



TECHNICAL
UNIVERSITY
OF CRETE

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση και τάσεις βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης στην
Μεσόγειο

Εκπονούσα: ΚΑΖΑ ΙΩΑΝΝΑ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Καθηγήτρια Κολοκοτσά Διονυσία (επιβλέπουσα), Πολυτεχνείο Κρήτης

Δρ. Φουντά Δήμητρα, Κύρια Ερευνήτρια, Εθνικό Αστεροσκοπείο
Αθηνών

Καθηγητής Λαζαρίδης Μιχαήλ, Πολυτεχνείο Κρήτης

Δρ. Γιαννακόπουλος Χρήστος (αναπληρωματικό μέλος), Διευθυντής
Ερευνών, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Χανιά, 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών μου στο προπτυχιακό πρόγραμμα της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Διονυσία Κολοκοτσά για την ανάθεση της παρούσας μελέτης και την εμπιστοσύνη της καθώς και την κ. Δήμητρα Φουντά για την αφοσίωση, την καθοδήγηση, τις συμβουλές και την αμέριστη υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Χρήστο Γιαννακόπουλο, Διευθυντή Ερευνών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) και τον κ. Φραγκίσκο Πιέρρο (ΕΑΑ) για τη παροχή κλιματικών δεδομένων από μοντέλα και τη συμβολή τους στην παρούσα έρευνα.

Ευχαριστώ ξεχωριστά τον σύζυγό μου Νικόλαο Κοφινά, απόφοιτο της σχολής Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την βοήθεια και την καθοδήγηση στην διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων με χρήση Python, καθώς και για την υπομονή, τη στήριξη και την ενθάρρυνσή του σε κάθε μου βήμα.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την υπομονή, την κατανόηση και τη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τους ανθρώπους εντός και εκτός της ακαδημαϊκής κοινότητας για τον σημαντικό ρόλο που διαδραμάτισαν όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή είναι ένα από τα πιο καίρια ζητήματα της σύγχρονης ζωής καθώς έχει σημαντικές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής. Ένας από αυτούς του τομείς είναι αυτός της ενέργειας. Η έρευνα αυτή επικεντρώνεται στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, και αποσκοπεί στην ανάλυση των τάσεων των ενεργειακών απαιτήσεων από το 1970 έως το 2100, μελετώντας όχι μόνο ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας αλλά και μελλοντικές προσομοιώσεις σύμφωνα με περιοχικά κλιματικά μοντέλα για επτά Μεσογειακές πόλεις διαφορετικούς μεγέθους/πληθυσμού και γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Οι βαθμοημέρες θέρμανσης (Heating Degree Days-HDD) και ψύξης (Cooling Degree Days-CDD) υπολογίστηκαν με σκοπό να προσδιοριστεί η τάση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη. Η έρευνα αναδεικνύει μια στατιστικά σημαντική μείωση στις απαιτήσεις θέρμανσης σε όλες τις υπό μελέτη πόλεις, ενώ οι απαιτήσεις για ψύξη αυξάνονται με ρυθμό που φτάνει τους 64 βαθμούς ανά δεκαετία. Ταυτόχρονα, οι μελλοντικές προσομοιώσεις υποδεικνύουν μια αξιοσημείωτη αύξηση της διάρκειας της περιόδου που υπάρχουν ενεργειακές ανάγκες για ψύξη, με ρυθμό 5 ως 6 ημέρες/δεκαετία έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα, τη στιγμή που η διάρκεια της περιόδου που υπάρχουν ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση παρουσιάζει αρνητική τάση με ρυθμό -4 ως -7 ημέρες/δεκαετία.

ABSTRACT

Title: “Analysis and trends of heating and cooling degree days at the Mediterranean region”

Global climate change is one of the most crucial issues of contemporary life as it has important impacts on many aspects of human life, one of which is the energy sector. This research focuses on a very responsive to climate change area, the Mediterranean, and attempts to analyze the energy demand trends from 1970 through 2100, processing not only historical temperature records but future simulations from Regional Climate Models concerning seven Mediterranean cities of different sizes and geographical characteristics. Cooling degree days (CDD) and heating degree days (HDD) have been estimated in order to point out the trends in the amount of energy demands. The research has shown a statistically significant decrease in heating demands at all cities, while cooling demands are increasing at rates reaching up to 64 degrees per decade. On the other hand, future simulations suggest a remarkable expansion of the duration of the cooling demands period, at rates of 5 to 6 days per decade till the end of the century. At the same time, the duration of heating demands period presents a negative trend, at rates between -4 to -7 days per decade.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	σελ.1
Περίληψη.....	σελ.2
Abstract	σελ.2
1. Εισαγωγή	
Σκοπός της εργασίας.....	σελ. 9
2. Κλιματική αλλαγή.....	σελ.10
2.1. Κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη	σελ.11
2.2. Κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο.....	σελ.11
2.3. Κλιματική αλλαγή στο αστικό-δομημένο περιβάλλον.....	σελ.14
2.4. Αστικό μικροκλίμα- Αστική θερμική νησίδα.....	σελ.16
3. Δεδομένα και Μεθοδολογία.....	σελ.19
3.1. Επιλογή πόλεων.....	σελ.19
3.2. Κλιματικά δεδομένα.....	σελ.21
3.2.1. Κλιματικά μοντέλα.....	σελ.22
3.2.2. Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκεντρώσεων (Representative Concentration Pathways RCPs).....	σελ.23
3.3. Τάση θερμοκρασίας και υπολογισμός βαθμομερών θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD)	σελ.24
3.4. Υπολογισμός διάρκειας και χρονικής μετατόπισης της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη.....	σελ.26
3.5. Υπολογισμός τάσεων και στατιστικής σημαντικότητας.....	σελ.28
4. Αποτελέσματα.....	σελ.29
4.1. Τάση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (1975-2018) - Δεδομένα παρατηρήσεων	σελ.29
4.2. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (1975-2018)-Δεδομένα παρατηρήσεων.....	σελ.30
4.2.1. Αθήνα.....	σελ.30
4.2.2. Μοντελιέ.....	σελ.32
4.2.3. Μαδρίτη	σελ.33
4.2.4. Λευκωσία	σελ.35
4.2.5. Πάλμα	σελ.36
4.2.6. Ρώμη	σελ.38
4.2.7. Σεβίλλη	σελ.39
4.3. Τάση βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης ανά έτος – Δεδομένα παρατηρήσεων.....	σελ.41
4.4. Τάση βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης ανά μήνα – Δεδομένα παρατηρήσεων.....	σελ.43
4.4.1. Αθήνα.....	σελ.44

4.4.2. Μοντελιέ.....	σελ.45
4.4.3. Μαδρίτη	σελ.47
4.4.4. Λευκωσία	σελ.48
4.4.5. Πάλμα	σελ.50
4.4.6. Ρώμη	σελ.51
4.4.7. Σεβίλλη	σελ.53
4.5. Τάσεις βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης – Δεδομένα Μοντέλου	σελ.54
4.6. Σύγκριση των τάσεων HDD και CDD σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.....	σελ.56
4.7. Τάση μετατόπισης της ημέρας έναρξης (julian day) της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD)- Σύγκριση δεδομένων παρατηρήσεων και δεδομένων μοντέλου.....	σελ.58
4.8. Τάση μετατόπισης της ημέρας λήξης (julian day) της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD)-(1975-2017)- Σύγκριση δεδομένων παρατηρήσεων και δεδομένων μοντέλου.....	σελ.61
4.9. Τάση μελλοντικής μετατόπισης (2018-2100) της ημέρας έναρξης και λήξης της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD).....	σελ.63
4.9.1. Αθήνα.....	σελ.63
4.9.2. Μοντελιέ.....	σελ.64
4.9.3. Μαδρίτη	σελ.64
4.9.4. Λευκωσία	σελ.65
4.9.5. Πάλμα	σελ.66
4.9.6. Ρώμη	σελ.66
4.9.7. Σεβίλλη	σελ.67
4.10. Διάρκεια περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη.....	σελ.68
4.11. Πίνακες αποτελεσμάτων από δεδομένα παρατηρήσεων.....	σελ.70
4.12. Πίνακες αποτελεσμάτων από δεδομένα μοντέλου.....	σελ.77
5. Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	σελ.83
5.1. Αποτελέσματα τάσης θερμοκρασίας (1975-2018).....	σελ.83
5.2. Αποτελέσματα τάσης βαθμομερών θέρμανσης/ψύξης.....	σελ.84
5.3. Αποτελέσματα τάσης της ημερολογιακής μετατόπισης της ημέρας έναρξης/λήξης και της διάρκειας της περιόδου ενεργειακών αναγκών θέρμανσης/ψύξης.....	σελ.85
5.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων με διεθνή βιβλιογραφία	σελ.87
6. Συμπεράσματα.....	σελ.89
6.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	σελ.90
Βιβλιογραφία	σελ.91

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1. Παγκόσμια μεταβολή της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας (οC) από την βιομηχανική εποχή έως το 2020 ανά δεκαετία.....σελ.10	
Εικόνα 2.2.1.: Θέρμανση της ατμόσφαιρας (μέση ετήσια θερμοκρασία), στην περιοχή της μεσογείου και στον κόσμο.....σελ.13	
Εικόνα 2.2.2.: Χρονοσειρές για τη αλλαγή των κατακρημνίσεων από το 1986-2005 που υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο στις χερσαίες περιοχές της νότιας Ευρώπης/ Μεσόγειος θάλασσα (30°N to 45°N, 10°W to 40°E) από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο.....σελ.14	
Εικόνα 2.4.1.: Αναπαράσταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας και πώς εξελίσσεται από τον αγροτικό/προαστιακό χώρο στα κέντρα των πόλεωνσελ.18	
Εικόνα 3.1.: Χάρτης των υπό μελέτη πόλεων.....σελ.20	
Εικόνα 3.2.: Τάσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και συγκέντρωσης CO ₂ σύμφωνα με τα σενάρια RCP2.5, RCP4.5, RCP6 και RCP8.5.....σελ.23	
Εικόνα 4.1.1.-4.1.7. : Ετήσια τάση θερμοκρασίας για τις πόλεις Αθήνα, Μοντελιέ, Μαδρίτη, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλη (1975-2018) ανά έτος.....σελ.29	
Εικόνα 4.2.1.1.-4.2.1.12.: Τάση μέσης θερμοκρασίας της Αθήνας για τους μήνες Ιανουάριο- Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.30	
Εικόνα 4.2.2.1.- 4.2.2.12.: Τάση μέσης θερμοκρασίας του Μοντελιέ για τους μήνες Ιανουάριο-Δεκέμβριο(1975-2018).....σελ.32	
Εικόνα 4.2.3.1.-4.2.3.12: Τάση μέσης θερμοκρασίας της Μαδρίτης για τους μήνες Ιανουάριο- Δεκέμβριο(1975-2018).....σελ.33	
Εικόνα 4.2.4.1.-4.2.4.12: Τάση μέσης θερμοκρασίας της Λευκωσίας για τους μήνες Ιανουάριο- Δεκέμβριο (1975-2013).....σελ.35	
Εικόνα 4.2.5.1.-4.2.5.12: Τάση μέσης θερμοκρασίας της Πάλμα για τους μήνες Ιανουάριο- Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.36	
Εικόνα 4.2.6.1.- 4.2.6.12.: Τάση μέσης θερμοκρασίας της Ρώμης για τους μήνες Ιανουάριο- Δεκέμβριο 1975-2015).....σελ.38	
Εικόνα 4.2.7.1.-4.2.7.12: Τάση μέσης θερμοκρασίας της Σεβίλλης για τους μήνες Ιανουάριο-Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.39	

Εικόνα 4.3.1.-4.3.14.: Τάση βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης ανά έτος για τις πόλεις Αθήνα, Μοντελιέ, Μαδρίτη, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλη (1975-2018).....σελ.41	
Εικόνα 4.4.1.1. -4.4.1.12.: Τάση βαθμοημερών Αθήνας για τους μήνες Ιανουάριο-Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.44	
Εικόνα 4.4.2.1. -4.4.2.12.:Τάση βαθμοημερών Μοντελιέ για τους μήνες Ιανουάριο - Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.45	
Εικόνα 4.4.3.1-4.4.3.12.: Τάση βαθμοημερών Μαδρίτης για τους μήνες Ιανουάριο - Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.47	
Εικόνα 4.4.4.1.-4.4.4.12.: Τάση βαθμοημερών Λευκωσίας για τους μήνες Ιανουάριο -Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.48	
Εικόνα 4.4.5.1.-4.4.5.12.: Τάση βαθμοημερών Πάλμα για τους μήνες Ιανουάριο - Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.50	
Εικόνα 4.4.6.1.-4.4.6.12.: Τάση βαθμοημερών Ρώμης για τους μήνες Ιανουάριο - Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.51	
Εικόνα 4.4.7.1.-4.4.7.12.: Τάση βαθμοημερών Σεβίλλης για τους μήνες Ιανουάριο - Δεκέμβριο (1975-2018).....σελ.53	
Εικόνα 4.5.1.-4.5.14.: Τάση βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100) για τις πόλεις Αθήνα, Μαδρίτη, Μοντελιέ, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλη.....σελ.54	
Εικόνα 4.6.1.-4.6.14.: Σύγκριση τάσεων βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100) για τις πόλεις Αθήνα, Μαδρίτη, Μοντελιέ, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλησελ.57	
Εικόνα 4.7.1.-4.7.14.: Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης και ψύξης (1975-2018) για τις πόλεις Αθήνα, Μαδρίτη, Μοντελιέ, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλη.....σελ.59	
Εικόνα 4.8.1.-4.8.14.: Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης και ψύξης (1975-2018) για τις πόλεις Αθήνα, Μαδρίτη, Μοντελιέ, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλη.....σελ.61	
Εικόνα 4.9.1.1.-4.9.7.2.: Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης και ψύξης (2018-2100) για τις πόλεις Αθήνα, Μαδρίτη, Μοντελιέ, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλη.....σελ.63	
Εικόνα 4.10.1.-4.10.14.: Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης και ψύξης (1970-2100) για τις πόλεις Αθήνα, Μαδρίτη, Μοντελιέ, Λευκωσία, Πάλμα, Ρώμη και Σεβίλλησελ.68	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Γεωγραφικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη πόλεων.....σελ.20	
Πίνακας 3.2.: Μέση μηνιαία θερμοκρασία των υπό μελέτη πόλεων σε °C (1980-2010).....σελ.21	
Πίνακας 4.11.1: Τάση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στις επιλεγμένες πόλεις (1975-2018)σελ.70	
Πίνακας 4.11.2: Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Αθήνας.....σελ.70	
Πίνακας 4.11.3: Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Μαδρίτηςσελ.71	
Πίνακας 4.11.4: Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Μονπελιέσελ.71	
Πίνακας 4.11.5: Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Λευκωσίας.....σελ.72	
Πίνακας 4.11.6: Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Πάλμασελ.72	
Πίνακας 4.11.7: Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Ρώμης.....σελ.73	
Πίνακας 4.11.8: Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Σεβίλληςσελ.73	
Πίνακας 4.11.9. Τάση HDD και CDD ανά έτος στις επιλεγμένες πόλεις (1975-2018).....σελ.74	
Πίνακας 4.11.10. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Αθήναςσελ.74	
Πίνακας 4.11.11. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Μαδρίτης.....σελ.75	
Πίνακας 4.11.12. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Μονπελιέ.....σελ.75	
Πίνακας 4.11.13. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Λευκωσίας.....σελ.76	
Πίνακας 4.11.14. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Πάλμα.....σελ.76	
Πίνακας 4.11.15. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Ρώμηςσελ.77	
Πίνακας 4.11.16. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Σεβίλλης.....σελ.77	
Πίνακας 4.12.1. Τάση HDD και CDD ανά έτος (1970-2100)-RCP4.5.....σελ.78	
Πίνακας 4.12.2. Τάση HDD και CDD ανά έτος (1970-2100)-RCP8.5.....σελ.78	
Πίνακας 4.12.3.Τάση διάρκειας περιόδου ενεργειακής ανάγκης για θέρμανση και ψύξη (σε Julian days/ year).....σελ.79	
Πίνακας 4.12.4. Σύγκριση παρατηρήσεων-μοντέλου για την τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας ανάγκης για θέρμανση/ ψύξη (HDD/CDD) σε Julian days.....σελ.79	

Πίνακας 4.12.5. Σύγκριση παρατηρήσεων-μοντέλου για την τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας ανάγκης για θέρμανση/ ψύξη (HDD/CDD) σε Julian days.....σελ.80

Πίνακας 4.12.6. Τάση μελλοντικής μετατόπισης της περιόδου ενεργειακής ανάγκης για θέρμανση/ ψύξη σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5σελ.81

Πίνακας 4.12.7. Σύγκριση τάσης HDD και CDD σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.....σελ.82

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας

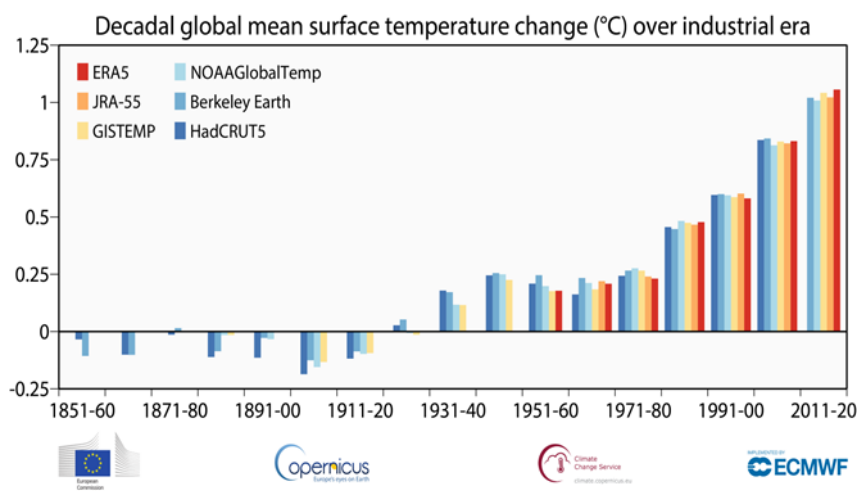
Η κλιματική αλλαγή αποτελεί πλέον μία από τις μεγαλύτερες απειλές του πλανήτη και αποτελεί αντικείμενο μελέτης ολόένα και μεγαλύτερης μερίδας της επιστημονικής και ερευνητικής κοινότητας. Οι επιπτώσεις του φαινομένου, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, η αλλαγή της κατανομής των βροχοπτώσεων, η συχνότητα και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, επηρεάζουν ένα πολύ μεγάλο εύρος των δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής και όχι μόνο. Η οικονομία, η γεωργία, η υγεία, η διατροφή, το περιβάλλον είναι μερικοί μόνο από τους κλάδους που αντανακλάται άμεσα το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Ο τομέας της ενέργειας είναι ένας από τους κλάδους που επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της τάσης της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου, τόσο σε ιστορικό επίπεδο όσο και προβολή αυτής ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα με τη χρήση κλιματικών μοντέλων, και πώς η τάση αυτή επιδρά στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη των εσωτερικών χώρων, μέσω της χρήσης των διαδεδομένων βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης. Επιπλέον, η παρούσα εργασία μελετά και τις διαχρονικές μεταβολές (στο παρελθόν και το μέλλον) στην ημερολογιακή έναρξη και λήξη των εποχών που απαιτείται κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη. Για τον σκοπό αυτό μελετήθηκαν αρχικά οι καταγεγραμμένες παρατηρήσεις της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας επτά Μεσογειακών πόλεων για χρονική περίοδο μεγαλύτερη των 40 ετών(1975-2018), ενώ για την προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος χρησιμοποιήθηκε το περιοχικό κλιματικό μοντέλο Regional Climate Model 4 (RCA4) για δύο διαφορετικά κλιματικά σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5) για τις πόλεις αυτές, και για τη χρονική περίοδο 1970-2100. Η Μεσόγειος θεωρείται από τις πλέον ευάλωτες περιοχές του πλανήτη σε ότι αφορά τις επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης, ενώ τα αστικά κέντρα επιβαρύνονται με πρόσθετη θέρμανση από διάφορα αίτια που διαμορφώνουν τοπικές συνθήκες και διαφοροποιούν το αστικό κλίμα σε σχέση με τις μη αστικές περιοχές. Τα αποτελέσματα της μελέτης διαφωτίζουν τις παρατηρούμενες και μελλοντικές τάσεις των ενεργειακών απαιτήσεων στις πλέον ευαίσθητες περιοχές (αστικά κέντρα), σε μια επίσης ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή περιοχή, τη Μεσόγειο.

2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Ο ορισμός της κλιματικής αλλαγής σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC) αναφέρεται στη μεταβολή της κατάστασης του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους) από τις αλλαγές του μέσου μεγέθους ή/και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων που το χαρακτηρίζουν, που διατηρείται για εκτεταμένη περίοδο, συνήθως για δεκαετίες ή περισσότερο. Ο όρος αναφέρεται σε κάθε μεταβολή στο κλίμα κατά τη διάρκεια του χρόνου, είτε αυτό έχει να κάνει με φυσικές μεταβολές, είτε με ανθρωπογενείς επιδράσεις (Reay *et al.*, 2007).

Η κλιματική αλλαγή είναι πλέον ορατή σε πολλές εκφάνσεις της καθημερινής μας ζωής. Η θερμοκρασία αυξάνεται, τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων αλλάζουν, οι παγετώνες λιώνουν και η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Από το 1980 και μετά, κάθε δεκαετία είναι θερμότερη από την προηγούμενή της, ενώ σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα, η δεκαετία 2011-2020 ήταν η θερμότερη όλων των εποχών παγκοσμίως, σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο (εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1. Παγκόσμια μεταβολή της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας (°C) από την βιομηχανική εποχή έως το 2020 ανά δεκαετία, σύμφωνα με διαφορετικές πηγές δεδομένων: : ERA5 (ECMWF Copernicus Climate Change Service, C3S); GISTEMPv4 (NASA); HadCRUT5 (Met Office Hadley Centre); NOAA GlobalTempv5 (NOAA), JRA-55 (JMA); and Berkeley Earth (van Vuuren *et al.*, 2011).

Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παρατηρούμενη αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα CO₂, μεθανίου CH₄, μονοξειδίου του άνθρακα CO και οξειδίων του αζώτου NO_x, ως αποτέλεσμα των εκπομπών που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι κύριες πηγές των αερίων θερμοκηπίου που προκαλούνται από τον άνθρωπο είναι:

- καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις μεταφορές, τη βιομηχανία και τα νοικοκυριά (CO₂).
- γεωργία (CH₄) και αλλαγές στη χρήση γης, όπως η αποψίλωση των δασών (CO₂).
- υγειονομική ταφή απορριμμάτων (CH₄).
- χρήση βιομηχανικών φθοριούχων αερίων.

Για να περιορίσουμε τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, πρέπει να μειώσουμε αυτές τις εκπομπές ή να διασφαλίσουμε την πρόληψη της παραγωγής τους.

2.1 Κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη

Πολιτικές της ΕΕ

Διάφορες πρωτοβουλίες της ΕΕ στοχεύουν στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αφότου πέτυχε τους στόχους της στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την περίοδο 2008-2012, η ΕΕ υιοθέτησε τον στόχο να μειώσει μέχρι το 2020 τις εκπομπές της όσον αφορά τα αέρια του θερμοκηπίου κατά 20 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για να επιτευχθεί αυτό —ένας από τους κύριους στόχους της στρατηγικής Ευρώπη 2020— έχει θεσπιστεί ένα ανώτατο όριο για το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) της ΕΕ σε επίπεδο Ένωσης, ενώ επιμέρους εθνικοί στόχοι για τις εκπομπές σε τομείς που δεν καλύπτονται από το ΣΕΔΕ θεσπίστηκαν στο πλαίσιο της απόφασης για τον επιμερισμό των προσπαθειών. Την ίδια στιγμή, η ΕΕ έχει εκδώσει νομοθεσία για την ενίσχυση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και η ενέργεια από βιομάζα, καθώς και για τη βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας μιας σειράς εξοπλισμών και οικιακών συσκευών. Η ΕΕ στοχεύει επίσης στη στήριξη της ανάπτυξης των τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα για την παγίδευση και την αποθήκευση του CO₂ που εκπέμπεται από σταθμούς παραγωγής και άλλες μεγάλες εγκαταστάσεις.

2.2 Κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο

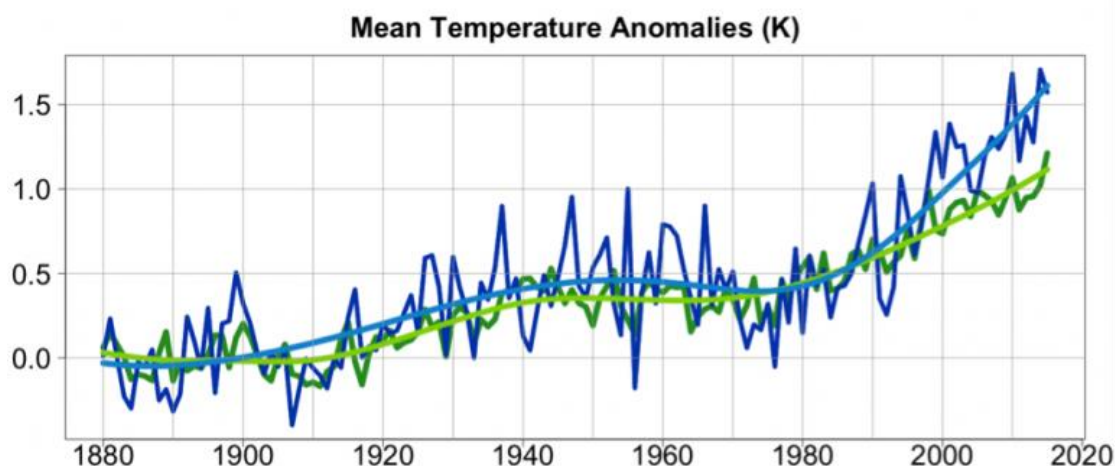
Σύμφωνα με αναφορά του IPCC, η περιοχή της Μεσογείου χαρακτηρίζεται ως μια από τις πιο ευάλωτες περιοχές σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις που υφίσταται λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Τα μοντέλα που έχουν μελετηθεί εξετάζουν διαφορετικά σενάρια για την κλιματική αλλαγή στην περιοχή, ωστόσο όλα συγκλίνουν σε μια ξεκάθαρη τάση στο μοτίβο των κλιματικών παραμέτρων και εκτιμήσεις δείχνουν μια αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της τάξεως του 2.2 με 5.1 °C για την χρονική περίοδο 2080-2100. Για την ίδια περίοδο, τα μοντέλα αυτά αναφέρουν σημαντικές αλλαγές στις βροχοπτώσεις στη περιοχή της

Μεσογείου ,με μειώσεις στις χερσαίες κατακρημνίσεις που κυμαίνονται ανάμεσα σε -4% με -27%.

Η Μεσόγειος θάλασσα περιβάλλεται από τρεις ηπείρους: την Ευρώπη, την Αφρική και την Ασία. Η πολιτισμική ποικιλομορφία της περιοχής είναι ένας βασικός παράγοντας διαρκούς αλλαγής. Χαρακτηρίζεται από έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης γης, τη βιομηχανική και την πληθυσμιακή ανάπτυξη, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των παράκτιων αστικών κέντρων (UNEP-MAP, 2012). Η πίεση αυτή ενισχύεται από την αύξηση του τουρισμού στις ακτές της Μεσογείου που συνεπάγεται μεγάλες καταναλωτικές ανάγκες (Bleu and Antipolis, 2012), παρατηρώντας ότι η περιοχή αυτή έχει τα πιο συχνά και ενεργά ακτοπλοϊκά δρομολόγια (UNEP/MAP-Plan Bleu, 2009). Ακόμα, αναφερόμαστε σε μια περιοχή με τεράστιες αντιθέσεις καθώς περιλαμβάνει χώρες με διαφορετικό οικονομικό, κοινωνικό και βιοτικό επίπεδο. Παρά τις σημαντικές προσπάθειες που έχουν γίνει, το χάσμα μεταξύ των βόρειων και νότιων χωρών της Μεσογείου παραμένει αγεφύρωτο καθώς υπάρχει ανισοκατανομή πόρων, έντονες διαμάχες και τεράστιας κλίμακας μεταναστευτικές ροές (AllEnvi, 2016).

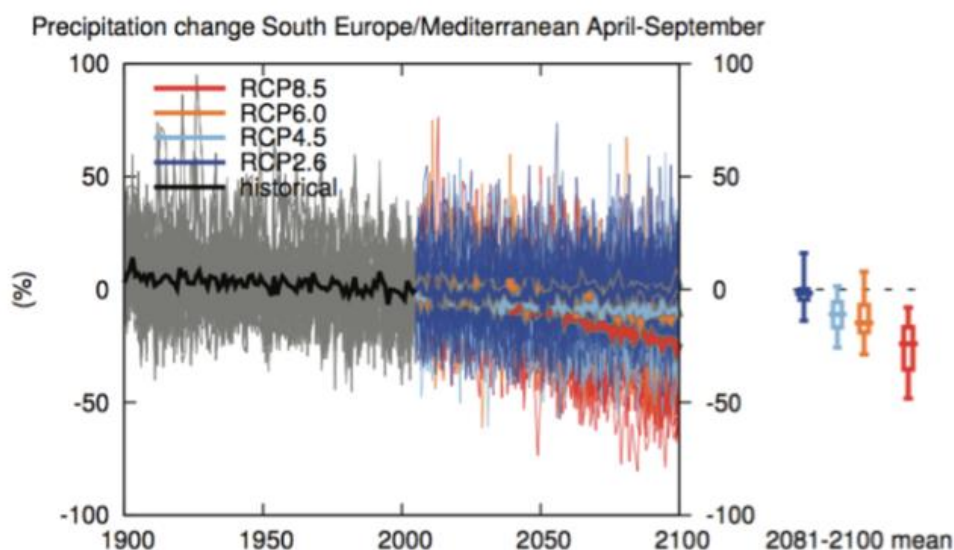
Η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη ποικιλομορφία τοπίων και γεωμορφολογίας , από τροπικές ερήμους έως εύκρατες-με ήπιο κλίμα περιοχές, και αυτός είναι ο κύριος λόγος της μεγάλης βιοποικιλότητας που συναντάται στην περιοχή. Παρ' όλ' αυτά η Μεσόγειος είναι εκτεθειμένη σε πολλούς φυσικούς κινδύνους όπως σεισμούς εκρήξεις ηφαιστείων, πυρκαγιές, ξηρασίες ή πλημμύρες.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό πως η Μεσόγειος καλείται να αντιμετωπίσει ενταταμένες και περίπλοκες προκλήσεις και κινδύνους που προκαλούνται λόγω της κλιματικής αλλαγής. Με βάση τα παγκόσμια κλιματικά σενάρια, γίνεται αποδεκτό ότι η Μεσόγειος θάλασσα χαρακτηρίζεται από τους υψηλότερους δείκτες ευαισθησίας απέναντι στην κλιματική αλλαγή (Giorgi, 2006). Σύμφωνα με τη MedEC (Mediterranean experts of climate and environmental change), η μέση τιμή της ετήσιας θερμοκρασίας σήμερα έχει αυξηθεί κατά 1.4 βαθμούς από τη χρονική περίοδο 1880-1899 (προ-βιομηχανική εποχή, δηλαδή 0.4 °C πάνω από τις αντίστοιχες παγκόσμιες τάσεις ('A Mediterranean basin without a Mediterranean climate', 2020) (εικόνα 2.2.1). Η αύξηση αυτή γίνεται έντονα αισθητή ιδιαίτερα κατά την καλοκαιρινή περίοδο.



Εικόνα 2.2.1. Θέρμανση της ατμόσφαιρας (μέση ετήσια θερμοκρασία), στην περιοχή της μεσογείου (μπλε γραμμές) και στον κόσμο (πράσινες γραμμές) (<https://www.medecc.org/>). Data from Berkeley Earth

Όσον αφορά στις μελλοντικές προβλέψεις (σύμφωνα με τη Συμφωνία του Παρισιού 22/4/2016), η αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά 2°C σε παγκόσμιο επίπεδο, υποδηλώνει αύξηση 3°C στις θερμές ακραίες τιμές στην περιοχή της Μεσογείου (Seneviratne *et al.*, 2016). Στη Μεσόγειο αναμένεται αύξηση από 2 έως 6 °C (Stocker *et al.*, 2013), ανάλογα με το επιλεγμένο κλιματικό σενάριο RCP (Representative Concentration Pathway) και την εποχή, ενώ ακραία υψηλές θερμοκρασίες και κύματα καύσωνα είναι πιθανό να παρουσιάσουν μεγαλύτερη συχνότητα και/ή μεγαλύτερη ένταση (Jacob *et al.*, 2014). Αναλύσεις για τις τάσεις στη Μεσόγειο σε μακροπρόθεσμο επίπεδο έχουν δείξει θερμότερες και πιο ξηρές μέσες ετήσιες κλιματικές συνθήκες (UNEP/MAP-Plan Bleu, 2009). Η συχνότητα και η ένταση των ξηρών περιόδων έχει αυξηθεί δραματικά από το 1950 (Vicente-Serrano *et al.*, 2014) ενώ αναμένεται η χρονική επιμήκυνσή τους (Schleussner *et al.*, 2016) και η μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (εικόνα 2.2.2).



Εικόνα 2.2.2 Χρονοσειρές για τη αλλαγή των κατακρημνίσεων από το 1986-2005 που υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο στις χερσαίες περιοχές της νότιας Ευρώπης/ Μεσόγειος θάλασσα (30°N to 45°N, 10°W to 40°E) από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο (<https://www.medecc.org/>).

Συγκεκριμένα το καλοκαίρι εγκυμονεί ο κίνδυνος μείωσης των βροχοπτώσεων από 10% έως 30%, με σημαντικές τοπικές διαφοροποιήσεις ενισχύοντας τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα λειψυδρίας και μειώνοντας την αγροτική παραγωγή, ενώ η οξίνιση των θαλάσσιων νερών πρόκειται να προκαλέσει άμεσα πλήγματα στο φυσικό οικοσύστημα θέτοντας σε κίνδυνο τη βιοποικιλότητα και την αλιεία της περιοχής. Ως εκ τούτου η αλλαγή της κλιματικής κατάστασης θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στις επερχόμενες κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές αλλαγές της περιοχής με πιο ορατά τα προβλήματα στις πολιτικά ασταθέστερες χώρες μέσω σφοδρών συγκρούσεων, έλλειψης βασικών αγαθών και μεγάλων μεταναστευτικών ροών.

2.3 Κλιματική αλλαγή στο αστικό-δομημένο περιβάλλον

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), ο παγκόσμιος πληθυσμός συγκεντρώνεται κατά κύριο λόγο στις μεγάλες αστικές δομές ενώ, έως το 2050, 80% από τα 9 δις του εκτιμώμενου πληθυσμού αναμένεται να ζει στις μεγάλες πόλεις (<https://www.eea.europa.eu/el/themes/urban/about-the-urban-environment>). Το φαινόμενο αυτό είναι ευρύτερα γνωστό ως ‘αστικοποίηση του πληθυσμού’. Η αστικοποίηση στην Ευρώπη αποτελεί διαρκές φαινόμενο, τόσο όσον αφορά την επέκταση της αστικής γης όσο και την αύξηση του πληθυσμού. Πάνω από το 75% του πληθυσμού της ΕΕ έχει επιλέξει να ζει σε αστικές περιοχές. Τα 10

τελευταία χρόνια τουλάχιστον, παρατηρείται αισθητή αλλαγή στην συμπεριφορά του αστικού τρόπου ζωής, καθώς οι άνθρωποι δεν μετακινούνται πια από τα αστικά κέντρα και ο ρυθμός αποκέντρωσης έχει μειωθεί (Killeen, 2011). Όμως, οι συνέπειες της αστικοποίησης επεκτείνονται πέραν των ορίων των πόλεων. Οι Ευρωπαίοι έχουν υιοθετήσει τον αστικό τρόπο ζωής και χρησιμοποιούν παροχές της πόλης, όπως πολιτιστικές, εκπαιδευτικές ή υγειονομικές υπηρεσίες. Αν και αποτελούν την κινητήρια δύναμη για την οικονομία της Ευρώπης και ταυτόχρονα παράγοντα ευρωπαϊκού πλούτου, οι πόλεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από πόρους έξω-αστικών περιοχών προκειμένου να καλύψουν τη ζήτηση για πόρους όπως ενέργεια, νερό και τρόφιμα. Συνεπώς πολλές ευρωπαϊκές πόλεις δυσκολεύονται να αντιμετωπίσουν τα οικονομικά και περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από τον υπερπληθυσμό και την ρύπανση. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις επεκτείνονται πέρα από τα φυσικά σύνορα των πόλεων αφού αυτές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις γύρω περιοχές για να καλύψουν τις πλέον αυξημένες ανάγκες σε ενέργεια και φυσικούς πόρους.

Με υψηλό επίπεδο ενεργειακής κατανάλωσης, καύση ορυκτών καυσίμων και συγκέντρωση οικονομικών δραστηριοτήτων, οι πόλεις συμμετέχουν στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή (Group and Change, 2007; Ruth and Coelho, 2007). Η ανεπάρκεια των υπαίθριων χώρων και τα κτίρια χωρίς ενεργειακές προδιαγραφές, διαμορφώνουν μια προβληματική κατάσταση στους αστικούς χώρους με συνέπειες στη διαβίωση των κατοίκων, καθιστώντας αναγκαίο, ένα νέο τύπο ανάπτυξης, αυτό της αειφόρου. Το σύνολο των πολιτικών και δράσεων, που ήδη ακολουθούνται σε πλανητικό επίπεδο, στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας σε όλους τους τομείς της ζωής με έμφαση στη βελτίωση της ενεργειακής-περιβαλλοντικής απόδοσης των πόλεων και οικισμών, στη βάση μιας νέας αντίληψης για την πολεοδομία και την αρχιτεκτονική, που καθορίζεται από την οικολογική σκέψη και πρακτική (Χόνδρου - Καραβασίλη, 2009). Πρόκειται για μια αρχιτεκτονική προσέγγιση, η οποία αντιμετωπίζει το δομημένο περιβάλλον ως δυναμικό ενεργειακό σύστημα.

Από τα βασικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που παρατηρούνται στους αστικούς ιστούς και συνδέονται άμεσα με το φαινόμενο της αστικοποίησης είναι: α) η ατμοσφαιρική ρύπανση και β) η θερμική ρύπανση. Δηλαδή δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. :

A) Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί βασική συνέπεια της ραγδαίας ανάπτυξης των αστικών κέντρων, καθώς οι αυξημένες εκπομπές καυσαερίων σε συνδυασμό με την πυκνή δόμηση, τις κλιματολογικές συνθήκες άπνοιας ή ασθενών ανέμων και την αδυναμία φυσικού αερισμού, λόγω ύπαρξης ψηλών κτιρίων και απουσίας ανοικτών χώρων, υπονομεύουν τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα την υπέρβαση των ορίων ανοχής.

Οι κύριες πηγές παραγωγής καυσαερίων είναι τρεις: η βιομηχανία, τα αυτοκίνητα και η κεντρική θέρμανση – κλιματισμός (Sarigiannis, Soulakellis and Sifakis, 2004). Σε αντίθεση οι βιομηχανικές εκπομπές (όπου υπάρχουν βιομηχανίες κοντά σε πόλεις) συμμετέχουν με πολύ μικρότερο ποσοστό στην ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι η ρύπανση στην πόλη γίνεται περισσότερο αισθητή στους δρόμους με αυξημένη κυκλοφορία αυτοκινήτων και ιδιαίτερα, στις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ακόμα, η ατμόσφαιρα επιβαρύνεται από τους ρύπους που παράγονται από τη χρήση υγρών καυσίμων ως πηγή ενέργειας.

Σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν και τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια ή αεροζόλ, που παράγονται από δραστηριότητες που δημιουργούν σκόνη (π.χ. εκσκαφές) ή από καύσεις και περιέχουν μεγάλη ποικιλία ουσιών, όπως μόλυβδος, υδράργυρος, αμίαντος κ.α., οι οποίες είναι καρκινογόνες ή/και τοξικές. Ο καπνός, η σκόνη, η ομίχλη και η ιπτάμενη τέφρα συγκαταλέγονται στα αιωρούμενα σωματίδια και έχουν την ιδιότητα να παρεμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φθάσει στη γη, επηρεάζοντας το κλίμα μιας περιοχής.

B) Θερμική ρύπανση

Οι τοίχοι των οικοδομών, τα πλακόστρωτα και το οδόστρωμα, λειτουργούν σαν θερμοσυσσωρευτές, οι οποίοι αποθηκεύουν θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας την οποία εκλύουν στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της νύχτας, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Στις πόλεις η ανακυκλοφορία των θερμών μαζών αέρα με ψυχρότερες, κατά τη διάρκεια της νύχτας, γίνεται με βραδύτερους ρυθμούς από ό,τι στην ύπαιθρο. Συνεπώς, η διαδικασία ψύξης γίνεται με αργότερους ρυθμούς στα αστικά κέντρα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται υπερθέρμανση και δημιουργία «θερμικού κλίματος κλιβάνου». Η υπερθέρμανση αυτή μπορεί να φτάσει τους 4-6 και, σπανιότερα, τους 10 °C. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στα κέντρα των μεγαλουπόλεων (Ντάφης, 2001).

2.4 Αστικό μικροκλίμα – Αστική Θερμική Νησίδα

Στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος μιας αστικής περιοχής επιδρούν άμεσα διαβαθμισμένα κλιματικά φαινόμενα, τα οποία χαρακτηρίζονται με τους όρους μακροκλίμα, μεσόκlima και μικροκλίμα και αφορούν ουσιαστικά την εξέταση του κλίματος σε τρεις διαφορετικές κλίμακες. Το μικροκλίμα αφορά στην ίδια την τοποθεσία, ακόμη και σε μικρές διαφορές στη βλάστηση, τη μορφολογία του εδάφους όπου οι ανθρώπινες παρεμβάσεις έχουν καθοριστική επίδραση (‘ΚΟΙΝΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ 1995’, 1996). Τα κλιματικά χαρακτηριστικά ενός τόπου, προσδιορίζονται από μια σειρά φυσικών φαινομένων και παραμέτρων. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις είναι δυνατό να διαταράξουν σε μεγάλο βαθμό αυτές

τις φυσικές παραμέτρους. Το 'αστικό μικροκλίμα' είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της διαταραχής.

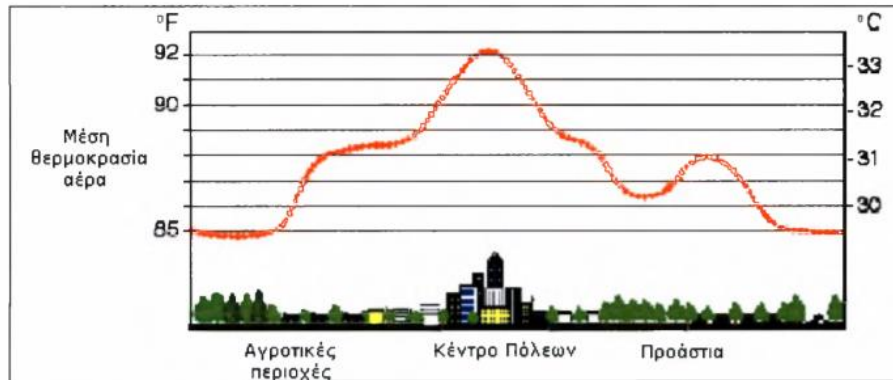
Οι βασικοί ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν το αστικό μικροκλίμα είναι οι ανθρωπογενείς πηγές ενέργειας και η ρύπανση λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Οι ποικίλες ανθρωπίνες δραστηριότητες παράγουν και τελικά, εκλύουν θερμότητα, κυρίως, εξαιτίας της χρήσης συμβατικών πηγών ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών λειτουργίας των κτιρίων και για τις μεταφορές. Πέρα από τις θερμικές επιπτώσεις, η χρήση ενέργειας και ειδικότερα, η καύση υδρογονανθράκων έχουν ως συνέπεια αυξημένη έκλυση ρύπων, σημαντικότεροι από τους οποίους είναι τα αέρια του θερμοκηπίου και τα αιωρούμενα σωματίδια.

Ταυτόχρονα, το μικροκλίμα μιας περιοχής διαμορφώνεται από τη μορφολογία της. Η πυκνότητα και το σύστημα δόμησης, οι ιδιότητες των εξωτερικών επιφανειών και οικοδομικών υλικών, οι υπαίθριοι χώροι και η βλάστηση μπορούν να επηρεάσουν την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου, τον αερισμό, τον φωτισμό, την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία της περιοχής (Γιάννας, 2001). Για παράδειγμα, τα κοινά οικοδομικά υλικά, όπως το τσιμέντο ο χάλυβας και το αλουμίνιο, χαρακτηρίζονται από υψηλή απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ ταυτόχρονα οι αστικοί ρύποι και η μειωμένη εξατμισοδιαπνοή λόγω έλλειψης πρασίνου στις πόλεις αποτελούν τροχοπέδη στη διαφυγή της εκπεμπόμενης από το έδαφος ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.

Οι παραπάνω παράγοντες έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική διαφοροποίηση του αστικού μικροκλίματος από αυτό της περιβάλλουσας υπαίθρου, καθώς και τη δημιουργία μωσαϊκού μικροκλιμάτων μέσα στην πόλη (Ντάφης, 2001). Το φαινόμενο που συντελεί στην μεταβολή της θερμικής και αεροδυναμικής συμπεριφοράς των αστικών περιοχών είναι το φαινόμενο της «αστικής θερμικής νησίδας».

Η Αστική Θερμική Νησίδα (Urban Heat Island) είναι ένα φυσικό ατμοσφαιρικό φαινόμενο, το οποίο χαρακτηρίζει το αστικό και ημιαστικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα αυτό να παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα προάστια και την ύπαιθρο. Η ετήσια μέση θερμοκρασία του αέρα μιας πόλης ενός εκατομμυρίου και άνω κατοίκων μπορεί να είναι από 1-3 °C υψηλότερη από τα περίχωρά της, ενώ κατά τη διάρκεια μιας καθαρής νύχτας, η διαφορά στη θερμοκρασία είναι πιθανό να φθάσει τους 12 °C. Πολυετείς μετρήσεις στην πόλη της Αθήνας καταγράφουν τιμές της μέγιστης έντασης θερμικής νησίδας, που φθάνουν έως και τους 10 °C με μεγάλη επίπτωση στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων (Santamouris et al., 2001). Μεγάλες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται ανάλογα με την εποχή του έτους καθώς επίσης και μεταξύ ημέρας και νύχτας (Founda et al., 2015). Οι μέγιστες διαφορές εμφανίζονται συνήθως τη νύχτα, ειδικά με καθαρό ουρανό και άπνοια, διότι υπό αυτές τις συνθήκες η ύπαιθρος και τα προάστια ψύχονται ταχύτερα από ό,τι το κέντρο της πόλης, όπου η εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (το κυριότερο μέσο μεταφοράς θερμότητας) είναι συγκριτικά μειωμένη (Oke, 1997). Ιδιαίτερα πολύπλοκη είναι, επίσης, η

αλληλεπίδραση ανάμεσα στην αστική θερμική νησίδα και στη θέρμανση λόγω παγκόσμιας (ή περιοχικής) κλιματικής αλλαγής, καθώς και η συνέργεια ανάμεσα στην αστική θερμική νησίδα και ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι καύσωνες, που μπορούν να τη μεγιστοποιήσουν (Founda and Santamouris, 2017).



Εικόνα 2.4.1. Αναπαράσταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας και πώς εξελίσσεται από τον αγροτικό/προαστιακό χώρο στα κέντρα των πόλεων (Bretz et al., 1998).

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα μελέτη εξετάσαμε την τάση της θερμοκρασίας καθώς και την τάση των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης (heating degree days HDD and cooling degree days CDD) σε επτά μεσογειακές πόλεις τις Ευρώπης. Η μελέτη αφορά τόσο στην ιστορική περίοδο 1975-2018 για την οποία χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις και καταγραφές των τοπικών μετεωρολογικών σταθμών, όσο και σε προβολές των τάσεων έως το τέλος του αιώνα με τη βοήθεια κλιματικών μοντέλων σύμφωνα με δύο διαφορετικά κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.

3.1. Επιλογή πόλεων

Η επιλογή των πόλεων για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

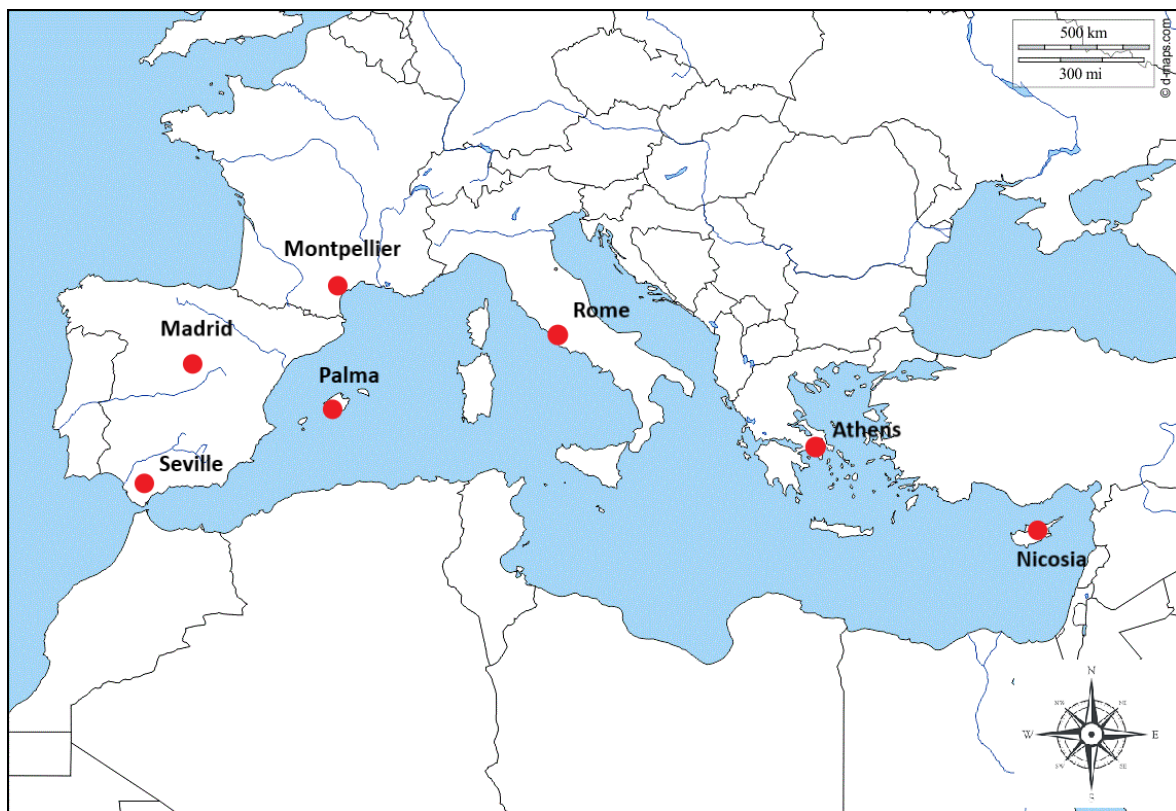
- Γεωγραφικά χαρακτηριστικά.
Αν και η περιοχή της Μεσογείου παρουσιάζει ένα κοινό γενικό κλιματικό μοτίβο, υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις σε τοπική κλίμακα, ανάλογα με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής (γεωγραφικό πλάτος και μήκος, υψόμετρο, απόσταση από θάλασσα κ.ά.). Προκειμένου να διερευνηθούν οι τάσεις θερμοκρασίας και βαθμοημερών σε περιοχές με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά, επιλέξαμε πόλεις με διαφορετική γεωγραφική θέση, που εκτείνονται από την Δυτική έως την Ανατολική Μεσόγειο όπως για παράδειγμα η Σεβίλλη και η Λευκωσία. Επίσης, σημαντική ήταν η επιλογή τόσο παράκτιων σταθμών (π.χ. Πάλμα, Λευκωσία) όσο και ηπειρωτικών σταθμών (π.χ. Μαδρίτη) δεδομένου ότι το παράκτιο μικροκλίμα επηρεάζει σημαντικά την μελέτη των ατμοσφαιρικών συνθηκών.
- Πυκνότητα του πληθυσμού.
Ένα επίσης σημαντικό κριτήριο για την εξαγωγή ρεαλιστικών αποτελεσμάτων είναι η επιλογή πόλεων με διαφορετική πληθυσμιακή πυκνότητα (π.χ. Μοντελιέ: 456,000 κάτοικοι, Μαδρίτη: 6,560,000 κάτοικοι), καθώς ο πληθυσμός μιας πόλης και η δραστηριότητα αυτού, επηρεάζει το τοπικό μικροκλίμα (π.χ. ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας) και κατ' επέκταση τις ενεργειακές ανάγκες της περιοχής.
- Διαθεσιμότητα και πληρότητα των χρονοσειρών μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας με μεγάλη διάρκεια (τουλάχιστον 40ετών) από κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς.

Τα χαρακτηριστικά των περιοχών που μελετήθηκαν φαίνονται στον πίνακα 3.1 και στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ο χάρτης των περιοχών αυτών.

Πίνακας 3.1. Γεωγραφικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη πόλεων

Πόλεις	Γεωγραφικό πλάτος (°)	Γεωγραφικό μήκος(°)	Υψόμετρο (m)	Πληθυσμός*	Έκταση πόλης* (km ²)
Αθήνα (ΕΑΑ)	37.97945	23.71622	70	3.154.152	412
Λευκωσία	35.185566	33.382275	130	1.199.600	122
Μαδρίτη	40.416775	3.703790	667	6.559.041	5.335
Μονπελιέ	43.61092	3.87723	27	456.199	56.88
Πάλμα	39.56939	2.65024	13	560.240	206.8
Ρώμη	41.89193	12.51133	21	4.234.019	5.352
Σεβίλλη	37.38283	-5.97317	7	1.317.098	140.6882

*τα στοιχεία αφορούν την μητροπολιτική περιοχή κάθε πόλης



Εικόνα 3.1. Χάρτης των υπό μελέτη πόλεων

Οι πόλεις που επιλέχθηκαν για το σκοπό της παρούσας εργασίας παρουσιάζουν διαφορές στα κλιματικά χαρακτηριστικά και την θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του έτους. Στοχεύοντας στην βέλτιστη προσέγγιση της μελέτης και στην απόδοση ρεαλιστικών αποτελεσμάτων επιλέξαμε πόλεις με εύρος στην τιμή της θερμοκρασίας από 5 έως 12 °C τους χειμερινούς μήνες και 21 ως 29 °C τους καλοκαιρινούς μήνες. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία για τις επτά επιλεγμένες πόλεις για την χρονική περίοδο 1980-2010. Παρατηρούμε ότι η Λευκωσία, η Σεβίλλη και η Αθήνα είναι πιο θερμές συγκριτικά με τη Μαδρίτη, το Μονπελιέ και τη Ρώμη ενώ η θερμοκρασία στην Πάλμα κυμαίνεται σε ενδιάμεσες τιμές. Επομένως οι θερμότερες πόλεις αναμένεται να έχουν αυξημένες ανάγκες για ψύξη. Αντίθετα, η Μαδρίτη, το Μονπελιέ και η Ρώμη είναι πιο κρύες και τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία είναι 3 ως 5°C χαμηλότερη. Άρα οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση αναμένεται να είναι αυξημένες.

Πίνακας 3.2. Μέση μηνιαία θερμοκρασία των υπό μελέτη πόλεων σε °C (1980-2010).

	Αθήνα	Μαδρίτη	Μονπελιέ	Λευκωσία	Πάλμα	Ρώμη	Σεβίλλη
Ιανουάριος	9.5	5.5	7.2	10.1	9.5	7.3	10.8
Φεβρουάριος	9.6	7.1	8.1	10.5	9.7	7.9	12.5
Μάρτιος	11.9	10.2	10.9	12.9	11.3	10.4	15.5
Απρίλιος	15.7	12.2	13.4	17.1	13.6	13.1	17.2
Μάιος	20.6	16.1	17.2	21.8	17.5	19.5	20.6
Ιούνιος	25.5	21.7	21.2	26.3	21.7	21.7	25.1
Ιούλιος	28	25.1	24	29.0	24.6	24.8	28.1
Αύγουστος	27.7	24.7	23.7	28.8	25.1	25	27.9
Σεπτέμβριος	23.7	20.5	19	25.6	22.2	21.1	25
Οκτώβριος	19	14.8	16.1	21.4	18.4	17	20.2
Νοέμβριος	14.4	9.4	11	15.6	13.7	12	15.1
Δεκέμβριος	11	6.1	7.8	11.7	10.7	8.4	11.9

3.2. Κλιματικά Δεδομένα

A. Δεδομένα παρατηρήσεων:

Τα δεδομένα για την μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε πόλη για την περίοδο 1975-2018 προέρχονται από τη βάση δεδομένων του European Climate Assessment & Data Project (ECA&D) και είναι διαθέσιμα στη σελίδα <https://www.ecad.eu/dailydata/index.php>. Για την περιοχή της Αθήνας, τα δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας προέρχονται από την κλιματική βάση του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Μέσω των ημερήσιων θερμοκρασιών υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές θερμοκρασίας για κάθε πόλη.

B. Δεδομένα μοντέλου:

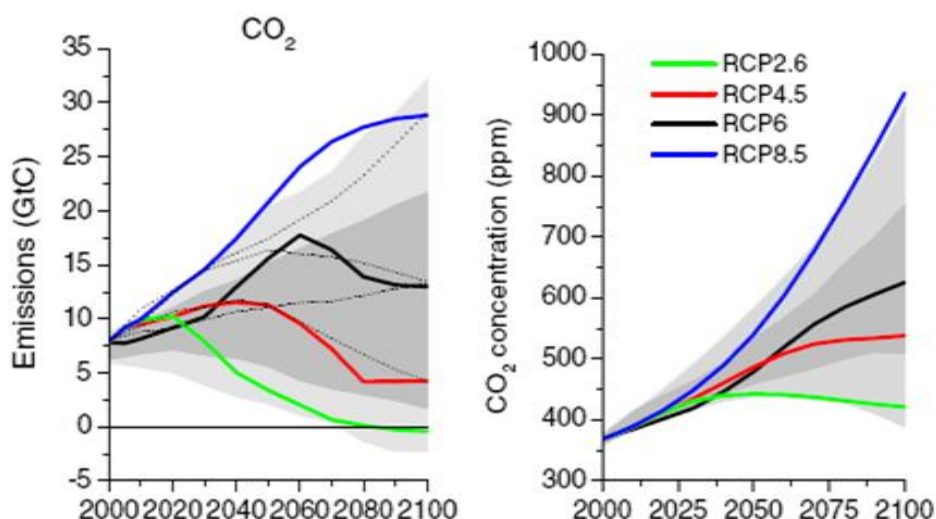
3.2.1.Κλιματικά Μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα αποτελούν πλέον τα χρησιμότερα εργαλεία για την παρακολούθηση του παγκόσμιου κλίματος, τη διερεύνηση παλαιότερων εποχών και μελλοντικές εκτιμήσεις για τις κλιματικές συνθήκες διαβίωσης στον πλανήτη μας τις επόμενες εκατονταετίες. Χρησιμοποιούνται για ποικίλους σκοπούς όμως η πιο διαδεδομένη χρήση των κλιματικών μοντέλων τα τελευταία χρόνια είναι η εκτίμηση της πορείας της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής. Σε γενικές γραμμές ένα κλιματικό μοντέλο είναι η προσομοίωση του κλιματικού συστήματος, βασισμένη σε φυσικές, βιολογικές και χημικές διεργασίες. Τα μοντέλα παρέχουν δεδομένα τα οποία είναι διακριτά στο χώρο και στο χρόνο, δηλαδή τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν μέσες τιμές ανά περιοχή, η οποία εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση του μοντέλου, για δεδομένες χρονικές περιόδους. Σε όλα τα μοντέλα απαιτούνται δεδομένα εισόδου, κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων. Ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων, τα οποία προέρχονται από μετρήσεις – παρατηρήσεις, είναι απαραίτητος για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων των μοντέλων και για την εξαγωγή ασφαλών και αξιόπιστων συμπερασμάτων από αυτά.

Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) αποτελούν συμπληρωματική μέθοδο προσομοίωσης των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων (GCMs) και επιτρέπουν τη λεπτομερέστερη μελέτη των διαδικασιών προσομοίωσης των τοπικών συνθηκών. Βασικό πλεονέκτημα των RCMs είναι ότι περιγράφουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας όπως την ορογραφία, την κατανομή ξηράς και θάλασσας και τη χρήση της γης, τα οποία δεν είναι δυνατό να παρασταθούν ακόμα στις προσομοιώσεις των GCMs επειδή οι διαστάσεις τους είναι μικρότερες από τις διαστάσεις του πλέγματος του GCM. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι αν τα αποτελέσματα του GCM που παρέχει τις οριακές συνθήκες είναι εσφαλμένα το ίδιο θα ισχύσει και για τα αποτελέσματα του RCM. Αυτό το μειονέκτημα ισχύει για όλες τις τεχνικές υποκλιμάκωσης. Επίσης μειονέκτημα αποτελεί η έλλειψη της δυνατότητας αλληλεπίδρασης με το GCM. Η ανάγκη ρύθμισης τους, είναι ένα ακόμα μειονέκτημα διότι μπορεί να αποδειχτεί διαδικασία χρονοβόρα και επίπονη (Παναγέα Ι., 2013).

3.2.2. Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκεντρώσεων (Representative Concentration Pathways RCPs)

Οι μελλοντικές τιμές της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας υπολογίστηκαν με βάση δύο διαφορετικά σενάρια, το RCP4.5 και RCP8.5. Τα RCPs (Representative Concentration Pathways) γενικά αναφέρονται σε τέσσερα σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5) σχετικά με την εξέλιξη των εκπομπών και κατά συνέπεια και των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gas GHG: CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, SF₆, HFCs, NO_x, CO, VOC, SO₂, BC, OC) μέχρι το 2100, όπως αυτά υιοθετήθηκαν από το Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) στην αναφορά της πέμπτης έκθεσης (IPCC, 2014). Τα ονόματά τους προκύπτουν από το πιθανό εύρος των τιμών της ακτινοβολίας που προστίθεται στον πλανήτη λόγω κλιματικού εξαναγκασμού (climatic forcing) έως το τέλος του 21ου αιώνα , σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές της προ-βιομηχανικής εποχής: +2.6, +4.5, +6.0 και +8.5 W/ m² . Για το σκοπό της παρούσας μελέτης επιλέχτηκε το σχετικά ήπιο σενάριο RCP4.5 και το ακραίο σενάριο RCP8.5. Σύμφωνα με το RCP4.5 οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου θα κορυφωθούν στις αρχές του 2050 και στη συνέχεια θα μειωθούν, προκαλώντας συγκέντρωση CO₂ της τάξης των 650ppm, και αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.8-2 °C έως το 2100 (εικόνα 3.1). Από την άλλη μεριά, το RCP8.5 προβλέπει διαρκή αύξηση των GHG εκπομπών έως το 2100, προκαλώντας συσσώρευση CO₂ της τάξης των 1370 ppm και αύξηση της θερμοκρασίας περίπου 4 °C. Το σενάριο RCP4.5 είναι αρκετά αισιόδοξο σενάριο ενώ το RCP8.5 προβλέπει ανικανότητα ελέγχου των εκπομπών, και κατά συνέπεια των συγκεντρώσεων, των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, γεγονός που υποδεικνύει εξαιρετικά δυσμενείς εξελίξεις όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.2. Τάσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και συγκέντρωσης CO₂ σύμφωνα με τα σενάρια RCP2.5, RCP4.5, RCP6 και RCP8.5 για την περίοδο 2000-2100 (van Vuuren et al., 2011).

Αφού μελετήθηκαν τα ιστορικά θερμοκρασιακά δεδομένα για την χρονική περίοδο 1975-2018, εξετάσαμε τις αντίστοιχες μελλοντικές τάσεις των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης έως το έτος 2100, σύμφωνα με τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες όπως αυτές υπολογίστηκαν, για το πλησιέστερο πλέγμα στους επιλεγμένους μετεωρολογικούς σταθμούς, από το Regional Climate Model RCA4 του Μετεωρολογικού και Υδρολογικού Ινστιτούτου Σουηδίας (Swedish Meteorological and Hydrological Institute) (Strandberg *et al.*, 2014) και αναφορές προέρχονται από το ινστιτούτο Max Planck για το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο MPI-ESM-LR (Popke, Stevens and Voigt, 2013). Η οριζόντια ανάλυση του μοντέλου είναι 0.11° ($\sim 12 \times 12$ km) και οι προσομοιώσεις διεξάχθηκαν στα πλαίσια του EURO-CORDEX modeling experiment (<http://www.euro-cordex.net>). Τα δεδομένα προσομοίωσης αφορούν στην περίοδο 1970-2100, ενώ το σενάριο RCP8.5 που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, ενσωματώθηκε μετά το 2005 καλύπτοντας την περίοδο 2006-2100 (Riahi *et al.*, 2011).

3.3. Τάση θερμοκρασίας και υπολογισμός βαθμοημερών θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD)

Στην παρούσα εργασία υπολογίσαμε την τάση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, για τις επιλεγμένες Μεσογειακές πόλεις, για την χρονική περίοδο 1975-2018 σύμφωνα με τα δεδομένα που καταγράφηκαν από τοπικούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Η τάση της θερμοκρασίας υπολογίστηκε τόσο σε ετήσια κλίμακα για να αντλήσουμε πληροφορίες για το πώς μεταβάλλεται η μέση ετήσια θερμοκρασία της εκάστοτε πόλης, όσο και σε μηνιαία κλίμακα, με σκοπό την παρατήρηση των εποχιακών θερμοκρασιακών μεταβολών. Η μέση ετήσια και η μέση μηνιαία θερμοκρασία υπολογίστηκαν από το άθροισμα της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για την κάθε πόλη.

Σύμφωνα τα δεδομένα της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, υπολογίσαμε τις τιμές των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης (HDD και CDD) για την χρονική περίοδο 1975-2018 βάση των δεδομένων παρατήρησης και για την περίοδο 1970-2100 βάση των δεδομένων από το κλιματικό μοντέλο.

Οι βαθμοημέρες θέρμανσης/ψύξης (heating degree days HDD/ cooling degree days CDD): αποτελούν δείκτες για την εκτίμηση της ενεργειακής απαίτησης για θέρμανση/ ψύξη των εσωτερικών χώρων των κτηρίων. Οι δείκτες αυτοί μας δίνουν πληροφορίες για το πόσο (σε βαθμούς Κελσίου) και για πόση διάρκεια (σε ημέρες), η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη/υψηλότερη από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία άνεσης. Υπολογίζονται σύμφωνα με την απόκλιση κάτω/πάνω από αυτή τη θερμοκρασία άνεσης (baseline comfort temperature), σύμφωνα με την οποία ένα κτήριο θεωρείται ότι χρειάζεται θέρμανση/ψύξη. Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται κρίσιμη θερμοκρασία-κατώφλι (Tt: Threshold temperature).

Η σχέση μεταξύ των βαθμοημερών δεν είναι μοναδική καθώς μπορεί να επιλεχθεί διαφορετική θερμοκρασία-κατώφλι ανάλογα με την προσέγγιση μιας μελέτης ή την περιοχή που εξετάζεται. Η επιλογή της T_t εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τοπικού κλίματος και από παράγοντες όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ο ενεργειακός προϋπολογισμός ή οι αγροκλιματικές επιδράσεις. Για το λόγο αυτό, μελετώντας μια διευρυμένη περιοχή όπως αυτή της Μεσογείου, είναι δύσκολο να οριστεί απόλυτα ακριβής θερμοκρασία-κατώφλι (Spinoni *et al.*, 2015). Στην παρούσα μελέτη η θερμοκρασία αυτή επιλέχθηκε σύμφωνα με βιβλιογραφία που αφορά αντίστοιχες μελέτες. Για παράδειγμα για την Ελλάδα έχει επιλεχθεί στο παρελθόν ένα εύρος T_t : 10-20 °C για HDD και 20- 27.5 °C για CDD (Papakostas *et al.*, 2010) ενώ για την Ισπανία έχει επιλεχθεί $T_t = 10$ °C για HDD και 25 °C για CDD (Valor *et al.*, 2001).

Για τον υπολογισμό των βαθμοημερών ψύξης υιοθετήσαμε το θερμοκρασιακό κατώφλι 26 °C, ενώ για τον υπολογισμό των βαθμοημερών θέρμανσης το θερμοκρασιακό κατώφλι 18.3 °C. Αντίστοιχες τιμές έχουν χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Kapsomenakis *et al.*, 2013).

Υπολογισμός ημερήσιων βαθμοημερών θέρμανσης (HDD):

Για $T_o(d) \leq 18.3$,

$$HDD = 18.3 - T_o(d) \quad (1)$$

Αντίστοιχα, υπολογισμός ημερήσιων βαθμοημερών ψύξης (CDD):

Για $T_o(d) \geq 26$,

$$CDD = T_o(d) - 26 \quad (2)$$

Όπου,

$T_o(d)$: η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα

Σύμφωνα με την τιμή των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης ανά έτος και ανά μήνα σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις (Kapsomenakis *et al.*, 2013):

$$HDD = \sum_{i=1}^Z [T_{ht} - T_o(d)]_i \quad (3)$$

$$CDD = \sum_{i=1}^Z [T_o(d)]_i - T_{ct} \quad (4)$$

Όπου ,

HDD: οι βαθμοημέρες θέρμανσης για ένα μήνα/ έτος

Z: ο αριθμός ημερών ενός μήνα/ έτους

$T_o(d)$: η μέση θερμοκρασία του αέρα

T_{ht} : η θερμοκρασία-κατώφλι των βαθμοημερών θέρμανσης (18.3 °C)

T_{ct} : η θερμοκρασία-κατώφλι των βαθμοημερών ψύξης (26 °C)

Για όλους τους δείκτες έχουν ληφθεί υπόψη μόνο οι θετικές τιμές των αποτελεσμάτων της αφαίρεσης.

Οι τάσεις HDD και CDD υπολογίστηκαν ανά έτος και μήνα για όλες τις πόλεις για την περίοδο 1975-2018 από τα δεδομένα των παρατηρήσεων, προκειμένου να διερευνηθούν οι μακροχρόνιες μεταβολές των αναγκών για θέρμανση και ψύξη τα τελευταία 40 χρόνια. Επίσης, υπολογίστηκαν οι HDD και CDD από τις μελλοντικές προσομοιώσεις για την περίοδο 1970-2100 με σκοπό την εκτίμηση της μεταβολής στις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης τα επόμενα 80 χρόνια. Οι μελλοντικές προσομοιώσεις έγιναν σύμφωνα με δύο διαφορετικά σενάρια αναφορικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (RCP4.5 και RCP8.5).

Αφού υπολογίσαμε την τάση των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης έως το έτος 2100 σύμφωνα με το ήπιο σενάριο RCP4.5 και το δυσμενέστερο RCP8.5, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα δύο αυτά σενάρια και παρουσιάστηκε γραφικά (εικόνα 4.6.1-4.6.14) με σκοπό την παρατήρηση των μεταβολών στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη αναφορικά με τις δύο διαφορετικές πορείες εκπομπών και συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα έως το τέλος του αιώνα.

3.4. Υπολογισμός διάρκειας και χρονικής μετατόπισης της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πληροφορία σχετικά με τις πιθανές μεταβολές στην έναρξη και λήξη της περιόδου που υπάρχει ανάγκη κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση ή/και ψύξη των εσωτερικών χώρων. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει εποχικές μετατοπίσεις στην πρώτη ή/και στην τελευταία ημέρα εμφάνισης διάφορων κλιματικών δεικτών ακραίων θερμοκρασιών στην Ανατολική Μεσόγειο, και γενική επιμήκυνση της εποχής που εμφανίζονται, στο παρελθόν και το μέλλον (Founda *et al.*, 2019). Αντίστοιχα, στην παρούσα μελέτη εξετάσαμε την τάση μετατόπισης της ημέρας έναρξης και λήξης της περιόδου ύπαρξης ενεργειακών αναγκών για τη

διατήρηση του εσωτερικού χώρου ενός κτηρίου σε φιλικές προς τον άνθρωπο θερμοκρασιακές συνθήκες, για τις επτά επιλεγμένες πόλεις. Παράλληλα μελετήσαμε την τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου αυτής μέσα σε ένα έτος.

Για τον υπολογισμό και την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα καταμέτρησης ημερών σε Ιουλιανές μέρες (Julian Day Number JDN).

Όπου $JDN=1$: 1^η Ιανουαρίου

Και $JDN=365$: 31^η Δεκεμβρίου

Στις παραγράφους 4.7 και 4.8 επιχειρείται σύγκριση των αποτελεσμάτων από δεδομένα παρατηρήσεων με τα αποτελέσματα από τα δεδομένα του μοντέλου για μια κοινή περίοδο αναφοράς (1975-2018), προκειμένου να αξιολογηθεί η αξιοπιστία του μοντέλου. Παρατηρώντας την πρώτη και την τελευταία μέρα που εμφανίζεται ανάγκη τόσο για θέρμανση (HDD) όσο και για ψύξη (CDD) για το εκάστοτε έτος, έγινε γραφική απεικόνιση της τάσης της ημερολογιακής μετατόπισης των ημερών αυτών και παρουσιάστηκε η συσχέτιση των αποτελεσμάτων μεταξύ των ιστορικών δεδομένων και αυτών του κλιματικού μοντέλου (εικόνα 4.7.1- 4.7.14 και 4.8.1- 4.8.14).

- Ακόμα, παρουσιάσαμε γραφικά, στην παράγραφο 4.9, την προσομοίωση των τάσεων (της ημερολογιακής μετατόπισης) της ημέρας έναρξης και λήξης τόσο για την περίοδο με ανάγκες θέρμανσης όσο και για αυτήν με ανάγκες για ψύξη των εσωτερικών χώρων. Για τον υπολογισμό της ημερολογιακής μετατόπισης της ημέρας έναρξης σε σύγκριση με τη μετατόπιση της ημέρας λήξης επιλέχθηκε το σενάριο RCP8.5 το οποίο αφορά τη δυσμενέστερη εκδοχή σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (εικόνα 4.9.1.1- 4.9.7.2).
- Τέλος, παρουσιάσαμε σε γράφημα (εικόνα 4.10.1- 4.10.14) τη διάρκεια της περιόδου που υπάρχει ανάγκη να ψυχθεί και να θερμανθεί ένας χώρος και πώς αυτή μεταβάλλεται έως το τέλος του αιώνα σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5.

Η διάρκεια της περιόδου των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης υπολογίστηκε σε ημέρες αφαιρώντας την τελευταία ημέρα που παρατηρείται ανάγκη θέρμανσης/ψύξης, μέσα σε ένα έτος, από την πρώτη.

Διάρκεια περιόδου ανάγκης ψύξης:

$$CDD_{duration} = \text{Last } JD_{CDD} - 1^{st} JD_{CDD} \quad (5)$$

Διάρκεια περιόδου ανάγκης θέρμανσης:

$$HDD_{duration} = \text{Last } JD_{HDD} - 1^{st} JD_{HDD} \quad (6)$$

Οι μελλοντικές τιμές για τον υπολογισμό της διάρκειας και της ημερολογιακής μετατόπισης της ημέρας έναρξης και λήξης των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης, αφορούν στο σενάριο RCP8.5, λαμβάνοντας υπόψη την δυσμενέστερη εκδοχή για την έκβαση την κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο.

3.5. Υπολογισμός τάσεων και στατιστικής σημαντικότητας

Σε όλα τα διαγράμματα οι τάσεις υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (simple linear regression). Η ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) είναι ένα σύνολο στατιστικών διαδικασιών που έχουν ως στόχο την εκτίμηση και αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ μεταβλητών σε ένα σύνολο δεδομένων. Η ανάλυση παλινδρόμησης απαιτεί να υπάρχουν διαθέσιμες πραγματικές, παρατηρούμενες τιμές των μεταβλητών αυτών, οι οποίες θα αναλυθούν και απ' όπου θα εξαχθεί η σχέση των υπό εξέταση μεταβλητών. Ο στόχος της παλινδρόμησης είναι τόσο να περιγράψει και να εξηγήσει τη σχέση των τιμών μεταβλητών αυτών, όσο και για να προβλέψει τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής βάσει των τιμών των ανεξαρτήτων μεταβλητών.

Η ευθεία παλινδρόμησης είναι της μορφής :

$$y=ax+\beta$$

Δοθέντων δεδομένων με τιμές x προσδιορίσαμε τους συντελεστές α .

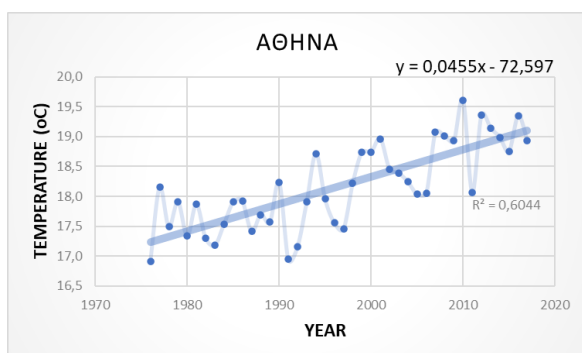
Επίσης, πραγματοποιήθηκε στατιστικός έλεγχος για τη σημαντικότητα των αποτελεσμάτων, δηλαδή των τάσεων που παρατηρήθηκαν. Η στατιστική δοκιμασία περιλαμβάνει μια μηδενική και μια εναλλακτική υπόθεση. Η μηδενική υπόθεση είναι ότι η τάση δεν είναι σημαντική (οι συντελεστές α δεν απέχουν πολύ από το μηδέν) και η εναλλακτική υπόθεση ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική τάση.

Η στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων εκτιμήθηκε μέσω του t-test και του υπολογισμού της p value (πιθανότητα για τη μηδενική υπόθεση) με χρήση του διαδικτυακού εργαλείου 'Calculators for Statistical Table Entries' (<http://vassarstats.net/tabs.html#r>). Εισάγοντας το πλήθος των δεδομένων ενός γραφήματος και την τιμή του συντελεστή α , υπολογίσαμε την τιμή p (Wilks, 1995). Τα αποτελέσματα είναι στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% όταν η τιμή $p < 0.05$ και σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% όταν η τιμή για $p < 0.01$.

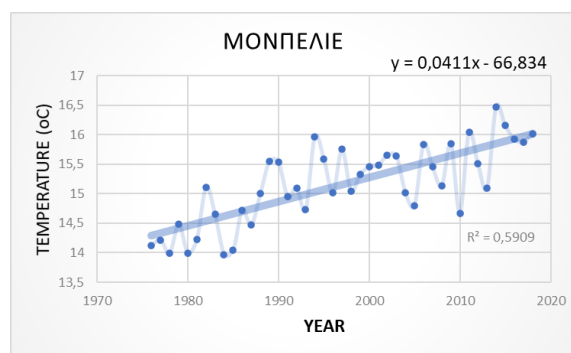
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Τάση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (1975-2018) - Δεδομένα παρατηρήσεων

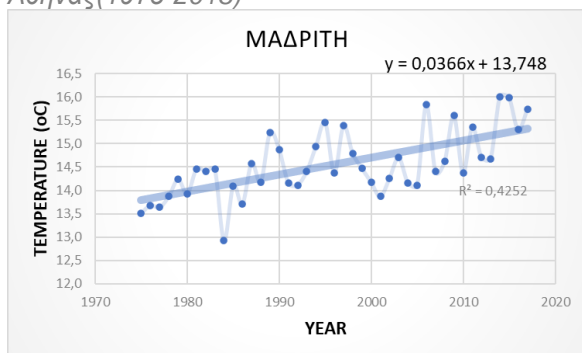
Στα σχήματα 4.1.1 έως 4.1.7 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας των επιλεγμένων πόλεων ανά έτος για την περίοδο 1975-2018. Όλες οι πόλεις παρουσιάζουν αξιοσημείωτη αυξητική τάση που κυμαίνεται από 0.41 ως 0.49 °C/δεκαετία, με τη Λευκωσία, την Πάλμα και τη Σεβίλλη να σημειώνουν τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις με ρυθμό σχεδόν 0.5 °C ανά δεκαετία. Παρατηρείται, ότι οι πιο θερμές πόλεις (πίνακας 3.2) παρουσιάζουν την μεγαλύτερη τάση στην αύξηση της θερμοκρασίας ενώ οι λιγότερο θερμές όπως η Μαδρίτη παρουσιάζουν πιο ήπια θερμοκρασιακή αύξηση τα τελευταία σαράντα χρόνια. Οι τάσεις αυτές παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 4.11.1.



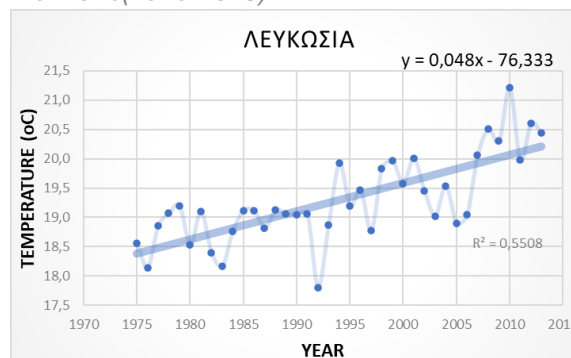
Εικόνα 4.1.1.Ετήσια τάση θερμοκρασίας Αθήνας(1975-2018)



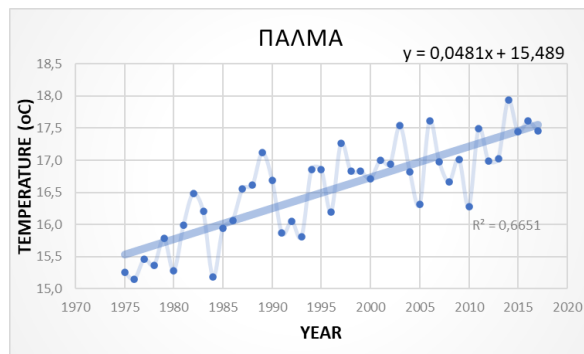
Εικόνα 4.1.2.Ετήσια τάση θερμοκρασίας Μοντελιέ(1975-2018)



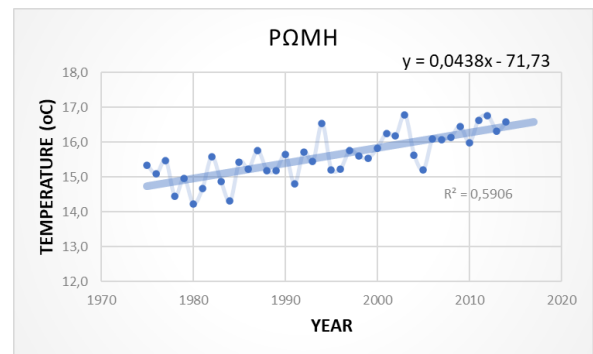
Εικόνα 4.1.3.Ετήσια τάση θερμοκρασίας Μαδρίτη(1975-2018)



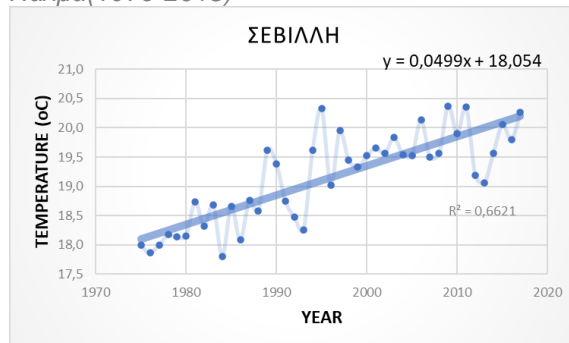
Εικόνα 4.1.4.Ετήσια τάση θερμοκρασίας Λευκωσίας(1975-2018)



Εικόνα 4.1.5.Ετήσια τάση θερμοκρασίας Πάλλα(1975-2018)



Εικόνα 4.1.6.Ετήσια τάση θερμοκρασίας Ρώμης (1975-2018)

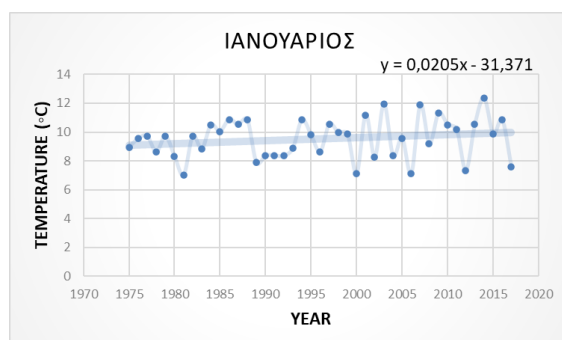


Εικόνα 4.1.7.Ετήσια τάση θερμοκρασίας Σεβίλλης(1975-2018)

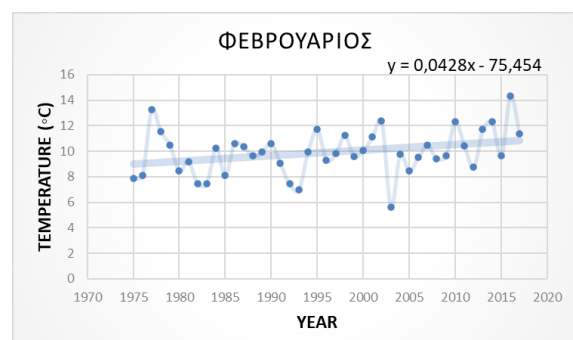
4.2 Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (1975-2018) - Δεδομένα παρατηρήσεων

Στα σχήματα 4.2.1.1 ως 4.2.7.12 φαίνεται η μεταβολή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας των επτά πόλεων ανά έτος (1975-2018). Η τάση της θερμοκρασίας παρουσιάζει πιο έντονη αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες (0.06-0.09 °C ανά έτος) ενώ τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό που κυμαίνεται περίπου από 0.01 ως 0.02 °C ανά έτος σε όλες τις πόλεις. Τα αποτελέσματα παρατίθενται αναλυτικά στους πίνακες 4.11.2 ως 4.11.8.

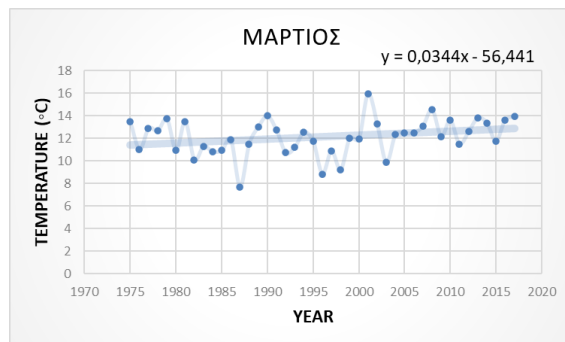
4.2.1 Αθήνα



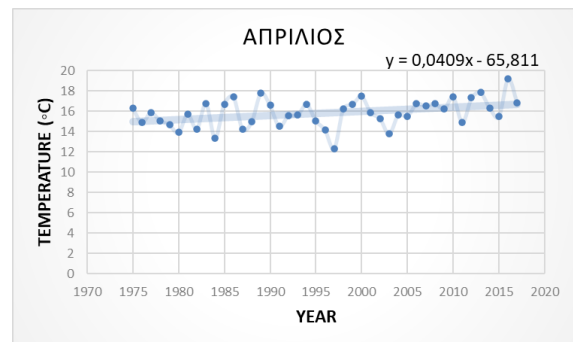
Εικόνα 4.2.1.1. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου- Αθήνα (1975-2018)



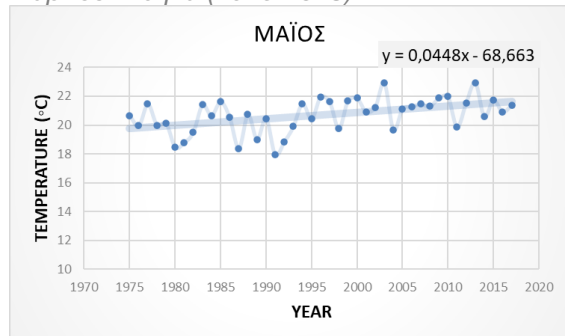
Εικόνα 4.2.1.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Αθήνα (1975-2018)



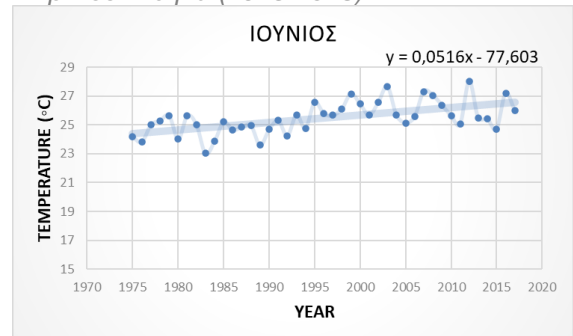
Εικόνα 4.2.1.3. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου- Αθήνα (1975-2018)



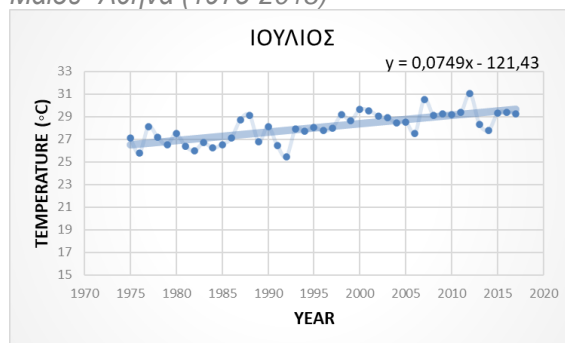
Εικόνα 4.2.1.4. Τάση μέσης θερμοκρασίας Απριλίου- Αθήνα (1975-2018)



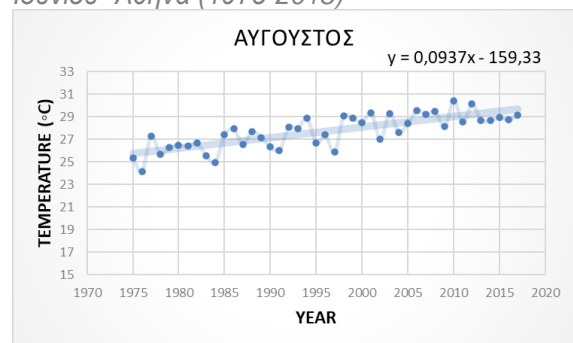
Εικόνα 4.2.1.5. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαΐου- Αθήνα (1975-2018)



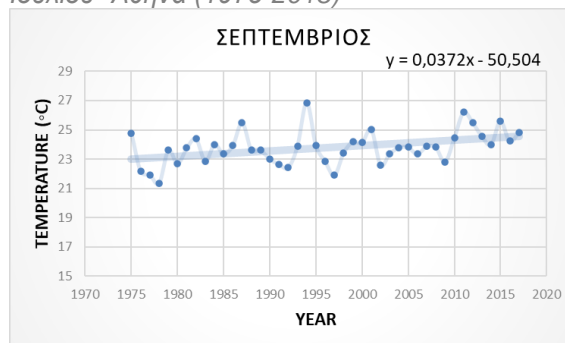
Εικόνα 4.2.1.6. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου- Αθήνα (1975-2018)



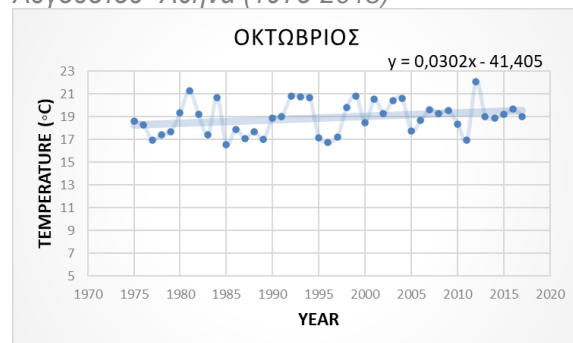
Εικόνα 4.2.1.7. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου- Αθήνα (1975-2018)



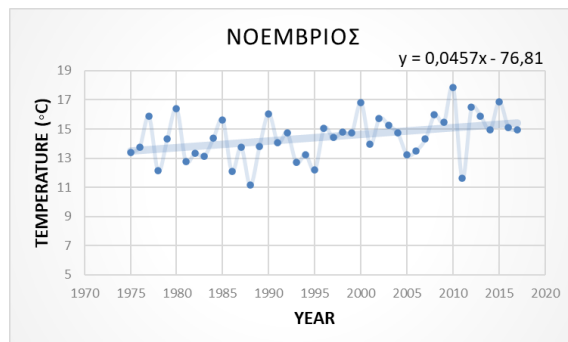
Εικόνα 4.2.1.8. Τάση μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου- Αθήνα (1975-2018)



Εικόνα 4.2.1.9. Τάση μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου- Αθήνα (1975-2018)



Εικόνα 4.2.1.10. Τάση μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου- Αθήνα (1975-2018)

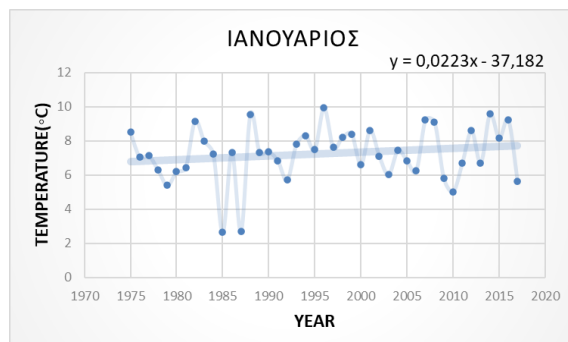


Εικόνα 4.2.1.11. Τάση μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου- Αθήνα (1975-2018)



Εικόνα 4.2.1.12. Τάση μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου- Αθήνα (1975-2018)

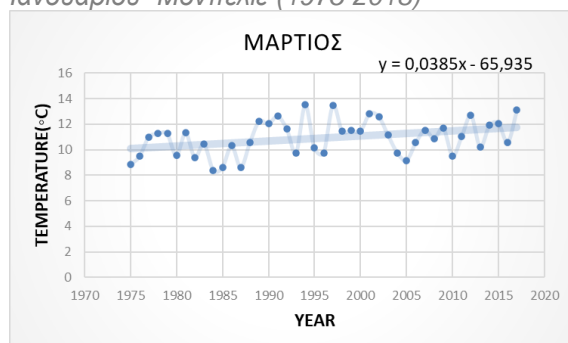
4.2.2 Μοντελιέ



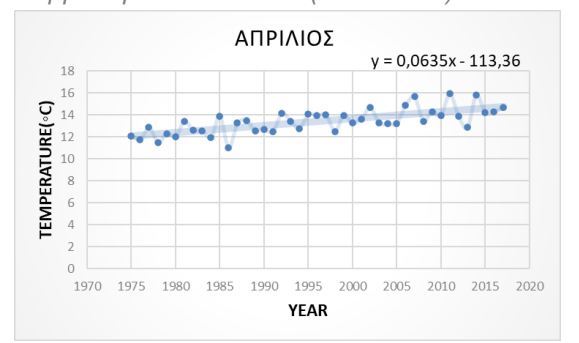
Εικόνα 4.2.2.1. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου- Μοντελιέ (1975-2018)



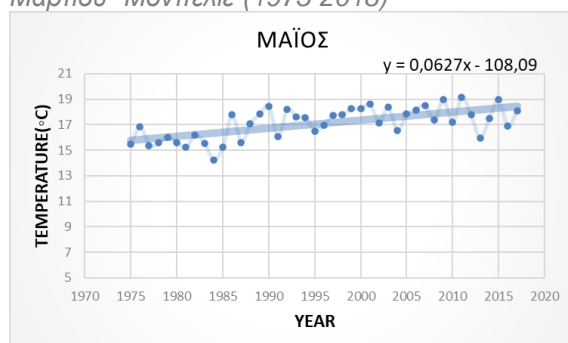
Εικόνα 4.2.2.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Μοντελιέ (1975-2018)



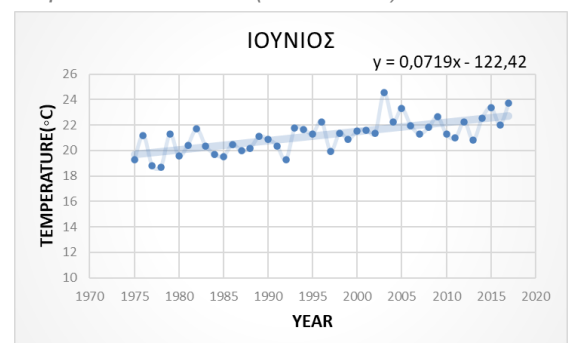
Εικόνα 4.2.2.3. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου- Μοντελιέ (1975-2018)



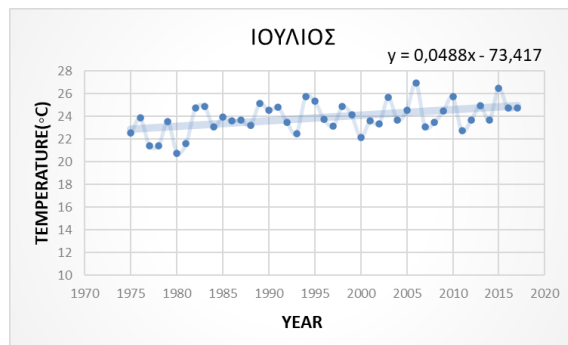
Εικόνα 4.2.2.4. Τάση μέσης θερμοκρασίας Απριλίου- Μοντελιέ (1975-2018)



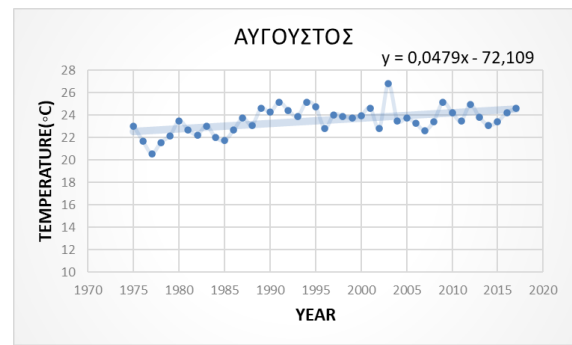
Εικόνα 4.2.2.5. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαΐου- Μοντελιέ (1975-2018)



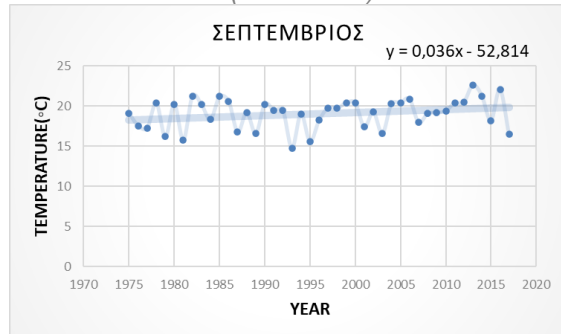
Εικόνα 4.2.2.6. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου- Μοντελιέ (1975-2018)



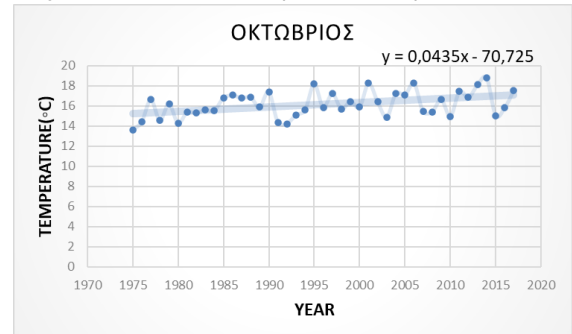
Εικόνα 4.2.2.7. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου- Μονπελιέ (1975-2018)



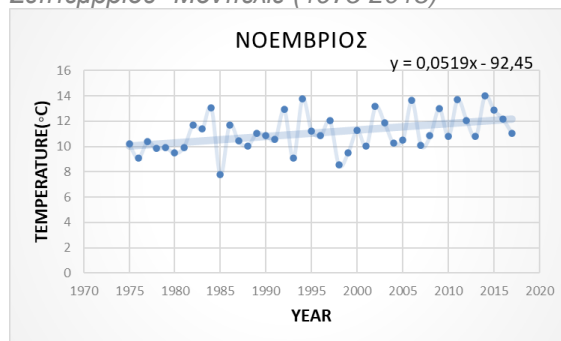
Εικόνα 4.2.2.8. Τάση μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου- Μονπελιέ (1975-2018)



Εικόνα 4.2.2.9. Τάση μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου- Μονπελιέ (1975-2018)



Εικόνα 4.2.2.10. Τάση μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου- Μονπελιέ (1975-2018)

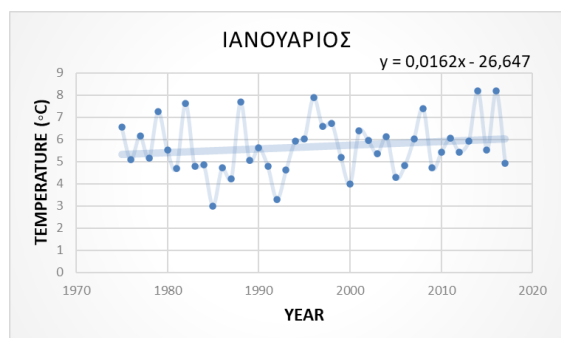


Εικόνα 4.2.2.11. Τάση μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου- Μονπελιέ (1975-2018)



Εικόνα 4.2.2.12. Τάση μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου- Μονπελιέ (1975-2018)

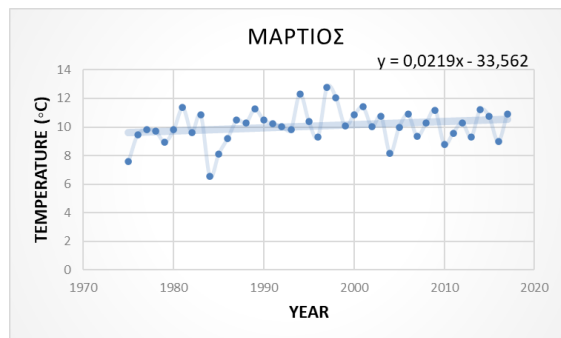
4.2.3 Μαδρίτη



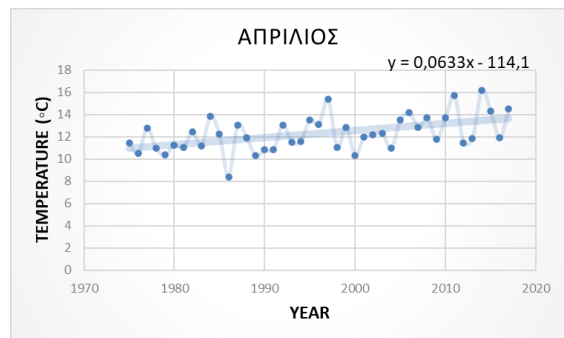
Εικόνα 4.2.3.1. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου- Μαδρίτη (1975-2018)



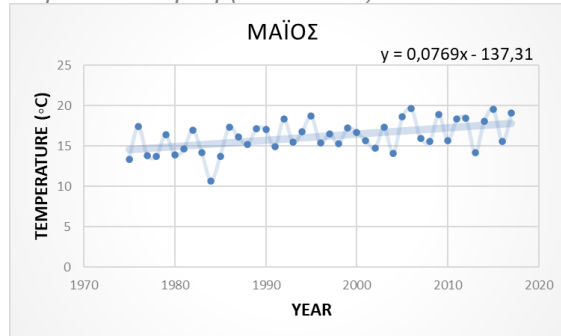
Εικόνα 4.2.3.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Μαδρίτη (1975-2018)



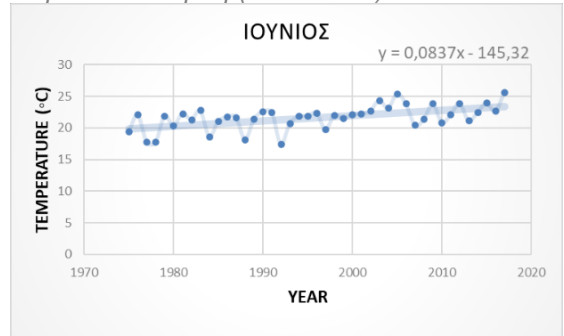
Εικόνα 4.2.3.3. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου- Μαδρίτη (1975-2018)



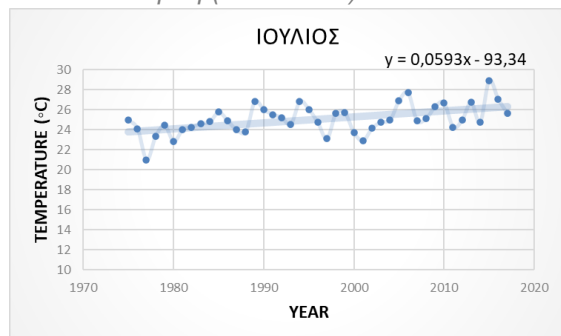
Εικόνα 4.2.3.4. Τάση μέσης θερμοκρασίας Απριλίου- Μαδρίτη (1975-2018)



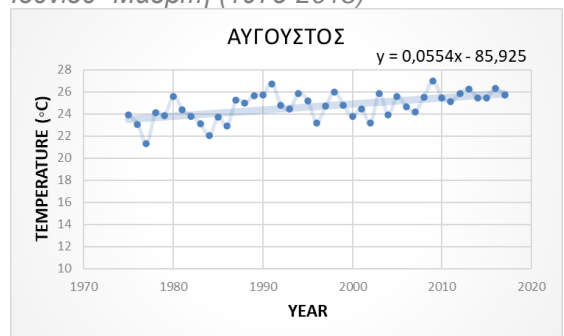
Εικόνα 4.2.3.5. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαΐου - Μαδρίτη (1975-2018)



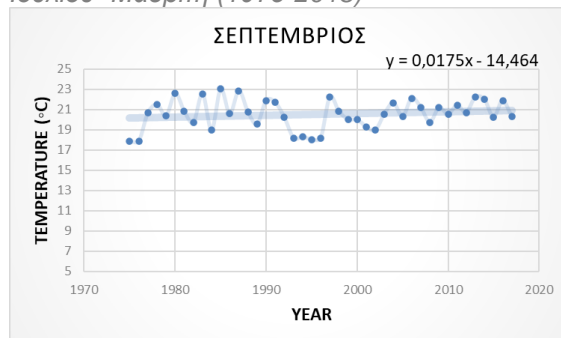
Εικόνα 4.2.3.6. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου- Μαδρίτη (1975-2018)



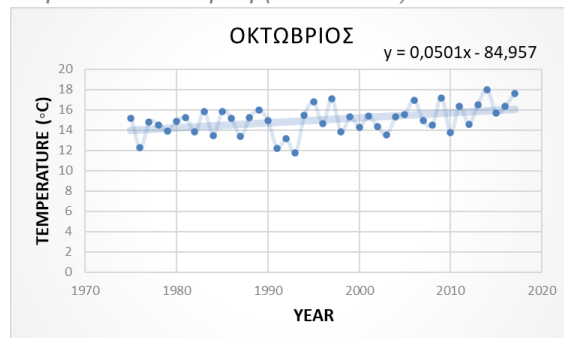
Εικόνα 4.2.3.7. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου- Μαδρίτη (1975-2018)



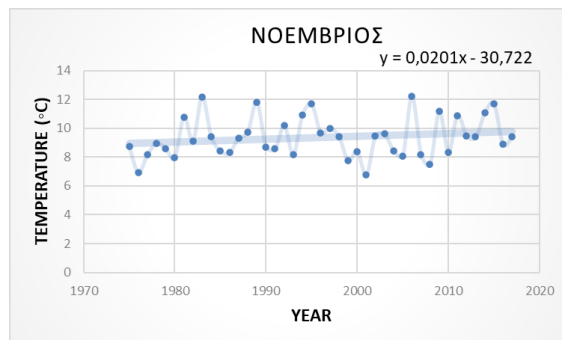
Εικόνα 4.2.3.8. Τάση μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου- Μαδρίτη (1975-2018)



Εικόνα 4.2.3.9. Τάση μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου- Μαδρίτη (1975-2018)



Εικόνα 4.2.3.10. Τάση μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου- Μαδρίτη (1975-2018)

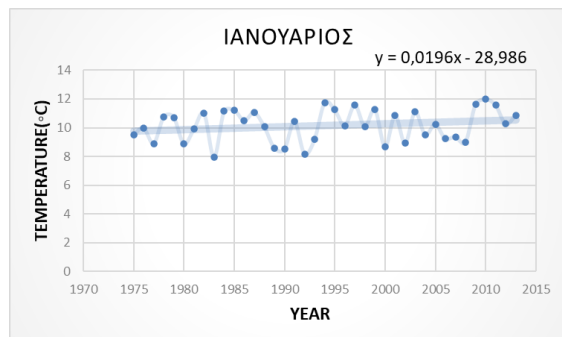


Εικόνα 4.2.3.11. Τάση μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου- Μαδρίτη (1975-2018)



Εικόνα 4.2.3.12. Τάση μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου- Μαδρίτη (1975-2018)

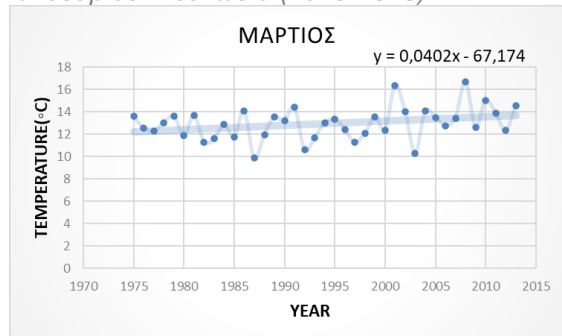
4.2.4 Λευκωσία



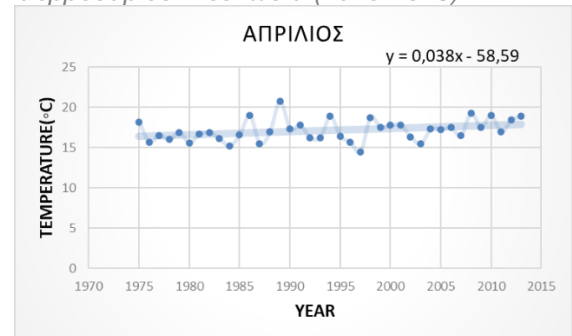
Εικόνα 4.2.4.1. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου- Λευκωσία (1975-2013)



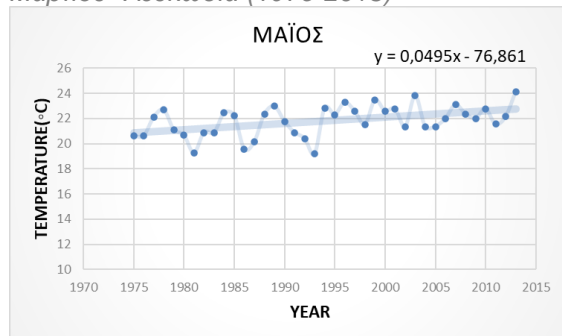
Εικόνα 4.2.4.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Λευκωσία (1975-2013)



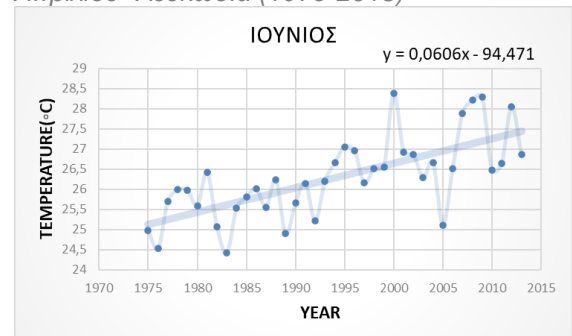
Εικόνα 4.2.4.3. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου- Λευκωσία (1975-2013)



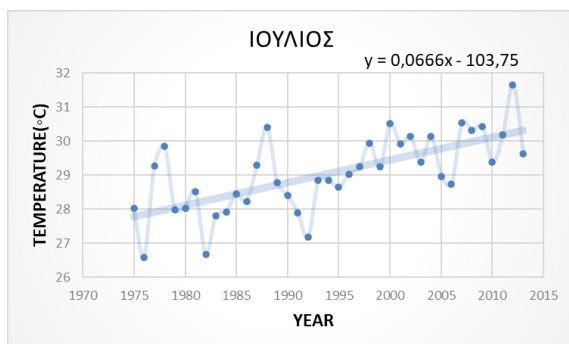
Εικόνα 4.2.4.4. Τάση μέσης θερμοκρασίας Απριλίου- Λευκωσία (1975-2013)



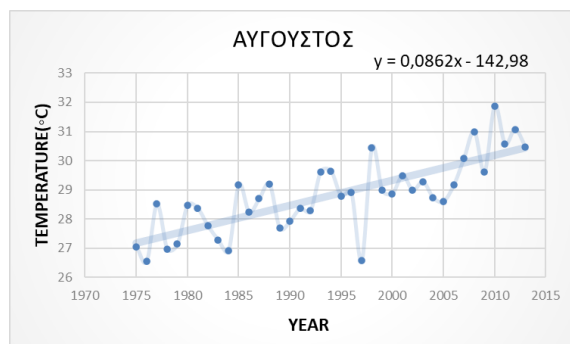
Εικόνα 4.2.4.5. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαΐου - Λευκωσία (1975-2013)



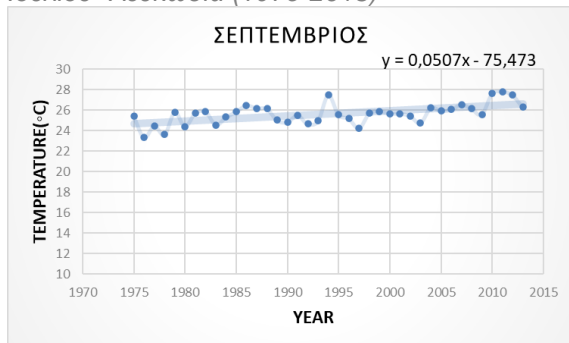
Εικόνα 4.2.4.6. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου- Λευκωσία (1975-2013)



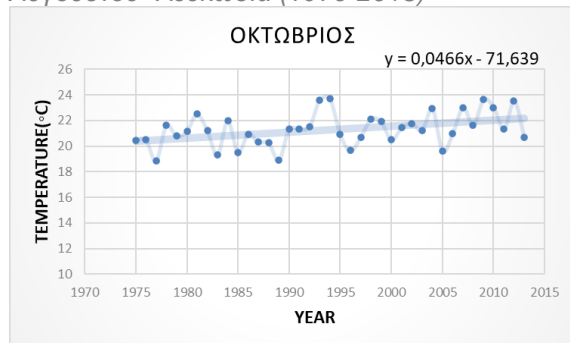
Εικόνα 4.2.4.7. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου- Λευκωσία (1975-2013)



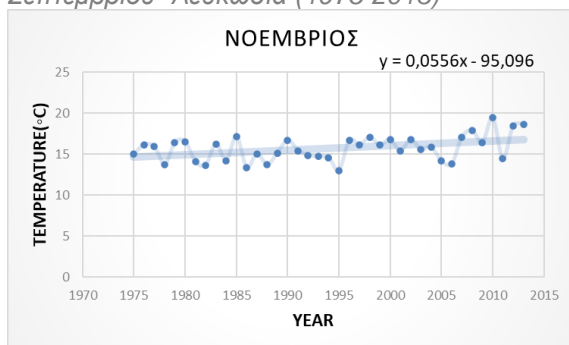
Εικόνα 4.2.4.8. Τάση μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου- Λευκωσία (1975-2013)



Εικόνα 4.2.4.9. Τάση μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου- Λευκωσία (1975-2013)



Εικόνα 4.2.4.10. Τάση μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου- Λευκωσία (1975-2013)

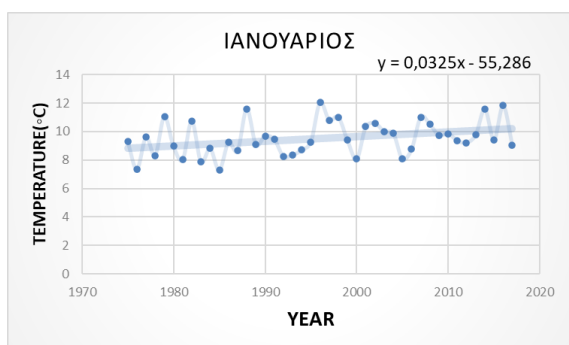


Εικόνα 4.2.4.11. Τάση μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου- Λευκωσία (1975-2013)

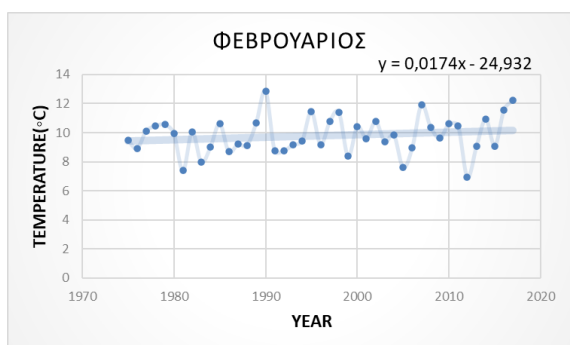


Εικόνα 4.2.4.12. Τάση μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου- Λευκωσία (1975-2013)

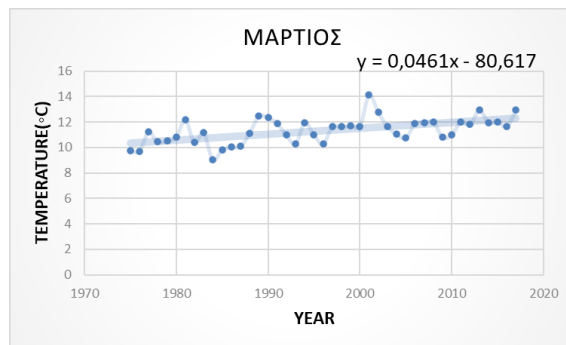
4.2.5 Πάλλα



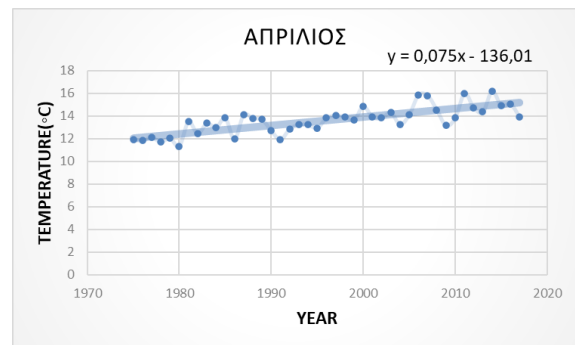
Εικόνα 4.2.5.1. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου- Πάλλα (1975-2018)



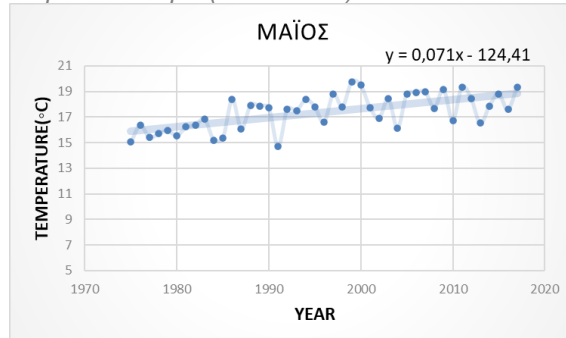
Εικόνα 4.2.5.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Πάλλα (1975-2018)



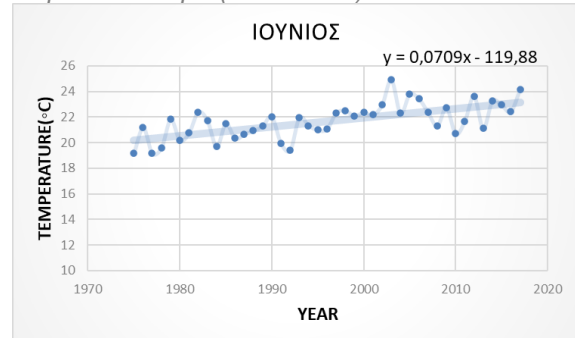
Εικόνα 4.2.5.3. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου- Πάλαμα (1975-2018)



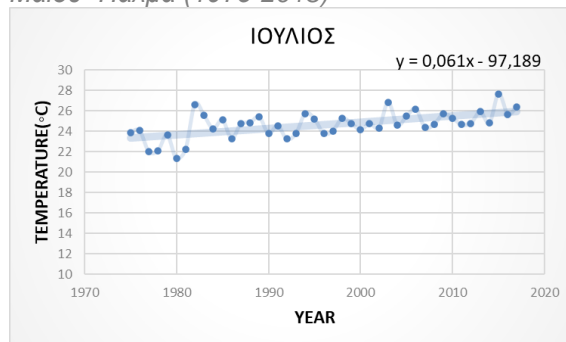
Εικόνα 4.2.5.4. Τάση μέσης θερμοκρασίας Απριλίου- Πάλαμα (1975-2018)



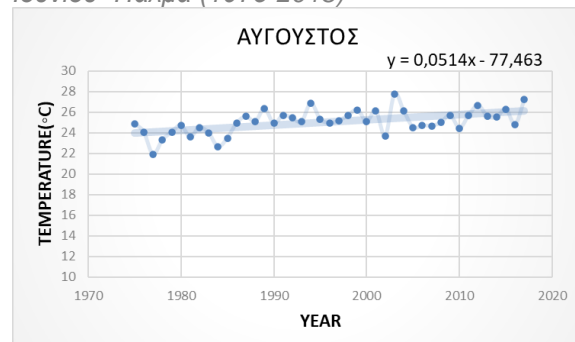
Εικόνα 4.2.5.5. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαΐου- Πάλαμα (1975-2018)



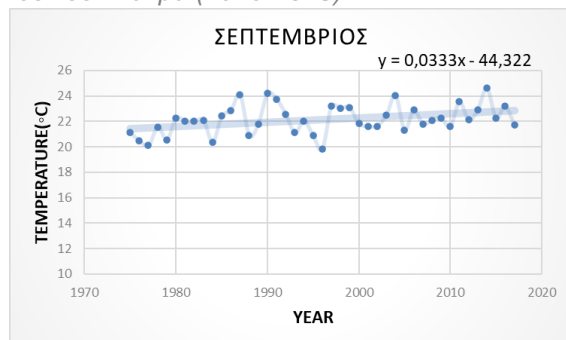
Εικόνα 4.2.5.6. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου- Πάλαμα (1975-2018)



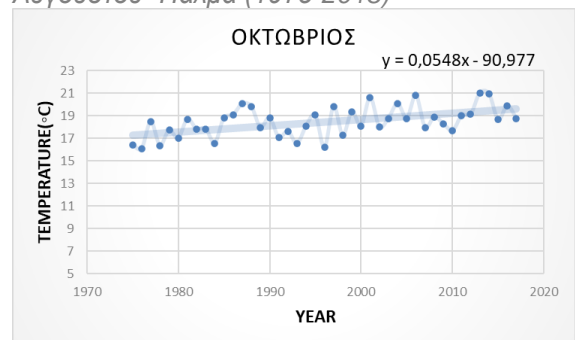
Εικόνα 4.2.5.7. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου- Πάλαμα (1975-2018)



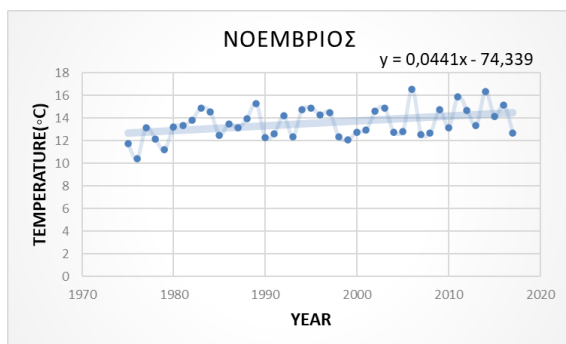
Εικόνα 4.2.5.8. Τάση μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου- Πάλαμα (1975-2018)



Εικόνα 4.2.5.9. Τάση μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου- Πάλαμα (1975-2018)



Εικόνα 4.2.5.10. Τάση μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου- Πάλαμα (1975-2018)

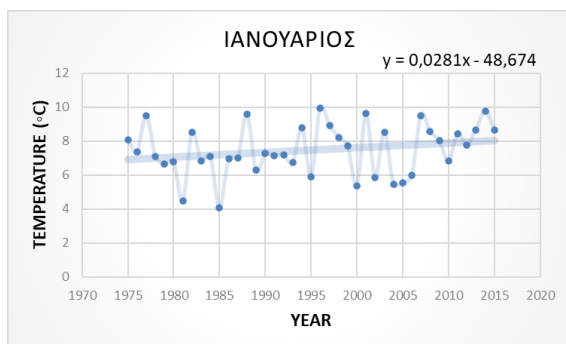


Εικόνα 4.2.5.11. Τάση μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου- Πάλα (1975-2018)

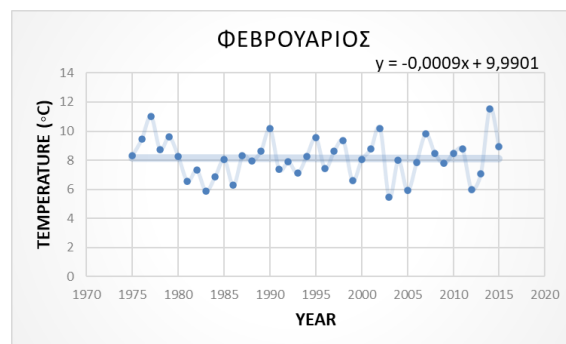


Εικόνα 4.2.5.12. Τάση μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου- Πάλα (1975-2018)

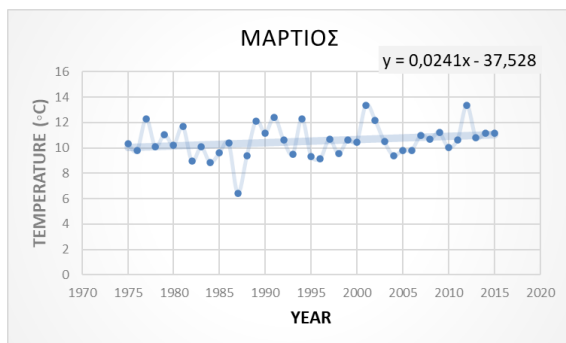
4.2.6 Ρώμη



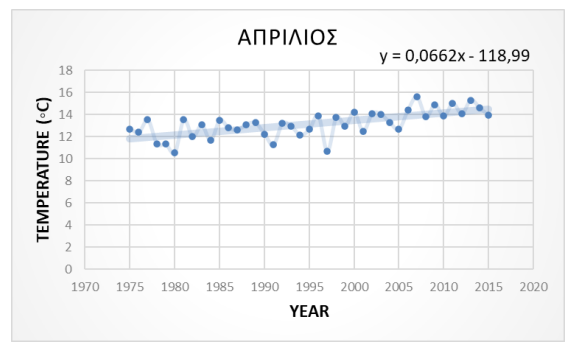
Εικόνα 4.2.6.1. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου- Ρώμη (1975-2015)



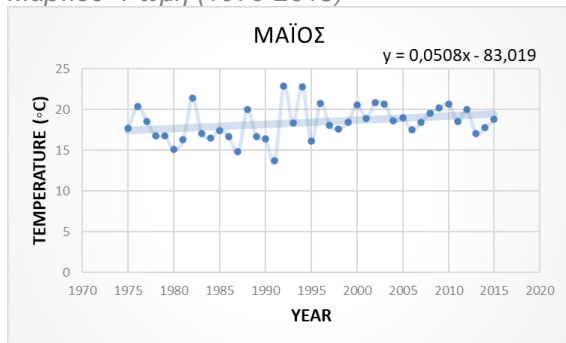
Εικόνα 4.2.6.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Ρώμη (1975-2015)



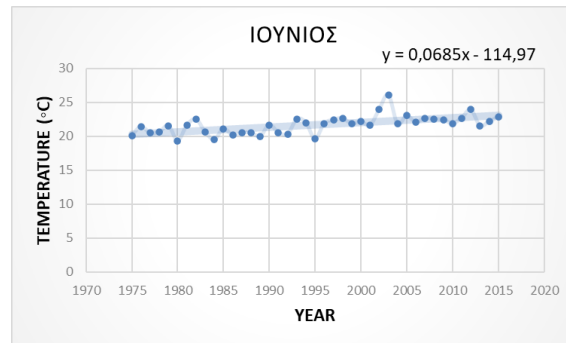
Εικόνα 4.2.6.3. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου- Ρώμη (1975-2015)



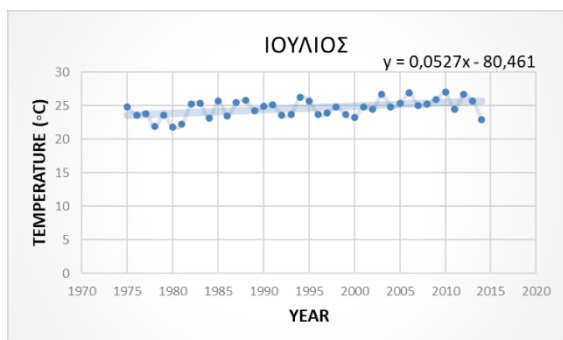
Εικόνα 4.2.6.4. Τάση μέσης θερμοκρασίας Απριλίου- Ρώμη (1975-2015)



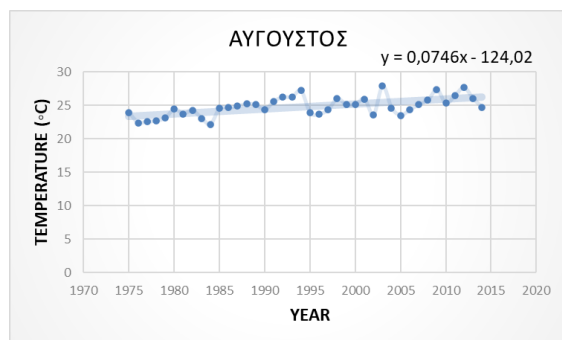
Εικόνα 4.2.6.5. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαΐου - Ρώμη (1975-2015)



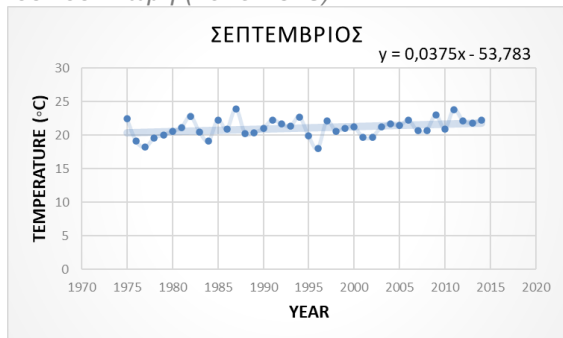
Εικόνα 4.2.6.6. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου- Ρώμη (1975-2015)



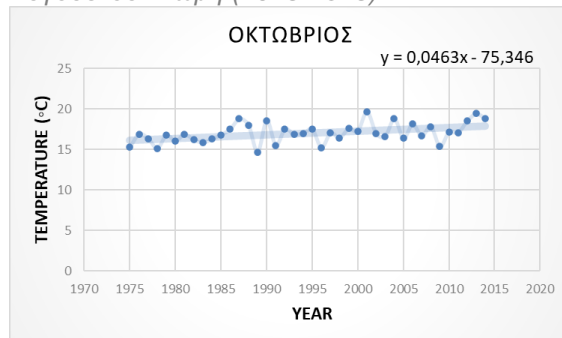
Εικόνα 4.2.6.7. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου- Ρώμη (1975-2015)



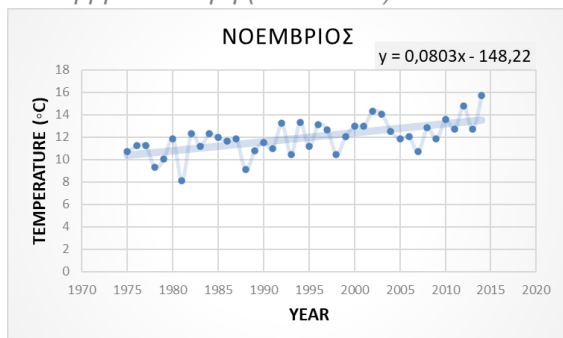
Εικόνα 4.2.6.8. Τάση μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου- Ρώμη (1975-2015)



Εικόνα 4.2.6.9. Τάση μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου- Ρώμη (1975-2015)



Εικόνα 4.2.6.10. Τάση μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου- Ρώμη (1975-2015)

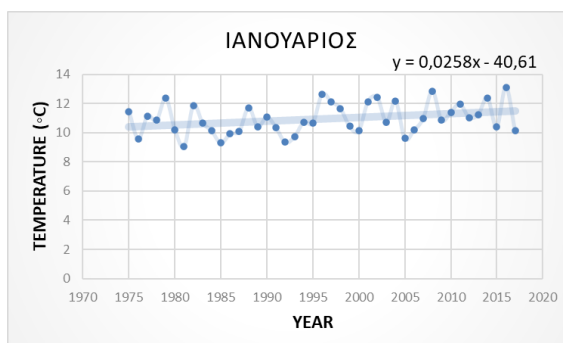


Εικόνα 4.2.6.11. Τάση μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου- Ρώμη (1975-2015)

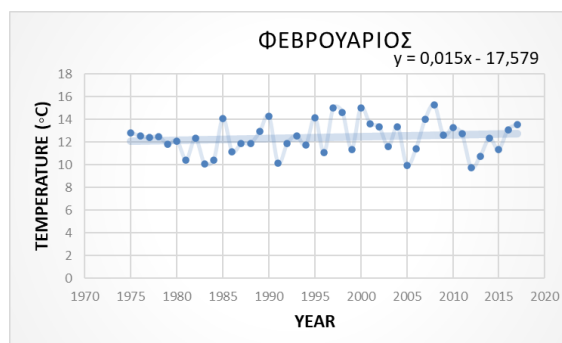


Εικόνα 4.2.6.12. Τάση μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου- Ρώμη (1975-2015)

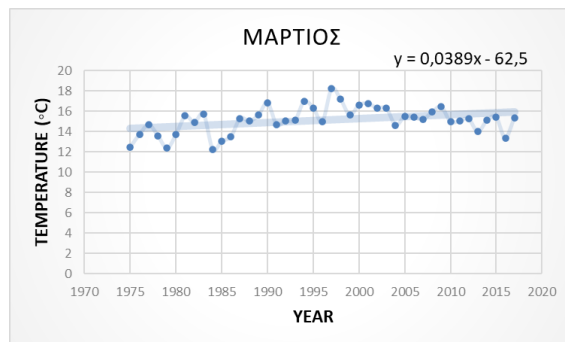
4.2.7 Σεβίλλη



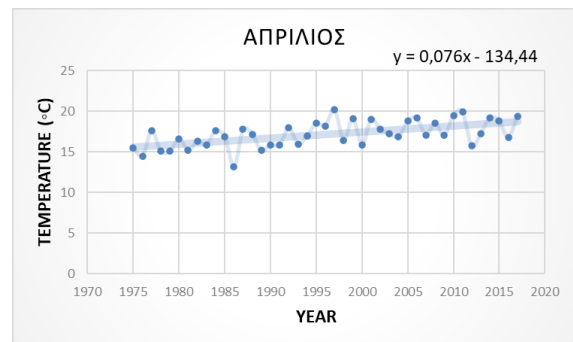
Εικόνα 4.2.7.1. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου- Σεβίλλη (1975-2018)



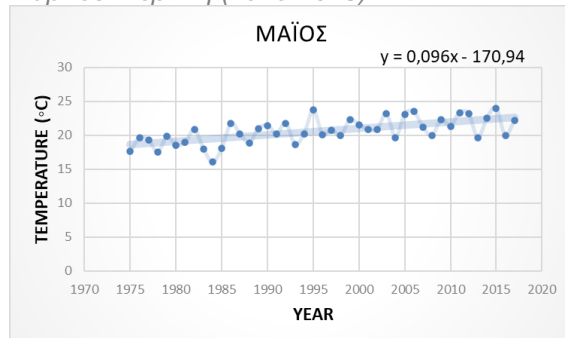
Εικόνα 4.2.7.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Σεβίλλη (1975-2018)



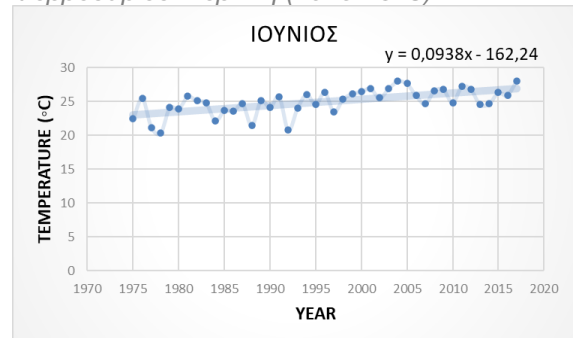
Εικόνα 4.2.7.3. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου- Σεβίλλη (1975-2018)



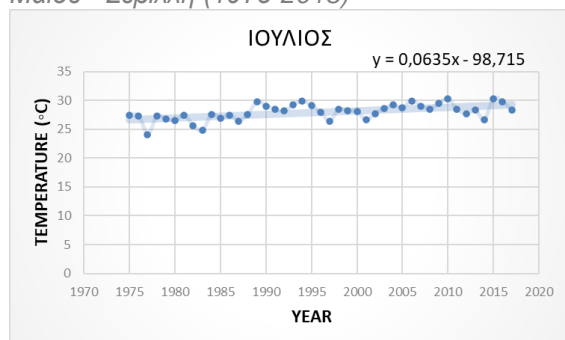
Εικόνα 4.2.7.2. Τάση μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου- Σεβίλλη (1975-2018)



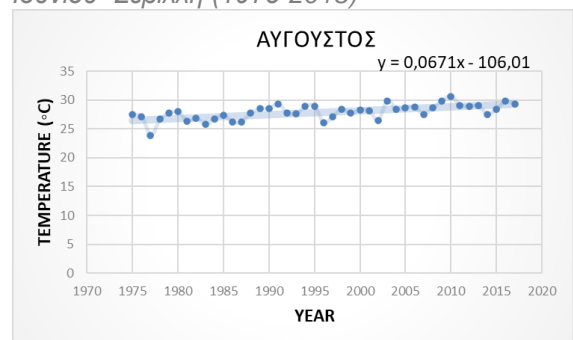
Εικόνα 4.2.7.5. Τάση μέσης θερμοκρασίας Μαΐου - Σεβίλλη (1975-2018)



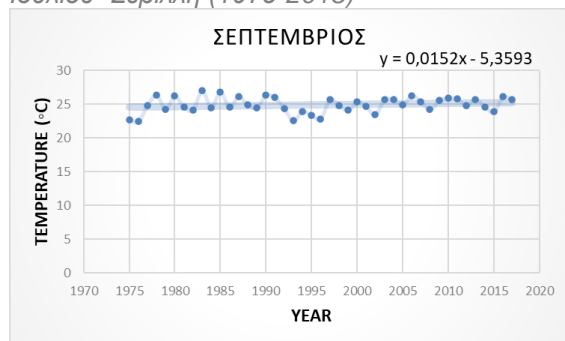
Εικόνα 4.2.7.6. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου- Σεβίλλη (1975-2018)



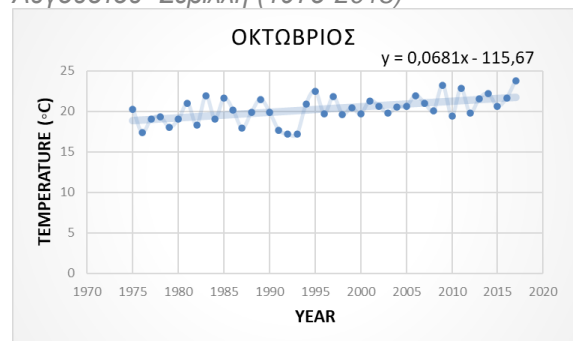
Εικόνα 4.2.7.7. Τάση μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου- Σεβίλλη (1975-2018)



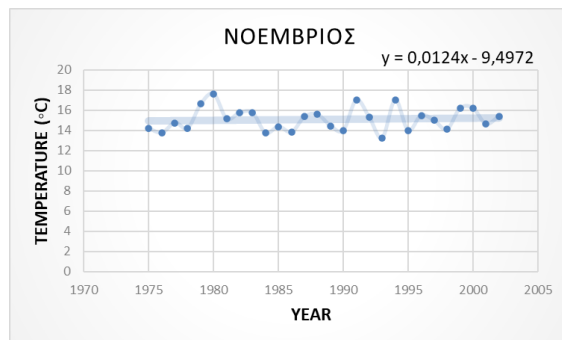
Εικόνα 4.2.7.8. Τάση μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου- Σεβίλλη (1975-2018)



Εικόνα 4.2.7.9. Τάση μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου- Σεβίλλη (1975-2018)



Εικόνα 4.2.7.10. Τάση μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου- Σεβίλλη (1975-2018)



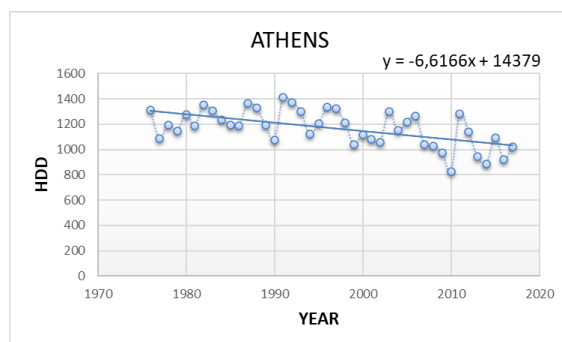
Εικόνα 4.2.7.11. Τάση μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου- Σεβίλλη (1975-2018)



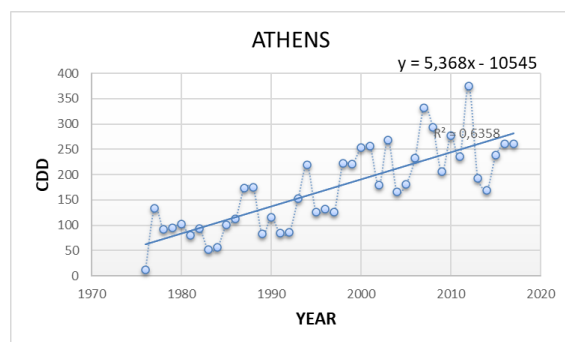
Εικόνα 4.2.7.12. Τάση μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου- Σεβίλλη (1975-2018)

4.3 Τάση βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης ανά έτος – Δεδομένα Παρατηρήσεων

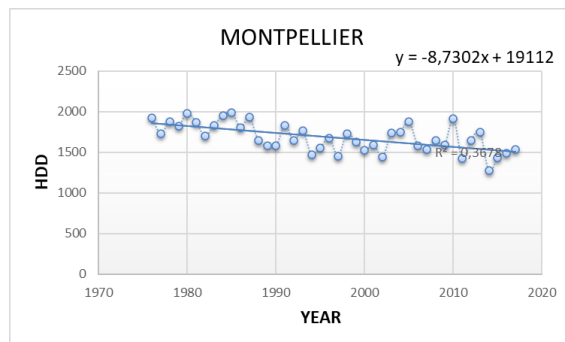
Στα σχήματα 4.3.1 έως 4.3.14 παρουσιάζονται οι τάσεις των βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης ανά έτος για τις επιλεγμένες πόλεις, για την χρονική περίοδο 1975-2018. Η τιμή των HDD για τη Λευκωσία κυμαίνεται από 800 ως 1400 ενώ για τη Μαδρίτη από 1500 ως 2500 το χρόνο. Αντίστοιχα, η τιμή των CDD στην Λευκωσία φτάνει τις 450 μονάδες ενώ στη Μαδρίτη δεν ξεπερνά τις 130 το χρόνο. Οι τιμές αυτές ήταν αναμενόμενες καθώς στον πίνακα 3.2 φαίνεται πως η Μαδρίτη έχει ψυχρούς χειμώνες και ήπια καλοκαίρια. Στα σχήματα 4.3.1-4.3.14, παρατηρείται αισθητή μείωση των βαθμομερών θέρμανσης που κυμαίνεται από 5.7 (Λευκωσία) και φτάνει ως 11.6 (Ρώμη) μονάδες/έτος. Οι αντίστοιχες τάσεις για τις CDD είναι αυξητικές με ρυθμό από 0.5 (Μοντελιέ) ως 6.5 (Λευκωσία) μονάδες/έτος. Αναλυτικά οι τάσεις αυτές φαίνονται στον πίνακα 4.11.9.



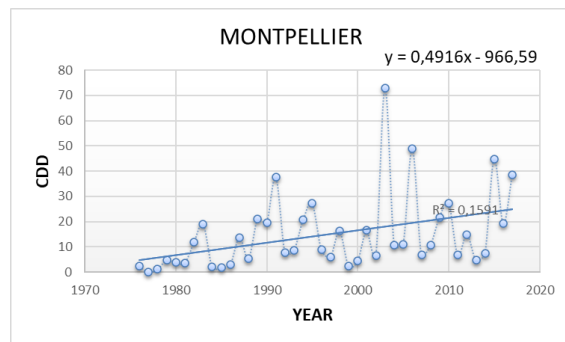
Εικόνα 4.3.1. Τάση βαθμομερών θέρμανσης Αθήνας ανά έτος (1975-2018)



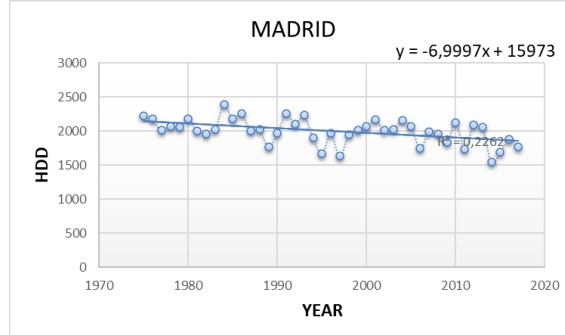
Εικόνα 4.3.2. Τάση βαθμομερών ψύξης Αθήνας ανά έτος (1975-2018)



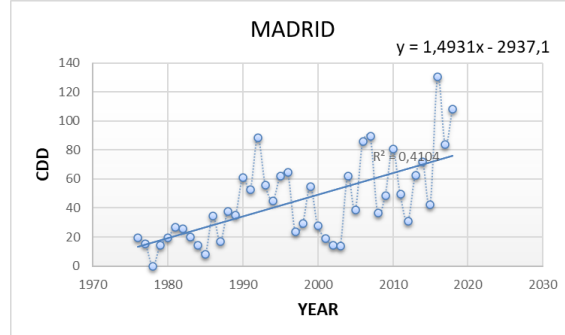
Εικόνα 4.3.3. Τάση βαθμομερών θέρμανσης Μοντελιέ ανά έτος (1975-2018)



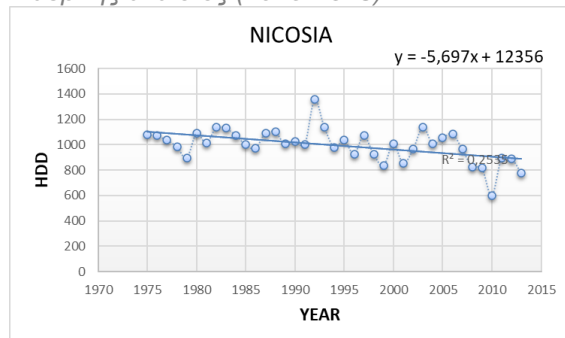
Εικόνα 4.3.4. Τάση βαθμομερών ψύξης Μοντελιέ ανά έτος (1975-2018)



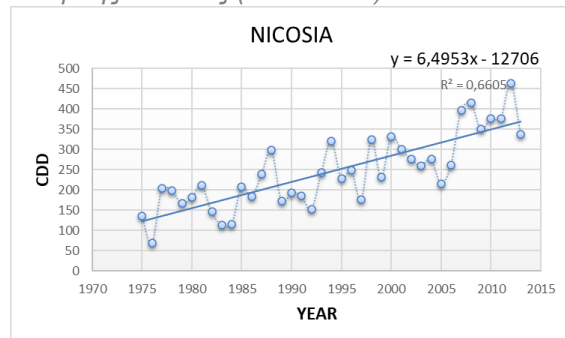
Εικόνα 4.3.5. Τάση βαθμομερών θέρμανσης Μαδρίτης ανά έτος (1975-2018)



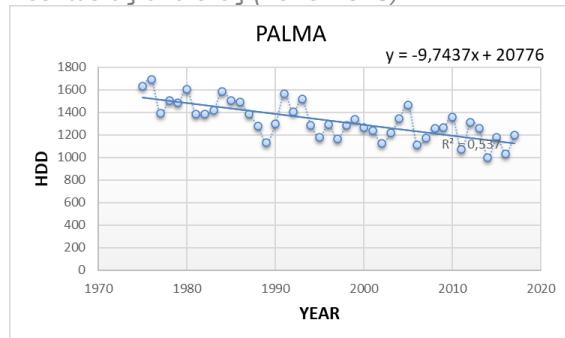
Εικόνα 4.3.6. Τάση βαθμομερών ψύξης Μαδρίτης ανά έτος (1975-2018)



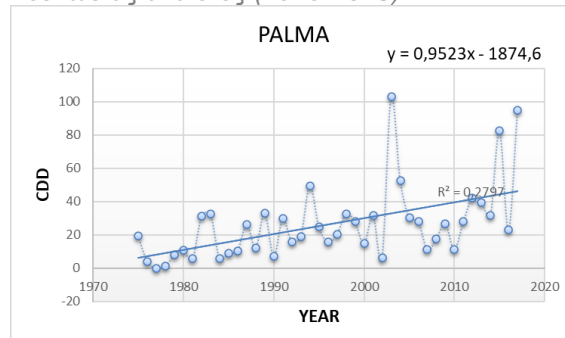
Εικόνα 4.3.7. Τάση βαθμομερών θέρμανσης Λευκωσίας ανά έτος (1975-2018)



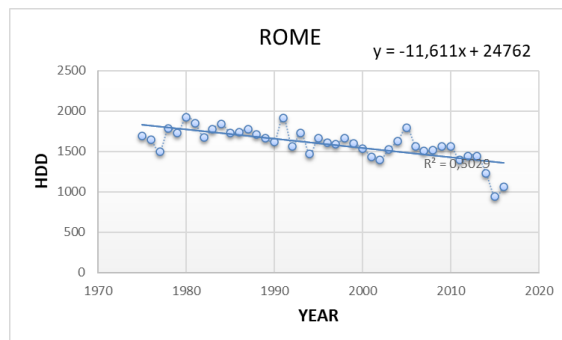
Εικόνα 4.3.8. Τάση βαθμομερών ψύξης Λευκωσίας ανά έτος (1975-2018)



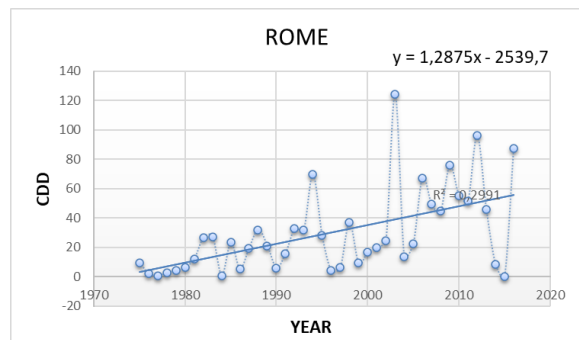
Εικόνα 4.3.9. Τάση βαθμομερών θέρμανσης Πάλμα ανά έτος (1975-2018)



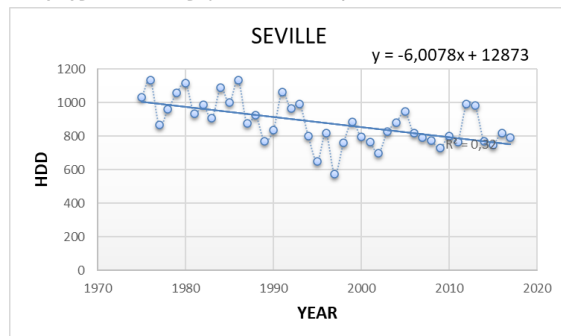
Εικόνα 4.3.10. Τάση βαθμομερών ψύξης Πάλμα ανά έτος (1975-2018)



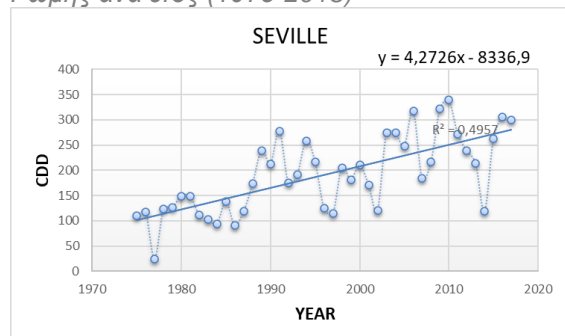
Εικόνα 4.3.11. Τάση βαθμομερών θέρμανσης Ρώμης ανά έτος (1975-2018)



Εικόνα 4.3.12. Τάση βαθμομερών ψύξης Ρώμης ανά έτος (1975-2018)



Εικόνα 4.3.13. Τάση βαθμομερών θέρμανσης Σεβίλλης ανά έτος (1975-2018)

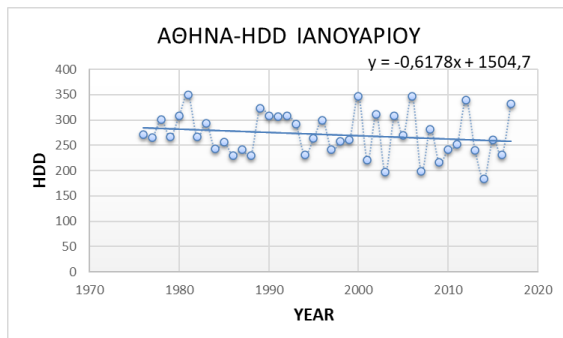


Εικόνα 4.3.14. Τάση βαθμομερών ψύξης Σεβίλλης ανά έτος (1975-2018)

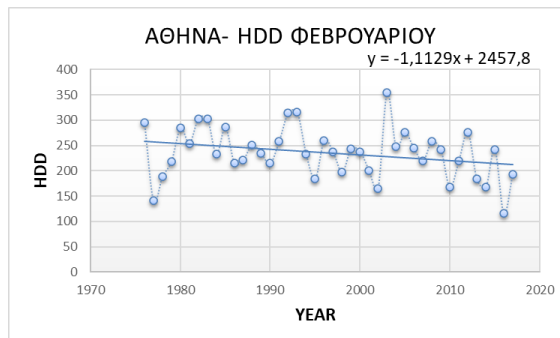
4.4 Τάση βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης ανά μήνα (1975-2018) – Δεδομένα παρατηρήσεων

Στις εικόνες 4.4.1.1 με 4.4.7.12 φαίνεται η τάση της ετήσιας μεταβολής των βαθμομερών (HDD και CDD) ανά μήνα. Η τάση αυτή αναφέρεται στο διάστημα 1975-2018 και προκύπτει από τα δεδομένα θερμοκρασίας από παρατηρήσεις των τελευταίων ετών σε μετεωρολογικούς σταθμούς των επιλεγθέντων πόλεων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η έντονη μείωση των βαθμομερών θέρμανσης με έμφαση στους χειμερινούς μήνες. Ταυτόχρονα, οι βαθμομέρες ψύξης παρουσιάζουν αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες με αισθητή διαφορά στην τάση μεταξύ των θερμών πόλεων όπως η Λευκωσία, η Αθήνα και η Σεβίλλη (βλ. πίνακα 3.2) όπου οι CDD αυξάνονται με ρυθμό έως και 2.5 °C ανά έτος, και των ψυχρότερων όπως η Μαδρίτη και το Μονπελιέ όπου η τάση δεν ξεπερνά τους 0.4 °C ανά έτος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στους πίνακες 4.11.10-4.11.16.

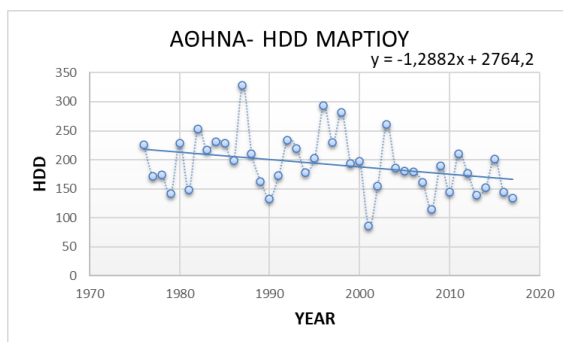
4.4.1 Αθήνα



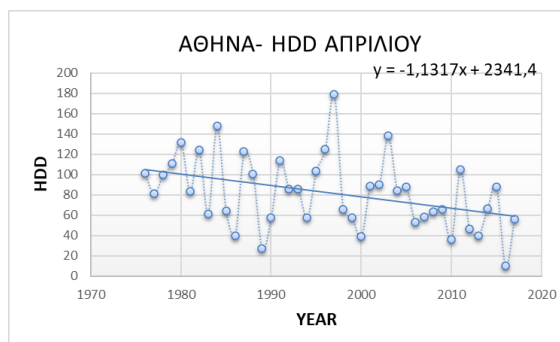
Εικόνα 4.4.1.1. Τάση βαθμομερών Ιανουαρίου Αθήνας (1975-2018)



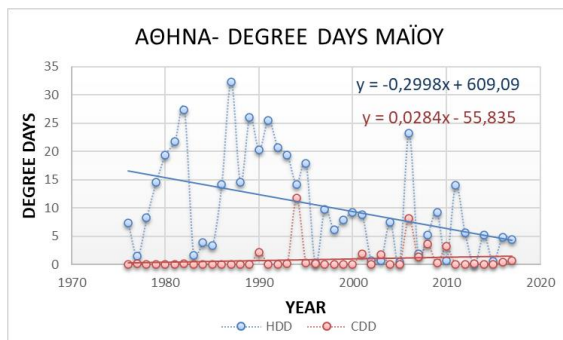
Εικόνα 4.4.1.2. Τάση βαθμομερών Φεβρουαρίου Αθήνας (1975-2018)



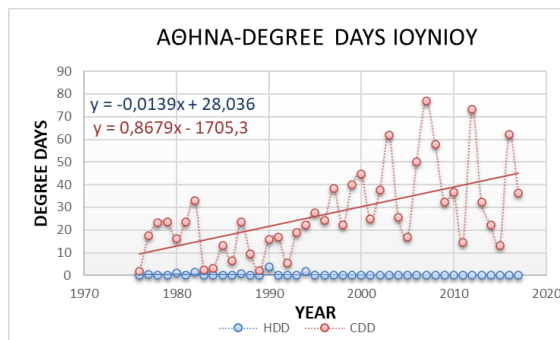
Εικόνα 4.4.1.3. Τάση βαθμομερών Μαρτίου Αθήνας (1975-2018)



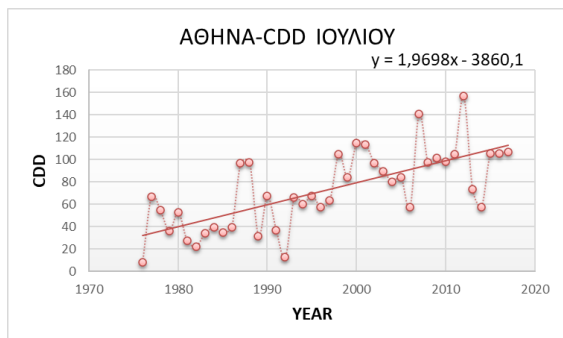
Εικόνα 4.4.1.4. Τάση βαθμομερών Απριλίου Αθήνας (1975-2018)



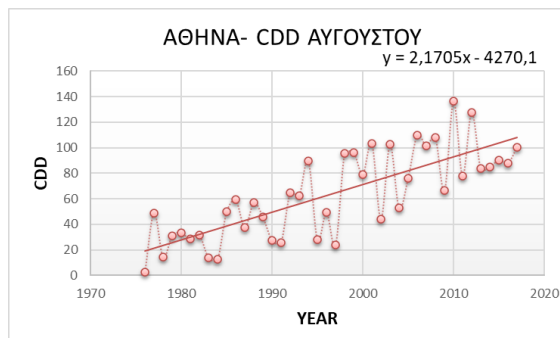
Εικόνα 4.4.1.5. Τάση βαθμομερών Μαΐου Αθήνας (1975-2018)



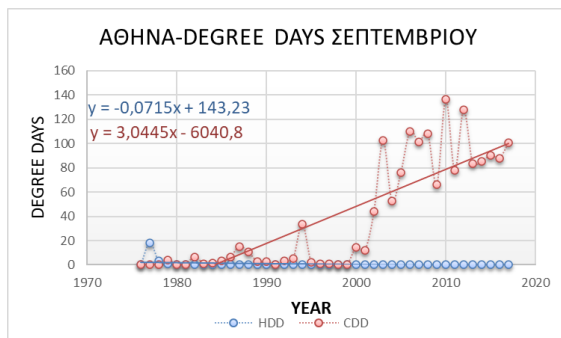
Εικόνα 4.4.1.6. Τάση βαθμομερών Ιουνίου Αθήνας (1975-2018)



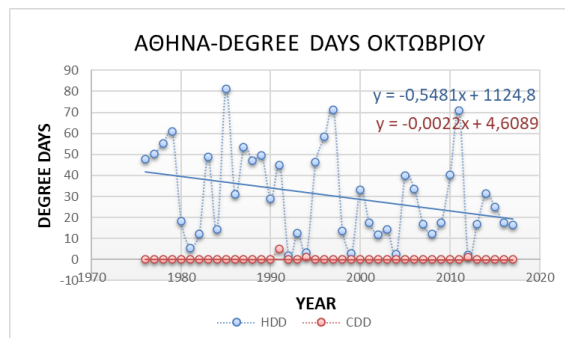
Εικόνα 4.4.1.7. Τάση βαθμομερών Ιουλίου Αθήνας (1975-2018)



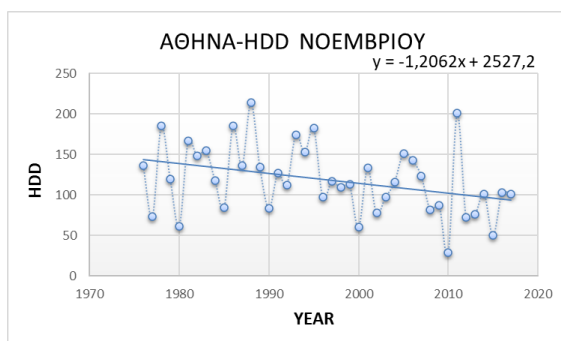
Εικόνα 4.4.1.8. Τάση βαθμομερών Αυγούστου Αθήνας (1975-2018)



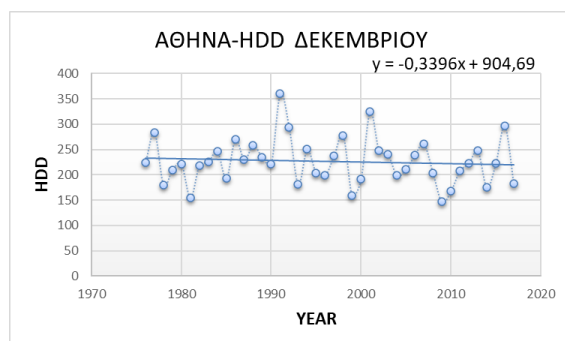
Εικόνα 4.4.1.9. Τάση βαθμομερών Σεπτεμβρίου Αθήνας (1975-2018)



Εικόνα 4.4.1.10. Τάση βαθμομερών Οκτωβρίου Αθήνας (1975-2018)

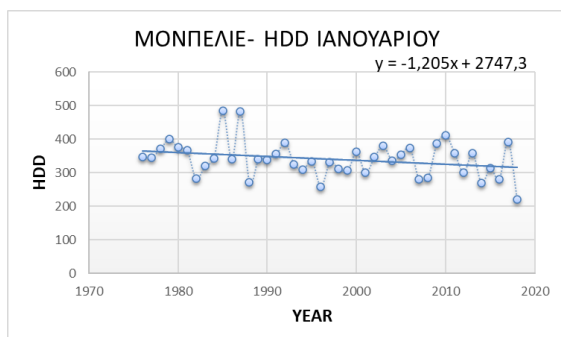


Εικόνα 4.4.1.11. Τάση βαθμομερών Νοεμβρίου Αθήνας (1975-2018)

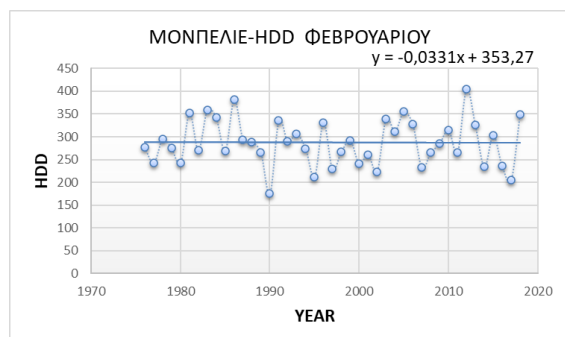


Εικόνα 4.4.1.12. Τάση βαθμομερών Δεκεμβρίου Αθήνας (1975-2018)

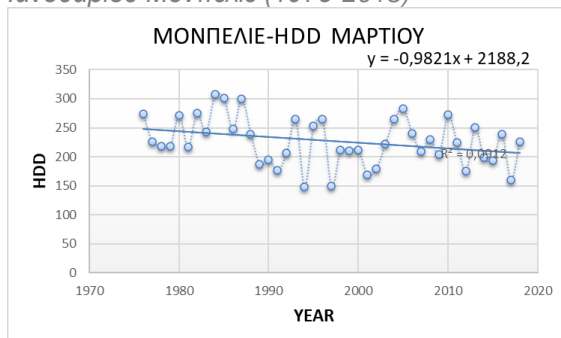
4.4.2 Μοντελιέ



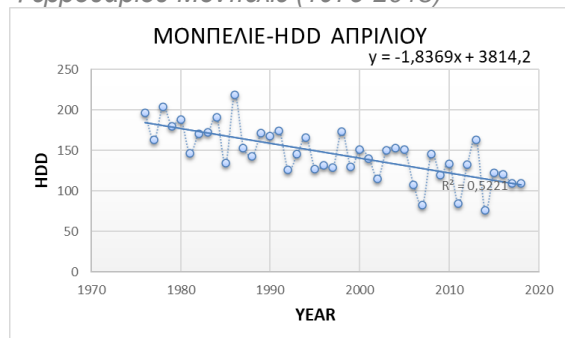
Εικόνα 4.4.2.1. Τάση βαθμομερών Ιανουαρίου Μοντελιέ (1975-2018)



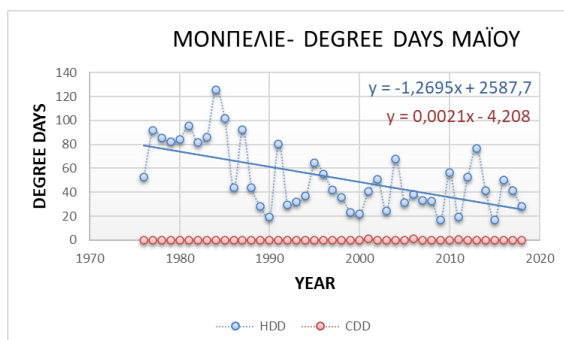
Εικόνα 4.4.2.2. Τάση βαθμομερών Φεβρουαρίου Μοντελιέ (1975-2018)



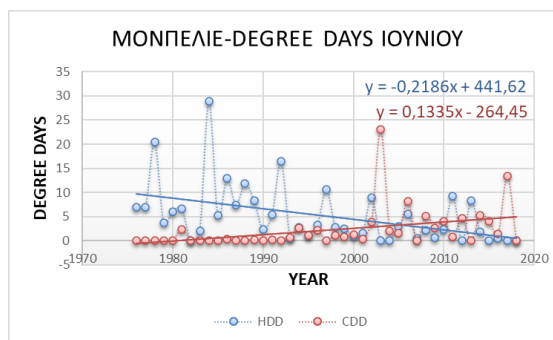
Εικόνα 4.4.2.3. Τάση βαθμομερών Μαρτίου Μοντελιέ (1975-2018)



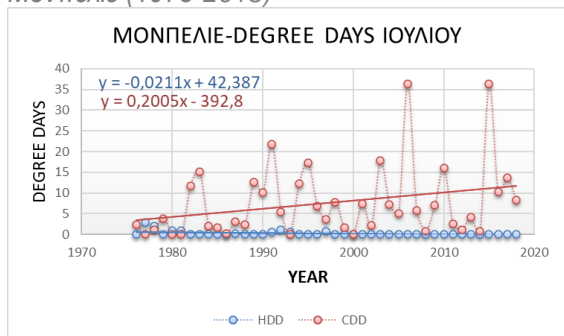
Εικόνα 4.4.2.4. Τάση βαθμομερών Απριλίου Μοντελιέ (1975-2018)



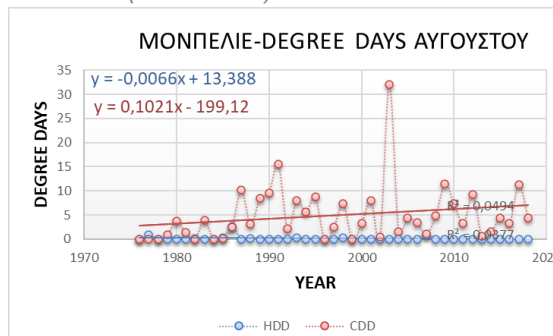
Εικόνα 4.4.2.5. Τάση βαθμομερών Μαΐου Μοντελιέ (1975-2018)



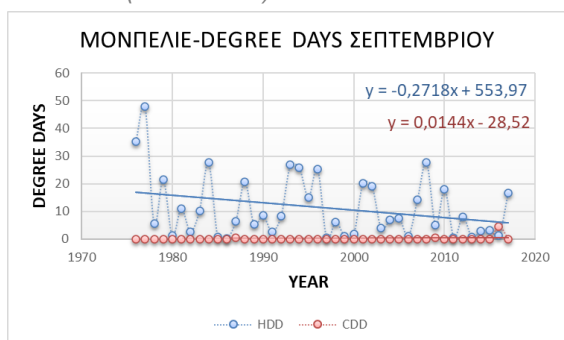
Εικόνα 4.4.2.6. Τάση βαθμομερών Ιουνίου Μοντελιέ (1975-2018)



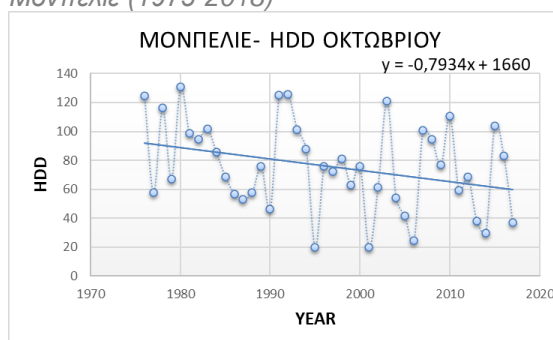
Εικόνα 4.4.2.7. Τάση βαθμομερών Ιουλίου Μοντελιέ (1975-2018)



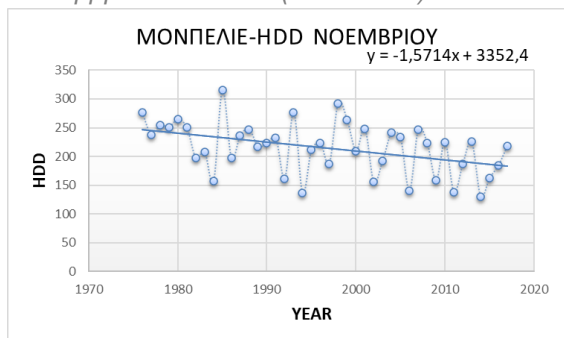
Εικόνα 4.4.2.8. Τάση βαθμομερών Αυγούστου Μοντελιέ (1975-2018)



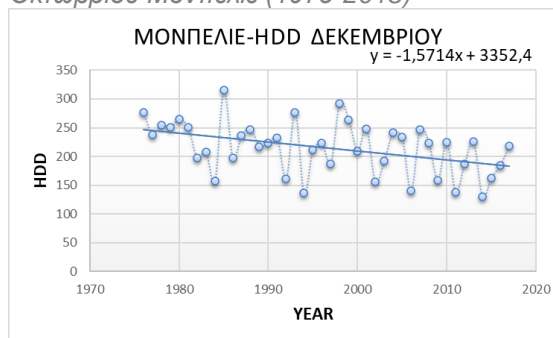
Εικόνα 4.4.2.9. Τάση βαθμομερών Σεπτεμβρίου Μοντελιέ (1975-2018)



Εικόνα 4.4.2.10. Τάση βαθμομερών Οκτωβρίου Μοντελιέ (1975-2018)

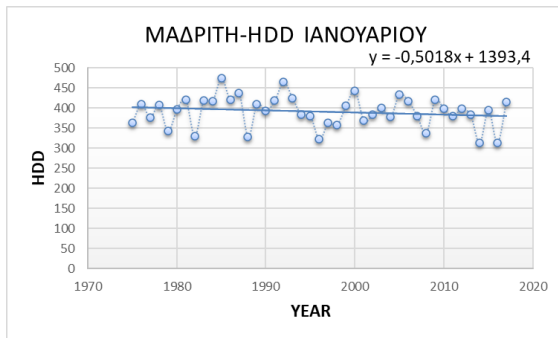


Εικόνα 4.4.2.11. Τάση βαθμομερών Νοεμβρίου Μοντελιέ (1975-2018)

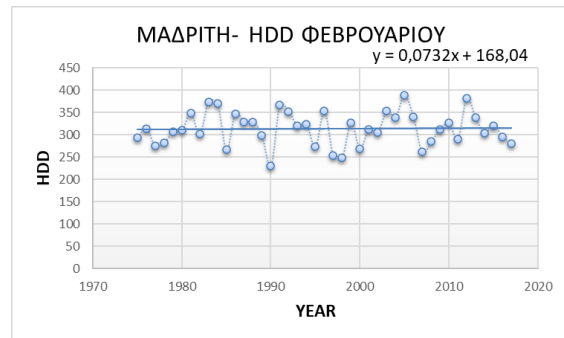


Εικόνα 4.4.2.12. Τάση βαθμομερών Δεκεμβρίου Μοντελιέ (1975-2018)

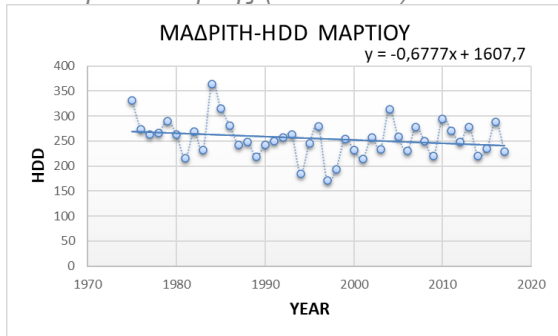
4.4.3 Μαδρίτη



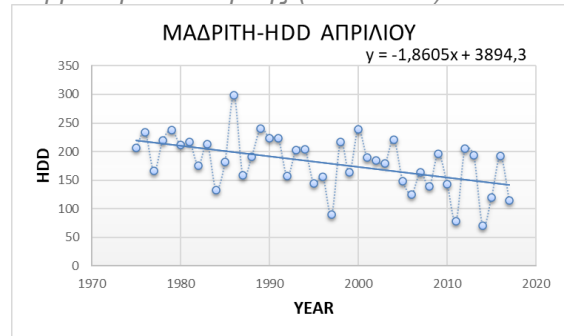
Εικόνα 4.4.3.1. Τάση βαθμομερών Ιανουαρίου Μαδρίτης (1975-2018)



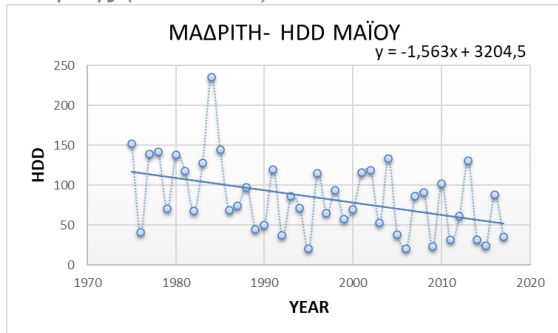
Εικόνα 4.4.3.2. Τάση βαθμομερών Φεβρουαρίου Μαδρίτης (1975-2018)



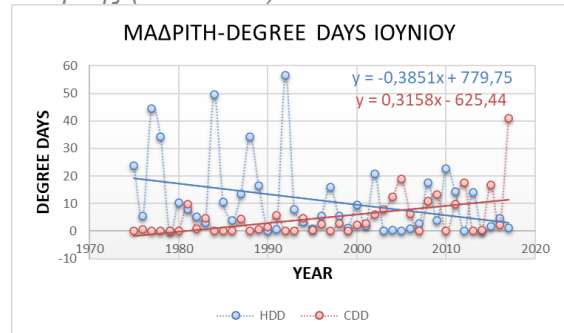
Εικόνα 4.4.3.3. Τάση βαθμομερών Μαρτίου Μαδρίτης (1975-2018)



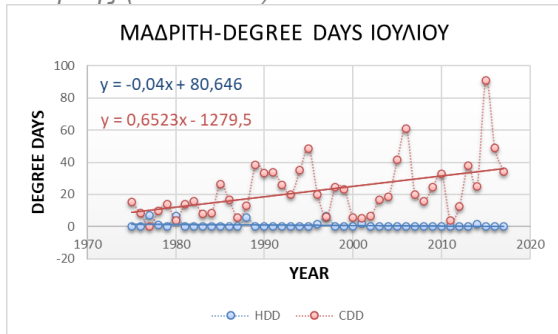
Εικόνα 4.4.3.4. Τάση βαθμομερών Απριλίου Μαδρίτης (1975-2018)



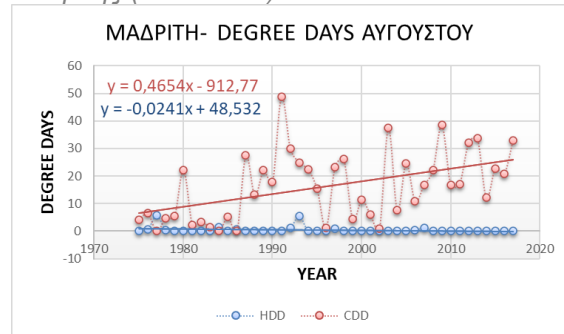
Εικόνα 4.4.3.5. Τάση βαθμομερών Μαΐου Μαδρίτης (1975-2018)



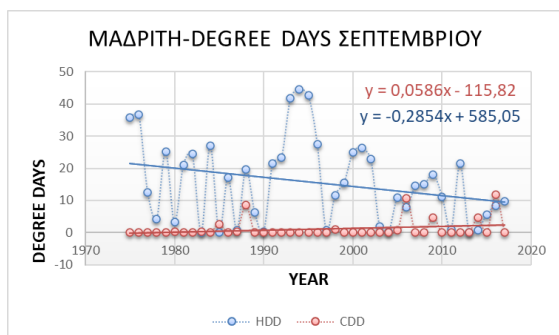
Εικόνα 4.4.3.6. Τάση βαθμομερών Ιουνίου Μαδρίτης (1975-2018)



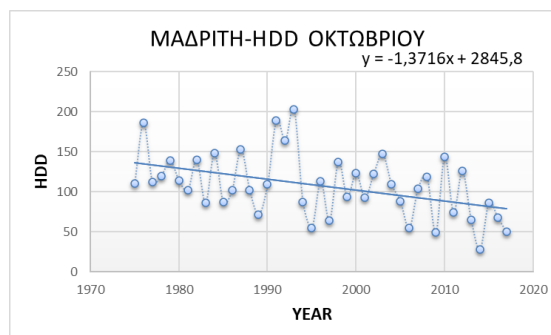
Εικόνα 4.4.3.7. Τάση βαθμομερών Ιουλίου Μαδρίτης (1975-2018)



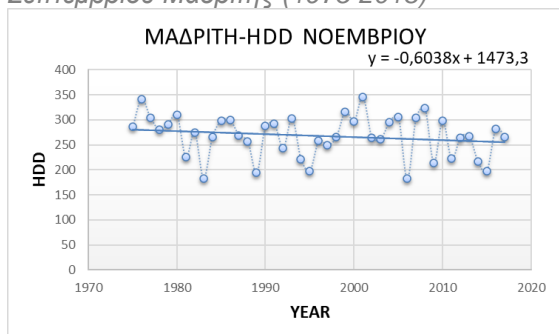
Εικόνα 4.4.3.8. Τάση βαθμομερών Αυγούστου Μαδρίτης (1975-2018)



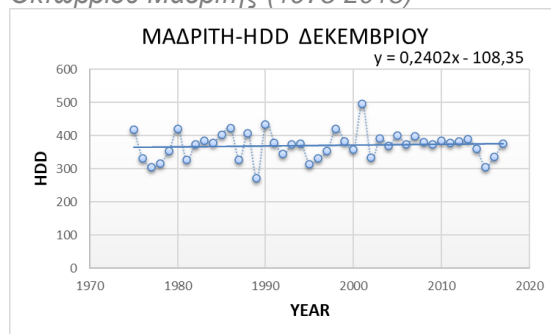
Εικόνα 4.4.3.9. Τάση βαθμομερών Σεπτεμβρίου Μαδρίτης (1975-2018)



Εικόνα 4.4.3.10. Τάση βαθμομερών Οκτωβρίου Μαδρίτης (1975-2018)

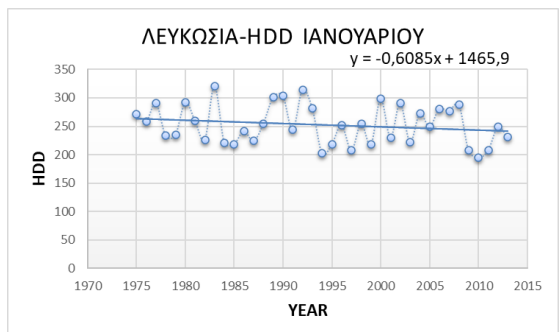


Εικόνα 4.4.3.11. Τάση βαθμομερών Νοεμβρίου Μαδρίτης (1975-2018)

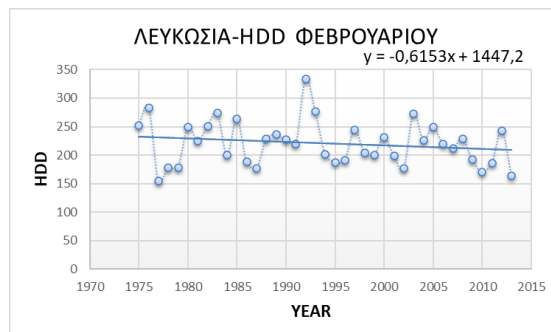


Εικόνα 4.4.3.12. Τάση βαθμομερών Δεκεμβρίου Μαδρίτης (1975-2018)

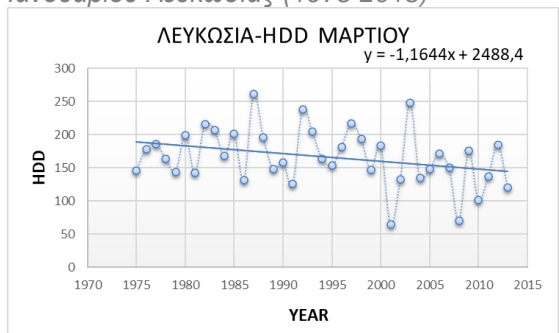
4.4.4 Λευκωσία



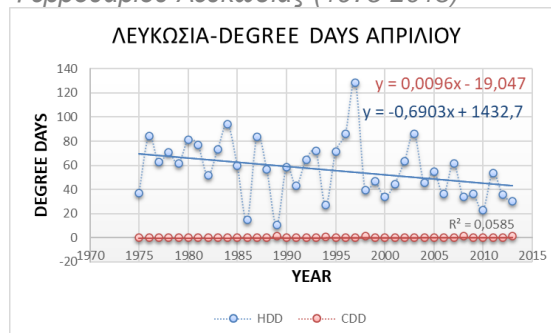
Εικόνα 4.4.4.1. Τάση βαθμομερών Ιανουαρίου Λευκωσίας (1975-2018)



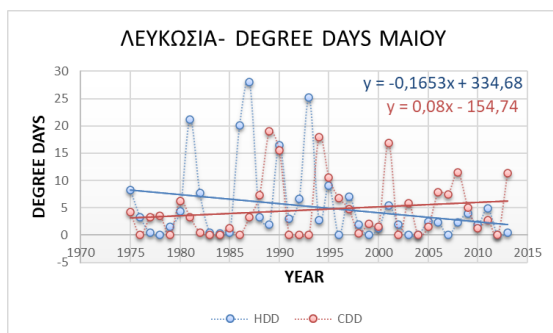
Εικόνα 4.4.4.2. Τάση βαθμομερών Φεβρουαρίου Λευκωσίας (1975-2018)



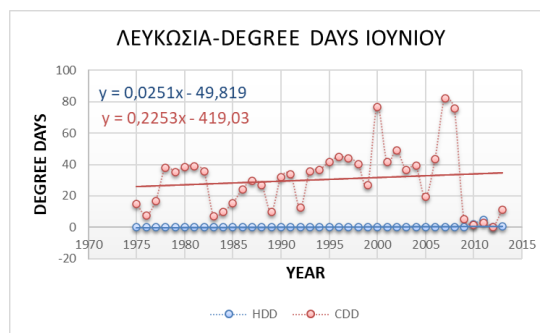
Εικόνα 4.4.4.3. Τάση βαθμομερών Μαρτίου Λευκωσίας (1975-2018)



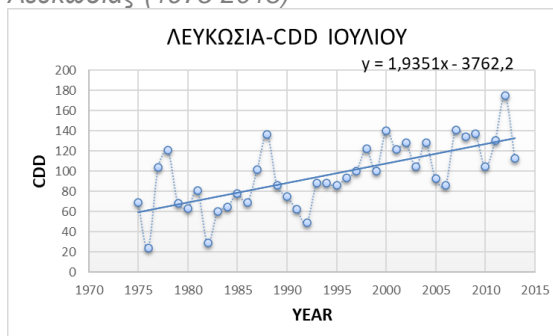
Εικόνα 4.4.4.4. Τάση βαθμομερών Απριλίου Λευκωσίας (1975-2018)



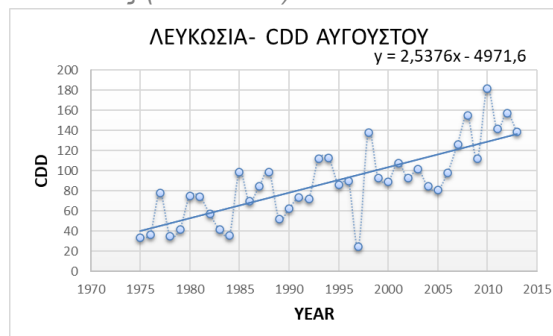
Εικόνα 4.4.4.5. Τάση βαθμομερών Μαΐου Λευκωσίας (1975-2018)



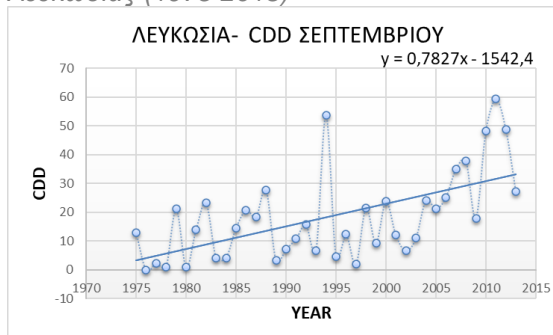
Εικόνα 4.4.4.6. Τάση βαθμομερών Ιουνίου Λευκωσίας (1975-2018)



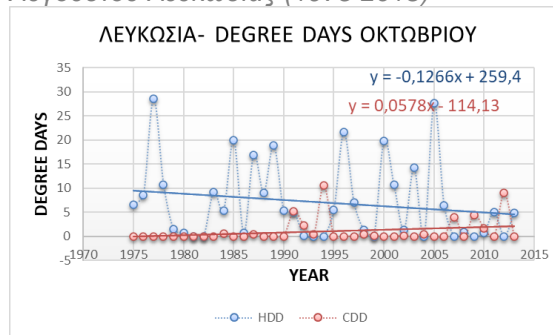
Εικόνα 4.4.4.7. Τάση βαθμομερών Ιουλίου Λευκωσίας (1975-2018)



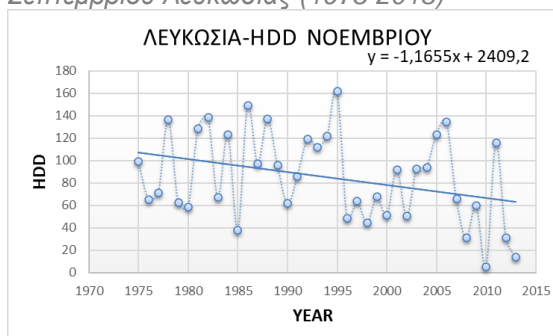
Εικόνα 4.4.4.8. Τάση βαθμομερών Αυγούστου Λευκωσίας (1975-2018)



Εικόνα 4.4.4.9. Τάση βαθμομερών Σεπτεμβρίου Λευκωσίας (1975-2018)



Εικόνα 4.4.4.10. Τάση βαθμομερών Οκτωβρίου Λευκωσίας (1975-2018)

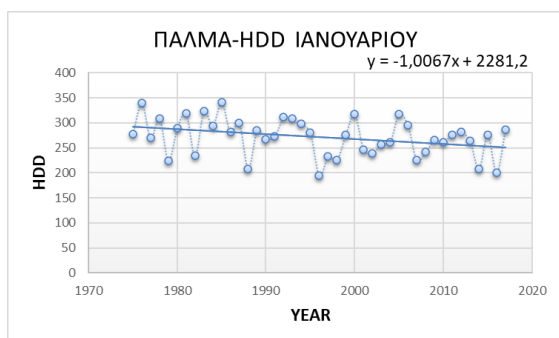


Εικόνα 4.4.4.11. Τάση βαθμομερών Νοεμβρίου Λευκωσίας (1975-2018)

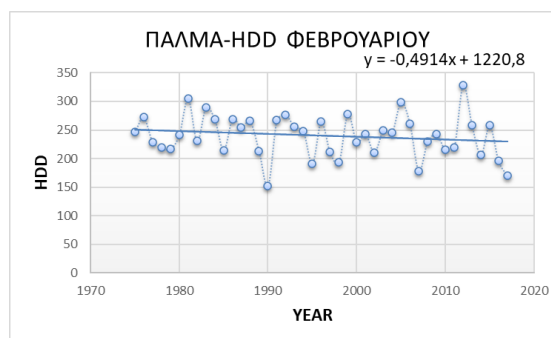


Εικόνα 4.4.4.12. Τάση βαθμομερών Δεκεμβρίου Λευκωσίας (1975-2018)

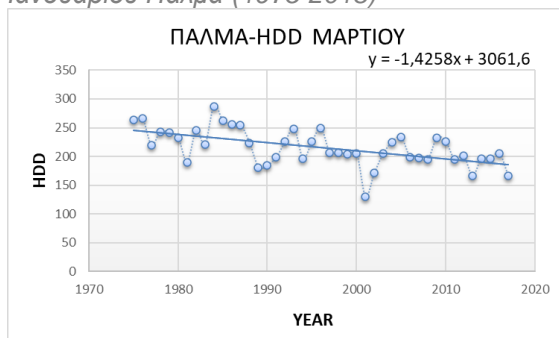
4.4.5 Πάλλα



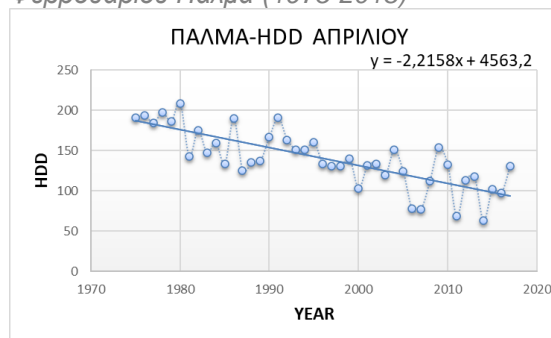
Εικόνα 4.4.5.1. Τάση βαθμομερών Ιανουαρίου Πάλλα (1975-2018)



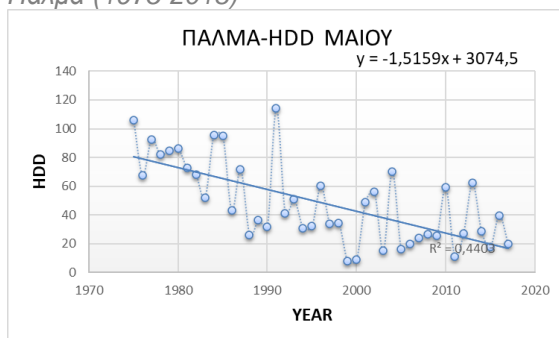
Εικόνα 4.4.5.2. Τάση βαθμομερών Φεβρουαρίου Πάλλα (1975-2018)



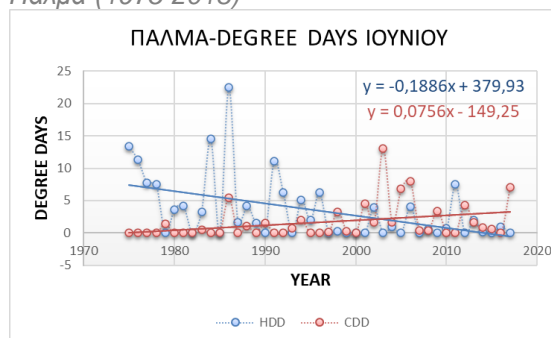
Εικόνα 4.4.5.3. Τάση βαθμομερών Μαρτίου Πάλλα (1975-2018)



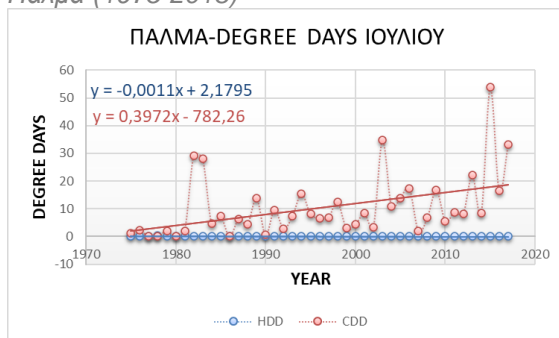
Εικόνα 4.4.5.4. Τάση βαθμομερών Απριλίου Πάλλα (1975-2018)



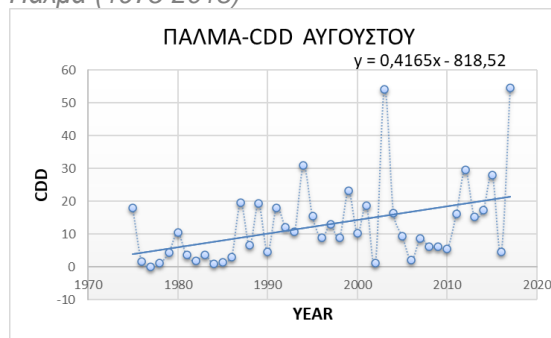
Εικόνα 4.4.5.5. Τάση βαθμομερών Μαΐου Πάλλα (1975-2018)



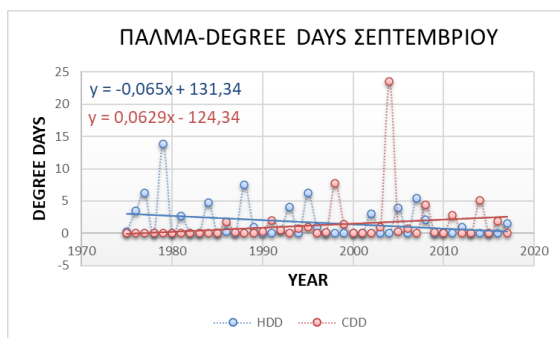
Εικόνα 4.4.5.6. Τάση βαθμομερών Ιουνίου Πάλλα (1975-2018)



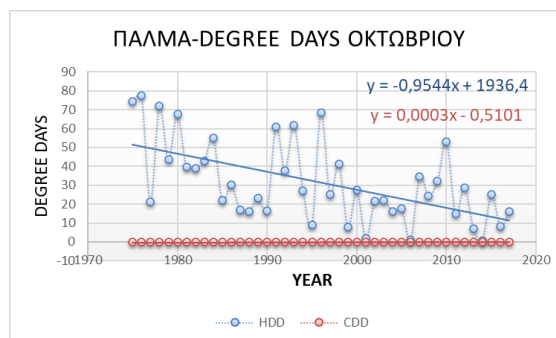
Εικόνα 4.4.5.7. Τάση βαθμομερών Ιουλίου Πάλλα (1975-2018)



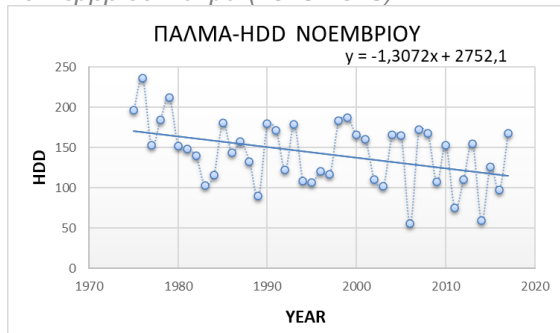
Εικόνα 4.4.5.8. Τάση βαθμομερών Αυγούστου Πάλλα (1975-2018)



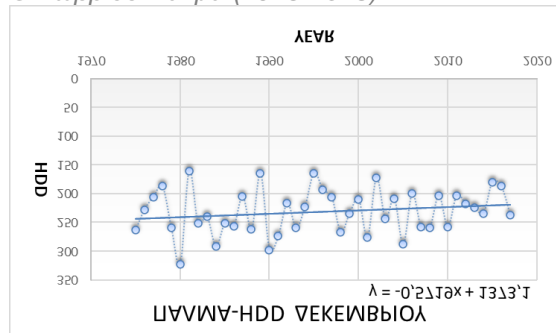
Εικόνα 4.4.5.9. Τάση βαθμομερών Σεπτεμβρίου Πάλμα (1975-2018)



Εικόνα 4.4.5.10. Τάση βαθμομερών Οκτωβρίου Πάλμα (1975-2018)

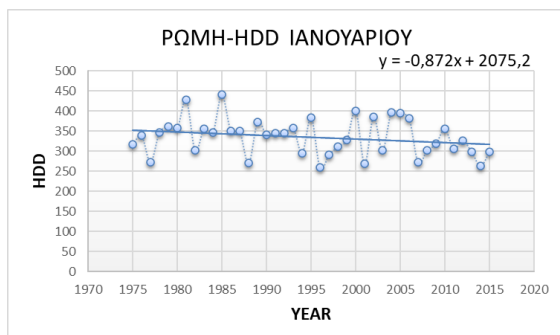


Εικόνα 4.4.5.11. Τάση βαθμομερών Νοεμβρίου Πάλμα (1975-2018)

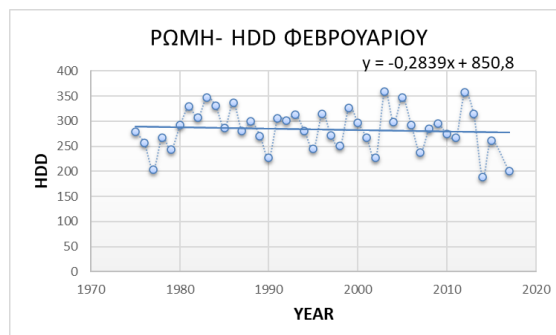


Εικόνα 4.4.5.12. Τάση βαθμομερών Δεκεμβρίου Πάλμα (1975-2018)

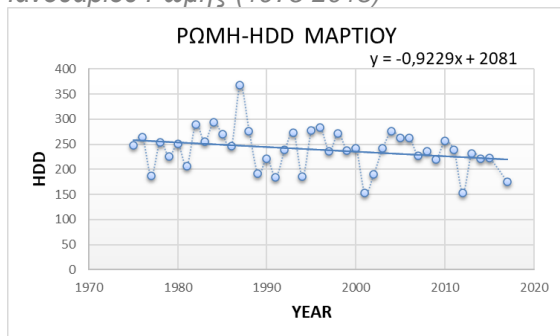
4.4.6 Ρώμη



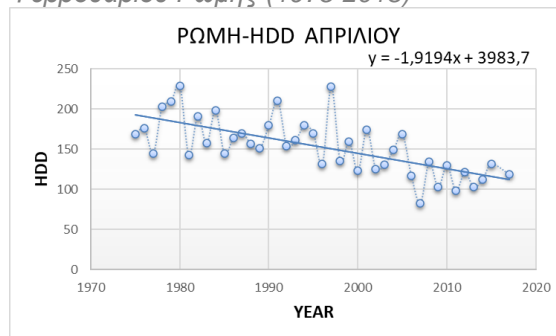
Εικόνα 4.4.6.1. Τάση βαθμομερών Ιανουαρίου Ρώμης (1975-2018)



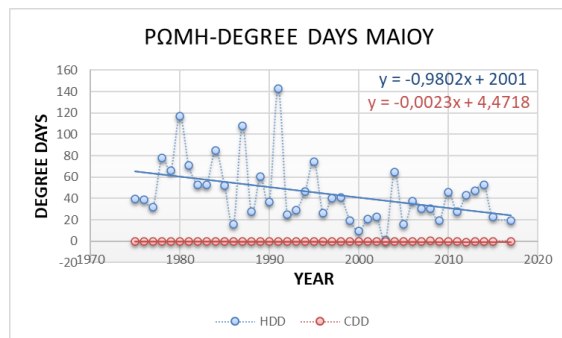
Εικόνα 4.4.6.2. Τάση βαθμομερών Φεβρουαρίου Ρώμης (1975-2018)



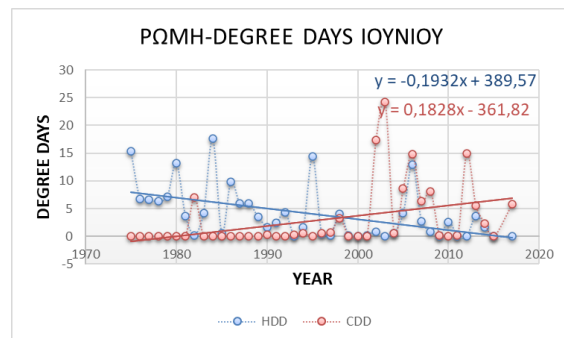
Εικόνα 4.4.6.3. Τάση βαθμομερών Μαρτίου Ρώμης (1975-2018)



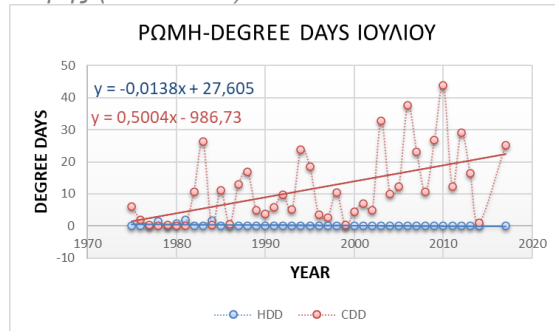
Εικόνα 4.4.6.4. Τάση βαθμομερών Απριλίου Ρώμης (1975-2018)



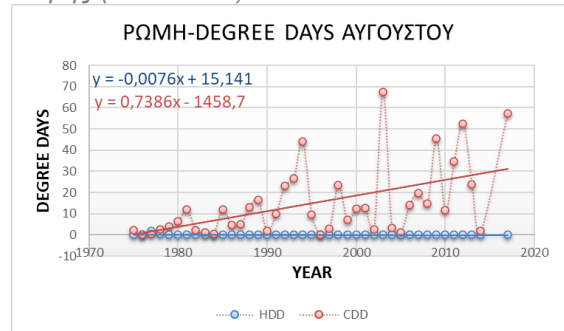
Εικόνα 4.4.6.5. Τάση βαθμομερών Μαΐου Ρώμης (1975-2018)



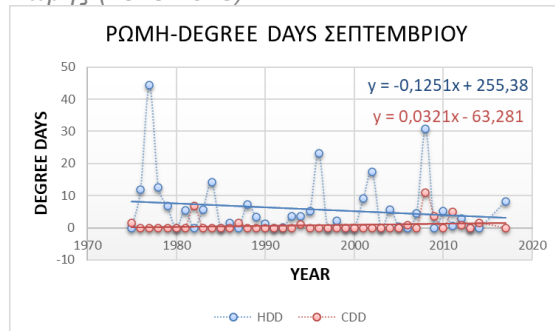
Εικόνα 4.4.6.6. Τάση βαθμομερών Ιουνίου Ρώμης (1975-2018)



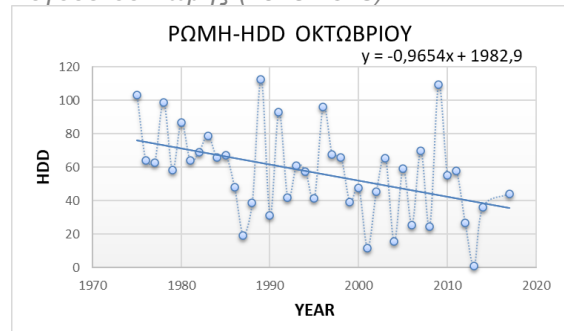
Εικόνα 4.4.6.7. Τάση βαθμομερών Ιουλίου Ρώμης (1975-2018)



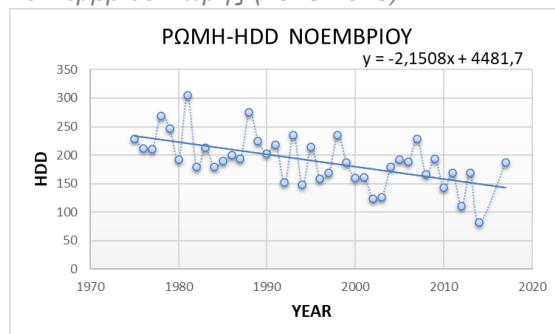
Εικόνα 4.4.6.8. Τάση βαθμομερών Αυγούστου Ρώμης (1975-2018)



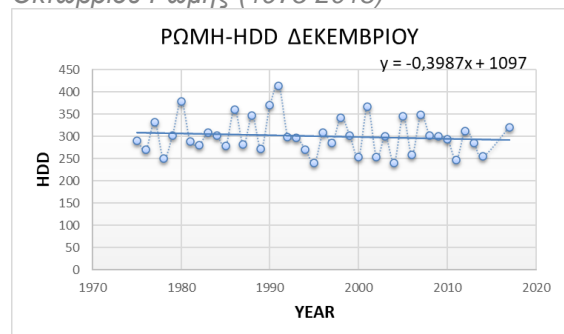
Εικόνα 4.4.6.9. Τάση βαθμομερών Σεπτεμβρίου Ρώμης (1975-2018)



Εικόνα 4.4.6.10. Τάση βαθμομερών Οκτωβρίου Ρώμης (1975-2018)

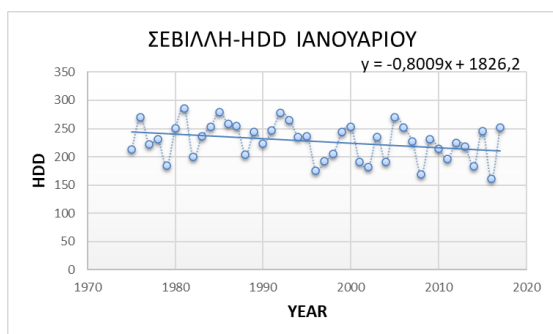


Εικόνα 4.4.6.11. Τάση βαθμομερών Νοεμβρίου Ρώμης (1975-2018)



Εικόνα 4.4.6.12. Τάση βαθμομερών Δεκεμβρίου Ρώμης (1975-2018)

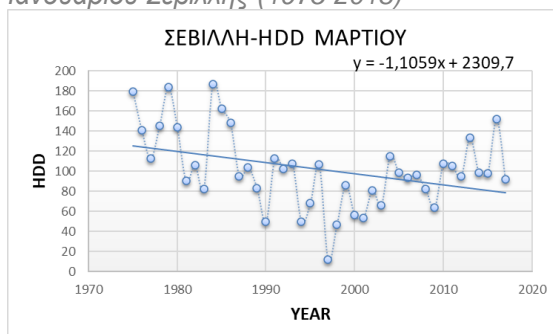
4.4.7 Σεβίλλη



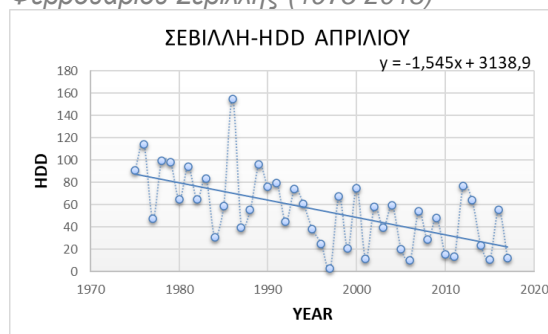
Εικόνα 4.4.7.1. Τάση βαθμομερών Ιανουαρίου Σεβίλλης (1975-2018)



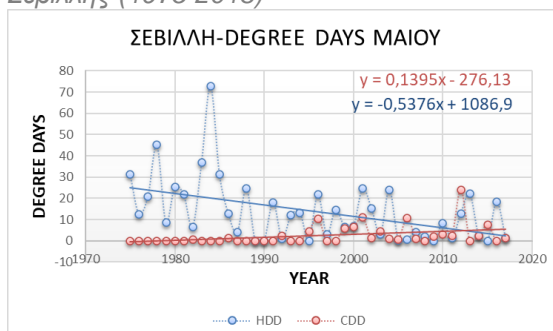
Εικόνα 4.4.7.2. Τάση βαθμομερών Φεβρουαρίου Σεβίλλης (1975-2018)



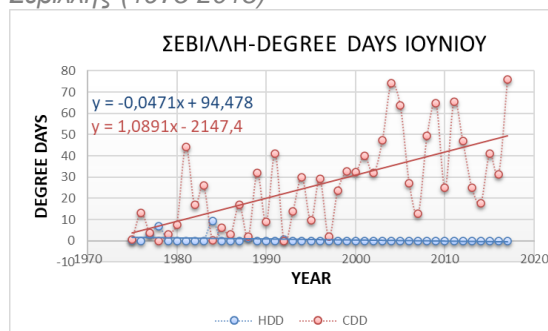
Εικόνα 4.4.7.3. Τάση βαθμομερών Μαρτίου Σεβίλλης (1975-2018)



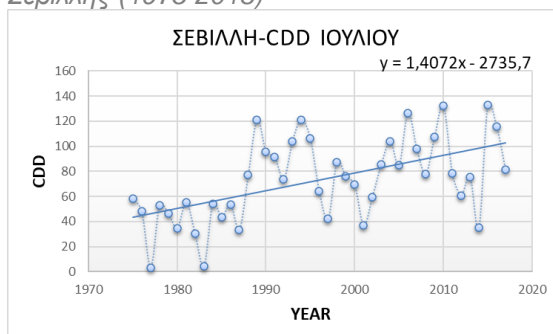
Εικόνα 4.4.7.4. Τάση βαθμομερών Απριλίου Σεβίλλης (1975-2018)



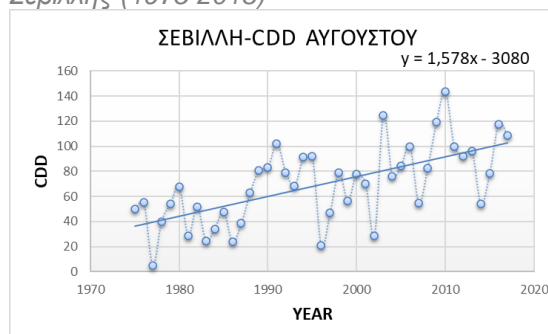
Εικόνα 4.4.7.5. Τάση βαθμομερών Μαΐου Σεβίλλης (1975-2018)



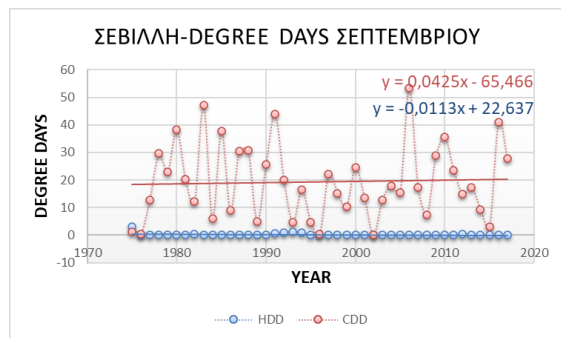
Εικόνα 4.4.7.6. Τάση βαθμομερών Ιουνίου Σεβίλλης (1975-2018)



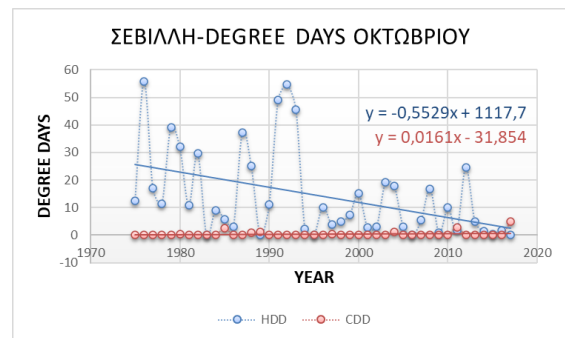
Εικόνα 4.4.7.7. Τάση βαθμομερών Ιουλίου Σεβίλλης (1975-2018)



Εικόνα 4.4.7.8. Τάση βαθμομερών Αυγούστου Σεβίλλης (1975-2018)



Εικόνα 4.4.7.9. Τάση βαθμομερών Σεπτεμβρίου Σεβίλλης (1975-2018)



Εικόνα 4.4.7.10. Τάση βαθμομερών Οκτωβρίου Σεβίλλης (1975-2018)



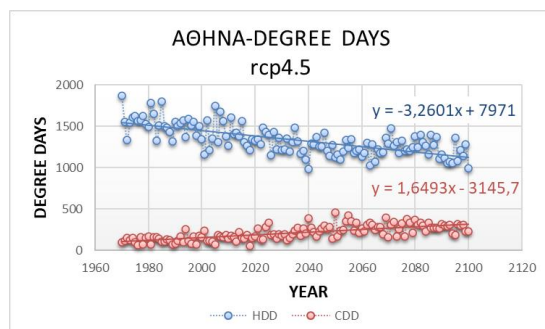
Εικόνα 4.4.7.11. Τάση βαθμομερών Νοεμβρίου Σεβίλλης (1975-2018)



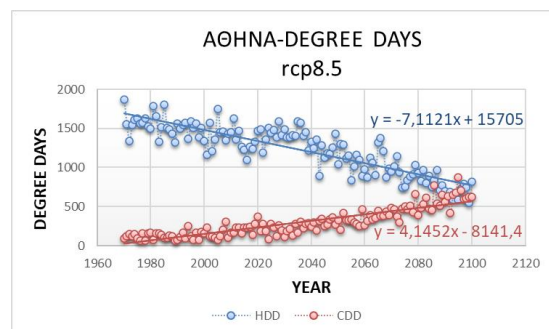
Εικόνα 4.4.7.12. Τάση βαθμομερών Δεκεμβρίου Σεβίλλης (1975-2018)

4.5 Τάσεις βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης – Δεδομένα Μοντέλου

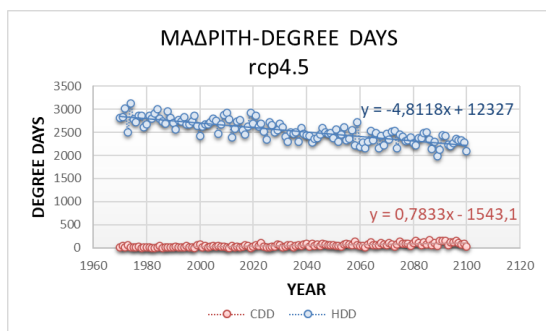
Στα σχήματα 4.5.1 ως 4.5.14 παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή και τάση των βαθμομέρων θέρμανσης και ψύξης μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα για τις επιλεγμένες πόλεις, όπως αυτές υπολογίστηκαν από κλιματικό μοντέλο σύμφωνα με τα δυο επιλεγμένα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Οι τάσεις παρουσιάζουν ίδιο μοτίβο με τις τάσεις των HDD και CDD που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων από τις παρατηρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι βαθμομέρες ψύξης παρουσιάζουν αύξηση ενώ οι βαθμομέρες θέρμανσης μειώνονται με έντονο ρυθμό. Τα αποτελέσματα παρατίθενται συγκεντρωτικά στους πίνακες 4.12.1 και 4.12.2 όπου φαίνεται η αισθητή μείωση των βαθμομερών θέρμανσης, η οποία είναι ιδιαίτερα έντονη για το δυσμενές σενάριο RCP8.5.



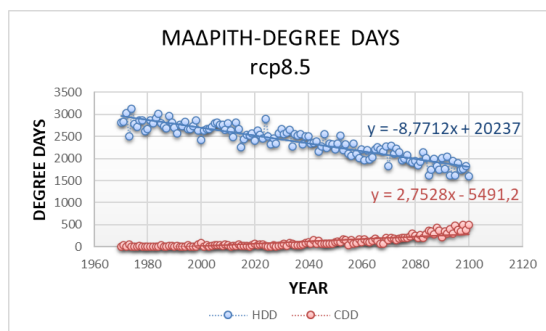
Εικόνα 4.5.1. Τάση βαθμομερών Αθήνας σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (1970-2100)



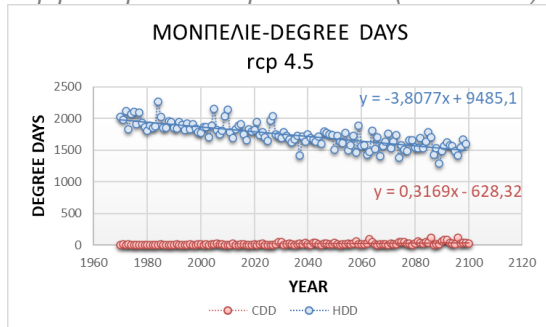
Εικόνα 4.5.2. Τάση βαθμομερών Αθήνας σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (1970-2100)



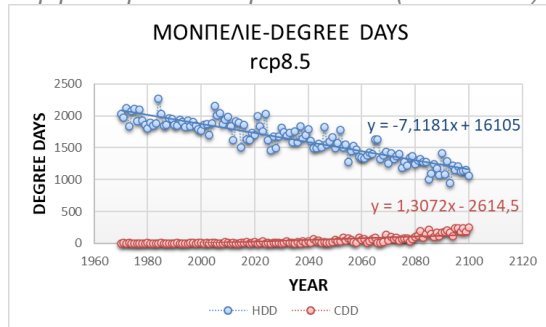
Εικόνα 4.5.3. Τάση βαθμομερών Μαδρίτης σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (1970-2100)



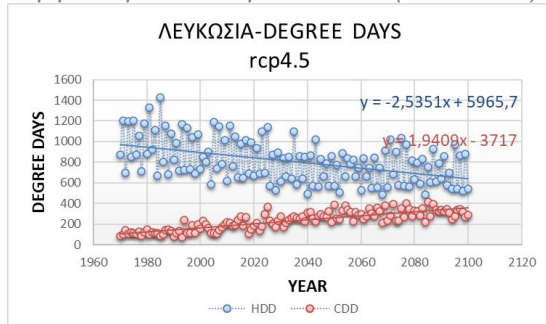
Εικόνα 4.5.4. Τάση βαθμομερών Μαδρίτης σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (1970-2100)



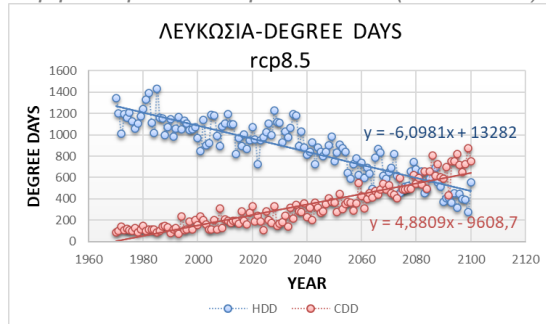
Εικόνα 4.5.5. Τάση βαθμομερών Μονπελιέ σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (1970-2100)



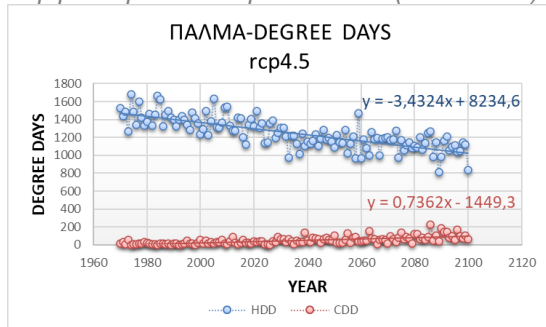
Εικόνα 4.5.6. Τάση βαθμομερών Μονπελιέ σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (1970-2100)



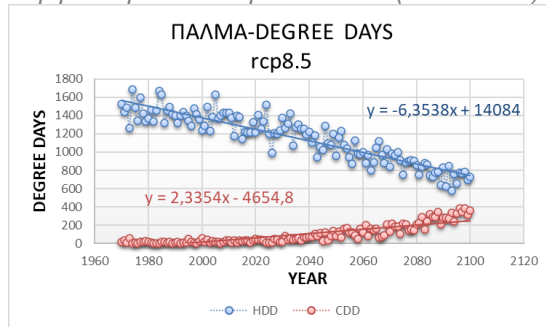
Εικόνα 4.5.7. Τάση βαθμομερών Λευκωσίας σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (1970-2100)



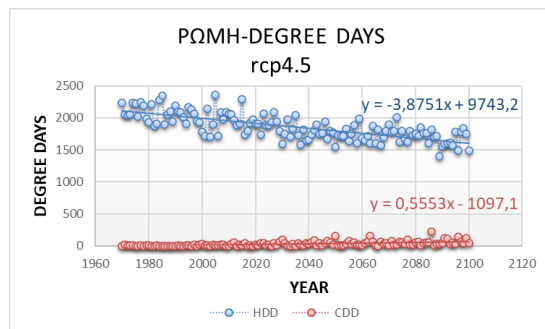
Εικόνα 4.5.8. Τάση βαθμομερών Λευκωσίας σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (1970-2100)



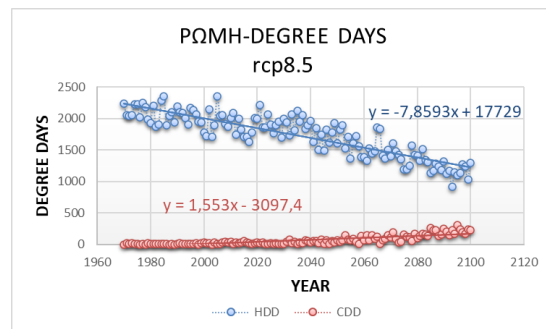
Εικόνα 4.5.9. Τάση βαθμομερών Πάλαμα σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (1970-2100)



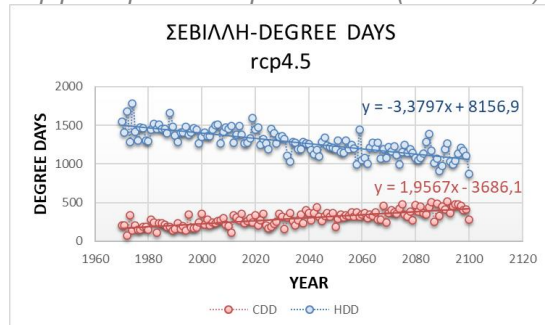
Εικόνα 4.5.10. Τάση βαθμομερών Πάλαμα σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (1970-2100)



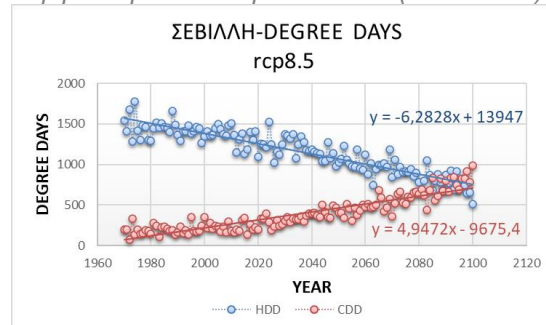
Εικόνα 4.5.11. Τάση βαθμομερών Ρώμης σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (1970-2100)



Εικόνα 4.5.12. Τάση βαθμομερών Ρώμης σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (1970-2100)



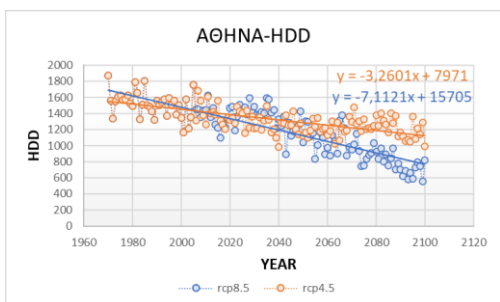
Εικόνα 4.5.13. Τάση βαθμομερών Σεβίλλης σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (1970-2100)



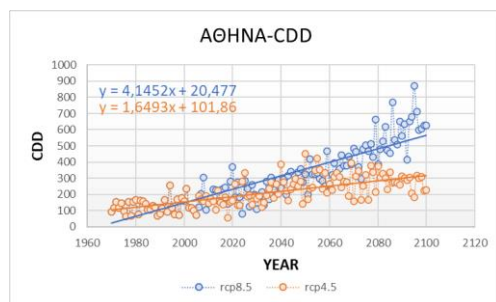
Εικόνα 4.5.14. Τάση βαθμομερών Σεβίλλης σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (1970-2100)

4.6 Σύγκριση των τάσεων HDD και CDD σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5

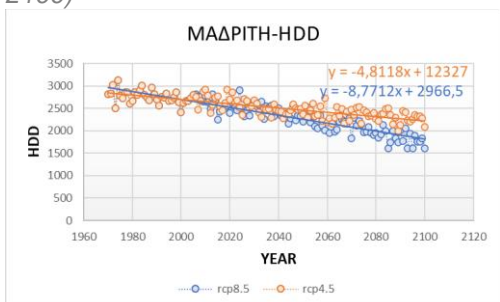
Στα σχήματα 4.6.1 ως 4.6.14 συγκρίνονται γραφικά οι τάσεις των βαθμομερών για την περίοδο 1970-2100 σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, όπου η τάση στην περίπτωση του σεναρίου RCP8.5 είναι εμφανώς εντονότερη τόσο για τις βαθμομέρες θέρμανσης όσο και για τις βαθμομέρες ψύξης (βλ. πίνακα 4.12.7). Σύμφωνα με το RCP4.5 οι HDD μειώνονται με ρυθμό 4.8 μονάδες ανά έτος ενώ σύμφωνα με το RCP8.5 η τάση μείωσης φτάνει τις 8.7 μονάδες/έτος. Ταυτόχρονα, οι CDD αυξάνονται κατά 2 μονάδες/έτος σύμφωνα με το RCP4.5 και σχεδόν κατά 5 μονάδες/έτος σύμφωνα με το RCP8.5. Τα αποτελέσματα για το σενάριο RCP8.5 υποδεικνύουν τις δυσμενείς συνθήκες στις οποίες πρόκειται να οδηγηθούμε στην περίπτωση που δεν ληφθούν μέτρα για το έλεγχο της κλιματικής αλλαγής.



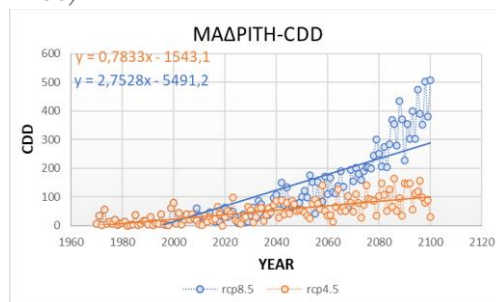
Εικόνα 4.6.1. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών θέρμανσης Αθήνας σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



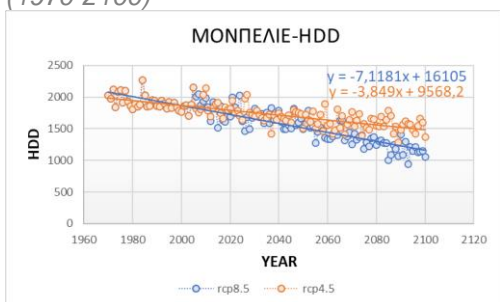
Εικόνα 4.6.2. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών ψύξης Αθήνας σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



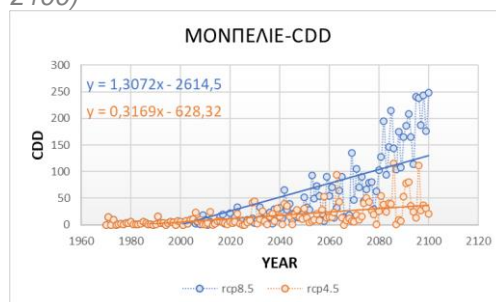
Εικόνα 4.6.3. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών θέρμανσης Μαδρίτης σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



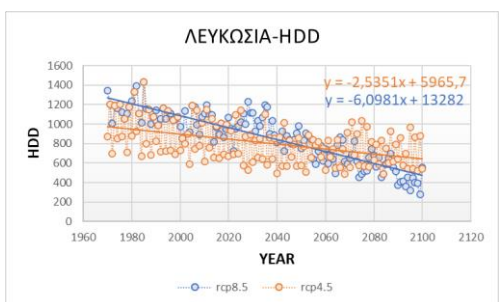
Εικόνα 4.6.4. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών ψύξης Μαδρίτης σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



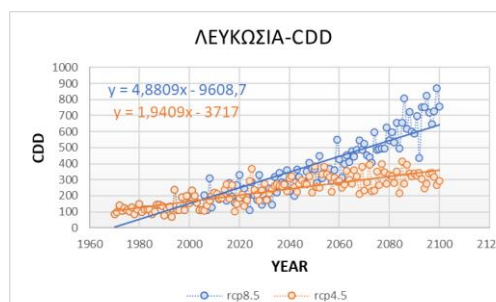
Εικόνα 4.6.5. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών θέρμανσης Μονπελιέ σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



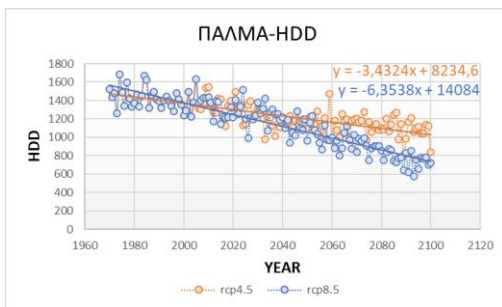
Εικόνα 4.6.6. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών ψύξης Μονπελιέ σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



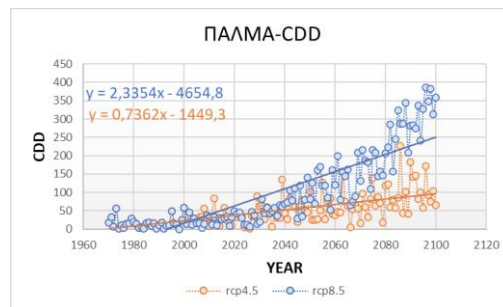
Εικόνα 4.6.7. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών θέρμανσης Λευκωσίας σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



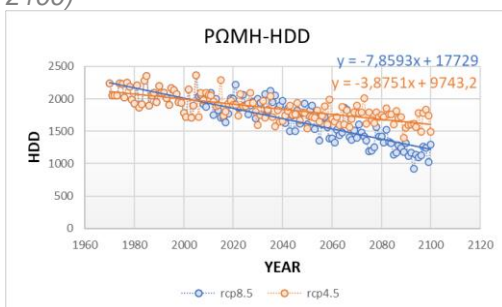
Εικόνα 4.6.8. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών ψύξης Λευκωσίας σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



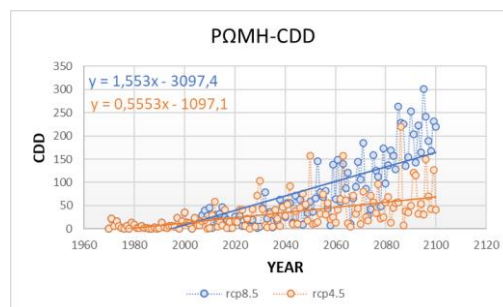
Εικόνα 4.6.9. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών θέρμανσης Πάλλα σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



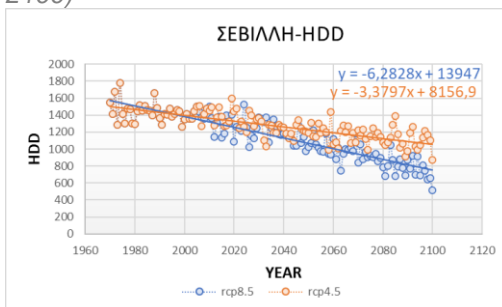
Εικόνα 4.6.10. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών ψύξης Πάλλα σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



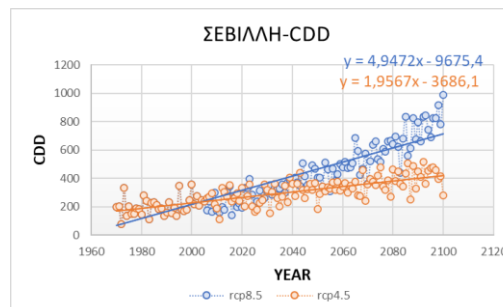
Εικόνα 4.6.11. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών θέρμανσης Ρώμης σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



Εικόνα 4.6.12. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών ψύξης Πάλλα σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)



Εικόνα 4.6.13. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών θέρμανσης Σεβίλλης σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)

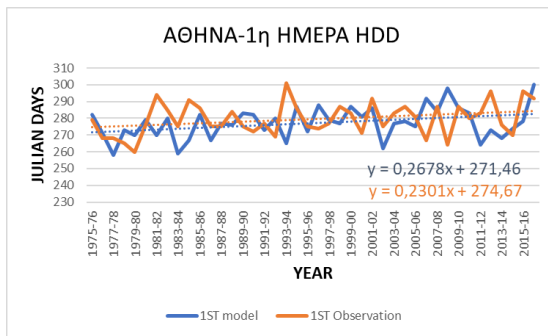


Εικόνα 4.6.14. Σύγκριση τάσεων βαθμομερών ψύξης Πάλλα σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (1970-2100)

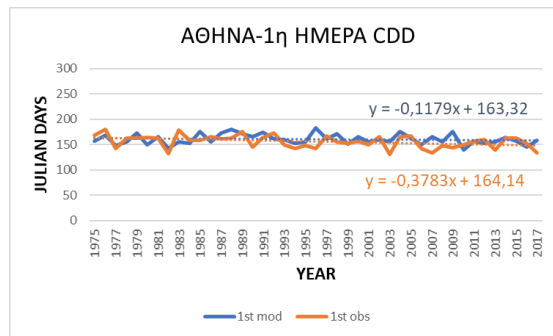
4.7 Τάση μετατόπισης της ημέρας έναρξης (julian day) της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD) - Σύγκριση δεδομένων παρατηρήσεων και δεδομένων μοντέλου

Προκειμένου να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των μελλοντικών προσομοιώσεων, επιχειρήθηκε στο σημείο αυτό η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το μοντέλο με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τις πραγματικές μετρήσεις για την κοινή περίοδο αναφοράς 1975-2018, σε ότι αφορά τις ημερομηνίες έναρξης των περιόδων με ανάγκες ψύξης ή θέρμανσης. Στα σχήματα 4.7.1. ως 4.7.14 παρουσιάζεται γραφικά η τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας εμφάνισης ανάγκης

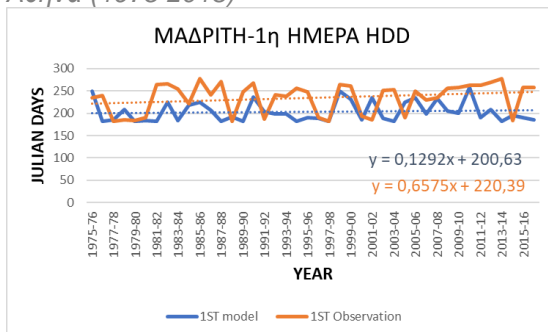
για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα από το 1975 έως το 2018 από τα δεδομένων παρατήρησης και τα δεδομένα του κλιματικού μοντέλου για το σενάριο RCP8.5, όπου φαίνεται η ημερολογιακή μετατόπιση της πρώτης ημέρας ανάγκης θέρμανσης αργότερα μέσα στο έτος ενώ η πρώτη ημέρα ανάγκης για ψύξη μετατοπίζεται νωρίτερα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.12.4 όπου παρατηρείται ποιοτική σύγκλιση μεταξύ αυτών των δυο πηγών δεδομένων.



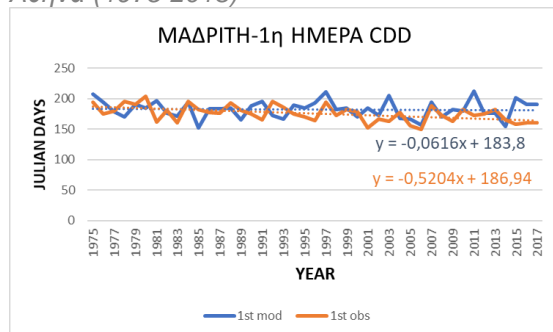
Εικόνα 4.7.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Αθήνα (1975-2018)



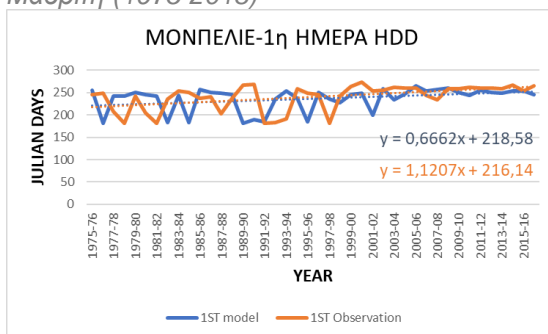
Εικόνα 4.7.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στην Αθήνα (1975-2018)



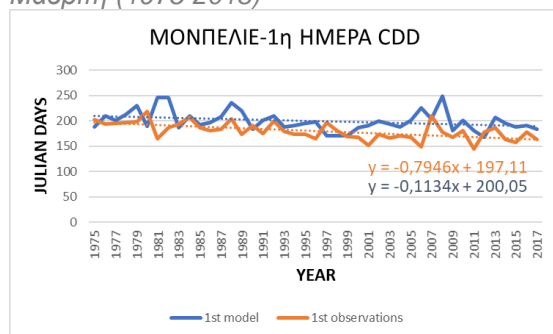
Εικόνα 4.7.3. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Μαδρίτη (1975-2018)



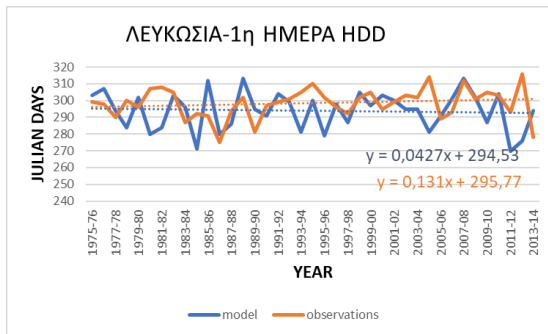
Εικόνα 4.7.4. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Μαδρίτη (1975-2018)



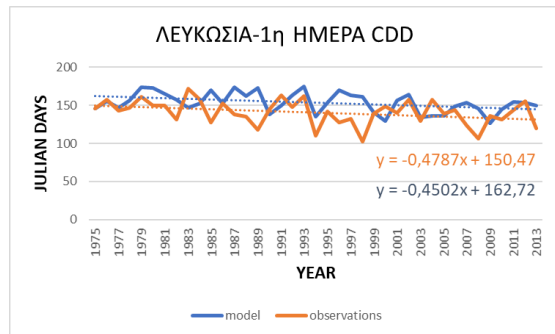
Εικόνα 4.7.5. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στο Μονπελιέ (1975-2018)



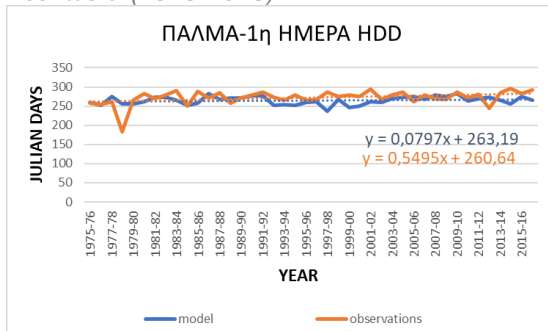
Εικόνα 4.7.6. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στο Μονπελιέ (1975-2018)



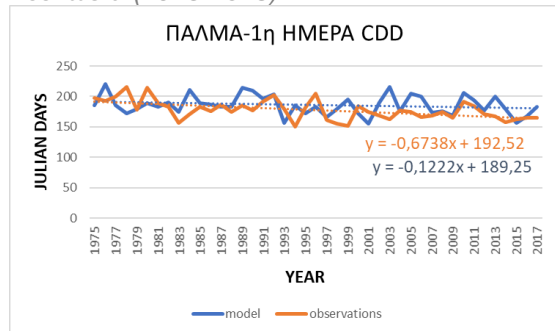
Εικόνα 4.7.7. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Λευκωσία (1975-2018)



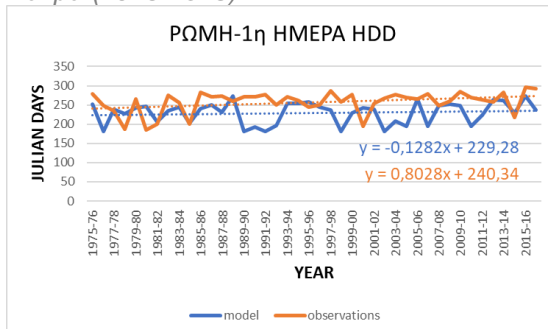
Εικόνα 4.7.8. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Λευκωσία (1975-2018)



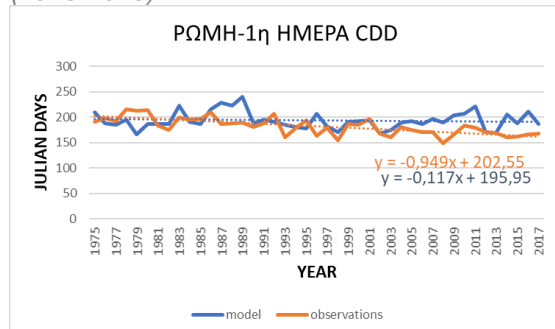
Εικόνα 4.7.9. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Πάλαμα (1975-2018)



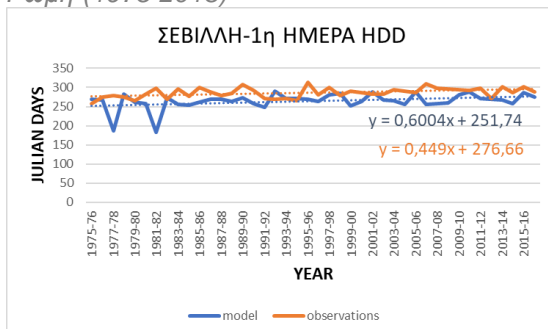
Εικόνα 4.7.10. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Πάλαμα (1975-2018)



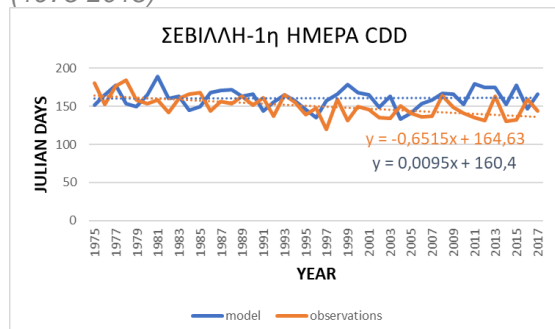
Εικόνα 4.7.11. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Ρώμη (1975-2018)



Εικόνα 4.7.12. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Ρώμη (1975-2018)



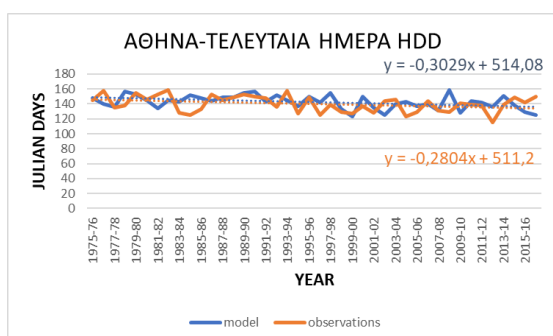
Εικόνα 4.7.13. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Σεβίλλη (1975-2018)



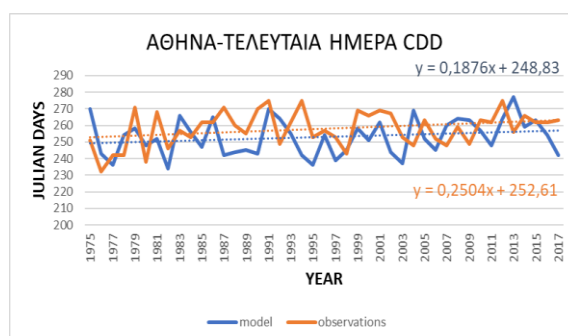
Εικόνα 4.7.14. Τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Σεβίλλη (1975-2018)

4.8 Τάση μετατόπισης της ημέρας λήξης (julian day) της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD)-(1975-2017)- Σύγκριση δεδομένων παρατηρήσεων και δεδομένων μοντέλου

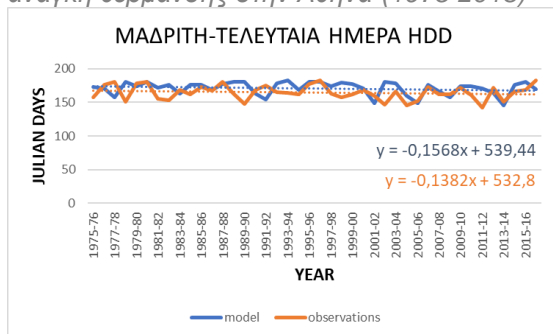
Παρόμοια με την ανάλυση της ενότητας 4.7, στα σχήματα 4.8.1 ως 4.8.14 φαίνεται η τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας εμφάνισης ανάγκης για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα από το 1975 έως το 2018. Ταυτόχρονα, παρουσιάζεται η σύγκριση αυτής της μετατόπισης μεταξύ των δεδομένων παρατήρησης και των δεδομένων του κλιματικού μοντέλου για το σενάριο RCP8.5. Η τελευταία ημέρα με ανάγκες θέρμανσης φαίνεται να μετατοπίζεται νωρίτερα μέσα στο έτος ενώ η τελευταία μέρα με ανάγκες ψύξης μετατοπίζεται αργότερα. Τα δεδομένα και η στατιστική σημαντικότητα αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.12.5.



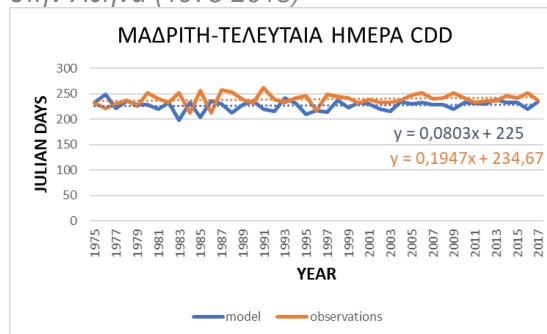
Εικόνα 4.8.1. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ιουλιανής ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Αθήνα (1975-2018)



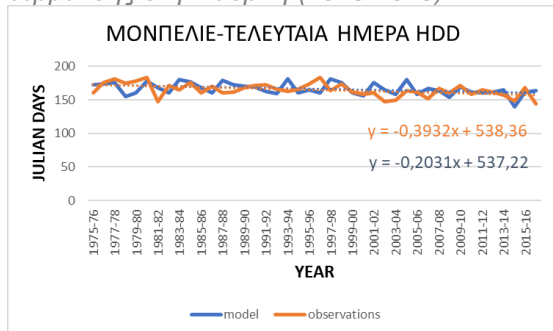
Εικόνα 4.8.2. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ιουλιανής ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στην Αθήνα (1975-2018)



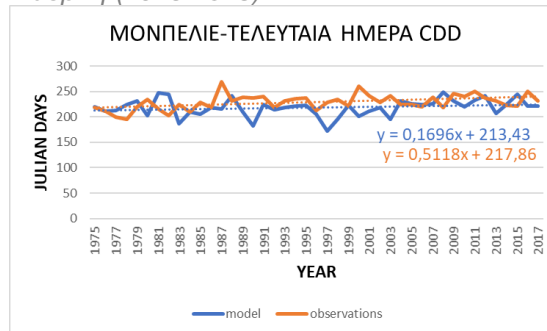
Εικόνα 4.8.3. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Μαδρίτη (1975-2018)



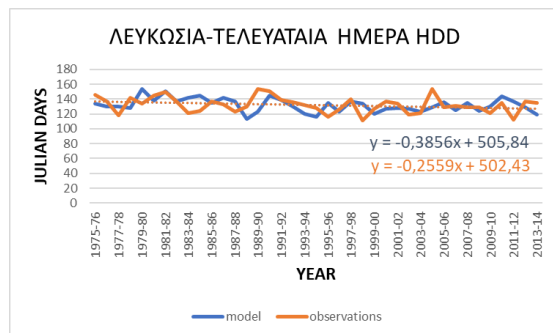
Εικόνα 4.8.4. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Μαδρίτη (1975-2018)



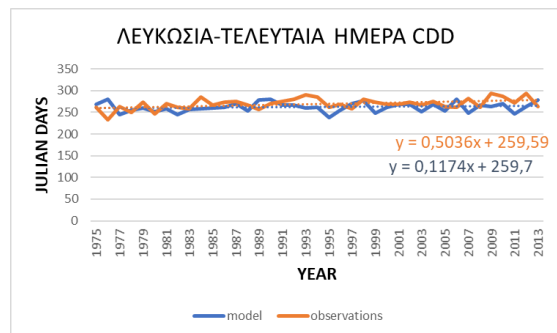
Εικόνα 4.8.5. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στο Μονπελιέ (1975-2018)



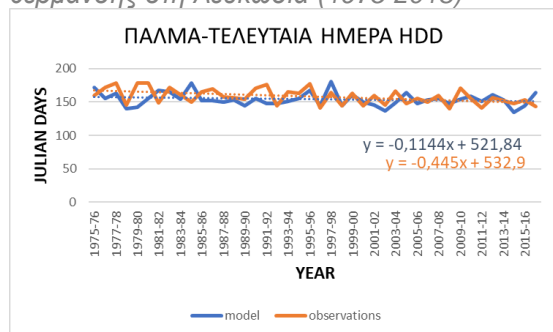
Εικόνα 4.8.6. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στο Μονπελιέ (1975-2018)



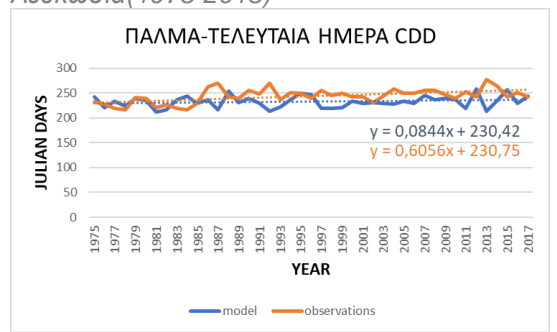
Εικόνα 4.8.7. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Λευκωσία (1975-2018)



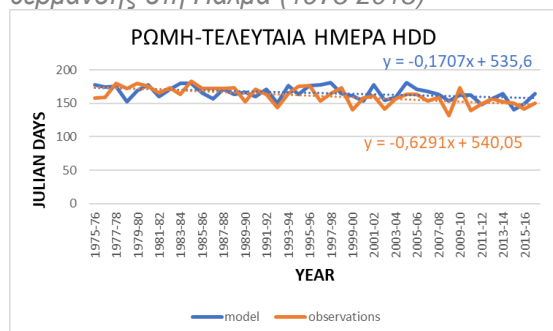
Εικόνα 4.8.8. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Λευκωσία (1975-2018)



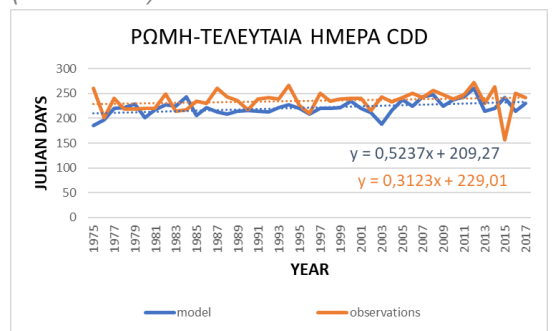
Εικόνα 4.8.9. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Πάλμα (1975-2018)



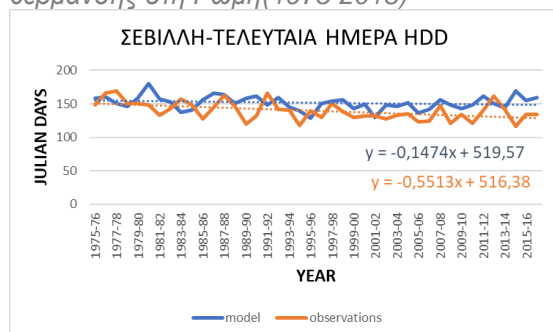
Εικόνα 4.8.10. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Πάλμα (1975-2018)



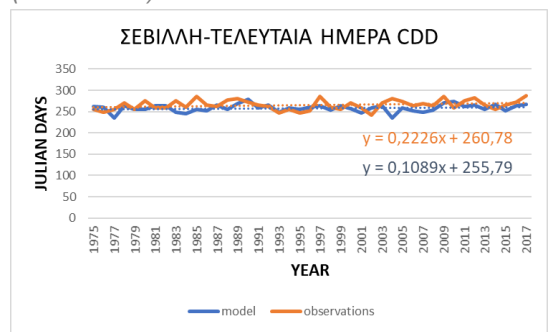
Εικόνα 4.8.11. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Ρώμη (1975-2018)



Εικόνα 4.8.12. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Ρώμη (1975-2018)



Εικόνα 4.8.13. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Σεβίλλη (1975-2018)

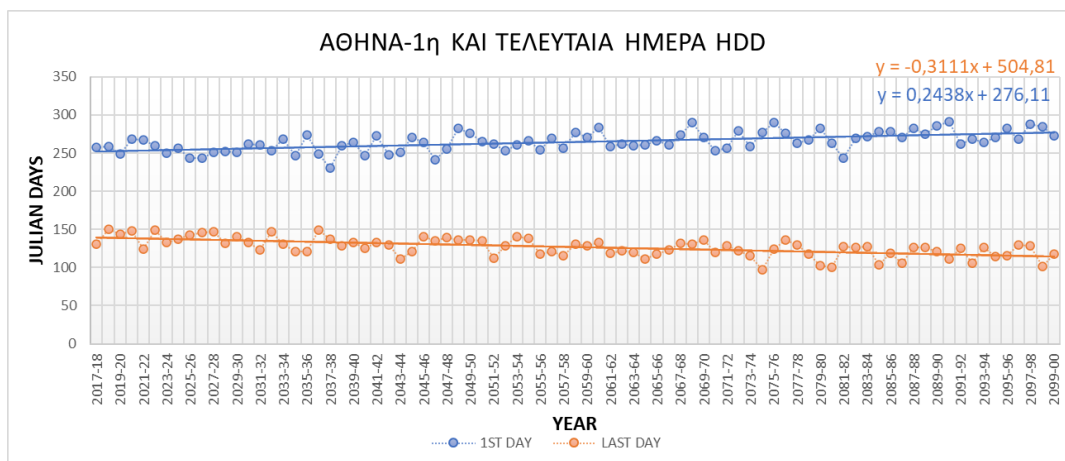


Εικόνα 4.8.14. Τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Σεβίλλη (1975-2018)

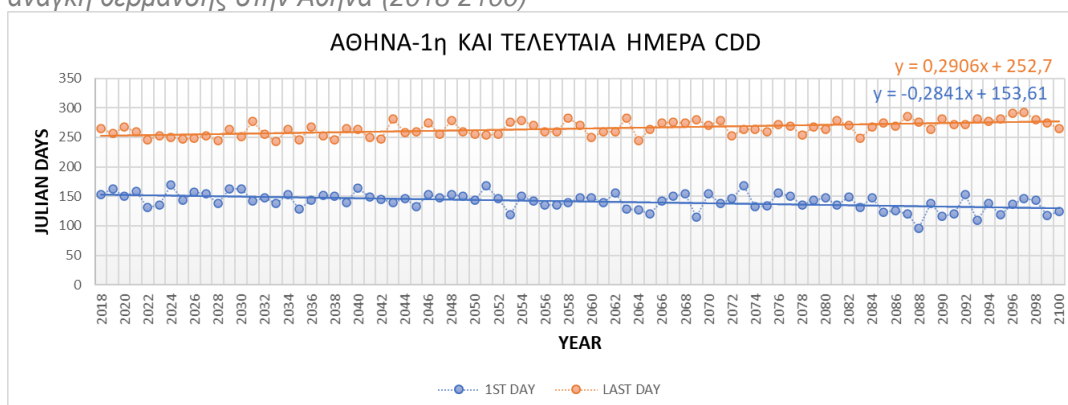
4.9 Τάση μελλοντικής μετατόπισης (2018-2100) της ημέρας έναρξης και λήξης της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης (HDD) και ψύξης (CDD)

Στα σχήματα 4.9.1.1 ως 4.9.7.2 παρουσιάζεται συγκριτικά η τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που παρουσιάζεται ανάγκη θέρμανσης και ψύξης για την περίοδο 2018-2100 σε ημέρες ανά έτος σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5. Σε όλες τις πόλεις παρατηρείται το ίδιο μοτίβο στην ημερολογιακή μετατόπιση της ημέρας έναρξης και λήξης της περιόδου με ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Συγκεκριμένα, η ημέρα έναρξης της περιόδου με ανάγκες θέρμανσης τείνει να μετατοπιστεί αργότερα μέσα στο έτος ενώ η τελευταία νωρίτερα. Αντίθετα, η ημέρα έναρξης της περιόδου με ανάγκες ψύξης τείνει να μετατοπιστεί νωρίτερα μέσα σε ένα έτος και η τελευταία ημέρα τείνει να μετατοπιστεί αργότερα. Τα αποτελέσματα είναι στατιστικά σημαντικά με $p < 0.01$ και παρατίθενται αναλυτικά στον πίνακα 4.12.6.

4.9.1 Αθήνα

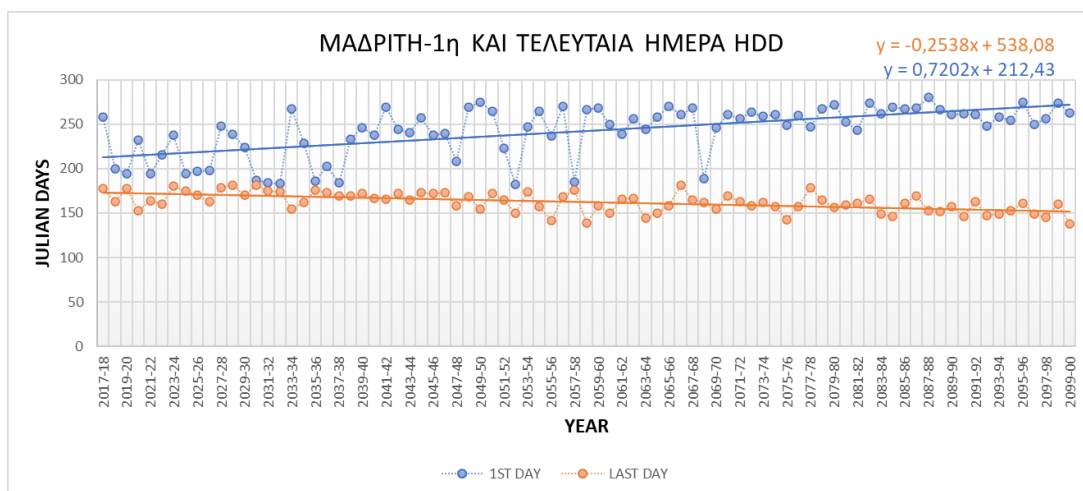


Εικόνα 4.9.1.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης στην Αθήνα (2018-2100)

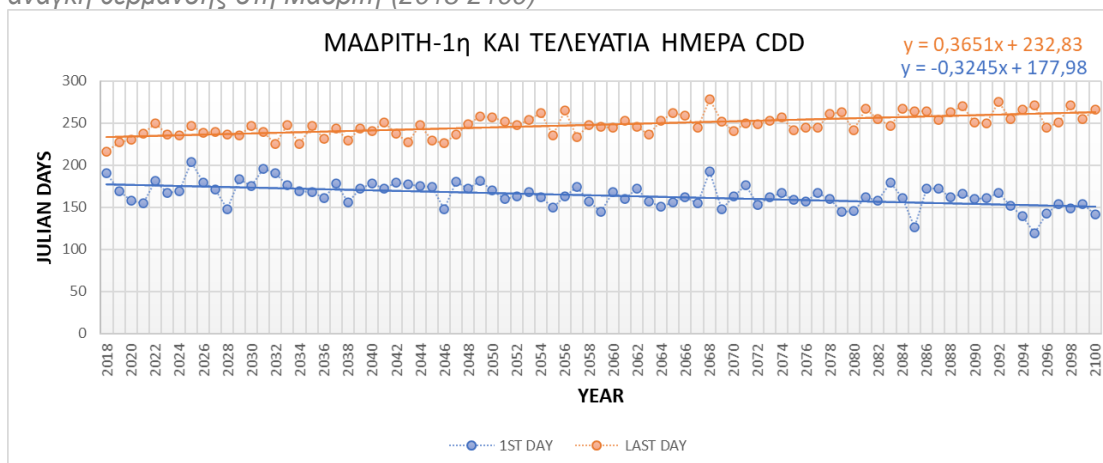


Εικόνα 4.9.1.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης στην Αθήνα (2018-2100)

4.9.2 Μαδρίτη

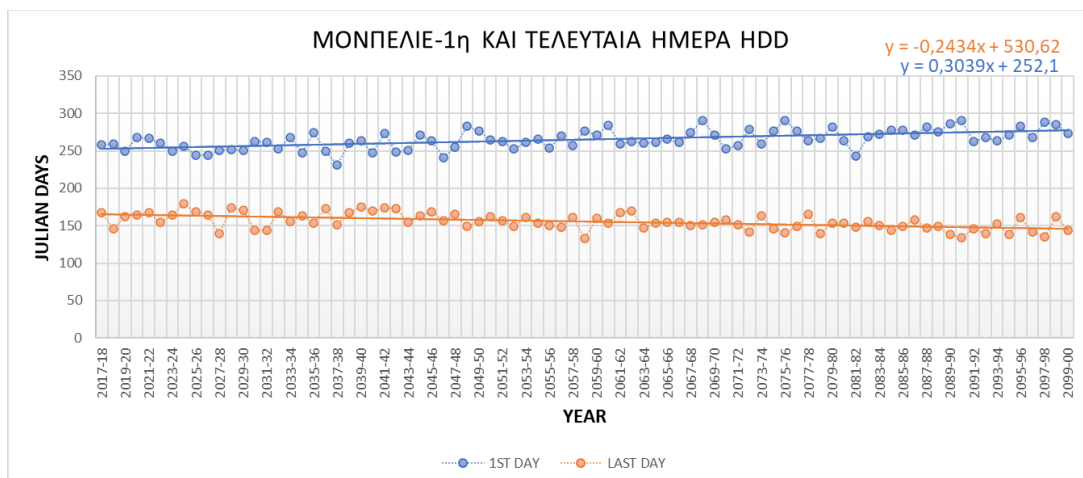


Εικόνα 4.9.2.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης στη Μαδρίτη (2018-2100)

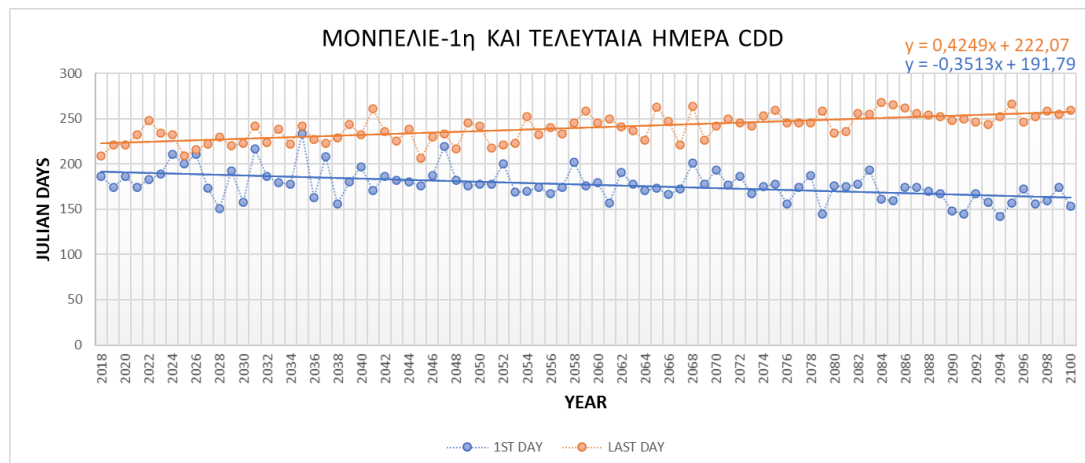


Εικόνα 4.9.2.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης στη Μαδρίτη (2018-2100)

4.9.3 Μοντελιέ

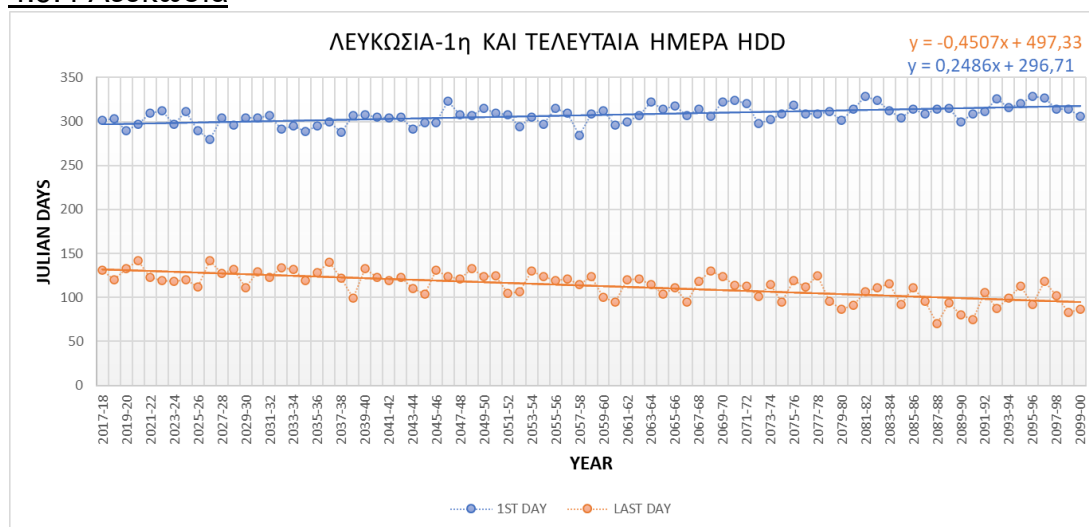


Εικόνα 4.9.3.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης στο Μοντελιέ (2018-2100)

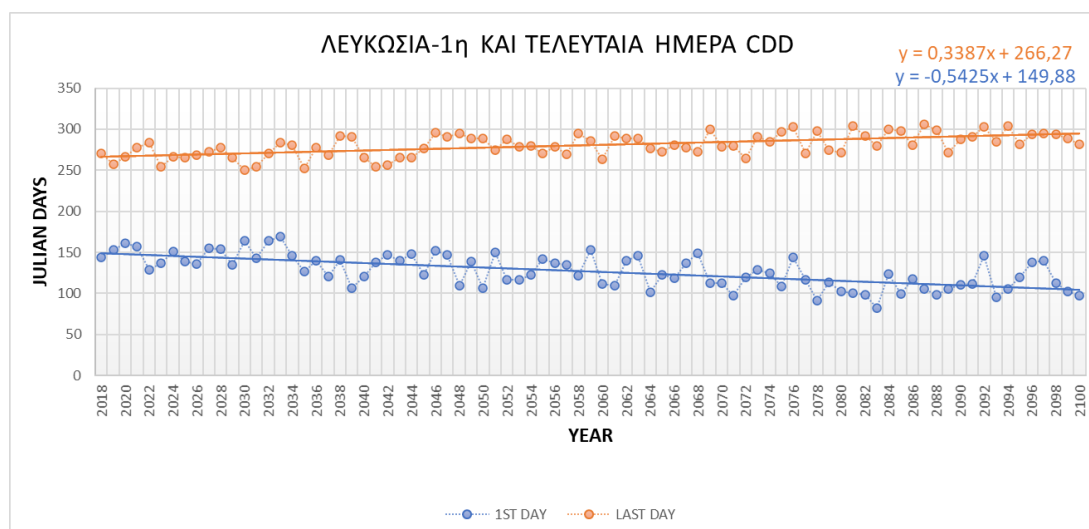


Εικόνα 4.9.3.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης στο Μοντελιέ(2018-2100)

4.9.4 Λευκωσία

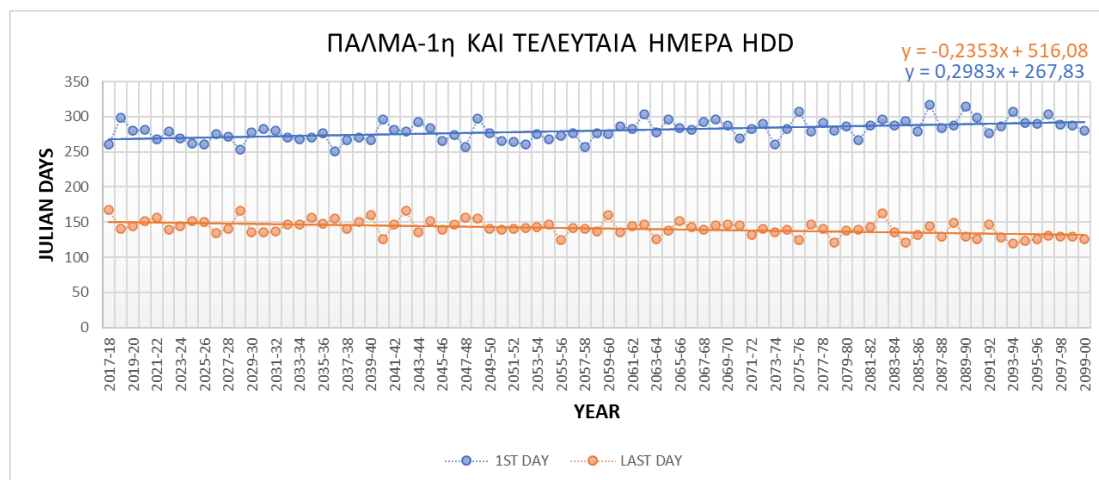


Εικόνα 4.9.4.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης στη Λευκωσία (2018-2100)

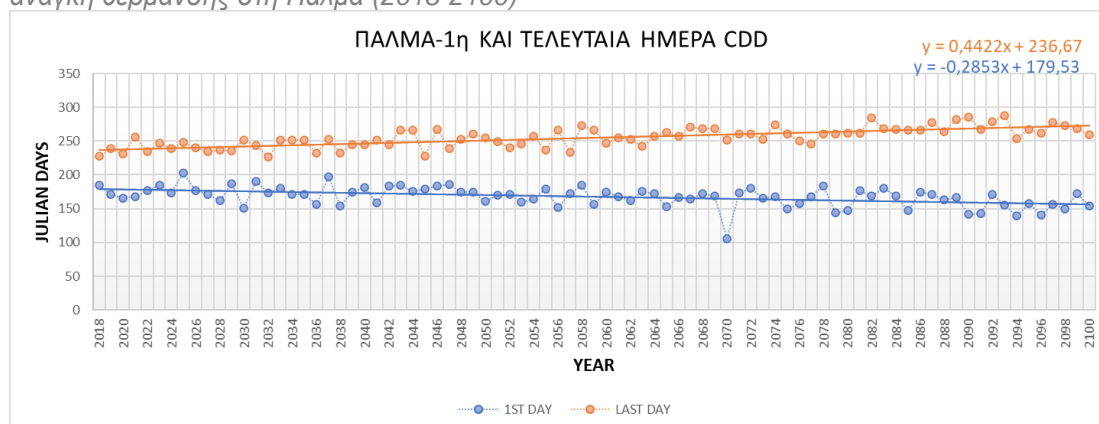


Εικόνα 4.9.4.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης στη Λευκωσία (2018-2100)

4.9.5 Πάλαμα

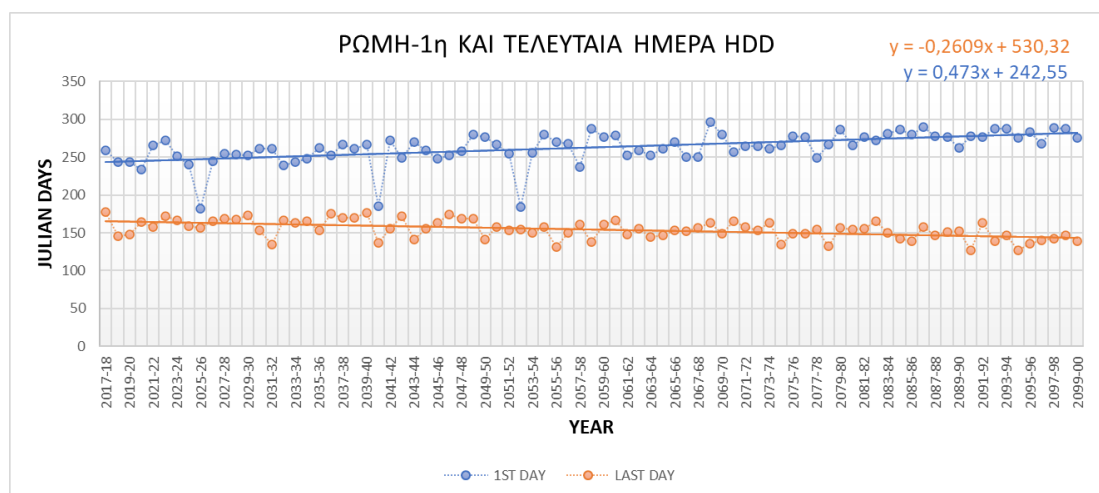


Εικόνα 4.9.5.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης στη Πάλαμα (2018-2100)

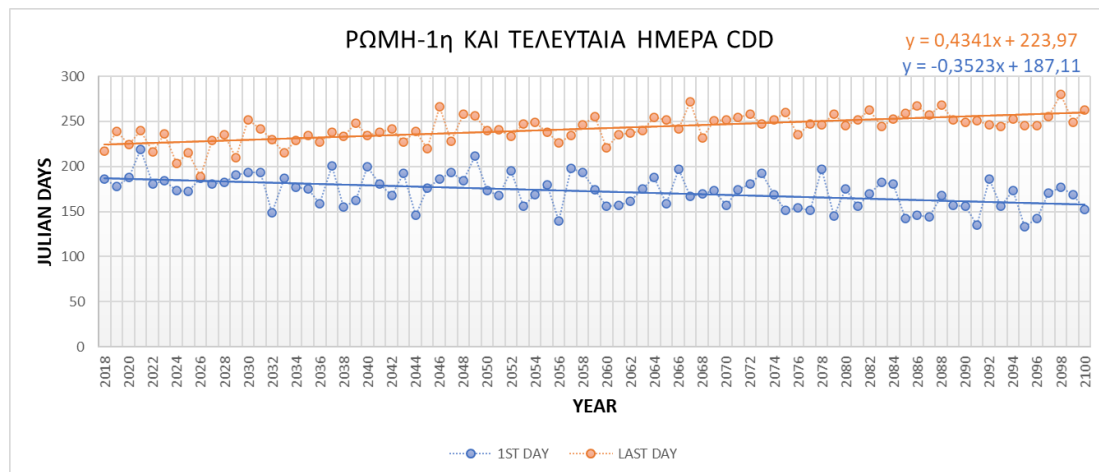


Εικόνα 4.9.5.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης στη Πάλαμα (2018-2100)

4.9.6 Ρώμη

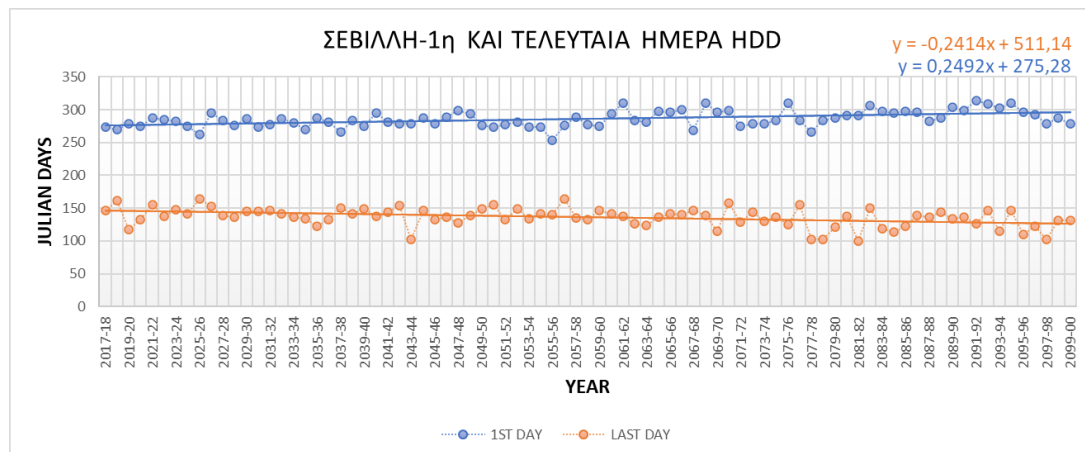


Εικόνα 4.9.6.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης στη Ρώμη (2018-2100)

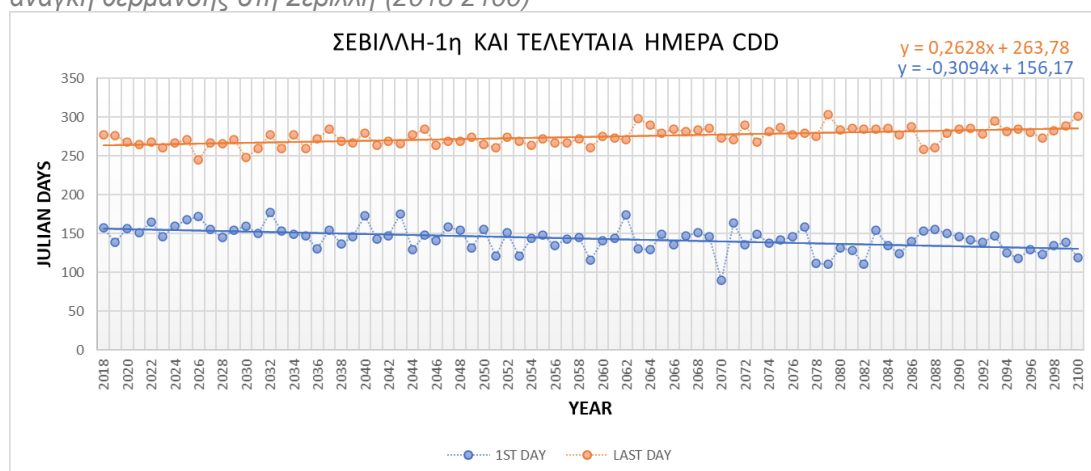


Εικόνα 4.9.6.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης στη Ρώμη (2018-2100)

4.9.7 Σεβίλλη



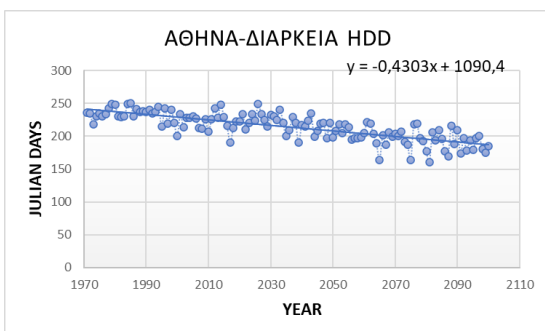
Εικόνα 4.9.7.1. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη θέρμανσης στη Σεβίλλη (2018-2100)



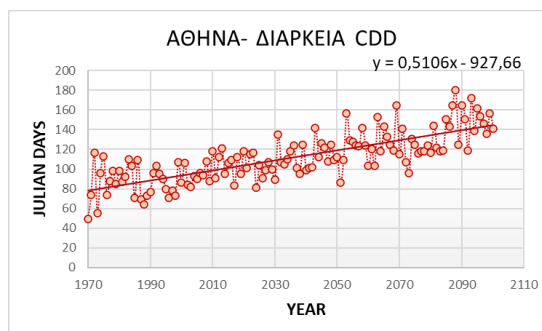
Εικόνα 4.9.7.2. Τάση μετατόπισης της πρώτης και της τελευταίας ημέρας που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης στη Σεβίλλη (2018-2100)

4.10 Διάρκεια περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη

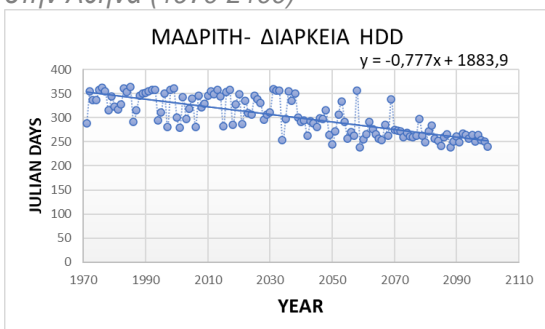
Στις εικόνες 4.10.1 ως 4.10.14 φαίνεται η μεταβολή στη διάρκεια της περιόδου μέσα στο χρόνο που υπάρχουν ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση (HDD) και ψύξη (CDD) στην εκάστοτε πόλη, σε ημέρες ανά έτος (από το 1970 έως το τέλος του αιώνα) σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5. Όπως ήταν αναμενόμενο από τα σχήματα 4.9.1.1-4.9.7.2, η περίοδος με απαιτήσεις ψύξης τείνει να διευρυνθεί ως το 2100 ενώ η περίοδος με απαιτήσεις θέρμανσης παρουσιάζει τάση συρρίκνωσης. Στον πίνακα 4.12.3 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η μεταβολή αυτή, όπου η τάση μείωσης της περιόδου με απαιτήσεις θέρμανσης είναι περίπου αντίστοιχη με την τάση αύξησης της περιόδου που υπάρχουν απαιτήσεις για ψύξη (4-7 ημέρες/δεκαετία).



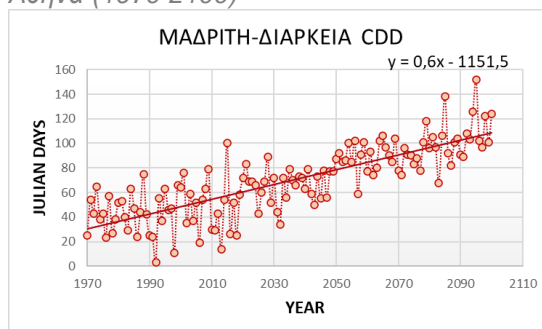
Εικόνα 4.10.1. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Αθήνα (1970-2100)



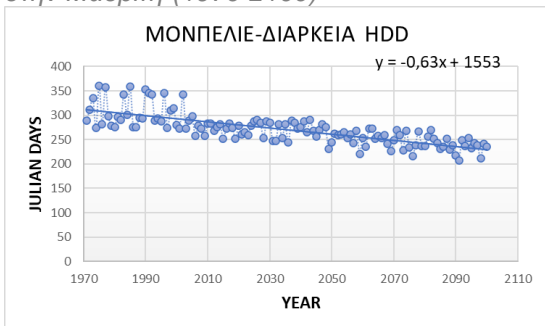
Εικόνα 4.10.2. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη ψύξης στην Αθήνα (1970-2100)



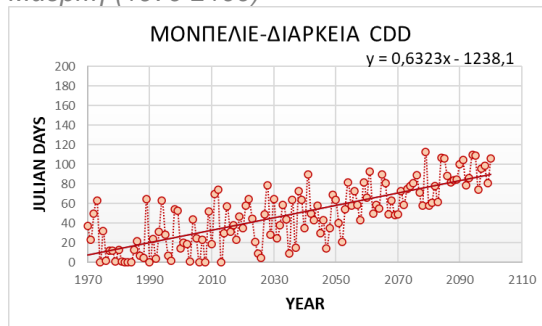
Εικόνα 4.10.3. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Μαδρίτη (1970-2100)



Εικόνα 4.10.4. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη ψύξης στην Μαδρίτη (1970-2100)



Εικόνα 4.10.5. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στο Μονπελιέ (1970-2100)



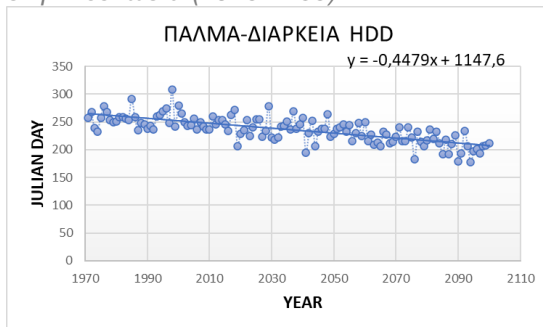
Εικόνα 4.10.6. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη ψύξης στο Μονπελιέ (1970-2100)



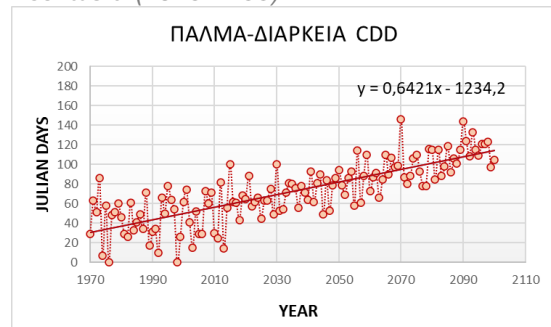
Εικόνα 4.10.7. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Λευκωσία (1970-2100)



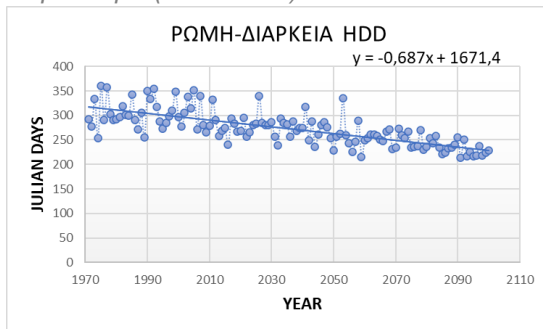
Εικόνα 4.10.8. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη ψύξης στην Λευκωσία (1970-2100)



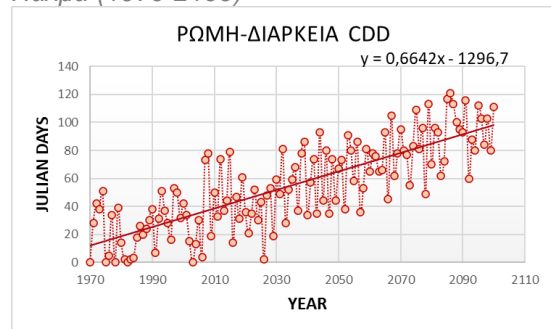
Εικόνα 4.10.9. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Πάλα (1970-2100)



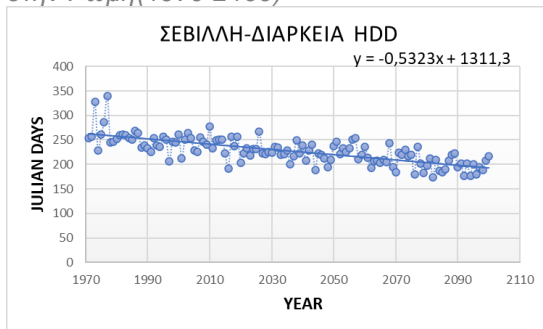
Εικόνα 4.10.10. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη ψύξης στην Πάλα (1970-2100)



Εικόνα 4.10.11. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στην Ρώμη (1970-2100)



Εικόνα 4.10.12. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη ψύξης στην Ρώμη (1970-2100)



Εικόνα 4.10.13. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης στη Σεβίλλη (1970-2100)



Εικόνα 4.10.14. Τάση μεταβολής της διάρκειας της περιόδου που υπάρχει ανάγκη ψύξης στη Σεβίλλη (1970-2100)

4.11 Πίνακες αποτελεσμάτων από δεδομένα παρατηρήσεων

Πίνακας 4.11.1 Τάση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στις επιλεγμένες πόλεις (1975-2018)

Πόλη	Τάση θερμοκρασίας (°C/έτος)
Αθήνα	0.0455 **
Μαδρίτη	0.0366 **
Μονπελιέ	0.0411**
Λευκωσία	0.048**
Πάλμα	0.0481**
Ρώμη	0.0438**
Σεβίλλη	0.0499**

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

- Αύξηση θερμοκρασίας από 0.366 (Μαδρίτη) ως 0.499 (Σεβίλλη) °C ανά δεκαετία.

Πίνακας 4.11.2. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Αθήνας

Αθήνα	Τάση θερμοκρασίας (°C/έτος)
Ιανουάριος	0.0205
Φεβρουάριος	0.0428*
Μάρτιος	0.344*
Απρίλιος	0.0409**
Μάιος	0.0448**
Ιούνιος	0.0516**
Ιούλιος	0.0749**
Αύγουστος	0.0937**
Σεπτέμβριος	0.0372*
Οκτώβριος	0.0302*
Νοέμβριος	0.0457**
Δεκέμβριος	0.0147

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.3. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Μαδρίτης

Μαδρίτη	Τάση θερμοκρασίας (°C/έτος)
Ιανουάριος	0.0162
Φεβρουάριος	0.0027
Μάρτιος	0.0219**
Απρίλιος	0.0633**
Μάιος	0.0769**
Ιούνιος	0.0837**
Ιούλιος	0.0593**
Αύγουστος	0.0554**
Σεπτέμβριος	0.0175
Οκτώβριος	0.0501**
Νοέμβριος	0.0201
Δεκέμβριος	0.0077

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.4. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Μονπελιέ

Μονπελιέ	Τάση θερμοκρασίας (°C/έτος)
Ιανουάριος	0.0223
Φεβρουάριος	0.0073
Μάρτιος	0.0385*
Απρίλιος	0.0635**
Μάιος	0.0627**
Ιούνιος	0.0719**
Ιούλιος	0.0488**
Αύγουστος	0.0479**
Σεπτέμβριος	0.036
Οκτώβριος	0.0435**
Νοέμβριος	0.0519**
Δεκέμβριος	0.0225

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.5. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Λευκωσίας

Λευκωσία	Τάση θερμοκρασίας (°C /έτος)
Ιανουάριος	0.0196
Φεβρουάριος	0.0217
Μάρτιος	0.0402*
Απρίλιος	0.038*
Μάιος	0.0495**
Ιούνιος	0.0606**
Ιούλιος	0.0666**
Αύγουστος	0.0862**
Σεπτέμβριος	0.0507**
Οκτώβριος	0.0466**
Νοέμβριος	0.0556**
Δεκέμβριος	0.0375*

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.6. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Πάλμα

Πάλμα	Τάση θερμοκρασίας (°C /έτος)
Ιανουάριος	0.0325*
Φεβρουάριος	0.0174
Μάρτιος	0.0461**
Απρίλιος	0.075**
Μάιος	0.071**
Ιούνιος	0.0709**
Ιούλιος	0.061**
Αύγουστος	0.0514**
Σεπτέμβριος	0.0333**
Οκτώβριος	0.0548**
Νοέμβριος	0.0441**
Δεκέμβριος	0.018

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.7. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Ρώμης

Ρώμη	Τάση θερμοκρασίας (°C /έτος)
Ιανουάριος	0.0281
Φεβρουάριος	0.0009
Μάρτιος	0.0241
Απρίλιος	0.0662**
Μάιος	0.0508*
Ιούνιος	0.0685**
Ιούλιος	0.0527**
Αύγουστος	0.0746**
Σεπτέμβριος	0.0375*
Οκτώβριος	0.0463**
Νοέμβριος	0.0803**
Δεκέμβριος	0.0166

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.8. Τάση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Σεβίλλης

Σεβίλλη	Τάση θερμοκρασίας (°C /έτος)
Ιανουάριος	0.0258*
Φεβρουάριος	0.015**
Μάρτιος	0.0389**
Απρίλιος	0.076**
Μάιος	0.096**
Ιούνιος	0.0938**
Ιούλιος	0.0635**
Αύγουστος	0.0671**
Σεπτέμβριος	0.0152
Οκτώβριος	0.0681**
Νοέμβριος	0.0124
Δεκέμβριος	0.0092

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

- Τους καλοκαιρινούς μήνες αύξηση (0.06-0.09 °C/έτος) ενώ τον χειμώνα μικρότερη (0.01-0.04 °C/έτος).

Πίνακας 4.11.9. Τάση HDD και CDD ανά έτος στις επιλεγμένες πόλεις (1975-2018)

	HDD	CDD
Αθήνα	-6.6166**	5.368**
Μαδρίτη	-6.9997**	1.4931**
Μονπελιέ	-8.7302**	0.4916**
Λευκωσία	-5.697**	6.4953**
Πάλμα	-9.7437**	0.9523**
Ρώμη	-11.611**	1.2875**
Σεβίλλη	-6.0078**	4.2726**

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

- HDD: μείωση από 5.697 ως 9.7437 μονάδες/έτος
- CDD: αύξηση από 0.4916 ως 6.4953 μονάδες/έτος

Πίνακας 4.11.10. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Αθήνας

Αθήνα	HDD	CDD
Ιανουάριος	-0.6178	-
Φεβρουάριος	-1.1129*	-
Μάρτιος	-1.2882*	-
Απρίλιος	-1.1317*	-
Μάιος	-0.2998	0.0284
Ιούνιος	-0.0139	0.8679**
Ιούλιος	-	1.9698
Αύγουστος	-	2.1705**
Σεπτέμβριος	-0.0715*	3.0445**
Οκτώβριος	-0.5481*	-0.0022
Νοέμβριος	-1.206*	-
Δεκέμβριος	-0.3396	-

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.11. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Μαδρίτης

Μαδρίτη	HDD	CDD
Ιανουάριος	-0.5018	-
Φεβρουάριος	-0.0732	-
Μάρτιος	-0.6777	-
Απρίλιος	-1.8605**	-
Μάιος	-1.563**	-
Ιούνιος	-0.3851*	0.3158**
Ιούλιος	-0.04*	0.6523**
Αύγουστος	-0.0241	0.4654**
Σεπτέμβριος	-0.2854*	0.0586*
Οκτώβριος	-1.3716**	-
Νοέμβριος	-0.6038	-
Δεκέμβριος	0.2402	-

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.12. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Μονπελιέ

Μονπελιέ	HDD	CDD
Ιανουάριος	-1.205*	-
Φεβρουάριος	-0.0331	-
Μάρτιος	-0.9821*	-
Απρίλιος	-1.8369**	-
Μάιος	-1.2695**	0.0021
Ιούνιος	-0.2186**	0.1335**
Ιούλιος	-0.0211**	0.2005*
Αύγουστος	-0.0066	0.1021
Σεπτέμβριος	-0.2718*	0.0144
Οκτώβριος	-0.7934*	-
Νοέμβριος	-1.5714**	-
Δεκέμβριος	-1.5714**	-

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.13. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Λευκωσίας

Λευκωσία	HDD	CDD
Ιανουάριος	-0.6085	-
Φεβρουάριος	-0.6153	-
Μάρτιος	-1.1644*	-
Απρίλιος	-0.6903*	0.0096
Μάιος	-0.1653*	0.08
Ιούνιος	0.0251*	0.2253
Ιούλιος	-	1.9351**
Αύγουστος	-	2.5376**
Σεπτέμβριος	-	0.7827**
Οκτώβριος	-0.1266	0.0578
Νοέμβριος	-1.1655*	-
Δεκέμβριος	-1.1583*	-

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.14. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Πάλμα

Πάλμα	HDD	CDD
Ιανουάριος	-1.0067**	-
Φεβρουάριος	-0.4914	-
Μάρτιος	-1.4258**	-
Απρίλιος	-2.2158**	-
Μάιος	-1.5159**	-
Ιούνιος	-0.1886**	0.0756*
Ιούλιος	-0.0011	0.3972**
Αύγουστος	-	0.4165**
Σεπτέμβριος	-0.065*	0.0629
Οκτώβριος	-0.9544**	0.0003
Νοέμβριος	-1.3072**	-
Δεκέμβριος	-0.5719	-

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.15. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Ρώμης

Ρώμη	HDD	CDD
Ιανουάριος	-0.872	-
Φεβρουάριος	-0.2839	-
Μάρτιος	-0.9229*	-
Απρίλιος	-1.9194**	-
Μάιος	-0.9802**	0.0023
Ιούνιος	-0.1932**	0.1828**
Ιούλιος	-0.00138**	0.5004**
Αύγουστος	-0.0076*	0.7386**
Σεπτέμβριος	-0.1251	0.0321
Οκτώβριος	-0.9654**	-
Νοέμβριος	-2.1508**	-
Δεκέμβριος	-0.3987	-

** ($p < 0.01$), * ($p < 0.05$)

Πίνακας 4.11.16. Τάση HDD και CDD ανά μήνα Σεβίλλης

Σεβίλλη	HDD	CDD
Ιανουάριος	-0.8009*	-
Φεβρουάριος	-0.4288	-
Μάρτιος	-1.1059**	-
Απρίλιος	-1.545**	-
Μάιος	-0.5376**	0.1395**
Ιούνιος	-0.0471*	1.0891**
Ιούλιος	-	1.4072**
Αύγουστος	-	1.578**
Σεπτέμβριος	-0.0113*	0.0425
Οκτώβριος	-0.5529**	0.0161
Νοέμβριος	-0.6873	-
Δεκέμβριος	-0.2937	-

** ($p < 0.01$), * ($p < 0.05$)

- Σημαντική μείωση των HDD ανά μηνά. Αύξηση των CDD ανά μήνα ,όχι όμως εξίσου έντονη της μείωσης των HDD. Επίσης εκτός από την έντονη τάση μείωση των βαθμομέρων θέρμανσης σε μηνιαίο επίπεδο, οι μήνες που χρειάζεται θέρμανση είναι περισσότεροι από αυτούς που χρειάζεται ψύξη των εσωτερικών χώρων, γεγονός που συμβάλει την συνολική μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση ή ψύξη ανά δεκαετία.

4.12 Πίνακες αποτελεσμάτων από δεδομένα μοντέλου

Πίνακας 4.12.1. Τάση HDD και CDD ανά έτος (1970-2100)-RCP4.5

RCP4.5	HDD	CDD
Αθήνα	-3.2601**	1.6493**
Μαδρίτη	-4.8118**	0.7833**
Μονπελιέ	-3.8077**	0.3169**
Λευκωσία	-2.5351**	1.9409**
Πάλμα	-3.4324**	0.7362**
Ρώμη	-3.8751**	0.5553**
Σεβίλλη	-3.3797**	1.9567**

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

- HDD: μείωση από 2.5351 ως 4.8118 μονάδες/έτος.
- CDD: αύξηση από 0.3169 ως 1.9567 μονάδες/έτος.

Πίνακας 4.12.2. Τάση HDD και CDD ανά έτος (1970-2100)-RCP8.5

RCP 8.5	HDD	CDD
Αθήνα	-7.1121**	4.14152**
Μαδρίτη	-8.7712**	2.7528**
Μονπελιέ	-7.1181**	1.3072**
Λευκωσία	-6.0981**	4.8809**
Πάλμα	-6.3538**	2.3354**
Ρώμη	-7.8593**	1.553**
Σεβίλλη	-6.2828**	4.9472**

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

- HDD: μείωση πολύ πιο έντονη σύμφωνα με το RCP8.5 συγκριτικά με το RCP4.5 (από 6.0981 ως 8.7712 μονάδες/έτος).
- CDD: αύξηση από 1.3071 ως 4.9472 μονάδες /έτος, σχεδόν διπλάσια της αύξησης σύμφωνα με το RCP4.5.

Πίνακας 4.12.3. Σύγκριση τάσης HDD και CDD σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5

	HDD		CDD	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Αθήνα	-3.2601**	-7.1121**	1.6493**	4.1452**
Μαδρίτη	-4.8118**	-8.7712**	0.7833**	2.7528**
Μονπελιέ	-3.849**	-7.1181**	0.3169**	1.3072**
Λευκωσία	-2.5351**	-6.0981**	1.9409**	4.8809**
Πάλμα	-3.4324**	-6.3538**	0.7362**	2.3354**
Ρώμη	-3.8751**	-7.8593**	0.5553**	1.553**
Σεβίλλη	-3.3797**	-6.2828**	1.9567**	4.947**

** ($p < 0.01$), * ($p < 0.05$)

- Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η διαφορά μεταξύ των τάσεων των HDD και CDD σύμφωνα με τα δυο σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Η μεταβολή των βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 είναι αισθητά πιο έντονη, με τιμές που δείχνουν μείωση έως και -8.7 HDD/έτος (Μαδρίτη) και αύξηση 4.9 CDD/έτος (Σεβίλλη).

Πίνακας 4.12.4. Σύγκριση παρατηρήσεων-μοντέλου για την τάση μετατόπισης της πρώτης ημέρας ανάγκης για θέρμανση/ ψύξη (HDD/CDD) σε Julian days

	HDD	CDD
Αθήνα		
Παρατηρήσεις	0.2301*	-0.1179**
Μοντέλο RCP8.5	0.2678*	-0.3783
Μαδρίτη		
Παρατηρήσεις	0.6576	-0.5204**
Μοντέλο RCP8.5	0.1292	-0.0616
Μονπελιέ		
Παρατηρήσεις	1.1207**	-0.7946**
Μοντέλο RCP8.5	0.6662*	-0.1134*
Λευκωσία		
Παρατηρήσεις	0.131	-0.4787*
Μοντέλο RCP8.5	0.0427	-0.4502**
Πάλμα		
Παρατηρήσεις	0.5495**	-0.6738**
Μοντέλο RCP8.5	0.0797	-0.1222
Ρώμη		
Παρατηρήσεις	0.8028*	-0.949**
Μοντέλο RCP8.5	-0.1282	-0.117
Σεβίλλη		
Παρατηρήσεις	0.449**	-0.6738**
Μοντέλο RCP8.5	0.6004*	-0.0095

** ($p < 0.01$), * ($p < 0.05$)

- Η πρώτη μέρα του χρόνου που παρατηρείται ανάγκη για θέρμανση τείνει να μετατοπιστεί από 2 ως 8 ημέρες αργότερα ανά δεκαετία, ενώ η πρώτη μέρα που εμφανίζεται ανάγκη για ψύξη μετατοπίζεται νωρίτερα μέσα στο χρόνο. Τα αποτελέσματα που προήλθαν από τα δεδομένα παρατηρήσεων είναι στατιστικά σημαντικά. Παρά το γεγονός ότι σε ορισμένες πόλεις παρουσιάζεται απόκλιση μεταξύ των δεδομένων από τις παρατηρήσεις και αυτών του κλιματικού μοντέλου (π.χ. Ρώμη), παρατηρούμε ότι ακολουθείται παρόμοιο μοτίβο στις τάσεις της ημερολογιακής μετατόπισης σύμφωνα με τις δυο πηγές δεδομένων και τα αποτελέσματα συγκλίνουν σημαντικά.

Πίνακας 4.12.5. Σύγκριση παρατηρήσεων-μοντέλου για την τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας ανάγκης για θέρμανση/ ψύξη (HDD/CDD) σε Julian days

	HDD	CDD
Αθήνα		
Παρατηρήσεις	-0.2804*	0.2504*
Μοντέλο RCP8.5	-0.3029**	0.1876
Μαδρίτη		
Παρατηρήσεις	-0.1382	0.1947
Μοντέλο RCP8.5	-0.1568	0.0803
Μονπελιέ		
Παρατηρήσεις	-0.3932**	0.5118**
Μοντέλο RCP8.5	-0.2031**	0.1696
Λευκωσία		
Παρατηρήσεις	-0.2559*	0.5036**
Μοντέλο RCP 8.5	-0.3856*	0.1174
Πάλμα		
Παρατηρήσεις	-0.445**	0.6056**
Μοντέλο RCP8.5	-0.1144	0.0844
Ρώμη		
Παρατηρήσεις	-0.6291**	0.3123
Μοντέλο	-0.1707**	0.5237**
Σεβίλλη		
Παρατηρήσεις	-0.5513**	0.2226
Μοντέλο RCP8.5	-0.1474	0.1089

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

- Η τελευταία ημέρα στην οποία παρατηρείται ανάγκη για θέρμανση τείνει να μετατοπιστεί νωρίτερα μέσα στο χρόνο κατά 2 με 6 ημέρες ανά δεκαετία. Αντίστοιχα, η τελευταία μέρα στην οποία παρατηρείται ανάγκη για ψύξη μετατοπίζεται από 1 έως 5 μέρες ανά δεκαετία.

ίνακας 4.12.6. Τάση μελλοντικής μετατόπισης της περιόδου ενεργειακής ανάγκης για θέρμανση/ ψύξη σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5

	HDD	CDD
Αθήνα		
Πρώτη ημέρα	0.2438**	-0.2841**
Τελευταία ημέρα	-0.3111**	0.2906**
Μαδρίτη		
Πρώτη ημέρα	0.7202**	-0.3245**
Τελευταία ημέρα	-0.2538**	0.3651**
Μονπελιέ		
Πρώτη ημέρα	0.3039**	-0.3513**
Τελευταία ημέρα	-0.2434**	0.4249**
Λευκωσία		
Πρώτη ημέρα	0.2486**	-0.5425**
Τελευταία ημέρα	-0.4507**	0.3387**
Πάλμα		
Πρώτη ημέρα	0.2983**	-0.2853**
Τελευταία ημέρα	-0.22353**	0.4422**
Ρώμη		
Πρώτη ημέρα	0.473**	-0.3523**
Τελευταία ημέρα	-0.2609**	0.4341**
Σεβίλλη		
Πρώτη ημέρα	0.2492**	-0.3094**
Τελευταία ημέρα	-0.2414**	0.2628**

** ($p < 0.01$), * ($p < 0.05$)

- Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 υπάρχει μετατόπιση της περιόδου με ανάγκες θέρμανσης (HDD) με ρυθμό από 2 έως 7 ημέρες/ δεκαετία αργότερα μέσα στο έτος, έως το 2100 ενώ η περίοδος με ανάγκες ψύξης (CDD) φαίνεται να μετατοπίζεται νωρίτερα μέσα στο έτος με ρυθμό 2 έως 5 ημέρες/ δεκαετία.
- Είναι εμφανές τόσο από τις ιστορικές παρατηρήσεις όσο και από τα αποτελέσματα του μοντέλου η μείωση στις ημέρες που υπάρχει ανάγκη για θέρμανση, ωστόσο παρατηρείται αισθητά μεγαλύτερη τάση αύξησης της περιόδου όπου υπάρχουν απαιτήσεις ψύξης.

Πίνακας 4.12.7. Τάση διάρκειας περιόδου ενεργειακής ανάγκης για θέρμανση και ψύξη (σε Julian days/year)

	HDD	CDD
	Days/year	
Αθήνα	-0.4303**	0.5106**
Μαδρίτη	-0.777**	0.6113**
Μονπελιέ	-0.63**	0.6323**
Λευκωσία	-0.5298**	0.6945**
Πάλμα	-0.4479**	0.6421**
Ρώμη	-0.687**	0.6642**
Σεβίλλη	-0.5323**	0.5065**

** ($p < 0.01$) , * ($p < 0.05$)

- Η περίοδος που υπάρχουν απαιτήσεις για θέρμανση μειώνονται με ρυθμό από 0.4 ως 0.7 ημέρες το χρόνο (4-7 ημέρες ανά δεκαετία). Αντίθετα η διάρκεια των ημερών που υπάρχει ανάγκη για ψύξη αυξάνεται με ρυθμό από 5 ως 6 ημέρες/ δεκαετία.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1. Αποτελέσματα τάσης θερμοκρασίας (1975-2018)

Μελετώντας τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρατηρούμε την εμφανή επίδραση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής στην περιοχή της Μεσογείου, με τη θερμοκρασία να παρουσιάζει αύξηση από 0.37 °C (Μαδρίτη) ως 0.49 °C ανά δεκαετία (Σεβίλλη) τα τελευταία σαράντα χρόνια (πίνακας 4.11.1). Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται εντονότερη αύξηση της θερμοκρασίας (0.6-0.9 °C/δεκαετία) ενώ τη χειμερινή περίοδο η αύξηση είναι της τάξης του 0.1-0.4 °C/δεκαετία (πίνακες 4.11.2-4.11.8). Η διαφορές στην εποχική μεταβολή της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα εμφανής τόσο στην δυτική Μεσόγειο όσο και στην ανατολική. Για παράδειγμα, στη Σεβίλλη η τάσης της θερμοκρασίας το καλοκαίρι φτάνει τους 0.9 °C/δεκαετία ενώ τον Ιανουάριο η αύξηση είναι μικρότερη με ρυθμό 0.1 °C/δεκαετία. Και στην ανατολική Μεσόγειο, για παράδειγμα στην Αθήνα και τη Λευκωσία, παρατηρούνται αντίστοιχες τάσεις, με τη θερμοκρασία να αυξάνεται τους καλοκαιρινούς μήνες με ρυθμό έως και 0.9 °C/δεκαετία ενώ τους χειμερινούς η τάση αυτή κυμαίνεται από 0.1-0.9 °C/δεκαετία.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η πόλη στην οποία παρατηρείται η πιο έντονη θερμοκρασιακή αύξηση (Σεβίλλη) είναι μια πόλη με υψηλή θερμοκρασία, (πίνακας 3.2) τόσο τους χειμερινούς μήνες όσο και τους καλοκαιρινούς, με ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία 10.8 °C (Ιανουάριος) και μέγιστη 28 °C (Ιούλιος, Αύγουστος). Αντίθετα, η Μαδρίτη, στην οποία παρατηρείται η μικρότερη τάση αύξησης της θερμοκρασίας, ανήκει στις λιγότερο θερμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες υπό μελέτη πόλεις. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία στη Μαδρίτη κυμαίνεται από 5.5 °C τον μήνα Ιανουάριο και φτάνει τους 25 °C έως το τέλος του καλοκαιριού. Την ίδια στιγμή οι πόλεις με ενδιάμεση μέση μηνιαία θερμοκρασία παρουσιάζουν και αυτές αυξητική τάση έως το 2018. Επομένως, παρατηρούμε από τους πίνακες 3.2 και 4.11.1 ότι οι πιο θερμές πόλεις όπως η Σεβίλλη και η Λευκωσία τείνουν να γίνουν θερμότερες με ρυθμό πιο έντονο σε σχέση με τις πιο ψυχρές (Μαδρίτη και Μονπελιέ).

Η θερμοκρασία παρατηρούμε ότι αυξάνεται με σταθερό ρυθμό ανά έτος, σε όλες τις πόλεις ανεξαρτήτως της γεωγραφικής της θέσης και της πληθυσμιακής πυκνότητας. Τόσο οι παράκτιες πόλεις με μικρό υψόμετρο (π.χ. Σεβίλλη) όσο αυτές που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο (π.χ. Μαδρίτη) παρουσιάζουν αυξητική τάση στη θερμοκρασία από το 1975 έως το 2018. Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν την άποψη ότι η Μεσόγειος είναι μια ιδιαίτερος ευαίσθητη περιοχή ως προς τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι προβλέψεις αναφορικά με την τάση της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου επιβεβαιώνονται στις παρούσες μετρήσεις.

5.2. Αποτελέσματα τάσης βαθμοημερών θέρμανσης/ψύξης

Αποτελέσματα από δεδομένα παρατηρήσεων

Η θερμοκρασιακή άνοδος επηρεάζει άμεσα τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη των εσωτερικών χώρων. Συγκεκριμένα, οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση (HDD) την περασμένη σαρανταετία (1975-2018) μειώθηκαν με ρυθμό έως και 11.6 μονάδες/έτος (Ρώμη), ενώ οι απαιτήσεις για ψύξη (CDD) αυξήθηκαν με ρυθμό έως και 6.5 μονάδες/έτος (πίνακας 4.11.9). Στους πίνακες 4.11.10-4.11.16 βλέπουμε ότι η ανάγκη για θέρμανση διαρκεί περισσότερους μήνες σε σχέση με την περίοδο όπου υπάρχει ανάγκη για ψύξη. Ακόμα, η μείωση των βαθμοημερών θέρμανσης παρουσιάζει αισθητά πιο έντονη τάση συγκριτικά με την τάση αύξησης των βαθμοημερών ψύξης.

Η Ρώμη, η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη μείωση στις βαθμοημέρες θέρμανσης σύμφωνα με τον πίνακα 4.11.9, ανήκει στις λιγότερο θερμές πόλεις ανάμεσα στις επτά επιλεχθείσες (πίνακας 3.2) ενώ η Λευκωσία, η Σεβίλλη και η Αθήνα που ανήκουν στις θερμές πόλεις παρουσιάζουν την μεγαλύτερη τάση αύξησης των βαθμοημερών ψύξης για την περίοδο 1975-2018. Είναι, λοιπόν, εμφανής η σύνδεση της θερμοκρασίας της εκάστοτε πόλης με την μεταβολή των ενεργειακών απαιτήσεων που παρουσιάζει για θέρμανση και ψύξη.

Η έντονη τάση μείωσης των βαθμοημερών θέρμανσης σε συνδυασμό με την, μειωμένη μέσα σε ένα έτος, διάρκεια της περιόδου ανάγκης για θέρμανση έχει ως συνέπεια εν τέλει τη μείωση των ετήσιων ενεργειακών αναγκών.

Αποτελέσματα από δεδομένα μοντέλου

Οι προσομοιώσεις του μοντέλου έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα από τη μελέτη των ιστορικών δεδομένων από παρατηρήσεις των τελευταίων 40 ετών και ταυτόχρονα μας δίνουν στοιχεία για την τάση των ενεργειακών απαιτήσεων ως το τέλος του αιώνα μας, σύμφωνα με τα δύο διαφορετικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 παρατηρείται καθοδική τάση των HDD από 2.5 ως 4.8 μονάδες/έτος και πιο ήπια άνοδος της τάσης των CDD (0.3-1.96 μονάδες/έτος) (πίνακας 4.12.1). Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 η τάση μείωσης των HDD κυμαίνεται από 6.1 ως 8.8 μονάδες/έτος ενώ οι CDD αυξάνονται από 1.3 ως 4.9 μονάδες/έτος (πίνακας 4.12.2).

Αντίστοιχα με τα αποτελέσματα από τα δεδομένα των παρατηρήσεων, παρατηρούμε στον πίνακα 4.12.3 ότι οι μελλοντικές προσομοιώσεις ως το 2100 υποδεικνύουν πιο έντονη τάση στην αύξηση των βαθμοημερών ψύξης στις πιο θερμές πόλεις όπως η Αθήνα, η Σεβίλλη και η Λευκωσία (πίνακας 3.2) σε σχέση με τις πιο κρύες όπως το Μονπελιέ και η Ρώμη. Παράλληλα, η πιο έντονη τάση μείωσης των βαθμοημερών θέρμανσης, τόσο για το RCP4.5 όσο και για τον RCP8.5,

παρουσιάζεται στη Μαδρίτη όπου ανήκει στις λιγότερο θερμές πόλεις μεταξύ των εξεταζόμενων.

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα αποτελέσματα του σεναρίου RCP4.5 δείχνουν πιο ήπιες μεταβολές συγκριτικά με αυτά των ιστορικών δεδομένων ενώ οι τιμές του ακραίου σεναρίου RCP8.5 συμπίπτουν περισσότερο. Σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 οι εκπομπές του CO₂ θα μειωθούν σημαντικά έως το 2080 κ έπειτα θα σταθεροποιηθούν παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα, το σενάριο RCP8.5 υποδηλώνει καμία αλλαγή και κανένα έλεγχο στις εκπομπές και συνεπώς στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις συγκριτικά με τις παρούσες συνθήκες. Γεγονός που εφιστά την προσοχή της σύγχρονης επιστημονικής κοινότητας και υποδεικνύει την ανάγκη για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου με σκοπό τον έλεγχο της συγκέντρωσής τους.

Τέλος, παρατηρούμε ότι οι βαθμοήμερες θέρμανσης (HDD) παρουσιάζουν καθοδική τάση και στα δύο σενάρια, ενώ οι βαθμοήμερες ψύξης (CDD) ανοδική. Παρ' όλ' αυτά η ένταση του δυσμενέστερου σεναρίου RCP8.5 είναι εμφανής και για τους δύο δείκτες. Η σημαντικότερη μείωση των HDD παρουσιάζεται στην Μαδρίτη με ρυθμό 8.7 μονάδες/έτος σύμφωνα με το RCP8.5 καθώς το σενάριο RCP4.5 δείχνει περίπου 50% μικρότερη μείωση (-4.8 μονάδες ανά χρόνο). Οι CDD παρουσιάζουν έντονη αύξηση στην Σεβίλλη έως 4.9 μονάδες το χρόνο ενώ το πιο ήπιο σενάριο δείχνει αύξηση με της τάξης των 1.9 μονάδων/έτος (πίνακας 4.12.3).

5.3. Αποτελέσματα τάσης της ημερολογιακής μετατόπισης της ημέρας έναρξης/λήξης και της διάρκειας της περιόδου ενεργειακών αναγκών θέρμανσης/ψύξης

Εκτός από την ποσοτική μεταβολή στην τάση των βαθμοημερών παρατηρείται ημερολογιακή μετατόπιση της ημέρας έναρξης και λήξης της περιόδου με ανάγκες ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση και ψύξη καθώς και στη διάρκεια της περιόδου αυτής.

Πιο συγκεκριμένα, μελετώντας την ημέρα έναρξης και λήξης της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης/ψύξης από το 1975 ως το 2018 και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των ιστορικών δεδομένων με αυτά από το κλιματικό μοντέλο, παρατηρήθηκε μετατόπιση της πρώτης ημέρας του χρόνου που υπάρχει ανάγκη για θέρμανση των εσωτερικών χώρων, κατά 1 έως 11 ημέρες αργότερα ανά δεκαετία σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα και έως 6 ημέρες/δεκαετία (στο Μοντελιέ) σύμφωνα με τα δεδομένα του μοντέλου (πίνακας 4.12.4). Αντίθετα, η πρώτη ημέρα του χρόνου που εμφανίζεται ανάγκη ψύξης παρουσιάζει τάση μετατόπισης 1 ως 9 ημέρες νωρίτερα μέσα στο χρόνο ανά δεκαετία σύμφωνα με τα δεδομένα των παρατηρήσεων και έως 4 ημέρες νωρίτερα μέσα στο χρόνο (στην πόλη της Λευκωσίας) σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τα δεδομένα του μοντέλου (πίνακας 4.12.4). Παρατηρώντας τα αντίστοιχα διαγράμματα (εικόνα 4.7.1-4.7.14)

βλέπουμε ότι η τάσεις των αποτελεσμάτων για την ημέρα έναρξης της περιόδου με ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα, παρουσιάζουν ομοιόμορφο μοτίβο συγκριτικά με τα αποτελέσματα από τα δεδομένα του μοντέλου.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 4.12.4 και 4.12.7, η τελευταία ημέρα ανάγκης για θέρμανση μέσα στο χρόνο αναμένεται να μείνει σταθερή ή να μετατοπιστεί νωρίτερα και η τελευταία μέρα ανάγκης για θέρμανση αναμένεται να μείνει σταθερή ή να μετατοπιστεί αργότερα μέσα στον χρόνο.

Πράγματι, στον πίνακα 5.12.5 παρουσιάζεται η τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας ανάγκης για θέρμανση κατά 1 έως 6 ημέρες νωρίτερα μέσα σε ένα έτος ανά δεκαετία, σύμφωνα με τα δεδομένα των παρατηρήσεων και 1 ως 3 ημέρες/δεκαετία σύμφωνα με τα δεδομένα του μοντέλου. Η τάση μετατόπισης της τελευταίας ημέρας ανάγκης για ψύξη παρουσιάζει μετατόπιση 1 με 6 ημέρες αργότερα μέσα στο χρόνο ανά δεκαετία σύμφωνα με τις ιστορικές παρατηρήσεις ενώ τα δεδομένα του μοντέλου παρουσιάζουν μετατόπιση ως και 5 ημέρες/δεκαετία αργότερα μέσα στο έτος (Ρώμη).

Μελετώντας τα δεδομένα του μοντέλου σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 από το 1970 έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα, προκύπτει τάση μετατόπισης της ημέρας έναρξης της περιόδου με ανάγκες θέρμανσης κατά 2 έως 7 ημέρες αργότερα ανά δέκα χρόνια ενώ η ημέρα λήξης της περιόδου αυτής τείνει να μετατοπιστεί 2 ως 4 ημέρες/δεκαετία νωρίτερα μέσα στο χρόνο. Αντίθετα, η ημέρα έναρξης της περιόδου με ανάγκες για ψύξη τείνει να μετατοπιστεί 2-5 ημέρες ανά δεκαετία νωρίτερα μέσα στο χρόνο και η ημέρα λήξης αυτής της περιόδου τείνει να μετατοπιστεί από 2 έως 4 ημέρες αργότερα ανά δέκα χρόνια (πίνακας 4.12.6).

Βλέπουμε λοιπόν, τόσο από τα αποτελέσματα των ιστορικών παρατηρήσεων όσο και από αυτά του μοντέλου, ότι προκύπτει εμφανής μείωση των ημερών που παρουσιάζεται ανάγκη θέρμανσης. Ωστόσο υπάρχει συγκριτικά πιο έντονη τάση διεύρυνσης της περιόδου με ενεργειακές ανάγκες για ψύξη.

Τέλος, παρουσιάζεται γραφικά (εικόνα 4.10.1-4.10.14) η αλλαγή και στη διάρκεια της περιόδου που υπάρχει ανάγκη θέρμανσης αλλά και ψύξης ως το 2100 σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5. Μελετώντας τα δεδομένα του κλιματικού μοντέλου παρατηρήθηκε μείωση της περιόδου ανάγκης θέρμανσης 4 ως 7.7 ημέρες/δεκαετία και διεύρυνση της περιόδου ανάγκης για ψύξη 5 ως και 7 περίπου ημέρες/δεκαετία (πίνακας 4.12.7). Η μεταβολή αυτή στη διάρκεια της περιόδου των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη και η έντονη καθοδική τάση των HDD, σε συνδυασμό με την μείωση της περιόδου ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση και την ήπια ανοδική τάση των CDD, υποδηλώνουν πιθανή μείωση των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση ή/και ψύξη ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Στον πίνακα 4.12.7 βλέπουμε ακόμα ότι η πόλη της Μαδρίτης εκτός από έντονη μείωση στην τάση των τιμών των HDD (πίνακας 4.12.3), παρουσιάζει σημαντική μείωση στη διάρκεια της περιόδου με ανάγκες για θέρμανσης. Επιπλέον, στη

Λευκωσία παρατηρείται η πιο έντονη αύξηση των CDD και ταυτόχρονα η πιο έντονη αύξηση στη διάρκεια της περιόδου με ανάγκες ψύξης. Παρατηρούμε λοιπόν ότι όλα τα αποτελέσματα συμφωνούν στην έντονη αύξηση των βαθμοημερών ψύξης στις πιο θερμές πόλεις (όπως η Μαδρίτη-πίνακας 3.2) και ταυτόχρονα στην έντονη μείωση των βαθμοημερών θέρμανσης στις λιγότερο θερμές (όπως η Λευκωσία-πίνακας 3.2).

5.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων με διεθνή βιβλιογραφία

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις συγκριτικά με παρόμοιες μελέτες για την δεδομένη περιοχή και χρονική περίοδο, ενώ συγκλίνουν στα κυριότερα ευρήματα και τις τάσεις. Σε αντίστοιχη μελέτη για την Ευρώπη αναφορικά με την περίοδο 1981-2100, παρουσιάζεται μείωση των HDD με ρυθμό -4.9 ± 0.7 ανά έτος σύμφωνα με το RCP4.5 και -8.4 ± 0.7 ανά έτος σύμφωνα με το RCP8.5 ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα (στην παρούσα είναι -3.7 ± 1.2 και -7.4 ± 1.3 αντίστοιχα για την περίοδο 1970-2100) (Spinoni *et al.*, 2018). Παράλληλα, παρουσιάζεται αύξηση των CDD με ρυθμό 0.8 ± 0.2 ανά έτος σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 και 2.0 ± 0.2 ανά έτος σύμφωνα με το RCP8.5 (ενώ στην παρούσα μελέτη η αύξηση είναι 1.1 ± 0.8 και 3.1 ± 1.8 αντίστοιχα). Συγκρίνοντας τις δύο αυτές μελέτες παρατηρούμε ότι οι CDD αυξάνονται με αισθητά μικρότερο ρυθμό σε σχέση με το ρυθμό μείωσης των HDD. Αυτή η αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει αισθητή μείωση στις ενεργειακές απαιτήσεις. Ακόμα, παρά το γεγονός ότι τα δύο κλιματικά σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5) δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις στην υπόλοιπη Ευρώπη σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στην περιοχή της Μεσογείου το σενάριο RCP8.5 παρουσιάζει εμφανώς εντονότερες μεταβολές.

Ακόμα σε αντίστοιχη μελέτη αναφορικά με τη μελλοντική μεταβολή των ενεργειακών απαιτήσεων σε επτά ευρωπαϊκές χώρες, αναδεικνύεται αξιοσημείωτη αύξηση στις ενεργειακές ανάγκες για ψύξη έως το 2050 με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα αποτελέσματα των βόρειων χωρών όπου η αύξηση αγγίζει το 50% (Castaño-rosa *et al.*, 2021). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη έρευνα η μεταβολή στις ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξης επιφέρει σημαντικές δυσκολίες στην ικανότητα των ανθρώπων να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες λόγω των αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων.

Σε μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2018 στο επιστημονικό περιοδικό «Energy and Buildings» για την Πορτογαλία αναδεικνύεται η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και ψύξη. Τα αποτελέσματα δείχνουν πιθανή αύξηση από 5-60% της ηλεκτρικής κατανάλωσης για θέρμανση και ψύξη των εσωτερικών χώρων ως το 2050, καθώς αναμένεται μείωση κατά 33% των αναγκών για θέρμανση και ιδιαίτερα εντονότερη αύξηση των αναγκών για ψύξη (Figueiredo *et al.*, 2020).

Ωστόσο, παρά την ευαισθησία της περιοχής της Μεσογείου απέναντι στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, η μεταβολή των ενεργειακών απαιτήσεων στα πλαίσια της μεταβολής της θερμοκρασίας δεν περιορίζονται στην περιοχή της Μεσογείου ή/και της Ευρώπης. Έρευνα σχετικά με τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έδειξε μείωση ως 9.2% στις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και αύξηση 5-20% στις ενεργειακές ανάγκες για ψύξη για κάθε 1 °C θερμοκρασιακής αύξησης (Petri and Caldeira, 2015). Θεωρώντας ότι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία πρόκειται να αυξηθεί κατά 2.6 ως 4.8 °C μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα σύμφωνα με το δυσμενές σενάριο RCP8.5, η κλιματική αλλαγή προβλέπεται να προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στις ενεργειακές ανάγκες της χώρας για θέρμανση και ψύξη. Συγκεκριμένα αναφέρεται, σχετικά με τις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης, ότι η Νέα Υόρκη αναμένεται να αποκτήσει τα σημερινά χαρακτηριστικά της πόλης της Οκλαχόμα ενώ το Σιάτλ τείνει να αποκτήσει τα χαρακτηριστικά της πόλης του Σαν Χοσέ (Καλιφόρνια) έως το τέλος του 2100.

Αντίστοιχο μοτίβο παρατηρείται σε μελέτη για την Κίνα όπου οι επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας είναι εμφανείς στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανσης. Τόσο η τιμή των βαθμοημερών θέρμανσης όσο και η διάρκεια της περιόδου με ανάγκη για θέρμανση τείνουν να μειωθούν ως το 2100 σύμφωνα με δύο διαφορετικά σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5) και διαφορετικές θερμοκρασίες-κατώφλι (Shi *et al.*, 2018).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη εξετάσθηκε η τάση της θερμοκρασίας και η τάση των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης για την ιστορική περίοδο 1975-2018 καθώς και η τάση των βαθμοημερών θέρμανσης και ψύξης για την περίοδο 1970-2100 με χρήση περιοχικού μοντέλου.

Ως περιοχή μελέτης ορίζεται η περιοχή της Μεσογείου η οποία χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερος ευαίσθητος στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τη μέση παγκόσμια αύξηση (1.5°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα έναντι 1.1°C της μέσης παγκόσμιας αύξησης). Η θερμοκρασιακή αυτή αύξηση συνοδεύεται από μείωση των βροχοπτώσεων, φαινόμενο που επηρεάζει σημαντικά τη ζωή και την οικονομία των κατοίκων αυτής της περιοχής.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αναδεικνύουν ακόμα μία σημαντική επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο, αυτή στον τομέα της ενέργειας. Σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 παρατηρείται επικείμενη μείωση των HDD έως και -624 μέχρι το 2100 και αύξηση των CDD έως και 247. Οι τιμές των βαθμοημερών όπως προβάλλονται από το δυσμενές σενάριο RCP8.5 δείχνουν μείωση πάνω -1000 HDD και αύξηση πάνω από 600 CDD μέχρι το 2100. Επομένως, υπάρχει τάση πιθανής μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων για συστήματα θέρμανσης η οποία υπερέχει της αύξησης των ενεργειακών απαιτήσεων για ψύξη.

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή δεν έχει μόνο ποσοτικές επιπτώσεις στην περιβαλλοντική θερμοκρασία αλλά επιδρά σημαντικά και στην κατανομή των καιρικών φαινομένων και της θερμοκρασίας μέσα σε ένα έτος. Η περίοδος με ανάγκες για θέρμανση και ψύξη των εσωτερικών χώρων παρουσιάζουν αισθητή μετατόπιση τα τελευταία σαράντα χρόνια και η τάση αυτής της μετατόπισης αναμένεται να κλιμακωθεί ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Η μείωση, επομένως, των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση είναι συνέπεια, αφενός της αύξησης της θερμοκρασίας, και αφετέρου της μείωσης της περιόδου που υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης έως και 28 ημέρες μέσα σε ένα έτος.

Παρά την αξιοπιστία των μοντέλων σε έναν ικανοποιητικό βαθμό, εμπεριέχεται ένα ποσοστό σφάλματος το οποίο συχνά οφείλεται στην τάξη του χρονικού βήματος, στην χωρική ανάλυση του μοντέλου ή σε ελλιπή δεδομένα εισόδου (π.χ. ηλιακή ακτινοβολία, τοπογραφία, τυρβώδης ροή, ιδιότητες εδάφους). Επιπλέον πολλές φυσικές διεργασίες δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητές με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συμπεριληφθούν στα δεδομένα εισόδου ενός κλιματικού μοντέλου. Η εκτίμηση των κλιματικών συνθηκών που θα επικρατήσουν στο μέλλον εξαρτάται επίσης από την επιλογή του σεναρίου για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου βάσει του οποίου γίνεται η προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος. Συνεπώς, υπάρχει ένας σημαντικός παράγοντας αβεβαιότητας σε ότι αφορά μελλοντικές μελέτες.

Ωστόσο, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή είναι αναμφισβήτητη και οι επιπτώσεις της εμφανείς. Εξετάζοντας τις επιπτώσεις στον τομέα της ενέργειας, η κλιματική αλλαγή επιδρά δυσμενώς στην καθημερινότητα της ανθρώπινης ζωής. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τις ολοένα αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες της σύγχρονης καθημερινότητας, οδηγούν στην ανάγκη ανεύρεσης βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων. Δεδομένου του υψηλού κόστους και της ισχυρής ρυπογόνου δράσης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (γαιάνθρακας, πετρέλαιο) προτείνεται αλλαγή προσανατολισμού σε εναλλακτικές ή φιλικότερες προς το περιβάλλον, πηγές ενέργειας (αιολική, γεωθερμική, υδροηλεκτρική, βιομάζα, φυσικό αέριο). Πρέπει όμως να τονιστεί ότι για τις επικείμενες αλλαγές στη χρήση ενέργειας θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος σε σύγκριση με τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που θα επιφέρει καθεμία ξεχωριστά.

6.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Τα αποτελέσματά και τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελλοντική διεξαγωγή λεπτομερέστερων μελετών για αντίστοιχο αντικείμενο. Ακόμα μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο συγκριτικής μελέτης για εργασίες που πρόκειται να γίνουν στο μέλλον. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες προτάσεις για βελτίωση της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων αντίστοιχων μελετών:

- Η παρούσα εργασία εξετάζει την περιοχή της Μεσογείου, και συγκεκριμένα στο Ευρωπαϊκό μέρος αυτής, καθώς θεωρείται ιδιαίτερα ευαίσθητη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η ίδια μεθοδολογία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μελέτη ολόκληρης της Ευρώπης ή ολόκληρης της Μεσογειακής λεκάνης συμπεριλαμβανομένων περιοχών και από τις τρεις ηπείρους (Ευρώπη, Ασία, Αφρική). Με τον τρόπο αυτό τα συμπεράσματα θα είναι πιο ολοκληρωμένα και λεπτομερή.
- Η προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος της περιοχής μελέτης υπό κλιματική αλλαγή έγινε για τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 για την περίοδο 1970-2100. Μπορεί να γίνει επανάληψη της προσομοίωσης για διαφορετικά σενάρια RCP ή διαφορετική περίοδο προσομοίωσης.
- Στην παρούσα μελέτη μελετήθηκε η τάση των βαθμοημερών βάση της απόκλιση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας από ένα σταθερό θερμοκρασιακό κατώφλι (18.3 °C για βαθμοημέρες θέρμανσης και 26 °C για τις βαθμοημέρες ψύξης). Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί διαφορετικό θερμοκρασιακό κατώφλι ή μέση ωριαία θερμοκρασία αντί της μέσης ημερήσιας.
- Ακόμα, μια από τις σημαντικότερες παραδοχές αυτής της μελέτης είναι η ομοιότητα της ποιότητας και του τρόπου κατασκευής των κτηρίων για λόγους απλούστευσης. Σε μια μελλοντική μελέτη θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη τα υλικά κατασκευής, τα υλικά θερμικής μόνωσης, η παλαιότητα ή οι ενεργειακές διαρροές των κτηρίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

'A Mediterranean basin without a Mediterranean climate ' (2020), (May).

AllEnvi (2016) The Mediterranean region under climate change: a scientific update. Available at: [http://www.editions.ird.fr/produit/433/9782709922197/The Mediterranean Region under Climate Change](http://www.editions.ird.fr/produit/433/9782709922197/The_Mediterranean_Region_under_Climate_Change).

Bleu, P. and Antipolis, S. (2012) 'Programme d ' activités 2009-2012 Tourisme et développement durable en Méditerranée'.

Bretz, S. et al. (1998) 'Petty_FluxIntensity.pdf', Lawrence Berkeley National Laboratory, 32(March), pp. 201–216.

Castaño-rosa, R. et al. (2021) 'Cooling Degree Models and Future Energy Demand in the Residential Sector . A Seven-Country Case Study', pp. 1–26.

Figueiredo, R. et al. (2020) 'Country residential building stock electricity demand in future climate – Portuguese case study', Energy and Buildings, 209. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109694.

Founda, D. et al. (2015) 'Interdecadal variations and trends of the Urban Heat Island in Athens (Greece) and its response to heat waves', Atmospheric Research, 161–162, pp. 1–13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.03.016>.

Founda, D. et al. (2019) 'Observed and projected shifts in hot extremes' season in the Eastern Mediterranean', Global and Planetary Change, 175(February), pp. 190–200. doi: 10.1016/j.gloplacha.2019.02.012.

Founda, D. and Santamouris, M. (2017) 'Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012)', Scientific Reports, 7. doi: 10.1038/s41598-017-11407-6.

Giorgi, F. (2006) 'Climate change hot-spots', Geophysical Research Letters, 33(8), pp. 1–4. doi: 10.1029/2006GL025734.

Group, W. and Change, C. (2007) 'Up in smoke ? Asia and the Pacific', Change, (November). Available at: <http://www.neweconomics.org/gen/asiaupinsmoke191107.aspx>.

IPCC (2014) 'Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)].rmany), Ismail Elgizouli (Sudan), ', IPCC, Geneva, Switzerland: Kristin Seyboth (USA), p. 151. Available at: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf.

Jacob, D. et al. (2014) 'EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research', Regional Environmental Change, 14(2), pp. 563–578. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.

Kapsomenakis, J. et al. (2013) 'Forty years increase of the air ambient temperature in Greece: The impact on buildings', Energy Conversion and Management. Elsevier Ltd, 74, pp. 353–365. doi:

10.1016/j.enconman.2013.05.005.

Killeen, B. (2011) 'EEA Annual report 2010 and Environmental statement 2011', pp. 1–100. Available at: [papers2://publication/uuid/F5375B27-4317-43B5-870F-9E7C3EBFC903](https://publications.europa.eu/publication/uuid/F5375B27-4317-43B5-870F-9E7C3EBFC903).

Oke, T. R. (1997) 'Urban Climates and Global Environmental Change. In: Thompson, R.D. and A. Perry (eds.). Applied Climatology: Principles & Practices, New York : Routledge, 273-287.'

Papakostas, K. et al (2010) 'Impact of the ambient temperature rise on the energy consumption for heating and cooling in residential buildings of Greece', Renewable Energy. Elsevier Ltd, 35(7), pp. 1376–1379. doi: 10.1016/j.renene.2009.11.012.

Petri, Y. and Caldeira, K. (2015) 'Impacts of global warming on residential heating and cooling degree-days in the United States', Scientific Reports. Nature Publishing Group, 5, pp. 1–14. doi: 10.1038/srep12427.

Popke, D., Stevens, B. and Voigt, A. (2013) 'Climate and climate change in a radiative-convective equilibrium version of ECHAM6', Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 5(1), pp. 1–14. doi: 10.1029/2012MS000191.

Reay, D. et al. (2007) Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; UK: Cambridge University Press; 2007. Available from: www.ipcc.ch, Intergovernmental Panel on Climate Change. doi: 10.1038/446727a.

Riahi, K. et al. (2011) 'RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions', Climatic Change, 109(1), pp. 33–57. doi: 10.1007/s10584-011-0149-y.

Ruth, M. and Coelho, D. (2007) 'Understanding and managing the complexity of urban systems under climate change', Climate Policy. Taylor & Francis, 7(4), pp. 317–336. doi: 10.1080/14693062.2007.9685659.

Santamouris, M. et al. (2001) 'On the impact of urban climate on the energy consumption of building', Solar Energy, 70, pp. 201–216. doi: 10.1016/S0038-092X(00)00095-5.

Sarigiannis, D. A., Soulakellis, N. A. and Sifakis, N. I. (2004) 'Information Fusion for Computational Assessment of Air Quality and Health Effects', Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70(2), pp. 235–245. doi: 10.14358/PERS.70.2.235.

Schleussner, C. F. et al. (2016) 'Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: The case of 1.5 °c and 2 °c', Earth System Dynamics, 7(2), pp. 327–351. doi: 10.5194/esd-7-327-2016.

Seneviratne, S. I. et al. (2016) 'Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets', Nature, 529(7587), pp. 477–483. doi: 10.1038/nature16542.

Shi, Y. et al. (2018) 'Effects of climate and potential policy changes on heating degree days in current heating areas of China', Scientific Reports. Springer US, 8(1), pp. 1–13. doi: 10.1038/s41598-018-28411-z.

Spinoni, J. et al. (2018) 'Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100', *International Journal of Climatology*, 38(December 2017), pp. e191–e208. doi: 10.1002/joc.5362.

Spinoni, J. et al (2015) 'European degree-day climatologies and trends for the period 1951-2011', *International Journal of Climatology*, 35(1), pp. 25–36. doi: 10.1002/joc.3959.

Stocker, T. F. et al. (2013) 'Climate change 2013 the physical science basis: Working Group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change', *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 9781107057, pp. 1–1535. doi: 10.1017/CBO9781107415324.

Strandberg, G. et al. (2014) 'CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4', *Rep. Meteorol. Climatol.*, 116(116), pp. 1–84. Available at: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.90273!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RMK_116.pdf.

UNEP-MAP (2012) 'State of the Marine and Coastal Mediterranean', p. 96.

UNEP/MAP-Plan Bleu (2009) *State of the Environment and Development in the Mediterranean - 2009*, UNEP/MAP-Plan Bleu, Athens.

Valor, E. et al (2001) 'Daily air temperature and electricity load in Spain', *Journal of Applied Meteorology*, 40(8), pp. 1413–1421. doi: 10.1175/1520-0450(2001)040<1413:DATAEL>2.0.CO;2.

Vicente-Serrano, S. M. et al. (2014) 'Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe', *Environmental Research Letters*, 9(4). doi: 10.1088/1748-9326/9/4/044001.

van Vuuren, D. P. et al. (2011) 'The representative concentration pathways: An overview', *Climatic Change*, 109(1), pp. 5–31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.

Wilks, D. S. (1995) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. New York: Academic Press, *Interdisciplinary Applied Mathematics*. doi: 10.1007/978-0-387-87811-9_6.

Γιάννας, Σ. (2001) "Βιοκλιματικές αρχές πολεοδομικού σχεδιασμού", στο Αμουργής Σ. κ.ά. *Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Ανοικτών Χώρων. Τόμος Α.Περιβαλλοντική Τεχνολογία*, Πάτρα: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ.'

'ΚΟΙΝΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ 1995' (1996), 1995(96).

Ντάφης (2001) 'Δασοκομία πόλεων. Θεσσαλονίκη Art Of Text'.

Παναγέα Ι. (2013) 'Επίπτωση κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων για την Ελλάδα, Χανιά 2013'.

Χόνδρου - Καραβασίλη, Μ. (2009) 'Ο ρόλος του βιοκλιματικού και ενεργειακού σχεδιασμού, Διημερίδα Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων - Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων', Λάρισα :Τ.Ε.Ε. Π.Τ.Θ..'

