



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΥΣΤΑΘΙΑ ΤΡΙΓΓΑ
Πτυχιούχος Γεωγράφος

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΨΥΧΡΩΝ
ΧΕΙΜΕΡΙΝΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
ΒΑΛΚΑΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
‘ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ’

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΕΥΣΤΑΘΙΑ ΤΡΙΓΓΑ
Πτυχιούχος Γεωγράφος

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΨΥΧΡΩΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΩΝ
ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΑΛΚΑΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 20/10/2020

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

1. Κωνσταντία Τολίκα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Α.Π.Θ, Επιβλέπουσα
2. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Α.Π.Θ
3. Κωστοπούλου Ευθυμία, Επίκουρη Καθηγήτρια, Πανεπιστήμιο Αιγαίου



© Ευσταθία Τρίγγα, Γεωγράφος, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΨΥΧΡΩΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΩΝ
ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΑΛΚΑΝΙΚΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ -
Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

© Efstathia Tringa, Geographer, 2020

All rights reserved

STATISTICAL AND DYNAMICAL STUDY OF THE COLD WINTER SPELLS
OVER THE BALKAN PENINSULA - *Master Thesis*

Citation

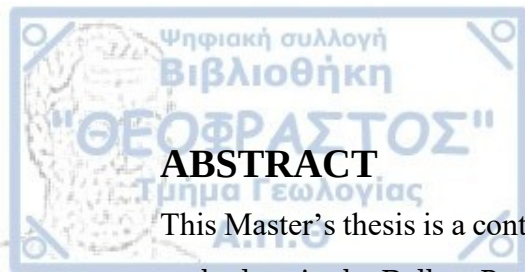
Τρίγγα Ε., 2020. Στατιστική και Δυναμική μελέτη των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών στην περιοχή της Βαλκανικής χερσονήσου. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., σελ.78.
Tringa E., 2020 – Statistical and Dynamical study of the cold winter spells over the Balkan peninsula. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, pp.78.

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.



πραγματοποιήθηκε για τρεις μεταβλητές (μέγιστη, μέση, ελάχιστη θερμοκρασία) σε δύο γεωδυναμικά ύψη 500hPa και 1000hPa. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών, ο τύπος κυκλοφορίας με το μεγαλύτερο ποσοστό επικράτησης για όλες τις μεταβλητές και στα δύο γεωδυναμικά ύψη είναι ο νοτιοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cse. Αντίστοιχα, για μια ημέρα πριν την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο στα 500hPa όσο και στα 1000hPa ο επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο νοτιοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cse, ενώ δύο ημέρες πριν την έναρξη της ψυχρής ακολουθίας τόσο στα 500hPa όσο και στα 1000hPa επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο βορειοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cne.



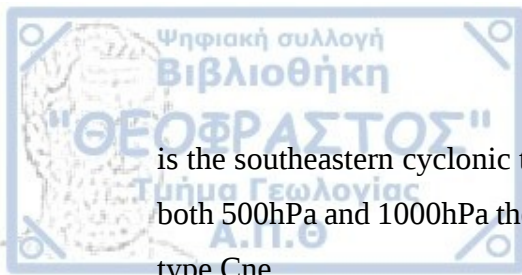
ABSTRACT

This Master's thesis is a contribution to the study of winter cold spells (WCSPs), which took place in the Balkan Peninsula, over a period of 59 years, for the time period from 1961 to 2019. The aim of the study is to examine the statistics and dynamic characteristics of WCSPs with the goal to investigate the relationship between WCSPs and types of atmospheric circulation over the Balkan region.

For the purposes of this study, a data set of 59 years (1961-2019) from 25 Balkan's stations is used, as well as two daily circulation type calendars, derived from the advanced automatic classification according to Mahera (Anagnostopoulou et al. 2009), flexible over the areas of interest. The stations were selected according to availability of data. The meteorological data come from the "European Climate Assessment and Datasets" and from the Aristotle University of Thessaloniki and consist of daily temperature observations on the station's surface (maximum, mean, minimum temperature).

On the first step of the study, an extensive climatic analysis was carried out to understand the meteorological conditions prevailing in each station. The results showed that the northern stations have recorded the most extreme minimum temperatures in contrast to the stations located in the central and coastal areas of the Balkan Peninsula. Subsequently, a climatic analysis of the WCSPs was performed. Winter Cold Spells (WCSPs) are defined as periods of at least three consecutive days where the daily minimum temperature is below 5% of the empirical winter distributions. The year 1962-1963 in the most stations was the year with the longest WCSPs. As a general trend in the frequency of their occurrence, it shows a decrease towards the end of the period of study.

The automatic daily circulation type calendars (Anagnostopoulou et al. 2009), were used with the main aim of identifying the types that prevail before or during WCSPs, so that in the future the early indications of such patterns will contribute to the faster prediction of corresponding extreme cold events. The circulation type calendar was used for three variables (maximum, mean, minimum temperature) at two geopotential heights of 500 and 1000hPa. The results showed that during the WCSPs, the circulation type with the highest prevalence for all variables at both geopotential heights is the southeastern cyclonic type Cse. Respectively, for one day before the start of the WCSPs the results showed that at both 500hPa and 1000hPa the predominant circulation type



is the southeastern cyclonic type Cse, while two days before the start of the WCSPs at both 500hPa and 1000hPa the predominant circulation type is the northeastern cyclonic type Cne.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Στατιστική και δυναμική μελέτη των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών στην περιοχή της Βαλκανικής χερσονήσου» και εκπονήθηκε στον Τομέα Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Στις δύσκολες μέρες που διανύουμε το να έχει κάποιος στο πλευρό του σωστούς ανθρώπους με εν συναίσθηση, υπομονή και επιμονή είναι μεγάλο προτέρημα. Για αυτόν τον λόγο θα ήθελα στο σημείο αυτό να εκφράσω τις αληθινές μου ευχαριστίες σε ορισμένα σημαντικά πρόσωπα που συνέβαλαν με τον δικό τους τρόπο στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα την αναπληρώτρια καθηγήτρια και επιβλέπουσα της Διπλωματικής μου εργασίας κα. Κωνσταντία Τολίκα, για την άριστη συνεργασία και τη συνεχή καθοδήγησή της, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής. Οι συμβουλές της και η ενθάρρυνσή της ήταν πάντα σύμμαχος και πολύτιμο αγαθό σε όλες τις δύσκολες στιγμές. Την ευχαριστώ για όλες τις γνώσεις που μου μετέφερε ως εκπαιδευτικός αλλά και για την πολύτιμη στήριξή της ως άνθρωπος.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής μου, την διευθύντρια του Π.Μ.Σ και αναπληρώτρια καθηγήτρια κα. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου καθώς και την επίκουρη καθηγήτρια κα. Ευθυμία Κωστοπούλου για τις χρήσιμες παρατηρήσεις και σημαντικές υποδείξεις στο κείμενο της διατριβής.

Οφείλω στο σημείο αυτό να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Ιωάννη Τεγούλια για τη συνεισφορά του σ' ένα μεγάλο τμήμα της επεξεργασίας των δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και στον σύντροφό μου για τη συνεχής στήριξη, την απεριόριστη αγάπη και την κατανόηση που έδειξαν στις δύσκολες στιγμές που υπήρξαν κατά τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της παρούσας εργασίας. Οποιαδήποτε εργασία και οποιαδήποτε επιτυχία δεν θα είχε καμία αξία αν δεν είχα εσάς στο πλευρό μου!

*~Κρατήστε αυτόν τον ήχο, τις βροντές, την καταιγίδα, μέχρι να τα σημειώσω κάπου.~
Γουίλιαμ Σαίξπηρ, 1564-1616*



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ABSTRACT

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- 2.1 Το κλίμα τις Ευρώπης
- 2.2 Η γεωγραφία και το κλίμα των Βαλκανίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

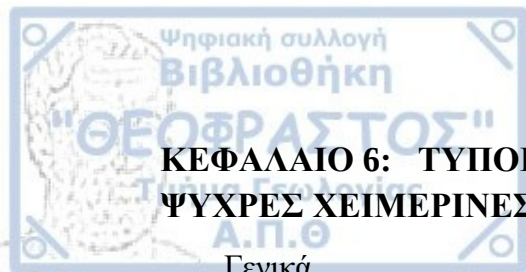
- 3.1 Μετεωρολογικοί Σταθμοί
- 3.2 Δεδομένα
 - 3.2.1 Περίοδος Μελέτης
 - 3.2.2 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων
- 3.3 Μεθοδολογία
 - 3.3.1 Ψυχρές ακολουθίες
 - 3.3.1α Τα χαρακτηριστικά των ψυχρών ακολουθιών
 - 3.3.1β Ορισμός της ψυχρής χειμερινής ακολουθίας
 - 3.3.2 Αυτόματη κατάταξη τύπων κυκλοφορίας
 - 3.3.2α Τύποι κυκλοφορίας κατά Mahera

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

- 4.1 Ενδοετήσια πορεία της μέσης μέγιστης και μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας
- 4.2 Ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίας για την συνολική περίοδο 1961-2019
- 4.3 Ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίας ανά έτος
- 4.4 Ημέρες μερικού και ολικού παγετού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΨΥΧΡΕΣ ΧΕΙΜΕΡΙΝΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ

- 5.1 Εντοπισμός των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών με τη χρήση του 5ου εκατοστημορίου
- 5.2 Διαχρονική ανάλυση των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΙ ΨΥΧΡΕΣ ΧΕΙΜΕΡΙΝΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ

Γενικά

- 6.1 Οι τύποι κυκλοφορίας που ευνοούν τις ψυχρές χειμερινές ακολουθίες
- 6.2 Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών
- 6.3 Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό πριν την έναρξη των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών
- 6.4 Συνοπτική Ανάλυση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

$T_{\max}$	Ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία
$T_{\min}$	Ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία
T_{mean}	Ημερήσια μέση θερμοκρασία
$\text{Mean}T_{\max}$	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (μέσος όρος 59 ετών)
$\text{Mean}T_{\min}$	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (μέσος όρος 59 ετών)
Ελ. $T_{\max}$	Ακραία ελάχιστη μέγιστη θερμοκρασία
Ελ. $T_{\min}$	Ακραία ελάχιστη θερμοκρασία
Ελ. T_{mean}	Ακραία ελάχιστη μέση θερμοκρασία
$T_{\max 5\text{th}}$	Ελάχιστη μέγιστη θερμοκρασία κάτω από το 5 ^ο εκατοστημόριο των εμπειρικών κατανομών του χειμώνα ($T_{\max} < 5\text{th}$)
$T_{\text{mean} 5\text{th}}$	Ελάχιστη μέση θερμοκρασία κάτω από το 5 ^ο εκατοστημόριο των εμπειρικών κατανομών του χειμώνα ($T_{\min} < 5\text{th}$)
$T_{\min 5\text{th}}$	Ελάχιστη θερμοκρασία κάτω από το 5 ^ο εκατοστημόριο των εμπειρικών κατανομών του χειμώνα ($T_{\min} < 5\text{th}$)
CT	Circulation Type, Τύπος κυκλοφορίας
NCEP/NCAR	National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ECAD	European Climate Assessment and Datasets
WMO	World Meteorological Organization

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα στην επιστήμη της κλιματολογίας είναι η κατανόηση των φυσικών διεργασιών που συμβάλουν στην εμφάνιση μεγάλων περιόδων με ακραίες τιμές θερμοκρασίας, τόσο το καλοκαίρι όσο και τον χειμώνα. Σ' ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο κλίμα η σημασία τους είναι μεγάλη, αφού μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις με υψηλό αντίκτυπο τόσο στην ανθρώπινη κοινωνία όσο και στο φυσικό περιβάλλον (McMichael et al. 2003, McGregor et al. 2005, Xoplaki et al. 2016). Ένα τέτοιο ακραίο γεγονός κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορεί να είναι μια ψυχρή ακολουθία, δηλαδή μια ακολουθία ημερών με χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω των συνηθισμένων για την εποχή (World Meteorological Organization, WMO). Τα προβλήματα στη δημόσια υγεία, η θνησιμότητα των ανθρώπων και των ζώων, ο απαιτητικός ενεργειακός εφοδιασμός, οι συνολικές οικονομικές απώλειες κ.α. συγκαταλέγονται στις βασικές επιπτώσεις των προαναφερθέντων ακραίων γεγονότων (e.g. Beniston 2004, Vavrus et al. 2006, Kysely et al. 2011, Anagnostopoulou et al. 2017, Plavcova και Kysely, 2019). Για τον λόγο αυτόν, η μελέτη των ψυχρών ακολουθιών και της μεταβλητότητάς τους χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας.

Οι συνεχείς αλλαγές του κλίματος που παρατηρήθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες, επηρεάζουν όχι μόνο την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας αλλά και όλα τα στοιχεία του κλιματικού συστήματος (Plavcova and Kysely 2019). Το βόρειο ημισφαίριο, κατά το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα ήταν θερμότερο από οποιαδήποτε άλλη περίοδο 50 ετών τα τελευταία 500 χρόνια, με τη μεγαλύτερη θέρμανση τον χειμώνα και την άνοιξη (Trenberth et al. 2007). Αν και η αύξηση της θερμοκρασίας δεν ήταν χωροχρονικά παγκοσμίως ομοιόμορφη, διαπιστώθηκε μια γενική πτωτική τάση στις ακραίες ψυχρές θερμοκρασίες και αυξητική στις θερμές (Moberg et al. 2006, Peterson et al. 2008, Dash and Mamgain 2011). Έρευνες έχουν δείξει ότι ακραία συμβάντα όπως οι ψυχρές ακολουθίες, έχουν υποστεί σημαντική μείωση τις τελευταίες δεκαετίες (Christidis et al. 2005, Brown et al. 2008) και αναμένεται να είναι λιγότερο σοβαρά στο μέλλον (Kirtman et al. 2013), γεγονός που αποδίδεται στην παρατηρούμενη υπερθέρμανση του πλανήτη στην οποία έχει συμβάλει ο άνθρωπος μέσω των αερίων του θερμοκηπίου (IPCC, 2007). Αντίθετα, ορισμένες μελέτες δείχνουν πως οι μελλοντικές ψυχρές ακολουθίες αν και λιγότερο συχνές, θα μπορούσαν να είναι τόσο σοβαρές σε παγκόσμια κλίμακα όσο και οι σημερινές (Vavrus et al. 2006, Kodra et al. 2011, Xoplaki et al. 2016). Αυτό αποδίδεται σύμφωνα με τους

Easterling et al. (2000) στο ότι αν και η κλιματική αλλαγή συνδέεται άμεσα με τα πιο ισχυρά ακραία φυσικά γεγονότα δεν είναι απαραίτητο να οδηγήσουν σε τέτοιου είδους ακραίες επιπτώσεις, διότι τα συστήματα μπορεί από τη φύση τους να είναι ανθεκτικά ή να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες της ατμόσφαιρας. Για την αξιολόγηση των τροποποιήσεων όχι μόνο στη συχνότητα αλλά και στην ένταση των ακραίων γεγονότων, αρκετές μελέτες κάνουν χρήση στατιστικών δεικτών (Frich et al. 2002, Ramos et al. 2011).

Η νοτιοανατολική Ευρώπη και ιδιαίτερα η βαλκανική χερσόνησος στην οποία εστιάζει η παρούσα διπλωματική εργασία, συχνά υφίστανται ψυχρούς χειμώνες που χαρακτηρίζονται από έντονη θερμοκρασιακή μεταβλητότητα (Anagnostopoulou et al. 2017). Σύμφωνα με τους Frich et al. (2002) κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε μια παγκόσμια μείωση στην εμφάνιση ημερών με μερικό παγετό ($T_{min} < 0^{\circ}C$). Ωστόσο, μελέτες δείχνουν ότι όσον αφορά τις ημέρες με μερικό παγετό στην περιοχή των Βαλκανίων αυτές παρουσιάζουν σημαντικές θετικές τάσεις (Frich et al. 2002, Kostopoulou and Jones 2005). Οι Kostopoulou and Jones (2005), αξιολόγησαν τον ετήσιο μέγιστο αριθμό των διαδοχικών ψυχρών ημερών στην Ανατολική Μεσόγειο, υποδηλώνοντας κατά τη διάρκεια του χειμώνα μια μείωση των ψυχρών ημερών στην περιοχή γύρω από τη Βοσνία – Ερζεγοβίνη, κατά 4-6 ημέρες ανά δεκαετία.

Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη η ατμοσφαιρική κυκλοφορία αποτελεί έναν από τους καθοριστικούς παράγοντες της μεταβλητότητας του κλίματος και των περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών της επιφανείας π.χ. των ακραίων θερμοκρασιών (Domonkos et al. 2003, Yiou and Nogaj 2004). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η εμφάνιση σοβαρών και επίμονων ψυχρών ακολουθιών στην περιοχή της Ευρώπης, συνδέεται με επίμονα και επαναλαμβανόμενα μοτίβα κυκλοφορίας που παραμένουν πάνω από μια περιοχή και την επηρεάζουν για παρατεταμένες χρονικές περιόδους, προκαλώντας στην επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα θετικές ή αρνητικές ανωμαλίες (Parker et al. 1994, Steinberger and Gazit-Yaari 1996, Kysely 2008). Μελέτες έχουν δείξει ότι βάση του χρόνου παραμονής των τύπων κυκλοφορίας στην περιοχή της Ευρώπης, η εμμονή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας έχει αυξηθεί από τα μέσα του 1980. Οι ερευνητές αναφέρουν ότι οι αλλαγές αυτές είναι πιθανό να συνέβαλαν στα λιγότερο έντονα ψυχρά ακραία γεγονότα. Κατά συνέπεια σε παγκόσμια κλίμακα πραγματοποιήθηκαν πολλές προσπάθειες για τη διερεύνηση της σχέσης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας ή των τύπων κυκλοφορίας με την εμφάνιση ψυχρών

ακραίων γεγονότων (π.χ Domonkos et al. 2003, Kysely 2008, Plavcova and Kysely 2019). Προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι οι τύποι κυκλοφορίας που ευνοούν τις ψυχρές ακολουθίες είναι συνήθως εκείνοι οι τύποι με ανατολικές και/ή βόρειες ροές, ενώ τόσο αντικυκλωνικοί όσο και κυκλωνικοί τύποι εμφανίζονται πριν από την έναρξη μιας ψυχρής ακολουθίας (Plavcova and Kysely 2019). Όλα τα παραπάνω τονίζουν την ανάγκη να ληφθούν υπόψη οι τύποι κυκλοφορίας, η συχνότητά τους και η εμμονή τους για την αξιολόγηση της σύνδεσης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας με τα ψυχρά ακραία γεγονότα.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στη μελέτη των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών στην περιοχή της Βαλκανικής χερσονήσου, για τη μακροχρόνια περίοδο 59 ετών 1961-2019. Η ανάγκη για την κατανόηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών που συμβάλουν στη δημιουργία ψυχρών χειμερινών ακολουθιών έδωσε το ερέθισμα για τη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης. Απώτερος στόχος της διατριβής αυτής είναι να μελετηθεί η χωροχρονική μεταβλητότητα καθώς και τα δυναμικά αίτια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών και να προσδιοριστούν οι τύποι της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που πιθανόν να συμβάλουν στην εμφάνισή τους.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής:

- Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται σε γενικές γραμμές τα κλιματικά στοιχεία της Ευρώπης εστιάζοντας στην περιοχή των Βαλκανίων. Το κεφάλαιο αυτό ήταν απαραίτητο για να είναι γνωστές οι κλιματικές συνθήκες και τα κλιματικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής.
- Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας καθώς και η διαδικασία της συλλογής και της επεξεργασίας των δεδομένων και των στατιστικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης παρουσιάζεται μια εκτεταμένη βιβλιογραφική αναφορά στο φαινόμενο της ψυχρής ακολουθίας και στους τύπους κυκλοφορίας κατά Μαχαίρα, με σκοπό την πλήρη κάλυψη των ορισμών και της μεθοδολογίας στα οποία στηρίχθηκε η παρούσα εργασία (π.χ. ψυχρή ακολουθία)
- Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την κλιματολογική ανάλυση για τον κάθε έναν σταθμό ξεχωριστά, για το σύνολο της υπό μελέτης περιόδου. Παρουσιάζεται η ενδοετήσια πορεία της μέσης μέγιστης και μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας καθώς και οι ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες που κατέγραψαν οι σταθμοί.

- Στο πρώτο μέρος του Κεφαλαίου 5 χρησιμοποιώντας ως διαγνωστικό δείκτη το 5^ο εκατοστημόριο των εμπειρικών κατανομών του χειμώνα, πραγματοποιήθηκε ο εντοπισμός των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών που έλαβαν χώρα κατά την υπό μελέτη περίοδο στους 25 σταθμούς. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη διαχρονική ανάλυση των ψυχρών ακολουθιών στην πορεία των χρόνων.
- Το Κεφάλαιο 6 είναι αφιερωμένο στη σχέση που συνδέει τις ψυχρές χειμερινές ακολουθίες με τους τύπους κυκλοφορίας. Μέσω στατιστικής μελέτης εντοπίζονται και παρουσιάζονται οι επικρατέστεροι τύποι κυκλοφορίας πριν αλλά και κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών. Επίσης στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζεται μια σειρά χαρτών που απεικονίζονται τα αποτελέσματα της συνοπτικής ανάλυσης.
- Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 περιέχονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη και γίνεται σύγκριση με τα συμπεράσματα της βιβλιογραφίας

Όλα τα παραπάνω αποσκοπούν στην κατανόηση των δυναμικών χαρακτηριστικών των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών, με απώτερο σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης που συνδέει τις ψυχρές χειμερινές ακολουθίες με τους τύπους κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας πάνω από την ευρύτερη βαλκανική περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο θα εξεταστεί αν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τύπος κυκλοφορίας που να σχετίζεται με την εμφάνιση τέτοιων ακραίων γεγονότων, καθώς και το ενδεχόμενο αν η ατμόσφαιρα 'προετοιμάζει' μέσω της κυκλοφορίας τις συνθήκες για την εμφάνιση ψυχρών ακολουθιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

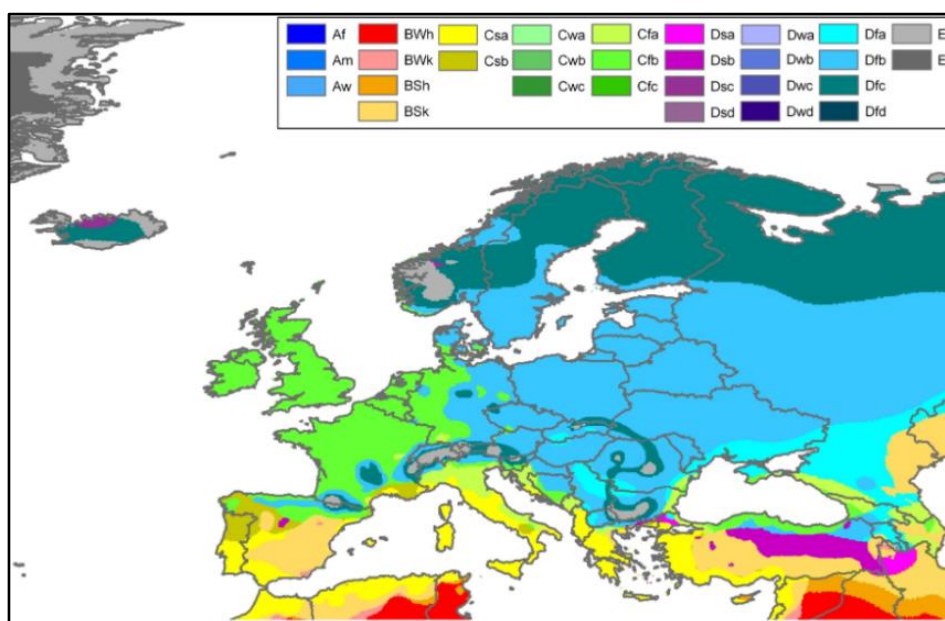
2.1 Το κλίμα της Ευρώπης

Η Ευρώπη κλιματικά ανήκει στην εύκρατη ζώνη, ενώ ένα μικρό της τμήμα τοποθετείται στη βόρεια πολική ζώνη. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι ότι όλη η ήπειρος εκτός την ανατολική Ευρώπη βρέχεται από θάλασσα. Το γεγονός αυτό συμβάλλει σημαντικά στα χαρακτηριστικά του κλίματος, το οποίο χαρακτηρίζεται ως εύκρατο, με εξαίρεση ένα μικρό τμήμα που ανήκει στον πολικό κύκλο και το οποίο χαρακτηρίζεται από ακραίες θερμοκρασίες τον χειμώνα (Φλόκας 1992). Σύμφωνα με την κατάταξη κατά Koppen (Koppen climate classification 1900) το κλίμα της Ευρώπης (Εικόνα 1) διακρίνεται σε έξι τύπους:

- 1) Ωκεάνιο κλίμα: Το κλίμα αυτό επικρατεί στις περιοχές της δυτικής Ευρώπης, δηλαδή σε αυτές που βρέχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό (π.χ. Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ολλανδία κ.α.). Οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο ωκεάνιο κλίμα είναι μέτριες σε όλες τις εποχές. Χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες, δροσερά καλοκαίρια και άφθονες βροχοπτώσεις.
- 2) Ηπειρωτικό κλίμα: Η ζώνη ηπειρωτικού κλίματος διαμορφώνεται από τους ξηρούς ανέμους της Ασίας οι οποίοι τον χειμώνα είναι ψυχροί και το καλοκαίρι θερμοί. Η διαφορά στη θερμοκρασία μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού είναι μεγάλες. Οι χειμώνες είναι ψυχροί με μεγάλη διάρκεια και πολλά χιόνια ενώ τα καλοκαίρια θερμά με συχνές βροχές. Το κλίμα αυτό επικρατεί στην ανατολική και κεντρική Ευρώπη (π.χ. στην Πολωνία, Ουκρανία κ.α.).
- 3) Μεταβατικό κλίμα: Το κλίμα αυτό επικρατεί στην κεντρική Ευρώπη, σε περιοχές δηλαδή που βρίσκονται μακριά από τη Μεσόγειο και τον Ατλαντικό (π.χ. Γερμανία, Τσεχία κ.α.). Τα χαρακτηριστικά του είναι ενδιάμεσα στο ωκεάνιο και το ηπειρωτικό κλίμα. Δηλαδή χαρακτηρίζεται από πιο ήπιους χειμώνες απ' ότι στο ηπειρωτικό και πιο λίγες βροχές σε σχέση με το ωκεάνιο. Η ζώνη του μεταβατικού κλίματος δεν δέχεται την επίδραση του ωκεανού, δεν επηρεάζεται από τους ξηρούς ανέμους της Ασίας, ούτε δέχεται τους θερμούς ανέμους της Σαχάρας.
- 4) Μεσογειακό κλίμα: Επικρατεί στη νότια Ευρώπη και συγκεκριμένα στη ζώνη της Μεσόγειου Θάλασσας (π.χ. Ελλάδα), αλλά και σε περιοχές εκτός της

Μεσογείου, όπως η Καλιφόρνια, η ΝΔ Αυστραλία, η Νότια Αφρική και η κεντρική Χιλή. Οι περιοχές με μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζονται από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και δροσερούς και υγρούς χειμώνες.

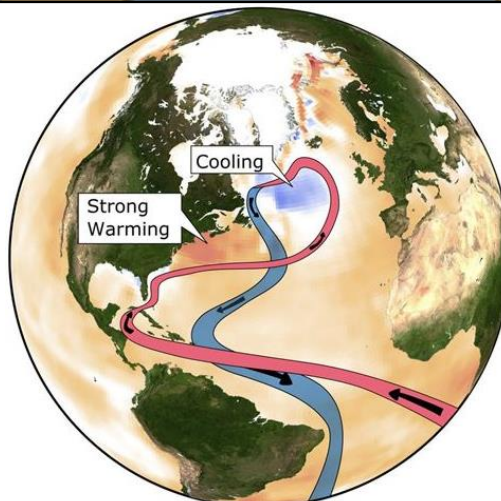
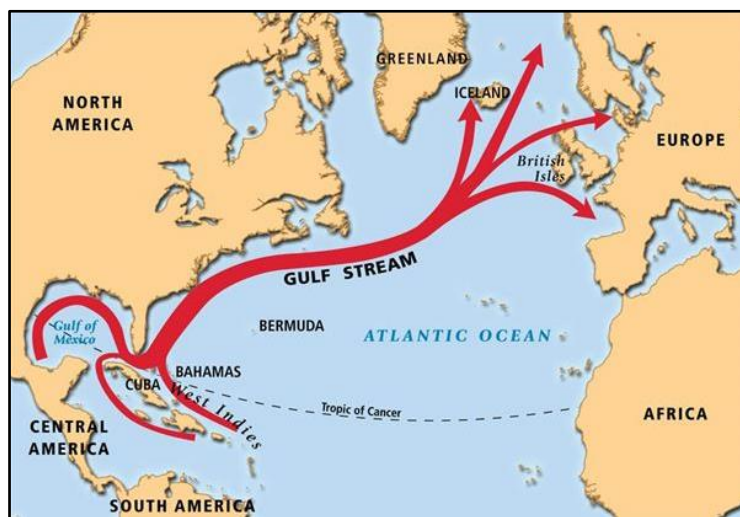
- 5) Πολικό κλίμα: Επικρατεί σε μια μικρού πλάτους περιοχή της βόρειας Ευρώπης, που βρέχεται από τον Αρκτικό Ωκεανό και είναι παγωμένη τους περισσότερους μήνες του χρόνου. Σε αυτή τη ζώνη ανήκουν για παράδειγμα η βόρεια Ισλανδία, η βόρεια Νορβηγία κ.α.. Το χαρακτηριστικό αυτού του κλίματος είναι οι πολύ ψυχροί χειμώνες, ενώ το καλοκαίρι διαρκεί μόνο λίγες εβδομάδες και είναι δροσερό. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας αγγίζει τους -10°C και οι βροχές είναι ελάχιστες.
- 6) Ορεινό κλίμα: Το κλίμα αυτό έχει χαρακτηριστικά που μοιάζουν με εκείνα του πολικού κλίματος. Επικρατεί σε ευρωπαϊκές περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, όπου το κλίμα είναι ψυχρό, όπως για παράδειγμα στις Άλπεις, στα Καρπάθια, στον Καύκασο κλπ.



Εικόνα 1: Κατάταξη κλιμάτων κατά Koppen για την Ευρώπη, σύγχρονη έκδοση. Peel et al. 2007 Ημερομηνία επίσκεψης: 5/10/2020

Συνοπτικά οι κύριοι παράγοντες που συμβάλουν στη διαμόρφωση του ευρωπαϊκού κλίματος είναι:

- 1) Η απόσταση από τη θάλασσα (διατηρεί σε ήπια επίπεδα τη θερμοκρασία, τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όσο και του χειμώνα)
- 2) Το υψόμετρο και το ανάγλυφο
- 3) Ειδικές τοπικές συνθήκες (οροσειρές, τοπικοί άνεμοι κλπ.)
- 4) Η θέση της σε συνδυασμό με τα ρεύματα του Ατλαντικού Ωκεανού (εμπλουτισμός με υγρασία των αερίων μαζών που βρίσκονται πάνω από αυτόν, προκαλώντας άφθονες βροχές στη βορειοδυτική Ευρώπη) (Εικόνα 2)
- 5) Η έρημος Σαχάρα και η Σιβηρία (μεταφορά θερμών και ξηρών αερίων μαζών)



Εικόνα 2: Τα ρεύματα του Ατλαντικού (Ρεύμα του Κόλπου του Μεξικού). Με κόκκινο χρώμα το θερμό ρεύμα και με μπλε το ψυχρό.

2.2 Η γεωγραφία και το κλίμα των Βαλκανίων

Τα Βαλκάνια από γεωγραφική άποψη βρίσκονται στη νοτιοανατολική Ευρώπη, ενώ από κλιματική ανήκουν στη βόρεια εύκρατη ζώνη (συγκεκριμένα στο σημείο με συντεταγμένες $42^{\circ}0'0''\text{N}$ - $22^{\circ}0'0''\text{E}$). Τοποθετούνται στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, στη ζώνη μετάβασης μεταξύ του ξηρού υποτροπικού και υγρού κλίματος και είναι μια περιοχή ευαίσθητη στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή (Maheras 1985). Όσον αφορά το ανάγλυφό τους αυτό χαρακτηρίζεται ως πλούσιο ορεινό. Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, το μεγαλύτερο τμήμα της βαλκανικής χερσονήσου καλύπτεται από οροσειρές με κατεύθυνση από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά (Εικόνα 3). Στα νότια ένα σημαντικό κομμάτι της βρέχεται από την ανατολική Μεσόγειο και έχει γενικά εύκρατο κλίμα, ενώ στα νοτιοανατολικά βρέχεται από τη θάλασσα του Μαρμαρά καθώς και τη Μαύρη θάλασσα. Η παρουσία της Μεσογείου η οποία θεωρείται ως κλειστή θάλασσα περιβαλλόμενη από ιδιαίτερα ορογραφικά χαρακτηριστικά ξηράς, διαμορφώνει σε σημαντικό βαθμό το κλίμα στα νότια παράλια των Βαλκανίων. Γενικά, η Μεσόγειος θάλασσα είναι μια περιοχή με αξιόλογο κλιματικό ενδιαφέρον και αυτό επειδή σε αυτήν επιδρούν οι κυρίαρχοι μηχανισμοί που διαμορφώνουν το παγκόσμιο κλίμα.

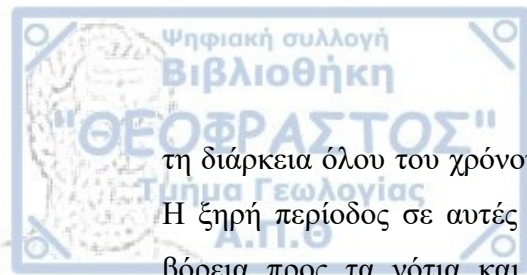


Εικόνα 3: Δορυφορική εικόνα στην οποία απεικονίζεται η γεωμορφολογία των Βαλκανίων.

Πηγή: <https://www.google.com/maps>

Ημερομηνία επίσκεψης της ιστοσελίδας: 25/8/2020

περιοχές των υποτροπικών υψηλών και στις περιοχές των μέσων γεωγραφικών πλατών όπου επικρατούν δυτικοί άνεμοι (Michailidou et al. 2008, Michaelides et al. 2008). Γενικά, οι δυτικοί άνεμοι μεταφέρουν υγρό μεσογειακό αέρα προς τις βαλκανικές χώρες (Anagnostopoulou et al. 2017). Έτσι λοιπόν το κλίμα στις ακτές των Βαλκανίων που βρέχονται από τη Μεσόγειο θάλασσα χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, δηλαδή με ήπιους χειμώνες, θερμά και ξηρά καλοκαίρια και με μεγάλη ηλιοφάνεια σχεδόν κατά



τη διάρκεια όλου του χρόνου (Lionello et al. 2006, Vukovic and Vujadinovic 2018) . Η ξηρή περίοδος σε αυτές τις περιοχές έχει μεγαλύτερη διάρκεια με φορά από τα βόρεια προς τα νότια και από τα δυτικά προς τα ανατολικά (Maheras 1985). Προχωρώντας προς την ενδοχώρα και προς τις βόρειες περιοχές των Βαλκανίων εκεί επικρατεί μια ποικιλία ηπειρωτικού και ορεινού κλίματος. Οι χειμώνες στα βόρεια είναι πολύ ψυχροί συγκριτικά με τις νότιες περιοχές και με συχνές χιονοπτώσεις, ενώ το καλοκαίρι είναι ξηρό και θερμό. Ενδεικτικά, η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις βόρειες περιοχές μπορεί φτάσει και τους -30°C ενώ στις νότιες περιοχές τους -1°C . Όσον αφορά τα καλοκαίρια που όπως αναφέρθηκε είναι αρκετά ζεστά σε όλη τη βαλκανική χερσόνησο, η θερμοκρασία φτάνει συχνά έως $+40^{\circ}\text{C}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Μετεωρολογικοί Σταθμοί

Η νοτιοανατολική Ευρώπη και συγκεκριμένα η βαλκανική χερσόνησος αποτελεί την περιοχή ενδιαφέροντος της συγκεκριμένης εργασίας. Για τη διεξαγωγή της μελέτης επιλέχθηκαν 25 αντιπροσωπευτικοί σταθμοί (Πίνακας 1, Σχήμα 1) σε διαφορετικές γεωγραφικές θέσεις της περιοχής των Βαλκανίων, με σκοπό την αρτιότερη κάλυψη της υπό μελέτης περιοχής. Η συλλογή αυτή βασίστηκε στη διαθεσιμότητα των μετεωρολογικών δεδομένων και στο τελικό στάδιο επιλέχθηκαν: ένας (1) σταθμός από την Βοσνία Ερζεγοβίνη, ένας σταθμός (1) από την Ελλάδα, οχτώ (8) σταθμοί από την Κροατία, έντεκα (11) σταθμοί από την Ρουμανία, τρεις (3) σταθμοί από την Σερβία και ένας (1) σταθμός από την Σλοβενία.

Πίνακας 1: Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη σταθμών.

	Σταθμός	Χώρα	Μήκος(°)	Πλάτος(°)	Ύψος(m)
1	Bacau	Ρουμανία	22.92	46.53	184
2	Belgrade	Σερβία	20.47	44.8	132
3	Botosani	Ρουμανία	22.67	47.68	161
4	Bucuresti	Ρουμανία	26.08	44.52	90
5	Buzau	Ρουμανία	26.85	45.13	97
6	Cluj Napoca	Ρουμανία	23.57	46.78	18
7	Craiova	Ρουμανία	19.87	44.21	192
8	Deva	Ρουμανία	18.90	45.87	230
9	Drobeta	Ρουμανία	22.63	44.63	410
10	Galati	Ρουμανία	28.02	45.50	71
11	Gospic	Κροατία	15.37	44.55	564
12	Ljubljana	Σλοβενία	14.52	46.07	299
13	Miercurea	Ρουμανία	21.73	46.37	661
14	Nis	Σερβία	21.9	43.33	201
15	Novi Sad	Σερβία	19.85	43.33	84
16	Ogulin	Κροατία	15.27	45.2	326
17	Rijeka	Κροατία	14.45	45.33	120
18	Rosiori de Vede	Ρουμανία	20.98	46.13	102
19	Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	18.42	43.87	630
20	Split	Κροατία	16.43	43.52	122
21	Thessaloniki	Ελλάδα	22.95	40.62	2
22	Varazdin	Κροατία	14.98	44.82	167
23	Zadar	Κροατία	15.21	44.13	5
24	Zagreb	Κροατία	15.98	45.82	156
25	Zavizan	Κροατία	14.98	44.82	1594



Σχήμα 1: Οι γεωγραφικές θέσεις των υπό μελέτη σταθμών

3.2 Δεδομένα

3.2.1 Περίοδος Μελέτης

Η τριακονταετία έχει οριστεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας ως την ελάχιστη χρονική κλίμακα μελέτης για τον καθορισμό του κλίματος κάθε περιοχής. Ως περίοδος μελέτης της παρούσας εργασίας επελέγη η περίοδος 59 χρόνων από το 1961 έως το 2019 (από εδώ και πέρα 'υπό μελέτη περίοδος'), λόγω της μέγιστης δυνατής διαθεσιμότητας δεδομένων για τους 25 προαναφερθέντες σταθμούς. Σε αυτή τη μακροχρόνια υπό μελέτη περίοδο πραγματοποιήθηκε η κλιματολογική ανάλυση της εργασίας.

3.2.2 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Η μέθοδος συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων για την ανάλυση των κλιματικών συνθηκών, υλοποιήθηκε από τη βάση δεδομένων του European Climate Assessment and Database (ECAD, <https://www.ecad.eu/>) καθώς και από το

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν ήταν η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία ($T_{\max}$), η ημερήσια ελάχιστη ($T_{\min}$) καθώς και η ημερήσια μέση (T_{mean}) θερμοκρασία. Αν και έγινε προσπάθεια να επιλεγούν σταθμοί με καθημερινές χρονοσειρές θερμοκρασίας, σε ορισμένους από αυτούς παρουσιάστηκαν ορισμένες ελλείψεις. Για παράδειγμα όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, σε ημέρες στις οποίες παρατηρήθηκε έλλειψη της τιμής της θερμοκρασίας, αυτή προσδιορίστηκε από το μέσο όρο της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας, ενώ στην περίπτωση μεγαλύτερης ακολουθίας ελλείψεων, προσδιορίστηκε από το μέσο όρο όλων των χρόνων για εκείνες τις ημέρες. Όλη η επεξεργασία των δεδομένων της θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε σε υπολογιστικό φύλλο Excel, ώστε να προκύψουν οι απαραίτητες στατιστικές παράμετροι.

Πίνακας 2: Παράδειγμα πρωτογενών δεδομένων ημερήσιας θερμοκρασίας

STAIID	SOUID	DATE	TX	TN	TG	
219	687	1/1/1961	53	19	36	
219	687	2/1/1961	999	999	999	Μέσος όρος προηγούμενης και επόμενης ημέρας
219	687	3/1/1961	53	5	26	
219	687	4/1/1961	27	-11	7	
219	687	5/1/1961	999	999	999	
219	687	6/1/1961	999	999	999	Μέσος όρος των 59 χρόνων για τις συγκεκριμένες ημέρες
219	687	7/1/1961	999	999	999	
219	687	8/1/1961	72	4	39	
219	687	9/1/1961	63	43	48	
219	687	10/1/1961	58	41	49	

3.3 Μεθοδολογία

Μετά τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων της θερμοκρασίας, τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του μέσου κλίματος που επικρατεί σε κάθε έναν από τους 25 σταθμούς για την υπό μελέτη περίοδο (1961-2019). Αρχικά, δημιουργήθηκαν διαγράμματα (Κεφάλαιο 4) που απεικονίζουν τη μέση μηνιαία πορεία των μεγίστων ($\text{Mean}T_{\max}$) και των ελαχίστων θερμοκρασιών ($\text{Mean}T_{\min}$). Αυτό πραγματοποιήθηκε με απώτερο σκοπό να σχηματιστεί μια πλήρη εικόνα των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στους υπό μελέτη σταθμούς, ώστε στη συνέχεια να είναι δυνατή η σύγκριση του μέσου κλίματος με τις ακραίες ελάχιστες τιμές. Οι μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες υπολογίστηκαν από το μέσο όρο των τιμών των μεταβλητών ($\text{Mean}T_{\max}$ και $\text{Mean}T_{\min}$) για κάθε μήνα των 59 χρόνων. Ακολούθησε

εντοπισμός των ακραίων ελαχίστων τιμών της θερμοκρασίας (Ελ. $T_{\max}$, Ελ. $T_{\min}$, Ελ. T_{mean}) για την εποχή του χειμώνα, για το σύνολο της υπό μελέτης περιόδου, αλλά και για κάθε ένα έτος ξεχωριστά. Ο χειμώνας θεωρήθηκε η πεντάμηνη περίοδος Νοέμβριος – Μάρτιος (ΝΔΙΦΜ), οπότε για παράδειγμα η ψυχρή περίοδος του έτους αναγράφεται ως 1961 – 1962 και αποτελείται από τους μήνες ΝΔΙΦΜ. Το σημείο αυτό αποτέλεσε βασικό κομμάτι της έρευνας, αφού εδώ μελετήθηκε η μεταβλητότητα των ακραίων τιμών με το πέρασ του χρόνου. Ακολούθησε εντοπισμός των ημερών με μερικό και ολικό παγετό. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ως ημέρες μερικού παγετού ορίζονται οι ημέρες όπου $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$, ενώ αντίστοιχα οι ημέρες ολικού παγετού οι ημέρες με $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$. Για την καλύτερη αναπαράσταση των αποτελεσμάτων, ορισμένα από αυτά απεικονίζονται σε χάρτες της υπό μελέτης περιοχής. Οι χάρτες που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκαν σε δυναμικό περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΓΣΠ (Geographical Information Systems, GIS) τα οποία αποτελούν ένα συνολικό πληροφοριακό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή, ανάκτηση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση γεωγραφικών στοιχείων καθώς επίσης και στο λογισμικό χαρτογράφησης του Surfer. Στις επόμενες ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την μελέτη των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών, καθώς και των τύπων της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας.

3.3.1 Ψυχρές ακολουθίες

Ο όρος ψυχρή ακολουθία αποτελεί έναν συχνά χρησιμοποιούμενο όρο στη Μετεωρολογία, χωρίς όμως να υπάρχει ένας συγκεκριμένος ορισμός για όλες τις περιοχές του πλανήτη. Υπάρχουν αρκετοί ορισμοί γύρω από αυτόν τον όρο κ' αυτό επειδή εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περιοχής, όπως για παράδειγμα την ορογραφία, το ανάγλυφό της, την παρουσία θάλασσας κ.α. (WMO). Όπως θα διαπιστωθεί και παρακάτω ο ορισμός της ψυχρής ακολουθίας και τα χαρακτηριστικά της ορίζονται διαφορετικά στη βιβλιογραφία ανάλογα με την περιοχή στην οποία αναφέρεται ο ερευνητής. Γενικά, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας (WMO) αναφέρει πως μια ψυχρή ακολουθία είναι μια χρονική περίοδος κατά την οποία η θερμοκρασία πέφτει σημαντικά κάτω από τις κανονικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, οι Hylke de Vries et al. (2012) κάνουν λόγο για μια μη διακεκομμένη (συνεχόμενη) ακολουθία ψυχρών ημερών κατά την οποία όμως η μέση θερμοκρασία πέφτει κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Αντίστοιχα, σε άλλες μελέτες η ψυχρή ακολουθία

ορίζεται ως η ακολουθία ημερών κατά την οποία οι ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες, είναι χαμηλότερες από τη μέση εποχιακή θερμοκρασία και πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις (Karapiperis 1953, Flocas and Angouridakis 1979, Zambakas 1981). Οι προϋποθέσεις αυτές όπως προαναφέρθηκε εξαρτώνται από τις ιδιαιτερότητες της υπό μελέτης περιοχής. Οι ακραίες τιμές που ορίζουν την κάθε ψυχρή ακολουθία καθορίζονται συνήθως με βάση τις ουρές των κατανομών (π.χ. το άνω ή το κάτω 10^ο εκατοστημόριο, Beniston 2009) ή με μέτρα διακύμανσης (π.χ. Jones et al. 1999, Katz 2010).

Η επιλογή της διάρκειας που καθορίζει την εκάστοτε ψυχρή ακολουθία είναι υποκειμενική και εξαρτάται άμεσα από την γεωγραφική περιοχή και τις ιδιαιτερότητές της. Έχει προταθεί στο παρελθόν η περίοδος τουλάχιστον έξι διαδοχικών ημερών με τη μέση ημερήσια θερμοκρασία να πέφτει κάτω από το εκατοστημόριο της εμπειρικής κατανομής είτε κάτω από ένα καθορισμένο κατώφλι θερμοκρασίας (π.χ. Klein Tank et al. 2009, Plavcova and Kysely 2019). Αντίστοιχα, άλλοι ορισμοί για διάφορες περιοχές του πλανήτη, χρησιμοποιούν ως μέση διάρκεια των ψυχρών ακολουθιών την περίοδο τουλάχιστον 3 διαδοχικών ημερών (Kysely 2008, Plavcova and Kysely 2019), άλλοι την ακολουθία 5 ημερών (Hylke de Vries et al. 2012), ενώ άλλοι την ακολουθία 11 ημερών (π.χ. Satyamurty et al. 2007).

Εστιάζοντας στην υπό μελέτη περιοχή των Βαλκανίων και στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Ευρώπης έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω ενδεικτικοί ορισμοί. Για παράδειγμα, ένας πρώτος ορισμός αναφέρει ότι ως ψυχρή ακολουθία ορίζεται η διαδοχή τουλάχιστον τριών ημερών, όπου η μέση θερμοκρασία κάθε μίας ημέρας είναι χαμηλότερη από τη μέση θερμοκρασία 40 χρόνων της αντίστοιχης περιόδου (Karapiperis 1953). Αργότερα οι Balafoutis and Arseni – Papadimitriou, (2002) ορίζουν ως ψυχρή ακολουθία στην περιοχή της νότιας βαλκανικής χερσονήσου, την περίοδο τουλάχιστον τριών ημερών όπου η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία υπολείπεται κατά 4°C από την αντίστοιχη μέση τιμή μιας μεγάλης χρονικής περιόδου, ενώ οι Pappas et al. (2004) όρισαν την κατάσταση στην οποία η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία πέφτει κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι, για μία ημέρα τουλάχιστον.

Με βάση όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι είναι δύσκολο να οριστεί με πλήρη ακρίβεια η ψυχρή ακολουθία για τον κάθε τόπο, μιας και εξαρτάται άμεσα από τα γεωμορφολογικά του χαρακτηριστικά καθώς και τον σκοπό της εκάστοτε μελέτης.

3.3.1α Τα χαρακτηριστικά της ψυχρής ακολουθίας

Βάση της βιβλιογραφίας διάφορα στατιστικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα χαρακτηριστικά των ψυχρών ακολουθιών. Ορισμένα από αυτά είναι:

- 1) Η διάρκεια: ο αριθμός των ημερών μεταξύ της έναρξης και της λήξης της ψυχρής ακολουθίας.
- 2) Η ένταση: ο μέσος όρος ανωμαλίας της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ψυχρής ακολουθίας.
- 3) Η συχνότητα: το ποσοστό εμφάνισης των ψυχρών ακολουθιών κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης περιόδου.
- 4) Η σοβαρότητα: είναι ένα μέτρο που ενσωματώνει την ένταση και την εμμονή (διάρκεια) του συμβάντος καθώς επίσης και τις επιπτώσεις αυτών τόσο στην ανθρώπινη κοινωνία (δημόσια υγεία, κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις) όσο και στο φυσικό περιβάλλον.

3.3.1β Ορισμός της ψυχρής χειμερινής ακολουθίας

Στην παρούσα μελέτη οι ορισμοί βασίστηκαν στα εκατοστημόρια των εμπειρικών κατανομών της θερμοκρασίας για τη ψυχρή περίοδο του έτους, δηλαδή τον χειμώνα. Πιο συγκεκριμένα, οι κρύες ημέρες ορίστηκαν ως ημέρες με $T_{\min}$ κάτω από το 5% ($T_{\min 5th}$) των εμπειρικών κατανομών του χειμώνα. Οι ψυχρές χειμερινές ακολουθίες ορίζονται ως περίοδοι τουλάχιστον τριών διαδοχικών ψυχρών ημερών κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επιλέγεται η ψυχρή περίοδος του έτους για τη μελέτη των ψυχρών ακολουθιών, λόγω των εποχιακών διαφορετικών συνδέσεων με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Κάνοντας χρήση τον ορισμό που χρησιμοποίησαν οι Plavcová and Kyselý (2019) θεωρήθηκε ότι ενώ οι πρώτες δύο ημέρες μιας ψυχρής ακολουθίας πρέπει να είναι ψυχρές (δηλαδή, δύο διαδοχικές ψυχρές ημέρες), όλες οι επόμενες ψυχρές ημέρες αποτελούν μια ψυχρή ακολουθία εφόσον δεν υπάρχει κενό περισσότερο από 1 ημέρα με το $T_{\min}$ να είναι κάτω από το κατώφλι. Σύμφωνα με τους Plavcová και Kyselý (2019) ο συγκεκριμένος ορισμός επιτρέπει την καλύτερη διάκριση μεταξύ των ημερών πριν από μια ψυχρή ακολουθία και των πρώτων ημερών αυτής της ψυχρής ακολουθίας. Αυτό συμβαίνει γιατί σε αυτές τις περιπτώσεις δύο ψυχρές ημέρες ακολουθούμενες από μία μέρα με $T_{\min}$ κάτω από το κατώφλι θεωρούνται τώρα ως μια ψυχρή ακολουθία και όχι ως ημέρες πριν από την έναρξη της. Επίσης λήφθηκε υπόψη

ότι μεταξύ του τέλους μιας ψυχρής ακολουθίας και της έναρξης της επόμενης πρέπει να υπάρχει κενό τουλάχιστον δύο ημερών.

3.3.2 Αυτόματη κατάταξη τύπων κυκλοφορίας

Στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση τύπων κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι τύποι κυκλοφορίας αναφέρονται στις συνοπτικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν πάνω από μια περιοχή (π.χ. Ευρώπη) και διαχωρίζονται σε αντικυκλωνικούς και κυκλωνικούς (Baur et al. 1944). Οι κυριότερες κατατάξεις τύπων κυκλοφορίας είναι συνοπτικές και βασίζονται κυρίως στην ερμηνεία συνοπτικών χαρτών καθώς και στις συνθήκες κίνησης (Maheras et al. 2000a).

3.3.2α Τύποι κυκλοφορίας κατά Mahera

Στο παρελθόν έχουν γίνει πολλές προσπάθειες κατάταξης τύπων κυκλοφορίας. Οι κατηγορίες αυτών είναι δύο, οι εμπειρικές κατατάξεις και οι αντικειμενικές κατατάξεις (Hess and Brezowsky 1969, Lamb 1972, Maheras 1988, 1989, 2000, Kassomenos et al. 1998 and Anagnostopoulou et al. 2009). Η μεν κατηγορία κάνοντας χρήση διαφόρων μαθηματικών μεθόδων αναπαράγει ήδη προ υπάρχουσες κατατάξεις τύπων κυκλοφορίας ή τύπων καιρού, ενώ από την άλλη η δεν κατηγορία κάνει χρήση διαφόρων στατιστικών μεθόδων (Maheras et al. 2000a).

Στην παρούσα εργασία προκειμένου να ανιχνευθούν οι επικρατέστεροι τύποι κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών στη βαλκανική χερσόνησο, χρησιμοποιείται ένα ημερολόγιο αυτόματης κατάταξης (Anagnostopoulou et al. 2009), το οποίο είναι κατάλληλο για χρήση σε όλη την περιοχή της Ευρώπης. Γενικά, μια αυτόματη κατάταξη υπερτερεί στο γεγονός της διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων και παραμέτρων, βελτίωση των χρησιμοποιημένων μεθόδων, ανάπτυξη νέων μεθόδων κατάταξης και επίσης σχετικά εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Maheras et al. 2000a). Σχετικά με την αυτόματη κατάταξη που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη μελέτη, αυτή αποτελεί την εξελιγμένη μορφή της αυτόματης κατάταξης των Maheras et al. 2000 καθώς και των Maheras and Anagnostopoulou (2003).

Πιο αναλυτικά, η αυτόματη κατάταξη κατά Mahera et al. 2000, αποτελεί την πρώτη απόπειρα δημιουργίας αυτοματοποιημένης ταξινόμησης για την περιοχή της Ελλάδας. Στην πρώτη αυτή αυτόματη κατάταξη, ταξινομήθηκαν 19 τύποι κυκλοφορίας με βάση την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας. Από αυτούς τους 19 τύπους κυκλοφορίας,

οι 6 ήταν αντικυκλωνικοί (Anw, Ane, A, Ae, Ase και Asw), οι 8 κυκλωνικοί (C, Cs, Csw, Cw, Cn, Cnw, Cne και Cse) και οι υπόλοιποι 5 μεικτοί τύποι κυκλοφορίας. Το 2003 οι Maheras and Anagnostopoulou δημιούργησαν ένα παρόμοιο σύστημα ταξινόμησης στο γεωδυναμικό ύψος των 500hPa και εξέτασαν τη σχέση μεταξύ των 14 τύπων κυκλοφορίας (αντικυκλωνικοί και κυκλωνικοί) και της βροχόπτωσης στην Ελλάδα. Μετά από διάφορες μελέτες που ακολούθησαν (Anagnostopoulou et al. 2004, Maheras et al. 2004, Maheras et al. 2006), η πιο πρόσφατη και εξελιγμένη μορφή αυτής της κατάταξης προέκυψε από τους Anagnostopoulou et al. (2009) περιέχοντας μικρές τροποποιήσεις στην αρχική κατάταξη. Οι τροποποιήσεις αυτές έχουν να κάνουν με δύο περιοχές της Μεσογείου, αυτή της Ιταλίας και αυτή της Κύπρου. Πλέον η νέα κατάταξη αποτελείται από 12 τύπους κυκλοφορίας, 5 αντικυκλωνικούς (Anw, Ane, A, Asw and Ase) και 7 κυκλωνικούς (C, Cnpw, Cwnw, Csw, Csw, Cse, Cne) (Σχήμα 2, Πίνακας 3). Η κατάταξη αυτή θεωρείται ως μια ευέλικτη αυτοματοποιημένη ταξινόμηση της κυκλοφορίας για κάθε περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου, έχοντας τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά κλίματα, δηλαδή σε κλίματα σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (Ελλάδα, Κύπρος, Ιταλία κ.λπ.) και σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων (Anagnostopoulou et al. 2003).

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των συνοπτικών χαρακτηριστικών των τύπων κυκλοφορίας στην ισοβαρική στάθμη των 500hPa, πάνω από την ελληνική περιοχή.

Πίνακας 3: Περιγραφή των τύπων κυκλοφορίας (Anagnostopoulou et al. 2009).

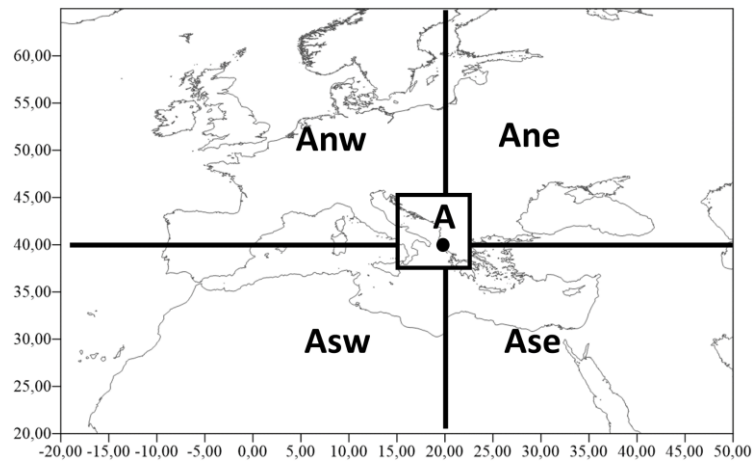
CTs	Περιγραφή
Anw	Το αντικυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται βορειοδυτικά της Ελλάδας πάνω από την κεντρική, τη δυτική ή τη βόρεια Ευρώπη. Ο άνεμος πάνω από την ελληνική περιοχή, στην επιφάνεια των 500hPa είναι βόρειας συνιστώσας με μεγαλύτερη ένταση κατά τη διάρκεια του χειμώνα.
Ane	Το αντικυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται στα βορειοανατολικά της Ελλάδας, πάνω από την ανατολική Ευρώπη. Η ροή του ανέμου είναι κυρίως βόρειας συνιστώσας, όπως και στον προηγούμενο τύπο Anw αλλά με χαμηλότερη ταχύτητα.
A	Το αντικυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται πάνω από την Ελλάδα παράγοντας χαμηλής έντασης ανέμους μεταβλητής διεύθυνσης κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και σχετικά ισχυρούς ανέμους κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους.
Asw	Το αντικυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται στα δυτικά ή νοτιοδυτικά της Ελλάδας, συνήθως πάνω από τη δυτική, την κεντρική ή τη νοτιοδυτική

	λεκάνη της Μεσογείου ή της Βόρειας Αφρικής. Στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa η ροή του ανέμου είναι κυρίως δυτικής ή βορειοδυτικής συνιστώσας.
Ase	Το αντικυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται νοτιοανατολικά της Ελλάδας με την επικρατούσα ροή του αέρα να είναι νότιου τομέα.
C	Το κυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται πάνω από την ελληνική περιοχή. Η ροή του ανέμου πάνω από την Ελλάδα είναι κυρίως από τον βόρειο τομέα. Κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου το σύστημα χαμηλής πίεσης σημειώνει χαμηλότερες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης απ' ότι το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.
Cnnw	Το κυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται βορειοδυτικά της Ελλάδας συνήθως πάνω από τη δυτική και κεντρική Ευρώπη. Ο άνεμος είναι κυρίως δυτικής – νοτιοδυτικής συνιστώσας.
Cwnw	Το κυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται στα δυτικά - βορειοδυτικά της Ελλάδας πάνω από την κεντρική Μεσόγειο ή τη βόρεια Αφρική, παράγοντας ισχυρό άνεμο δυτικής – νοτιοδυτικής συνιστώσας πάνω από την ελληνική περιοχή.
Cssw	Το κυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται στα νότια – νοτιοδυτικά της Ελλάδας πάνω από τον κόλπο της Σίντρας. Ο άνεμος πνέει από το νοτιοδυτικό τομέα.
Cse	Το κυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται νοτιοανατολικά της Ελλάδας και νότια της ανατολικής Μεσογείου. Ο άνεμος είναι έντονος βόρειας συνιστώσας.
Cne	Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα βορειοανατολικά της Ελλάδας ή καλύτερα πάνω από βόρειο τμήμα της Μαύρης Θάλασσας. Ο άνεμος πνέει κυρίως από το βόρειο ή βορειοδυτικό τομέα.

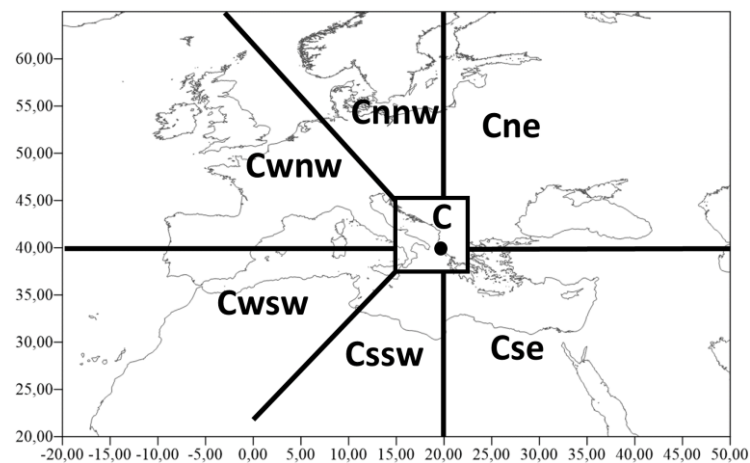
Στην παρούσα εργασία μετά τον εντοπισμό και τη μελέτη των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών, για να διερευνηθούν οι συνθήκες της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας που σχετίζονται με τις ψυχρές ακολουθίες, έγινε χρήση της προαναφερθείσας εξελιγμένης αυτοματοποιημένης κατάταξης των τύπων κυκλοφορίας κατά Mahera (Anagnostopoulou et al. 2009). Ουσιαστικά πρόκειται για δύο ημερολόγια ένα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης που βρίσκεται νοτιότερα, με κέντρο $25^{\circ} - 37.5^{\circ}$ και ένα για τους υπόλοιπους σταθμούς με κέντρο $22.5^{\circ} - 42.5^{\circ}$. Η κατάταξη αυτή χρησιμοποιεί χωρικές μεθόδους που βασίζονται στην τοπολογία και στη γεωμετρία και αναπτύχθηκε για τον ευρύτερο ελληνικό χώρο (Σχήμα 2). Οι τύποι που ευνοούν τις ψυχρές ακολουθίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα 1961-2019, υπολογίστηκαν με βάση το ποσοστό εμφάνισής τους κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών. Αντίστοιχα, με τον ίδιο τρόπο διερευνήθηκε αν η ατμόσφαιρα προετοιμάζει μέσω της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας την εμφάνιση μιας ψυχρής χειμερινής ακολουθίας. Δηλαδή, υπολογίστηκαν τα ποσοστά επικράτησης των τύπων

κυκλοφορίας μια και δύο ημέρες (day-1, day-2) πριν την έναρξη κάθε ψυχρής ακολουθίας.

α)



β)



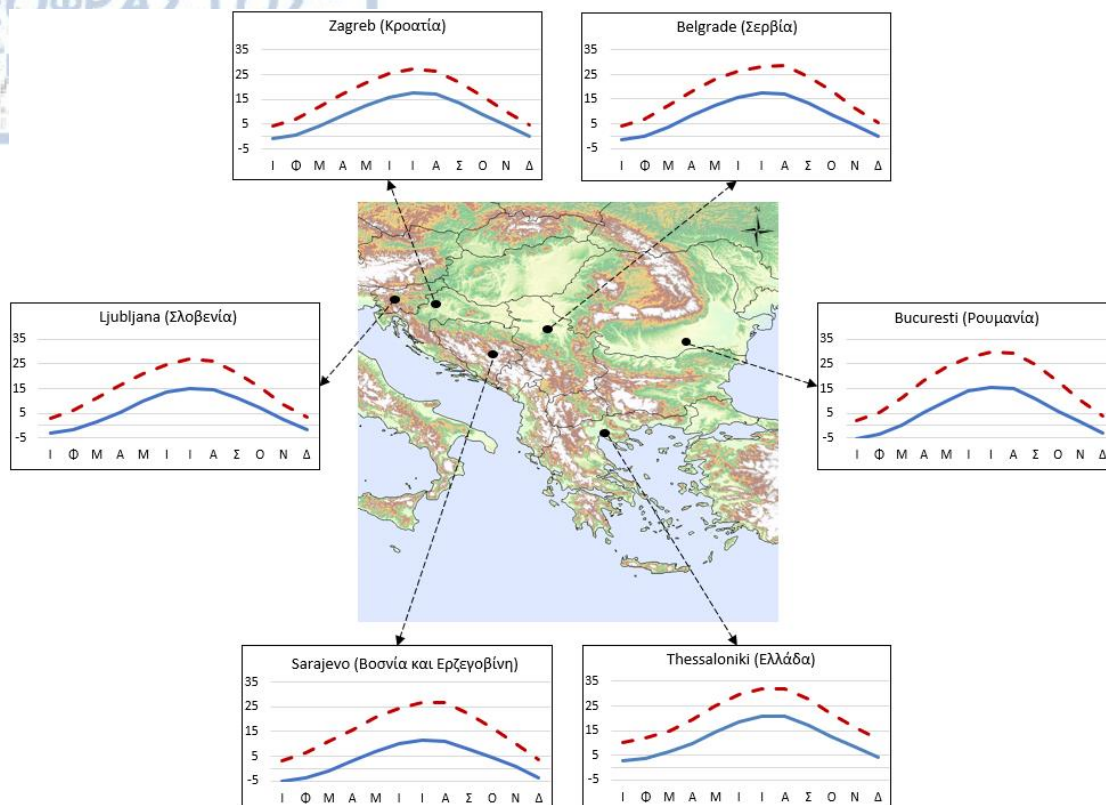
Σχήμα 2: Η θέση των κέντρων α) των αντικυκλωνικών και β) των κυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας για την ελληνική περιοχή, (σύμφωνα Anagnostopoulou et al. 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Ενδοετήσια πορεία της μέσης μέγιστης και μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας

Στην παρούσα ενότητα έγινε χρήση των αρχικών δεδομένων της θερμοκρασίας για την υπό μελέτη περίοδο 1961-2019 (59 έτη), τα οποία συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων του European Climate Assessment and Database (ECAD), καθώς και από το μετεωρολογικό σταθμό του ΑΠΘ (Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας ΑΠΘ). Μετά από κατάλληλη επεξεργασία τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την κλιματική ανάλυση του μέσου κλίματος των 25 υπό μελέτη σταθμών των Βαλκανίων, καθώς και για τη μελέτη των απολύτων ελαχίστων τιμών θερμοκρασίας για την χειμερινή περίοδο.

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται η ενδοετήσια πορεία της $MeanT_{max}$ και της $MeanT_{min}$ για έξι αντιπροσωπευτικούς σταθμούς. Αρχικά, παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές θερμοκρασίας σημειώνονται στη μέση της θερινής περιόδου (Ιούλιος) και οι ελάχιστες στη μέση της χειμερινής (Ιανουάριος). Προηγουμένως στο Κεφάλαιο 2 αναφέρθηκε ότι ο χειμώνας στην περιοχή των Βαλκανίων μπορεί να είναι πολύ ψυχρός. Το γεγονός αυτό συμβαίνει κυρίως στις μεταβατικά κλιματικές περιοχές που βρίσκονται στα βορειότερα σημεία της Βαλκανικής χερσονήσου και συχνά δέχονται ψυχρές εισβολές αερίων μαζών (Lionello et al. 2006). Από την άλλη η ύπαρξη της θάλασσας της Μεσογείου ενεργεί ευεργετικά στο κλίμα και οι χώρες που βρίσκονται γύρω από αυτή έχουν πιο ήπιους χειμώνες. Έτσι, η διακύμανση της θερμοκρασίας παρουσιάζει μια μικρή αύξηση από τα βόρεια προς τα νότια και από το κέντρο της χερσονήσου προς τα παράλια αυτής. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 3, στο οποίο φαίνεται πως ο σταθμός της Θεσσαλονίκης καταγράφει υψηλότερες μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες απ' ό,τι οι υπόλοιποι πέντε σταθμοί. Για παράδειγμα, ενώ οι άλλοι πέντε σταθμοί τον μήνα Ιανουάριο σημειώνουν $MeanT_{min}$ περίπου $-5^{\circ}C$ έως $0^{\circ}C$, ο σταθμός της Θεσσαλονίκης σημειώνει $MeanT_{min}$ περίπου $2.5^{\circ}C$. Αντίστοιχα για τη $MeanT_{max}$ τον μήνα Ιανουάριο ο σταθμός της Θεσσαλονίκης συγκριτικά με τους υπόλοιπους πέντε σταθμούς είναι ο μοναδικός που καταγράφει $MeanT_{max} > 5^{\circ}C$, (περίπου $\sim 7.5^{\circ}C$) ενώ στους υπόλοιπους πέντε η $MeanT_{max}$ δεν ξεπερνάει τους $5^{\circ}C$ ($MeanT_{max} \leq 5^{\circ}C$).

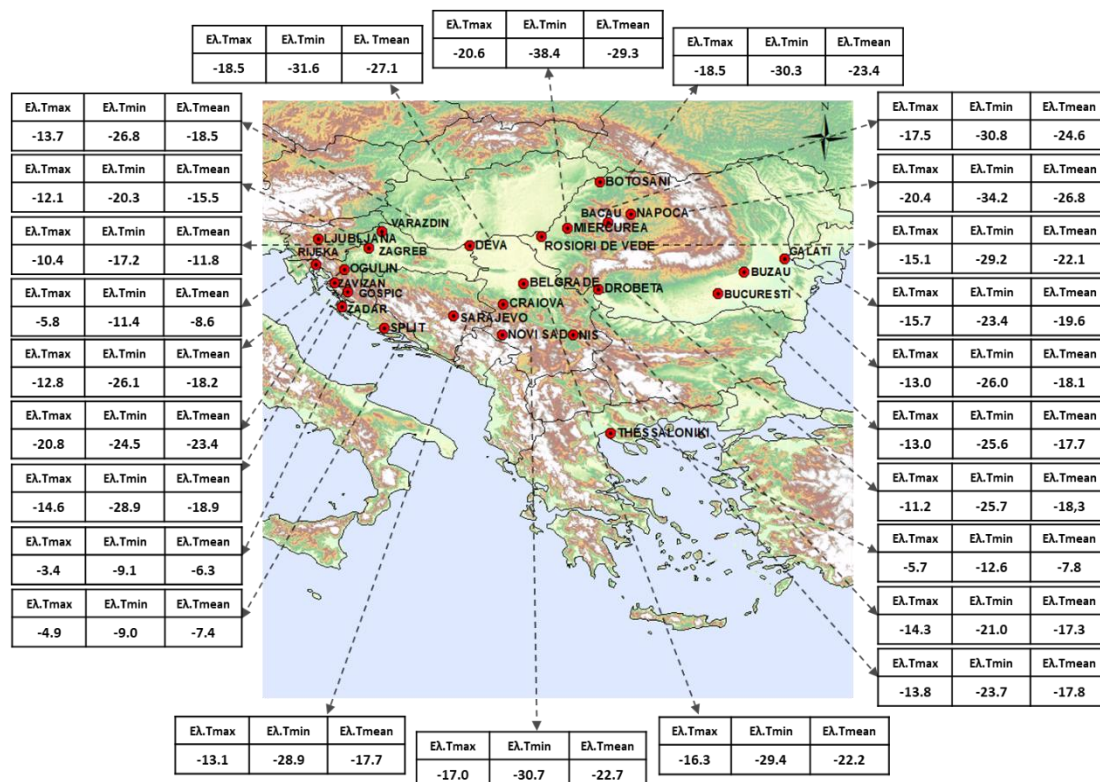


Σχήμα 3: Ενδοετήσια πορεία της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας ($MeanT_{max}$, διακεκομμένη γραμμή) και της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας ($MeanT_{min}$, συνεχής γραμμή) για 6 αντιπροσωπευτικούς σταθμούς (Belgrade, Bucuresti, Ljubljana, Sarajevo, Thessaloniki, Zagreb), έναν για κάθε χώρα. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η θερμοκρασία σε $^{\circ}C$ και στον οριζόντιο άξονα οι 12 μήνες.

4.2 Ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες για την συνολική περίοδο 1961 - 2019

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται οι πιο ακραίες ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας που κατέγραψαν οι υπό μελέτη σταθμοί καθ' όλη τη ψυχρή περίοδο (ΝΔΙΦΜ) για το διάστημα 1961 - 2019. Πράγματι, και εδώ διακρίνεται ότι οι πιο βόρειοι σταθμοί έχουν υποστεί τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς είναι ο σταθμός Botosani (Ρουμανία, 161m), ο οποίος γεωγραφικά τοποθετείται στο βορειότερο σημείο. Ενώ ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται σ' ένα μέσο υψόμετρο, έχει υποστεί ιδιαίτερα ακραίες ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας, συγκεκριμένα: Ελ. T_{max} $-18.5^{\circ}C$, Ελ. T_{min} $-30.3^{\circ}C$, Ελ. T_{mean} $-23.4^{\circ}C$. Για να είναι εφικτή η σύγκριση με το ρεκόρ των χαμηλότερων θερμοκρασιών, να αναφερθεί ότι η πιο ακραία Ελ. T_{max} σημειώθηκε στον σταθμό Zavizan (Κροατία, 1594m) με τιμή $-20.8^{\circ}C$, ενώ οι πιο ακραίες Ελ. T_{min} και Ελ. T_{mean} σημειώθηκαν στο σταθμό Miercurea (Ρουμανία, 661m),

με τιμές -38.4°C και -29.3°C αντίστοιχα. Φαίνεται δηλαδή, ότι αν και πρόκειται για έναν σταθμό με πολύ μικρότερο υψόμετρο από τους δύο προαναφερθέντες σταθμούς, έχει δεχτεί σημαντικά ακραίες χαμηλές τιμές θερμοκρασίας.



Σχήμα 4: Ακρότατες ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες ($El.T_{max}$, $El.T_{min}$, $El.T_{mean}$) για την χειμερινή περίοδο 1961-2019, για τους 25 υπό μελέτη σταθμούς.

Προχωρώντας προς την ενδοχώρα της Βαλκανικής χερσονήσου παρατηρούνται μικρότερες τιμές ελαχίστων (απόλυτες τιμές), όπως για παράδειγμα στον σταθμό Nis (Σερβία) με υψόμετρο 201m (μεγαλύτερο από αυτό του Botosani). Η μικρότερη $El.T_{min}$ που κατέγραψε ο σταθμός Nis στα 59 χρόνια της υπό μελέτη περιόδου είναι -23.7°C , δηλαδή 14.7°C λιγότερο από τον βορειότερο σταθμό (Botosani). Οι ακραίες τιμές για την $El.T_{max}$ και την $El.T_{mean}$ είναι -13.8°C και -17.8°C αντίστοιχα. Σχετικά με τους παραθαλάσσιους σταθμούς είναι φανερό ότι οι τιμές των ακραίων ελαχίστων που έχουν καταγράψει είναι πολύ μικρότερες από των σταθμών στις βόρειες και στις κεντρικές περιοχές της χερσονήσου. Βλέποντας για παράδειγμα τον σταθμό της Rijeka (Κροατία, 120m) που βρίσκεται στα δυτικά παράλια της Βαλκανικής χερσονήσου αλλά και τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (Ελλάδα, 2m) στα νότιο ανατολικά παράλια, οι ακραίες ελάχιστες τιμές τους έχουν αισθητή διαφορά από τους προαναφερθέντες σταθμούς. Ο σταθμός της Rijeka έχει καταγράψει $El.T_{max} -5.8^{\circ}\text{C}$, $El.T_{min} -11.4^{\circ}\text{C}$ και

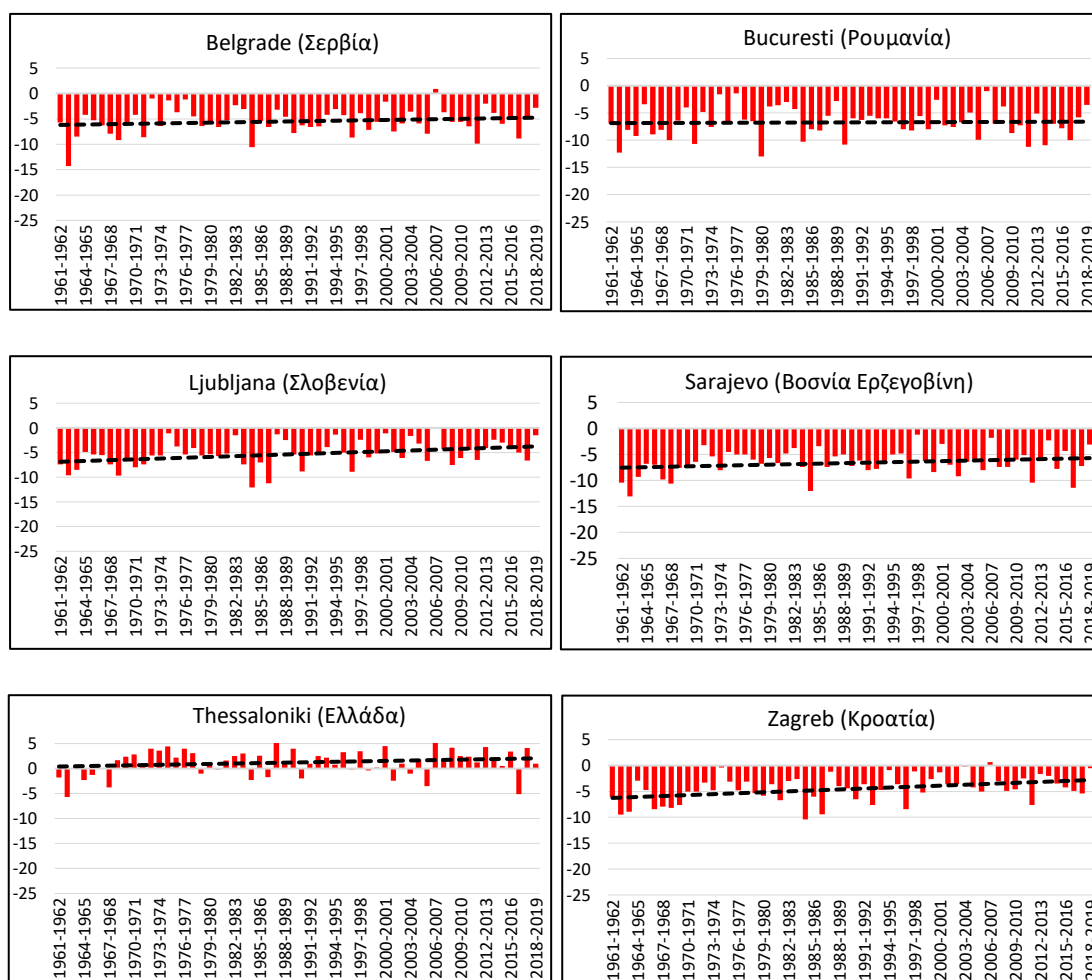
Ελ. T_{mean} $-8.6^{\circ}C$, ενώ αντίστοιχα ο σταθμός της Θεσσαλονίκης Ελ. T_{max} $-5.7^{\circ}C$, Ελ. T_{min} $-12.6^{\circ}C$ και Ελ. T_{mean} $-7.8^{\circ}C$ αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την παραπάνω θεωρία ότι οι βορειότερες Βαλκανικές χώρες επηρεάζονται εντονότερα από ψυχρές εισβολές αερίων μαζών. Σχετικά με τα ακραία ανά μήνα, οι πιο ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες (Ελ. T_{max} , Ελ. T_{min} , Ελ. T_{mean}) καταγράφηκαν τον μήνα Ιανουάριο (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2α,β,γ).

4.3 Ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες ανά έτος

Μια ακραία τιμή, μπορεί να δώσει μια ιδέα για το πόσο χαμηλά ή υψηλά αντίστοιχα μπορεί να φτάσει η θερμοκρασία στη συγκεκριμένη περιοχή, αλλά δεν μπορεί να δώσει πλήρη εικόνα των ακραίων συνθηκών που επικρατούν κάθε χρόνο σε αυτή. Το γεγονός αυτό προκύπτει από το ότι μια ακραία τιμή πιθανό να προήλθε από ένα τυχαίο μετεωρολογικό φαινόμενο και να μην αντιπροσωπεύει τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν κάθε χρόνο σε αυτή την περιοχή. Για τον λόγο αυτόν, στην ενότητα αυτή δημιουργήθηκαν 25 διαγράμματα (βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1α,β,γ) για κάθε μια μεταβλητή (Ελ. T_{max} , Ελ. T_{min} , Ελ. T_{mean}), τα οποία απεικονίζουν τις ελάχιστες θερμοκρασίες που κατέγραψε ο κάθε σταθμός ξεχωριστά ανά έτος, για την χειμερινή περίοδο 1961-2019. Από κάθε χώρα επιλέχτηκε και παρουσιάζεται ένας αντιπροσωπευτικός σταθμός, τα διαγράμματα των οποίων απεικονίζονται στα Σχήματα 5,6,7.

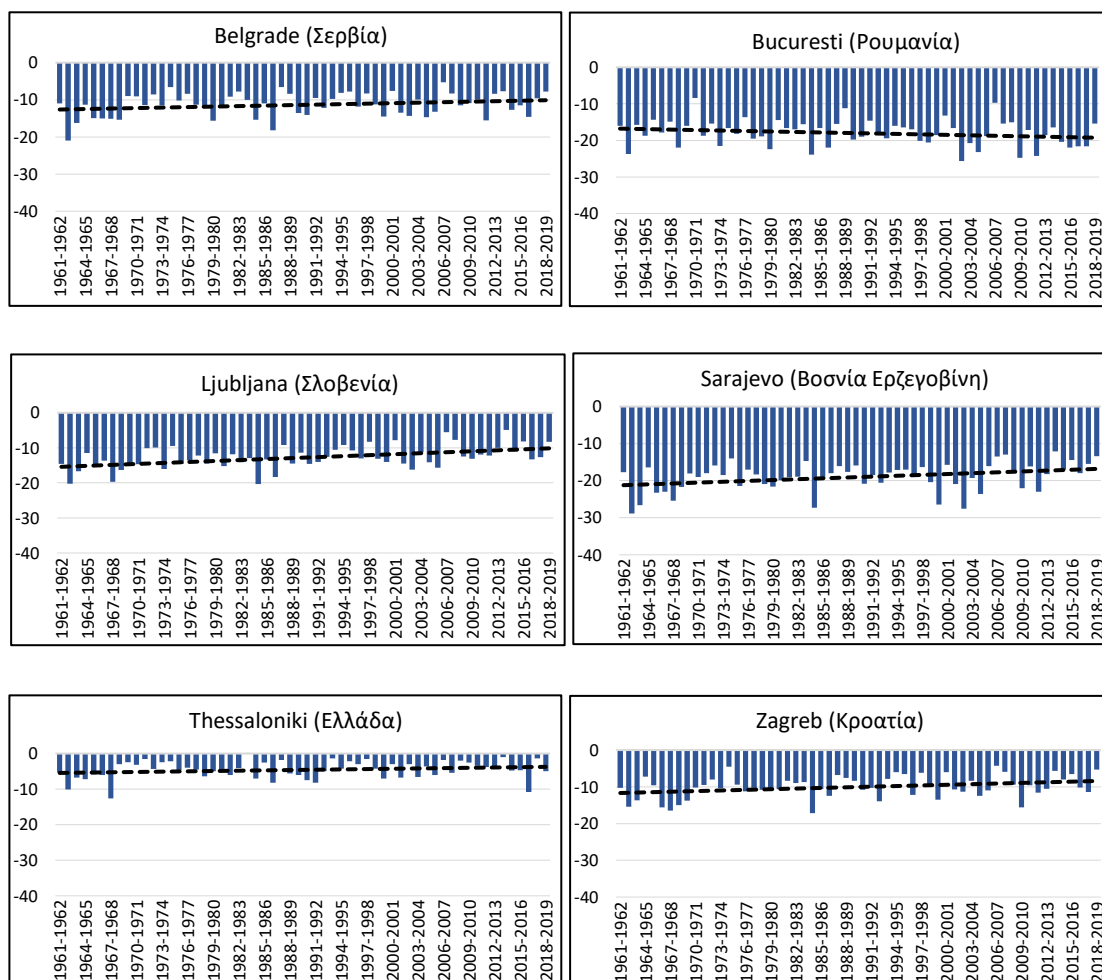
Αυτό που διακρίνεται με μια πρώτη ματιά στην πλειοψηφία των σταθμών, είναι η αυξητική τάση στις ελάχιστες τιμές και των τριών μεταβλητών (Ελ. T_{max} , Ελ. T_{min} , Ελ. T_{mean}). Παρατηρείται έτσι ότι προς το τέλος της υπό μελέτη περιόδου οι τιμές των ελαχίστων είναι μεγαλύτερες, δηλαδή τα μετεωρολογικά φαινόμενα δεν είναι τόσο ακραία. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται αφενός στην κλιματική αλλαγή, προκαλώντας λιγότερο σοβαρά και επίμονα ψυχρά γεγονότα ή ακόμη και στην αραίωση της συχνότητας εμφάνισής τους. Εξαίρεση αποτελούν ορισμένοι σταθμοί, για παράδειγμα αυτός του Bucuresti (Ρουμανία, 90m), στον οποίο η τάση της Ελ. T_{max} δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη μεταβολή, ενώ από την άλλη η τάση της Ελ. T_{min} και της Ελ. T_{mean} είναι πτωτική. Αναλυτικότερα, από τα διαγράμματα της Ελ. T_{max} (Σχήμα 5 και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1α) φαίνεται ότι την πιο ακραία θερμοκρασία την κατέγραψε ο σταθμός του Zavizan (Κροατία, 1594m), το έτος 2011-2012 (4/2/2012), με τιμή $-20.8^{\circ}C$. Ακολουθεί ο σταθμός Miercurea (Ρουμανία, 661m) με διαφορά μόλις $0.2^{\circ}C$. Ο

σταθμός Miercurea κατέγραψε την πιο ακραία Ελ.Τ_{max} με τιμή -20.6 °C δύο φορές κατά τη διάρκεια της υπό μελέτης περιόδου. Η πρώτη φορά συνέβη το έτος 1962–1963 (18/1/1963) και η δεύτερη φορά το έτος 1998-1999 (25/12/1998) (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1α). Από την άλλη ο σταθμός Split (Κροατία, 122m) το έτος 2006-2007 κατέγραψε την λιγότερο χαμηλή Ελ.Τ_{max} με τιμή 8.1°C. Στην πλειοψηφία των σταθμών η τάση της Ελ.Τ_{max} είναι αυξητική, ενώ σε κανέναν δεν παρατηρείται πτωτική τάση. Αυτό σημαίνει ότι με το πέρασμα του χρόνου καταγράφονται όλο και λιγότερο ακραίες Ελ.Τ_{max}.

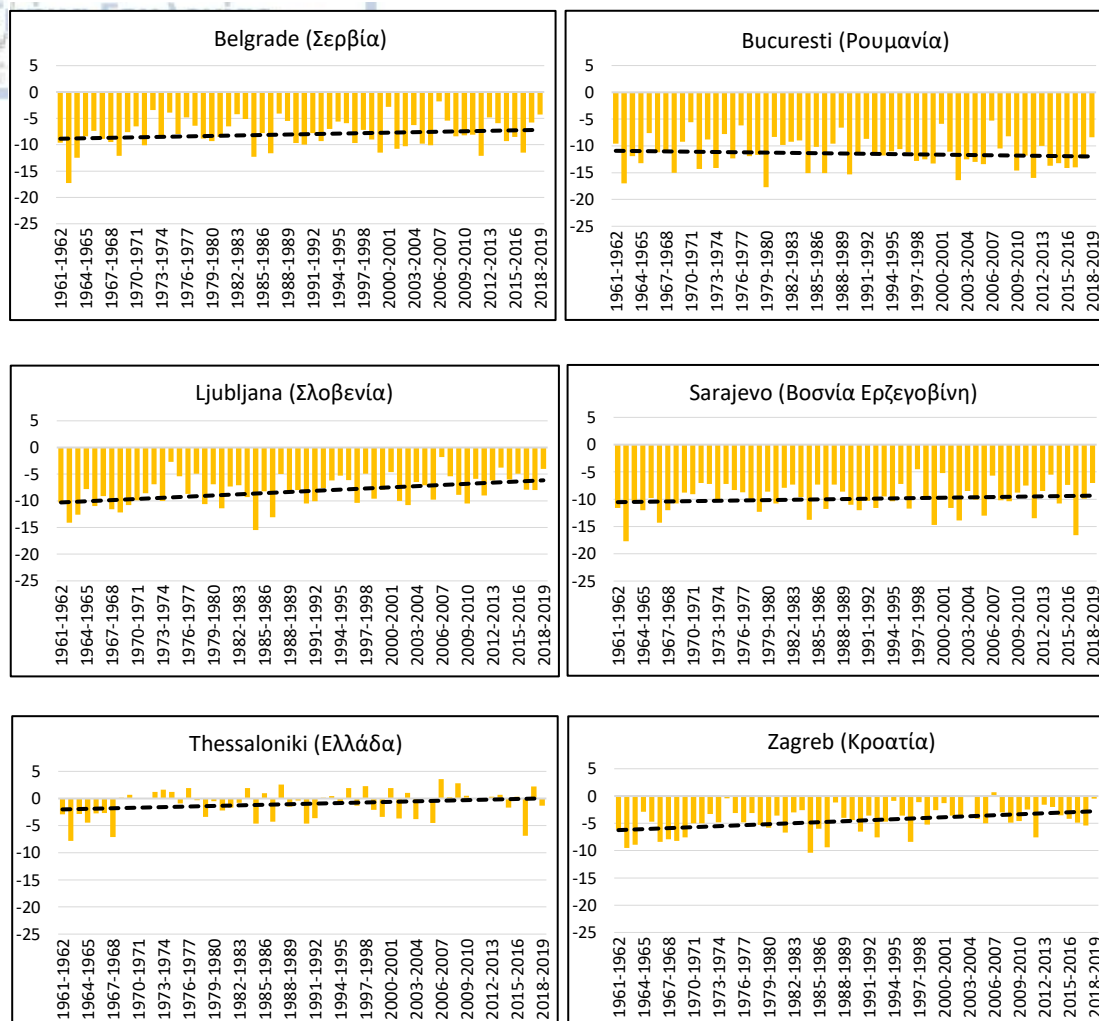


Σχήμα 5: Ακραίες ελάχιστες μέγιστες θερμοκρασίες (Ελ.Τ_{max}) ανά έτος, για την περίοδο 59 ετών, 1961-2019. Έξι (6) αντιπροσωπευτικοί σταθμοί, ένας κάθε μία χώρα: Βελιγράδι (Σερβία), Βουκουρέστι (Ρουμανία), Λιουμπλιάνα (Σλοβενία), Σεράγεβο (Βοσνία Ερζεγοβίνη), Θεσσαλονίκη (Ελλάδα) και Ζάγκρεμπ (Κροατία).

Όσον αφορά τις πιο ακραίες Ελ.Τ_{min} και Ελ.Τ_{mean}, αυτές καταγράφηκαν στον σταθμό Miercurea (Ρουμανία, 661m) το έτος 1984-1985 (14/1/1985), με θερμοκρασία που άγγιξε τους -38.4°C και -29.3°C αντίστοιχα. Η λιγότερο ακραία Ελ.Τ_{min} καταγράφηκε όπως και στην περίπτωση της Ελ.Τ_{max} το έτος 2006–2007, αυτή τη φορά όμως στον σταθμό Zadar (Κροατία, 5m) με θερμοκρασία 2.2°C. Αντίστοιχα το ίδιο έτος (2006–2007) σημειώθηκε και η λιγότερο ακραία Ελ.Τ_{mean} με τιμή 5.3°C, επίσης σε σταθμούς της Κροατίας (Split και Zadar). Και στην περίπτωση των Ελ.Τ_{min} και Ελ.Τ_{mean} η πλειοψηφία των σταθμών παρουσιάζει αυξητική τάση με εξαίρεση όμως τον σταθμό του Bucuresti (Romania, 90m), ο οποίος είναι ο μοναδικός με πτωτική τάση. Όσον αφορά τους πιο ορεινούς σταθμούς όπως αυτόν της Miercurea (661m) και του Zavizan (1594m) αυτοί δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη μεταβολή στην τάση των ελαχίστων θερμοκρασιών τους (Ελ.Τ_{max}, Ελ.Τ_{mean}, Ελ.Τ_{min}).



Σχήμα 6: Ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες (Ελ.Τ_{min}) ανά έτος, για την περίοδο 59 ετών, 1961-2019. Εξι (6) αντιπροσωπευτικοί σταθμοί, ένας κάθε μία χώρα: Βελιγράδι (Σερβία), Βουκουρέστι (Ρουμανία), Λιουμπλιάνα (Σλοβενία), Σαράγεβο (Βοσνία Ερζεγοβίνη), Θεσσαλονίκη (Ελλάδα) και Ζάγκρεμπ (Κροατία).

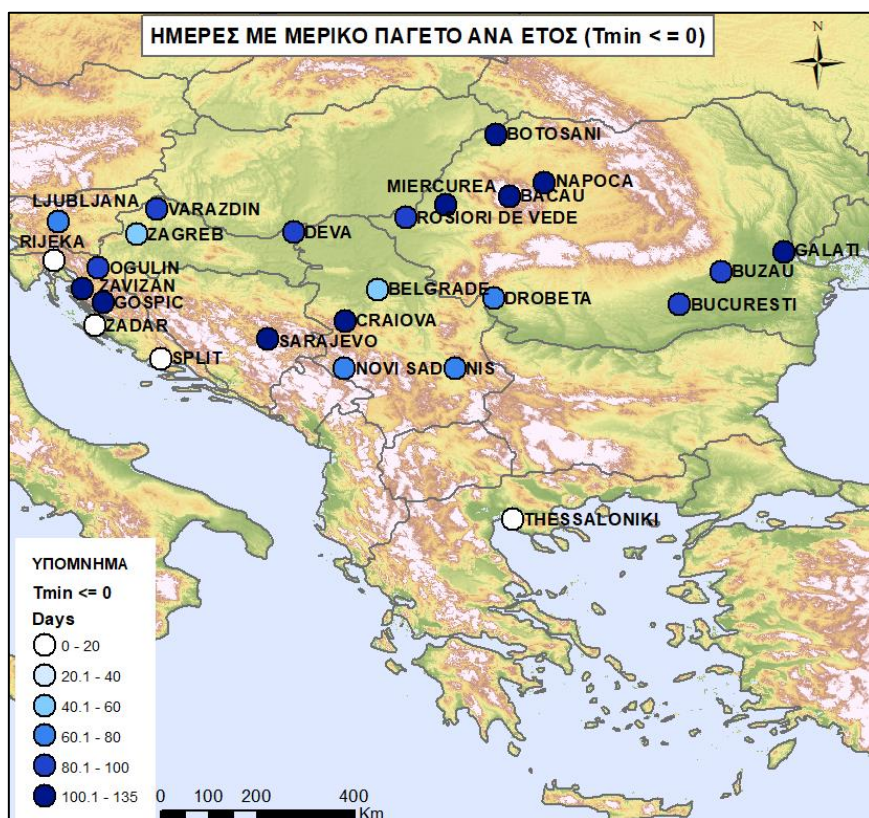


Σχήμα 7: Ακραίες ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες (Ελ. T_{mean}) ανά έτος, για την περίοδο 59 ετών, 1961-2019. Εξι (6) αντιπροσωπευτικοί σταθμοί, ένας κάθε μία χώρα: Βελιγράδι (Σερβία), Βουκουρέστι (Ρουμανία), Λιουμπλιάνα (Σλοβενία), Σεράγεβο (Βοσνία Ερζεγοβίνη), Θεσσαλονίκη (Ελλάδα) και Ζάγκρεμπ (Κροατία).

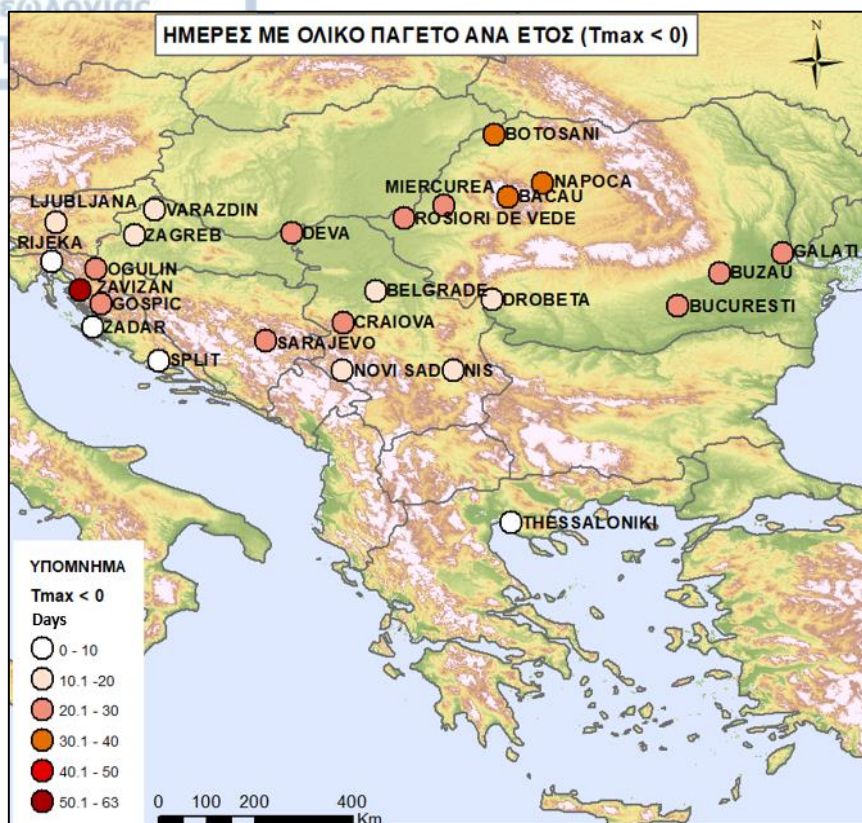
4.4 Ημέρες μερικού και ολικού παγετού

Η ενότητα αυτή επικεντρώνεται στον μερικό ($T_{min} \leq 0$) και ολικό ($T_{max} < 0$) παγετό των υπό μελέτη σταθμών, ανά έτος. Στον Χάρτη 3 με διαβάθμιση του μπλε χρώματος απεικονίζεται ο μέσος όρος των ημερών με $T_{min} \leq 0$ ανά έτος, ενώ στον Χάρτη 4 και με διαβάθμιση του κόκκινου χρώματος απεικονίζεται ο μέσος όρος των ημερών με $T_{max} < 0$. Συνολικά, για όλους τους σταθμούς το εύρος των ημερών με μερικό παγετό ($T_{min} \leq 0$) κατά έτος, κυμαίνεται από 7 έως 135 ημέρες, ενώ αντίστοιχα για τις ημέρες με ολικό παγετό ($T_{max} < 0$) από 0 έως 63 ημέρες. Σχετικά με τις ημέρες μερικού

παγετού, εκ' πρώτης άποψης φαίνεται ότι οι παράκτιοι σταθμοί στα δυτικά της βαλκανικής χερσονήσου καθώς και οι πιο νότιοι σταθμοί παρουσιάζουν λιγότερες ημέρες με $T_{min} \leq 0$ απ' ότι οι βορειότεροι σταθμοί. Πιο συγκεκριμένα, ο σταθμός με τις λιγότερες ημέρες (7 ημέρες) είναι ο σταθμός του Split (Κροατία, 122m). Αυτό σημαίνει ότι κατά μέσο όρο, 7 ημέρες τον χρόνο η συγκεκριμένη περιοχή καταγράφει ελάχιστη θερμοκρασία ίση ή μικρότερη των 0°C . Αντίθετα ο σταθμός με τις περισσότερες ημέρες (135 ημέρες), είναι αυτός της Miercurea (Ρουμανία, 661m), δηλαδή ο ίδιος σταθμός που έχει καταγράψει και τις πιο ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες (Χάρτης 3, Σχήμα 4). Μια αντίστοιχη γεωγραφική κατανομή διακρίνεται και στις ημέρες με $T_{max} < 0$ (Χάρτης 4). Οι παράκτιοι σταθμοί Zadar και Split δεν εμφανίζουν καμία μέρα με ολικό παγετό, ενώ 1 μόνο ημέρα ανά έτος παρουσιάζουν οι σταθμοί Rijeka (Κροατία, 120m) και Thessaloniki (Ελλάδα, 2m). Από την άλλη οι σταθμοί με τις περισσότερες ημέρες είναι αυτοί του Zavizan (Κροατία, 1594m) (63 ημέρες) και του (Botosani 161m) (36 ημέρες).



Χάρτης 3: Μέσος όρος ημερών με μερικό παγετό ανά έτος για κάθε σταθμό ($T_{min} \leq 0$)



Χάρτης 4: Μέσος όρος ημερών με ολικό παγετό ανά έτος για κάθε σταθμό ($T_{max} < 0$)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΨΥΧΡΕΣ ΧΕΙΜΕΡΙΝΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ

5.1 Εντοπισμός των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών με τη χρήση του 5^{ου} εκατοστημορίου

Ψυχρές χειμερινές ακολουθίες με διάρκεια τουλάχιστον 3 ημερών μελετώνται σε αυτήν την ενότητα. Σχετικά με τον εντοπισμό τους απαραίτητη προϋπόθεση για κάθε σταθμό ξεχωριστά ήταν ο προσδιορισμός του κατωφλίου που θα οριοθετούσε τις ακραίες ψυχρές θερμοκρασίες από τις υπόλοιπες. Ακολουθώντας πάντα τη βιβλιογραφία, το παραπάνω πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του 5^{ου} εκατοστημορίου των εμπειρικών κατανομών στις παρατηρήσεις του χειμώνα (ΝΔΙΦΜ). Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του 5^{ου} εκατοστημορίου στην ελάχιστη θερμοκρασία T_{min5th} . Για ακόμη μια φορά ο σταθμός με τη μεγαλύτερη ακραία Ελ. T_{min} (απόλυτη τιμή) είναι ο σταθμός Miercurea. Η τιμή που ορίζει το κατώφλι των ακραίων θερμοκρασιών σε αυτόν τον σταθμό είναι $T_{min5th} = -22.5^{\circ}\text{C}$, γεγονός που υποδεικνύει τις πολύ ψυχρές θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή

αυτή κατά τους χειμερινούς μήνες. Όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί χαρακτηρίζονται από μικρότερες τιμές κατωφλίων ($T_{\min 5th}$) (απόλυτη τιμή), που κυμαίνονται κάτω των -14.6°C. Το μικρότερο (απόλυτη τιμή) $T_{\min 5th}$ ανήκει στον σταθμό Split, με θερμοκρασία 0.3°C, τη μοναδική θετική τιμή κατωφλίου απ' όλους τους σταθμούς. Οι βορειότεροι σταθμοί και στην περίπτωση του $T_{\min 5th}$ σημειώνουν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα θερμοκρασίας ($T_{\min 5th}$) (°C) μετά τη χρήση του 5^{ου} εκατοστημορίου στην ελάχιστη θερμοκρασία ($T_{\min}$).

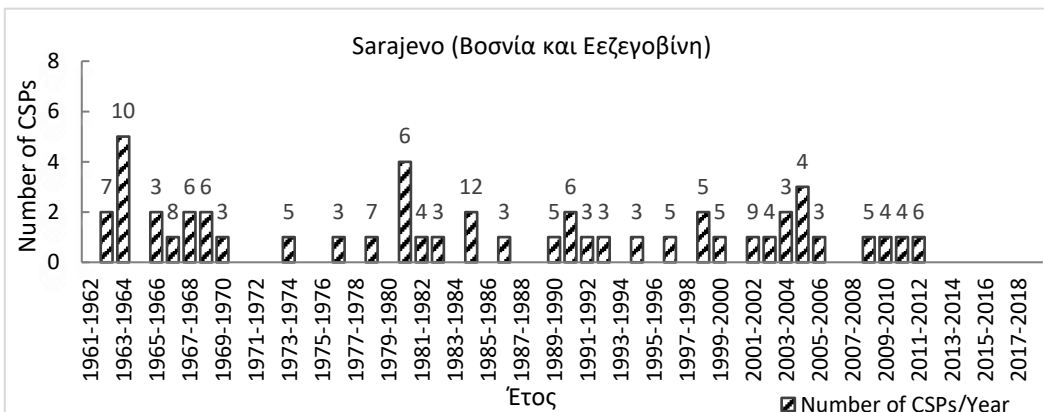
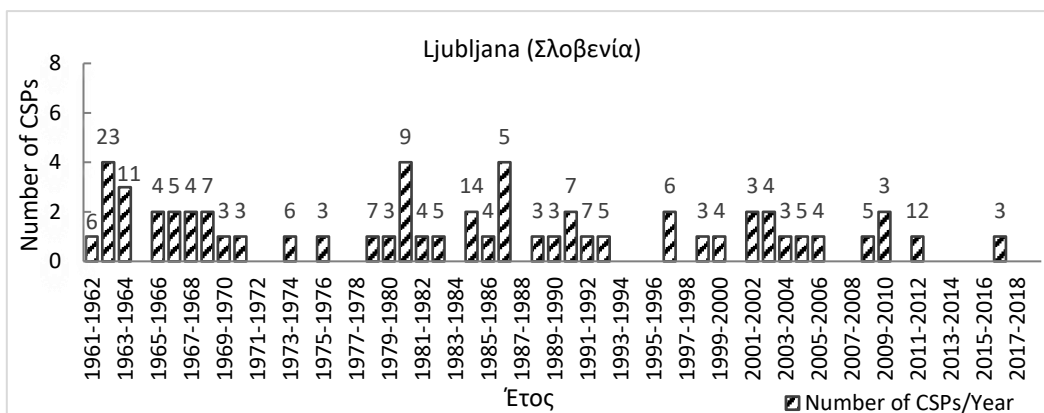
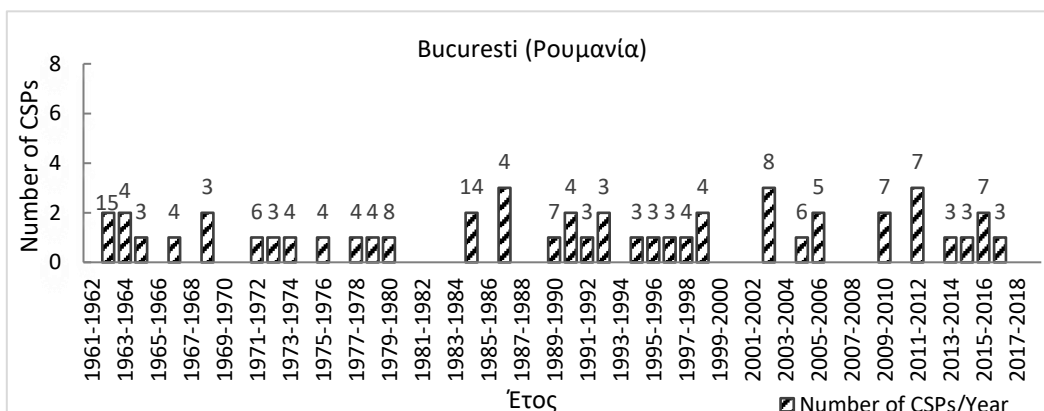
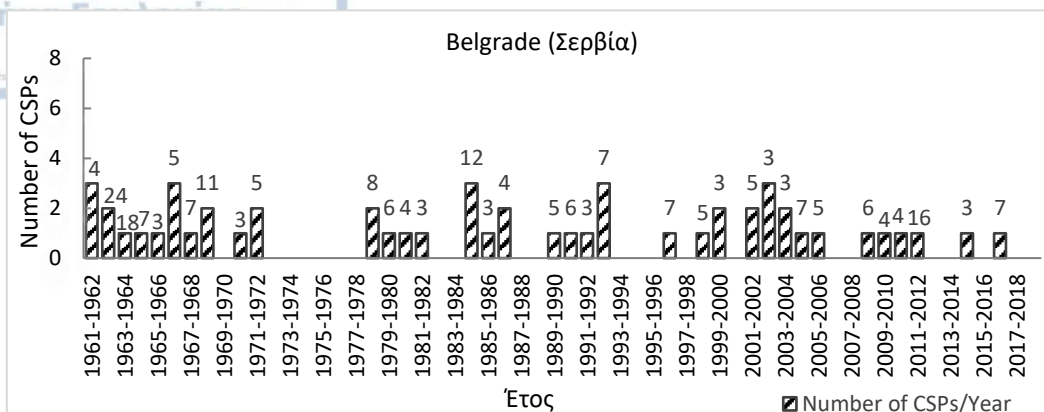
Σταθμός	Χώρα	$T_{\min 5th}$ (°C)
Split	Κροατία	0,3
Zadar	Κροατία	-0,7
Thessaloniki	Ελλάδα	-1,6
Rijeka	Κροατία	-2,2
Zagreb	Κροατία	-6,1
Belgrade	Σερβία	-7,2
Ljubljana	Σλοβενία	-8,8
Drobeta	Ρουμανία	-8,9
Nis	Σερβία	-8,9
Craiova	Ρουμανία	-10,5
Novi Sad	Σερβία	-10,7
Galati	Ρουμανία	-10,9
Varazdin	Κροατία	-11
Ogulin	Κροατία	-11,1
Buzau	Ρουμανία	-11,2
Deva	Ρουμανία	-11,8
Bucuresti	Ρουμανία	-11,9
Rosiori de Vede	Ρουμανία	-12,5
Gospic	Κροατία	-13,3
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	-13,3
Cluj Napoca	Ρουμανία	-13,9
Bacau	Ρουμανία	-14,0
Botosani	Ρουμανία	-14,4
Zavizan	Κροατία	-14,6
Miercurea	Ρουμανία	-22,5

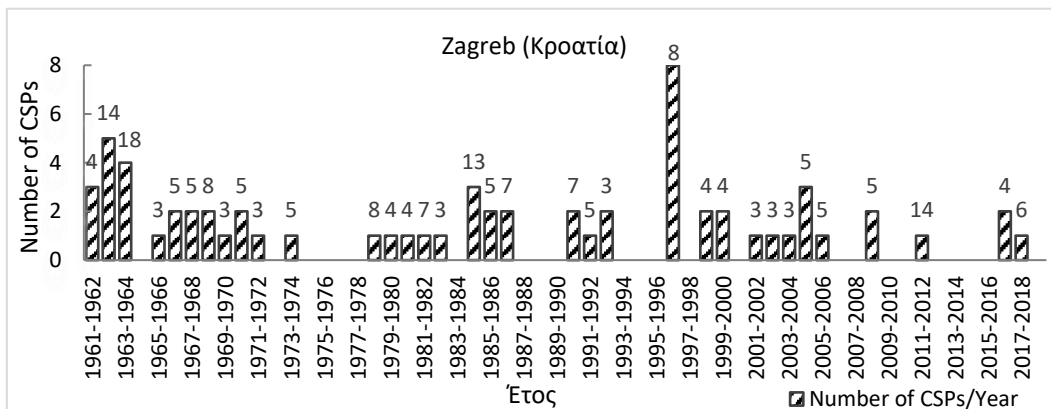
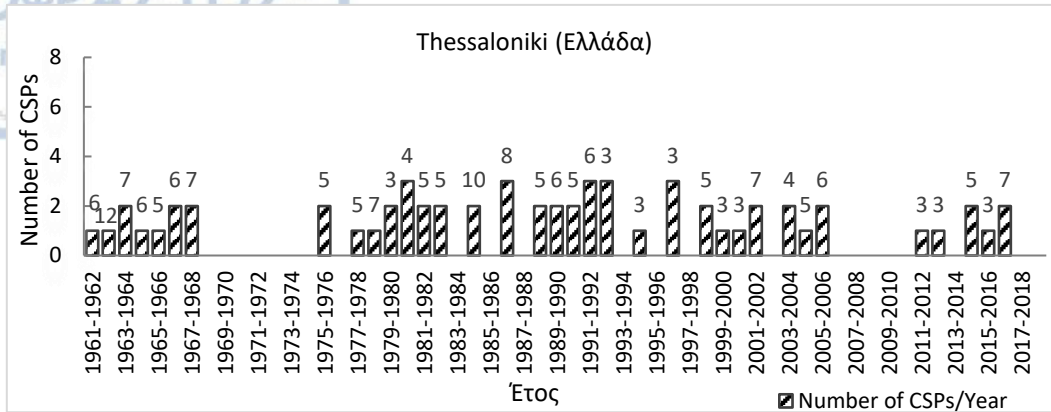
5.2 Διαχρονική ανάλυση των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών

Α. Μετά τον υπολογισμό του T_{min5th} ακολούθησε ο εντοπισμός και η ανάλυση των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών σε όλους τους υπό μελέτη μετεωρολογικούς σταθμούς κατά την χειμερινή περίοδο 1961-2019. Όπως αναφέρθηκε και στη μεθοδολογία, ως ένα ψυχρό ακραίο γεγονός ορίζεται η ακολουθία τουλάχιστον 3 ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία πέφτει κάτω από το 5° εκατοστημόριο, $T_{min} < T_{min5th}$. Στο παρακάτω Σχήμα 8 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών για κάθε σταθμό ανά έτος. Η κάθε ράβδος αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών που έλαβαν χώρα στο συγκεκριμένο έτος, ενώ οι αριθμοί πάνω από αυτές δηλώνουν τον αριθμό ημερών που διήρκεσε η μεγαλύτερη ψυχρή ακολουθία του αντίστοιχου έτους.

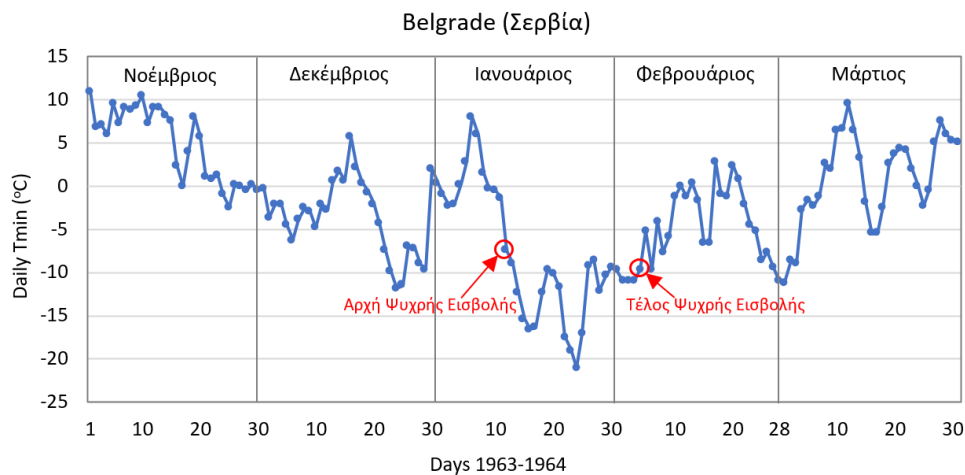
Το εύρος των εμφανίσεων των ψυχρών ακολουθιών ανά έτος κυμαίνεται από 0 έως 8 ψυχρές ακολουθίες. Ο σταθμός που παρουσίασε 8 ψυχρές ακολουθίες μέσα σ' έναν χρόνο είναι ο σταθμός του Zagreb (Κροατία, 156m), το έτος 1996-1997. Όσον αφορά τη διάρκειά τους, η μεγαλύτερη και η πιο ισχυρή ψυχρή χειμερινή ακολουθία καταγράφηκε στον σταθμό του Belgrade (Σερβία, 132m) με 24 ημέρες ακραίων θερμοκρασιών. Η ψυχρή ακολουθία ξεκίνησε στις 12 Ιανουαρίου του 1963 και τελείωσε στις 4 Φεβρουαρίου του 1963 (Σχήμα 9). Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 9, κατά τη διάρκεια της η T_{min} κυμάνθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Συγκεκριμένα σε αυτή τη μεγαλύτερη σε διάρκεια ψυχρή ακολουθία ο σταθμός του Belgrade κατέγραψε και τις πιο ακραίες του ελάχιστες θερμοκρασίες, με τιμές όπως φαίνεται από το Σχήμα 4: Ελ. T_{max} -14.3°C , Ελ. T_{min} -21.0°C και Ελ. T_{mean} -17.3°C .

Δεύτερη μεγαλύτερη σε διάρκεια ψυχρή ακολουθία με μόλις μια μέρα διαφορά, δηλαδή διάρκειας 23 ημερών καταγράφηκε στον σταθμό της Ljubljana (Σλοβενία, 299m) επίσης το έτος 1962-1963. Γενικά, το προαναφερθέντα έτος 1962-1963 όλοι σχεδόν οι σταθμοί κατέγραψαν τις μεγαλύτερες σε διάρκεια ψυχρές ακολουθίες. Κάτι που αξίζει να σημειωθεί είναι η μείωση της εμφάνισης των ψυχρών ακολουθιών που παρατηρείται σε όλους τους σταθμούς, προς τα τέλη της υπό μελέτη περιόδου. Τα αίτια αυτού του φαινομένου αποδίδονται στην κλιματική αλλαγή που γίνεται συνεχώς όλο και πιο έντονη. Το γεγονός αυτό κινεί το ενδιαφέρον για περεταίρω εξέταση των αιτιών που οδηγούν στη παραπάνω μείωση. Συνεπώς στις επόμενες ενότητες μελετάται η σχέση των ψυχρών ακολουθιών με τύπους κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας καθώς και τα δυναμικά αίτια που συμβάλλουν στην εμφάνισή τους.





Σχήμα 8: Ψυχρές ακολουθίες ανά έτος/ανά σταθμό. Η κάθε ράβδος αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών ανά έτος, ενώ ο αριθμός πάνω από αυτές τον αριθμό ημερών που διήρκεσε η μεγαλύτερη ψυχρή ακολουθία.



Σχήμα 9: Η μεγαλύτερη σε διάρκεια ψυχρή ακολουθία. Έλαβε χώρα στο Belgrade (Σερβία), την περίοδο 12/1/1963 – 4/2/1963. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η $DailyT_{min}$ σε °C και στον οριζόντιο άξονα οι ημέρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΙ ΨΥΧΡΕΣ ΧΕΙΜΕΡΙΝΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ

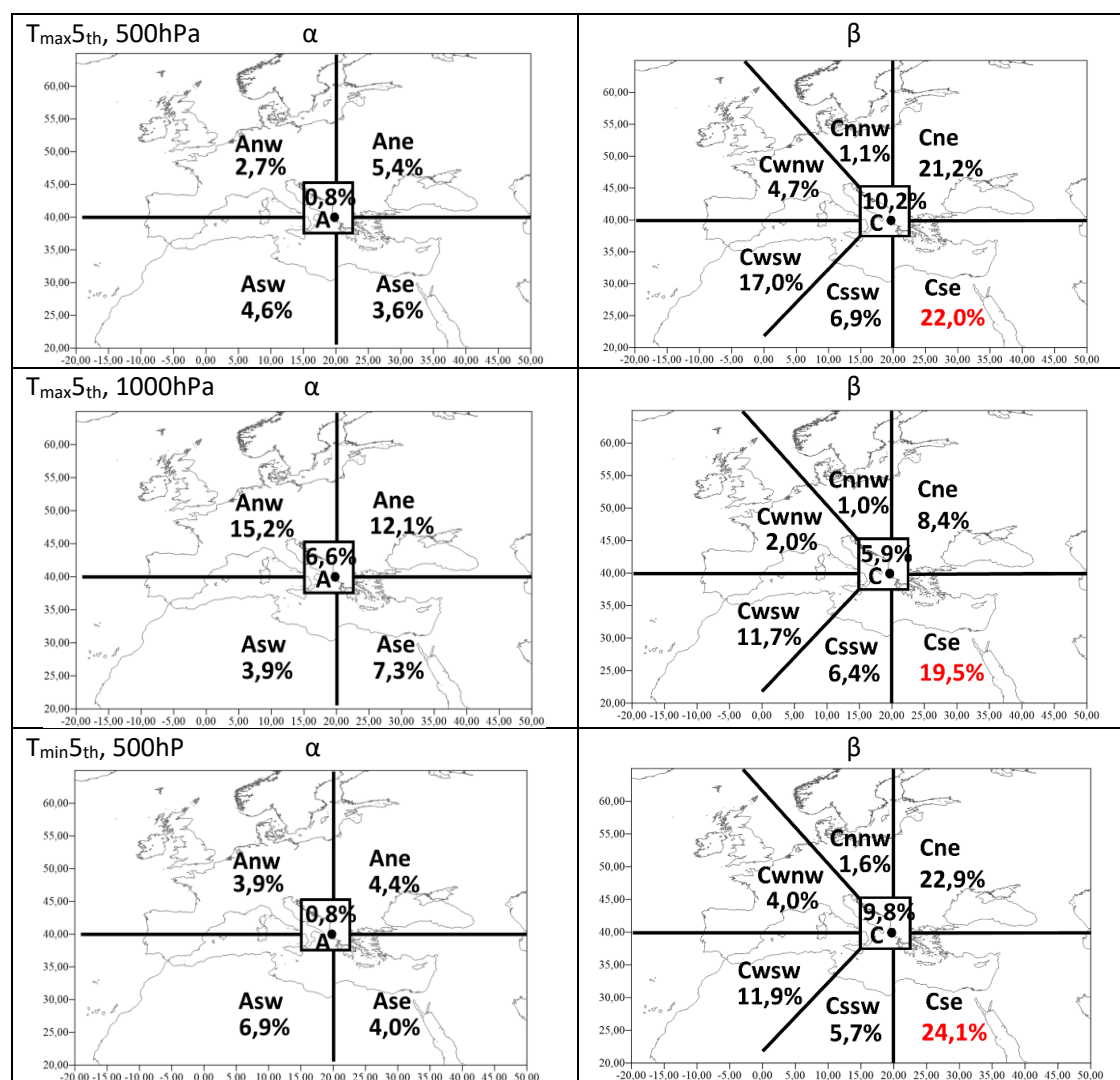
Γενικά

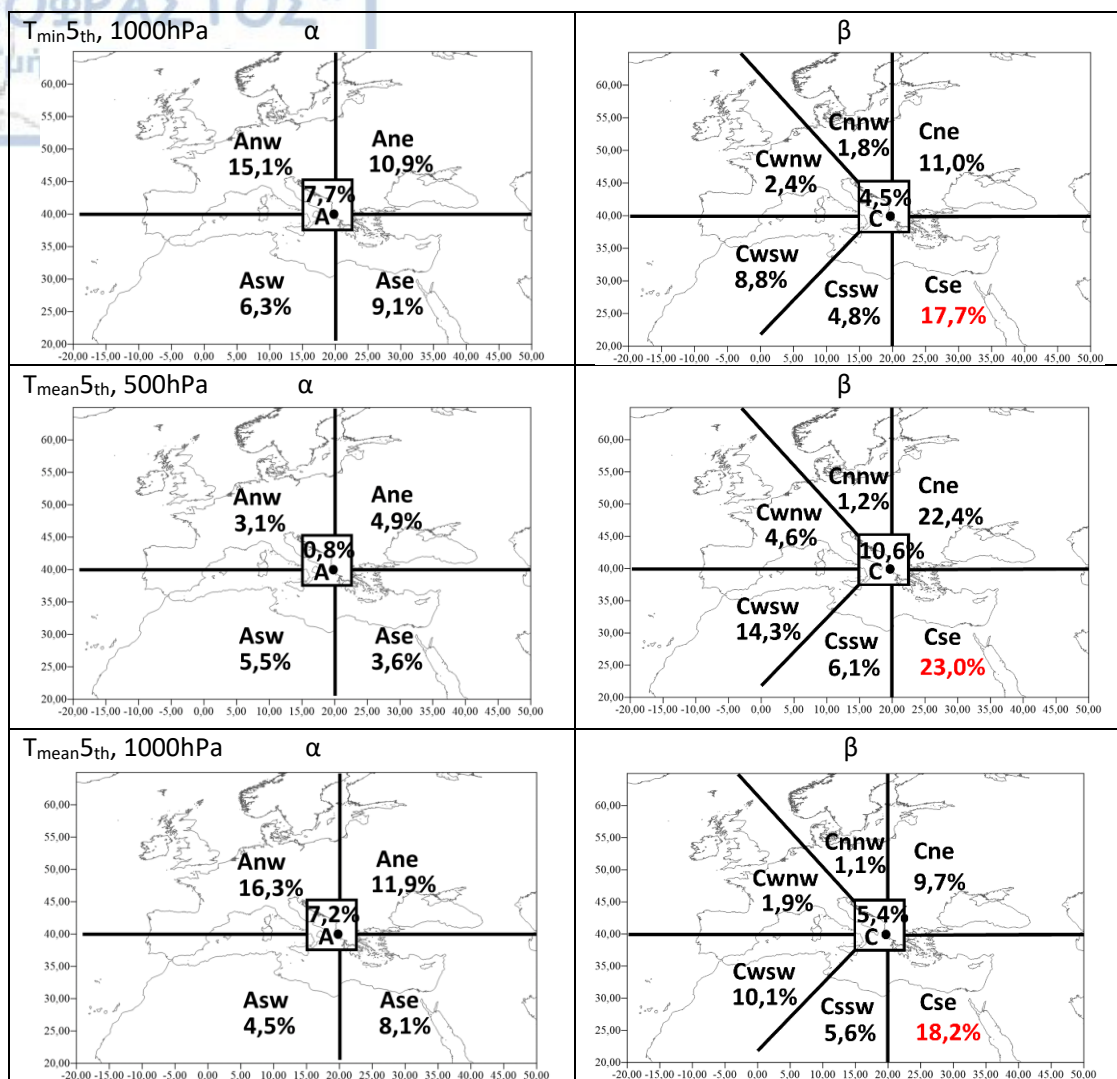
Το κίνητρο για τη δημιουργία του συγκεκριμένου κεφαλαίου, δόθηκε από την ανάγκη και το ενδιαφέρον για περαιτέρω διερεύνηση της σχέσης των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών με τους τύπους κυκλοφορίας. Η κατανόηση των συνθηκών της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας που επικρατούν πριν αλλά και κατά τη διάρκεια των ψυχρών ακολουθιών, καθώς και ο εντοπισμός πιθανού κοινού τύπου κυκλοφορίας που ευνοεί την εμφάνισή τους, είναι ο κύριος στόχος αυτού του κεφαλαίου. Για τη διεκπεραίωση αυτού, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, χρησιμοποιήθηκαν δύο ημερολόγια τύπων κυκλοφορίας ένα με κέντρο την περιοχή της Θεσσαλονίκης και ένα με τους υπόλοιπους σταθμούς (Anagnostopoulou et. al 2009). Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για κάθε σταθμό ξεχωριστά, για όλες τις μεταβλητές $T_{\max 5th}$, $T_{\min 5th}$ και $T_{\text{mean} 5th}$, στα δύο γεωδυναμικά ύψη των 500hPa και των 1000hPa. Οι τύποι κυκλοφορίας που ευνοούν τις ψυχρές χειμερινές ακολουθίες αξιολογούνται με βάση τη συχνότητα ενός δεδομένου τύπου πριν ή κατά τη διάρκεια της ψυχρής ακολουθίας.

6.1 Τύποι κυκλοφορίας που ευνοούν τις ψυχρές χειμερινές ακολουθίες

Αρχικά για να δημιουργηθεί μια πρώτη εικόνα των επικρατέστερων τύπων κυκλοφορίας, στο Σχήμα 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συνολικά για όλους τους σταθμούς, ανά μεταβλητή και γεωδυναμικό ύψος. Για την καλύτερη κατανόηση αυτών έγινε χρήση της τοποθεσίας των κέντρων των αντικυκλωνικών (α) και των κυκλωνικών (β) τύπων κυκλοφορίας από Anagnostopoulou et.al 2009, έτσι ώστε να απεικονιστούν πάνω σε αυτά τα ποσοστά. Αυτό που παρατηρείται με μια πρώτη ματιά είναι ότι ο τύπος κυκλοφορίας με το μεγαλύτερο ποσοστό επικράτησης σε όλες τις μεταβλητές είναι ο κυκλωνικός τύπος Cse, του οποίου το κέντρο βρίσκεται στα νότια της ανατολικής Μεσογείου. Πιο αναλυτικά, για $T_{\max 5th}$ στα 500hPa και στα 1000hPa ο κυκλωνικός τύπος Cse είναι ο επικρατέστερος με ποσοστό 22.0% και 19.5% αντίστοιχα. Ο ίδιος τύπος επικρατεί και στη $T_{\min 5th}$ με ποσοστό 24.1% στα 500hPa και 17.7% στα 1000hPa, καθώς επίσης και στη $T_{\text{mean} 5th}$ με ποσοστό 23.0% και 18.2%. Όσον αφορά τον δεύτερο σε μεγαλύτερο ποσοστό επικράτησης τύπο κυκλοφορίας, τα

ποσοστά διαχωρίζονται μεταξύ του αντικυκλωνικού τύπου Απw και του κυκλωνικού Cne. Δηλαδή, στα 500hPa και στις τρεις μεταβλητές φαίνεται πως ο δεύτερος επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο Cne, με κυκλωνικό κέντρο βορειοανατολικά της Ελλάδας και με ποσοστά: 21.2% ($T_{\max 5_{th}}$, 500hPa), 22.9% ($T_{\min 5_{th}}$, 500hPa) και 22.4% ($T_{\text{mean} 5_{th}}$, 500hPa). Από την άλλη, στα 1000hPa ο δεύτερος επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο Απw, με αντικυκλωνικό κέντρο πάνω από την κεντρική ή βορειοδυτική Ευρώπη και με ποσοστά: 15.2% ($T_{\max 5_{th}}$, 1000hPa), 15.1% ($T_{\min 5_{th}}$, 1000hPa) και 16.3% ($T_{\text{mean} 5_{th}}$, 1000hPa).





Σχήμα 10: Ποσοστά επικράτησης αντικυκλωνικών (α) και κυκλωνικών (β) τύπων κυκλοφορίας, συνολικά για όλους τους σταθμούς, για τις μεταβλητές T_{max} , T_{min} και T_{mean} στα γεωδυναμικά ύψη 500hPa και 1000hPa.

6.2 Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό

Α. Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκε μια γενική εικόνα των τύπων της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας που επικράτησαν κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών της υπό μελέτης περιόδου. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν ως επικρατέστερο τον κυκλωνικό νοτιοανατολικό τύπο Cse. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη παράγραφο η μελέτη εμβαθύνει περισσότερο και στοχεύει στην αναλυτικότερη εξέταση των τύπων κυκλοφορίας, όμως αυτή τη φορά ανά σταθμό. Παρακάτω στους Πίνακες 5, 6, 7, 8, 9 και 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Κάθε Πίνακας απεικονίζει ανά σταθμό τα ποσοστά επικράτησης κάθε τύπου κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών. Η εξέταση όπως και προηγουμένως πραγματοποιήθηκε ανά μεταβλητή $T_{\max 5th}$, $T_{\min 5th}$ και $T_{\text{mean} 5th}$, στα δύο γεωδυναμικά ύψη των 500hPa και των 1000hPa.

Στον Πίνακα 5 για $T_{\max 5th}$, 500hPa, φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια των ψυχρών ακολουθιών στην πλειοψηφία των σταθμών ο πρώτος επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο νοτιοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cse. Παρ' όλα αυτά όμως δεν είναι ο επικρατέστερος τύπος για όλους τους σταθμούς. Στο σύνολο των σταθμών το μεγαλύτερο ποσοστό επικράτησης των τύπων κυκλοφορίας διαχωρίζεται ανάμεσα σε 3 τύπους, στον Cse με κέντρο νοτιοανατολικά της Ελλάδας και νότια της ανατολικής Μεσογείου, τον C_{sw} με κέντρο νότια – νοτιοδυτικά της Ελλάδας και τον C_{ne} με κέντρο βορειοανατολικά της Ελλάδας. Να σημειωθεί ότι και οι τρεις προαναφερθέντες επικρατέστεροι τύποι κυκλοφορίας είναι κυκλωνικοί τύποι, ενώ αντίθετα οι αντικυκλωνικοί τύποι σύμφωνα με τον Πίνακα 5 έχουν αρκετά μικρότερα ποσοστά. Πιο αναλυτικά, το 56% των σταθμών (14/25 σταθμούς) έχει καταγράψει ως επικρατέστερο τύπο κυκλοφορίας τον νοτιοανατολικό κυκλωνικό τύπο Cse. Το 28% των σταθμών (7/25 σταθμούς) καταγράφουν ως επικρατέστερο τον βορειοανατολικό κυκλωνικό τύπο C_{ne}, ενώ μόλις το 14% (5/25 σταθμούς) τον δυτικό – νοτιοδυτικό τύπο C_{sw}.

Πίνακας 5: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό για T_{max5th} στα 500hPa.

T_{max5th} , 500hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Csw	Cssw	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	1.8	4.1	1.0	5.7	2.8	7.9	1.2	4.5	14.4	6.3	25.8	24.5
Belgrade	Σερβία	3.3	6.4	0.7	3.5	4.4	10.4	0.4	4.2	17.1	7.1	22.4	20.0
Botosani	Ρουμανία	1.8	4.3	0.6	4.7	3.7	9.3	1.0	5.5	16.2	6.7	25.0	21.1
Bucuresti	Ρουμανία	3.0	6.9	0.9	8.0	3.9	8.2	0.6	2.8	15.2	5.4	22.7	22.3
Buzau	Ρουμανία	1.3	5.5	1.7	7.0	3.4	7.2	0.6	3.8	15.1	6.2	24.0	24.2
Cluj Napoca	Ρουμανία	5.2	7.1	0.6	7.4	4.3	6.7	0.9	3.2	12.3	5.4	21.4	25.3
Craiova	Ρουμανία	3.5	7.2	0.8	7.4	4.1	8.2	1.4	3.3	14.0	5.8	25.4	19.0
Deva	Ρουμανία	3.9	7.9	0.9	7.4	4.6	8.3	0.9	3.1	12.3	4.8	22.5	23.4
Drobeta	Ρουμανία	2.4	7.9	1.3	6.7	3.6	8.4	2.1	4.7	15.5	6.0	22.1	19.3
Galati	Ρουμανία	2.5	4.4	1.3	6.3	3.3	7.7	0.6	2.5	13.2	6.5	28.2	23.6
Gospic	Κροατία	2.6	5.9	0.9	2.6	2.6	12.0	0.9	5.2	21.1	7.2	18.7	20.3
Ljubljana	Σλοβενία	4.3	6.3	1.6	3.1	4.7	9.4	2.2	8.3	15.3	6.1	14.8	23.8
Miercurea	Ρουμανία	4.8	8.8	0.4	10.1	5.1	4.4	2.0	2.0	13.2	5.5	23.7	20.0
Nis	Σερβία	3.8	6.0	0.4	4.5	5.1	10.2	0.4	2.9	12.9	6.0	26.5	21.2
Novi Sad	Σερβία	3.4	6.3	0.9	3.8	5.4	10.1	0.7	5.4	15.1	5.4	21.8	21.6
Ogulin	Κροατία	3.4	7.4	1.3	3.4	5.5	8.9	1.1	6.6	21.0	6.4	16.3	18.7
Rijeka	Κροατία	0.2	0.2	0.0	0.7	0.9	13.1	0.9	9.1	29.3	8.0	16.0	21.6
Rosiori de Vede	Ρουμανία	3.3	7.7	1.3	8.0	4.2	7.5	1.5	2.4	13.3	4.6	25.7	20.4
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	3.5	7.7	1.5	2.0	1.5	12.5	0.4	4.2	18.8	8.1	21.7	18.2
Split	Κροατία	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	20.6	0.9	4.8	20.6	10.9	23.9	18.2
Thessaloniki	Ελλάδα	1.8	1.3	0.0	2.4	0.7	10.7	0.9	1.6	11.8	9.8	36.2	22.9
Varazdin	Κροατία	3.1	8.3	0.7	4.2	6.7	9.8	1.6	7.6	17.6	6.7	15.0	18.8
Zadar	Κροατία	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	19.0	1.8	6.9	23.9	7.4	19.0	20.8
Zagreb	Κροατία	3.5	7.3	1.3	4.3	6.5	9.5	1.1	6.9	16.8	5.4	14.3	23.1
Zavizan	Κροατία	0.0	0.2	0.0	0.0	0.9	14.2	0.4	5.6	29.2	14.2	17.4	18.0

Ακολουθούν τα αποτελέσματα για την ίδια μεταβλητή (T_{max}) αλλά σε γεωδυναμικό ύψος 1000hPa (Πίνακας 6). Εδώ διακρίνεται καθαρό προβάδισμα του νοτιοανατολικού κυκλωνικού τύπου Cse. Το 88% των σταθμών (21/25 σταθμούς) κατά τη διάρκεια των ψυχρών ακολουθιών έχουν καταγράψει ότι επικρατεί ο προαναφερθέν τύπος Cse, ενώ μόλις το 12% (3/25 σταθμούς), έχουν καταγράψει έναν άλλον τύπο κυκλοφορίας. Οι σταθμοί που ως πρώτο τύπο κυκλοφορίας παρουσιάζουν έναν άλλον τύπο, διαφορετικό του Cse είναι οι: Drobeta, Miercurea (Ρουμανία) και Thessaloniki (Ελλάδα). Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση (T_{max} , 500hPa), σε αυτήν

υπάρχουν αντικυκλωνικοί τύποι που εμφανίζονται ως πρώτοι επικρατέστεροι. Συγκεκριμένα, στο 8% των σταθμών (2/25 σταθμούς) ο μεγαλύτερος σε ποσοστό επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο κυκλωνικός τύπος Ane, του οποίου το αντικυκλωνικό κέντρο εντοπίζεται βορειοανατολικά της Ελλάδας, ενώ μόνο στο 4% δηλαδή μόνο σ' έναν (1) σταθμό ο πρώτος επικρατέστερος είναι ο τύπος Anw με αντικυκλωνικό κέντρο βορειοδυτικά της Ελλάδας.

Πίνακας 6: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό για $T_{\max 5th}$ στα 1000hPa.

$T_{\max 5th}$, 1000hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Cws	Cssw	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	13,6	14,0	4,3	3,4	7,7	4,7	1,6	3,2	14,4	6,1	21,1	5,9
Belgrade	Σερβία	18,0	10,2	10,6	2,9	7,5	6,2	0,2	0,4	9,5	6,2	20,0	8,2
Botosani	Ρουμανία	12,4	15,2	3,7	2,0	7,1	5,5	0,6	3,4	15,4	6,3	21,5	6,9
Bucuresti	Ρουμανία	13,9	14,5	6,7	6,5	7,4	2,8	3,0	2,8	12,1	5,2	19,3	5,8
Buzau	Ρουμανία	10,8	14,6	5,5	4,9	7,6	3,6	2,3	4,0	14,4	5,7	20,4	5,9
Cluj Napoca	Ρουμανία	13,0	13,2	11,3	5,6	10,8	2,6	0,9	2,4	9,1	4,8	18,2	8,2
Craiova	Ρουμανία	14,0	16,9	6,8	5,0	7,8	3,1	2,3	2,9	12,8	4,1	18,1	6,2
Deva	Ρουμανία	13,6	13,3	11,6	5,5	9,6	3,3	1,1	2,2	9,2	4,2	17,7	8,8
Drobeta	Ρουμανία	13,9	15,7	5,8	3,9	7,7	3,2	2,8	5,4	14,6	5,8	15,5	5,8
Galati	Ρουμανία	15,3	13,4	5,0	5,2	8,8	2,9	1,3	2,5	13,0	5,7	21,3	5,6
Gospic	Κροατία	15,7	12,0	5,4	3,5	5,7	8,7	0,0	0,2	13,3	6,8	20,3	8,5
Ljubljana	Σλοβενία	14,2	11,5	7,4	2,2	7,2	11,2	0,2	0,7	12,4	6,7	14,6	11,7
Miercurea	Ρουμανία	13,0	16,9	10,1	4,4	10,8	2,9	2,6	4,2	10,5	5,3	14,3	5,1
Nis	Σερβία	18,9	9,1	10,0	6,5	8,2	3,8	1,1	1,3	7,6	5,1	20,7	7,6
Novi Sad	Σερβία	15,8	12,8	9,0	2,9	8,6	6,8	0,2	0,7	9,5	5,2	18,9	9,7
Ogulin	Κροατία	14,0	14,4	7,0	1,5	5,5	8,1	0,2	0,6	14,9	7,0	19,5	7,2
Rijeka	Κροατία	15,8	7,8	0,9	0,7	4,2	11,3	0,0	1,1	17,1	9,8	18,7	12,7
Rosiori de Vede	Ρουμανία	14,2	14,8	8,8	6,9	8,0	2,7	2,0	3,3	12,2	4,6	16,2	6,4
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	18,8	11,6	7,2	5,7	6,1	6,1	0,4	0,2	8,3	6,1	19,0	10,3
Split	Κροατία	19,0	3,7	1,1	3,5	4,6	9,2	0,4	1,1	6,3	9,4	26,3	15,3
Thessaloniki	Ελλάδα	24,7	10,2	5,6	7,1	6,0	1,1	0,9	2,2	6,4	7,1	23,6	5,1
Varazdin	Κροατία	11,4	12,9	8,0	1,1	8,7	9,2	0,2	1,3	14,5	4,9	18,1	9,6
Zadar	Κροατία	15,0	6,3	1,1	2,7	4,2	10,7	0,2	1,6	12,1	8,9	22,3	15,0
Zagreb	Κροατία	12,1	11,4	9,7	2,8	8,9	7,6	0,6	1,7	12,5	5,6	17,9	9,1
Zavizan	Κροατία	18,7	6,2	1,1	1,7	4,1	10,9	0,0	0,0	11,4	13,5	23,8	8,6

Στην περίπτωση της $T_{\min 5th}$ στα 500hPa (Πίνακας 7), δύο φαίνεται να είναι οι επικρατέστεροι τύποι κυκλοφορίας, η διαφορά των οποίων είναι πολύ μικρή. Αυτοί οι είναι: ο νοτιοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cse και ο βορειοανατολικός επίσης κυκλωνικός τύπος Cne. Στο 56% (14/25 σταθμούς) των σταθμών, ο επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο Cse, ενώ με διαφορά μόλις 8% ακολουθεί ο τύπος Cne. Η διαφορά είναι τόσο μικρή που όπως φαίνεται και από τον σταθμό Drobeta (Ρουμανία), οι δύο αυτοί τύποι είναι πρώτοι σε επικράτηση με το ίδιο ακριβώς ποσοστό, δηλαδή 23,9%. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι στον συγκεκριμένο σταθμό το 47.8% των περιπτώσεων με ακραίες ψυχρές ελάχιστες θερμοκρασίες ($T_{\min 5th}$) συνδέεται με την επικράτηση των δύο αυτών τύπων κυκλοφορίας (Cse και Cne) στο ύψος των 500hPa.

Πίνακας 7: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό για $T_{\min 5th}$ στα 500hPa.

$T_{\min 5th}$, 500hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Csw	Cssw	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	3,3	6,3	1,0	8,6	6,1	6,8	1,4	3,3	11,7	5,7	21,9	23,9
Belgrade	Σερβία	2,9	4,2	0,2	4,9	2,9	8,0	1,6	5,1	10,6	5,8	26,8	27,1
Botosani	Ρουμανία	2,8	6,0	1,2	8,3	4,8	6,9	2,2	4,6	13,3	6,2	24,0	19,8
Bucuresti	Ρουμανία	4,6	5,1	1,1	11,7	5,7	5,1	2,6	2,9	10,6	3,3	24,4	22,9
Buzau	Ρουμανία	4,5	4,2	1,6	11,6	4,0	6,5	2,2	2,7	10,9	4,5	23,0	24,3
Cluj Napoca	Ρουμανία	4,2	5,7	0,9	7,5	4,6	5,5	1,8	3,5	11,3	6,8	24,5	23,6
Craiova	Ρουμανία	5,1	6,5	1,0	10,7	4,5	6,3	1,8	2,6	8,7	3,9	26,4	22,5
Deva	Ρουμανία	4,7	5,1	0,4	8,5	5,3	5,3	1,8	2,7	10,7	4,2	24,7	26,5
Drobeta	Ρουμανία	5,5	7,2	0,9	9,8	5,3	4,4	1,8	3,5	9,4	4,6	23,9	23,9
Galati	Ρουμανία	4,1	4,3	1,2	9,8	4,1	6,5	1,4	3,1	11,2	4,9	24,8	24,6
Gospic	Κροατία	4,7	5,2	0,9	5,6	2,2	15,3	1,6	4,3	8,8	4,0	23,1	24,3
Ljubljana	Σλοβενία	4,8	3,3	0,4	3,9	4,2	13,8	1,5	4,8	13,8	5,5	21,0	23,0
Miercurea	Ρουμανία	6,4	7,8	1,8	10,4	5,1	4,4	1,8	1,8	12,0	6,2	25,1	17,1
Nis	Σερβία	5,4	8,1	2,0	10,7	11,4	6,9	2,9	3,4	14,3	5,1	17,4	12,3
Novi Sad	Σερβία	2,7	4,7	0,2	6,5	3,2	8,6	1,8	5,0	10,6	6,8	24,2	25,7
Ogulin	Κροατία	3,6	2,9	0,4	2,9	2,4	15,1	1,6	4,7	10,4	6,7	23,1	26,2
Rijeka	Κροατία	2,2	1,6	0,0	1,1	1,3	16,9	1,1	6,2	16,5	7,1	23,8	22,0
Rosiori de Vede	Ρουμανία	5,9	5,7	1,3	13,1	5,9	4,8	2,2	2,6	9,4	3,7	24,0	21,4
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	3,8	4,5	0,0	3,8	1,9	12,7	0,0	3,8	9,6	4,5	28,7	26,8
Split	Κροατία	0,5	0,0	0,0	1,4	0,0	19,8	0,7	5,4	17,6	7,9	24,5	22,3
Thessaloniki	Ελλάδα	6,9	4,4	1,5	11,5	2,7	5,8	1,1	0,7	6,2	4,6	35,0	19,7
Varazdin	Κροατία	3,5	2,4	0,2	4,2	4,9	13,0	1,8	6,2	11,3	7,3	22,3	23,0
Zadar	Κροατία	1,1	1,5	0,2	0,9	1,1	18,1	0,4	6,0	16,2	7,5	27,2	19,7
Zagreb	Κροατία	3,9	3,9	0,4	4,8	4,8	11,1	2,0	6,1	13,1	5,5	18,1	26,2
Zavizan	Κροατία	0,4	0,0	0,0	0,7	1,5	16,9	0,7	6,2	20,2	10,1	19,6	23,7

Όπως φαίνεται από τον παρακάτω Πίνακα 8, το 64% των σταθμών δείχνει ότι τα γεγονότα με ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες ($T_{\min 5th}$) συνδέονται κατά των πλείστον με την επικράτηση του τύπου Cse στα 1000hPa. Είναι ένα σημαντικό ποσοστό, που σημαίνει ότι οι 16/25 σταθμούς κατέγραψαν ψυχρές $T_{\min}$ όταν στα 1000hPa επικρατούσε ο συγκεκριμένος τύπος. Οι υπόλοιποι 9 σταθμοί συνδέουν τις ψυχρές $T_{\min}$ στα 1000hPa με τους τύπους Anw, Ane και Ase. Αναλυτικότερα το 20% των σταθμών δείχνει ο επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας είναι ο Anw, το 12% των σταθμών δείχνει τον τύπο Ane, ενώ σε μόλις έναν σταθμό με ποσοστό 4%, ο επικρατέστερος τύπος φαίνεται να είναι ο Ase.

Πίνακας 8: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό για $T_{\min 5t}$ στα 1000hPa.

$T_{\min 5th}$, 1000hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Cws	Css	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	11,7	14,9	8,0	5,3	10,4	2,5	2,3	2,9	11,7	5,9	17,4	6,8
Belgrade	Σερβία	17,5	11,8	8,2	5,3	8,2	5,1	0,9	1,3	8,4	5,3	17,7	10,2
Botosani	Ρουμανία	11,5	17,1	7,1	3,0	8,3	4,2	1,8	4,0	14,1	5,4	16,9	6,7
Bucuresti	Ρουμανία	12,6	12,3	8,6	8,4	13,4	3,3	3,3	4,2	9,9	4,0	13,0	7,0
Buzau	Ρουμανία	13,6	12,3	7,8	6,9	12,1	2,7	3,8	4,2	9,2	4,7	14,7	8,0
Cluj Napoca	Ρουμανία	13,9	15,7	10,6	4,4	9,3	2,2	1,1	3,3	10,2	3,8	17,7	7,9
Craiova	Ρουμανία	13,6	12,8	12,2	8,1	10,5	2,4	2,4	4,3	9,1	3,2	13,2	8,3
Deva	Ρουμανία	13,4	12,5	10,2	6,9	11,1	2,4	2,2	3,6	9,8	4,0	14,7	9,1
Drobeta	Ρουμανία	14,4	13,3	12,9	6,6	10,9	2,2	2,2	3,3	9,2	3,9	12,9	8,1
Galati	Ρουμανία	14,3	15,9	7,5	6,5	10,6	2,6	2,4	2,8	9,8	5,1	15,3	7,3
Gospic	Κροατία	11,9	7,2	5,8	10,3	9,0	4,9	1,1	0,9	6,5	4,9	20,7	16,6
Ljubljana	Σλοβενία	16,4	8,3	7,0	5,7	9,2	5,5	1,5	0,9	8,5	4,4	19,3	13,3
Miercurea	Ρουμανία	14,0	16,7	9,8	5,1	13,8	2,7	2,2	3,3	9,1	3,6	14,2	5,6
Nis	Σερβία	8,9	7,6	4,3	10,1	7,4	9,6	3,6	4,9	8,9	4,7	16,8	13,2
Novi Sad	Σερβία	16,3	9,9	7,0	5,4	7,9	3,8	1,6	1,6	9,5	4,3	19,4	13,3
Ogulin	Κροατία	14,9	7,6	6,0	6,4	7,6	5,6	0,9	1,1	7,3	3,8	22,9	16,0
Rijeka	Κροατία	19,4	8,9	5,1	2,0	5,1	6,7	0,0	0,7	9,6	6,5	23,4	12,7
Rosiori de Vede	Ρουμανία	14,2	13,1	11,4	9,8	10,3	2,4	3,3	3,7	8,5	3,5	10,9	9,0
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	17,8	7,6	10,8	8,9	8,9	1,9	1,9	1,9	5,7	3,8	15,3	15,3
Split	Κροατία	20,3	5,2	2,7	4,1	4,5	8,3	0,9	0,9	6,1	7,2	23,4	16,4
Thessaloniki	Ελλάδα	17,9	6,9	8,6	14,8	12,8	2,4	1,8	2,7	4,0	2,9	15,0	10,2
Varazdin	Κροατία	15,5	8,6	6,0	3,3	8,6	6,4	1,3	1,5	8,6	4,9	19,9	15,5
Zadar	Κροατία	19,7	8,2	4,6	3,5	4,4	6,4	0,9	0,7	7,1	6,0	24,3	14,2
Zagreb	Κροατία	14,0	10,3	7,2	4,8	8,7	6,6	1,3	1,3	9,6	4,6	19,9	11,8
Zavizan	Κροατία	19,8	7,7	2,4	2,2	3,5	9,2	0,0	0,4	9,7	8,8	24,0	12,3

Ακολουθούν τα αποτελέσματα για τις ψυχρές μέσες θερμοκρασίες ($T_{\text{mean}5\text{th}}$), στο γεωδυναμικό ύψος των 500hPa (Πίνακας 9). Και σε αυτή την περίπτωση η πλειοψηφία των σταθμών και συγκεκριμένα το 60%, δείχνει ότι οι $T_{\text{mean}5\text{th}}$ συνδέονται με την επικράτηση του τύπου Cse στα 500hPa. Ακολουθεί ο τύπος Cne με ποσοστό 36%, ενώ σε έναν (1) μόνο σταθμό και συγκεκριμένα σε αυτόν της Rijeka η εμφάνιση των ψυχρών θερμοκρασιών φαίνεται να συνδέεται κατά κύριο λόγο με την επικράτηση του τύπου Csw.

Πίνακας 9: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό για $T_{\text{mean}5\text{th}}$ στα 500hPa.

$T_{\text{mean}5\text{th}}$, 500hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Csw	Cssw	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	2,1	6,0	1,2	7,7	4,0	7,9	1,2	3,9	13,1	6,0	24,3	22,7
Belgrade	Σερβία	2,4	4,7	0,4	3,9	4,5	9,5	1,1	4,7	15,1	6,5	22,4	24,8
Botosani	Ρουμανία	2,1	5,6	1,2	7,0	3,5	7,0	1,5	4,8	14,1	6,2	25,7	21,3
Bucuresti	Ρουμανία	3,4	5,4	1,2	10,1	5,2	6,8	1,8	2,4	10,5	4,4	25,6	23,1
Buzau	Ρουμανία	2,5	4,1	1,9	10,1	3,3	6,4	1,2	3,3	11,8	4,8	25,3	25,3
Cluj Napoca	Ρουμανία	4,4	6,0	0,8	7,3	4,0	5,8	1,3	2,7	12,7	6,0	25,0	24,0
Craiova	Ρουμανία	3,1	7,3	1,2	8,9	3,1	7,1	1,2	3,0	11,4	4,9	27,0	21,9
Deva	Ρουμανία	5,3	6,4	0,4	7,7	4,2	5,3	1,1	2,9	11,5	4,6	25,6	25,1
Drobeta	Ρουμανία	3,7	7,4	1,2	9,1	3,1	6,6	1,6	3,5	12,3	4,9	24,5	22,2
Galati	Ρουμανία	3,1	4,5	1,4	8,6	3,3	6,8	0,6	2,9	11,1	5,5	28,1	24,2
Gospic	Κροατία	3,4	5,4	1,3	5,6	2,7	15,0	0,4	5,6	15,0	5,4	17,3	22,9
Ljubljana	Σλοβενία	4,2	5,3	1,1	3,3	5,3	13,3	1,3	6,9	16,0	5,1	17,1	20,9
Miercurea	Ρουμανία	6,4	8,1	1,5	9,2	5,9	3,5	1,8	1,8	11,4	7,3	24,8	18,2
Nis	Σερβία	4,9	6,4	0,7	5,5	6,1	10,6	0,8	2,7	13,1	6,6	24,9	17,8
Novi Sad	Σερβία	3,4	6,3	0,7	3,1	3,4	10,1	1,1	5,4	12,5	6,0	22,4	25,7
Ogulin	Κροατία	3,6	5,1	0,9	2,9	4,5	14,5	1,1	6,7	16,5	4,9	16,5	22,8
Rijeka	Κροατία	0,4	1,3	0,0	0,6	1,5	15,6	0,9	6,9	22,9	7,6	20,1	22,1
Rosiori de Vede	Ρουμανία	4,0	7,6	1,6	9,6	5,4	6,0	1,8	2,0	10,3	3,8	27,0	21,0
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	4,1	5,9	0,9	3,7	1,3	14,4	0,4	4,1	14,0	6,3	22,9	21,8
Split	Κροατία	0,3	0,0	0,0	0,5	0,0	21,1	0,5	5,9	18,6	9,2	24,2	19,8
Thessaloniki	Ελλάδα	5,3	2,9	0,7	5,0	2,8	8,1	1,1	1,8	10,1	7,4	32,9	21,9
Varazdin	Κροατία	4,0	4,6	0,2	4,2	5,5	11,9	1,5	7,5	14,6	6,0	18,1	21,7
Zadar	Κροατία	0,2	0,0	0,0	0,7	1,3	19,4	1,1	6,2	19,8	6,9	24,1	20,3
Zagreb	Κροατία	1,7	5,1	0,0	2,8	5,6	14,6	1,7	10,7	14,0	5,1	11,8	27,0
Zavizan	Κροατία	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	17,0	0,7	6,5	26,1	10,3	17,6	21,0

Η ενότητα ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την ψυχρή μέση θερμοκρασία ($T_{mean5th}$) στο γεωδυναμικό ύψος των 1000hPa (Πίνακας 10).

Ο τύπος κυκλοφορίας που φαίνεται να ευνοεί τις ψυχρές μέσες θερμοκρασίες στα 1000hPa είναι ο κυκλωνικός τύπος Cse με ποσοστό 67% (17/25 σταθμούς). Το υπόλοιπο 33% των σταθμών διαμοιράζεται στους τύπους Anw, Ane και Csw. Πιο αναλυτικά, ο αντικυκλωνικός τύπος Anw είναι ο επικρατέστερος τύπος στο 24% (6/25 σταθμούς) των σταθμών, ο επίσης αντικυκλωνικός τύπος Ane στο 12% (3/25 σταθμούς) των σταθμών, ενώ ο κυκλωνικός τύπος Csw είναι ο επικρατέστερος τύπος μόνο σε έναν (1) σταθμό.

Πίνακας 10: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό για $T_{mean5th}$ στα 1000hPa.

$T_{mean5th}$, 1000hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Csw	Cssw	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	13,3	16,6	7,3	3,7	8,1	3,7	2,1	3,5	11,9	6,2	17,7	6,0
Belgrade	Σερβία	18,8	11,9	8,6	2,4	8,4	6,3	0,2	0,2	9,7	5,2	19,6	8,8
Botosani	Ρουμανία	11,8	17,0	4,8	2,7	8,3	5,0	1,0	3,7	14,3	6,4	18,6	6,4
Bucuresti	Ρουμανία	14,3	14,3	8,5	7,6	11,5	3,0	2,8	3,0	10,5	4,4	13,7	6,4
Buzau	Ρουμανία	14,1	14,7	6,0	5,4	10,4	3,3	2,3	3,5	11,4	4,8	18,0	6,2
Cluj Napoca	Ρουμανία	14,4	14,4	10,4	4,6	10,8	1,3	1,3	3,3	10,2	3,5	17,1	8,8
Craiova	Ρουμανία	13,8	15,9	10,4	7,3	9,1	2,6	2,2	3,5	10,8	4,5	13,4	6,5
Deva	Ρουμανία	15,6	13,0	11,2	5,9	10,1	1,5	1,1	2,9	9,7	3,7	17,0	8,1
Drobeta	Ρουμανία	15,8	14,4	10,5	5,1	9,1	2,9	2,1	4,3	10,7	4,1	14,4	6,6
Galati	Ρουμανία	14,8	15,6	6,8	5,5	9,7	2,3	1,6	2,7	10,7	5,3	18,9	6,0
Gospic	Κροατία	15,2	8,7	5,8	7,4	8,1	7,8	0,2	0,2	9,4	4,5	18,4	14,1
Ljubljana	Σλοβενία	14,4	9,3	8,0	4,2	8,7	8,9	0,9	0,4	9,8	5,1	18,9	11,3
Miercurea	Ρουμανία	13,6	18,9	11,4	3,3	12,3	1,5	2,4	3,1	10,1	3,7	13,6	5,9
Nis	Σερβία	14,3	10,6	7,4	5,5	6,7	5,2	0,5	1,7	8,2	6,4	24,4	9,1
Novi Sad	Σερβία	18,8	12,1	7,6	3,4	7,8	5,8	0,2	0,2	9,8	4,7	18,6	11,0
Ogulin	Κροατία	17,0	10,0	8,3	2,9	6,0	8,7	0,0	0,2	9,4	6,3	18,3	12,9
Rijeka	Κροατία	20,1	9,1	2,8	0,9	3,5	9,5	0,0	0,9	12,3	10,0	21,2	9,7
Rosiori de Vede	Ρουμανία	15,0	13,8	11,2	8,7	10,5	1,8	2,9	2,9	10,0	3,8	11,6	7,8
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	21,6	8,7	8,7	6,1	7,4	5,5	0,4	0,2	6,3	4,4	19,4	11,1
Split	Κροατία	20,9	4,3	1,8	3,8	4,8	8,1	0,5	1,0	5,9	7,9	23,4	17,6
Thessaloniki	Ελλάδα	21,7	9,9	6,4	8,8	8,1	3,3	1,7	3,3	5,0	5,1	18,6	8,1
Varazdin	Κροατία	16,2	11,7	7,3	1,8	6,4	9,3	0,4	1,1	9,7	5,5	18,4	12,2
Zadar	Κροατία	17,6	6,0	1,8	3,1	4,9	9,1	0,7	0,7	8,9	7,6	24,5	15,1
Zagreb	Κροατία	14,0	10,7	5,6	1,1	7,3	7,9	0,0	0,6	16,3	6,2	16,3	14,0
Zavizan	Κροατία	20,1	6,5	1,1	0,7	3,8	11,2	0,0	0,2	11,4	12,1	21,4	11,6

Στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκαν οι τύποι κυκλοφορίας που ευνοούν τις ψυχρές θερμοκρασίες και κατά προέκταση τη δημιουργία ψυχρών ακολουθιών. Η μελέτη στηρίχθηκε στη συχνότητα των τύπων κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια ψυχρών ημερών, δηλαδή T_{min5th} , T_{max5th} και $T_{mean5th}$ σε δύο γεωδυναμικά ύψη 500hPa και 1000hPa. Συμπεραίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ψυχρών θερμοκρασιών (T_{min5th} , T_{max5th} και $T_{mean5th}$) συνδέεται με τον κυκλωνικό νοτιοανατολικό τύπο κυκλοφορίας Cse, καθώς οι συχνότητά του είναι υψηλότερη κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών.

6.3 Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας ανά σταθμό πριν την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών

Η παρούσα ενότητα στοχεύει στη μελέτη και διερεύνηση των τύπων κυκλοφορίας που επικρατούν πριν από την έναρξη μιας ψυχρής χειμερινής ακολουθίας. Αυτό αποσκοπεί στο να εξεταστεί αν η ατμόσφαιρα μέσω της κυκλοφορίας προετοιμάζει κατά κάποιο τρόπο την εμφάνιση ψυχρών ακραίων θερμοκρασιών και κατά συνέπεια τη δημιουργία ψυχρών χειμερινών ακολουθιών. Η σημασία της παραπάνω πρότασης έχει μεγάλο ενδιαφέρον για την πρόβλεψη - εκτίμηση αντίστοιχων μελλοντικών συμβάντων.

Για την υλοποίηση των παραπάνω, ανιχνεύτηκαν οι τύποι κυκλοφορίας που επικρατούσαν μια και δύο ημέρες (Day-1, Day-2) πριν από την έναρξη κάθε ψυχρής χειμερινής ακολουθίας, σε κάθε σταθμό ξεχωριστά, για τα 59 χρόνια της υπό μελέτης περιόδου. Έτσι, για κάθε σταθμό μετά τον εντοπισμό των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών (Κεφάλαιο 5) καταγράφηκαν οι Day-1 και Day-2 και μελετήθηκαν οι τύποι κυκλοφορίας που επικρατούσαν εκείνες τις ημερομηνίες στα δύο γεωδυναμικά ύψη 500hPa και 1000hPa.

Στον Πίνακα 11 απεικονίζονται τα ποσοστά των τύπων κυκλοφορίας που επικρατούσαν μια (1) ημέρα (Day-1) πριν από την έναρξη των καταγεγραμμένων ψυχρών ακολουθιών σε γεωδυναμικό ύψος 500hPa. Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι στο 68% των σταθμών (17/25 σταθμούς) ο επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας για Day-1 στα 500hPa είναι ο βορειοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cne. Μάλιστα, σε αρκετούς σταθμούς το ποσοστό που καταλαμβάνει είναι μεγάλο. Για παράδειγμα, στον σταθμό της Rijeka (Κροατία) το 40.7% των περιπτώσεων σχετίζεται με τον

συγκεκριμένο κυκλωνικό τύπο, ενώ ακολουθεί ο σταθμός Split (Κροατία) με ποσοστό 38.6%. Σε μόνο δύο σταθμούς (8%) (Sarajevo και Varazdin) εμφανίζεται ως πρώτος επικρατέστερος τύπος ο Cwsu.

Πίνακας 11: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας για Day-1 στα 500hPa.

Day-1, 500hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Cwsu	Cssu	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	2,1	4,2	0,0	0,0	0,0	6,3	6,3	2,1	12,5	4,2	35,4	27,1
Belgrade	Σερβία	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	3,8	3,8	5,7	17,0	5,7	26,4	35,8
Botosani	Ρουμανία	3,8	3,8	0,0	1,9	0,0	7,5	5,7	3,8	18,9	7,5	18,9	28,3
Bucuresti	Ρουμανία	4,0	6,0	2,0	2,0	0,0	10,0	0,0	4,0	10,0	12,0	28,0	22,0
Buzau	Ρουμανία	2,1	2,1	0,0	0,0	2,1	14,6	4,2	4,2	12,5	4,2	37,5	16,7
Cluj Napoca	Ρουμανία	0,0	1,8	1,8	9,1	0,0	12,7	1,8	3,6	10,9	10,9	21,8	25,5
Craiova	Ρουμανία	1,7	5,2	1,7	6,9	0,0	6,9	0,0	3,4	10,3	8,6	37,9	17,2
Deva	Ρουμανία	2,4	2,4	0,0	2,4	0,0	9,5	0,0	4,8	16,7	14,3	26,2	21,4
Drobeta	Ρουμανία	0,0	3,6	1,8	5,4	0,0	8,9	0,0	1,8	12,5	10,7	33,9	21,4
Galati	Ρουμανία	3,8	3,8	0,0	1,9	0,0	5,8	5,8	1,9	15,4	3,8	26,9	30,8
Gospic	Κροατία	2,0	0,0	0,0	4,1	2,0	16,3	2,0	16,3	18,4	4,1	16,3	18,4
Ljubljana	Σλοβενία	0,0	1,8	0,0	1,8	1,8	10,7	1,8	10,7	12,5	7,1	25,0	28,6
Miercurea	Ρουμανία	6,8	4,5	2,3	13,6	2,3	4,5	0,0	0,0	11,4	9,1	18,2	27,3
Nis	Σερβία	2,2	0,0	2,2	4,4	2,2	6,7	2,2	4,4	17,8	6,7	24,4	26,7
Novi Sad	Σερβία	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	4,1	10,2	24,5	6,1	14,3	26,5
Ogulin	Κροατία	2,1	2,1	0,0	2,1	0,0	8,5	4,3	10,6	21,3	2,1	14,9	31,9
Rijeka	Κροατία	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	11,1	5,6	3,7	11,1	3,7	22,2	40,7
Rosiori de Vede	Ρουμανία	0,0	5,9	0,0	3,9	0,0	11,8	0,0	3,9	7,8	9,8	33,3	23,5
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	4,2	8,2	4,1	8,2	10,2	10,2	0,0	2,0	20,4	6,1	12,2	14,3
Split	Κροατία	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	5,3	12,3	8,8	5,3	19,3	38,6
Thessaloniki	Ελλάδα	1,7	6,7	15,0	20,0	33,3	13,3	0,0	1,7	6,7	15,0	20,0	33,3
Varazdin	Κροατία	0,0	3,3	0,0	1,6	3,3	9,8	4,9	6,6	23,0	6,6	23,0	18,0
Zadar	Κροατία	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7	1,7	6,7	11,7	5,0	21,7	36,7
Zagreb	Κροατία	3,4	1,7	0,0	3,4	1,7	6,9	5,2	5,2	17,2	5,2	22,4	27,6
Zavizan	Κροατία	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	14,5	8,1	11,3	6,5	4,8	21,0	32,3

Στην περίπτωση της Day-1 στα 1000hPa, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 12 στους περισσότερους σταθμούς μια ημέρα πριν την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών επικρατεί ο νοτιοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cse, με ποσοστό 64% (16/25 σταθμούς). Το υπόλοιπο ποσοστό διαμοιράζεται σε περισσότερους τύπους απ' ότι στην προηγούμενη περίπτωση (Day-1, 500hPa). Συγκεκριμένα, 6 σταθμοί (24%) εμφανίζουν ως επικρατέστερο τον αντικυκλωνικό τύπο Anw, 5 σταθμοί (20%) τον κυκλωνικό τύπο C, ενώ ένας μόλις σταθμός (4%) τον κυκλωνικό τύπο Cwsu.

Πίνακας 12: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας για Day-1 στα 1000hPa.

Day-1, 1000hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Cwsu	Cssu	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	12,5	14,6	2,1	4,2	0,0	12,5	0,0	2,1	6,3	4,2	27,1	14,6
Belgrade	Σερβία	15,1	7,5	3,8	1,9	5,7	15,1	0,0	0,0	13,2	11,3	15,1	11,3
Botosani	Ρουμανία	11,3	13,2	0,0	1,9	1,9	15,1	0,0	0,0	7,5	7,5	32,1	9,4
Bucuresti	Ρουμανία	18,0	22,0	2,0	2,0	6,0	8,0	0,0	2,0	2,0	4,0	26,0	8,0
Buzau	Ρουμανία	16,7	18,8	0,0	2,1	2,1	8,3	0,0	2,1	4,2	6,3	27,1	12,5
Cluj Napoca	Ρουμανία	20,0	12,7	3,6	3,6	1,8	9,1	0,0	0,0	10,9	5,5	20,0	12,7
Craiova	Ρουμανία	19,0	17,2	5,2	5,2	5,2	5,2	0,0	0,0	1,7	6,9	25,9	8,6
Deva	Ρουμανία	16,7	16,7	0,0	4,8	2,4	9,5	0,0	0,0	4,8	7,1	28,6	9,5
Drobeta	Ρουμανία	19,6	21,4	5,4	3,6	5,4	5,4	0,0	0,0	1,8	3,6	25,0	8,9
Galati	Ρουμανία	19,2	15,4	1,9	1,9	3,8	15,4	0,0	0,0	9,6	3,8	23,1	5,8
Gospic	Κροατία	20,4	4,1	2,0	4,1	6,1	16,3	2,0	0,0	10,2	4,1	18,4	12,2
Ljubljana	Σλοβενία	19,6	7,1	0,0	0,0	5,4	25,0	0,0	0,0	7,1	8,9	16,1	10,7
Miercurea	Ρουμανία	27,3	25,0	2,3	2,3	2,3	2,3	0,0	0,0	11,4	4,5	11,4	11,4
Nis	Σερβία	20,0	15,6	4,4	0,0	8,9	20,0	0,0	0,0	2,2	4,4	17,8	6,7
Novi Sad	Σερβία	20,4	2,0	0,0	2,0	2,0	20,4	0,0	0,0	16,3	10,2	12,2	14,3
Ogulin	Κροατία	12,8	8,5	0,0	0,0	4,3	17,0	0,0	0,0	21,3	4,3	17,0	14,9
Rijeka	Κροατία	11,1	5,6	0,0	1,9	3,7	9,3	0,0	1,9	9,3	11,1	27,8	18,5
Rosiori de Vede	Ρουμανία	17,6	17,6	2,0	0,0	0,0	5,9	2,0	0,0	7,8	5,9	31,4	9,8
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	10,2	6,1	0,0	14,3	4,1	14,3	0,0	10,2	6,1	4,1	18,4	12,2
Split	Κροατία	10,5	1,8	0,0	1,8	5,3	17,5	1,8	1,8	12,3	8,8	19,3	19,3
Thessaloniki	Ελλάδα	20,0	15,0	3,3	1,7	8,3	8,3	0,0	0,0	3,3	5,0	23,3	11,7
Varazdin	Κροατία	16,4	4,9	0,0	3,3	3,3	18,0	1,6	0,0	13,1	8,2	18,0	13,1
Zadar	Κροατία	11,7	3,3	0,0	1,7	8,3	20,0	0,0	0,0	5,0	10,0	18,3	21,7
Zagreb	Κροατία	13,8	8,6	1,7	0,0	5,2	19,0	1,7	1,7	12,1	3,4	22,4	10,3
Zavizan	Κροατία	8,1	3,2	0,0	0,0	1,6	0,0	11,3	1,6	12,9	6,5	25,8	29,0

Οι δύο παρακάτω Πίνακες 13, 14 παρουσιάζουν τους τύπους κυκλοφορίας που επικρατούν 2 ημέρες πριν την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών στα 500hPa και στα 1000hPa. Όσον αφορά το γεωδυναμικό ύψος 500hPa (Πίνακας 12) για Day-2, στο 76% των σταθμών (19/25 σταθμούς) επικρατούσε το κυκλωνικός τύπος Cne. Ακολουθεί ο κυκλωνικός τύπος Cse, ο οποίος είναι ο πρώτος επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας στο 16% των σταθμών (4/25 σταθμούς) και τέλος ο κυκλωνικός τύπος Cwsw που είναι ο πρώτος επικρατέστερος σε μόλις δύο σταθμούς (8%).

Πίνακας 13: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας για Day-2 στα 500hPa.

Day-2, 500hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Cwsw	Cssw	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	2,1	0,0	0,0	2,1	8,3	0,0	0,0	4,2	14,6	10,4	25,0	33,3
Belgrade	Σερβία	1,9	1,9	1,9	0,0	3,8	5,7	1,9	3,8	17,0	7,5	18,9	35,8
Botosani	Ρουμανία	0,0	1,9	0,0	7,5	5,7	3,8	0,0	5,7	15,1	3,8	22,6	34,0
Bucuresti	Ρουμανία	2,0	2,0	0,0	4,0	4,0	8,0	2,0	0,0	18,0	10,0	24,0	26,0
Buzau	Ρουμανία	2,1	2,1	0,0	4,2	6,3	8,3	0,0	2,1	12,5	6,3	33,3	22,9
Cluj Napoca	Ρουμανία	0,0	1,8	0,0	5,5	0,0	7,3	1,8	1,8	12,7	7,3	27,3	34,5
Craiova	Ρουμανία	5,2	3,4	0,0	8,6	3,4	3,4	3,4	1,7	13,8	6,9	20,7	29,3
Deva	Ρουμανία	0,0	2,4	2,4	4,8	0,0	7,1	2,4	2,4	14,3	7,1	11,9	45,2
Drobeta	Ρουμανία	3,6	3,6	0,0	3,6	3,6	5,4	3,6	3,6	14,3	8,9	19,6	30,4
Galati	Ρουμανία	0,0	3,8	1,9	3,8	5,8	1,9	0,0	7,7	13,5	7,7	23,1	30,8
Gospic	Κροατία	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	8,2	4,1	12,2	16,3	8,2	18,4	26,5
Ljubljana	Σλοβενία	1,8	0,0	0,0	1,8	1,8	5,4	5,4	12,5	14,3	1,8	25,0	30,4
Miercurea	Ρουμανία	2,3	9,1	2,3	4,5	2,3	9,1	0,0	0,0	11,4	4,5	31,8	22,7
Nis	Σερβία	2,2	2,2	0,0	4,4	4,4	4,4	6,7	4,4	11,1	4,4	31,1	24,4
Novi Sad	Σερβία	2,0	2,0	0,0	0,0	6,1	8,2	6,1	8,2	10,2	4,1	14,3	38,8
Ogulin	Κροατία	0,0	0,0	0,0	6,4	2,1	2,1	4,3	6,4	17,0	6,4	23,4	31,9
Rijeka	Κροατία	1,9	0,0	0,0	3,7	5,6	5,6	1,9	1,9	11,1	5,6	27,8	35,2
Rosiori de Vede	Ρουμανία	3,9	2,0	0,0	2,0	2,0	7,8	2,0	0,0	17,6	9,8	19,6	33,3
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	4,1	8,2	8,2	4,1	6,1	8,2	2,0	6,1	16,3	8,2	16,3	12,2
Split	Κροατία	1,8	0,0	0,0	1,8	3,5	8,8	12,3	5,3	3,5	12,3	19,3	31,6
Thessaloniki	Ελλάδα	0,0	3,3	0,0	5,0	0,0	5,0	1,7	1,7	6,7	3,3	21,7	51,7
Varazdin	Κροατία	0,0	1,6	0,0	3,3	3,3	6,6	4,9	6,6	24,6	6,6	19,7	23,0
Zadar	Κροατία	1,7	0,0	0,0	3,3	3,3	8,3	5,0	5,0	11,7	6,7	26,7	28,3
Zagreb	Κροατία	0,0	1,7	0,0	1,7	3,4	1,7	3,4	5,2	22,4	5,2	24,1	31,0
Zavizan	Κροατία	1,6	0,0	0,0	1,6	3,2	11,3	6,5	4,8	3,2	11,3	27,4	29,0

Στον τελευταίο Πίνακα 14 της ενότητας αυτής παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τύπων κυκλοφορίας που επικρατούν στην περίπτωση Day-2 στα 1000hPa. Και σε αυτή την περίπτωση είναι φανερό ότι ο κυκλωνικός τύπος Cse είναι ο πρώτος επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας στους 17 από τους 25 σταθμούς (68%) της μελέτης. Ο δεύτερος επικρατέστερος τύπος κυκλοφορίας διαμοιράζεται ισόποσα σε τρεις τύπους Anw, Csw και Cne. Δηλαδή, τρεις σταθμοί (12%) εμφανίζουν ως πρώτο επικρατέστερο τύπο τον αντικυκλωνικό Anw, τρεις άλλοι τον κυκλωνικό Csw ενώ άλλοι τρεις τον τύπο Cne. Ακόμη να αναφερθεί ότι στον σταθμό Galati δύο είναι οι πρώτοι επικρατέστεροι τύποι κυκλοφορίας. Με ποσοστό 15.4% οι τύποι που φαίνεται να κυριαρχούν δύο ημέρες πριν την έναρξη των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών είναι οι κυκλωνικοί τύποι Cse και C.

Πίνακας 14: Ποσοστά επικράτησης τύπων κυκλοφορίας για Day-2 στα 1000hPa.

Day-2, 1000hPa													
Σταθμός	Χώρα	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Csw	Cssw	Cse	Cne
Bacau	Ρουμανία	22,9	8,3	0,0	0,0	0,0	10,4	0,0	6,3	6,3	8,3	20,8	16,7
Belgrade	Σερβία	13,2	5,7	0,0	3,8	0,0	7,5	0,0	7,5	11,3	7,5	22,6	20,8
Botosani	Ρουμανία	9,4	11,3	0,0	5,7	5,7	9,4	0,0	5,7	13,2	11,3	17,0	11,3
Bucuresti	Ρουμανία	14,0	6,0	0,0	6,0	8,0	10,0	2,0	0,0	10,0	8,0	26,0	10,0
Buzau	Ρουμανία	6,3	6,3	2,1	2,1	8,3	12,5	0,0	4,2	10,4	6,3	33,3	8,3
Cluj Napoca	Ρουμανία	10,9	3,6	1,8	3,6	1,8	16,4	0,0	0,0	12,7	9,1	23,6	16,4
Craiova	Ρουμανία	19,0	6,9	0,0	5,2	6,9	17,2	0,0	0,0	6,9	8,6	25,9	3,4
Deva	Ρουμανία	16,7	4,8	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	14,3	11,9	21,4	16,7
Drobeta	Ρουμανία	14,3	10,7	0,0	3,6	7,1	17,9	0,0	0,0	10,7	5,4	25,0	5,4
Galati	Ρουμανία	9,6	11,5	0,0	5,8	3,8	15,4	1,9	5,8	7,7	13,5	15,4	9,6
Gospic	Κροατία	12,2	6,1	0,0	0,0	8,2	16,3	0,0	4,1	8,2	14,3	12,2	18,4
Ljubljana	Σλοβενία	8,9	3,6	0,0	3,6	3,6	14,3	3,6	3,6	21,4	5,4	19,6	12,5
Miercurea	Ρουμανία	20,5	11,4	4,5	0,0	6,8	9,1	0,0	0,0	18,2	4,5	11,4	13,6
Nis	Σερβία	20,0	11,1	4,4	4,4	4,4	13,3	0,0	2,2	11,1	2,2	15,6	11,1
Novi Sad	Σερβία	18,4	2,0	2,0	0,0	0,0	12,2	0,0	6,1	20,4	10,2	10,2	18,4
Ogulin	Κροατία	10,6	6,4	0,0	2,1	2,1	12,8	2,1	8,5	17,0	8,5	17,0	12,8
Rijeka	Κροατία	7,4	3,7	0,0	3,7	3,7	11,1	1,9	5,6	7,4	9,3	27,8	18,5
Rosiori de Vede	Ρουμανία	15,7	7,8	2,0	2,0	7,8	11,8	0,0	0,0	13,7	5,9	29,4	3,9
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	6,1	6,1	0,0	6,1	10,2	4,1	4,1	8,2	12,2	8,2	20,4	14,3
Split	Κροατία	8,8	1,8	0,0	1,8	7,0	8,8	3,5	7,0	14,0	1,8	21,1	24,6
Thessaloniki	Ελλάδα	16,7	8,3	1,7	0,0	10,0	8,3	1,7	1,7	6,7	11,7	11,7	21,7
Varazdin	Κροατία	11,5	4,9	0,0	3,3	3,3	13,1	0,0	3,3	13,1	6,6	29,5	11,5
Zadar	Κροατία	5,0	1,7	0,0	1,7	8,3	13,3	1,7	5,0	13,3	6,7	25,0	18,3
Zagreb	Κροατία	15,5	0,0	1,7	1,7	3,4	13,8	0,0	1,7	13,8	12,1	19,0	17,2
Zavizan	Κροατία	8,1	1,6	0,0	1,6	4,8	17,7	4,8	9,7	8,1	8,1	21,0	14,5

6.3 Συνοπτική Ανάλυση

Α. Για τη συνοπτική ανάλυση της μελέτης εξετάστηκαν οι ανωμαλίες των γεωδυναμικών υψών των δύο πρώτων επικρατέστερων τύπων κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια των ψυχρών ακολουθιών στα ύψη 500hPa και 1000hPa. Ουσιαστικά, αυτό που έγινε στην παρούσα παράγραφο ήταν να μελετηθούν οι ανωμαλίες (500hPa και 1000 hPa) των δύο πρώτων επικρατέστερων τύπων κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών (χάρτης ακραίων, στήλη β) και να συγκριθούν με τις ανωμαλίες στη μέση κατάσταση (μέσος χάρτης, στήλη α) των τύπων αυτών (για όλους τους σταθμούς και για όλες τις μεταβλητές) (1961-2019). Από τη διαφορά των δύο προαναφερθέντων χαρτών (μέσος χάρτης και χάρτης ακραίων) διεξάχθηκαν και απεικονίστηκαν οι διαφορές των γεωδυναμικών υψών των ψυχρών ημερών (χάρτης διαφορών, στήλη γ). Ωστόσο, λόγω του μεγάλου όγκου των αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα μόνο από δύο σταθμούς και μόνο για το γεωδυναμικό ύψος των 500hPa. Επειδή όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως χρησιμοποιήθηκαν δύο ημερολόγια τύπων κυκλοφορίας, ένα με κέντρο την περιοχή της Θεσσαλονίκης και ένα με τους υπόλοιπους σταθμούς (Anagnostopoulou et. al 2009), για τον λόγο αυτόν επιλέχθηκε να παρουσιαστεί ένας σταθμός από κάθε ημερολόγιο, δηλαδή ο σταθμός Thessaloniki (Ελλάδα) και ο σταθμός Sarajevo (Βοσνία και Ερζεγοβίνη).

Στα παρακάτω Σχήματα 11 και 12 απεικονίζονται τα αποτελέσματα για τον επικρατέστερο τύπο στην πλειοψηφία των σταθμών, δηλαδή τον νοτιοανατολικό κυκλωνικό τύπο Cse. Το κυκλωνικό του κέντρο στη μέση συνοπτική κατάσταση (στήλη α) βρίσκεται νοτιοανατολικά της Ελλάδας και νότια της ανατολικής Μεσογείου. Κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών (στήλη β) (σε όλους τους σταθμούς και σε όλες τις μεταβλητές) το κυκλωνικό κέντρο είναι πολύ ισχυρό και οι διαφορές τους πολύ έντονες (στήλη γ). Οι διαφορές που προέκυψαν σε σχέση με τη μέση κατάσταση του τύπου παρουσιάζουν τη μορφή διπόλου. Ένα θετικό κέντρο διαφορών στα βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης και ένα αρνητικό κέντρο διαφορών στα νοτιοανατολικά της βαλκανικής χερσονήσου.

Sarajevo (Βοσνία και Ερζεγοβίνη)

α Α.Π.Θ

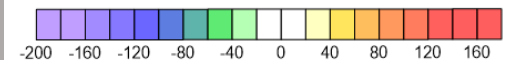
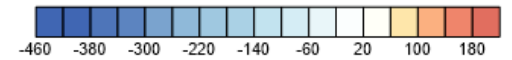
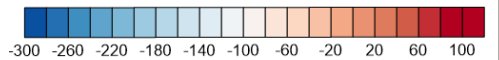
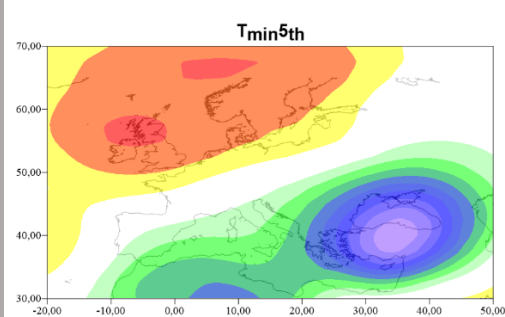
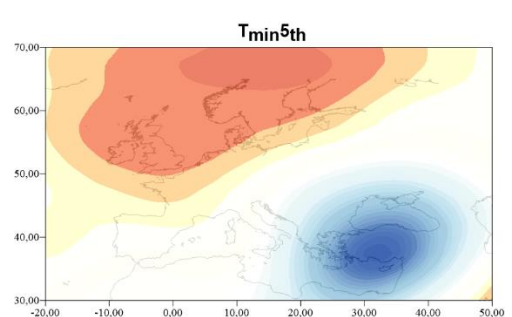
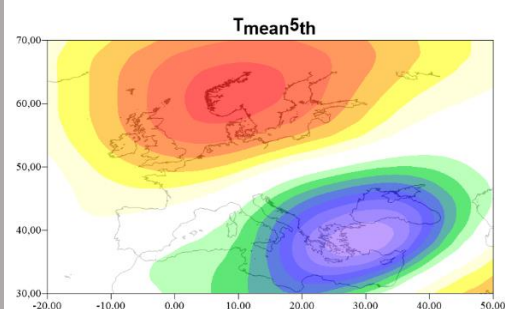
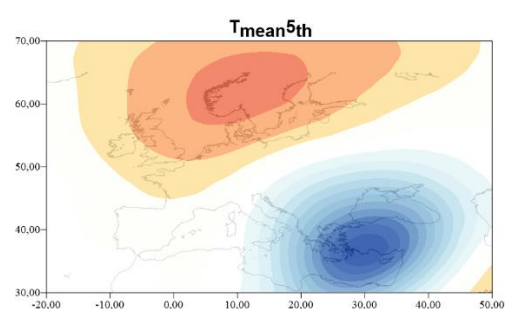
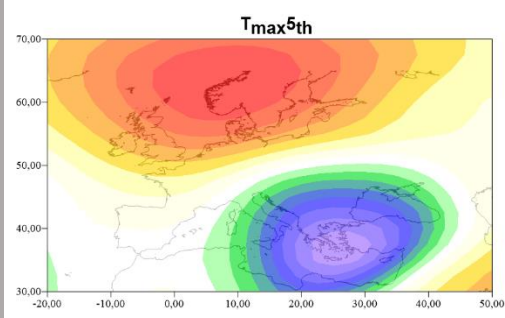
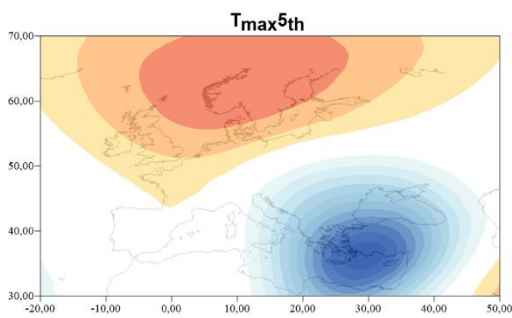
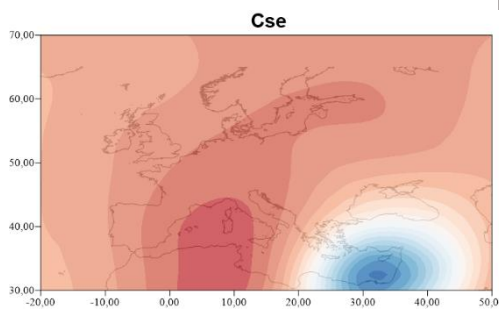
β

γ

Μέσος χάρτης
500hPa

Χάρτης ακραίων
500hPa

Χάρτης διαφορών
500hPa



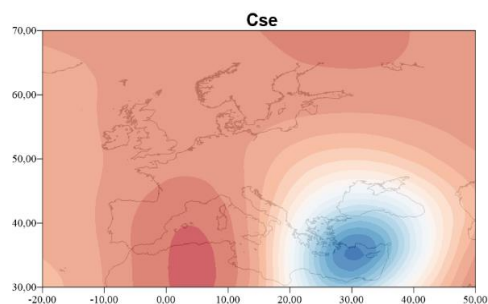
Σχήμα 11: Sarajevo

Στη στήλη α απεικονίζονται οι ανωμαλίες του τύπου Cse στη μέση κατάσταση (1961-2019) στα 500hPa (Μέσος χάρτης). Στη στήλη β απεικονίζονται οι ανωμαλίες του τύπου Cse κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών (Χάρτης ακραίων). Στη στήλη γ απεικονίζονται οι διαφορές των δύο προηγούμενων χαρτών στα 500hPa (Χάρτης διαφορών). Στην στήλη β και γ ανά σειρά απεικονίζονται οι μεταβλητές T_{max5th} , $T_{mean5th}$, T_{min5th}

Thessaloniki (Ελλάδα)

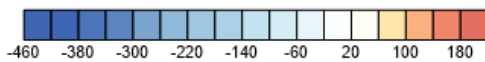
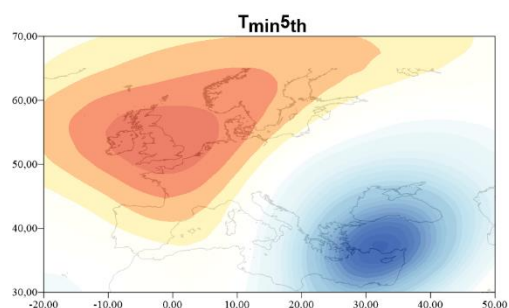
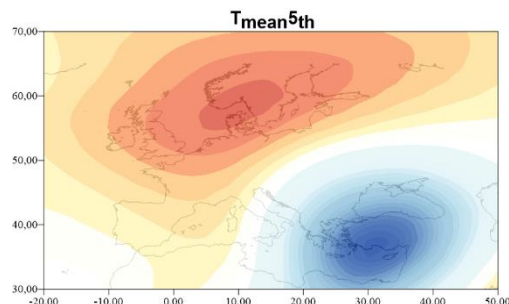
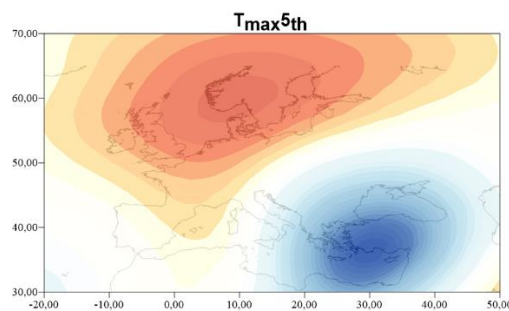
α

Μέσος χάρτης
500hPa



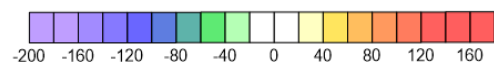
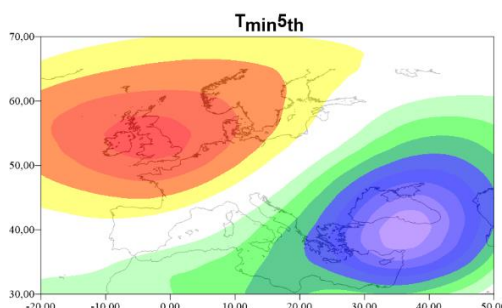
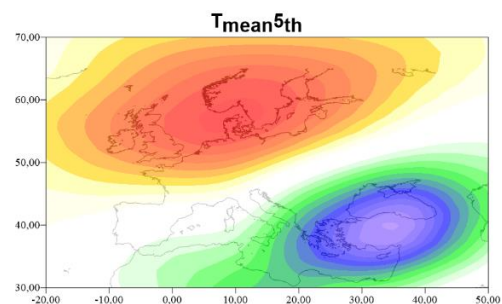
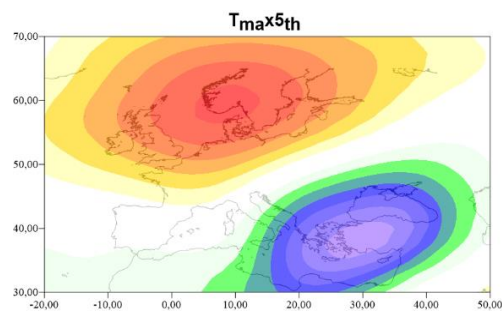
β

Χάρτης ακραίων
500hPa



γ

Χάρτης διαφορών
500hPa



Σχήμα 12: Thessaloniki

Στη στήλη α απεικονίζονται οι ανωμαλίες του τύπου Cse στη μέση κατάσταση (1961-2019) στα 500hPa (Μέσος χάρτης). Στη στήλη β απεικονίζονται οι ανωμαλίες του τύπου Cse κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών (Χάρτης ακραίων). Στη στήλη γ απεικονίζονται οι διαφορές των δύο προηγούμενων χαρτών στα 500hPa (Χάρτης διαφορών). Στην στήλη β και γ ανά σειρά απεικονίζονται οι μεταβλητές T_{max5th} , $T_{mean5th}$, T_{min5th} .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα στατιστικά και δυναμικά χαρακτηριστικά των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών 25 βαλκανικών σταθμών μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, με σκοπό να κατανοηθεί η χωροχρονική μεταβλητότητά τους καθώς και τα δυναμικά –συνοπτικά τους αίτια. Ο στόχος ήταν να προσδιοριστούν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που συμβάλουν στην εμφάνιση των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών, με απώτερο σκοπό τον εντοπισμό τύπων κυκλοφορίας οι οποίοι ευνοούν την δημιουργία τους.

- Από την κλιματολογική ανάλυση των 59 χρόνων της υπό μελέτης περιόδου αρχικά έγιναν γνωστά τα γενικά χαρακτηριστικά του κλίματος του κάθε σταθμού. Όπως ήταν αναμενόμενο οι υψηλότερες θερμοκρασίες του έτους σημειώνονται στα μέσα του καλοκαιριού (Ιούλιος), ενώ οι μικρότερες στα μέσα του χειμώνα (Ιανουάριος). Σχετικά με την γεωγραφική της κατανομή οι βορειότεροι σταθμοί κατέγραψαν τις ελάχιστες θερμοκρασίες ενώ σταδιακή αύξηση παρατηρείται από τους κεντρικούς προς τους παραθαλάσσιους και νότιους σταθμούς της χερσονήσου. Πιο συγκεκριμένα ο βόρειος σταθμός Miercurea της Ρουμανίας κατέγραψε τις πιο ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες απ' όλους τους σταθμούς με τιμές Ελ.Τ_{max}: -20.6°C, Ελ.Τ_{min}: -38.4°C και Ελ.Τ_{mean}: -29.3°C. Αντίθετα, ο παραθαλάσσιος σταθμός Zadar στα δυτικά της βαλκανικής χερσονήσου κατέγραψε την λιγότερο ακραία μέγιστη και μέση θερμοκρασία με τιμή Ελ.Τ_{max}: -3.4°C και Ελ.Τ_{mean}: -6.3°C, ενώ επίσης ο παραθαλάσσιος σταθμός Split τη λιγότερο ακραία ελάχιστη με τιμή Ελ.Τ_{min}: -9.0°C. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία στη μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας από τα βόρεια προς τα νότια συμβάλει κατά ένα μεγάλο βαθμό η παρουσία της Μεσογείου θάλασσας, η οποία λειτουργεί ευεργετικά στο κλίμα και οι χειμώνες είναι πιο ήπιοι στις παραθαλάσσιες περιοχές (Joshi et al. 2008, Hylke de Vries et al. 2012).
- Η διαχρονική ανάλυση των ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών και των τριών μεταβλητών (Ελ.Τ_{max}, Ελ.Τ_{min}, Ελ.Τ_{mean}) ανέδειξε ότι το ψυχρό έτος 1962-1963 και συγκεκριμένα τον μήνα Ιανουάριο καταγράφηκαν οι πιο ψυχρές θερμοκρασίες σχεδόν στο σύνολο των σταθμών. Σχετικά με την τάση των ψυχρών άκρων παρατηρήθηκε μια αυξητική τάση. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι ελάχιστες θερμοκρασίες με το πέρας των χρόνων γίνονται λιγότερο ακραίες. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν πλήρως με την

βιβλιογραφία. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν σε παγκόσμια κλίμακα (Easterling et al. 1997, Heino et al. 1999) αποκάλυψαν αντίστοιχα αποτελέσματα, δηλαδή αυξητικές τάσεις της θερμοκρασίας κυρίως λόγω της αύξησης των ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών. Εστιάζοντας στη νοτιοανατολική Ευρώπη και συγκεκριμένα στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο οι Efthymiadis et al. (2011) έδειξαν ότι σε ετήσια βάση οι ελάχιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα σημειώνουν μεγαλύτερη αύξηση απ' ό,τι οι μέγιστες θερμοκρασίες. Σε μικρότερη κλίμακα και συγκεκριμένα για τις τάσεις της θερμοκρασίας στη Σερβία (Unkašević and Tošić 2013) έρευνες έδειξαν ότι οι ακραίες τιμές της θερμοκρασίας στο Βελιγράδι αυξήθηκαν, σημειώνοντας ότι το κλίμα της Σερβίας τείνει γενικά να γίνει πιο ζεστό στο μέλλον. Στην παρούσα μελέτη οι σταθμοί της Σερβίας (Belgrade, Nis και Novi Sad) παρουσιάζουν εξίσου αυξητική τάση στις ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες, με τον σταθμό του Nis να σημειώνει τη μικρότερη συγκριτικά με τους άλλους δύο σταθμούς.

- Στην παρούσα εργασία ο σταθμός με τον μεγαλύτερο μέσο όρο ημερών με μερικό παγετό ($T_{\min} \leq 0$) ανά έτος είναι αυτός της Miercurea (Ρουμανία) με 135 ημέρες/έτος, ενώ με τον μικρότερο ο σταθμός του Split (Κροατία) με 7 ημέρες/έτος. Από την άλλη ο σταθμός με τον μεγαλύτερο μέσο όρο ημερών με ολικό παγετό ($T_{\max} < 0$) ανά έτος είναι αυτός του Zavizan (Κροατία) με 63 ημέρες/έτος, ενώ με καμία ημέρα ολικού παγετού εμφανίζονται οι σταθμοί του Split και του Zadar (Κροατία). Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν σχετικά με τον αριθμό ημερών παγετού σε παγκόσμιο επίπεδο (Karl et al. 1999) αλλά και σε περιοχές της ανατολικής Μεσογείου (Kostopoulou and Jones 2005) παρουσίασαν σημαντικές αυξητικές τάσεις στις ημέρες παγετού σε ετήσια κλίμακα. Αντίθετα οι Unkašević and Tošić (2013) στη μελέτη τους για την περιοχή της Σερβίας ανέδειξαν αρνητικές τάσεις στον αριθμό των ημερών παγετού κατά τη διάρκεια του χειμώνα.
- Η συχνότητα εμφανίσεων των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών ανά έτος κυμαίνεται από 0 έως 8 ψυχρές ακολουθίες/έτος. Ο σταθμός του Zagreb (Κροατία) ήταν αυτός που δέχτηκε 8 ψυχρές ακολουθίες κατά τη διάρκεια του ψυχρού έτους 1996-1997. Η μεγαλύτερη σε διάρκεια ψυχρή χειμερινή ακολουθία καταγράφηκε στον σταθμό του Belgrade (Σερβία) με 24 ημέρες

ψυχρών θερμοκρασιών από τις 12/1/1963 έως τις 4/2/1963. Κατά τη διάρκεια αυτής της μεγάλης ψυχρής ακολουθίας ο σταθμός του Belgrade κατέγραψε τις πιο ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες του. Είναι φανερό ότι η συχνότητα εμφάνισης των ψυχρών ακολουθιών γίνεται όλο και μικρότερη με το πέρασμα των χρόνων, χωρίς όμως να παρουσιάζεται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή στη διάρκεια αυτών. Οι Russo and Sterl (2011) στη δική τους μελέτη για τις μελλοντικές ψυχρές ακολουθίες έδειξαν ότι όντως η συχνότητά τους θα μειωθεί με το πέρασμα του χρόνου αλλά συγχρόνως θα μειωθεί και η μέση διάρκεια τους. Αντίστοιχα, αποτελέσματα άλλων ερευνητών που έχουν ασχοληθεί με το ζήτημα των ψυχρών ακολουθιών συνάδουν με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Συγκεκριμένα κάποιοι από αυτούς αναφέρουν ότι οι ψυχρές ακολουθίες αναμένεται να μειωθούν κυρίως ως αποτέλεσμα της μέσης ετήσιας αύξησης της θερμοκρασίας (Ballester et al. 2009) αλλά θα μπορούσαν να είναι τόσο σοβαρές όσο και οι σημερινές (Vavrus et al. 2006, Kodra et al. 2011, Xoplaki et al. 2016).

- Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία μεγάλης κλίμακας είναι ένας από τους βασικούς και καθοριστικούς παράγοντες του κλίματος και της μεταβλητότητάς του (Plavcová και Kysely, 2015). Προηγούμενες έρευνες αναφέρουν ότι οι ακραίες θερμοκρασίες (τόσο υψηλές όσο και χαμηλές) προκαλούνται από τη διακοπή της επικρατούσας δυτικής ροής και τη δημιουργία συνθηκών αποκλεισμού (Sillmann et al. 20011, Schneidereit et al. 2012). Όσον αφορά την εμφάνιση ψυχρών ακολουθιών ο Kysely (2008) αναφέρει ότι σχετίζονται με μοτίβα κυκλοφορίας που επηρεάζουν μια περιοχή για μια μακρά χρονική περίοδο και προκαλούν θετικές ή αρνητικές ανωμαλίες στην θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα. Στην παρούσα εργασία τα αποτελέσματα της αυτόματης κατάταξης (Anagnostopoulou et al. 2009) έδειξαν ότι ο τύπος κυκλοφορίας που επικρατεί κατά **τη διάρκεια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών** και στα δύο γεωδυναμικά ύψη είναι ο νοτιοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cse και δεύτερος ο βορειοανατολικός κυκλωνικός τύπος Cne. Αντίθετα οι Plavcová and Kysely (2015) στην δική τους μελέτη έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμερινών ακολουθιών η συχνότητα εμφάνισης των αντικυκλωνικών τύπων αυξάνεται, ενώ οι δυτικοί τύποι δεν ευνοούν καθόλου τις ψυχρές ακολουθίες. Ίδια αποτελέσματα διεξάχθηκαν και από την μετέπειτα ερευνά τους (Plavcová and Kysely 2019).

- Αντίστοιχα, τα ημερολόγια αυτόματης κατάταξης (Anagnostopoulou et al. 2009) χρησιμοποιήθηκαν και για τη διερεύνηση των τύπων που επικρατούν μια και δύο ημέρες πριν από την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών, δηλαδή για τους τύπους κυκλοφορίας που ευνοούν την έναρξή τους. **Η έναρξη ψυχρών ακολουθιών** φαίνεται ότι ευνοείται από την επικράτηση του νοτιοανατολικού κυκλωνικού τύπου Cse στα 500hPa και στα 1000hPa, 1 ημέρα πριν την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών, ενώ με την επικράτηση του βορειοανατολικού κυκλωνικού τύπου Cne, 2 ημέρες πριν την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών τόσο στα 500hPa όσο και στα 1000hPa. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν εν μέρη με αυτά των Plavcová and Kyselý (2015, 2019), οι οποίοι απέδειξαν ότι μόνο οι βόρειοι και ανατολικοί κυκλωνικοί τύποι ευνοούν την έναρξη των ψυχρών ακολουθιών.
- Η παρούσα μελέτη ολοκληρώθηκε με την συνοπτική ανάλυση μελετώντας τις ανωμαλίες των δύο γεωδυναμικών υψών για τους δύο πρώτους επικρατέστερους τύπους κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια των ψυχρών ημερών. Συμπεραίνεται ότι τις ημέρες με ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες οι διαφορές που προέκυψαν σε σχέση με τη μέση κατάσταση του τύπου παρουσιάζουν τη μορφή διπόλου, με το θετικό κέντρο των διαφορών στα βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης και το αρνητικό κέντρο των διαφορών στα νοτιοανατολικά της βαλκανικής χερσονήσου.

Υπάρχουν σχετικά λίγες μελέτες που επικεντρώνονται στην σύνδεση των ψυχρών ακολουθιών με τους τύπους κυκλοφορίας. Αυτή σύνδεση μελετήθηκε στην παρούσα εργασία. Από τα παραπάνω συμπεράσματα φαίνεται ότι η ατμοσφαιρική κυκλοφορία προετοιμάζει κατά κάποιον τρόπο την εμφάνιση ψυχρών ακολουθιών. Αποδείχθηκε ότι υπάρχουν συγκεκριμένοι τύποι που σχετίζονται με την έναρξή τους αλλά και με την διάρκειά τους. Τα συμπεράσματα αυτά μπορούν αξιοποιηθούν στο μέλλον και να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση αντίστοιχων ψυχρών γεγονότων.

~Ζήσε την κάθε μέρα σου σαν να πρόκειται να βρέξει~

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Lazoglou, G., Maheras, P., 2017. The Exceptionally Cold January of 2017 over the Balkan Peninsula: A Climatological and Synoptic Analysis. *Atmosphere*, 8, 252, doi:10.3390/atmos8120252.
- Balafoutis, C. J. and A. Arseni-Papadimitriou., 2002. Lengths of very warm and very cold spells at Southern Balkans. Scientific activities of professor Wladyslaw Gorczynski and their continuation. *Climatological Symposium in Nicholas Copernicus University, Torun*, 155-162.
- Ballester, J., Douville, H., Chauvin, F., 2009a. Present-day climatology and projected changes of warm and cold days in the CNRM-CM3 global climate model. *Climate Dynamics*, 32, 35–54.
- Beniston, M. and Stephenson, D. B., 2004. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Glob Planet Change*, 44, 1–9.
- Brown, S. J., Caesar, J., Ferro, A. T., 2008. Global changes in daily extreme temperatures since 1950. *Journal of Geophysical Research*, 113, D05115, doi.org/10.1029/2006JD008091.
- Christidis, N., Stott, P., Brown, S., Hegerl, G., Caesar, J., 2005. Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters*, 32, 20, doi: 10.1029/2005GL023885.
- Dash, S. K. and Mamgain, A., 2011. Changes in the Frequency of Different Categories of Temperature Extremes in India. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50, 1842–1858, doi: 10.1175/2011JAMC2687.1.
- Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., Likso, T., 2003. Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large scale circulation. *International Journal of Climatology*, 23, 987-1010, doi.org/10.1002/joc.929.
- Easterling, D. R., Evans. J. L., Ya, P., Groisman et al., 2000. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. *Bull American Meteorological Society* 81, 3, 417-426, doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<0417:OVATIE>2.3.CO;2.
- Efthymiadis, D., Goodness, C. M., Jones, P. D. 2011. Trends in Mediterranean girded temperature extremes and large-scale circulation influences. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2199-2214.
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank AMG., Peterson, T., 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 3, 193–212, doi: 10.3354/cr019193.
- Hylke de Vries., Haarasma, R. J., Hazeleger, W., 2012. Western European cold spells in current and future climate. *Geophysical Research Letters*, 39, 4, doi.org/10.1029/2011GL050665.

Jones, P.D., Horton, E.B., Folland, C.K., et al., 1999. The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climate Dynamics*, 42, 131-149.

Joshi, M.M., Gregory, J. M., Webb. M.J., Sexton. D.M.H., Johns. T.C., 2008. Mechanisms for the land/sea warming contrast exhibited by simulations of climate change. *Climate Dynamics*. 30, 455-465, doi: 10.1007/s00382-007-0306-1.

Karapiperis, L. 1953. On the spells of cold weather over the East Mediterranean during the autumn. *Climate Research*, 4, 420–430.

Kassomenos, P., Flocas, H. A., Lycoudis, S., Petrakis, M., 1998. Analysis of mesoscale patterns in relation to synoptic conditions over the Urban Mediterranean Basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 59, 215-229.

Klein Tank, AMG., Zwiers, F. W., Zhang, X., 2009. Climate Data and Monitoring: Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WCDMP-No. 72, WMO-TD No. 1500.

Kodra. E., Steinhäuser. K., Ganguly. A. R., 2011. Persisting cold extremes under 21st-century warming scenarios. *Geophysical Research Letters*, 38, L08705, doi:10.1029/2011GL047103.

Kostopoulou, E. and Jones, P. D., 2005. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85, doi: 10.1007/s00703-005-0122-2.

Kodra, E., Steinhäuser. K., Ganguly, A. R., 2011. Persisting cold extremes under 21st-century warming scenarios. *Geophysical Research Letter*, 38, L08705, doi:10.1029/2011GL047103.

Kysely, J., 2008. Influence of the persistence of circulation patterns on warm and cold temperature anomalies in Europe: analysis over the 20th century. *Global and Planetary Change*, 62, 1-2, 147–163, doi:10.1016/j.gloplacha.2008.01.003.

Maheras, P., 1988a. The synoptic Weather Types and Objective Delimitation on the Winter Period in Greece Weather. 43, 40-45.

Maheras, P., 1988b, Changes in precipitation conditions in the western Mediterranean over the last century. *Journal of Climatology*, 8, 179-189.

Maheras, P., 1989. Delimitation of the Summer-Dry period in Greece According to the Frequency of Weather-Types. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 171-176

Maheras, P., Patrikas, J., Karakostas, T., Anagnostopoulou, C., 2000a. Automatic classification of circulation types in Greece: Methodology, Frequency, Variability and Trend Analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 67, 205-223, 10.1007/s007040070010.

Maheras, P., Anagnostopoulou, C., 2003. Circulation types and their influence on the interannual variability and precipitation changes in Greece. Springer, Berlin, 215–239.

Maheras, P., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Vafiadis, M., Patrikas, I., Flocas, H. A., 2004. On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece. *International Journal of Climatology*, 24, 1695–1712.

Maheras, P., Flocas, H., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Vafiadis, M., 2006. Circulation types and extreme temperature changes in Greece. *Climate Research*, 30, 161–174.

McGregor, G. R., Ferro, C. A., Stephenson, D. B., 2005. Projected changes in extreme weather and climate events in Europe. *Extreme Weather Climate Events Public Health Responses*, Part 1, 13–23, doi:10.1007/3-540-28862-7_2

McMichael, A. J., Campbell-Lendrum, D. H., Corvalan, C. F., Ebi KL, Githelo, A., Scheraga, J. D., Woodward, A., 2003. Climate change and human health: risks and responses. *World Health Organ*, Geneva.

Michaelides, S.C., Savvidou, K., Nicolaides, K.A., Orphanou, A., Photiou, G., Kannaourous, C., 2008. Synoptic, thermodynamic and agro-economic aspects of severe hail events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 461-471.

Michailidou, C., Maheras, P., Arseni-Papadimitriou, A., Kolyva-Machera, F., Anagnostopoulou, Chr., 2009. A study of the weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, Part I: Two step Cluster Analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 163-177, doi: 10.1007/s00704-008-0057-x.

Michailidou, C., Maheras, P., Arseni-Papadimitriou, A., Kolyva-Machera, F., Anagnostopoulou, Chr., 2009. A study of the weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, Part II: Discriminant Analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 97: 179-194, doi: 10.1007/s00704-008-0058-9.

Moberg, A., Jones, P. D., Lister, D et al., 2006. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000. *Journal of Geophysical Research*, 111, D22, doi:10.1029/2006JD007103.

Pappas, C., Hatzianastassiou, N., Katsoulis, B. D., 2004. Analysis of cold spells in the Greek region. *Climate Research*, 27, 211-223.

Parker, D. E., 1994. Effects of changing exposure of thermometers at land stations. *International Journal of Climatology*. 14, 1.

Plavcová, E. and Kyselý, J., 2015. Overly persistent circulation in climate models contributes to overestimated frequency and duration of heat waves and cold spells. *Springer*, 46, 2805-2820, doi.org/10.1007/s00382-015-2733-8

Plavcová, E. and Kyselý, J., 2019. Temporal Characteristics of Heat Waves and Cold Spells and Their Links to Atmospheric Circulation in EURO-CORDEX RCMs. *Hindwai*, doi.org/10.1155/2019/2178321.

Peel, M. C., Finalayson, B. L., McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.

Peterson, T. C., Zhang, X., Brunet-India, M., Vázquez-Aguirre, J. L., 2008. Changes in North American extremes derived from daily weather data. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 113, D07113, doi:10.1029 / 2007JD009453.

Ramos, A. M., Trigo, R. M., Santo, F. E., 2011. Evolution of extreme temperatures over Portugal: recent changes and future scenarios. *Climate Research*, 48, 177–192, doi:10.3354/cr00934.

Russo, S. and Sterl, A., 2011. Global changes in indices describing moderate temperature extremes from the daily output of a climate model, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 116, doi:10.1029/2010JD014727.

Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B., Zhai, P., 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (eds) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Unkašević, M. and Tošić, I., 2013. Trends in temperature indices over Serbia: relationships to large-scale circulation patterns. *International Journal of Climatology*, 33, 3152-3161, doi.org/10.1002/joc.3652.

Yiou, P. and Nogaj, M., 2004. Extreme climatic events and weather regimes over the North Atlantic: when and where? *Geophysical Research Letters*, 31, L07202, doi:10.1029/2003GL019119.

Vavrus, S. J., Walsh, J. E., Chapman, W. L., Portis, D., 2006. The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. *International Journal of Climatology*, 26, 1133–1147, doi.org/10.1002/joc.1301.

Vuković, A., Mandić, M. V., 2018. Study on climate change in the Western Balkans region. Regional Cooperation Council Secretariat, ISBN: 978-9926-402-09-9.

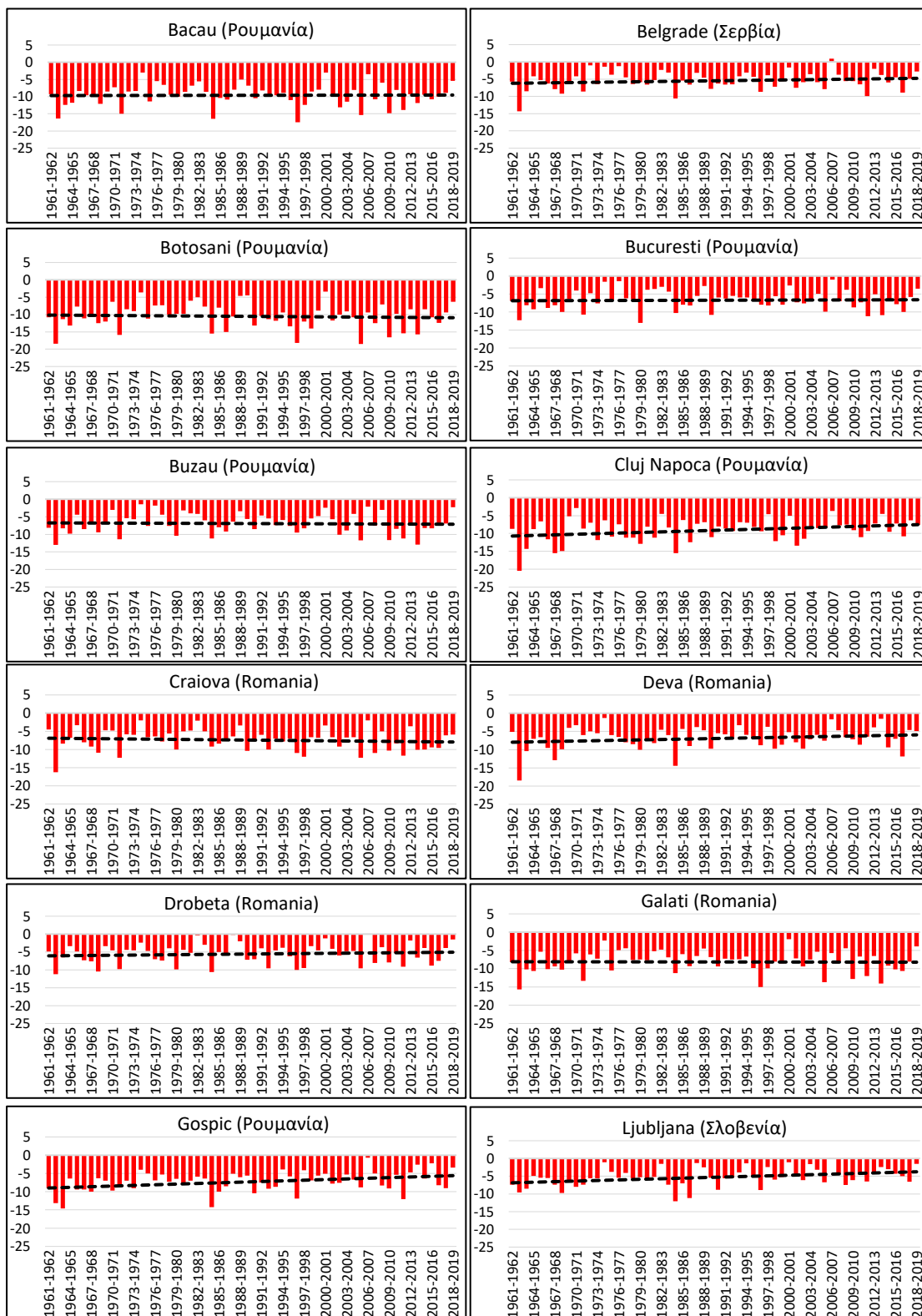
Διαδικτυακές Πηγές

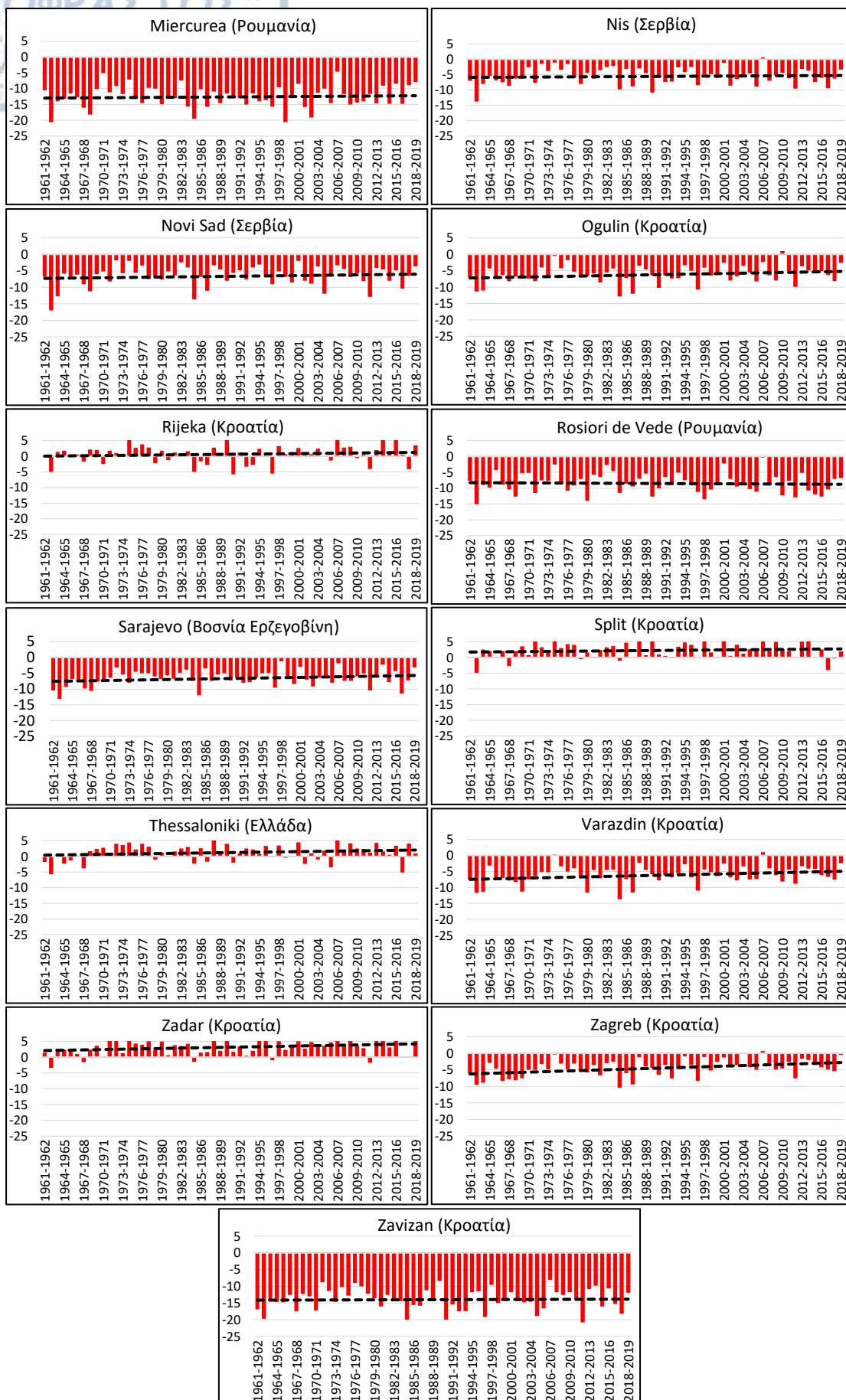
World Meteorological Organization (WMO), <https://public.wmo.int/en> (ανακτήθηκε την 24-06-2020).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

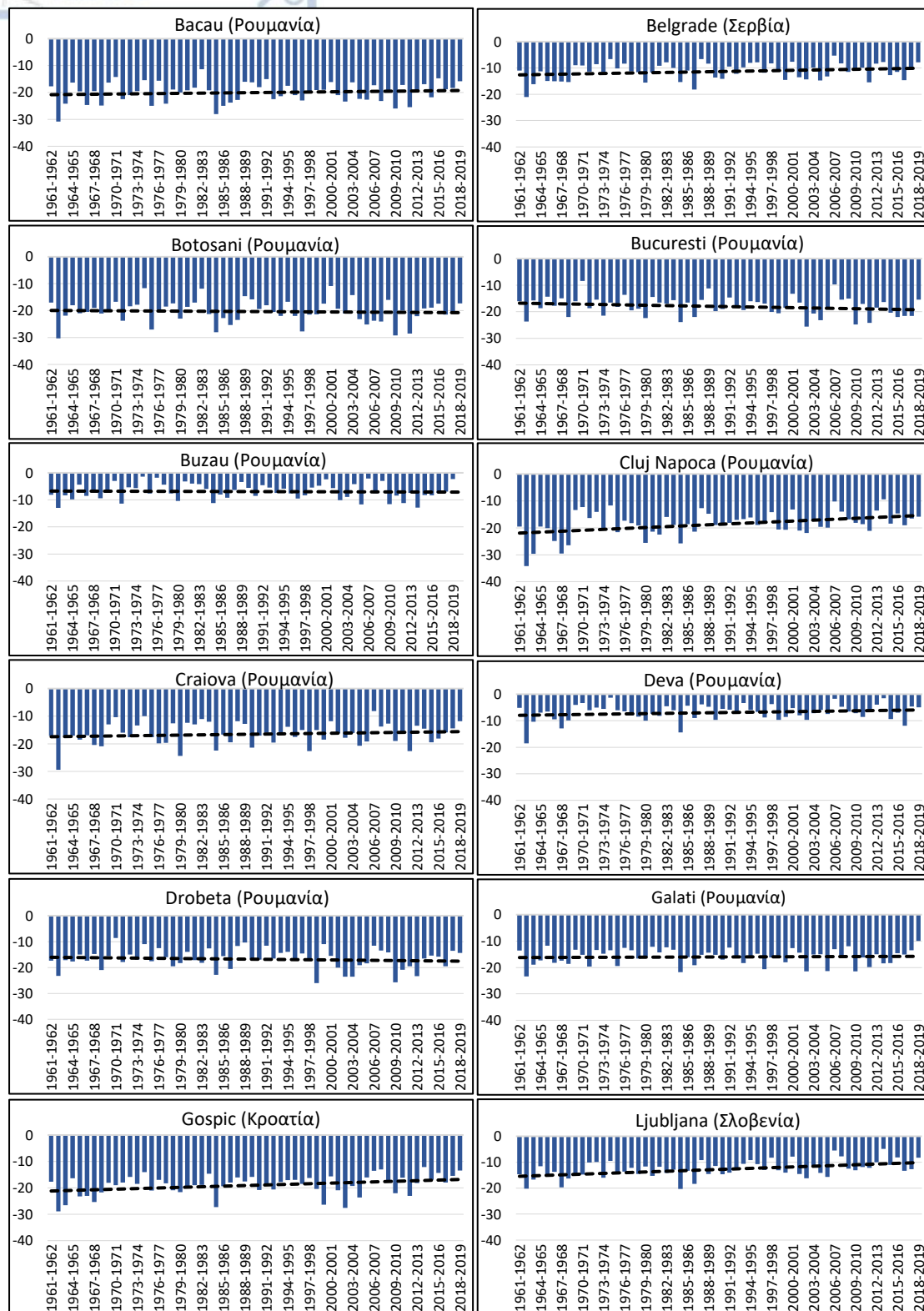
1. Διαχρονική μεταβλητότητα των ακραίων τιμών της θερμοκρασίας

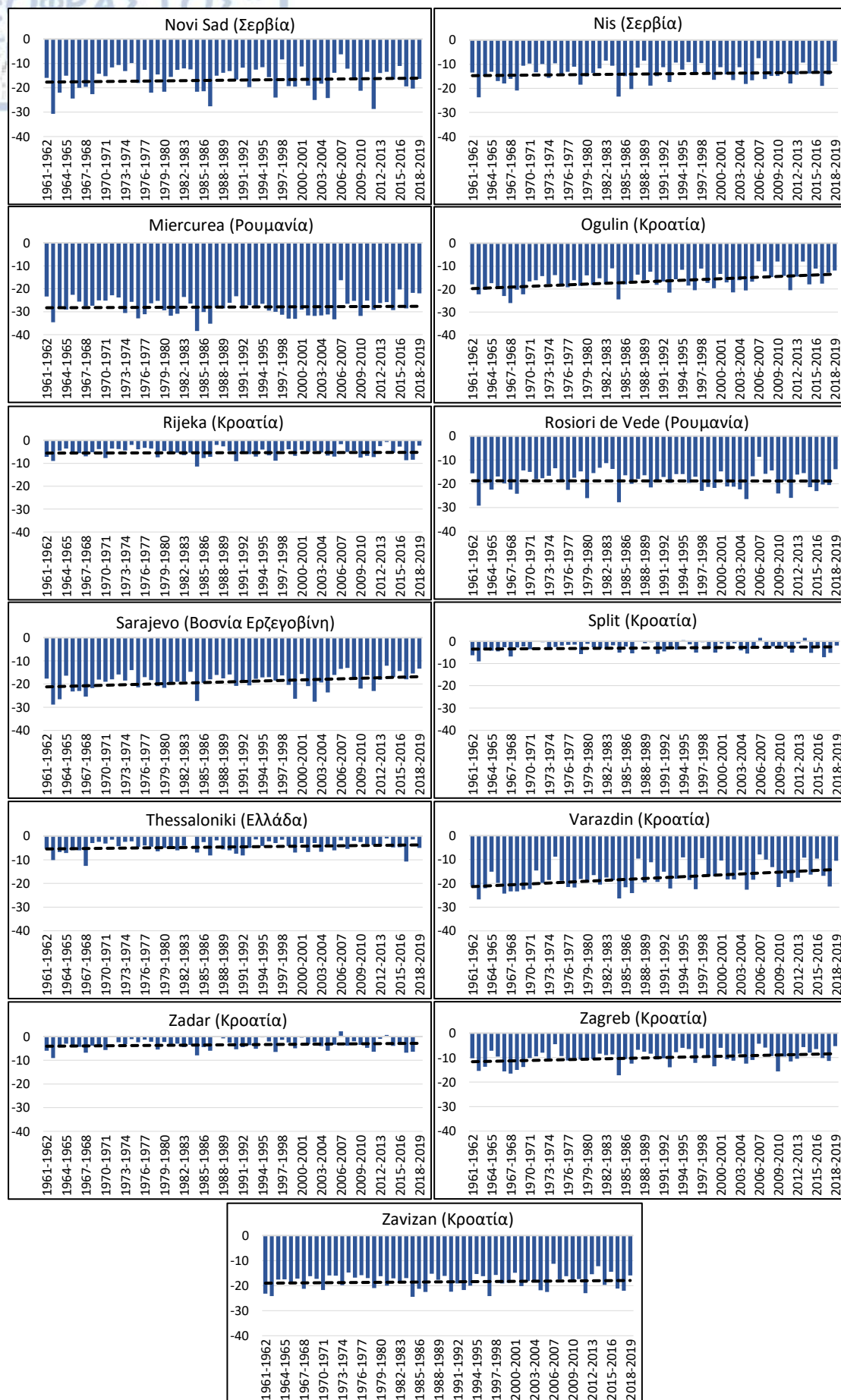
α) Ακραίες ελάχιστες μέγιστες χειμερινές θερμοκρασίες (Ελ.Τ_{max}) ανά έτος / ανά σταθμό (1961-2019)



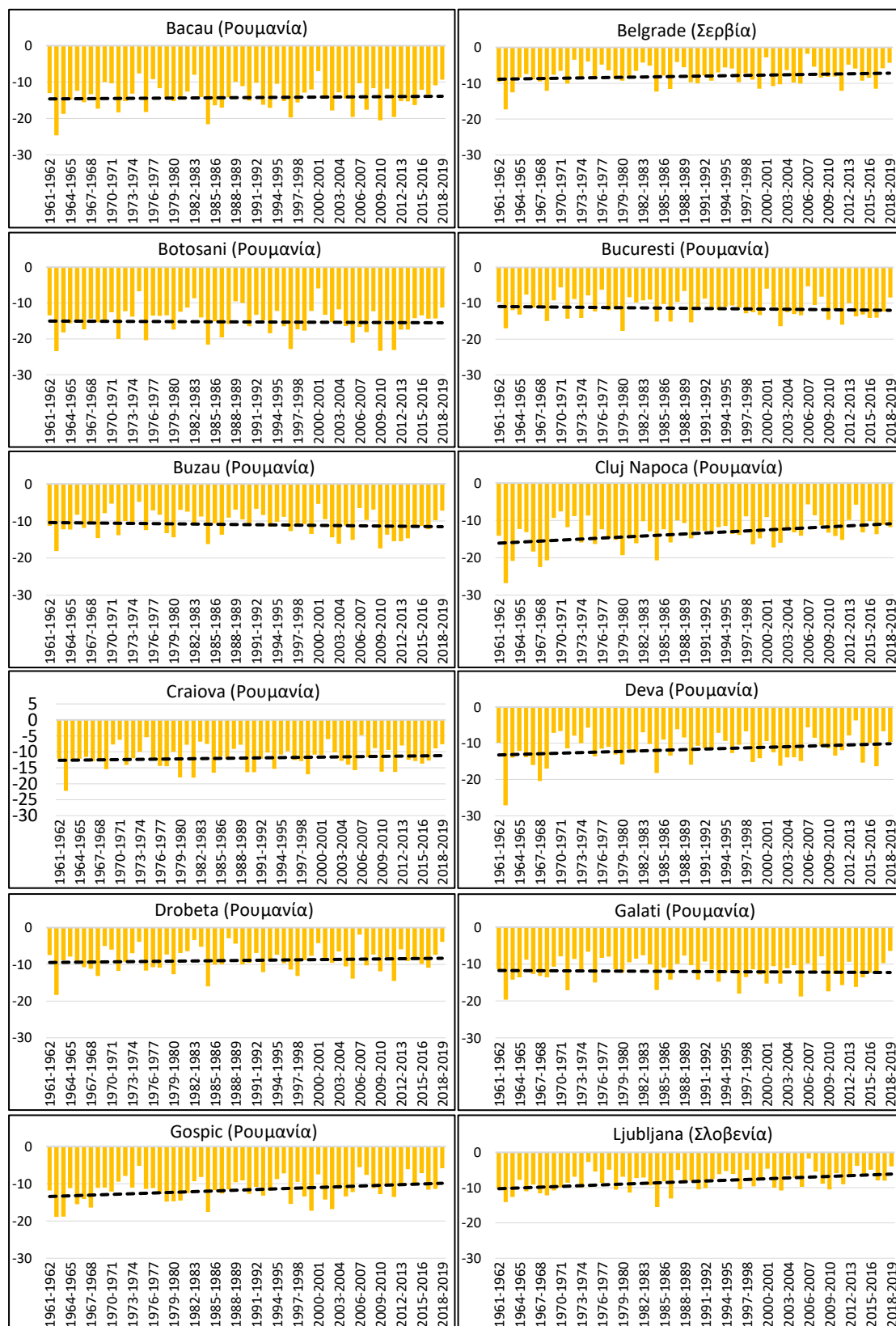


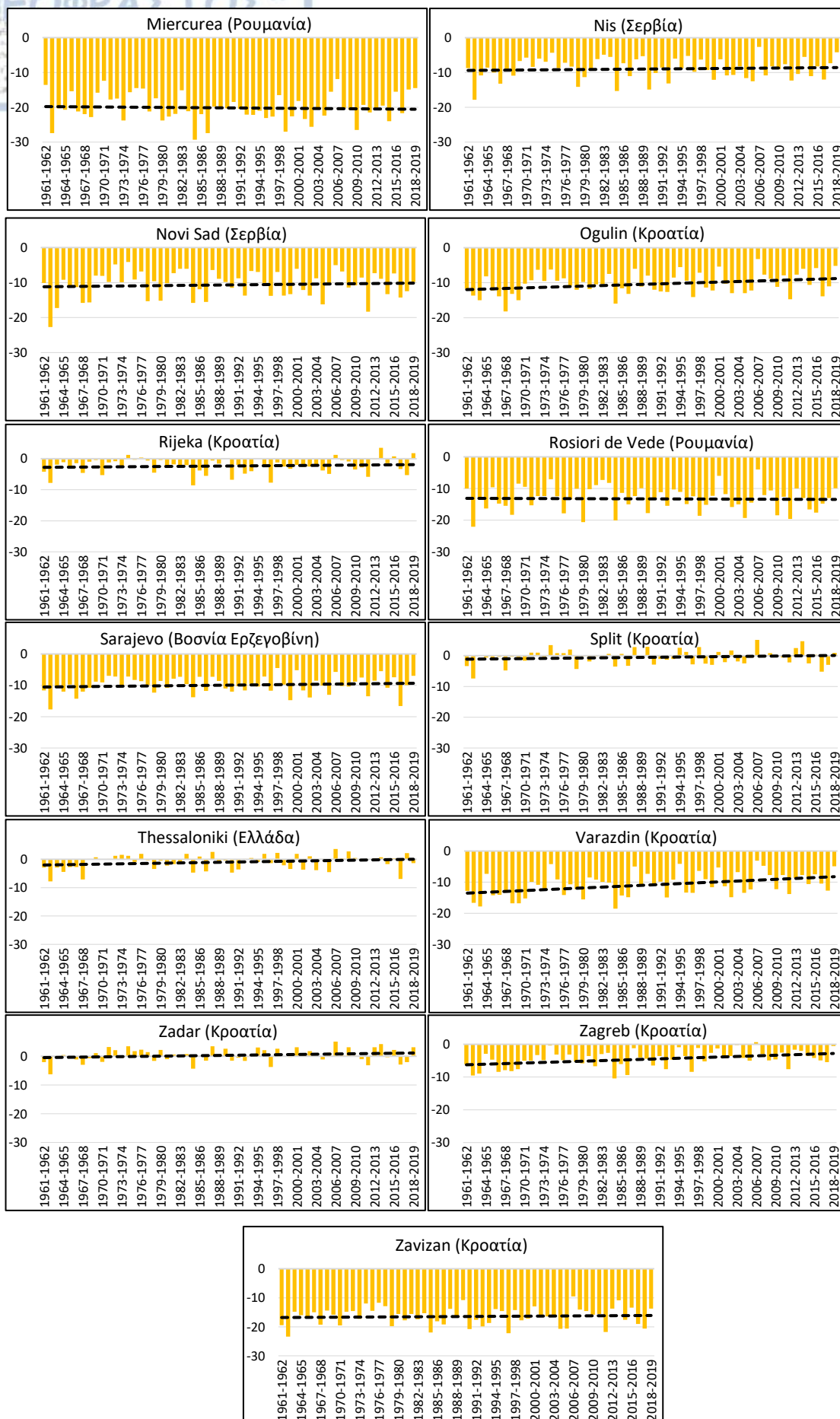
β) Ακραίες ελάχιστες χειμερινές θερμοκρασίες (Ελ.Τmin) ανά έτος / ανά σταθμό
(1961-2019)





γ) Ακραίες ελάχιστες μέσες χειμερινές θερμοκρασίες (Ελ.Τmean) ανά έτος / ανά σταθμό (1961-2019)





2. Ακραία ελάχιστα ανά μήνα για την περίοδο 1961-2019

α) Ακραία Ελ. T_{max} ανά μήνα / σταθμό

(°C)		Ακραία Ελάχιστη T _{max} ανά μήνα				
Σταθμός	Χώρα	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Bacau	Ρουμανία	-9.6	-17.5	-16.5	-13.9	-7.4
		26/11/1993	28/12/1996	13/1/1985	2/2/2012 3/2/2012	1/3/1963
Belgrade	Σερβία	-4.6	-8.7	-14.3	-9.9	-5.4
		24/11/1988	28/12/1966	23/1/1963	6/2/2012	4/3/1987
Botosani	Ρουμανία	-8.6	-18.2	-18.5	-15.5	-9.6
		26/11/1993	28/12/1996	23/1/2006	2/12/1985	3/3/1987
Bucuresti	Ρουμανία	-5.0	-8.7	-13.0	-11.2	-7.2
		30/11/1973	29/12/1962	15/1/1980	11/2/2012	4/3/1987
Buzau	Ρουμανία	-5.8	-10.2	-13.0	-11.2	-6.8
		19/11/1993	29/12/1962	23/1/1963	12/2/1985 2/2/2012 11/2/2012	4/3/1987
Cluj Napoca	Ρουμανία	-9.0	-13.4	-20.4	-12.0	-6.3
		30/11/1989	18/12/2001	18/1/1963	15/2/1964	4/3/1987 7/3/1987
Craiova	Ρουμανία	-7.0	-12.0	-16.3	-11.7	-7.2
		19/11/1993	19/12/1997	25/1/1963	1/2/2012	4/3/1987
Deva	Ρουμανία	-3.6	-9.7	-18.5	-9.2	-4.6
		24/11/1995	25/12/1998 26/12/2002	24/1/1963	13/2/1985	4/3/1987
Drobeta	Ρουμανία	-3.0	-10.0	-11.2	-9.1	-5.2
		26/11/1993	28/12/1996	24/1/1963	1/2/2012	1/3/1963
Galati	Ρουμανία	-6.2	-15.0	-15.7	-12.0	-8.0
		26/11/1993	28/12/1996	23/1/1963	2/2/2012	4/3/1987
Gospic	Κροατία	-7.9	-14.6	-14.2	-12	-9.7
		25/11/1965	18/12/1963	9/1/1985	4/2/2012	6/3/1971
Ljubljana	Σλοβενία	-4.0	-9.7	-12.1	-9.5	-5.1
		30/11/1973	29/12/1986	7/1/1985	2/2/1963	5/3/1971
Miercurea	Ρουμανία	-11.5	-20.6	-20.6	-15.7	-7.9
		19/11/1993	25/12/1998	18/1/1963	1/2/1987	4/3/1987
Nis	Σερβία	-4.5	-8.6	-13.8	-9.5	-6.8
		24/11/1988	24/12/1962	24/1/1963	6/2/2012	4/3/1987
Novi Sad	Σερβία	-4.6	-9.0	-17.0	-12.9	-6.9
		24/11/1988	15/12/1967 27/12/1996	23/1/1963	9/2/2012	4/3/1987
Ogulin	Κροατία	-5.1	-11.0	-12.8	-10.2	-7.4
		20/11/1993	18/12/1963	8/1/1985	6/2/1991	6/3/1971
Rijeka	Κροατία	0.3	-5.5	-5.0	-5.8	-2.5
		20/11/1993	28/12/1996	18/1/1963 6/1/1985 7/1/1985	6/2/1991	5/3/1971
Rosiori de Vede	Ρουμανία	-4.6	-10.4	-13.1	-10.4	-7.1
		20/11/1993	17/12/1961	22/1/1963	4/2/2012	1/3/1963
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	4.0	0.0	-4.9	-0.4	0.0
		21/11/1998	27/12/1996	22/1/1963	26/2/2018	15/3/1962 7/3/1987 8/3/1987
Split	Κροατία	3.4	-2.4	-5.7	-2.3	-1.6
		29/11/2016	18/12/2001	24/1/1963	7/2/1965 19/2/1985	4/3/1987
Thessaloniki	Ελλάδα	-5.6	-11.4	-13.7	-10.2	-6.6
		28/11/1993	19/12/1963	8/1/1985	12/2/1985	6/3/1971
Varazdin	Κροατία	4.8	-1.0	-3.4	-1.8	0.1
		20/11/1933	28/12/1996	22/1/1963	4/2/2012	6/3/1971
		21/11/1998	19/12/1996	23/1/1963		
Zadar	Κροατία	-2.6	-8.9	-10.4	-8.3	-5.0
		20/11/1993	19/12/1963	8/1/1985	12/2/1985	1/3/1963 6/3/1971
Zagreb	Κροατία	-14.0	-19.2	-20.0	-20.8	-18.9
		23/11/1988	27/12/1996	6/1/1985	4/2/2012	1/3/1963
Zavizan	Κροατία	-9.6	-17.5	-16.5	-13.9	-7.4
		26/11/1993	28/12/1996	13/1/1985	2/2/2012 3/2/2012	1/3/1963

β) Ακραία Ελ. $T_{\min}$ ανά μήνα / σταθμό

(°C)		Ακραίο Ελάχιστο $T_{\min}$ ανά μήνα				
Σταθμός	Χώρα	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Bacau	Ρουμανία	-21.4	-23.4	-30.8	-25.5	-21.5
		26/11/1993	26/12/2002	18/1/1963	2/2/2012	1/3/1986
Belgrade	Σερβία	-8.0	-15.1	-21.0	-15.5	-12.4
		26/11/1975	16/12/1967	24/1/1963	10/2/2012	4/3/1987
Botosani	Ρουμανία	-22.0	-27.7	-30.3	-28.5	-20.3
		26/11/1993	29/12/1996	20/1/1963	2/2/2012	2/3/2018
		27/11/1993	30/12/1996			
Bucuresti	Ρουμανία	-19.4	-25.6	-24.8	-24.2	-21.6
		26/11/1993	26/12/2002	26/1/2010	9/2/2012	1/3/2018
Buzau	Ρουμανία	-17.6	-23.3	-26.0	-21.0	-14.0
		28/11/1975	14/12/2012	26/1/2000	19/2/1985	1/3/1985
Cluj Napoca	Ρουμανία	-17.6	-24.6	-34.2	-29.6	-19.3
		30/11/1989	19/12/1963	23/1/1963	15/2/1964	1/3/1963
Craiova	Ρουμανία	-16.2	-22.6	-29.4	-22.6	-19.4
		19/11/1993	19/12/1997	25/1/1963	9/2/2012	5/3/1987
Deva	Ρουμανία	-11.6	-22.0	-31.6	-21.5	-22.3
		19/11/1993	27/12/2002	24/1/1963	13/2/2004	1/3/2005
Drobeta	Ρουμανία	-14.4	-16.8	-25.7	-22.2	-17.4
		26/11/1993	18/12/1997	25/1/1963	9/2/2012	1/3/1963
			19/12/1997			
Galati	Ρουμανία	-15.6	-21.5	-23.4	-21.8	-17.2
		27/11/1993	26/12/2002	23/1/1963	19/2/1985	1/3/1985
Gospic	Κροατία	-23.2	-26.6	-28.9	-26.1	-23.6
		25/11/1965	18/12/1963	15/1/1963	13/2/1985	2/3/2005
Ljubljana	Σλοβενία	-14.5	-16.7	-20.3	-18.0	-18.2
		24/11/1988	19/12/1963	8/1/1985	13/2/1985	1/3/1963
Miercurea	Ρουμανία	-27.5	-33.0	-38.4	-32.5	-29.0
		19/11/1993	25/12/1998	14/1/1985	1/2/1987	1/3/1986
Nis	Σερβία	-14.0	-15.8	-23.7	-19.3	-14.3
		3/11/1989	2/12/1989	25/1/1963	17/2/1985	1/3/2018
Novi Sad	Σερβία	-13.8	-24.0	-30.7	-28.7	-20.3
		24/11/1988	31/12/1996	24/1/1963	9/2/2012	1/3/2018
Ogulin	Κροατία	-46	-9.0	-17.0	-12.9	-6.9
		24/11/1988	15/12/1967	23/1/1963	9/2/2012	4/3/1987
Rijeka	Κροατία	-4.5	-8.9	-11.4	-9.1	-7.7
		15/11/1983	28/12/1996	9/1/1985	7/2/1991	5/3/1971
			29/12/1996			
Rosiori de Vede	Ρουμανία	-18.7	-23.0	-29.2	-26.5	-20.5
		28/11/1975	18/12/1997	25/1/1963	9/2/2005	1/3/2018
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	-23.2	-26.6	-28.9	-26.1	-23.6
		25/11/1965	18/12/1963	15/1/1963	13/2/1985	2/3/2005
Split	Κροατία	-0.4	-6.3	-9.0	-6.2	-6.6
		30/11/1973	17/12/1961	23/1/1963	28/2/1963	1/3/1963
Thessaloniki	Ελλάδα	-1.8	-8.2	-12.6	-7.5	-8.2
		30/11/1973	10/12/1991	14/1/1968	2/2/1991	6/3/1987
		25/11/1995				
Varazdin	Κροατία	-19.6	-22.7	-26.8	-26.4	-23.4
		24/11/1988	22/12/1969	16/1/1963	13/2/1985	1/3/1963
Zadar	Κροατία	-1.8	-6.5	-9.1	-6.4	-6.8
		21/11/1993	28/12/1996	23/1/1963	5/2/2012	1/3/1963
					28/2/2018	
Zagreb	Κροατία	-8.3	-13.8	-17.2	-15.8	-11.6
		25/11/1965	22/12/1969	12/1/1985	13/2/1985	1/3/1963
Zavizan	Κροατία	-16.8	-24.2	-24.5	-23.0	-22.6
		21/11/1988	27/12/1996	7/1/1985	11/2/2012	1/3/1963

γ) Ακραία Ελ. T_{mean} ανά μήνα / σταθμό

(°C)		Ακραίο Ελάχιστο T_{mean} ανά μήνα				
Σταθμός	Χώρα	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Bacau	Ρουμανία	-17.1	-19.7	-24.6	-19.6	-14.0
		26/11/1993	28/12/1996	18/1/1963	2/2/2012	4/3/1987
Belgrade	Σερβία	-5.3	-11.5	-17.3	-12.2	-8.6
		24/11/1988	24/12/1999	24/1/1963	12/2/1985	4/3/1987
Botosani	Ρουμανία	-17.3	-22.8	-23.4	-23.1	-14.3
		26/11/1993	28/12/1996	20/1/1963	2/2/2012	2/3/2018
Bucuresti	Ρουμανία	-11.8	-16.4	-17.7	-16.0	-12.2
		26/11/1993	26/12/2002	15/1/1980	11/2/2012	1/3/2018
Buzau	Ρουμανία	-10.8	-15.3	-18.1	-15.3	-10.0
		28/11/1975	14/12/2012	23/1/1963	11/2/2012	4/3/1987
Cluj Napoca	Ρουμανία	-13.3	-18.3	-26.8	-20.8	-12.7
		30/11/1989	19/12/1963	23/1/1963	15/2/1964	1/3/1963
Craiova	Ρουμανία	-10.9	-17.0	-22.2	-16.3	-11.8
		19/11/1993	19/12/1997	25/1/1963	9/2/2012	5/3/1987
Deva	Ρουμανία	-7.4	-16.2	-27.1	-14.1	-13.8
		24/11/1995	27/12/2002	24/1/1963	14/2/1985	1/3/2005
Drobeta	Ρουμανία	-8.7	-13.2	-18.3	-14.5	-11.3
		26/11/1993	19/12/1997	25/1/1963	9/2/2012	1/3/1963
Galati	Ρουμανία	-10.8	-17.9	-19.6	-15.7	-17.2
		26/11/1993	28/12/1996	23/1/1963	12/2/1985 2/2/2012	1/3/1985
Gospic	Κροατία	-15.5	-18.8	-18.9	-14.6	-13.4
		25/11/1965	18/12/1963	15/1/1963	12/2/1985	1/3/2005
Ljubljana	Σλοβενία	-8.3	-12.6	-15.5	-12.2	-9.9
		23/11/1988	18/12/1963	7/1/1985	13/2/1985	1/3/1963
Miercurea	Ρουμανία	-22.2	-27.0	-29.3	-27.4	-21.1
		19/11/1993	25/12/1998	14/1/1985	1/2/1987	1/3/1986
Nis	Σερβία	-9.0	-11.0	-17.8	-13.5	-9.1
		30/11/1989	1/12/1989	24/1/1963	13/2/1985	4/3/1987
Novi Sad	Σερβία	-8.9	-15.8	-22.7	-18.3	-12.5
		23/11/1988	15/12/1967	23/1/1963	9/2/2012	1/3/2018
Ogulin	Κροατία	-8.8	-15.0	-18.2	-15.8	-12.3
		23/11/1988	18/12/1963 22/12/1969	12/1/1968	13/2/1985	1/3/1963
Rijeka	Κροατία	-1.2	-7.7	-8.6	-6.8	-5.3
		20/11/1993	28/12/1996	7/1/1985	6/2/1991	5/3/1971
Rosiori de Vede	Ρουμανία	-12.1	-18.6	-22.1	-19.6	-13.0
		28/11/1975	19/12/1997	25/1/1963	1/2/2012	1/3/2018
Sarajevo	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	-8.5	-12.1	-17.7	-13.5	-10.4
		30/11/1989	23/12/1962	24/1/1963	9/2/2012	8/3/1987
Split	Κροατία	1.0	-3.4	-7.4	-3.7	-3.0
		23/11/1988	16/12/1961	22/1/1963	28/2/1963	1/3/1963
Thessaloniki	Ελλάδα	1.8	-3.7	-7.8	-4.7	-3.9
		29/11/1973	18/12/2001	25/1/1963	19/2/1985 1/2/1991	4/3/1987
Varazdin	Κροατία	-11.2	-17.8	-18.5	-17.0	-14.9
		23/11/1988	18/12/1963	6/1/1985	13/2/1985	1/3/1963
Zadar	Κροατία	2.1	-3.75	-6.2	-3.1	-3.2
		20/11/1993	28/12/1996	23/1/1963	4/2/2012	1/3/1963
Zagreb	Κροατία	-4.2	-11.5	-11.8	-11.2	-7.6
		25/11/1965	18/12/1963	8/1/1985	12/2/1985	1/3/1963
Zavizan	Κροατία	-16.2	-22.2	-23.4	-21.8	-20.1
		23/11/1988	23/12/1962 28/12/1996	22/1/1963	11/2/2012	1/3/1963

