



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΚΟΝΔΥΛΙΑ Κ. ΒΕΛΙΚΟΥ
Γεωλόγος, MSc Μετεωρολόγος - Κλιματολόγος

ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟΥ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RegCM ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY

KONDYLIA K. VELIKOU
Geologist, MSc Meteorologist - Climatologist

DYNAMICAL DOWNSCALING OF REGIONAL CLIMATE MODEL
RegCM FOR THE GREEK REGION: STATISTICAL ASSESSEMENT,
DYNAMICAL EVALUATION, EFFECTS AND FUTURE SCENARIOS

DISSERTATION THESIS

THESSALONIKI
2021





ΚΟΝΔΥΛΙΑ Κ. ΒΕΛΙΚΟΥ
Γεωλόγος, MSc Μετεωρολόγος - Κλιματολόγος

**ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ RegCM ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ,
ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ**

Εκπονήθηκε στον Τομέα Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. τον Φεβρουάριο του 2021

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 12/02/2021

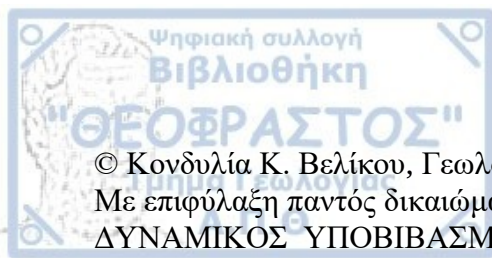
Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°: 216

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Κωνσταντία Τολίκα, Αναπλ. Καθηγήτρια, *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. (Επιβλέπουσα)*
Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αναπλ. Καθηγήτρια, *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*
Πρόδρομος Ζάνης, Καθηγητής, *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*

Εξεταστική Επιτροπή

Κωνσταντία Τολίκα, Αναπλ. Καθηγήτρια, *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. (Επιβλέπουσα)*
Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αναπλ. Καθηγήτρια, *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*
Πρόδρομος Ζάνης, Καθηγητής, *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*
Έλενα Φλόκα, Καθηγήτρια, *Τμήμα Φυσικής Ε.Κ.Π.Α.*
Ιωάννης Πυθαρούλης, Αναπλ. Καθηγητής, *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*
Μαρία Χατζάκη, Επίκ. Καθηγήτρια, *Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α.*
Χρήστος Λώλης, Επίκ. Καθηγητής, *Τμήμα Φυσικής Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων*



© Κονδυλία Κ. Βελίκου, Γεωλόγος, MSc Μετεωρολόγος - Κλιματολόγος, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RegCM ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ – Διδακτορική Διατριβή

© Kondylia K. Velikou, Geologist, MSc Meteorologist - Climatologist, 2021

All rights reserved.

DYNAMICAL DOWNSCALING OF REGIONAL CLIMATE MODEL RegCM FOR THE GREEK REGION: STATISTICAL ASSESSEMENT, DYNAMICAL EVALUATION, EFFECTS AND FUTURE SCENARIOS – *Ph.D. Thesis*

Citation:

Βελίκου Κ. Κ., 2021. – Δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM για την ελληνική περιοχή: Στατιστική ανάλυση, δυναμική αξιολόγηση, επιπτώσεις και μελλοντικά σενάρια. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμ. Γεωλογίας No 216, 304 σελ.

Velikou K. K., 2021. – Dynamical downscaling of regional climate model RegCM for the Greek region: Statistical assessment, dynamical evaluation, effects and future scenarios. Ph.D. Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Annex Number of Scientific Annals of the School of Geology No 216, 304 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



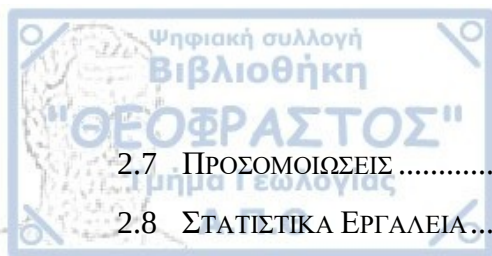
*Στους γονείς μου,
Κωνσταντίνο & Ειρήνη*





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

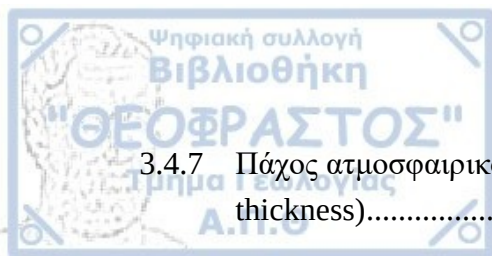
ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ & ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	1
1.1.1 Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (GCMs)	1
1.1.2 Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs).....	3
1.1.3 Φυσικές Παραμετροποιήσεις	6
1.2 ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ: ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	8
1.2.1 Χαρακτηριστικά	8
1.2.2 Μεσογειακό Κλίμα.....	9
1.3 INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)	12
1.3.1 Representative Concentration Pathways (RCPs)	15
1.4 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	21
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	21
2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ECA&D.....	22
2.3 E-OBS	23
2.4 ERA-INTERIM.....	23
2.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	24
2.6 RegCM4 (ΕΚΔΟΣΗ 4.4.5.1)	26
2.6.1 Ιστορία.....	26
2.6.2 Συνιστώσες του μοντέλου	26
2.6.3 Κατακόρυφο και οριζόντιο πλέγμα.....	27
2.6.4 Δυναμικές εξισώσεις	29
2.6.5 Φυσικές παραμετροποιήσεις	32



2.7 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ	43
2.8 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ.....	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (SENSITIVITY TEST) ΤΟΥ REGCM ΓΙΑ ΤΗΝ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ	53
3.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	53
3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ E-OBS	55
3.2.1 Θερμοκρασία (Temperature - Tmin, Tmax, Tmean)	55
3.2.2 Βροχόπτωση (Precipitation).....	57
3.2.3 Μέση πίεση επιφανείας (Mean sea level pressure)	58
3.2.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	59
3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ (ΔΙΑΦΟΡΕΣ).....	60
3.3.1 Θερμοκρασία (Air temperature - Tmin, Tmax, Tmean)	60
3.3.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)	66
3.3.3 Βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (Convective precipitation).....	70
3.3.4 Μέση πίεση επιφανείας (Mean sea level pressure)	73
3.3.5 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed).....	77
3.3.6 Λευκαύγεια λόγω άμεσης/διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Surface albedo for direct/diffuse shortwave radiation).....	80
3.3.7 Πάχος ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (Atmospheric boundary layer thickness).....	83
3.3.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	87
3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ TAYLOR).....	99
3.4.1 Θερμοκρασία (Air temperature - Tmin, Tmax, Tmean)	99
3.4.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)	102
3.4.3 Βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (Convective precipitation).....	105
3.4.4 Μέση πίεση επιφανείας (Mean sea level pressure)	107
3.4.5 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed).....	109
3.4.6 Λευκαύγεια λόγω άμεσης/διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Surface albedo for direct/diffuse shortwave radiation).....	112



3.4.7 Πάχος ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (Atmospheric boundary layer thickness).....	115
3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ Combine_25km ΚΑΙ Reference_25km ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ.....	123
4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	123
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ERA-INTERIM	126
4.2.1 Θερμοκρασία (Air temperature).....	126
4.2.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation).....	130
4.2.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	135
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ECA&D	136
4.3.1 Θερμοκρασία (Air temperature).....	136
4.3.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)	147
4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	150
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ Combine_25km – Combine_10km & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ (10km) ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	153
5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	153
5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ (ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 1981-2000).....	155
5.2.1 Θερμοκρασία (Air temperature).....	155
5.2.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)	157
5.2.3 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed).....	159
5.2.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	162
5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ (2041-2060 & 2081-2100).....	163
5.3.1 Θερμοκρασία (Air temperature).....	163
5.3.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)	167
5.3.3 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed).....	169
5.3.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	172
5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	173
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	177



ΠΕΡΙΛΗΨΗ 189

ABSTRACT 191

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 193

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 209





ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο «Δυναμικός Υποβιβασμός Κλίμακας του Περιφερειακού Κλιματικού Μοντέλου RegCM για την Ελληνική Περιοχή: Στατιστική Ανάλυση, Δυναμική Αξιολόγηση, Επιπτώσεις και Μελλοντικά Σενάρια», εκπονήθηκε στον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κατά την περίοδο 2013 - 2021.

Η διδακτορική διατριβή υλοποιήθηκε ως μέρος του προγράμματος «ΘΑΛΗΣ - ΑΠΘ: Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη στάθμη και το κυματικό κλίμα των ελληνικών θαλασσών, στην τρωτότητα των παράκτιων περιοχών και στην ασφάλεια θαλάσσιων και παράκτιων έργων», καθώς και με Υποτροφία Αριστείας Επιτροπής Ερευνών Α.Π.Θ. για Υποψήφιους Διδάκτορες & Μεταδιδακτορικούς Φοιτητές.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται έχουν παραχθεί αξιοποιώντας την Υπολογιστική Συστοιχία και τις παρεχόμενες υπηρεσίες υποστήριξης του Κέντρου Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης του Α.Π.Θ.. Θα ήθελα να ευχαριστήσω το Κέντρο Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης του Α.Π.Θ. για την υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διδακτορικής διατριβής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Κωνσταντία Τολίκα, η οποία είναι δίπλα μου και με εμπιστεύεται από τα πρώτα κιόλας βήματα της ακαδημαϊκής μου πορείας, τόσο προπτυχιακά και μεταπτυχιακά, όσο και σε αυτή τη διδακτορική διατριβή, και συνέβαλε στον μέγιστο βαθμό στην επιστημονική μου κατάρτιση. Ήταν δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής για να με συμβουλεύει, να με καθοδηγεί και να με στηρίζει σε επιστημονικό αλλά και προσωπικό επίπεδο.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής μου για την εξαιρετική συνεργασία. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, για την στήριξη, την καθοδήγηση, τις χρήσιμες συμβουλές και την εμπιστοσύνη που μου δείχνει όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Πρόδρομο Ζάνη για όλα τα χρήσιμα σχόλια, τις παρατηρήσεις και τις επισημάνσεις κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής.



Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής για τα σχόλια, τις συμβουλές και τις επισημάνσεις τους, οι οποίες συνέβαλαν στη βελτίωση της διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης σε όλα τα μέλη του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας Α.Π.Θ. για τη στήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών και διδακτορικών σπουδών μου.

Επιπλέον, ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον Διδάκτορα κ. Ιωάννη Τεγούλια για την πολύτιμη βοήθειά του στην προσπάθειά μου να κατανοήσω το κλιματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε αυτή τη διδακτορική διατριβή, αλλά και για όλες τις φορές που με βοήθησε σε δυσκολίες που υπήρχαν στο προγραμματιστικό μέρος της διατριβής.

Δεν θα μπορούσα να μην εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου που βρίσκεται πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε αυτή την προσπάθειά μου όλα αυτά τα χρόνια. Τους ευχαριστώ για όλη την ψυχολογική, ηθική και υλική στήριξη που μου έδωσαν και συνεχίζουν να μου δίνουν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συνεργάτες μου, καθώς και την προσκοπική μου οικογένεια, που στάθηκαν κοντά μου με υπομονή και κατανόηση και με εμπύχωναν με το ενδιαφέρον τους κατά τη διάρκεια αυτών των ετών.

Κονδυλία Βελίκου, 2021

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ & ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

Σύντμηση - Ακρωνύμιο	Επεξήγηση
AR5	Fifth Assessment Report (IPCC)
AR6	Sixth Assessment Report (IPCC)
BATS	Biosphere - Atmosphere Transfer Scheme
CCSM	Community Climate System Model
CLM	Community Land Model
DJF	December - January - February (winter)
ECA&D	European Climate Assessment & Dataset
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EURO-CORDEX	Coordinated Downscaling Experiment - European domain
GAS	Grell cumulus scheme with Arakawa-Schubert convective closure scheme
GCM	General Circulation Model
GFC	Grell cumulus scheme with Fritsch-Chappell convective closure scheme
HadGEM2	Hadley Center Global Environment Model version 2
ICBC	Initial and Boundary Conditions
IFS	Integrated Forecast System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JJA	June - July - August (summer)
MAM	March - April - May (spring)
MIT	Massachusetts Institute of Technology

MM4	Mesoscale Model version 4 (NCAR - PSU)
MM5	Mesoscale Model version 5 (NCAR - PSU)
NCAR - PSU	National Center for Atmospheric Research - Pennsylvania State University
NCAR CCM3	National Center for Atmospheric Research Community Climate Model
PBL	Planetary Boundary Layer
RCM	Regional Climate Model
RCP	Representative Concentration Pathways
RegCM3	Regional Climate Model version 3 (ICTP)
RegCM4.2	Regional Climate Model version 4.2 (ICTP)
RegCM4.4.5.1	Regional Climate Model version 4.4.5.1 (ICTP)
SLP	Sea Level Pressure
SON	September - October - November (autumn)
SRES	Special Report Emission Scenarios
SST	Sea Surface Temperature
SUBEX	Subgrid Explicit Moisture Scheme
UNEP	United Nations Environment Program
UNGA	United Nations General Assembly
UW	University of Washington
UW-PBL	University of Washington Planetary Boundary Layer scheme
WMO	World Meteorological Organization



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

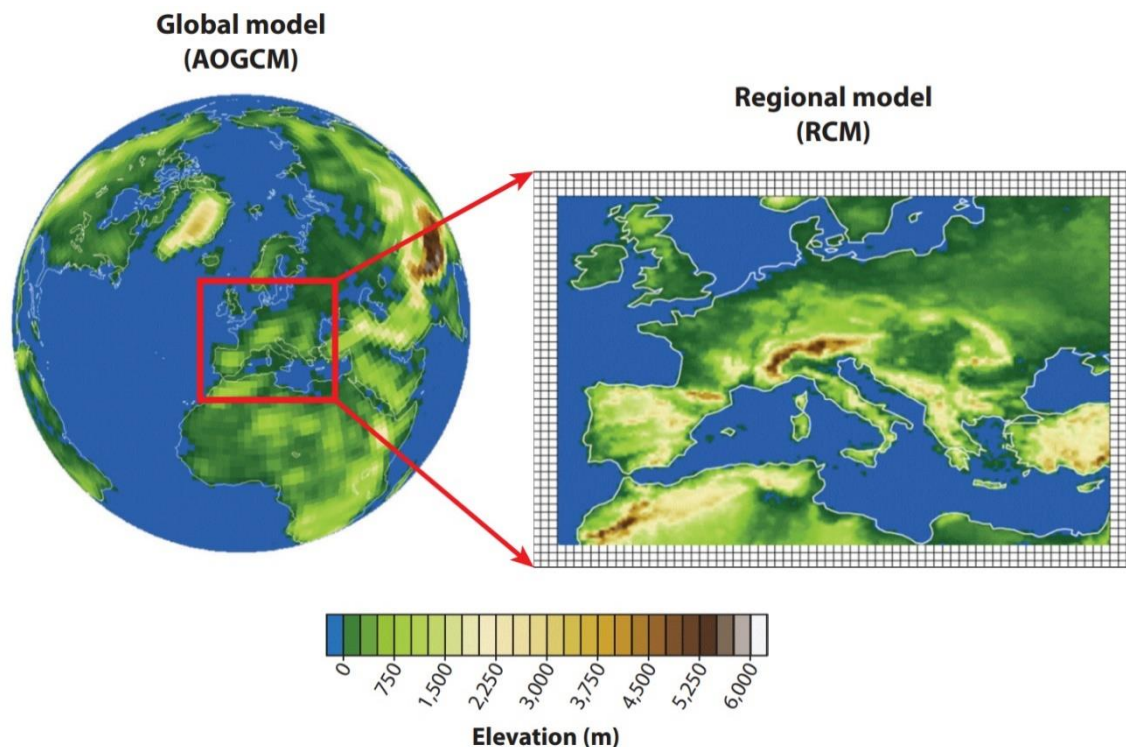
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

1.1.1 Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (GCMs)

Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) είναι αριθμητικά μοντέλα, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την κρυόσφαιρα και την επιφάνεια του εδάφους (<https://www.ipcc-data.org/>). Ο προσδιορισμός των τοπικών κλιμάτων επιτυγχάνεται με την αλληλεπίδραση ανάμεσα σε διαδικασίες πλανητικής και τοπικής κλίμακας. Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του κλίματος και των κλιματικών αλλαγών σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες, καθώς αντιπροσωπεύουν τις παρελθοντικές αλλαγές στο κλίμα και τα μελλοντικά χαρακτηριστικά του κλίματος. Τα GCMs περιγράφουν το κλίμα μέσα από ένα τρισδιάστατο πλέγμα που καλύπτει την υδρόγειο. Συνήθως έχουν χωρική ανάλυση μεταξύ 250 και 600 *km* (πλέον μπορεί να είναι και πολύ μεγαλύτερη και κυμαίνεται μεταξύ 60 και 500 *km* στο CMIP6), 10 έως 20 κατακόρυφα επίπεδα στην ατμόσφαιρα και πολλές φορές έως και 30 επίπεδα στους ωκεανούς. Έτσι, η ανάλυση τους είναι ιδιαίτερα αδρή και δεν είναι επαρκής για τον προσδιορισμό του τοπικού κλιματικού συστήματος σε περιοχές όπου η τοπογραφία παίζει σημαντικό ρόλο και κατά συνέπεια οι σημαντικές διεργασίες υψηλής κλίμακας δεν μπορούν να προσομοιωθούν ικανοποιητικά. Πολλές φυσικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε μικρότερη κλίμακα και δεν μπορούν να προσομοιωθούν επαρκώς από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων σε καλύτερη (μεγαλύτερη) χωρική ανάλυση. Ένας τρόπος για την επίτευξη της καλύτερης χωρικής ανάλυσης είναι ο

δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCMs) σε περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1. Σχηματική αναπαράσταση της μονόδρομης τεχνικής εμφώλευσης RCM. Το σχήμα απεικονίζει τη βελτιστοποίηση στην τοπογραφία και τις ακτογραμμές που προέρχεται από τη χρήση ενός περιοχικού κλιματικού μοντέλου (Giorgi and Gutowski 2015)

Την εξέλιξη των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCMs) αποτελούν τα μοντέλα γήινου συστήματος (Earth System Models – ESMs). Σε αντίθεση με τα GCMs, τα οποία αναπαριστούν τις ατμοσφαιρικές και ωκεάνιες διεργασίες, τα ESMs προσομοιώνουν όλες τις πτυχές του γήινου συστήματος, καθώς περιλαμβάνουν τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτό (Flato 2011). Στην πραγματικότητα, ο πυρήνας των ESMs αποτελείται από τις ατμοσφαιρικές και ωκεάνιες διεργασίες των GCMs με την προσθήκη αναπαραστάσεων του κύκλου του άνθρακα, της δυναμικής βλάστησης, της ατμοσφαιρικής χημείας, της βιογεωχημείας των ωκεανών και των ηπειρωτικών στρωμάτων πάγου. Αντί να γίνεται χρήση προκαθορισμένων δεδομένων εισόδου για την ατμοσφαιρική σύνθεση, ένα ESM μπορεί να προσομοιώσει την αλλαγή αυτών των παραγόντων με την πάροδο του χρόνου σε σχέση με την ανθρωπογενή

δραστηριότητα και τις αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες. Ως αποτέλεσμα, τέτοια μοντέλα μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τη μεταβλητότητα του κλίματος και τον ρόλο των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στις μελλοντικές αλλαγές του κλίματος.

1.1.2 Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs)

Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) είναι αριθμητικά κλιματικά προγνωστικά μοντέλα, τα οποία για να λειτουργήσουν χρησιμοποιούν συγκεκριμένες πλευρικές, ωκεάνιες και ατμοσφαιρικές συνθήκες που προέρχονται από μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) ή από βάσεις δεδομένων που βασίζονται σε παρατηρήσεις (reanalysis). Προσομοιώνουν τις ατμοσφαιρικές και επιφανειακές διαδικασίες, ενώ λαμβάνουν υπόψη τοπογραφικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, τις αντιθέσεις ξηράς και θάλασσας, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και άλλες συνιστώσες του γήινου συστήματος. Καθώς τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα καλύπτουν μια συγκεκριμένη περιοχή, οι οριακές τιμές πρέπει να καθορίζονται ρητά (αναφέρονται ως οριακές συνθήκες) από τα αποτελέσματα ενός μοντέλου γενικής κυκλοφορίας ή από δεδομένα reanalysis. Τα RCMs για να λειτουργήσουν χρησιμοποιούν τις αρχικές συνθήκες και κινούνται στα πλευρικά ατμοσφαιρικά και κατώτερα επιφανειακά όρια με συνθήκες χρονικών μεταβλητών. Έτσι, τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα υποβαθμίζουν την κλίμακα των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας για να προσομοιώσουν τη μεταβλητότητα του κλίματος με τοπικές βελτιώσεις (<https://glossary.ametsoc.org/>).

Στόχος των RCMs είναι η περιγραφή και η αναπαραγωγή των κύριων κλιματικών χαρακτηριστικών που δρουν σε τοπική κλίμακα, εκεί όπου το σύνθετο έδαφος είναι εμφανές και οι δυνάμεις μέσης κλίμακας είναι σημαντικές (Giorgi and Mearns 1991). Η περιοχή της Μεσογείου είναι μια από τις πιο ευαίσθητες περιοχές στην κλιματική αλλαγή (Giorgi 2006). Σύμφωνα με τους Rauscher et al. (2010), οι οποίοι μελέτησαν τις επιπτώσεις της οριζόντιας ανάλυσης στην προσομοίωση της βροχόπτωσης αναλύοντας διαφορετικές προσομοιώσεις περιοχικών κλιματικών μοντέλων με ανάλυση 25km και 50km, και οι δύο αναλύσεις προσομοιώνουν αρκετά ικανοποιητικά το μέσο εποχιακό χωρικό μοτίβο της βροχόπτωσης. Παρόλα αυτά, η αύξηση της οριζόντιας ανάλυσης του μοντέλου οδηγεί στην δημιουργία προσομοιωμένων δεδομένων σε καλύτερη κλίμακα. Οι Tselioudis et al. (2012) μελέτησαν το ρόλο της αυξημένης ανάλυσης στη βροχόπτωση για την ελληνική περιοχή, όπου η ορεογραφία παίζει σημαντικό ρόλο. Από την έρευνα αυτή βρέθηκε ότι η

καλύτερη ανάλυση προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά την τοπική ορεογραφία και τις πιθανές επιδράσεις που μπορεί να έχει στη βροχόπτωση. Αυτά τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με τα ευρήματα της εργασίας των Gao et al. (2006), όπου μελετήθηκαν οι προβλεπόμενες αλλαγές στη βροχόπτωση για την περιοχή της Μεσογείου και βρέθηκε ότι το σήμα της βροχόπτωσης επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά καλύτερης κλίμακας.

Η καλύτερη ανάλυση στο περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM3 για την περιοχή της Ελλάδας ($10 \times 10 \text{ km}$), οδήγησε στη βελτίωση της ικανότητας του μοντέλου να προσομοιώνει τα κλιματικά χαρακτηριστικά (θερμοκρασία, βροχόπτωση, άνεμος) της περιοχής μελέτης, σε σύγκριση με την ανάλυση των $25 \times 25 \text{ km}$ (Tolika et al. 2016). Συγκεκριμένα, η μελέτη αυτή έδειξε ότι η ανάλυση των $10 \times 10 \text{ km}$ προσομοίωσε ικανοποιητικά τις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, τις θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στα νησιά και τη γύρω θάλασσα, τα υψηλά ποσά βροχόπτωσης στις ορεινές περιοχές, τις θερμικές καταιγίδες κατά τους θερινούς μήνες και τους έντονους ανέμους στο Αιγαίο. Επιπρόσθετα, μελέτη του πεδίου του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας για την ελληνική περιοχή με τη χρήση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 (Vagenas et al. 2017), έδειξε ότι αυτό το περιοχικό κλιματικό μοντέλο με υψηλή ανάλυση (10 km) αναπαριστά αρκετά ικανοποιητικά τα χαρακτηριστικά του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον, μια εκτίμηση προσομοιώσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 με χωρική ανάλυση 10 km και 25 km , βασισμένη σε πραγματικούς σταθμούς, έδειξε μια μικρή μείωση στο ετήσιο σφάλμα για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στις προσομοιώσεις καλύτερης κλίμακας πάνω από τις ορεινές περιοχές (Zanis et al. 2015), λαμβάνοντας υπόψη τις μελέτες των Segele et al. (2009), Torma et al. (2011) και Mystakidis et al. (2012) για το ρόλο των σχημάτων κατακόρυφης ανάπτυξης (convection schemes) στις προσομοιώσεις καλύτερης κλίμακας. Σύμφωνα με μελέτη για την επίδραση της παράκτιας τοπογραφίας στο κλίμα, στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, ύστερα από το δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 (Önol 2012), η προσομοίωση υψηλής ανάλυσης (10 km) εντοπίζει με λεπτομέρεια την απότομη τοπογραφία και προσομοιώνει ικανοποιητικά τις θερμοκρασιακές διαφορές που παρατηρούνται στην ανατολική Μαύρη Θάλασσα, τις Μεσογειακές ακτές της Τουρκίας και τις Ιόνιες ακτές της

Ελλάδας. Επιπρόσθετα, η προσομοίωση καλύτερης κλίμακας (10 km) αποτυπώνει την παρατηρούμενη τάση αύξησης της θερμοκρασίας το καλοκαίρι, ενώ μειώνει σημαντικά και το σφάλμα της βροχόπτωσης.

Αυτά τα ευρήματα οδηγούν στην αναγκαιότητα των περιοχικών κλιματικών μοντέλων υψηλής ανάλυσης έτσι ώστε να δημιουργηθούν πιο λεπτομερείς μελλοντικές προβολές. Σε ό,τι αφορά τις μελλοντικές αλλαγές του κλίματος στη Μεσόγειο, πραγματοποιήθηκε από τους Hadjinicolaou et al. (2011) μια αξιολόγηση των κλιματικών και καιρικών ακραίων της Κύπρου στα μέσα του 21^{ου} αιώνα. Οι προβολές έγιναν με τη χρήση έξι διαφορετικών RCMs με χωρική ανάλυση $25 \times 25 \text{ km}$, ενώ για τις μελλοντικές προβολές χρησιμοποιήθηκε το σενάριο εκπομπών SRES A1B. Η μελέτη έδειξε ότι το μέσο κλίμα της περιοχής αλλάζει προς μια θερμότερη κατάσταση, με τα θερμά ακραία να είναι ιδιαίτερα έντονα. Επιπρόσθετα, η ανάλυση των μελλοντικών προβολών από προσομοιώσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 με τη χρήση δυο διαφορετικών GCMs ως «γονέων», καθώς και δύο σεναρίων εκπομπών (RCP4.5 και RCP8.5) για την περιοχή CORDEX-MENA (Μέση Ανατολή, Μεσόγειος και τμήμα της Αφρικής), οδήγησε σε θερμότερες (σχετικά μεγάλη αύξηση των μέσων θερμοκρασιών) και ξηρότερες (μεγάλη μείωση των βροχοπτώσεων) συνθήκες (Ozturk et al. 2018). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές αυτές φαίνεται να είναι πιο έντονες στην περίπτωση του σεναρίου εκπομπών RCP8.5. Σύμφωνα με τους Anagnostopoulou et al. (2014), το αντικυκλωνικό κέντρο δράσης πάνω από την ανατολική Μεσόγειο ενισχύεται, ενώ το σύστημα χαμηλών πιέσεων της ΝΔ Ασίας βαθαίνει. Αυτές οι συνθήκες οδηγούν στην ενίσχυση των Ετησίων στο Αιγαίο και την ανατολική Μεσόγειο στο τέλος του 21^{ου} αιώνα, σύμφωνα με τις προβολές του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 με τη χρήση του σεναρίου εκπομπών SRES A1B.

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι για να μπορέσει να γίνει χρήση των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) έτσι ώστε να μελετηθεί η μεταβλητότητα του κλίματος τοπικά, είναι σημαντική η αξιολόγηση της απόδοσης των μοντέλων αυτών στις διαφορετικές παραμετροποιήσεις που αντιπροσωπεύουν τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα.

1.1.3 Φυσικές Παραμετροποιήσεις

Πολλές εργασίες έχουν γίνει για να εξεταστεί η ευαισθησία των διαφορετικών εκδόσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM σε συγκεκριμένες φυσικές παραμετροποιήσεις. Οι Torma et al. (2011) πραγματοποίησαν έλεγχο του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 με υψηλή χωρική ανάλυση στην περιοχή των Καρπαθίων. Η έρευνα αυτή έδειξε ότι το RegCM3 προσομοιώνει ικανοποιητικά τα βασικά χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας, τη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια ενός έτους και τη συχνότητα των υγρών και ξηρών περιόδων, ύστερα από την προσαρμογή κάποιων παραμέτρων – όπως είναι ο ρυθμός μετατροπής νέφους σε βροχή (cloud-to-rain autoconversion rate), ο συντελεστής ρυθμού εξάτμισης βροχοσταγόνας (raindrop evaporation rate coefficient) και ο ρυθμός αύξησης βροχοσταγόνας (raindrop accretion rate) – στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης Grell για τη μείωση των υγρών και θερμών αποκλίσεων (wet and cold biases). Έρευνα των Pieczka et al. (2017) έδειξε ότι η καλύτερη απόδοση του RegCM4.3 στην περιοχή των Καρπαθίων επιτυγχάνεται από ένα συνδυασμό σχημάτων κατακόρυφης ανάπτυξης πάνω από ξηρά και θάλασσα. Σύμφωνα με τους Zanis et al. (2009), το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης MIT-Emanuel παράγει περισσότερη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης στην Ευρώπη σε σχέση με τις δύο διαφορετικές Grell παραμέτρους (Fritsch-Chappell και Arakawa-Schubert). Στη μελέτη αυτή τονίζεται ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η βροχόπτωση είναι ενισχυμένη στην κεντρική-ανατολική Ευρώπη, ενώ στη βορειοανατολική Ευρώπη η ενίσχυση είναι μικρή. Η πιο έντονη ανωμεταφορά (convection) που λαμβάνει χώρα στο MIT-Emanuel σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης φαίνεται να είναι η αιτία για αυτή τη διαφορά. Επιπλέον, μια ψυχρή απόκλιση (cold bias) στη θερμοκρασία επιφανείας εντοπίζεται και στα δύο σχήματα της Grell παραμετροποίησης. Η ψυχρή απόκλιση (cold bias) παρατηρείται επίσης στα νησιά και στις χερσονήσους της Καραϊβικής (Martínez-Castro et al. 2006).

Σε έρευνα όπου γίνεται αξιολόγηση προσομοιώσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 για την περίοδο 1982-1999 στην Αφρική (Segele et al. 2009), βρέθηκε ότι η μέση βροχόπτωση αναπαράγεται ικανοποιητικά από ένα τροποποιημένο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης MIT-Emanuel, όπως και η μεταβλητότητα της παραμέτρου κατά τη διάρκεια ενός έτους στο Κέρας της Αφρικής. Η μελέτη της ευαισθησίας του περιοχικού

κλιματικού μοντέλου RegCM4 στα σχήματα κατακόρυφης ανάπτυξης στην κεντρική Αφρική (Komkoura Mbienda et al. 2017) έδειξε ότι υπάρχει καλύτερη συμφωνία για τη θερμοκρασία με το σχήμα MIT-Emanuel, όμως άλλες προσομοιωμένες παράμετροι τείνουν να υπερεκτιμούνται από το συγκεκριμένο σχήμα. Σε μελέτη των Οικονομου et al. 2010, όπου μελετήθηκε η σχέση της ορεογραφίας με την ακραία ξηρασία στην Ελλάδα το καλοκαίρι του έτους 1993, έγινε χρήση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3.1 με το σχήμα MIT-Emanuel για την εκτίμηση της βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης. Ο έλεγχος του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δεδομένων σταθμών και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μοντέλο προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά τη βροχόπτωση στην περιοχή μελέτης τη συγκεκριμένη περίοδο. Οι Ali et al. (2015) μελέτησαν την ευαισθησία των σχημάτων κατακόρυφης ανάπτυξης στο περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4.3 για την περιοχή της Ασίας. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η απόδοση του σχήματος Grell είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με τα υπόλοιπα σχήματα κατακόρυφης ανάπτυξης. Όλα τα σχήματα παρουσίασαν μια ξηρή απόκλιση (dry bias), με εξαίρεση το σχήμα Grell το οποίο παράγει περισσότερη βροχόπτωση κυρίως κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου.

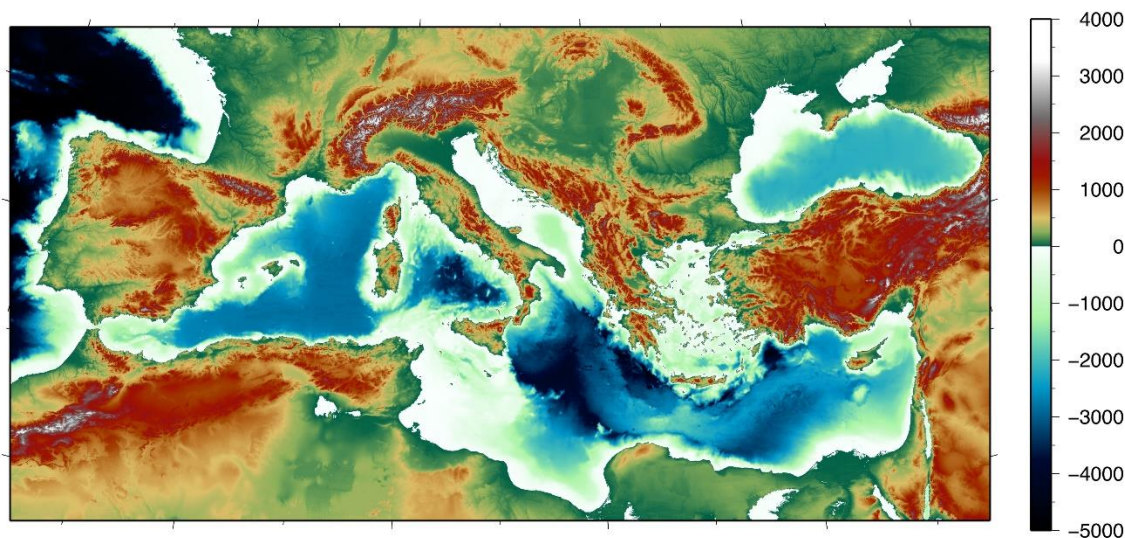
Στην έρευνα των Martínez-Castro et al. 2006 μελετήθηκε επίσης η ευαισθησία του RegCM στα σχήματα ωκεάνιων ροών. Το σχήμα ωκεάνιων ροών BATS1e μειώνει τη ψυχρή απόκλιση (cold bias) και παράγει περισσότερη βροχόπτωση (με το ποσοστό της βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης να είναι μεγαλύτερο). Η έρευνα των Komkoura Mbienda et al. (2017) έδειξε επίσης ότι η ποιότητα των προσομοιώσεων στην κεντρική Αφρική είναι βελτιωμένη με το σχήμα ωκεάνιων ροών BATS1e σε σχέση με το σχήμα Zeng.

Σύμφωνα με τους Güttler et al. (2014), αλλαγές στην κλιματολογία του μοντέλου μπορεί να είναι εφικτές με την αλλαγή στην παραμετροποίηση του σχήματος πλανητικού οριακού στρώματος. Αυτή η μελέτη δείχνει τα πλεονεκτήματα του σχήματος UW-PBL σε περιοχές που παρουσιάζουν ιδιαίτερα θερμές και σχετικά ξηρές συνθήκες. Συγκεκριμένα, προσομοιώσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4.2, στις οποίες ελέγχθηκαν δύο διαφορετικά σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος (Holtslag PBL και UW-PBL), το σχήμα UW-PBL έδειξε σημαντική ψύξη στην Ευρώπη.

1.2 ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ: ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

1.2.1 Χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τη μελέτη των Lionello et al. (2006), η περιοχή της Μεσογείου έχει πολλά μορφολογικά, γεωγραφικά, ιστορικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά, τα οποία κάνουν το κλίμα της ενδιαφέρον σε επιστημονικό επίπεδο. Η ύπαρξη μιας σχετικά μεγάλης υδάτινης μάζας είναι μοναδική στην περιοχή της Μεσογείου. Η Μεσόγειος θάλασσα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια σχεδόν κλειστή λεκάνη που συνδέεται με τον Ατλαντικό ωκεανό μέσω του Στενού του Γιβραλτάρ, το οποίο έχει 14.5 km πλάτος και κάτω από 300 m βάθος. Εντοπίζεται στη δυτική πλευρά μιας μεγάλης ηπειρωτικής περιοχής και περιβάλλεται από την Ευρώπη στο Βορρά, την Αφρική στο Νότο και την Ασία στην Ανατολή. Η περιοχή, εξαιρουμένης της Μαύρης θάλασσας, είναι περίπου $2.5\text{ εκατομμύρια km}^2$, ενώ η έκτασή της είναι περίπου 3700 km σε γεωγραφικό μήκος και 1600 km σε γεωγραφικό πλάτος. Η Μεσόγειος θάλασσας έχει μέσο βάθος 1500 m , ενώ η μέγιστη τιμή του φτάνει τα 5150 m στο Ιόνιο. Αυτά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά (Σχήμα 1.2) κάνουν την Μεσόγειο μια ιδιαίτερα ιδιόμορφη περιοχή.



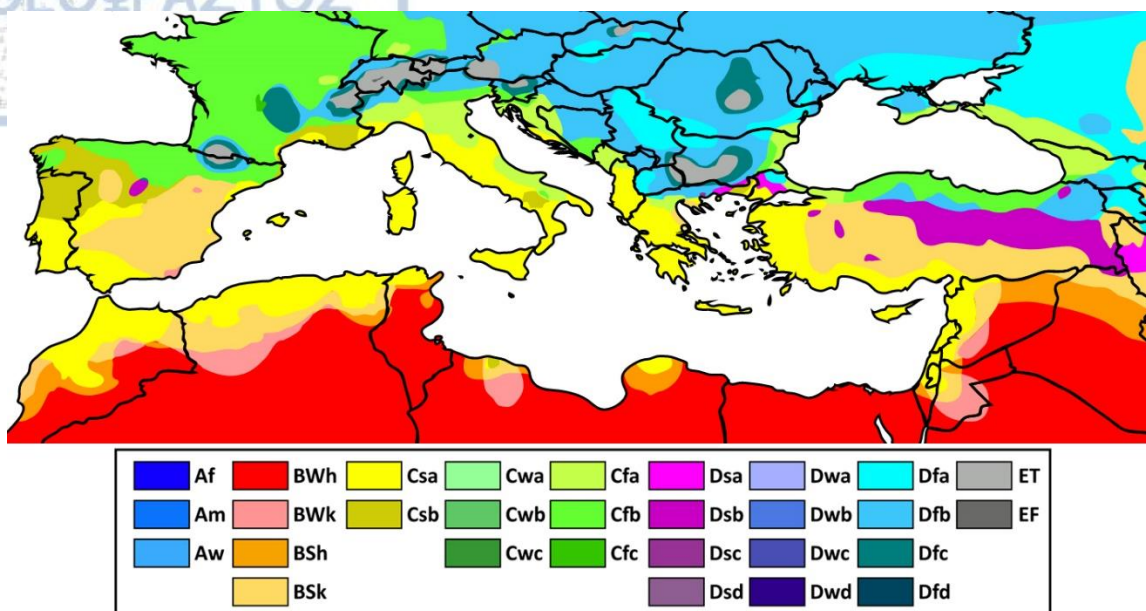
Σχήμα 1.2. Τοπογραφία και βαθυμετρία της Μεσογείου

Η πολύπλοκη μορφολογία λόγω της ύπαρξης έντονων ορογραφικών χαρακτηριστικών, οι ευδιάκριτες λεκάνες και οι κόλποι, καθώς και τα νησιά και οι χερσόνησοι διαφόρων μεγεθών (Σχήμα 1.2) χαρακτηρίζουν την περιοχή της Μεσογείου.

Η Μεσόγειος θάλασσα περιβάλλεται σχεδόν σε κάθε πλευρά από υψηλές κορυφογραμμές, οι οποίες τείνουν να δημιουργούν πολύ πιο έντονα κλιματολογικά χαρακτηριστικά απ' ότι θα αναμενόταν χωρίς την ύπαρξή τους. Οι Άλπεις φτάνουν σε μέγιστο ύψος τα 4800 m και είναι η υψηλότερη οροσειρά της Μεσογείου. Επιπλέον, περιλαμβάνουν μόνιμους παγετώνες και παρουσιάζει ένα παχύ και εκτεταμένο κάλυμμα χιονιού το χειμώνα. Τα νησιά, οι χερσόνησοι και πολλές τοπικές θάλασσες και λεκάνες προσδιορίζουν ένα πολύπλοκο μοτίβο κατανομής ξηράς - θάλασσας. Αυτά τα χαρακτηριστικά (έντονη τοπογραφία, εναλλαγές ανάμεσα σε ηπειρωτικό και θαλάσσιο κορμό) δείχνουν τη μεγάλη χωρική μεταβλητότητα που χαρακτηρίζει την περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την ύπαρξη πολλών τοπικών και μέσης κλίμακας χαρακτηριστικών, με αποτέλεσμα να επιδρούν σημαντικά στη θαλάσσια και ατμοσφαιρική κυκλοφορία.

1.2.2 Μεσογειακό Κλίμα

Η έννοια του Μεσογειακού κλίματος (Σχήμα 1.3) εμπεριέχεται στην ποιοτική ταξινόμηση των διαφορετικών κλιμάτων της Γης (Köppen 1936) και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κλίματος και άλλων περιοχών, εκτός από την ίδια την περιοχή της Μεσογείου, οι οποίες είναι γενικά μικρότερες. Το Μεσογειακό κλίμα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από διεργασίες πλανητικής κλίμακας. Σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του κλίματος και των τηλεσυνδέσεων που το επηρεάζουν σε κλίμακα λεκάνης έχει η ορεογραφία και η κατανομή ξηράς και θάλασσας στη λεκάνη της Μεσογείου, καθώς η πολυπλοκότητα των τοπογραφικών της χαρακτηριστικών υποδηλώνει την παρουσία χαρακτηριστικών μέσης κλίμακας και ενδοεποχιακής μεταβλητότητας στις διεργασίες που επηρεάζουν το κλίμα της περιοχής. Οι ήπιοι και υγροί χειμώνες και τα θερμά έως πολύ θερμά και ξηρά καλοκαίρια, είναι το βασικό χαρακτηριστικό του Μεσογειακού κλίματος, το οποίο μπορεί να εντοπιστεί στη δυτική πλευρά των ηπείρων μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 30° και 40° (Lionello et al. 2006). Επιπρόσθετα, η άνοιξη και το φθινόπωρο θεωρούνται μεταβατικές περίοδοι. Συγκεκριμένα, η άνοιξη είναι μια αρκετά ασταθής εποχή με εναλλαγή από ημέρες που έχουν χαρακτηριστικά των ψυχρών μηνών σε ημέρες που έχουν χαρακτηριστικά των θερμών μηνών, ενώ το φθινόπωρο έχει συνήθως μικρότερη διάρκεια και παρομοιάζει αρκετά με το χειμώνα καθώς θεωρείται ως μια απότομη μετάβαση προς αυτή την εποχή (Bartzokas 1989).



Σχήμα 1.3. Κατάταξη κλιμάτων κατά Köppen για την περιοχή της Μεσογείου (Peel et al. 2007)

Σε ό,τι αφορά τις θερμοκρασίες, οι ηπειρωτικές περιοχές παρουσιάζουν μικρότερες θερμοκρασίες το χειμώνα και μεγαλύτερες το καλοκαίρι σε σχέση με τις παραθαλάσσιες περιοχές, κάτι που δείχνει την επίδραση της θάλασσας στο κλίμα της περιοχής. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι ελάχιστες θερμοκρασίες μπορούν να φτάσουν τους -20°C σε περιοχές συνήθως μεγάλου υψόμετρου που εμφανίζουν συνθήκες ηπειρωτικού χαρακτήρα. Αντίθετα, το καλοκαίρι οι μέγιστες θερμοκρασίες φτάνουν και τους 45°C σε ορισμένες περιοχές (καύσωνας) δίνοντας την αίσθηση ερημικών συνθηκών. Σχετικά με τη μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή της Μεσογείου, αυτή κυμαίνεται μεταξύ κάτω του μηδενός στις ορεινές περιοχές των Άλπεων και 22°C ακόμα και κοντά στις ακτές. Το εύρος της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερο στους σταθμούς που βρίσκονται στη ξηρή ενδοχώρα σε σχέση με τις ακτές της Μεσογείου και οι διαφορές μεταξύ των σταθμών είναι μεγαλύτερες το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα (Bolle 2003).

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του Μεσογειακού κλίματος είναι η μεγάλη διακύμανση της βροχόπτωσης ανάλογα με την περιοχή και την εποχή και η ανομοιόμορφη κατανομή της. Οι ψυχροί μήνες είναι κατά κύριο λόγο υγροί, ενώ αντίθετα οι θερμοί μήνες χαρακτηρίζονται ως ξηροί με ελάχιστη έως μηδενική βροχόπτωση. Χωρικά, τα μεγαλύτερα ποσά βροχής καταγράφονται στις προσήνεμες περιοχές, ενώ μείωση της βροχόπτωσης παρατηρείται από τα βόρεια προς τα νότια της Μεσογείου και από τα δυτικά

προς τα ανατολικά (Maheras 1985). Οι περιοχές με Μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζονται συνήθως από μέσο ετήσιο ύψος βροχής της τάξεως των 350 έως 1000 *mm*, ενώ υπάρχουν και περιοχές όπου το ετήσιο ύψος βροχής δεν ξεπερνάει τα 200 *mm*, καθώς και περιοχές με περισσότερο από 2000 *mm* ετήσιο βροχομετρικό ύψος (Bolle 2003). Σύμφωνα με τον Goossens (1985), η λεκάνη της Μεσογείου χωρίζεται σε πέντε διαφορετικές ζώνες με διαφορετικά βροχομετρικά χαρακτηριστικά ύστερα από την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες (PCA) σε σταθμούς της Μεσογείου. Συγκεκριμένα:

1. Βορειοδυτική Ισπανία, βόρεια Πορτογαλία, βόρεια Ιταλία και ανατολικό τμήμα Μεσογειακής Γαλλίας → Βροχόπτωση πάνω από 700 *mm* με ομοιόμορφη κατανομή
2. Βορειοανατολική και νότια Ισπανία, νότια Πορτογαλία και δυτικό τμήμα Μεσογειακής Γαλλίας → Βροχόπτωση κυρίως το χειμώνα. Ελάχιστη βροχόπτωση (~ 50 *mm*) το καλοκαίρι
3. Βαλεαρίδες νήσοι, κεντρικό τμήμα Ιταλίας, βόρεια Ελλάδα και τμήμα Βαλκανικής Χερσονήσου → Βροχόπτωση κυρίως το χειμώνα. Το καλοκαίρι παρατηρείται βροχόπτωση στα βόρεια τμήματα (~ 80 *mm*), ενώ προς τα νότια η ποσότητα (~ 20 *mm*) και η διάρκεια της βροχής μειώνονται σταδιακά
4. Νοτιοανατολική Ιταλία, Κροατία, Σερβία και Αλβανία → Μέγιστο βροχής το χειμώνα. Το καλοκαίρι χαρακτηρίζεται σχεδόν από ανομβρία, αλλά εντοπίζονται και σημαντικά ύψη νετού
5. Νότια Ελλάδα → Αισθητά λιγότερη βροχόπτωση με ξηρασία κατά το καλοκαίρι

Η διαμόρφωση του Μεσογειακού κλίματος όπως περιεγράφηκε παραπάνω, εκτός από τα ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Μεσογείου οφείλεται και στη γεωγραφική κατανομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των συνοπτικών συστημάτων της περιοχής. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι ζώνες της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μετατοπίζονται νοτιότερα με αποτέλεσμα να επικρατούν υφεσιακά συστήματα (χαμηλό της Ισλανδίας), τα οποία είναι υπεύθυνα για τις υψηλές βροχοπτώσεις, και ψυχρές (πολικές) αέριες μάζες που οφείλονται επίσης στην εξάπλωση του Σιβηρικού αντικυκλώνα προς τα δυτικά της Μεσογείου (Makrogiannis et al. 1981). Αντίθετα, το καλοκαίρι ο αντικυκλώνας των Αζορών εξαπλώνεται ανατολικά, ενώ το σύστημα χαμηλών πιέσεων

της ΝΔ Ασίας εντοπίζεται δυτικά. Τα δύο αυτά συστήματα είναι υπεύθυνα για τη μεσημβρινή διάταξη των ισοβαρών κατά τη διάρκεια του θέρους, η οποία έχει ως αποτέλεσμα και την εμφάνιση ισχυρών ανέμων στο ανατολικό τμήμα της Μεσογείου, γνωστών και ως Ετησίες (Reddaway and Bigg 1996, Lolis et al. 2002).

1.3 ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ (IPCC)

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) είναι ένας οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών που στόχο έχει την αξιολόγηση των κλιματικών αλλαγών, την παροχή επιστημονικών πληροφοριών σχετικών με τις κλιματικές αλλαγές και τις περιβαλλοντικές, κοινωνικοπολιτικές και οικονομικές επιπτώσεις που μπορεί να έχουν, καθώς επίσης και την πρόταση πιθανών τρόπων αντιμετώπισής τους. Δημιουργήθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και στη συνέχεια επικυρώθηκε από τη Γενική Συνέλευση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (UNGA).

Η IPCC έχει εκδώσει μέχρι στιγμής πέντε περιεκτικές εκθέσεις αξιολόγησης για την αλλαγή του κλίματος. Κάθε έκθεση αξιολόγησης βασίζεται σε μια εκτεταμένη βιβλιογραφία από επιστήμονες ανά τον κόσμο και εξελίσσει τα αποτελέσματα με τη χρήση νέων βάσεων δεδομένων, προηγμένων κλιματικών μοντέλων και σεναρίων εκπομπών για τις μελλοντικές προβολές του κλίματος, και εξελιγμένων τεχνικών ανάλυσης και αξιολόγησης των αλλαγών στο κλίμα. Το 2014 εκδόθηκε η Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (AR5), ενώ σε εξέλιξη βρίσκεται και η εκπόνηση της Έκτης Έκθεσης Αξιολόγησης (AR6), η οποία αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2022.

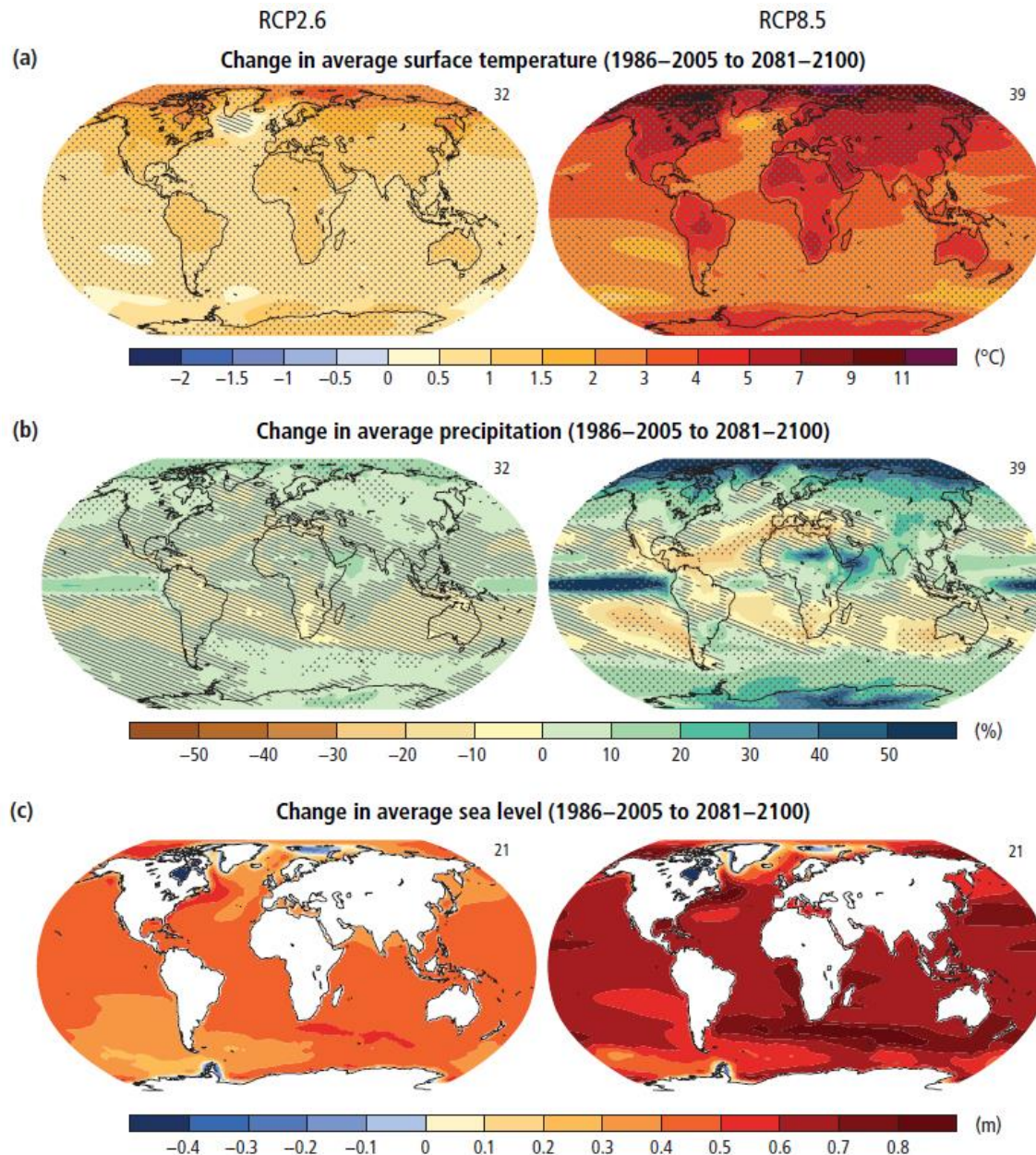
Σύμφωνα με την Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (IPCC 2014), το κλιματικό σύστημα επηρεάζεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και τις ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπικών αερίων, οι οποίες τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί λόγω της οικονομικής ανάπτυξης που οφείλεται σε αποδοτικότερες τεχνολογίες και στην έντονη χρήση φυσικών (μη ανανεώσιμων) πηγών ενέργειας όπως είναι το πετρέλαιο, οι γαιάνθρακες κλπ., και της αύξησης του πληθυσμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και οξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Οι επιπτώσεις αυτών των συγκεντρώσεων στο κλιματικό σύστημα, σε συνδυασμό με την επίδραση και άλλων ανθρωπογενών παραγόντων (π.χ. η αλλαγή στη χρήση γης), είναι πιθανό να αποτελούν τη

βασική αιτία για την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα έως σήμερα. Οι τελευταίες παρατηρούμενες κλιματικές αλλαγές είχαν σημαντικές επιπτώσεις στο ανθρώπινο και φυσικό περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι εμφανής τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στους ωκεανούς, οι ποσότητες χιονιού και πάγου έχουν οι μειωθεί και η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί. Η μέση θέρμανση της επιφάνειας του πλανήτη μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα και μετά, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις αθροιστικές εκπομπές CO₂. Η συνεχής εκπομπή θερμοκηπικών αερίων θα οδηγήσει σε περαιτέρω θέρμανση και μακροχρόνιες αλλαγές, αυξάνοντας την πιθανότητα πιο σοβαρών επιπτώσεων για τον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα.

Σε ό,τι αφορά τις παρατηρούμενες αλλαγές στο κλιματικό σύστημα, οι τελευταίες τρεις δεκαετίες είναι διαδοχικά θερμότερες, ενώ η περίοδος 1983-2012 φαίνεται να είναι η θερμότερη τριαντακονταετία στο Βόρειο Ημισφαίριο. Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία παρουσιάζει αυξητική τάση της τάξεως των 0.85°C για την περίοδο 1983-2012 (Jones et al. 2012). Σχετικά με τη βροχόπτωση για το Βόρειο Ημισφαίριο, φαίνεται να έχει αυξηθεί από το 1901 στις περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους. Στην περίπτωση των ωκεανών παρατηρείται θέρμανση σε παγκόσμια κλίμακα, η οποία είναι μεγαλύτερη κοντά στην επιφάνεια και φτάνει τους 0.11°C από το 1971 έως το 2010. Τέλος, την περίοδο 1901-2010, η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά 0.19 m (Church and White 2011).

Οι μελλοντικές προβολές του κλίματος (Σχήμα 1.4) δείχνουν αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα κάτω από όλα τα σενάρια εκπομπών. Είναι πολύ πιθανό να υπάρξει μεγαλύτερη συχνότητα των κυμάτων καύσωνα, τα οποία θα έχουν και μεγαλύτερη διάρκεια (Fischer and Schär 2010). Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί από 0.3°C έως 0.7°C μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, ενώ η αύξηση πιθανώς να ξεπεράσει τους 1.5°C – 2°C μέχρι το τέλος του αιώνα (Meehl et al. 2005a). Οι αλλαγές στη βροχόπτωση δεν θα είναι ενιαίες. Στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη η μέση ετήσια βροχόπτωση αναμένεται να αυξηθεί. Σε πολλές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους και σε υποτροπικές περιοχές όπου επικρατούν ξηρές συνθήκες, η μέση βροχόπτωση πιθανώς θα παρουσιάσει μείωση, ενώ σε πολλές υγρές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους η μέση βροχόπτωση αναμένεται να αυξηθεί (Meehl et al. 2005b). Τα έντονα επεισόδια βροχής θα είναι πιο έντονα και συχνά σε πολλές περιοχές. Σε ό,τι αφορά τους ωκεανούς, οι μελλοντικές προβολές δείχνουν μια συνεχή θέρμανση αλλά και

οξίνιση (μείωση του pH) κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, ενώ και η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί, με την αύξηση να μην είναι ενιαία σε όλες τις περιοχές (Meehl et al. 2005a, Riebesell et al. 2009).



Σχήμα 1.4. Αλλαγές a) στη μέση θερμοκρασία, b) στη μέση βροχόπτωση και c) στη μέση στάθμη της θάλασσας για την μελλοντική περίοδο 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο 1986-2005, σύμφωνα με τα σενάρια RCP2.6 (αριστερά) και RCP8.5 (δεξιά). Ο αριθμός των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε περίπτωση σημειώνεται στην πάνω δεξιά γωνία κάθε χάρτη (IPCC 2014)

1.3.1 Representative Concentration Pathways (RCPs)

Τα Representative Concentration Pathways (RCPs) αποτελούν τα πιο σύγχρονα σενάρια εκπομπών, τα οποία χρησιμοποιούνται στα κλιματικά μοντέλα για τις μελλοντικές προβολές του κλίματος. Ο όρος διαδρομές (pathways) χρησιμοποιείται για να δοθεί έμφαση στον κύριο στόχο των RCPs που είναι η παροχή χρονικά εξαρτώμενων προβολών των συγκεντρώσεων θερμοκηπικών αερίων (GHGs). Είναι αντιπροσωπευτικά (representative) όλων των διαφορετικών σεναρίων που υφίστανται στη βιβλιογραφία, τα οποία έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά εκπομπών και radiative forcing (RF). Τα RCPs πρέπει να είναι συμβατά με ένα πλήρες φάσμα βασικών σεναρίων σταθεροποίησης και μείωσης εκπομπών που είναι διαθέσιμα στην τρέχουσα επιστημονική βιβλιογραφία, και θα πρέπει να περιέχουν πληροφορίες για παράγοντες εκτός από τις συγκεντρώσεις και τις εκπομπές μακροχρόνιων θερμοκηπικών αερίων (GHGs), όπως είναι οι εκπομπές των ενεργών αερίων και αερολυμάτων, η χρήση γης και οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες (Moss et al. 2008). Έχουν δημιουργηθεί τέσσερα διαφορετικά RCPs που συνοψίζονται στον Πίνακα 1.1, ενώ το RF του κάθε σεναρίου απεικονίζεται στο Σχήμα 1.5. Τα τέσσερα αυτά RCPs θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικά της βιβλιογραφίας και περιλαμβάνουν ένα σενάριο μείωσης που οδηγεί σε πολύ χαμηλό RF (RCP2.6), δύο ενδιάμεσα σενάρια σταθεροποίησης (RCP4.5/RCP6) και ένα σενάριο με πολύ υψηλό RF (RCP8.5). Πιο αναλυτικά:

- Το σενάριο RCP8.5 συνδυάζει υποθέσεις για μεγάλη αύξηση πληθυσμού και σχετικά αργή οικονομική ανάπτυξη με μέτριους ρυθμούς τεχνολογικής αλλαγής και βελτίωσης έντασης ενέργειας, με αποτέλεσμα μακροπρόθεσμα να υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας και εκπομπών θερμοκηπικών αερίων (GHG) χωρίς πολιτική για την αλλαγή του κλίματος. Οι εκπομπές θερμοκηπικών αερίων (GHG) και οι συγκεντρώσεις σε αυτό το σενάριο αυξάνουν σημαντικά με το χρόνο και οδηγούν σε ένα RF της τάξεως των 8.5 W/m^2 μέχρι το τέλος του αιώνα (Riahi et al. 2011).

- Το RCP6 αποτελεί ένα σενάριο παρέμβασης για την κλιματική πολιτική που περιγράφει τις τάσεις μακροπρόθεσμων εκπομπών θερμοκηπικών αερίων (GHG), με βραχύβια είδη και αλλαγές στη χρήση γης, και οδηγεί στη σταθεροποίηση του RF στα 6 W/m^2 μέχρι το 2100 χωρίς να υπερβαίνει αυτή την τιμή τα προηγούμενα έτη (Masui et al. 2011).

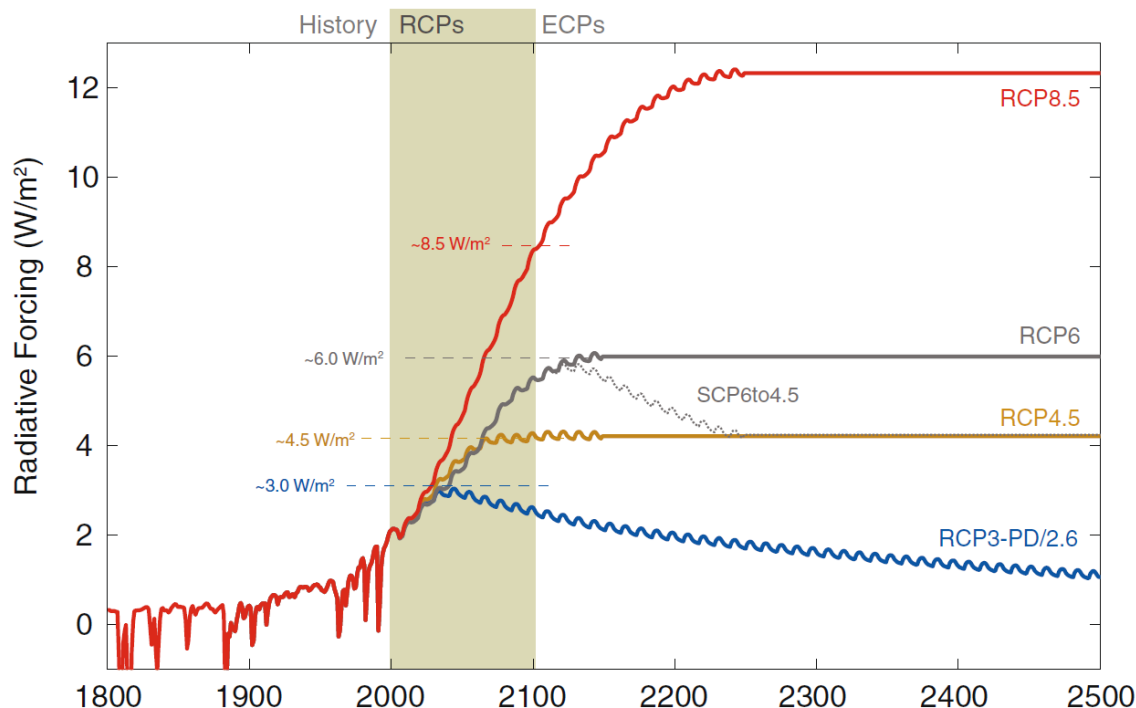
Πίνακας 1.1. Σύνοψη των representative concentration pathways (RCPs)

RCP	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
RCP8.5	Αύξηση (8.5 W/m^2 — $\sim 1370 \text{ ppm CO}_2 \text{ eq}$) μέχρι το 2100 (αρχικό: Riahi et al. 2007 – εξέλιξη: Riahi et al. 2011)
RCP6	Σταθεροποίηση χωρίς υπέρβαση (6 W/m^2 — $\sim 850 \text{ ppm CO}_2 \text{ eq}$) σε σταθεροποίηση μετά το 2100 (αρχικό: Fujino et al. 2006, Hijioaka et al. 2008 – εξέλιξη: Masui et al. 2011)
RCP4.5	Σταθεροποίηση χωρίς υπέρβαση (4.5 W/m^2 — $\sim 650 \text{ ppm CO}_2 \text{ eq}$) σε σταθεροποίηση μετά το 2100 (αρχικό: Clarke et al. 2007, Smith and Wigley 2006, Wise et al. 2009 – εξέλιξη: Thomson et al. 2011)
RCP2.6 (RCP3-PD¹)	Μέγιστο ($\sim 3 \text{ W/m}^2$ — $\sim 490 \text{ ppm CO}_2 \text{ eq}$) πριν το 2100 και μετά ελάττωση (μειώνεται σε 2.6 W/m^2 μέχρι το 2100) (αρχικό: Van Vuuren et al. 2006, Van Vuuren et al. 2007 – εξέλιξη: van Vuuren et al. 2011b)

¹ PD = Peak and Decline (μέγιστο και μείωση)

- Το RCP4.5 είναι ένα σενάριο που περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες εκπομπές θερμοκηπικών αερίων (GHG), βραχύβια είδη και χρήση γης σε παγκόσμιο οικονομικό πλαίσιο. Σταθεροποιεί το RF στα 4.5 W/m^2 μέχρι το 2100 χωρίς να υπερβαίνει αυτή την τιμή τα προηγούμενα έτη. Η επιτακτική ανάγκη περιορισμού των εκπομπών για την επίτευξη του στόχου του RF οδηγεί σε αλλαγές στο ενεργειακό σύστημα που περιλαμβάνουν αλλαγές στην ηλεκτρική ενέργεια, μείωση των εκπομπών ενεργειακών τεχνολογιών και ανάπτυξη τεχνολογίας δέσμευσης άνθρακα και γεωλογικής αποθήκευσης (Thomson et al. 2011).

- Το σενάριο RCP2.6 θεωρείται αντιπροσωπευτικό της βιβλιογραφίας σχετικά με σενάρια μείωσης που στοχεύουν στον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας στους 2°C . Το σενάριο αυτό στηρίζεται στην υπόθεση μεσαίας ανάπτυξης πληθυσμού, οικονομίας, χρήσης ενέργειας και χρήσης γης. Σύμφωνα με αυτό, παρατηρείται σαφής αύξηση της χρήσης βιοενέργειας καθώς και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (van Vuuren et al. 2011b). Το σενάριο RCP2.6 είναι γνωστό και ως RCP3-PD για να δοθεί έμφαση στην πορεία του RF (μέγιστο στα 3 W/m^2 πριν το 2100 και ελάττωση στα 2.6 W/m^2 μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα) (Van Vuuren et al. 2011a).



Σχήμα 1.5. Συνολικό RF (ανθρωπογενές και φυσικό) για τα τέσσερα RCPs και τα εκτεταμένα σενάρια (extended concentration pathways – ECPs) μετά το 2100, καθώς και μια συμπληρωματική επέκταση του RCP6 προς το RCP4.5 (SCP6to4.5) με προσαρμογή των εκπομπών μετά το 2100 ώστε να φτάσει τα επίπεδα συγκεντρώσεων του RCP4.5 μετά το 2250. Τονίζεται ότι αυτά τα RFs αναφέρονται στις επεξηγηματικές προκαθορισμένες μέσες εκτιμήσεις. Υπάρχει ουσιαστική αβεβαιότητα στα τρέχοντα και μελλοντικά επίπεδα RF για κάθε σενάριο (Meinshausen et al. 2011)

Στην Έκτη Έκθεσης Αξιολόγησης (AR6) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), η οποία αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2022, θα πραγματοποιηθεί η παρουσίαση μιας σειράς κοινωνικοοικονομικών σεναρίων (Shared Socioeconomic Pathways – SSPs), και θα γίνει ανάλυση και αντιπαράθεση των σεναρίων αυτών με τα υπάρχοντα Representative Concentration Pathways (RCPs). Στόχος των SSPs είναι να αποτελέσουν τη σύγχρονη έκδοση των RCPs, ενώ κάποια από αυτά τα σενάρια έχουν ήδη επιλεγεί για να χρησιμοποιηθούν για τις μελλοντικές προβολές των κλιματικών μοντέλων του CMIP6.

1.4 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Κύριος στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής ορίστηκε αρχικά η βελτίωση της ικανότητας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4.4.5.1 στην προσομοίωση διαφόρων κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου και στη συνέχεια, ο δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας του μοντέλου αυτού με χωρική ανάλυση $10 \times 10 km$, έτσι ώστε να δημιουργηθούν λεπτομερείς προσομοιώσεις υψηλής χωρικής ανάλυσης για τον Ελληνικό χώρο. Τελικός στόχος της διατριβής είναι η ανάπτυξη των μελλοντικών προβολών του μοντέλου και η δημιουργία όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων σεναρίων για τις αλλαγές στο μελλοντικό κλίμα στην Ελληνική περιοχή ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Τα δεδομένα που θα εξαχθούν θα αποτελέσουν μια από τις πιο σύγχρονες, υψηλής ανάλυσης βάσεις δεδομένων για τις κλιματικές συνθήκες στο παρόν και στο μέλλον, μιας περιοχής με ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά όπως είναι η Ελλάδα.

Για την ολοκλήρωση της διδακτορικής αυτής διατριβής και την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν, ακολουθήθηκε μια σειρά ενεργειών που αναλύονται στη συνέχεια. Συγκεκριμένα, η παρούσα έρευνα αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και το γενικό πλαίσιο της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Γίνεται αναλυτική περιγραφή του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM, καθώς και των φυσικών παραμετροποιήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στις διαφορετικές προσομοιώσεις του μοντέλου. Επιπρόσθετη μεθοδολογία που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες ενέργειες αναλύεται σε κάθε αντίστοιχο κεφάλαιο.
2. Για την επίτευξη του αρχικού στόχου της διδακτορικής διατριβής, στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται έλεγχος ευαισθησίας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4.4.5.1. Ο έλεγχος ευαισθησίας γίνεται με αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και συγκεκριμένα στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης (convection scheme), στο σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος (planetary boundary layer scheme) και στο σχήμα ωκεάνιων ροών (ocean flux scheme), ώστε να βρεθεί αν τέτοιου είδους αλλαγές στις φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερη προσομοίωση του παρόντος κλίματος από το μοντέλο. Οι αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις γίνονται σε διαφορετικές προσομοιώσεις (περίοδος 10 ετών), οι οποίες ελέγχονται με βάση μια

- προσομοίωση αναφοράς. Στις προσομοιώσεις αυτές, ως δεδομένα αρχικών και οριακών συνθηκών χρησιμοποιούνται αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim. Από τα αποτελέσματα αυτού του κεφαλαίου γίνεται επιλογή του πιθανού καταλληλότερου συνδυασμού φυσικών παραμετροποιήσεων για τη βελτίωση της ικανότητας του μοντέλου να προσομοιώνει τις κλιματικές παραμέτρους στη Μεσόγειο.
3. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 4, πραγματοποιούνται δύο προσομοιώσεις με χρήση του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας HadGEM2 ως «γονέα». Η μία προσομοίωση χρησιμοποιεί τις φυσικές παραμετροποιήσεις της προσομοίωσης αναφοράς και η άλλη τον συνδυασμό φυσικών παραμετροποιήσεων που επιλέχθηκε στο προηγούμενο βήμα. Η χωρική ανάλυση των προσομοιώσεων είναι $25 \times 25 km$. Στόχος είναι να ελεγχθεί εάν ο συγκεκριμένος συνδυασμός των φυσικών παραμετροποιήσεων είναι εντέλει ο καταλληλότερος για την περιοχή μελέτης, ώστε να χρησιμοποιηθεί στην τελική προσομοίωση στην οποία θα πραγματοποιηθεί ο δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας. Τα προσομοιωμένα δεδομένα των δύο προσομοιώσεων συγκρίνονται με τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim, καθώς και με πραγματικά δεδομένα από σταθμούς της περιοχής μελέτης που προέρχονται από τη βάση δεδομένων ECA&D, για την περίοδο αναφοράς.
 4. Στο Κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται ο δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου με χωρική ανάλυση $10 \times 10 km$ για τον Ελληνικό χώρο και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της προηγούμενης πιο αδρής χωρικής κλίμακας ($25 \times 25 km$). Επιπρόσθετα, πραγματοποιούνται οι μελλοντικές προβολές του μοντέλου με χωρική ανάλυση $10 \times 10 km$ για την Ελληνική περιοχή και γίνεται η επεξεργασία των προσομοιωμένων δεδομένων για διάφορες κλιματικές παραμέτρους για δύο μελλοντικές περιόδους ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα.
 5. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 αναφέρονται τα γενικά συμπεράσματα της διδακτορικής αυτής διατριβής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

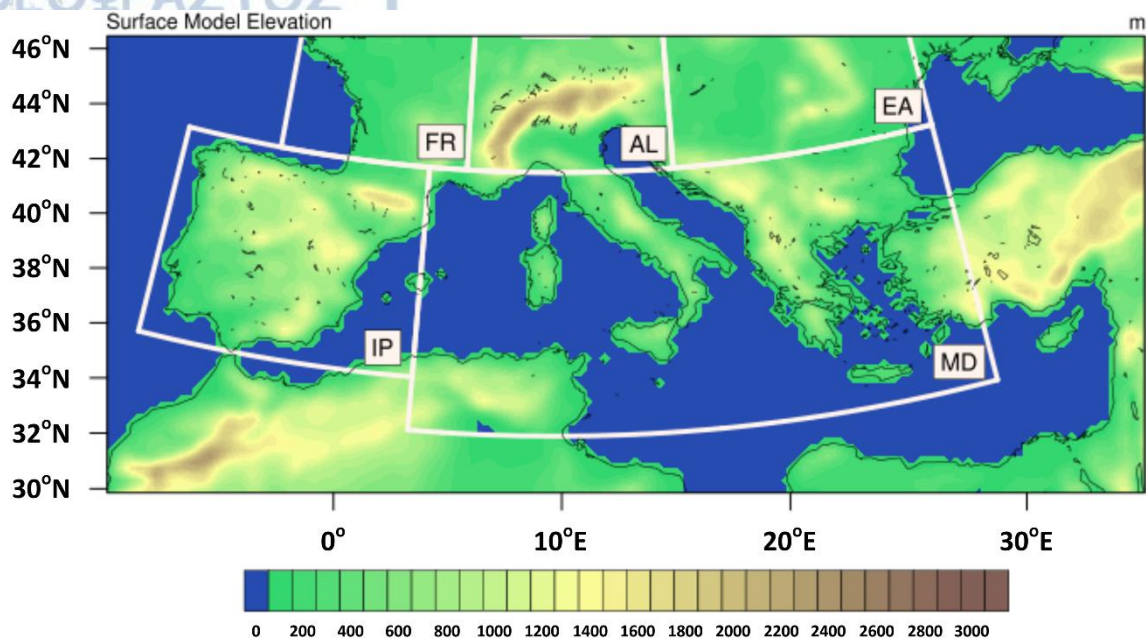
Στο παρόν κεφαλαίο, περιγράφεται το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4.4.5.1 και ό,τι αφορά στη χρήση αυτού, καθώς και τα δεδομένα E-OBS και ERA-INTERIM που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του μοντέλου. Επίσης, περιγράφονται τα διαφορετικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην παρούσα διατριβή, η περιοχή μελέτης αρχικά εκτείνεται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 2.1) εστιάζοντας, στο δεύτερο μέρος της, στην ελληνική περιοχή. Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης, η περιοχή χωρίστηκε σε πέντε (5) διαφορετικές και μικρότερες υποπεριοχές (Σχήμα 2.1). Ο διαχωρισμός αυτός έγινε σύμφωνα με το EURO-CORDEX (Kotlarski et al. 2014) και οι περιοχές που καλύπτει περιγράφονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Διαχωρισμός της περιοχής μελέτης σε πέντε (5) υποπεριοχές σύμφωνα με το EURO-CORDEX

ABBREV.	AREA	W	E	S	N
AL	Άλπεις και ευρύτερη περιοχή	5°	16°	44°	49.2°
EA	Το τμήμα της Ανατολικής Ευρώπης	16.4°	32°	44.2°	47.4°
FR	Η ευρύτερη γαλλική περιοχή	-5°	4.8°	44.4°	48.4°
IP	Η Ιβηρική Χερσόνησος	-10°	2.8°	36.8°	43.8°
MD	Το μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου, Ιταλία, Ελλάδα, Βαλκανική Χερσόνησος και νοτιοδυτική Τουρκία	3.8°	28.8°	34.8°	42.8°



Σχήμα 2.1. Η περιοχή μελέτης και η τοπογραφία της (m). Ο χωρισμός της περιοχής μελέτης σε πέντε (5) υποπεριοχές σύμφωνα με το EURO-CORDEX φαίνεται με τα λευκά πλαίσια

2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ECA&D

Μια βασική απαίτηση για την αξιολόγηση του τοπικού κλίματος είναι η διαθεσιμότητα κλιματικών δεδομένων από ένα δίκτυο σταθμών. Στην Ευρώπη η διαχείριση αυτού του δικτύου γίνεται από ένα μεγάλο αριθμό Εθνικών Μετεωρολογικών και Υδρολογικών Υπηρεσιών. Παρόλο που κάθε υπηρεσία έχει τη δική της πολιτική δεδομένων, υπάρχει η πεποίθηση ότι η πρόσβαση στα δεδομένα κάθε υπηρεσίας, καθώς και η κοινή έρευνα στην αξιολόγηση των δεδομένων για την κατανόηση των κλιματικών χαρακτηριστικών κάθε περιοχής είναι απαραίτητες (van Engelen et al. 2008). Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν τα προγράμματα “European Climate Assessment” (ECA) με έναρξη το 1998 και “European Climate Dataset” (ECD) με έναρξη το 2000. Στην συνέχεια, τα δύο αυτά προγράμματα ενώθηκαν σε ένα με αποτέλεσμα τη δημιουργία του “European Climate Assessment and Dataset” (ECA&D). Σήμερα το πρόγραμμα ECA&D λαμβάνει δεδομένα από 79 συμμετέχοντες που προέρχονται από 65 χώρες. Η βάση δεδομένων ECA&D περιλαμβάνει δεκατρείς κλιματικές παραμέτρους από σταθμούς που καλύπτουν την Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει δεδομένα ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας, βροχόπτωσης, πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας, πάχους

χιονοκάλυψης, σχετικής υγρασίας, νεφοκάλυψης, διάρκειας ηλιοφάνειας, ακτινοβολίας και ανέμου (ταχύτητα, διεύθυνση, ριπή) (<https://www.ecad.eu/>). Ο αριθμός των σταθμών και η χρονική περίοδος με διαθέσιμα δεδομένα δεν είναι τα ίδια για κάθε παράμετρο.

2.3 E-OBS

Η βάση δεδομένων E-OBS, η οποία περιέχει ημερήσια πλεγματικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, αποτελεί μέρος του έργου EU-FP6 ENSEMBLES (Haylock et al. 2008). Αποτελείται από ημερήσια δεδομένα ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας, βροχόπτωσης (Haylock et al. 2008), καθώς και δεδομένα πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (van der Besselaar et al. 2011). Τα E-OBS δεδομένα προέρχονται από τη βάση δεδομένων σταθμών του ECA&D (European Climate Assessment and Data set) ύστερα από παρεμβολή Kriging (Kriging interpolation). Παρέχουν την καλύτερη εκτίμηση μεσοποιημένων κελιών πλέγματος αντί σημειακών τιμών. Καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της ηπειρωτικής Ευρώπης. Η χωρική κάλυψη των σταθμών είναι διαφορετική για κάθε παράμετρο και ο αριθμός των σταθμών ποικίλει με τον χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των σταθμών που παρέχουν δεδομένα βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερος από εκείνο των σταθμών με δεδομένα θερμοκρασία, ενώ η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας καλύπτεται από τον μικρότερο αριθμό σταθμών. Οι βάσεις δεδομένων είναι διαθέσιμες από το 1950 έως σήμερα. Παρ' όλα αυτά, κάποιοι σταθμοί παρέχουν δεδομένα που ξεκινούν από τις δεκαετίες του 1960 και 1970. Η διαδικασία παρεμβολής για τα ημερήσια δεδομένα αποτελείται από τρία βήματα: (1) μηνιαία μέσα, (2) ημερήσιες ανωμαλίες και (3) ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων. Η παρεμβολή των δεδομένων γίνεται σε τέσσερα διαφορετικά πλέγματα: δύο κανονικά πλέγματα γεωγραφικού μήκους/πλάτους 0.25° και 0.5° , καθώς και δύο πλέγματα περιστρεφόμενων πόλων 0.22° και 0.44° . Στη συγκεκριμένη διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν οι βάσεις δεδομένων του κανονικού πλέγματος γεωγραφικού μήκους/πλάτους 0.25° της έκδοσης E-OBS 16.0.

2.4 ERA-INTERIM

Η βάση δεδομένων ERA-Interim δημιουργήθηκε από το European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Πρόκειται για δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης

(reanalysis data) της παγκόσμιας ατμόσφαιρας που καλύπτουν την περίοδο από το 1979 έως και την 31^η Αυγούστου 2019 (Berrisford et al. 2009). Το έργο ERA-Interim ξεκίνησε το 2006 και αποτελεί την επόμενη γενιά των προηγούμενων δεδομένων reanalysis του ECMWF (ERA-40). Κύριος στόχος του έργου ήταν η βελτίωση συγκεκριμένων βασικών πτυχών της βάσης δεδομένων ERA-40 (αναπαράσταση υδρολογικού κύκλου, ποιότητα στρατοσφαιρικής κυκλοφορίας κλπ.). Η βελτίωση αυτή επετεύχθη σε μεγάλο βαθμό ως αποτέλεσμα του συνδυασμού παραγόντων όπως βελτιστοποίηση του μοντέλου, χρήση ανάλυσης μεταβολών τεσσάρων διαστάσεων, αναθεώρηση της ανάλυσης υγρασίας κλπ. (Berrisford et al. 2009).

Το ατμοσφαιρικό μοντέλο και σύστημα αναδρομικής ανάλυσης ERA-Interim χρησιμοποιεί τον κύκλο 31r2 του Συστήματος Ολοκληρωμένης Πρόγνωσης (Integrated Forecast System – IFS) του ECMWF που έχει ρυθμιστεί για την εξής χωρική ανάλυση:

- 60 κατακόρυφα επίπεδα με το ανώτερο επίπεδο στα 0.1 hPa
- T255 σφαιρική-αρμονική αναπαράσταση για τα βασικά δυναμικά πεδία
- Ένα μειωμένο Γκαουσιανό πλέγμα με περίπου ομοιόμορφη απόσταση 79 km για την επιφάνεια και άλλα σημειακά πεδία πλέγματος

Έχει γίνει σύζευξη του ατμοσφαιρικού μοντέλου με ένα μοντέλο ωκεάνιων κυμάτων που επιλύει 30 συχνότητες κύματος και 24 κατευθύνσεις κυμάτων στους κόμβους του μειωμένου πλέγματος 1.0°x1.0° γεωγραφικού μήκους/πλάτους (Berrisford et al. 2009).

Τα πλεγματικά δεδομένα περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία 3-ωρων παραμέτρων επιφανείας, οι οποίες περιγράφουν τον καιρό καθώς και τις συνθήκες στους ωκεανούς και στην επιφάνεια της γης, και 6-ωρων παραμέτρων ανώτερης ατμόσφαιρας που καλύπτουν την τροπόσφαιρα και τη στρατόσφαιρα. Έχουν επίσης παραχθεί κατακόρυφα ολοκληρώματα ατμοσφαιρικών ροών, μηνιαία μεσοποίηση αρκετών παραμέτρων, καθώς και άλλα πεδία (Dee et al. 2011).

2.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Παρ' όλο που τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο προσομοίωσης των κλιματικών διεργασιών μεγάλης κλίμακας, δεν μπορούν να αναπαραστήσουν την ετερογένεια της κλιματικής μεταβλητότητας λόγω της χαμηλής ανάλυσής τους (Smid and Costa 2017). Τα ποικίλα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μιας

περιοχής (ορεογραφία, βλάστηση, λίμνες, κοιλάδες κλπ.) παίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του τοπικού κλίματος. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν δύσκολη την αναπαράσταση των τοπικών κλιμάτων από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας. Για να μπορέσει να καλυφθεί αυτό το κενό δημιουργήθηκαν οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας (downscaling methods). Η προέλευση κλιματικών πληροφοριών υψηλής κλίμακας βασίζεται στην υπόθεση ότι τα τοπικά κλίματα εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών μεγάλης κλίμακας και τοπικών χαρακτηριστικών. Η μοντελοποίηση αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι εφικτή μέσα από μεθόδους υποβιβασμού κλίμακας. Αυτές οι μέθοδοι προσθέτουν πληροφορία στα χαμηλής ανάλυσης δεδομένα εξόδου των GCMs, έτσι ώστε η πληροφορία να είναι πιο ρεαλιστική σε υψηλότερη κλίμακα. Ο υποβιβασμός κλίμακας μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρικά και χρονικά στις κλιματικές προβολές. Οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, το στατιστικό και το δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας.

Στατιστικός Υποβιβασμός Κλίμακας: Ο στατιστικός υποβιβασμός κλίμακας περιλαμβάνει τη χρήση διάφορων στατιστικών μεθόδων και εμπειρικών σχέσεων για τον προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ της κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας (predictors) και των παρατηρούμενων τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών και σημάτων (predictands). Η ουσία της ιδέας του στατιστικού υποβιβασμού κλίμακας εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση (Fowler et al. 2007):

$$R = F(X) \quad (2.1)$$

όπου το R αναπαριστά τη μεταβλητή του τοπικού κλίματος, X είναι οι κλιματικές μεταβλητές μεγάλης κλίμακας, και F είναι μια συνάρτηση που συσχετίζει τα R και X , και τα οποία αξιολογούνται με τη χρήση σημειακών παρατηρήσεων ή/και δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης. Αυτές οι σχέσεις εφαρμόζονται στα αποτελέσματα των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας για να τροποποιηθούν τα δεδομένα εξόδου των κλιματικών μοντέλων σε στατιστικά βελτιωμένα προϊόντα, τα οποία συχνά θεωρούνται ως πιο σωστά δεδομένα εισόδου στα περιοχικά κλιματικά μοντέλα.

Δυναμικός Υποβιβασμός Κλίμακας: Ο δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας αναφέρεται στη χρήση περιοχικών προσομοιώσεων υψηλής ανάλυσης για τη δυναμική προβολή των αποτελεσμάτων των κλιματικών διαδικασιών μεγάλης κλίμακας σε περιοχική κλίμακα ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα, βασικό βήμα για να επιτευχθεί ο δυναμικός υποβιβασμός

κλίμακας είναι η εμφώλευση (nesting) περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) ή μοντέλων μικρότερης κλίμακας (LAMs) μέσα σε ένα μοντέλο γενικής κυκλοφορίας (GCM). Στην παρούσα διατριβή γίνεται χρήση του δυναμικού υποβιβασμού κλίμακας.

2.6 RegCM4 (ΕΚΔΟΣΗ 4.4.5.1)

2.6.1 Ιστορία

Το NCAR RegCM πρώτης γενιάς δημιουργήθηκε με βάση το μοντέλο μέσης κλίμακας έκδοση 4 (MM4) του National Center for Atmospheric Research - Pennsylvania State University (NCAR - PSU) στο τέλος της δεκαετίας του 1980 (Dickinson et al. 1989, Giorgi 1989). Η δυναμική συνιστώσα του μοντέλου προήλθε από το MM4, το οποίο είναι ένα συμπίεστο, πεπερασμένων διαφορών μοντέλο με υδροστατική ισορροπία και κατακόρυφες σ-συνιστώσες. Στη συνέχεια, προστέθηκε η χρήση ενός σχήματος διαίρεσης χρόνου ρητής ολοκλήρωσης (split-explicit time integration scheme) μαζί με ένα αλγόριθμο για τη μείωση της οριζόντιας διάχυσης κατά την παρουσία απότομων τοπογραφικών κλίσεων (Giorgi et al. 1993a,b). Ως αποτέλεσμα, ο δυναμικός πυρήνας του RegCM είναι παρόμοιος με εκείνο της υδροστατικής εκδοχής του μοντέλου μέσης κλίμακας έκδοση 5 (MM5) (Grell et al. 1994).

Επομένως, το RegCM είναι ένα υδροστατικό, συμπίεστο, σίγμα- p κατακόρυφων συνιστωσών μοντέλο που τρέχει πάνω σε ένα πλέγμα Arakawa B, στο οποίο ο άνεμος και οι θερμοδυναμικές μεταβλητές κλιμακώνονται οριζόντια με τη χρήση ενός σχήματος διαίρεσης χρόνου ρητής ολοκλήρωσης (time-splitting explicit integration scheme), στο οποίο οι δύο ταχύτερες λειτουργίες βαρύτητας χωρίζονται αρχικά από τη λύση του μοντέλου και ολοκληρώνονται με μικρότερα χρονικά βήματα (Elguindi et al. 2014).

2.6.2 Συνιστώσες του μοντέλου

Το σύστημα μοντελοποίησης του RegCM έχει τέσσερις συνιστώσες:

1. Εδάφους (Terrain)
2. Αρχικών και οριακών συνθηκών (ICBC)
3. RegCM
4. Μετα-επεξεργαστή (Postprocessor)

Οι συνιστώσες εδάφους και αρχικών και οριακών συνθηκών αποτελούν τις δύο συνιστώσες προ-επεξεργαστή (Preprocessor) του RegCM. Χερσαίες (terrestrial) μεταβλητές (συμπεριλαμβανομένων του υψόμετρου, της χρήσης γης και της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας) και ισοβαρικά μετεωρολογικά δεδομένα τριών διαστάσεων παρεμβάλλονται οριζόντια από ένα πλέγμα γεωγραφικού πλάτους - γεωγραφικού μήκους σε ένα πεδίο υψηλής ανάλυσης, είτε με περιστρεφόμενη (και κανονική) Μερκατορική, είτε με σύμμορφη Lambert, είτε με πολική στερεογραφική προβολή. Επίσης, γίνεται κατακόρυφη παρεμβολή από τα επίπεδα πίεσης στο σύστημα σ -συνιστωσών του RegCM. Οι σ -επιφάνειες κοντά στο έδαφος ακολουθούν την μορφολογία, ενώ οι σ -επιφάνειες στα υψηλότερα επίπεδα τείνουν να προσεγγίζουν τις ισοβαρικές επιφάνειες (Σχήμα 2.2).

2.6.3 Κατακόρυφο και οριζόντιο πλέγμα

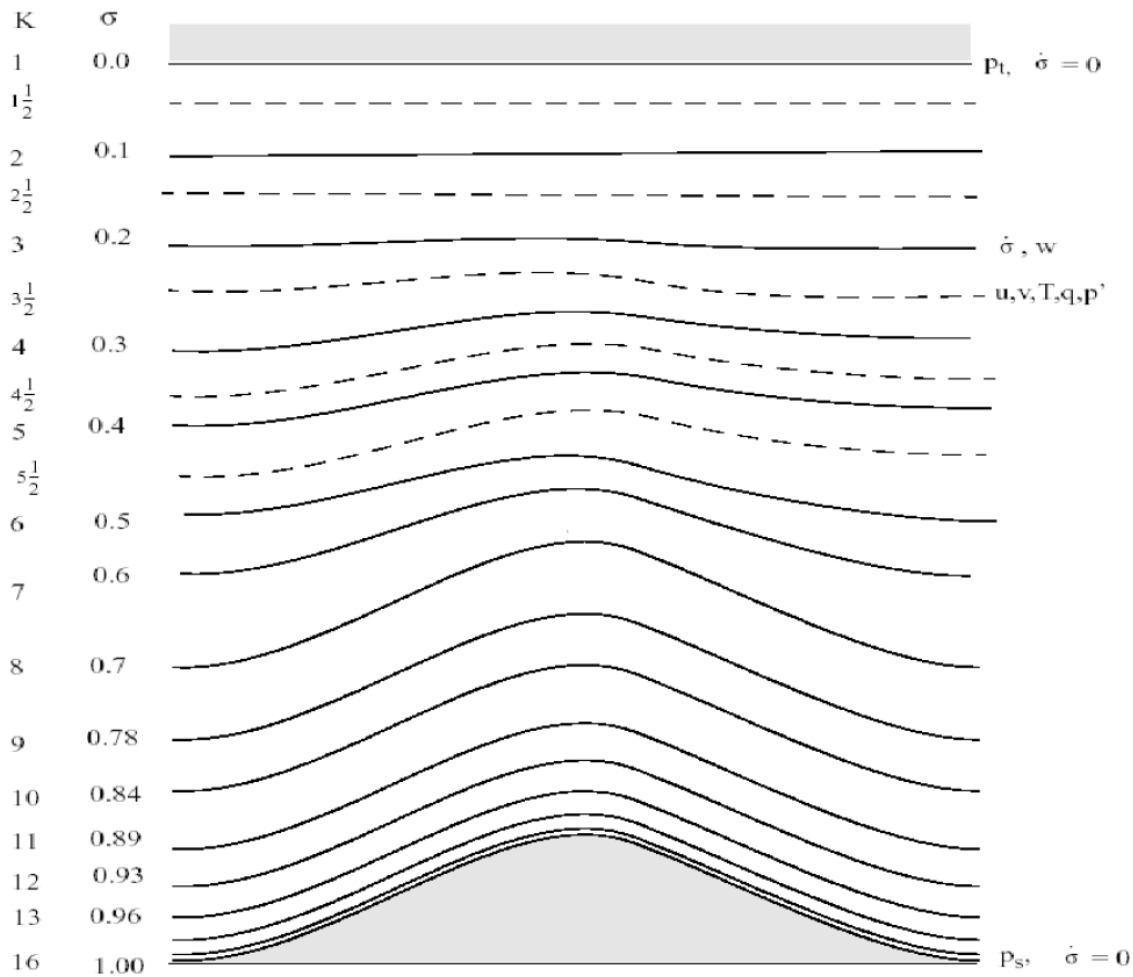
Το σύστημα μοντελοποίησης συνήθως λαμβάνει και αναλύει τα δεδομένα σε ισοβαρικά επίπεδα, αλλά θα πρέπει να παρεμβληθούν στις κατακόρυφες συνιστώσες του μοντέλου πριν εισαχθούν στο μοντέλο. Η κατακόρυφη συνιστώσα ακολουθεί τη μορφολογία (Σχήμα 2.2) που σημαίνει ότι τα χαμηλότερα επίπεδα του πλέγματος ακολουθούν το έδαφος, ενώ οι ανώτερες επιφάνειες είναι πιο επίπεδες. Τα ενδιάμεσα στρώματα γίνονται σταδιακά πιο επίπεδα καθώς η πίεση ελαττώνεται προς την κορυφή του μοντέλου. Μια αδιάστατη σ -συνιστώσα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των επιπέδων του μοντέλου:

$$\sigma = \frac{(p - p_t)}{(p_s - p_t)} \quad (2.2)$$

όπου p είναι η πίεση, p_t είναι μια προσδιορισμένη σταθερή πίεση κορυφής και p_s είναι η πίεση στην επιφάνεια.

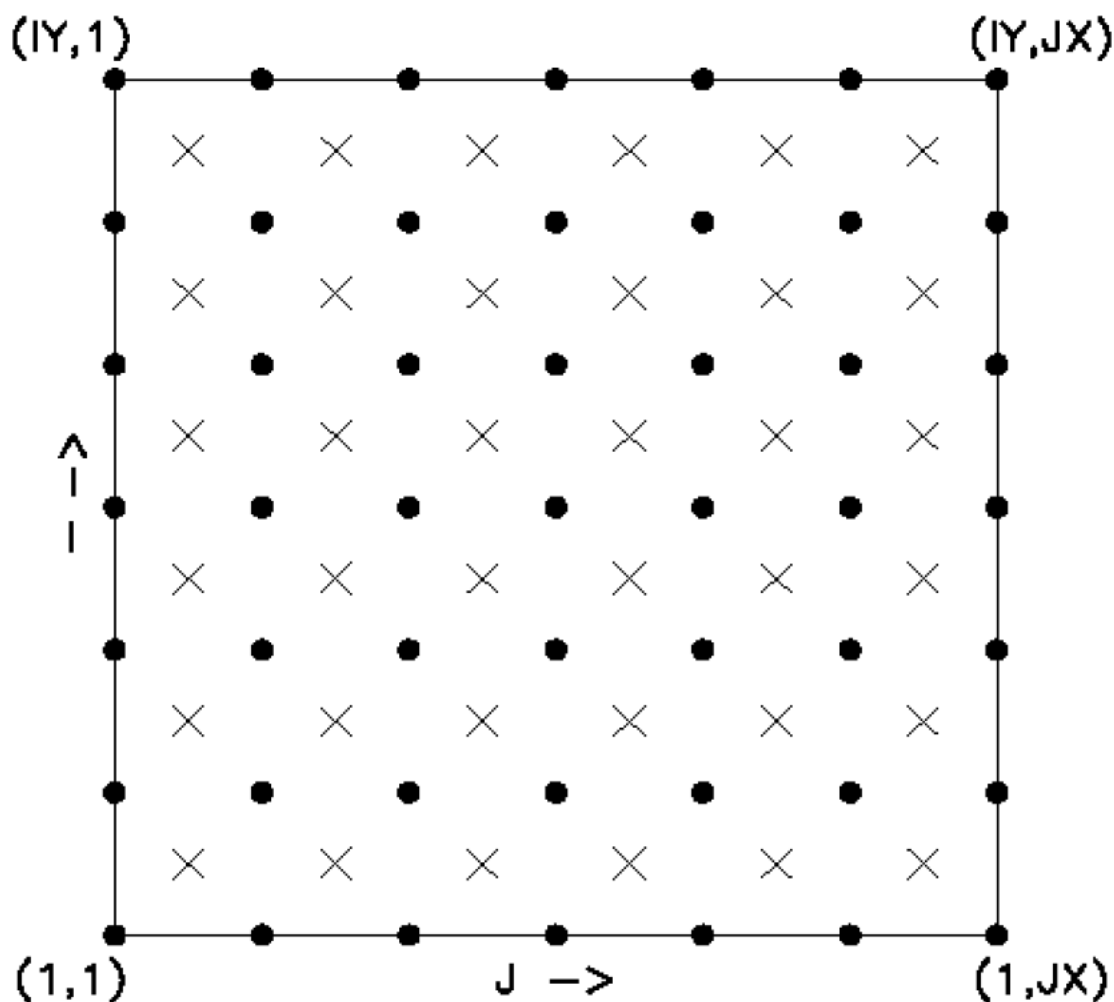
Σύμφωνα με την Εξίσωση 2.2 και το Σχήμα 2.2, το σ είναι μηδέν στην κορυφή και ένα στην επιφάνεια, ενώ κάθε επίπεδο του μοντέλου προσδιορίζεται από μια τιμή σ . Η κατακόρυφη ανάλυση του μοντέλου προσδιορίζεται από μια λίστα τιμών μεταξύ του μηδέν και του ένα, οι οποίες δεν απέχουν απαραίτητα ομοιόμορφα μεταξύ τους. Συνήθως η ανάλυση στο οριακό στρώμα είναι καλύτερη απ' ό,τι από πάνω και ο αριθμός των επιπέδων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το χρήστη.

Το οριζόντιο πλέγμα παρουσιάζει μια Arakawa-B κλιμάκωση των μεταβλητών ταχύτητας σε σχέση με τις ανυσματικές μεταβλητές. Αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 2.3 όπου φαίνεται ότι οι βαθμίδες (T, q, p , κτλ) προσδιορίζονται στο κέντρο κάθε σημείου πλέγματος, ενώ η ανατολική (u) και βόρεια (v) συνιστώσα ταχύτητας τοποθετούνται στις γωνίες. Το κέντρο των σημείων πλέγματος αναφέρεται ως σταυροειδές σημείο, ενώ τα γωνιακά σημεία ως τελείες.



Σχήμα 2.2. Σχηματική αναπαράσταση της κατακόρυφης δομής του μοντέλου. Σε αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιούνται 16 κατακόρυφα επίπεδα. Με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται τα half-sigma επίπεδα, ενώ με συμπαγή γραμμή απεικονίζονται τα full-sigma επίπεδα (Elguindi et al. 2014)

Όλες οι παραπάνω μεταβλητές προσδιορίζονται στο μέσο κάθε κατακόρυφου επιπέδου του μοντέλου (αναφέρονται ως ημιεπίπεδα και αναπαρίστανται με διακεκομμένες γραμμές στο Σχήμα 2.2). Η κατακόρυφη ταχύτητα προσδιορίζεται στα πλήρη επίπεδα (συμπαγείς γραμμές). Ο αριθμός των στρωμάτων του μοντέλου είναι πάντα ένα λιγότερο από τον αριθμό των πλήρων σ -επιπέδων.



Σχήμα 2.3. Σχηματική αναπαράσταση της οριζόντιας Arakawa-B κλιμάκωσης των σημείων πλέγματος (Elguindi et al. 2014)

2.6.4 Δυναμικές εξισώσεις

Οι δυναμικές εξισώσεις και η αριθμητική διακριτοποίηση του μοντέλου περιγράφονται αναλυτικά από τους Grell et al. (1994). Παρακάτω περιγράφονται οι βασικές δυναμικές εξισώσεις του μοντέλου (Elguindi et al. 2014):

1) Εξισώσεις Οριζόντιας Ορμής (Horizontal Momentum Equations)

$$\frac{\partial p^* u}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v u / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* u \dot{\sigma}}{\partial \sigma} - m p^* \left[\frac{R T_v}{(p^* + p_t / \sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + f p^* v + F_H u + F_V u \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial p^* v}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u v / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v v / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* v \dot{\sigma}}{\partial \sigma} - m p^* \left[\frac{R T_v}{(p^* + p_t / \sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial y} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + f p^* u + F_H v + F_V v \quad (2.4)$$

όπου u και v είναι η ανατολική και βόρεια συνιστώσα ταχύτητας, T_v είναι η αντίστοιχη θερμοκρασία (virtual temperature), φ είναι το γεωδυναμικό ύψος, f είναι η παράμετρος Coriolis, R είναι η σταθερά αερίου για τον ξηρό αέρα, m είναι ο συντελεστής κλίμακας χαρτών είτε για την Πολική Στερεογραφική, είτε για τη σύμμορφη Lambert, είτε για τη Μερκατορική προβολή (m = απόσταση στο grid/πραγματική απόσταση στη γη), $\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt}$, $p^* = p_s - p_t$, και F_H και F_V είναι η επίδραση της οριζόντιας και κατακόρυφης διάχυσης.

2) Εξισώσεις Συνέχειας και Sigmadot (Continuity and Sigmadot ($\dot{\sigma}$) Equations)

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \quad (2.5)$$

Η κατακόρυφη ολοκλήρωση της Εξίσωσης 2.5 πραγματοποιείται για τον υπολογισμό της χρονικής διακύμανσης της επιφανειακής πίεσης στο μοντέλο. Από την κατακόρυφη ολοκλήρωση προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} = -m^2 \int_0^1 \left(\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right) d\sigma \quad (2.6)$$

Μετά τον υπολογισμό της τάσης επιφανειακής πίεσης $\frac{\partial p^*}{\partial t}$, η κατακόρυφη ταχύτητα στις σ -συντεταγμένες ($\dot{\sigma}$) υπολογίζεται για κάθε επίπεδο στο μοντέλο από την κατακόρυφη ολοκλήρωση της Εξίσωσης 2.5:

$$\dot{\sigma} = -\frac{1}{p^*} \int_0^\sigma \left[\frac{\partial p^*}{\partial t} + m^2 \left(\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right) \right] d\sigma' \quad (2.7)$$

όπου σ' είναι μια ψευδομεταβλητή ολοκλήρωσης και $\dot{\sigma}(\sigma = 0) = 0$.

3) Θερμοδυναμική Εξίσωση και Εξίσωση του Ωμέγα (Thermodynamic Equation and Equation of Omega)

Η θερμοδυναμική εξίσωση είναι η εξής:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p^* T}{\partial t} = & -m^2 \left(\frac{\partial p^* u T / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v T / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* T \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \\ & + \frac{RT_v \omega}{c_{pm}(\sigma + P_t / p_{ast})} + \frac{p^* Q}{c_{pm}} + F_H T + F_V T \end{aligned} \quad (2.8)$$

όπου c_{pm} είναι η ειδική θερμότητα του υγρού αέρα σε σταθερή πίεση, Q είναι η διαβατική θέρμανση, $F_H T$ είναι η επίδραση της οριζόντιας διάχυσης, $F_V T$ είναι η επίδραση της κατακόρυφης ανάμιξης και ω είναι:

$$\omega = p^* \dot{\sigma} + \sigma \frac{dp^*}{dt} \quad (2.9)$$

όπου

$$\frac{dp^*}{dt} = \frac{\partial p^*}{\partial t} + m \left(u \frac{\partial p^*}{\partial x} + v \frac{\partial p^*}{\partial y} \right) \quad (2.10)$$

Η μαθηματική έκφραση για το $c_{pm} = c_p(1 + 0.89q_v)$, όπου c_p είναι η ειδική θερμότητα του ξηρού αέρα σε σταθερή πίεση και q_v είναι η αναλογία μίξης υδρατμών.

4) Υδροστατική Εξίσωση (Hydrostatic Equation)

Η υδροστατική εξίσωση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των γεωδυναμικών υψών από την αντίστοιχη θερμοκρασία (virtual temperature) T_v :

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln(\sigma + p_t / p^*)} = -RT_v \left[1 + \frac{q_c + q_r}{1 + q_v} \right]^{-1} \quad (2.11)$$

όπου $T_v = T(1 + 0.608q_v)$, q_v , q_c και q_r είναι οι αναλογίες μίξης των υδρατμών, του νερού ή του πάγου των νεφών και της βροχής ή του χιονιού.

2.6.5 Φυσικές παραμετροποιήσεις

1) Σχήμα Ακτινοβολίας (Radiation Scheme)

Το RegCM4 χρησιμοποιεί το σχήμα ακτινοβολίας του NCAR CCM3 (Kiehl et al. 1996). Η ηλιακή συνιστώσα, που αντιπροσωπεύει την επίδραση του O_3 , H_2O , CO_2 και O_2 , ακολουθεί την προσέγγιση δ-Eddington των Kiehl et al. (1996). Περιλαμβάνει 18 φασματικά διαστήματα από 0.2 έως 5 μm . Οι οπτικές ιδιότητες των υδροσταγόνων των νεφών εκφράζονται με βάση το υγρό περιεχόμενο νερό των νεφών και μιας ενεργής ακτίνας της υδροσταγόνας.

2) Μοντέλα Επιφάνειας Γης (Land Surface Models)

BATS (default): Το BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) είναι ένα επιφανειακό πακέτο που σχεδιάστηκε για να περιγράψει το ρόλο της βλάστησης και της υγρασίας του εδάφους στην τροποποίηση των ανταλλαγών ορμής, ενέργειας και υδρατμών μεταξύ επιφάνειας - ατμόσφαιρας (Dickinson et al. 1993). Το μοντέλο BATS έχει ένα στρώμα βλάστησης (vegetation layer), ένα στρώμα χιονιού (snow layer), ένα επιφανειακό στρώμα εδάφους πάχους 10 cm (surface soil layer) ή στρώμα ριζικής ζώνης πάχους 1-2 m (root zone layer) και ένα τρίτο βαθύ στρώμα εδάφους πάχους 3 m. Οι προγνωστικές εξισώσεις λύνονται για τις θερμοκρασίες του στρώματος εδάφους με τη χρήση μιας γενίκευσης της μεθόδου επαναφοράς δύναμης (force-restore method) του Deardoff (1978).

Οι υπολογισμοί της υδρολογίας του εδάφους περιλαμβάνουν προγνωστικές εξισώσεις για το περιεχόμενο νερό στα στρώματα του εδάφους. Αυτές οι εξισώσεις αντιπροσωπεύουν τη βροχόπτωση, το λιώσιμο του χιονιού, τις σταγόνες από το φύλλωμα (canopy foliage drip), την εξατμισοδιαπνοή, την επιφανειακή απορροή, τη διήθηση κάτω από τη ριζική ζώνη και την εκτενή ανταλλαγή νερού μεταξύ των στρωμάτων του εδάφους.

Η αισθητή θερμότητα, οι υδρατμοί και οι ροές ορμής στην επιφάνεια υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μια τυπική σύνθεση συντελεστή αντίστασης επιφάνειας (standard surface drag coefficient formulation) που βασίζεται στη θεωρία ομοιότητας επιφανειακού στρώματος. Ο συντελεστής αντίστασης εξαρτάται από το μήκος τραχύτητας της επιφάνειας και την ατμοσφαιρική ευστάθεια στο επιφανειακό στρώμα. Τα επιφανειακά ποσοστά εξατμισοδιαπνοής εξαρτώνται από την διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος. Το BATS περιέχει 20 διαφορετικούς τύπους βλάστησης (Dickinson et al. 1986), ενώ στο

RegCM4 προστέθηκαν και άλλες δύο χρήσεις γης που περιγράφουν τα αστικά και προαστιακά περιβάλλοντα (Πίνακας 2.2).

Πίνακας 2.2. Κατηγορίες χρήσης γης (BATS)

Αρίθμηση	Χρήση γης	Αρίθμηση	Χρήση γης
1	Crop/mixed farming	12	Ice cap/glacier
2	Short grass	13	Bog or marsh
3	Evergreen needleleaf tree	14	Inland water
4	Deciduous needleleaf tree	15	Ocean
5	Deciduous broadleaf tree	16	Evergreen shrub
6	Evergreen broadleaf tree	17	Deciduous shrub
7	Tall grass	18	Mixed woodland
8	Desert	19	Forest/Field mosaic
9	Tundra	20	Water and land mixture
10	Irrigated crop	21	Urban
11	Semi-desert	22	Sub-urban

CLM (προαιρετικό): Το CLM (Community Land Model) είναι το επιφανειακό εδαφικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από το National Center of Atmospheric Research (NCAR) ως μέρος του CCSM (Community Climate System Model) (Collins et al. 2006). Έγινε σύζευξη της έκδοση 3.5 του CLM με το RegCM για μια επιλογή πιο λεπτομερούς περιγραφής της επιφάνειας του εδάφους. Το CLM περιλαμβάνει πέντε πιθανά στρώματα χιονιού με επιπρόσθετη αναπαράσταση ίχνους χιονιού και δέκα εδαφικά στρώματα με ανομοιόμορφες αποστάσεις και ρητές λύσεις θερμοκρασίας, υγρού και παγωμένου νερού σε κάθε στρώμα. Κάθε gridcell περιλαμβάνει έως και τέσσερις διαφορετικές χρήσεις γης (παγετώνας, υγρότοπος, λίμνη και βλάστηση), όπου το κομμάτι της βλάστησης μπορεί περαιτέρω να χωριστεί σε 17 διαφορετικούς φυτικούς τύπους. Οι υδρολογικές εξισώσεις και οι εξισώσεις ενεργειακού ισοζυγίου επιλύονται για κάθε τύπο κάλυψης εδάφους και συγκεντρώνονται στο gridcell. Επειδή το CLM δημιουργήθηκε για την παγκόσμια κλίμακα, αρκετά αρχεία εισόδου και διαδικασίες τροποποιήθηκαν για να είναι πιο κατάλληλο για περιοχικές προσομοιώσεις (χρήση δεδομένων εισόδου υψηλής ανάλυσης, αρχικοποίηση της υγρασίας του εδάφους, βελτιωμένη διαχείριση του πλέγματος κατά μήκος των ακτογραμμών).

3) Σχήμα Πλανητικού Οριακού Στρώματος (Planetary Boundary Layer Scheme)

Holtslag PBL: Το σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος Holtslag (Holtslag et al. 1990) βασίζεται σε ένα σχέδιο μη τοπικής διάχυσης που λαμβάνει υπόψη τις ροές αντίστροφης κλίσης (countergradient fluxes), οι οποίες προκύπτουν από μεγάλης κλίμακας στροβιλισμούς σε μια ασταθή ατμόσφαιρα. Η κατακόρυφη ροή στροβιλισμού στο PBL δίνεται από την εξίσωση:

$$F_c = -K_c \left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c \right) \quad (2.12)$$

όπου γ_c είναι ένας όρος μεταφοράς αντίστροφης κλίσης που περιγράφει μη τοπική μεταφορά λόγω ξηρής βαθιάς ανωμεταφοράς. Η στροβιλώδης διάχυση δίνεται από τη μη τοπική εξίσωση:

$$K_c = k w_t z \left(1 - \frac{z}{h} \right)^2 \quad (2.13)$$

όπου k είναι η σταθερά von Karman, w_t είναι η στροβιλώδης ταχύτητα ανωμεταφοράς που εξαρτάται από την ταχύτητα τριβής, το ύψος και το μήκος Monin-Obukhov (εκφράζει το ρόλο της διάτμησης (shear) και της πλευστότητας (buoyancy) στην παραγωγή/κατανάλωση τυρβώδους κινητικής ενέργειας και χαρακτηρίζει το βαθμό ευστάθειας του επιφανειακού στρώματος της ατμόσφαιρας), και h είναι το ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος (PBL). Ο όρος μεταφοράς αντιστροφής για την θερμοκρασία και τους υδρατμούς υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\gamma_c = C \frac{\varphi_c^0}{w_t h} \quad (2.14)$$

όπου C είναι μια σταθερά που ισούται με 8.5, και φ_c^0 είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας ή η ροή των υδρατμών. Η εξίσωση αυτή εφαρμόζεται μεταξύ της κορυφής του PBL και της κορυφής του επιφανειακού στρώματος, το οποίο θεωρείται ότι ισούται με $0.1h$. Έξω από αυτή την περιοχή και για ορμή, το γ_c θεωρείται ότι είναι ίσο με μηδέν. Για τον υπολογισμό της στροβιλώδους διάχυσης και των όρων αντιστροφής, το ύψος του PBL υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$h = \frac{R_{icr}[u(h)^2 + v(h)^2]}{(g/\theta_s)[\theta_v(h) - \theta_s]} \quad (2.15)$$

όπου $u(h)$, $v(h)$ και θ_v είναι οι συνιστώσες του ανέμου και η δυνητική θερμοκρασία στο ύψος του PBL, g είναι η βαρύτητα, R_{icr} είναι ο μαζικός αριθμός Richardson, και θ_s είναι μια κατάλληλη θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια.

Σε σχέση με άλλα σχήματα (schemes), αυτή η διατύπωση τείνει να παράγει σχετικά ισχυρότερη και συχνά υπέρμετρη στροβιλώδη κατακόρυφη μεταφορά. Για να βελτιωθεί αυτό το πρόβλημα, ο όρος αντιστροφής για τους υδρατμούς αφαιρέθηκε από το RegCM4. Ένα ακόμα πρόβλημα του σχήματος Holtslag PBL είναι μια πλεονάζουσα (excessive) κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας, υγρασίας και ορμής σε πολύ σταθερές συνθήκες, όπως κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις περιοχές υψηλών γεωγραφικών πλατών του βόρειου ημισφαιρίου. Αυτό οδηγεί σε μεγάλα σφάλματα (biases) θερμού χειμώνα (ακόμα και 10 βαθμούς) σε περιοχές όπως η Βόρεια Σιβηρία και ο Βόρειος Καναδάς. Για τη βελτίωση αυτού του προβλήματος γίνονται κάποιες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα, στην αρχή γίνεται προσδιορισμός πολύ ευσταθών συνθηκών μέσα στη Holtslag παραμετροποίηση ως συνθήκες στις οποίες ο λόγος του ύψους από την επιφάνεια προς το μήκος Monin-Obukhov είναι κάτω από 0.1. Όταν βρεθούν τέτοιες συνθήκες, ορίζονται ως μηδέν η στροβιλώδης διάχυση και οι όροι αντιστροφής για όλες τις μεταβλητές.

UW Turbulence Closure Model: Ως εναλλακτική λύση του Holtslag PBL, έγινε σύζευξη του «University of Washington turbulence closure model» (Grenier and Bretherton 2001, Bretherton et al. 2004) με το RegCM. Η ανάπτυξη της σύζευξης και ο έλεγχος για το δυτικό τμήμα της Βορείου Αμερικής έγινε από τον O'Brien et al. (2012), ενώ ο έλεγχος για την Ευρώπη πραγματοποιήθηκε από τον Gütler et al. (2013). Αυτή η παραμετροποίηση αρχικά εφαρμόστηκε για να επιτρέψει στο RegCM να προσομοιώσει τους στρωματοσωρείτες (stratocumulus) και την παράκτια ομίχλη.

Το UW μοντέλο αναφέρεται ως PBL μοντέλο, αλλά έχει δυνατότητες που επιτρέπουν τον υπολογισμό των κατακόρυφων ροών έξω από το πλανητικό οριακό στρώμα καθώς και μέσα σε αυτό. Το UW μοντέλο παραμετροποιεί τις τυρβώδεις ροές ως το προϊόν διάχυσης και θερμοβαθμίδας. Το μοντέλο προσδιορίζει προγνωστικά την τυρβώδη κινητική ενέργεια (TKE) και την χρησιμοποιεί για να προσδιορίσει τις διαχύσεις. Όμοια με το

Holtslag μοντέλο, η διάχυση προσδιορίζεται ως το προϊόν της κλίμακας μήκους και της κλίμακας ταχύτητας:

Κλίμακα μήκους: $l = kz$ ή $l = kz/(1 + kz/\lambda)$ πολλαπλασιασμένο με ένα διορθωτικό παράγοντα που εξαρτάται από την τοπική ευστάθεια

Κλίμακα ταχύτητας: $\sqrt{2 \cdot TKE}$

Το ύψος του οριακού στρώματος στο UW μοντέλο προσδιορίζεται ως το πρώτο επίπεδο όπου το γινόμενο $N(z)^2 l(z)^2$ υπερβαίνει το μισό της μέσης αρνητικής τιμής του στρώματος. Για ένα ασταθές οριακό στρώμα, αυτό τελειώνει περίπου όταν το προφίλ της δυναμικής θερμοκρασίας γίνεται τόσο σταθερό ώστε η ροή πλευστότητας (buoyancy flux) είναι αντίθετη και κατά το ήμισυ ισχυρή σε σχέση με τη μέση πλευστότητα.

Το UW μοντέλο δημιουργήθηκε ειδικά για να λειτουργήσει με υγρές θερμοδυναμικές διαδικασίες. Οι προγνωστικές εξισώσεις του πυρήνα προβλέπουν τη δυναμική θερμοκρασία του υγρού νερού (θ_l), την αναλογία μίξης του νερού (Q) και την ορμή (u_i). Σε κάθε χρονικό βήμα το μοντέλο UW: (1) προσδιορίζει το ύψος h του οριακού στρώματος, (2) υπολογίζει την TKE στην επιφάνεια, (3) προβλέπει την αλλαγή της TKE λόγω των PBL διαδικασιών, (4) προσδιορίζει τις διαχύσεις σε κάθε ύψος και (5) προβλέπει την αλλαγή σε κάθε προγνωστική ποσότητα λόγω κατακόρυφης σύγκλισης των τυρβωδών ροών. Το πλήρες σετ εξισώσεων που λύνει το μοντέλο UW σε κάθε χρονικό βήμα είναι:

$$N^2(h)l^2(h) = -\frac{1}{2} \frac{1}{h} \int_0^h N^2(z)l^2(z) \cdot dz \quad (2.16)$$

$$\left. \frac{\partial e}{\partial t} \right|_{BL} = -K_h N^2 + K_m S_f^2 + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_e \frac{\partial e}{\partial z} \right] - \frac{e^{\frac{3}{2}}}{l} \quad (2.17)$$

$$\left. \frac{\partial e}{\partial t} \right|_{BL} = B + S + T - D \quad (2.18)$$

$$\left. \frac{\partial u_i}{\partial t} \right|_{BL} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\kappa z S_m(z) \sqrt{2e(z)} \frac{\partial u_i}{\partial z} \right] \quad (2.19)$$

$$\left. \frac{\partial \theta_l}{\partial t} \right|_{BL} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\kappa z S_h(z) \sqrt{2e(z)} \frac{\partial \theta_l}{\partial z} \right] \quad (2.20)$$

$$\left. \frac{\partial Q}{\partial t} \right|_{BL} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\kappa z S_h(z) \sqrt{2e(z)} \frac{\partial Q}{\partial z} \right] \quad (2.21)$$

$$\left. \frac{\partial \chi_j}{\partial t} \right|_{BL} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\kappa z S_h(z) \sqrt{2e(z)} \frac{\partial \chi_j}{\partial z} \right] \quad (2.22)$$

όπου N είναι η συχνότητα Brunt-Väisälä, e είναι η TKE , $S_f = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2}$ η συχνότητα διάτμησης, B, S, T, D είναι όροι πλευστότητας, διάτμησης, μεταφοράς και διάχυσης αντίστοιχα, K_e είναι η διάχυση της τυρβώδους κινητικής ενέργειας, και K_m είναι η στροβιλώδης διάχυση.

4) Σχήματα Βροχόπτωσης Λόγω Κατακόρυφης Ανάπτυξης (Convective Precipitation Schemes)

Η βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης υπολογίζεται με τη χρήση ενός από το εξής σχήματα: (1) το τροποποιημένο σχήμα Kuo (Anthes 1977), (2) το σχήμα Grell (Grell 1993) και (3) το σχήμα MIT-Emanuel (Emanuel 1991, Emanuel and Zivkovic-Rothman 1999). Επιπρόσθετα, η Grell παραμετροποίηση εφαρμόζεται με τη χρήση δύο υποθέσεων (1) την Arakawa-Schubert (Arakawa and Schubert 1974, Grell et al. 1994) και (2) την Fritsch-Chappell (Fritsch and Chappell 1980).

Modified - Kuo Scheme: Η δραστηριότητα ανωμεταφοράς (convective activity) αρχίζει όταν η σύγκλιση υγρασίας M σε μια στήλη ξεπερνάει ένα συγκεκριμένο όριο και η κατακόρυφη ραδιοβόληση είναι ασταθής κατά την ανωμεταφορά. Ένα μέρος της σύγκλισης υγρασίας β προκαλεί υγρασία στη στήλη και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε βροχόπτωση P^{CU} σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$P^{CU} = M(1 - \beta) \quad (2.23)$$

όπου β είναι μια συνάρτηση για τη μέση σχετική υγρασία $\overline{RH}$ της ραδιοβόλησης:

$$\beta = \begin{cases} 2(1 - \overline{RH}) & \overline{RH} \geq 0.5 \\ 1.0 & \text{άλλη περίπτωση} \end{cases} \quad (2.24)$$

Ο όρος της σύγκλισης υγρασίας περιλαμβάνει μόνο τις τάσεις οριζόντιας μεταφοράς για τους υδρατμούς. Παρ' όλα αυτά, η εξατμισοδιαπνοή από το προηγούμενο χρονικό βήμα περιλαμβάνεται έμμεσα στο M καθώς τείνει να δημιουργεί υγρασία στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Καθώς η εξατμισοδιαπνοή αυξάνεται, όλο και περισσότερο μετατρέπεται σε βροχόπτωση υποθέτοντας ότι η στήλη είναι ασταθής. Η λανθάνουσα θερμότητα που προκύπτει από συμπύκνωση, διανέμεται μεταξύ της κορυφής και της βάσης του νέφους.

Grell Scheme: Το σχήμα Grell, παρόμοιο με την υπόθεση Arakawa-Schubert, θεωρεί τα νέφη ως δύο κυκλοφορίες σταθερής κατάστασης - μιας ανοδικής (updraft) και μιας καθοδικής (downdraft). Δεν γίνεται άμεση ανάμιξη μεταξύ του αέρα των νεφών και του αέρα του περιβάλλοντος με εξαίρεση την κορυφή και τη βάση των κυκλοφοριών. Τα επίπεδα δημιουργίας της ανοδικής και καθοδικής κυκλοφορίας δίνονται από τα επίπεδα της μέγιστης και ελάχιστης υγρής στατικής ενέργειας αντίστοιχα. Το σχήμα Grell ενεργοποιείται όταν ένα ανυψωμένο τμήμα φτάνει σε υγρή κατακόρυφη ανάπτυξη (convection). Η συμπύκνωση στην ανοδική κυκλοφορία υπολογίζεται από την ανύψωση ενός κορεσμένου τμήματος. Η καθοδική ροή μάζας m_0 εξαρτάται από την ανοδική ροή μάζας m_b σύμφωνα με τη σχέση:

$$m_0 = \frac{\beta I_1}{I_2} m_b \quad (2.25)$$

όπου I_1 είναι η κανονικοποιημένη ανοδική συμπύκνωση, I_2 είναι η κανονικοποιημένη καθοδική εξάτμιση και β είναι το κλάσμα της ανοδικής συμπύκνωσης που επανεξατμίζεται στην καθοδική ροή. Το β εξαρτάται από τη διάτμηση του ανέμου και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0.3 και 0.5. Η βροχόπτωση δίνεται από την εξίσωση:

$$P^{CU} = I_1 m_b (1 - \beta) \quad (2.26)$$

Η θέρμανση και η υγρασία στο σχήμα Grell προσδιορίζονται από τις ροές μάζας και τη μεταφορά αέρα στην κορυφή και βάση του νέφους. Επιπρόσθετα, περιλαμβάνεται το αποτέλεσμα της ψύξης των υγρών καθοδικών ροών.

Λόγω της απλοϊκής φύσης του σχήματος Grell, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετές υποθέσεις (closure assumptions). Στην προηγούμενη έκδοση του RegCM4 χρησιμοποιείται απευθείας η υπόθεση ψευδο-ισορροπίας (quasi-equilibrium) των Arakawa-Schubert. Υποθέτει ότι τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης σταθεροποιούν το

περιβάλλον με την ίδια ταχύτητα με την οποία το αποσταθεροποιούν οι non-convective διαδικασίες:

$$m_b = \frac{ABE'' - ABE}{NA\Delta t} \quad (2.27)$$

όπου ABE είναι η διαθέσιμη δυναμική ενέργεια για ανωμεταφορά, ABE'' είναι η ποσότητα της διαθέσιμης δυναμικής ενέργειας για ανωμεταφορά και της δυναμικής ενέργειας που παράγεται από κάποιες non-convective διαδικασίες κατά το χρονικό διάστημα Δt , και NA είναι ο ρυθμός μεταβολής της ABE ανά μονάδα m_b . Η διαφορά $ABE'' - ABE$ μπορεί να θεωρηθεί ως ο ρυθμός αποσταθεροποίησης σε χρόνο Δt . Στην τελευταία έκδοση του RegCM4 χρησιμοποιείται μια υπόθεση ευστάθειας, αυτή των Fritsch-Chappell, η οποία συνήθως εφαρμόζεται στα GCMs και στα RCMs. Σε αυτή την υπόθεση, θεωρείται ότι η ανωμεταφορά αφαιρεί την ABE σε συγκεκριμένο χρόνο:

$$m_b = \frac{ABE}{NA\tau} \quad (2.28)$$

όπου τ είναι ο χρόνος αφαίρεσης της ABE . Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο υποθέσεων είναι ότι η Arakawa-Schubert σχετίζει τις ροές ανωμεταφοράς και τη βροχόπτωση με τις τάσεις στην κατάσταση της ατμόσφαιρας, ενώ η Fritsch-Chappell σχετίζει τις ροές ανωμεταφοράς με το βαθμό αστάθειας στην ατμόσφαιρα. Και οι δύο υποθέσεις επιτυγχάνουν στατιστική ισορροπία ανάμεσα στην ανωμεταφορά και στις διαδικασίες μεγάλης κλίμακας.

MIT-Emanuel Scheme: Το συγκεκριμένο σχήμα υποθέτει ότι η μίξη στα νέφη είναι πολύ επεισοδιακή και ανομοιογενής (highly episodic and inhomogeneous), και θεωρεί ότι οι ροές ανωμεταφοράς βασίζονται σε ένα εξιδανικευμένο μοντέλο sub-cloud-scale ανοδικών και καθοδικών ροών. Η ανωμεταφορά ενεργοποιείται όταν το επίπεδο της ουδέτερης πλευστότητας είναι μεγαλύτερο από το επίπεδο της βάσης του νέφους. Ανάμεσα στα δύο επίπεδα ο αέρας ανυψώνεται και ένα μέρος της συμπυκνωμένης υγρασίας σχηματίζει βροχή, ενώ το υπόλοιπο μέρος σχηματίζει το νέφος. Το νέφος θεωρείται ότι αναμιγνύεται με τον αέρα του περιβάλλοντος σύμφωνα με ένα ενιαίο φάσμα ανάμιξης που αυξάνεται ή μειώνεται στο αντίστοιχο επίπεδο πλευστότητας. Το κλάσμα της ολικής ροής μάζας στη βάση του νέφους, το οποίο αναμιγνύεται με το περιβάλλον του σε κάθε επίπεδο, είναι ανάλογο με το ρυθμό μεταβολής της αμιγούς πλευστότητας με το ύψος.

Το σχήμα MIT-Emanuel είναι το πιο πολύπλοκο από τα τρία σχήματα βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης και περιλαμβάνει ένα αριθμό παραμέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της επίδοσης του μοντέλου σε διαφορετικά κλιματικά καθεστώτα. Σε αντίθεση με το σχήμα Grell, τα πειράματα δεν έδειξαν μια συγκεκριμένη παράμετρο στην οποία το μοντέλο να είναι πιο ευαίσθητο.

Μία από τις μεγαλύτερες προσθήκες στο RegCM4 σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις του μοντέλου είναι η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών σχημάτων κατακόρυφης ανάπτυξης (convection schemes) στη ξηρά και στη θάλασσα. Πειράματα έδειξαν ότι διαφορετικά σχήματα έχουν διαφορετική επίδοση πάνω από διαφορετικές περιοχές και συγκεκριμένα πάνω από ξηρά και θάλασσα. Για παράδειγμα, το σχήμα MIT-Emanuel τείνει να παράγει υπερβάλλουσα βροχόπτωση πάνω από ηπειρωτικές περιοχές και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολύ έντονων μεμονωμένων επεισοδίων βροχής.

5) Σχήμα Βροχόπτωσης Μεγάλης Κλίμακας (Large Scale Precipitation Scheme)

Το Subgrid Explicit Moisture Scheme (SUBEX) χρησιμοποιείται για τη διαχείριση non-convective νεφών και βροχόπτωσης που επιλύονται από το μοντέλο. Αποτελεί μια από τις καινούριες συνιστώσες του μοντέλου. Το SUBEX αντιπροσωπεύει τη μεταβλητότητα του υποπλέγματος στα νέφη συνδέοντας τη μέση σχετική υγρασία του πλέγματος με το κλάσμα του νέφους και το νερό του νέφους. Το κλάσμα του πλέγματος που καλύπτεται με νέφη προσδιορίζεται από:

$$FC = \sqrt{\frac{RH - RH_{min}}{RH_{max} - RH_{min}}} \quad (2.29)$$

όπου RH_{min} είναι το κατώφλι της σχετικής υγρασίας στο οποίο τα νέφη αρχίζουν να σχηματίζονται, και RH_{max} είναι η σχετική υγρασία όπου το FC φτάνει τη μονάδα. Το FC θεωρείται μηδέν όταν η RH είναι μικρότερη από την RH_{min} και μονάδα όταν η RH είναι μεγαλύτερη από την RH_{max} .

Η βροχόπτωση δημιουργείται όταν το περιεχόμενο νερό του νέφους ξεπερνάει το κατώφλι Q_c^{th} της αυτόματης μετατροπής σύμφωνα με τη σχέση:

$$P = C_{ppt}(Q_c/FC - Q_c^{th})FC \quad (2.30)$$

όπου $1/C_{ppt}$ μπορεί να θεωρηθεί ως ο χαρακτηριστικός χρόνος στον οποίο τα σταγονίδια των νεφών μετατρέπονται σε βροχοσταγόνες. Το κατώφλι λαμβάνεται από την κλιμάκωση της εξίσωσης του μέσου περιεχόμενου υγρού νερού του νέφους σύμφωνα με:

$$Q_c^{th} = C_{acs} 10^{-0.49+0.013T} \quad (2.31)$$

όπου T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, και C_{acs} είναι ο συντελεστής κλίμακας αυτόματης μετατροπής. Η βροχόπτωση θεωρείται ότι πέφτει αμέσως. Το SUBEX περιέχει επίσης απλούς τύπους για το σχηματισμό και την εξάτμιση των βροχοσταγόνων. Ο τύπος για την αύξηση των νεφοσταγονιδίων από την πτώση βροχοσταγόνων είναι ο εξής:

$$P_{acc} = C_{acc} Q P_{sum} \quad (2.32)$$

όπου P_{acc} είναι η ποσότητα του συσσωρευμένου νερού του νέφους, C_{acc} είναι ο συντελεστής του ρυθμού αύξησης, και P_{sum} είναι η συσσωρευμένη βροχόπτωση που πέφτει από το νέφος. Η εξάτμιση της βροχόπτωσης δίνεται από τον τύπο:

$$P_{evap} = C_{evap} (1 - RH) P_{sum}^{1/2} \quad (2.33)$$

όπου P_{evap} είναι η ποσότητα της βροχής που εξατμίζεται και C_{evap} είναι ο συντελεστής του ρυθμού εξάτμισης.

6) Σχήμα Ωκεάνιων Ροών (Ocean Flux Scheme)

BATS1e Scheme: Το BATS χρησιμοποιεί τις σταθερές σχέσεις ομοιότητας Monin-Obukhov για να υπολογίσει τις ροές χωρίς ειδική μεταχείριση πολύ σταθερών συνθηκών και συνθηκών ανωμεταφοράς. Επιπρόσθετα, το μήκος τραχύτητας (roughness length) έχει οριστεί σε μια σταθερά, δηλαδή δεν είναι συνάρτηση του ανέμου και της ευστάθειας.

Zeng Scheme: Το σχήμα Zeng (Zeng et al. 1998) περιγράφει όλες τις συνθήκες ευστάθειας και περιλαμβάνει μια ταχύτητα ριπής για να αντιπροσωπεύσει την επιπλέον ροή που προκαλείται από τη διακύμανση της κλίμακας του οριακού στρώματος. Η αισθητή και η λανθάνουσα θερμότητα, καθώς και οι ροές ορμής ανάμεσα στην επιφάνεια της θάλασσας και την κατώτερη ατμόσφαιρα, υπολογίζονται από τους παρακάτω μαζικούς αεροδυναμικούς αλγόριθμους:

$$\tau = \rho_a u_*^2 (u_x^2 + u_y^2)^{1/2} / u \quad (2.34)$$

$$SH = -\rho_a C_{pa} u_* \theta_* \quad (2.35)$$

$$LH = -\rho_a L_e u_* q_* \quad (2.36)$$

όπου u_x και u_y είναι συνιστώσες μέσου ανέμου, u_* είναι η ταχύτητα τριβής του ανέμου, θ_* είναι η παράμετρος κλιμάκωσης θερμοκρασίας, q_* είναι η παράμετρος κλιμάκωσης της σχετικής υγρασίας, ρ_a είναι η πυκνότητα του αέρα, C_{pa} είναι η ειδική θερμότητα του αέρα, και L_e είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.

7) Προγνωστικό Σχήμα Θερμοκρασίας Θαλάσσιας Επιφάνειας (Prognostic Sea Surface Skin Temperature Scheme)

Οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας (SST) καθορίζονται κάθε έξι ώρες από χρονικά παρεμβλλόμενα εβδομαδιαία ή μηνιαία SST προϊόντα. Αυτά τα προϊόντα, που προέρχονται από δορυφορικές ανακτήσεις και in situ μετρήσεις, είναι αντιπροσωπευτικά της μέσης θερμοκρασίας στα πρώτα μέτρα του ωκεανού. Ωστόσο, η πραγματική SST μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τη μέση θερμοκρασία λόγω των αποτελεσμάτων του θερμού και ψυχρού στρώματος (cool skin/warm layer). Για τη βελτίωση των υπολογισμών των ημερήσιων ροών στους ωκεανούς, το προγνωστικό SST σχήμα (Zeng 2005) εφαρμόστηκε στο RegCM4. Βασίζεται σε ένα μονοδιάστατο, δύο επιπέδων μοντέλο μεταφοράς θερμότητας, με το ανώτερο επίπεδο να αντιπροσωπεύει μερικά ανώτερα χιλιοστά του ωκεανού, τα οποία ψύχονται από την απώλεια καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος και από επιφανειακές ροές. Το χαμηλότερο επίπεδο έχει πάχος τρία μέτρα, είναι θερμότερο λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και ανταλλάσσει θερμότητα με το ανώτερο στρώμα. Αυτό το ημερήσιο SST σχήμα φαίνεται ότι έχει μικρές αλλά σημαντικές επιδράσεις στην κλιματολογία του μοντέλου κυρίως πάνω από τους τροπικούς ωκεανούς και χρησιμοποιείται ως προεπιλογή στο RegCM4.

8) Σχήμα Βαροβαθμίδας (Pressure Gradient Scheme)

Υπάρχουν δύο επιλογές για τον υπολογισμό της δύναμης βαροβαθμίδας. Ο κανονικός τρόπος χρησιμοποιεί ολόκληρα τα πεδία. Ο δεύτερος τρόπος είναι το σχήμα υδροστατικής αφαίρεσης (hydrostatic deduction), το οποίο κάνει χρήση μιας θερμοκρασίας διαταραχής (perturbation temperature). Σε αυτό το σχήμα γίνεται επιπλέον εξομάλυνση στην κορυφή

έτσι ώστε να μειωθούν τα σφάλματα που σχετίζονται με τον υπολογισμό της δύναμης βαροβαθμίδας.

2.7 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Η κατακόρυφη ανάπτυξη είναι μια πολύπλοκη διαδικασία κλίμακας υποπλέγματος (subgrid scale) (Kuo et al. 1997). Η κατακόρυφη κατανομή ενέργειας, νερού και ορμής προσδιορίζεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ της κατακόρυφης ανάπτυξης και της κυκλοφορίας μεγαλύτερης κλίμακας. Για να γίνει αναπαραγωγή αυτής της αλληλεπίδρασης στα περιοχικά κλιματικά μοντέλα, ήταν απαραίτητη η δημιουργία παραμετροποιήσεων ανωμεταφοράς. Τα αποτελέσματα που προέρχονται από τα κλιματικά μοντέλα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην επιλογή της παραμετροποίησης ανωμεταφοράς. Κανένα σχήμα δεν λειτουργεί καλύτερα παντού. Επομένως, συνίσταται η πραγματοποίηση πειραμάτων ευαισθησίας για την επιλογή του καταλληλότερου σχήματος κατακόρυφης ανάπτυξης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Τα σχήματα ανωμεταφοράς που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις της συγκεκριμένης διατριβής αναλύονται στην υποενότητα 2.6.5.

Οι ωκεανοί αλληλοεπιδρούν με την ατμόσφαιρα καθώς ανταλλάσσουν συνεχώς θερμότητα, υγρασία και άνθρακα. Αυτή η αλληλεπίδραση οδηγεί τα συστήματα καιρού και επηρεάζει το κλίμα με την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας και την απελευθέρωση θερμότητας. Αυτή η θερμότητα είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Η αργή απελευθέρωση θερμότητας από τους ωκεανούς για μεγάλο χρονικό διάστημα συνδέεται με την υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε θερμότητα. Επιπρόσθετα, οι ωκεανοί απελευθερώνουν αερόλυματα που επηρεάζουν την νεφοκάλυψη, απορροφούν και αποθηκεύουν διοξείδιο του άνθρακα και χάνουν νερό το οποίο επιστρέφει στη γη ως βροχόπτωση (<https://science.nasa.gov/>). Τα σχήματα ωκεάνιων ροών που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη διατριβή αναλύονται στην υποενότητα 2.6.5.

Ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στις κλιματικές παραμέτρους είναι το οριακό στρώμα. Οι διαδικασίες του πλανητικού οριακού στρώματος (PBL) ελέγχουν τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση κοντά στην επιφάνεια. Το έδαφος μπορεί να θερμανθεί ή να ψυχθεί από τις αλλαγές στο οριακό στρώμα. Σε ασταθείς συνθήκες ένα ανοδικό ρεύμα αυξάνει τη θερμοκρασία, ενώ ένα καθοδικό ρεύμα την

ελαττώνει. Οι συνθήκες ευστάθειας και αστάθειας στο οριακό στρώμα έχουν επίσης σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα του ανέμου (Oke 2002). Στην υποενότητα 2.6.5 περιγράφονται τα σχήματα πλανητικού οριακού στρώματος που χρησιμοποιούνται στις διαφορετικές προσομοιώσεις.

Στο πρώτο μέρος της διατριβής πραγματοποιήθηκαν έξι (6) διαφορετικές προσομοιώσεις χωρικής ανάλυσης $25 \times 25km$ με αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου για την περίοδο 1981-1990. Η κοινή τεχνική που ακολουθείται σε πολλές έρευνες για τον έλεγχο ευαισθησίας των κλιματικών μοντέλων είναι η χρήση 3-5 ετών (Martínez-Castro et al. 2006, Singh et al. 2006, Zanis et al. 2009, Giorgi et al. 2012, Gao et al. 2016). Παρόλα αυτά, επιλέχθηκε η χρήση μεγαλύτερου αριθμού ετών για το τεστ ευαισθησίας, ενώ η επιλογή της συγκεκριμένης δεκαετούς περιόδου έγινε για να είναι αντιπροσωπευτική των αλλαγών που συμβαίνουν στις προσομοιώσεις. Η πρώτη προσομοίωση χαρακτηρίζεται ως προσομοίωση αναφοράς (Reference) και χρησιμοποιεί τις αρχικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου. Οι αλλαγές που γίνονται στις παραμετροποιήσεις του μοντέλου σχετίζονται με το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης και τις αντίστοιχες υποθέσεις, το σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος και το σχήμα ωκεάνιων ροών. Για να μπορέσει να «τρέξει» το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4, ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ERA-Interim για τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (SST), καθώς και για τις αρχικές και οριακές συνθήκες (ICBC). Οι αλλαγές και οι συντομογραφίες των διαφορετικών προσομοιώσεων φαίνονται στον Πίνακα 2.3.

Στο δεύτερο μέρος της διατριβής χρησιμοποιήθηκαν οι αλλαγές που θεωρήθηκε ότι βελτιώνουν μεμονωμένα το μοντέλο και οι οποίες αφορούν το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης και τις αντίστοιχες υποθέσεις, καθώς και το σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος. Πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικές προσομοιώσεις για την περίοδο αναφοράς 1981-2000, έτσι ώστε να ελεγχθεί ο συνδυασμός των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και να αξιολογηθεί εάν είναι ο καταλληλότερος για τη βελτιστοποίηση του μοντέλου στην περιοχή μελέτης. Η πρώτη προσομοίωση χρησιμοποιεί τις αρχικές φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου (Reference_25km), ενώ η δεύτερη προσομοίωση χρησιμοποιεί το συνδυασμό των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις (Combine_25km). Οι δύο αυτές προσομοιώσεις έχουν χωρική ανάλυση $25 \times 25km$ και

ως «γονέας» χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας HadGEM2. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια προσομοίωση με χωρική ανάλυση $10 \times 10 \text{ km}$ (ύστερα από δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας), η οποία εστιάζει στην ελληνική περιοχή για τις περιόδους 1981-2000, 2041-2060 και 2081-2100. Προέρχεται από την εμφώλευση (nesting) της προσομοίωσης Combine_25km για τις αρχικές και οριακές συνθήκες του μοντέλου. Για τις μελλοντικές προβολές χρησιμοποιήθηκε το σενάριο εκπομπών RCP4.5. Οι παραμετροποιήσεις και οι συντομογραφίες αυτών των προσομοιώσεων περιγράφονται στον Πίνακα 2.4.

2.8 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Για την επεξεργασία των δεδομένων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες μέθοδοι και εργαλεία που περιγράφονται παρακάτω:

Student's/Welch's t-test: Πρόκειται για δύο παρόμοια τεστ τα οποία δείχνουν πόσο σημαντικές είναι οι διαφορές ανάμεσα σε δύο δείγματα (ίσο ή άνισο μέγεθος δειγμάτων - ίδια ή διαφορετική διακύμανση). Συγκεκριμένα το Student's t-test θεωρεί ότι τα δύο δείγματα έχουν κανονικές κατανομές και ίσες διακυμάνσεις. Αντίθετα, το Welch's t-test έχει σχεδιαστεί για διαφορετικές διακυμάνσεις, όμως οι κανονικές κατανομές των δειγμάτων ισχύουν και σε αυτή την περίπτωση. Στην πραγματικότητα πρόκειται για μια προσαρμογή του Student's t-test όταν δεν είναι γνωστό εάν οι διακυμάνσεις των δειγμάτων είναι ίδιες και έχει την ίδια δυναμική με το Student's t-test ακόμα και εάν οι διακυμάνσεις είναι εντέλει όμοιες (Wilks 2011). Ο υπολογισμός του στατιστικού t δίνεται από τη σχέση:

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad (\text{Welsh's } t\text{-test}) \quad (2.37)$$

όπου $\overline{X}_1, s_1^2$ και N_1 είναι η μέση τιμή, η διακύμανση και το μέγεθος του πρώτου δείγματος και $\overline{X}_2, s_2^2$ και N_2 είναι η μέση τιμή, η διακύμανση και το μέγεθος του δεύτερου δείγματος. Σε αντίθεση με το Student's t-test, ο παρονομαστής δεν βασίζεται σε εκτίμηση της συγκεντρωμένης διακύμανσης (pooled variance).

Πίνακας 2.3. Οι διαφορετικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τον έλεγχο ευαισθησίας του μοντέλου με τις αντίστοιχες παραμετροποιήσεις

	Reference	GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
<i>Driving Field</i>	ERAINT	ERAINT	ERAINT	ERAINT	ERAINT	ERAINT
<i>Cumulus Scheme</i>	MIT-Emanuel	Grell	Grell	Grell (πάνω από ξηρά) MIT-Emanuel (πάνω από θάλασσα)	MIT-Emanuel	MIT-Emanuel
<i>Convective Closure Scheme</i>	—	Arakawa-Schubert	Fritsch-Chappell	Fritsch-Chappell	—	—
<i>Planetary Boundary Layer Scheme</i>	Holtslag PBL	Holtslag PBL	Holtslag PBL	Holtslag PBL	UW-PBL	Holtslag PBL
<i>Ocean Flux Scheme</i>	Zeng et al.	Zeng et al.	Zeng et al.	Zeng et al.	Zeng et al.	BATS1e Monin-Obukhov
<i>Land Surface Model</i>				BATS		
<i>Lateral Boundary Conditions Scheme</i>			Relaxation, Exponential technique			
<i>Moisture Scheme</i>				SUBEX		
<i>Pressure Gradient Force Scheme</i>				Use full fields		

Πίνακας 2.4. Βασικές παραμετροποιήσεις και διαφορές ανάμεσα στις τρεις προσομοιώσεις του μοντέλου

	Reference_25km	Combine_25km	Combine_10km
<i>Driving Field</i>	HadGEM2	HadGEM2	Nested from Combine_25km
<i>RCP (Emission Scenario)</i>	RCP4.5	RCP4.5	RCP4.5
<i>Cumulus Scheme</i>	MIT-Emanuel	Grell (πάνω από ξηρά) MIT-Emanuel (πάνω από θάλασσα)	Grell (πάνω από ξηρά) MIT-Emanuel (πάνω από θάλασσα)
<i>Convective Closure Scheme</i>	–	Fritsch-Chappell	Fritsch-Chappell
<i>Planetary Boundary Layer Scheme</i>	Holtslag PBL	UW-PBL	UW-PBL
<i>Ocean Flux Scheme</i>	Zeng et al.	Zeng et al.	Zeng et al.
<i>Land Surface Model</i>		BATS	
<i>Lateral Boundary Conditions Scheme</i>		Relaxation, Exponential technique	
<i>Moisture Scheme</i>		SUBEX	
<i>Pressure Gradient Force Scheme</i>		Use full fields	

Διαγράμματα Taylor: Τα διαγράμματα Taylor (Taylor 2001) μελετούν την απόκλιση βασικών στατιστικών μεγεθών μεταξύ της τιμής του μοντέλου (εξεταζόμενη προσομοίωση) και των παρατηρήσεων (προσομοίωση αναφοράς). Σε αυτά τα διαγράμματα παρουσιάζονται οι αποκλίσεις τριών βασικών στατιστικών μεγεθών: της τυπικής απόκλισης (standard deviation), του συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) και της διαφοράς μέσης τετραγωνικής ρίζας (root mean square difference – RMS).

Η τυπική απόκλιση προσδιορίζει τη διακύμανση ή διασπορά των τιμών σε ένα δείγμα. Χαμηλές τιμές τυπικής απόκλισης δείχνουν ότι οι τιμές σε ένα δείγμα είναι κοντά στη μέση τιμή του δείγματος, ενώ υψηλές τιμές τυπικής απόκλισης δείχνουν μια ευρύτερη διασπορά των τιμών. Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2} \quad (2.38)$$

όπου x_n είναι μια μεταβλητή που ορίζεται σε N διακριτά σημεία και $\bar{x}$ είναι η μέση τιμή της μεταβλητής

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών f και r υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})(r_n - \bar{r})}{\sigma_f \sigma_r} \quad (2.39)$$

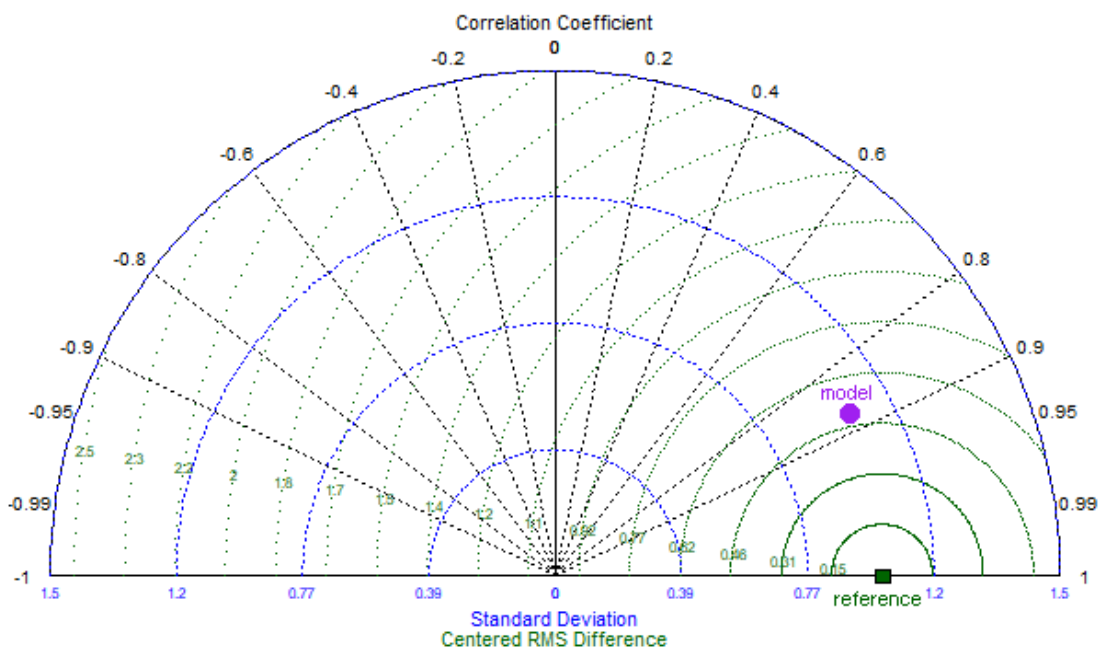
όπου f_n και r_n είναι οι δύο μεταβλητές που ορίζονται σε N διακριτά σημεία, $\bar{f}$ και $\bar{r}$ είναι οι μέσες τιμές των δύο μεταβλητών, και σ_f και σ_r είναι οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών f και r . Ο συντελεστής συσχέτισης φτάνει τη μέγιστη τιμή 1 όταν για όλα τα n ισχύει $(f_n - \bar{f}) = a(r_n - \bar{r})$, όπου a είναι μια θετική σταθερά. Σε αυτή την περίπτωση τα δύο πεδία έχουν το ίδιο μοτίβο διακύμανσης, αλλά δεν είναι πανομοιότυπα εκτός αν $a = 1$. Επομένως, δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός της ομοιότητας της διακύμανσης ανάμεσα στα δύο πεδία μόνο από το συντελεστή συσχέτισης.

Το στατιστικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των διαφορών δύο πεδίων είναι το RMS. Για πεδία f και r υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - r_n)^2 \right]^{1/2} \quad (2.40)$$

Το RMS πλησιάζει το μηδέν καθώς τα δύο πεδία γίνονται όμοια, αλλά είναι αδύνατο να προσδιοριστεί ποιο μέρος του σφάλματος οφείλεται σε διαφορές στη δομή των δύο πεδίων και ποιο μέρος οφείλεται σε διαφορές στη διακύμανση. Ο συντελεστής συσχέτισης και το RMS παρέχουν συμπληρωματικές στατιστικές πληροφορίες για την ποσοτικοποίηση της αντιστοιχίας δύο πεδίων, αλλά για ένα πιο ολοκληρωμένο χαρακτηρισμό των πεδίων θα πρέπει να δίνονται και οι τυπικές αποκλίσεις (διακυμάνσεις) τους.

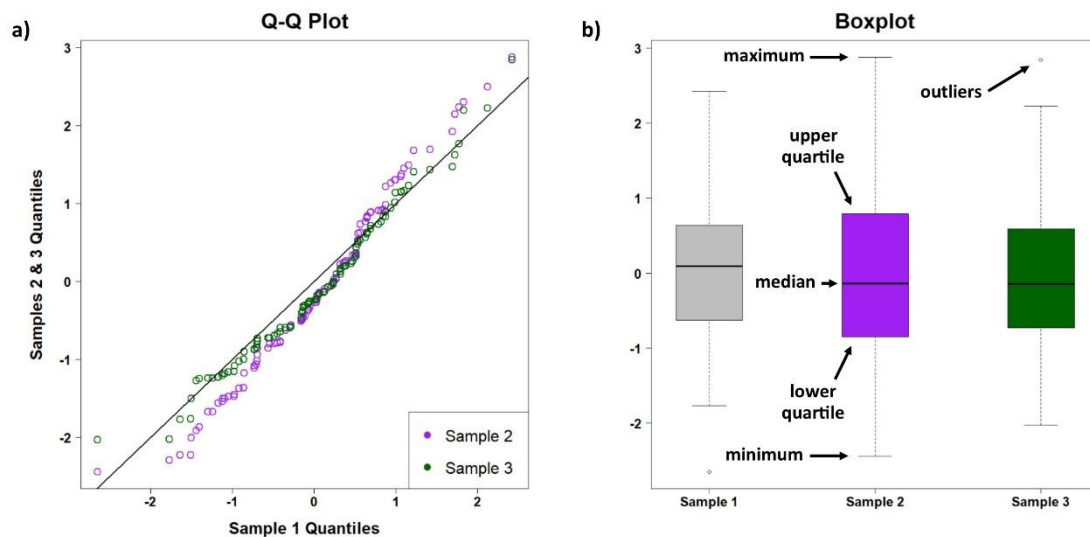
Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζεται ένα τυπικό Taylor διάγραμμα. Πρόκειται για ένα ημικύκλιο, στο οποίο σχεδιάζονται δύο σημεία, το πεδίο αναφοράς (reference) και το εξεταζόμενο πεδίο (model).



Σχήμα 2.4. Διάγραμμα Taylor για την απεικόνιση στατιστικών μοτίβων. Η ακτινική απόσταση από το αρχικό πεδίο είναι ανάλογη με την τυπική απόκλιση ενός μοτίβου. Η διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (centered RMS difference) ανάμεσα στο εξεταζόμενο πεδίο και το πεδίο αναφοράς είναι ανάλογη της απόστασής τους (ίδιες μονάδες με την τυπική απόκλιση). Η συσχέτιση μεταξύ των δύο πεδίων δίνεται από την αζιμουθιακή θέση του εξεταζόμενου πεδίου (Taylor 2001)

Διαγράμματα Q-Q (Quantile-Quantile): Τα διαγράμματα Q-Q (διαγράμματα ποσοστημορίων) (Wilks 2011) είναι μια γραφική απεικόνιση (Σχήμα 2.5 - a) που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση μιας σειράς δεδομένων με μια συγκεκριμένη κατανομή πιθανοτήτων ή με μια άλλη σειρά δεδομένων. Τα Q-Q plots αποτελούνται από τα σημεία των ποσοστημορίων της μιας σειράς δεδομένων σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσοστημόρια της δεύτερης σειράς δεδομένων, καθώς και από μια γραμμή αναφοράς $y = x$ (δηλαδή $\text{intersept} = 0, \text{slope} = 1$). Εάν οι κατανομές των δύο δειγμάτων είναι όμοιες, τα σημεία των ποσοστημορίων θα βρίσκονται πάνω στη γραμμή $y = x$, ενώ αν οι κατανομές έχουν την ίδια μορφή και έκταση αλλά διαφορετική θέση, τα σημεία των ποσοστημορίων θα βρίσκονται πάνω στη γραμμή $y = x + b$ (παράλληλη στη $y = x$), όπου το b δηλώνει τη διαφορά στη θέση. Τέλος, εάν οι κατανομές έχουν διαφορετική θέση και διαφέρουν κατά μια πολλαπλασιαστική σταθερά m , τότε τα σημεία των ποσοστημορίων θα βρίσκονται πάνω στη γραμμή $y = mx + b$. Οι διαφορές ανάμεσα στις κατανομές θα παράγουν διάφορα είδη αποκλίσεων από μια ευθεία γραμμή. Βασικό πλεονέκτημα των Q-Q plots είναι η δυνατότητα σύγκρισης σειρών δεδομένων, οι οποίες δεν έχουν το ίδιο πλήθος τιμών. Η σύγκριση των τιμών στα συγκεκριμένα διαγράμματα απαιτεί μόνο να ταξινομηθούν σε σειρά οι τιμές κάθε δείγματος.

Θηκογράμματα (Boxplots): Τα θηκογράμματα (Wilks 2011) είναι ένα γραφικό εργαλείο για την απεικόνιση σειρών δεδομένων με τη χρήση τεταρτημορίων. Η απεικόνιση των σειρών δεδομένων βασίζεται στον υπολογισμό πέντε αριθμών. Συγκεκριμένα, τη χαμηλότερη τιμή με εξαίρεση τις ακραίες τιμές (minimum), τη μέγιστη τιμή με εξαίρεση τις ακραίες τιμές (maximum), τη μέση τιμή των δεδομένων (median - 50th percentile), το χαμηλότερο ή πρώτο τεταρτημόριο (25th percentile) και το ανώτερο ή τρίτο τεταρτημόριο (75th percentile) (Σχήμα 2.5 - b). Τα θηκογράμματα μπορούν να έχουν και γραμμές (whiskers) που εκτείνονται έξω από το ανώτερο και κατώτερο τεταρτημόριο και υποδεικνύουν τη μεταβλητότητα των δεδομένων έξω από αυτά τα σημεία. Τέλος, στα θηκογράμματα μπορεί να απεικονίζονται, εφόσον υπάρχουν, και ακραίες τιμές της σειράς δεδομένων ως μεμονωμένα σημεία.



Σχήμα 2.5. α) Διάγραμμα Q-Q (διάγραμμα ποσοστημορίων) για τη σύγκριση δύο σειρών δεδομένων (sample 2 & 3 - άξονας y) σε σχέση με σειρά δεδομένων αναφοράς (sample 1 - άξονας x). β) Θηκογράμματα (boxplots) για τρεις σειρές δεδομένων (sample 1, sample 2 και sample 3). Στο σχήμα φαίνονται οι πέντε αριθμοί που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των διαγραμμάτων (minimum, maximum, median, lower & upper quartile)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (SENSITIVITY TEST)

ΤΟΥ RegCM ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου ευαισθησίας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM για την περιοχή της Μεσογείου. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των έξι διαφορετικών προσομοιώσεων του μοντέλου με αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις για την περίοδο 1981-1990.

3.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν έξι διαφορετικές προσομοιώσεις με αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις (όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2). Οι προσομοιώσεις καλύπτουν την περίοδο 1981-1990, η οποία επιλέχθηκε για να είναι αντιπροσωπευτική των αλλαγών που συμβαίνουν στις προσομοιώσεις. Η πρώτη προσομοίωση χαρακτηρίζεται ως προσομοίωση αναφοράς (Reference) και χρησιμοποιεί τις αρχικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου. Οι αλλαγές που γίνονται σχετίζονται με το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης και τις αντίστοιχες υποθέσεις, το σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος και το σχήμα ωκεάνιων ροών.

Ως πρώτο βήμα πραγματοποιήθηκε έλεγχος του RegCM4 με τη χρήση της βάσης δεδομένων E-OBS, η οποία, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, καλύπτει μεγάλο μέρος της ηπειρωτικής Ευρώπης και περιέχει ημερήσια μεσοποιημένα δεδομένα υψηλής ανάλυσης, τα οποία προέρχονται από τη βάση δεδομένων σταθμών του ECA&D με τη χρήση της παρεμβολής Kriging. Συγκεκριμένα, για τις παραμέτρους της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας, υπολογίστηκαν οι διαφορές ανάμεσα στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) και τα δεδομένα E-OBS και

στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι χάρτες των διαφορών και έγινε η σύγκριση αυτών. Η σύγκριση αυτή στοχεύει στο να καθορίσει κατά πόσο η προσομοίωση αναφοράς (Reference) προσομοιώνει ικανοποιητικά τα δεδομένα E-OBS, έτσι ώστε να γίνει εκτίμηση των αλλαγών στις παραμετροποιήσεις του μοντέλου σε σχέση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference).

Πίνακας 3.1. Οι υπό εξέταση παράμετροι

Παράμετροι	Μονάδες
Ελάχιστη θερμοκρασία (<i>Near-surface (2m) minimum air temperature</i>)	°C
Μέγιστη θερμοκρασία (<i>Near-surface (2m) maximum air temperature</i>)	°C
Μέση θερμοκρασία (<i>Near-surface (2m) mean air temperature</i>)	°C
Συνολική βροχόπτωση (<i>Total precipitation</i>)	mm/day
Βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (<i>Convective precipitation</i>)	mm/day
Μέση πίεση επιφανείας (<i>Mean sea level pressure</i>)	hPa
Ταχύτητα ανέμου (<i>10m wind speed</i>)	m/s
Λευκαύγεια λόγω άμεσης/διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (<i>Surface albedo for direct/diffuse shortwave radiation</i>)	1
Πάχος ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (<i>Atmospheric boundary layer thickness</i>)	km

Για να γίνει έλεγχος ευαισθησίας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 στα διαφορετικά σχήματα φυσικών παραμετροποιήσεων, ελέγχθηκε ένας αριθμός παραμέτρων που θεωρείται ότι επηρεάζονται από αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου (Πίνακας 3.1). Η επεξεργασία των διαφορετικών προσομοιωμένων δεδομένων έγινε εποχιακά. Οι διαφορές μεταξύ των προσομοιώσεων με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις και της προσομοίωσης αναφοράς (Reference) υπολογίστηκαν, χαρτογραφήθηκαν και συγκρίθηκαν έτσι ώστε να γίνει αξιολόγηση των αλλαγών. Η στατιστική σημαντικότητα των διαφορών υπολογίστηκε με τη χρήση του Student's t-test (Wilks 2011). Για να πραγματοποιηθεί μια πιο λεπτομερής αξιολόγηση των αλλαγών στις παραμετροποιήσεις του μοντέλου, η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε πέντε μικρότερες υποπεριοχές. Η επεξεργασία των προσομοιωμένων δεδομένων κάθε υποπεριοχής έγινε εποχιακά για όλες τις προσομοιώσεις. Τέλος, για να γίνει σύγκριση των διαφορετικών προσομοιώσεων σε κάθε υποπεριοχή από την άποψη της συσχέτισης (correlation), της

τυπικής απόκλισης (standard deviation) και της διαφοράς μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference), δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα Taylor για τις εξεταζόμενες παραμέτρους (Wilks 2011, Taylor 2001). Η προσομοίωση αναφοράς (Reference) χρησιμοποιήθηκε ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα Taylor.

3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ E-OBS

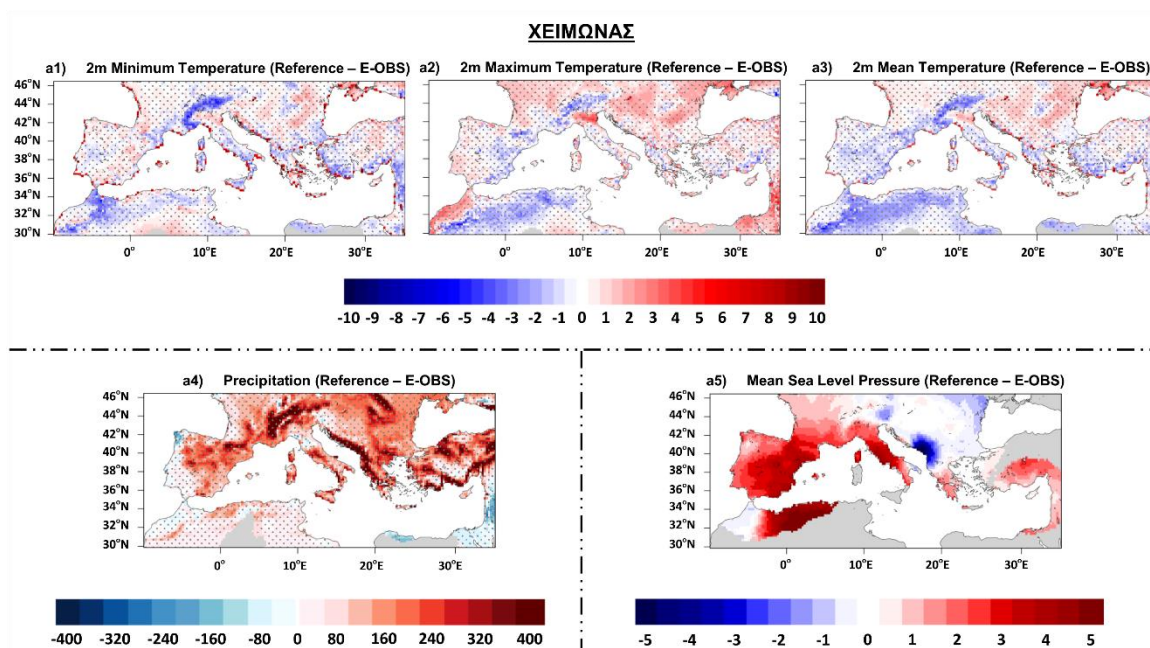
3.2.1 Θερμοκρασία (Temperature - Tmin, Tmax, Tmean)

Σε ό,τι αφορά στις ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 3.1 - a1), κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών (Δεκέμβριος - Ιανουάριος - Φεβρουάριος), το μοντέλο υποεκτιμά σημαντικά τα πραγματικά δεδομένα κυρίως στην περιοχή των Άλπεων. Μικρή υποεκτίμηση παρατηρείται επίσης στην Ιταλία, τη βόρεια Ελλάδα και σε τμήματα της κεντρικής Ευρώπης, ενώ η ανατολική Ευρώπη, η οροσειρά Μασίφ Σαντράλ (Massif Central Mountains) και μέρος της Ιβηρικής Χερσονήσου χαρακτηρίζονται από μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική υπερεκτίμηση της παραμέτρου. Το μοντέλο υποεκτιμά σημαντικά τις μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 3.1 - a2) στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου και στις Άλπεις, ενώ στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική υπερεκτίμηση της παραμέτρου. Στην περίπτωση των μέσων θερμοκρασιών (Σχήμα 3.1 - a3), το μοντέλο υποεκτιμά σημαντικά την παράμετρο στο νότιο τμήμα της Ευρώπης, με την υποεκτίμηση να είναι πιο έντονη στην περιοχή των Άλπεων. Αντίθετα, στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη, καθώς και στα Βαλκάνια, εντοπίζεται μια μικρή και στατιστικά σημαντική υπερεκτίμηση της παραμέτρου.

Στην περίπτωση της άνοιξης, το μοντέλο φαίνεται να υποεκτιμά σημαντικά τις ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.1 - b1). Η πιο έντονη υποεκτίμηση παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση στην περιοχή των Άλπεων. Τμήμα της οροσειράς Μασίφ Σαντράλ, καθώς και η νότια Ελλάδα χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή υπερεκτίμηση της παραμέτρου. Σε ό,τι αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.1 - b2), παρατηρείται στατιστικά σημαντική υποεκτίμηση της παραμέτρου στην ανατολική Ευρώπη, τη βόρεια και κεντρική Ελλάδα, τμήμα της Βαλκανικής Χερσονήσου, καθώς και σε μεγάλο τμήμα των Άλπεων, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης το μοντέλο υπερεκτιμά σημαντικά την παράμετρο. Το μοντέλο υποεκτιμά σημαντικά τη μέση θερμοκρασία (Σχήμα Παρ.1 - b3)

κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου, στις Άλπεις, σε τμήμα της κεντρικής Ευρώπης, τη Τουρκία, καθώς και τη βόρεια και κεντρική Ελλάδα. Αντίθετα, στη δυτική και ανατολική Ευρώπη, και το νότιο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου παρατηρείται πολύ μικρή αλλά στατιστικά σημαντική υπερεκτίμηση της παραμέτρου.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 3.2 - c1) κατά κύριο λόγο υπερεκτιμούνται σημαντικά από το μοντέλο στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης εκτός από τις Άλπεις, όπου παρατηρείται μια υποεκτίμηση της παραμέτρου. Στην περίπτωση των μέγιστων θερμοκρασιών (Σχήμα 3.2 - c2), παρατηρείται σε γενικές γραμμές υπερεκτίμηση των πραγματικών δεδομένων, χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντική. Το μοντέλο υπερεκτιμά τις μέσες θερμοκρασίες (Σχήμα 3.2 - c3) σε όλη την περιοχή μελέτης εκτός από τις Άλπεις, όπου εντοπίζεται και πάλι μια μικρή υποεκτίμηση της παραμέτρου. Και σε αυτή την περίπτωση οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.



Σχήμα 3.1. Χάρτες διαφορών (Reference προσομοίωση - δεδομένα E-OBS) για ελάχιστη, μέγιστη και μέση θερμοκρασία (°C), βροχόπτωση (mm/season) και μέση πίεση επιφανείας (hPa) κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Σε ό,τι αφορά τις θερμοκρασίες, το φθινόπωρο παρατηρείται παρόμοια εικόνα με εκείνη στην περίπτωση των καλοκαιρινών μηνών του έτους, με τις διαφορές να είναι λιγότερο έντονες. Συγκεκριμένα, το μοντέλο υπερεκτιμά τις ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.2 - d1) στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης εκτός από τις Άλπεις, όπου η παράμετρος υποεκτιμάται σημαντικά. Υποεκτίμηση της παραμέτρου εντοπίζεται επίσης στο νότιο τμήμα της Ιταλίας και σε κομμάτι της βόρειας Ελλάδας. Οι μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.2 - d2) φαίνεται να υπερεκτιμούνται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, με εξαίρεση ένα κομμάτι των Άλπεων, τμήμα της Πίνδου στην Ελλάδα, καθώς και την Τουρκία όπου το μοντέλο υποεκτιμά τα πραγματικά δεδομένα. Στην περίπτωση των μέσων θερμοκρασιών (Σχήμα Παρ.2 - d3), το μοντέλο υπερεκτιμά τα πραγματικά δεδομένα σε μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης. Εξαίρεση αποτελούν οι Άλπεις, η ανατολική Ιβηρική Χερσόνησος, η νότια Ιταλία, η κεντρική Ελλάδα και η Τουρκία, όπου εντοπίζεται υποεκτίμηση της παραμέτρου από το μοντέλο.

3.2.2 Βροχόπτωση (Precipitation)

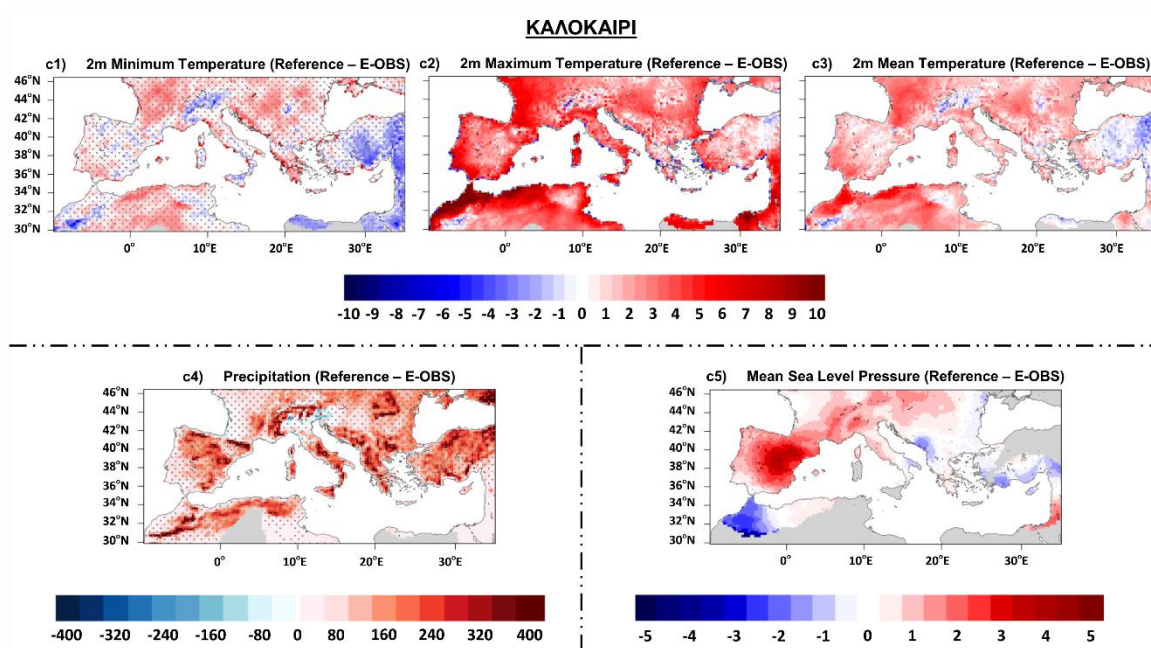
Στην περίπτωση της βροχόπτωσης, κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.1 - a4) το μοντέλο (σε σχέση με τα E-OBS δεδομένα) παρουσιάζει μια στατιστικά σημαντική υπερεκτίμηση της παραμέτρου στις ηπειρωτικές περιοχές, η οποία είναι πιο έντονη στις οροσειρές όπως είναι η Πίνδος και οι Άλπεις. Παρ' όλα αυτά, μια στατιστικά σημαντική υποεκτίμηση της βροχόπτωσης παρατηρείται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου καθώς και στη βόρεια Ιταλία.

Την άνοιξη, το μοντέλο υπερεκτιμά σημαντικά τη βροχόπτωση (Σχήμα Παρ.1 - b4) στην περιοχή μελέτης. Η υπερεκτίμηση αυτή είναι πιο έντονη στις οροσειρές (Πίνδος, Άλπεις, Δειναρικές Άλπεις, Απέννινα Όρη, Πυρηναία, Ιβηρικά Όρη, οροσειρά Μασίφ Σαντράλ, Αίμος, οροσειρά του Ταύρου) και σε αυτή την περίπτωση.

Κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών (Ιούνιος - Ιούλιος - Αύγουστος) (Σχήμα 3.2 - c4), το μοντέλο υπερεκτιμά τη βροχόπτωση στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Αυτή η στατιστικά σημαντική υπερεκτίμηση δεν είναι τόσο έντονη όσο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αλλά είναι και πάλι πιο ενισχυμένη στις οροσειρές. Μια υποεκτίμηση της παραμέτρου παρατηρείται στην περιοχή κάτω από τις Άλπεις (βόρειο τμήμα της Ιταλίας).

Σε ό,τι αφορά τη βροχόπτωση κατά το φθινόπωρο (Σχήμα Παρ.2 - d4), το μοντέλο παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με το καλοκαίρι. Συγκεκριμένα, παρατηρείται

υπερεκτίμηση της παραμέτρου στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, η οποία είναι πιο ενισχυμένη στις οροσειρές. Αντίθετα, μικρή αλλά σημαντική υποεκτίμηση της βροχόπτωσης εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα της Ιταλίας, καθώς και σε ένα πολύ μικρό κομμάτι της βορειοδυτικής Ιβηρικής Χερσονήσου.



Σχήμα 3.2. Χάρτες διαφορών (Reference προσομοίωση - δεδομένα E-OBS) για ελάχιστη, μέγιστη και μέση θερμοκρασία (°C), βροχόπτωση (mm/season) και μέση πίεση επιφανείας (hPa) κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

3.2.3 Μέση πίεση επιφανείας (Mean sea level pressure)

Σε ό,τι αφορά τη μέση πίεση επιφανείας, κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.1 - a5) εντοπίζεται υπερεκτίμηση των πιέσεων στην Ιβηρική Χερσόνησο, την Γαλλία, την Ιταλία και το νότιο τμήμα της Ελλάδας, ενώ τα δυτικά Βαλκάνια χαρακτηρίζονται από υποεκτίμηση της παραμέτρου. Παρόλα αυτά, οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Στην κεντρική Ευρώπη το μοντέλο προσεγγίζει ικανοποιητικά τα δεδομένα E-OBS.

Την άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος) παρατηρείται υπερεκτίμηση της μέσης πίεσης επιφανείας (Σχήμα Παρ.1 - b5) στην Ιβηρική Χερσόνησο, τη δυτική και κεντρική Ευρώπη, καθώς και την κεντρική και νότια Ελλάδα. Η υπερεκτίμηση αυτή είναι πιο έντονη στο βορειοανατολικό τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου. Αντίθετα, τα δυτικά Βαλκάνια και

τμήμα της νότιας Ιταλίας χαρακτηρίζονται από υποεκτίμηση της παραμέτρου. Παρόλα αυτά, οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές σε κανένα σημείο της περιοχής μελέτης.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Σχήμα 3.2 - c5), το μοντέλο υπερεκτιμά τη μέση πίεση επιφανείας στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, ενώ μια μικρή υποεκτίμηση εντοπίζεται στη βορειοδυτική Ελλάδα, τα δυτικά Βαλκάνια και την ανατολική Ευρώπη, αλλά και πάλι οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Στην περίπτωση των φθινοπωρινών μηνών του έτους (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος), το μοντέλο υπερεκτιμά τη μέση πίεση επιφανείας στην περιοχή μελέτης (Σχήμα Παρ.2 - d5). Η υπερεκτίμηση είναι πιο έντονη (4-5 hPa) στην ανατολική και βόρεια Ιβηρική Χερσόνησο, στην κεντρική Ιταλία, καθώς και σε τμήμα των Άλπεων και των Πυρηνάων. Και σε αυτή την περίπτωση όμως, οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο σύνολο της περιοχής μελέτης.

3.2.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Από τον έλεγχο του μοντέλου με τη χρήση δεδομένων E-OBS παρατηρείται ότι το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4 είναι γενικά θερμότερο από τα πραγματικά δεδομένα, κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου, στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης εκτός από τις Άλπεις, όπου οι θερμοκρασίες φαίνεται να είναι χαμηλότερες από τις παρατηρούμενες. Αντίθετα, το χειμώνα και την άνοιξη παρατηρείται μια υποεκτίμηση της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης. Σε ό,τι αφορά τη βροχόπτωση, το μοντέλο χαρακτηρίζεται από μια υγρή απόκλιση (wet bias) σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις σε όλες τις εποχές στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Αυτά τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με τα ευρήματα των Torma et al. (2011), οι οποίοι εντόπισαν μια υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης από το RegCM3 στη λεκάνη των Καρπαθίων και τη γύρω περιοχή συγκρίνοντας τα δεδομένα του μοντέλου με αντίστοιχα δεδομένα E-OBS. Τέλος, στην περίπτωση της μέσης πίεσης επιφανείας, οι παρατηρούμενες διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, η προσομοίωση αναφοράς (Reference) δεν προσομοιώνει ικανοποιητικά τα δεδομένα E-OBS και κυρίως στην περίπτωση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Για να μπορέσει το μοντέλο να προσεγγίσει τις παρατηρήσεις, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου.

3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ (ΔΙΑΦΟΡΕΣ)

Ο έλεγχος ευαισθησίας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 στα διαφορετικά σχήματα φυσικών παραμετροποιήσεων, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί για τα σχήματα εκείνα που θα μπορούσαν να μειώσουν τις θερμές και υγρές αποκλίσεις (warm and wet biases) που παρατηρήθηκαν από τη σύγκριση του μοντέλου με δεδομένα E-OBS. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε σε δύο σχήματα τα οποία φαίνεται να επηρεάζουν όλες τις παραμέτρους (αλλαγή σχήματος πλανητικού οριακού στρώματος από Holtslag PBL σε UW-PBL και αλλαγή σχήματος ωκεάνιων ροών από Zeng et. al σε BATS1e Monin-Obukhov). Σε ό,τι αφορά τα σχήματα πλανητικού οριακού στρώματος, οι αλλαγές στο πάχος του οριακού στρώματος που οδηγούν με τη σειρά τους σε αλλαγές στην τυρβώδη διάχυση και μεταφορά αερίων μαζών στο πλανητικό οριακό στρώμα, έχουν ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και του ανέμου. Επιπρόσθετα, οι διαφορές που παρατηρούνται στα μήκη τραχύτητας ανάμεσα στα διαφορετικά σχήματα ωκεάνιων ροών, για ανταλλαγή θερμότητας και υγρασίας, μεταβάλλουν τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, ενώ επηρεάζεται και η ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Επιπλέον, ελέγχθηκε και το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης του μοντέλου με την αλλαγή του σχήματος MIT-Emanuel σε Grell με δύο διαφορετικές υποθέσεις (Fritsch-Chappell, Arakawa-Schubert), καθώς και με το συνδυασμό των δύο σχημάτων (Grell και MIT-Emanuel) πάνω από ξηρά και θάλασσα. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται στα διαφορετικά σχήματα κατακόρυφης ανάπτυξης (ροές μάζας, μεταφορά αέρα στην κορυφή και τη βάση του νέφους, ψύξη υγρών καθοδικών ρευμάτων) και οι διαφορετικές υποθέσεις ευστάθειας που χρησιμοποιούνται, καθώς επίσης η ενεργοποίηση και ο χρόνος που απαιτείται για την επιβράδυνση του κάθε σχήματος, επηρεάζουν κυρίως τη βροχόπτωση και εν μέρει τη θερμοκρασία.

3.3.1 Θερμοκρασία (Air temperature - T_{min} , T_{max} , T_{mean})

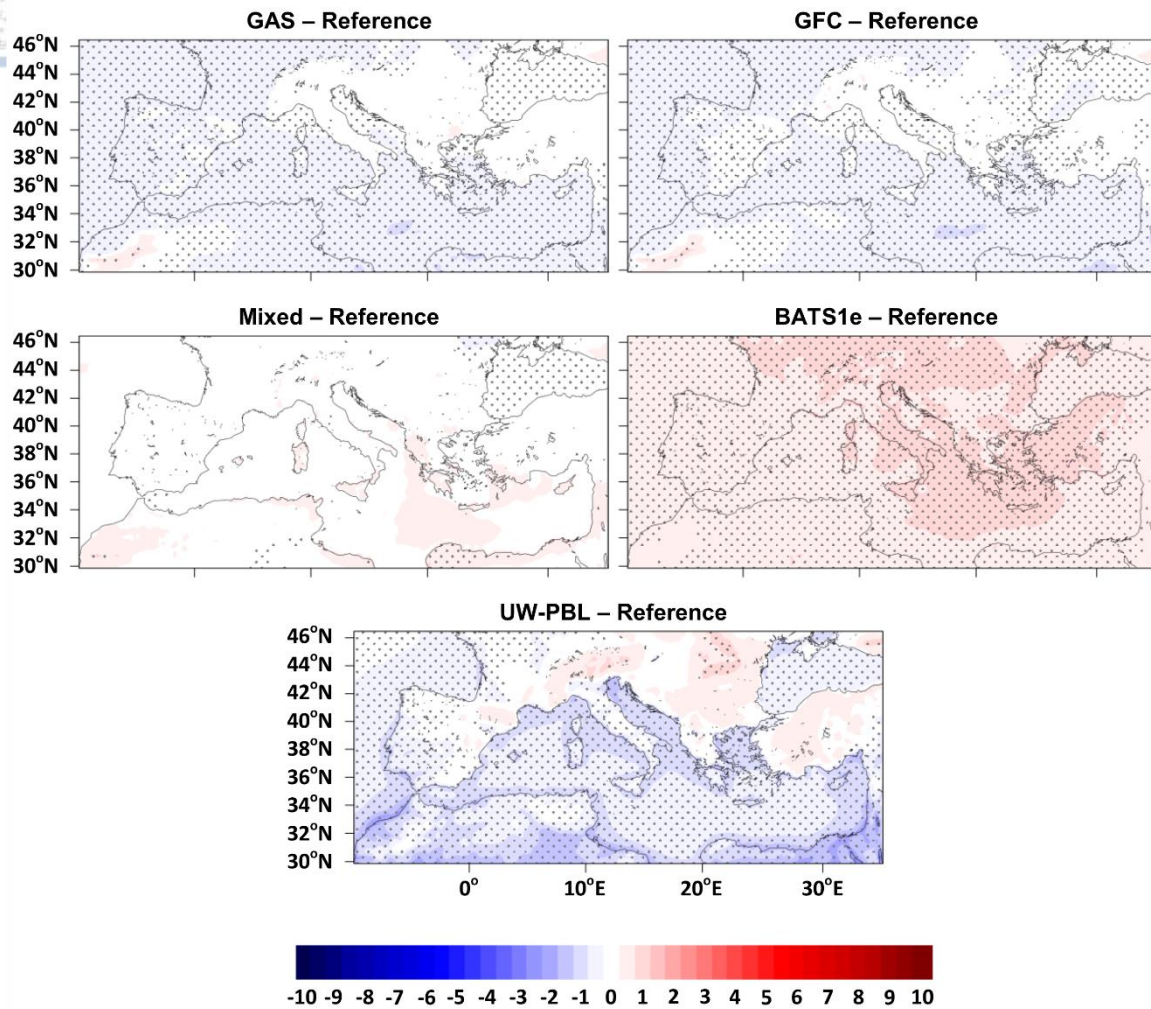
Χειμώνας

Αρχικά εξετάστηκε η θερμοκρασία στην επιφάνεια (2m). Στις προσομοιώσεις GAS GFC (Πίνακας 2.2 για τις συντμήσεις των προσομοιώσεων), κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρατηρείται μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 3.3) σε θαλάσσιες περιοχές, καθώς και στην κεντρική Ευρώπη και την Ιβηρική

Χερσόνησο, ενώ στην Mixed προσομοίωση δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή στην παράμετρο. Στην προσομοίωση BATS1e η μέση θερμοκρασία αυξάνεται σημαντικά στην περιοχή μελέτης, ενώ στην UW-PBL προσομοίωση η παράμετρος μειώνεται σημαντικά στις θαλάσσιες περιοχές και παρατηρείται μια αύξηση στην ανατολική Ευρώπη καθώς οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο οριακό στρώμα επηρεάζουν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια. Πιο συγκεκριμένα, το σχήμα UW-PBL, το οποίο χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη προσομοίωση, χαρακτηρίζεται από μια ψύξη που οφείλεται στη μείωση της στροβιλώδους διάχυσης θερμότητας (eddy heat diffusivity) στη χαμηλότερη τροπόσφαιρα που λαμβάνει χώρα σε αυτό το σχήμα. Η βασική διαφορά ανάμεσα στα δύο σχήματα πλανητικού οριακού στρώματος (PBL schemes), το Holtslag και το UW-PBL σχήμα, είναι η ακτινοβολία ψύξης στην κορυφή των νεφών στο σχήμα UW-PBL, η οποία οδηγεί στην παραγωγή τυρβώδους ροής (Elguindi et al. 2014).

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση της ελάχιστης (Σχήμα Παρ.3) και μέγιστης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.4). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται σημαντική μείωση της παραμέτρου στην περίπτωση των GFC και GAS προσομοιώσεων, τόσο στις θαλάσσιες περιοχές όσο και στην κεντρική Ευρώπη, την Ιβηρική Χερσόνησο και την οροσειρά Μασίφ Σαντράλ (κυρίως στις μέγιστες θερμοκρασίες). Στη Mixed προσομοίωση οι ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες δεν παρουσιάζουν σημαντική αλλαγή εκτός από την κεντρική Ιβηρική Χερσόνησο και μικρό μέρος της ανατολικής Ευρώπης, όπου οι μέγιστες θερμοκρασίες ελαττώνονται σημαντικά. Σε ό,τι αφορά την προσομοίωση BATS1e, εντοπίζεται μια σημαντική αύξηση της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης. Στην περίπτωση της UW-PBL προσομοίωσης, παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική μείωση των μέγιστων θερμοκρασιών στις θαλάσσιες περιοχές καθώς και στην κεντρική Γαλλία και την Ιβηρική Χερσόνησο, ενώ οι ελάχιστες θερμοκρασίες αυξάνουν σημαντικά στην περιοχή των Άλπεων και την ανατολική Ευρώπη, ενώ μειώνονται στις θαλάσσιες περιοχές. Και σε αυτή την περίπτωση, σημαντικό ρόλο παίζει η ψύξη λόγω μείωσης της στροβιλώδους διάχυσης θερμότητας (eddy heat diffusivity) στην χαμηλότερη τροπόσφαιρα που λαμβάνει χώρα στο σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος UW-PBL.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ



Σχήμα 3.3. Χάρτες διαφορών για τη μέση θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Άνοιξη

Κατά την άνοιξη, στην περίπτωση των GAS και GFC προσομοιώσεων παρατηρείται και πάλι μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.5) στην περιοχή μελέτης με εξαίρεση την περιοχή των Άλπεων, όπου δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή. Η μείωση αυτή, στην προσομοίωση GFC, είναι πιο έντονη στην ανατολική Ευρώπη. Στην προσομοίωση BATS1e παρατηρείται μια μικρή αλλά σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, η οποία είναι πιο έντονη στην κεντρική και

δυτική Ευρώπη και σε τμήμα της Ιταλίας και της Ελλάδας, ενώ στην προσομοίωση Mixed δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή στην παράμετρο με εξαίρεση την ανατολική Ευρώπη, όπου η μέση θερμοκρασία χαρακτηρίζεται από μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση. Η προσομοίωση UW-PBL χαρακτηρίζεται από μια στατιστικά σημαντική μείωση της μέσης θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης, η οποία είναι πιο έντονη στις θαλάσσιες περιοχές, με εξαίρεση την κεντρική Ευρώπη, τμήμα της ανατολικής Ευρώπης και τα Βαλκάνια, όπου δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή.

Στην περίπτωση της ελάχιστης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.6) παρατηρείται μια μικρή αλλά σημαντική μείωση της παραμέτρου στην προσομοίωση GAS, η οποία εντοπίζεται στις θαλάσσιες περιοχές, στη δυτική και ανατολική Ευρώπη και στο κεντρικό και νότιο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου, ενώ στην GFC προσομοίωση η μείωση των ελάχιστων θερμοκρασιών παρατηρείται σε όλη την περιοχή μελέτης με εξαίρεση τη βορειοδυτική Ιβηρική Χερσόνησο και τα Βαλκάνια. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση της μέγιστης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.7) με τη μείωση να είναι πιο έντονη και στις δύο προσομοιώσεις (GAS και GFC) κυρίως στον ηπειρωτικό κορμό με εξαίρεση τις Άλπεις, όπου δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή στην παράμετρο. Συγκεκριμένα, παρατηρείται σημαντική μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας στις προσομοιώσεις GFC και GAS στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης (εξαίρεση αποτελούν οι Άλπεις όπου δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή), ενώ στην περίπτωση της GFC προσομοίωσης, η μείωση είναι πιο έντονη στην ανατολική Ευρώπη. Στην περίπτωση της Mixed προσομοίωσης παρατηρείται μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας στην κεντρική και δυτική Ιβηρική Χερσόνησο, καθώς και την δυτική, κεντρική και ανατολική Ευρώπη. Αντίθετα, οι ελάχιστες θερμοκρασίες δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική αλλαγή στην περιοχή μελέτης. Τόσο οι ελάχιστες όσο και οι μέγιστες θερμοκρασίες φαίνεται να αυξάνονται στην προσομοίωση BATS1e. Η αύξηση αυτή είναι σημαντική στο μεγαλύτερο μέρος των θαλάσσιων περιοχών, ενώ πιο έντονη και στατιστικά σημαντική είναι στη δυτική και κεντρική Ευρώπη, την Ιταλία και μέρος των Βαλκανίων. Τέλος, στην περίπτωση της UW-PBL προσομοίωσης παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική μείωση των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών στην περιοχή μελέτης. Σε ό,τι αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες, εξαίρεση αποτελεί η περιοχή των Άλπεων όπου δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή, ενώ η μείωση της παραμέτρου

είναι πιο έντονη στη νότιο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου. Αντίθετα, η μείωση στις ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρείται μόνο στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ στον ηπειρωτικό κορμό δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή.

Καλοκαίρι

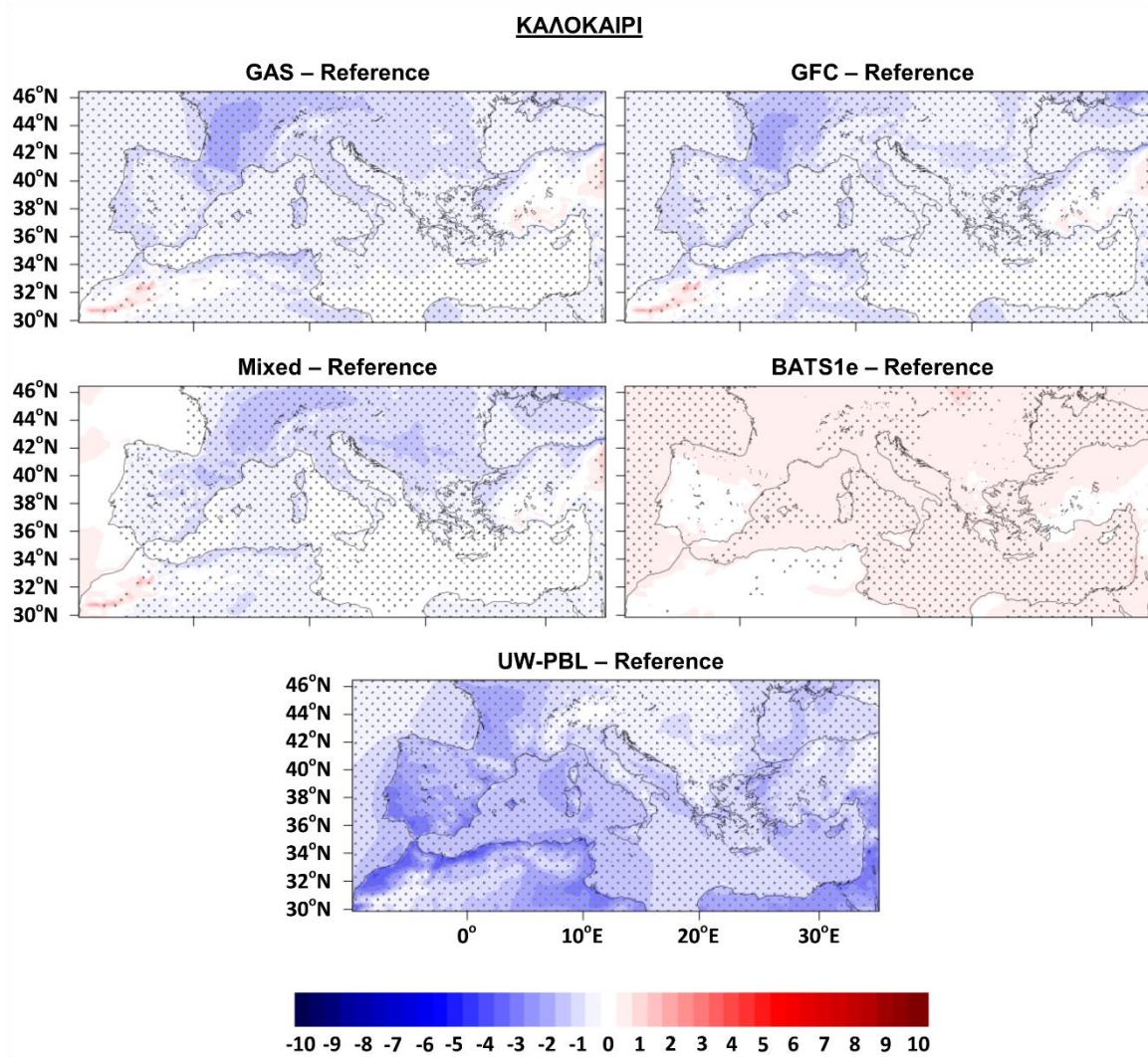
Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική μείωση της μέση θερμοκρασίας (Σχήμα 3.4) στην περιοχή μελέτης στις περιπτώσεις των GAS και GFC προσομοιώσεων, ενώ στη Mixed προσομοίωση μόνο οι ηπειρωτικές περιοχές χαρακτηρίζονται από μείωση της παραμέτρου. Μια εμφανής ψύξη στην περιοχή μελέτης παρατηρείται επίσης στην περίπτωση της UW-PBL προσομοίωσης καθώς κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στα χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου, η τυρβώδης ανάμειξη (turbulent mixing) είναι ισχυρή λόγω της ηλιακής θέρμανσης της επιφάνειας. Η μείωση σε αυτή την προσομοίωση είναι πιο έντονη στην οροσειρά Μασίφ Σαντράλ και στην Ιβηρική Χερσόνησο, καθώς επίσης και στην Ιβηρική και την Τυρρηνική θάλασσα. Στην προσομοίωση BATS1e, παρατηρείται μια μικρή αλλά σημαντική αύξηση της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης και ειδικότερα στις θαλάσσιες περιοχές.

Οι ελάχιστες (Σχήμα Παρ.8) και μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.9) παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα, με τις αλλαγές να είναι πιο έντονες στις μέγιστες θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις των GFC, GAS και UW-PBL προσομοιώσεων, η παράμετρος μειώνεται σημαντικά στην περιοχή μελέτης, ενώ στην Mixed προσομοίωση η μείωση παρατηρείται μόνο στις ηπειρωτικές περιοχές, στην Ιβηρική και Τυρρηνική θάλασσα και στο Αιγαίο. Στην περίπτωση της προσομοίωσης BATS1e, δεν εντοπίζονται στατιστικά σημαντικές αλλαγές στις μέγιστες θερμοκρασίες, ενώ οι ελάχιστες θερμοκρασίες αυξάνονται σημαντικά στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη καθώς και στις θαλάσσιες περιοχές.

Φθινόπωρο

Το φθινόπωρο παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική μείωση της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.10) στην περιοχή μελέτης (προσομοιώσεις GAS και GFC) με εξαίρεση την Ελλάδα και την Τουρκία, όπου δεν εντοπίζεται κάποια σημαντική αλλαγή, ενώ στη δυτική Ευρώπη η ψύξη είναι πιο έντονη. Στην περίπτωση της Mixed προσομοίωσης, μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση της παραμέτρου εντοπίζεται μόνο στο ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής μελέτης με εξαίρεση την Ελλάδα και τη νότια

Ιταλία, όπου δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή. Αντίθετα, η μέση θερμοκρασία παρουσιάζει αύξηση στην περίπτωση της προσομοίωσης BATS1e στην περιοχή μελέτης, η οποία είναι στατιστικά σημαντική μόνο στις θαλάσσιες περιοχές. Η UW-PBL προσομοίωση χαρακτηρίζεται από σημαντική μείωση της μέσης θερμοκρασίας στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, με την μείωση αυτή να είναι πιο έντονη στο νότιο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή των Άλπεων και τα Βαλκάνια, όπου δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή.



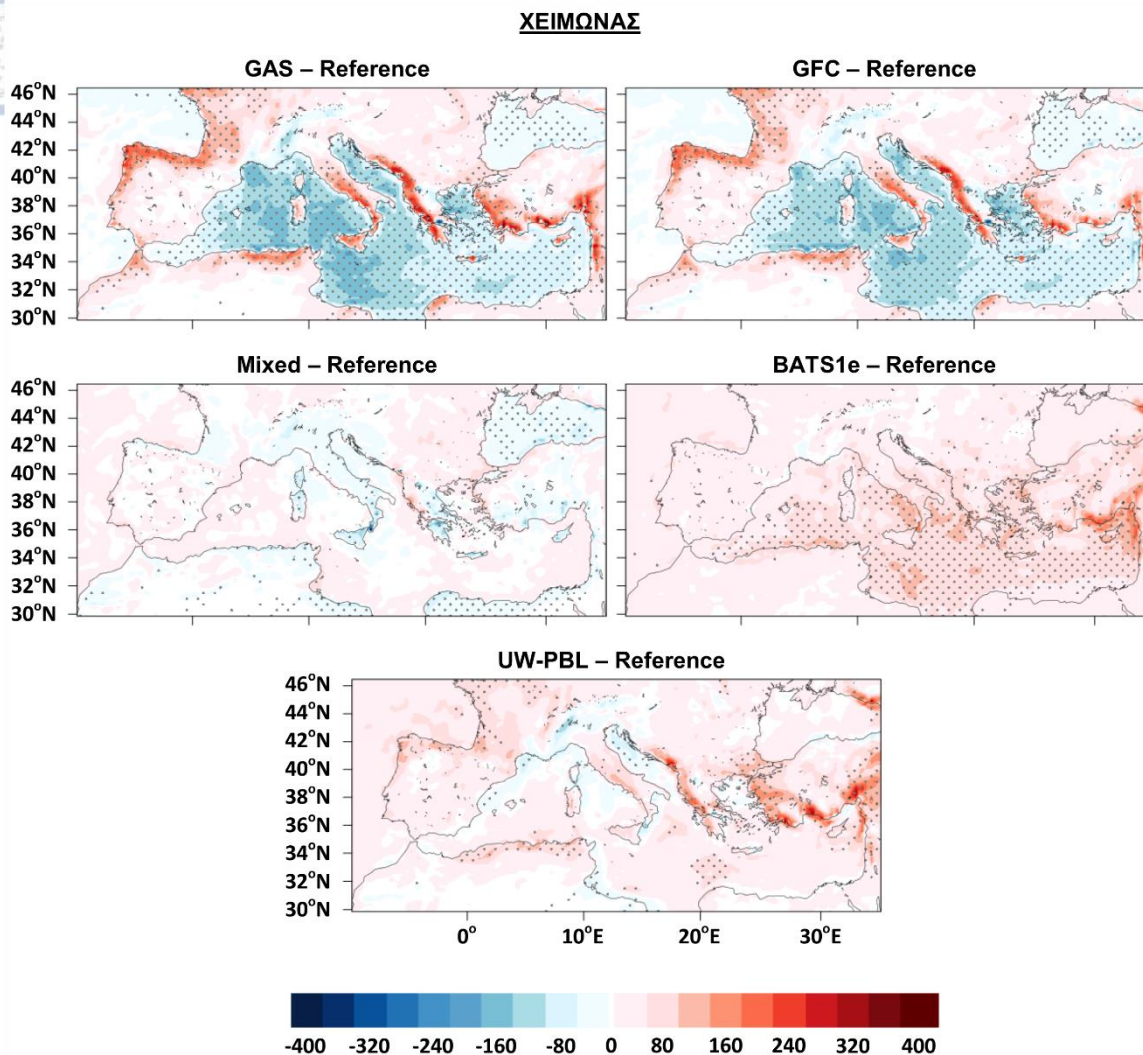
Σχήμα 3.4. Χάρτες διαφορών για τη μέση θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα στην περίπτωση των ελάχιστων (Σχήμα Παρ.11) και μέγιστων θερμοκρασιών (Σχήμα Παρ.12), ενώ οι αλλαγές είναι πιο έντονες στις μέγιστες θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα, στις προσομοιώσεις GAS και GFC η παράμετρος μειώνεται σημαντικά στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Εξαίρεση αποτελεί η Ελλάδα, τα Βαλκάνια και η Τουρκία, όπου δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή τόσο στις ελάχιστες όσο και στις μέγιστες θερμοκρασίες, ενώ στην περίπτωση των μέγιστων θερμοκρασιών και η περιοχή των Άλπεων δεν χαρακτηρίζεται από κάποια σημαντική αλλαγή. Οι μέγιστες θερμοκρασίες φαίνεται να μειώνονται περισσότερο στην Ιβηρική Χερσόνησο και την κεντρική Ευρώπη, ενώ η μεγαλύτερη μείωση εντοπίζεται στη δυτική Ευρώπη. Αντίστοιχα, σημαντική μείωση της παραμέτρου παρατηρείται και στην Mixed προσομοίωση. Η μείωση των ελάχιστων θερμοκρασιών είναι μικρή και παρατηρείται σε μεγάλο μέρος των ηπειρωτικών περιοχών (νοτιοανατολική Ιβηρική Χερσόνησος, δυτική και κεντρική Ευρώπη, βόρεια και κεντρική Ιταλία), ενώ οι μέγιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη μείωση στις ηπειρωτικές περιοχές με εξαίρεση την Ελλάδα, την Τουρκία και τη νότια Ιταλία, όπου δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή. Οι ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν αύξηση στην BATS1e προσομοίωση σε όλη την περιοχή μελέτης, όμως η αύξηση αυτή είναι στατιστικά σημαντική μόνο στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ στην περίπτωση των ελάχιστων θερμοκρασιών η αύξηση είναι εντονότερη και στατιστικά σημαντική και στην περιοχή της Τουρκίας, τη νότια Ελλάδα, το νότιο Αιγαίο και την ανατολική Μεσόγειο. Σημαντική μείωση των ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών παρατηρείται στην προσομοίωση UW-PBL στην περιοχή μελέτης. Η μείωση είναι πιο έντονη στις ηπειρωτικές περιοχές στην περίπτωση των μέγιστων θερμοκρασιών, ενώ στις ελάχιστες θερμοκρασίες η μείωση είναι πιο έντονη στις θαλάσσιες περιοχές και δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή στην περιοχή των Άλπεων, στα Βαλκάνια, την Ελλάδα και την Τουρκία.

3.3.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)

Χειμώνας

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.5), η συνολική βροχόπτωση αυξάνεται στην προσομοίωση GAS και GFC. Αυτή η αύξηση παρατηρείται στις ηπειρωτικές περιοχές. Σε αυτές τις προσομοιώσεις, η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίζεται στην προσήνεμη πλευρά των ορεινών περιοχών. Αντίθετα, στη Mixed προσομοίωση οι αλλαγές που εντοπίζονται στην



Σχήμα 3.5. Χάρτες διαφορών για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

παράμετρο δεν είναι σημαντικές. Στις θαλάσσιες περιοχές η συνολική βροχόπτωση αυξάνεται σημαντικά στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης, ενώ στην GAS και GFC προσομοίωση παρατηρείται στατιστικά σημαντική μείωση της συνολικής βροχόπτωσης, η οποία είναι πιο έντονη στο βόρειο Αιγαίο, στην Τυρρηνική και την Ιβηρική θάλασσα. Επίσης, στην UW-PBL προσομοίωση παρατηρείται μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση της παραμέτρου στην Αδριατική, ενώ στην προσήνεμη

πλευρά της Πίνδου και της οροσειράς του Ταύρου εντοπίζεται μια στατιστικά σημαντική αύξηση της συνολικής βροχόπτωσης.

Άνοιξη

Την άνοιξη (Σχήμα Παρ.13) η συνολική βροχόπτωση παρουσιάζει στατιστικά σημαντική μείωση στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της περιοχής μελέτης στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed. Συγκεκριμένα, στην GAS προσομοίωση η μείωση παρατηρείται στην Ιβηρική Χερσόνησο, την κεντρική και ανατολική Ευρώπη, καθώς και τα Βαλκάνια και την Τουρκία, ενώ και το Αιγαίο χαρακτηρίζεται από μια μικρή αλλά σημαντική μείωση. Στην προσομοίωση GFC η συνολική βροχόπτωση μειώνεται στην Ιβηρική Χερσόνησο, την κεντρική και τμήμα της ανατολικής Ευρώπης, ενώ εντοπίζεται επίσης μια μικρή αλλά σημαντική μείωση της παραμέτρου και στην Τυρρηνική και Ιβηρική θάλασσα. Οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις προσομοιώσεις BATS1e και UW-PBL με τη Reference προσομοίωση είναι πολύ μικρές και δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

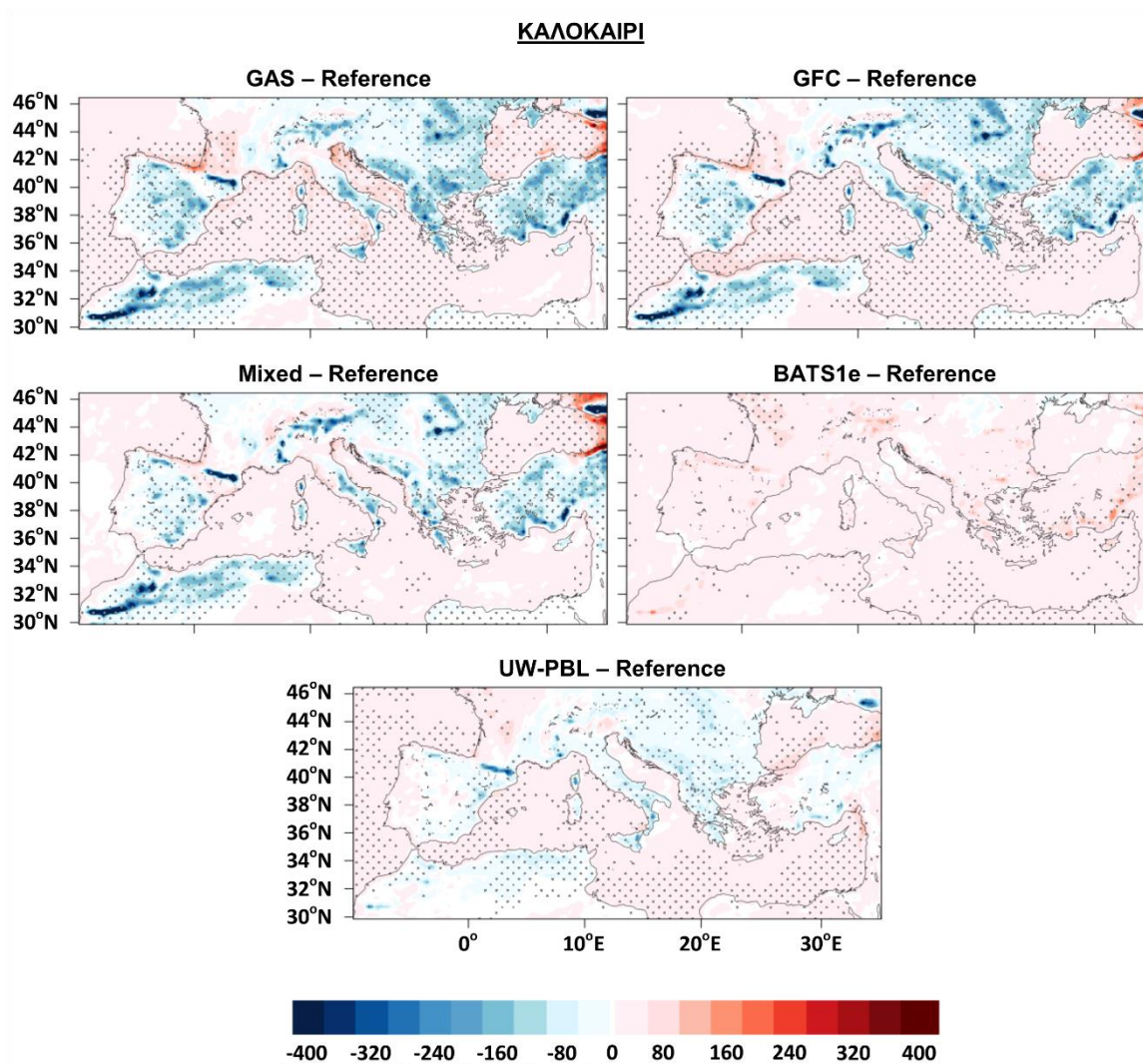
Καλοκαίρι

Σε ό,τι αφορά την καλοκαιρινή περίοδο (Σχήμα 3.6), οι προσομοιώσεις GAS και GFC χαρακτηρίζονται από μια μείωση της παραμέτρου στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές η συνολική βροχόπτωση παρατηρείται μικρή αλλά σημαντική αύξηση. Η πιο στατιστικά σημαντική μείωση παρατηρείται και πάλι στις ορεινές περιοχές. Παρ' όλα αυτά, η οροσειρά Μασίφ Σαντράλ χαρακτηρίζεται από μια στατιστικά σημαντική αύξηση στη δυτική πλευρά. Στην περίπτωση της Mixed προσομοίωσης, η συνολική βροχόπτωση μειώνεται σημαντικά στις ηπειρωτικές περιοχές και πιο συγκεκριμένα στην Ιβηρικής Χερσόνησο, την Ιταλία, την Ελλάδα και την ανατολική Ευρώπη. Δεν παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές της παραμέτρου στην BATS1e προσομοίωση, ενώ στις UW-PBL προσομοίωση μια μικρή και στατιστικά σημαντική μείωση εντοπίζεται κυρίως στην Ελλάδα και την ανατολική Ευρώπη.

Φθινόπωρο

Στη διάρκεια του φθινόπωρου (Σχήμα Παρ.14), η συνολική βροχόπτωση μειώνεται λίγο αλλά σημαντικά στην κεντρική Ιβηρική Χερσόνησο, σε τμήμα της κεντρικής Ευρώπης, στα Βαλκάνια και τη βόρεια Ελλάδα, όπως επίσης και σε Αιγαίο και Ιόνιο (GAS

και GFC προσομοιώσεις). Στην περίπτωση της Mixed προσομοίωσης, οι αλλαγές που παρατηρούνται στην παράμετρο δεν είναι σημαντικές, ενώ στην προσομοίωση BATS1e παρατηρείται στατιστικά σημαντική αύξηση της συνολικής βροχόπτωσης στις θαλάσσιες περιοχές, η οποία είναι πιο έντονη στην Τυρρηνική θάλασσα και σε τμήμα του Ιονίου. Στη UW-PBL προσομοίωση εντοπίζεται μια μικρή αλλά σημαντική αύξηση της συνολικής βροχόπτωσης στην Τυρρηνική και Ιβηρική θάλασσα, καθώς και στο Ιόνιο.

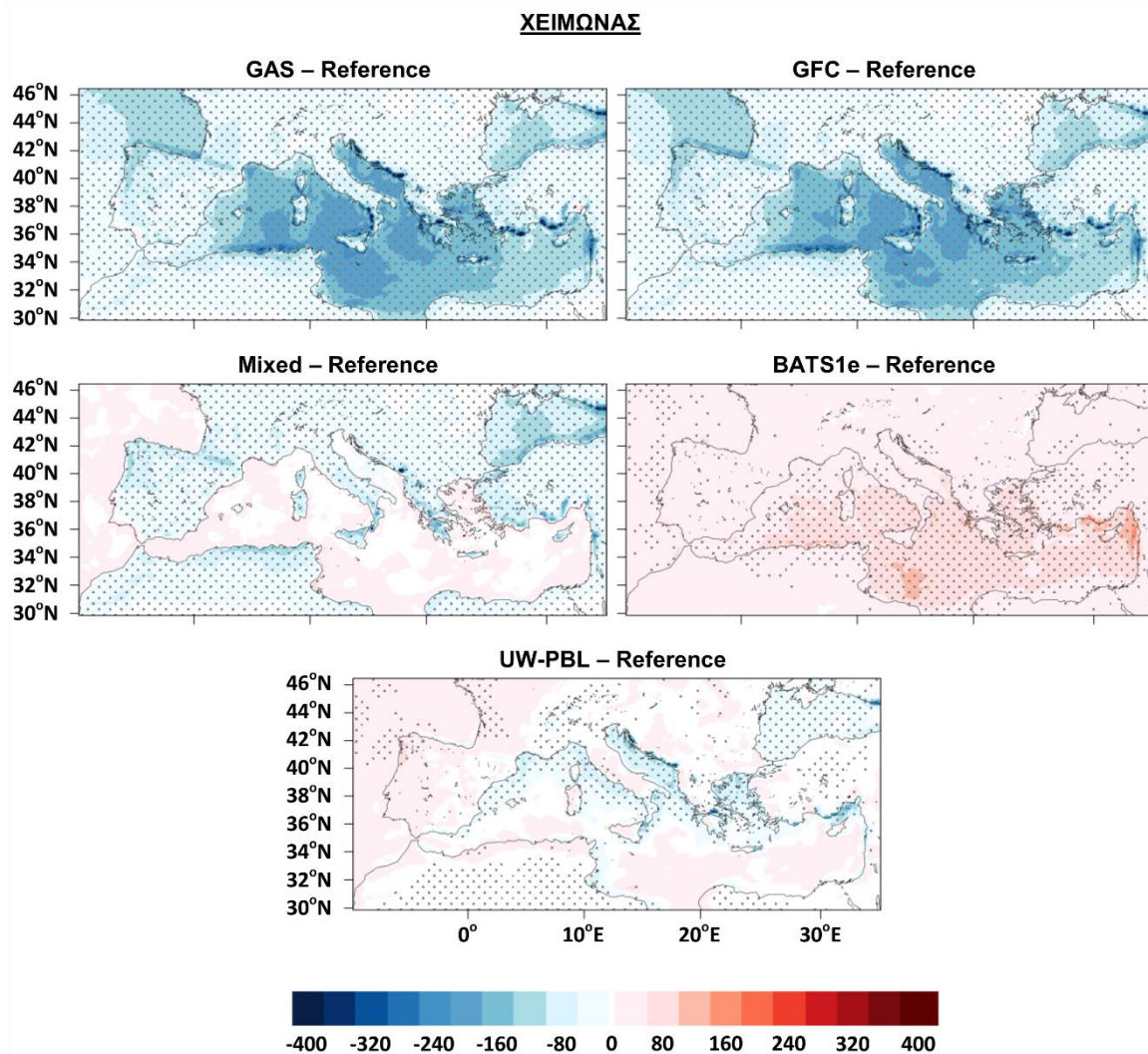


Σχήμα 3.6. Χάρτες διαφορών για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

3.3.3 Βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (Convective precipitation)

Χειμώνας

Η βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης αναμένεται να επηρεαστεί από τις αλλαγές στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης του μοντέλου (cumulus convection scheme). Στο Σχήμα 3.7 φαίνονται οι αλλαγές στη συγκεκριμένη παράμετρο κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Στις GFC και GAS προσομοιώσεις παρατηρείται σημαντική μείωση της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης με τις αλλαγές να είναι πιο έντονες κυρίως στις



Σχήμα 3.7. Χάρτες διαφορών για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

θαλάσσιες περιοχές. Στην Mixed προσομοίωση, αυτή η ελάττωση, η οποία δεν είναι τόσο έντονη, είναι εμφανής μόνο στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή. Σε ό,τι αφορά την προσομοίωση BATS1e, η παράμετρος αυξάνεται σημαντικά στις θαλάσσιες περιοχές. Στην UW-PBL προσομοίωση, μια μικρή και στατιστικά σημαντική αύξηση παρατηρείται στην οροσειρά Μασίφ Σαντράλ, ενώ στο Αιγαίο, στο Ιόνιο, στην Αδριατική και την Τυρρηνική θάλασσα, η παράμετρος μειώνεται σημαντικά.

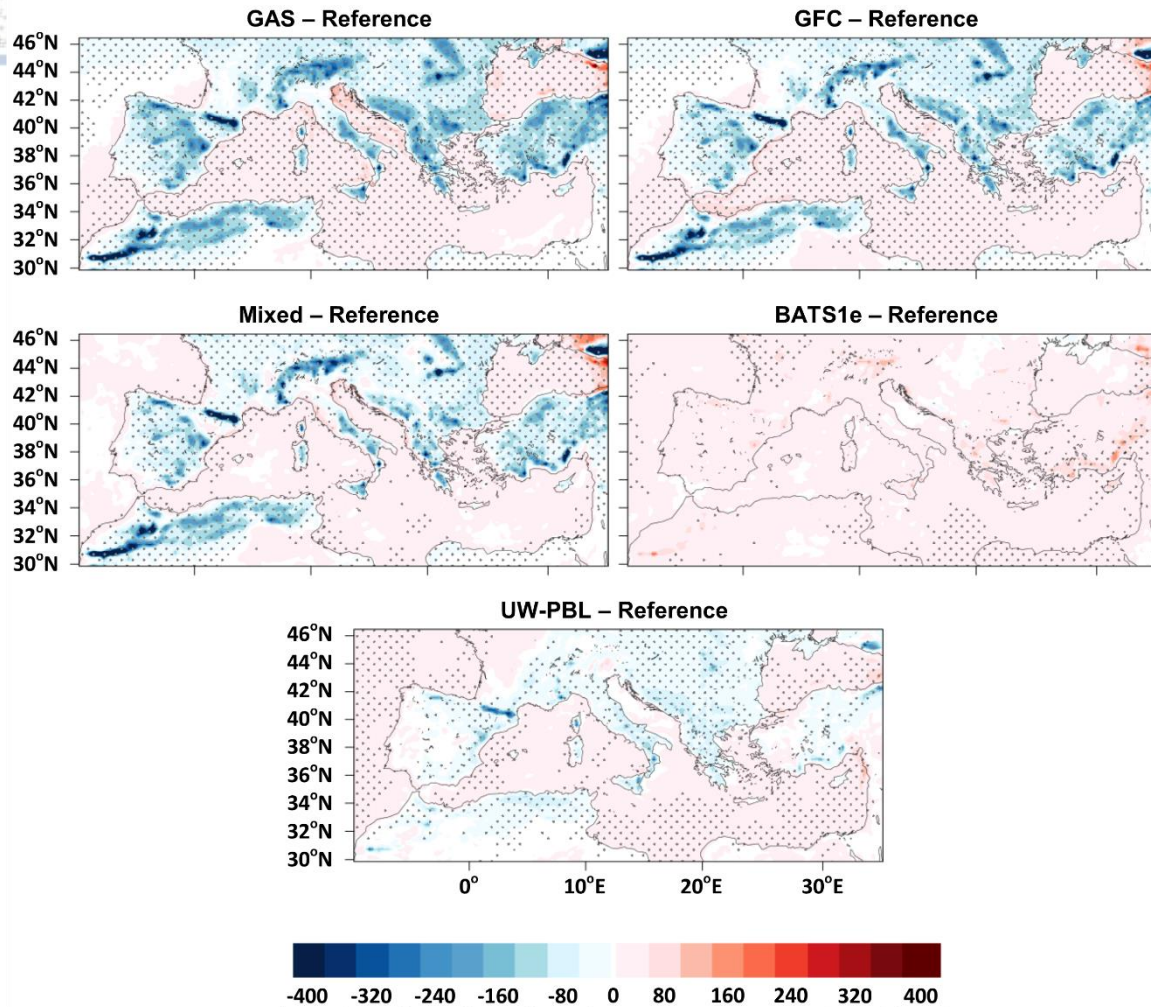
Άνοιξη

Την άνοιξη (Σχήμα Παρ.15) η βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης παρουσιάζει στατιστικά σημαντική μείωση στην περιοχή μελέτης, η οποία είναι πιο έντονη στις ηπειρωτικές περιοχές (προσομοιώσεις GAS και GFC) και συγκεκριμένα στις περιοχές όπου υπάρχουν οροσειρές (Πυρηναία, οροσειρά Μασίφ Σαντράλ, Άλπεις, Πίνδος, Καρπάθια, οροσειρά του Ταύρου). Στις συγκεκριμένες προσομοιώσεις παρατηρείται και μια μικρή αλλά σημαντική μείωση της παραμέτρου στις θαλάσσιες περιοχές. Αντίστοιχη είναι η εικόνα και στην περίπτωση της Mixed προσομοίωσης με τη διαφορά ότι στις θαλάσσιες περιοχές δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή. Στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης δεν εντοπίζεται καμία σημαντική αλλαγή στην παράμετρο, ενώ στην προσομοίωση UW-PBL η βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης φαίνεται να μειώνεται λίγο αλλά σημαντικά στο βόρειο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου, στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη, στην ανατολική Ελλάδα και στην Τουρκία, καθώς και στο βόρειο τμήμα της Αδριατικής θάλασσας και του Αιγαίου.

Καλοκαίρι

Σε κάθε σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης του μοντέλου γίνονται διαφορετικές διεργασίες ανωμεταφοράς (convection processes). Πιο συγκεκριμένα, στην κατακόρυφη ανάπτυξη, ο θερμός και υγρός αέρας αρχίζει να ανεβαίνει από την επιφάνεια. Καθώς ο θερμός αέρας ανεβαίνει, αρχίζει να διαστέλλεται και να ψύχεται. Ο θερμός αέρας συνεχίζει να ανεβαίνει μέχρι να φτάσει σε επίπεδο συμπίκνωσης και σχηματίζει νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Όταν ο αέρας στην επιφάνεια είναι θερμότερος, μπορεί να συγκρατήσει περισσότερους υδρατμούς. Συνεπώς, μία αύξηση στη θερμοκρασία οδηγεί σε αύξηση της βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης, ενώ όταν η θερμοκρασία μειώνεται οδηγεί

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ



Σχήμα 3.8. Χάρτες διαφορών για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

σε μείωση της παραμέτρου. Επιπρόσθετα, αντίθετα από το σχήμα Grell, το σχήμα MIT-Emanuel χαρακτηρίζεται από υπερβολική βροχόπτωση στις ηπειρωτικές περιοχές, καθώς η επιβράδυνση του σχήματος είναι πολύ δύσκολη όταν το συγκεκριμένο σχήμα ενεργοποιηθεί. Ως αποτέλεσμα, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Σχήμα 3.8), στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed, όπου μια ψυχρή απόκλιση (cold bias) είναι εμφανής, η παράμετρος μειώνεται σημαντικά στις ηπειρωτικές περιοχές (με την μείωση να είναι πιο έντονη στις οροσειρές), ενώ σημαντική αύξηση εντοπίζεται στις θαλάσσιες

περιοχές στην περίπτωση των GAS και GFC προσομοιώσεων. Στην προσομοίωση BATS1e, η βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης παρουσιάζει σημαντική αύξηση μόνο στην οροσειρά Μασίφ Σαντράλ και στις Άλπεις, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης η παράμετρος δεν χαρακτηρίζεται από κάποια σημαντική αλλαγή. Οι ηπειρωτικές περιοχές στην προσομοίωση UW-PBL, με εξαίρεση την οροσειρά Μασίφ Σαντράλ και τη δυτική Ιβηρική Χερσόνησο, παρουσιάζουν μια στατιστικά σημαντική μείωση της παραμέτρου.

Φθινόπωρο

Κατά το φθινόπωρο (Σχήμα Παρ.16) στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed παρατηρείται και πάλι στατιστικά σημαντική μείωση της βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης στις ηπειρωτικές περιοχές. Το Αιγαίο, το Ιόνιο και τμήμα της Αδριατικής, στις προσομοιώσεις GAS και GFC, χαρακτηρίζονται από μια μικρή αλλά σημαντική μείωση της παραμέτρου, ενώ στην Mixed προσομοίωση δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή στις θαλάσσιες περιοχές. Στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης, αύξηση της παραμέτρου παρατηρείται στις θαλάσσιες περιοχές, η οποία είναι πιο έντονη κυρίως στην Τυρρηνική θάλασσα. Τέλος, μικρές και στατιστικά σημαντικές αλλαγές, στη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης, εντοπίζονται στην UW-PBL προσομοίωση σε τμήματα της Ιβηρικής Χερσονήσου, της βόρειας Ελλάδας και της κεντρικής Ευρώπης (μείωση της παραμέτρου), καθώς και στο νότιο τμήμα της Ιβηρικής και της Τυρρηνικής θάλασσα (αύξηση της παραμέτρου).

3.3.4 Μέση πίεση επιφανείας (Mean sea level pressure)

Σε ό,τι αφορά την ανάλυση των χαρτών επιφανείας (SLP maps) από την προσομοίωση αναφοράς (Reference), κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα Παρ.17a), το νοτιοδυτικό τμήμα της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από υψηλές πιέσεις, καθώς ένας αντικυκλώνας - που προέρχεται από την επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών - εντοπίζεται πάνω από την Ιβηρική Χερσόνησο. Επιπρόσθετα, ένα σύστημα υψηλών πιέσεων παρατηρείται πάνω από τη Βαλκανική Χερσόνησο. Αντίθετα, στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, εντοπίζονται χαμηλές πιέσεις λόγω της εμφάνισης ενός συστήματος χαμηλών πιέσεων πάνω από τη βορειοδυτική Ευρώπη λόγω της επέκτασης του χαμηλού της Ισλανδίας. Την άνοιξη (Σχήμα Παρ.17b) παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές πίεσης σε σχέση με τον χειμώνα σε όλη την περιοχή μελέτης. Στο δυτικό τμήμα της Μεσογείου, παρατηρούνται υψηλές πιέσεις που σχετίζονται με την εξάπλωση του αντικυκλώνα των Αζορών προς τα

ανατολικά. Επίσης, το ανατολικό τμήμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από χαμηλές πιέσεις λόγω της σταδιακής εμφάνισης και εξάπλωσης προς τα δυτικά του συστήματος χαμηλών πιέσεων της ΝΔ Ασίας. Η κυκλοφορία πάνω από τη Μεσόγειο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Σχήμα Παρ.17a) χαρακτηρίζεται από χαμηλές πιέσεις στο ανατολικό τμήμα της υπό εξέταση περιοχής ως αποτέλεσμα του εποχικού θερμικού συστήματος χαμηλών πιέσεων της ΝΔ Ασίας, ενώ η κεντρική και δυτική Ευρώπη χαρακτηρίζονται από υψηλές πιέσεις. Κατά το φθινόπωρο (Σχήμα Παρ.17b), υψηλές πιέσεις εντοπίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου καθώς ο αντικυκλώνας των Αζορών εξακολουθεί να επηρεάζει την περιοχή και μετατοπίζεται στο νοτιοδυτικό τμήμα αυτής, ενώ και ο Σιβηρικός αντικυκλώνας εμφανίζεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Μεσογείου. Αντίθετα, το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης εξακολουθεί να επηρεάζεται από το χαμηλό της ΝΔ Ασίας, ενώ βορειοδυτικά εντοπίζονται χαμηλές πιέσεις λόγω του χαμηλού της Ισλανδίας. Ανάλογα είναι τα συστήματα κυκλοφορίας σε όλες τις υπό εξέταση προσομοιώσεις και για όλες τις εποχές (Σχήματα Παρ.17a,b).

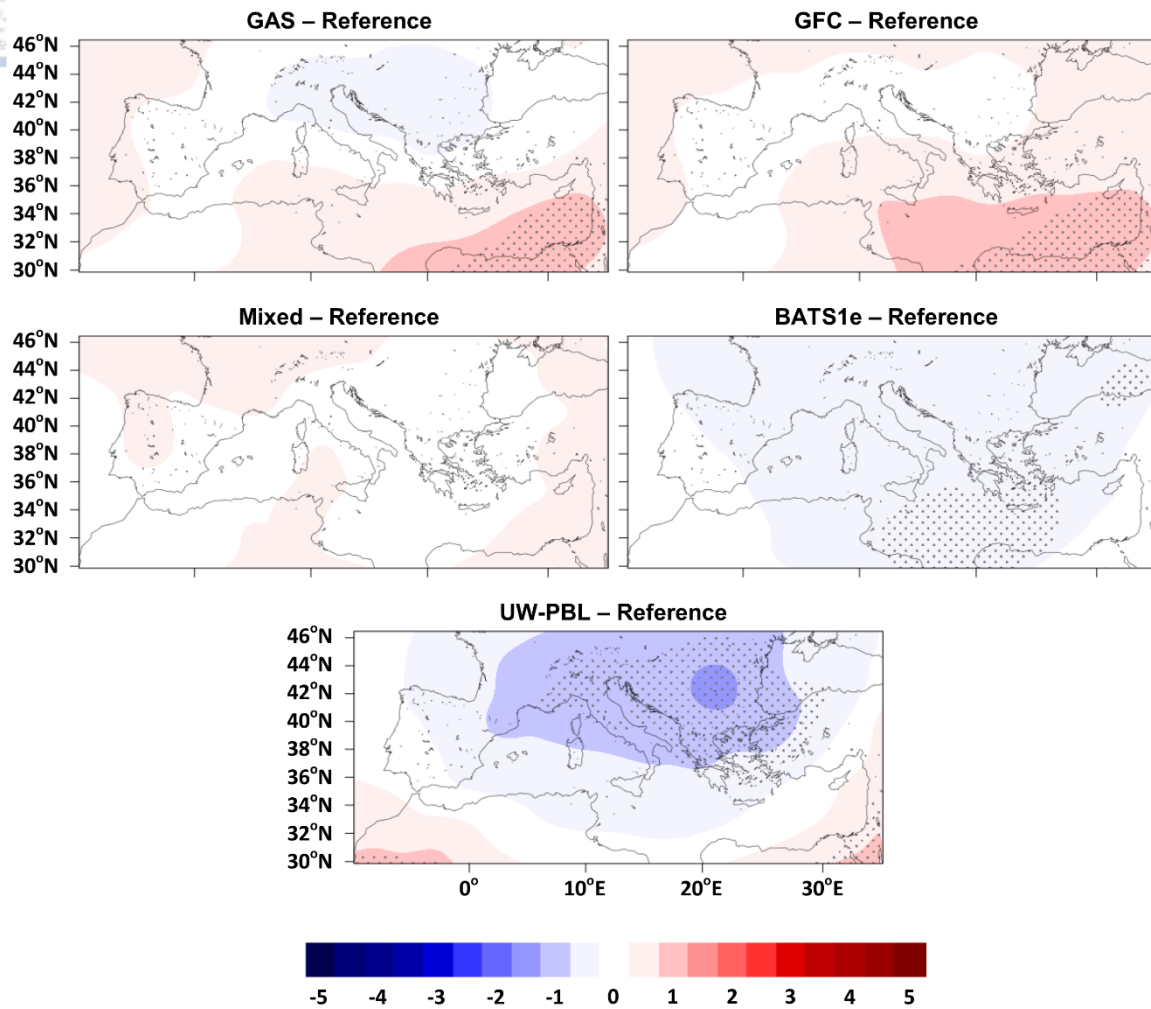
Χειμώνας

Η μέση πίεση επιφανείας είναι μια παράμετρος που δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.9), δεν παρατηρείται στατιστική σημαντικότητα στις αλλαγές στη συγκεκριμένη παράμετρο (1-2 hPa) στο 95% επίπεδο εμπιστοσύνης (confidence level) σε καμία από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις εκτός από την προσομοίωση UW-PBL, όπου η μέση πίεση επιφανείας μειώνεται σημαντικά στην κεντρική Ευρώπη, τη Βαλκανική Χερσόνησο και το βόρειο και κεντρικό τμήμα της Ελλάδας.

Ανοιξη

Την άνοιξη (Σχήμα Παρ.18), οι αλλαγές που παρατηρούνται στη μέση πίεση επιφανείας δεν είναι στατιστικά σημαντικές σε καμία από τις υπό εξέταση προσομοιώσεις με εξαίρεση την προσομοίωση GAS, όπου η παράμετρος αυξάνεται σημαντικά (αύξηση της τάξεως 1-2.5 hPa) κυρίως στον ηπειρωτικό κορμό της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα στο δυτικό τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου, στη δυτική, κεντρική και ανατολική Ευρώπη, σε τμήμα των Βαλκανίων και σε τμήμα της βόρειας Ελλάδας. Μικρή και στατιστικά σημαντική αύξηση της μέσης πίεσης επιφανείας εντοπίζεται και στο βόρειο Αιγαίο σε αυτή την προσομοίωση.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ

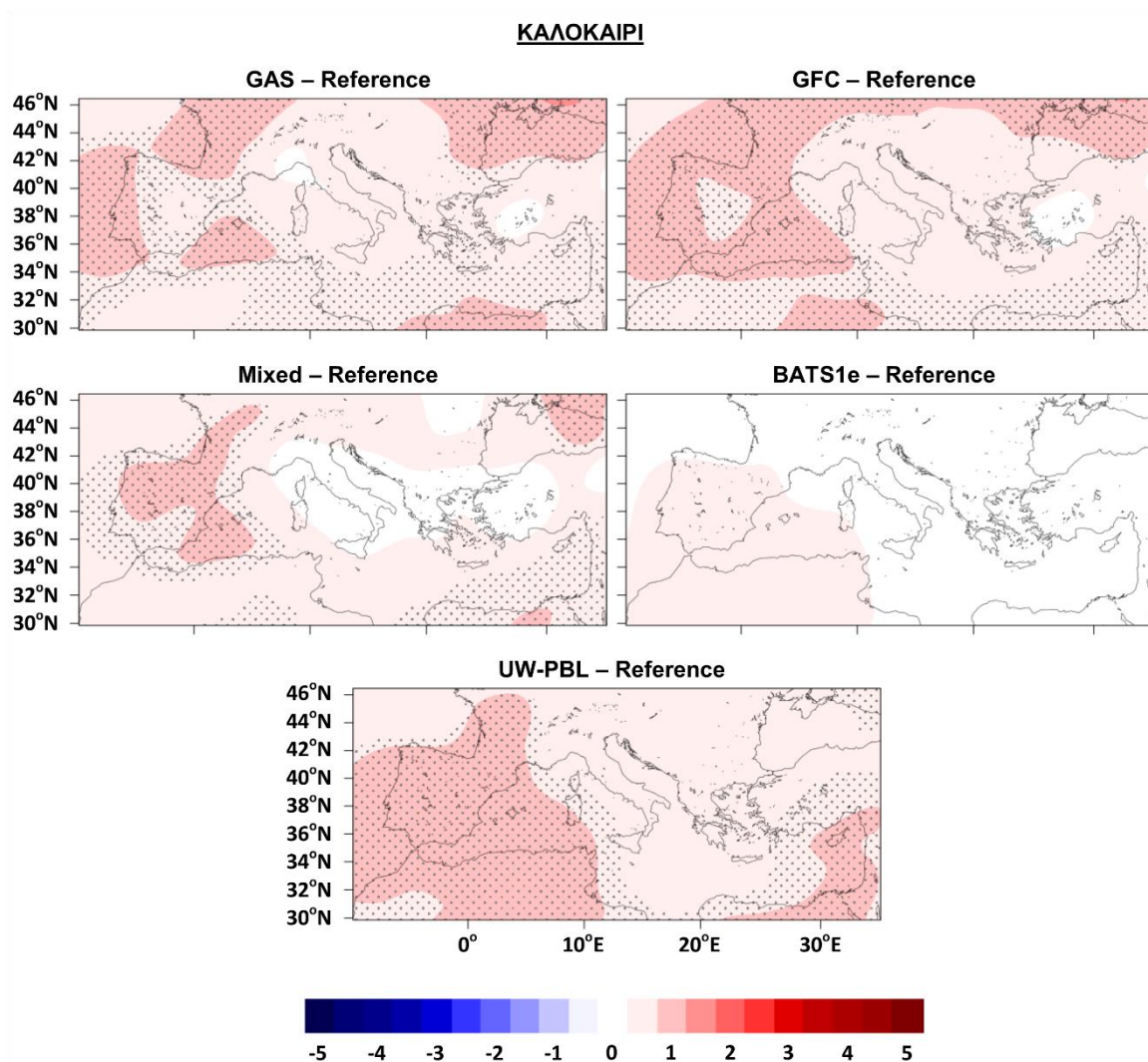


Σχήμα 3.9. Χάρτες διαφορών για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Καλοκαίρι

Τους καλοκαιρινούς μήνες (Σχήμα 3.10), μικρή και στατιστικά σημαντική αύξηση της μέσης πίεσης επιφανείας παρατηρείται στις προσομοιώσεις GFC, GAS, Mixed και UW-PBL κυρίως στην Ιβηρική Χερσόνησο, τη δυτική Ευρώπη, την Ιβηρική θάλασσα και τη θάλασσα του Αλμποράν, ενώ στις προσομοιώσεις GAS και GFC, η αύξηση της παραμέτρου εντοπίζεται και στην ανατολική Ευρώπη. Επιπρόσθετα, στην προσομοίωση UW-PBL παρατηρείται και μια μικρή αλλά σημαντική αύξηση της παραμέτρου σε τμήμα

της Τυρρηνικής θάλασσας. Στην προσομοίωση BATS1e δεν παρατηρείται καμία σημαντική αλλαγή στη μέση πίεση επιφανείας.



Σχήμα 3.10. Χάρτες διαφορών για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Φθινόπωρο

Και στην περίπτωση του φθινόπωρου (Σχήμα Παρ.19), οι αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου φαίνεται να μην επηρεάζουν ιδιαίτερα τη μέση πίεση επιφανείας. Συγκεκριμένα, στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed δεν παρατηρείται καμία σημαντική αλλαγή της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης. Η προσομοίωση

BATS1e χαρακτηρίζεται από μια πολύ μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση της μέσης πίεσης επιφανείας στο νότιο τμήμα της Ιταλίας, τα Βαλκάνια, την Ελλάδα, το Αιγαίο, το Ιόνιο, την Αδριατική και την Τυρρηνική θάλασσα. Μικρή και στατιστικά σημαντική μείωση εντοπίζεται και στην UW-PBL προσομοίωση στην Ιταλία, την Τυρρηνική θάλασσα και σε τμήμα της Ιβηρικής θάλασσας.

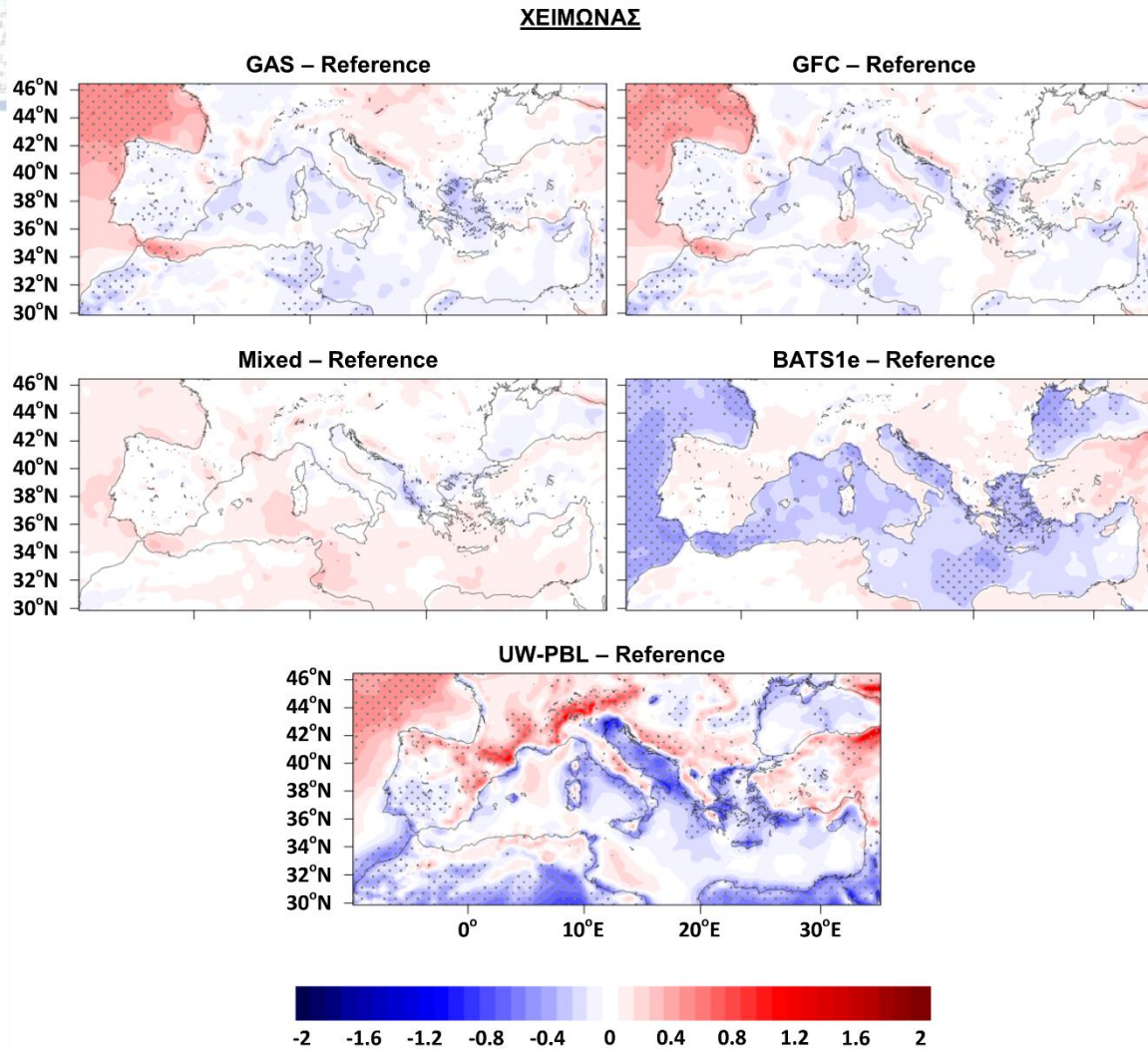
3.3.5 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed)

Χειμώνας

Στην περίπτωση της ταχύτητας του ανέμου στα 10m (Σχήμα 3.11), κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική αλλαγή στην παράμετρο. Στην προσομοίωση BATS1e, μια μείωση της παραμέτρου παρατηρείται στο Αιγαίο, την Ιβηρική και την Αδριατική θάλασσα. Σχετικά με την προσομοίωση UW-PBL, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται σημαντικά κυρίως στην περιοχή των Άλπεων, της οροσειράς Μασίφ Σαντράλ και των Πυρηναίων, ενώ στο νότιο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου, στην Αδριατική θάλασσα, το Ιόνιο και τις παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας, εντοπίζεται σημαντική μείωση της παραμέτρου.

Άνοιξη

Στην περίπτωση της άνοιξης (Σχήμα Παρ.20), στις προσομοιώσεις GAS και GFC παρατηρείται στατιστικά σημαντική μείωση της ταχύτητας του ανέμου σε ηπειρωτικές περιοχές και συγκεκριμένα στην Ιβηρική Χερσόνησο, τη δυτική και κεντρική Ευρώπη, την περιοχή των Άλπεων, σε τμήμα των Βαλκανίων, την Ελλάδα και την Τουρκία. Σε αυτές τις προσομοιώσεις δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή στις θαλάσσιες περιοχές. Αντίστοιχα, η προσομοίωση Mixed χαρακτηρίζεται από σημαντική μείωση της ταχύτητας του ανέμου στη δυτική Ευρώπη, τα Βαλκάνια, την Ελλάδα και την Τουρκία, ενώ και σε αυτή την περίπτωση στις θαλάσσιες περιοχές δεν εντοπίζεται κάποια σημαντική αλλαγή. Στην προσομοίωση BATS1e, αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου παρατηρούνται μόνο στις θαλάσσιες περιοχές όπου η παράμετρος μειώνεται σημαντικά. Σε ό,τι αφορά την προσομοίωση UW-PBL, στατιστικά σημαντική μείωση της παραμέτρου παρατηρείται στην Ιβηρική Χερσόνησο, σε τμήμα της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης, και στην Τουρκία, ενώ στα Πυρηναία και σε τμήμα των Άλπεων εντοπίζεται μια στατιστικά σημαντική αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.

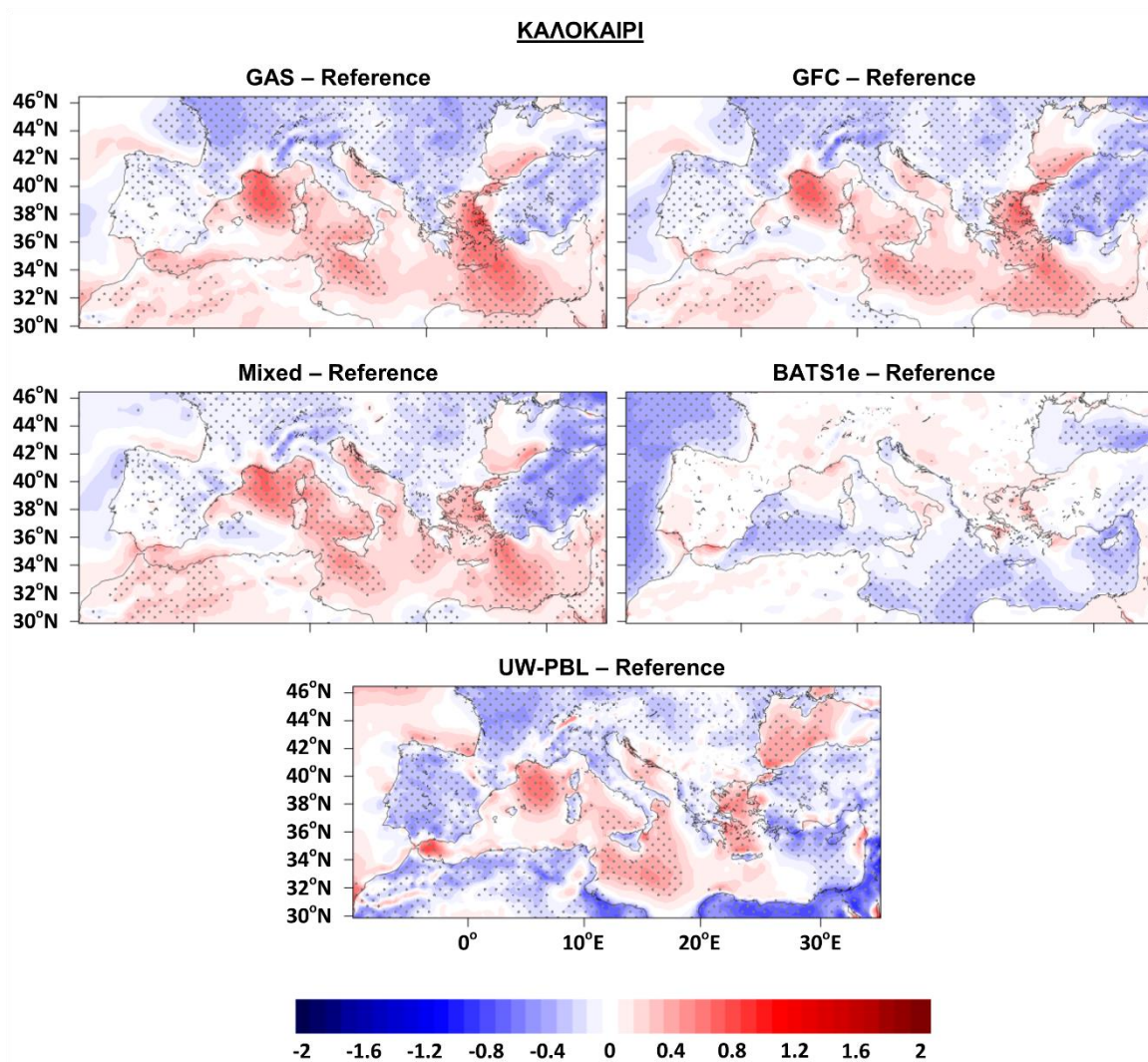


Σχήμα 3.11. Χάρτες διαφορών για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Καλοκαίρι

Αντίθετα από τους χειμερινούς μήνες, το καλοκαίρι (Σχήμα 3.12) στις προσομοιώσεις GAS, GFC, Mixed και UW-PBL παρατηρείται στατιστικά σημαντική μείωση της ταχύτητας του ανέμου στο μεγαλύτερο μέρος της ηπειρωτικής χώρας, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές, με εξαίρεση το Ιόνιο και τμήμα της Ιβηρικής θάλασσας, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται σημαντικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτές τις προσομοιώσεις, και ιδιαίτερα στις προσομοιώσεις GAS και GFC, στην περιοχή του Αιγαίου οι Ετησίες φαίνεται να είναι

ενισχυμένοι. Στην προσομοίωση BATS1e, η μείωση της παραμέτρου παρατηρείται στις θαλάσσιες περιοχές και πιο συγκεκριμένα στο Ιόνιο και την Ιβηρική θάλασσα.



Σχήμα 3.12. Χάρτες διαφορών για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Φθινόπωρο

Σχετικά με τους φθινοπωρινούς μήνες (Σχήμα Παρ.21), στις προσομοιώσεις GAS και GFC παρατηρείται μικρή αλλά στατιστικά σημαντική μείωση της ταχύτητας του ανέμου στο νότιο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου και σε τμήματα της ανατολικής Ευρώπης και της βόρειας Ελλάδας, ενώ στην προσομοίωση GAS σημαντική μείωση της παραμέτρου

παρατηρείται και στο Ιόνιο. Στην προσομοίωση Mixed δεν εντοπίζεται κάποια σημαντική αλλαγή, ενώ η προσομοίωση BATS1e χαρακτηρίζεται από στατιστικά σημαντική μείωση της ταχύτητας του ανέμου σε θαλάσσιες περιοχές όπως το Αιγαίο, το Ιόνιο και τμήμα της Ιβηρικής θάλασσας. Στατιστικά σημαντική μείωση της ταχύτητας του ανέμου εντοπίζεται στη νοτιοδυτική Ιβηρική Χερσόνησο, και τη δυτική και ανατολική Ευρώπη, στην προσομοίωση UW-PBL, ενώ στις Άλπεις και τα Πυρηναία η παράμετρος αυξάνει.

3.3.6 Λευκαύγεια λόγω άμεσης/διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Surface albedo for direct/diffuse shortwave radiation)

Επιπρόσθετα, εξετάσαμε τη λευκαύγεια λόγω άμεσης/διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος. Αυτή η παράμετρος φαίνεται ότι επηρεάζεται από τη νεφική κάλυψη (cloud fraction), καθώς τα νέφη αντανακλούν μεγάλο μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και αντίστοιχα επηρεάζει το ισοζύγιο ακτινοβολίας του πλανήτη. Η μεγαλύτερη ανακλαστικότητα των νεφών αυξάνει τη συνολική λευκαύγεια της Γης (Marshall and Plumb 2008). Ως αποτέλεσμα, περισσότερα νέφη οδηγούν σε μεγαλύτερη επιφανειακή λευκαύγεια.

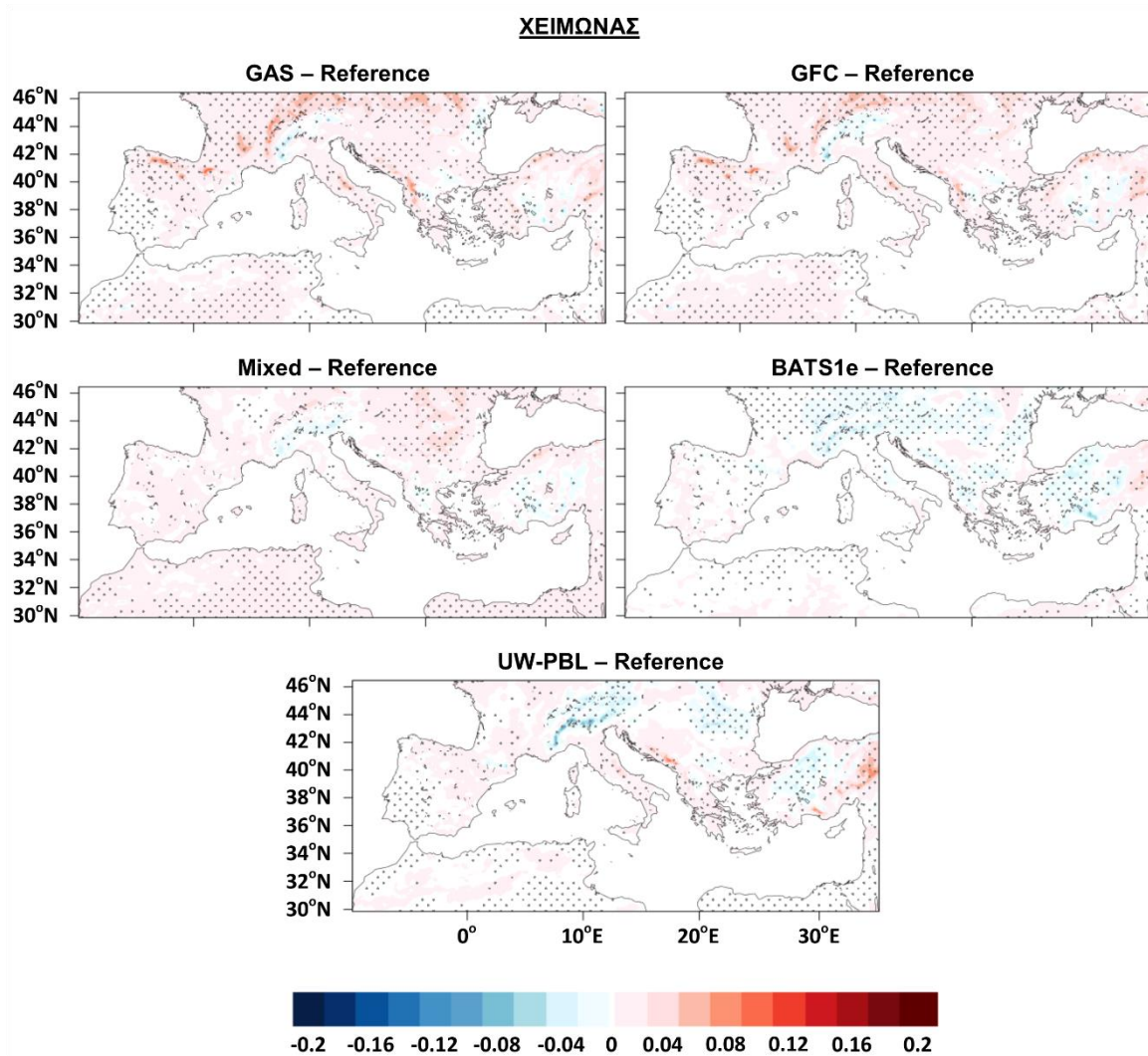
Χειμώνας

Το χειμώνα, σε ό,τι αφορά την ηπειρωτική χώρα, παρατηρείται μικρή αύξηση της λευκαύγειας λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα 3.13) κυρίως στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed, ενώ δείχνουν επίσης μια μικρή και στατιστικά σημαντική μείωση της παραμέτρου στις Άλπεις. Η αύξηση της λευκαύγειας στις τρεις προσομοιώσεις βρίσκεται σε συμφωνία με την αύξηση της νεφικής κάλυψης σε αυτές τις προσομοιώσεις. Στην περίπτωση των προσομοιώσεων BATS1e και UW-PBL, μια μικρή και σημαντική μείωση της παραμέτρου εντοπίζεται κυρίως σε τμήματα της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα Παρ.24).

Άνοιξη

Κατά την άνοιξη, τόσο η λευκαύγεια λόγω διάχυτης (Σχήμα Παρ.22) όσο και η λευκαύγεια λόγω άμεσης (Σχήμα Παρ.25) ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, παρουσιάζουν μικρή αλλά στατιστικά σημαντική αύξηση σε τμήματα της Ιβηρικής Χερσονήσου, της Ελλάδας, και της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης στην περίπτωση

των προσομοιώσεων GAS και GFC, ενώ η περιοχή των Άλπεων χαρακτηρίζεται από μια μικρή και σημαντική μείωση της παραμέτρου. Και σε αυτή την περίπτωση, η αύξηση της λευκαύγειας στις συγκεκριμένες περιοχές συμπίπτει με αύξηση της νεφικής κάλυψης στις αντίστοιχες προσομοιώσεις. Αντίστοιχα, στην προσομοίωση Mixed η λευκαύγεια παρουσιάζει μικρή και σημαντική μείωση στην περιοχή των Άλπεων, καθώς και μια μικρή και στατιστικά σημαντική αύξηση σε τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου και της ανατολικής

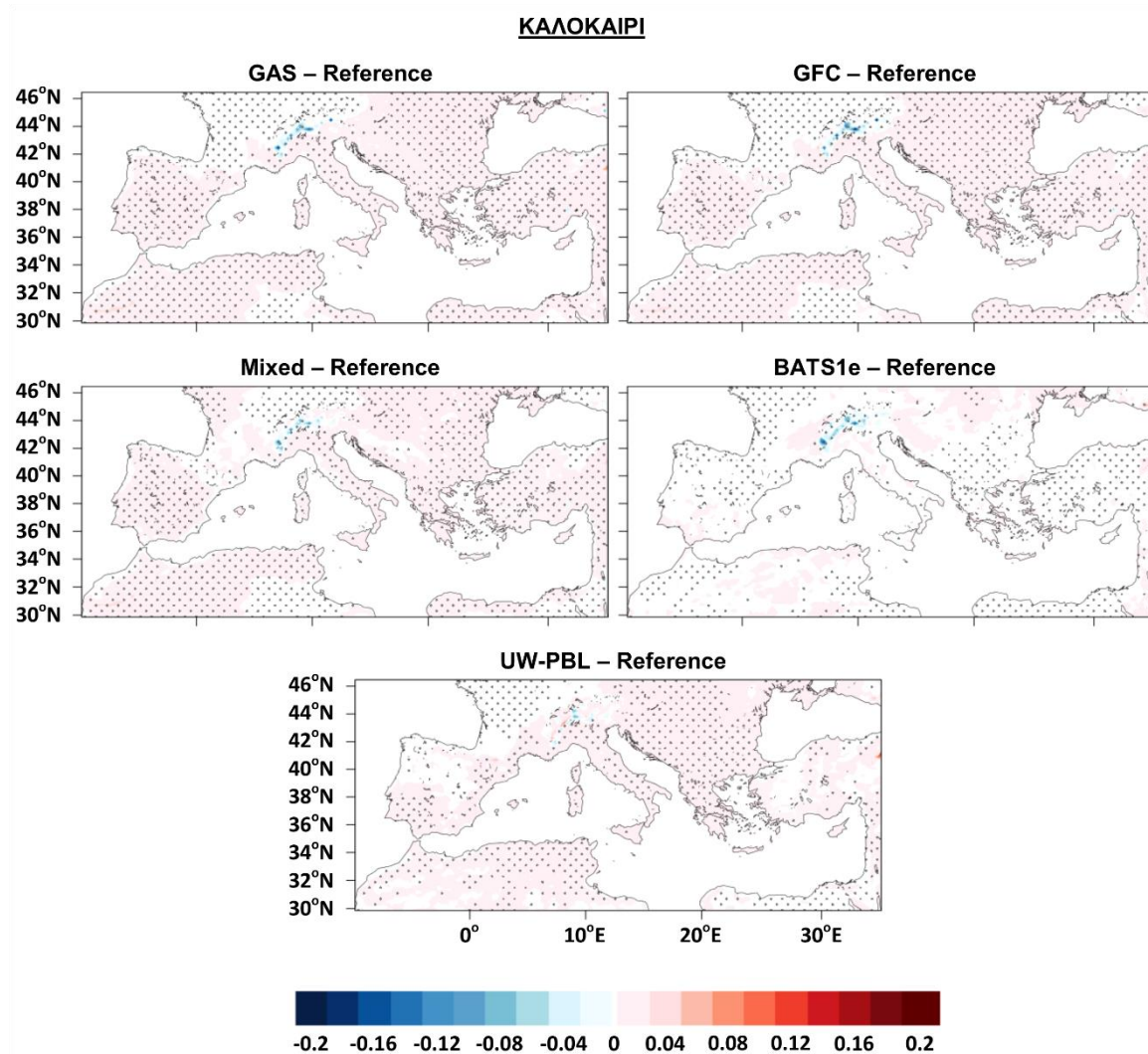


Σχήμα 3.13. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Ευρώπης. Στην περίπτωση των προσομοιώσεων BATS1e και UW-PBL, παρατηρείται κυρίως μια μείωση της παραμέτρου στις Άλπεις, η οποία είναι στατιστικά σημαντική.

Καλοκαίρι

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η λευκαύγεια λόγω διάχυτης (Σχήμα 3.14) και λόγω άμεσης (Σχήμα Παρ.26) ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στις ηπειρωτικές περιοχές στις περιπτώσεις των προσομοιώσεων GAS,



Σχήμα 3.14. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

GFC, Mixed και UW-PBL, όμως η αύξηση αυτή είναι πολύ μικρή (~ 0.01), ενώ στην προσομοίωση BATS1e, δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση στις παραμέτρους. Παρ' όλα αυτά, σε όλες τις προσομοιώσεις εντοπίζεται μια μικρή και στατιστικά σημαντική μείωση της λευκαύγειας στην περιοχή των Άλπεων, με εξαίρεση την προσομοίωση UW-PBL όπου η μείωση παρατηρείται μόνο στο νότιο τμήμα αυτής της οροσειράς.

Φθινόπωρο

Τους φθινοπωρινούς μήνες, δεν εντοπίζεται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή της λευκαύγειας λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα Παρ.23) στην προσομοίωση BATS1e. Εξαίρεση αποτελούν οι προσομοιώσεις GAS, GFC, Mixed και UW-PBL, όπου μια πολύ μικρή αλλά σημαντική αύξηση της παραμέτρου παρατηρείται σε τμήματα της Ιβηρικής Χερσονήσου, της ανατολικής Ευρώπης, της βόρειας Ελλάδας και της Τουρκίας. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα Παρ.27).

3.3.7 Πάχος ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (Atmospheric boundary layer thickness)

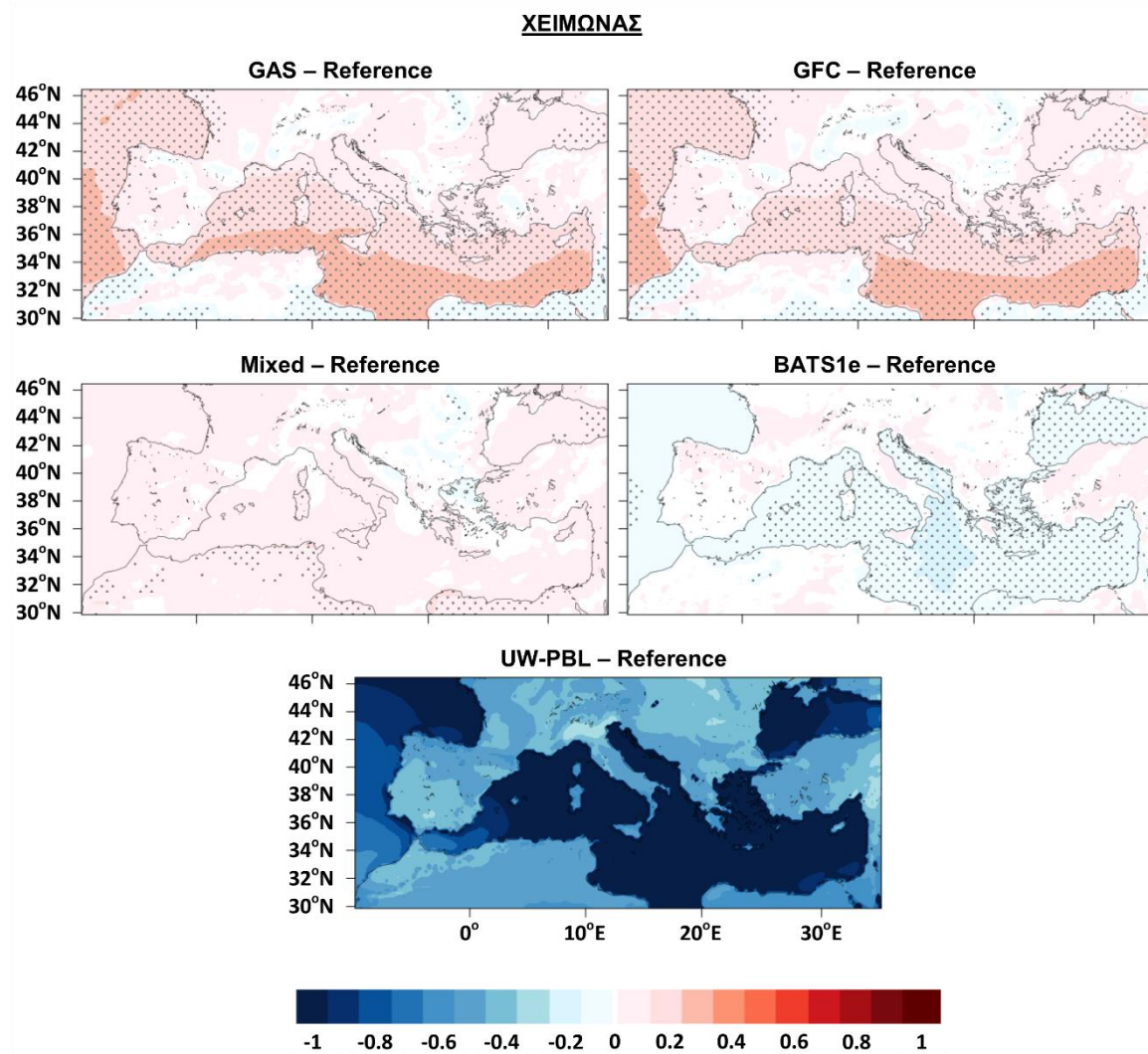
Χειμώνας

Το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος είναι μια παράμετρος που επηρεάζεται από τις τυρβώδεις ροές. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.15), στις προσομοιώσεις GAS και GFC παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της παραμέτρου στις θαλάσσιες περιοχές με εξαίρεση το βόρειο Αιγαίο, όπου η αύξηση δεν είναι στατιστικά σημαντική. Αντίθετα, στην Mixed προσομοίωση η παράμετρος δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Στην προσομοίωση BATS1e, μια μικρή και στατιστικά σημαντική ελάττωση αυτής της παραμέτρου παρατηρείται στις θαλάσσιες περιοχές. Στην περίπτωση της UW-PBL προσομοίωσης, η παράμετρος μειώνεται στην περιοχή μελέτης και οι αλλαγές είναι πιο έντονες στις θαλάσσιες περιοχές. Παρ' όλα αυτά, αυτή η μείωση στο πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Άνοιξη

Κατά την άνοιξη (Σχήμα Παρ.28), οι προσομοιώσεις GAS και GFC χαρακτηρίζονται από στατιστικά σημαντική αύξηση του πάχους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ στη νοτιοδυτική Ιβηρική Χερσόνησο η παράμετρος

μειώνεται σημαντικά. Στην προσομοίωση Mixed δεν εντοπίζεται κάποια σημαντική αλλαγή στο πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης, μια μικρή αλλά σημαντική μείωση της παραμέτρου παρατηρείται στο νότιο τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου, στην Τυρρηνική και στην Αδριατική θάλασσα. Το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μειώνεται σημαντικά στην περιοχή μελέτης στην προσομοίωση UW-PBL. Η μείωση φαίνεται να είναι πιο έντονη στο βόρειο Αιγαίο, το Ιόνιο, την Αδριατική και την Τυρρηνική θάλασσα.



Σχήμα 3.15. Χάρτες διαφορών για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

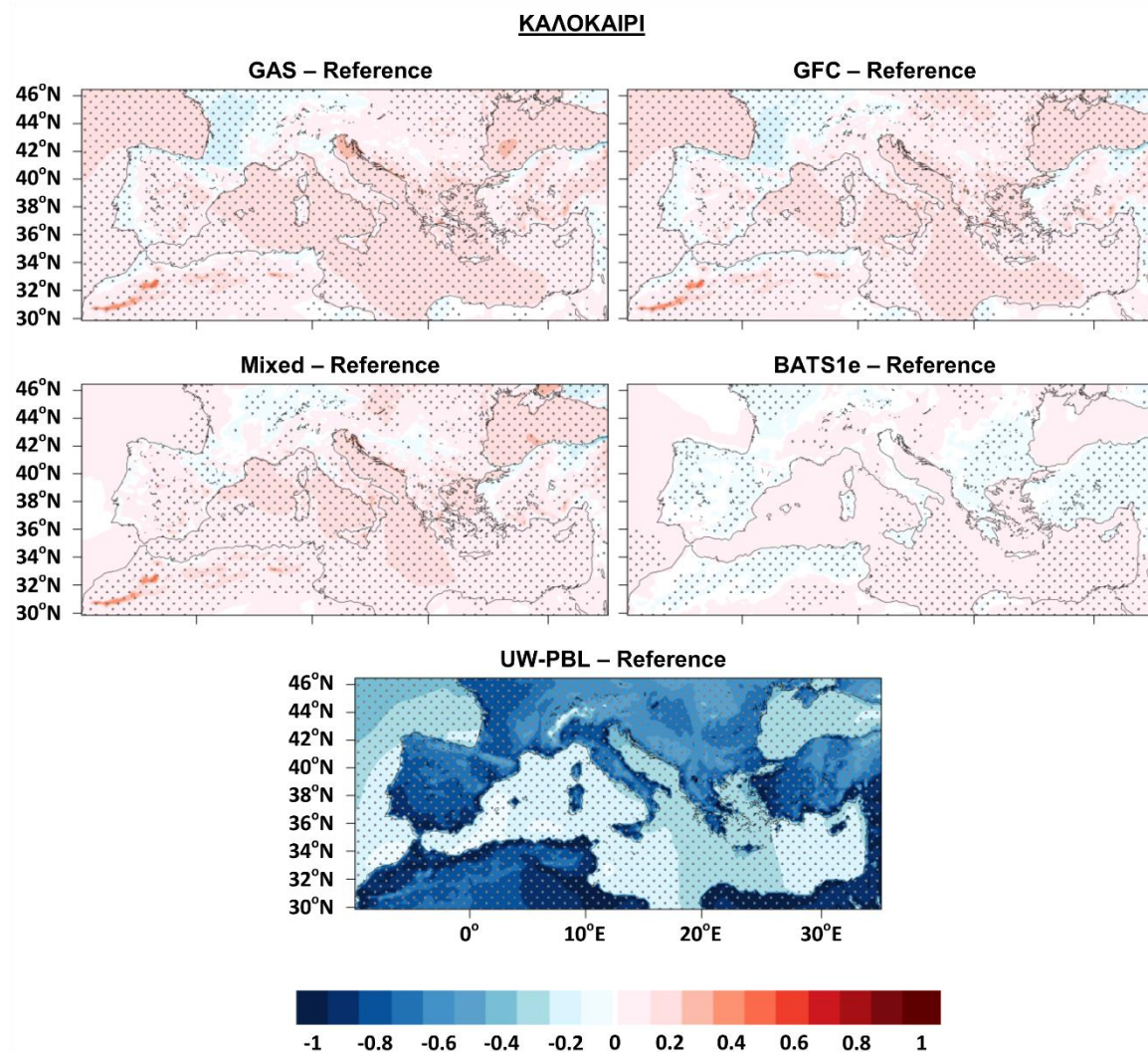
Καλοκαίρι

Στην περίπτωση των θερμών μηνών του έτους (Σχήμα 3.16), στις προσομοιώσεις GAS και GFC η παράμετρος αυξάνεται σημαντικά στην περιοχή μελέτης με εξαίρεση ενός τμήματος της κεντρικής Ευρώπης, όπου δεν παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές. Αντίθετα, πάνω από την οροσειρά Μασίφ Σαντράλ εντοπίζεται σημαντική μείωση του πάχους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Στην Mixed προσομοίωση, μια σημαντική αύξηση της παραμέτρου είναι εμφανής στην περιοχή μελέτης εκτός από τμήμα της κεντρικής Ευρώπης, της βορειοανατολικής Ιβηρικής Χερσονήσου και μικρού μέρους των Βαλκανίων, όπου το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μειώνεται σημαντικά. Στην προσομοίωση BATS1e, δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή της παραμέτρου στην ηπειρωτική χώρα με εξαίρεση την Ιβηρική Χερσόνησο, τη βόρεια Γαλλία, την Ελλάδα, την νότια Ιταλία και την Τουρκία, όπου το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μειώνεται σημαντικά, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές μια μικρή και στατιστικά σημαντική αύξηση της παραμέτρου παρατηρείται σε μέρος της Μεσογείου. Στην περίπτωση της UW-PBL προσομοίωσης, η παράμετρος μειώνεται σημαντικά στην περιοχή μελέτης με τις αλλαγές να είναι πιο έντονες στις ηπειρωτικές περιοχές. Αυτό οφείλεται στην αλλαγή του σχήματος PBL καθώς υπάρχουν αρκετές διαφορές ανάμεσα στα δύο σχήματα με αποτέλεσμα να επηρεάζεται το ύψος του οριακού στρώματος. Πιο συγκεκριμένα, η ανάμιξη σε όλα τα τυρβώδη στρώματα είναι σταθερή στο UW-PBL σχήμα, ενώ στο σχήμα Hotlslag PBL η ανάμιξη χρησιμοποιείται μόνο μέσα στο οριακό στρώμα. Επιπρόσθετα, η τυρβώδης ανάμιξη (turbulent mixing) στο σχήμα Holtslag PBL προέρχεται από τη θέρμανση της επιφάνειας λόγω της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ στο σχήμα UW-PBL περιλαμβάνεται μια δεύτερη περιοχή όπου ο στροβιλισμός (turbulence) και η ανάμιξη (mixing) είναι αυξημένα.

Φθινόπωρο

Το φθινόπωρο (Σχήμα Παρ.29), στις προσομοιώσεις GAS και GFC, η παράμετρος παρουσιάζει σημαντική αύξηση κυρίως στις θαλάσσιες περιοχές και σε τμήματα της Ελλάδας, της Ιταλίας, της Τουρκίας και της Ιβηρικής Χερσονήσου. Η αύξηση αυτή είναι πιο έντονη στην Ιβηρική και την Τυρρηνική θάλασσα (GAS προσομοίωση). Πολύ μικρή μείωση του πάχους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος εντοπίζεται στη νοτιοδυτική Ιβηρική Χερσόνησο σε αυτές τις δύο προσομοιώσεις. Στην προσομοίωση Mixed μια μικρή

αλλά στατιστικά σημαντική αύξηση της παραμέτρου παρατηρείται στην Τυρρηνική και την Ιβηρική θάλασσα, καθώς και στο βόρειο τμήμα της Αδριατικής, ενώ στον ηπειρωτικό κορμό της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζεται κάποια σημαντική αλλαγή. Στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες αλλαγές στο πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, ενώ στην UW-PBL προσομοίωση η παράμετρος μειώνεται σε όλη την περιοχή μελέτης, όμως η μείωση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική.



Σχήμα 3.16. Χάρτες διαφορών για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

3.3.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στην προσπάθεια να γίνει μια σύνοψη των παραπάνω αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων για όλες τις παραμέτρους, για κάθε προσομοίωση και για όλες τις εποχές (Πίνακας 3.2a-i). Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία το χειμώνα παρουσιάζει ελάττωση στις προσομοιώσεις GAS, GFC και εν μέρη στην προσομοίωση UW-PBL (θαλάσσιες περιοχές), ενώ στη BATS1e προσομοίωση εντοπίζεται μικρή αύξηση της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση των ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών. Επιπρόσθετα, και οι τρεις παράμετροι (μέση, ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία) δεν αλλάζουν σημαντικά στη Mixed προσομοίωση. Την άνοιξη όλες οι προσομοιώσεις χαρακτηρίζονται από μείωση της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης εκτός από την προσομοίωση BATS1e, όπου παρουσιάζεται μικρή αύξηση. Εξαίρεση αποτελεί και η προσομοίωση Mixed για την ελάχιστη θερμοκρασία, όπου δεν παρατηρείται καμία σημαντική αλλαγή στις τιμές της. Στην περίπτωση των μέγιστων θερμοκρασιών, η μείωση είναι πιο έντονη στον ηπειρωτικό κορμό. Σε ό,τι αφορά τους καλοκαιρινούς μήνες, τόσο η ελάχιστη και η μέγιστη όσο και η μέση θερμοκρασία, παρουσιάζουν μείωση στην περιοχή μελέτης σε όλες τις υπό εξέταση προσομοιώσεις. Εξαίρεση αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση η προσομοίωση BATS1e. Συγκεκριμένα, σε αυτή την προσομοίωση δεν εντοπίζεται καμία αλλαγή στις μέγιστες θερμοκρασίες, ενώ η ελάχιστη και μέση θερμοκρασία αυξάνονται σε μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές στη μέγιστη θερμοκρασία είναι πιο έντονες σε σχέση με την ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Το φθινόπωρο εντοπίζεται μείωση της μέσης θερμοκρασίας στις προσομοιώσεις GAS, GFC, Mixed και UW-PBL, ενώ σε κάποια σημεία της περιοχής μελέτης (Άλπεις, Βαλκάνια, Ελλάδα, Τουρκία) δεν εντοπίζονται σημαντικές αλλαγές στην παράμετρο. Στην προσομοίωση BATS1e, στις ηπειρωτικές περιοχές δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή, ενώ οι θαλάσσιες περιοχές χαρακτηρίζονται από αύξηση της μέσης θερμοκρασίας. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στις ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες.

Σχετικά με τη συνολική βροχόπτωση, το σήμα δεν είναι ξεκάθαρο και ποικίλει ανάλογα με την προσομοίωση και την εποχή. Συγκεκριμένα, το χειμώνα παρουσιάζεται κυρίως αύξηση στην ηπειρωτική χώρα στις προσομοιώσεις GAS, GFC και UW-PBL, ενώ

στις θαλάσσιες περιοχές παρατηρείται μείωση της παραμέτρου. Στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης, οι θαλάσσιες περιοχές χαρακτηρίζονται από μια αύξηση της συνολικής βροχόπτωσης. Την άνοιξη η συνολική βροχόπτωση παρουσιάζει μείωση κυρίως στον ηπειρωτικό κορμό της περιοχής μελέτης στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μειώνεται στις ηπειρωτικές και αυξάνεται στις θαλάσσιες περιοχές (GAS, GFC, UW-PBL). Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, η συνολική βροχόπτωση μειώνεται σε τμήμα της ηπειρωτικής χώρας στις προσομοιώσεις GAS και GFC, ενώ σε τμήματα των θαλάσσιων περιοχών εντοπίζεται αύξηση της παραμέτρου στις προσομοιώσεις BATS1e και UW-PBL. Οι προσομοιώσεις Mixed (χειμώνας, φθινόπωρο), BATS1e (άνοιξη, καλοκαίρι) και UW-PBL (άνοιξη) δεν χαρακτηρίζονται από σημαντική αλλαγή στη συνολική βροχόπτωση.

Η βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης χαρακτηρίζεται από μείωση στην πλειοψηφία των προσομοιώσεων κατά τη διάρκεια όλων των εποχών, εκτός από την προσομοίωση BATS1e (χειμώνας, φθινόπωρο), την προσομοίωση UW-PBL (φθινόπωρο) και τις προσομοιώσεις GAS και GFC (καλοκαίρι), όπου η παράμετρος αυξάνεται κυρίως στις θαλάσσιες περιοχές. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα η μείωση είναι πιο έντονη στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ τόσο την άνοιξη όσο και το καλοκαίρι, η μείωση της βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης γίνεται πιο έντονη στις οροσειρές.

Η μέση πίεση επιφανείας είναι μια παράμετρος που δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, οι μόνες αλλαγές που παρατηρούνται στην συγκεκριμένη παράμετρο εντοπίζονται σε ένα μικρό μέρος της περιοχής μελέτης στις προσομοιώσεις GAS (αύξηση κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι), GFC και Mixed (αύξηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού), καθώς και στις προσομοιώσεις UW-PBL (μείωση το χειμώνα και το φθινόπωρο, και αύξηση το καλοκαίρι) και BATS1e (μικρή μείωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου).

Σε ό,τι αφορά την ταχύτητα του ανέμου, η προσομοίωση BATS1e παρουσιάζει μείωση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στις θαλάσσιες περιοχές. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, δεν χαρακτηρίζονται από σημαντικές αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου εκτός από την προσομοίωση UW-PBL, όπου παρατηρείται αύξηση στις οροσειρές και μείωση σε θαλάσσιες και παραθαλάσσιες περιοχές. Την άνοιξη στις προσομοιώσεις GAS, GFC, Mixed και UW-PBL, η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται σε

τμήματα της περιοχής μελέτης, ενώ στη UW-PBL προσομοίωση παρατηρείται και μια αύξηση της παραμέτρου κυρίως στην περιοχή των Άλπεων. Παρόμοια είναι η εικόνα και τους φθινοπωρινούς μήνες, με τη διαφορά ότι η Mixed προσομοίωση δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική αλλαγή. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όλες οι προσομοιώσεις (εκτός της BATS1e) παρουσιάζουν αύξηση στην ταχύτητα του ανέμου στις θαλάσσιες περιοχές (ενισχυμένοι Ετησίες) και μείωση στις ηπειρωτικές περιοχές.

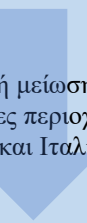
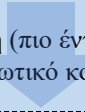
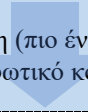
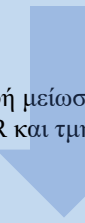
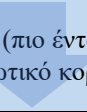
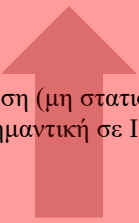
Η λευκαύγεια λόγω διάχυτης και άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης, φαίνεται να παρουσιάζει μικρή αύξηση στις ηπειρωτικές περιοχές στην περίπτωση των προσομοιώσεων Mixed, GFC και GAS. Οι προσομοιώσεις UW-PBL και BATS1e χαρακτηρίζονται κυρίως από μείωση της παραμέτρου. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, με τη διαφορά ότι και στην προσομοίωση UW-PBL παρατηρείται μικρή αύξηση της παραμέτρου, ενώ στην BATS1e προσομοίωση δεν εντοπίζεται κάποια σημαντική αλλαγή. Επιπρόσθετα, το καλοκαίρι σε όλες τις προσομοιώσεις παρατηρείται μια μικρή μείωση της λευκαύγειας στην περιοχή των Άλπεων.

Τέλος, το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος επηρεάζεται από τις αλλαγές στο σχήμα PBL του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, η προσομοίωση UW-PBL παρουσιάζει μια ενισχυμένη μείωση της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης, η οποία είναι σημαντική την άνοιξη και το καλοκαίρι. Οι προσομοιώσεις Mixed (χειμώνας, άνοιξη) και BATS1e (φθινόπωρο) δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική αλλαγή. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, της άνοιξης και του φθινόπωρου, οι προσομοιώσεις GAS και GFC χαρακτηρίζονται από αύξηση του πάχους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ το φθινόπωρο και στη Mixed προσομοίωση παρατηρείται μικρή αύξηση του πάχους τους ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος στις θαλάσσιες περιοχές. Αντίθετα, το καλοκαίρι σε αυτές τις τρεις προσομοιώσεις παρατηρείται αύξηση της παραμέτρου στην περιοχή μελέτης με εξαίρεση τη δυτική Ευρώπη, όπου σημειώνεται μείωση. Στη BATS1e προσομοίωση, το καλοκαίρι το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μειώνεται σε κάποιες περιοχές του ηπειρωτικού κορμού, ενώ την άνοιξη η μείωση εντοπίζεται μόνο στην Ιβηρική Χερσόνησο και την Τυρρηνική θάλασσα.

Πίνακας 3.2a. Μια περιληπτική περιγραφή των αποτελεσμάτων για την ελάχιστη θερμοκρασία, της ανάλυσης των διαφορών ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση, και η στατιστική τους σημαντικότητα. Κίτρινο → Καμία σημαντική αλλαγή, Κόκκινο → Στατιστικά σημαντική αύξηση, Μπλε → Στατιστικά σημαντική μείωση

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Ελάχιστη Θερμοκρασία (2m) 2m Minimum Temperature	Χειμώνας	Μικρή μείωση σε θαλάσσιες περιοχές, FR και IP	Μικρή μείωση σε θαλάσσιες περιοχές, FR και IP	Καμία σημαντική αλλαγή	Αύξηση σε AL και EA	Μικρή αύξηση
					Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές	
	Άνοιξη	Μικρή μείωση σε θαλάσσιες περιοχές, τμήμα FR, IP και EA	Μικρή μείωση	Καμία σημαντική αλλαγή	Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές και IP	Μικρή αύξηση
			Καμία σημαντική αλλαγή σε βόρεια IP, Ιταλία και Βαλκάνια			
	Καλοκαίρι	Μείωση	Μείωση	Μείωση	Μείωση	Μικρή αύξηση σε κεντρική και ανατολική Ευρώπη και σε θαλάσσιες περιοχές
	Φθινόπωρο	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση σε IP, AL, και τμήματα των FR και EA	Μείωση κυρίως σε θαλάσσιες περιοχές, IP, FR και τμήμα EA	Καμία σημαντική αλλαγή σε ηπειρωτικές περιοχές
		Καμία σημαντική αλλαγή σε Ελλάδα, Βαλκάνια και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε Ελλάδα, Βαλκάνια και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές		Μικρή αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές

Πίνακας 3.2b. Ο πίνακας για την μέγιστη θερμοκρασία

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Μέγιστη Θερμοκρασία (2m) 2m Maximum Temperature	Χειμώνας	 Μικρή μείωση	 Μικρή μείωση	Μικρή μείωση σε κεντρική IP και τμήμα της EA	 Μικρή μείωση σε θαλάσσιες περιοχές, IP, FR και Ιταλία	 Μικρή αύξηση
		Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις και τμήμα βόρειας Ελλάδας	Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις και τμήμα βόρειας Ελλάδας	Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές		
	Άνοιξη	 Μείωση (πιο έντονη σε ηπειρωτικό κορμό)	 Μείωση (πιο έντονη σε ηπειρωτικό κορμό)	 Μικρή μείωση σε EA, FR και τμήμα IP	 Μείωση (πιο έντονη σε ηπειρωτικό κορμό)	 Αύξηση (μη στατιστικά σημαντική σε IP)
		Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις	Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις		Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις	
	Καλοκαίρι	 Μείωση	 Μείωση	 Μείωση	 Μείωση	Καμία σημαντική αλλαγή
		Πιο έντονες αλλαγές σε σχέση με την ελάχιστη θερμοκρασία				
	Φθινόπωρο	 Μείωση	 Μείωση	 Μείωση	 Μείωση	Καμία σημαντική αλλαγή σε ηπειρωτικές περιοχές
		Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις, Ελλάδα και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις, Ελλάδα και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές, Άλπεις, Ελλάδα και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις	 Μικρή αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές

Πίνακας 3.2c. Ο πίνακας για τη μέση θερμοκρασία

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Μέση Θερμοκρασία (2m) 2m Mean Temperature	Χειμώνας	Μικρή μείωση σε θαλάσσιες περιοχές, FR και IP	Μικρή μείωση σε θαλάσσιες περιοχές, FR και IP	Καμία σημαντική αλλαγή	Αύξηση σε EA	Μικρή αύξηση
					Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές	
	Άνοιξη	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση σε EA	Μείωση	Μικρή αύξηση (μη στατιστικά σημαντική σε IP και EA)
		Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις	Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις		Καμία σημαντική αλλαγή σε AL και Βαλκάνια	
	Καλοκαίρι	Μείωση	Μείωση	Μείωση	Μείωση (πιο έντονη σε IP, FR, Ιβηρική και Τυρρηνική θάλασσα)	Αύξηση σε ηπειρωτικές (στατιστικά σημαντική σε AL) και θαλάσσιες περιοχές
	Φθινόπωρο	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση	Μείωση	Καμία σημαντική αλλαγή σε ηπειρωτικές περιοχές
		Καμία σημαντική αλλαγή σε Βαλκάνια, Ελλάδα και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις, Βαλκάνια, Ελλάδα και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές, Βαλκάνια, Ελλάδα και Τουρκία	Καμία σημαντική αλλαγή σε Άλπεις και Βαλκάνια	Μικρή αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές

Πίνακας 3.2d. Ο πίνακας για τη συνολική βροχόπτωση

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Συνολική Βροχόπτωση Total Precipitation	Χειμώνας	Αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Καμία σημαντική αλλαγή	Αύξηση (δεν είναι στατιστικά σημαντική στην πλειονηφία)	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές
		Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές	Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές		Μείωση στην Αδριατική	
	Άνοιξη	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές και Αιγαίο	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές και Αιγαίο	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές και Αιγαίο	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή
	Καλοκαίρι	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές (κυρίως σε οροσειρές)	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές (κυρίως σε οροσειρές)	Μείωση κυρίως σε IP, EA και MD (Ιταλία, Ελλάδα)	Μείωση κυρίως σε Ελλάδα και EA	Καμία σημαντική αλλαγή
		Μικρή αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές	Μικρή αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές		Μικρή αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές	
	Φθινόπωρο	Μείωση κυρίως σε τμήματα των IP, AL, EA, βόρεια Ελλάδα, Βαλκάνια, Αιγαίο και Ιόνιο	Μείωση κυρίως σε τμήματα των IP, AL, EA, βόρεια Ελλάδα, Βαλκάνια, Αιγαίο και Ιόνιο	Καμία σημαντική αλλαγή	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές	Μικρή αύξηση σε Ιόνιο, Τυρρηνική και Ιβηρική θάλασσα

Πίνακας 3.2ε. Ο πίνακας για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Βροχόπτωση Λόγω Κατακόρυφης Ανάπτυξης <i>Convective Precipitation</i>	Χειμώνας	Μείωση (πιο έντονη σε θαλάσσιες περιοχές)	Μείωση (πιο έντονη σε θαλάσσιες περιοχές)	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μικρή αύξηση σε FR	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές
				Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές	Μείωση σε Αιγαίο, Ιόνιο και Τυρρηνική θάλασσα	
	Άνοιξη	Μείωση (πιο έντονη σε ηπειρωτικές περιοχές με οροσειρές), και μικρή μείωση στις θαλάσσιες περιοχές	Μείωση (πιο έντονη σε ηπειρωτικές περιοχές με οροσειρές), και μικρή μείωση στις θαλάσσιες περιοχές	Μείωση (πιο έντονη σε ηπειρωτικές περιοχές με οροσειρές)	Μικρή μείωση σε τμήματα των IP, AL, EA, ανατολική Ελλάδα, Τουρκία, Αδριατική και Αιγαίο	Καμία σημαντική αλλαγή
				Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές		
	Καλοκαίρι	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές (όχι σε FR και δυτική IP)	Αύξηση σε FR και AL
		Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές			Καμία σημαντική αλλαγή στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης
	Φθινόπωρο	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές, και μικρή μείωση σε Αιγαίο, Ιόνιο και Αδριατική	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές, και μικρή μείωση σε Αιγαίο, Ιόνιο και Αδριατική	Μείωση σε ηπειρωτικές περιοχές, και μικρή μείωση σε Αιγαίο, Ιόνιο και Αδριατική	Μικρή μείωση σε τμήματα των IP, κεντρική Ευρώπη και βόρεια Ελλάδα	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (πιο έντονη σε Τυρρηνική θάλασσα)
				Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές	Αύξηση σε Ιβηρική και Τυρρηνική θάλασσα	

Πίνακας 3.2f. Ο πίνακας για τη μέση πίεση επιφανείας

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Μέση Πίεση Επιφανείας Mean Sea Level Pressure	Χειμώνας	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Μικρή μείωση σε κεντρική Ευρώπη, Βαλκάνια και βόρεια Ελλάδα	Καμία σημαντική αλλαγή
	Άνοιξη	Αύξηση σε AL, FR, τμήμα της IP, τμήμα των Βαλκανίων και της βόρειας Ελλάδας, και βόρειο Αιγαίο	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή
	Καλοκαίρι	Μικρή αύξηση σε IP, FR, Ιβηρική θάλασσα και θάλασσα του Αλμποράν	Μικρή αύξηση σε IP, FR, Ιβηρική θάλασσα και θάλασσα του Αλμποράν	Μικρή αύξηση σε IP, FR, Ιβηρική θάλασσα και θάλασσα του Αλμποράν	Μικρή αύξηση σε IP, FR, Ιβηρική θάλασσα και θάλασσα του Αλμποράν	Καμία σημαντική αλλαγή
	Φθινόπωρο	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Μικρή μείωση σε Ιταλία, Τυρρηνική και Ιβηρική θάλασσα	Μικρή μείωση σε MD

Πίνακας 3.2g. Ο πίνακας για την ταχύτητα του ανέμου

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Ταχύτητα Ανέμου (10m) 10m Wind Speed	Χειμώνας	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή	Αύξηση κυρίως σε AL	Μείωση σε Αιγαίο, Αδριατική και Ιβηρική θάλασσα
					Μείωση σε παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας, Αδριατική και Ιόνιο	
	Άνοιξη	Μείωση σε IP, FR, AL, τμήμα των Βαλκανίων, Ελλάδα και Τουρκία	Μείωση σε IP, FR, AL, τμήμα των Βαλκανίων, Ελλάδα και Τουρκία	Μείωση σε FR, Βαλκάνια, Ελλάδα και Τουρκία	Μείωση σε IP, τμήμα της ΕΑ και Τουρκία	Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές
		Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές	Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές	Καμία σημαντική αλλαγή σε θαλάσσιες περιοχές	Αύξηση σε Άλπεις και Πυρηναία	
	Καλοκαίρι	Μείωση κυρίως σε ηπειρωτικές περιοχές	Μείωση κυρίως σε ηπειρωτικές περιοχές	Μείωση κυρίως σε ηπειρωτικές περιοχές	Μείωση κυρίως σε ηπειρωτικές περιοχές	Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές (κυρίως Ιόνιο και Ιβηρική θάλασσα)
		Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (όχι Ιόνιο) Ενισχυμένοι Ετησίες	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (όχι Ιόνιο) Ενισχυμένοι Ετησίες	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (όχι Ιόνιο) Ενισχυμένοι Ετησίες	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (όχι Ιόνιο) Ενισχυμένοι Ετησίες	
	Φθινόπωρο	Μικρή μείωση σε νότια IP, τμήμα ανατολικής Ευρώπης και βόρειας Ελλάδας, και Ιόνιο	Μικρή μείωση σε νότια IP, τμήμα ανατολικής Ευρώπης και βόρειας Ελλάδας, και Ιβηρική θάλασσα	Καμία σημαντική αλλαγή	Μείωση σε τμήμα των FR και ΕΑ, και σε νοτιοδυτική IP	Μείωση σε θαλάσσιες περιοχές (Αιγαίο, Ιόνιο, τμήμα Ιβηρικής θάλασσας)
					Αύξηση σε Άλπεις και Πυρηναία	

Πίνακας 3.2h. Ο πίνακας για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης/άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Λευκαύγεια λόγω Διάχυτης/Άμεσης Ακτινοβολίας Μικρού Μήκους Κύματος <i>Albedo to Diffuse/Direct Shortwave Radiation</i>	Χειμώνας	Μικρή αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μικρή αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μικρή αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μικρή μείωση σε τμήματα της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης	Μικρή μείωση σε τμήματα της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης
		Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL		
	Άνοιξη	Μικρή αύξηση σε τμήματα των IP, EA, Ελλάδα και κεντρική Ευρώπη	Μικρή αύξηση σε τμήματα των IP, EA, Ελλάδα και κεντρική Ευρώπη	Μικρή αύξηση σε τμήματα της IP και σε ανατολική Ευρώπη	Μείωση σε AL	Μείωση σε AL
		Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL		
	Καλοκαίρι	Μικρή αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μικρή αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Μικρή αύξηση σε ηπειρωτικές περιοχές	Καμία σημαντική αλλαγή	Καμία σημαντική αλλαγή
		Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL	Μικρή μείωση σε AL
	Φθινόπωρο	Μικρή μείωση σε τμήματα των IP, EA, βόρειας Ελλάδας και Τουρκίας	Μικρή μείωση σε τμήματα των IP, EA, βόρειας Ελλάδας και Τουρκίας	Μικρή μείωση σε τμήματα των IP, EA, βόρειας Ελλάδας και Τουρκίας	Μικρή μείωση σε τμήματα των EA, βόρειας Ελλάδας και Τουρκίας	Καμία σημαντική αλλαγή

Πίνακας 3.2i. Ο πίνακας για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος

		GAS	GFC	Mixed	UW-PBL	BATS1e
Πάχος Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος <i>Atmospheric Boundary Layer Thickness</i>	Χειμώνας	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (όχι Αιγαίο)	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (όχι Αιγαίο)	Καμία σημαντική αλλαγή	Μείωση (πιο έντονη σε θαλάσσιες περιοχές), αλλά δεν είναι στατιστικά σημαντική	Μικρή μείωση σε Αδριατική, Ιόνιο και Τυρρηνική θάλασσα
	Άνοιξη	Μείωση σε νοτιοδυτικό τμήμα IP	Μείωση σε νοτιοδυτικό τμήμα IP	Καμία σημαντική αλλαγή	Μείωση (πιο έντονη σε βόρειο Αιγαίο, Ιόνιο, Αδριατική και Τυρρηνική θάλασσα)	Μικρή μείωση σε νότιο τμήμα IP, Αδριατική και Τυρρηνική θάλασσα
		Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές			
	Καλοκαίρι	Αύξηση (όχι κεντρική Ευρώπη)	Αύξηση (όχι κεντρική Ευρώπη)	Αύξηση (όχι κεντρική Ευρώπη και τμήμα Βαλκανικής Χερσονήσου)	Μείωση (πιο έντονη σε ηπειρωτικές περιοχές)	Καμία σημαντική αλλαγή
		Μείωση σε FR	Μείωση σε FR			
	Φθινόπωρο	Μικρή μείωση σε νοτιοδυτική IP	Μικρή μείωση σε νοτιοδυτική IP	Καμία σημαντική αλλαγή σε ηπειρωτικό κορμό	Μείωση αλλά δεν είναι στατιστικά σημαντική	Καμία σημαντική αλλαγή
		Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (πιο έντονη σε Ιβηρική και Τυρρηνική θάλασσα) και σε τμήμα της Ελλάδας, Ιταλίας, Τουρκία και IP	Αύξηση σε θαλάσσιες περιοχές (πιο έντονη σε Ιβηρική και Τυρρηνική θάλασσα) και σε τμήμα της Ελλάδας, Ιταλίας, Τουρκία και IP	Μικρή αύξηση σε βόρειο τμήμα Αδριατικής, Τυρρηνική και Ιβηρική θάλασσα		

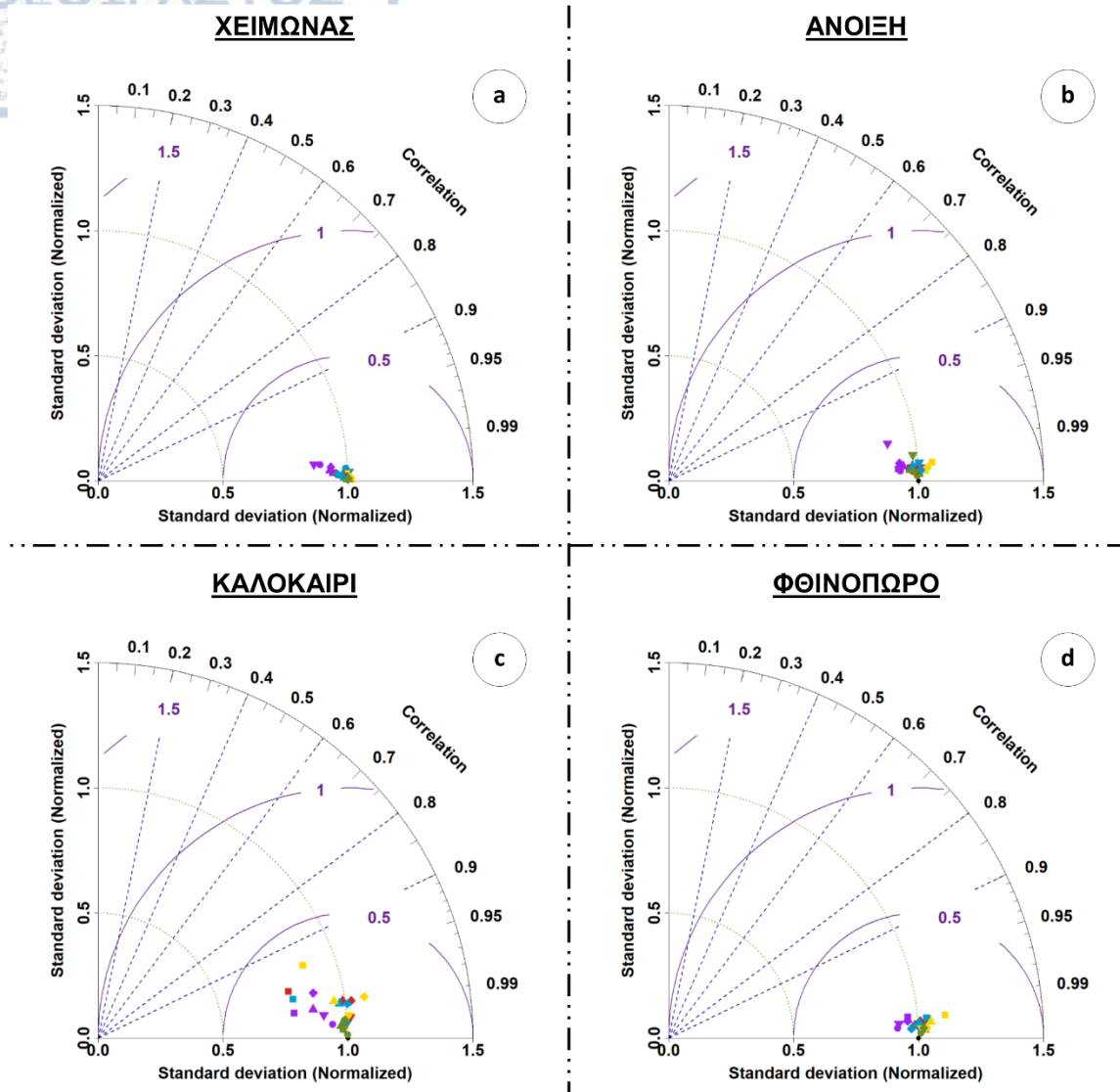
3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ TAYLOR)

3.4.1 Θερμοκρασία (Air temperature - T_{min} , T_{max} , T_{mean})

Χειμώνας

Στην περίπτωση της μέσης θερμοκρασίας στα 2m (Σχήμα 3.17 - a), κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η σχεδόν μηδενική RMS διαφορά, η παρόμοια τυπική απόκλιση και ο συντελεστής συσχέτισης με τιμή > 0.99 υποδεικνύουν ότι όλες οι προσομοιώσεις είναι σε συμφωνία με την προσομοίωση αναφοράς (Reference). Πιο συγκεκριμένα, οι προσομοιώσεις BATS1e και Mixed βρίσκονται πιο κοντά στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) παρουσιάζοντας σχεδόν την ίδια απόδοση σε όλες τις περιπτώσεις. Αυτά τα ευρήματα έρχονται σε συμφωνία και με τα αντίστοιχα ραβδογράμματα αυτής της παραμέτρου (Σχήμα Παρ.30). Επιπρόσθετα, αυτές οι δύο προσομοιώσεις παρουσιάζουν συντελεστή συσχέτισης που πλησιάζει τη μονάδα στο μεγαλύτερο μέρος των υποπεριοχών (AL, FR, IP, MD) και έχουν την ίδια τυπική απόκλιση με τη Reference προσομοίωση.

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση των ελάχιστων (Σχήμα Παρ.31 - a) και μέγιστων (Σχήμα Παρ.32 - a) θερμοκρασιών. Η βασική διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στην ελάχιστη, τη μέγιστη και τη μέση θερμοκρασία είναι η διασπορά των δεδομένων σε μερικές περιπτώσεις. Η διασπορά φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στις μέγιστες θερμοκρασίες και μικρότερη στις ελάχιστες. Αυτό επίσης φαίνεται και από τα ραβδογράμματα των συγκεκριμένων παραμέτρων, όπου οι ελάχιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές και επίσης στις υποπεριοχές AL και EA παρατηρούνται και αρνητικές τιμές, ενώ οι υψηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην MD υποπεριοχή (Σχήμα Παρ.33). Οι μέγιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές, με την υποπεριοχή MD να εμφανίζει και πάλι της πιο υψηλές (Σχήμα Παρ.34). Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, σε ό,τι αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες, μόνο η προσομοίωση BATS1e είναι πιο κοντά στην προσομοίωση αναφοράς (Reference).



Σχήμα 3.17. Η συμπεριφορά του RegCM4 για τη μέση θερμοκρασία σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (κόκκινο → GAS προσομοίωση, μπλε → GFC προσομοίωση, κίτρινο → Mixed προσομοίωση, πράσινο → BATS1e προσομοίωση, μωβ → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)

Άνοιξη

Την άνοιξη από το Taylor διάγραμμα φαίνεται ότι όλες οι προσομοιώσεις έχουν παρόμοια απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς στην περίπτωση της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 3.17 - b), με την BATS1e προσομοίωση να βρίσκεται πιο κοντά σε αυτή, κάτι που είναι ορατό και στο Σχήμα Παρ.35. Επιπρόσθετα, η UW-PBL προσομοίωση παρουσιάζει μια πολύ μικρή διασπορά στα δεδομένα.

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα στις ελάχιστες (Σχήμα Παρ.31 - b) και μέγιστες (Σχήμα Παρ.32 - b) θερμοκρασίες. Στην περίπτωση των ελάχιστων θερμοκρασιών, όλες οι προσομοιώσεις χαρακτηρίζονται από παρόμοια τυπική απόκλιση, σχεδόν μηδενικό RMS και συντελεστή συσχέτισης που φτάνει τη μονάδα, ενώ και πάλι η προσομοίωση UW-PBL χαρακτηρίζεται από μικρή διασπορά στα δεδομένα. Μικρή διαφοροποίηση παρατηρείται στις μέγιστες θερμοκρασίες όπου εντοπίζεται μικρή διασπορά των δεδομένων στις περισσότερες περιπτώσεις, ενώ η BATS1e προσομοίωση βρίσκεται πιο κοντά στη Reference προσομοίωση. Στα αντίστοιχα ραβδογράμματα για τις ελάχιστες (Σχήμα Παρ.36) και μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.37) είναι εμφανής η συμφωνία της BATS1e προσομοίωσης με την προσομοίωση αναφοράς (Reference), καθώς και οι χαμηλότερες τιμές στις υπόλοιπες προσομοιώσεις σε όλη την περιοχή μελέτης.

Καλοκαίρι

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στην περίπτωση της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 3.17 - c και Σχήμα Παρ.38), μόνο η προσομοίωση BATS1e βρίσκεται πιο κοντά στη Reference προσομοίωση. Επιπρόσθετα, ο συντελεστής συσχέτισης στη συγκεκριμένη προσομοίωση πλησιάζει τη μονάδα μόνο στην υποπεριοχή AL. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις είναι σχετικά κοντά στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) σε όλες τις υποπεριοχές. Στην FR υποπεριοχή, οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν διακυμάνσεις που είναι πολύ πιο χαμηλές από τη Reference προσομοίωση. Επιπλέον, στην υποπεριοχή IP οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν παρόμοιες διακυμάνσεις με τη Reference προσομοίωση, αλλά ο συντελεστής συσχέτισης κυμαίνεται μεταξύ 0.95 και 0.99, εκτός από την προσομοίωση BATS1e όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι > 0.99 .

Σε ό,τι αφορά τις ελάχιστες (Σχήμα Παρ.31 - c και Σχήμα Παρ.39) και μέγιστες (Σχήμα Παρ.32 - c και Σχήμα Παρ.40) θερμοκρασίες, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με εκείνα

του χειμώνα. Από τα διαγράμματα και τα ραβδογράμματα φαίνεται ότι και πάλι οι υψηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην υποπεριοχή MD.

Φθινόπωρο

Στην περίπτωση της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 3.17 - d), κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, όλες οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν όμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση, ενώ παρατηρούνται λίγο διαφορετικές διακυμάνσεις στις τιμές. Επιπρόσθετα, η BATS1e προσομοίωση βρίσκεται σε μεγαλύτερη συμφωνία με την προσομοίωση αναφοράς (Reference). Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα βρίσκονται και τα ραβδογράμματα του Σχήματος Παρ.41, όπου απεικονίζεται η συμφωνία της προσομοίωσης BATS1e, καθώς και οι χαμηλότερες τιμές στις υπόλοιπες προσομοιώσεις.

Στις ελάχιστες (Σχήμα Παρ.31 - d και Σχήμα Παρ.42) και μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.32 - d και Σχήμα Παρ.43) τα αποτελέσματα είναι παρόμοια, ενώ στις μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρείται επίσης μεγαλύτερη διασπορά των δεδομένων. Συγκεκριμένα, στις ελάχιστες θερμοκρασίες όλες οι προσομοιώσεις χαρακτηρίζονται από παρόμοια τυπική απόκλιση, σχεδόν μηδενικό RMS και συντελεστή συσχέτισης που πλησιάζει τη μονάδα και κατά συνέπεια έχουν παρόμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση. Σε ό,τι αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες, την πλησιέστερη απόδοση εμφανίζει η προσομοίωση BATS1e σε όλες τις υποπεριοχές, ενώ οι υπόλοιπες προσομοιώσεις είναι σχετικά κοντά με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) παρουσιάζοντας όμως μικρότερες τιμές στην περιοχή μελέτης.

3.4.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)

Χειμώνας

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.18 - a), η προσομοίωση BATS1e είναι παρόμοια με τη Reference προσομοίωση σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές. Επιπρόσθετα, στις περισσότερες περιπτώσεις, παρόμοια απόδοση παρατηρείται επίσης και από την Mixed προσομοίωση. Οι περισσότερες από τις υπόλοιπες προσομοιώσεις είναι σχετικά παρόμοιες με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) σε όλες τις υπό εξέταση υποπεριοχές και όπως φαίνεται και από το Σχήμα Παρ.44, οι προσομοιώσεις GAS και GFC παρουσιάζουν σχετικά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) και τις άλλες προσομοιώσεις στην υποπεριοχή MD.

Άνοιξη

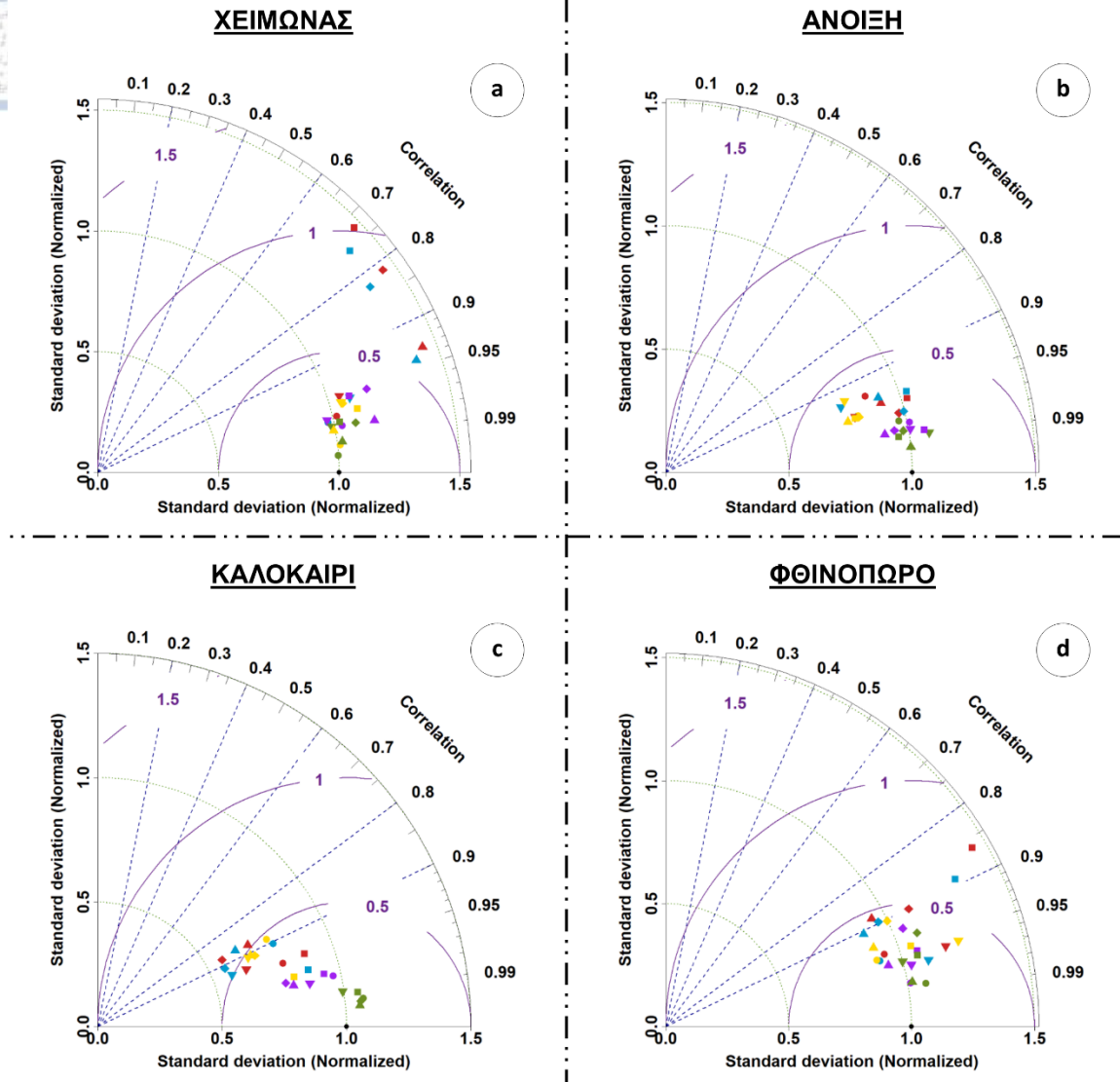
Την άνοιξη (Σχήμα 3.18 - b) οι προσομοιώσεις BATS1e και UW-PBL έχουν την πλησιέστερη απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) σε όλη την περιοχή μελέτης. Οι προσομοιώσεις με αλλαγές στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης φαίνεται να υποεκτιμούν την παράμετρο σε όλες τις υποπεριοχές (μικρότερη τυπική απόκλιση), με εξαίρεση τις προσομοιώσεις GAS και GFC στην υποπεριοχή MD όπου παρατηρείται παρόμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση. Οι μικρότερες τιμές στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed παρατηρούνται και στο Σχήμα Παρ.45.

Καλοκαίρι

Το καλοκαίρι η προσομοίωση BATS1e παρουσιάζει την πλησιέστερη στη Reference προσομοίωση απόδοση (Σχήμα 3.18 - c), ενώ οι υπόλοιπες προσομοιώσεις είναι σχετικά παρόμοιες με τη Reference. Αυτό είναι εμφανές σε όλες τις υποπεριοχές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι προσομοιώσεις με αλλαγές στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης παρουσιάζουν διακυμάνσεις που είναι μικρότερες σε σχέση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference), κάτι που είναι ορατό και στο Σχήμα Παρ.46 κυρίως στις υποπεριοχές AL και EA, όπου αυτές οι τρεις προσομοιώσεις παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές.

Φθινόπωρο

Κατά το φθινόπωρο (Σχήμα 3.18 - d), στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται μικρή διασπορά των δεδομένων και επιπρόσθετα φαίνεται να υπάρχει σχετικά παρόμοια απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference). Την πλησιέστερη απόδοση με τη Reference προσομοίωση φαίνεται να έχει η προσομοίωση UW-PBL στην υποπεριοχή AL, η προσομοίωση Mixed στην υποπεριοχή MD και η προσομοίωση BATS1e στην υποπεριοχή EA. Στο Σχήμα Παρ.47 φαίνεται ότι οι προσομοιώσεις GAS και GFC υποεκτιμούν την παράμετρο στις υποπεριοχές AL, EA και MD, ενώ η προσομοίωση BATS1e σε όλη την περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές σε σχέση με τη Reference προσομοίωση.



Σχήμα 3.18. Η συμπεριφορά του RegCM4 για τη συνολική βροχόπτωση σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (κόκκινο → GAS προσομοίωση, μπλε → GFC προσομοίωση, κίτρινο → Mixed προσομοίωση, πράσινο → BATS1e προσομοίωση, μωβ → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)

3.4.3 Βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (Convective precipitation)

Χειμώνας

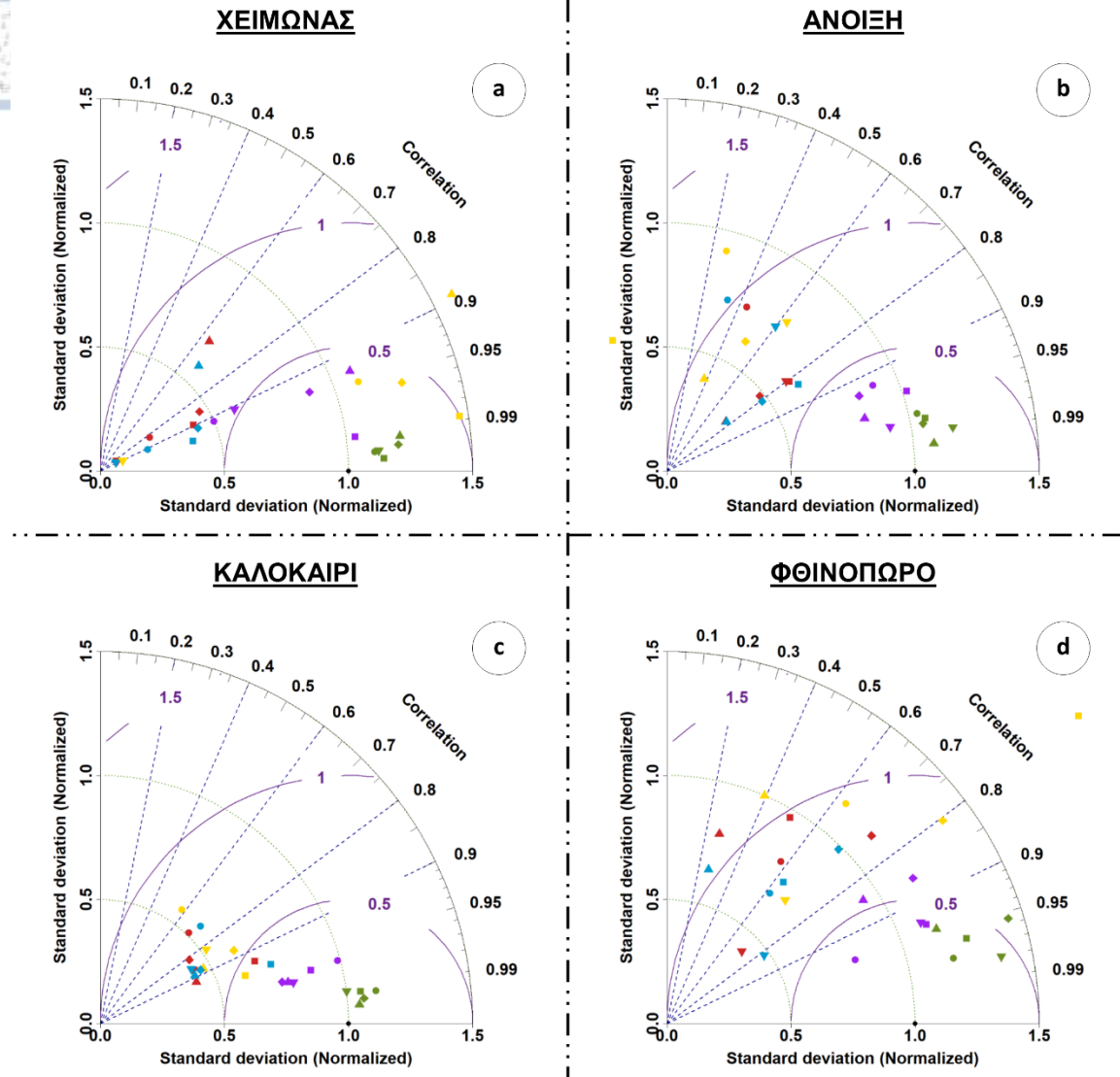
Σε ό,τι αφορά τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.19 - a), σε όλες τις υποπεριοχές οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν διακυμάνσεις που ξεπερνούν την προσομοίωση αναφοράς (Reference). Σε όλες τις υποπεριοχές η πιο κοντινή απόδοση παρατηρείται από την προσομοίωση BATS1e. Επιπρόσθετα, στην υποπεριοχή FR η προσομοίωση UW-PBL είναι παρόμοια με τη Reference προσομοίωση. Στις υποπεριοχές EA και AL, οι προσομοιώσεις με αλλαγές στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης χαρακτηρίζονται από τυπική απόκλιση που πλησιάζει το μηδέν και συντελεστή συσχέτισης που φτάνει τη μονάδα. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα Παρ.48, όπου στις υποπεριοχές AL και EA, οι προσομοιώσεις GAS και Mixed παρουσιάζουν αρκετά χαμηλές τιμές και οι τιμές της προσομοίωσης GFC είναι αρκετά υψηλές.

Άνοιξη

Την άνοιξη (Σχήμα 3.19 - b και Σχήμα Παρ.49) η διασπορά των τιμών είναι αρκετά μεγάλη. Η προσομοίωση BATS1e φαίνεται να έχει την πλησιέστερη απόδοση στην προσομοίωση αναφοράς (Reference), ενώ και η προσομοίωση UW-PBL είναι αρκετά κοντά στη Reference προσομοίωση κυρίως στην υποπεριοχή FR. Η χαμηλή τυπική απόκλιση, ο χαμηλός συντελεστής συσχέτισης και η μεγάλη διαφορά RMS στις προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed δείχνουν την υποεκτίμηση της παραμέτρου από αυτές τις προσομοιώσεις σε όλη την περιοχή μελέτης.

Καλοκαίρι

Το καλοκαίρι (Σχήμα 3.19 - c) η διασπορά των δεδομένων είναι ιδιαίτερα υψηλή σε όλες τις περιπτώσεις. Η πιο κοντινή απόδοση στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) παρατηρείται και πάλι από την προσομοίωση BATS1e. Οι προσομοιώσεις GFC, GAS και Mixed παρουσιάζουν μικρή υποεκτίμηση της παραμέτρου στις περισσότερες περιπτώσεις. Η διαφορά των τιμών και η υποεκτίμηση της παραμέτρου στην περίπτωση των σχημάτων κατακόρυφης ανάπτυξης φαίνεται επίσης στο Σχήμα Παρ.50.



Σχήμα 3.19. Η συμπεριφορά του RegCM4 για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (κόκκινο → GAS προσομοίωση, μπλε → GFC προσομοίωση, κίτρινο → Mixed προσομοίωση, πράσινο → BATS1e προσομοίωση, μωβ → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)

Φθινόπωρο

Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Σχήμα 3.19 - d και Σχήμα Παρ.51), μόνο η προσομοίωση UW-PBL βρίσκεται αρκετά κοντά στην προσομοίωση αναφοράς (Reference). Σε όλες τις άλλες προσομοιώσεις η διασπορά των δεδομένων είναι αρκετά μεγάλη με αποτέλεσμα οι προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed να υποεκτιμούν σημαντικά τη Reference προσομοίωση, ενώ η προσομοίωση BATS1e παρουσιάζει σχετικά υψηλότερες τιμές.

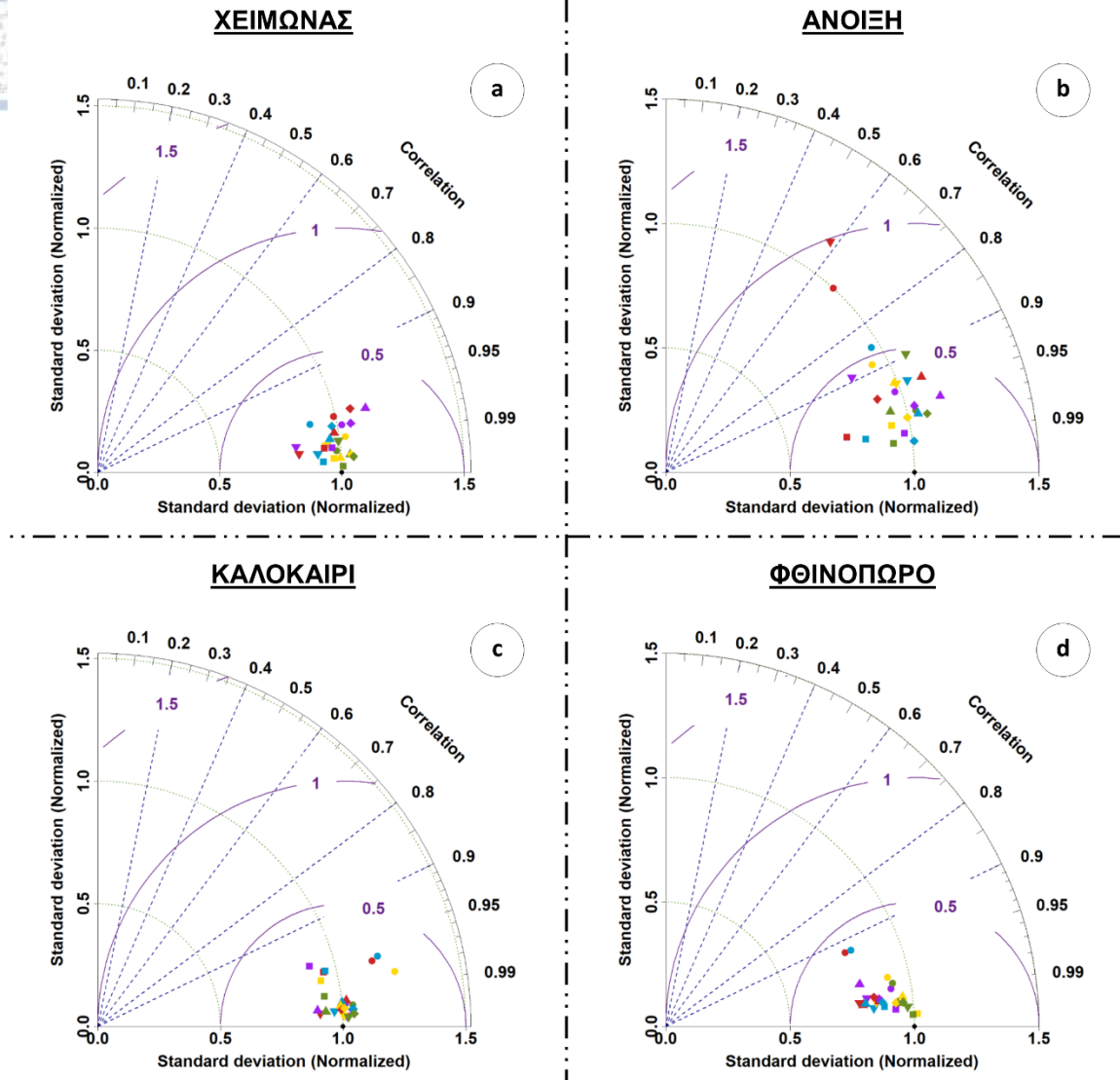
3.4.4 Μέση πίεση επιφανείας (Mean sea level pressure)

Χειμώνας

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.20 - a), η παρόμοια διακύμανση των δεδομένων με αυτή της προσομοίωσης αναφοράς (Reference), η σχεδόν μηδενική διαφορά RMS και ο συντελεστής συσχέτισης που πλησιάζει τη μονάδα, δείχνουν ότι η προσομοίωση BATS1e είναι η πιο κοντινή στη Reference προσομοίωση σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές, ενώ στις υποπεριοχές IP και MD, και η προσομοίωση Mixed είναι κοντά στη Reference προσομοίωση. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις είναι παρόμοιες με την προσομοίωση αναφοράς (Reference). Επιπρόσθετα, στην υποπεριοχή EA παρατηρείται μια μικρή διασπορά των δεδομένων. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο Σχήμα Παρ.52, η προσομοίωση GFC παρουσιάζει γενικά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τις άλλες προσομοιώσεις, ενώ οι προσομοιώσεις Mixed και GAS παρουσιάζουν τις κοντινότερες τιμές στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) στις περισσότερες περιπτώσεις.

Άνοιξη

Την άνοιξη (Σχήμα 3.20 - b) παρατηρείται μικρή διασπορά των δεδομένων στις περισσότερες περιπτώσεις. Όλες οι προσομοιώσεις φαίνεται να πλησιάζουν σχετικά σε απόδοση τη Reference προσομοίωση κυρίως στις υποπεριοχές IP και MD. Στις υποπεριοχές AL, EA και FR, οι προσομοιώσεις GAS, GFC και Mixed παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη διακύμανση στις τιμές, με την GAS προσομοίωση να εμφανίζει τη μεγαλύτερη. Στο Σχήμα Παρ.53 φαίνεται ότι οι τρεις αυτές προσομοιώσεις υπερεκτιμούν την προσομοίωση αναφοράς (Reference) κυρίως στις υποπεριοχές AL, EA και FR.



Σχήμα 3.20. Η συμπεριφορά του RegCM4 για τη μέση πίεση επιφανείας σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (**κόκκινο** → GAS προσομοίωση, **μπλε** → GFC προσομοίωση, **κίτρινο** → Mixed προσομοίωση, **πράσινο** → BATS1e προσομοίωση, **μωβ** → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)

Καλοκαίρι

Κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών του έτους (Σχήμα 3.20 - c), όλες οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν παρόμοια απόδοση σε σχέση με τη Reference προσομοίωση. Πιο συγκεκριμένα, οι κοντινότερες τιμές στη Reference προσομοίωση παρατηρούνται στην περίπτωση της BAT51e προσομοίωσης στις υποπεριοχές EA, FR και AL, με την προσομοίωση UW-PBL να είναι επίσης αρκετά παρόμοια με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) στην υποπεριοχή AL. Το Σχήμα Παρ.54 απεικονίζει επίσης τη μικρή διασπορά των δεδομένων και την ομοιότητα των προσομοιώσεων με την προσομοίωση αναφοράς (Reference).

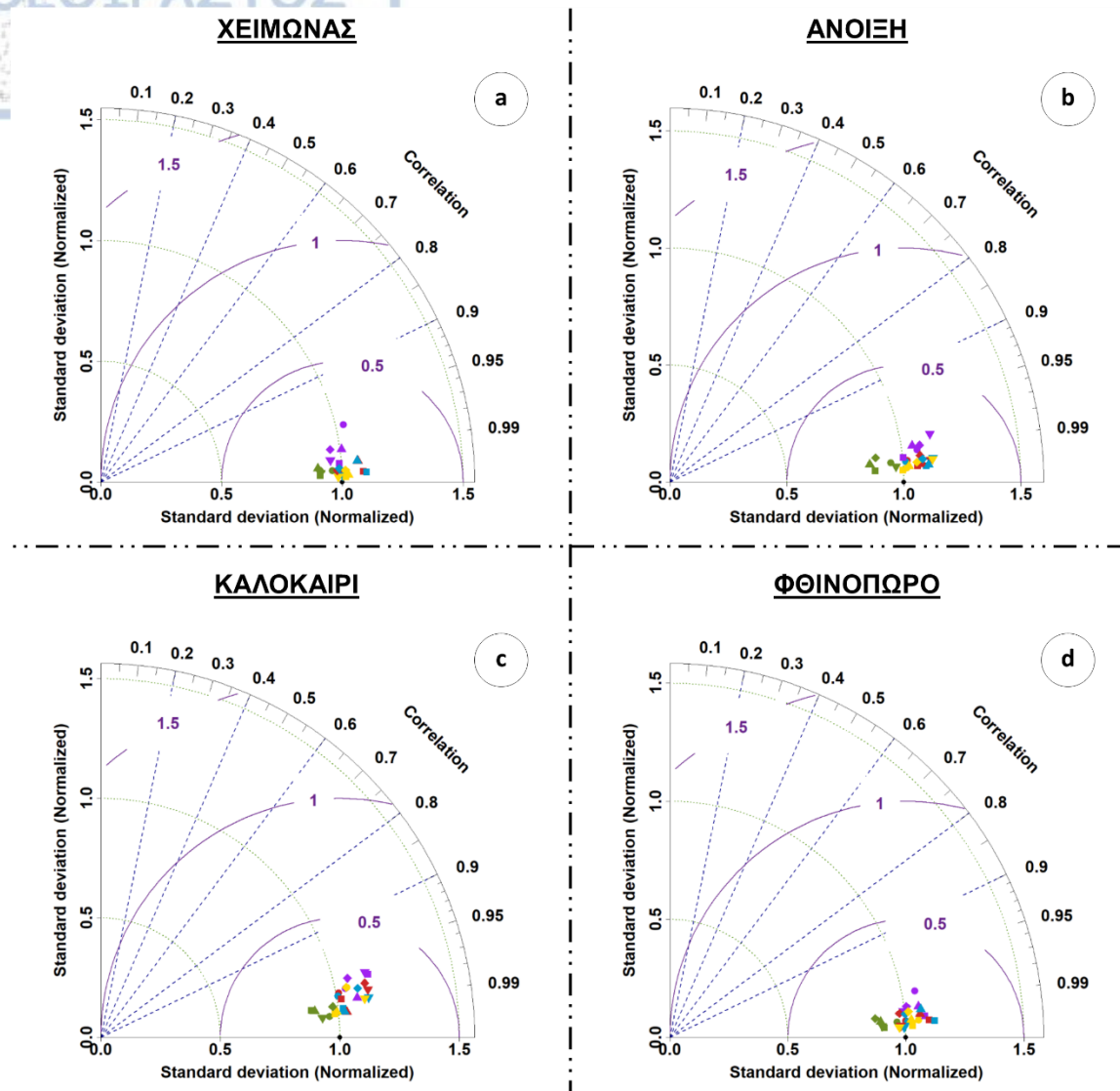
Φθινόπωρο

Και το φθινόπωρο (Σχήμα 3.20 - d και Σχήμα Παρ.55) όλες οι προσομοιώσεις έχουν παρόμοια απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference), με την Mixed προσομοίωση να παρουσιάζει τις κοντινότερες τιμές στη Reference προσομοίωση σε όλες τις υποπεριοχές.

3.4.5 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed)

Χειμώνας

Στην περίπτωση της ταχύτητας του ανέμου στα 10m, κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.21 - a), η προσομοίωση Mixed είναι η πλησιέστερη στη Reference προσομοίωση σε όλες τις υπό εξέταση υποπεριοχές. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις είναι σχετικά κοντά στη Reference προσομοίωση, ενώ στην υποπεριοχή AL η απόδοση όλων των προσομοιώσεων είναι πολύ κοντά σε εκείνη της προσομοίωσης αναφοράς (Reference), με παρόμοιες τυπικές αποκλίσεις, συντελεστή συσχέτισης που φτάνει τη μονάδα και RMS κοντά στο μηδέν. Επιπρόσθετα, στις υποπεριοχές EA και MD, και οι προσομοιώσεις GFC και GAS είναι παρόμοιες με τη Reference προσομοίωση. Η συμφωνία των προσομοιώσεων φαίνεται στο Σχήμα Παρ.56. Η Mixed προσομοίωση παρουσιάζει τις κοντινότερες τιμές στην προσομοίωση αναφοράς (Reference). Επιπρόσθετα, οι υποπεριοχές FR και MD χαρακτηρίζονται από υψηλότερες τιμές ταχύτητας ανέμου.



Σχήμα 3.21. Η συμπεριφορά του RegCM4 για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (κόκκινο → GAS προσομοίωση, μπλε → GFC προσομοίωση, κίτρινο → Mixed προσομοίωση, πράσινο → BATS1e προσομοίωση, μωβ → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)

Άνοιξη

Την άνοιξη (Σχήμα 3.21 - b) η προσομοίωση Mixed είναι η πλησιέστερη σε απόδοση στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) στις υποπεριοχές AL, FR και IP, ενώ και η προσομοίωση UW-PBL στην υποπεριοχή FR, καθώς και οι προσομοιώσεις GAS και GFC στην AL υποπεριοχή, είναι κοντά στη Reference προσομοίωση. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση. Στο Σχήμα Παρ.57 απεικονίζεται η συμφωνία των προσομοιώσεων με τη Reference προσομοίωση.

Καλοκαίρι

Το καλοκαίρι (Σχήμα 3.21 - c) η προσομοίωση BATS1e παρουσιάζει την πλησιέστερη απόδοση στις υποπεριοχές AL, EA και MD, ενώ η Mixed προσομοίωση και οι προσομοιώσεις με αλλαγές στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης είναι οι πλησιέστερες σε απόδοση στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) στις υποπεριοχές FR και IP αντίστοιχα. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις GFC, GAS, Mixed και UW-PBL έχουν υψηλότερες διακυμάνσεις σε σχέση με τη Reference προσομοίωση στις υποπεριοχές EA και MD. Στο Σχήμα Παρ.58, η συμφωνία των προσομοιώσεων είναι ορατή όπως και στην περίπτωση του χειμώνα. Η ταχύτητα του ανέμου είναι πιο κοντά στη Reference προσομοίωση στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης.

Φθινόπωρο

Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες (Σχήμα 3.21 - d), όλες οι προσομοιώσεις βρίσκονται κοντά στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) στις περισσότερες υποπεριοχές (παρόμοιες τυπικές αποκλίσεις, συντελεστής συσχέτισης > 0.99 και σχεδόν μηδενικό RMS). Και σε αυτή την περίπτωση, στο Σχήμα Παρ.59 φαίνεται η συμφωνία των προσομοιώσεων με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) στις υποπεριοχές.

3.4.6 Λευκαύγεια λόγω άμεσης/διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Surface albedo for direct/diffuse shortwave radiation)

Χειμώνας

Σε ό,τι αφορά τους ψυχρούς μήνες του έτους (DJF), στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα 3.22 - a), η προσομοίωση BATS1e παρουσιάζει την πλησιέστερη απόδοση σε εκείνη της προσομοίωσης αναφοράς (Reference) στις υποπεριοχές AL και EA, και είναι ιδιαίτερα όμοια σε όλες της υποπεριοχές, ενώ η προσομοίωση Mixed παρομοιάζει τη Reference προσομοίωση στις υποπεριοχές IP και MD. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις έχουν αρκετά παρόμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση (μικρή διαφορά RMS, παρόμοια διακύμανση στις περισσότερες περιπτώσεις, συντελεστής συσχέτισης > 0.95) εκτός από την υποπεριοχή FR, όπου παρατηρείται μεγάλη διασπορά των δεδομένων κυρίως στις προσομοιώσεις GAS και GFC. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα Παρ.60 - a). Η μόνη διαφορά που παρατηρείται στις περισσότερες περιπτώσεις είναι η μικρότερη διασπορά των δεδομένων, ο συντελεστής συσχέτισης που στις περισσότερες προσομοιώσεις είναι > 0.99 και το σχεδόν μηδενικό RMS, τα οποία υποδηλώνουν κοντινές τιμές στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) στις περισσότερες προσομοιώσεις. Οι προσομοιώσεις σε όλες τις υποπεριοχές, με εξαίρεση την υποπεριοχή AL, είναι παρόμοιες (Σχήμα Παρ.61 και Σχήμα Παρ.62). Η υποπεριοχή AL παρουσιάζει την υψηλότερη λευκαύγεια και στις δύο περιπτώσεις (διάχυτη και άμεση ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος), καθώς είναι μια περιοχή που χαρακτηρίζεται από υψηλή κάλυψη με χιόνι.

Άνοιξη

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης, στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα 3.22 - b και Σχήμα Παρ.63), την πλησιέστερη απόδοση στην προσομοίωση αναφοράς (Reference) παρουσιάζει η προσομοίωση Mixed στις υποπεριοχές AL, FR, IP και MD, καθώς και οι προσομοιώσεις GAS και GFC στην υποπεριοχή MD. Όλες οι άλλες προσομοιώσεις παρουσιάζουν παρόμοια τυπική απόκλιση, μικρή διαφορά RMS και συντελεστή συσχέτισης > 0.99 και είναι αρκετά όμοιες με τη Reference προσομοίωση. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα

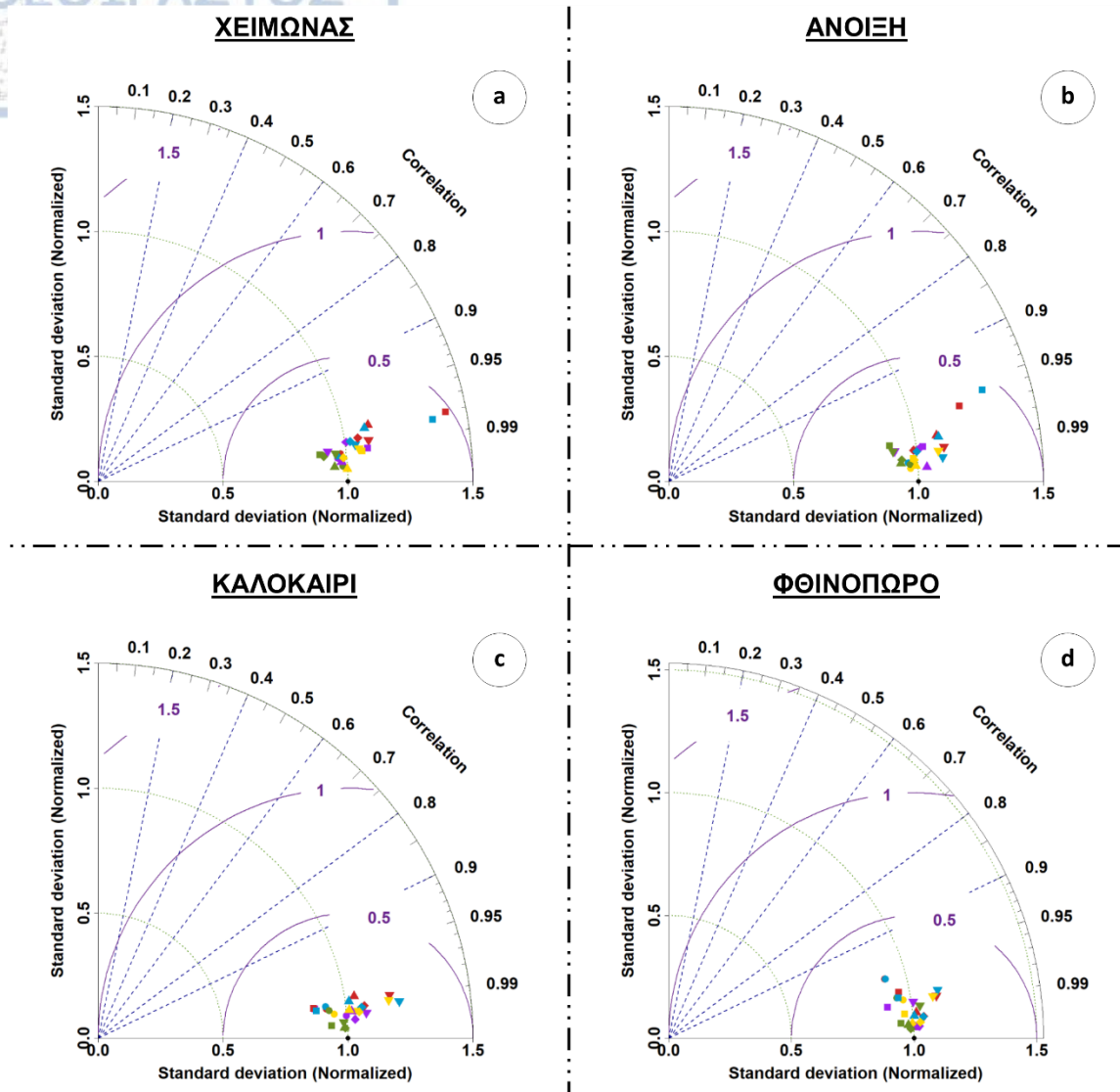
Παρ.60 - b και Σχήμα Παρ.64). Συγκεκριμένα, σε συμφωνία με τη Reference προσομοίωση βρίσκεται η Mixed προσομοίωση σε όλη την περιοχή μελέτης, ενώ σε αντίθεση με τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, δεν παρατηρείται ιδιαίτερη διασπορά των δεδομένων και όλες οι περιπτώσεις είναι αρκετά κοντά στην προσομοίωση αναφοράς (Reference).

Καλοκαίρι

Στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, το καλοκαίρι (Σχήμα 3.22 - c) η προσομοίωση BATS1e παρουσιάζει την κοντινότερη απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) σε όλες τις υποπεριοχές με εξαίρεση την υποπεριοχή AL, όπου την πλησιέστερη απόδοση την παρουσιάζει η UW-PBL προσομοίωση. Τα διαγράμματα Taylor υποδεικνύουν μια σχετικά παρόμοια απόδοση των υπόλοιπων προσομοιώσεων με τη Reference προσομοίωση. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα Παρ.60 - c), με τις τιμές στις περισσότερες προσομοιώσεις να είναι πολύ κοντά στην προσομοίωση αναφοράς (Reference). Η παράμετρος δεν παρουσιάζει σημαντική διακύμανση σε όλες τις περιπτώσεις (Σχήμα Παρ.65 και Σχήμα Παρ.66).

Φθινόπωρο

Το φθινόπωρο, οι προσομοιώσεις BATS1e και UW-PBL στις υποπεριοχές AL, IP και MD, καθώς και η Mixed προσομοίωση στις υποπεριοχές IP και MD, παρουσιάζουν την κοντινότερη απόδοση με εκείνη της Reference προσομοίωσης για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα 3.22 - d). Σχετικά παρόμοια απόδοση έχουν και οι υπόλοιπες προσομοιώσεις στην περιοχή μελέτης. Στην περίπτωση της λευκαύγειας λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Σχήμα Παρ.60 - d), όλες οι προσομοιώσεις έχουν όμοια απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς (κοντινή τυπική απόκλιση, σχεδόν μηδενικό RMS, συντελεστής συσχέτισης που πλησιάζει τη μονάδα), με εξαίρεση τις προσομοιώσεις GAS, GFC, Mixed και BATS1e στην υποπεριοχή AL όπου παρατηρείται μικρή διασπορά των δεδομένων. Στο Σχήμα Παρ.67 και στο Σχήμα Παρ.68 είναι εμφανείς οι παρόμοιες τιμές ανάμεσα σε όλες τις προσομοιώσεις και στις δύο περιπτώσεις λευκαύγειας.



Σχήμα 3.22. Η συμπεριφορά του RegCM4 για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (**κόκκινο** → GAS προσομοίωση, **μπλε** → GFC προσομοίωση, **κίτρινο** → Mixed προσομοίωση, **πράσινο** → BATS1e προσομοίωση, **μωβ** → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)

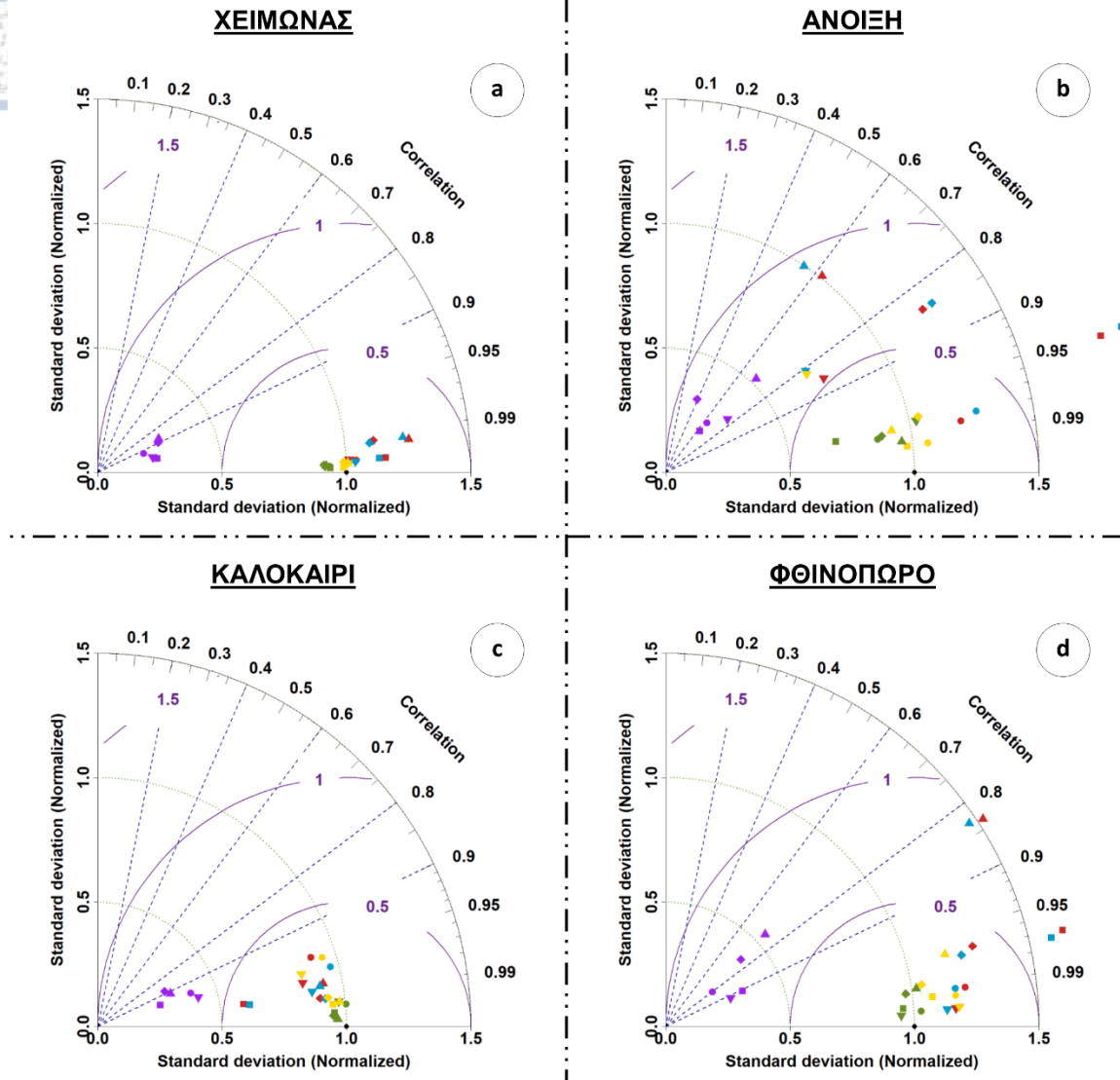
3.4.7 Πάχος ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (Atmospheric boundary layer thickness)

Χειμώνας

Το χειμώνα (Σχήμα 3.23 - a) η προσομοίωση Mixed φαίνεται να παρουσιάζει την κοντινότερη απόδοση στις υποπεριοχές AL και FR, καθώς η διακύμανση των δεδομένων είναι παρόμοια με εκείνη της προσομοίωσης αναφοράς (Reference) και ο συντελεστής συσχέτισης πλησιάζει τη μονάδα. Η διαφορά RMS είναι κοντά στο μηδέν. Αυτή η προσομοίωση παρομοιάζει τη Reference προσομοίωση σε όλες τις υποπεριοχές. Στην προσομοίωση BATS1e παρατηρείται αρκετά παρόμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση σε όλες τις περιπτώσεις, όπως και στις προσομοιώσεις GFC και GAS στις υποπεριοχές EA και AL, ενώ αυτές οι δύο προσομοιώσεις παρουσιάζουν μικρή υπερεκτίμηση της παραμέτρου στις υποπεριοχές FR, IP και MD (υψηλός συντελεστής συσχέτισης, υψηλή τυπική απόκλιση). Αντίθετα, ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης στην περίπτωση της UW-PBL προσομοίωσης και οι χαμηλότερες τιμές τυπικής απόκλισης τονίζουν την υποεκτίμηση του πάχους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος σε όλες τις υποπεριοχές. Η υποεκτίμηση αυτή φαίνεται και στο Σχήμα Παρ.69, όπου η προσομοίωση UW-PBL έχει αρκετά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τις άλλες προσομοιώσεις. Η Mixed προσομοίωση έχει τις κοντινότερες τιμές στη Reference προσομοίωση. Επιπρόσθετα, η μικρή υπερεκτίμηση της παραμέτρου στις υποπεριοχές FR, IP και MD από τις προσομοιώσεις GAS και GFC εντοπίζεται στο ίδιο σχήμα.

Άνοιξη

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Σχήμα 3.23 - b), η προσομοίωση Mixed στις υποπεριοχές AL, FR, IP και MD, καθώς και η προσομοίωση BATS1e στις υποπεριοχές EA και IP, παρουσιάζουν παρόμοια απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference). Στην περίπτωση των προσομοιώσεων GAS και GFC, παρατηρείται υπερεκτίμηση της παραμέτρου κυρίως στις υποπεριοχές FR, IP και MD, ενώ η UW-PBL προσομοίωση υποεκτιμά και πάλι το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος σε όλη την περιοχή μελέτης (μικρή τυπική απόκλιση). Στο Σχήμα Παρ.70 φαίνονται οι χαμηλότερες τιμές της UW-PBL προσομοίωσης σε σχέση με τη Reference προσομοίωση, καθώς και η μικρή υπερεκτίμηση της παραμέτρου στις προσομοιώσεις GAS και GFC.



Σχήμα 3.23. Η συμπεριφορά του RegCM4 για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (κόκκινο → GAS προσομοίωση, μπλε → GFC προσομοίωση, κίτρινο → Mixed προσομοίωση, πράσινο → BATS1e προσομοίωση, μωβ → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)

Καλοκαίρι

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Σχήμα 3.23 - c), τα διαγράμματα Taylor υποδεικνύουν μια παρόμοια απόδοση με την προσομοίωση αναφοράς (Reference) στην περίπτωση της BATS1e προσομοίωσης σε όλες τις υπό εξέταση υποπεριοχές. Παρόμοια με το χειμώνα και την άνοιξη, η προσομοίωση UW-PBL φαίνεται να υποεκτιμά την παράμετρο. Στην περίπτωση της υποπεριοχής MD, όλες οι προσομοιώσεις (με εξαίρεση την UW-PBL) παρουσιάζουν παρόμοιο μοτίβο με τη Reference προσομοίωση, αλλά με μικρή διασπορά των δεδομένων. Και σε αυτή τη περίπτωση, η υποεκτίμηση της παραμέτρου παρατηρείται στο Σχήμα Παρ.71, με τις τιμές της προσομοίωσης UW-PBL να είναι χαμηλότερες από τις άλλες προσομοιώσεις. Οι τιμές της προσομοίωσης BATS1e για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος είναι παρόμοιες με εκείνες της προσομοίωσης αναφοράς (Reference).

Φθινόπωρο

Το φθινόπωρο (Σχήμα 3.23 - d και Σχήμα Παρ.72) η προσομοίωση BATS1e παρουσιάζει την πλησιέστερη απόδοση στην προσομοίωση αναφοράς (Reference), ενώ και η προσομοίωση Mixed έχει σχετικά παρόμοια απόδοση με τη Reference προσομοίωση. Στις υποπεριοχές FR, IP και MD, οι προσομοιώσεις GAS και GFC παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά των τιμών και όπως φαίνεται και από τη μεγάλη τυπική απόκλιση, υπερεκτιμούν τη Reference προσομοίωση. Και σε αυτή την περίπτωση, η προσομοίωση UW-PBL υποεκτιμά την προσομοίωση αναφοράς σε όλη την περιοχή μελέτης με τη διακύμανση των δεδομένων να είναι αρκετά μεγάλη.

3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στο RegCM4, σε ό,τι αφορά τις αλλαγές στο σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος (PBL), σε αντίθεση με το Holtslag PBL σχήμα, το UW-PBL σχήμα παράγει μια αρνητική απόκλιση (negative bias) στο πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Αυτό είναι επίσης εμφανές και από την ανάλυση των αντίστοιχων Taylor διαγραμμάτων και των ραβδογραμμάτων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε όλες τις υποπεριοχές της περιοχής μελέτης. Το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος επηρεάζεται επίσης από την ένταση της θέρμανσης της επιφάνειας και της ποσότητας του

εξατμισμένου νερού στον αέρα. Το αρνητικό σήμα των διαφορών της τάσης της θερμοκρασίας ανάμεσα στα σχήματα Holtslag και UW-PBL, που δείχνει τις αλλαγές στην τυρβώδη διάχυση θερμότητας, βρίσκεται σε συμφωνία με τη ψύξη του πλανητικού οριακού στρώματος (PBL) στο σχήμα UW-PBL (Güttler et al. 2014). Συνεπώς, το σχήμα UW-PBL μειώνει τις θερμές αποκλίσεις (warm biases) κατά τη διάρκεια του έτους στην Ευρώπη με αποτέλεσμα να παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα, η μείωση της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα και της μείωσης της διάχυσης στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Το σχήμα UW-PBL επηρεάζει επίσης τη βροχόπτωση, καθώς αυτή μειώνεται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, το σχήμα UW-PBL τείνει να μειώσει τις σχετικά υγρές ή ξηρές αποκλίσεις (wet or dry biases) που παρατηρούνται στο σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος Holtslag. Επίσης, η τυρβώδης μεταφορά των αερίων μαζών στο πλανητικό οριακό στρώμα επηρεάζει τον άνεμο. Το σχήμα UW-PBL μειώνει την ταχύτητα του ανέμου στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ ενίσχυση εντοπίζεται στη θάλασσα (ενίσχυση των Ετησίων ανέμων) και σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (Άλπεις, Πυρηναία).

Σε ό,τι αφορά το σχήμα ωκεάνιων ροών, τα δύο σχήματα διαφέρουν κυρίως στα μήκη τραχύτητας που χρησιμοποιούνται για ορμή και την ανταλλαγή θερμότητας και υγρασίας. Ως αποτέλεσμα η χρήση της παραμετροποίησης BATS1e Monin-Obukhov, σε σχέση με το σχήμα Zeng et al. (1998), οδήγησε στην αύξηση της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης και στη μείωση της ψυχρής απόκλισης (cold bias) με αποτέλεσμα την αύξηση της ελάχιστης, της μέγιστης και της μέσης θερμοκρασίας. Τα ευρήματα αυτά είναι σε συμφωνία με την έρευνα των Martínez-Castro et al. (2006), οι οποίοι βρήκαν ότι με τη χρήση του σχήματος BATS1e η βροχόπτωση αυξήθηκε κατά 25%, ενώ παρατήρησαν και μείωση της ψυχρής απόκλισης (cold bias) κατά 0.4 με 0.5°C στην περιοχή μελέτης τους. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της έρευνας των Francisco et al. (2006), οι οποίοι ανέλυσαν τη βροχόπτωση στις Φιλιππίνες και βρήκαν ότι το σχήμα BATS1e παράγει περισσότερη βροχόπτωση σε σχέση με το σχήμα Zeng. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση της παραμετροποίησης BATS1e Monin-Obukhov εντοπίζεται μείωση της ταχύτητας του ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους κυρίως στις θαλάσσιες περιοχές.

Η τελευταία παραμετροποίηση που ελέγχθηκε είναι το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης και οι αντίστοιχες υποθέσεις ευστάθειας. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τρεις

αλλαγές στο σχήμα MIT-Emanuel (θεωρήθηκε ως “reference”). Στη μία περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το σχήμα Grell με την υπόθεση ευστάθειας των Arakawa-Schubert, στη δεύτερη χρησιμοποιήθηκε το σχήμα Grell με την υπόθεση ευστάθειας των Fritsch-Chappell, ενώ στην τρίτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το σχήμα Grell με την υπόθεση των Fritsch-Chappell πάνω από τη ξηρά και το σχήμα MIT-Emanuel πάνω από τον ωκεανό. Η κατακόρυφη ανάπτυξη οδηγείται από την κίνηση του θερμού και υγρού αέρα που ανυψώνεται από την επιφάνεια και ψύχεται καθώς εξαπλώνεται. Η ποσότητα των υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα (θερμότερος αέρας - περισσότεροι υδρατμοί). Η ενεργοποίηση του σχήματος MIT-Emanuel κάνει την επιβράδυνση του σχήματος ιδιαίτερα δύσκολη, σε αντίθεση με το σχήμα Grell, με αποτέλεσμα να δημιουργείται υπέρμετρη βροχόπτωση (excessive precipitation) στη ξηρά (Elguindi et al. 2014). Συνεπώς οι αλλαγές αυτές οδήγησαν στη μείωση της βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης στις ηπειρωτικές περιοχές σε όλες τις περιπτώσεις (προσομοιώσεις GAS, GFC, Mixed). Επιπρόσθετα, κατά το χειμώνα παρατηρείται μια ενισχυμένη μείωση της παραμέτρου στις θαλάσσιες περιοχές στις προσομοιώσεις GAS και GFC, η οποία όμως δεν είναι ορατή στην περίπτωση της Mixed προσομοίωσης καθώς συνδυάζει τα σχήματα Grell και MIT-Emanuel. Σύμφωνα με τους Zanis et al. (2009), η συνολική βροχόπτωση αναφέρεται στο άθροισμα του convective και non-convective μέρους της παραμέτρου και τα σχήματα κατακόρυφης ανάπτυξης επηρεάζουν το διαχωρισμό αυτών των δύο ειδών βροχόπτωσης. Στην παρούσα διατριβή το χειμώνα παρατηρείται αύξηση της συνολικής βροχόπτωσης στις ηπειρωτικές περιοχές και κυρίως στην προσήνεμη πλευρά των οροσειρών. Επιπλέον, μια μείωση της συνολικής βροχόπτωσης εντοπίζεται στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα αποτελέσματα είναι εντελώς αντίθετα, κάτι που βρίσκεται σε συμφωνία με τα ευρήματα των Martínez-Castro et al. (2006). Σε αυτή την έρευνα εντόπισαν μια υποεκτίμηση της βροχόπτωσης κατά τους θερινούς μήνες στις ηπειρωτικές περιοχές, καθώς και μια υπερεκτίμηση της παραμέτρου στη θάλασσα (Καραϊβική). Παρ’ όλα αυτά, αυτές οι διαφορές στη συνολική βροχόπτωση δεν είναι τόσο έντονες στη Mixed προσομοίωση. Στην περίπτωση του σχήματος Grell η βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης μειώνεται, ενώ το σχήμα MIT-Emanuel χαρακτηρίζεται κυρίως από convective βροχόπτωση και μικρότερες τιμές non-convective βροχόπτωσης (Zanis et al. 2009). Αυτό

οδηγεί στην υπόθεση ότι η αύξηση της συνολικής βροχόπτωσης στην περίπτωση του σχήματος Grell δεν οφείλεται στην κατακόρυφη ανάπτυξη αλλά σε άλλες non-convective αιτίες (π.χ. κυκλογένεση κτλ). Σε ό,τι αφορά τη θερμοκρασία, το σχήμα Grell παρουσιάζει μια ψυχρή απόκλιση (cold bias) στη θερμοκρασία επιφανείας, κάτι που είναι σε συμφωνία με προηγούμενη έρευνα των Zanis et al. (2009), όπου βρέθηκε ότι τα σχήματα GAS και GFC παρουσιάζουν μια αρκετά υψηλή ψυχρή απόκλιση (σε πολλές περιπτώσεις μεγαλύτερη των 3°C) στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, ενώ το σχήμα MIT-Emanuel μειώνει αυτή τη ψυχρή απόκλιση κυρίως στα Βαλκάνια. Αντίθετα με το σχήμα MIT-Emanuel, η θέρμανση και η υγρασία στο σχήμα Grell προσδιορίζονται από τις ροές μάζας και τη μεταφορά αέρα στην κορυφή και τη βάση του νέφους. Επιπρόσθετα, στο σχήμα Grell περιλαμβάνεται η ψύξη των υγρών καθοδικών ρευμάτων (Elguindi et al. 2014). Επιπλέον, μια μικρή μείωση της ταχύτητας του ανέμου στα 10 m εντοπίζεται κατά το καλοκαίρι στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές και συγκεκριμένα στο Αιγαίο, παρατηρείται ενίσχυση των Ετησίων ανέμων. Συνοψίζοντας για τα σχήματα κατακόρυφης ανάπτυξης, οι Giorgi et al. (2012) ανέφεραν ότι ένα συνδυαστικό (Mixed) σχήμα (σχήμα Grell πάνω από τη ξηρά και σχήμα MIT-Emanuel πάνω από τον ωκεανό) είναι η παραμετροποίηση που λειτουργεί πιο ικανοποιητικά για την περιοχή της Ευρώπης, καθώς αναπαράγει ικανοποιητικά τη βροχόπτωση και την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και παρουσιάζει σχετικά μικρές αποκλίσεις στη βροχόπτωση, κάτι που βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα αυτού του κεφαλαίου.

Μια παράμετρος που επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από όλες τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου είναι η λευκαύγεια. Η εισερχόμενη ακτινοβολία που ανακλάται από τα νέφη έχει σημαντικό αντίκτυπο στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη και αυξάνει τη συνολική λευκαύγεια της Γης (Marshall and Plumb 2008). Αυτό παρατηρείται και από τους Kothe et al. (2011), οι οποίοι συνέκριναν το ενεργειακό ισοζύγιο από το project GEWEX/SRB (βάση δεδομένων από δορυφορικά στοιχεία για την ακτινοβολία μικρού και μεγάλου μήκους κύματος) και τα reanalysis δεδομένα ERA-40. Συγκεκριμένα εντόπισαν μεγαλύτερη λευκαύγεια στην περίπτωση των δεδομένων SRB σε σχέση με τα δεδομένα ERA-40 στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, καθώς το ποσοστό νεφοκάλυψης ήταν μεγαλύτερο στα δεδομένα SRB.

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα αυτού του κεφαλαίου, μια πρώτη εκτίμηση για τις αλλαγές που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου περιλαμβάνει τη χρήση ενός μικτού σχήματος κατακόρυφης ανάπτυξης (Grell πάνω από τη ξηρά και MIT-Emanuel πάνω από τη θάλασσα). Ο έλεγχος της προσομοίωσης αναφοράς (MIT-Emanuel σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης), με τη χρήση δεδομένων E-OBS, έδειξε μια γενική υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Αντίθετα, το σχήμα Grell μειώνει την υπερβολική βροχόπτωση και τις θερμές αποκλίσεις (warm biases) και ο συνδυασμός των δύο αυτών σχημάτων αναπαράγει ικανοποιητικά τη βροχόπτωση, την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και τη θερμοκρασία. Σε ό,τι αφορά τα σχήματα πλανητικού οριακού στρώματος, το σχήμα UW-PBL φαίνεται να αποτελεί μια καλή λύση για την περιοχή μελέτης καθώς η μεγάλη μείωση του πάχους του οριακού στρώματος επηρεάζει τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση και οδηγεί σε μείωση και των δύο παραμέτρων. Τέλος, στην περίπτωση του σχήματος ωκεάνιων ροών, οι διαφορές ανάμεσα στις δύο παραμετροποιήσεις (BATS1e και Zeng et al.) δεν είναι μεγάλες και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι και στατιστικά σημαντικές.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Combine_25km ΚΑΙ Reference_25km

ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Στο κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται έλεγχος του συνδυασμού των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου που θεωρήθηκαν ότι βελτιώνουν μεμονωμένα τις προσομοιώσεις στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τα ευρήματα του προηγούμενου κεφαλαίου. Στόχος είναι να αξιολογηθεί εάν πρόκειται για τον καταλληλότερο συνδυασμό φυσικών παραμετροποιήσεων που προσομοιώνει ικανοποιητικά τις κλιματικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί στο δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 σε επόμενο βήμα. Ο έλεγχος πραγματοποιείται για την περίοδο 1981-2000.

4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

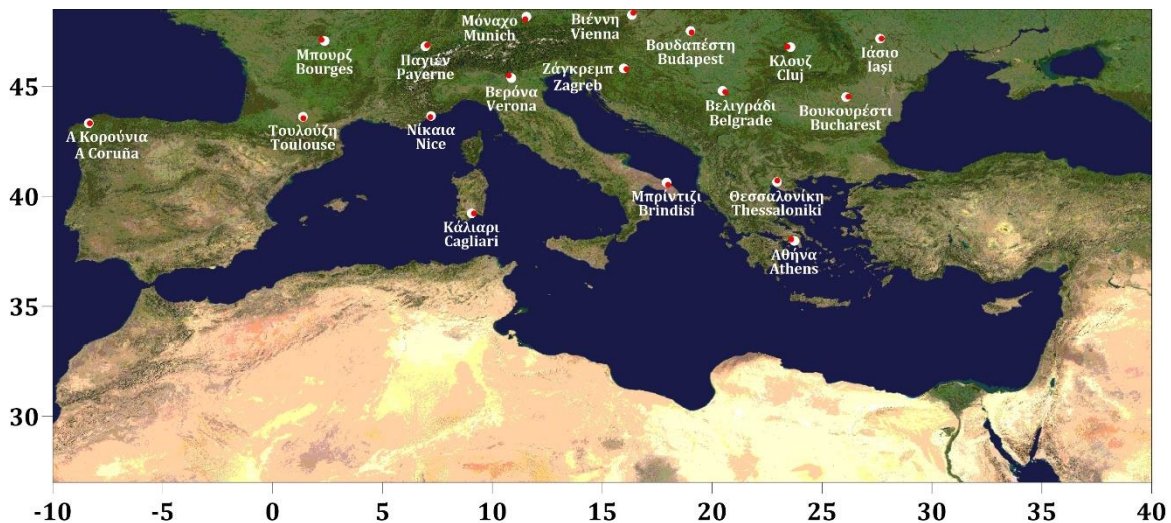
Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικές προσομοιώσεις (όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2) για την περίοδο 1981-2000. Η εικοσαετία αυτή επιλέχθηκε ως περίοδος αναφοράς, καθώς είναι αντιπροσωπευτική του παρόντος κλίματος και χρησιμοποιείται ευρέως στη βιβλιογραφία. Επιπλέον, όσο μεγαλύτερη περίοδο καλύπτουν οι προσομοιώσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου, τόσο αυξάνει και ο χρόνος που χρειάζεται για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων, με αποτέλεσμα η χρήση εικοσαετίας να μειώνει αρκετά το χρόνο «τρέξιματος» των προσομοιώσεων. Η μία προσομοίωση (Reference_25km) χρησιμοποιεί τις αρχικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου, ενώ στη δεύτερη προσομοίωση (Combine_25km) γίνεται χρήση του συνδυασμού των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις (Grell πάνω από τη ξηρά και

MIT-Emanuel πάνω από τη θάλασσα για το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης, και UW-PBL για το σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος), όπως αυτός προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του προηγούμενου κεφαλαίου. Η χωρική ανάλυση των δύο αυτών προσομοιώσεων είναι $25 \times 25\text{km}$ και ως «γονέας» χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας HadGEM2. Το μοντέλο HadGEM2-ES (HadGEM2 Earth system model) περιλαμβάνει υποκείμενες συνιστώσες της φυσικής της ατμόσφαιρας και των ωκεανών με την προσθήκη σχημάτων για την περιγραφή των διαφορετικών πτυχών του συστήματος της Γης. Πρόκειται για συνιστώσες των χερσαίων και ωκεάνιων οικοσυστημάτων και της χημείας της τροπόσφαιρας (Collins et al. 2011). Συγκεκριμένα, το HadGEM2-ES αντιπροσωπεύει τους κύκλους άνθρακα στη γη και στους ωκεανούς που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και τη δυναμική βλάστηση, με την επιλογή να οριστούν είτε οι ατμοσφαιρικές είτε οι ανθρωπογενείς συγκεντρώσεις CO_2 . Επιπρόσθετα, το σχήμα χημείας της τροπόσφαιρας που περιλαμβάνεται προσομοιώνει την εξέλιξη της σύνθεσης της ατμόσφαιρας και της αλληλεπίδρασης με τα ατμοσφαιρικά αερολύματα (Jones et al. 2011).

Ο έλεγχος του συνδυασμού των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου έγινε με τη χρήση της βάσης δεδομένων ERA-Interim, η οποία, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2, δημιουργήθηκε από το ECMWF και περιέχει δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis data) παραμέτρων επιφανείας και ανώτερης ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα, για τις παραμέτρους της μέσης θερμοκρασίας και της συνολικής βροχόπτωσης, υπολογίστηκαν, χαρτογραφήθηκαν και συγκρίθηκαν οι διαφορές μεταξύ της κάθε προσομοίωσης (Combine_25km και Reference_25km) και των αντίστοιχων δεδομένων ERA-Interim. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε εποχιακή βάση. Στόχος της σύγκρισης αυτής είναι η αξιολόγηση της ικανότητας των δύο διαφορετικών διαμορφώσεων του μοντέλου να προσομοιώνουν ικανοποιητικά τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στην περιοχή μελέτης, και κατά συνέπεια η εύρεση του καταλληλότερου συνδυασμού παραμετροποιήσεων για την προσομοίωση των κλιματικών συνθηκών στη Μεσόγειο.

Για να γίνει μια πιο λεπτομερής και ακριβής σύγκριση των προσομοιώσεων Combine_25km και Reference_25km, επιλέχθηκαν 18 σταθμοί από τη βάση δεδομένων σταθμών ECA&D που καλύπτουν την περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 4.1) κατά τα έτη 1981-2000 για τη μέση θερμοκρασία και τη βροχόπτωση. Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν

αντιστοιχούν στις πρωτεύουσες, συμπρωτεύουσες ή μητροπολιτικές πόλεις των χωρών που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων σε κάθε σταθμό (χωρίς κενές τιμές) για την περίοδο 1981-2000. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα προσομοιωμένα δεδομένα μέσης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης από το κοντινότερο σε κάθε σταθμό σημείο πλέγματος των προσομοιώσεων Combine_25km και Reference_25km. Από αυτά τα δεδομένα δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα ποσοστημορίων (Q-Q plots) για κάθε σταθμό και κάθε εποχή, έτσι ώστε να γίνει σύγκριση των κατανομών των δειγμάτων. Στα συγκεκριμένα διαγράμματα, στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχούν τα ποσοστημόρια του κάθε σταθμού, ενώ στον κατακόρυφο άξονα χρησιμοποιούνται τα ποσοστημόρια των σημείων πλέγματος (κοντινότερων στους σταθμούς) των δύο προσομοιώσεων. Επιπρόσθετα, για κάθε εποχή δημιουργήθηκαν και τα αντίστοιχα θηκογράμματα (boxplots) έτσι ώστε να συγκριθούν οι σταθμοί με τα κοντινότερα σε αυτούς σημεία πλέγματος ως προς την απεικόνιση των δεδομένων με τη χρήση τεταρτημορίων (25th - 50th - 75th percentile, ελάχιστες, μέγιστες και ακραίες τιμές).



Σχήμα 4.1. Οι 18 σταθμοί (λευκό) που χρησιμοποιήθηκαν για την λεπτομερή σύγκριση των προσομοιώσεων Combine_25km και Reference_25km και τα κοντινότερα σε αυτούς σημεία πλέγματος από τις προσομοιώσεις (κόκκινο)

4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ERA-INTERIM

4.2.1 Θερμοκρασία (Air temperature)

Χειμώνας

Στην περίπτωση των χειμερινών μηνών της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.2 - α), η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει μεγαλύτερη ικανότητα στην προσομοίωση της μέσης θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης, σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια γενική υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας στις θαλάσσιες περιοχές ($1 - 4^{\circ}\text{C}$) από την προσομοίωση Reference_25km, η οποία είναι πιο έντονη στις παράκτιες περιοχές της Μεσογείου και κυρίως στο Αιγαίο και στο Ιόνιο (έως και 8°C). Αυτή η υπερεκτίμηση φαίνεται να μειώνεται σημαντικά στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km ($0.2 - 0.8^{\circ}\text{C}$ στις θαλάσσιες περιοχές και έως 3°C στα παράλια), ενώ στην Ιβηρική και Τυρρηνική θάλασσα, καθώς και στο Ιόνιο και στο Λιβυκό πέλαγος η μέση θερμοκρασία παρουσιάζει πολύ μικρή υποεκτίμηση της τάξεως των -0.2 έως -0.9°C . Σε ό,τι αφορά τον ηπειρωτικό κορμό της χώρας, και στις δύο προσομοιώσεις παρατηρείται υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, με την προσομοίωση Combine_25km να βρίσκεται πιο κοντά στα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim. Συγκεκριμένα, στην περιοχή των Άλπεων η προσομοίωση Reference_25km υποεκτιμά τη μέση θερμοκρασία έως και -6.6°C , ενώ αντίστοιχα αυτή η υποεκτίμηση είναι μικρότερη στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km (σε περιοχές έως και -5°C). Η Ιβηρική Χερσόνησος χαρακτηρίζεται από υποεκτίμηση της παραμέτρου και στις δύο προσομοιώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη δυτική, κεντρική και ανατολική Ευρώπη η προσομοίωση Combine_25km μειώνει τις θερμές αποκλίσεις (warm biases) της προσομοίωσης Reference_25km (υπερεκτίμηση έως 1.7°C έναντι υπερεκτίμηση έως 0.9°C στην προσομοίωση Combine_25km), ενώ στην προσομοίωση Combine_25km υπάρχουν και περιοχές που δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες αλλαγές από τα δεδομένα μέσης θερμοκρασίας ERA-Interim (Γαλλία, τμήματα της Βαλκανικής Χερσονήσου). Στην περιοχή της Ελλάδας παρατηρείται υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας, η οποία είναι πιο έντονη στην οροσειρά της Πίνδου στην προσομοίωση Combine_25km. Στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης παρατηρείται πολύ μικρή υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας από την προσομοίωση Combine_25km

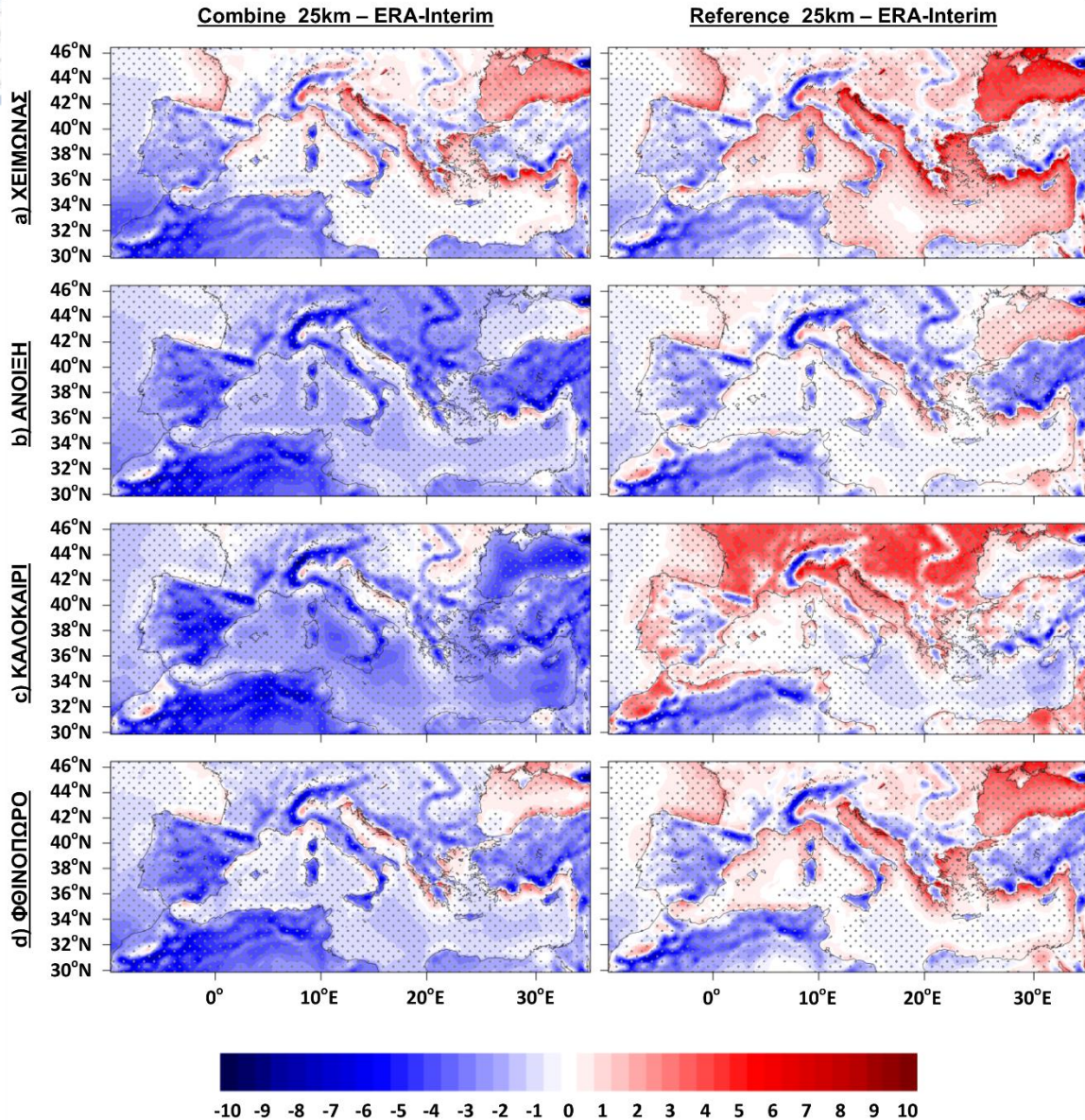
($\sim -0.1^{\circ}\text{C}$) σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km, η οποία υπερεκτιμά την παράμετρο στη συγκεκριμένη περιοχή ($\sim 0.5^{\circ}\text{C}$).

Άνοιξη

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.2 - b), η μέση θερμοκρασία υποεκτιμάται και από τις δύο προσομοιώσεις στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Εξάιρεση αποτελεί η υπήνεμη πλευρά των Άλπεων όπου η προσομοίωση Combine_25km δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες αλλαγές στη μέση θερμοκρασία (υπερεκτίμηση έως 0.5°C), ενώ αντίθετα παρατηρείται υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας από την προσομοίωση Reference_25km (έως 2.1°C). Επιπρόσθετα, και η Αδριατική, το Ιόνιο και το Βόρειο Αιγαίο (κυρίως στις παράκτιες περιοχές) χαρακτηρίζονται από υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας στην περίπτωση της προσομοίωσης Reference_25km, η οποία κυμαίνεται από 1.6 έως 2.3°C . Η υπερεκτίμηση αυτή και πάλι δεν είναι εμφανής στην προσομοίωση Combine_25km (σχεδόν μηδενικές διαφορές στις παράκτιες περιοχές). Στις υπόλοιπες θαλάσσιες περιοχές και οι δύο προσομοιώσεις υποεκτιμούν τη μέση θερμοκρασία. Σε ό,τι αφορά τον ηπειρωτικό κορμό της περιοχής μελέτης, και οι δύο προσομοιώσεις υποεκτιμούν τη μέση θερμοκρασία με τη διαφορά ότι η υποεκτίμηση είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km (διαφορά ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις έως 1°C).

Καλοκαίρι

Σε ό,τι αφορά τους καλοκαιρινούς μήνες της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.2 - c), η εικόνα που παρουσιάζουν οι δύο προσομοιώσεις είναι εντελώς διαφορετική. Συγκεκριμένα, η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά τη μέση θερμοκρασία στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της Μεσογείου, ενώ αντίθετα η προσομοίωση Combine_25km μειώνει αυτές τις θερμές αποκλίσεις (warm biases) και προσεγγίζει ικανοποιητικά τις μέσες θερμοκρασίες. Στη δυτική Ευρώπη, στην περίπτωση της προσομοίωσης Reference_25km παρατηρείται υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3.5°C , ενώ στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη η υπερεκτίμηση αυτή φτάνει και τους 4.5°C . Αντίθετα, στην προσομοίωση Combine_25km οι διαφορές που παρατηρούνται είναι πολύ μικρές και συγκεκριμένα, εντοπίζεται μικρή υποεκτίμηση της παραμέτρου της τάξεως των -0.5°C κατά μέσο όρο στη δυτική πλευρά



Σχήμα 4.2. Εποχιακοί χάρτες διαφορών (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) για τη μέση θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) ανάμεσα στις δύο υπό εξέταση προσομοιώσεις και τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim για την περίοδο 1981-2000. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

της Ευρώπης, ενώ προς τα ανατολικά η μέση θερμοκρασία υπερεκτιμάται έως και 0.5°C . Στις Άλπεις η μέση θερμοκρασία υποεκτιμάται και από τις δύο προσομοιώσεις με τη μεγαλύτερη υποεκτίμηση να εντοπίζεται στα μεγαλύτερα υψόμετρα της οροσειράς (Combine_25km $\rightarrow \sim -8^{\circ}\text{C}$ και Reference_25km $\rightarrow \sim -8.8^{\circ}\text{C}$). Αξίζει να σημειωθεί ότι στην υπήνεμη πλευρά των Άλπεων παρατηρείται υπερεκτίμηση της μέσης

θερμοκρασίας από την προσομοίωση Reference_25km, η οποία φτάνει έως και τους 5°C , ενώ στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km δεν παρατηρείται τόσο έντονη διαφορά (έως 1.3°C). Μεγάλες διαφορές ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις παρατηρούνται στην Ιβηρική Χερσόνησο όπου η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά τη μέση θερμοκρασία στη δυτική και νοτιοδυτική πλευρά ($1 - 3^{\circ}\text{C}$) και την υποεκτιμά στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της Χερσονήσου καθώς και στα Πυρηναία (έως -4°C), ενώ η προσομοίωση Combine_25km υποεκτιμά την παράμετρο (έως -2.5°C στο δυτικό τμήμα και έως -6°C στην υπόλοιπη Ιβηρική Χερσόνησο). Υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο και υπερεκτίμηση στην προσήνεμη και υπήνεμη πλευρά αυτών των περιοχών από την προσομοίωση Reference_25km παρατηρείται στην Ιταλία και στην Ελλάδα, ενώ αντίθετα στην προσομοίωση Combine_25km παρατηρείται υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας. Σε ό,τι αφορά τις θαλάσσιες περιοχές, στην Αδριατική, στο Βόρειο Αιγαίο και στις παράκτιες περιοχές του Ιονίου εντοπίζεται υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας από την προσομοίωση Reference_25km ($1.5 - 2^{\circ}\text{C}$), ενώ σε αυτές τις περιοχές δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες αλλαγές στη μέση θερμοκρασία στην προσομοίωση Combine_25km. Στον υπόλοιπο θαλάσσιο χώρο παρατηρείται υποεκτίμηση της παραμέτρου από την προσομοίωση Combine_25km.

Φθινόπωρο

Το φθινόπωρο της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.2 - d), παρατηρείται υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας από την προσομοίωση Reference_25km στο Βόρειο Αιγαίο ($2 - 4^{\circ}\text{C}$), στην Αδριατική ($\sim 2.5^{\circ}\text{C}$), ενώ στην Ιβηρική και Τυρρηνική θάλασσα η αύξηση δεν ξεπερνάει τους 0.5°C . Αξίζει να σημειωθεί ότι η πιο μεγάλη υπερεκτίμηση εντοπίζεται στις παράκτιες περιοχές (έως και 6°C). Αντίθετα, η προσομοίωση Combine_25km προσεγγίζει ικανοποιητικά τη μέση θερμοκρασία στο Βόρειο Αιγαίο και την Αδριατική, καθώς εντοπίζεται πολύ μικρή υπερεκτίμηση της παραμέτρου ($\sim 0.1^{\circ}\text{C}$), ενώ στις υπόλοιπες θαλάσσιες περιοχές η μέση θερμοκρασία υποεκτιμάται (έως -1.3°C). Στην Ιβηρική Χερσόνησο, στην Ιταλία, στην Ελλάδα και σε τμήμα της Βαλκανικής Χερσονήσου η μέση θερμοκρασία υποεκτιμάται και από τις δύο προσομοιώσεις. Υποεκτίμηση της παραμέτρου εντοπίζεται και στις Άλπεις (Combine_25km $\rightarrow$ έως -7°C και Reference_25km $\rightarrow$ έως -8.5°C), με την υπήνεμη πλευρά της οροσειράς να

χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές διαφορές στην προσομοίωση Combine_25km ($0.1 - 1^{\circ}\text{C}$) και υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας στην προσομοίωση Reference_25km (έως 2.5°C). Η δυτική, κεντρική και ανατολική Ευρώπη χαρακτηρίζονται από υπερεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας της τάξεως του 1°C κατά μέσο όρο στην περίπτωση της προσομοίωσης Reference_25km, ενώ αντίθετα στην προσομοίωση Combine_25km η μέση θερμοκρασία υποεκτιμάται (-1.2 έως -2°C) στις περιοχές αυτές.

4.2.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)

Χειμώνας

Σε ό,τι αφορά τη συνολική βροχόπτωση, η προσομοίωση Combine_25km φαίνεται ότι προσεγγίζει καλύτερα τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim, καθώς μειώνει τις υγρές αποκλίσεις που εντοπίζονται στην προσομοίωση Reference_25km. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.3 - a), παρατηρείται υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης και από τις δύο προσομοιώσεις στην περιοχή μελέτης, η οποία είναι μεγαλύτερη στην προσομοίωση Reference_25km κατά 50 έως 100 mm. Συγκεκριμένα, η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά τη συνολική βροχόπτωση στην περιοχή των Άλπεων σε ποσοστό 300 - 350% (900 - 1100 mm), ενώ αντίστοιχα στην προσομοίωση Combine_25km η υπερεκτίμηση αυτή φτάνει τα 800mm που αντιστοιχούν σε ποσοστό 190 - 280%. Αντίστοιχα, στην Πίνδο, στη δυτική πλευρά της Ελλάδας και σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, η υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης φτάνει τα 570 mm ($\sim 150\%$) στην περίπτωση της προσομοίωσης Reference_25km, ενώ στην προσομοίωση Combine_25km η υπερεκτίμηση είναι μικρότερη και κυμαίνεται μεταξύ 80 και 120%. Στην υπόλοιπη Ελλάδα, η προσομοίωση Combine_25km προσομοιώνει πιο ικανοποιητικά τη συνολική βροχόπτωση καθώς παρουσιάζει υπερεκτίμηση που φτάνει τα 70 mm (40 - 60%) έναντι της προσομοίωσης Reference_25km που υπερεκτιμά τη συνολική βροχόπτωση σε ποσοστό 50 - 100% (60 - 120 mm). Σε ό,τι αφορά τη δυτική, κεντρική και ανατολική Ευρώπη η υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης φτάνει τα 170 mm – που αντιστοιχεί σε $\sim 120\%$ σε ποσοστιαία κλίμακα – στην περίπτωση της προσομοίωσης Reference_25km, ενώ δεν ξεπερνάει τα 120 mm (υπερεκτίμηση της τάξεως του 20 - 90%) στην προσομοίωση Combine_25km. Αντίστοιχα, στην Ιβηρική Χερσόνησο η προσομοίωση Reference_25km παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλη υπερεκτίμηση της

συνολικής βροχόπτωσης της τάξεως των 130 mm (~120%), με την υπερεκτίμηση να φτάνει σε ορισμένα σημεία και τα 400 mm (260%), ενώ και πάλι αυτές οι τιμές είναι χαμηλότερες στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km (20 - 90% και σε σημεία έως 200% αντίστοιχα). Η συνολική βροχόπτωση φαίνεται να υπερεκτιμάται και στις θαλάσσιες περιοχές και από τις δύο προσομοιώσεις. Η μεγαλύτερη υπερεκτίμηση παρατηρείται στο Αιγαίο όπου στην προσομοίωση Reference_25km φτάνει τα 350 mm (ποσοστό 180%), ενώ στην προσομοίωση Combine_25km η υπερεκτίμηση είναι σχετικά μικρότερη και φτάνει τα 300 mm (150%). Στο Ιόνιο, στην Αδριατική, στην Τυρρηνική και στην Ιβηρική θάλασσα η προσομοίωση Combine_25km φαίνεται να προσεγγίζει πιο ικανοποιητικά τη βροχόπτωση, καθώς παρατηρείται κατά μέσο όρο υπερεκτίμηση της τάξεως του 60 - 70% έναντι υπερεκτίμηση που φτάνει και το 100% (~240 mm) στην προσομοίωση Reference_25km.

Άνοιξη

Την άνοιξη της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.3 - b), παρατηρείται και πάλι υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης και από τις δύο προσομοιώσεις, με την προσομοίωση Combine_25km να εμφανίζει χαμηλότερες τιμές και να προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά την παράμετρο. Συγκεκριμένα, παρατηρείται υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης από την προσομοίωση Reference_25km, η οποία φτάνει τα 200 έως 400 mm (100 - 200%) στην περιοχή της Πίνδου και τα 300 - 400 mm (60 - 140%) στις Άλπεις, ενώ σε σημεία φτάνει και τα 600 mm (160%). Αντίθετα, στην προσομοίωση Combine_25km η υπερεκτίμηση στην περιοχή της Πίνδου δεν ξεπερνάει τα 250 mm, ενώ στις Άλπεις κυμαίνεται μεταξύ 150 και 370 mm (ποσοστό 30 - 120%). Επιπρόσθετα, η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά τη συνολική βροχόπτωση στην Ευρώπη σε ποσοστό 40 - 70% (80 - 150 mm), ενώ η προσομοίωση Combine_25km στη δυτική Ευρώπη παρουσιάζει υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης που δεν ξεπερνάει τα 30 mm στις περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και τα 50 mm στην οροσειρά Μασίφ Σαντράλ (10 - 30%), και στην υπόλοιπη Ευρώπη φτάνει μέχρι τα 100 mm (60%). Στην Ιβηρική Χερσόνησο η προσομοίωση Combine_25km αναπαριστά και πάλι αρκετά ικανοποιητικά τη συνολική βροχόπτωση σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km. Ειδικότερα, στην προσομοίωση Combine_35km υπάρχει μια μικρή υποεκτίμηση (~ - 78 mm) (έως -30%) της συνολικής βροχόπτωσης στο

δυτικό τμήμα της Ιβηρικής Χερσονήσου και στην υπόλοιπη περιοχή η παράμετρος υπερεκτιμάται (50 - 150 mm που αντιστοιχεί σε ποσοστό 20 - 80%), ενώ στην προσομοίωση Reference_25km η συνολική βροχόπτωση υπερεκτιμάται αρκετά μεταξύ 100 και 300 mm (40 - 120%) και σε σημεία φτάνει τα 400 mm. Αντίστοιχα, στον Ελληνικό χώρο παρατηρείται υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης από την προσομοίωση Reference_25km (90 - 200 mm και σε σημεία έως 400 mm, που αντιστοιχούν σε 50 - 120% και 200% αντίστοιχα σε ποσοστιαία κλίμακα), ενώ στην προσομοίωση Combine_25km η υπερεκτίμηση δεν ξεπερνάει τα 100 mm (έως 60%). Σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις παρατηρούνται και στην Ιταλία με την προσομοίωση Combine_25km να υπερτερεί. Συγκεκριμένα, η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά τη συνολική βροχόπτωση σε ποσοστό 50 - 100% (έως 250 mm) και σε τμήματα των Απέννινων ορέων η υπερεκτίμηση ξεπερνά τα 400 mm (~160%). Αντίθετα, στις περιοχές αυτές στην προσομοίωση Combine_25km, η παρατηρούμενη υπερεκτίμηση δεν ξεπερνάει τα 150 mm (10 - 60%) και σε σημεία φτάνει τα 250 mm (100%). Στις θαλάσσιες περιοχές και οι δύο προσομοιώσεις υπερεκτιμούν τη συνολική βροχόπτωση.

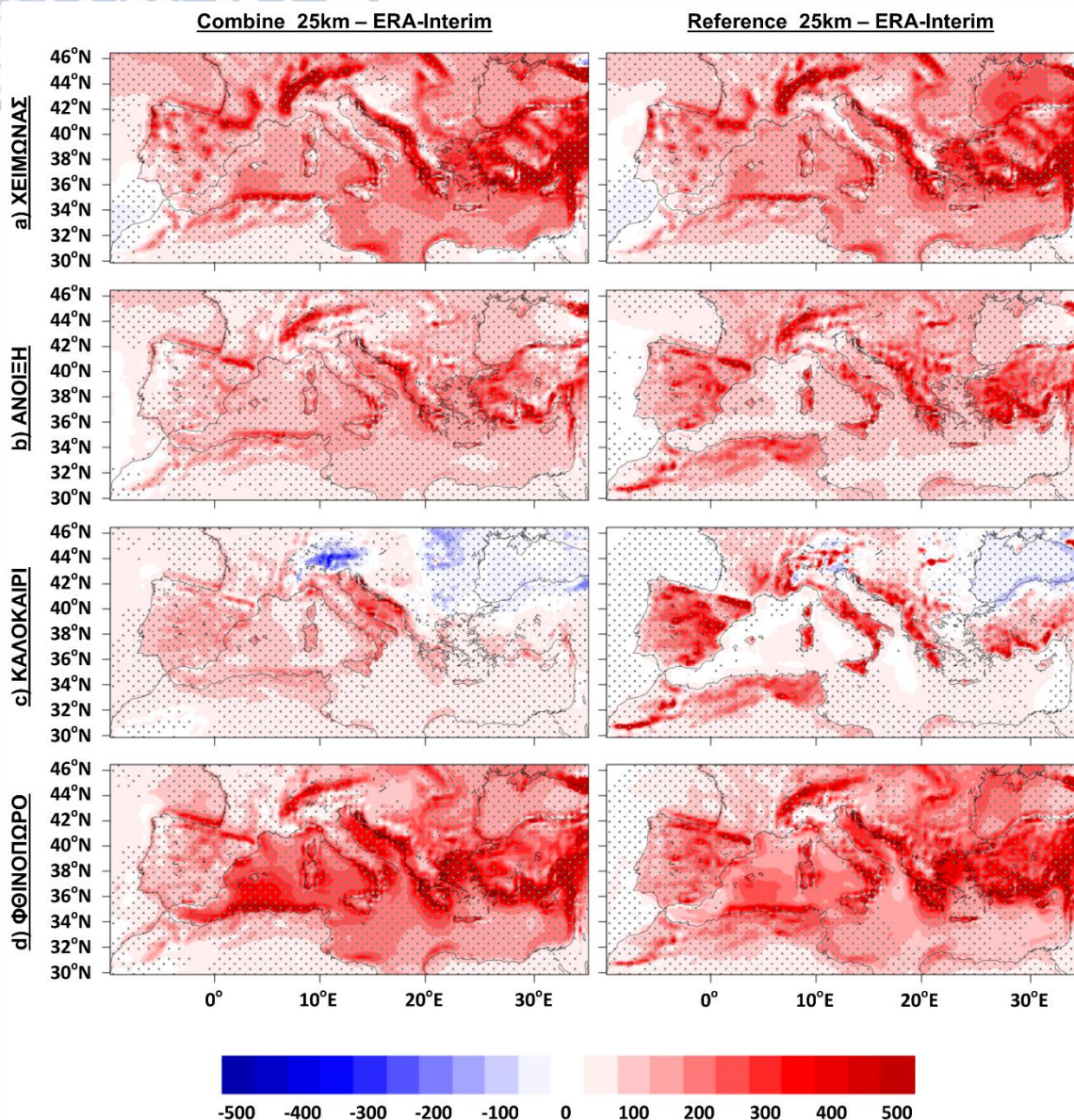
Καλοκαίρι

Στην περίπτωση του καλοκαιριού της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.3 - c), η προσομοίωση Combine_25km φαίνεται ότι προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά τη συνολική βροχόπτωση στη Μεσόγειο σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km κυρίως στον ηπειρωτικό κορμό. Συγκεκριμένα, παρατηρείται υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης από την προσομοίωση Combine_25km στην Ιβηρική Χερσόνησο, στην Ιταλία και σε μεγάλο μέρος της Ελλάδας, η οποία δεν ξεπερνάει τα 150 mm (40 - 80% βόρεια και μέχρι 300% νότια), ενώ στη Βόρεια Ελλάδα η παράμετρος υποεκτιμάται (~ - 60 mm) (-20 έως -60%). Αντίθετα, στις συγκεκριμένες περιοχές η υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης από την προσομοίωση Reference_25km είναι έντονη και σε αρκετά σημεία ξεπερνάει και τα 500 mm (> 1000%). Στη δυτική και κεντρική Ευρώπη παρατηρείται μικρή υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης, που κυμαίνεται μεταξύ 20 - 40 mm (10 - 30%) στην προσομοίωση Combine_25km έναντι 40 - 80 mm (30 - 70%) στην προσομοίωση Reference_25km. Αντίθετα, η ανατολική Ευρώπη χαρακτηρίζεται από υποεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης τόσο στην προσομοίωση

Combine_25km (−10 έως −50%) όσο και στην προσομοίωση Reference_25km (−10 έως −30%). Επιπρόσθετα, στη Βαλκανική Χερσόνησο η προσομοίωση Combine_25km δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες αλλαγές στην παράμετρο από τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim, ενώ αντίστοιχα παρατηρείται αρκετά μεγάλη υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης στην περίπτωση της προσομοίωσης Reference_25km (300 - 400 mm που αντιστοιχεί σε 70 - 100% αύξηση σε ποσοστιαία κλίμακα). Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περιοχή των Άλπεων η συνολική βροχόπτωση υποεκτιμάται από την προσομοίωση Combine_25km σε ποσοστό $\sim -50\%$ (κατά μέσο όρο -350 mm), ενώ στην προσομοίωση Reference_25km παρατηρείται ιδιαίτερα μεγάλη υπερεκτίμηση της παραμέτρου στα σημεία με μεγάλο υψόμετρο (φτάνει έως και 1000 mm που αντιστοιχεί σε ποσοστό 250%) και υποεκτίμηση στην προσήνεμη και υπήνεμη πλευρά της οροσειράς σε ποσοστό $\sim -30\%$ ($\sim -150\text{ mm}$). Σε ό,τι αφορά τις θαλάσσιες περιοχές, στην προσομοίωση Combine_25km εντοπίζεται υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης της τάξεως των 20 mm (150%) στο Αιγαίο, ενώ στην προσομοίωση Reference_25km η αύξηση αυτή ξεπερνάει το 200%. Στο Ιόνιο, στην Τυρρηνική και στην Αδριατική θάλασσα η υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης είναι σχετικά πιο μεγάλη στην προσομοίωση Combine_25km.

Φθινόπωρο

Παρόμοια με τους υπόλοιπους μήνες του έτους, κατά τους φθινοπωρινούς μήνες της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.3 - d), η συνολική βροχόπτωση φαίνεται να υπερεκτιμάται από τις προσομοιώσεις Combine_25km και Reference_25km, ενώ και σε αυτή την περίπτωση οι διαφορές είναι μικρότερες στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, καθιστώντας την πιο αξιόπιστη. Συγκεκριμένα, στην περιοχή της Ιβηρικής Χερσονήσου η συνολική βροχόπτωση υπερεκτιμάται κατά 80 - 400 mm από την προσομοίωση Reference_25km (60 - 120% και σε σημεία πάνω από 250%), ενώ αντίστοιχα η υπερεκτίμηση στην προσομοίωση Combine_25km είναι αρκετά μικρότερη και κυμαίνεται μεταξύ 50 και 200 mm (20 - 80%). Η δυτική Ευρώπη χαρακτηρίζεται από μικρή υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης της τάξεως των 20 έως 50 mm (10 - 30%) στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km, ενώ στην προσομοίωση Reference_25km η υπερεκτίμηση είναι αρκετά μεγαλύτερη και κυμαίνεται μεταξύ 50 - 100 mm (30 - 60%).



Σχήμα 4.3. Εποχιακοί χάρτες διαφορών (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season) ανάμεσα στις δύο υπό εξέταση προσομοιώσεις και τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim για την περίοδο 1981-2000. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Αντίστοιχα, στην ανατολική Ευρώπη η προσομοίωση Combine_25km υπερεκτιμά κατά 100 - 200 mm (100 - 200%) τη συνολική βροχόπτωση, ενώ στην περίπτωση της προσομοίωσης Reference_25km η υπερεκτίμηση είναι και πάλι μεγαλύτερη και φτάνει τα 300 mm (~300%). Επιπρόσθετα, και οι δύο προσομοιώσεις υπερεκτιμούν τη συνολική βροχόπτωση στην Ιταλία κατά 80 - 200 mm (30 - 80%) με τη διαφορά ότι στο νότιο

τμήμα της περιοχής η προσομοίωση Reference_25km παρουσιάζει υψηλές διαφορές που ξεπερνούν και τα 500 mm (200%). Αντίστοιχη είναι η εικόνα και στον Ελληνικό χώρο. Υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης εντοπίζεται και στις Άλπεις (Combine_25km → έως και 400 mm (150%), Reference_25km → έως και 700 mm (260%)). Τέλος, στις θαλάσσιες περιοχές η συνολική βροχόπτωση υπερεκτιμάται και από τις δύο προσομοιώσεις.

4.2.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Από τη σύγκριση των προσομοιώσεων Combine_25km και Reference_25km με τα δεδομένα ERA-Interim για τη μέση θερμοκρασία και τη συνολική βροχόπτωση προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις φυσικές παραμετροποιήσεις που χρησιμοποιεί η κάθε προσομοίωση. Σε ό,τι αφορά τη μέση θερμοκρασία, η προσομοίωση Combine_25km μειώνει τις θερμές αποκλίσεις (warm biases) που παρατηρούνται στην προσομοίωση Reference_25km στην περιοχή της Μεσογείου. Συγκεκριμένα, η προσομοίωση Combine_25km φαίνεται ότι προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά τη μέση θερμοκρασία στις παράκτιες περιοχές της Μεσογείου όπου η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά σημαντικά την παράμετρο. Επιπρόσθετα, ιδιαίτερα τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου μελέτης (1981-2000), η προσομοίωση Combine_25km προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά τη μέση θερμοκρασία σε μεγάλο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της περιοχής μελέτης σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα σημεία που η προσομοίωση Reference_25km υποεκτιμά τη μέση θερμοκρασία, η μείωση που προκαλεί ο συνδυασμός των φυσικών παραμετροποιήσεων που χρησιμοποιεί η προσομοίωση Combine_25km στις θερμοκρασίες οδηγεί σε μεγαλύτερη υποεκτίμηση των μέσων θερμοκρασιών στην περιοχή μελέτης από την προσομοίωση Combine_25km.

Στην περίπτωση της συνολικής βροχόπτωσης, και οι δύο προσομοιώσεις φαίνεται να υπερεκτιμούν την παράμετρο στην περιοχή της Μεσογείου. Παρόλα αυτά, η υπερεκτίμηση της συνολικής βροχόπτωσης φαίνεται να είναι μικρότερη στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, με αποτέλεσμα να προσεγγίζει πιο ικανοποιητικά τη βροχόπτωση σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή των Άλπεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όπου η προσομοίωση Combine_25km υποεκτιμά σχετικά τη

συνολική βροχόπτωση σε αντίθεση με την προσομοίωση Reference_25km, που χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλη υπερεκτίμηση της παραμέτρου. Πιο αναλυτικά, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, παρατηρείται μεγαλύτερη συμφωνία της προσομοίωσης Combine_25km με τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της περιοχής μελέτης (έως και 300 mm μικρότερη υπερεκτίμηση σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km ανάλογα με την περιοχή και την εποχή).

Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν σε μια πρώτη εκτίμηση των διαφορών ανάμεσα στις προσομοιώσεις Combine_25km και Reference_25km με δεδομένα ERA-Interim, η οποία δείχνει ιδιαίτερα θετική βελτίωση της ικανότητας του μοντέλου να προσομοιώνει ικανοποιητικά τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση σε μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης.

Καθώς το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας HadGEM2, που χρησιμοποιείται για τις ICBC και SST συνθήκες των προσομοιώσεων, φαίνεται να αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα επηρεασμού των αποτελεσμάτων της μελέτης, χρειάζεται η περαιτέρω μελέτη και σύγκριση των προσομοιωμένων δεδομένων των Combine_25km και Reference_25km με δεδομένα συγκεκριμένων σταθμών που καλύπτουν την περιοχή μελέτης, έτσι ώστε να εξαχθούν πιο λεπτομερή και ακριβή συμπεράσματα.

4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ECA&D

4.3.1 Θερμοκρασία (Air temperature)

Χειμώνας

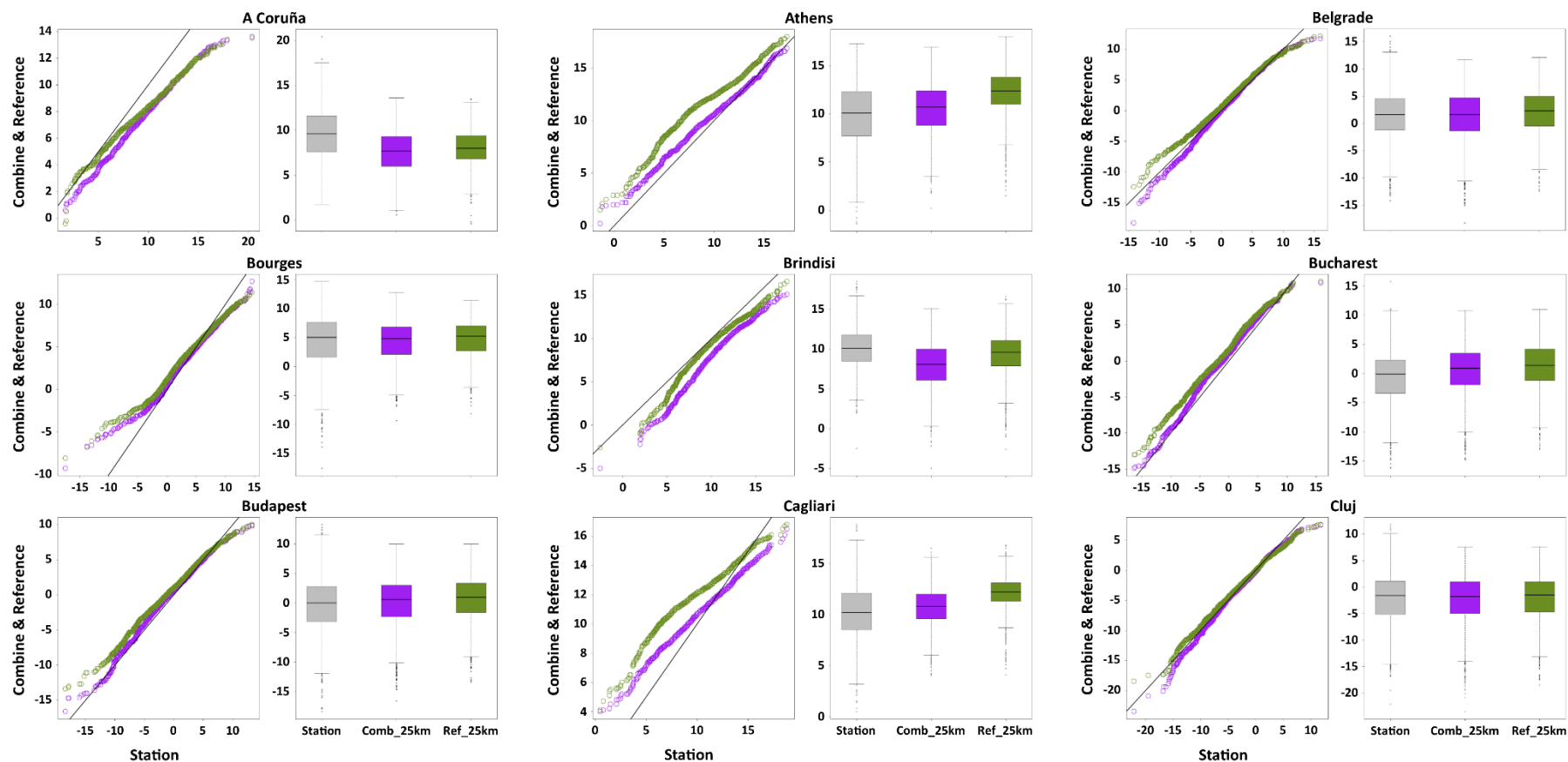
Κατά τη διάρκεια του χειμώνα την περίοδο 1981-2000 (Σχήμα 4.4a,b), από το διάγραμμα ποσοστημορίων του σταθμού A Coruña παρατηρείται ότι οι δύο προσομοιώσεις βρίσκονται κοντά στη διαγώνιο, κυρίως στην κάτω ουρά μέχρι περίπου το 25% της κατανομής των δεδομένων του σταθμού. Επιπρόσθετα, η διάμεσος (median) των δεδομένων βρίσκεται κοντά με το ανώτερο τεταρτημόριο των δύο προσομοιώσεων, ενώ οι ελάχιστες τιμές της προσομοίωσης Combine_25km πλησιάζουν εκείνες του σταθμού. Στους υπόλοιπους σταθμούς οι δύο προσομοιώσεις βρίσκονται κοντά στη διαγώνιο, με την προσομοίωση Combine_25km να μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τη μέση θερμοκρασία τόσο στα κεντρικά όσο και τα κατώτερα ποσοστημόρια στην πλειοψηφία των σταθμών όπου η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά τα δεδομένα των

σταθμών. Συγκεκριμένα, στους σταθμούς που βρίσκονται στη Γαλλία (Bourges και Toulouse), οι προσομοιώσεις αποκλίνουν από τη διαγώνιο στην κάτω ουρά, ενώ η μέση τιμή των δεδομένων της προσομοίωσης Combine_25km προσεγγίζει ικανοποιητικά τους σταθμούς αυτούς. Παράλληλα, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι στο σταθμό Cagliari τόσο από το διάγραμμα ποσοστημορίων όσο και από τα θηκογράμματα παρατηρείται το μεγαλύτερο εύρος τιμών και η μεγαλύτερη μεταβλητότητα των δεδομένων του σταθμού σε σχέση με τις δύο προσομοιώσεις, ενώ η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τον σταθμό σε ό,τι αφορά τη διάμεσο και το ανώτερο τεταρτημόριο. Επιπλέον, στους σταθμούς Athens και Thessaloniki η καμπύλη της προσομοίωσης Combine_25km προσεγγίζει ικανοποιητικά τη μέση θερμοκρασία που παρατηρείται στους συγκεκριμένους σταθμούς, ενώ η προσομοίωση Reference_25km την υπερεκτιμά.

Άνοιξη

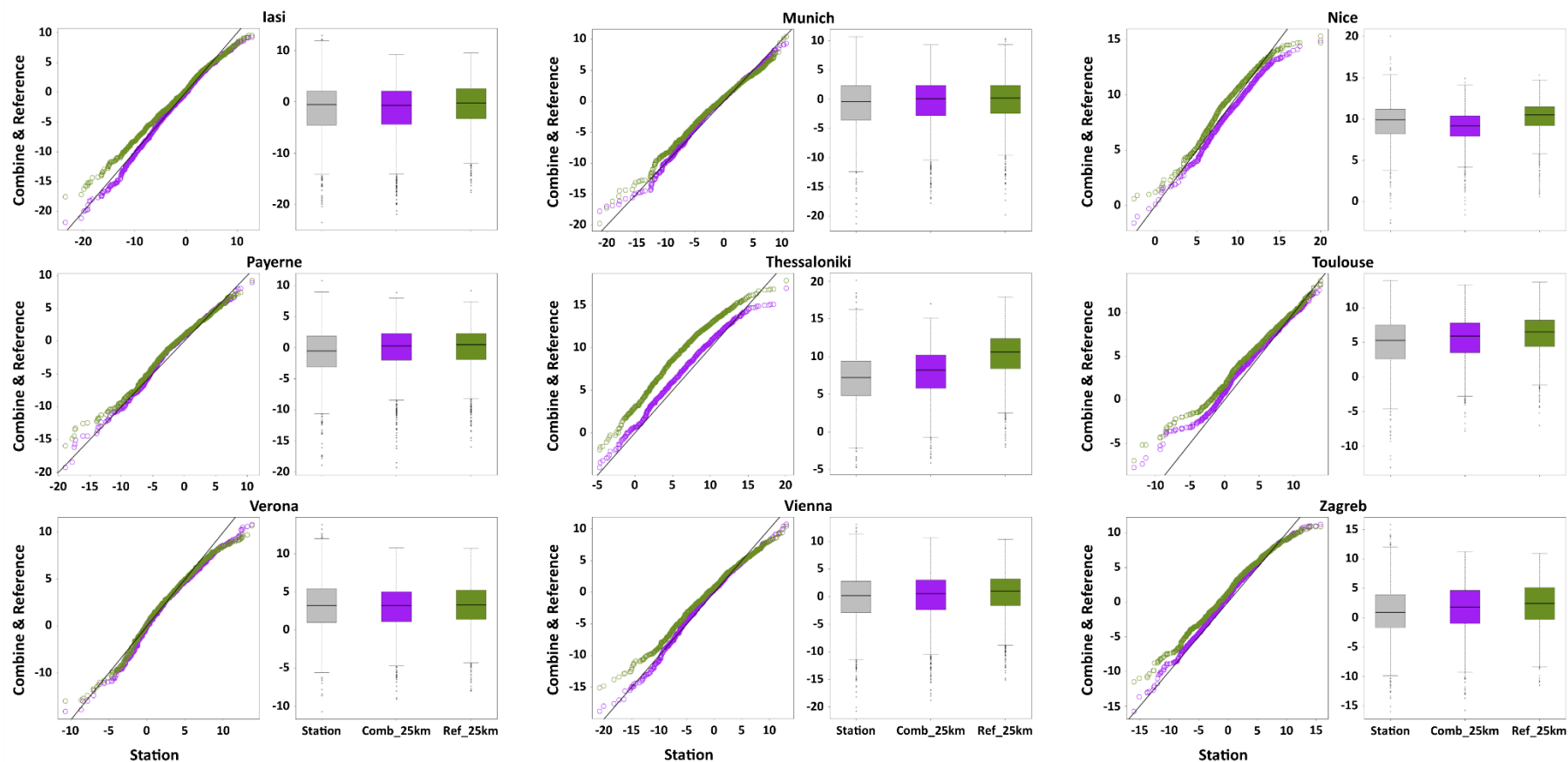
Την άνοιξη της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα Παρ.73a,b), από τα διαγράμματα φαίνεται ότι η μεταβλητότητα των δεδομένων των δύο προσομοιώσεων είναι παρόμοια όμως η προσομοίωση Combine_25km μειώνει τις θερμές αποκλίσεις (warm biases) της προσομοίωσης Reference_25km σε όλους τους εξεταζόμενους σταθμούς. Στο σταθμό Athens η προσομοίωση Combine_25km είναι πιο αξιόπιστη στην κάτω ουρά μέχρι περίπου το 25% της κατανομής των δεδομένων του σταθμού, ενώ στις μεγαλύτερες τιμές η προσομοίωση Reference_25km βρίσκεται σχετικά πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα. Αντίστοιχα, στο σταθμό Thessaloniki η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει τη μικρότερη απόκλιση από τα δεδομένα του σταθμού στα κατώτερα και κεντρικά ποσοστημόρια, ενώ η προσομοίωση Reference_25km βρίσκεται πιο κοντά στα ανώτερα ποσοστημόρια. Το εύρος τιμών των δύο αυτών σταθμών είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τις προσομοιώσεις Combine_25km και Reference_25km. Σε πολλούς από τους σταθμούς η μικρότερη απόκλιση εντοπίζεται στην προσομοίωση Reference_25km, ενώ σε αυτούς τους σταθμούς η προσομοίωση Combine_25km βρίσκεται αρκετά κοντά στη διαγώνιο και προσεγγίζει ικανοποιητικά τις ελάχιστες και ακραία ελάχιστες τιμές. Αξίζει να σημειωθεί ότι στους σταθμούς Nice, Payerne, Verona και Toulouse, η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τη μέση τιμή των σταθμών.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ (Tmean)



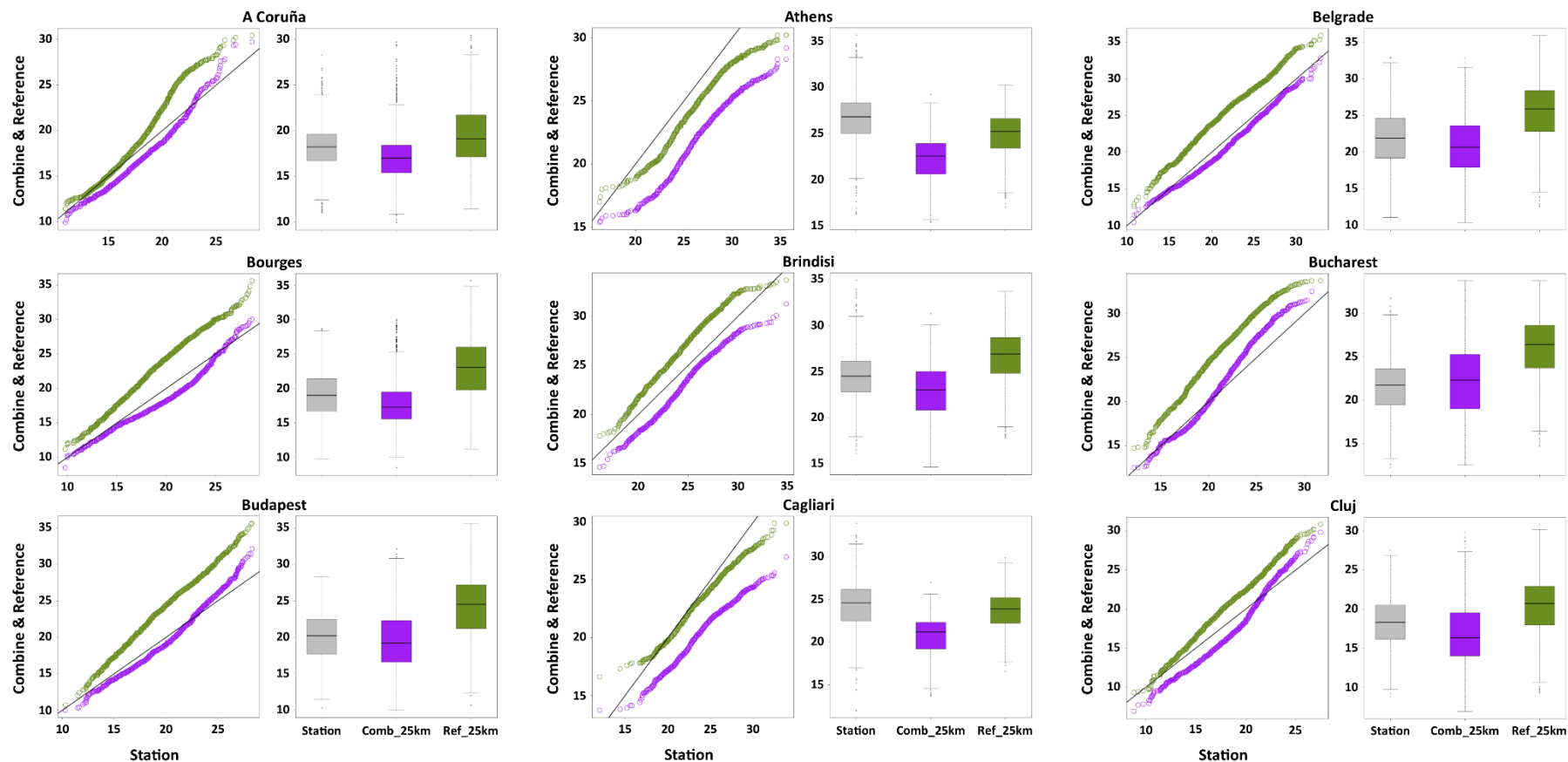
Σχήμα 4.4a. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη μέση θερμοκρασία σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια του χειμώνα της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΧΕΙΜΩΝΑΣ (Tmean)



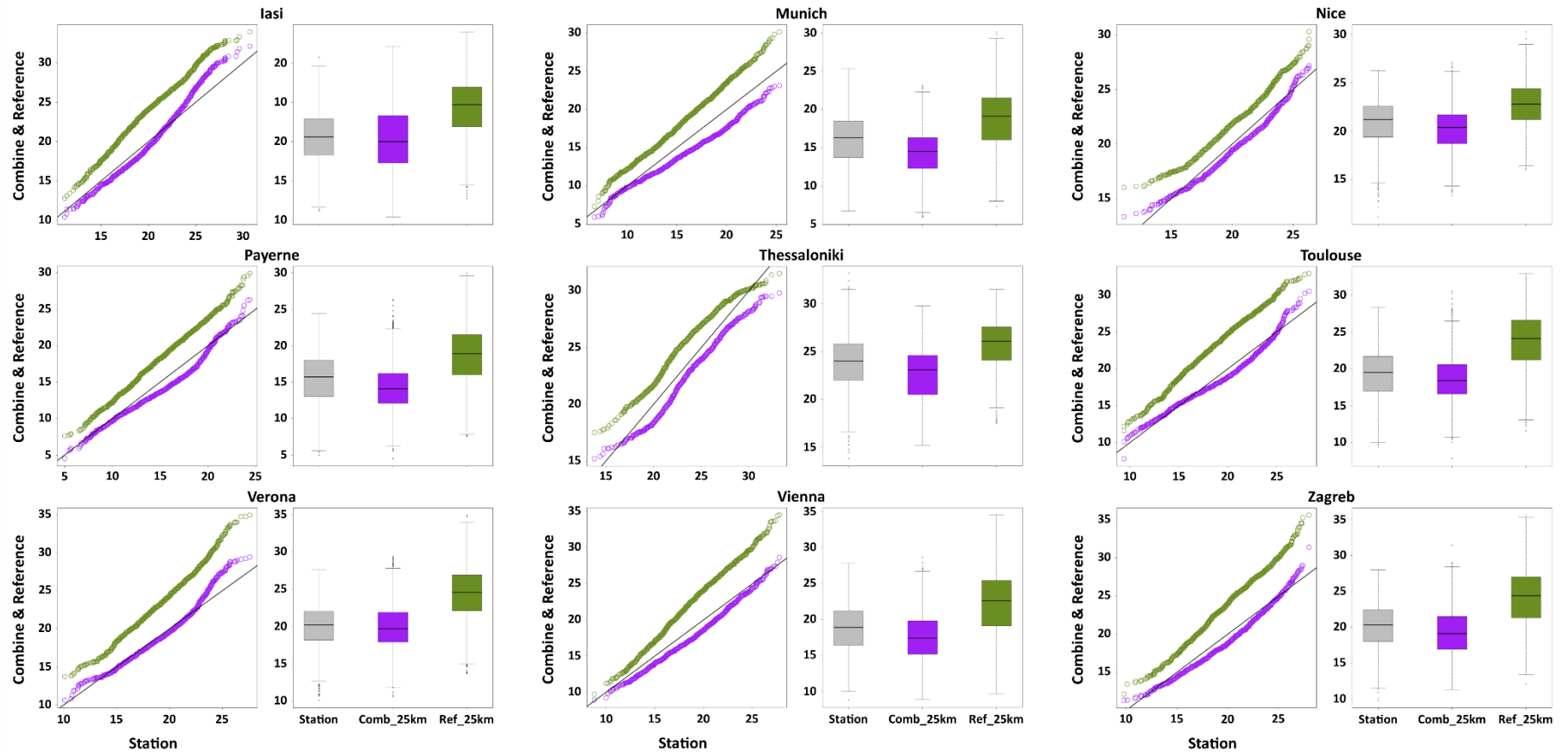
Σχήμα 4.4b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (Tmean)



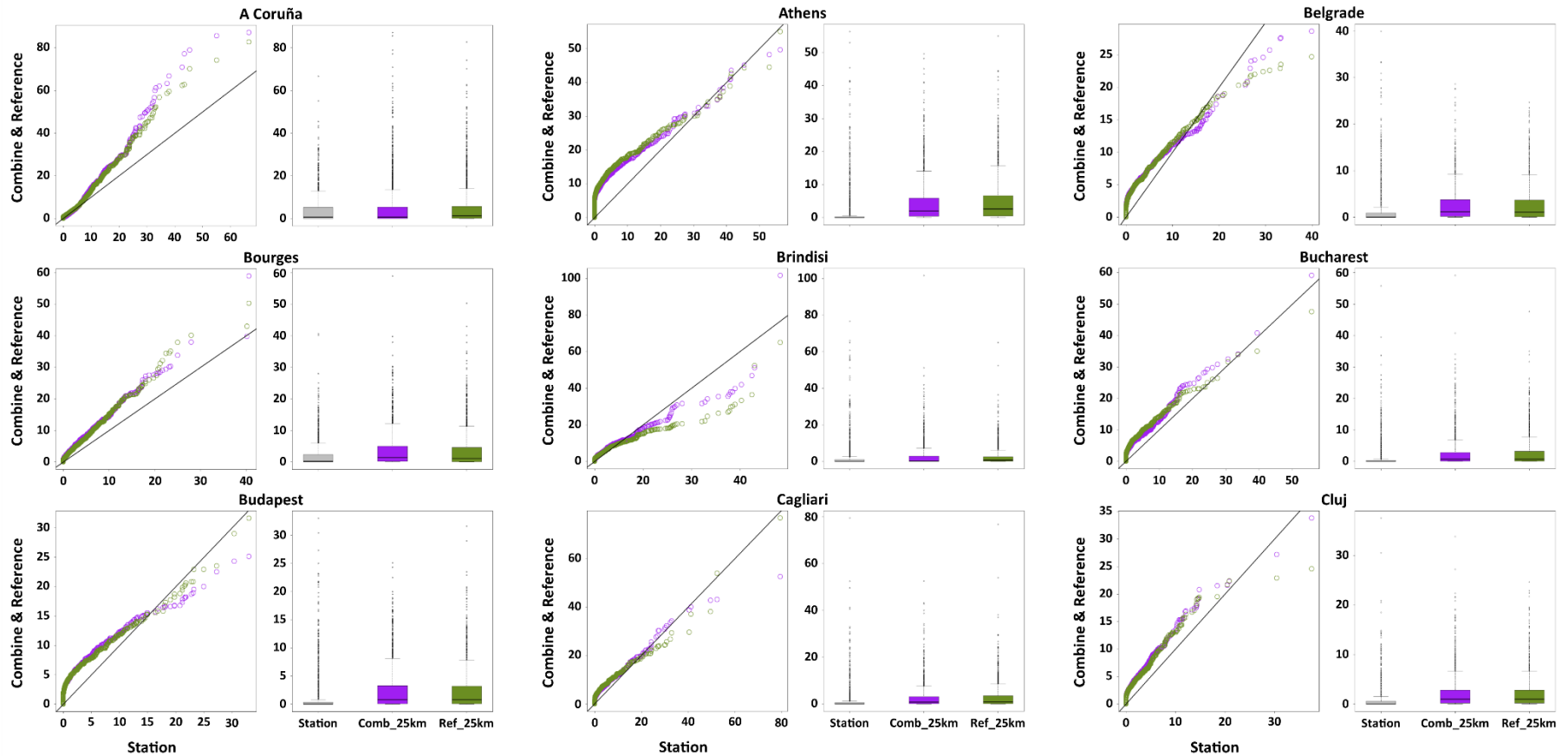
Σχήμα 4.5a. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη μέση θερμοκρασία σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (Tmean)



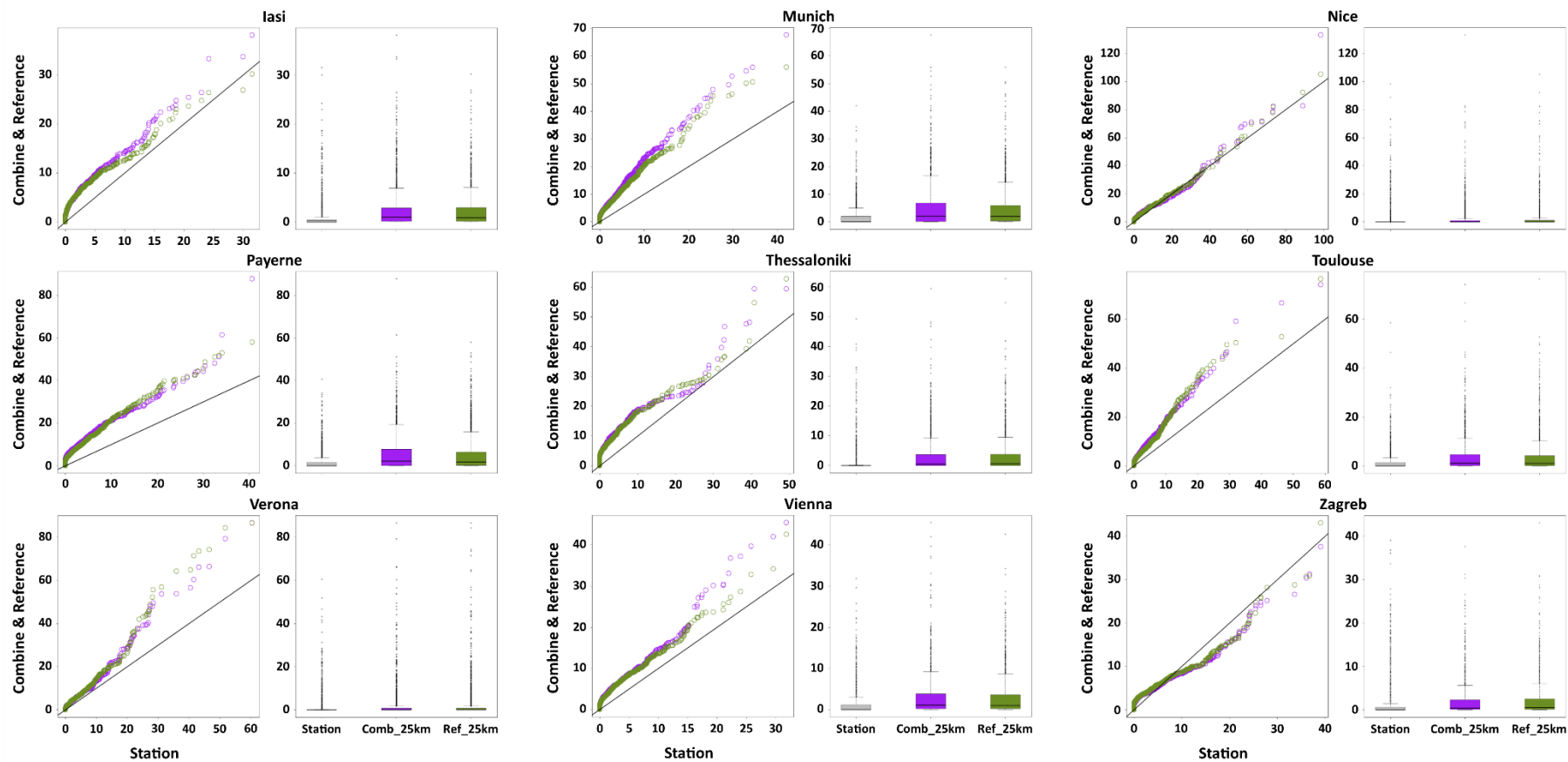
Σχήμα 4.5b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

ΧΕΙΜΩΝΑΣ (Prec)



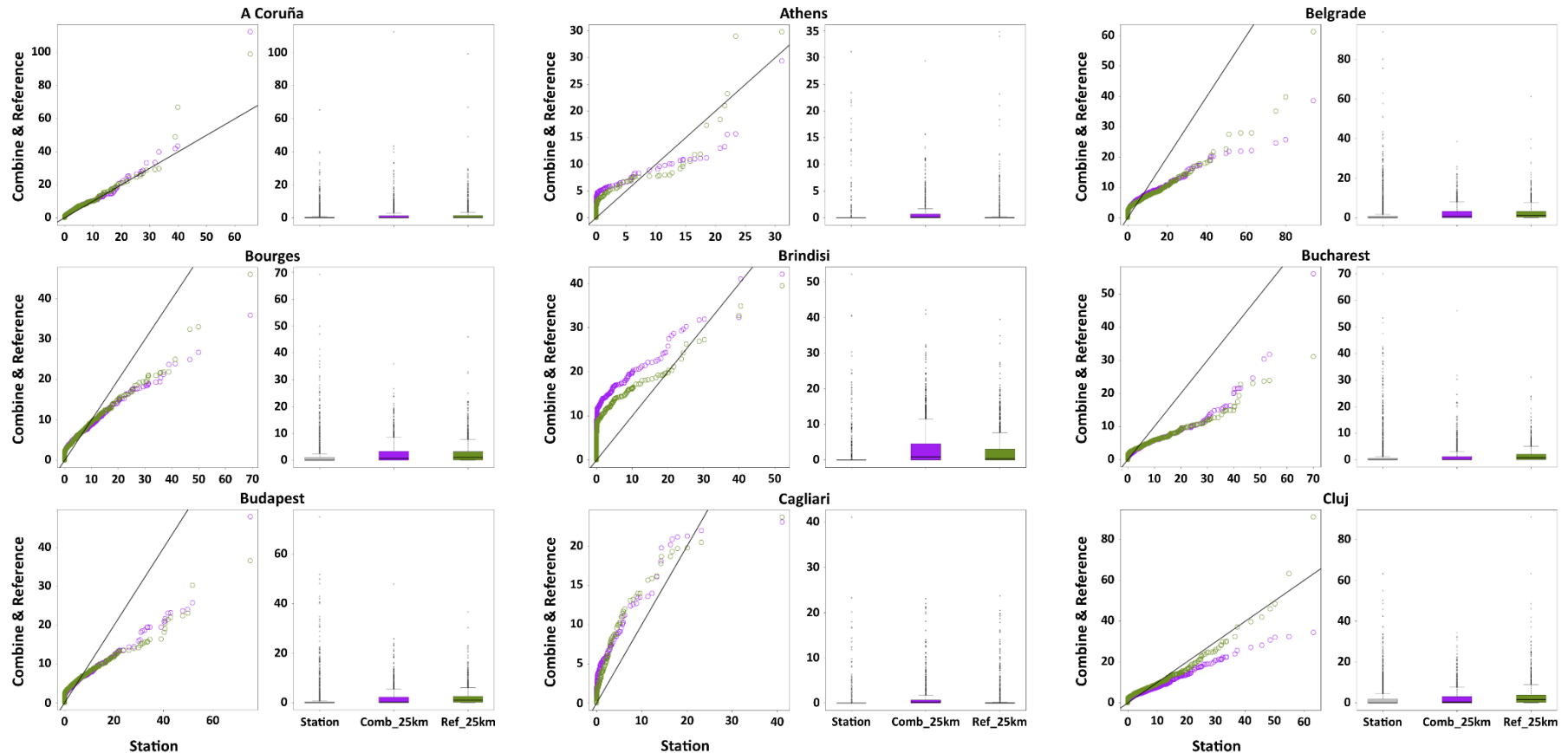
Σχήμα 4.6a. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη συνολική βροχόπτωση σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια του χειμώνα της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΧΕΙΜΩΝΑΣ (Prec)



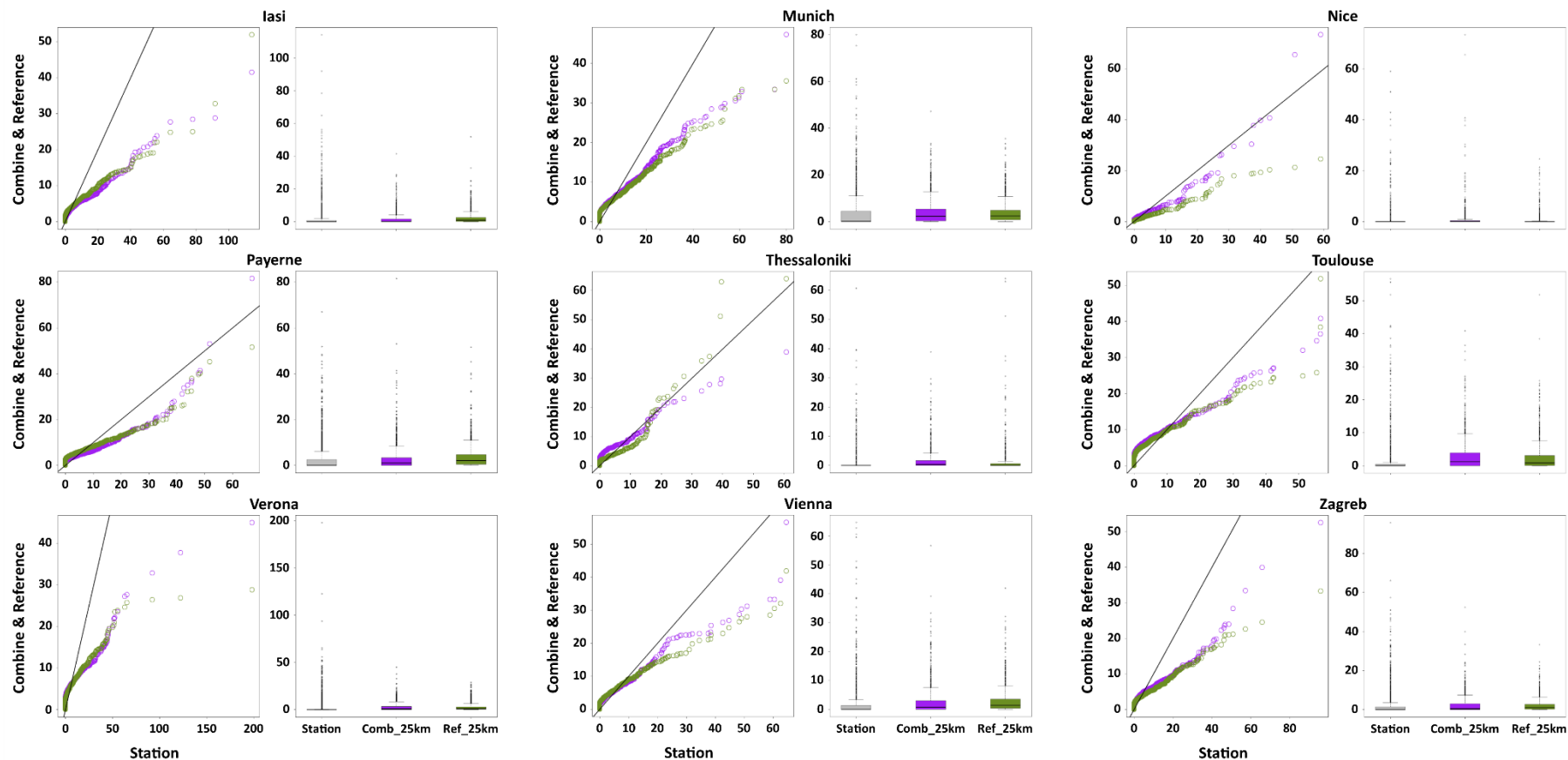
Σχήμα 4.6b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (Prec)



Σχήμα 4.7α. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη συνολική βροχόπτωση σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (Prec)



Σχήμα 4.7b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

Καλοκαίρι

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.5a,b) η προσομοίωση Reference_25km παρουσιάζει μεγαλύτερες μέσες θερμοκρασίες σε σχέση με την προσομοίωση Combine_25km σε όλους τους σταθμούς και στις περισσότερες περιπτώσεις υπερεκτιμά τα δεδομένα μέσης θερμοκρασίας των σταθμών. Στο μεγαλύτερο μέρος των σταθμών (16 από τους 18 σταθμούς), τα διαγράμματα q-q και τα boxplots δείχνουν ότι η προσομοίωση Combine_25km είναι πιο αξιόπιστη, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στη διαγώνιο, και μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τη μέση θερμοκρασία των σταθμών (παρόμοιες τιμές) στην πλειοψηφία των δεδομένων. Εξάιρεση αποτελούν οι σταθμοί Athens και Cagliari όπου παρόλο που οι δύο προσομοιώσεις κινούνται παρόμοια, η προσομοίωση Reference_25km φαίνεται ότι βρίσκεται πολύ κοντά στη διαγώνιο σε σχέση με την προσομοίωση Combine_25km. Συγκεκριμένα, στο σταθμό Cagliari η προσομοίωση Reference_25km παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τον σταθμό στα κατώτερα και κεντρικά ποσοστημόρια, ενώ στις μεγαλύτερες τιμές εντοπίζεται μικρή απόκλιση από τη διαγώνιο. Η προσομοίωση Reference_25km φαίνεται ότι προσομοιώνει ικανοποιητικά το κατώτερο τεταρτημόριο και τη διάμεσο του σταθμού Cagliari, ενώ η προσομοίωση Combine_25km εντοπίζει περισσότερο τις ακραίες ελάχιστες τιμές του σταθμού. Στην περίπτωση του σταθμού Athens, από το διάγραμμα ποσοστημορίων παρατηρείται ότι η προσομοίωση Reference_25km βρίσκεται πιο κοντά στη διαγώνιο μόνο στην κάτω ουρά, ενώ η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει πολύ πιο χαμηλές μέσες θερμοκρασίες από το σταθμό.

Φθινόπωρο

Το φθινόπωρο της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα Παρ.74a,b), οι προσομοιώσεις Reference_25km και Combine_25km κινούνται παρόμοια στις περισσότερες περιπτώσεις, με την προσομοίωση Reference_25km να παρουσιάζει υψηλότερες τιμές μέσης θερμοκρασίας κυρίως στα ανώτερα ποσοστημόρια. Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι η προσομοίωση Reference_25km βρίσκεται πολύ κοντά στη διαγώνιο και παρουσιάζει παρόμοιο εύρος τιμών με τους σταθμούς A Coruña και Brindisi. Παράλληλα, στους σταθμούς Belgrade, Bourges και Cluj και οι δύο προσομοιώσεις προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις μέσες θερμοκρασίες με εξάιρεση το ανώτερο τεταρτημόριο στο οποίο η προσομοίωση Reference_25km είναι πιο αξιόπιστη, όπως φαίνεται και από τα αντίστοιχα

θηκογράμματα. Παρόλα αυτά, οι μέγιστες τιμές των σταθμών προσεγγίζονται αρκετά ικανοποιητικά και από την προσομοίωση Combine_25km. Βασικό χαρακτηριστικό των σταθμών Athens, Cagliari και Thessaloniki είναι το μεγάλο εύρος τιμών μέσης θερμοκρασίας σε σχέση με τις δύο προσομοιώσεις. Πιο αναλυτικά, η προσομοίωση Combine_25km φαίνεται ότι παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με αυτούς τους σταθμούς σε ό,τι αφορά τα κατώτερα και κεντρικά ποσοστημόρια, ενώ στα ανώτερα ποσοστημόρια οι μικρότερες αποκλίσεις εντοπίζονται στην προσομοίωση Reference_25km. Στους υπόλοιπους υπό εξέταση σταθμούς (Bucharest, Budapest, Iasi, Munich, Nice, Payerne, Toulouse, Verona, Vienna, Zagreb), η προσομοίωση Combine_25km μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τη μέση θερμοκρασία στην πλειονότητα των δεδομένων (ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή, ανώτερο και κατώτερο τεταρτημόριο), ενώ η προσομοίωση Reference_25km παρουσιάζει μικρή υπερεκτίμηση των δεδομένων των σταθμών κυρίως στις μεγαλύτερες τιμές.

4.3.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)

Χειμώνας

Στην περίπτωση της συνολικής βροχόπτωσης το χειμώνα της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.6a,b), από τα θηκογράμματα παρατηρείται μια θετική ασυμμετρία τόσο στα δεδομένα των σταθμών όσο και στις προσομοιώσεις, το οποίο είναι ορατό και στα διαγράμματα ποσοστημορίων όπου οι περισσότερες τιμές είναι συγκεντρωμένες στην αριστερή (κάτω) ουρά της κατανομής. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι προσομοιώσεις φαίνεται ότι υπερεκτιμούν τα δεδομένα συνολικής βροχόπτωσης των σταθμών. Στην περίπτωση των σταθμών Cagliari και Nice, οι δύο προσομοιώσεις βρίσκονται πολύ κοντά στη διαγώνιο, ενώ στο σταθμό Cagliari η προσομοίωση Combine_25km φαίνεται να προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά τις ακραίες τιμές βροχόπτωσης του σταθμού σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km. Επιπλέον, σε σταθμούς όπως Athens, Belgrade, Boucharest, Brindisi, Payerne και Thessaloniki η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει μικρότερες αποκλίσεις από τη διαγώνιο κυρίως στο κεντρικό αλλά και στο κατώτερο τμήμα των διαγραμμάτων.

Άνοιξη

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης την περίοδο 1981-2000 (Σχήμα Παρ.75a,b), οι δύο προσομοιώσεις κινούνται παρόμοια σε μεγάλο μέρος των σταθμών. Και σε αυτή την περίπτωση, παρατηρείται μια θετική ασυμμετρία στα δεδομένα των σταθμών και των προσομοιώσεων. Παράλληλα, από τα διαγράμματα ποσοστημορίων των σταθμών φαίνεται ότι οι δύο προσομοιώσεις συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τη διαγώνιο, ενώ αποκλίνουν από αυτή κυρίως στις ακραίες τιμές. Στην πλειοψηφία των σταθμών η προσομοίωση Combine_25km μπορεί να περιγράψει πιο ικανοποιητικά τα κατώτερα τμήματα (25th percentile) και τη διάμεσο των δεδομένων των σταθμών, ενώ σε αρκετούς σταθμούς (Bucharest, Budapest, Cagliari, Cluj, Munich, Thessaloniki, Verona, Zagreb) η προσομοίωση αυτή είναι αρκετά αξιόπιστη για τις ακραίες τιμές της βροχόπτωσης που παρατηρούνται στους σταθμούς. Επιπρόσθετα, στο σταθμό Cluj η προσομοίωση Combine_25km χαρακτηρίζει ικανοποιητικά την πλειοψηφία των δεδομένων αυτού του σταθμού. Στους σταθμούς Athens, Bucharest, Nice και Zagreb η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στα κεντρικά τμήματα των διαγραμμάτων.

Καλοκαίρι

Τους θερινούς μήνες της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα 4.7a,b) παρατηρείται απόκλιση των προσομοιώσεων από τη διαγώνιο σε αρκετές περιπτώσεις και κυρίως στις ακραίες τιμές, ενώ αρκετά είναι και τα σημεία στα οποία οι προσομοιώσεις Reference_25km και Combine_25km εμφανίζουν μικρότερες ακραίες τιμές από τους σταθμούς. Επιπρόσθετα, παρατηρείται συγκέντρωση των περισσότερων τιμών βροχόπτωσης στην κάτω ουρά της κατανομής (θετική ασυμμετρία). Στον σταθμό A Coruña οι δύο προσομοιώσεις παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες με τα δεδομένα του σταθμού καθώς συμπίπτουν με τη διαγώνιο, ενώ και από τα θηκογράμματα εντοπίζεται παρόμοια κατανομή των δεδομένων. Στις ακραίες τιμές του σταθμού η προσομοίωση Combine_25km είναι πιο αξιόπιστη. Αντίστοιχα, η προσομοίωση Combine_25km εντοπίζει αρκετά ικανοποιητικά τα ακραία δεδομένα βροχόπτωσης των σταθμών Bucharest, Budapest, Munich, Nice, Payerne, Toulouse, Vienna και Zagreb. Στα κατώτερα και κεντρικά ποσοστημόρια των διαγραμμάτων των σταθμών Athens, Cagliari, Munich, Nice, Thessaloniki, Toulouse και Vienna, η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις από τη γραμμή

αναφοράς και μπορεί να χαρακτηρίσει αρκετά ικανοποιητικά τα δεδομένα των σταθμών στα τμήματα αυτά σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τα θηκογράμματα φαίνεται ότι σε όλους τους υπό εξέταση σταθμούς η προσομοίωση Combine_25km παρουσιάζει μεγαλύτερη συμφωνία στο κατώτερο τεταρτημόριο και στη διάμεσο.

Φθινόπωρο

Κατά το φθινόπωρο της περιόδου 1981-2000 (Σχήμα Παρ.76a,b), οι προσομοιώσεις βρίσκονται πολύ κοντά στη γραμμή αναφοράς στην πλειονηφία των εξεταζόμενων σταθμών. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εντοπίζονται στις ακραίες τιμές βροχόπτωσης. Βασικό χαρακτηριστικό και τους φθινοπωρινούς μήνες είναι η θετική ασυμμετρία της κατανομής των δεδομένων, η οποία διακρίνεται τόσο από τα q-q plots όσο και από τα boxplots. Επιπρόσθετα, στην πλειονηφία των σταθμών η προσομοίωση Combine_25km είναι πιο αξιόπιστη σε ό,τι αφορά το κατώτερο τεταρτημόριο και την διάμεσο. Στο σταθμό A Coruña και οι δύο προσομοιώσεις προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα δεδομένα του σταθμού (άνωτερο και κατώτερο τεταρτημόριο, μέση και μέγιστη τιμή), ενώ μικρή απόκλιση εντοπίζεται στις ακραίες τιμές και στις δύο προσομοιώσεις. Αντίστοιχα, στο σταθμό Bourges και οι δύο προσομοιώσεις χαρακτηρίζουν σχεδόν τέλεια τα δεδομένα βροχόπτωσης του σταθμού με την προσομοίωση Combine_25km να παρουσιάζει παρόμοια μέση τιμή με το σταθμό. Επιπλέον, οι δύο προσομοιώσεις φαίνεται να υπερεκτιμούν τη βροχόπτωση στους σταθμούς Athens και Thessaloniki, όμως από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι η προσομοίωση Combine_25km είναι πιο αξιόπιστη και στους δύο σταθμούς. Η προσομοίωση Combine_25km προσεγγίζει επίσης ικανοποιητικά μεγάλο μέρος των σταθμών στα κατώτερα, κεντρικά και ανώτερα ποσοστημόρια. Σε ό,τι αφορά τις ακραίες τιμές της βροχόπτωσης, στους μισούς σταθμούς (Brindisi, Bucharest, Cluj, Munich, Nice, Thessaloniki, Toulouse, Verona) η προσομοίωση Combine_25km μπορεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά τις εξεταζόμενες σειρές δεδομένων για τις ακραίες τιμές βροχόπτωσης.

4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στόχος αυτού του κεφαλαίου ήταν ο έλεγχος και η αξιολόγηση της ικανότητας του συνδυασμού των αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου να προσομοιώνει ικανοποιητικά τις κλιματικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σύγκρισης των προσομοιώσεων Reference_25km και Combine_25km με δεδομένα ERA-Interim, η μέση θερμοκρασία στη Μεσόγειο προσεγγίζεται αρκετά ικανοποιητικά από την προσομοίωση Combine_25km στις περιοχές όπου η προσομοίωση Reference_25km υπερεκτιμά σημαντικά την παράμετρο (παράλια Μεσογείου και μεγάλο μέρος του ηπειρωτικού κορμού). Κατά συνέπεια, η προσομοίωση Combine_25km μειώνει τις θερμές αποκλίσεις (warm biases) που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης από την προσομοίωση Reference_25km. Παρόλα αυτά, στις περιοχές όπου η προσομοίωση Reference_25km υποεκτιμά τη μέση θερμοκρασία, η μείωση που προκαλούν στη θερμοκρασία οι επιλεγμένες φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου στην προσομοίωση Combine_25km οδηγεί σε περαιτέρω υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας στις περιοχές αυτές. Η πιο λεπτομερής ανάλυση των προσομοιωμένων δεδομένων μέσης θερμοκρασίας, με τη χρήση δεδομένων για 18 σταθμούς που καλύπτουν την περιοχή της Μεσογείου από τη βάση δεδομένων σταθμών ECA&D, έδειξε ότι η προσομοίωση Combine_25km περιγράφει ικανοποιητικά τα δεδομένα των εξεταζόμενων σταθμών και στις περισσότερες περιπτώσεις (στο 90% των σταθμών) είναι πιο αξιόπιστη σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km. Αξίζει να σημειωθεί ότι την άνοιξη οι περισσότερες ομοιότητες με τα δεδομένα μέσης θερμοκρασίας των σταθμών εντοπίζονται κυρίως στην προσομοίωση Reference_25km.

Στην περίπτωση της συνολικής βροχόπτωσης, και οι δύο προσομοιώσεις φαίνεται ότι υπερεκτιμούν την παράμετρο στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ότι η υπερεκτίμηση αυτή είναι μειωμένη στην προσομοίωση Combine_25km, λόγω των φυσικών παραμετροποιήσεων που μειώνουν τις υγρές αποκλίσεις (wet biases) που παρατηρούνται στην προσομοίωση Reference_25km. Ως αποτέλεσμα η προσομοίωση Combine_25km μειώνει έως και 300 mm τη συνολική βροχόπτωση κυρίως στον ηπειρωτικό κορμό της περιοχής μελέτης. Αντίθετα, στις θαλάσσιες περιοχές οι διαφορές ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Σε ό,τι αφορά τη σύγκριση των προσομοιωμένων δεδομένων με τα αντίστοιχα

δεδομένα των 18 σταθμών, η προσομοίωση Combine_25km προσεγγίζει με μεγαλύτερη αξιοπιστία τόσο τις τιμές της βροχόπτωσης που ανήκουν στο κατώτερο τεταρτημόριο όσο και τη διάμεσο των δεδομένων των σταθμών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αξίζει να σημειωθεί ότι η προσομοίωση Combine_25km σε πολλές περιπτώσεις εντοπίζει και τις ακραίες τιμές βροχόπτωσης των σταθμών αρκετά ικανοποιητικά σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km.

Η αξιολόγηση των ανωτέρω αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου, που θεωρήθηκαν ότι βελτιώνουν μεμονωμένα τις προσομοιώσεις των κλιματικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης, βελτιώνει σημαντικά τα προσομοιωμένα δεδομένα του μοντέλου για την περιοχή της Μεσογείου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μιας προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης ($10 \times 10km$) για τον Ελληνικό χώρο ύστερα από το δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας του μοντέλου. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί πως σημαντικό ρόλο στις προσομοιώσεις του μοντέλου φαίνεται πως έχει και η επιλογή του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιείται ως «γονέας» για τις ICBC και SST συνθήκες των προσομοιώσεων και θα πρέπει να λαμβάνεται σημαντικά υπόψιν.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Combine_25km – Combine_10km & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ

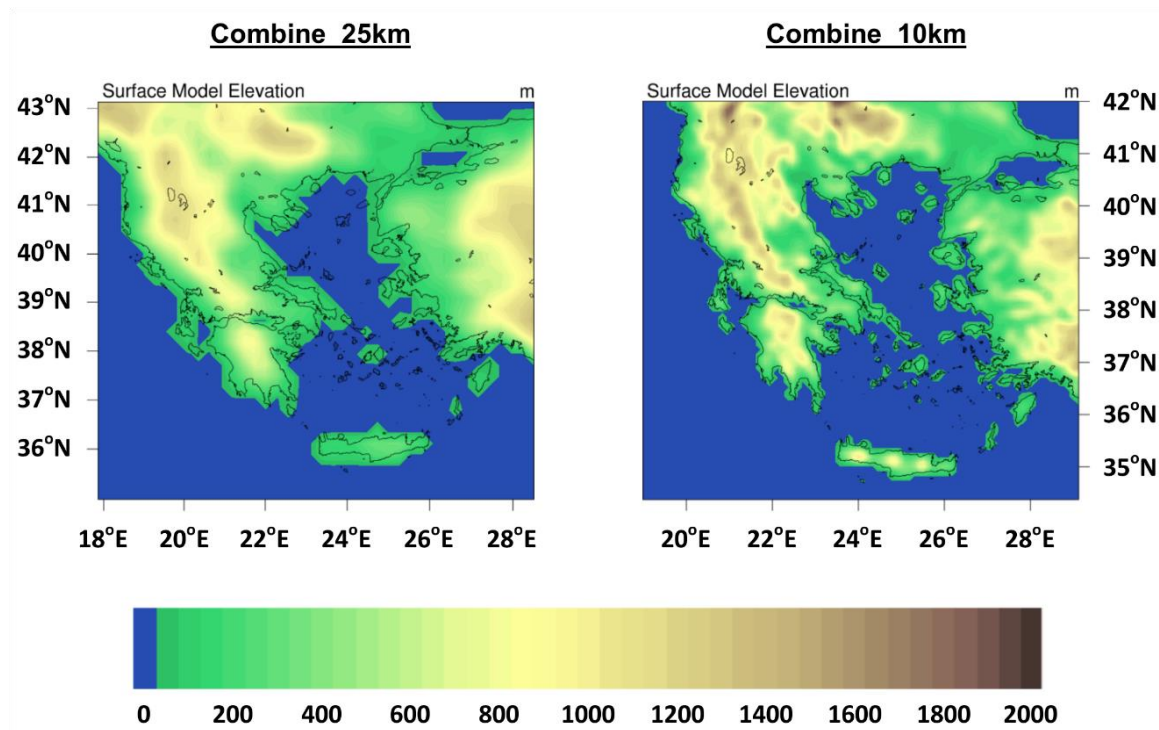
ΠΡΟΒΟΛΕΣ (10km) ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται σύγκριση της προσομοίωσης Combine_25km με την προσομοίωση υψηλής ανάλυσης Combine_10km, η οποία προέρχεται από το δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 (εμφώλευση της προσομοίωσης Combine_25km), για τον Ελληνικό χώρο την περίοδο 1981-2000. Στόχος είναι η ανάδειξη της αναγκαιότητας ενός κλιματικού μοντέλου υψηλότερης ανάλυσης σε περιοχές με πολύπλοκο ανάγλυφο όπως είναι η Ελλάδα, μια περιοχή με έντονες εναλλαγές ξηράς - θάλασσας, υψηλές οροσειρές και μεγάλο αριθμό νησιών, έτσι ώστε να παραχθούν πιο λεπτομερείς και ακριβείς κλιματικές προβολές για το παρόν και το μέλλον. Τέλος, εξετάζονται και αναλύονται οι μελλοντικές προβολές της προσομοίωσης Combine_10km για την Ελληνική περιοχή, που αφορούν τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και τον άνεμο, τις μελλοντικές περιόδους 2041-2060 και 2081-2100.

5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε μία προσομοίωση (Combine_10km) που προέρχεται από το δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 ύστερα από την εμφώλευση (nesting) της προσομοίωσης Combine_25km για τις αρχικές και οριακές συνθήκες του μοντέλου. Η χωρική ανάλυση αυτής της προσομοίωσης είναι $10 \times 10 \text{ km}$ και εστιάζει στον Ελληνικό χώρο (Σχήμα 5.1). Η προσομοίωση καλύπτει την περίοδο αναφοράς 1981-2000 και οι μελλοντικές προβολές αναφέρονται στις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100. Για τις μελλοντικές προβολές χρησιμοποιήθηκε το

σενάριο εκπομπών RCP4.5. Επιπρόσθετα, έγινε χρήση της προσομοίωσης Combine_25km επιλέγοντας την ίδια περιοχή μελέτης με την προσομοίωση Combine_10km έτσι ώστε να γίνει σύγκριση των δύο χωρικών αναλύσεων σε μια περιοχή με ιδιαίτερο ανάγλυφο και έντονη τοπογραφία. Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται οι διαφορές που υπάρχουν στην τοπογραφία ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις, καθώς στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_10km η τοπογραφία είναι πολύ πιο λεπτομερής. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας, συνολικής βροχόπτωσης και ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) από τις δύο προσομοιώσεις. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και χαρτογραφήθηκαν εποχιακά για την περίοδο αναφοράς 1981-2000.



Σχήμα 5.1. Εστίαση στην περιοχή μελέτης του Ελληνικού χώρου και η τοπογραφία της (m). Από τους δύο χάρτες γίνεται σύγκριση της τοπογραφίας ανάμεσα στην προσομοίωση Combine_25km (αριστερά) και την προσομοίωση Combine_10km (δεξιά)

Τελευταίο βήμα ήταν ο έλεγχος και η ανάλυση των μελλοντικών προβολών της προσομοίωσης με την υψηλότερη ανάλυση (Combine_10km) για τις δύο προαναφερθείσες μελλοντικές περιόδους. Η επεξεργασία, ανάλυση και σύγκριση των δεδομένων της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας, της συνολικής βροχόπτωσης και της ταχύτητας του ανέμου έγινε σε εποχιακή κλίμακα. Υπολογίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν

οι διαφορές μεταξύ των δύο περιόδων και της περιόδου αναφοράς [a) (2041-2060) – (1981-2000) και b) (2081-2100) – (1981-2000)] έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι αλλαγές στις προαναφερθείσες παραμέτρους και η πορεία τους κατά το μέσο και το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

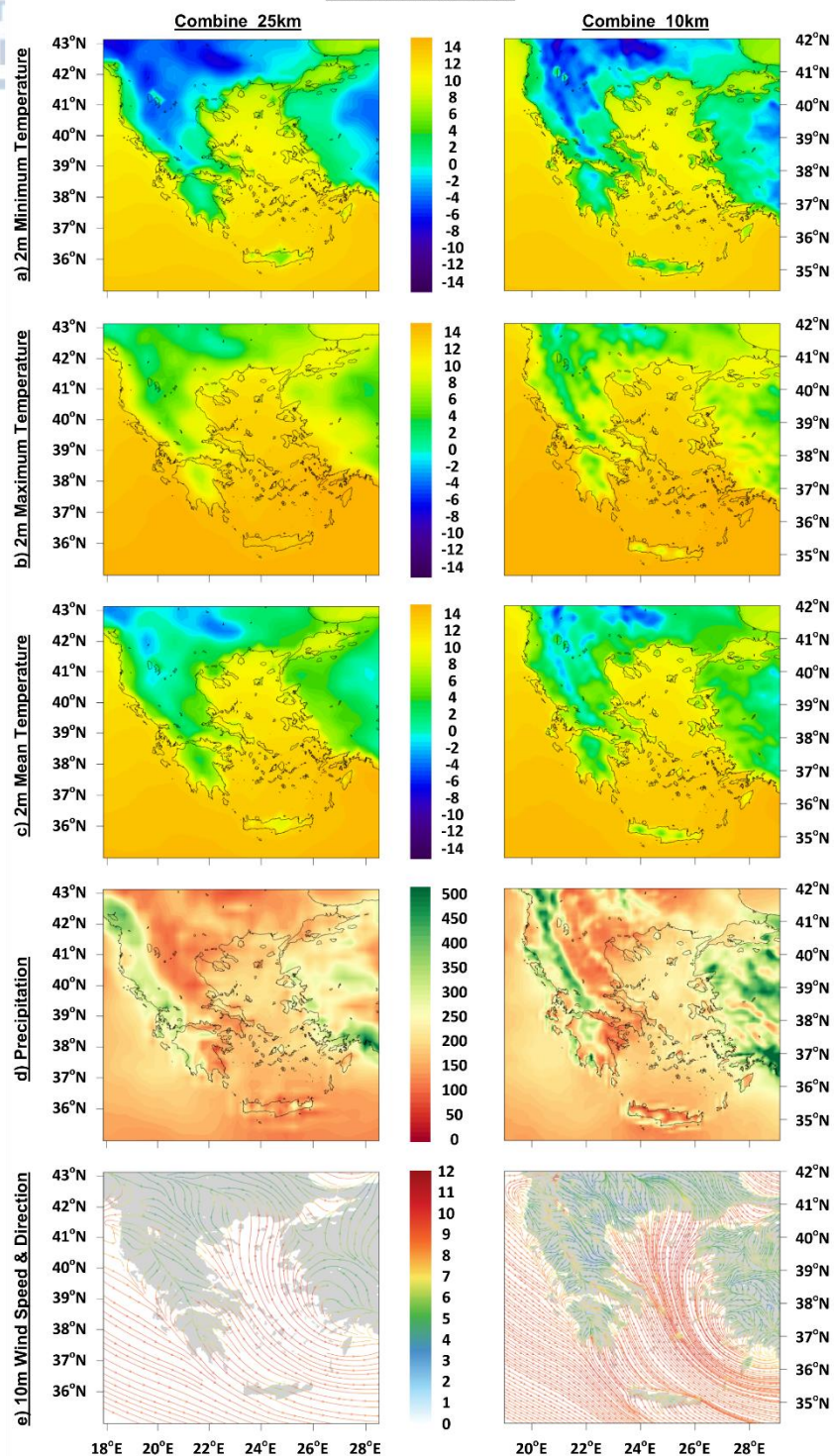
5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ (ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 1981-2000)

5.2.1 Θερμοκρασία (Air temperature)

Κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς στην Ελλάδα, οι θερμοκρασίες του χειμώνα παρουσιάζουν αύξηση από τον βορρά προς τον νότο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης Combine_25km, οι χαμηλότερες τιμές της μέσης θερμοκρασίας παρατηρούνται κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου καθώς και σε τμήμα της Βόρειας Ελλάδας (Σχήμα 5.2 - c). Παρόμοια είναι η εικόνα και για τις χαμηλότερες τιμές (κοντά στους 0°C) των μέγιστων θερμοκρασιών (Σχήμα 5.2 - b), ενώ οι χαμηλότερες τιμές (αρνητικές θερμοκρασίες) των ελάχιστων θερμοκρασιών (Σχήμα 5.2 - a) εντοπίζονται στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της περιοχής μελέτης. Η καλύτερη ανάλυση της προσομοίωσης Combine_10km δείχνει μια πιο λεπτομερή κατανομή της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης σε όλες τις εξεταζόμενες εποχές. Ως αποτέλεσμα, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται σε μεγάλο υψόμετρο στην οροσειρά της Πίνδου, στον Όλυμπο και σε άλλες ελληνικές οροσειρές. Σε ό,τι αφορά τις θαλάσσιες περιοχές, ο αέρας είναι πιο θερμός σε σχέση με τον ηπειρωτικό κορμό. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και κατά τη διάρκεια της άνοιξης με τις τιμές των ελάχιστων (Σχήμα Παρ.77 - a), μέγιστων (Σχήμα Παρ.77 - b) και μέσων θερμοκρασιών (Σχήμα Παρ.77 - c) να είναι πιο υψηλές σε σχέση με το χειμώνα.

Στην περίπτωση των θερμών μηνών του έτους, οι Ελληνικές περιοχές χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες. Η μέση θερμοκρασία του καλοκαιριού (Σχήμα 5.3 - c) σε ορισμένες περιοχές ξεπερνάει τους 25°C, ενώ σε ηπειρωτικές περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (π.χ. Πίνδος, Όλυπος, περιοχή Ροδόπης), παρατηρούνται σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες, κάτι που είναι περισσότερο ορατό στην προσομοίωση Combine_10km. Σε ό,τι αφορά τις ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 5.3 - a) ο ηπειρωτικός κορμός παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τις θαλάσσιες περιοχές, ενώ οι οροσειρές χαρακτηρίζονται από τις χαμηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες του καλοκαιριού για την περίοδο αναφοράς.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ (1981-2000)



Σχήμα 5.2. Μέσοι χάρτες ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας (°C), βροχόπτωσης (mm/season) και ταχύτητας (m/s) - διεύθυνσης ανέμου κατά τη διάρκεια του χειμώνα την περίοδο 1981-2000 για τις προσομοιώσεις Combine_25km και Combine_10km

Οι μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 5.3 - b) είναι πιο υψηλές στα δύο μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα και Θεσσαλονίκη), καθώς και σε τμήματα της Ηπείρου, της Θράκης, της Θεσσαλίας, της Πελοποννήσου και της Κρήτης (φτάνουν τους 30°C). Και σε αυτή την περίπτωση, η καλύτερη ανάλυση της προσομοίωσης Combine_10km παρουσιάζει μια πιο λεπτομερή κατανομή της θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα των ελάχιστων (Σχήμα Παρ.78 - a), μέγιστων (Σχήμα Παρ.78 - b) και μέσων θερμοκρασιών (Σχήμα Παρ.78 - c) για το φθινόπωρο είναι παρόμοια με εκείνα της άνοιξης, όπου οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στις οροσειρές, ενώ η μέση και ελάχιστη θερμοκρασία στις θαλάσσιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σχέση με τις ηπειρωτικές.

5.2.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από Μεσογειακό κλίμα με σχετικά μεγάλα ύψη βροχής το χειμώνα και ξηρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Σε ό,τι αφορά τη χωρική κατανομή της βροχόπτωσης, κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο μοτίβο με το μέγιστο να εντοπίζεται στα δυτικά και το ελάχιστο στα κεντρικά και νότια της χώρας, ενώ ένα δεύτερο μέγιστο παρατηρείται στο Ανατολικό Αιγαίο. Την περίοδο της άνοιξης συνεχίζεται η μεσημβρινή κατανομή του υετού και το μέγιστο εντοπίζεται στα βορειοδυτικά της χώρας, ενώ το ελάχιστο βρίσκεται στο Νότιο Αιγαίο (Κυκλάδες). Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η κατανομή της βροχόπτωσης είναι σχεδόν ζωνική με το μέγιστο να εντοπίζεται στη Βόρεια Ελλάδα και το ελάχιστο στο Νότιο Αιγαίο και την Κρήτη. Τέλος, το φθινόπωρο η κατανομή της βροχόπτωσης προσομοιάζει την ετήσια κατανομή, όπου το μέγιστο βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της χώρας και το ελάχιστο στις Κυκλάδες (Maheras and Anagnostopoulou 2003).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα για τη ψυχρή περίοδο του έτους, τα υψηλότερα ποσά βροχής βρίσκονται στα δυτικά τμήματα της χώρας και ακολουθεί η ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα όπου εντοπίζεται η περιοχή ομβροσκιάς της Πίνδου (Σχήμα 5.2 - d). Και οι δύο προσομοιώσεις παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα στην αναπαράσταση της μεσημβρινής κατανομής του υετού, αλλά η προσομοίωση Combine_10km παρέχει περισσότερες λεπτομέρειες οι οποίες δεν παρατηρούνται στην πιο μικρή χωρική ανάλυση της προσομοίωσης Combine_25km. Για παράδειγμα, η προσομοίωση Combine_10km εντοπίζει καλύτερα τη βροχόπτωση σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (Όλυμπος, Λευκά Όρη, όρος Χελμός, Ταΰγετος) και παρουσιάζει μια πιο εκτεταμένη ζώνη υετού στην

περιοχή της Ροδόπης, τα οποία δεν είναι ορατά στην προσομοίωση Combine_25km. Επιπρόσθετα, στην προσομοίωση Combine_10km εντοπίζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η κατανομή και τα ύψη βροχής στην οροσειρά της Πίνδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι και στη νησιωτική χώρα η προσομοίωση Combine_10km προσομοιώνει ικανοποιητικά τη βροχόπτωση λόγω του πυκνότερου δικτύου σημείων πλέγματος που καλύπτει την περιοχή μελέτης, το οποίο εντοπίζει λεπτομερέστερα το ανάγλυφο και τα τοπικά χαρακτηριστικά της περιοχής, σε σχέση με την προσομοίωση Combine_25km.

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Σχήμα Παρ.77 - d), στην προσομοίωση Combine_25km παρατηρούνται υψηλές τιμές βροχόπτωσης στην προσήνεμη πλευρά της οροσειράς της Πίνδου, καθώς και σε άλλες οροσειρές (Όλυμπος, Βέρμιο, Φαλακρό). Και σε αυτή την περίπτωση, η προσομοίωση Combine_10km είναι πιο λεπτομερής με αποτέλεσμα να είναι πιο σαφής η μεσημβρινή κατανομή του νετού και εντοπίζει τα μέγιστα βροχόπτωσης κατά μήκος της Πίνδου στα σημεία με μεγάλο υψόμετρο, στον Όλυμπο, στο Φαλακρό, στο όρος Χελμός και σε τμήμα του Ταΰγετου, τα οποία πιθανώς να οφείλονται σε θερμικές καταιγίδες που εμφανίζονται συνήθως στο τέλος της άνοιξης (Μάιος) και διαρκούν μέχρι τις αρχές του φθινόπωρου (Σεπτέμβριος). Επιπλέον, στη δυτική πλευρά της Κρήτης (Λευκά Όρη) παρατηρούνται υψηλές τιμές νετού.

Τη θερμή περίοδο του έτους (Σχήμα 5.3 - d) υπάρχουν περιοχές που παρουσιάζουν ελάχιστη ή και καθόλου βροχόπτωση, ενώ υπάρχουν και περιοχές (συνήθως ηπειρωτικές) που χαρακτηρίζονται από βροχοπτώσεις που οφείλονται σε θερμικές καταιγίδες (Sioutas and Flocas 2003). Λόγω της έντονης θέρμανσης του εδάφους το καλοκαίρι, οι ανοδικές θερμές και υγρές αέριες μάζες που υπάρχουν σε μια περιοχή, συγκρούονται με τις ψυχρές και ξηρές αέριες μάζες που εντοπίζονται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται αστάθεια που οδηγεί σε θερμικές καταιγίδες. Η προσομοίωση Combine_25km δεν μπορεί να εντοπίσει αυτή την τοπική διαφορά και παρουσιάζει μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης. Αντίθετα, η προσομοίωση Combine_10km, λόγω του μεγαλύτερου αριθμού σημείων πλέγματος που καλύπτουν τις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (μεγαλύτερη λεπτομέρεια στα τοπογραφικά χαρακτηριστικά), εμφανίζει κάποιους μικρούς πυρήνες (π.χ. Όλυμπος, Ταΰγετος, Λευκά Όρη). Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι ο εντοπισμός των θερμικών καταιγίδων θα

ήταν πιο σαφής, εάν η σύγκριση των δύο προσομοιώσεων γινόταν σε μηνιαία βάση, καθώς τώρα μπορεί να «χάνονται» μέσα στον εποχιακό μέσο όρο.

Το φθινόπωρο (Σχήμα Παρ.78 - d), στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_25km, χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσά υετού στο δυτικό τμήμα της χώρας, ενώ στην ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα και στο Νότιο Αιγαίο τα ύψη βροχής είναι αρκετά χαμηλά. Παρόλο που και οι δύο προσομοιώσεις αναπαριστούν ικανοποιητικά την κατανομή της βροχόπτωσης, η προσομοίωση Combine_10km είναι και πάλι πιο λεπτομερής σε σχέση με την προσομοίωση Combine_25km. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ένα μέγιστο βροχόπτωσης στο Ιόνιο (νησιά και παραθαλάσσιες περιοχές), ενώ ένα δευτερεύον μέγιστο εντοπίζεται στο Βόρειο Αιγαίο. Επιπρόσθετα, παρατηρείται μια εκτεταμένη ζώνη υετού κατά μήκος της Πίνδου σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, ενώ εντοπίζονται και κάποιοι πυρήνες σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας (Όλυπος, Βέρμιο, Φαλακρό), στην περιοχή της Ροδόπης, σε τμήματα της Πελοποννήσου και στο δυτικό τμήμα της Κρήτης.

5.2.3 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed)

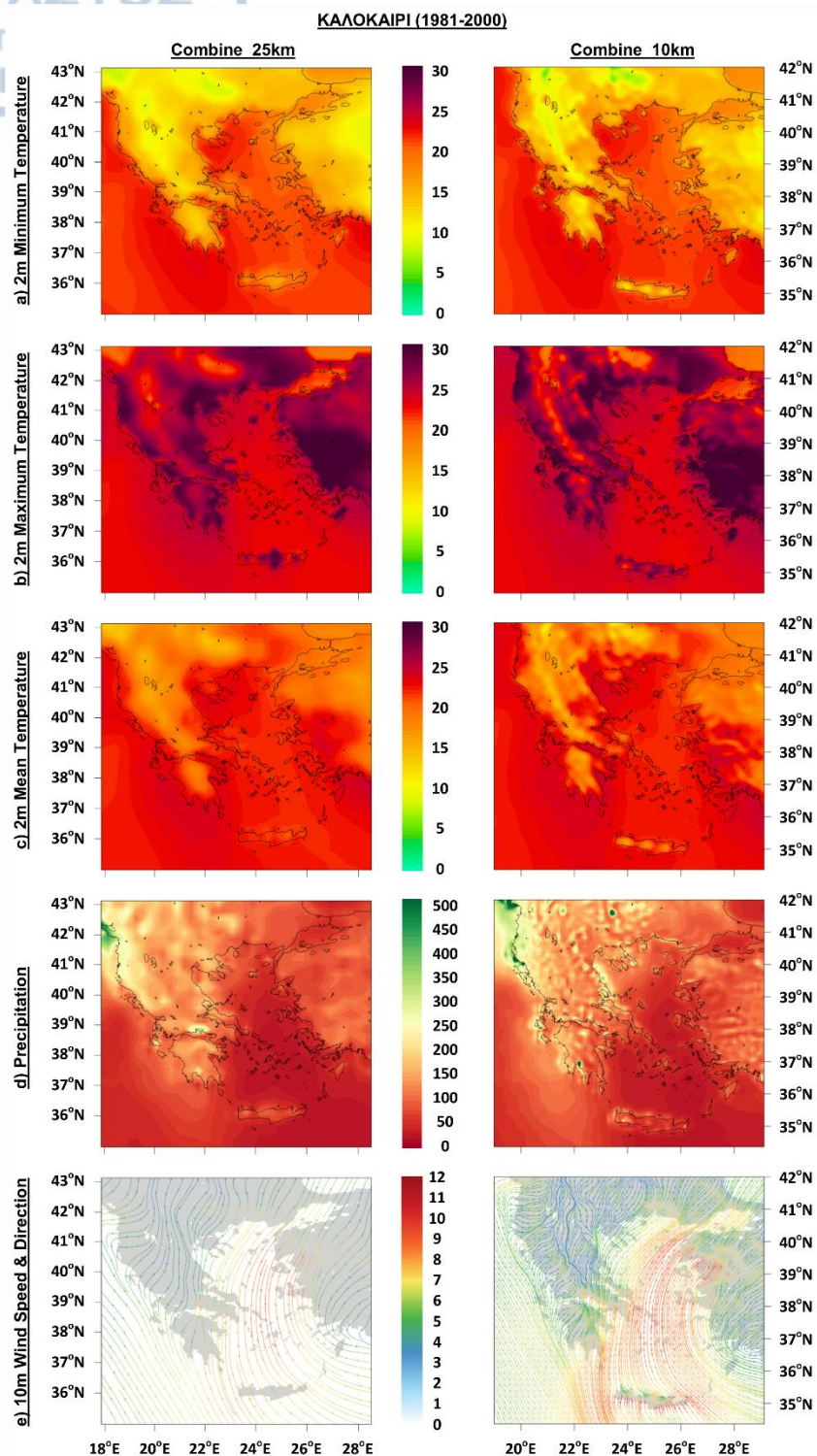
Οι επικρατούντες άνεμοι στον Ελληνικό χώρο τη χειμερινή περίοδο (Σχήμα 5.2 - e) στις θαλάσσιες περιοχές είναι βορειοανατολικοί άνεμοι στο Βόρειο Αιγαίο, βόρειοι άνεμοι στο κεντρικό Αιγαίο, βορειοδυτικοί άνεμοι στο Νότιο Αιγαίο και δυτικοί βορειοδυτικοί στο Ιόνιο. Οι ισχυρότεροι άνεμοι εντοπίζονται στο Βόρειο και κεντρικό Αιγαίο, ενώ ένα δεύτερο μέγιστο παρατηρείται στην περιοχή ανάμεσα στην Πελοπόννησο και την Κρήτη. Οι δύο προσομοιώσεις εντοπίζουν αυτά τα χαρακτηριστικά του ανέμου για την περίοδο αναφοράς, όμως η προσομοίωση Combine_10km είναι πιο λεπτομερής σε ό,τι αφορά την ταχύτητα αλλά και τη διεύθυνση του ανέμου σε όλες τις εποχές. Στον ηπειρωτικό κορμό πνέουν άνεμοι χαμηλής έντασης στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, ενώ στην προσομοίωση Combine_10km εντοπίζονται επιπρόσθετα και αρκετά ισχυροί άνεμοι σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο.

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Σχήμα Παρ.77 - e) οι επικρατούντες άνεμοι είναι παρόμοιοι με εκείνους της χειμερινής περιόδου με την ένταση όμως να είναι σχετικά χαμηλότερη. Οι πιο ισχυροί άνεμοι παρατηρούνται στα κεντρικό και Νότιο Αιγαίο, καθώς και στο Κρητικό πέλαγος και την περιοχή ανάμεσα της Κρήτης και της Καρπάθου. Και σε αυτή την περίπτωση, η προσομοίωση Combine_10km εντοπίζει με μεγαλύτερη

λεπτομέρεια την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου στην περιοχή μελέτης, καθώς διακρίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια το πολύπλοκο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης (μεγαλύτερος αριθμός σημείων πλέγματος). Ο ηπειρωτικός κορμός της χώρας χαρακτηρίζεται από ανέμους χαμηλής έντασης, ενώ σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο η προσομοίωση Combine_10km προσομοιώνει πιο ικανοποιητικά τους ισχυρότερους ανέμους.

Το καλοκαίρι (Σχήμα 5.3 - e) το Αιγαίο χαρακτηρίζεται από την επικράτηση των Ετησίων ανέμων ως αποτέλεσμα της βαροβαθμίδας που σχηματίζεται ανάμεσα στο σύστημα χαμηλών πιέσεων της ΝΔ Ασίας (ανατολική Μεσόγειος) και τα συστήματα υψηλών πιέσεων πάνω από τη Βαλκανική ή την κεντρική Ευρώπη. Και οι δύο προσομοιώσεις παρουσιάζουν μεγάλη ικανότητα στον εντοπισμό των τοπικών ανέμων που οφείλονται στη γενική και τοπική κυκλοφορία στην περιοχή μελέτης, με την προσομοίωση Combine_10km να είναι και πάλι πιο λεπτομερής. Βορειοανατολικοί άνεμοι πνέουν στο Βόρειο και Βορειοανατολικό Αιγαίο, βόρειοι άνεμοι στο κεντρικό και Νότιο Αιγαίο και βορειοδυτικοί στο νοτιοανατολικό τμήμα. Οι επικρατούντες άνεμοι στο Ιόνιο είναι βορειοδυτικοί και συγκλίνουν με βόρειους βορειοανατολικούς ανέμους στα νότια της Πελοποννήσου, όπου εντοπίζεται ένα δευτερεύον μέγιστο της ταχύτητας του ανέμου. Το βασικό μέγιστο παρατηρείται στο Βορειοανατολικό και κεντρικό Αιγαίο, ενώ έντονοι άνεμοι παρατηρούνται και στο νότιο τμήμα της Κρήτης και στην περιοχή ανάμεσα στα Δωδεκάνησα και την ανατολική Κρήτη. Σε ό,τι αφορά τον ηπειρωτικό κορμό της χώρας, στην Λακωνία, την Κρήτη, και τμήμα της Στερεάς Ελλάδας πνέουν αρκετά ισχυροί άνεμοι.

Κατά το φθινόπωρο (Σχήμα Παρ.78 - e) οι επικρατούντες άνεμοι εξακολουθούν να έχουν ίδια διεύθυνση με το καλοκαίρι στην περιοχή του Αιγαίου, ενώ στο Ιόνιο πνέουν δυτικοί άνεμοι. Οι πιο ισχυροί άνεμοι εντοπίζονται στο Βορειοανατολικό και κεντρικό Αιγαίο (επικράτηση Ετησίων ανέμων κυρίως στην αρχή του φθινόπωρου), στην περιοχή των Κυκλάδων και ανατολικά της Κρήτης. Η προσομοίωση Combine_10km προσομοιώνει τα χαρακτηριστικά του ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε σχέση με την προσομοίωση Combine_25km. Και στις δύο προσομοιώσεις, στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της χώρας πνέουν άνεμοι χαμηλής έντασης, ενώ η προσομοίωση Combine_10km εντοπίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια τους ισχυρότερους ανέμους.



Σχήμα 5.3. Μέσοι χάρτες ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας (°C), βροχόπτωσης (mm/season) και ταχύτητας (m/s) - διεύθυνσης ανέμου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού την περίοδο 1981-2000 για τις προσομοιώσεις Combine_25km και Combine_10km

5.2.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Από τη σύγκριση της προσομοίωσης Combine_25km, με χωρική ανάλυση $25 \times 25km$, με την προσομοίωση υψηλής ανάλυσης Combine_10km (χωρική ανάλυση $10 \times 10km$) προκύπτει μια σειρά συμπερασμάτων, η οποία υπογραμμίζει την αναγκαιότητα της χρήσης κλιματικών μοντέλων με υψηλή ανάλυση σε περιοχές με πολύπλοκο ανάγλυφο όπως είναι η Ελλάδα. Συγκεκριμένα, η προσομοίωση Combine_10km προσομοιώνει πιο ικανοποιητικά τις χαμηλές θερμοκρασίες σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (π.χ. Πίνδος, Όλυμπος) τόσο κατά τη διάρκεια του χειμώνα όσο και τις υπόλοιπες εποχές του έτους. Επιπρόσθετα, η προσομοίωση Combine_10km διαθέτει ένα πιο πυκνό δίκτυο σημείων πλέγματος που καλύπτουν περισσότερο τα νησιά στο Αιγαίο (αναγνώριση νησιών ως ξηρά λόγω της μεγαλύτερης λεπτομέρειας στο ανάγλυφο σε σχέση με την προσομοίωση Combine_25km) με αποτέλεσμα να φαίνονται οι θερμοκρασιακές διαφορές με τη θάλασσα (υψηλότερες ελάχιστες, μέγιστες και μέσες θερμοκρασίες στη θάλασσα κατά τη διάρκεια του έτους). Η προσομοίωση Combine_10km παρουσιάζει επίσης μια πιο λεπτομερή κατανομή της θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης και ειδικότερα κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες.

Στην περίπτωση του υετού, η προσομοίωση Combine_10km παρουσιάζει μεγαλύτερη ικανότητα στην αναπαράσταση της κατανομής της βροχόπτωσης και στην προσομοίωση υψηλών ποσών βροχής σε περιοχές όπως η Πίνδος, ο Όλυμπος, η Ροδόπη και τα Λευκά Όρη. Ο μεγαλύτερος αριθμός σημείων πλέγματος σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο εντοπίζει πιο εύκολα αυτές τις ορεινές περιοχές και την τοπογραφία τους, οι οποίες επηρεάζονται κυρίως από τις υγρές θαλάσσιες αέριες μάζες που κινούνται προς την ενδοχώρα και έχουν ως αποτέλεσμα τα υψηλά ποσά υετού στην προσήνεμη πλευρά των ορεινών όγκων. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού που είναι μια εποχή που χαρακτηρίζεται από ξηρασία, η προσομοίωση Combine_10km προσομοιώνει αρκετά ικανοποιητικά τη βροχόπτωση που οφείλεται σε θερμικές καταιγίδες (βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης).

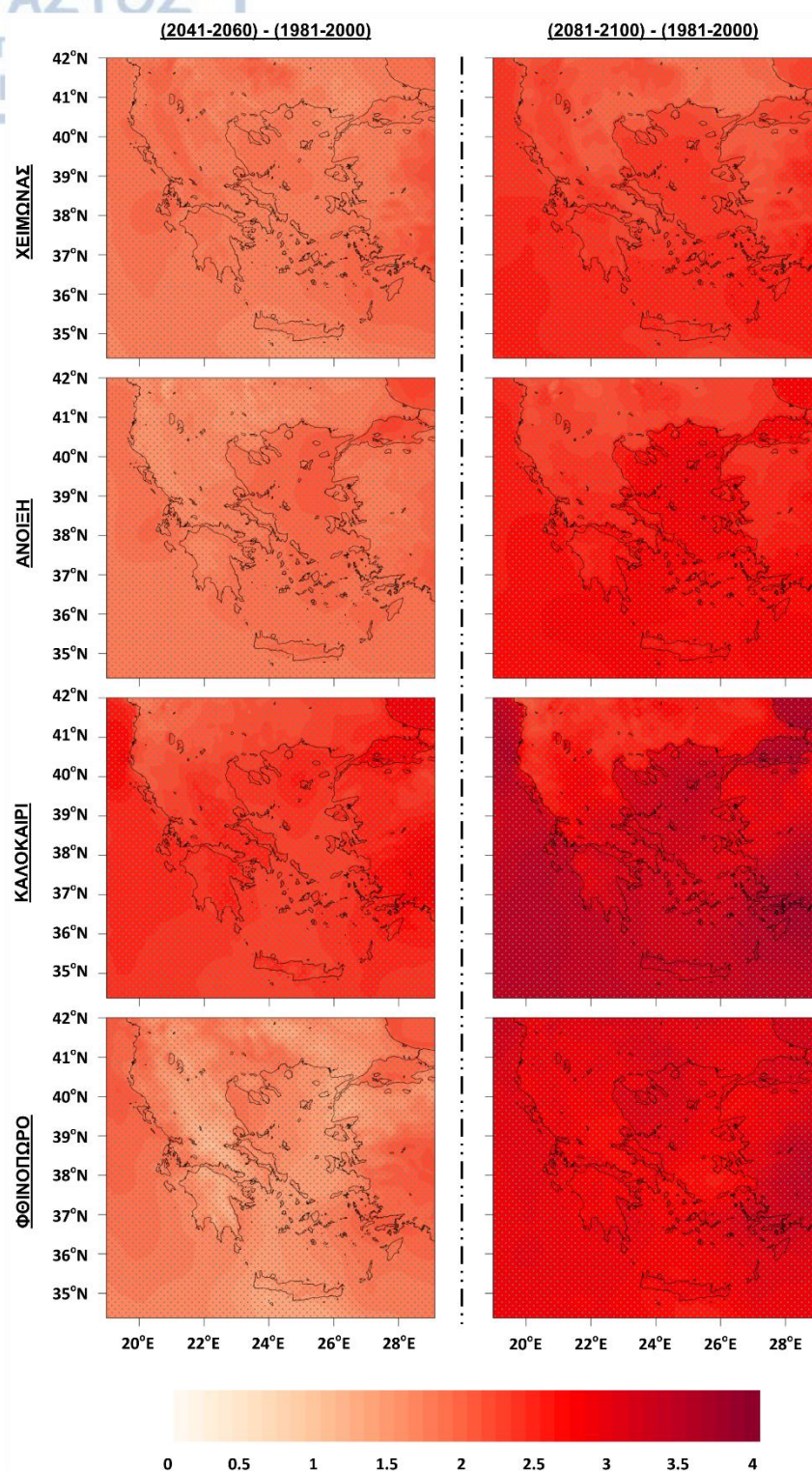
Τέλος, σε ό,τι αφορά την ανάλυση του ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) οι δύο προσομοιώσεις παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή των επικρατούντων ανέμων σε όλη τη διάρκεια του έτους. Παρόλα αυτά, η προσομοίωση Combine_10km προσομοιώνει με

μεγαλύτερη λεπτομέρεια την ταχύτητα του ανέμου και δίνει μεγαλύτερη έμφαση στα μέγιστα που εντοπίζονται στις θαλάσσιες περιοχές (κυρίως στο Αιγαίο), καθώς εντοπίζει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα τοπικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το κλίμα της περιοχής μελέτης. Ο ηπειρωτικός κορμός χαρακτηρίζεται γενικά από ανέμους χαμηλής έντασης στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, ενώ κατά τη διάρκεια του έτους παρατηρούνται πιο ισχυροί άνεμοι σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (περισσότερο εμφανές στην προσομοίωση Combine_10km).

5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ (2041-2060 & 2081-2100)

5.3.1 Θερμοκρασία (Air temperature)

Σε ό,τι αφορά τη θερμοκρασία στην Ελλάδα, όπως είναι αναμενόμενο παρουσιάζει αύξηση σε όλη την περιοχή μελέτης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη μελλοντική περίοδο, με την αύξηση να είναι πιο έντονη (έως και 3.5°C) στο τέλος του 21^{ου} αιώνα. Συγκεκριμένα, κατά το χειμώνα της πρώτης μελλοντικής περιόδου (Σχήμα 5.4 - αριστερά) παρατηρείται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1.5 με 2°C σε όλη την περιοχή μελέτης. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη δυτική πλευρά της Πίνδου, στη ζώνη της Ροδόπης, στο Ιόνιο και στα Δωδεκάνησα. Παρόμοια είναι η εικόνα στην περίπτωση της ελάχιστης (Σχήμα Παρ.79 - αριστερά) και μέγιστης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.80 - αριστερά). Η μεγαλύτερη άνοδος της θερμοκρασίας παρατηρείται στις ελάχιστες θερμοκρασίες ($> 2^{\circ}\text{C}$) κυρίως στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας, ενώ η αύξηση των μέγιστων θερμοκρασιών δεν ξεπερνά τους 1.8 με 1.9°C . Και κατά τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (Σχήμα 5.4 - δεξιά) η μέση θερμοκρασία της Ελλάδας αυξάνεται (έως και κατά 2.5°C) στον Ελληνικό χώρο. Η αύξηση αυτή είναι πιο έντονη στις θαλάσσιες περιοχές (Αιγαίο και Ιόνιο), στη δυτική Ελλάδα, στην Πελοπόννησο και στην Κρήτη. Οι ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.79 - δεξιά) παρουσιάζουν και πάλι την μεγαλύτερη άνοδο σε σχέση με τις μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.80 - δεξιά). Συγκεκριμένα, η αύξηση που εντοπίζεται στις ελάχιστες θερμοκρασίες κυμαίνεται μεταξύ 2 και 2.5°C σε όλη την περιοχή μελέτης, ενώ οι μέγιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν αύξηση της τάξεως των 1.5 με 2°C στη Βόρεια Ελλάδα και 2 με 2.5°C στη Νότια Ελλάδα, το Αιγαίο και το Ιόνιο.



Σχήμα 5.4. Εποχιακοί χάρτες διαφορών (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) για τη μέση θερμοκρασία (°C) από την προσομοίωση Combine_10km ανάμεσα στις δύο μελλοντικές περιόδους (2041-2060 & 2081-2100) και την περίοδο αναφοράς (1981-2000). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και κατά τη διάρκεια της άνοιξης στην πρώτη μελλοντική περίοδο (2041-2060). Οι μέσες θερμοκρασίες (Σχήμα 5.4 - αριστερά) στον Ελληνικό χώρο παρουσιάζουν αύξηση σε όλη την περιοχή μελέτης, η οποία είναι πιο έντονη κυρίως στο Αιγαίο, στην Κρήτη και στο Βόρειο Ιόνιο (κατά μέσο όρο 2°C). Επιπρόσθετα, οι ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.79 - αριστερά) παρουσιάζουν μεγαλύτερη αύξηση και στο βόρειο τμήμα του ηπειρωτικού κορμού της χώρας, ενώ η αύξηση των μέγιστων θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Σχήμα Παρ.80 - αριστερά) δεν θα ξεπεράσει τους 1.5°C στην ηπειρωτική χώρα. Την τελευταία εικοσαετία του 21^{ου} αιώνα (2081-2100), η μέση (Σχήμα 5.4 - δεξιά) και ελάχιστη θερμοκρασία (Σχήμα Παρ.79 - δεξιά) προβλέπεται να αυξηθεί κατά μέσο όρο 2.4°C στο μεγαλύτερο μέρος της ηπειρωτικής Ελλάδας, με την άνοδο της θερμοκρασίας στις θαλάσσιες περιοχές να κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 2.9°C . Αξίζει να σημειωθεί ότι στη Βόρεια Ελλάδα και στη Θεσσαλία η αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας δεν θα ξεπεράσει τους 2.1°C , ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης παρατηρείται άνοδος της τάξεως των 2.7 έως 2.9°C (Σχήμα Παρ.80 - δεξιά).

Οι καλοκαιρινές μελλοντικές προβολές για την πρώτη μελλοντική περίοδο εκτιμούν αύξηση της μέσης (Σχήμα 5.4 - αριστερά), ελάχιστης (Σχήμα Παρ.79 - αριστερά) και μέγιστης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.80 - αριστερά) από το βόρειο τμήμα της χώρας (1.8 με 2.2°C) προς το νότιο (έως 2.5°C). Κατά τη δεύτερη μελλοντική περίοδο η περιοχή μελέτης θα αντιμετωπίσει τη μεγαλύτερη θέρμανση, η οποία θα είναι πιο έντονη στις θαλάσσιες περιοχές. Συγκεκριμένα, οι μέσες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Σχήμα 5.4 - δεξιά) θα παρουσιάσουν αύξηση κατά μέσο όρο 2.5°C στο βόρειο τμήμα της χώρας, ενώ στη Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο η αύξηση θα φτάσει και τους 3°C . Επιπρόσθετα, η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας στις θαλάσσιες περιοχές (Αιγαίο και Ιόνιο) και στην Κρήτη κυμαίνεται μεταξύ 3 και 3.5°C . Αντίστοιχη αύξηση παρατηρείται και στην περίπτωση των ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών, με τις ελάχιστες θερμοκρασίες να παρουσιάζουν την πιο έντονη αύξηση. Πιο αναλυτικά, οι ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.79 - δεξιά) παρουσιάζουν ανοδική πορεία στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας που κυμαίνεται μεταξύ 2.8 και 3.2°C , ενώ στις θαλάσσιες περιοχές εντοπίζεται κατά μέσο όρο αύξηση 3.2°C στο Αιγαίο και 3.6°C σε Ιόνιο και Δωδεκάνησα. Σε ό,τι αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα Παρ.80 - δεξιά) η αύξηση

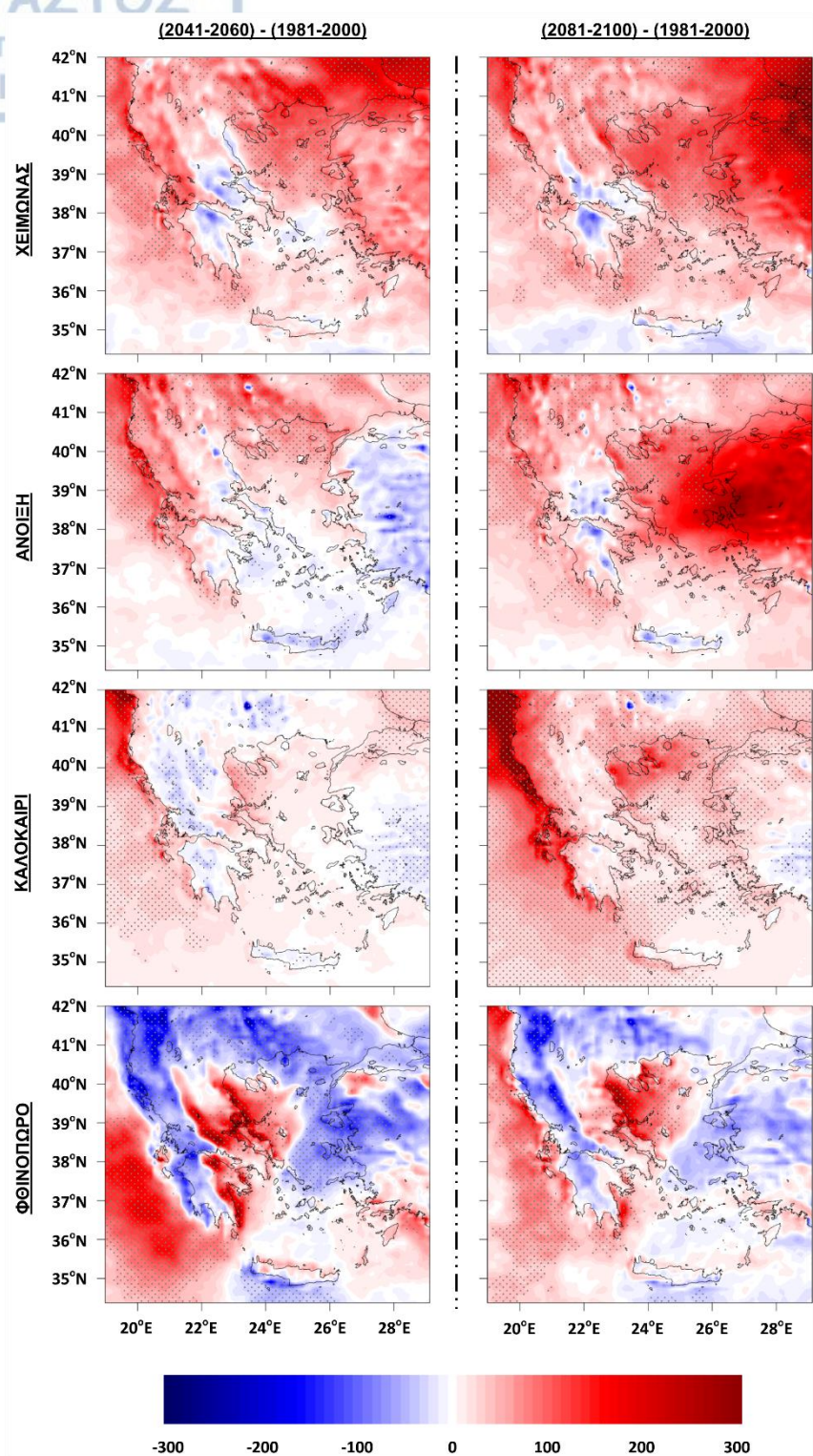
στον ηπειρωτικό κορμό δεν θα ξεπεράσει τους 2.5°C με εξαίρεση τη Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο, όπου η άνοδος της μέγιστης θερμοκρασίας θα φτάσει σε κάποια σημεία και τους 3°C . Επιπλέον, οι θαλάσσιες περιοχές και η Κρήτη χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη αύξηση των μέγιστων θερμοκρασιών σε σχέση με την ηπειρωτική Ελλάδα.

Το φθινόπωρο της εικοσαετίας 2041-2060 χαρακτηρίζεται από μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με τις άλλες εποχές. Η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 5.4 - αριστερά), σύμφωνα με τις μελλοντικές προβολές της προσομοίωσης Combine_10km για την πρώτη μελλοντική περίοδο, κυμαίνεται μεταξύ 1 και 1.5°C στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της χώρας, στο Βορειανατολικό Αιγαίο, στο Νότιο Αιγαίο (Κυκλάδες) και στο Κρητικό πέλαγος. Επιπρόσθετα, στο δυτικό τμήμα της Ελλάδας, στην κεντρική Μακεδονία, στο Βόρειο Αιγαίο και στα Δωδεκάνησα η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας φτάνει τους 2°C . Στην περίπτωση των ελάχιστων θερμοκρασιών (Σχήμα Παρ.79 - αριστερά), το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από άνοδο της τάξεως των 1.2 με 1.7°C , ενώ υπάρχουν περιοχές όπως είναι το Βόρειο Αιγαίο, το Ιόνιο, τα Δωδεκάνησα και η δυτική Πελοπόννησος που χαρακτηρίζονται από αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας έως και 2°C . Η άνοδος των μέγιστων θερμοκρασιών (Σχήμα Παρ.80 - αριστερά) στην κεντρική Μακεδονία, τη δυτική Ελλάδα και το Ιόνιο κυμαίνεται μεταξύ 1.9 και 2°C , ενώ στο Αιγαίο, στη Θράκη και στη Θεσσαλία παρατηρείται αύξηση κατά μέσο όρο 1.4°C . Αξίζει να σημειωθεί ότι στη Στερεά Ελλάδα, στην Πελοπόννησο και στη δυτική πλευρά της Κρήτης, η αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας δεν θα ξεπεράσει τον 1°C . Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών του 21^{ου} αιώνα, οι μέσες θερμοκρασίες του φθινόπωρου (Σχήμα 5.4 - δεξιά) χαρακτηρίζονται από άνοδο που φτάνει και τους 3°C σε μεγάλο μέρος της Ελλάδας, ενώ σε περιοχές όπως η Θεσσαλία, η Πελοπόννησος, η δυτική Κρήτη και το Νότιο Αιγαίο, η αύξηση κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 2.8°C . Παρόμοια είναι η εικόνα των ελάχιστων θερμοκρασιών (Σχήμα Παρ.79 - δεξιά) όπου στην περιοχή μελέτης παρατηρείται αύξηση της τάξεως των 2.8 με 3.2°C . Στην περίπτωση της μέγιστης θερμοκρασίας (Σχήμα Παρ.80 - δεξιά), η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίζεται στη δυτική Ελλάδα, την κεντρική Μακεδονία, τη Θράκη και το Βόρειο Αιγαίο ($> 3^{\circ}\text{C}$), ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης παρατηρείται αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά μέσο όρο 2.6°C .

5.3.2 Συνολική βροχόπτωση (Total precipitation)

Στην περίπτωση της μελλοντικής κατανομής του υετού στον Ελληνικό χώρο το χειμώνα (Σχήμα 5.5 - αριστερά), κατά τη διάρκεια της πρώτης μελλοντικής περιόδου (2041-2060) παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Η μεγαλύτερη αύξηση του υετού (100 έως 200 mm) παρατηρείται σε περιοχές όπως η Θράκη, η ζώνη της Ροδόπης, τμήματα της Βόρειας Ελλάδας, η Πίνδος (σημεία με μεγάλο υψόμετρο και η προσήνεμη πλευρά), το Βόρειο Αιγαίο και το Ιόνιο με έμφαση κυρίως στις παράκτιες περιοχές (η αύξηση αυτή αντιστοιχεί στο 10 - 30% σε ποσοστιαία κλίμακα, ενώ στη Θράκη φτάνει το 40%). Επιπρόσθετα, εντοπίζεται μείωση της βροχόπτωσης της τάξεως των -50 έως -130 mm (-5 έως -15%) σε τμήμα της βόρειας και κεντρικής Πελοποννήσου (μεγαλύτερη μείωση στο όρος Χελμός), της Στερεάς Ελλάδας και της Θεσσαλίας, καθώς και στη βόρεια Εύβοια και στις βόρειες Κυκλάδες. Αντίστοιχη είναι η εικόνα και την τελευταία 20ετία του 21^{ου} αιώνα (2081-2100), όπου κατά τους χειμερινούς μήνες (Σχήμα 5.5 - δεξιά) παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης έως 100 mm στην περιοχή μελέτης (5 - 20%) με εξαίρεση τη Στερεά Ελλάδα, τη βόρεια και κεντρική Πελοπόννησο, τη βόρεια Εύβοια και τη νότια πλευρά της Κρήτης όπου ο υετός ελαττώνεται (έως -130 mm που αντιστοιχεί σε ποσοστό από -5 έως -15%).

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης την πρώτη μελλοντική περίοδο (Σχήμα 5.5 - αριστερά) ο υετός αναμένεται να αυξηθεί σε μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης, με την αύξηση αυτή να είναι πιο έντονη στη ζώνη της Ροδόπης, στην Πίνδο και στις παράκτιες περιοχές του Ιονίου (100 έως 200 mm που αντιστοιχούν σε ποσοστό 10 - 25%). Αντίθετα, μείωση του υετού εντοπίζεται σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο (Όλυμπος, Βέρμιο, Όθρυς, Χελμός), στην Αττική, στην Εύβοια, στη νοτιοανατολική Πελοπόννησο, στην Κρήτη (πιο έντονη μείωση στις οροσειρές), στο Νότιο Αιγαίο, καθώς και στα νησιά του Αιγαίου (-5 έως -15%). Την τελευταία εικοσαετία του 21^{ου} αιώνα (Σχήμα 5.5 - δεξιά) παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης (10 - 20%) στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης και στο Ιόνιο, ενώ πιο έντονη αύξηση εντοπίζεται στο Βόρειο και κεντρικό Αιγαίο (η αύξηση ξεπερνάει και τα 250 mm που αντιστοιχεί σε αύξηση της τάξεως του 50 - 80%). Τμήματα της Στερεάς Ελλάδας, της Πελοποννήσου και της Κρήτης, καθώς και σημεία με υψηλό υψόμετρο στο βόρειο τμήμα της χώρας παρουσιάζουν ελάττωση των υψών βροχής έως και -100 mm (έως -20%).



Σχήμα 5.5. Εποχιακοί χάρτες διαφορών (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) για τη βροχόπτωση (mm/season) από την προσομοίωση Combine_10km ανάμεσα στις δύο μελλοντικές περιόδους (2041-2060 & 2081-2100) και την περίοδο αναφοράς (1981-2000). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Τους καλοκαιρινούς μήνες της πρώτης μελλοντικής περιόδου (Σχήμα 5.5 - αριστερά), η περιοχή μελέτης οδηγείται σε ξηρότερες συνθήκες στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας καθώς εντοπίζεται μείωση της βροχόπτωσης (-20 έως -30%), ενώ στο Αιγαίο, στο Ιόνιο, στη Θράκη, στην Εύβοια και σε τμήμα της Στερεάς Ελλάδας παρατηρείται αύξηση του υετού σε ποσοστό $20 - 30\%$. Η πιο έντονη αύξηση εντοπίζεται στο Βόρειο Ιόνιο στις παράκτιες περιοχές (έως και 60%). Κατά τη διάρκεια της δεύτερης μελλοντικής περιόδου (2081-2100), το καλοκαίρι χαρακτηρίζεται από μια γενική αύξηση των υψών βροχής στην περιοχή μελέτης (Σχήμα 5.5 - δεξιά). Η αύξηση αυτή είναι πιο έντονη στις παράκτιες περιοχές του Ιονίου και στο Βόρειο Αιγαίο (κυμαίνεται περίπου μεταξύ 100 και 200 mm που αντιστοιχούν σε $30 - 50\%$ αύξηση σε ποσοστιαία κλίμακα, ενώ σε σημεία ξεπερνάει και τα 300 mm που αντιστοιχούν σε ποσοστό 120%). Επιπρόσθετα, μικρή μείωση του υετού (έως -15%) εντοπίζεται στον Όλυμπο, στο όρος Χελμός και στην προσήνεμη πλευρά του Ταΰγετου.

Το φθινόπωρο, τόσο στην πρώτη όσο και στη δεύτερη μελλοντική περίοδο, παρατηρείται αύξηση ή μείωση των υψών βροχής ανάλογα με την περιοχή. Συγκεκριμένα, κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο (2041-2060) το βόρειο και το δυτικό (προσήνεμη πλευρά Πίνδου) τμήμα της περιοχής μελέτης, καθώς και το Βορειοανατολικό και κεντρικό Αιγαίο, και η περιοχή νότια της Κρήτης χαρακτηρίζονται από έντονη ελάττωση του υετού (Σχήμα 5.5 - αριστερά), η οποία σε σημεία φτάνει και τα 250 mm (-10 έως -25%). Αντίθετα το Ιόνιο, το Βορειοδυτικό Αιγαίο, τα Δωδεκάνησα, η βόρεια Κρήτη, η ανατολική Πελοπόννησος και η υπήνεμη πλευρά της Πίνδου (περιοχή ομβροσκιάς) παρουσιάζουν αύξηση της βροχόπτωσης σε ποσοστό $10 - 20\%$, η οποία σε αρκετά σημεία της περιοχής μελέτης ξεπερνάει και τα 350 mm (έως και 50%). Παρόμοια είναι η εικόνα της κατανομής της βροχόπτωσης και στη δεύτερη μελλοντική περίοδο (Σχήμα 5.5 - δεξιά) με τις αλλαγές να μην είναι τόσο έντονες (μείωση έως -20% στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της χώρας και αύξηση που φτάνει περίπου το 40% στο Βορειοδυτικό Αιγαίο).

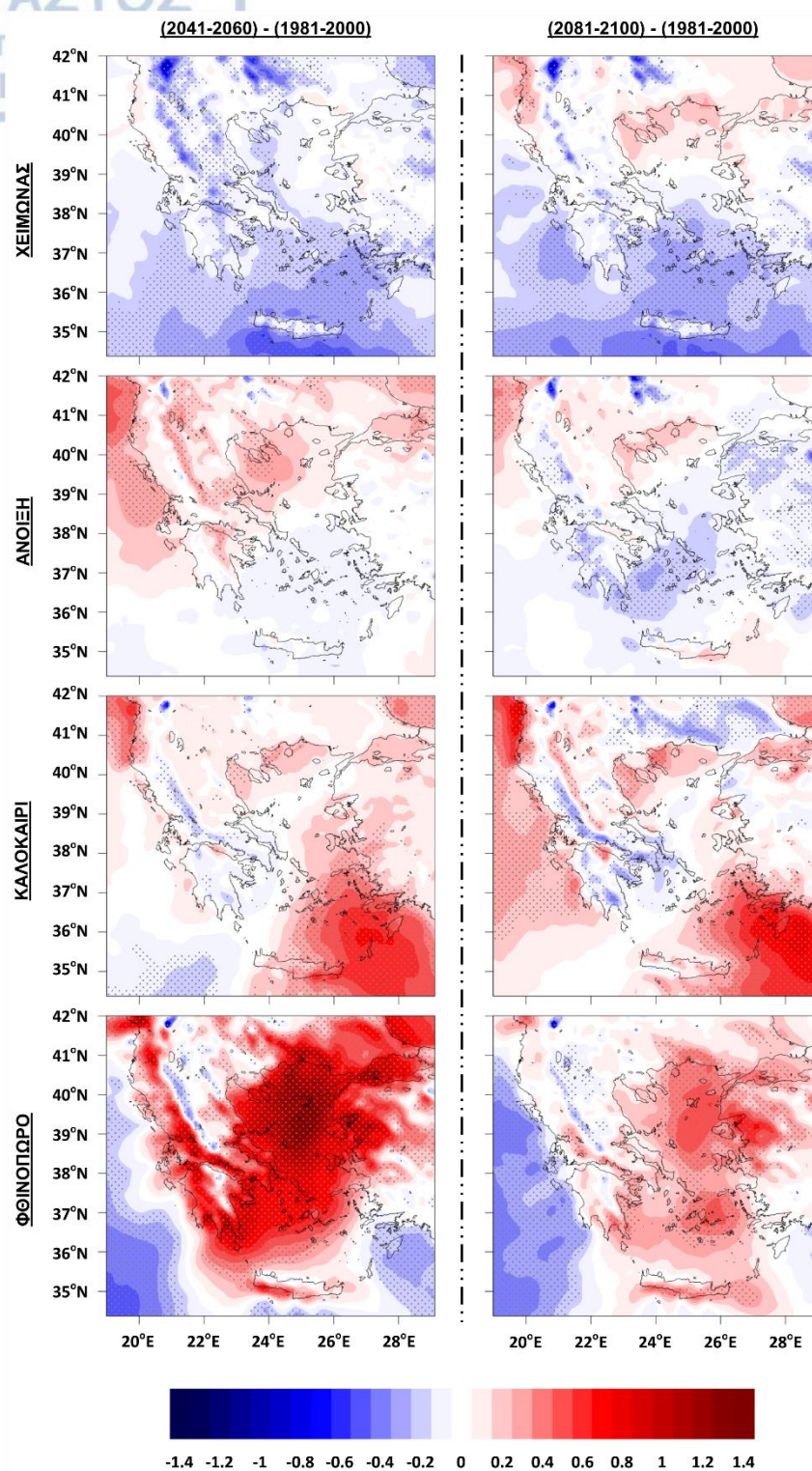
5.3.3 Ταχύτητα ανέμου (Wind speed)

Σε ό,τι αφορά τον άνεμο στην Ελληνική περιοχή, τον χειμώνα της πρώτης μελλοντικής περιόδου (Σχήμα 5.6 - αριστερά), η προσομοίωση Combine_10km παρουσιάζει μείωση της ταχύτητας του ανέμου σε όλη την περιοχή μελέτης. Η μείωση αυτή είναι πιο έντονη στο Νότιο Αιγαίο, στο Νότιο Ιόνιο και στη θαλάσσια περιοχή νότια της Κρήτης, ενώ στον

ηπειρωτικό κορμό η μείωση εντοπίζεται κυρίως σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο στη Βόρεια Ελλάδα, τη Θεσσαλία και τη Στερεά Ελλάδα. Πολύ μικρή αύξηση της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται σε τμήματα της Θράκης και της Ηπείρου. Για τη δεύτερη μελλοντική περίοδο, ο χειμώνας (Σχήμα 5.6 - δεξιά) χαρακτηρίζεται από μικρή μείωση της ταχύτητας του ανέμου στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της χώρας, ενώ πιο έντονη μείωση εντοπίζεται και πάλι στο Νότιο Αιγαίο, στη θαλάσσια περιοχή νότια της Κρήτης και στο Νότιο Ιόνιο. Επιπρόσθετα, παρατηρείται αύξηση της έντασης του ανέμου σε τμήμα της Ηπείρου, στο Βόρειο Αιγαίο και σε τμήματα της Θράκης και της Βόρειας Ελλάδας, τα οποία βρίσκονται πιο κοντά στη θάλασσα.

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης, η πρώτη μελλοντική περίοδος (2041-2060) χαρακτηρίζεται από μια γενική αύξηση της έντασης του ανέμου στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης (Σχήμα 5.6 - αριστερά). Συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση σε όλο τον ηπειρωτικό κορμό, η οποία είναι πιο έντονη στην Πίνδο και σε τμήματα της Βόρειας Ελλάδας, της Θεσσαλίας και της Πελοποννήσου, ενώ αύξηση παρατηρείται επίσης στο Ιόνιο και το Βόρειο Αιγαίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι μια πολύ μικρή μείωση εντοπίζεται στο Νότιο Αιγαίο. Στο τέλος του 21^{ου} αιώνα (Σχήμα 5.6 - δεξιά) παρατηρείται εξασθένηση των ανέμων στη δυτική Ελλάδα, τη Πελοπόννησο, τη δυτική Κρήτη και το κεντρικό και Νότιο Αιγαίο (μεγαλύτερη εξασθένηση στην περιοχή των Κυκλάδων και στο Μυρτώο πέλαγος), ενώ μικρή αύξηση της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται στη Βόρεια Ελλάδα, στην ανατολική πλευρά της Κρήτης και σε τμήμα του Βόρειου Αιγαίου.

Η πρώτη μελλοντική περίοδος, τους θερμούς μήνες του έτους (Σχήμα 5.6 - αριστερά), χαρακτηρίζεται από μικρή μείωση της ταχύτητας του ανέμου στη δυτική Ελλάδα, τη Στερεά Ελλάδα, την Εύβοια και την Πελοπόννησο, ενώ στον υπόλοιπο ηπειρωτικό κορμό, στο Βόρειο Αιγαίο και το Βόρειο Ιόνιο παρατηρείται αύξηση της έντασης του ανέμου. Ιδιαίτερη ενίσχυση των ανέμων εντοπίζεται στην Κρήτη και το Νότιο Αιγαίο (και ιδιαίτερα στο Καρπάθιο πέλαγος και στα Δωδεκάνησα). Κατά τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2081-2100) παρατηρείται το ίδιο μοτίβο στην ένταση του ανέμου με την πρώτη μελλοντική περίοδο (2041-2060), με τη διαφορά ότι η ενίσχυση ή εξασθένηση των ανέμων είναι πιο έντονη σε σχέση με την πρώτη περίοδο (Σχήμα 5.6 - δεξιά). Επιπρόσθετα, αύξηση της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται στο Ιόνιο, ενώ η Θράκη και η ζώνη της Ροδόπης χαρακτηρίζονται από μείωση της έντασης των ανέμων.



Σχήμα 5.6. Εποχιακοί χάρτες διαφορών (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) για την ταχύτητα του ανέμου (m/s) από την προσομοίωση Combine_10km ανάμεσα στις δύο μελλοντικές περιόδους (2041-2060 & 2081-2100) και την περίοδο αναφοράς (1981-2000). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

Το φθινόπωρο της πρώτης μελλοντικής περιόδου (Σχήμα 5.6 - αριστερά) οι άνεμοι ενισχύονται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Η ενίσχυση αυτή είναι πιο έντονη στο Βόρειο Αιγαίο, στη Θράκη, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Πελοποννήσου και σε τμήμα της δυτικής Ελλάδας. Επιπρόσθετα, μείωση της έντασης του ανέμου παρατηρείται στο μεγαλύτερο μέρος του Ιονίου, στη θαλάσσια περιοχή της Ρόδου, στην Πίνδο και σε τμήματα της Βόρειας Ελλάδας. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στην περίπτωση της τελευταίας εικοσαετίας του 21^{ου} αιώνα (2081-2100) όμως η ενίσχυση των ανέμων δεν είναι τόσο έντονη (Σχήμα 5.6 - δεξιά). Επιπλέον ασθενέστεροι άνεμοι εντοπίζονται στο Ιόνιο, ενώ οι αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου στον κύριο ηπειρωτικό κορμό της χώρας δεν είναι μεγάλες.

5.3.4 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Σε ό,τι αφορά τις μελλοντικές αλλαγές στις υπό εξέταση παραμέτρους σύμφωνα με τις μελλοντικές προβολές (σενάριο RCP4.5) της προσομοίωσης Combine_10km, προκύπτει μια σειρά συμπερασμάτων για την πορεία της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της ταχύτητας του ανέμου για τις μελλοντικές περιόδους 2041-2060 και 2081-2100. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία (μέση, ελάχιστη, μέγιστη) αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον σε όλη την περιοχή μελέτης. Η αύξηση αυτή θα είναι πιο έντονη κατά τη δεύτερη μελλοντική περίοδο. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όπως αναμένεται, η θέρμανση θα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες εποχές (έως και $3.6^{\circ}C$). Οι θαλάσσιες περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με τον ηπειρωτικό κορμό στις περισσότερες περιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ελάχιστες θερμοκρασίες αναμένεται να παρουσιάσουν μεγαλύτερη άνοδο σε σχέση με τις μέγιστες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Στην περίπτωση του υετού παρατηρείται μια γενική αύξηση των υψών βροχής κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης και στις δύο μελλοντικές περιόδους στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, ενώ στο νότιο τμήμα του ηπειρωτικού κορμού της χώρας τα ύψη βροχής αναμένεται να μειωθούν. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται μείωση στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ οι θαλάσσιες περιοχές χαρακτηρίζονται από αύξηση του υετού, η οποία είναι πιο έντονη στο Ιόνιο και στο Βορειοδυτικό Αιγαίο. Αντίθετα, κατά την τελευταία εικοσαετία του 21^{ου} αιώνα, ο υετός παρουσιάζει αύξηση στην Ελληνική περιοχή και ιδιαίτερα στο Βόρειο Αιγαίο και στο Ιόνιο με έμφαση της παραθαλάσσιες

περιοχές. Οι μελλοντικές προβολές για το φθινόπωρο δείχνουν ότι η βόρεια και δυτική πλευρά της ηπειρωτικής χώρας, καθώς και το Βορειοανατολικό Αιγαίο οδηγούνται σε ξηρότερες συνθήκες, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης η βροχόπτωση θα παρουσιάσει αύξηση.

Τέλος, δεν παρατηρείται πολύ μεγάλη αλλαγή στην ταχύτητα του ανέμου κατά τις δύο μελλοντικές περιόδους. Αναμένονται ασθενέστεροι άνεμοι (έως -0.7 m/s) σε όλη την περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια του χειμώνα της πρώτης μελλοντικής περιόδου, ενώ παρόμοια είναι η εικόνα και τη δεύτερη μελλοντική περίοδο με τη διαφορά ότι η ταχύτητα του ανέμου στο Βόρειο Αιγαίο παρουσιάζει αύξηση. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της άνοιξης αναμένεται μια γενική ενίσχυση των ανέμων (έως 0.25 m/s) στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης με εξαίρεση το Νότιο Αιγαίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενίσχυση των Ετησίων ανέμων είναι εμφανής στο Αιγαίο (έως 1.25 m/s).

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Η ανάδειξη της αναγκαιότητας για αύξηση της χωρικής ανάλυσης των περιοχικών κλιματικών μοντέλων έτσι ώστε να παραχθούν πιο λεπτομερείς κλιματικές προβολές σε περιοχές με πολύπλοκη τοπογραφία, πραγματοποιήθηκε μέσα από τη σύγκριση της προσομοίωσης Combine_25km με την προσομοίωση υψηλής ανάλυσης Combine_10km για την Ελληνική περιοχή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο αυτών προσομοιώσεων φάνηκε ότι η προσομοίωση Combine_10km παρουσιάζει μεγαλύτερη ικανότητα στην προσομοίωση των χαμηλών θερμοκρασιών σε περιοχές όπου το υψόμετρο είναι μεγάλο, το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με την έρευνα των Tolika et al. (2016). Επιπρόσθετα, το πυκνότερο δίκτυο σημείων πλέγματος που καλύπτει τη θάλασσα στην προσομοίωση Combine_10km έχει ως αποτέλεσμα τα νησιά που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης να θεωρούνται ως γη (σε σχέση με την προσομοίωση Combine_25km όπου λόγω χαμηλότερης ανάλυσης τα νησιά κατά κύριο λόγο θεωρούνται θάλασσα), κάτι που βρίσκεται σε συμφωνία με τη μελέτη των Cantet et al. (2014). Κατά συνέπεια, οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ νησιών (ξηράς) και θάλασσας είναι ορατές. Αντίστοιχα, οι Barrera-Escoda et al. (2014) μελέτησαν την περιοχή της βορειοδυτικής Μεσογείου, μια περιοχή με ιδιαίτερη τοπογραφία και σημαντική μεταβλητότητα στη θερμοκρασία και τη

βροχόπτωση, και παρατήρησαν ότι το μοντέλο με ανάλυση 10 km προσομοιώνει σημαντικές διαφορές στη θερμοκρασία και στη βροχόπτωση στις γειτονικές περιοχές.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της προσομοίωσης υψηλότερης ανάλυσης Combine_10km είναι η ικανότητα να προσομοιώνει πιο ικανοποιητικά την κατανομή της βροχόπτωσης. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα της έρευνας των Torma et al. (2011), οι οποίοι ύστερα από έλεγχο του υψηλής χωρικής ανάλυσης περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 στην περιοχή των Καρπαθίων, κατέληξαν ότι το μοντέλο αναπαράγει τη χωρική κατανομή των ξηρών και υγρών περιόδων στην περιοχή μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με την προσομοίωση Combine_25km, η προσομοίωση Combine_10km εντοπίζει τη βροχόπτωση που οφείλεται σε θερμικές καταιγίδες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών που χαρακτηρίζονται κυρίως από ξηρασία. Αντίστοιχα είναι και τα ευρήματα της έρευνας των Tolika et al. (2016), οι οποίοι έδειξαν ότι η προσομοίωση με χωρική ανάλυση $25 \times 25 \text{ km}$ δεν μπορεί να εντοπίσει τις θερμικές καταιγίδες και παρουσιάζει μια ενιαία κατανομή της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης.

Τέλος, σημαντική αποδεικνύεται η χρήση ενός περιοχικού κλιματικού μοντέλου με υψηλή ανάλυση για την προσομοίωση των χαρακτηριστικών του ανέμου σε περιοχές με ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά, καθώς όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, η προσομοίωση Combine_10km εντοπίζει την κατανομή των επικρατούντων ανέμων στην περιοχή μελέτης και προσομοιώνει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την ταχύτητα του ανέμου. Επιπρόσθετα, δίνεται έμφαση στα μέγιστα της έντασης του ανέμου στις θαλάσσιες περιοχές ως αποτέλεσμα του μεγαλύτερου αριθμού σημείων πλέγματος που καλύπτει την περιοχή. Σε συμφωνία με αυτά τα ευρήματα βρίσκεται η μελέτη των Vagenas et al. (2017).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν και αναλύθηκαν οι μελλοντικές προβολές της προσομοίωσης Combine_10km για την Ελλάδα κατά τις μελλοντικές περιόδους 2041-2060 και 2081-2100. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων των τριών βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, βροχόπτωση και άνεμος) οδήγησε στην εξαγωγή μιας σειράς συμπερασμάτων για τις μελλοντικές αλλαγές του κλίματος. Συγκεκριμένα, αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας στον Ελληνικό χώρο μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, η οποία θα είναι μεγαλύτερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, στοιχείο το οποίο συμφωνεί με τα αποτελέσματα της έρευνας των Tolika et al. (2012) οι οποίοι μελέτησαν μελλοντικές προσομοιώσεις αναφορικά με τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση με τη χρήση ενός

συνόλου RCMs κάτω από τα σενάρια εκπομπών A2, A1B και B2. Η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις να είναι πιο έντονη στις θαλάσσιες περιοχές. Επιπρόσθετα, οι ελάχιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη άνοδο σε σχέση με τις μέγιστες θερμοκρασίες. Στην περίπτωση των υψών βροχής, παρατηρείται αύξηση ή μείωση της βροχόπτωσης ανάλογα την περιοχή και την εποχή. Γενικά παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης σε μεγάλο μέρος της Ελληνικής περιοχής, ενώ τα νότια τμήματα χαρακτηρίζονται από πιο ξηρές συνθήκες. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα των Zanis et al. (2015), οι οποίοι μελέτησαν τις μελλοντικές προβολές για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στον Ελληνικό χώρο με τη χρήση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 με χωρική ανάλυση $10 \times 10km$. Οι μεγαλύτερες αλλαγές στον υετό παρατηρούνται κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, όπου οι μελλοντικές προβολές δείχνουν έντονη μείωση των υψών βροχής στο μεγαλύτερο μέρος του ηπειρωτικού κορμού της χώρας και στο Βορειοανατολικό Αιγαίο, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης τα ύψη βροχής αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά. Τέλος, οι αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου δεν είναι ιδιαίτερα έντονες και στις δύο μελλοντικές περιόδους. Οι χειμερινοί μήνες χαρακτηρίζονται από εξασθένηση του ανέμου στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, ενώ ορατή είναι και η ενίσχυση των Ετησίων ανέμων κυρίως τους τελευταίους μήνες εμφάνισής τους, το οποίο έρχεται σε συμφωνία με την έρευνα των Anagnostopoulou et al. (2014), οι οποίοι μελέτησαν τα μελλοντικά χαρακτηριστικά των Ετησίων ανέμων με τη χρήση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ως βασικοί στόχοι της παρούσας διδακτορικής διατριβής ορίστηκαν η βελτίωση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 ώστε να προσομοιώνει πιο ικανοποιητικά τις διάφορες κλιματικές παραμέτρους για την περιοχή της Μεσογείου, η δημιουργία προσομοιώσεων υψηλής ανάλυσης ($10 \times 10km$) για τον Ελληνικό χώρο ύστερα από την εφαρμογή δυναμικού υποβιβασμού κλίμακας στο περιοχικό κλιματικό μοντέλο, και η ανάπτυξη και ανάλυση των μελλοντικών προβολών του κλίματος στην Ελλάδα ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Πρώτο βήμα αποτέλεσε ο έλεγχος της ικανότητας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 να προσομοιώνει ικανοποιητικά τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στην περιοχή μελέτης με χρήση της βάσης δεδομένων E-OBS, η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ηπειρωτικής Ευρώπης και παρέχει ημερήσια μεσοποιημένα δεδομένα υψηλής ανάλυσης που προέρχονται από το δίκτυο σταθμών του ECA&D. Για το λόγο αυτό αρχικά πραγματοποιήθηκε μια προσομοίωση με χωρική ανάλυση $25 \times 25km$ για την περίοδο 1981-1990, η οποία θεωρήθηκε προσομοίωση αναφοράς (Reference) και χρησιμοποιεί τις αρχικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου, ενώ ως δεδομένα εισόδου SST και ICBC χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim. Στη συνέχεια, έγινε υπολογισμός και χαρτογράφηση των διαφορών ανάμεσα στην προσομοίωση αναφοράς και τα δεδομένα E-OBS. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4 παρουσιάζει κατά κύριο λόγο αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες και μεγαλύτερα ύψη βροχής από τα δεδομένα E-OBS στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, ενώ στην περίπτωση της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας οι διαφορές δεν είναι σημαντικές. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε υπερεκτίμηση των μέγιστων θερμοκρασιών, που φτάνει σε

σημεία και τους 6°C κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και υποεκτίμηση των ελάχιστων θερμοκρασιών (έως και -4°C) κυρίως σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο. Επιπλέον, το μοντέλο υπερεκτιμά έως και στο τριπλάσιο τη βροχόπτωση, ενώ το καλοκαίρι στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης η υπερεκτίμηση είναι τουλάχιστον δεκαπλάσια. Ως αποτέλεσμα, θεωρήθηκε ότι η προσομοίωση αναφοράς δεν προσομοιώνει ικανοποιητικά τα δεδομένα E-OBS (κυρίως θερμοκρασία και βροχόπτωση) και κρίθηκε απαραίτητη η προσπάθεια βελτίωσης του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 για την περιοχή μελέτης.

Για την επίτευξη του βασικού στόχου αυτής της μελέτης, έγινε έλεγχος ευαισθησίας του μοντέλου στα διαφορετικά σχήματα φυσικών παραμετροποιήσεων, με τη χρήση μιας σειράς παραμέτρων που θεωρείται ότι επηρεάζονται από αυτές τις παραμετροποιήσεις (Velikou et al. 2019). Πραγματοποιήθηκαν πέντε διαφορετικές προσομοιώσεις με χωρική ανάλυση $25 \times 25\text{km}$ για την περίοδο 1981-1990. Ως δεδομένα εισόδου για τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (SST) και τις αρχικές και οριακές συνθήκες (ICBC) χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ERA-Interim. Σε κάθε προσομοίωση έγιναν κάποιες αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου που αφορούν το σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης και τις αντίστοιχες υποθέσεις (cumulus convection scheme & closure assumptions), το σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος (planetary boundary layer scheme) και το σχήμα ωκεάνιων ροών (ocean flux scheme). Ο έλεγχος της ευαισθησίας περιλαμβάνει τον υπολογισμό, τη χαρτογράφηση και την σύγκριση των διαφορών μεταξύ των προσομοιώσεων με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις και της προσομοίωσης αναφοράς έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι διαφορές, ενώ η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε πέντε υποπεριοχές ώστε να γίνει μια πιο λεπτομερής αξιολόγηση με τη χρήση των διαγραμμάτων Taylor.

Για τον έλεγχο του σχήματος κατακόρυφης ανάπτυξης του μοντέλου πραγματοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές αλλαγές, καθώς ελέγχθηκε η παραμετροποίηση Grell με δύο διαφορετικές υποθέσεις ευαισθησίας (Arakawa-Schubert και Fritsch-Chappell) και ο συνδυασμός του σχήματος Grell (υπόθεση ευαισθησίας Fritsch-Chappell) με το σχήμα MIT-Emanuel (πάνω από ξηρά και θάλασσα αντίστοιχα). Βασικό χαρακτηριστικό του σχήματος MIT-Emanuel που χρησιμοποιεί η προσομοίωση αναφοράς είναι η δημιουργία πλεονάζουσας βροχόπτωσης στην ξηρά λόγω της δυσκολίας

επιβράδυνσης του σχήματος ύστερα από την ενεργοποίησή του (Elguindi et al. 2014). Αλλάζοντας το συγκεκριμένο σχήμα παρατηρήθηκε μείωση της βροχόπτωσης λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης και με τις τρεις αλλαγές τόσο στις ηπειρωτικές όσο και στις θαλάσσιες περιοχές (Velikou et al. 2019). Παρόλα αυτά, στην περίπτωση της προσομοίωσης Mixed δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες αλλαγές της παραμέτρου στις θαλάσσιες περιοχές καθώς η προσομοίωση αυτή χρησιμοποιεί τον συνδυασμό των σχημάτων Grell και MIT-Emanuel πάνω από ξηρά και θάλασσα αντίστοιχα. Επιπλέον, μελετήθηκαν οι αλλαγές στη συνολική βροχόπτωση, η οποία αποτελεί το άθροισμα του convective και non-convective μέρους της βροχόπτωσης και επηρεάζεται σημαντικά από τα σχήματα κατακόρυφης ανάπτυξης που χρησιμοποιούνται στα κλιματικά μοντέλα (Zanis et al. 2009). Η συγκεκριμένη παράμετρος κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών του έτους παρουσίασε αύξηση στον ηπειρωτικό κορμό της Μεσογείου με τα μεγαλύτερα ύψη βροχής να παρατηρούνται στην προσήνεμη πλευρά των ορεινών όγκων, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές η συνολική βροχόπτωση παρουσίασε μείωση. Αντίθετα είναι τα αποτελέσματα το καλοκαίρι, συμπέρασμα που υποστηρίζεται και από τους Martínez-Castro et al. (2006) ύστερα από έλεγχο ευαισθησίας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 για τη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στην περιοχή της Καραϊβικής. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο μικτό σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης (Mixed) οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στη συνολική βροχόπτωση ανάμεσα σε ξηρά και θάλασσα, σε αντίθεση με τις προσομοιώσεις που χρησιμοποιούν αποκλειστικά το σχήμα Grell, δεν είναι τόσο έντονες. Σύμφωνα με τους Zanis et al. (2009) η αύξηση που παρατηρείται στη συνολική βροχόπτωση από το σχήμα Grell οφείλεται κατά κύριο λόγο σε non-convective αιτίες όπως είναι η κυκλογένεση, καθώς είναι ένα σχήμα το οποίο, σε αντίθεση με το σχήμα MIT-Emanuel που χαρακτηρίζεται κυρίως από convective βροχοπτώσεις, παρουσιάζει μείωση στα ύψη βροχής που οφείλονται στην κατακόρυφη ανάπτυξη.

Η ανάλυση των αλλαγών στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης οδήγησε και στην εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων για τη θερμοκρασία και τον άνεμο (Velikou et al. 2019). Συγκεκριμένα, εντοπίστηκε μια ψυχρή απόκλιση (cold bias) στη θερμοκρασία επιφανείας στην περίπτωση των προσομοιώσεων που χρησιμοποιείται το σχήμα Grell, το οποίο τονίζεται και από τους Zanis et al. (2009) σε μελέτη που πραγματοποίησαν στην

Ευρώπη για την ευαισθησία του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 στα διαφορετικά σχήματα κατακόρυφης ανάπτυξης (μείωση της θερμοκρασίας έως και 3°C). Σε ό,τι αφορά την ταχύτητα του ανέμου, βασική παρατήρηση αυτής της διατριβής αποτελεί η ενίσχυση των Ετησίων ανέμων ύστερα από την αλλαγή του σχήματος κατακόρυφης ανάπτυξης του μοντέλου.

Οι αλλαγές στο σχήμα ωκεάνιων ροών φάνηκε να επηρεάζουν τόσο τη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία όσο και την ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή μελέτης. Η διαφορά των σχημάτων Zeng και BATS1e Monin-Obukhov έγκειται στα μήκη τραχύτητας που χρησιμοποιούνται για ορμή και στην ανταλλαγή θερμότητας και υγρασίας. Η εφαρμογή του σχήματος BATS1e Monin-Obukhov οδήγησε στην αύξηση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, καθώς και τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύονται από τα ευρήματα της μελέτης των Martínez-Castro et al. (2006) και Francisco et al. (2006), σύμφωνα με τα οποία το σχήμα BATS1e αύξησε τα ποσά νετού και τη θερμοκρασία στις περιοχές μελέτης σε σχέση με το σχήμα ωκεάνιων ροών Zeng. Παρόλα αυτά, οι διαφορές ανάμεσα στα δύο σχήματα ωκεάνιων ροών που μελετήθηκαν σε αυτή τη διατριβή δεν ήταν μεγάλες και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ήταν και στατιστικά σημαντικές (Velikou et al. 2019).

Ο έλεγχος των αλλαγών στο σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος οδήγησε σε εντοπισμό μιας αρνητικής απόκλισης στο πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος στην περίπτωση του σχήματος UW-PBL. Καθώς το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος επηρεάζεται από τη θέρμανση της επιφάνειας και από την ποσότητα του εξατμισμένου νερού στην ατμόσφαιρα είναι φυσικό να αναμένονται διαφοροποιήσεις στη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση ύστερα από αλλαγή του σχήματος πλανητικού οριακού στρώματος. Η βασική διαφορά ανάμεσα στα σχήματα Holtslag PBL και UW-PBL είναι η μείωση της τυρβώδους διάχυσης θερμότητας στην χαμηλότερη τροπόσφαιρα και η παραγωγή τυρβώδους ροής λόγω ακτινοβολίας ψύξης στην κορυφή των νεφών, χαρακτηριστικά που εντοπίζονται στο σχήμα UW-PBL (Güttler et al. 2014). Αυτές οι διαφορές οδήγησαν στη μείωση των θερμών αποκλίσεων (warm biases) που παρατηρήθηκαν αρχικά στην προσομοίωση αναφοράς. Επιπρόσθετα, το σχήμα UW-PBL μείωσε τις υγρές και ξηρές αποκλίσεις (wet and dry biases) που εντοπίστηκαν στην προσομοίωση αναφοράς στην περιοχή μελέτης (Velikou et al. 2019). Αξίζει να σημειωθεί

ότι το σχήμα UW-PBL επηρέασε και την ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή της Μεσογείου λόγω της τυρβώδους μεταφοράς των αερίων μαζών στο πλανητικό οριακό στρώμα (ελάττωση στον ηπειρωτικό κορμό και ενίσχυση στις θαλάσσιες περιοχές και στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές που έγιναν στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου επηρέασαν σε μικρό βαθμό τη λευκαύγεια λόγω άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Velikou et al. 2019). Η παράμετρος αυτή φαίνεται να επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη νεφοκάλυψη, καθώς σύμφωνα με τους Marshall and Plumb (2008) τα νέφη ανακλούν την εισερχόμενη ακτινοβολία, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη, με αποτέλεσμα την αύξηση της λευκαύγειας του πλανήτη. Κατά συνέπεια, η μεγαλύτερη νεφοκάλυψη οδηγεί σε μεγαλύτερη επιφανειακή λευκαύγεια.

Ο παραπάνω έλεγχος ευαισθησίας οδήγησε σε μια πρώτη εκτίμηση των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ο καταλληλότερος συνδυασμός για τις προσομοιώσεις του RegCM4 στην περιοχή της Μεσογείου (Velikou et al. 2019). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του σχήματος κατακόρυφης ανάπτυξης επιλέχθηκε ένα μικτό σχήμα, το οποίο φαίνεται να αναπαράγει αρκετά ικανοποιητικά την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στην περιοχή μελέτης (Grell-FC πάνω από την ξηρά και MIT-Emanuel πάνω από την θάλασσα) όπως έχει επισημανθεί και από τους Giorgi et al. (2012). Επιπρόσθετα, στη θέση του σχήματος πλανητικού οριακού στρώματος επιλέχθηκε το σχήμα UW-PBL, το οποίο μειώνει το πάχος του οριακού στρώματος και κατά συνέπεια τις θερμές και υγρές αποκλίσεις (warm and wet biases) που παρατηρήθηκαν στην περιοχή μελέτης ύστερα από τη σύγκριση της προσομοίωσης αναφοράς με τα δεδομένα E-OBS. Τέλος, δεν κρίθηκε απαραίτητη η αλλαγή του σχήματος ωκεάνιων ροών καθώς οι διαφορές που παρατηρήθηκαν ανάμεσα στα δύο σχήματα (BATS1e και Zeng) δεν ήταν μεγάλες και στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης δεν ήταν και στατιστικά σημαντικές.

Πριν πραγματοποιηθεί η εφαρμογή του δυναμικού υποβιβασμού κλίμακας στο περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4 έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια προσομοίωση υψηλής ανάλυσης ($10 \times 10 \text{ km}$) για την Ελλάδα, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει έλεγχος και αξιολόγηση του συνδυασμού των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου

που θεωρήθηκαν ότι βελτιώνουν μεμονωμένα τις προσομοιώσεις στην περιοχή μελέτης. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικές προσομοιώσεις χωρικής ανάλυσης $25 \times 25\text{km}$ για την περιοχή της Μεσογείου, οι οποίες χρησιμοποίησαν ως «γονέα» το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας HadGEM2-ES. Η πρώτη προσομοίωση περιλαμβάνει τις αρχικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου (Reference_25km), ενώ στη δεύτερη προσομοίωση έγινε χρήση του συνδυασμού των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου. Ο έλεγχος έγινε για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση ύστερα από τη σύγκριση των δύο προσομοιώσεων με αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim για την περίοδο 1981-2000, ενώ για μια πιο λεπτομερή αξιολόγηση των αλλαγών, τα δεδομένα μέσης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης από 21 σταθμούς (πρωτεύουσες, συμπρωτεύουσες ή μητροπολιτικές πόλεις) που καλύπτουν την περιοχή μελέτης και προέρχονται από τη βάση δεδομένων σταθμών ECA&D συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα προσομοιωμένα δεδομένα των κοντινότερων σε αυτούς σημείων πλέγματος. Η παραπάνω ανάλυση περιλαμβάνει τον υπολογισμό, τη χαρτογράφηση και τη σύγκριση των διαφορών των προσομοιώσεων με τα αντίστοιχα δεδομένα ERA-Interim για τη μέση θερμοκρασία και τη συνολική βροχόπτωση, καθώς και τη δημιουργία διαγραμμάτων ποσοστημορίων και θηκογραμμάτων για τους 21 σταθμούς.

Σε ό,τι αφορά τη μέση θερμοκρασία, τα αποτελέσματα έδειξαν την ικανοποιητική προσέγγιση της παραμέτρου από την προσομοίωση Combine_25km στις περιοχές όπου παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα θερμές αποκλίσεις στην προσομοίωση Reference_25km. Παρόλα αυτά, σε περιοχές όπου παρατηρήθηκε υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας από την προσομοίωση Reference_25km, η προσομοίωση Combine_25km επέφερε περαιτέρω μείωση της μέσης θερμοκρασίας. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί πως η εφαρμογή των διαγραμμάτων ποσοστημορίων και θηκογραμμάτων για τους 21 σταθμούς της περιοχής μελέτης οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η προσομοίωση Combine_25km είναι πιο αξιόπιστη σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km στο μεγαλύτερο μέρος των εξεταζόμενων σταθμών, καθώς αναπαρήγαγε ικανοποιητικά τα δεδομένα των σταθμών αυτών κυρίως κατά τους χειμερινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες του έτους.

Η αντίστοιχη ανάλυση των δεδομένων συνολικής βροχόπτωσης έδειξε ότι και οι δύο προσομοιώσεις υπερεκτιμούν κατά κύριο λόγο τη συνολική βροχόπτωση στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Οι δύο προσομοιώσεις παρουσίασαν αρκετές ομοιότητες

τόσο στους χάρτες διαφορών όσο και στα διαγράμματα q-q και στα boxplots. Παρόλα αυτά, η υπερεκτίμηση που παρατηρήθηκε στην προσομοίωση Combine_25km είναι έως και 300 mm χαμηλότερη σε σχέση με την προσομοίωση Reference_25km στις ηπειρωτικές περιοχές της Μεσογείου, καθώς οι φυσικές παραμετροποιήσεις που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση αυτή μειώνουν τις υγρές αποκλίσεις (wet biases) της προσομοίωσης Reference_25km. Από την πιο λεπτομερή σύγκριση των προσομοιώσεων με τα δεδομένα των σταθμών, η προσομοίωση Combine_25km κρίθηκε ότι προσεγγίζει πιο ικανοποιητικά τη βροχόπτωση των περισσότερων σταθμών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ εντοπίζει και τις ακραίες τιμές βροχόπτωσης.

Συμπερασματικά φαίνεται ότι ο συνδυασμός των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου, που περιλαμβάνει την αλλαγή του σχήματος κατακόρυφης ανάπτυξης (Grell-FC πάνω από ξηρά και MIT-Emanuel πάνω από θάλασσα) και την αλλαγή του σχήματος πλανητικού οριακού στρώματος (UW-PBL), βελτιώνει αρκετά τα προσομοιωμένα δεδομένα του μοντέλου για την Μεσόγειο ανάλογα με την περιοχή και την εποχή. Ως εκ τούτου, θεωρήθηκε κατάλληλος για τη δημιουργία μιας προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης για την καλύτερη προβολή των κλιματικών συνθηκών στην περιοχή της Ελλάδας. Θα αποτελούσε βέβαια παράλειψη να μην τονιστεί ότι σημαντικό ρόλο στις προσομοιώσεις των περιοχικών κλιματικών μοντέλων παίζει και η επιλογή του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιείται στα δεδομένα εισόδου της εκάστοτε προσομοίωσης.

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία μιας προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης ($10 \times 10\text{km}$) για τον Ελληνικό χώρο έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί για τις μελλοντικές προβολές του κλίματος στην Ελλάδα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου εφαρμόστηκε η μέθοδος του δυναμικού υποβιβασμού κλίμακας στο περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4. Συγκεκριμένα, για τις αρχικές και οριακές συνθήκες της προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης Combine_10km πραγματοποιήθηκε εμφώλευση (nesting) της προσομοίωσης Combine_25km στο μοντέλο. Πριν γίνει η εξαγωγή και ανάλυση των μελλοντικών προβολών της προσομοίωσης Combine_10km, έγινε σύγκριση των προσομοιώσεων Combine_25km και Combine_10km για τον Ελληνικό χώρο έτσι ώστε να αναδειχθεί η αναγκαιότητα ενός κλιματικού μοντέλου υψηλής κλίμακας σε περιοχές με ιδιαίτερη τοπογραφία. Συγκεκριμένα, έγινε επεξεργασία και χαρτογράφηση των δεδομένων

θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) που προέρχονται από τις δύο προσομοιώσεις για την περίοδο αναφοράς 1981-2000.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που παρατηρούνται στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο προσομοιώνονται πιο ικανοποιητικά από την προσομοίωση Combine_10km, κάτι που επισημαίνεται και στη μελέτη των Tolika et al. (2016). Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι λόγω του πυκνότερου δικτύου σημείων πλέγματος που καλύπτει την περιοχή μελέτης στην περίπτωση της προσομοίωσης Combine_10km, οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ξηράς και θάλασσας είναι εμφανείς ακόμα και στις θαλάσσιες περιοχές όπου υπάρχουν νησιά αφού θεωρούνται πλέον ως ξηρά (στην προσομοίωση Combine_25km τα σημεία όπου υπάρχουν νησιά θεωρούνται ως θάλασσα λόγω της χαμηλότερης ανάλυσης), κάτι που ενισχύεται και από τη μελέτη των Cantet et al. (2014). Η Μεσόγειος είναι μια περιοχή με πολύπλοκο και ιδιαίτερο ανάγλυφο. Ως αποτέλεσμα, η μεταβλητότητα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης είναι έντονη και οι προσομοιώσεις υψηλής ανάλυσης (10 km) φαίνεται ότι προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις διαφορές που υπάρχουν σε αυτές τις παραμέτρους από περιοχή σε περιοχή (Barrera-Escoda et al. 2014).

Αντίστοιχα συμπεράσματα προέκυψαν και κατά την ανάλυση των προσομοιωμένων δεδομένων για τη βροχόπτωση από τις προσομοιώσεις Combine_25km και Combine_10km. Η προσομοίωση υψηλής ανάλυσης αναπαράγει με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατανομή της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης, το οποίο επιβεβαιώνεται και από τον έλεγχο του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM3 με χωρική ανάλυση $10 \times 10 \text{ km}$ στην περιοχή των Καρπαθίων από τους Torma et al. (2011). Παράλληλα, ένα ακόμα χαρακτηριστικό της προσομοίωσης Combine_10km αποτελεί η ικανότητα εντοπισμού θερμικών καταιγίδων σε περιόδους ξηρασίας (θερμή περίοδος του έτους). Αντίστοιχη αναφορά γίνεται και στην έρευνα των Tolika et al. (2016) όπου η προσομοίωση χαμηλότερης ανάλυσης (25 km) εμφανίζει ενιαία κατανομή του υετού και δεν εντοπίζει τη βροχόπτωση λόγω θερμικών καταιγίδων.

Η σύγκριση των προσομοιώσεων Combine_25km και Combine_10km για τον Ελληνικό χώρο οδήγησε και στην εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων για τον άνεμο (ταχύτητα και διεύθυνση). Σημαντικό ρόλο στην καλύτερη απόδοση της προσομοίωσης Combine_10km παίζει και σε αυτή την περίπτωση ο μεγαλύτερος αριθμός σημείων

πλέγματος που καλύπτουν την περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής δείχνουν ότι η προσομοίωση υψηλής ανάλυσης αναπαράγει λεπτομερώς την ταχύτητα του ανέμου και εντοπίζει την κατανομή των επικρατούντων ανέμων, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές (Αιγαίο, Ιόνιο) τα μέγιστα της ταχύτητας του ανέμου είναι πιο εμφανή. Σε παρόμοια συμπεράσματα έχουν οδηγηθεί και άλλες μελέτες (Vagenas et al. 2017).

Τελικός στόχος της διδακτορικής αυτής διατριβής ήταν η ανάπτυξη και ανάλυση των μελλοντικών προβολών του κλίματος στην Ελλάδα ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP4.5, με τη χρήση της προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης Combine_10km. Οι μελλοντικές περίοδοι που μελετήθηκαν καλύπτουν το μέσο (2041-2060) και το τέλος (2081-2100) του 21^{ου} αιώνα. Συγκεκριμένα, έγινε υπολογισμός και χαρτογράφηση των διαφορών ανάμεσα στις δύο προαναφερθείσες περιόδους και την περίοδο αναφοράς (1981-2000), έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι μελλοντικές αλλαγές στη θερμοκρασία, στη βροχόπτωση και στην ταχύτητα του ανέμου.

Στην περίπτωση της θερμοκρασίας (ελάχιστη, μέγιστη, μέση), αυτή αναμένεται να παρουσιάσει αυξητική πορεία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (μεγαλύτερη το καλοκαίρι) μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα σε όλο τον Ελληνικό χώρο, η οποία σε πολλές περιπτώσεις θα είναι πιο έντονη στις θαλάσσιες περιοχές. Θα αποτελούσε παράλειψη να μην αναφερθεί ότι οι ελάχιστες θερμοκρασίες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη άνοδο σε σχέση με τις μέγιστες. Σε ό,τι αφορά τη βροχόπτωση στην Ελλάδα, η πορεία αυτής της παραμέτρου κατά τις δύο μελλοντικές περιόδους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή και την εποχή. Κατά κύριο λόγο, η βροχόπτωση αναμένεται να αυξηθεί σε ένα μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα νότια τμήματα χαρακτηρίζονται από συνθήκες ξηρασίας. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου ο υετός αναμένεται να παρουσιάσει ελάττωση στον ηπειρωτικό κορμό της περιοχής μελέτης. Τέλος, εκτιμάται ότι η ταχύτητα του ανέμου δεν θα μεταβληθεί ιδιαίτερα μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Γενικά, αναμένεται εξασθένηση του ανέμου κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ενίσχυση των Ετησίων προς το τέλος του καλοκαιριού - αρχή φθινόπωρου. Τα παραπάνω ευρήματα υποστηρίζουν σε μεγάλο βαθμό και άλλες έρευνες που ασχολήθηκαν με τις μελλοντικές προβολές αυτών των παραμέτρων στην ίδια περιοχή, κάνοντας χρήση του περιοχικού

κλιματικού μοντέλου RegCM3 με τα σενάρια εκπομπών SRES (Tolika et al. 2012, Anagnostopoulou et al. 2014, Zanis et al. 2015).

Ανακεφαλαιώνοντας τα ευρήματα αυτής της διδακτορικής διατριβής:

1. Σημαντικό ρόλο στην προσομοίωση του κλίματος παίζουν οι διαφορετικές φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου, η επιλογή του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιείται ως «γονέας», καθώς και η περιοχή ενδιαφέροντος (τοπογραφία, χρήσεις γης). Πριν το «τρέξιμο» του περιοχικού κλιματικού μοντέλου για την δημιουργία προσομοιώσεων, θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος ευαισθησίας του μοντέλου στην περιοχή μελέτης έτσι ώστε να βρίσκονται οι βέλτιστες παραμετροποιήσεις με τις οποίες θα παραχθούν όσο το δυνατό πιο αξιόπιστες προσομοιώσεις του κλίματος στην εκάστοτε περιοχή
2. Για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου ο συνδυασμός των φυσικών παραμετροποιήσεων που βελτιώνουν τις προσομοιώσεις περιλαμβάνει ένα μικτό σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης (Grell-FC πάνω από την ξηρά και MIT-Emanuel πάνω από τη θάλασσα) και το σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος UW-PBL. Η αλλαγή στο σχήμα ωκεάνιων ροών δεν θεωρήθηκε ότι επιφέρει κάποια ουσιαστική διαφοροποίηση στην προσομοίωση του κλίματος της περιοχής μελέτης
3. Σε περιοχές με ιδιαίτερη τοπογραφία (όπως είναι η Μεσόγειος και κατ' επέκταση η Ελλάδα) είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός κλιματικού μοντέλου υψηλής κλίμακας για την καλύτερη και πιο λεπτομερή περιγραφή των κλιματικών συνθηκών στην περιοχή αυτή
4. Μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας (2 - 3°C) στον Ελληνικό χώρο, με τις ελάχιστες θερμοκρασίες να παρουσιάζουν την μεγαλύτερη άνοδο (από 2.5°C το χειμώνα έως και 3.6°C το καλοκαίρι). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι θερμοκρασίες αναμένεται να παρουσιάσουν μεγαλύτερη άνοδο προς το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης
5. Μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα αναμένεται αύξηση της βροχόπτωσης (έως 30% στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας, έως 60% το καλοκαίρι στις παράκτιες περιοχές και έως 80% σε θαλάσσιες περιοχές) κυρίως στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας, ενώ οι νότιες περιοχές θα αντιμετωπίσουν συνθήκες ξηρασίας (έως -20%). Μείωση

- της βροχόπτωσης, της τάξεως του -20% , αναμένεται και κατά τους φθινοπωρινούς μήνες στο μεγαλύτερο μέρος τους ηπειρωτικού κορμού της χώρας
6. Μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα δεν αναμένεται ιδιαίτερη μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου στην Ελλάδα. Παρόλα αυτά, αναμένεται εξασθένηση των ανέμων κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ενίσχυση των Ετησίων κυρίως στην αρχή του φθινοπώρου



Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί μια προσπάθεια βελτίωσης των προσομοιώσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 για την περιοχή της Μεσογείου, έτσι ώστε να παραχθούν αξιόπιστες προβολές υψηλής κλίμακας για την ανάπτυξη και ανάλυση του μελλοντικού κλίματος στην Ελλάδα μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Στο πρώτο τμήμα της διατριβής αυτής, πραγματοποιήθηκε αρχικά έλεγχος της ικανότητας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 να προσομοιώνει ικανοποιητικά τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στην περιοχή μελέτης με χρήση της βάσης δεδομένων E-OBS. Ο έλεγχος αυτός έδειξε ότι η προσομοίωση αναφοράς δεν προσομοιώνει ικανοποιητικά τα δεδομένα E-OBS (κυρίως θερμοκρασία και βροχόπτωση) με αποτέλεσμα να κριθεί απαραίτητη η προσπάθεια βελτίωσης του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 για την περιοχή μελέτης. Λαμβάνοντας υπόψιν τον σημαντικό ρόλο που παίζουν οι διαφορετικές φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου, η επιλογή του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιείται ως «γονέας», καθώς και η περιοχή ενδιαφέροντος (τοπογραφία, χρήσεις γης) στην προσομοίωση του κλίματος, έγινε έλεγχος ευαισθησίας του μοντέλου στα διαφορετικά σχήματα φυσικών παραμετροποιήσεων, με τη χρήση μιας σειράς παραμέτρων που θεωρείται ότι επηρεάζονται από αυτές τις παραμετροποιήσεις. Ο έλεγχος ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε για την περίοδο 1981-1990. Τα αποτελέσματα αυτού του ελέγχου έδωσαν μια πρώτη εικόνα για τις πιθανές αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου, οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ο καταλληλότερος συνδυασμός για τις προσομοιώσεις του RegCM4 στην περιοχή της Μεσογείου. Αυτές περιλαμβάνουν αλλαγή στο σχήμα κατακόρυφης ανάπτυξης και στο σχήμα πλανητικού οριακού στρώματος, ενώ δεν κρίθηκε απαραίτητη η αλλαγή στο σχήμα ωκεάνιων ροών καθώς οι διαφορές μεταξύ των δύο σχημάτων που ελέγχθηκαν δεν ήταν σημαντικές.

Στη συνέχεια, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει έλεγχος και αξιολόγηση του συνδυασμού των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου που θεωρήθηκαν ότι βελτιώνουν μεμονωμένα τις προσομοιώσεις στην περιοχή μελέτης. Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσης θερμοκρασίας και συνολικής βροχόπτωσης από τη

βάση δεδομένων ERA-Interim, καθώς και αντίστοιχα δεδομένα από 18 σταθμούς που καλύπτουν την περιοχή της Μεσογείου και προέρχονται από τη βάση δεδομένων σταθμών ECA&D. Η ανάλυση αυτή έδειξε ότι η προσομοίωση με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου είναι αρκετά αξιόπιστη στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης τόσο στην περίπτωση της μέσης θερμοκρασίας όσο και στην περίπτωση της βροχόπτωσης, και οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των αλλαγών στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου βελτιώνει αρκετά τα προσομοιωμένα δεδομένα του μοντέλου για την Μεσόγειο ανάλογα με την περιοχή και την εποχή. Ως εκ τούτου, θεωρήθηκε κατάλληλος για τη δημιουργία μιας προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης για την καλύτερη προβολή των κλιματικών συνθηκών στην περιοχή της Ελλάδας.

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε ο δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RegCM4 και αναδείχθηκε η αναγκαιότητα ενός κλιματικού μοντέλου υψηλής κλίμακας σε περιοχές με ιδιαίτερη τοπογραφία. Ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε με τη σύγκριση της αρχικής προσομοίωσης χωρικής ανάλυσης $25 \times 25 km$ με την προσομοίωση υψηλής ανάλυσης $10 \times 10 km$ για τον Ελληνικό χώρο. Γενικά, ο μεγαλύτερος αριθμός σημείων πλέγματος που καλύπτουν την περιοχή μελέτης στην προσομοίωση υψηλής ανάλυσης εντοπίζει καλύτερα την τοπογραφία της περιοχής μελέτης και προσομοιώνει πιο ικανοποιητικά τις θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ξηράς και θάλασσας, καθώς επίσης την κατανομή της βροχόπτωσης και τον υετό που οφείλεται σε θερμικές καταιγίδες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Επιπρόσθετα, αναπαράγει λεπτομερώς την ταχύτητα του ανέμου και εντοπίζει την κατανομή των επικρατούντων ανέμων.

Τέλος, αναπτύχθηκαν και αναλύθηκαν οι μελλοντικές προβολές του κλίματος στην Ελλάδα ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP4.5, με χρήση της προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης ($10 km$). Συγκεκριμένα, αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας στον Ελληνικό χώρο με τις ελάχιστες θερμοκρασίες να παρουσιάζουν την μεγαλύτερη άνοδο, ενώ οι βροχοπτώσεις αναμένεται να αυξηθούν κυρίως στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας με τις νότιες περιοχές να αντιμετωπίζουν συνθήκες ξηρασίας. Αντίθετα, δεν αναμένεται ιδιαίτερη μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου στην Ελλάδα (μικρή εξασθένηση των ανέμων κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ενίσχυση των Ετησίων κυρίως στην αρχή του φθινοπώρου).

The present doctoral thesis is an attempt to improve the simulations of regional climate model RegCM4 for the Mediterranean region, in order to produce more dependable high-resolution projections for the development and analysis of future climate in Greece by the end of the 21st century.

On a first step, the ability of regional climate model RegCM4 to simulate satisfactorily temperature, precipitation and mean sea level pressure in the area of study was tested using E-OBS database. The results led to the conclusion that the reference simulation does not simulate satisfactorily E-OBS data (mainly temperature and precipitation), resulting in the need to improve regional climate model RegCM4 in the area of study. Taking into account the important role played by the different physics parameterizations of the regional climate model, the choice of a general circulation model that is used as a driving field in the simulations, as well as the area of interest (topography and land use) in the simulation of the climate, a sensitivity analysis of RegCM4 to the different physics parameterizations was conducted, using a number of parameters that are assumed to be affected by these configurations. The sensitivity analysis covers the time period 1981-1990. From the evaluation of this sensitivity analysis, the possible changes in the model's configurations that could be considered as the most appropriate combination for RegCM4 simulations in the Mediterranean region occurred. These changes include alterations in the model's cumulus convection scheme and planetary boundary layer scheme, while the change in the model's ocean flux scheme was not considered necessary as the differences between the two examined schemes were not significant.

As a next step of this research, it was necessary to evaluate the combination of the selected changes in the model's configurations that were considered to individually improve the simulations in the area of study. For this purpose, mean temperature and total precipitation data from the ERA-Interim database, as well as corresponding data from 18 stations that cover the Mediterranean region and derive from the ECA&D daily observations database, were utilized. The analysis indicated that the simulation with the changes in the model's physics parameterization schemes is quite dependable in most of the area of study for both mean temperature and total precipitation. This led to the

conclusion that the combination of changes in the model's configurations significantly improves the simulated data in the Mediterranean depending on region and season. Therefore, it was considered suitable for the creation of a high-resolution simulation that will be used to better project the climatic conditions in Greece.

Subsequently, the dynamical downscaling of regional climate model RegCM4 was performed and the necessity of a high-resolution climate model in areas with complex terrain was highlighted. This objective was achieved by comparing the initial simulation ($25 \times 25\text{km}$) to the high-resolution simulation ($10 \times 10\text{km}$) in Greece. Generally, the larger number of grid points that cover the area of study detects more sufficiently the topography of the area and also simulates more satisfactorily the differences in temperature between land and sea, the distribution of rainfall, as well as precipitation due to thermal storms during summer. In addition, it reproduces wind speed in detail and tracks the distribution of prevailing winds.

Finally, the future projections of climate in Greece until the end of the 21st century were developed and analyzed according to RCP4.5 emission scenario, using the high-resolution projection (10 km). More specifically, the temperature in Greece is expected to increase (minimum temperatures show the largest increase), while precipitation is expected to increase mainly in the northern part of Greece with the southern regions facing drought conditions. On the contrary, no significant change is expected in wind speed (small weakening of wind speed during winter and strengthening of Etesian winds mainly during the first month of autumn).

- Ali, S., Dan, L., Fu, C. and Yang, Y., 2015. Performance of convective parameterization schemes in Asia using RegCM: Simulations in three typical regions for the period 1998-2002. *Advances in Atmospheric Sciences*, 32, 715-730.
- Anagnostopoulou, C., Zanis, P., Katragkou, E., Tegoulas, I. and Tolika, K., 2014. Recent past and future patterns of the etesian winds based on regional scale climate model simulations. *Climate Dynamics*, 42(7-8), 1819-1836.
- Anthes, R. A., 1977. A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Monthly Weather Review*, 105, 270-286.
- Arakawa, A. and Schubert, W. H., 1974. Interaction of a cumulus cloud ensemble with large-scale environment, Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31, 674-701.
- Barrera-Escoda, A., Gonçalves, M., Guerreiro, D., Cunillera, J. and Baldasano, J. M., 2014. Projections of temperature and precipitation extremes in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050). *Climatic Change*, 122, 567-582.
- Bartzokas, A., 1989. Annual variation of pressure over the Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology*, 40, 135-146.
- Berrisford, P., Dee, D., Poli, P., Brugge, R., Fielding, K., Fuentes, M., Kållberg, P., Kobayashi, S., Uppala, S. and Simmons, A., 2011. The ERA-Interim archive version 2.0. *ERA Report Series*, European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF), United Kingdom.
- Bolle, H.-J., 2003. Climate, climate variability, and impacts in the Mediterranean area: An overview. In: Bolle, H.-J. (ed) *Mediterranean Climate: Variability and Trends*, 1st edn. Springer, Berlin Heidelberg, 5-86.

Bretherton, C. S., McCaa, J. R. and Grenier, H., 2004. A new parameterization for shallow cumulus convection and its application to marine subtropical cloud-topped boundary layers. Part I: Description and 1D results. *Monthly Weather Review*, 132, 864-882.

Cantet, P., Déqué, M., Palany P. and Maridet, J.-L., 2014. The importance of using a high-resolution model to study the climate change on small islands: The Lesser Antilles case. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 66(1), 24065.

Church, J. A. and White N. J., 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, 32, 585-602.

Clarke, L., Edmonds, J., Jacoby, H., Pitcher, H., Reilly, J. and Richels, R., 2007. Scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations. *Sub-report 2.1A of Synthesis and Assessment Product 2.1 by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*. Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research, Washington, DC., USA, 154 pp.

Collins, W. D., Bitz, C. M., Blackmon, M. L., Bonan, G. B., Bretherton, C. S., Carton, J. A., Chang, P., Doney, S. C., Hack, J. J., Henderson, T. B., Kiehl, J. T., Large, W. G., McKenna, D. S., Santer, B. D. and Smith, R. D., 2006. The Community Climate System Model version 3 (CCSM3). *Journal of Climate*, 19, 2122-2143.

Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C. D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A. and Woodward, S., 2011. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. *Geoscientific Model Development*, 4, 1051-1075.

- Deardorff, J. W., 1978. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation. *Journal of Geophysical Research*, 83, 1889-1903.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 553-597.
- Dickinson, R. E., Henderson-Sellers, A., Kennedy, P. J. and Wilson, M. F., 1986. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model. *NCAR Technical Note*, NCAR/TN-275+STR.
- Dickinson, R. E., Errico, R. M., Giorgi, F. and Bates, G. T., 1989. A regional climate model for the western United States. *Climatic Change*, 15, 383-422.
- Dickinson, R. E., Henderson-Sellers, A. and Kennedy, P. J., 1993. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model. *NCAR Technical Note*, NCAR/TN-387+STR.
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., O'Brien, T., Nogherotto, R. and Giuliani, G., 2014. Regional Climate Model RegCM User Manual Version 4.4. International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste - Italy.
- Emanuel, K. A., 1991. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48(21), 2313-2335.

Emanuel, K. A. and Živković-Rothman, M., 1999. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56, 1766-1782.

Fischer, E. M. and Schär, C., 2010. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3, 398-403.

Flato, G. M., 2011. Earth system models: An overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 2, 783-800.

Fowler, H. J., Blenkinsop, S. and Tebaldi, C., 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology*, 27, 1547-1578.

Francisco, R. V., Argete J., Giorgi, F., Pal, J., Bi, X. and Gutowski, W. J., 2006. Regional model simulation of summer rainfall over the Philippines: Effect of choice of driving fields and ocean flux schemes. *Theoretical and Applied Climatology*, 86, 215-227.

Fritsch, J. M. and Chappell, C. F., 1980. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parameterization. *Journal of Atmospheric Sciences*, 37, 1722-1733.

Fujino, J., Nair, R., Kainuma, M., Masui, T. and Matsuoka, Y., 2006. Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model. *The Energy Journal*, 27, 343-353.

Gao, X. J., Pal, J. S. and Giorgi, F., 2006. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophysical Research Letters*, 33(3), L03706.

Gao, X. J., Shi, Y. and Giorgi, F., 2016. Comparison of convective parameterizations in RegCM4 experiments over China with CLM as the land surface model. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 9(4), 246-254.

Giorgi, F., 1989. Two-Dimensional simulations of possible mesoscale effects of nuclear war fires. *Journal of Geophysical Research*, 94, 1127-1144.

Giorgi, F. and Mearns, L. O., 1991. Approaches to the simulation of regional climate change: A review. *Review of Geophysics*, 29(2), 191-216.

Giorgi, F., Marinucci, M. R. and Bates, G. T., 1993a. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*, 121, 2794-2813.

Giorgi, F., Marinucci, M. R., Bates G. T. and De Canio, G., 1993b. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review*, 121, 2814-2832.

Giorgi, F., 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33, L08707.

Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M. B., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G. T., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U. U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T. A., Tawfik, A. B., Shalaby, A., Zakey, A. S., Steiner, A. L., Stordal, F., Sloan, L. C. and Brankovic, C., 2012. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7-29.

Giorgi, F. and Gutowski, W. J. Jr., 2015. Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 467-490.

Goossens, Chr., 1985. Principal component analysis of Mediterranean rainfall. *Journal of Climatology*, 5, 379-388.

Grell, G. A., 1993. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review*, 121, 764-787.

Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffer, D. R., 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). *NCAR Technical Note*, NCAR/TN-398+STR.

Grenier, H. and Bretherton, C. S., 2001. A moist PBL parameterization for large-scale models and its application to subtropical cloud-topped marine boundary layers.

Monthly Weather Review, 129, 357-377.

Güttler, I., Branković, Č., O'Brien, T. A., Coppola, E., Grisogono, B. and Giorgi, F., 2014.

Sensitivity of the regional climate model RegCM4.2 to planetary boundary layer parameterization. *Climate Dynamics*, 43, 1753-1772.

Hadjinicolaou, P., Giannakopoulos, C., Zerefos, C., Lange, M. A., Pashiardis, S. and Lelieveld, J., 2011. Mid-21st century climate and weather extremes in Cyprus as projected by six regional climate models. *Regional Environmental Change*, 11(3), 441-457.

Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D. and New, M., 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Letters*, 113, D20119.

Hijioka, Y., Matsuoka, Y., Nishimoto, H., Masui, T. and Kainuma, M., 2008. Global GHG emission scenarios under GHG concentration stabilization targets. *Journal of Global Environment Engineering*, 13, 97-108.

Holtstag, A. A. M., de Bruijn, E. I. F. and Pan, H. L., 1990. A high-resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Monthly Weather Review*, 118, 1561-1575.

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, Pachauri, R. K. and Meyer, L. A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jones, C. D., Hughes, J. K., Bellouin, N., Hardiman, S. C., Jones, G. S., Knight, J., Liddicoat, S., O'Connor, F. M., Andres, R. J., Bell, C., Boo, K.-O., Bozzo, A., Butchart, N., Cadule, P., Corbin, K. D., Doutriaux-Boucher, M., Friedlingstein, P.,

- Gornall, J., Gray, L., Halloran, P. R., Hurtt, G., Ingram, W. J., Lamarque, J.-F., Law, R. M., Meinshausen, M., Osprey, S., Palin, E. J., Parsons Chini, L., Raddatz, T., Sanderson, M. G., Sellar, A. A., Schurer, A., Valdes, P., Wood, N., Woodward, S., Yoshioka, M. and Zerroukat, M., 2011. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geoscientific Model Development*, 4, 543-570.
- Jones, P. D., Lister, D., H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M. and Morice, C. P., 2012. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research*, 117, D05127.
- Kiehl, J. T., Hack, J. J., Bonan, G. B., Boville, B. A., Briegleb, B. P., Williamson, D. L. and Rasch, P. J., 1996. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). *NCAR Technical Note*, NCAR/TN-420+STR.
- Komkoua Mbienda, A. J., Tchawoua, C., Vondou, D. A., Choumbou, P., Kenfack Sadem, C. and Dey, S., 2017. Sensitivity experiments of RegCM4 simulations to different convective schemes over Central Africa. *International Journal of Climatology*, 37, 328-342.
- Köppen, W., 1936. Das geographische system der klimate. In: Köppen, W. and Geiger, R. (eds) *Handbuch der Klimatologie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1-44.
- Kothe, S., Dobler, A., Beck, A. and Ahrens, B., 2011. The radiation budget in a regional climate model. *Climate Dynamics*, 36, 1023-1036.
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O. B., Colette, A., Déqué, M., Gobier, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K. and Wulfmeyer, V., 2014. Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development*, 7, 1297-1333.

Kuo, Y.-H., Bresch, J. F., Cheng, M.-D., Kain, J., Parsons, D. B., Tao, W.-K. and Zhang, D.-L., 1997. Summary of a mini workshop on cumulus parameterization for mesoscale models. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(3), 475-491.

Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U. and Xoplaki, E., 2006. The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues. In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P. and Boscolo, R. (eds) *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier, Amsterdam, 4, 1-26.

Lolis, C. J., Bartzokas, A. and Katsoulis, B. D., 2002. Spatial and temporal 850hPa air temperature and sea-surface temperature covariances in the Mediterranean region and their connection to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 22, 663-676.

Maheras, P., 1985. A factorial analysis of Mediterranean precipitation. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology*, 36, 1-14.

Maheras, P. and Anagnostopoulou, C., 2003. Circulation types and their influence on the interannual variability and precipitation changes in Greece. In: Bolle, H.-J. (ed) *Mediterranean Climate: Variability and trends*, 1st edn. Springer, Berlin Heidelberg, 215-239.

Makrogiannis, T. J., Giles, B. D. and Flocas, A. A., 1981. The problem of the extension of the Siberian anticyclone towards southeast Europe, and its relation to atmospheric circulation anomalies over the northern hemisphere. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology*, 30, 185-196.

Marshall, J. and Plumb, R. A., 2008. Atmosphere, ocean and climate dynamics, 1st edn. Elsevier Academic Press, USA.

- Martínez-Castro, D., Porfirio da Rocha, R., Bezanilla-Morlot, A., Alvarez-Escudero, L., Reyes-Fernández, J. P., Silva-Vidal, Y. and Arritt, R. W., 2006. Sensitivity studies of the RegCM3 simulation of summer precipitation, temperature and local wind field in the Caribbean Region. *Theoretical and Applied Climatology*, 86, 5-22.
- Masui, T., Matsumoto, K., Hijioka, Y., Kinoshita, T., Nozawa, T., Ishiwatari, S., Kato, E., Shukla, P. R., Yamagata, Y. and Kainuma, M., 2011. An emission pathway for stabilization at 6 Wm⁻² radiative forcing. *Climatic Change*, 109, 59-76.
- Meehl, G. A., Washington, W. M., Collins, W. D., Arblaster, J. M., Hu, A., Buja, L. E., Strand, W. G. and Teng, H., 2005a. How much more global warming and sea level rise?. *Science*, 307, 1769-1772.
- Meehl, G. A., Arblaster, J. M. and Tebaldi, C., 2005b. Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations. *Geophysical Research Letters*, 32, L18719.
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G. J. M. and van Vuuren, D. P. P., 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109, 213-241.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T. and van Ypersele, J. P., 2008. Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies. *Technical Summary*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, 25 pp.

- Mystakidis, S., Zanis, P., Dogras, C., Katragkou, E., Pytharoulis, I., Melas, D., Anadranistakis, E. and Feidas, H., 2012. Optimization of a regional climate model for high resolutions over Greece. In: Helmis, C. and Nastos, P. (eds) *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*. Springer Atmospheric Sciences, Berlin, 623-629.
- O'Brien, T. A., Chuang, P. Y., Sloan, L. C., Faloona, I. C. and Rossiter, D. L., 2012. Coupling a new turbulence parameterization to RegCM adds realistic stratocumulus clouds. *Geoscientific Model Development*, 5, 989-1008.
- Oikonomou, C., Flocas, H. A., Katavoutas, G., Hatzaki, M., Asimakopoulos, D. N. and Zerefos, C., 2010. On the relationship of orography with extreme dry spells in Greece. *Advances in Geosciences*, 25, 161-166.
- Oke, T. R., 2002. *Boundary Layer Climates*, 2nd edn. Routledge - Taylor & Francis Group e-Library, United Kingdom.
- Önol, B., 2012. Effects of coastal topography on climate: High-resolution simulation with a regional climate model. *Climate Research*, 52, 159-174.
- Ozturk, T., Turp, M. T., Türkeş, M. and Kurnaz, M. L., 2018. Future projections of temperature and precipitation climatology for CORDEX-MENA domain using RegCM4.4. *Atmospheric Research*, 206, 87-107.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.
- Pieczka, I., Pongrácz, R., Szabóné André, K., Kelemen, F. D. and Bartholy, J., 2017. Sensitivity analysis of different parameterization schemes using RegCM4.3 for the Carpathian region. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 1175-1188.

- Rauscher, S. A., Coppola, E., Piani, C. and Giorgi, F., 2010. Resolution effects on regional climate model simulations of seasonal precipitation over Europe. *Climate Dynamics*, 35, 685-711.
- Reddaway, J. M. and Bigg, G. R., 1996. Climatic change over the Mediterranean and links to the more general atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 16, 651-661.
- Riahi, K., Grübler, A. and Nakicenovic, N., 2007. Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting & Social Change*, 74, 887-935.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N. and Rafaj, P., 2011. RCP8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109, 33-57.
- Riebesell, U., Körtzinger, A. and Oschlies, A., 2009. Sensitivities of marine carbon fluxes to ocean change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(49), 20602-20609.
- Segele, T. Z., Leslie, L. M. and Lamb, J. P., 2009. Evaluation and adaptation of a regional climate model for the horn of Africa: Rainfall climatology and interannual variability. *International Journal of Climatology*, 29, 47-65.
- Singh, G. P., Oh, J. H., Kim, J. Y. and Kim, O. Y., 2006. Sensitivity of summer monsoon precipitation over East Asia to convective parameterization schemes in RegCM3. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 2, 29-32.
- Sioutas, M. V. and Flocas, H. A., 2003. Hailstorms in Northern Greece: Synoptic patterns and thermodynamic environment. *Theoretical and Applied Climatology*, 75, 189-202

Smid, M., and Costa, A. C., 2018. Climate projections and downscaling techniques: a discussion for impact studies in urban systems. *International Journal of Urban Sciences*, 22(3), 277-307.

Smith, S. J. and Wigley, T. M. L., 2006. Multi-gas forcing stabilization with MiniCAM. *The Energy Journal*, 27, 373-391.

Taylor, K. E., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research*, 106(D7), 7183-7192.

Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M. A., Clarke L. E. and Edmonds, J. A., 2011. RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change*, 109, 77-94.

Tolika, K., Zanis, P. and Anagnostopoulou, C., 2012. Regional climate change scenarios for Greece: Future temperature and precipitation projections from ENSEMBLES of RCMs. *Global NEST Journal*, 14(4), 407-421.

Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Velikou, K. and Vagenas, C., 2016. A comparison of the updated very high resolution model RegCM3_10km with the previous version RegCM3_25km over the complex terrain of Greece: Present and future projections. *Theoretical and Applied Climatology*, 126, 715-726.

Torma, C., Coppola, E., Giorgi, F., Bartholy, J. and Pongrácz, R., 2011. Validation of a high-resolution version of the regional climate model RegCM3 over the Carpathian basin. *Journal of Hydrometeorology*, 12, 84-100.

Tselioudis, G., Douvis, C. and Zerefos, C., 2012. Does dynamical downscaling introduce novel information in climate model simulations of precipitation change over a complex topography region?. *International Journal of Climatology*, 32, 1572-1578.

- Vagenas, C., Anagnostopoulou, C. and Tolika, K., 2017. Climatic study of the marine surface wind field over the Greek seas with the use of a high resolution RCM focusing on extreme winds. *Climate*, 5(2), 29.
- van den Besselaar, E. J. M., Haylock, M. R., van der Schrier, G. and Klein Tank, A. M. G., 2011. A European daily high-resolution observational gridded data set of sea level pressure. *Journal of Geophysical Research*, 116, D11110.
- van Engelen, A., Klein Tank, A., van de Schrier, G. and Klok, L., 2008. Towards an operational system for assessing observed changes in climate extremes. *ECA&D Report*, KNMI.
- van Vuuren, D. P., Eickhout, B., Lucas, P. L. and den Elzen, M. G. J., 2006. Long-term multi-gas scenarios to stabilize radiative forcing – Exploring costs and benefits within an integrated assessment framework. *The Energy Journal*, 27, 201-233.
- van Vuuren, D. P., den Elzen, M. G. J., Lucas, P. L., Eickhout, B., Strengers, B. J., van Ruijven, B., Wonink, S. and van Houdt, R., 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: An assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, 81, 119-159.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J. and Rose, S. K., 2011a. The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109, 5-31.
- van Vuuren, D. P., Stehfest, E., den Elzen, M. G. J., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., Isaac, M., Klein Goldewijk, K., Hof, A., Mendoza Beltran, A., Oostenrijk, R. and van Ruijven, B., 2011b. RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climatic Change*, 109, 95-116.

Velikou, K., Tolika, K., Anagnostopoulou, Ch. and Zanis, P., 2019. Sensitivity analysis of RegCM4 model: Present time simulations over the Mediterranean. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 1185-1208.

Wilks, D. S., 2011. Statistical methods in the atmospheric sciences, 3rd edn. Elsevier Academic Press, USA.

Wise, M., Calvin, K., Thomson, A., Clarke, L., Bond-Lamberty, B., Sands, R., Smith, S. J., Janetos, A. and Edmonds, J., 2009. Implications of limiting CO₂ concentrations for land use and energy. *Science*, 324(5931), 1183-1186.

Zanis, P., Douvis, C., Kapsomenakis, I., Kioutsioukis, I., Melas, D. and Pal, J. S., 2009. A sensitivity study of the Regional Climate Model (RegCM3) to the convective scheme with emphasis in central eastern and southeastern Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 327-337.

Zanis, P., Katragkou, E., Ntogras, C., Marougianni, G., Tsikerdekis, A., Feidas, H., Anadranistakis, E. and Melas, D., 2015. Transient high-resolution regional climate simulation for Greece over the period 1960-2100: Evaluation and future projections. *Climate Research*, 64, 123-140.

Zeng, X., Zhao, M. and Dickinson, R. E., 1998. Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data. *Journal of Climate*, 11, 2628-2644.

Zeng, X. and Beljaars, A., 2005. A prognostic scheme of sea surface skin temperature for modeling and data assimilation. *Geophysical Research Letters*, 32, L14605.

Διαδικτυακές Πηγές

American Meteorological Society - Glossary of Meteorology. Regional Climate Model,
(ανακτήθηκε τον Ιούνιο 2020)

http://glossary.ametsoc.org/wiki/Regional_climate_model

European Climate Assessment & Dataset, (ανακτήθηκε τον Αύγουστο 2020)

<https://www.ecad.eu/>

Intergovernmental Panel on Climate Change - Data Distribution Centre. What is a GCM?
(ανακτήθηκε τον Ιούνιο 2020)

https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html

NASA Science. Climate Variability, (ανακτήθηκε το Δεκέμβριο 2017)

<https://science.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/climate-variability>

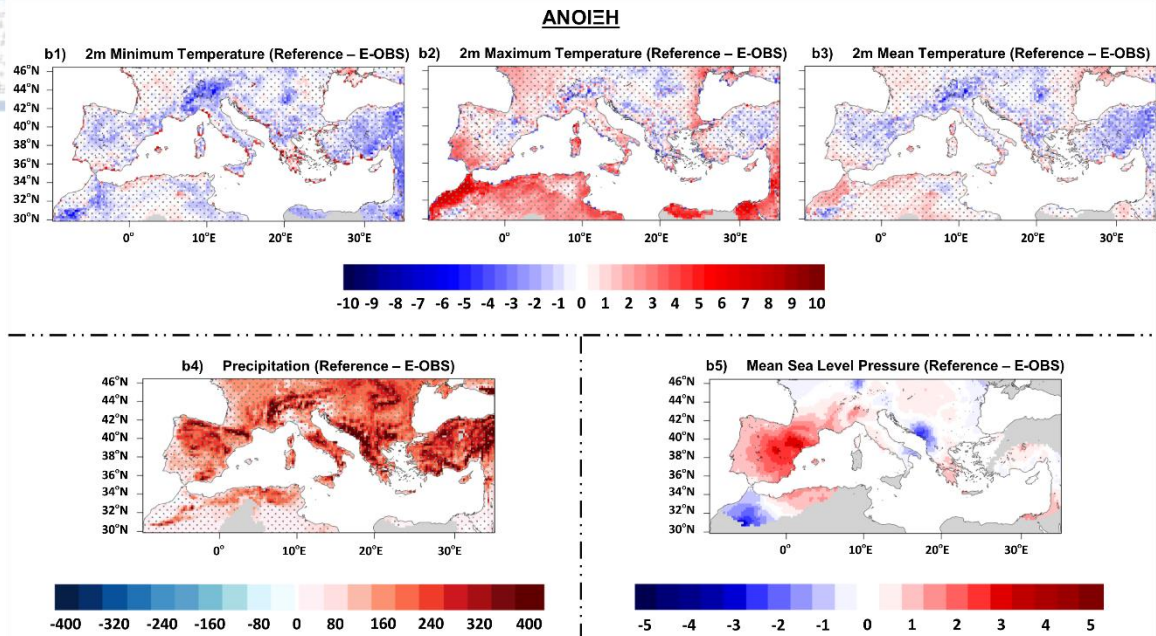




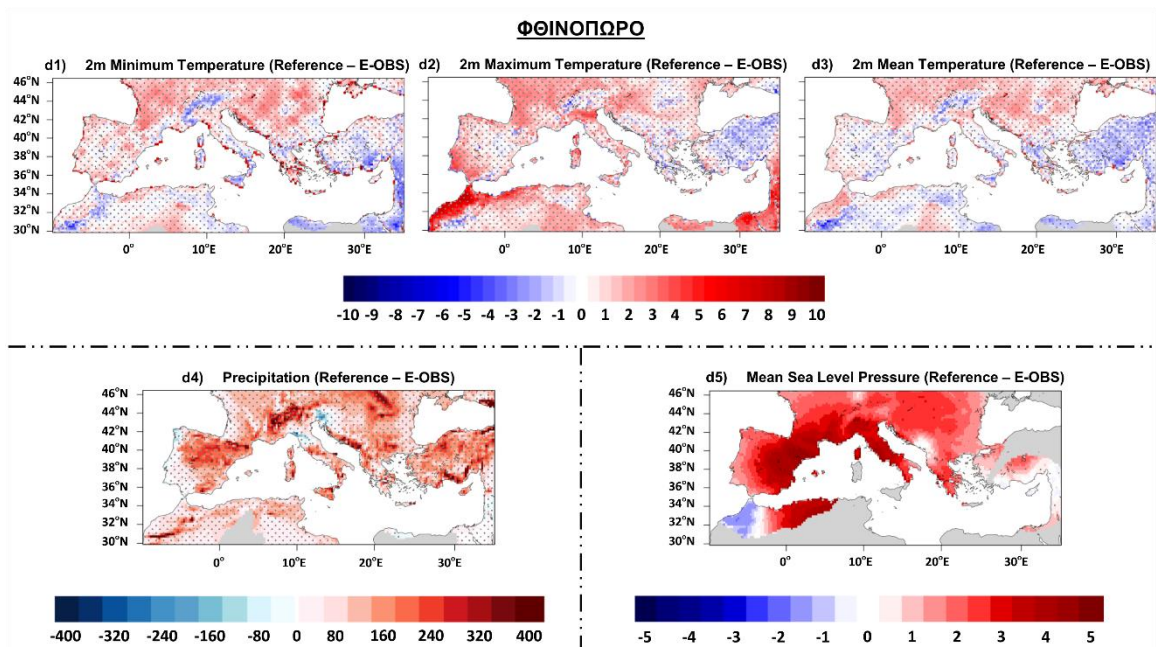
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΣΧΗΜΑΤΑ



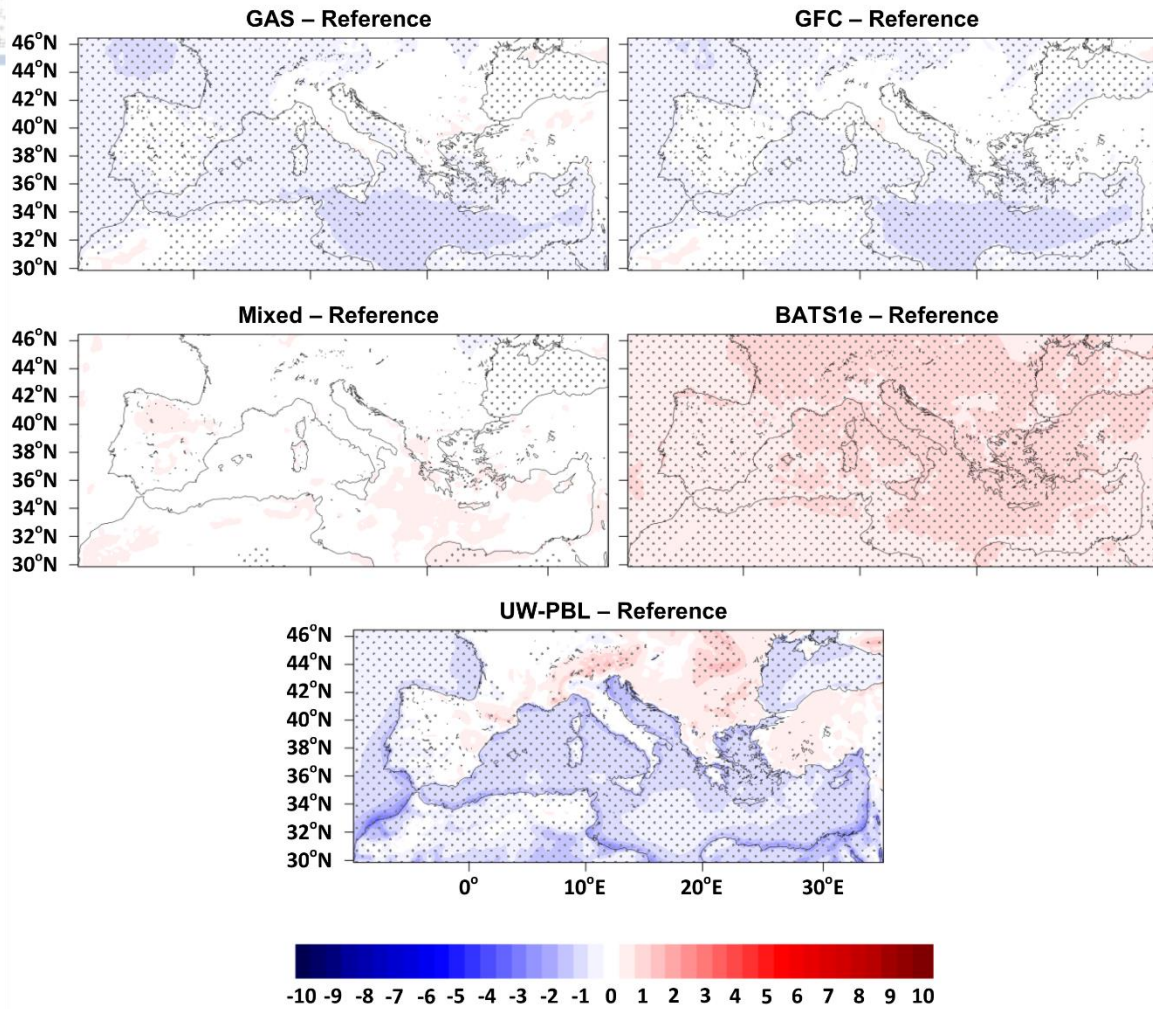


Σχήμα Παρ.1. Χάρτες διαφορών (Reference προσομοίωση - δεδομένα E-OBS) για ελάχιστη, μέγιστη και μέση θερμοκρασία (°C), βροχόπτωση (mm/season) και μέση πίεση επιφανείας (hPa) κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες



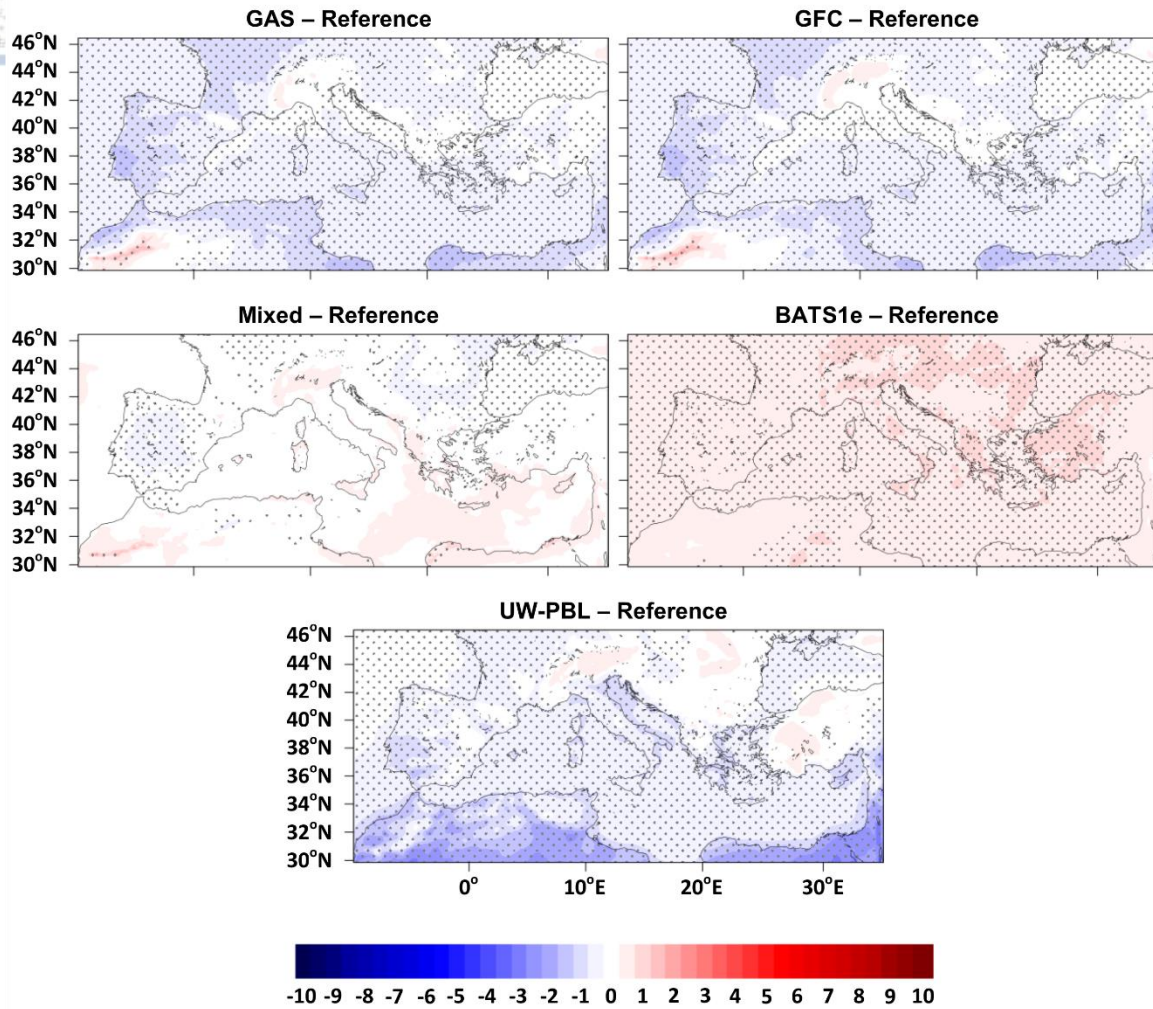
Σχήμα Παρ.2. Χάρτες διαφορών (Reference προσομοίωση - δεδομένα E-OBS) για ελάχιστη, μέγιστη και μέση θερμοκρασία (°C), βροχόπτωση (mm/season) και μέση πίεση επιφανείας (hPa) κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΧΕΙΜΩΝΑΣ



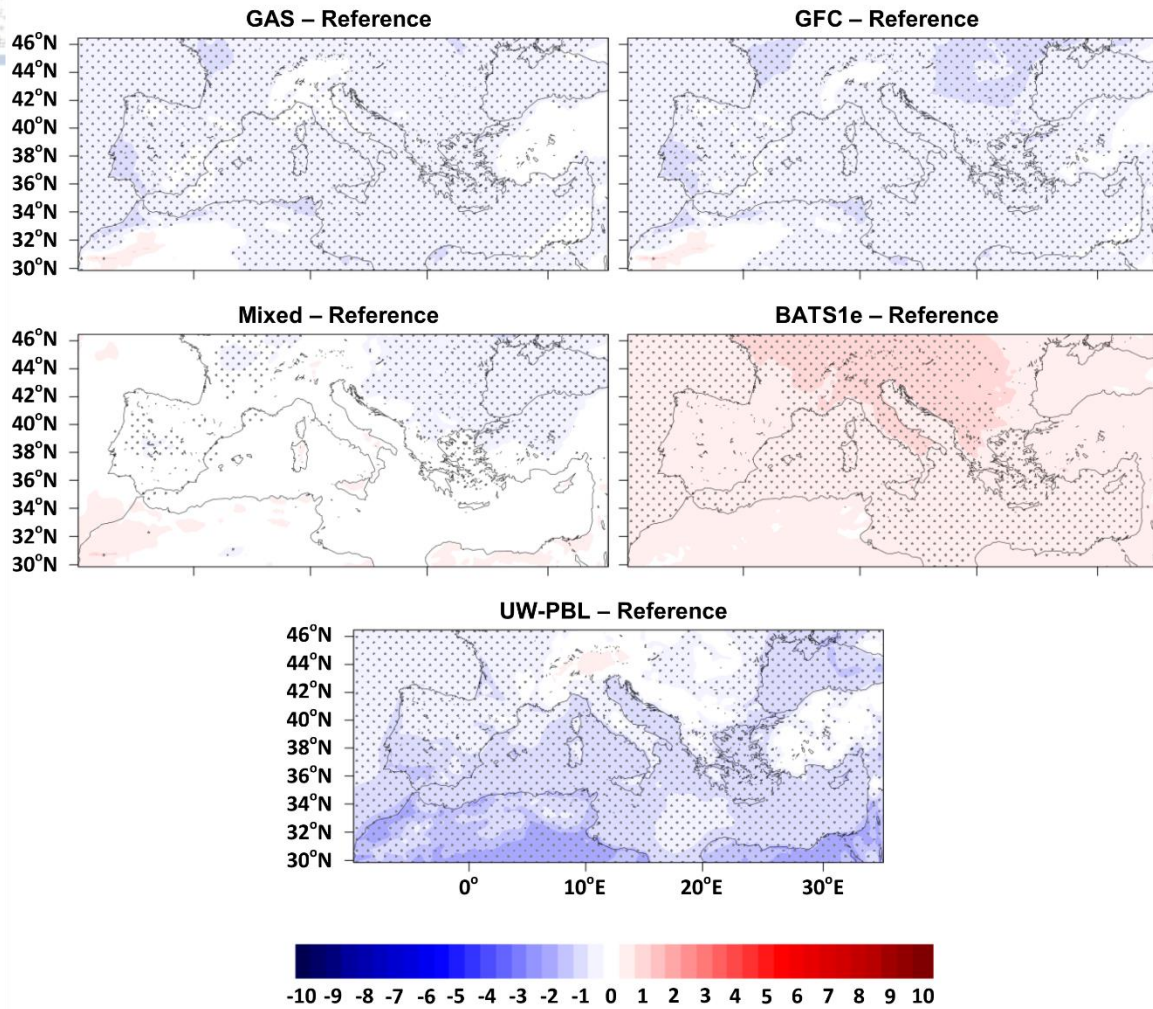
Σχήμα Παρ.3. Χάρτες διαφορών για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΧΕΙΜΩΝΑΣ



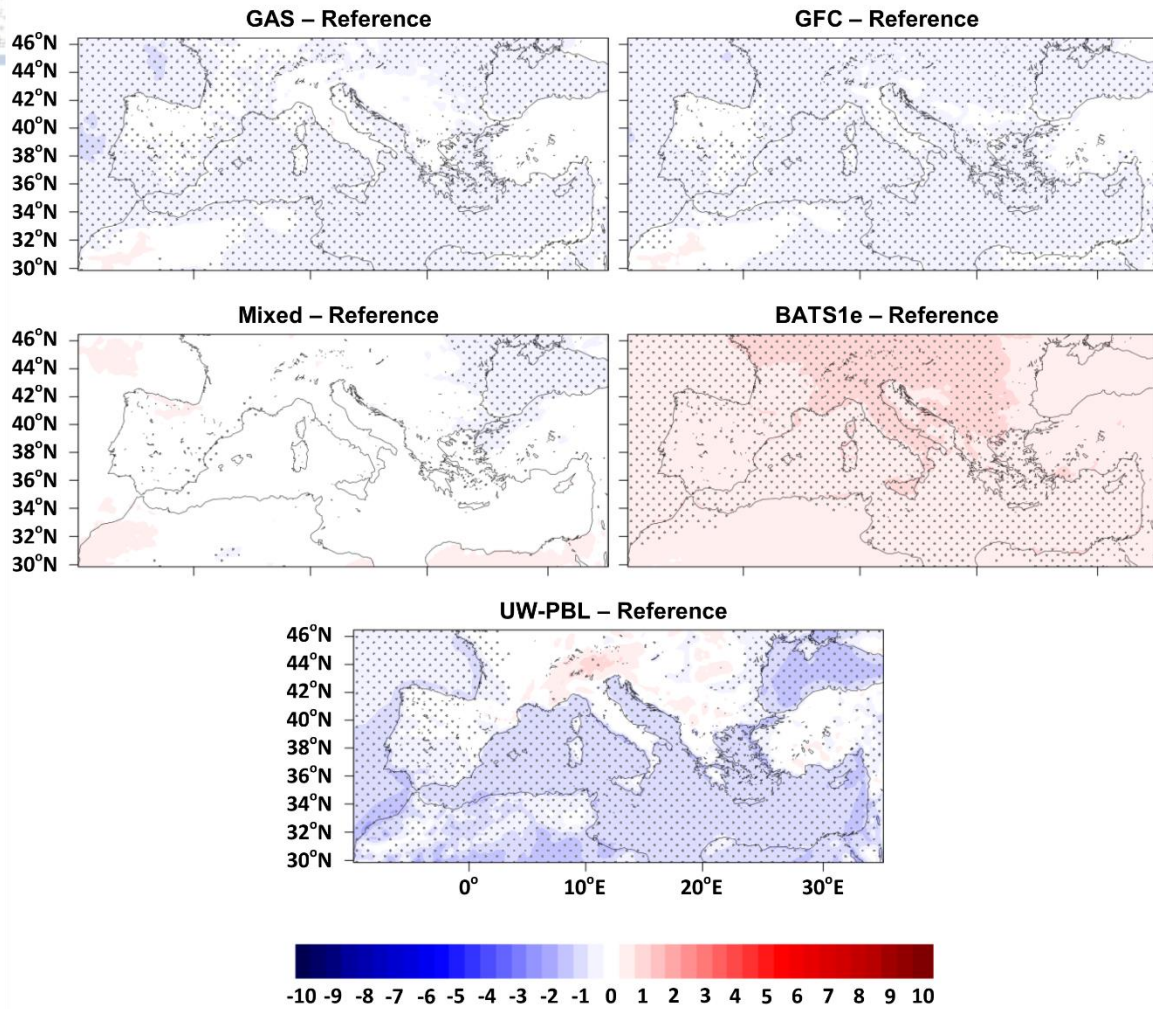
Σχήμα Παρ.4. Χάρτες διαφορών για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ



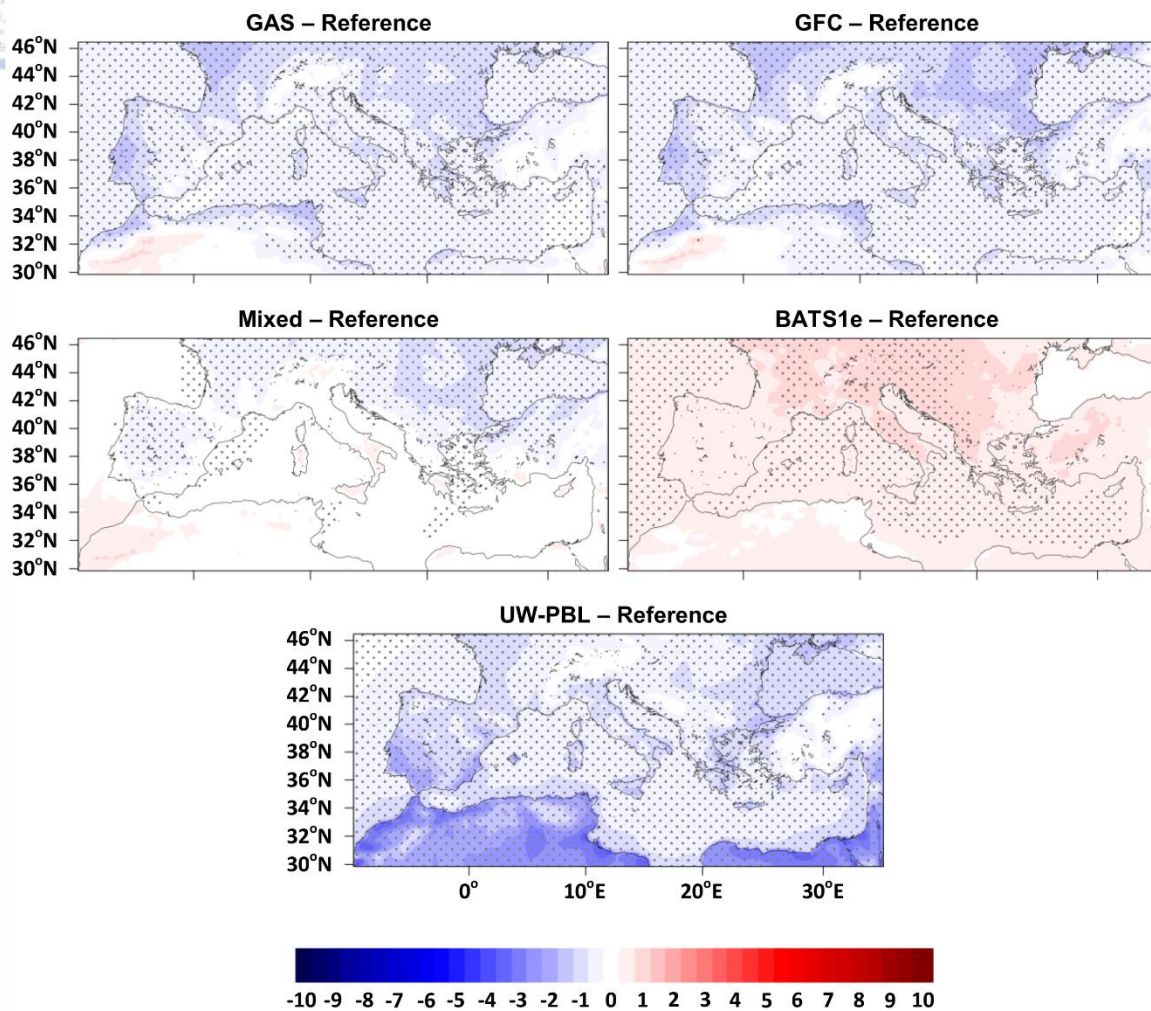
Σχήμα Παρ.5. Χάρτες διαφορών για τη μέση θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ



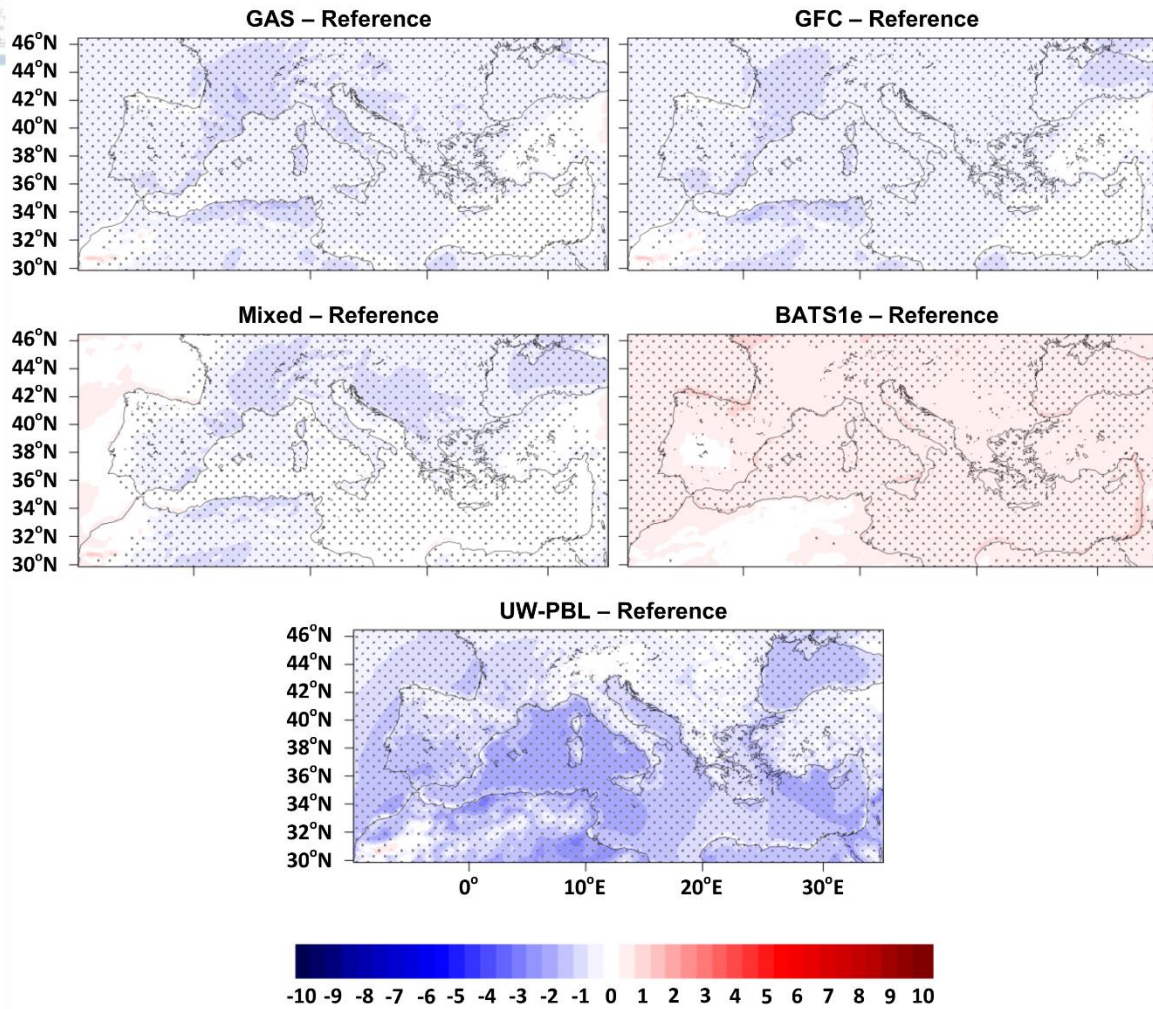
Σχήμα Παρ.6. Χάρτες διαφορών για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ



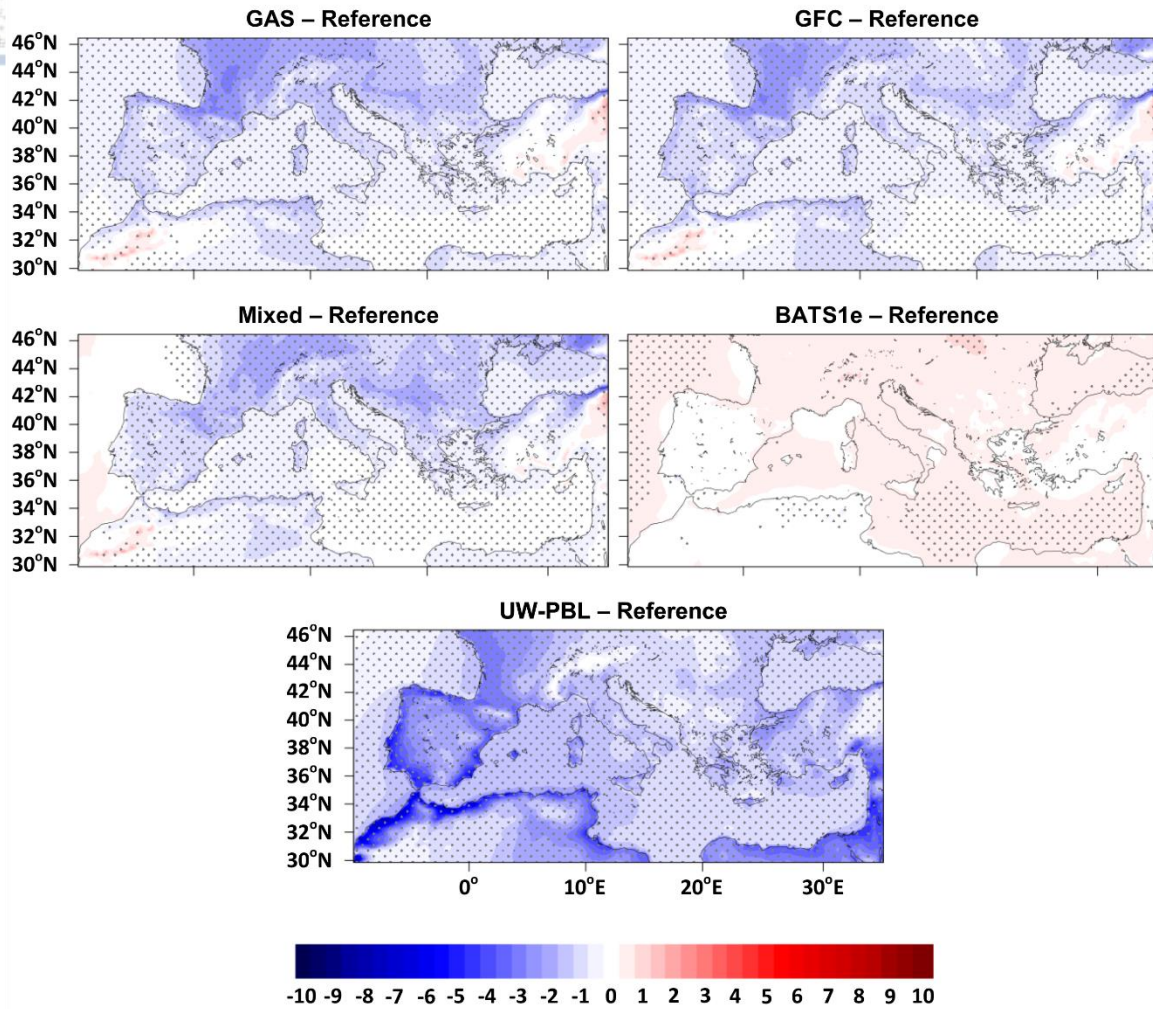
Σχήμα Παρ.7. Χάρτες διαφορών για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ



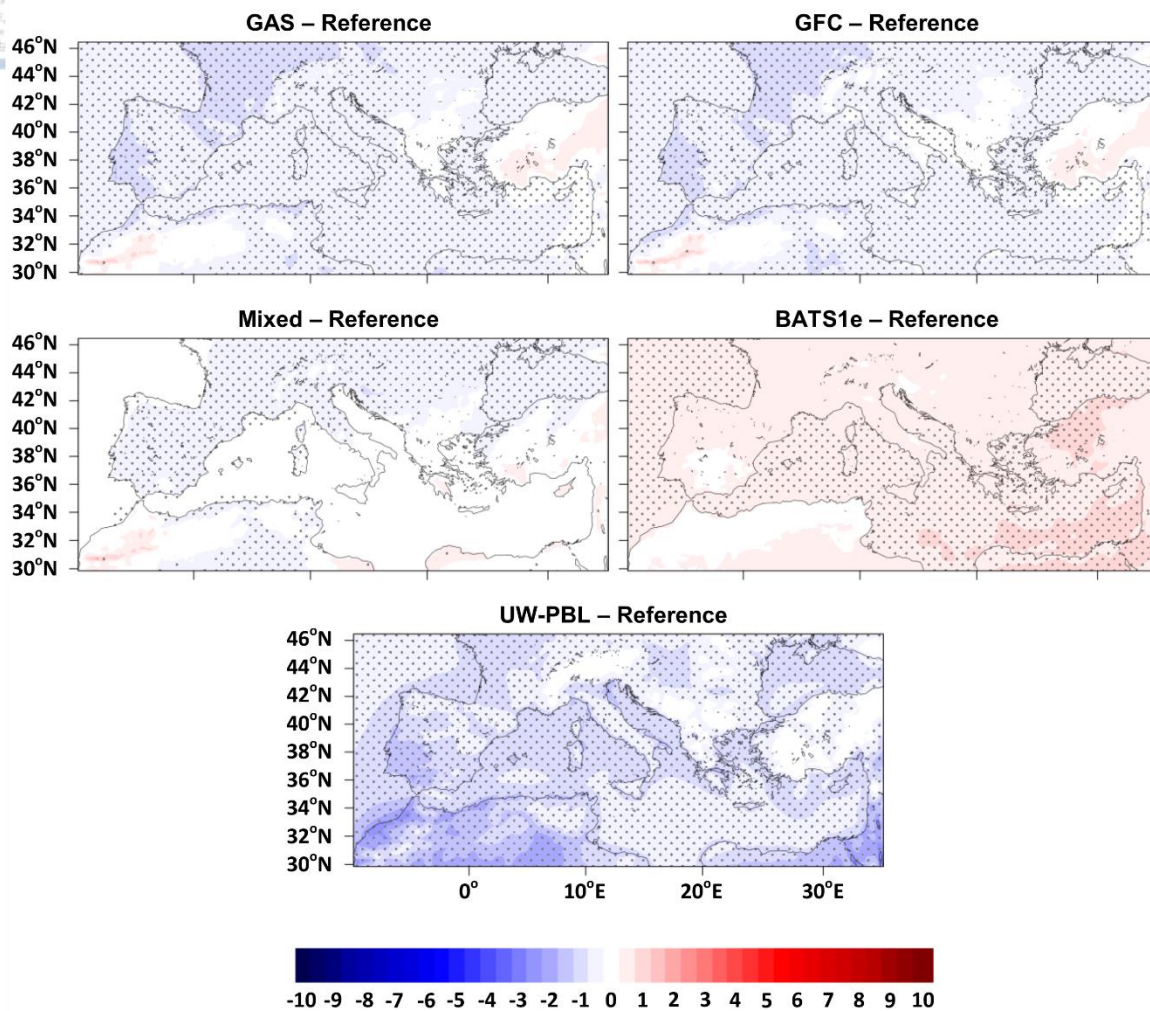
Σχήμα Παρ.8. Χάρτες διαφορών για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ



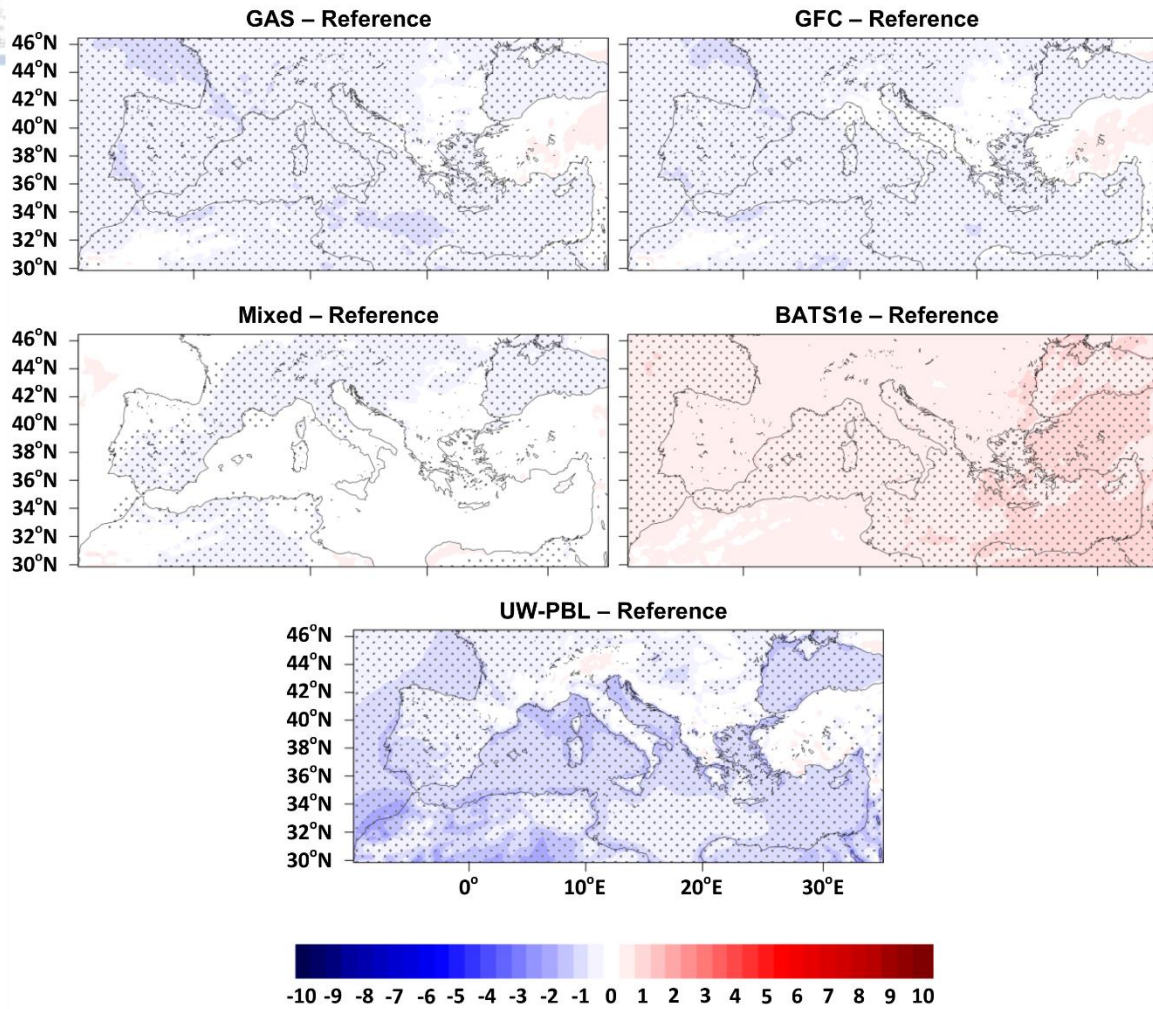
Σχήμα Παρ.9. Χάρτες διαφορών για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



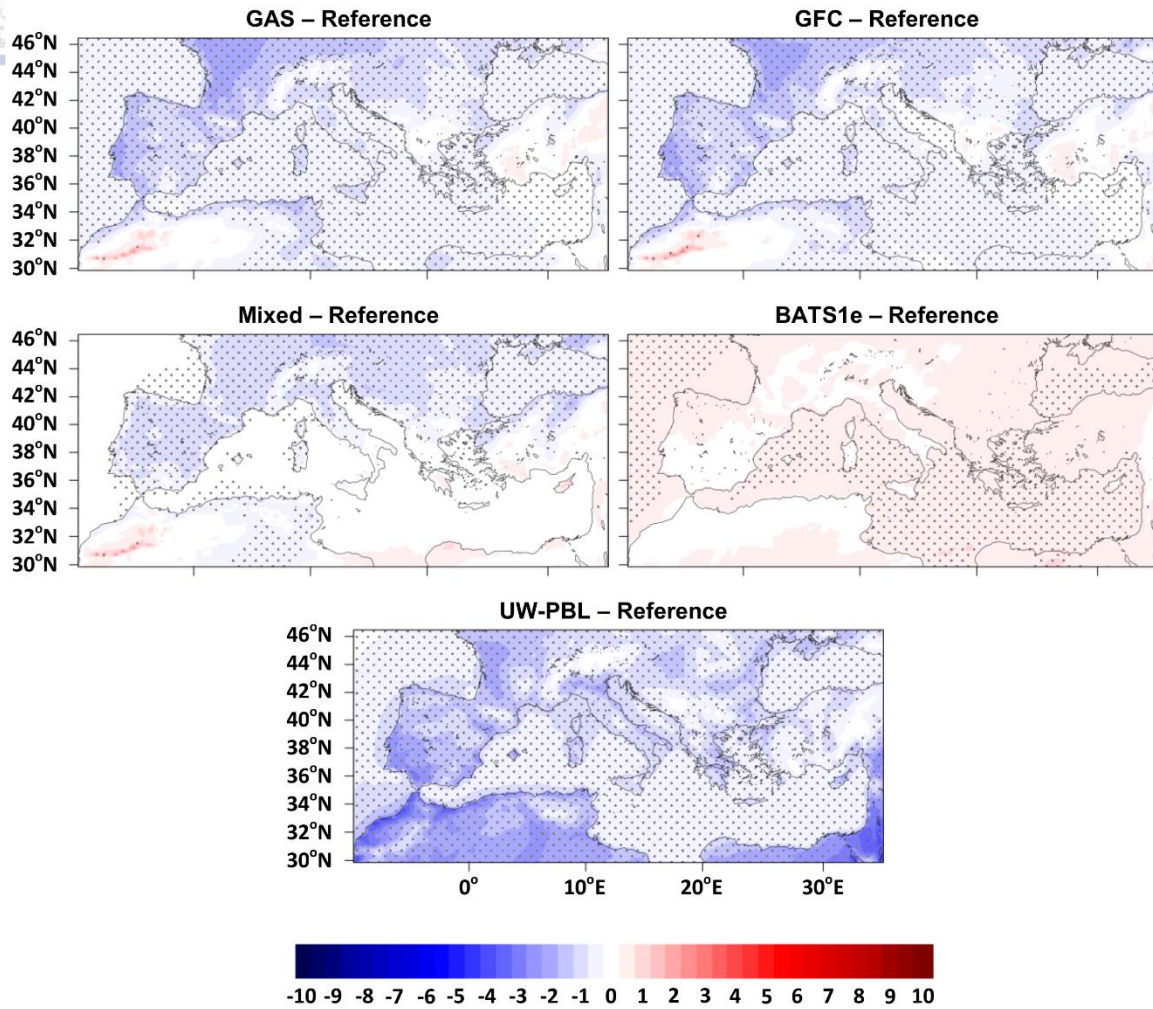
Σχήμα Παρ.10. Χάρτες διαφορών για τη μέση θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



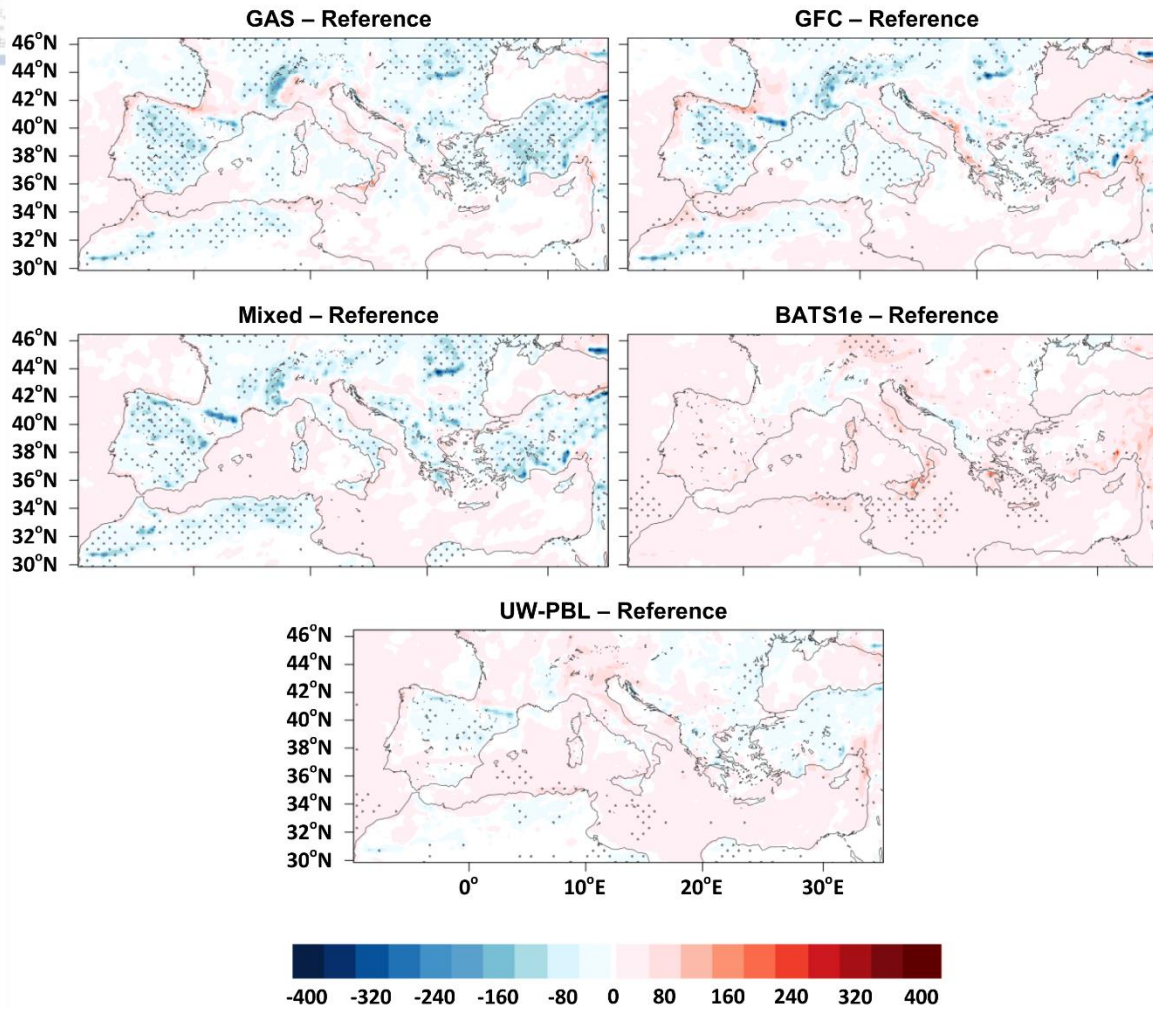
Σχήμα Παρ.11. Χάρτες διαφορών για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



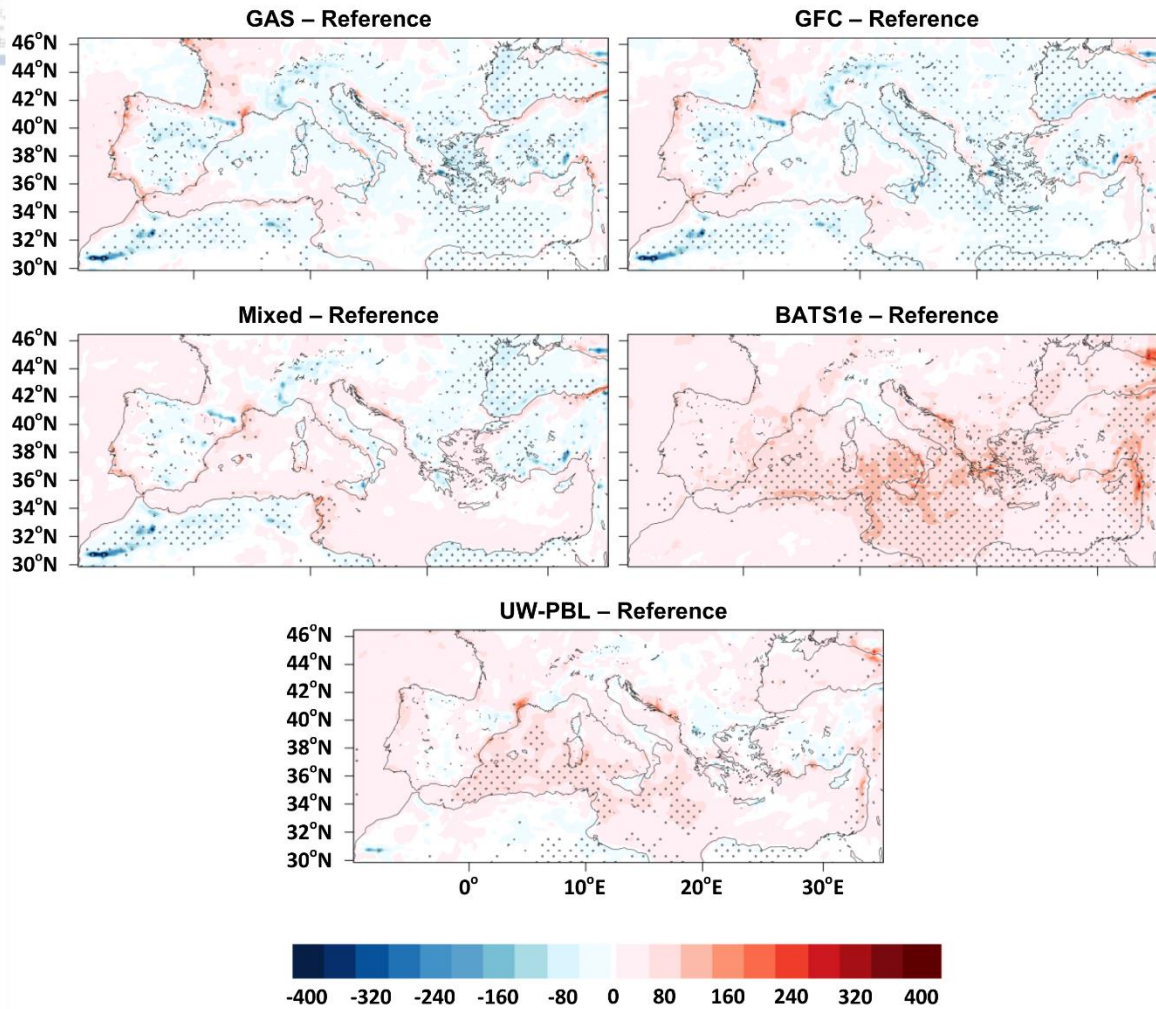
Σχήμα Παρ.12. Χάρτες διαφορών για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ



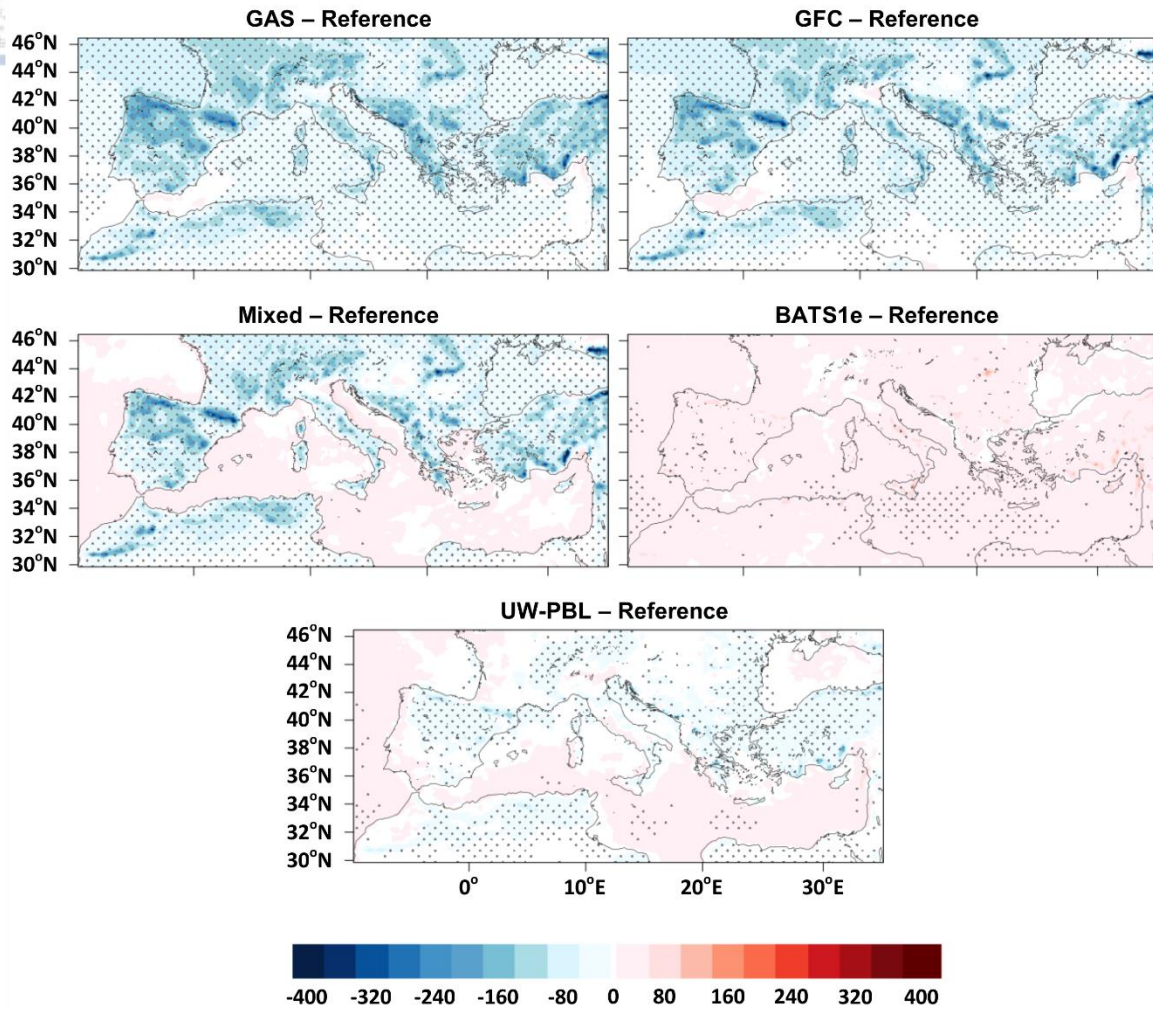
Σχήμα Παρ.13. Χάρτες διαφορών για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



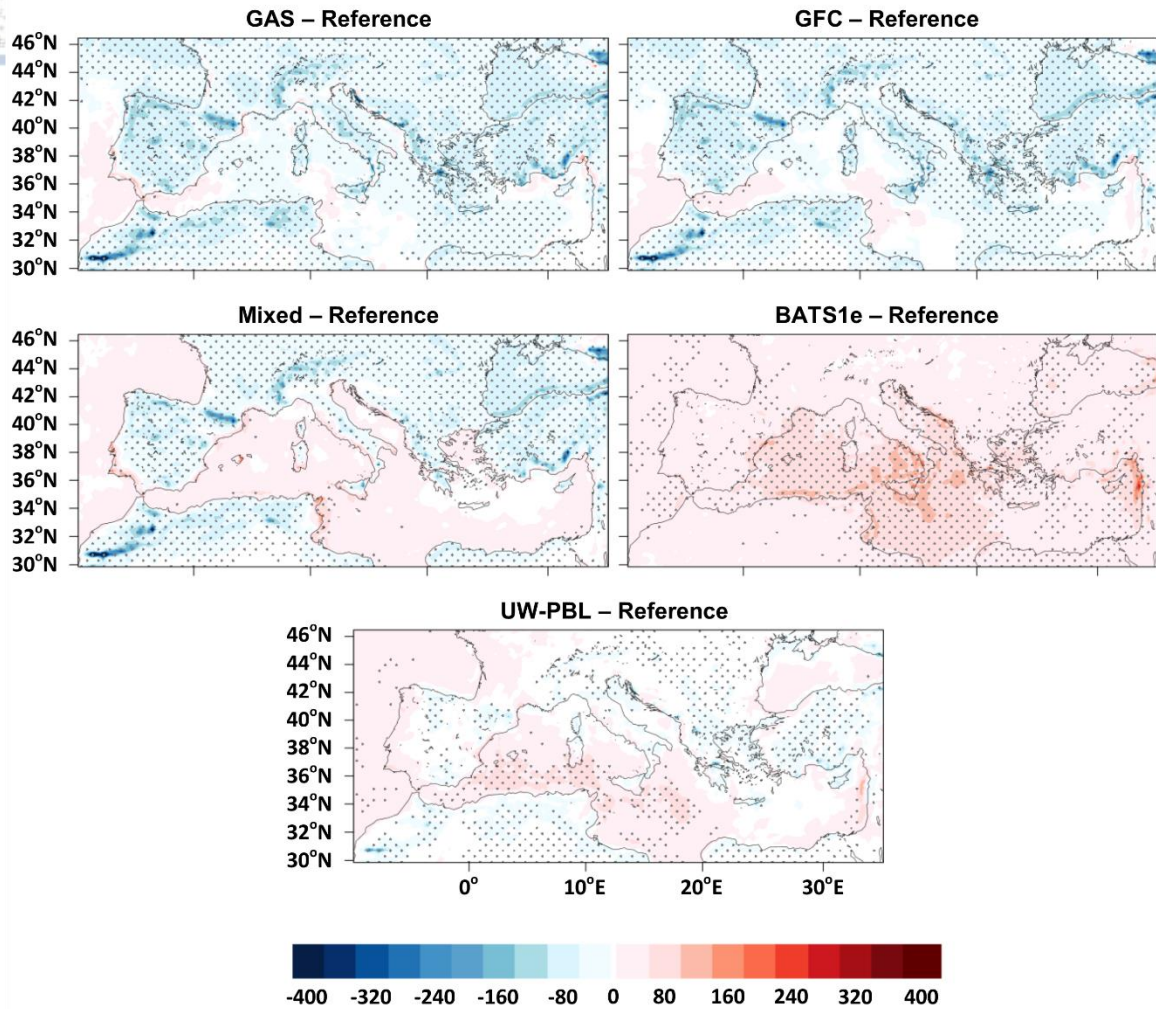
Σχήμα Παρ.14. Χάρτες διαφορών για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ

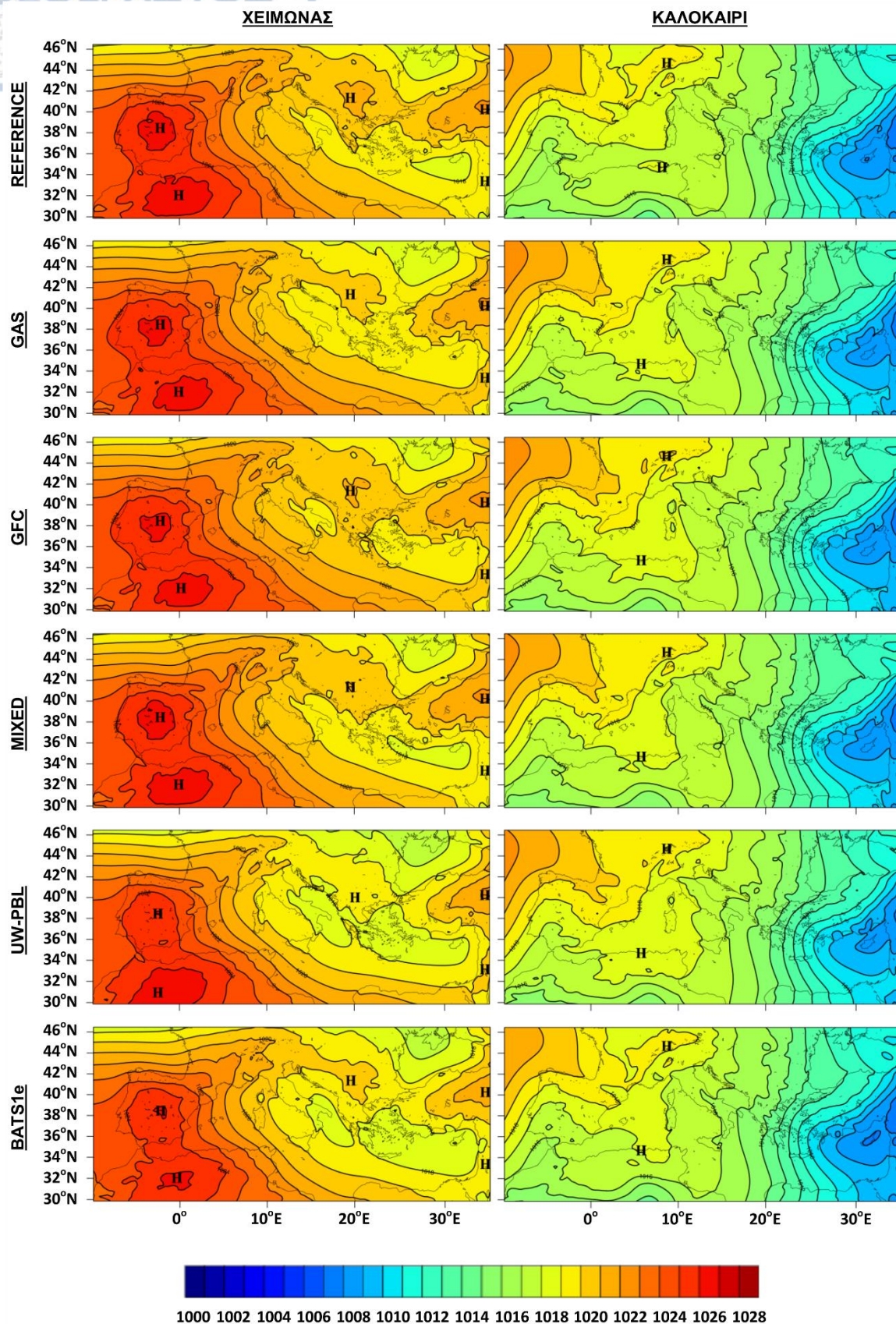


Σχήμα Παρ.15. Χάρτες διαφορών για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

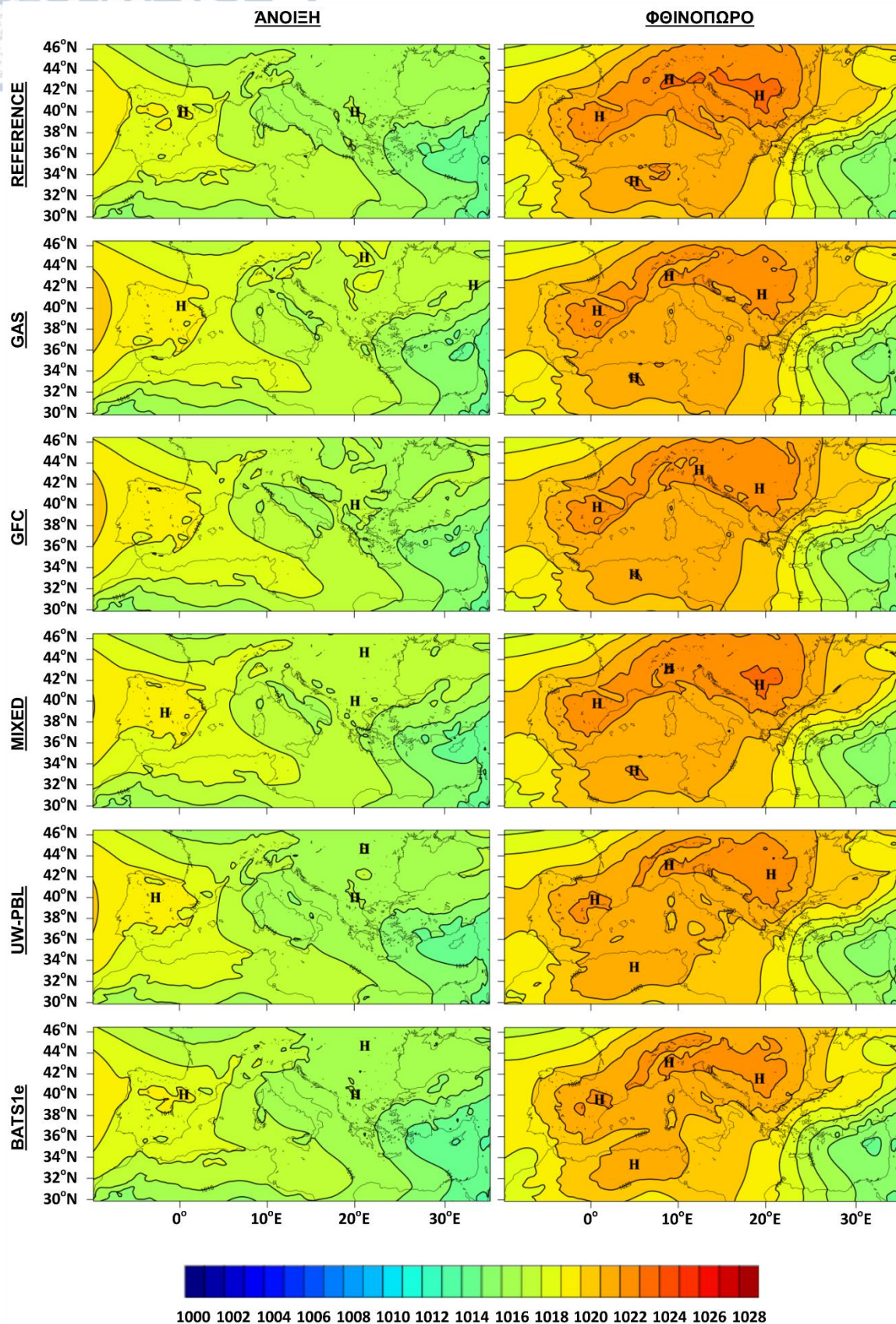
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



Σχήμα Παρ.16. Χάρτες διαφορών για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

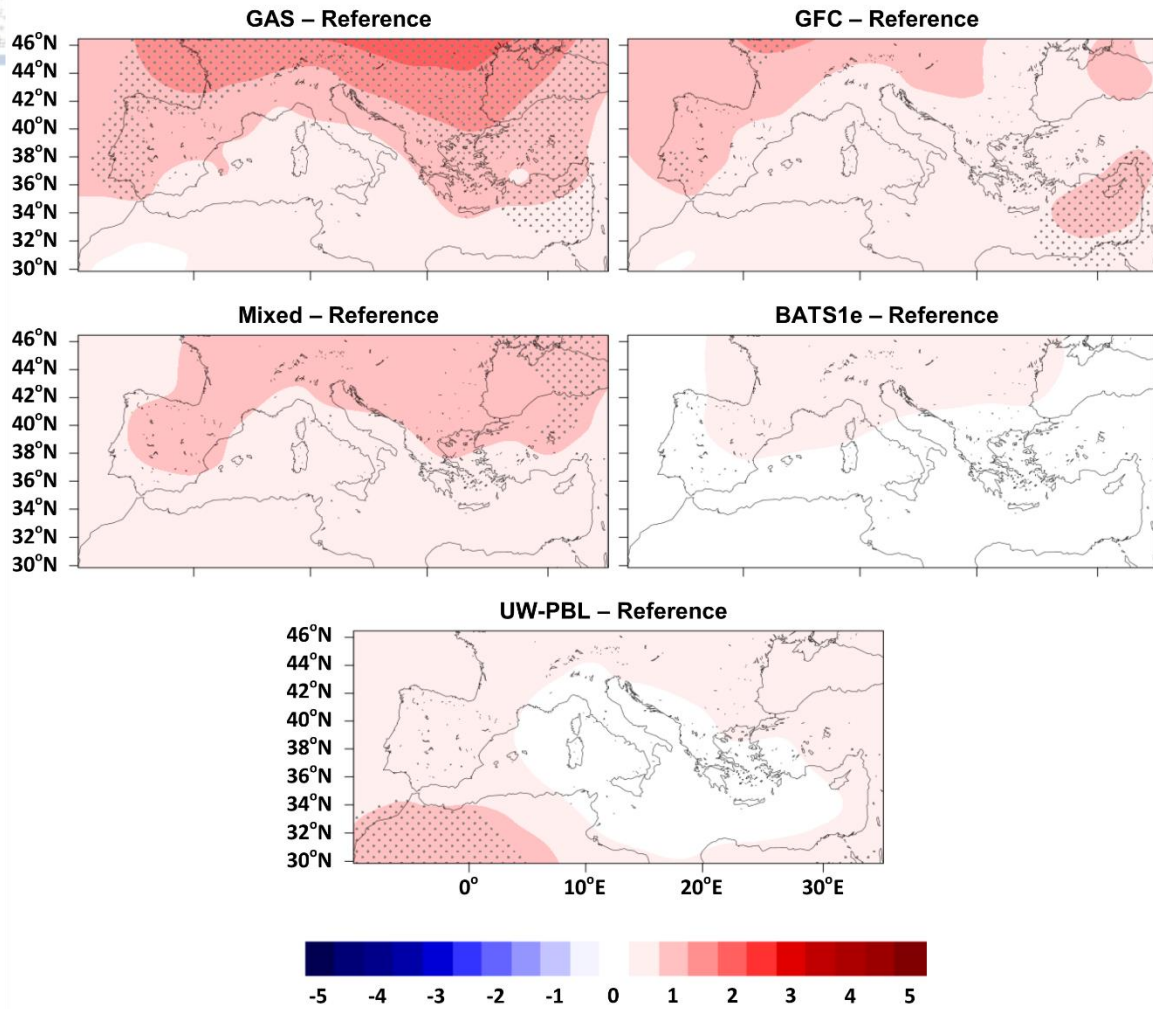


Σχήμα Παρ.17α. Χάρτες επιφανείας από τις υπό εξέταση προσομοιώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα (αριστερή στήλη) και του καλοκαιριού (δεξιά στήλη)



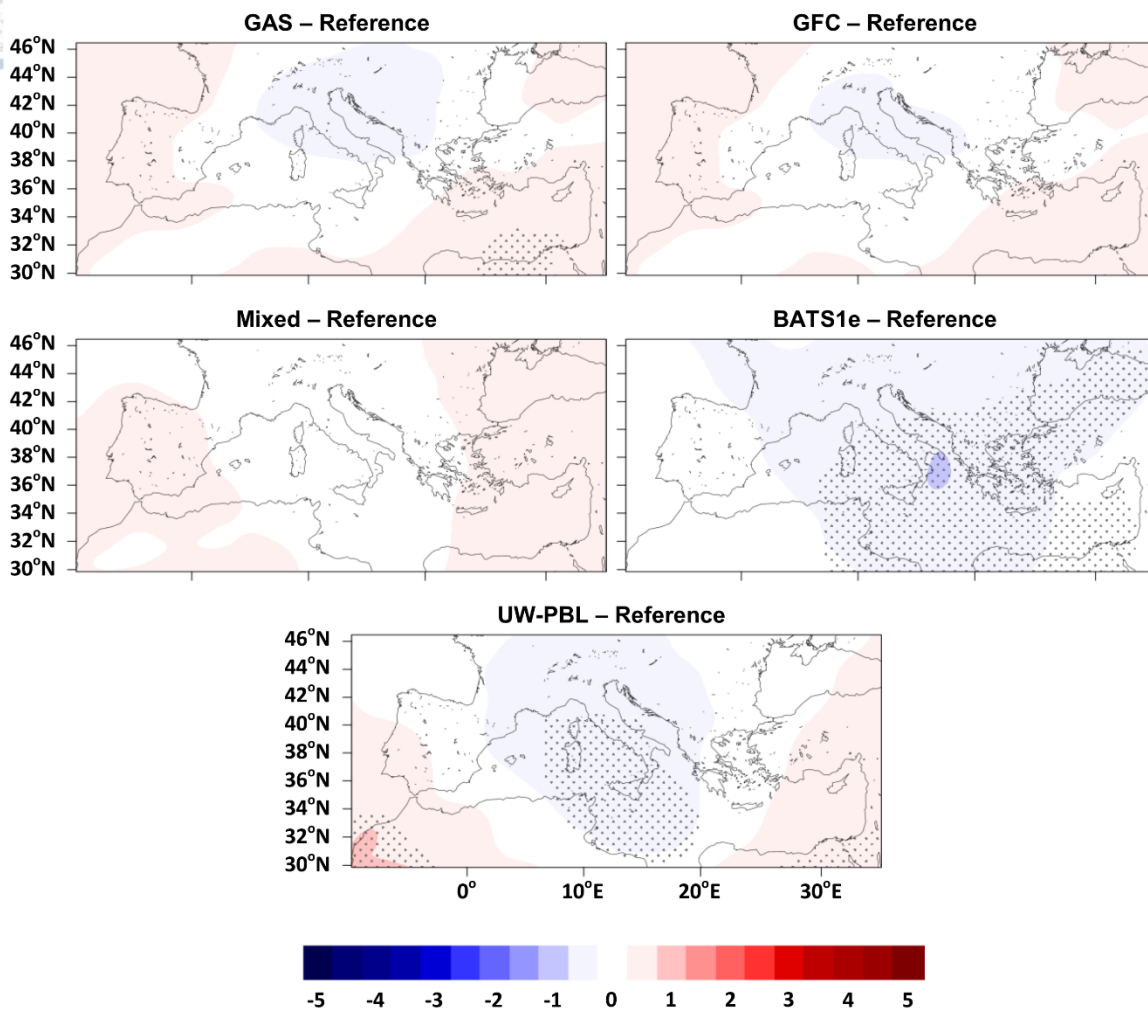
Σχήμα Παρ.17b. Χάρτες επιφανείας από τις υπό εξέταση προσομοιώσεις κατά τη διάρκεια της άνοιξης (αριστερή στήλη) και του φθινόπωρου (δεξιά στήλη)

ΑΝΟΙΞΗ



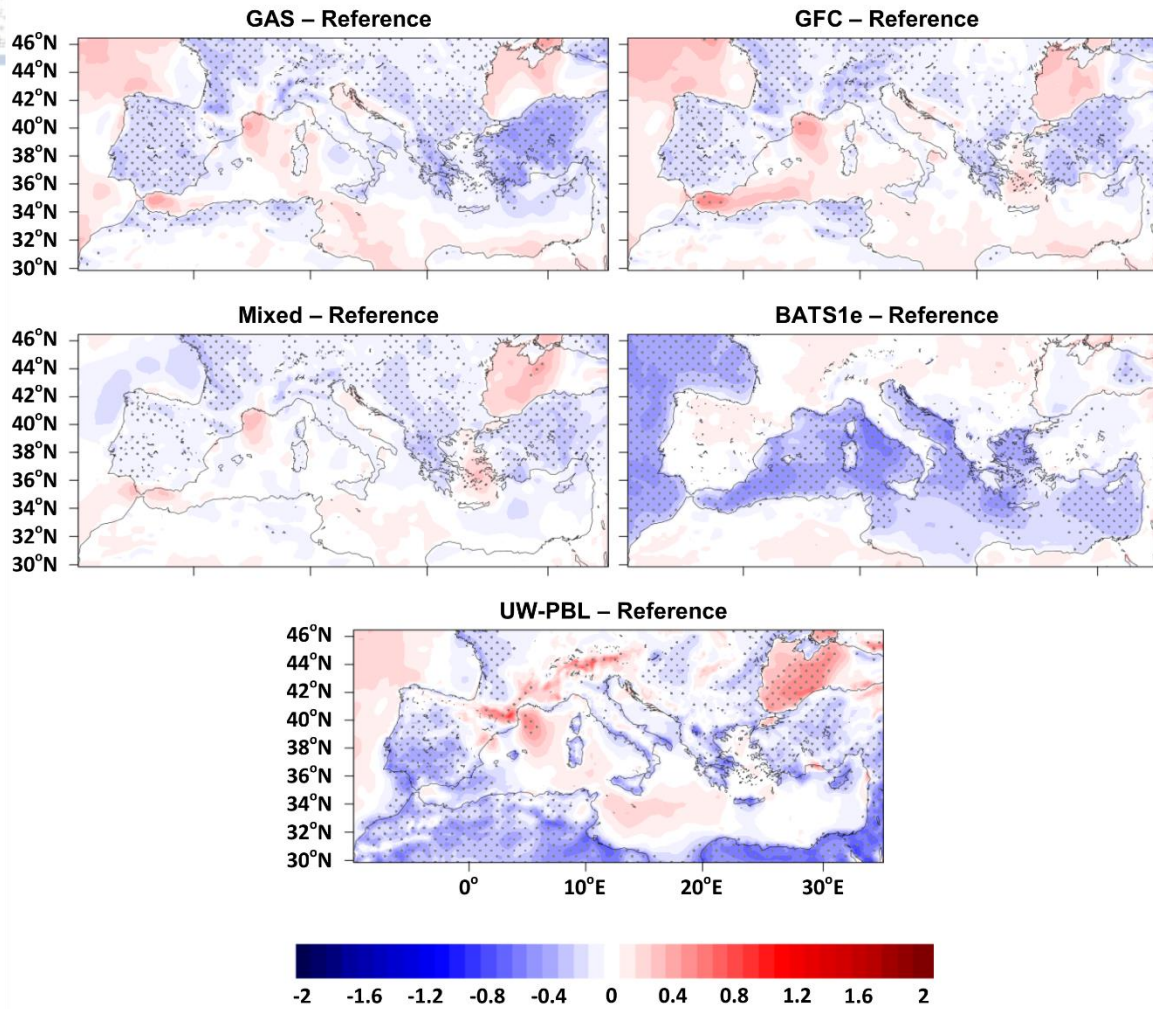
Σχήμα Παρ.18. Χάρτες διαφορών για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



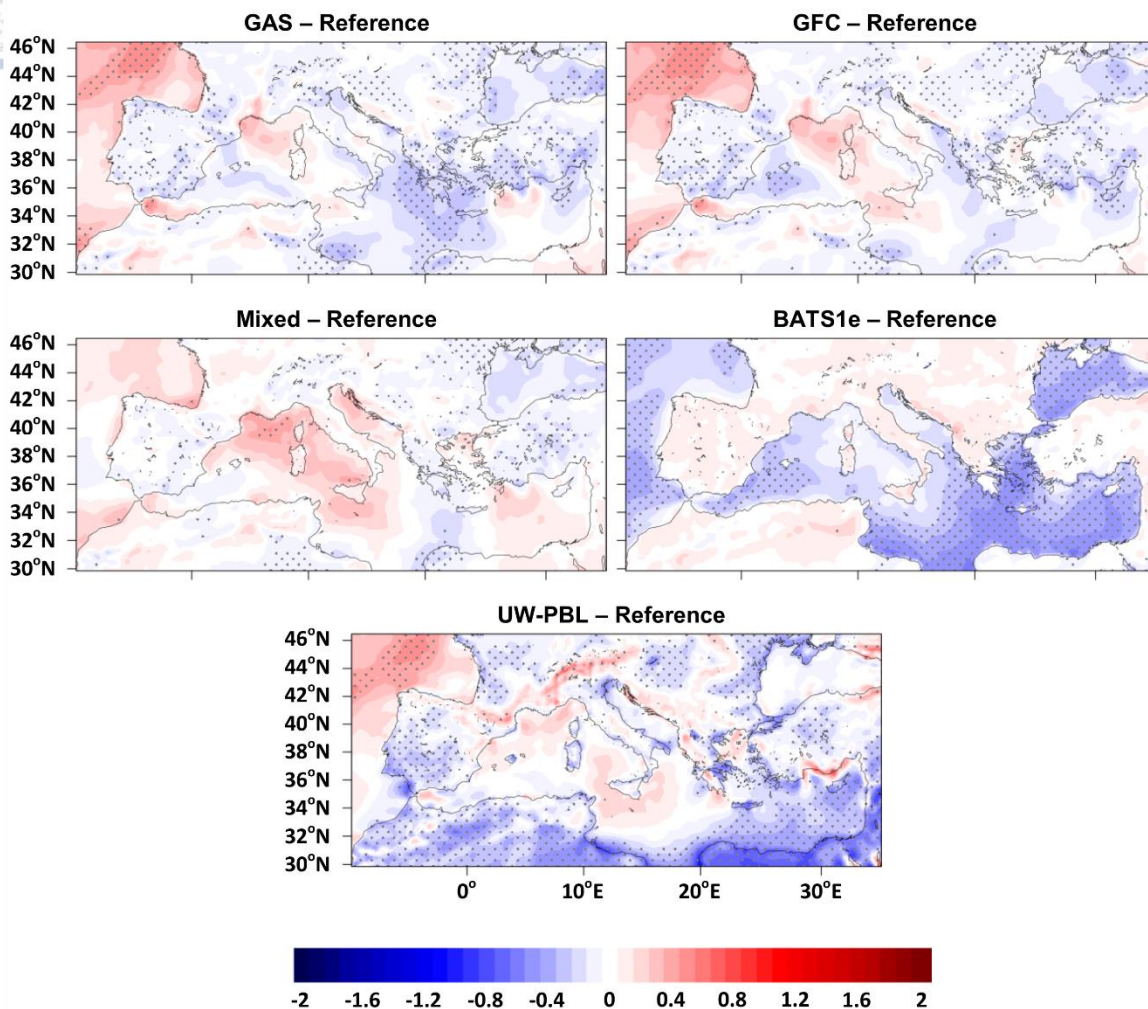
Σχήμα Παρ.19. Χάρτες διαφορών για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ



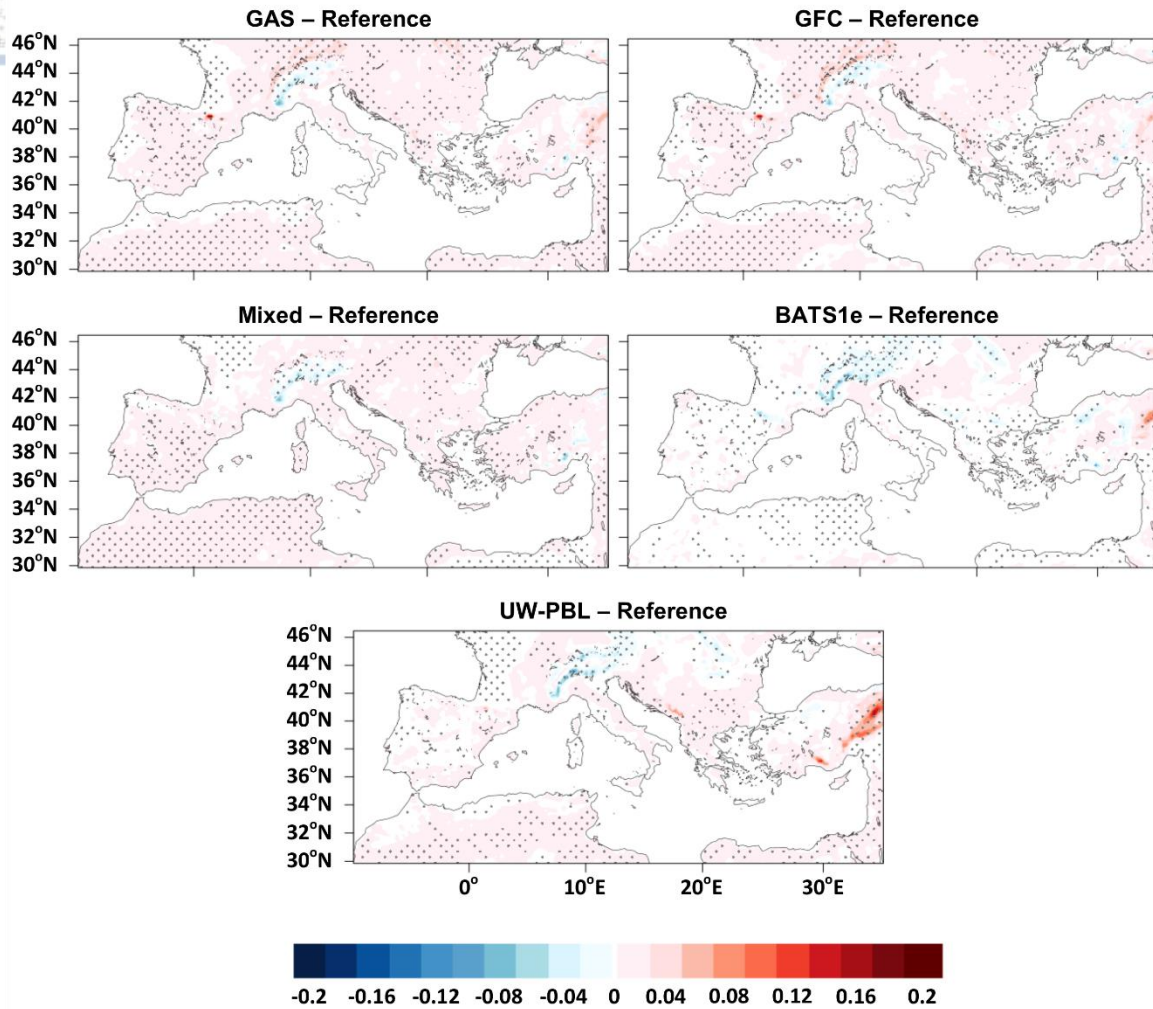
Σχήμα Παρ.20. Χάρτες διαφορών για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



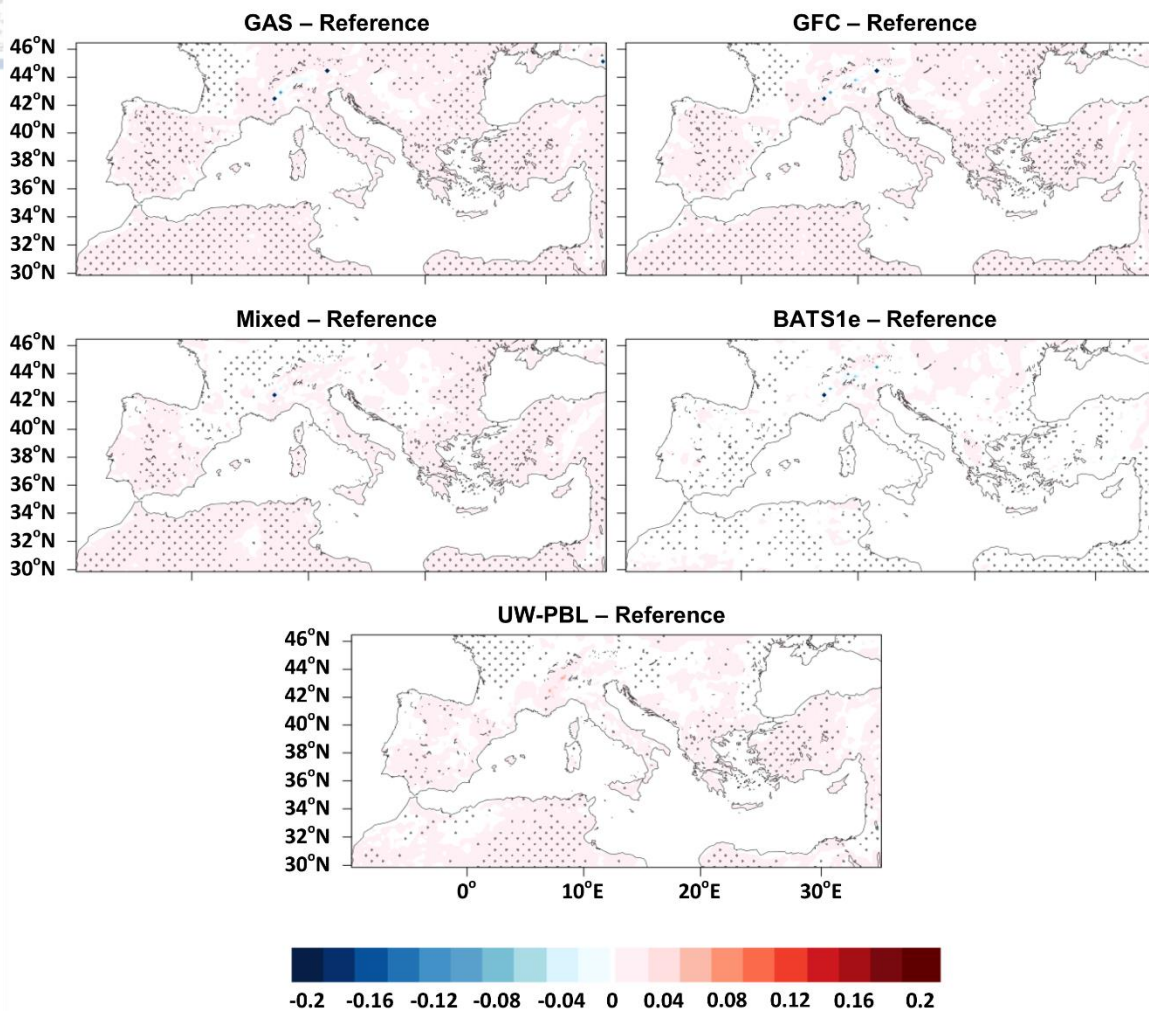
Σχήμα Παρ.21. Χάρτες διαφορών για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ



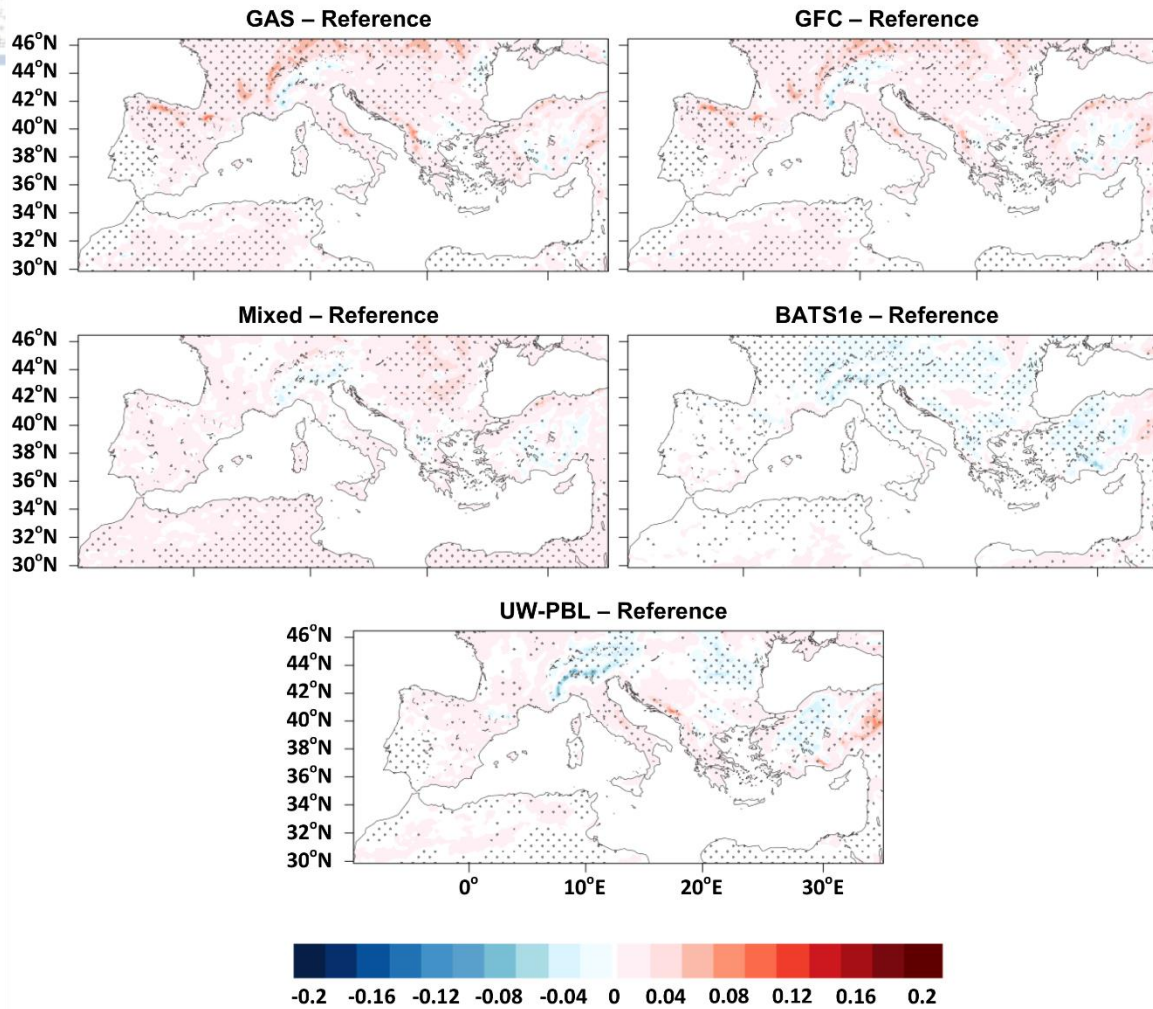
Σχήμα Παρ.22. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



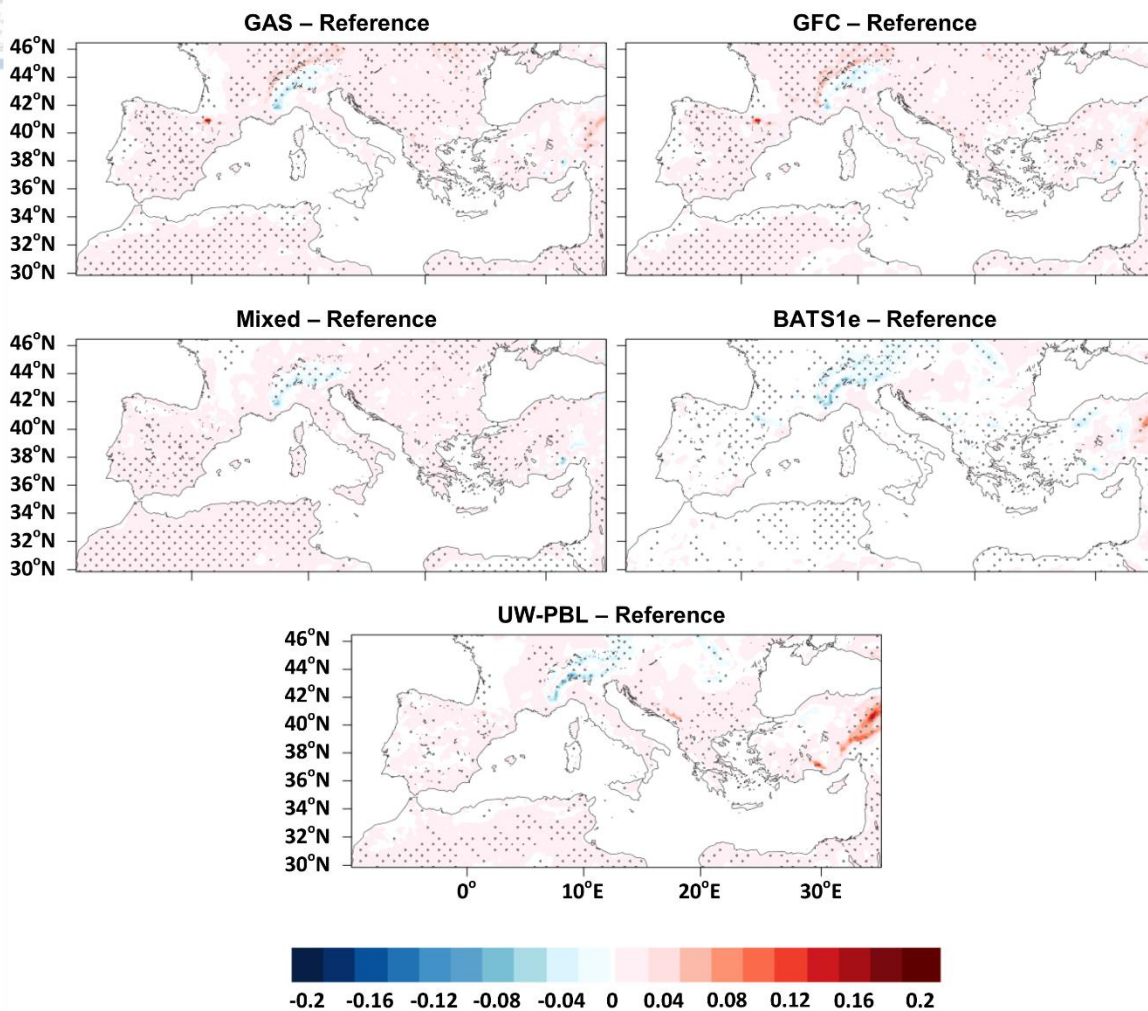
Σχήμα Παρ.23. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΧΕΙΜΩΝΑΣ



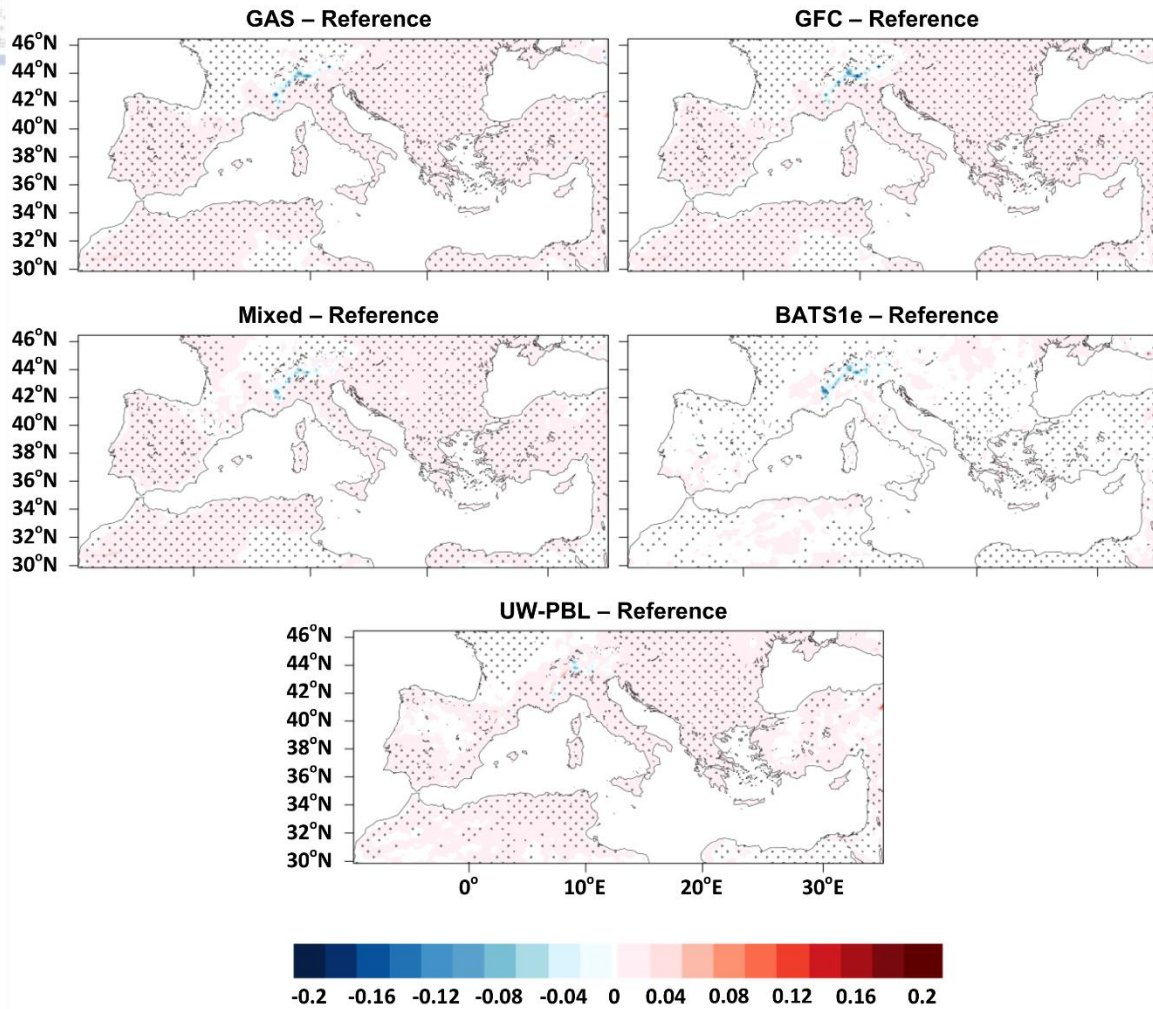
Σχήμα Παρ.24. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ



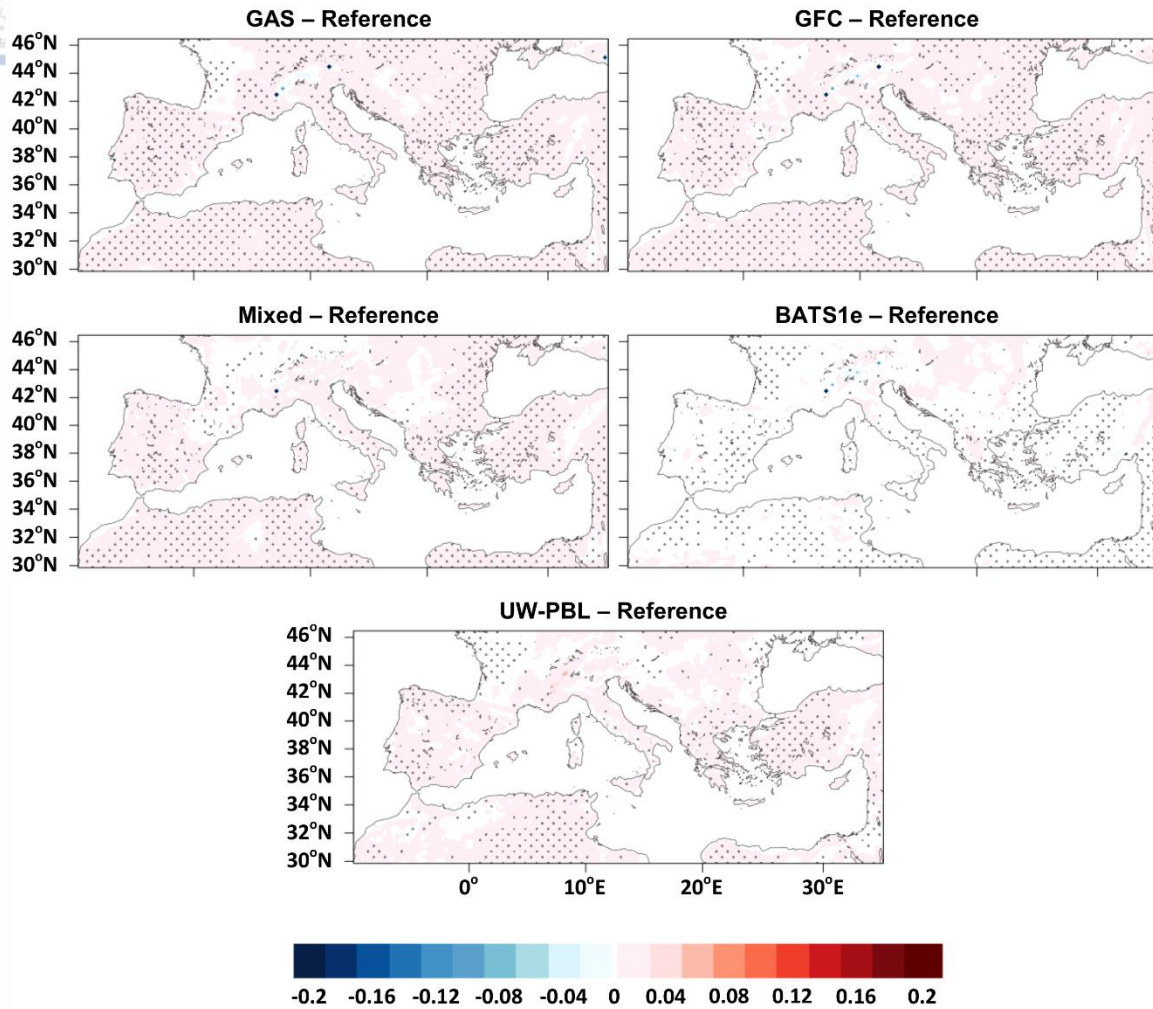
Σχήμα Παρ.25. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ



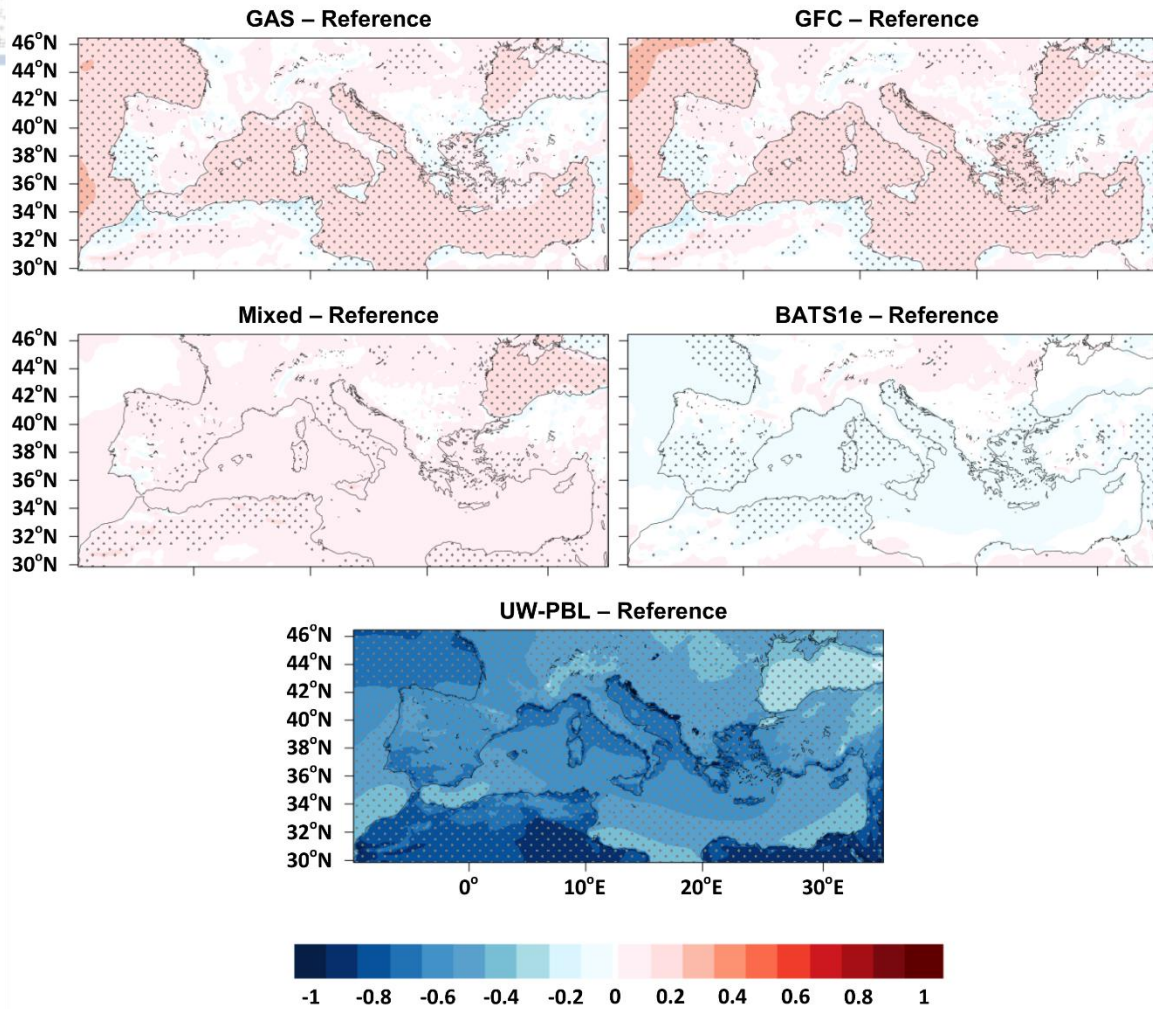
Σχήμα Παρ.26. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



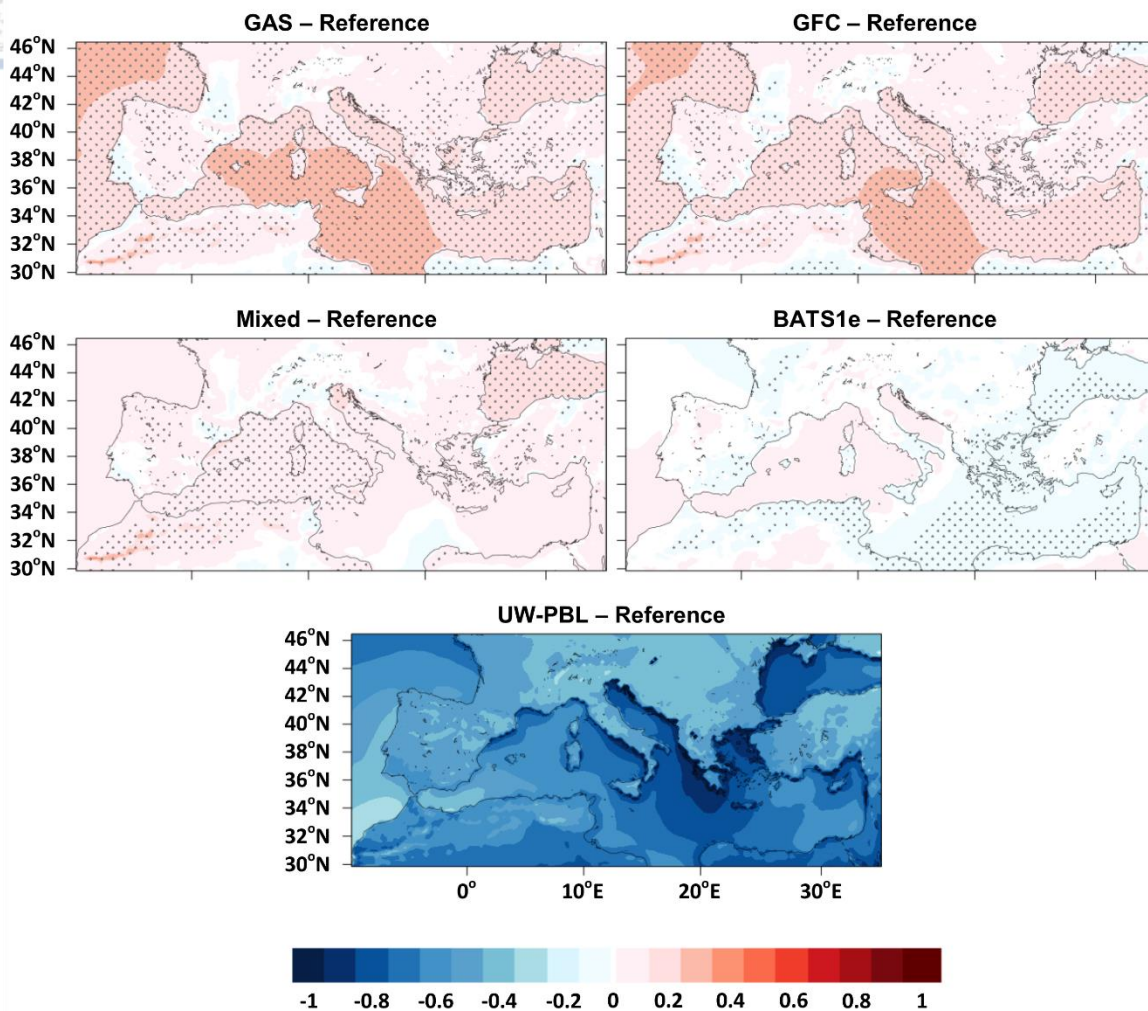
Σχήμα Παρ.27. Χάρτες διαφορών για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

ΑΝΟΙΞΗ

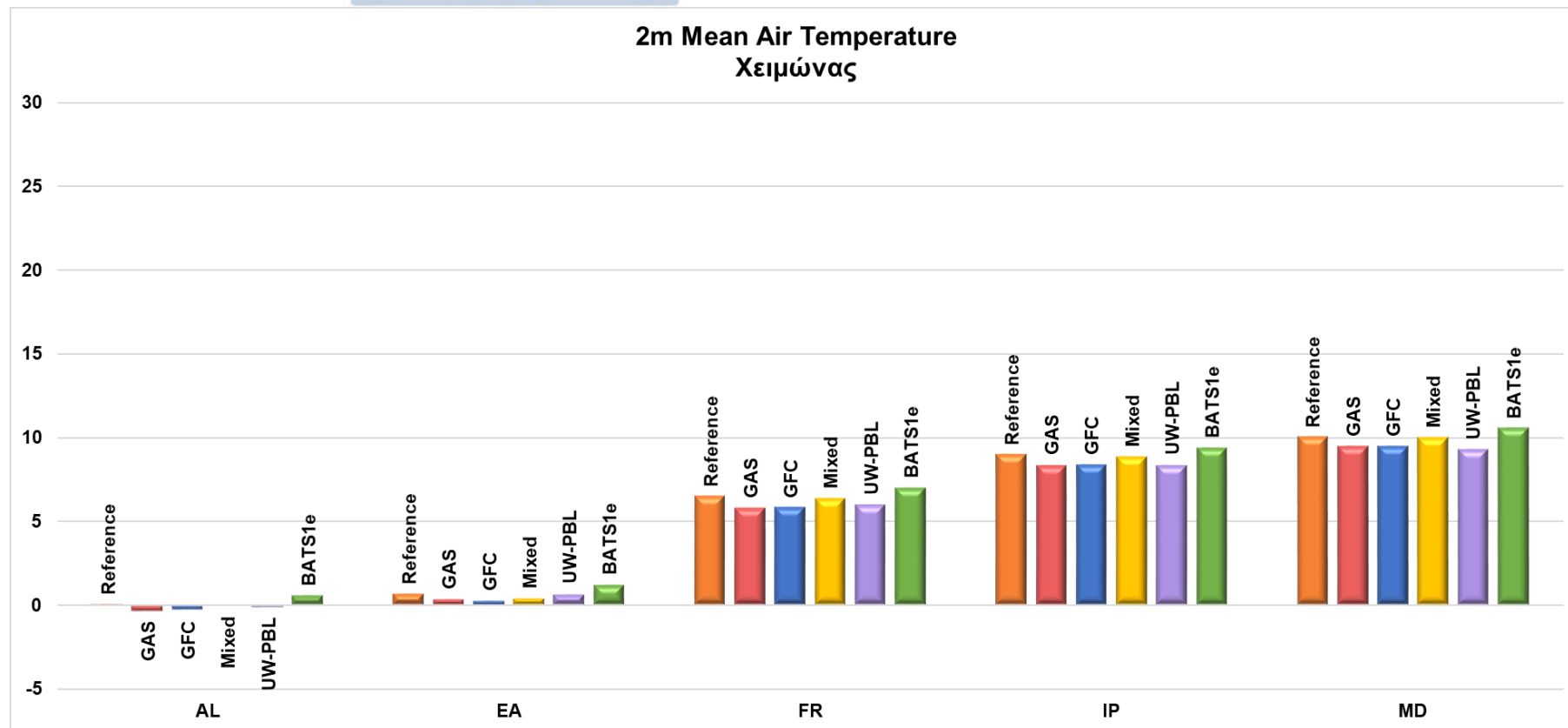


Σχήμα Παρ.28. Χάρτες διαφορών για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια της άνοιξης για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες

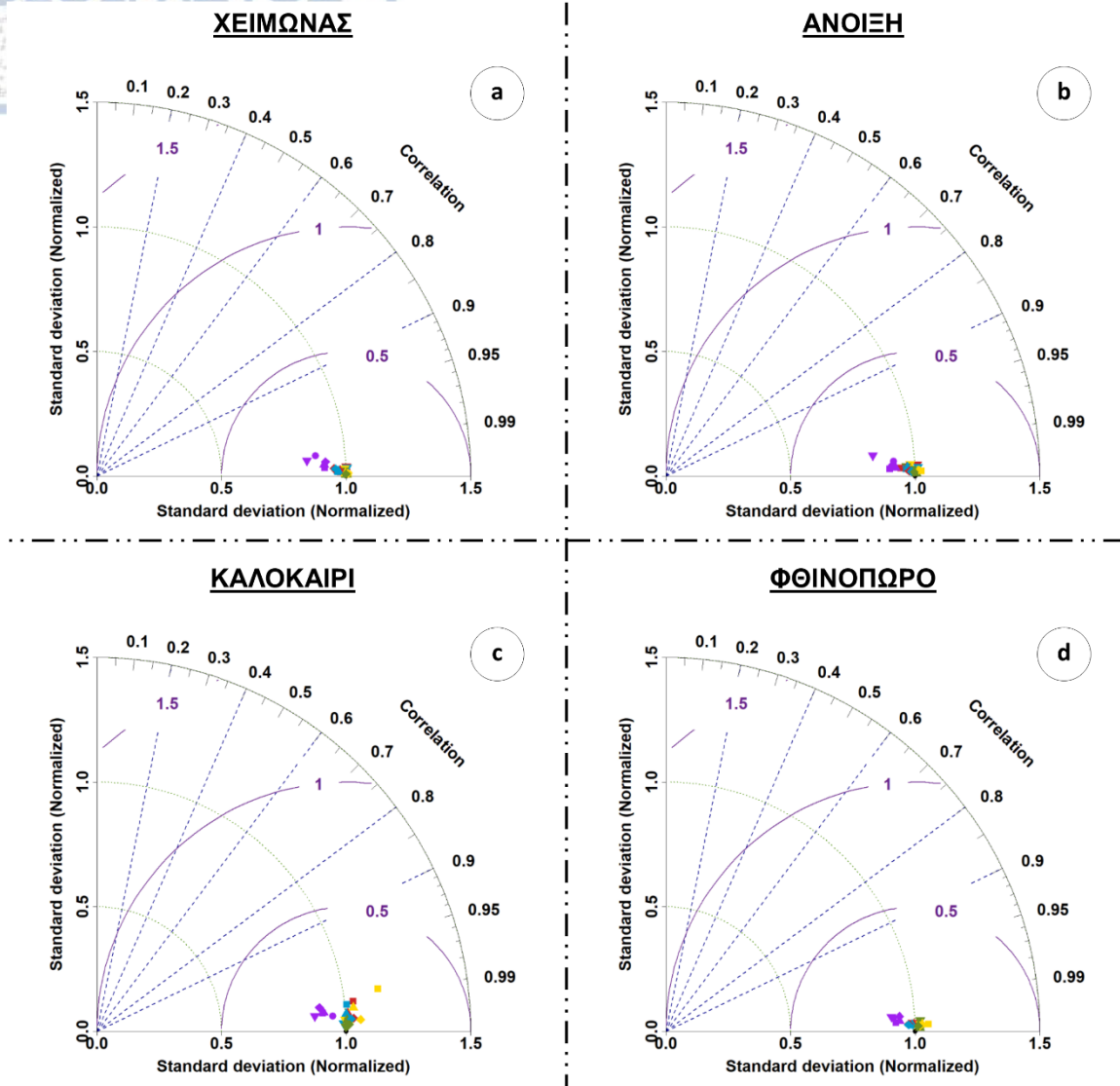
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



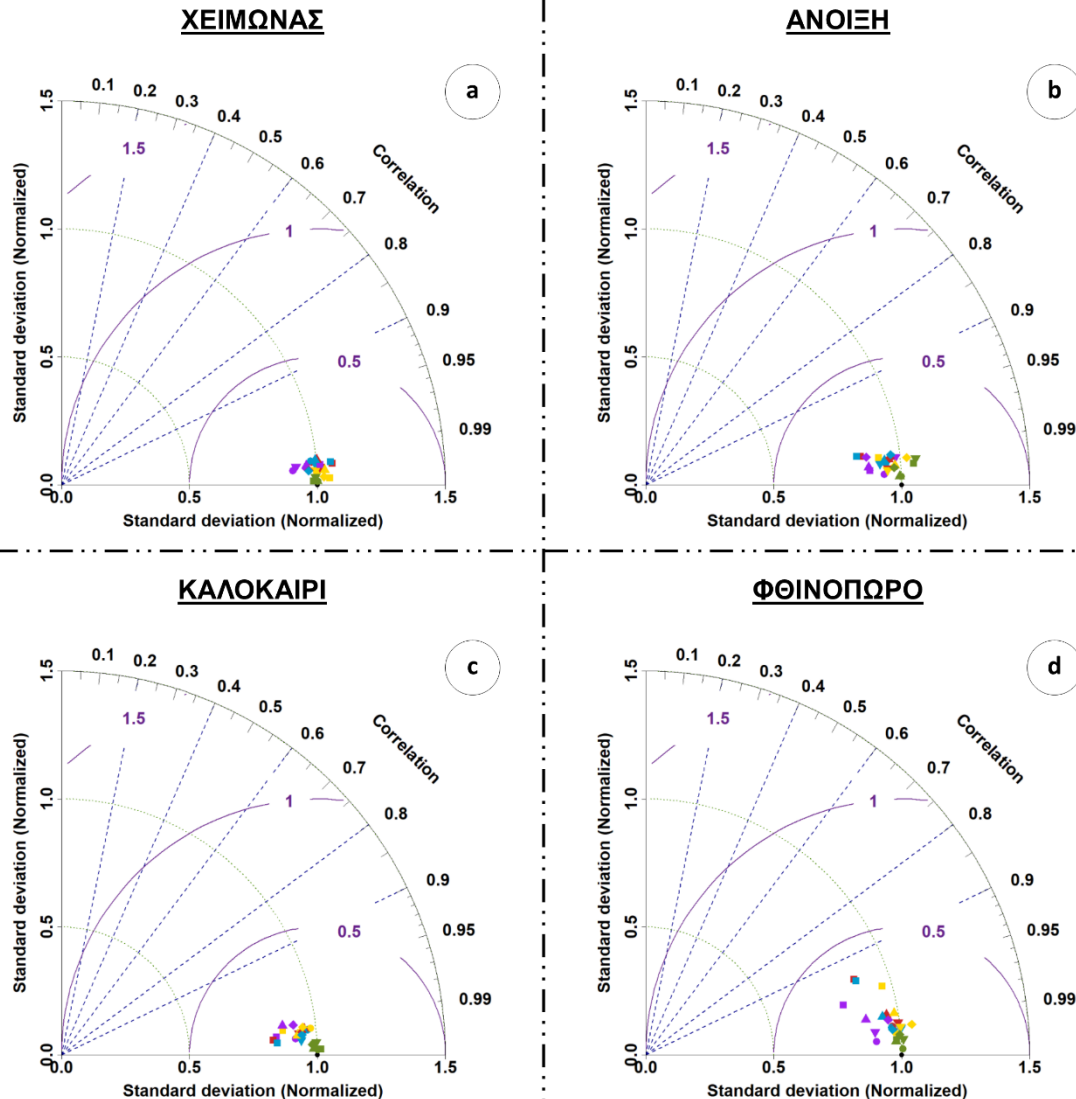
Σχήμα Παρ.29. Χάρτες διαφορών για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km) ανάμεσα στις υπό εξέταση προσομοιώσεις με τις αλλαγές στις φυσικές παραμετροποιήσεις του μοντέλου και τη Reference προσομοίωση κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου για την περίοδο 1981-1990. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες



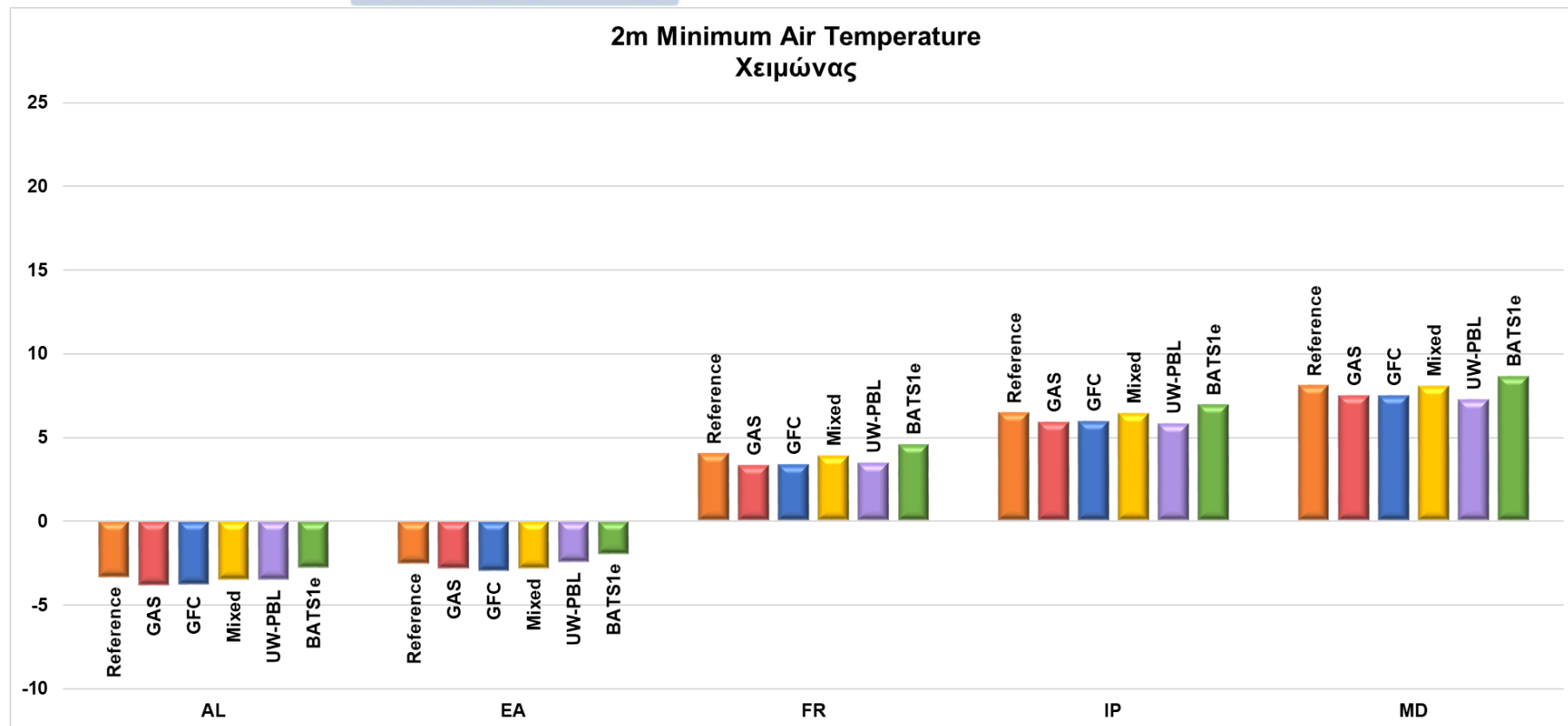
Σχήμα Παρ.30. Ραβδογράμματα για τη μέση θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



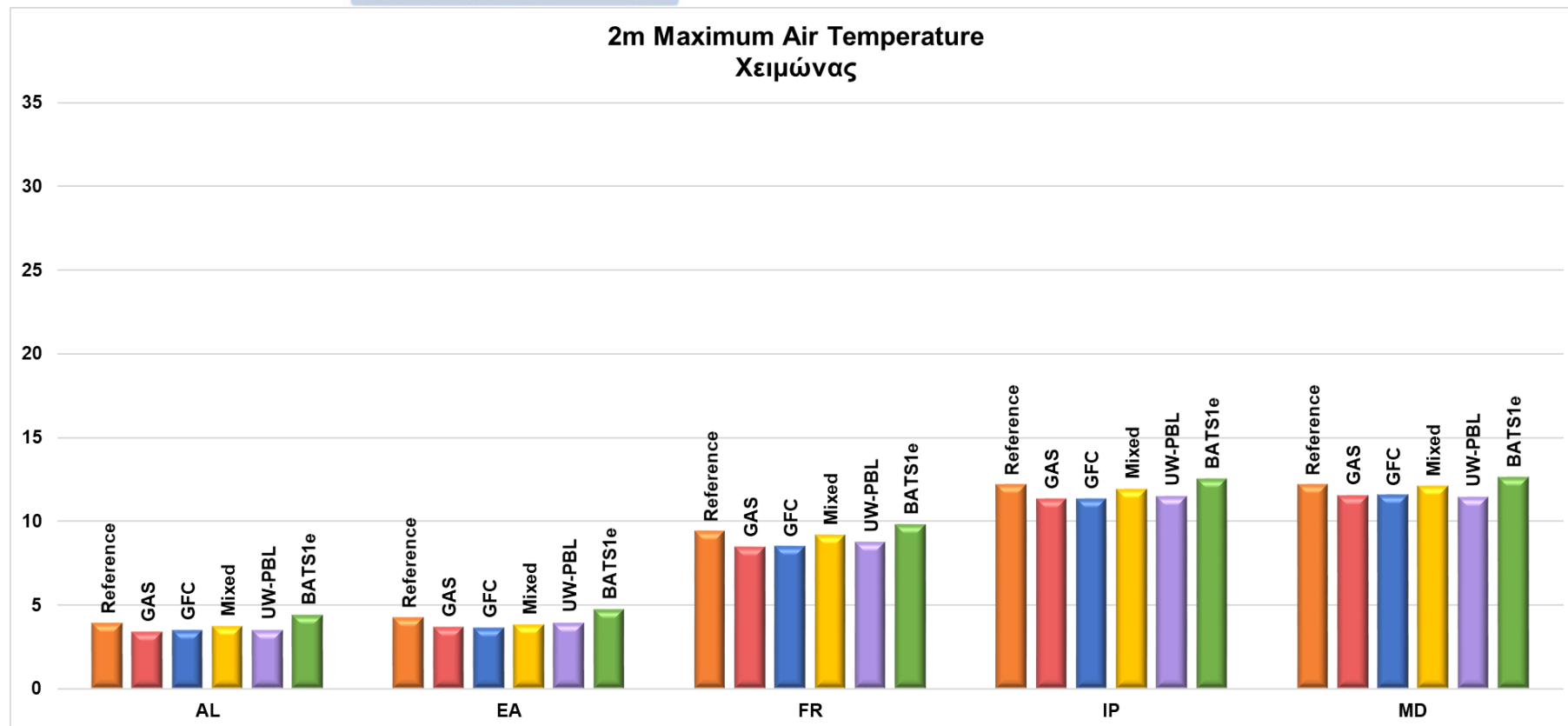
Σχήμα Παρ.31. Η συμπεριφορά του RegCM4 για την ελάχιστη θερμοκρασία σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (κόκκινο → GAS προσομοίωση, μπλε → GFC προσομοίωση, κίτρινο → Mixed προσομοίωση, πράσινο → BATS1e προσομοίωση, μωβ → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)



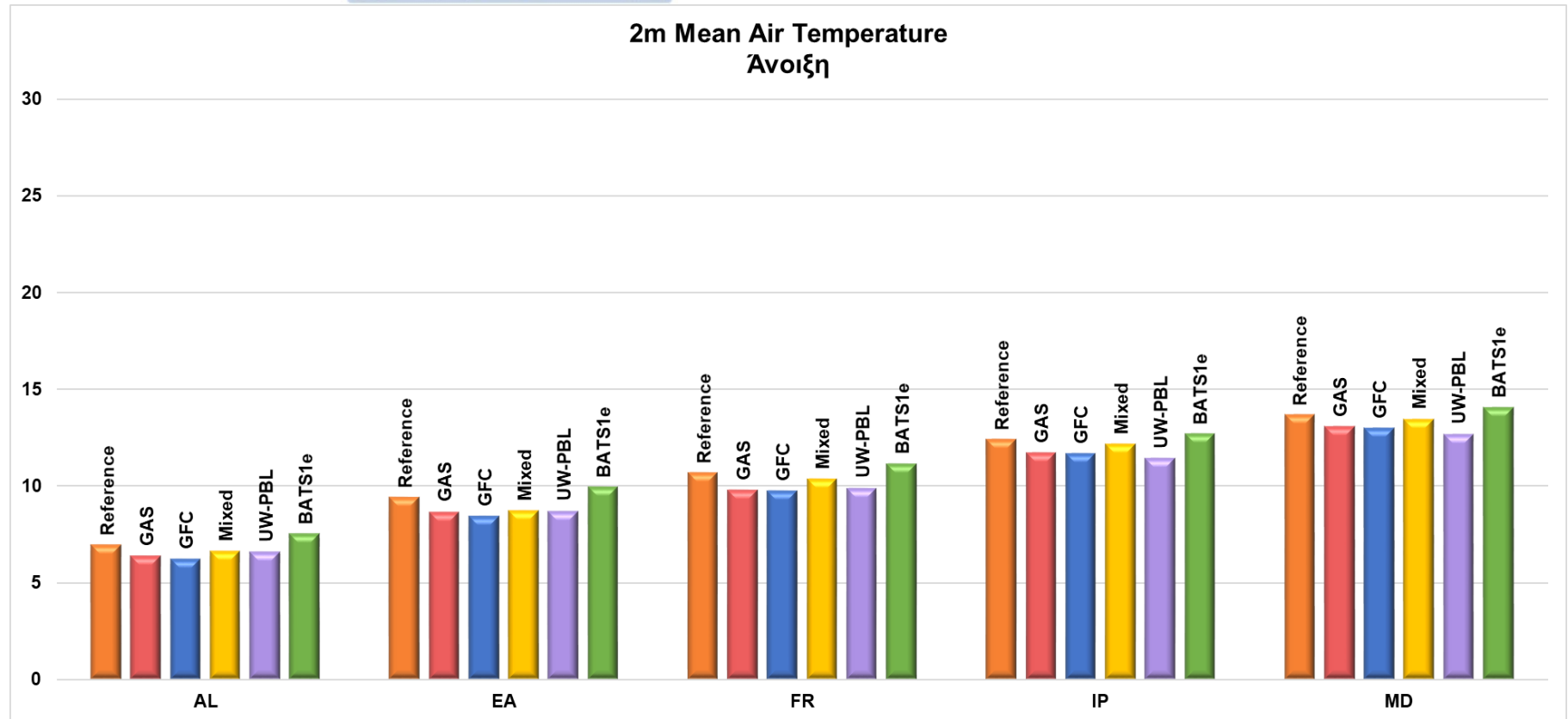
Σχήμα Παρ.32. Η συμπεριφορά του RegCM4 για τη μέγιστη θερμοκρασία σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (κόκκινο → GAS προσομοίωση, μπλε → GFC προσομοίωση, κίτρινο → Mixed προσομοίωση, πράσινο → BATS1e προσομοίωση, μωβ → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (● → AL, ▼ → EA, ■ → FR, ▲ → IP, ◆ → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)



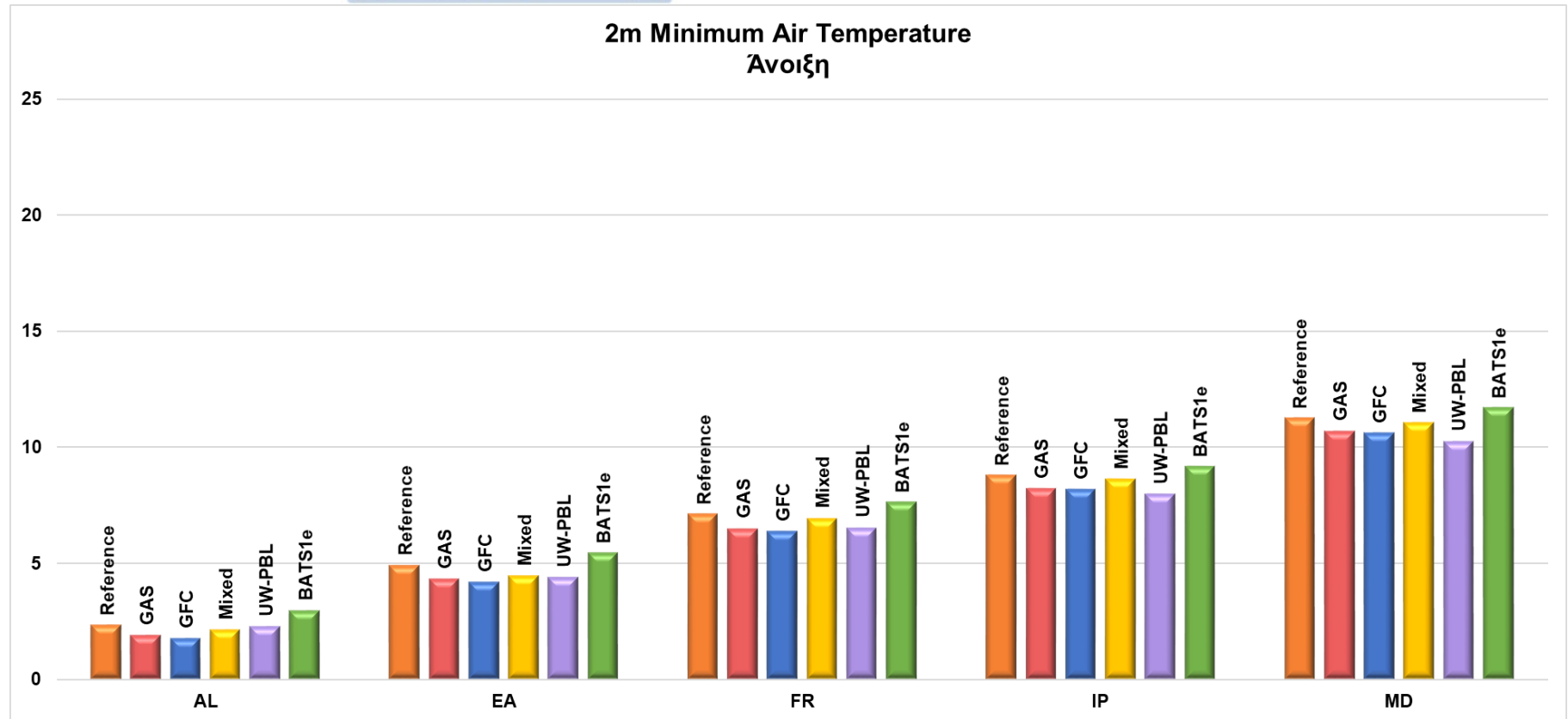
Σχήμα Παρ.33. Ραβδογράμματα για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



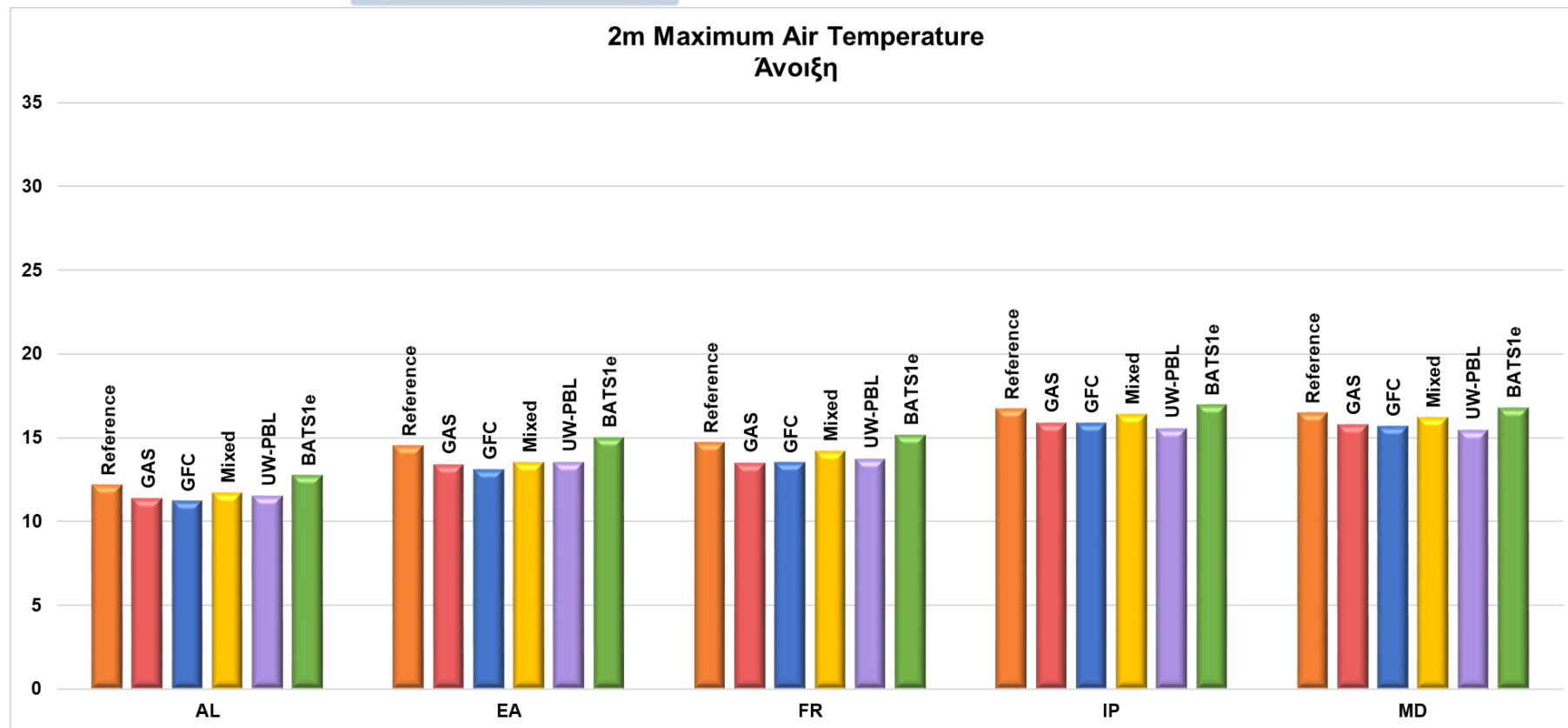
Σχήμα Παρ.34. Ραβδογράμματα για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



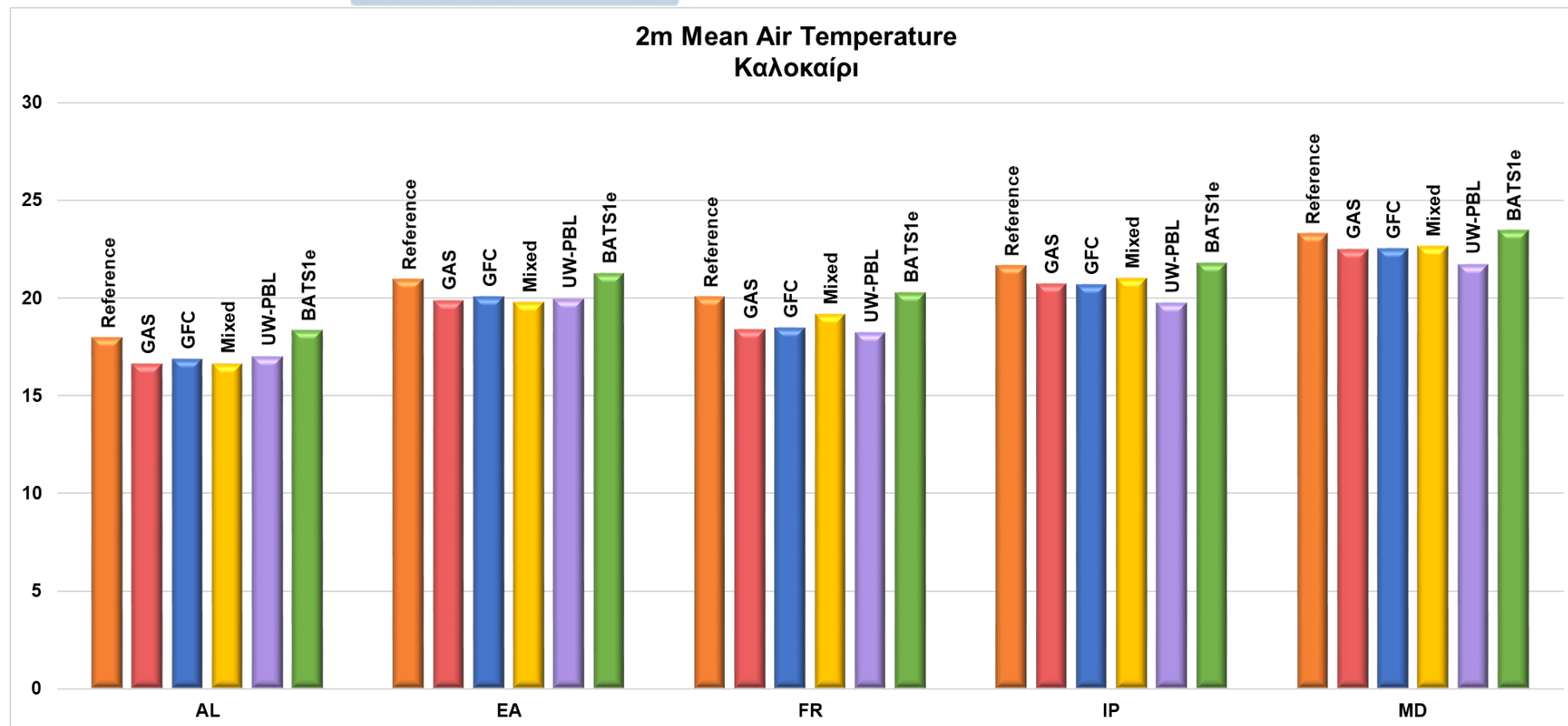
Σχήμα Παρ.35. Ραβδογράμματα για τη μέση θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



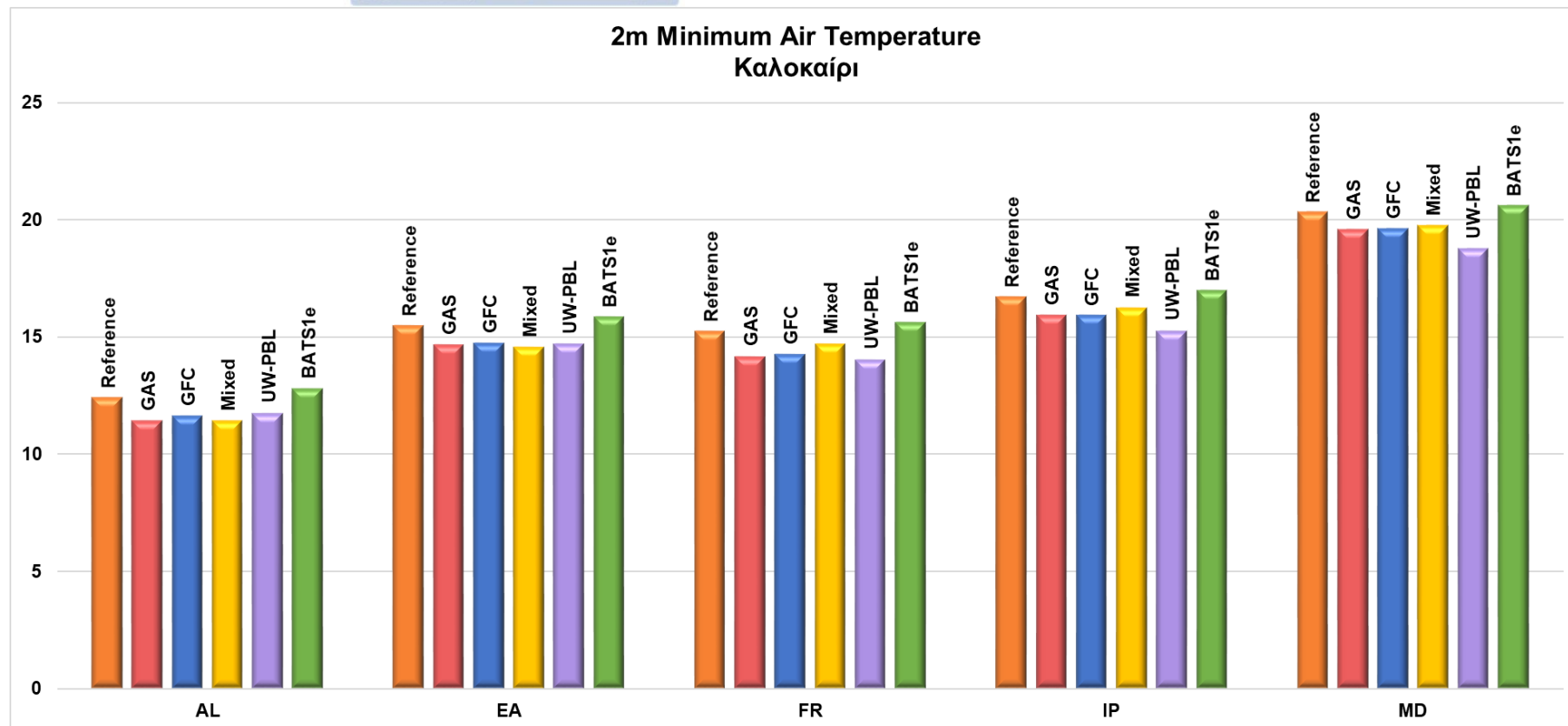
Σχήμα Παρ.36. Ραβδογράμματα για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



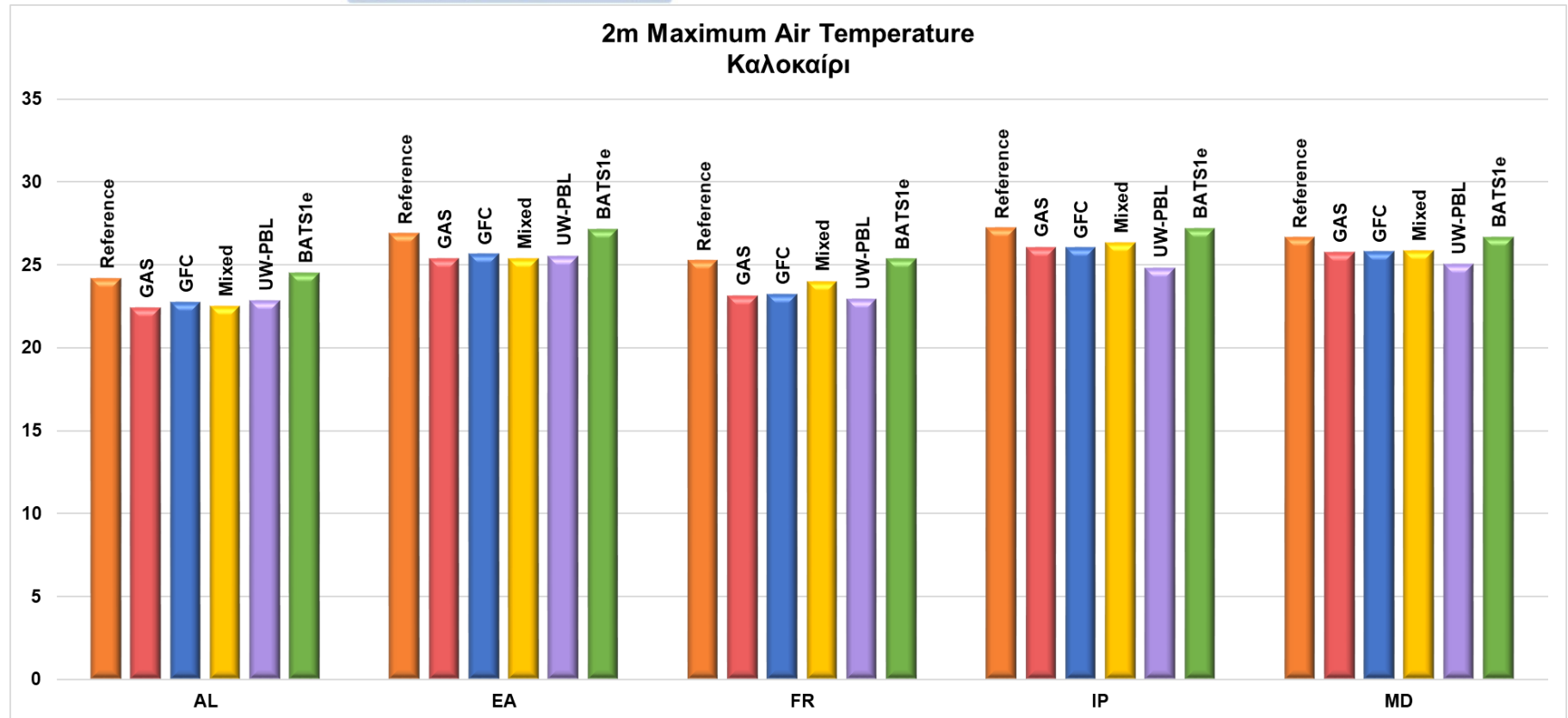
Σχήμα Παρ.37. Ραβδογράμματα για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



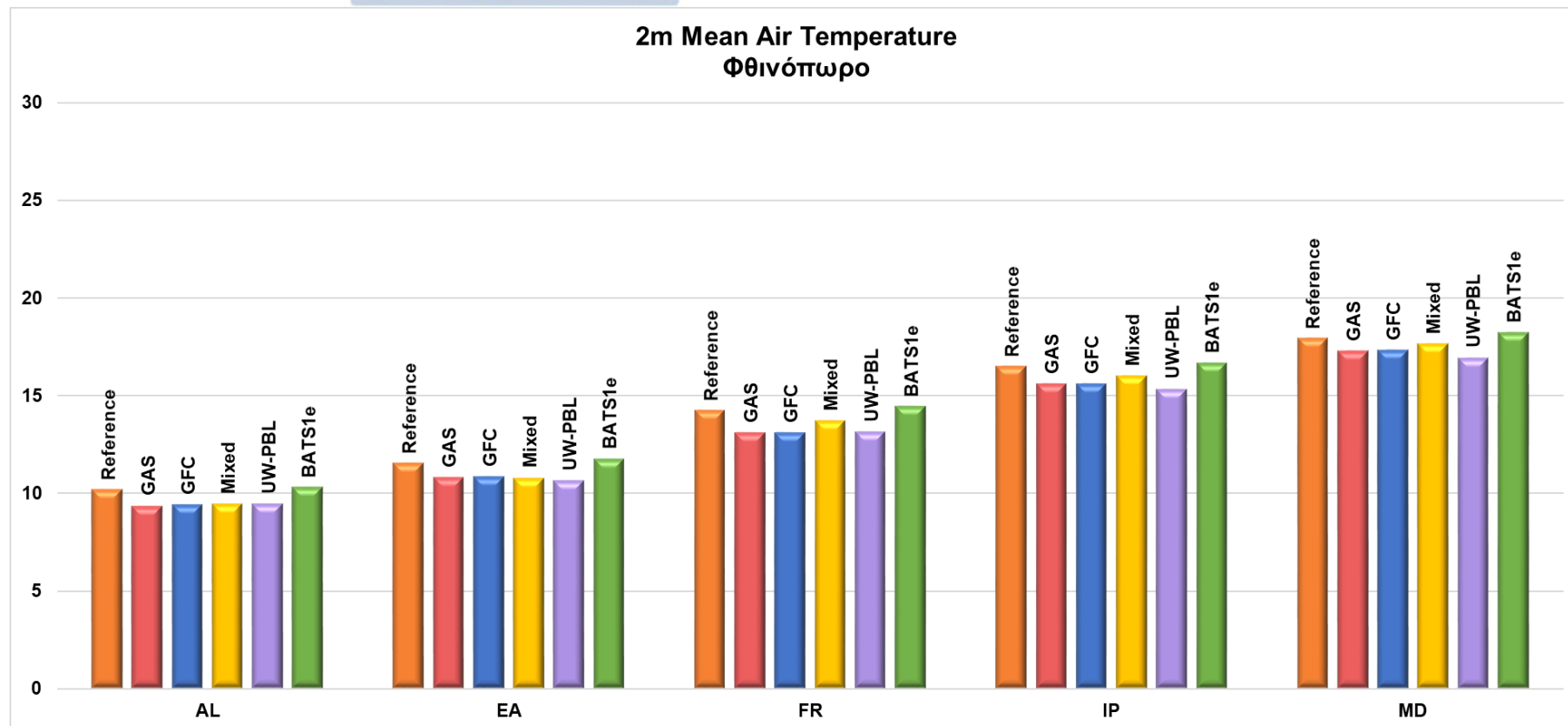
Σχήμα Παρ.38. Ραβδογράμματα για τη μέση θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



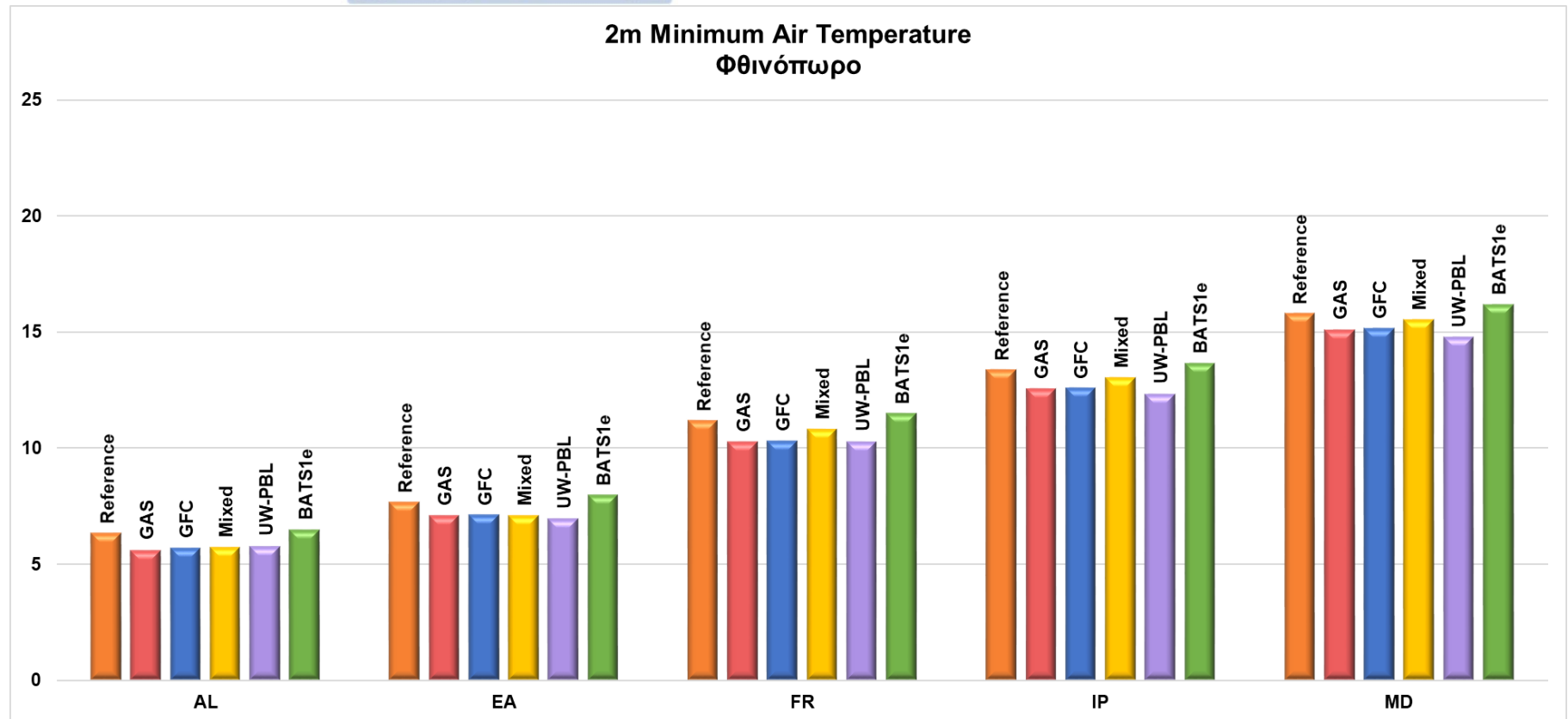
Σχήμα Παρ.39. Ραβδογράμματα για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



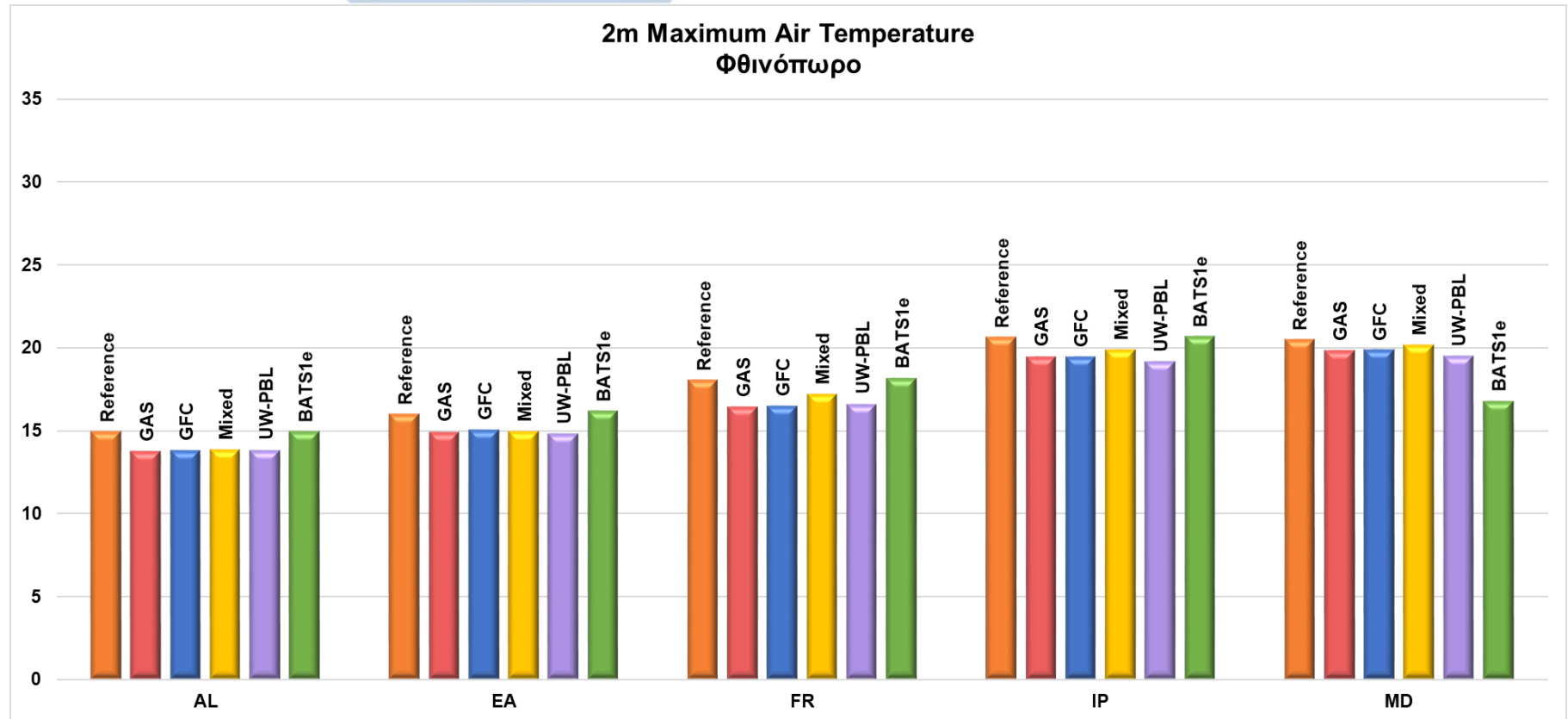
Σχήμα Παρ.40. Ραβδογράμματα για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



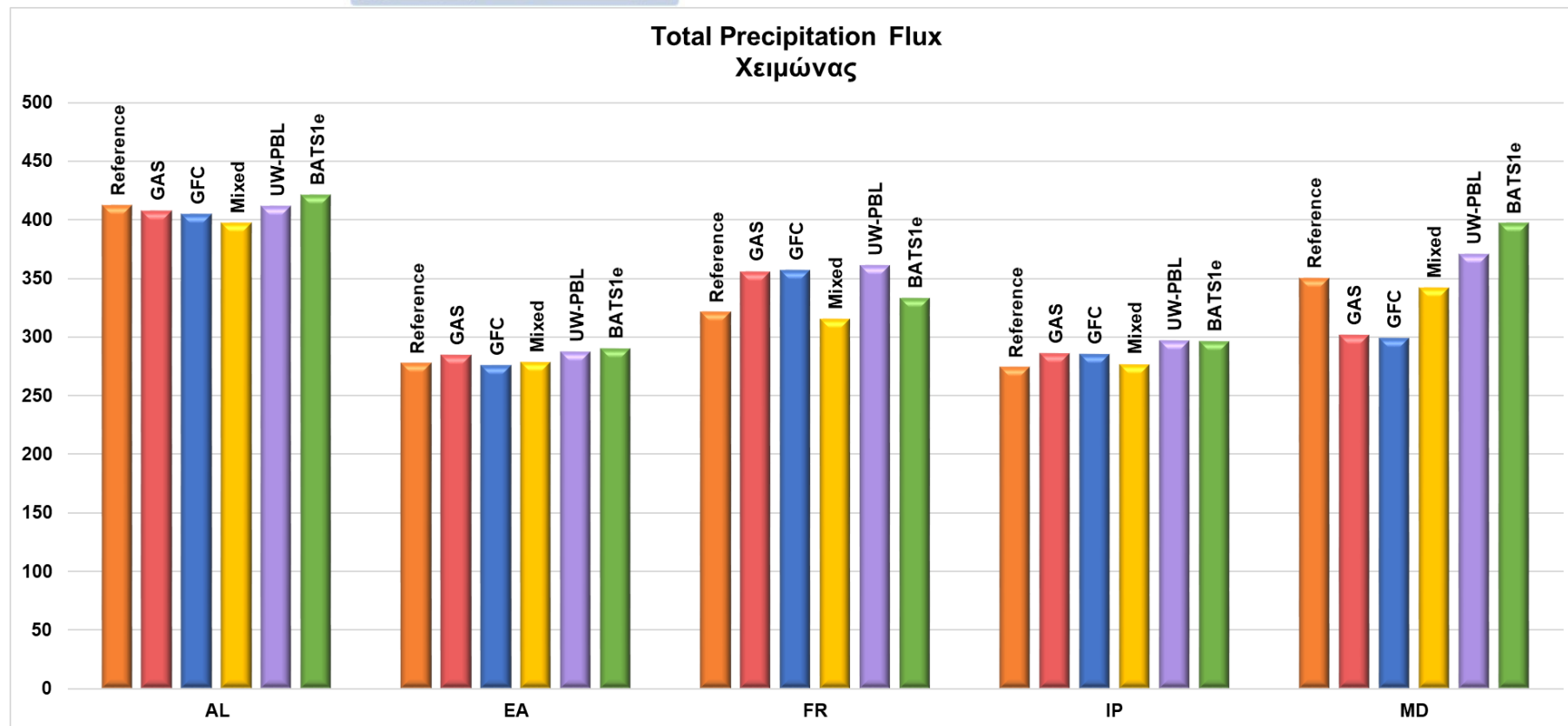
Σχήμα Παρ.41. Ραβδογράμματα για τη μέση θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



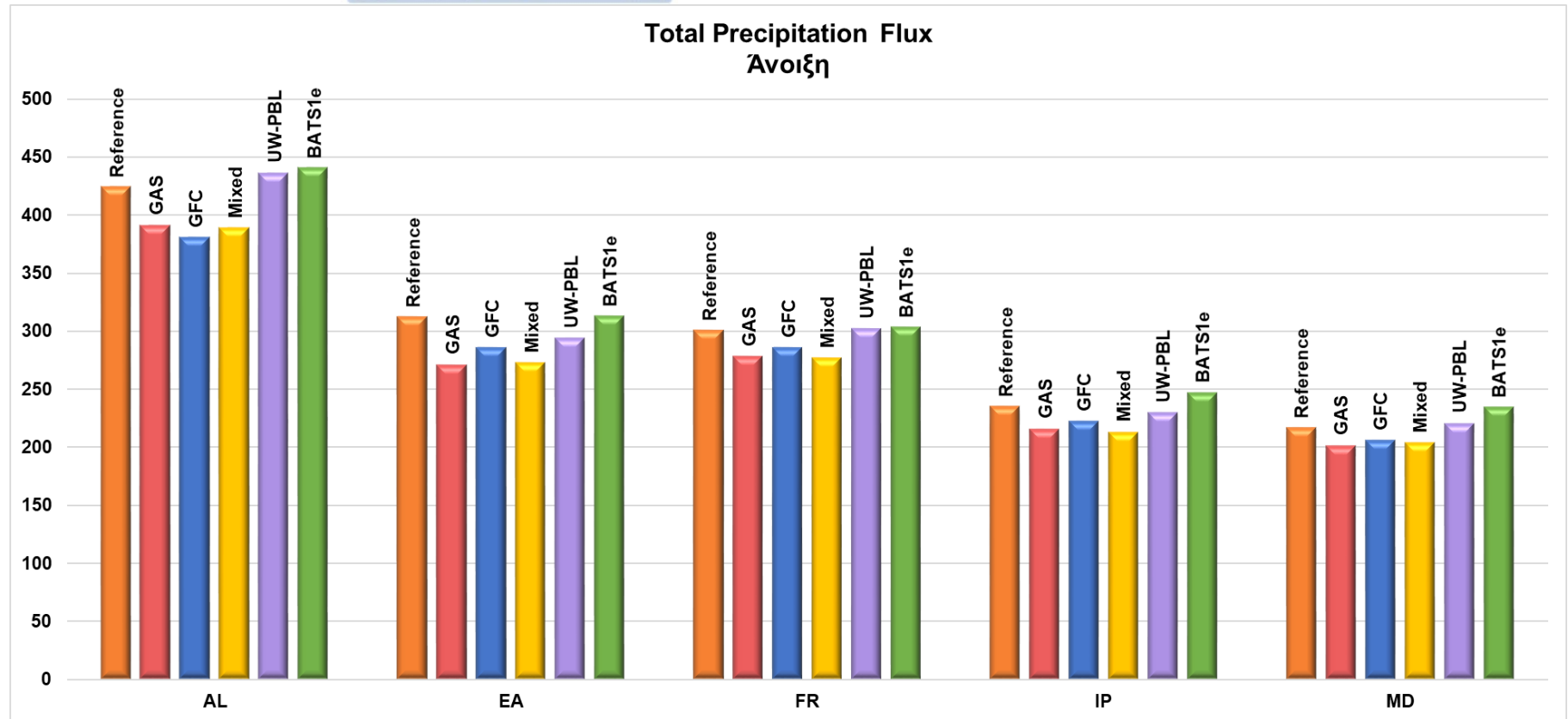
Σχήμα Παρ.42. Ραβδογράμματα για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



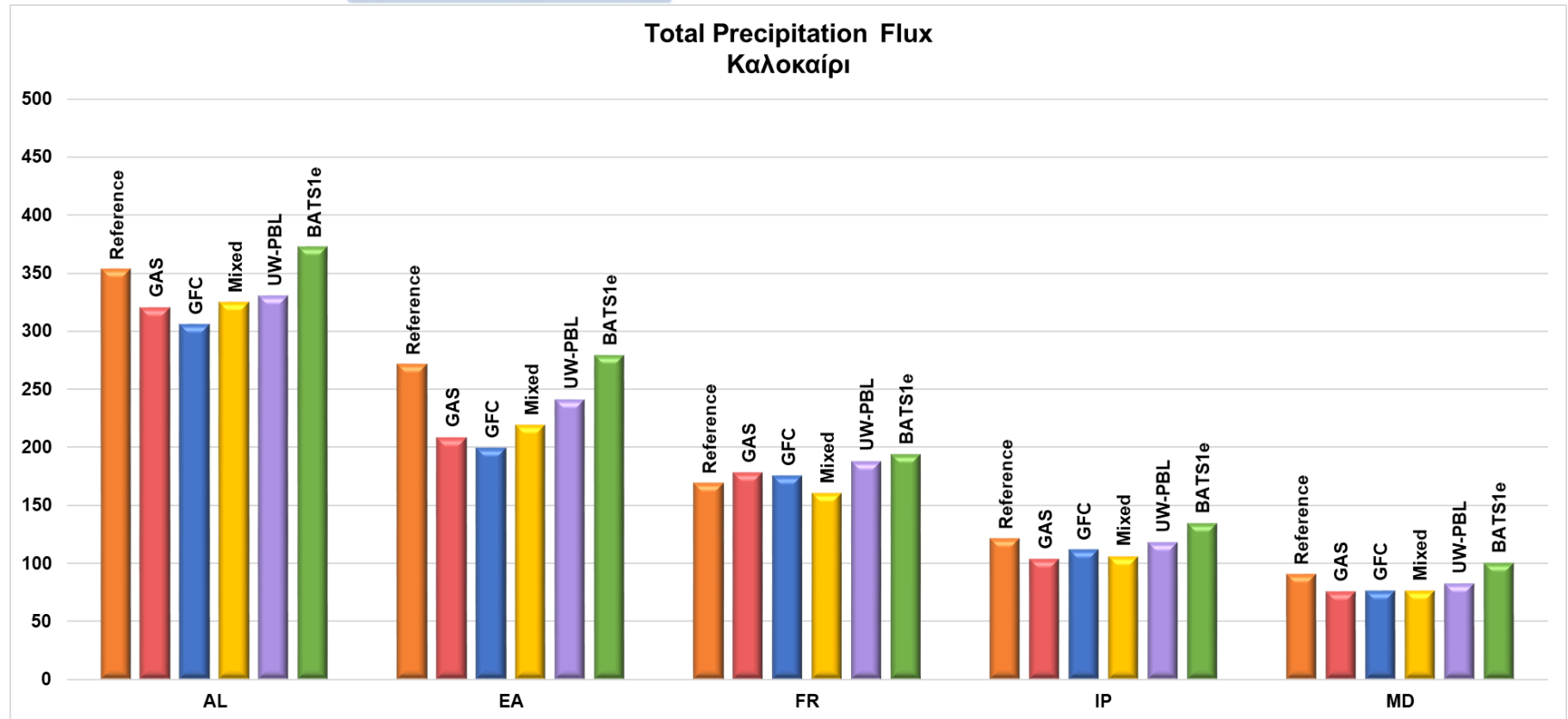
Σχήμα Παρ.43. Ραβδογράμματα για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



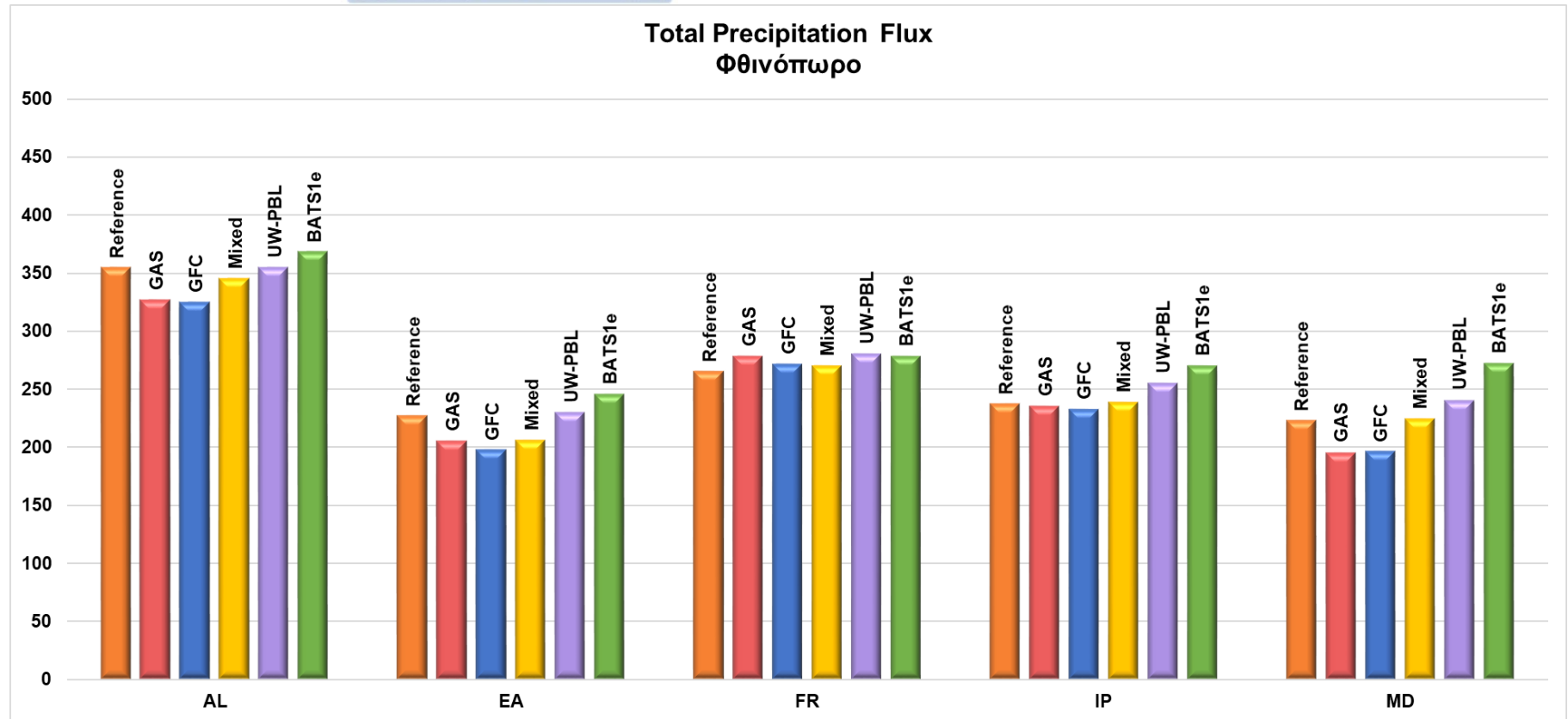
Σχήμα Παρ.44. Ραβδογράμματα για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



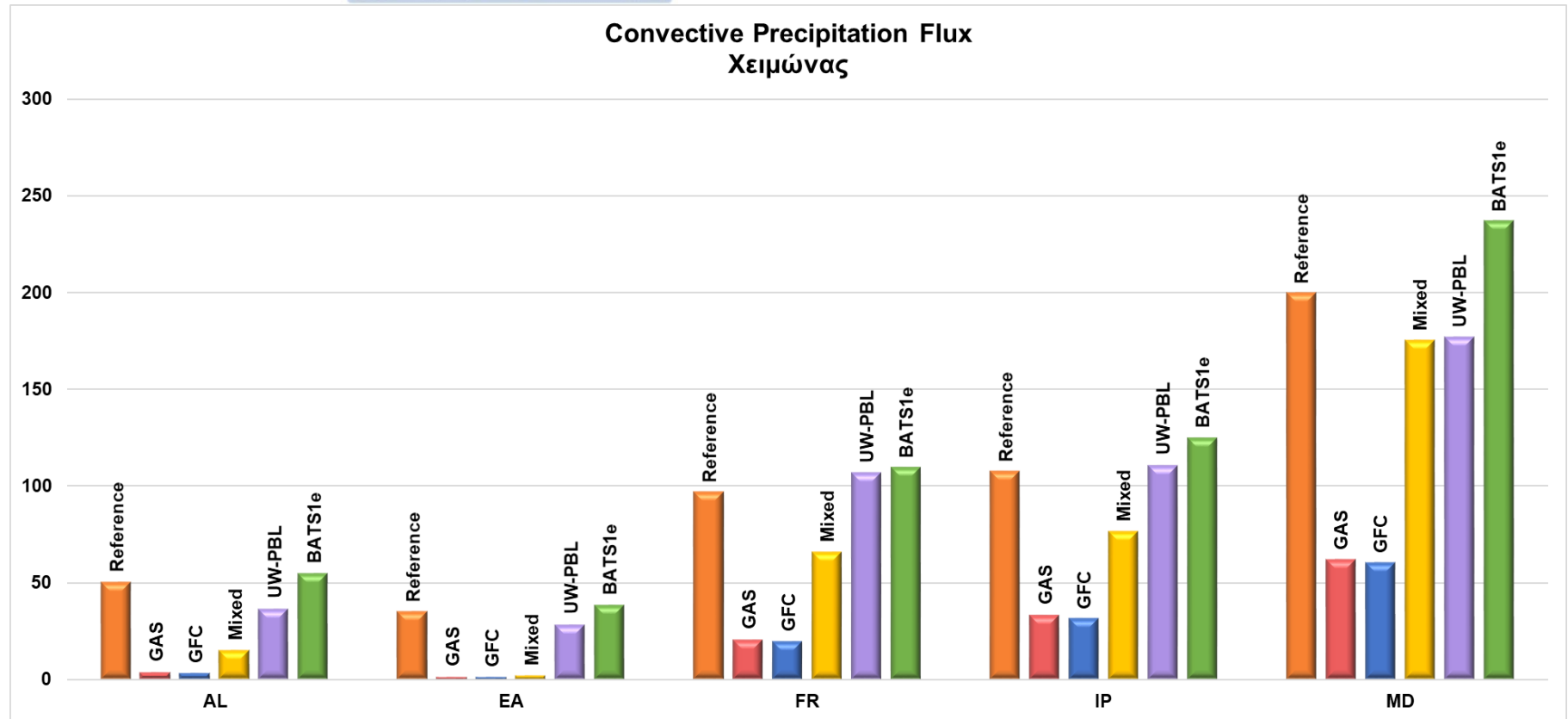
Σχήμα Παρ.45. Ραβδογράμματα για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



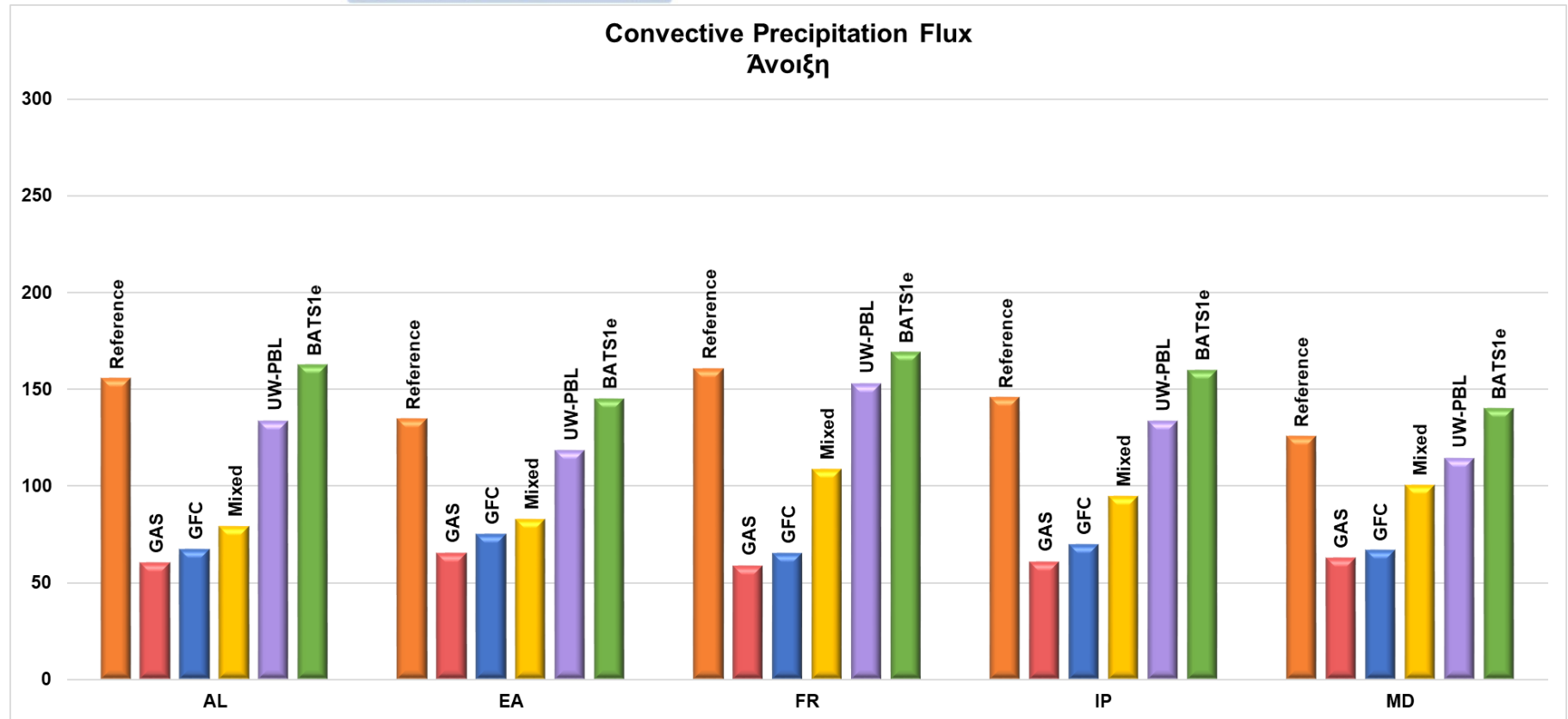
Σχήμα Παρ.46. Ραβδογράμματα για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



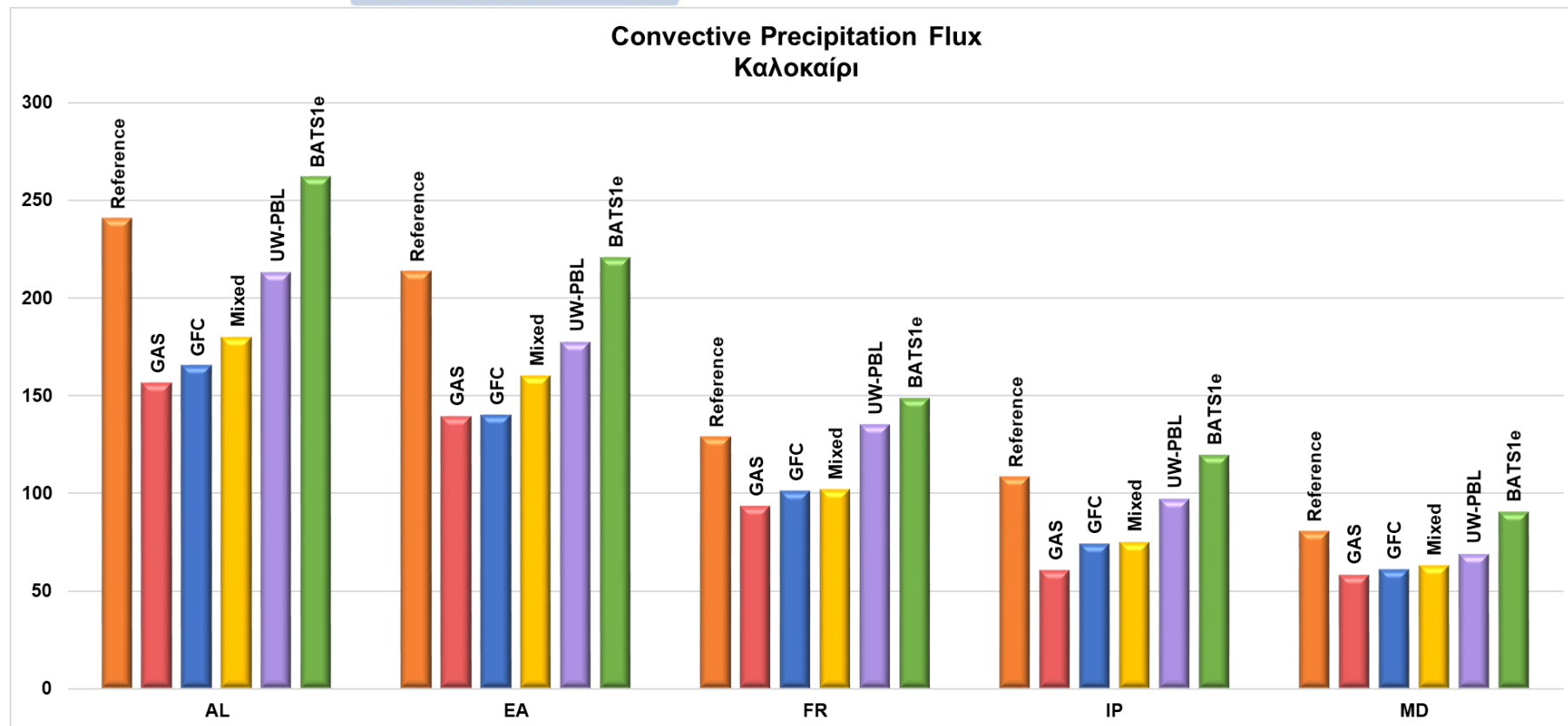
Σχήμα Παρ.47. Ραβδογράμματα για τη συνολική βροχόπτωση (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



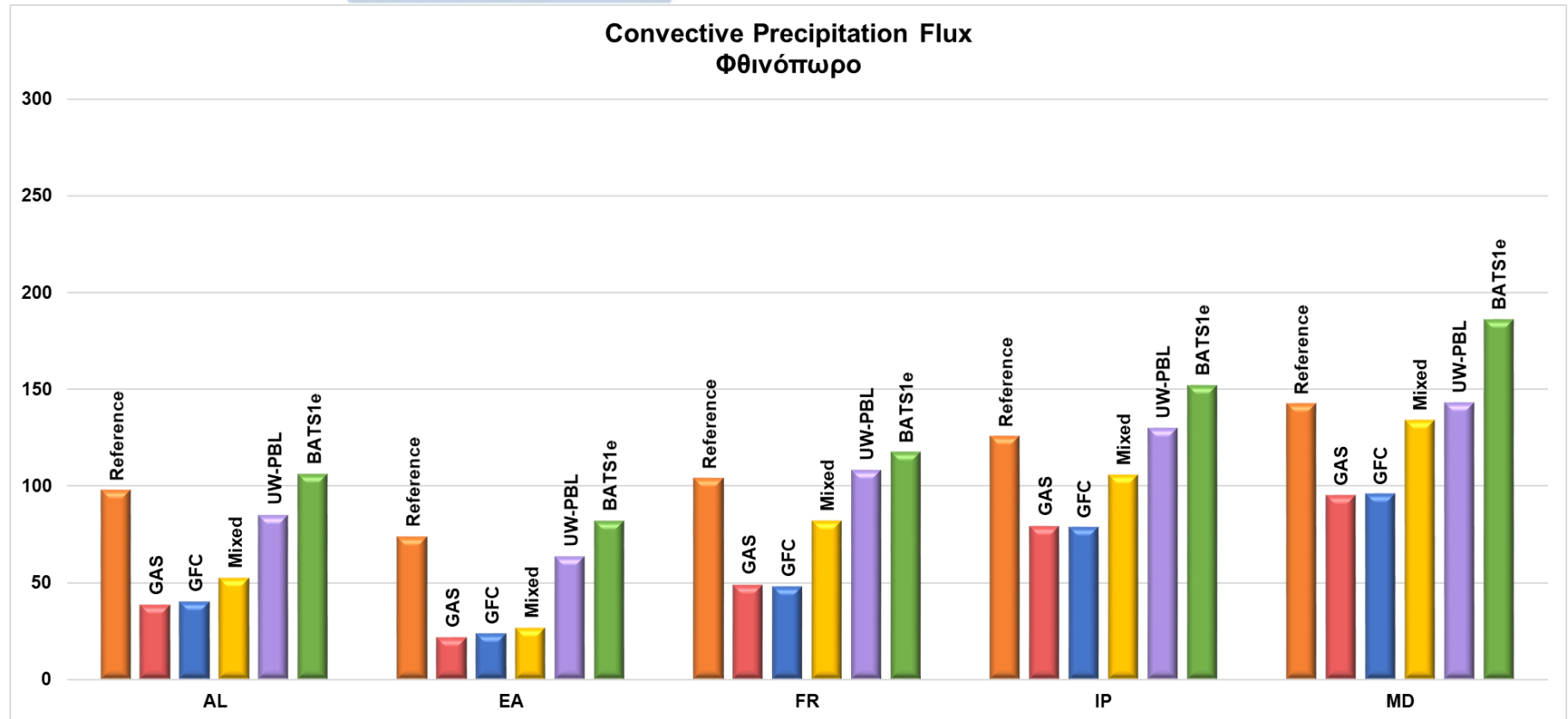
Σχήμα Παρ.48. Ραβδογράμματα για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



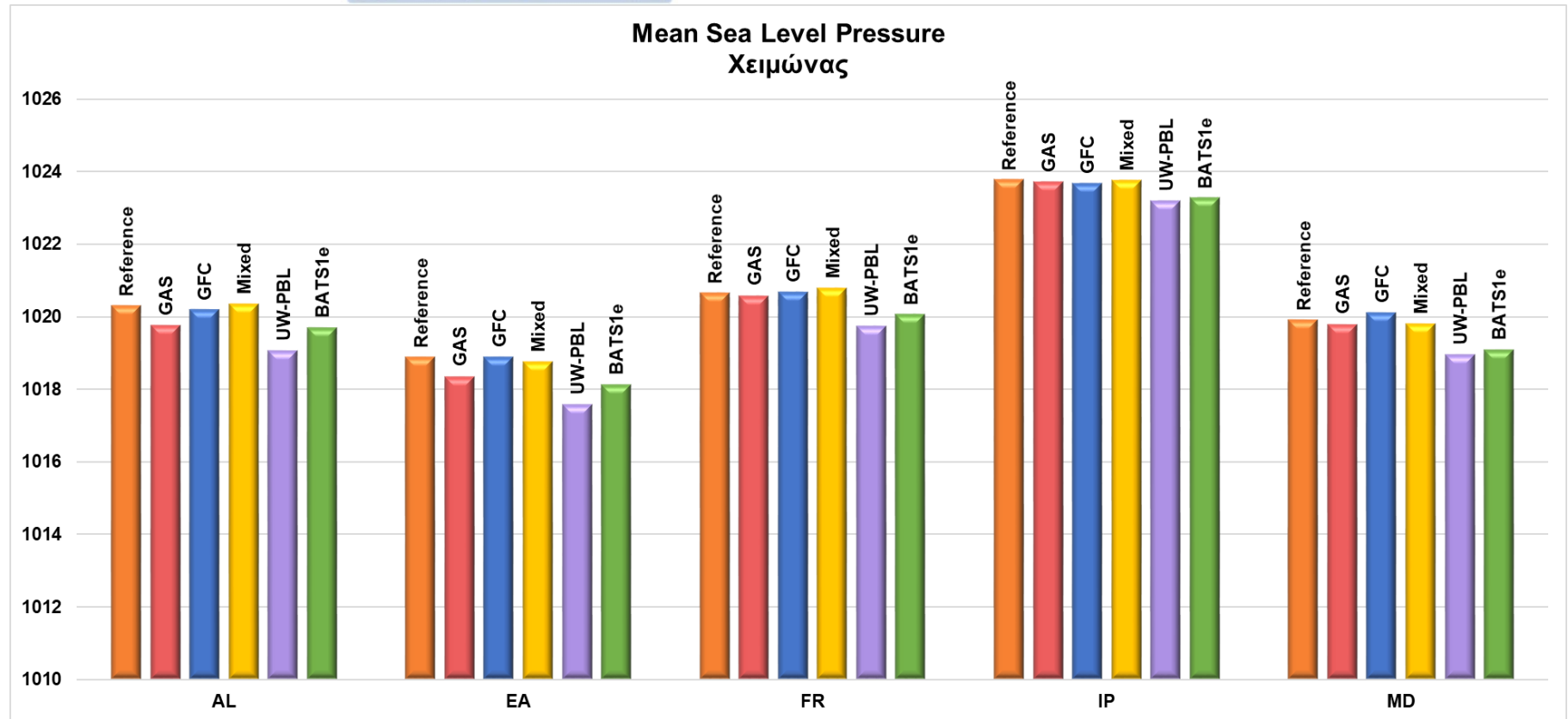
Σχήμα Παρ.49. Ραβδογράμματα για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



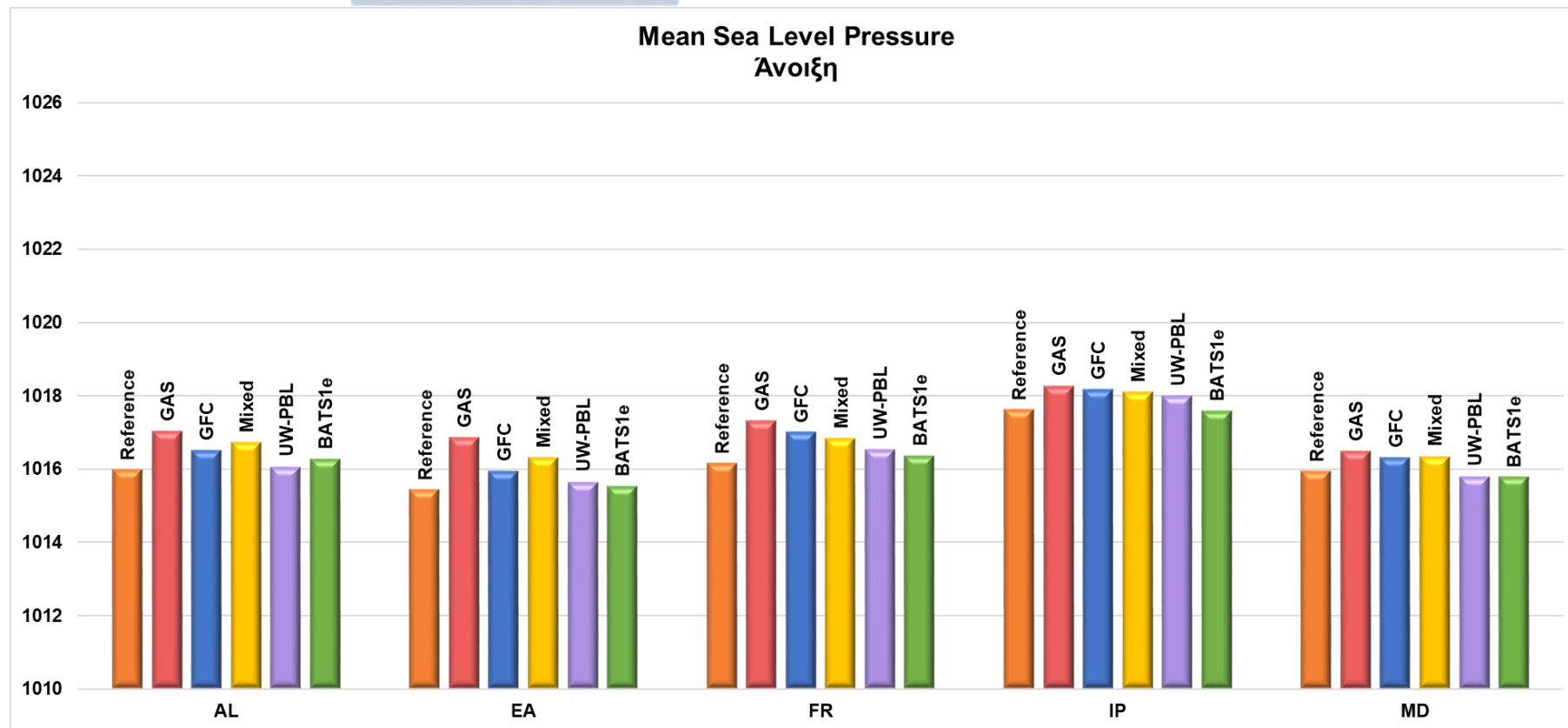
Σχήμα Παρ.50. Ραβδογράμματα για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



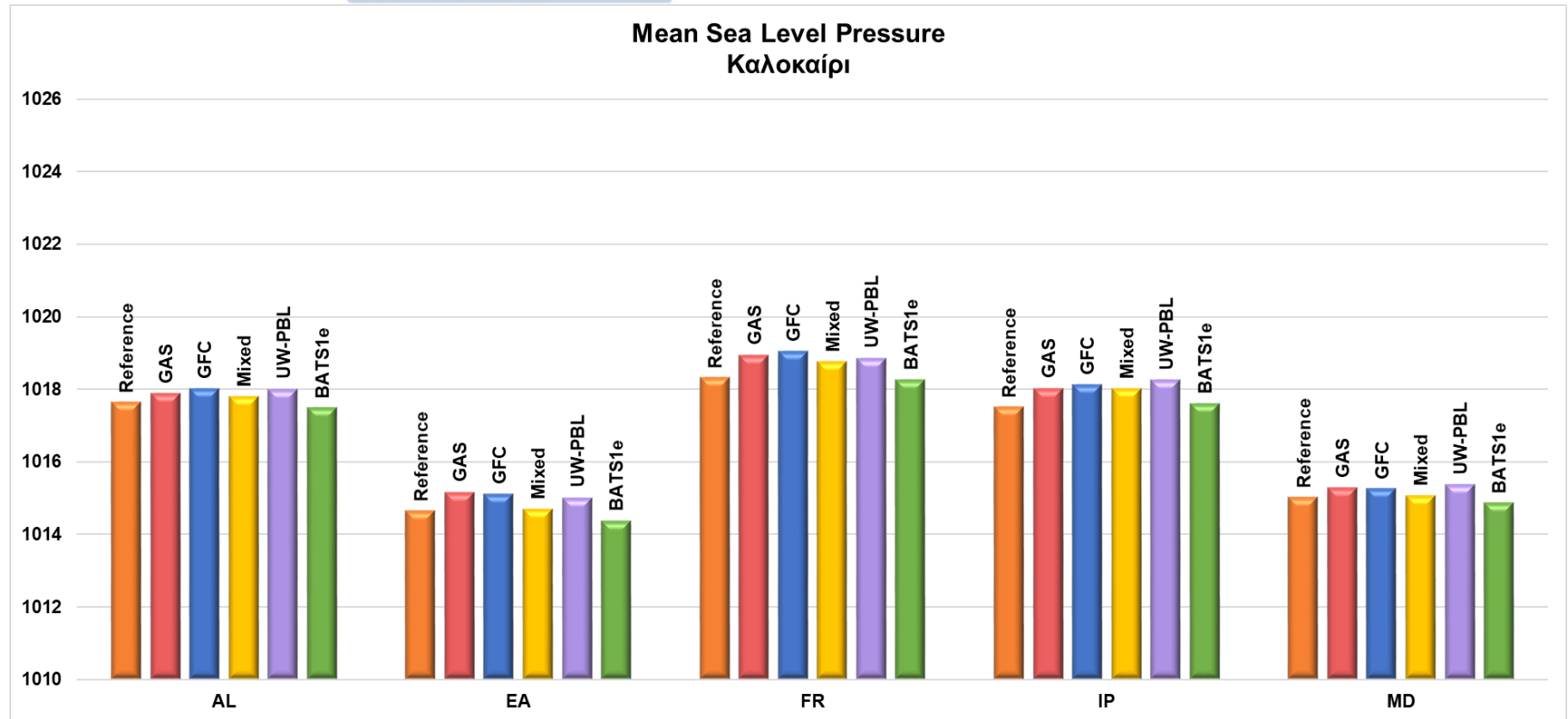
Σχήμα Παρ.51. Ραβδογράμματα για τη βροχόπτωση λόγω κατακόρυφης ανάπτυξης (mm/season). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



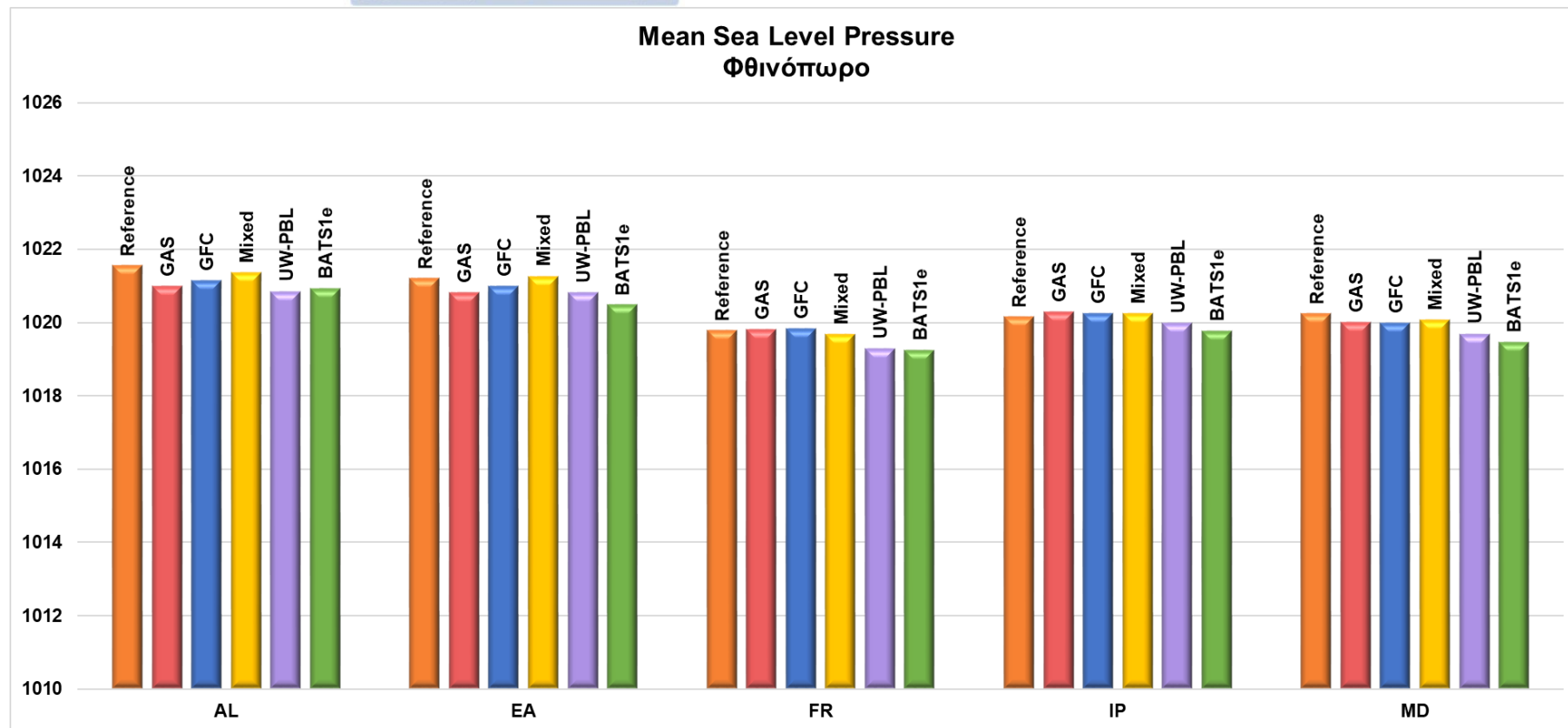
Σχήμα Παρ.52. Ραβδογράμματα για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



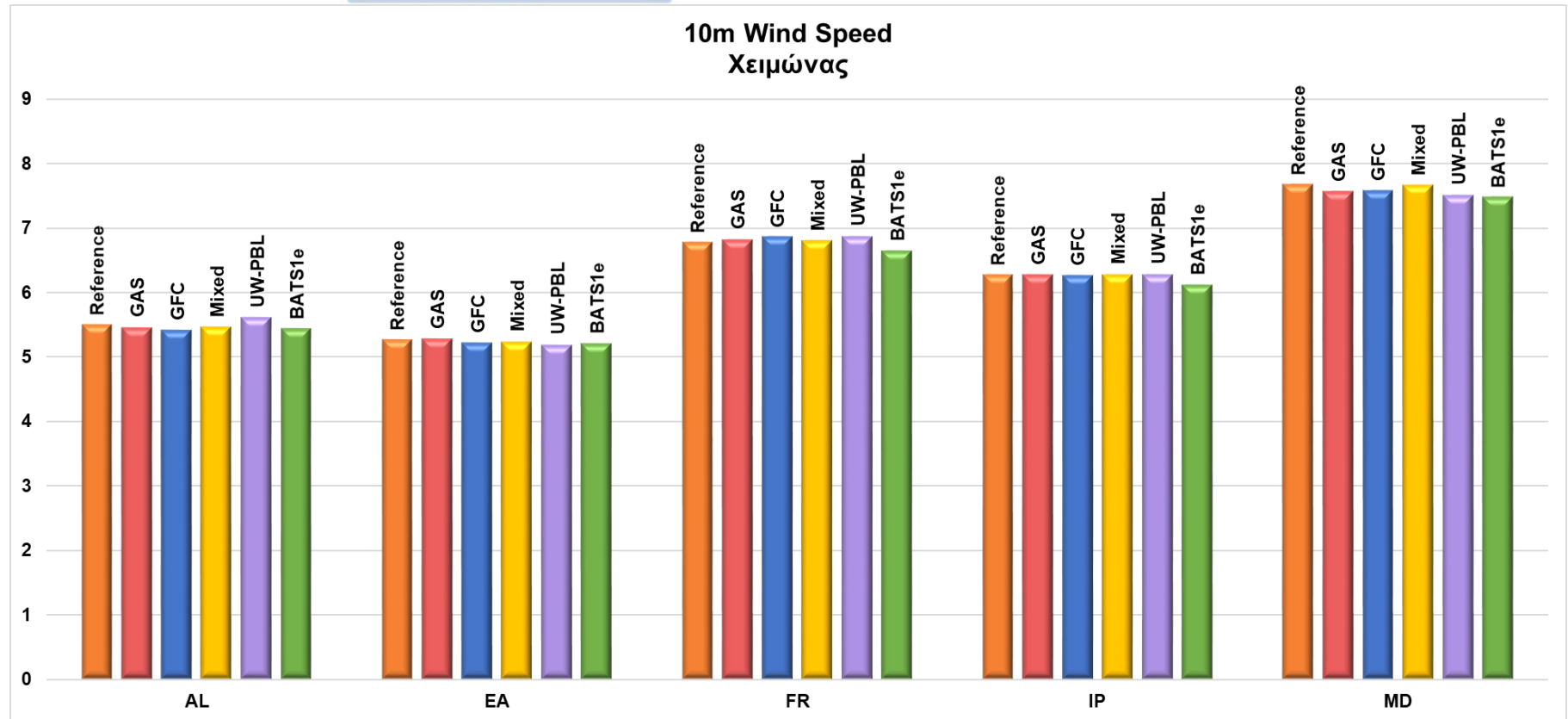
Σχήμα Παρ.53. Ραβδογράμματα για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



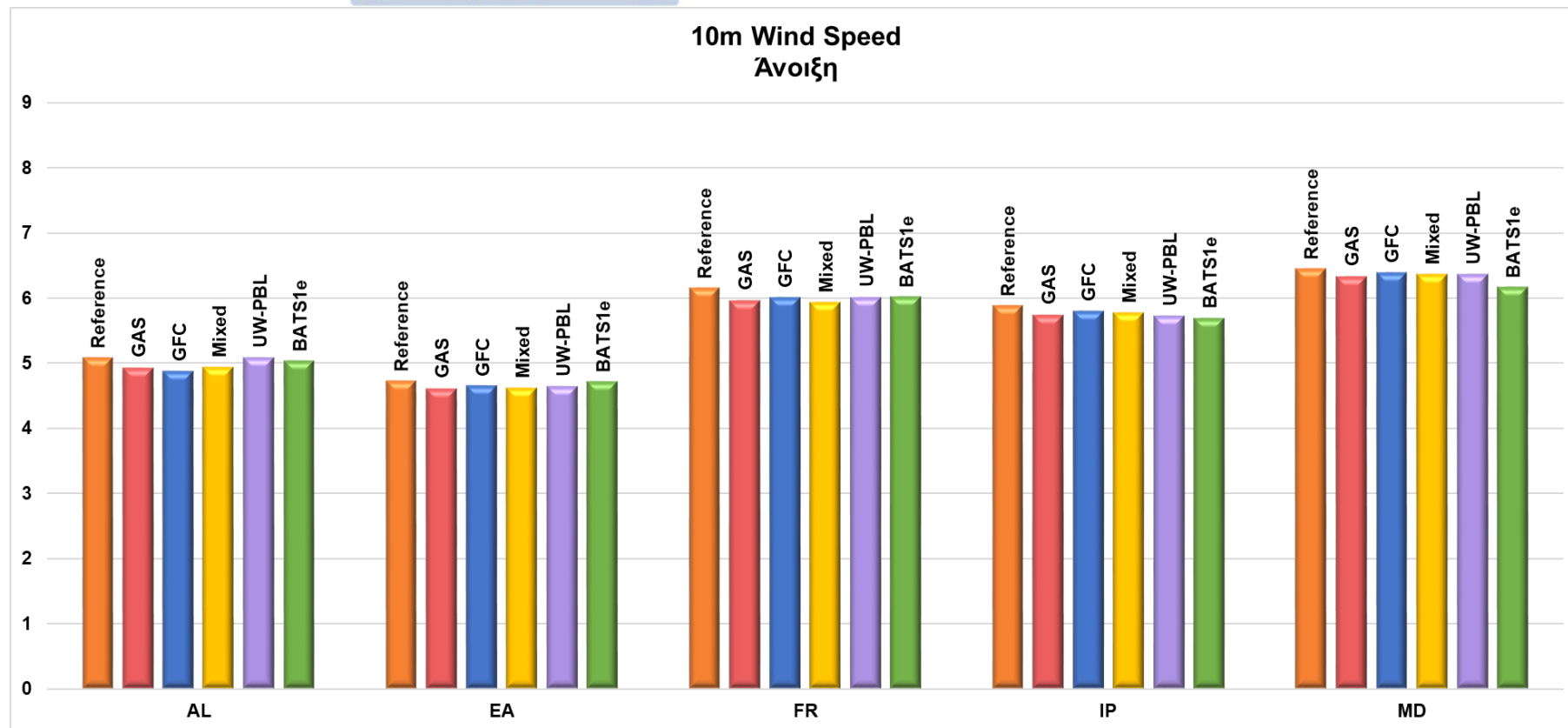
Σχήμα Παρ.54. Ραβδογράμματα για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



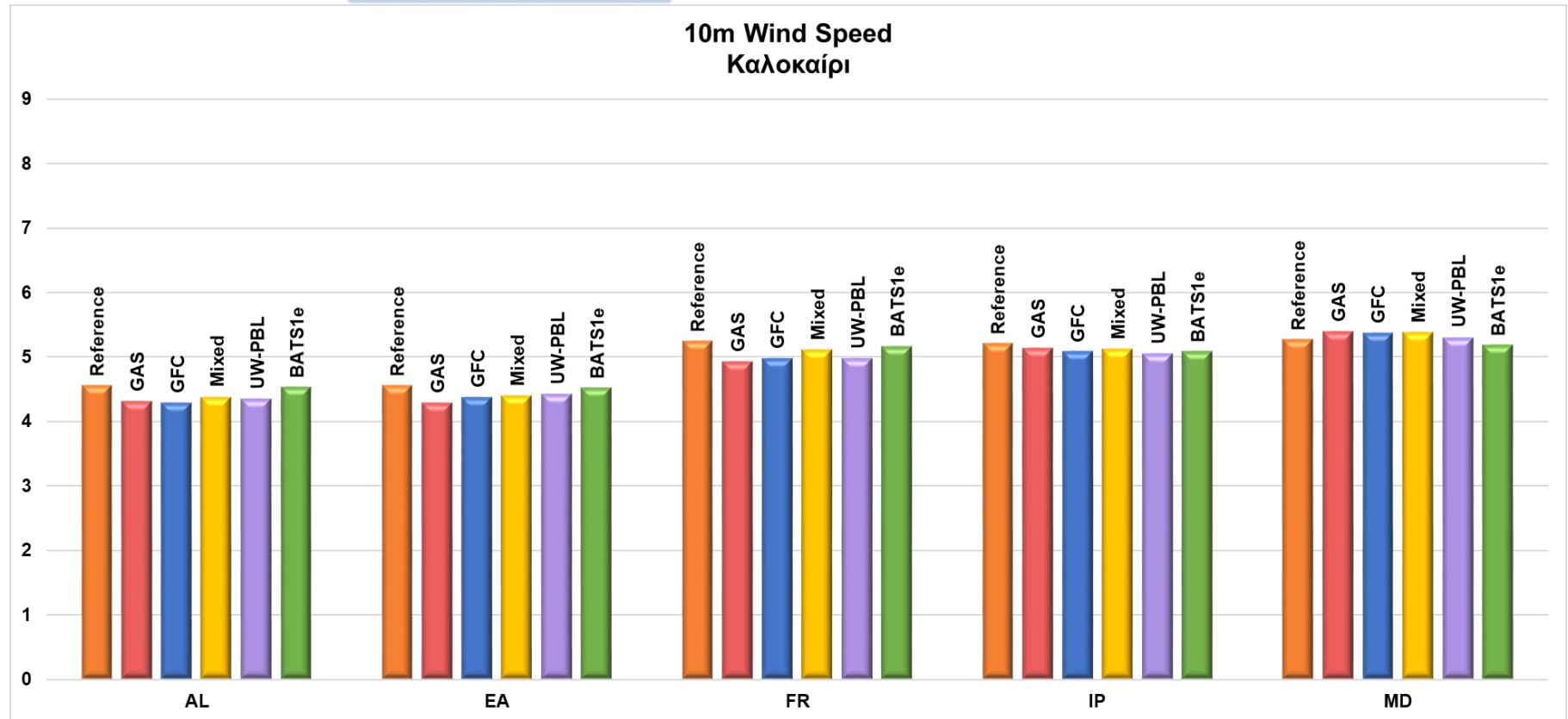
Σχήμα Παρ.55. Ραβδογράμματα για τη μέση πίεση επιφανείας (hPa). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



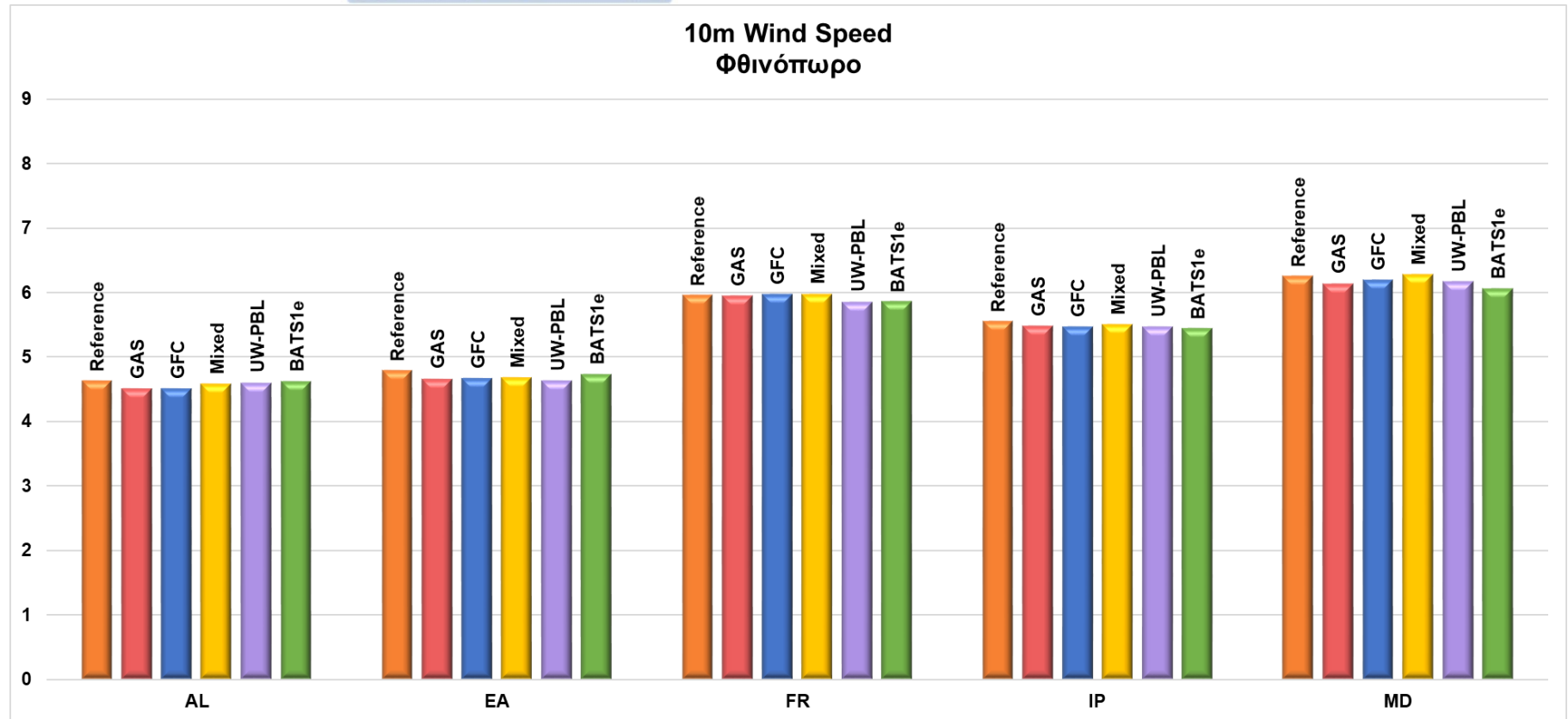
Σχήμα Παρ.56. Ραβδογράμματα για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



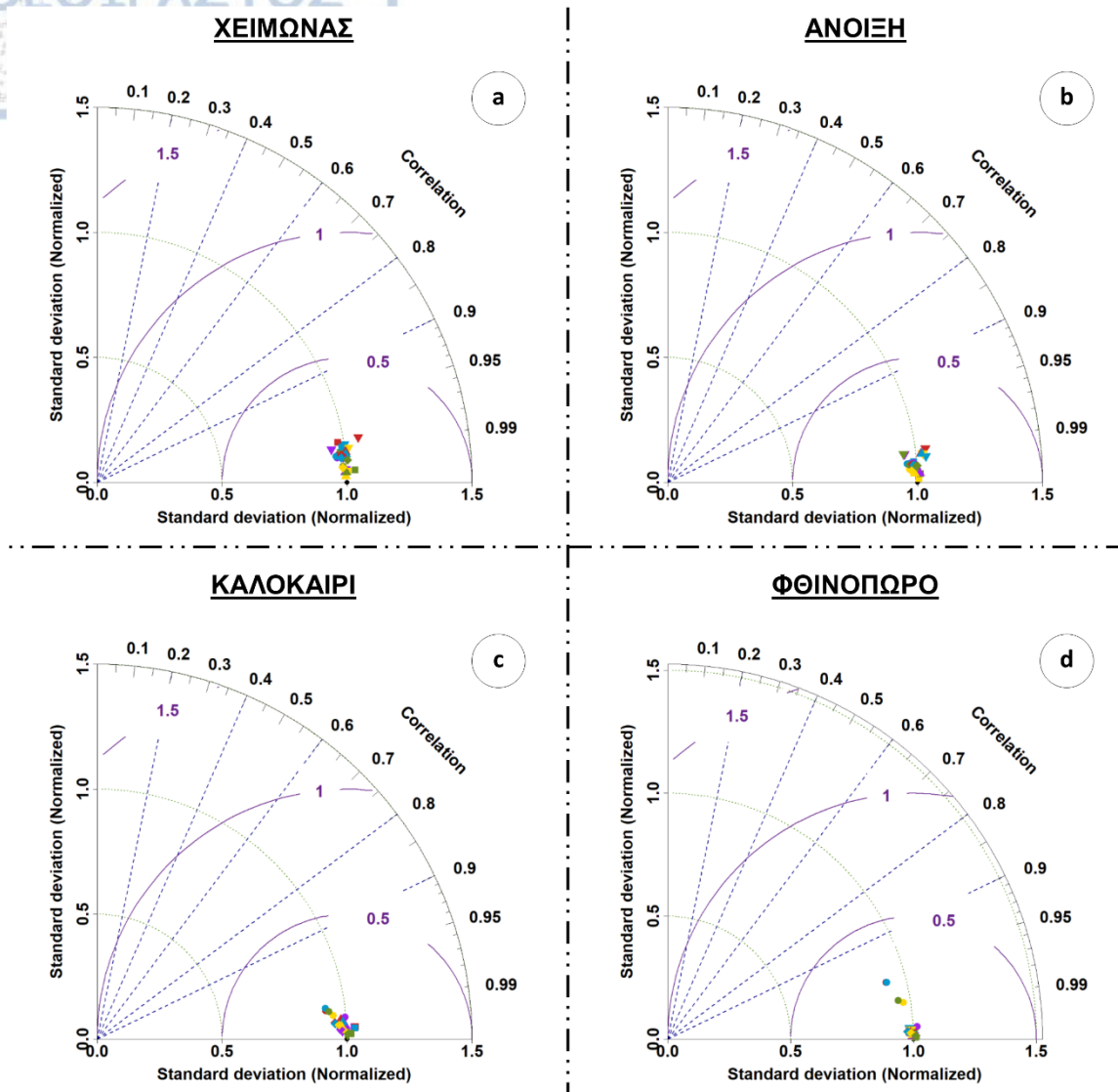
Σχήμα Παρ.57. Ραβδογράμματα για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



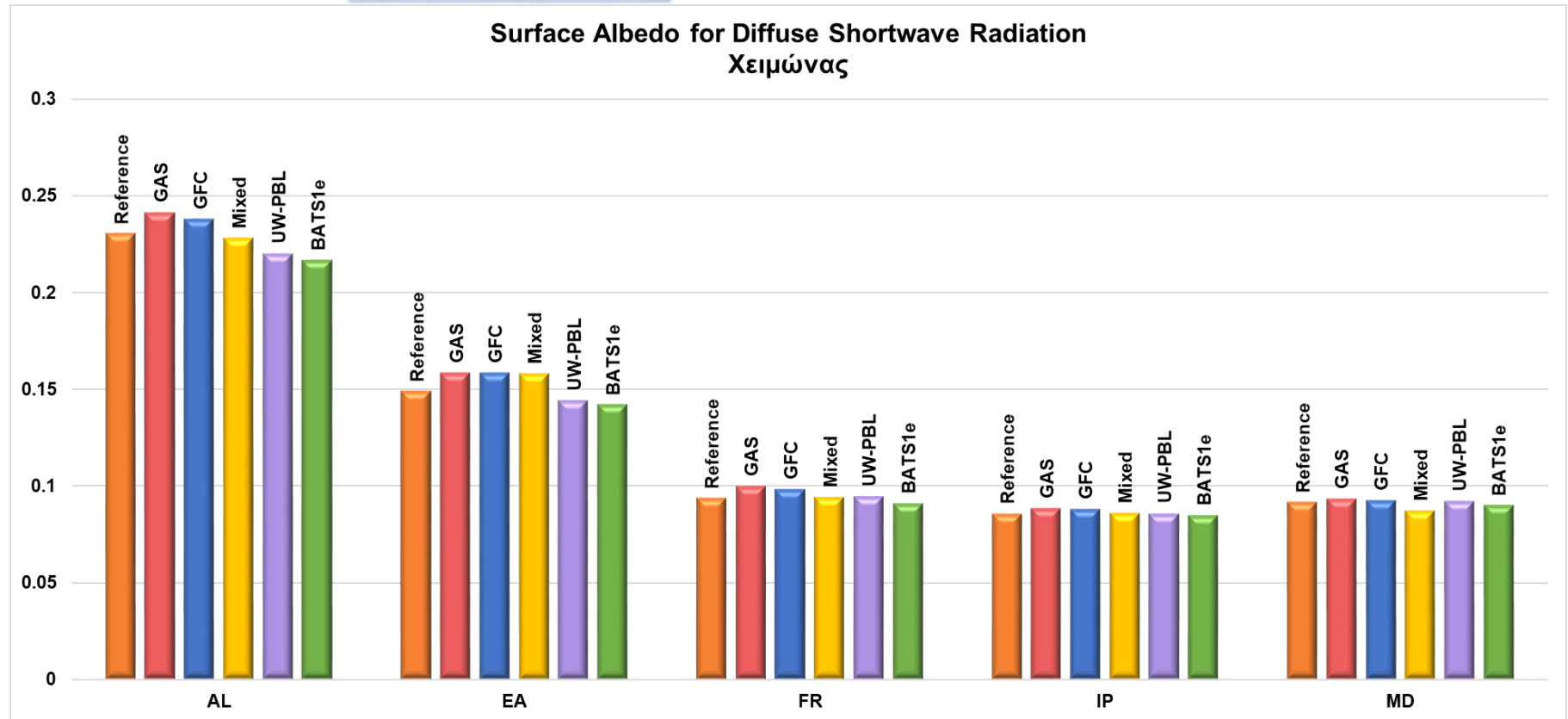
Σχήμα Παρ.58. Ραβδογράμματα για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



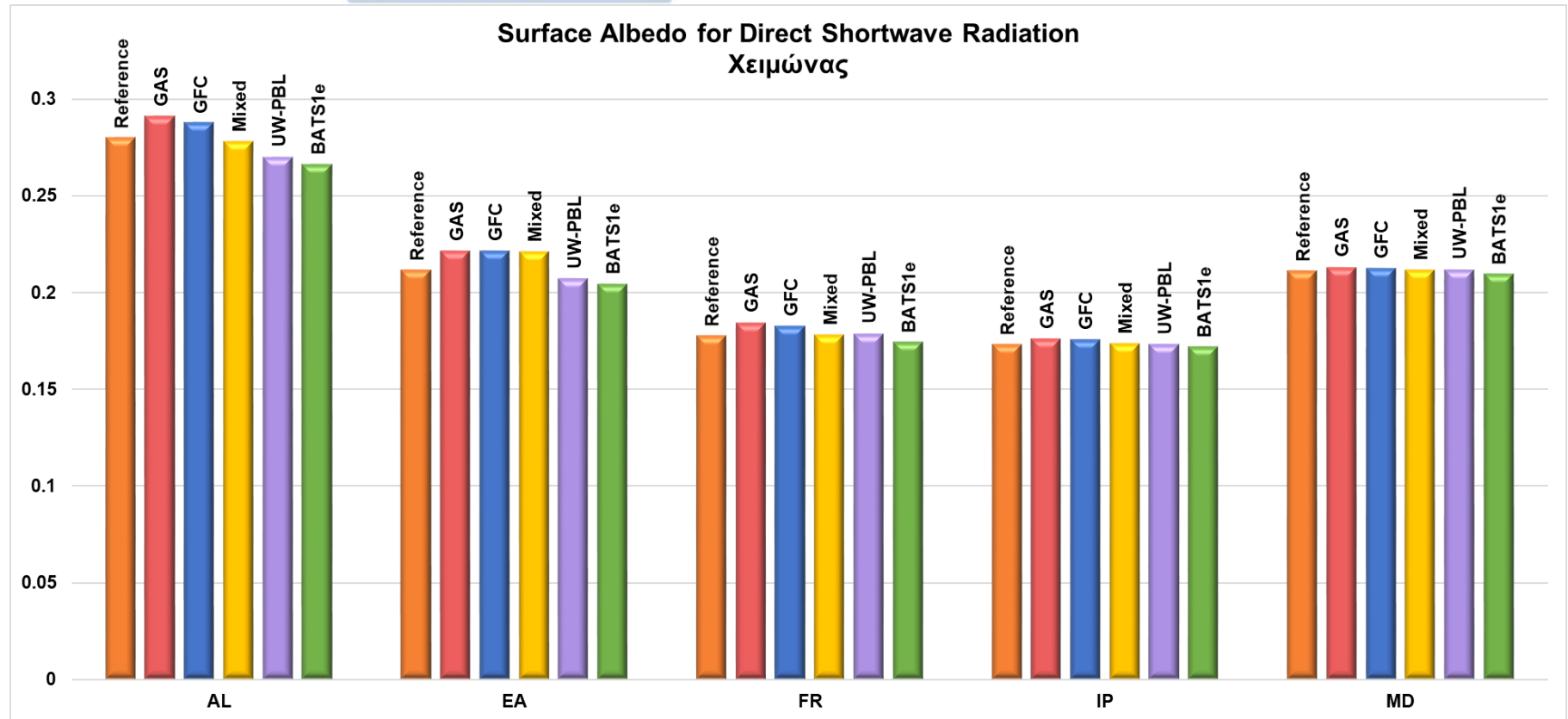
Σχήμα Παρ.59. Ραβδογράμματα για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m (m/s). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



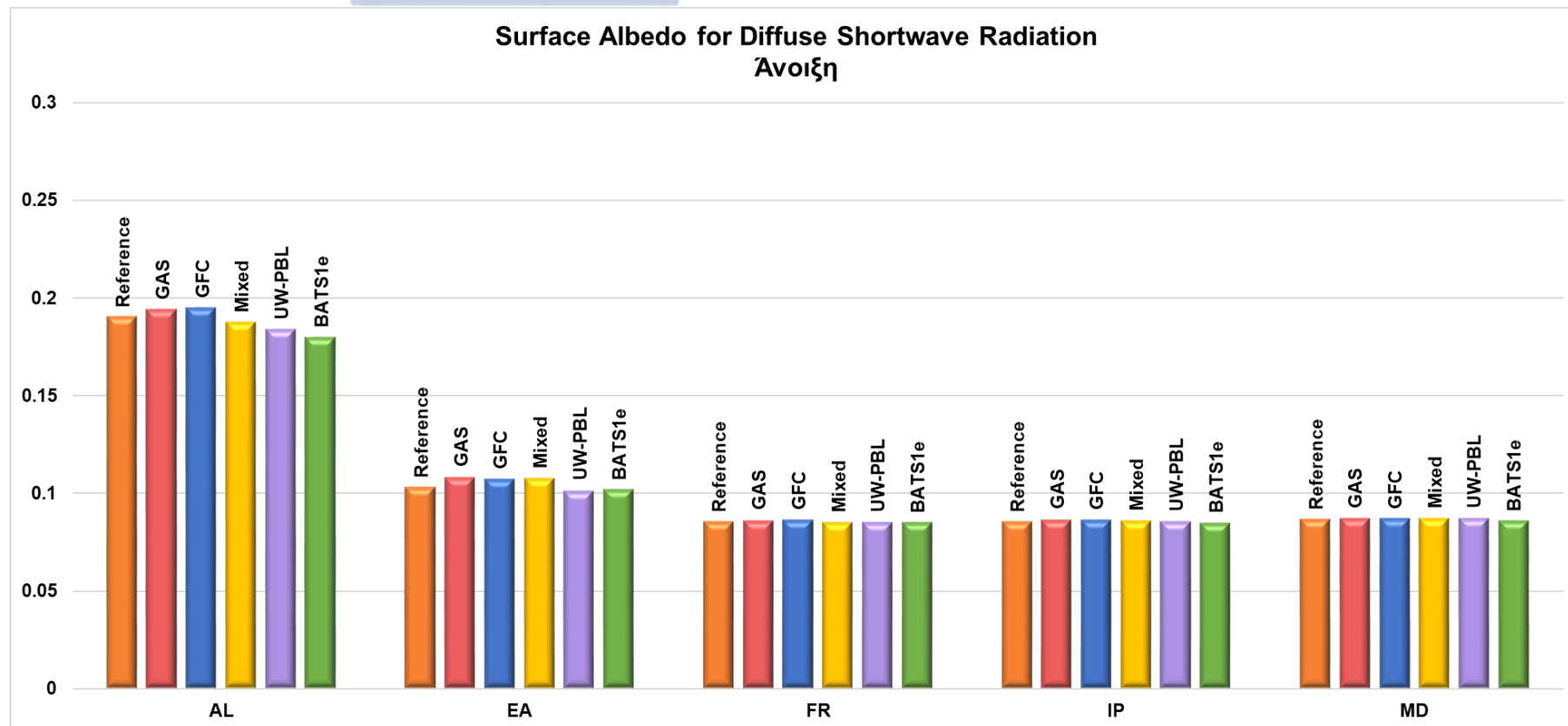
Σχήμα Παρ.60. Η συμπεριφορά του RegCM4 για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος σε όλες τις εξεταζόμενες υποπεριοχές και για όλες τις εποχές όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Taylor. Οι προσομοιώσεις στα διαγράμματα Taylor απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα (**κόκκινο** → GAS προσομοίωση, **μπλε** → GFC προσομοίωση, **κίτρινο** → Mixed προσομοίωση, **πράσινο** → BATS1e προσομοίωση, **μωβ** → UW-PBL προσομοίωση), ενώ οι υποπεριοχές απεικονίζονται με διαφορετικά σχήματα (**●** → AL, **▼** → EA, **■** → FR, **▲** → IP, **◆** → MD). Η Reference προσομοίωση χρησιμοποιείται ως πεδίο αναφοράς στα διαγράμματα, ο άξονας x-y αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση κανονικοποιημένη (normalized standard deviation), ο τοξοειδής άξονας αντιπροσωπεύει την συσχέτιση (correlation) και τα ημικύκλια αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMS difference)



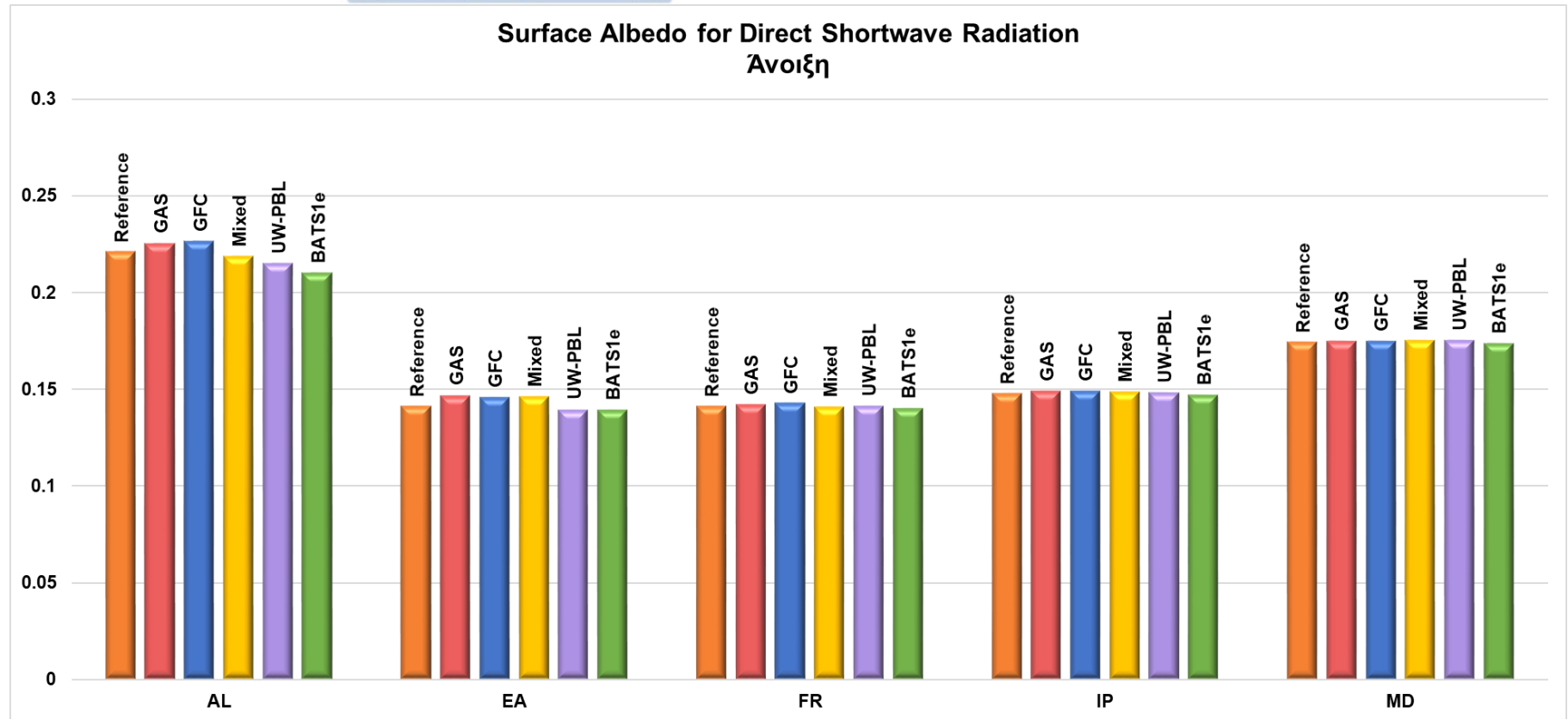
Σχήμα Παρ.61. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



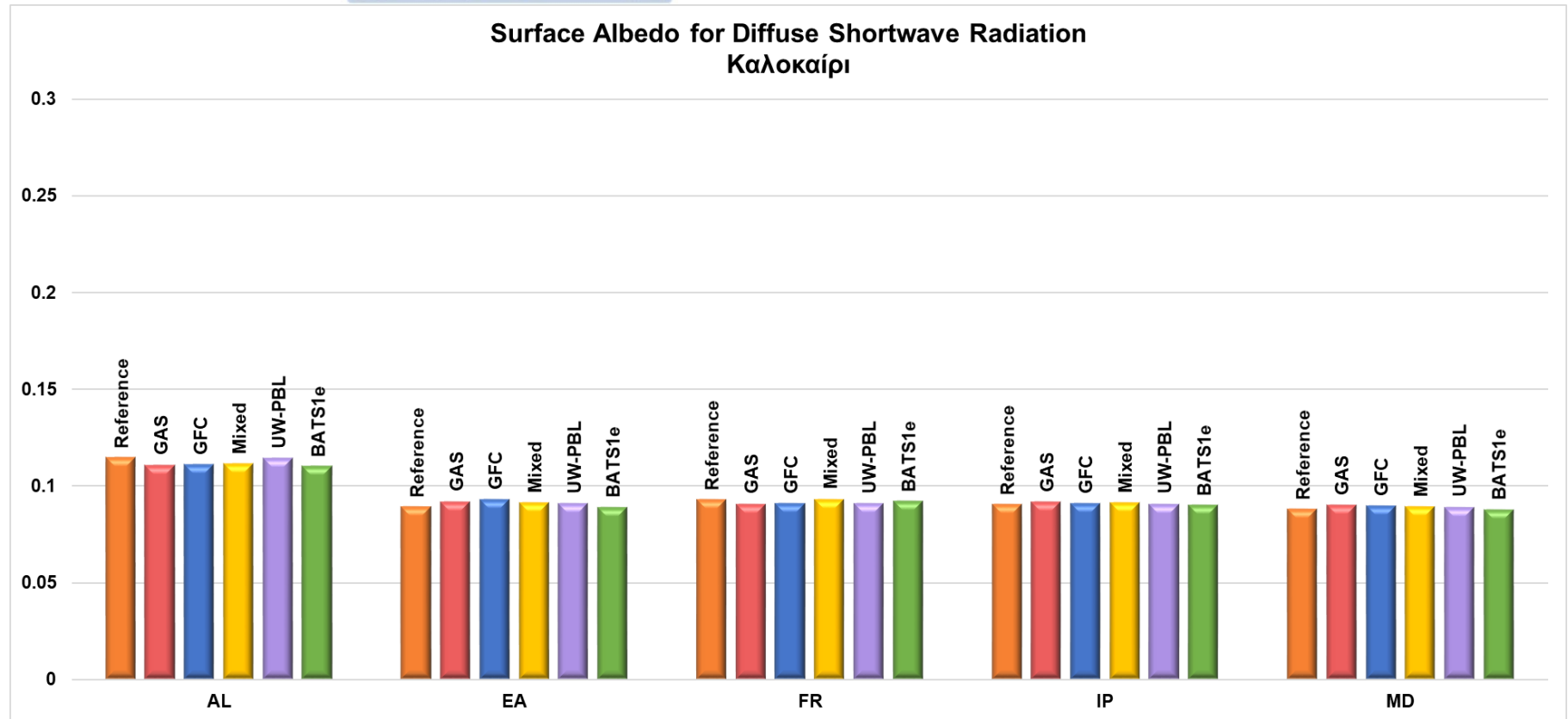
Σχήμα Παρ.62. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



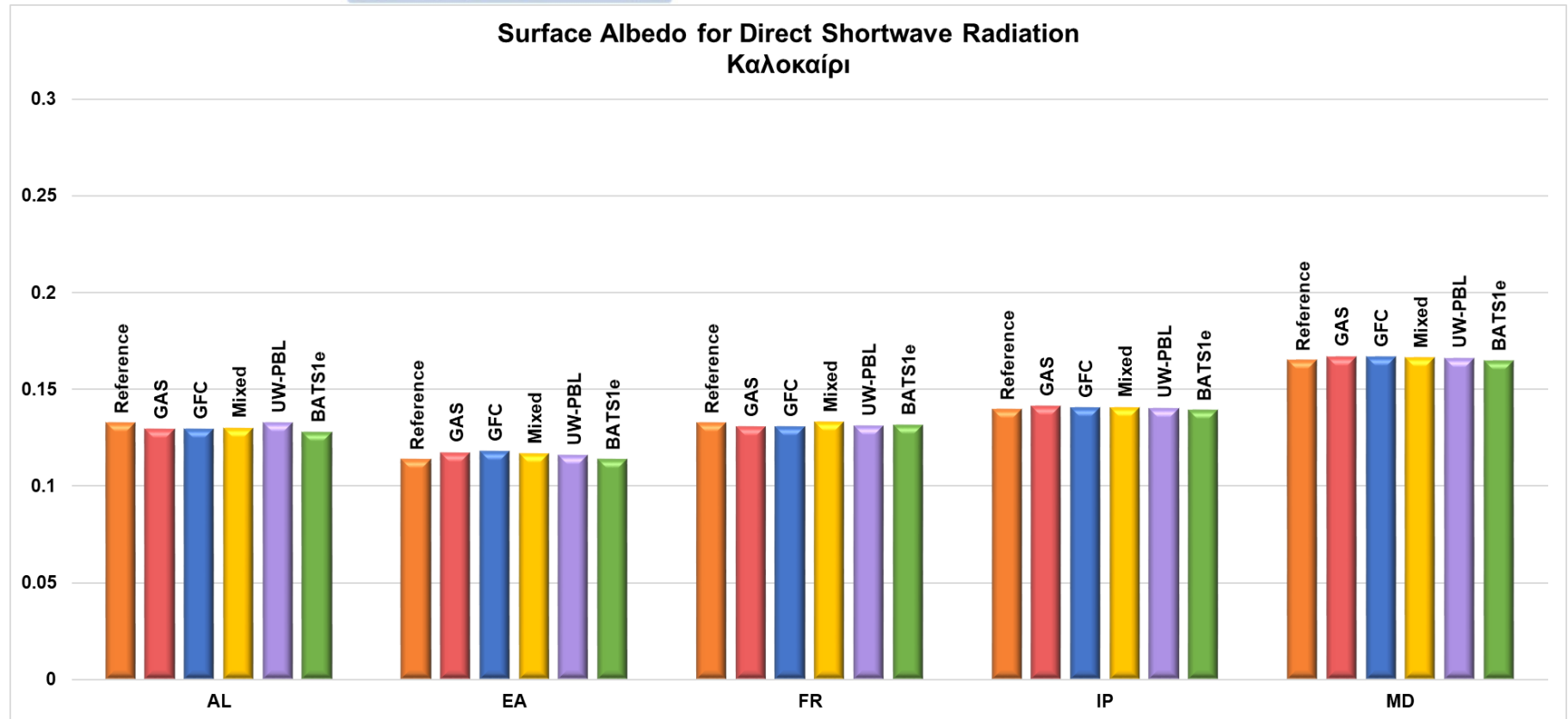
Σχήμα Παρ.63. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



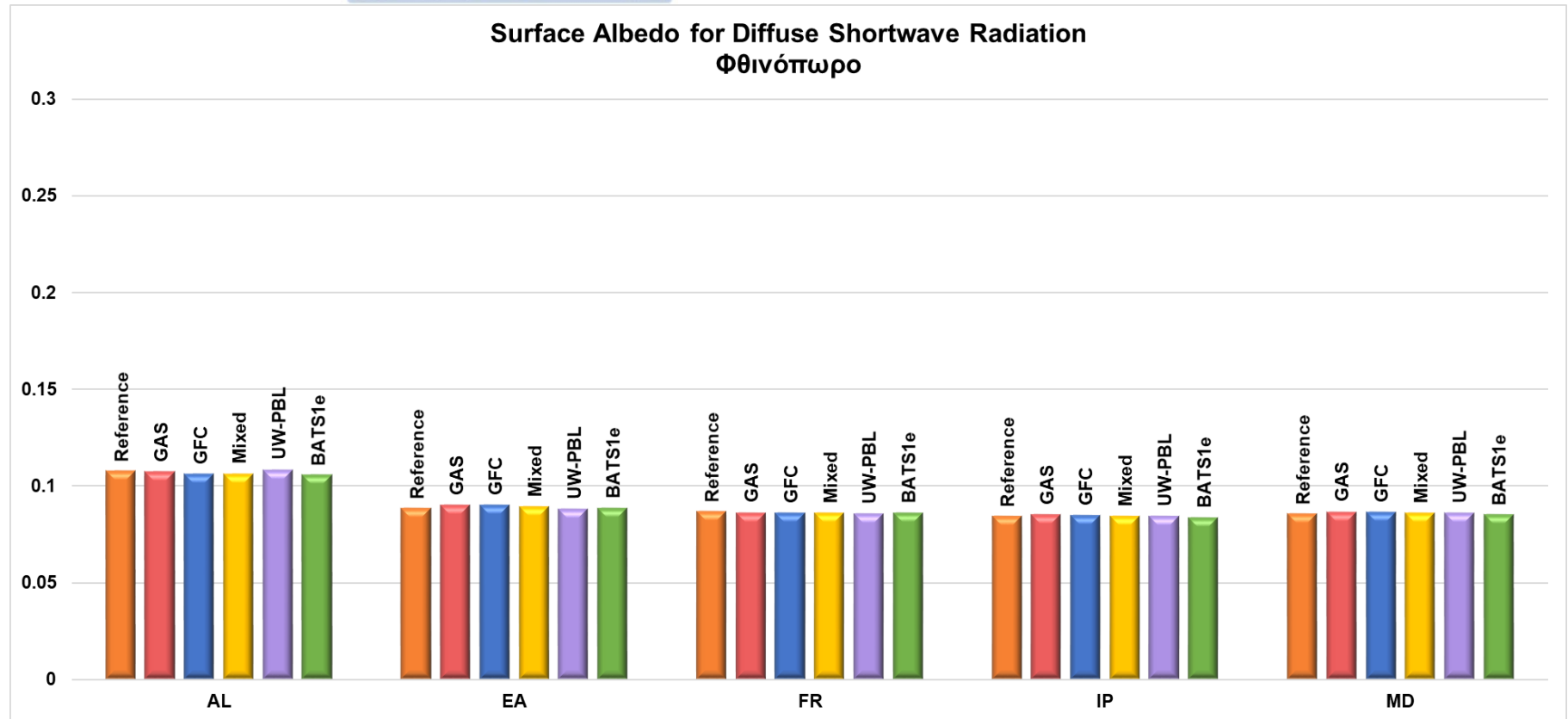
Σχήμα Παρ.64. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



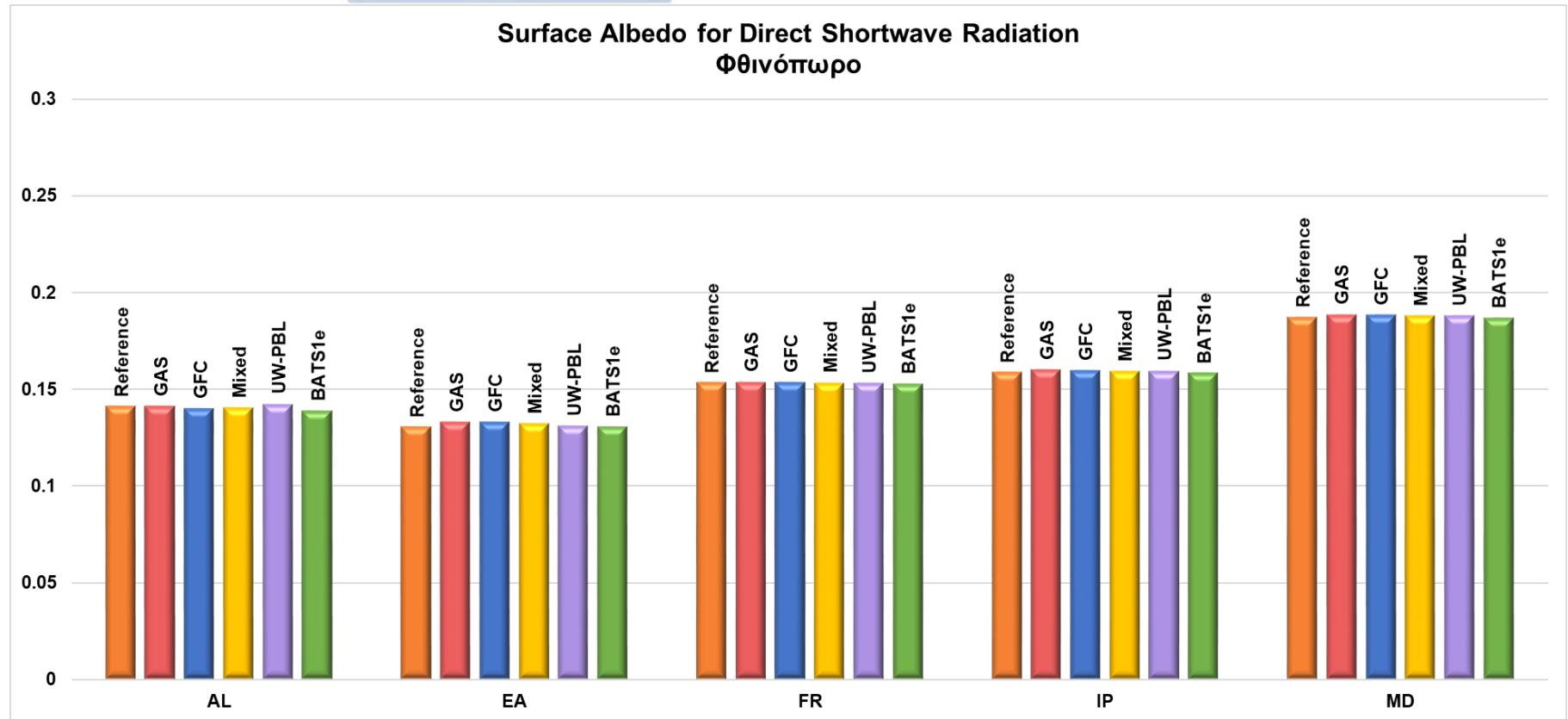
Σχήμα Παρ.65. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



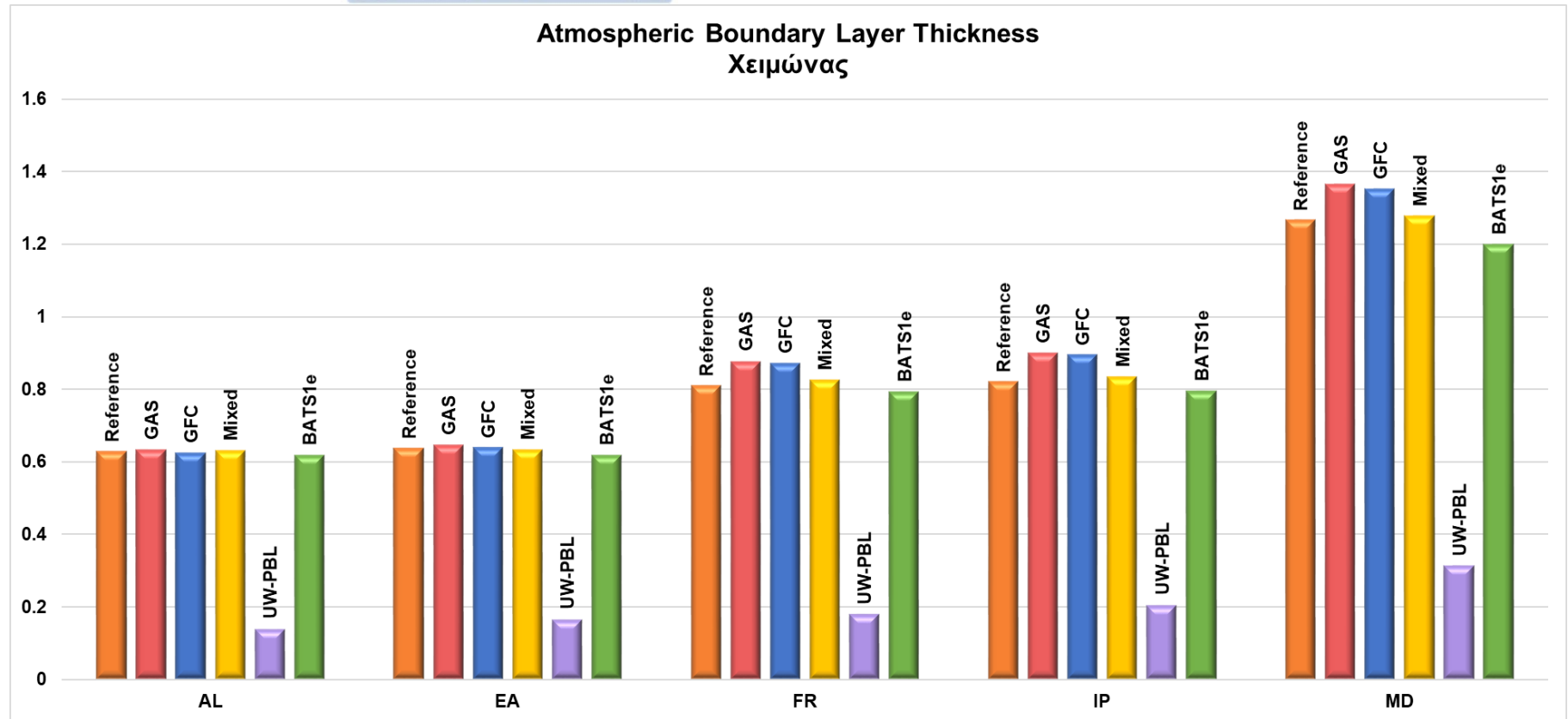
Σχήμα Παρ.66. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



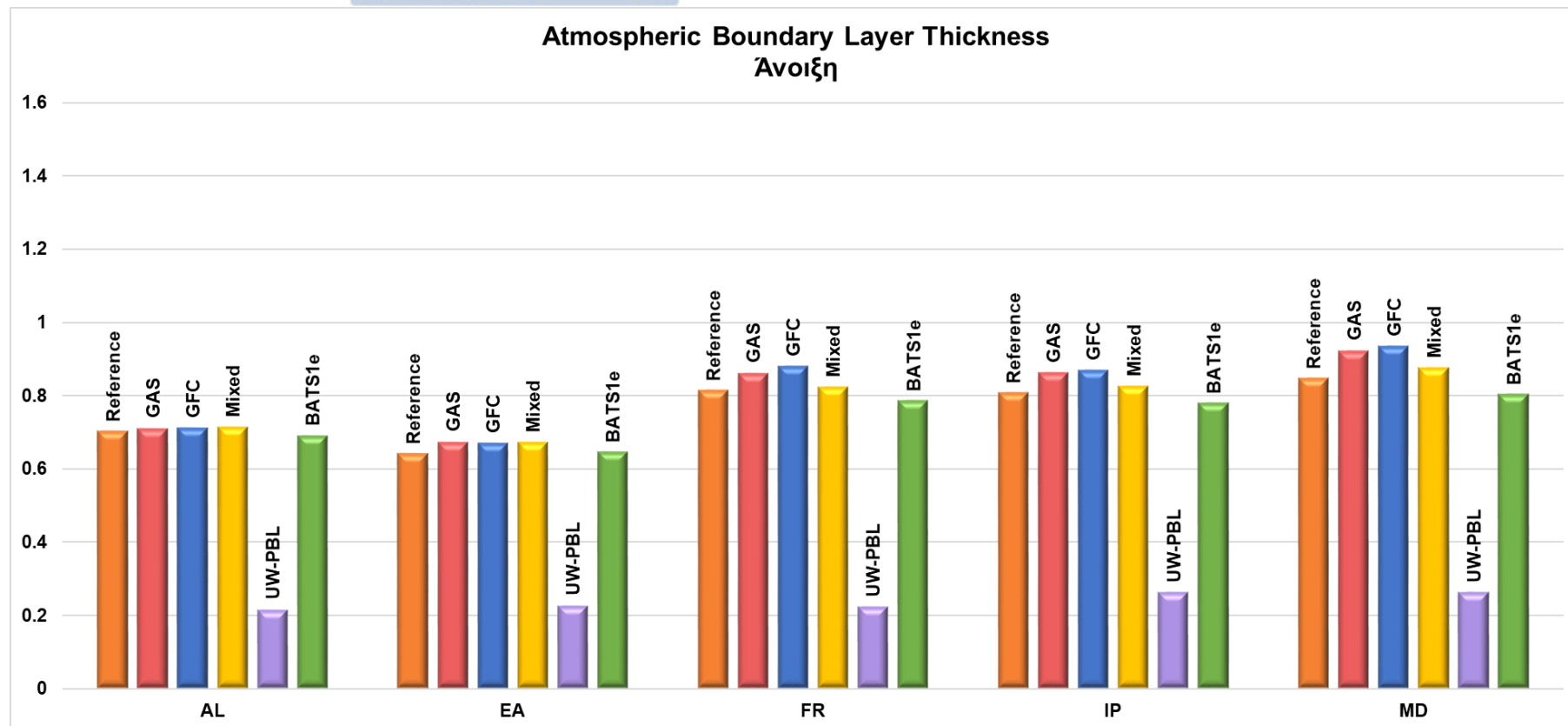
Σχήμα Παρ.67. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



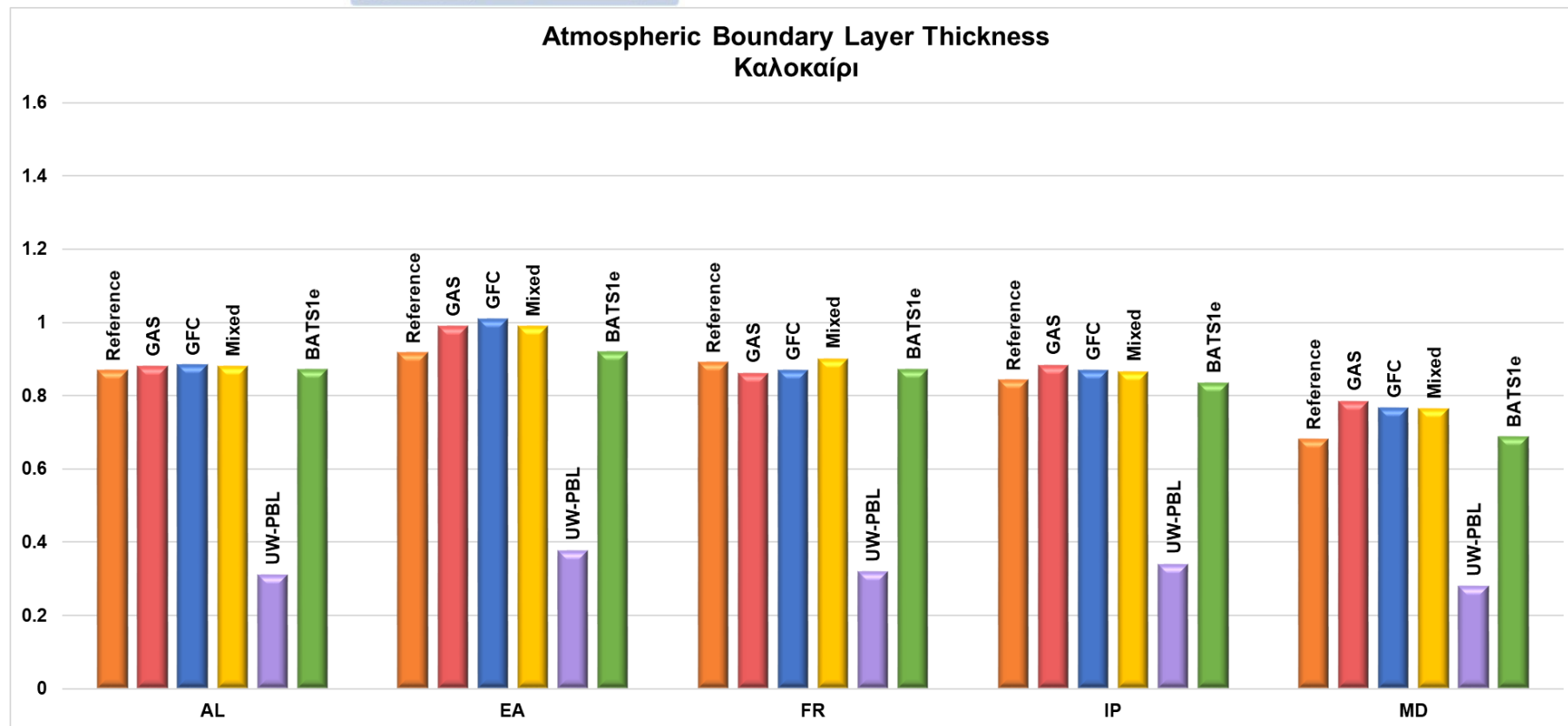
Σχήμα Παρ.68. Ραβδογράμματα για τη λευκαύγεια λόγω άμεσης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (1). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



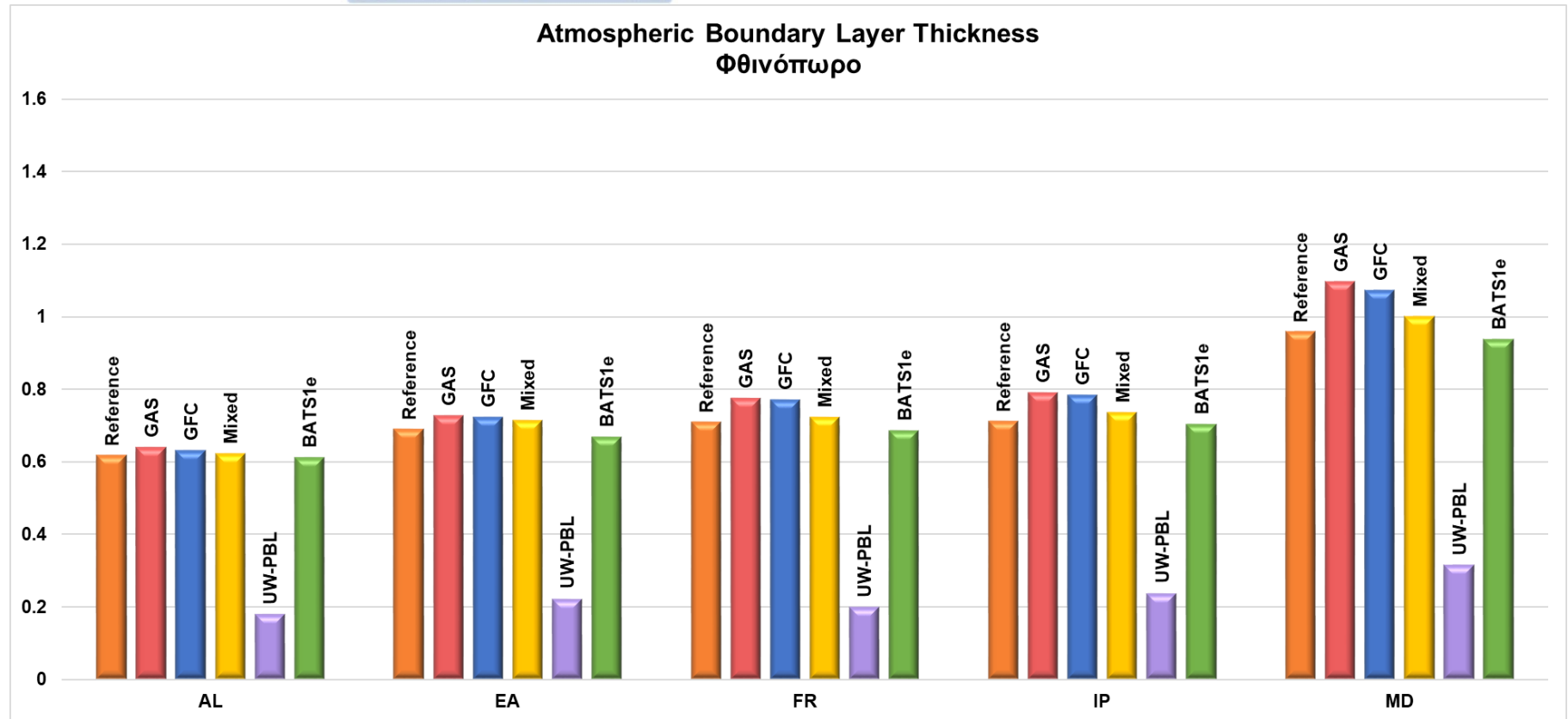
Σχήμα Παρ.69. Ραβδογράμματα για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



Σχήμα Παρ.70. Ραβδογράμματα για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια της άνοιξης και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης

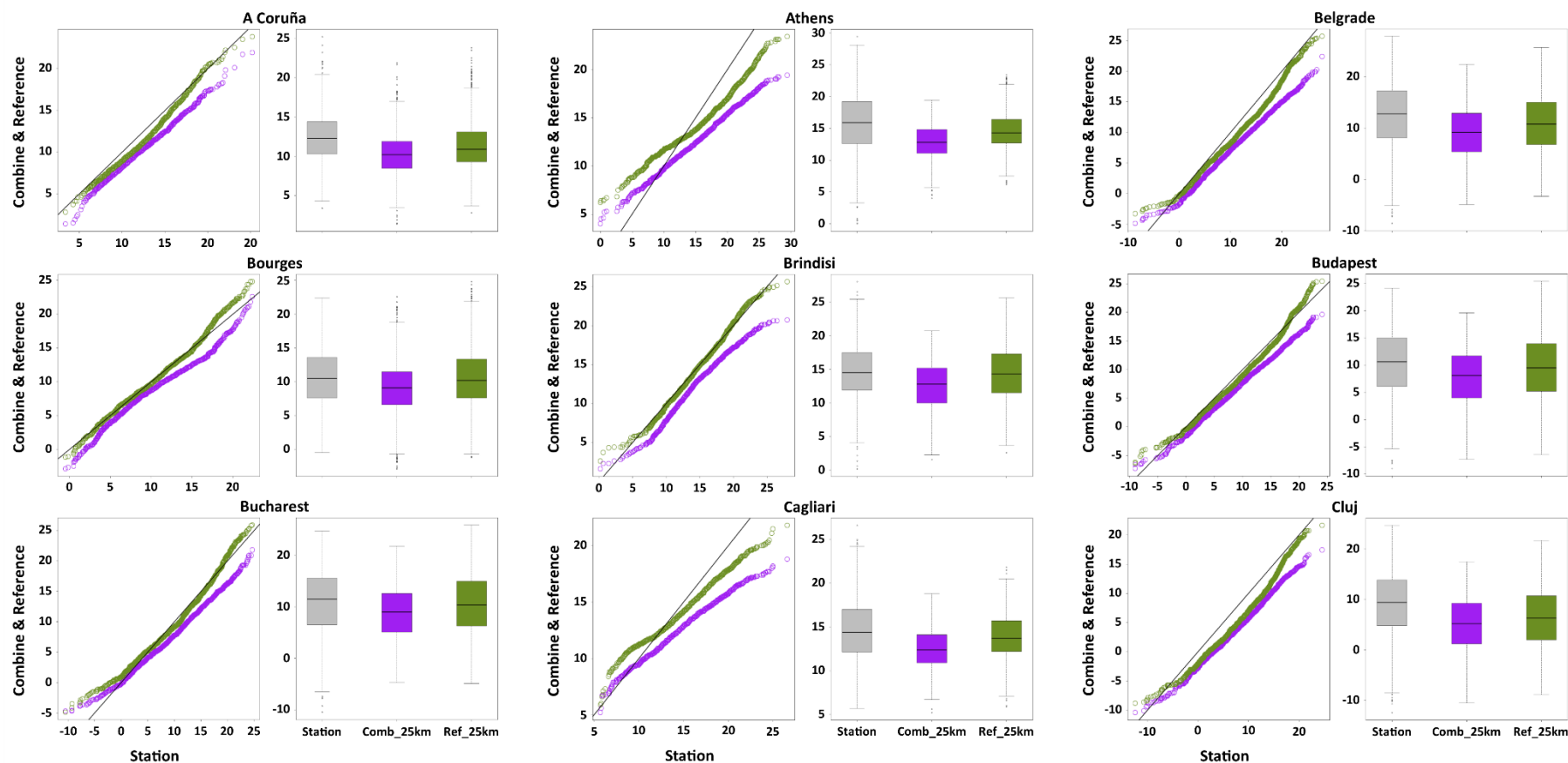


Σχήμα Παρ.71. Ραβδογράμματα για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης



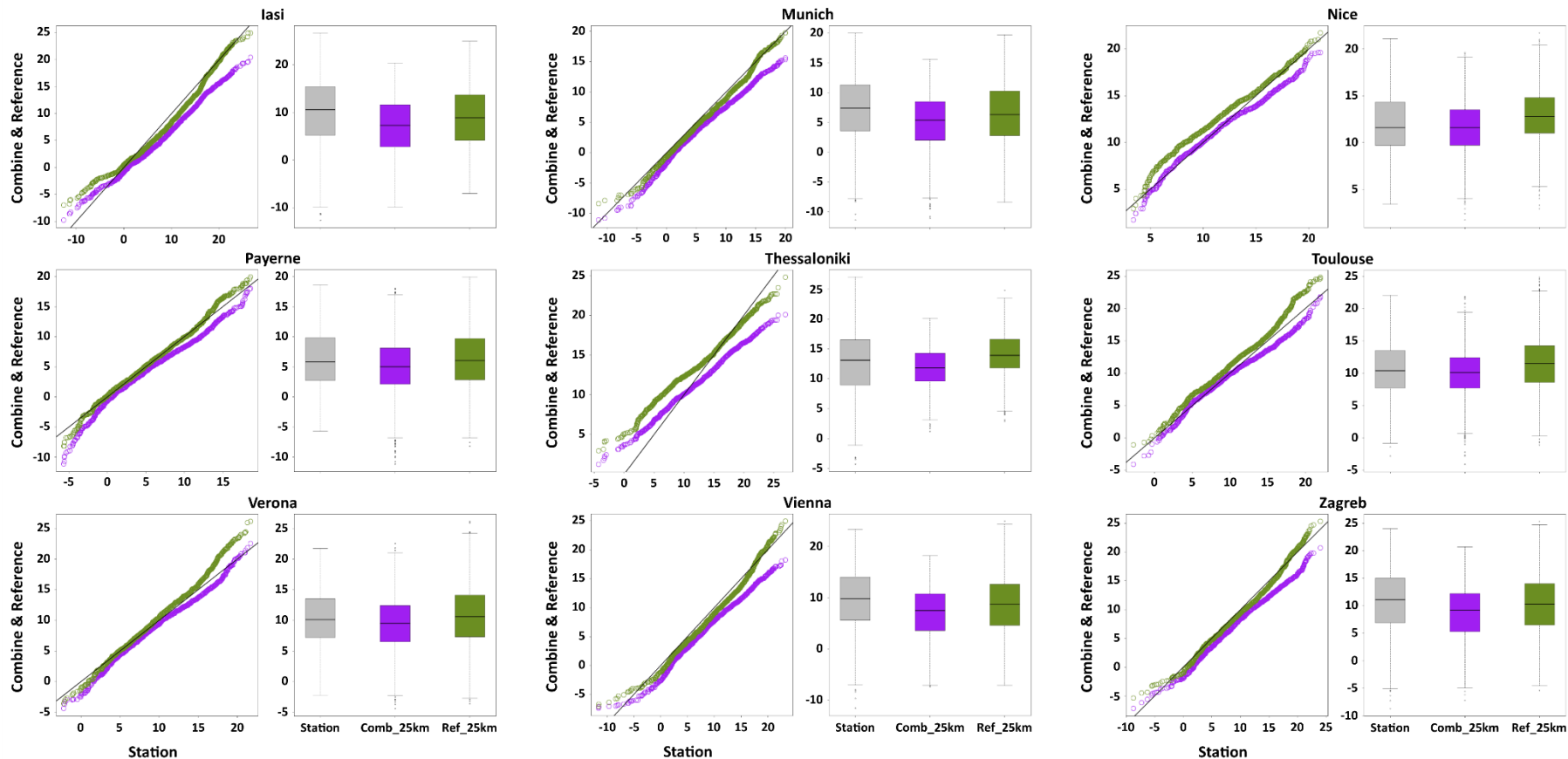
Σχήμα Παρ.72. Ραβδογράμματα για το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (km). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων έχουν μεσοποιηθεί για κάθε υποπεριοχή κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και για την περίοδο 1981-1990, έτσι ώστε να εντοπιστεί η απόδοση κάθε προσομοίωσης

ΑΝΟΙΞΗ (Tmean)



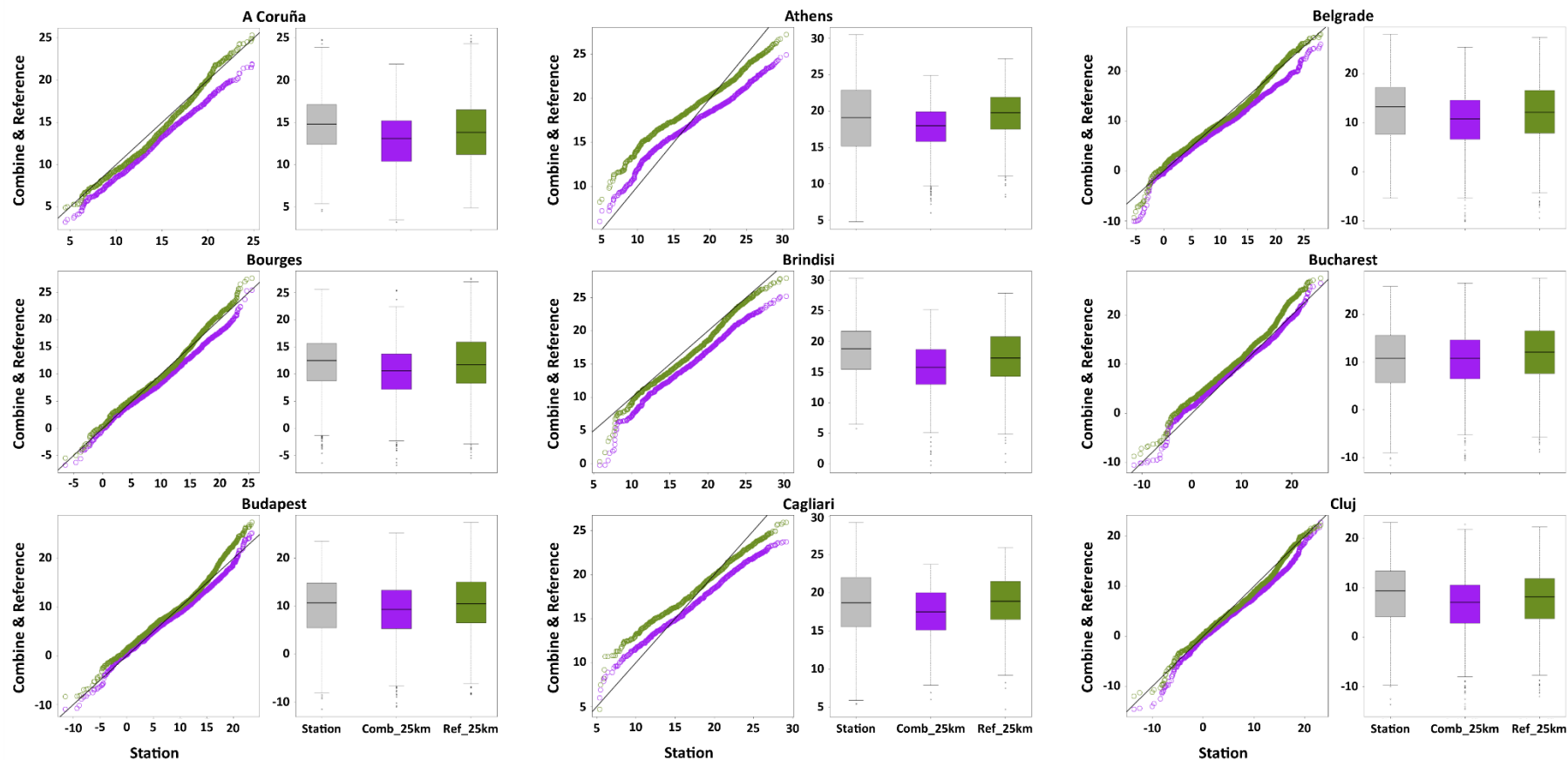
Σχήμα Παρ.73α. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη μέση θερμοκρασία σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια της άνοιξης της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΑΝΟΙΞΗ (Tmean)



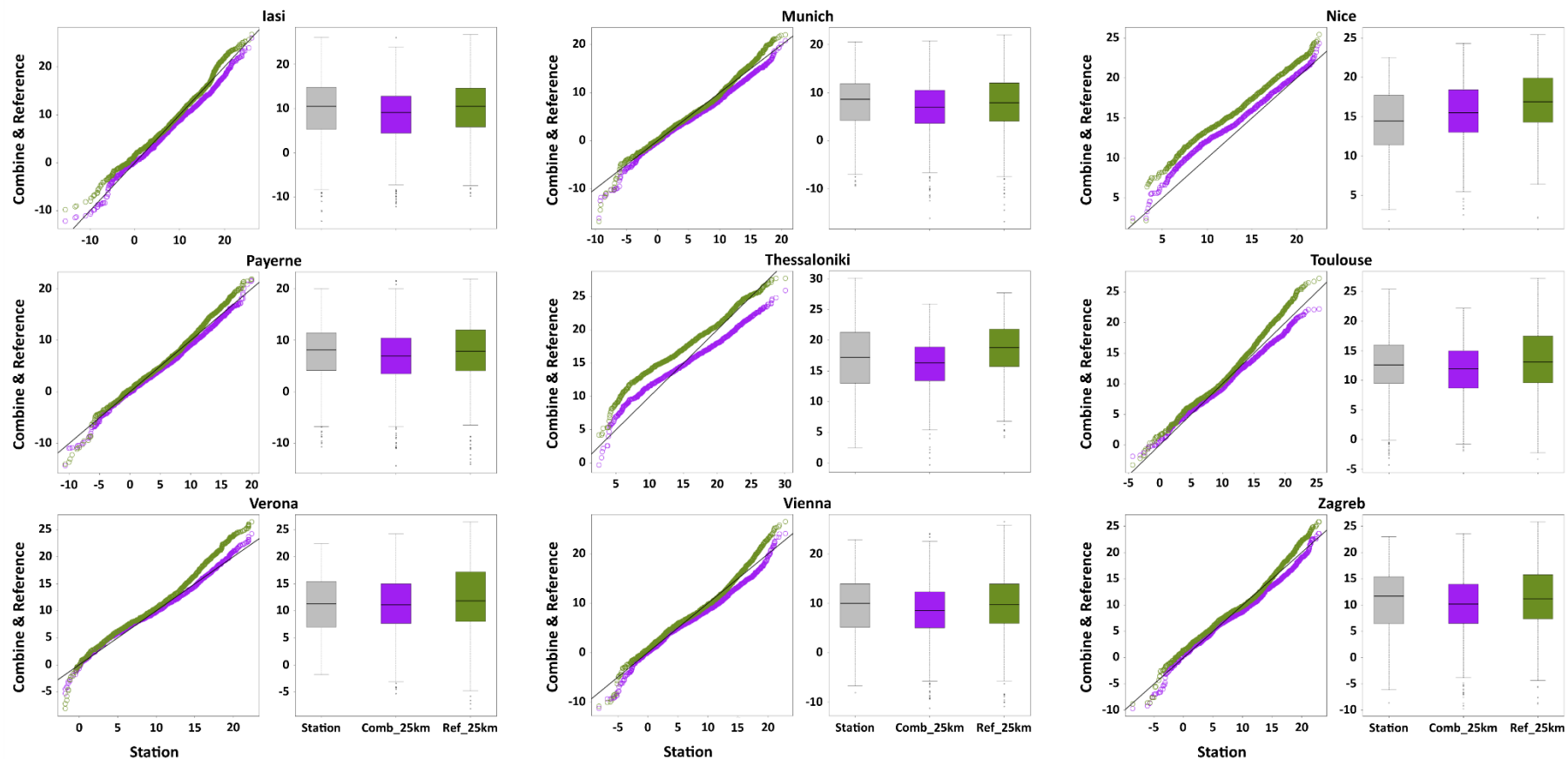
Σχήμα Παρ.73b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ (Tmean)



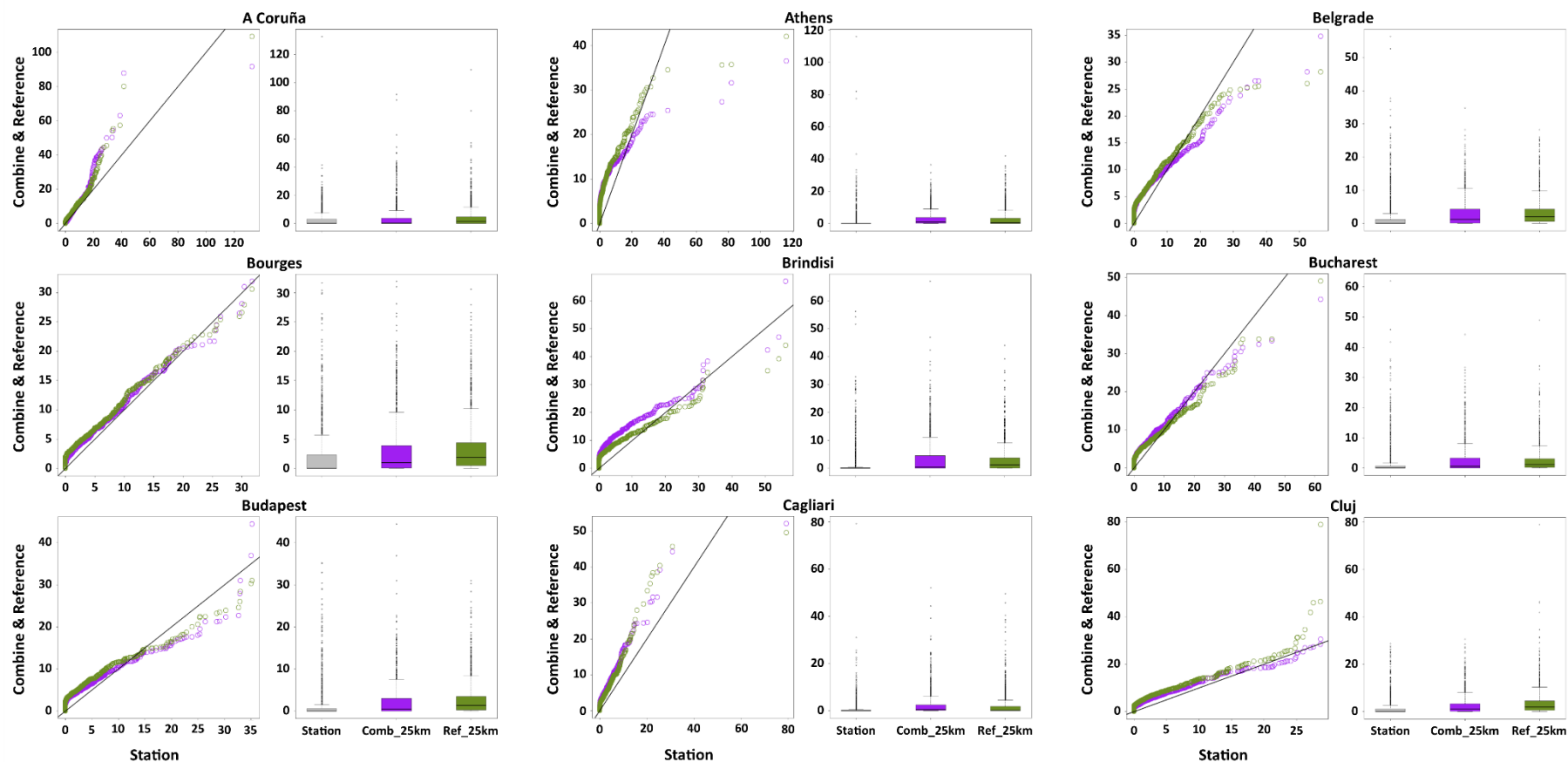
Σχήμα Παρ.74a. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη μέση θερμοκρασία σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ (Tmean)



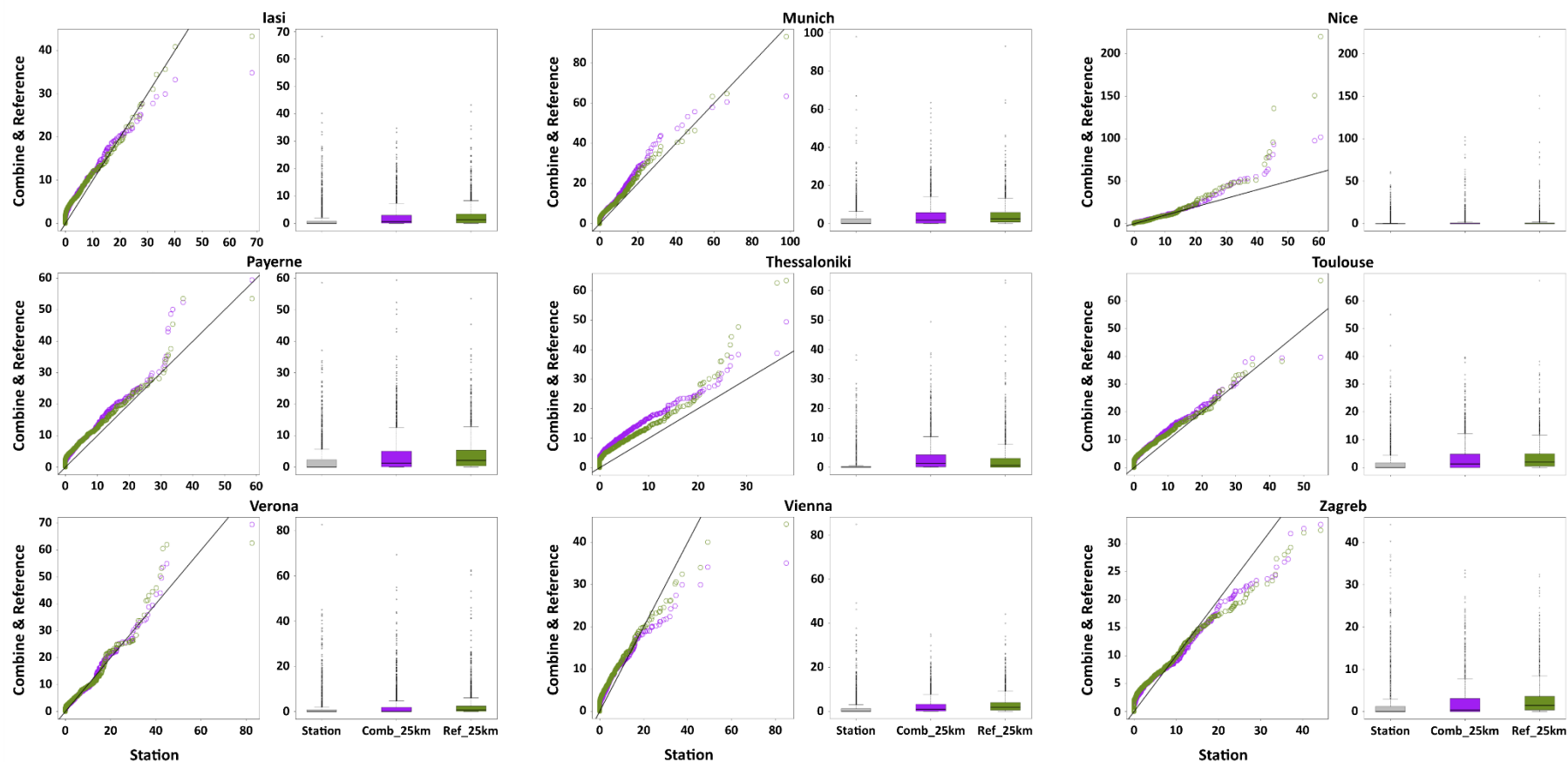
Σχήμα Παρ.74b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

ΑΝΟΙΞΗ (Prec)



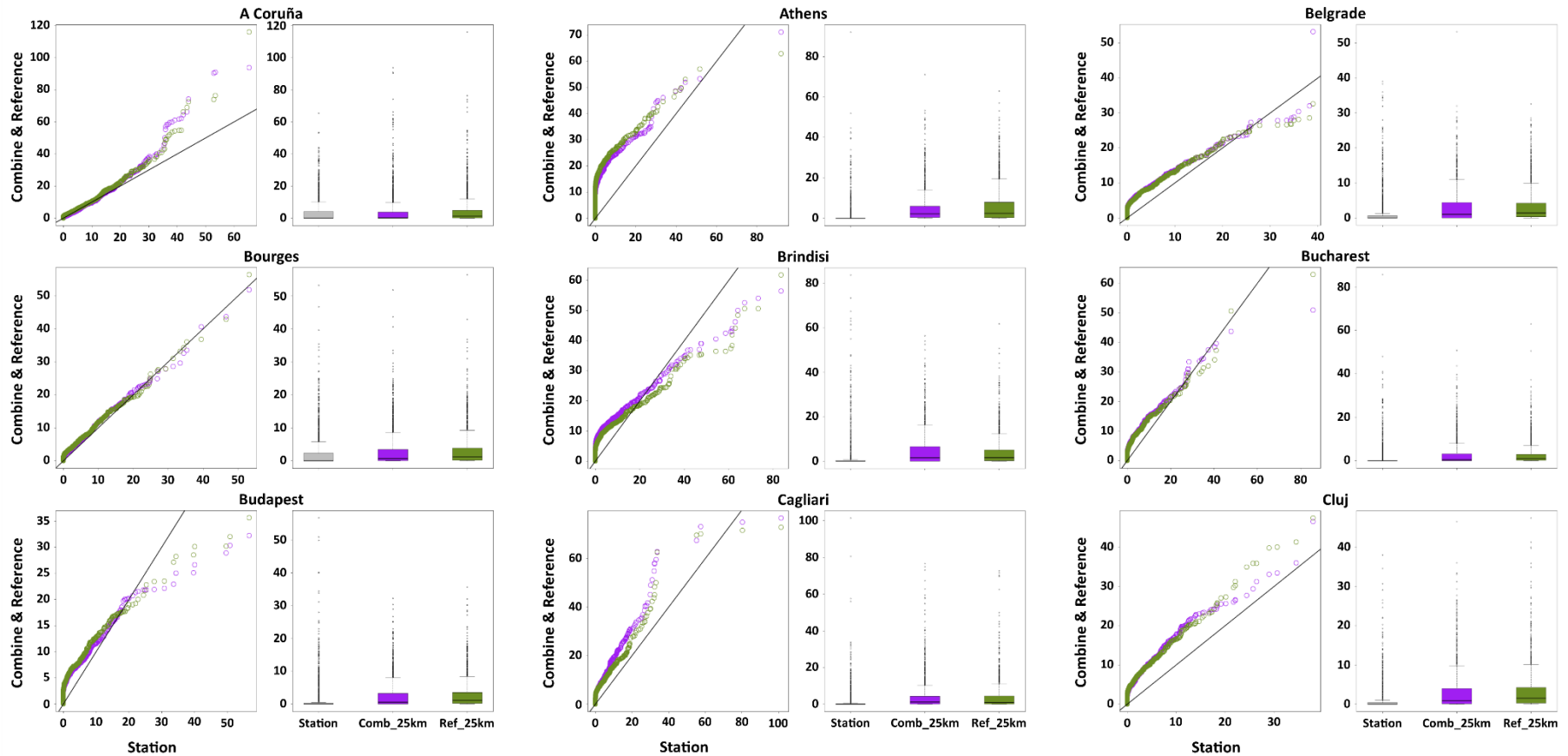
Σχήμα Παρ.75α. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη συνολική βροχόπτωση σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια της άνοιξης της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΑΝΟΙΞΗ (Prec)



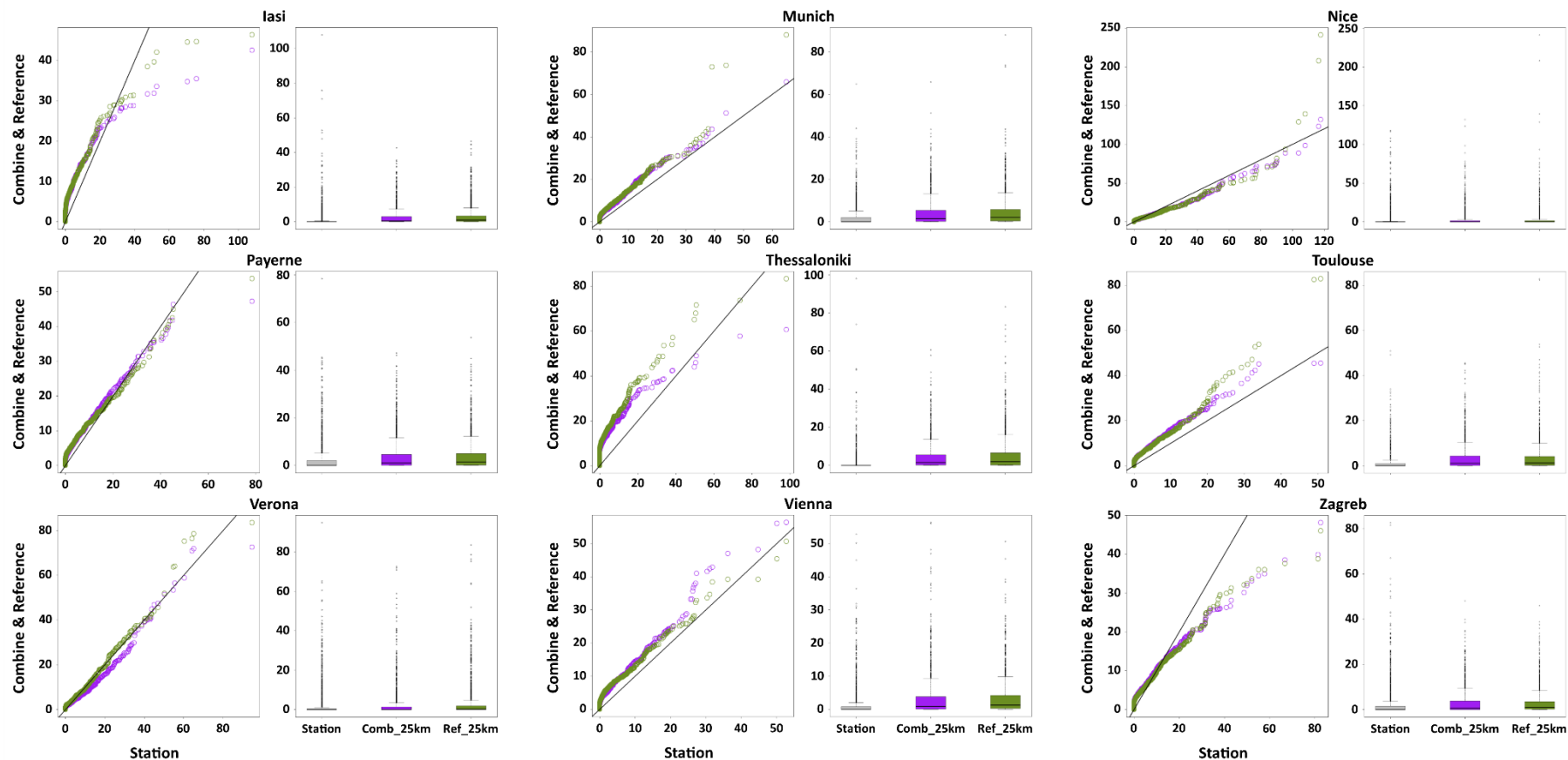
Σχήμα Παρ.75b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ (Prec)

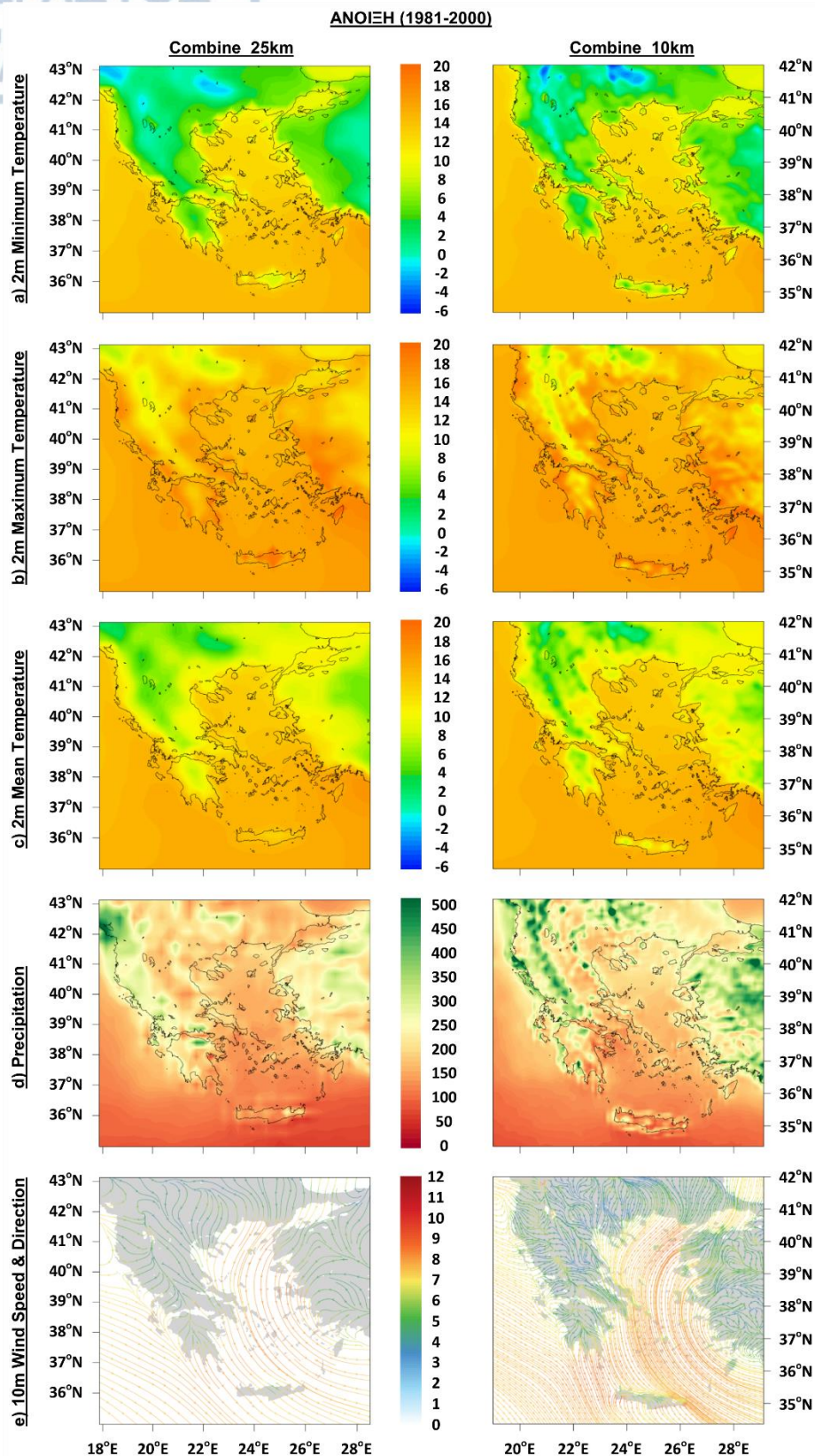


Σχήμα Παρ.76α. Διαγράμματα ποσοστημορίων (q-q plots) και θηκογράμματα (boxplots) για τη συνολική βροχόπτωση σε 18 σταθμούς της βάσης δεδομένων σταθμών ECA&D κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου της περιόδου 1981-2000. Με **μωβ** απεικονίζεται η προσομοίωση Combine_25km και με **πράσινο** η προσομοίωση Reference_25km

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ (Prec)

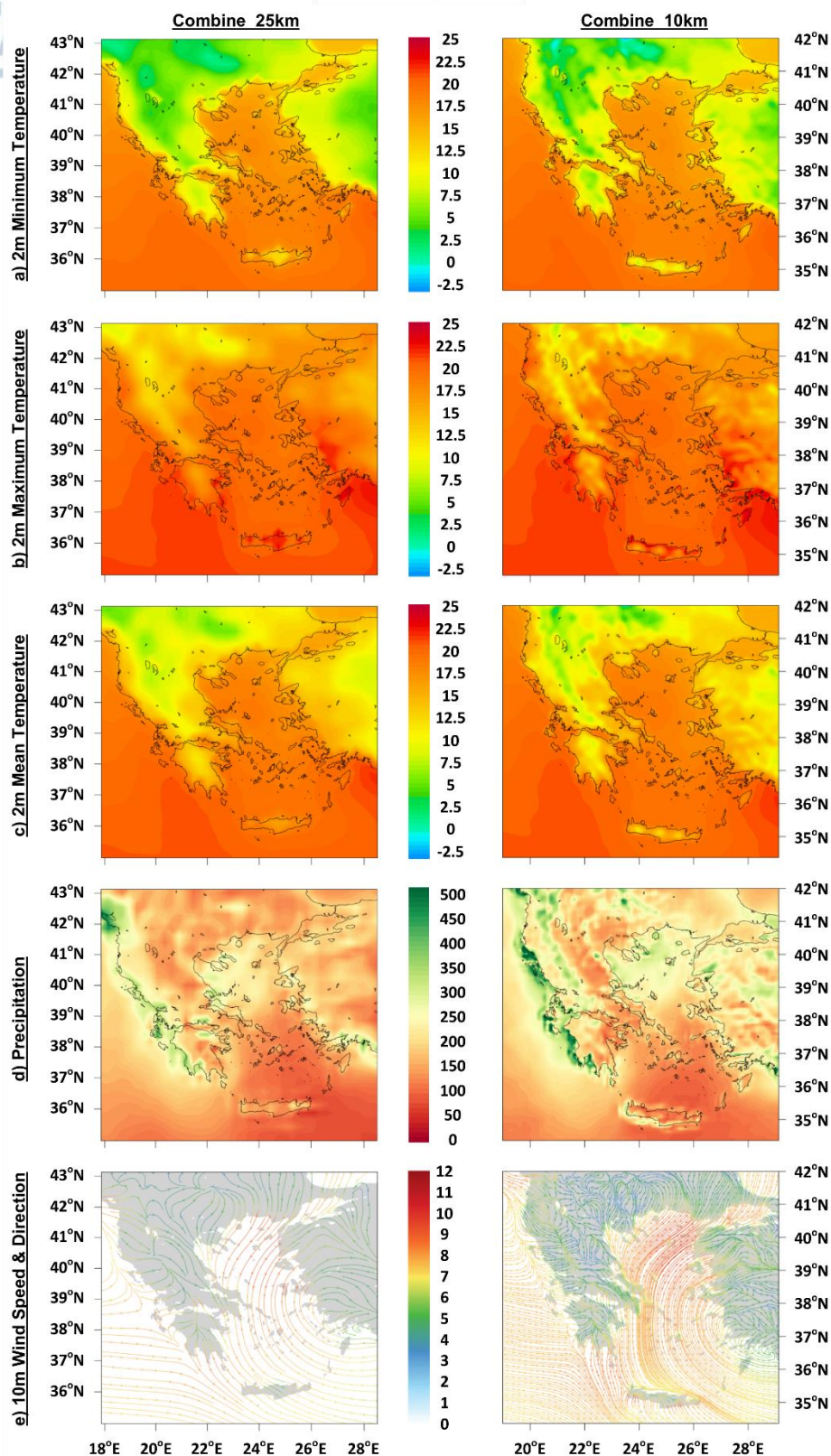


Σχήμα Παρ.76b. Σε συνέχεια του προηγούμενου σχήματος

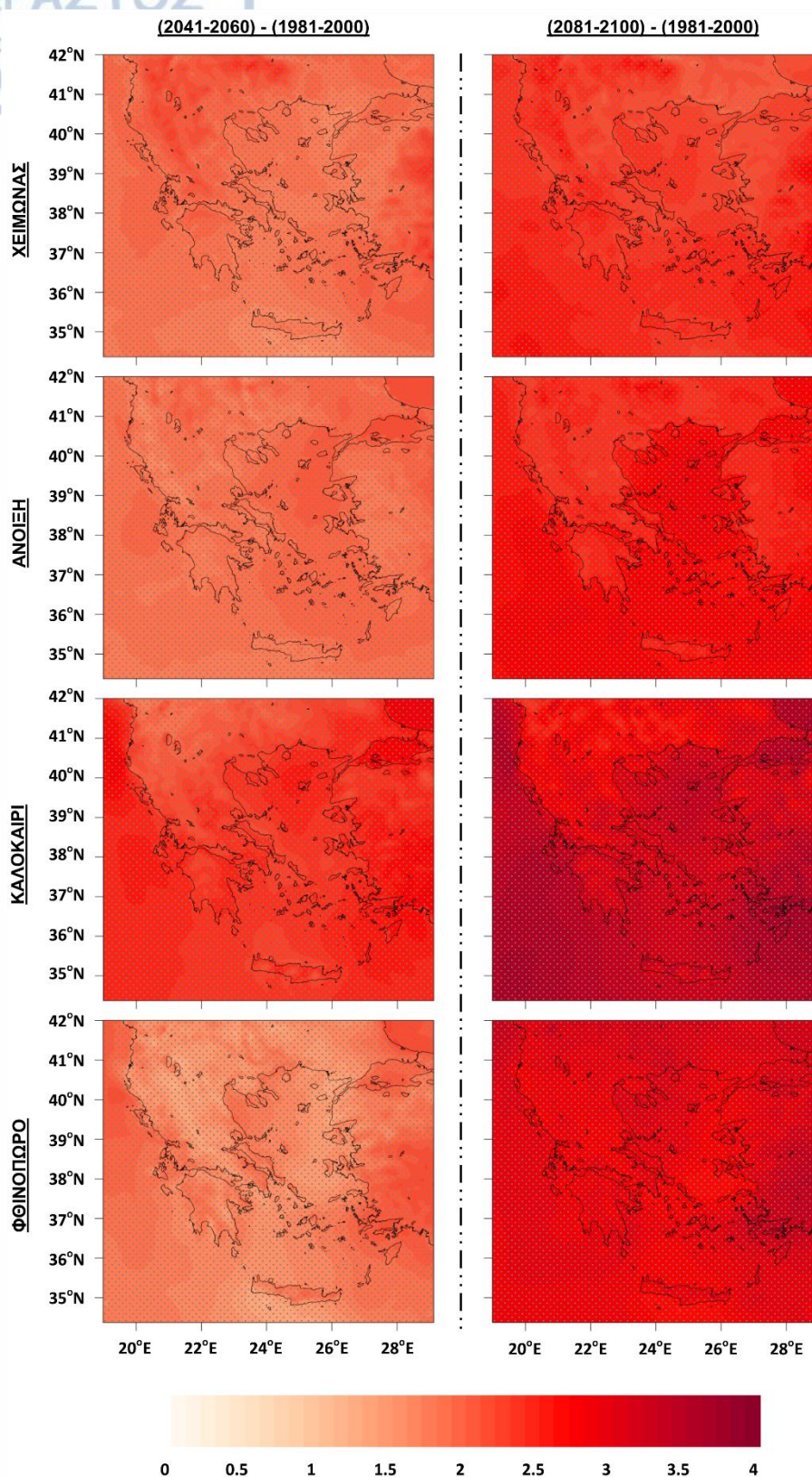


Σχήμα Παρ.77. Μέσοι χάρτες ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας (°C), βροχόπτωσης (mm/season) και ταχύτητας (m/s) - διεύθυνσης ανέμου κατά τη διάρκεια της άνοιξης την περίοδο 1981-2000 για τις προσομοιώσεις Combine_25km και Combine_10km

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ (1981-2000)

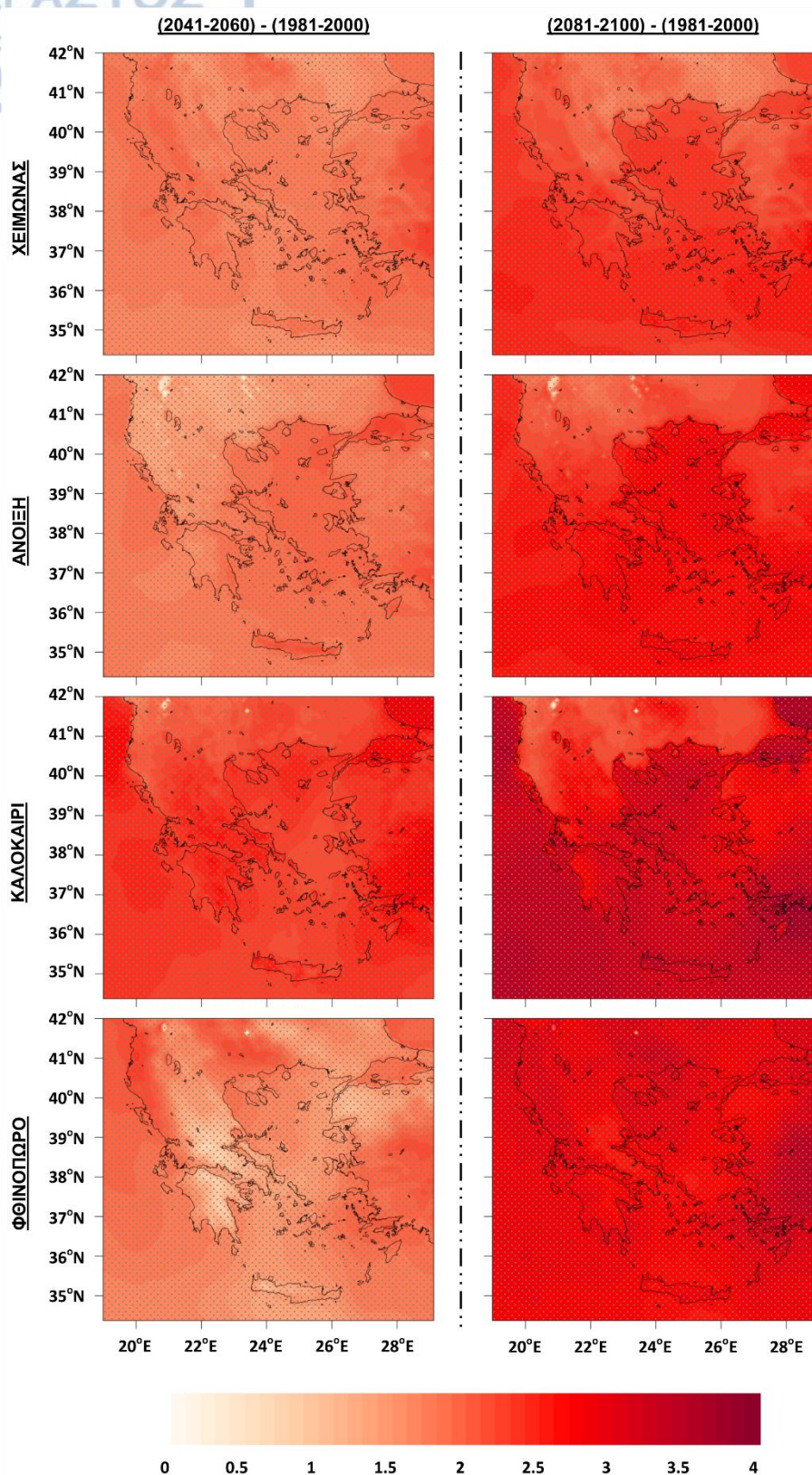


Σχήμα Παρ.78. Μέσοι χάρτες ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας (°C), βροχόπτωσης (mm/season) και ταχύτητας (m/s) - διεύθυνσης ανέμου κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου την περίοδο 1981-2000 για τις προσομοιώσεις Combine_25km και Combine_10km



Σχήμα Παρ.79. Εποχιακοί χάρτες διαφορών (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) για την ελάχιστη θερμοκρασία (°C) από την προσομοίωση Combine_10km ανάμεσα στις δύο μελλοντικές περιόδους (2041-2060 & 2081-2100) και την περίοδο αναφοράς (1981-2000).

Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές απεικονίζονται ως τελείες
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Σχήμα Παρ.80. Εποχιακοί χάρτες διαφορών (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) για τη μέγιστη θερμοκρασία (°C) από την προσομοίωση Combine_10km ανάμεσα στις δύο μελλοντικές περιόδους (2041-2060 & 2081-2100) και την περίοδο αναφοράς (1981-2000).

