτω). Τα αριστερά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του εγγύς μέλλοντος (2031-2050) και της περιόδου αναφοράς (1971-2000) και τα δεξιά σχήματα αφορούν μεταβολές μεταξύ του μακρινού μέλλοντος (2081-2100) και της περιόδου αναφοράς (1981-2000).

5 ΑΝΥΨΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

5.1 Παγκόσμια αύξηση της στάθμης της θάλασσας

Ο ρυθμός ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα είναι μεγαλύτερος από το μέσο ρυθμό κατά τη διάρκεια των δύο προηγούμενων χιλιετιών (υψηλή εμπιστοσύνη). Κατά τη διάρκεια της περιόδου από το 1901 έως το 2010, ο μέσος ρυθμός ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα έχει αυξηθεί κατά 0.19 (από 0.17 έως 0.21) m.

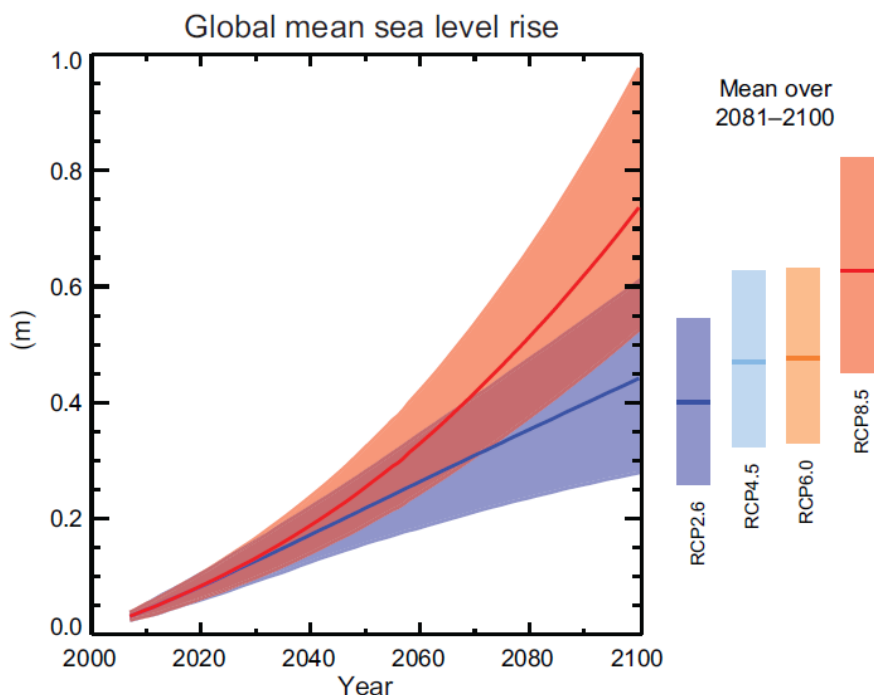
- Τα στοιχεία και οι προσεγγίσεις της στάθμης της θάλασσας καταδεικνύουν μια μετάβαση στο τέλος του 19^{ου} αιώνα προς τις αρχές του 20^{ου} αιώνα από σχετικά χαμηλούς μέσους ρυθμούς αύξησης κατά τις προηγούμενες δύο χιλιετίες προς μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης (υψηλή εμπιστοσύνη). Είναι πιθανό ότι ο ρυθμός της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα έχει συνεχίσει να αυξάνεται από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα.
- Είναι πολύ πιθανό ότι ο μέσος ρυθμός αύξησης της μέσης τιμής της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα ήταν 1.7 (από 1.5 έως 1.9 mm) κατ' έτος μεταξύ του 1901 και του 2010, 2.0 (από 1.7 έως 2.3) mm κατ' έτος μεταξύ 1971 έως 2010, και 3.2 (από 2.8 έως 3.6) mm κατ' έτος μεταξύ του 1993 έως 2010. Τα δεδομένα από την καταγραφή παλίρροιας και από δορυφορικό μετρητή υψομέτρου είναι συνεπή ως προς τον υψηλότερο ρυθμό της πιο πρόσφατης περιόδου. Είναι πιθανό ότι αντίστοιχα υψηλοί ρυθμοί έχουν συμβεί μεταξύ του 1920 και του 1950.
- Από τις αρχές του 1970, η μείωση της μάζας των παγόβουνων και η θερμική επέκταση των ωκεανών από το φαινόμενο της υπερθέρμανσης μπορούν να αιτιολογήσουν το 75% της παρατηρούμενης ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα (υψηλή εμπιστοσύνη). Κατά τη διάρκεια της περιόδου από το 1993 έως το 2010, η μέση ανύψωση της στάθμης της θάλασσας είναι, με μεγάλη εμπιστοσύνη, σε αντιστοιχία με το σύνολο των παρατηρούμενων συνεισφορών από την θερμική επέκταση των ωκεανών εξαιτίας της υπερθέρμανσης: (1.1 [από 0.8 έως 1.4] mm κατ' έτος), από αλλαγές στα παγόβουνα (0.76 [από 0.39 έως 1.13] mm κατ' έτος), το παγόβουνο της Γροιλανδίας (0.33 [από 0.25 έως 0.41] mm κατ' έτος), το παγόβουνο της Ανταρκτικής (0.27 [από 0.16 έως 0.38] mm κατ' έτος) και την αποθήκευση των υδάτων σε χερσαία τμήματα (0.38 [από 0.26 έως 0.49] mm κατ' έτος). Το άθροισμα αυτών των συνεισφορών είναι 2.8 (από 2.3 έως 3.4) mm κατ' έτος.



Σχήμα 5-1 Ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο από 1880 έως 2015 με βάση 3 επιστημονικές μελέτες. Όλες οι τιμές είναι σχετικά με τη μέση στάθμη της περιόδου 1993-2012 κατά τη διάρκεια της οποίας τα τρία σετ ταυτίζονται. Στο σχήμα εμφανίζονται επίσης σκιασμένα τα διαστήματα αβεβαιότητας των προβλέψεων (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-2/assessment>)

- Η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα θα συνεχιστεί κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα. Σύμφωνα με τα σενάρια που εξετάστηκαν από το RCP, ο ρυθμός αύξησης της στάθμης της θάλασσας είναι πολύ πιθανό να ξεπεράσει την παρατηρούμενη κατά την περίοδο μεταξύ του έτους 1971 έως το 2010 εξαιτίας της αυξημένης θέρμανσης των ωκεανών και της αυξημένης απώλειας μάζας από τα παγόβουνα.
- Η εμπιστοσύνη στις προβλέψεις της ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα έχει αυξηθεί από την 4^η μελέτη του IPCC εξαιτίας της αυξημένης κατανόησης των φυσικών παραμέτρων των συστατικών της θαλάσσιας στάθμης, την αυξημένη συμφωνία μεταξύ των μοντέλων προσομοίωσης της διεργασίας και των παρατηρήσεων, καθώς και το ότι συμπεριλαμβάνονται οι δυναμικές αλλαγές στα τμήματα των πάγων.
- Η μέση στάθμη της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα αυξάνεται για την περίοδο από το 2081 έως το 2100 σε σχέση με την περίοδο από το 1986 έως το 2005 και θα είναι μεταξύ του εύρους από 0.26 έως 0.55 m για το RCP2.6, από 0.32 έως 0.63 m για το RCP4.5, από 0.33 έως 0.63 m για το RCP6.0 και από 0.45 έως 0.82 m για το RCP8.5 (μέτρια εμπιστοσύνη). Σύμφωνα με το RCP8.5, η αύξηση έως το έτος 2100 είναι από 0.52 έως 0.98 m με ρυθμό από το 2081 έως το 2100 ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ των τιμών από 8 έως 16 mm κατ' έτος (μέση εμπιστοσύνη). Αυτά τα εύρη προέρχονται από τις προβλέψεις του CMIP5 σε συνδυασμό με μοντέλα προσομοίωσης διεργασιών και μελέτη της βιβλιογραφίας σχετικά με τη συνεισφορά των παγόβουνων.

- Σύμφωνα με τις προβλέψεις του RCP, η συνεισφορά της θερμικής επέκτασης υπολογίζεται από 30 έως 55% για την ανύψωση της μέσης στάθμης της θάλασσας κατά τον 21^ο αιώνα, και τα παγόβουνα από 15% έως 35%. Η αύξηση της επιφανειακής τήξης του παγόβουνου της Γροιλανδίας θα ξεπεράσει την αύξηση των χιονοπτώσεων, με αποτέλεσμα τη θετική συνεισφορά από την αλλαγή στο ισοζύγιο μάζας της μελλοντικής θαλάσσιας στάθμης (υψηλή εμπιστοσύνη). Η επιφανειακή τήξη θα παραμείνει σε χαμηλά επίπεδα, προβλέπεται αύξηση των χιονοπτώσεων στην Ανταρκτική, με αποτέλεσμα να υπάρχει αρνητική επίδραση στη μελλοντική στάθμη της θάλασσας από τις αλλαγές στο ισοζύγιο μάζας στην επιφάνεια. Οι αλλαγές στην εξωτερική ροή από το συνδυασμό των δύο παγόβουνων προβλέπεται να έχουν συνεισφορά από 0.03 έως 0.20 m για την περίοδο από το 2081 έως το 2100 (μέση εμπιστοσύνη).
- Σύμφωνα με τα έως τώρα γνωστά, μόνο η κατάρρευση των θαλάσσιων τμημάτων του παγόβουνου της Ανταρκτικής, εφόσον υλοποιηθεί, μπορεί να προκαλέσει ανύψωση της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα πέρα από το σύνθετο εύρος κατά τον 21^ο αιώνα. Ωστόσο, υπάρχει μέση εμπιστοσύνη ότι αυτή η επιπρόσθετη συνεισφορά δεν μπορεί να ξεπεράσει μερικές δεκάδες μέτρα της αύξησης της θαλάσσιας στάθμης κατά τον 21^ο αιώνα.
- Το υπόβαθρο για μεγαλύτερες προβλέψεις της ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας έχει θεωρηθεί και έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι υπάρχουν διαθέσιμα ανεπαρκή στοιχεία προκειμένου να αξιολογηθεί η πιθανότητα εμφάνισης μεγαλύτερων επιπέδων από ότι τα υπό μελέτη πιθανά εύρη. Πολλά ημι-εμπειρικά μοντέλα προβλέψεων της ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα είναι υψηλότερα σε σύγκριση με τις προβλέψεις που προκύπτουν από μοντέλα προσομοίωσης διεργασιών (έως και δύο φορές μεγαλύτερα), ωστόσο δεν υπάρχει συμφωνία στη διεθνή κοινότητα για την αξιοπιστία τους και υπάρχει χαμηλή εμπιστοσύνη σε αυτές τις προβλέψεις.
- Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας δεν θα είναι ομοιόμορφη. Έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα, είναι πολύ πιθανό ότι η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας θα παρατηρηθεί σε ποσοστό περίπου 95% της συνολικής επιφάνειας των ωκεανών. Περίπου το 70% των ακτογραμμών παγκοσμίως πρόκειται να εμφανίσουν αλλαγή της στάθμης της θάλασσας εντός του 20% της παγκόσμιας μέσης αλλαγής της θαλάσσιας στάθμης.



Σχήμα 5-2 Προβλέψεις της ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005 από τον συνδυασμό του CMIP5 με μοντέλα προσομοίωσης διεργασιών, για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5. Το υπό μελέτη εύρος παρατηρείται σαν μια κοινή γραμμή. Τα υπολογιζόμενα εύρη για τη μέση κατά την περίοδο 2081-2100 για όλα τα σενάρια RCP είναι οι σκιασμένες κάθετες γραμμές, με την αντίστοιχη μέση τιμή να δίνεται στην οριζόντια γραμμή

Η υπολογιζόμενη αλλαγή στη μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα και της μέσης ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα για την περίοδο από τα μέσα έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1986-2005, φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5-1 Αλλαγή στη μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα και στη μέση ανύψωση της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα

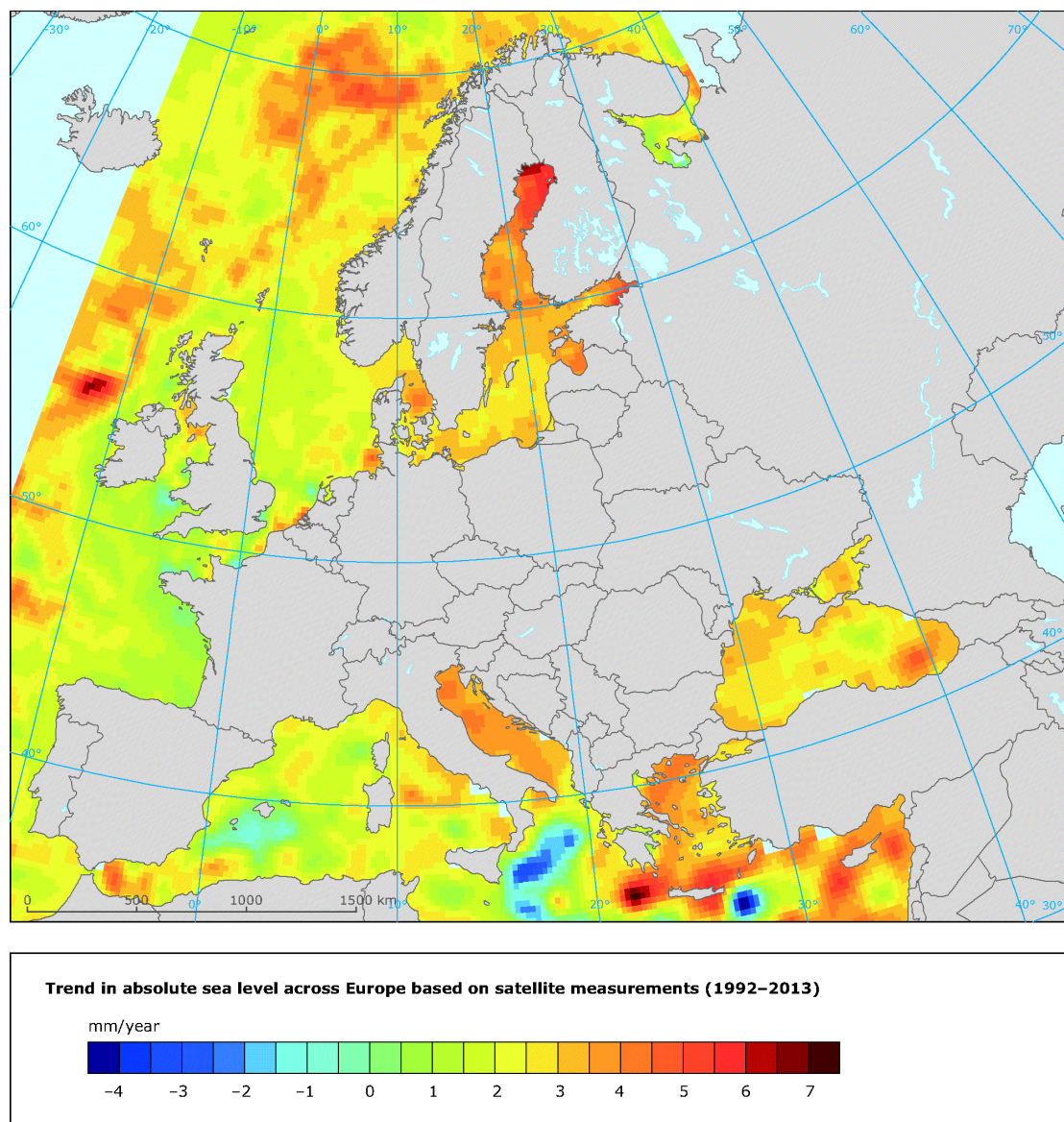
		2046-2065		2081-2100	
	Σενάριο	Μέση τιμή	Πιθανό εύρος	Μέση τιμή	Πιθανό εύρος
Μέση αλλαγή της επιφανειακής θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα (°C)	RCP2.6	1.0	0.4 - 1.6	1.0	0.3 - 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 - 2.0	1.8	1.1 - 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 - 1.8	2.2	1.4 - 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 - 2.6	3.7	2.6 - 4.8
	Σενάριο	Μέση τιμή	Πιθανό εύρος ^b	Μέση τιμή	Πιθανό εύρος ^d
Μέση ανύψωση της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα (m)	RCP2.6	0.24	0.17 - 0.32	0.40	0.26 - 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 - 0.33	0.47	0.32 - 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 - 0.32	0.48	0.33 - 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 - 0.38	0.63	0.45 - 0.82

5.2 Αύξηση της στάθμης της θάλασσας στην ευρωπαϊκή ακτογραμμή

Στις ακόλουθες παραγράφους παρατίθενται τα πλέον πρόσφατα δεδομένα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) ως προς την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-5/assessment>(2014)[14]:

- Οι περισσότερες παράκτιες περιοχές της Ευρώπης έχουν εμφανίσει αύξηση στην απόλυτη τιμή της στάθμης της θάλασσας καθώς και στη στάθμη της θάλασσας ως προς τις χερσαίες εκτάσεις, αλλά υπάρχει σημαντική χωρική διαφοροποίηση
- Τα ακραία υψηλά επίπεδα υδάτων στις παράκτιες περιοχές έχουν αυξηθεί σε πολλές περιοχές γύρω από τις Ευρωπαϊκές ακτογραμμές. Η αύξηση αυτή εμφανίζεται καθοριστική εξαιτίας των αυξήσεων στη μέση τοπική θαλάσσια στάθμη στις περισσότερες περιοχές καθώς και σε αλλαγές στις καταιγίδες.
- Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας σε σχέση με τις χερσαίες εκτάσεις στις Ευρωπαϊκές ακτογραμμές προβλέπεται να είναι αντίστοιχη με τον παγκόσμιο μέσο όρο, με εξαίρεση τις περιοχές της βόρειας Βαλτικής Θάλασσας και της βόρειας Ατλαντικής ακτής, που εμφανίζουν σημαντική ανύψωση των χερσαίων τμημάτων ως συνέπεια της ανάκαμψης μετά από παγετώνες.
- Προβλεπόμενες αυξήσεις στις ακραία υψηλά επίπεδα παράκτιων υδάτων στην Ευρώπη θα καθορίζονται από αυξήσεις στην τοπική σχετική μέση στάθμη της θάλασσας, με αλλαγές στα μετεωρολογικά συστατικά τα οποία είναι λιγότερο σημαντικά στις περισσότερες τοποθεσίες.

Οι μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας για την Ευρώπη είναι διαθέσιμες από παρατηρήσεις μέσω δορυφόρου (απόλυτη στάθμη της θάλασσας, από το 1992, καθώς και από παλίρροιες (σχετική θαλάσσια στάθμη, κάποιες φορές περισσότερο από 100 έτη). Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές παράκτιες περιοχές εμφανίζουν αυξήσεις τόσο ως προς την απόλυτη όσο και ως προς τη σχετική στάθμη της θάλασσας, αλλά υπάρχουν επίσης σημαντικές διαφοροποιήσεις στην απόλυτη και την σχετική στάθμη της θάλασσας κατά μήκος της Ευρώπης [14].



Σχήμα 5-3 Τάσεις στην απόλυτη στάθμη της θάλασσας στις Ευρωπαϊκές θάλασσες με βάση μετρήσεις μέσω δορυφόρου (1992-2013)

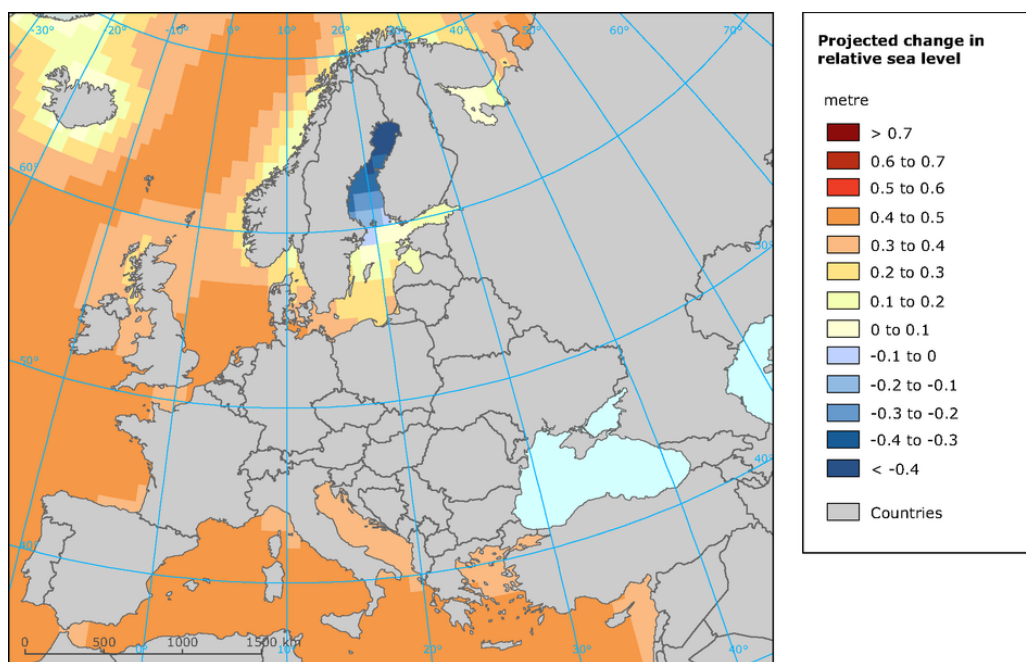
Το σχήμα δείχνει τις τάσεις της απόλυτης θαλάσσιας στάθμης από το 1992 έως το 2013 όπως έχει παρατηρηθεί μέσω δορυφόρων. Διαπιστώνεται αυξημένη τάση στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

Η χωρική και τοπική αλλαγή στη στάθμη της θάλασσας διαφοροποιείται από την παγκόσμια μέση τιμή εξαιτίας παραγόντων μεγάλης κλίμακας όπως οι μη ομοιόμορφες αλλαγές στην πυκνότητα των ωκεανών καθώς και αλλαγές στην κυκλοφορία των ωκεανών, και μεταβολές στο βαρυτικό πεδίο της γης καθώς το νερό απομακρύνεται από τους λιωμένους πάγους προς τους ωκεανούς. Επηρεάζεται επίσης από την ατμοσφαιρική καταιγίδα και την κάθετη κίνηση της γης. Οι προβλέψεις για τη χωρική ανύψωση της στάθμης της θάλασσας είναι διαθέσιμες μέσω του πειράματος CMIP5 που εφαρμόζει παγκόσμια κλιματικά μοντέλα. Ενώ υπάρχουν σημαντικές αβεβαιότητες ως προς τις χωρικές μεταβολές της μελλοντικής ανύψωσης της

στάθμης της θάλασσας, περίπου 70% των ακτογραμμών παγκοσμίως αναμένεται να εμφανίσουν αλλαγή στη στάθμη της θάλασσας εντός $\pm 20\%$ της προβλεπόμενης αλλαγής της μέσης στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα GMSL [14].

Η σχετική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας κατά μήκος της Ευρωπαϊκής ακτογραμμής προβλέπεται να είναι αντίστοιχη με τον παγκόσμιο μέσο όρο, με εξαίρεση την βόρεια Βαλτική Θάλασσα και τη βόρεια Ατλαντική ακτή, όπου εμφανίζεται σημαντική ανύψωση της γης ως συνέπεια της ανάκαμψης μετά από παγετώνες.

Μελέτη υποστηρίζει ότι η απόλυτη ανύψωση της στάθμης της θάλασσας (η οποία αποκλείει αλλαγές στο επίπεδο της χερσαίας έκτασης) γύρω από το Ηνωμένο Βασίλειο για τον 21^ο αιώνα βρίσκεται μεταξύ του εύρους 12 cm (το κατώτερο όριο για το σενάριο χαμηλών εκπομπών) έως 76 cm (το ανώτατο όριο για το σενάριο χαμηλών εκπομπών). Η μεγαλύτερη ανύψωση προκύπτει μετά την προσθήκη ενός επιπλέον όρο πάγων, ωστόσο αυτό αυξάνει την αβεβαιότητα. Μια πιο πρόσφατη μελέτη εκτίμησε την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας κατά τον 21ο αιώνα στις Ολλανδικές ακτές μεταξύ του εύρους από 25 έως 75 cm για το κατώτατο σενάριο και από 50 έως 100 cm για το ανώτατο σενάριο (έτος 2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1986–2005). Η επίτευξη προβλέψεων για πλήρως ή μερικώς απομονωμένων λεκανών, όπως είναι η Μεσόγειος θάλασσα, είναι ακόμα πιο δύσκολη από ότι είναι για τους ωκεανούς παγκοσμίως.



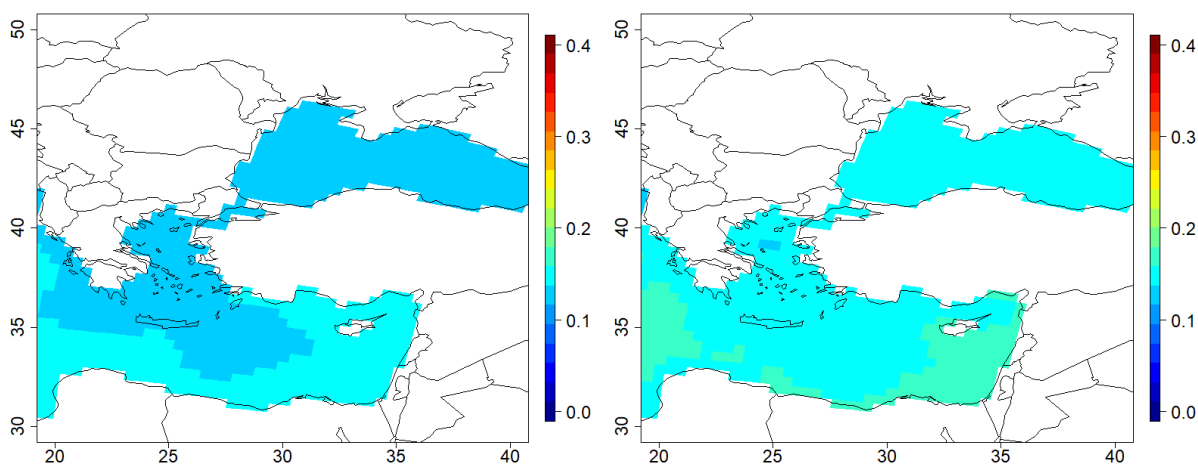
Σχήμα 5-4 Προβλεπόμενη αλλαγή στη σχετική στάθμη της θάλασσας. Η εικόνα εμφανίζει την προβλεπόμενη αλλαγή της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο 2081-2100 σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005 για το μέσο σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP4.5 με βάση το κλιματικό μοντέλο CMIP5. Οι προβλέψεις θεωρούν την κίνηση της γης εξαιτίας της ισοστατικής προσαρμογής των πάγων αλλά όχι την καθίζηση λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων [14].

Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη που αφορά Σενάρια για την Τοπική Στάθμη της Θάλασσας στην περιοχή της Μεσογείου και της Αδριατικής Θάλασσας, η στάθμη της θάλασσας στην Μεσόγειο δείχνει σημαντική διακύμανση κατά τον προηγούμενο αιώνα. Σε κάθε περίπτωση, με ρυθμό περίπου 1.2 mm κατ' έτος ο

παρατηρούμενος ρυθμός ανύψωσης εμφανίζεται σημαντικά χαμηλότερος από τον παγκόσμιο μέσο όρο. Με βάση μετρήσεις των διαθέσιμων στοιχείων για τις παλίρροιες τα επίπεδα αυξήθηκαν έως το 1960 και κατόπιν μειώθηκαν μέχρι μερικά cm μεταξύ του 1960 και 1993. Στην περίοδο μεταξύ 1993 και 2000, η ανύψωση της θάλασσας στάθμης υπολογίστηκε 4-5 cm, και κατόπιν αυτού δεν παρατηρήθηκε καμιά αλλαγή [26].

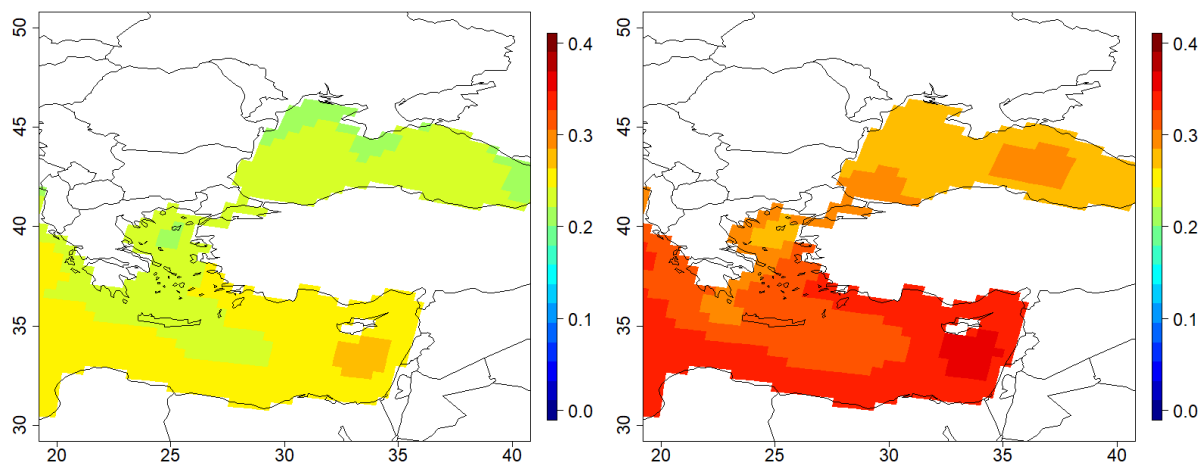
5.3 Αύξηση της στάθμης της θάλασσας στην ανατολική Μεσόγειο και στην Περιφέρεια Αττικής

Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της προβλεπόμενης μεταβολής της θάλασσας στάθμης για την περίοδο 2031-2060 (εγγύς μέλλον) σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000 για το μέσο σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP4.5 και το σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5 με βάση το κλιματικό μοντέλο MPI-ESM-MR στην ανατολική Μεσόγειο. Οι προβλέψεις προσομοιώσεις δεν λαμβάνουν υπόψιν τους τις μεταβολές του επιπέδου της ακτογραμμής λόγω γεωλογικών κινήσεων.



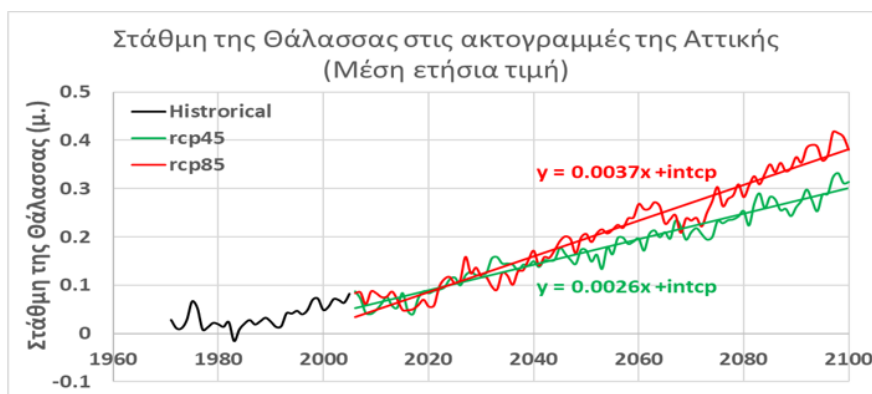
Σχήμα 5-5 Χωρική κατανομή της προβλεπόμενης μεταβολής της θάλασσας στάθμης για την περίοδο 2031-2060 (εγγύς μέλλον) σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000 για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 (αριστερά) και το σενάριο εκπομπών RCP8.5 (δεξιά) με βάση το κλιματικό μοντέλο MPI-ESM-MR στην ανατολική Μεσόγειο.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 5-5 βάσει των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου MPI-ESM-MR η στάθμη της θάλασσας στην Ανατολική Μεσόγειο στην περίπτωση του σεναρίου RCP4.5 αναμένεται να αυξηθεί κατά το εγγύς μέλλον μεταξύ 12 cm και 16 cm με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται στις νοτιοανατολικές περιοχές και τις μικρότερες στο Αιγαίο. Ειδικότερα για τη θάλασσα ζώνη στην περιοχή της Αττικής η στάθμη αναμένεται να αυξηθεί γύρω στα 12 cm. Για την περίπτωση του σεναρίου RCP8.5 η άνοδος αναμένεται εντονότερη και θα αγγίξει τα 20 cm στις νοτιοανατολικές περιοχές ενώ στο Αιγαίο στη θάλασσα ζώνη της περιφέρειας Αττικής θα αυξηθεί περίπου κατά 15 cm.



Σχήμα 5-6 Χωρική κατανομή της προβλεπόμενης μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο 2071-2100 (μακρινό μέλλον) σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1971-2000 για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 (αριστερά) και το σενάριο εκπομπών RCP8.5 (δεξιά) με βάση το κλιματικό μοντέλο MPI-ESM-MR στην ανατολική Μεσόγειο

Στο σχήμα 5-6 απεικονίζονται οι αντίστοιχες μεταβολές μεταξύ τις περιόδου 2071-2100 (μακρινό μέλλον) και τις περιόδου αναφοράς 1971-2000. Η άνοδος όπως αναμένονταν κατά το μακρινό μέλλον θα είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με το εγγύς μέλλον. Πιο συγκεκριμένα με βάση της εκτιμήσεις του μοντέλου MPI-ESM-MR η στάθμη της θάλασσας στην Ανατολική Μεσόγειο αναμένεται να αυξηθεί μεταξύ 20 cm και 28 cm με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται στις θαλάσσια περιοχή νότια της Κύπρου και τις μικρότερες στο κεντρικό Αιγαίο. Ειδικότερα για τη θαλάσσια ζώνη στην περιοχή της Αττικής η στάθμη αναμένεται να αυξηθεί περίπου 22 cm. Για την περίπτωση του σεναρίου RCP8.5 η άνοδος αναμένεται εντονότερη και θα αγγίξει τα 38 cm στις νοτιοανατολικές περιοχές της Μεσογείου, τα 32 cm στο Νότιο Αιγαίο το Λιβυκό Πέλαγος και το Ιόνιο, τα 28-30 cm στη θαλάσσια ζώνη της περιφέρειας Αττικής, ενώ η μικρότερη αύξηση 26-28 cm αναμένεται στο Βορειοανατολικό Αιγαίο. Ειδικότερα για τις ακτογραμμές της Αττικής στο σχήμα 5-7 εικονίζεται η εκτιμώμενη χρονική εξέλιξη των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας στις σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πράσινη καμπύλη) και RCP8.5 (κόκκινη καμπύλη) όπου φαίνεται η διαρκής άνοδος που θα αγγίξει στο τέλος το αιώνα τα 30 cm για το σενάριο RCP4.5 και τα 40 cm για το σενάριο RCP8.5.



Σχήμα 5-7 Κλιματικές προβλέψεις των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας στις ακτογραμμές της Αττικής σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (πράσινη καμπύλη) και RCP8.5 (κόκκινη καμπύλη). Η μαύρη καμπύλη αναπαριστά την ιστορική περίοδο 1971-2005.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι η παρατηρούμενη της τελευταίες 4 δεκαετίες ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή που κατά κύριο λόγο εκφράζεται παγκόσμια αλλά και στην περιφέρεια Αττικής με αύξηση των μέσων τιμών και των ακραίων της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης αναμένεται εντονότερη κατά τον 21^ο αιώνα. Ειδικότερα για την περιφέρεια Αττικής με βάση τα αποτελέσματα των κλιματικών μοντέλων που παρατέθηκαν αναμένεται κατά τον 21^ο αιώνα:

- Η μέγιστη θερμοκρασία στην περιοχή της Αθήνας να αυξάνεται κατά 0.14°C ανά δεκαετία, με αποτέλεσμα την αύξηση κατά 1.1°C έως το 2100, σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5. Για το ακραίο σενάριο RCP8.5 προβλέπεται αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας 0.51°C / δεκαετία για την περίοδο 2045-2100.
- Η ελάχιστη θερμοκρασία για την περιοχή της Αθήνας, σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5, δείχνει μια αυξανόμενη τάση 0.13°C / δεκαετία με αποτέλεσμα τη συνολική αύξηση κατά 1.0°C μέχρι το 2100. Αντιστοίχως, για το ακραίο σενάριο RCP8.5 η αύξηση προβλέπεται να είναι 0.48°C / δεκαετία μέχρι το 2100.
- Μεγαλύτερες αυξήσεις της θερινής σε σχέση με την μέση ετήσια θερμοκρασία
Αναφορικά με την ετήσια βροχόπτωση το ήπιο σενάριο RCP4.5 δείχνει μείωση της κατά 6.5 mm / δεκαετία, ενώ για το ακραίο σενάριο με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις εκλυόμενων αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5) η μείωση είναι 4.5 mm / δεκαετία. Αυτοί οι ρυθμοί μείωσης οδηγούν σε ετήσια μείωση της τάξης των 55 mm και 40 mm αντίστοιχα για το κάθε σενάριο κατά τη διάρκεια της περιόδου των 85 ετών έως το 2100.
- Κατά το εγγύς μέλλον οι ποσοστιαίες μειώσεις της μέσης ετήσιας τιμής της σχετικής υγρασίας είναι μικρές και δεν ξεπερνούν το 2% σε κανένα σημείο της περιφέρειας αλλά στο μακρινό μέλλον οι εκτιμώμενες μειώσεις είναι μεγαλύτερες και ξεπερνούν ελαφρά το 10% στα βορειά τμήματα του νομού Αττικής για την περίπτωση του σεναρίου RCP8.5.
- Κατά το θέρους αναμένεται σημαντική ενίσχυση των ετήσιων ανέμων τόσο κατά το εγγύς όσο και κατά το μακρινό μέλλον. Η αυξήσεις αυτές θα πλησιάσουν στα ανατολικά του νομού το 10% στο εγγύς μέλλον ενώ κατά το μακρινό μέλλον εκτιμάται ότι θα ξεπεράσουν το 15% στην περίπτωση του σεναρίου εκπομπών RCP8.5.
- Οι παραπάνω αυξήσεις αν και θα μετριάσουν κάπως την αύξηση των ακραίων θερμών επιβαρύνσεων του πληθυσμού θα αυξήσουν σημαντικά των κινδύνων εκδήλωσης και την ταχύτητα εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών.
- Κατά το εγγύς μέλλον οι ποσοστιαίες μεταβολές του κλάσματος νεφοκάλυψης είναι αμελητέες για το σενάριο RCP4.5 ενώ στην περίπτωση του σεναρίου RCP8.5 αναμένεται μικρή μείωση της τάξης του 5%. Στο μακρινό μέλλον οι εκτιμώμενες μειώσεις είναι μεγαλύτερες, φτάνουν το 5% για το σενάριο RCP4.5 και ξεπερνούν το -10% στην περίπτωση του σεναρίου RCP8.5.
- Βάση της εκτιμώμενης χρονικής εξέλιξη των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας για τις ακτογραμμές της Αττικής αναμένεται διαρκής άνοδος που θα αγγίξει στο τέλος το αιώνα τα 30 cm για το σενάριο RCP4.5 και τα 40 cm για το σενάριο RCP8.5.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Armstrong B.G., Chalabi Z., Fenn B., Hajat S., Kovats S., Milojevic A., Wilkinson P.: Association of mortality with high temperatures in a temperate climate: England and Wales, *J. Epidemiol. Community Health*, 65(4), 340-5, 2011
2. Bellprat O., Kotlarski S., Lüthi D., Schär C.: Exploring Perturbed Physics Ensembles in a Regional Climate Model. *Journal of Climate*, 25(13), 4582–4599, , 2012(a)
3. Bruyère C.L., Done J.M., Holland G.J., Fredrick S.: ‘Bias Corrections of Global Models for Regional Climate Simulations of High-Impact Weather’, *Clim. Dyn.*, 43, 1847-1856 (2014)
4. Clarke L, Edmonds J, Jacoby H, Pitcher H, Reilly J, Richels R: CCSP synthesis and assessment product 2.1, Part A: scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentration, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2007
5. Collins W. J., Bellouin N., Doutriaux-Boucher M., Gedney N., Halloran P., Hinton T., Woodward, S.: Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2, *Geosci. Model Dev.*, 4(4), 1051–1075. , 2011
6. Hajat S., Armstrong B., Baccini M., Biggeri A., Bisanti L., Russo A., Paldy A., Menne B., Kosatsky T.: Impact of high temperatures on mortality. Is there an added heat wave effect?, *Epidemiology*, 17, 632-638, 2006
7. Hanel M., Buishand, T.A.: Multi-model analysis of RCM simulated 1-day to 30-day seasonal precipitation extremes in the Czech Republic, *Hydrology Conference 2010*, 412–413(Supplement C), 141–150. , 2012
8. Haylock M. R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G. Klok E. J., Jones P. D., New M.: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D20), n/a-n/a. , 2008
9. Herrmann M., Somot S., Calmanti S., Dubois C., Sevault F.: Representation of spatial and temporal variability of daily wind speed and of intense wind events over the Mediterranean Sea using dynamical downscaling: impact of the regional climate model configuration, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(7), 1983–2001. , 2011
10. Hong S.-Y., Dudhia J., Chen S.-H.: A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation. *Mon. Wea. Rev.* 132: 103–120 (2004)
11. Hong S.-Y., Noh Y., Dudhia J.: A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes. *Mon Wea Rev* 134: 2318-234 (2006)
12. Iacono M.J., Delamere J.S., Mlawer E.J., Shephard M.W., Clough S.A., Collins W.: Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *J. Geophys. Res.*: 113, D13103 (2008)
13. Jiménez P.A., Dudhia J., González-Rouco J.F., Navarro J., Montávez J.P., García-Bustamante E.: A Revised Scheme for the WRF Surface Layer Formulation. *Monthly Weather Review* 140, 898–918 (2012)
14. Kyselý J., Plavcová E.: A critical remark on the applicability of E-OBS European gridded temperature data set for validating control climate simulations, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D23), n/a-n/a., 2010

15. Kotlarski S., Keuler K., Christensen O.B., Colette A., Déqué M., Gobiet A., Wulfmeyer V.: *Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble*, *Geoscientific Model Development*, 7(4), 1297–1333. , 2014
16. Moss, R., J. Edmonds, K. Hibbard, et al., 2010: *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*, *Nature*, 463, 747–756, doi:10.1038/nature08823
17. Niu G.-Y., Yang Z.-L.: *The effects of canopy processes on snow surface energy and mass balances*, *J. Geophys. Res.* 109, D23111 (2004)
18. Niu G.-Y., Yang Z.-L., Mitchell K.E., Chen F., Ek M.B., Barlage M., Kumar A., Manning K., Niyogi D., Rosero E., Tewari M., Xia Y.: *The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements*. *J. Geophys. Res.*, 116, D12109 (2011)
19. Papaggelis G., Tombrou M., Dandou A., Kontos T: *An urban “green planning” approach utilizing the Weather Research and Forecasting (WRF) modeling system. A case study of Athens, Greece*. *Landscape and Urban Planning* 105: 174– 183 (2012)
20. Popke D., Stevens B., Voice A.: *Climate and climate change in a radiative-convective equilibrium version of ECHAM6*, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5(1), 1-14, doi: 10.1029/2012MS000191, 2013
21. Rajczak J., Pall P., Schär C.: *Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region*, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(9), 3610–3626. , 2013
22. Riahi K., Rao S., Krey V., Cho C., Chirkov V., Fischer G., Kindermann G., Nakicenovic N., Rafaj P.: *RCP8.5- A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions*, *Climatic Change*. 109:33, 2011
23. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.-Y., Wang W., Powers J.G.: *A description of the advanced research WRF version 3*. NCAR TECHNICAL NOTE, NCAR/TN-475+STR, 113 pp (2008)
24. Strandberg G., Barring A., Hansson U., Jansson C., Jones C., Kjellström E.: *CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4*, *Reports Meteorology and Climatology*, 116, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige, 2014
25. G. Umgiesser, J. B. Anderson, V. Artale, M. Breil, S. Gualdi, P. Lionello, N. Marinova, M. Orlić, P. Pirazzoli, S. Rahmstorf, F. Raicich, E. Rohling, A. Tomasin, M. Tsimplis, P. Vellinga, 2011. *From Global to Regional: Local Sea Level Rise Scenarios Focus on the Mediterranean Sea and the Adriatic Sea*. Published by United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)
26. 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.
27. Tewari M., Chen F., Kusaka H., Miao S.: *Coupled WRF/Unified Noah/urban-canopy modeling system*. NCAR WRF Documentation. Boulder: NCAR, 1–20 (2007)
28. Voldoire A., Sanchez-Gomez E., Salas y Mélia D., Decharme B., Cassou C., SénéS., Chauvin F.: *The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation*, *Climate Dynamics*, 40(9), 2091–2121., 2012

29. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.-Y., Wang W., Powers J.G.: *A description of the advanced research WRF version 3*. NCAR TECHNICAL NOTE, NCAR/TN-475+STR, 113 pp (2008)