



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ
Μ.Δ.Ε. «ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

Συνεργιστική δράση Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) και ακραίων θερμών επεισοδίων (καυσώνων) στην Αττική με έμφαση σε παράκτιες περιοχές

Διπλωματική Εργασία

Άγγελος - Λυκούργος Παπανικολάου



Επιβλέπων:
Ματθαίος Σανταμούρης, Καθηγητής τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

Μάρτιος, 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του τμήματος Φυσικής του ΕΚΠΑ κ. Ματθαίο Σανταμούρη, επιβλέποντα αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, ο οποίος ήταν πάντα διαθέσιμος και πρόθυμος να βοηθήσει.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Δήμητρα Φουντά, Κύρια Ερευνήτρια του ΕΑΑ, που συνέβαλε τα μέγιστα ώστε η παρούσα εργασία να ολοκληρωθεί και ήταν πάντα πρόθυμη να βοηθήσει και να μεταδώσει τις γνώσεις της.

Τέλος, ευχαριστώ την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), αλλά και το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ) και ιδιαίτερα την ομάδα του meteo.gr, για την παροχή των δεδομένων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει χαρακτηρίσει την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου ως μια από τις πιο ευάλωτες περιοχές από την αλλαγή του κλίματος. Σε μία από τις μεγαλύτερες αστικές περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, την Αθήνα, παρατηρείται μια διαρκής και στατιστικά σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και συνοδεύεται από αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης ιδιαίτερα θερμών ημερών και επεισοδίων καυσώνων. Το γεγονός αυτό είναι αποτέλεσμα της θέρμανσης σε περιοχική κλίμακα, η οποία ενισχύεται και από το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας σε συνθήκες καύσωνα. Συγκεκριμένα, η μελέτη επικεντρώνεται στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και έχει ως στόχο να διερευνήσει την συμπεριφορά της ΑΘΝ υπό παρατεταμένες, εξαιρετικά θερμές συνθήκες (καύσωνες), όσον αφορά τροποποιήσεις στο μέγεθός της, αλλά και την ημερήσια και χωρική μεταβλητότητα της.

Για να επιτευχθεί ο στόχος της εργασίας, πραγματοποιήθηκε ανάλυση δεδομένων από μία σειρά από σταθερούς σταθμούς που βρίσκονται εντός και γύρω από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Οι σταθμοί αυτοί διαθέτουν ωριαία δεδομένα της θερμοκρασίας του αέρα και του ανέμου, αλλά και την καθημερινή μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα. Ο ιστορικός σταθμός του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), το οποίο βρίσκεται στο κέντρο της πόλης (Θησείο), επελέγη ώστε να εκπροσωπήσει τον αστικό σταθμό αναφοράς.

Έτσι, διερευνήθηκε η συμπεριφορά της ΑΘΝ υπό εξαιρετικά θερμές συνθήκες και έγινε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά που εμφανίζει η ΑΘΝ υπό κανονικές συνθήκες το καλοκαίρι. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μία πιο λεπτομερής ανάλυση στις παράκτιες περιοχές, όπου η τοπική κυκλοφορία του αέρα (θαλάσσια αύρα) βρέθηκε να ρυθμίζει σε μεγάλο βαθμό την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και τις ιδιότητες της ΑΘΝ. Τέλος,

μελετήθηκε η σχέση μεταξύ της μέγιστης ημερήσιας έντασης της ΑΘΝ και του λόγου των ρυθμών θέρμανσης σε επιλεγμένους σταθμούς.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1	Κλιματική αλλαγή.....	15
1.2	Κλιματική Αλλαγή στην περιοχή της Μεσογείου.....	17
1.2.1	Το κλίμα στην περιοχή της Μεσογείου.....	17
1.3	Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα.....	21
1.3.1	Το κλίμα της Ελλάδας.....	21
1.3.2	Η εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα.....	22
1.4	Κλιματική Αλλαγή στην Αθήνα.....	25
1.4.1	Το κλίμα στην Αθήνα.....	25
1.4.2	Η εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής στην Αθήνα.....	27
1.4.2.1	Εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών.....	34
1.4.2.2	Καύσωνες.....	40
2.	ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ.....	45
2.1	Γενικά στοιχεία.....	45
2.2	Αστική θερμική νησίδα στην Αθήνα.....	50
2.3	Επίδραση καυσωνικών επεισοδίων στην ΑΘΝ.....	58
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	63
3.1	Κατάταξη επεισοδίων καύσωνα στην Αθήνα.....	65
3.1.2	Περιγραφή μετεωρολογικών σταθμών.....	74
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	78
4.1	Ανάλυση του επεισοδίου καύσωνα του 2012.....	78
4.1.1	Αστικοί σταθμοί.....	79
4.1.2	Προαστιακοί σταθμοί.....	89
4.1.3	Ορεινοί (ή ημιορεινοί) σταθμοί.....	100
4.1.4	Παράκτιοι σταθμοί.....	109
4.1.5	Επαρχιακοί (αγροτικοί) σταθμοί.....	118
4.2	Ανάλυση του επεισοδίου καύσωνα του 2007.....	125
4.2.1	Ιούνιος 2007.....	125
4.2.1.1	Αστικοί σταθμοί.....	125
4.2.1.2	Προαστιακοί σταθμοί.....	128
4.2.1.3	Παράκτιοι σταθμοί.....	133
4.2.1.4	Επαρχιακοί (αγροτικοί) σταθμοί.....	135
4.2.1.5	Ορεινοί σταθμοί.....	137

4.2.2	Ιούλιος 2007	139
4.2.2.1	Αστικοί σταθμοί.....	140
4.2.2.2	Προαστιακοί σταθμοί.....	142
4.2.2.3	Παράκτιοι σταθμοί	146
4.2.2.4	Επαρχιακοί (αγροτικοί) σταθμοί	149
4.2.2.5	Ορεινοί σταθμοί	151
4.3	Ανάλυση στους παράκτιους σταθμούς για τον καύσωνα του 2012	154
4.3.1	Φάληρο.....	155
4.3.2	Λαύριο	157
4.3.3	Νέα Μάκρη.....	159
4.3.4	Ανάβυσσος	161
4.4	Σύγκριση παράκτιων με προαστιακούς, ορεινούς και αγροτικούς σταθμούς	162
4.4.1	Προαστιακοί σταθμοί.....	162
4.4.2	Ορεινοί σταθμοί.....	168
4.4.3	Αγροτικοί σταθμοί	172
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	175
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	180

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1: Αλλαγές στην παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία 1884-2015 (Πηγή: NASA)	16
Σχήμα 1.2: Χρονοσειρές των μέσων ετήσιων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα (Πηγή: ΕΜΕΚΑ, 2011)	23
Σχήμα 1.3: Χρονική διακύμανση της μέσης, της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας στο ΕΑΑ, μαζί με ένα φίλτρο 11-ετούς κινητού μέσου όρου (Πηγή: Founda, 2011)	33
Σχήμα 1.4: Ετήσιος αριθμός ημερών στην Αθήνα με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 37 οC και μεγαλύτερες από 40 οC (Πηγή: Founda and Giannakopoulos, 2009; ΕΜΕΚΑ, 2011)	37
Σχήμα 1.5: Ισοπληθείς των ελαχίστων θερμοκρασιών (νυκτερινών) για τον μήνα Ιούνιο στην Αθήνα (1900-2010) (Πηγή: Founda, 2011)	39
Σχήμα 1.6: Μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά το μήνα Μάιο στην Αθήνα (1900-2005) (Πηγή: ΕΜΕΚΑ, 2011)	39
Σχήμα 1.7: Ετήσιος αριθμός των καυσώνων στην Αθήνα για την περίοδο 1900-2007 (Πηγή: Founda and Giannakopoulos, 2009; ΕΜΕΚΑ, 2011)	43
Σχήμα 2.1: Η αύξηση του πληθυσμού στην ευρύτερη αστική περιοχή της Αθήνας από τον 19ο αιώνα (Founda, 2015)	50
Σχήμα 3.1: Μέγιστες θερμοκρασίες στο Θησείο για την περίοδο 1/7/2012 – 31/8/2012. Με κύκλο σημειώνονται τα επεισόδια καύσωνα	72
Σχήμα 3.2: Μέγιστες θερμοκρασίες στο Θησείο για την περίοδο 1/6/2007 – 31/7/2007. Με κύκλο σημειώνονται τα επεισόδια καύσωνα	72
Σχήμα 4.1: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου του 2012	79
Σχήμα 4.2: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	80
Σχήμα 4.3: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	80
Σχήμα 4.4: Ένταση της ΑΘΝ στους Αμπελοκήπους πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	81
Σχήμα 4.5: Ένταση της ΑΘΝ στους Αμπελοκήπους κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	81
Σχήμα 4.6: Ένταση της ΑΘΝ στους Αμπελοκήπους μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	82
Σχήμα 4.7: Ένταση της ΑΘΝ στο Ψυχικό πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	82
Σχήμα 4.8: Ένταση της ΑΘΝ στο Ψυχικό κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	83
Σχήμα 4.9: Ένταση της ΑΘΝ στο Ψυχικό μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	83
Σχήμα 4.10: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρούσι πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	84
Σχήμα 4.11: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρούσι κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	84
Σχήμα 4.12: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρούσι μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	85
Σχήμα 4.13: Ένταση της ΑΘΝ στο Νέο Κόσμο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	85
Σχήμα 4.14: Ένταση της ΑΘΝ στο Νέο Κόσμο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	86
Σχήμα 4.15: Ένταση της ΑΘΝ στο Νέο Κόσμο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	86

Σχήμα 4.16: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	88
Σχήμα 4.17: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	88
Σχήμα 4.18: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρκόπουλο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	89
Σχήμα 4.19: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρκόπουλο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	90
Σχήμα 4.20: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρκόπουλο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	90
Σχήμα 4.21: Ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	91
Σχήμα 4.22: Ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	91
Σχήμα 4.23: Ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	92
Σχήμα 4.24: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	92
Σχήμα 4.25: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	93
Σχήμα 4.26: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	93
Σχήμα 4.27: Ένταση της ΑΘΝ στα Άνω Λιόσια πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	94
Σχήμα 4.28: Ένταση της ΑΘΝ στα Άνω Λιόσια κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	94
Σχήμα 4.29: Ένταση της ΑΘΝ στα Άνω Λιόσια μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	95
Σχήμα 4.30: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή του Μαρκόπουλου	96
Σχήμα 4.31: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή των Σπατών	96
Σχήμα 4.32: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρκόπουλο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	97
Σχήμα 4.33: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	98
Σχήμα 4.34: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	98
Σχήμα 4.35: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Κάντζας	99
Σχήμα 4.36: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	100
Σχήμα 4.37: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	101
Σχήμα 4.38: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	101
Σχήμα 4.39: Ένταση της ΑΘΝ στον Διόνυσο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	102
Σχήμα 4.40: Ένταση της ΑΘΝ στο Διόνυσο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	102

Σχήμα 4.41: Ένταση της ΑΘΝ στο Διόνυσο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	103
Σχήμα 4.42: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	103
Σχήμα 4.43: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	104
Σχήμα 4.44: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	104
Σχήμα 4.45: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Εκάλης	105
Σχήμα 4.46: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα, στην περιοχή του Διονύσου	106
Σχήμα 4.47: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Πεντέλης	106
Σχήμα 4.48: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	107
Σχήμα 4.49: Ένταση της ΑΘΝ στο Διόνυσο κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	108
Σχήμα 4.50: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αυγούστο του 2012	108
Σχήμα 4.51: Ένταση της ΑΘΝ στο Λαύριο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	109
Σχήμα 4.52: Ένταση της ΑΘΝ στο Λαύριο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	110
Σχήμα 4.53: Ένταση της ΑΘΝ στο Λαύριο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	110
Σχήμα 4.54: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	111
Σχήμα 4.55: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	111
Σχήμα 4.56: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	112
Σχήμα 4.57: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	112
Σχήμα 4.58: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	113
Σχήμα 4.59: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	113
Σχήμα 4.60: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή του Φαλήρου	114
Σχήμα 4.61: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή του Λαυρίου	115
Σχήμα 4.62: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Νέας Μάκρης	115
Σχήμα 4.63: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	116
Σχήμα 4.64: Ένταση της ΑΘΝ στο Λαύριο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	117

Σχήμα 4.65: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	117
Σχήμα 4.66: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	118
Σχήμα 4.67: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	119
Σχήμα 4.68: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	119
Σχήμα 4.69: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012	120
Σχήμα 4.70: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012	120
Σχήμα 4.71: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012	121
Σχήμα 4.72: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Τανάγρας	122
Σχήμα 4.73: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Αυλίδας	122
Σχήμα 4.74: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	123
Σχήμα 4.75: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αυγούστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013	124
Σχήμα 4.76: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007	126
Σχήμα 4.77: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007	126
Σχήμα 4.78: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007	127
Σχήμα 4.79: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή της Ν. Φιλαδελφείας	127
Σχήμα 4.80: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007	128
Σχήμα 4.81: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007	129
Σχήμα 4.82: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007	129
Σχήμα 4.83: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόι πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007	130
Σχήμα 4.84: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόι κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007	130
Σχήμα 4.85: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόι μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007	131
Σχήμα 4.86: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή της Ελευσίνας	132
Σχήμα 4.87: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή του Τατοΐου	132
Σχήμα 4.88: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007	133
Σχήμα 4.89: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007	133

Σχήμα 4.90: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007	134
Σχήμα 4.91: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή του Ελληνικού	134
Σχήμα 4.92: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007	135
Σχήμα 4.93: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007	136
Σχήμα 4.94: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007	136
Σχήμα 4.95: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή του Τανάγρα	137
Σχήμα 4.96: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007	138
Σχήμα 4.97: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007	138
Σχήμα 4.98: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007	139
Σχήμα 4.99: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007	140
Σχήμα 4.100: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007	140
Σχήμα 4.101: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007	141
Σχήμα 4.102: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουλίου 2007, στην περιοχή της Ν. Φιλαδέλφειας	141
Σχήμα 4.103: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007	142
Σχήμα 4.104: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007	143
Σχήμα 4.105: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007	143
Σχήμα 4.106: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόι πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007	144
Σχήμα 4.107: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόι κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007	145
Σχήμα 4.108: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόι μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007	145
Σχήμα 4.109: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουλίου 2007, στην περιοχή του Τατοΐου	146
Σχήμα 4.110: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007	147
Σχήμα 4.111: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007	147
Σχήμα 4.112: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007	148
Σχήμα 4.113: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουλίου 2007, στην περιοχή του Ελληνικού	148
Σχήμα 4.114: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007	149

Σχήμα 4.115: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007	150
Σχήμα 4.116: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007	150
Σχήμα 4.117: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007	151
Σχήμα 4.118: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007	152
Σχήμα 4.119: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007	152
Σχήμα 4.120: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό του Φαλήρου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Φάληρο και στο Θησείο	157
Σχήμα 4.121: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό του Λαυρίου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Λαύριο και στο Θησείο	158
Σχήμα 4.122: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό της Νέας Μάκρης, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στη Νέα Μάκρη και στο Θησείο	160
Σχήμα 4.123: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό της Αναβύσσου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Ανάβυσσο και στο Θησείο	161
Σχήμα 4.124: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον προαστιακό σταθμό των Σπατών, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στα Σπάτα και στο Θησείο	164
Σχήμα 4.125: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον προαστιακό σταθμό του Μαρκόπουλου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Μαρκόπουλο και στο Θησείο	164
Σχήμα 4.126: Σύγκριση των τάσεων των παράκτιων και των προαστιακών σταθμών	165
Σχήμα 4.127: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον προαστιακό σταθμό της Κάντζας, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Κάντζα και στο Θησείο	167
Σχήμα 4.128: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον ορεινό σταθμό της Εκάλης, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Εκάλη και στο Θησείο	170
Σχήμα 4.129: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στο ορεινό σταθμό του Διονύσου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Διόνυσο και στο Θησείο	171
Σχήμα 4.130: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον ορεινό σταθμό της Πεντέλης, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Πεντέλη και στο Θησείο	171
Σχήμα 4.131: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον αγροτικό σταθμό της Τανάγρας, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Τανάγρα και στο Θησείο	174
Σχήμα 4.132: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον αγροτικό σταθμό της Αυλίδας, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Αυλίδα και στο Θησείο	174

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 3.1: Επεισόδια καύσωνα στην Αθήνα για την περίοδο 1995-2014, όπου έχει υπολογισθεί και το συνολικό άθροισμα των αποκλίσεων της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας από το κατώφλι των 37 °C	66
Πίνακας 3.2: Πληροφορίες για τους μετεωρολογικούς σταθμούς	75

Πίνακας 4.1: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ) και διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) στο σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο	154
Πίνακας 4.2: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο	155
Πίνακας 4.3: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στο Λαύριο	157
Πίνακας 4.4: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη	159
Πίνακας 4.5: Ρυθμοί θέρμανσης και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στους παράκτιους και προαστιακούς σταθμούς	163
Πίνακας 4.6: Ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ) και διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) στο Μαρκόπουλο	166
Πίνακας 4.7: Ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ) και διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) στα Σπάτα	166
Πίνακας 4.8: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα	167
Πίνακας 4.9: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη	169
Πίνακας 4.10: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στον Διόνυσο	169
Πίνακας 4.11: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη	170
Πίνακας 4.12: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα	173
Πίνακας 4.13: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα	173

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Ενεργειακό ισοζύγιο των αστικών επιφανειών (Πηγή: USEPA)	46
Εικόνα 2: Ο τρόπος με τον οποίο ψηλά και χαμηλά κτίρια αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Λίγη μόνο από την ακτινοβολία φτάνει στο έδαφος. Σχεδόν όλη απορροφάται από τα κτίρια (Allaby, 2007)	47
Εικόνα 3: Επίδραση της θερμοκρασιακής αναστροφής (Allaby, 2007)	48
Εικόνα 4: Συνεργιστικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης μεταξύ της ΑΘΝ και ενός επεισοδίου καύσωνα, που σχετίζονται κυρίως με την μειωμένη διαθεσιμότητα υγρασίας σε αστικές περιοχές και τη μειωμένη ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια του καύσωνα (Li et al., 2013)	60
Εικόνα 5: Ο ιστορικός σταθμός του ΕΑΑ στο κέντρο της Αθήνας (Θησείο)	64
Εικόνα 6: : Πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας αέρα στα στα 850hPa για τις 7 Αυγούστου του 2012 (Πηγή: NCEP/NCAR)	73
Εικόνα 7: Πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας αέρα στα 850hPa για τις 8 Αυγούστου του 2012 (Πηγή: NCEP/NCAR)	73
Εικόνα 8: Χάρτης της περιοχής μελέτης. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι αυτόματοι σταθμοί του ΕΑΑ, ενώ με κίτρινο οι συμβατικοί σταθμοί της ΕΜΥ	77

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

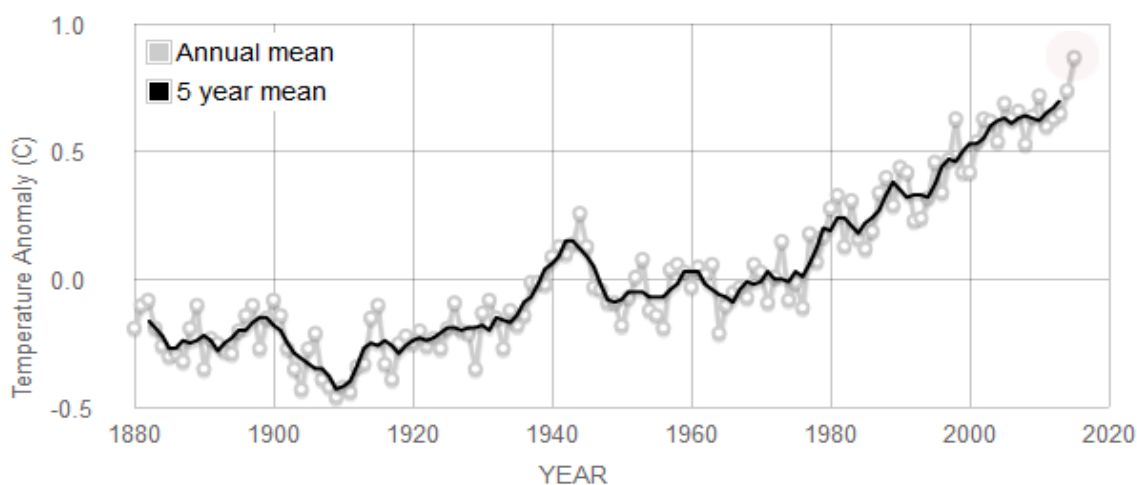
1.1 Κλιματική αλλαγή

Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών (IPCC). Σύμφωνα με τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC), κλιματική αλλαγή οφείλεται στις μεταβολές του κλίματος που αποδίδονται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας του πλανήτη και η οποία είναι διαφορετική από τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος (έχει φυσικά αίτια) που παρατηρείται πάνω από συγκρίσιμες χρονικές περιόδους.

Από το τέλος του 19ου αιώνα έχει αρχίσει να παρουσιάζεται άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, η οποία συνεχίζεται μέχρι τις ημέρες μας. Ο μέσος ρυθμός θέρμανσης της ατμόσφαιρας του πλανήτη κατά τον 20ό αιώνα ήταν 0,7 °C ανά 100 χρόνια (IPCC, 2007). Ένα σημαντικό μέρος αυτής της θέρμανσης, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, έχει αποδοθεί στην αλλαγή της σύστασης της ατμόσφαιρας λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας και έχει επικρατήσει να λέγεται “ανθρωπογενής συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής” (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011).

Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας των ηπειρωτικών περιοχών του πλανήτη κατά τον 20ό αιώνα υπολογίστηκε στους 0,78 °C ανά 100 χρόνια. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η αύξηση αυτή δεν ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του 20ού αιώνα, αλλά εμφανίστηκε κυρίως στις περιόδους 1920-1945 και από το 1975 μέχρι σήμερα (ΕΜΕΚΑ, 2011). Η τελευταία ανοδική τάση της θερμοκρασίας είναι στατιστικά σημαντική στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

σχεδόν σε όλες τις κατοικημένες περιοχές του πλανήτη, ενώ η δεκαετία 1995-2005 ήταν η θερμότερη των τελευταίων 500 ετών.



Σχήμα 1.1: Αλλαγές στην παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία 1884-2015 (Πηγή: NASA)

Σύμφωνα με την έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2013), η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης (GMST) αυξήθηκε έντονα κατά τη διάρκεια της Περιόδου 1900-1940, ενώ στη συνέχεια ακολούθησε ένα μικρό χρονικό διάστημα χωρίς αυξητική τάση, με την ισχυρή θέρμανση να σημειώνεται μετά 1975. Από το 1998 και μετά η αυξητική τάση έχει γίνει πιο μικρή. Η αστικοποίηση είναι απίθανο να έχει προκαλέσει πάνω από το 10% της μετρούμενης τάσης της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης, αλλά έχει συμβάλει ουσιαστικά, περισσότερο, στην αυξητική τάση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας, στις ταχύτερα αναπτυσσόμενες περιοχές. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) προβλέπει ότι η ανοδική τάση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας θα εξακολουθήσει να υπάρχει στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη και κατά τον 21ο αιώνα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ορισμένων κλιματικών προσομοιώσεων, η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αναμένεται να αυξηθεί, ανάλογα με την εξέλιξη των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, κατά 1,8-4 °C κατά τον τρέχοντα αιώνα. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι σημαντικότερη στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και πιο έντονη στις ηπειρωτικές περιοχές σε σύγκριση με τους ωκεανούς (IPCC, 2013).

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη θα έχει ως συνέπεια (IPCC, 2013):

- Τη μείωση των εκτάσεων που καλύπτονται από πάγο
- Την αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας
- Διαφοροποιήσεις στον υδρολογικό κύκλο
- Την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων
- Αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία

1.2 Κλιματική Αλλαγή στην περιοχή της Μεσογείου

1.2.1 Το κλίμα στην περιοχή της Μεσογείου

Η περιοχή της Μεσογείου βρίσκεται σε μια μεταβατική ζώνη μεταξύ του ξηρού κλίματος της Βόρειας Αφρικής και του εύκρατου και βροχερού κλίματος της κεντρικής Ευρώπης και επηρεάζεται από αλληλεπιδράσεις μεταξύ του μέσου γεωγραφικού πλάτους και των τροπικών διαδικασιών (Giorgi et al., 2007).

Έτσι οι περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο θάλασσα έχουν ένα εύκρατο κλίμα που χαρακτηρίζεται από μια εναλλαγή ανάμεσα σε ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και βροχερούς, ήπιους χειμώνες. Η ποικιλία μικροκλιμάτων που υπάρχουν σχετίζεται με τα διάφορα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και την εγγύτητα προς τη θάλασσα (Founda, 2011).

Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, ακόμη και σχετικά μικρές τροποποιήσεις στην γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, όπως μετατοπίσεις των θέσεων καταιγίδων μέσω γεωγραφικών πλατών ή υποτροπικών κυττάρων υψηλής πίεσης, μπορεί να οδηγήσουν σε ουσιαστικές αλλαγές στο μεσογειακό κλίμα. Αυτό κάνει τη Μεσόγειο μια ευάλωτη περιοχή στις κλιματικές αλλαγές που θα επιφέρει, για παράδειγμα, η αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου (Giorgi et al., 2007). Για τον λόγο αυτό, η περιοχή της Μεσογείου

έχει προσδιοριστεί ως ένα από τα πιο γνωστά "θερμά σημεία" στις μελλοντικές προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή.

Η περιοχή της Μεσογείου είναι ευάλωτη στις αλλαγές του κλίματος, κυρίως λόγω της ευαισθησίας της στην ξηρασία και τις αυξανόμενες θερμοκρασίες. Η κλιματική αλλαγή σχετίζεται με αλλαγές στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά ορισμένους οικονομικούς τομείς ζωτικής σημασίας, όπως η γεωργία και ο τουρισμός, και μπορεί να υπάρξουν ουσιαστικές επιπτώσεις στις τοπικές κοινωνίες. Επιπλέον, τα ακραία καιρικά φαινόμενα μπορεί να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία, ενώ η αλλαγή του κλίματος μπορεί επίσης να έχει άμεσο αντίκτυπο και σε άλλους τομείς όπως οι υδάτινοι πόροι και η ενέργεια (Giannakopoulos et al., 2009).

Η ευπάθεια στην αλλαγή του κλίματος είναι μεγαλύτερη για τις αστικές περιοχές (ειδικότερα για περιοχές με περιορισμένους οικονομικούς πόρους, ταχεία αύξηση του πληθυσμού και κακό σχεδιασμό και ρύθμιση). Η αυξημένη συχνότητα των καυσώνων και την επιμονή των υψηλών θερμοκρασιών είναι οι βασικές πτυχές της κλιματικής αλλαγής και είναι κοινές σε όλες τις αστικές περιοχές.

Ενδείξεις σχετικά με την αυξημένη συχνότητα των καυσώνων στην περιοχή της Μεσογείου, έχουν παρατηρηθεί σε ορισμένες μελέτες. Μελετώντας τα κύματα καύσωνα σε 246 ομογενοποιημένους σταθμούς στην Ανατολική Μεσόγειο από το 1960 έως το 2006 (Kuglitsch et al., 2010), διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν θετικές τάσεις των δεικτών για τον αριθμό των κυμάτων καύσωνα ανά δεκαετία, καθώς επίσης και της έντασή τους από το 1960, σχεδόν σε όλους τους σταθμούς της Ανατολικής Μεσογείου. Στη μελέτη αυτή, υιοθετήθηκε ένας ορισμός για το κύμα καύσωνα με βάση το 95ο εκατοστημόριο της ημερήσιας μέγιστης καθώς και της ελάχιστης (το βράδυ) θερμοκρασίας (TX95perc και TN95perc, αντίστοιχα) και με διάρκεια τουλάχιστον 3 συνεχόμενες θερμές μέρες και θερμές νύχτες, που δεν διακόπτονται κατά περισσότερο από 1 μη θερμή ημέρα ή νύχτα. Μια θερμή μέρα/νύχτα ορίζεται ως θερμή, όταν η ημερήσια T_{max}/T_{min} υπερβαίνει το μακροπρόθεσμο ημερήσιο 95ο εκατοστημόριο της κατανομής της T_{max}/T_{min} της περιόδου Ιούνιος-

Σεπτέμβριος. Για κάθε ημέρα του διαστήματος Ιούνιος-Σεπτέμβριος, το 95ο εκατοστημόριο υπολογίζεται από ένα δείγμα 15 ημερών (επτά ημερών σε κάθε πλευρά της αντίστοιχης ημέρας). Στη μελέτη αυτή, έγινε χρήση των δεδομένων κατά τη διάρκεια της περιόδου 1969 έως 1998.

Η μελέτη επικεντρώθηκε σε αλλαγές στον αριθμό, τη διάρκεια και την ένταση των κυμάτων καύσωνα. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν μια στατιστικά σημαντική αύξηση στην TX95perc ($0,38 + 0.048 \text{ }^\circ\text{C}$ ανά δεκαετία) και στην TN95perc ($0,30 + 0.028 \text{ }^\circ\text{C}$ ανά δεκαετία) για όλη την περιοχή.

Εκτός των άλλων, παρατηρήθηκε μια ενισχυμένη αύξηση κατά τη σύγκριση της περιόδου 1997-2006, με τη δεκαετία του 1960. Μια παρατήρηση από τη σύναψη αυτής της μελέτης είναι ότι η ανατολική Μεσόγειος φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από συσσώρευση μικρών (6 ημέρες), αλλά πιο έντονων επεισοδίων καύσωνα από ό, τι σε προηγούμενες δεκαετίες.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το κύμα καύσωνα στην Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003. Το επεισόδιο αυτό, ξεκίνησε στις αρχές Ιουνίου του 2003 και διήρκεσε μέχρι τα μέσα Αυγούστου, με μετρούμενες θερμοκρασίες του αέρα περίπου $3-6 \text{ }^\circ\text{C}$ πάνω από τον εποχικό μέσο όρο σε πολλά μέρη της Ευρώπης. Επιπλέον, προκάλεσε μια ανώμαλη αύξηση της θερμοκρασίας στην θαλάσσια περιοχή της βορειοδυτικής Μεσογείου, η οποία έφτασε τις υψηλότερες θερμοκρασίες που έχουν καταγραφεί ποτέ στις περιοχές που μελετήθηκαν, μεταξύ $1-3 \text{ }^\circ\text{C}$ πάνω από την κλιματική τιμή (Diffenbaugh et al., 2007).

Η μελέτη των ακραίων θερμοκρασιών στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και οι αλλαγές στη συχνότητά τους, είναι επίσης σημαντική. Σε μία από αυτές τις μελέτες, εξετάζονται οι αλλαγές της θερμοκρασίας σε όλη την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου με έμφαση στις τάσεις από τα μέσα του 20ου αιώνα, χρησιμοποιώντας μία σειρά δεικτών για τα ακραία γεγονότα (Efthymiadis et al., 2011). Έτσι, υπολογίστηκαν δεκαπέντε διαφορετικοί δείκτες των ακραίων γεγονότων από την καθημερινή μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία, οι οποίοι περιγράφουν τρία διαφορετικά χαρακτηριστικά: την ένταση, τη συχνότητα και την διάρκεια. Για την περίοδο 1958-2008, παρατηρήθηκε μια γενική μείωση των ακραίων ψυχρών γεγονότων στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο, ενώ αντίθετα αύξηση παρατηρήθηκε στην ανατολική Μεσόγειο. Τα

θερμά ακραία γεγονότα αυξάνονται παντού με συνέπεια, εκτός από την ανατολική πλευρά της Μεσογείου.

Σύμφωνα με την ίδια έρευνα (Efthymiadis et al., 2011), για την περίοδο 1989-2008, παρατηρείται σχεδόν αντιστροφή των τάσεων αυτών, και κυρίως στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου. Ορισμένες σημαντικά μειούμενες μακροπρόθεσμες τάσεις (κατά την περίοδο 1958-2008) υπολογίστηκαν για τον κόλπο της Βαλένθια, καθώς επίσης και για την ανατολική περιοχή της Αλεξάνδρειας. Σημαντικές μακροπρόθεσμες αυξητικές τάσεις παρατηρήθηκαν στην Αθήνα και στον κόλπο του Οράν (ακτές της Αλγερίας). Σημαντικές ανοδικές τάσεις βρέθηκαν για τα θερμά ακραία γεγονότα στη βόρεια Μεσόγειο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας τα θερμά ακραία γεγονότα εμφανίζουν ισχυρότερες τάσεις από ό,τι τις νυχτερινές ώρες.

Το καλοκαίρι, αντιθέτως, οι τάσεις είναι πιο ομοιόμορφες, διότι έχουμε μείωση των ακραίων ψυχρών γεγονότων και ενίσχυση ακραίων θερμών σχεδόν σε όλη την περιοχή της Μεσογείου. Εκτός των άλλων, η τάση εμφάνισης των θερμών ακραίων γεγονότων το καλοκαίρι φαίνεται να έχει ενταθεί κατά την πιο πρόσφατη περίοδο 1989 - 2008. Αυτές οι αυξητικές τάσεις των θερμών ακραίων κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών είναι ιδιαίτερα έντονες στην κεντρική και στην ανατολική Μεσόγειο.

Άρα λοιπόν είναι προφανές, ότι η κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο θα συνοδεύεται από περισσότερα θερμά ακραία και λιγότερα ψυχρά ακραία γεγονότα. Εκτός των άλλων, οι μεταβολές στην T_{min} είναι μεγαλύτερες από εκείνες της T_{max} για την περίοδο 1951-2003 (Alexander et al., 2006).

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, που μας ενδιαφέρει και περισσότερο. Λαμβάνοντας υπ'όψιν τα αποτελέσματα έρευνας, η οποία επικεντρώθηκε στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και πραγματοποίησε μία εκτίμηση των ακραίων θερμοκρασιών κατά την περίοδο 1958-2000 (Kostoroulou et al., 2005), διαπιστώθηκαν εκ νέου οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή. Οι συγγραφείς έκαναν χρήση ορισμένων δεικτών, οι οποίοι σχετίζονται με την μέγιστη και την ελάχιστη θερμοκρασία. Η περίοδος 1961-1990 ορίστηκε ως η περίοδος βάσης για τον προσδιορισμό της κατανομής συχνότητων για κάθε δείκτη. Έτσι, βρέθηκε ότι κατά το καλοκαίρι και

κατά τον χειμώνα έχουμε μείωση των ψυχρών νυχτών της τάξεως των 4-6 ημερών/δεκαετία. Συγκεκριμένα για την καλοκαιρινή περίοδο, οι σταθμοί στη νότια Ιταλία, την κεντρική Ελλάδα και σχεδόν όλοι οι σταθμοί στην Τουρκία έδειξαν σημαντική μείωση περίπου 4-6 ημέρες/δεκαετία.

Οι συγγραφείς (Kostoroulou et al., 2005) εξέτασαν και τις τάσεις των ψυχρών ημερών (ημέρες με μέγιστη θερμοκρασία μικρότερη από το 10ο εκατοστημόριο της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας της περιόδου βάσης), όπου το καλοκαιρινό (κυρίως) μοτίβο κυριαρχείται γενικότερα από αρνητικές τάσεις, αποκαλύπτοντας μια τάση προς θερμότερες συνθήκες για την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου. Σημαντικές και μεγαλύτερες τάσεις εντοπίζονται κυρίως στις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές.

Όσον αφορά τις ημέρες, οι δείκτες δείχνουν για τον χειμώνα θετικές τάσεις και μια αύξηση του αριθμού των θερμών ημερών, κυρίως στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη (> 42 °N). Κατά την καλοκαιρινή περίοδο, κυριαρχούν θετικές τάσεις σε ολόκληρη την ανατολική Μεσόγειο και υποδεικνύουν αύξηση του αριθμού των πολύ θερμών ημερών. Σημαντικές ανοδικές τάσεις, ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο, παρουσιάζουν και οι θερμές νύχτες. Το εύρημα αυτό είναι σημαντικό, διότι μπορεί να παράσχει αποδεικτικά στοιχεία για μια τάση προς ένα θερμότερο κλίμα και υψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες, που οδηγούν σε επεισόδια καύσωνα.

1.3 Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα

1.3.1 Το κλίμα της Ελλάδας

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία, η οποία, σε συνδυασμό με τα καιρικά συστήματα που επικρατούν, δημιουργεί έντονες κλιματικές αντιθέσεις, έτσι ώστε σε μικρές αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων το κλίμα να μεταβάλλεται από μεσογειακό μέχρι και αλπικό. Η μεγάλη ακτογραμμή αποτελεί ένα άλλο χαρακτηριστικό της χώρας, η οποία μαζί

με την τοπογραφία διαμορφώνει μια ποικιλία τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών που μπορούν να διαφοροποιηθούν από το συνήθη μεσογειακό τύπο (ΕΜΕΚΑ, 2011).

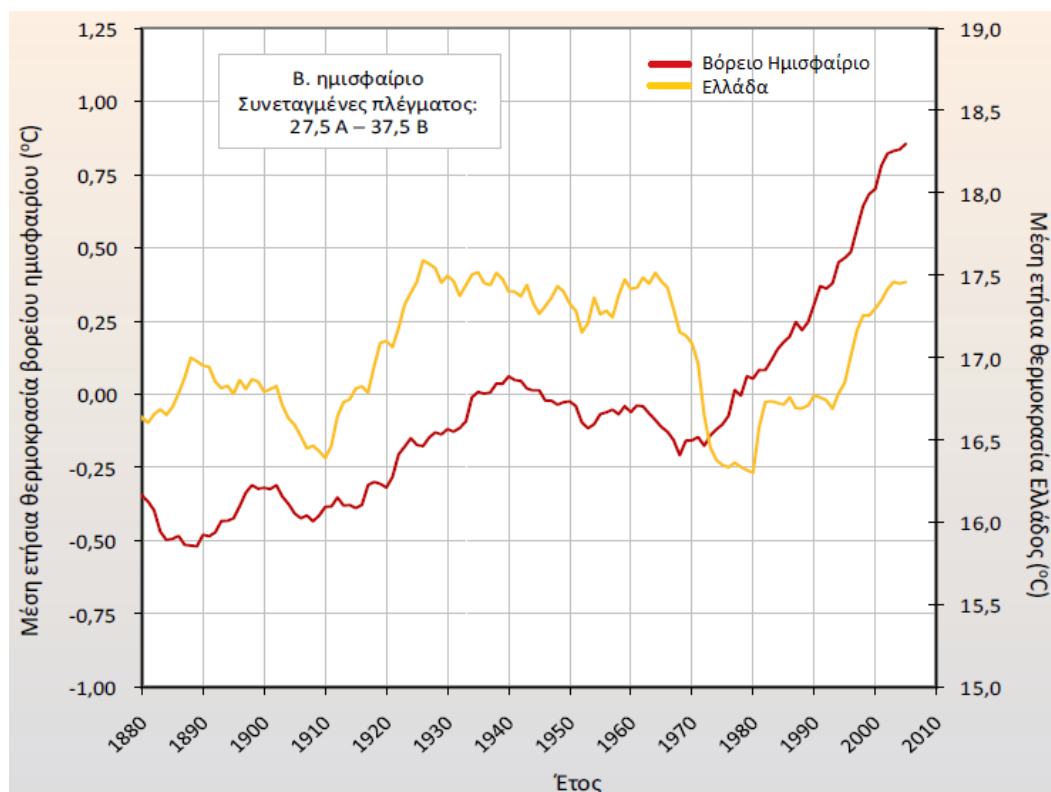
Τα συστήματα κυκλοφορίας που επηρεάζουν τον καιρό της νότιας Βαλκανικής και της ανατολικής Μεσογείου αποτελούνται από αντικυκλώνες και υφέσεις που προσδιορίζουν την κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Τα επικρατούντα (στην ευρύτερη περιοχή) συστήματα κυκλοφορίας που άμεσα επηρεάζουν τον καιρό κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι ο αντικυκλώνας των Αζορών, ο σιβηρικός αντικυκλώνας και οι πρωτογενείς και δευτερογενείς υφέσεις της Μεσογείου. Η μετατόπιση του ατλαντικού αντικυκλώνα προς νότο επιτρέπει τη διέλευση των υφέσεων του Ατλαντικού πάνω από τη Μεσόγειο, ενώ δημιουργούνται υφέσεις και στην Μεσόγειο ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του αυλώνα χαμηλών πιέσεων (trough) στην ανώτερη ατμόσφαιρα και της τοπογραφίας (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Η θάλασσα συντελεί στο να είναι ηπιότερο το κλίμα στις παράκτιες και στις νησιωτικές περιοχές από εκείνο της γειτονικής ενδοχώρας, με ηπιότερους χειμώνες και πιο δροσερά καλοκαίρια. Η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία του αέρα κατά τους κυρίως θερινούς μήνες κυμαίνεται μεταξύ 32 °C και 36 °C, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να ξεπεράσει και τους 40 °C, ιδίως στην κεντρική Ελλάδα. Η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα σε όλη σχεδόν την Ελλάδα εμφανίζει ελάχιστο κατά τα τέλη Ιανουαρίου με Φεβρουάριο (ΕΜΕΚΑ, 2011).

1.3.2 Η εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

Στην ανατολική Μεσόγειο και την Ελλάδα, κατά τη χρονική περίοδο από τα τέλη του 19ου αιώνα μέχρι τη δεκαετία του 1970 οι χρονοσειρές της μέσης θερμοκρασίας του αέρα ακολουθούν την ανοδική θερμοκρασιακή τάση που καταγράφεται και για το Βόρειο Ημισφαίριο. Η ψύξη που παρατηρείται στο Βόρειο Ημισφαίριο κατά τις δεκαετίες του 1960 και του 1970 είναι πιο έντονη στην Ελλάδα και, ενώ στο Βόρειο Ημισφαίριο η θερμοκρασία από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 υπερβαίνει τα επίπεδα στα οποία κυμαινόταν τα

προηγούμενα 100 χρόνια, στην Ελλάδα παρατηρείται υστέρηση, με αποτέλεσμα η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας να αρχίσει από τη δεκαετία του 1990 (ΕΜΕΚΑ, 2011).



Σχήμα 1.2: Χρονοσειρές των μέσων ετήσιων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα (Πηγή: ΕΜΕΚΑ, 2011)

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε (Varfi et al., 2009), έγινε μια προσπάθεια να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά των ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας, με τη χρήση των ημερήσιων μέγιστων και ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα. Για τον σκοπό αυτό, ελήφθησαν δεδομένα από δεκαεπτά συνοπτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Η μελέτη έγινε για την περίοδο 1961-2000. Οι συγγραφείς υπολόγισαν επτά περιφερειακούς δεκαετείς δείκτες για τη μέτρηση της συχνότητας εμφάνισης, τον αριθμό και την ένταση των ακραίων τιμών της θερμοκρασίας. Όλα τα παραπάνω έγιναν για δύο περιόδους

του χρόνου: τη θερμή (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) και την ψυχρή (Οκτώβριος-Μάρτιος). Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν τα εξής (Varfi et al., 2009):

Η μελέτη των δεικτών αποκάλυψε ότι μετά το 1970 η συχνότητα εμφάνισης και η ένταση των ακραίων ψυχρών ημερών ακολουθεί μια αρνητική τάση, σε αντίθεση με τη συχνότητα εμφάνισης και την ένταση των ακραίων θερμών ημερών που ακολουθούν μια θετική τάση. Επιπλέον, επιβεβαιώνονται οι συνθήκες ψύξης που παρουσίασε η θερμοκρασία στην Ελλάδα τη δεκαετία του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980, αλλά και η τάση αύξησης της θερμοκρασίας που επικρατεί μετά. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν πλήρως με τις ενδείξεις του σχήματος 1.2.

Σε μελέτη που αναλύθηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο (Kostoroulou et al., 2005), υπάρχουν επίσης κάποια ενδιαφέροντα ευρήματα σχετικά με την περιοχή της Ελλάδας (1958-2000). Οι συγγραφείς διαπίστωσαν αρχικά ότι υπάρχει μία πτωτική τάση των ψυχρών νυχτών, κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, της τάξεως των 4-6 ημερών/δεκαετία. Για την καλοκαιρινή περίοδο έχουμε επίσης, μείωση (αρνητικές τάσεις) των ψυχρών ημερών και 0-2 ημέρες ανά δεκαετία, αύξηση των θερμών νυχτών κατά 4-6 ημέρες/δεκαετία σε πολλές περιοχές της ελληνικής επικράτειας (και κυρίως στα νησιά και τις παράκτιες περιοχές), ενώ ανοδικές τάσεις έχουν και οι θερμές ημέρες από 2 έως και πάνω από 6 ημέρες ανά δεκαετία (μεγαλύτερες τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της Αττικής). Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν αισθητά θερμότερα καλοκαίρια και κατά συνέπεια μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην θερινή και τη χειμερινή περίοδο. Τέλος, βρέθηκαν και ανοδικές τάσεις όσον αφορά τα κύματα καύσωνα, κατά την θερινή περίοδο, της τάξεως των 0-2 ημερών/δεκαετία.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και από άλλη μελέτη, η οποία επίσης αναφέρθηκε πιο πάνω (Efthymiadis et al., 2011). Έτσι, για την περίοδο 1958-2008, βρέθηκαν πτωτικές τάσεις των ακραίων ψυχρών επεισοδίων, κατά το θέρος, της τάξεως των 0,5-1,5 ημερών/δεκαετία. Επίσης, τα αποτελέσματα έδειξαν για την θερινή περίοδο αύξηση των ακραίων θερμών γεγονότων 1-4 ημέρες/δεκαετία.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα μεγάλα αστικά κέντρα θα είναι οι περιοχές που θα πληγούν περισσότερο από τις ακραίες θερμοκρασίες. Για αυτό είναι σημαντικό να μελετήσουμε την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής στο μεγαλύτερο αστικό κέντρο της Ελλάδας, την Αθήνα.

1.4 Κλιματική Αλλαγή στην Αθήνα

Η Αθήνα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγάλου αστικού κέντρου. Βρίσκεται σε μια παράκτια πεδιάδα της Αττικής, στο νοτιοανατολικό-μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας. Περιβάλλεται από βουνά στα βόρεια (Πάρνηθα, 1426m), στα δυτικά (Αιγάλεω, 458m), στα ανατολικά (Υμηττού, 1026m) και στα βορειοανατολικά (Πεντέλης, 1107m). Το νότιο τμήμα της πόλης είναι ανοιχτό προς τη θάλασσα (Σαρωνικός κόλπος) και είναι κοντά στο φυσικό λιμάνι του Πειραιά (Founda, 2011).

Η Αθήνα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγάλου αστικού κέντρου, με πυκνά δομημένες περιοχές στο κέντρο της πόλης και αραιότερη δόμηση στα προάστια. Σύμφωνα με δεδομένα της EUROSTAT, η ευρύτερη αστική ζώνη της Αθήνας συγκαταλέγεται ανάμεσα στις οκτώ πιο πολυπληθείς περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

1.4.1 Το κλίμα στην Αθήνα

Η μεταβολή μεταξύ παρατεταμένων θερμών και ξηρών καλοκαιριών και υγρών, ήπιων χειμώνων είναι το κυρίαρχο χαρακτηριστικό του κλίματος της Αθήνας. Η μετάβαση από το καλοκαίρι και το χειμώνα, γίνεται σχετικά γρήγορα την άνοιξη, αλλά πιο αργά το φθινόπωρο. Λόγω της θέσης της στην ανατολική ηπειρωτική χώρα (θωρακισμένη από βουνά) η Αθήνα λαμβάνει πολύ λιγότερη βροχόπτωση (400 χιλιοστά ετησίως) από ότι δυτικό τμήμα της χώρας.

Η μακροπρόθεσμη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα στην Αθήνα είναι 17,7 °C και κυμαίνεται μεταξύ 16,8 °C και 19,0 °C. Οι πιο κρύες χρόνιες σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του περασμένου αιώνα, και τα τρία από τα τέσσερα θερμότερα έτη παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1999-2008. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος είναι οι πιο θερμοί μήνες του έτους και ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι οι πιο ψυχροί. Ο καιρός είναι πιο μεταβλητός το χειμώνα, λόγω της δραστηριότητας των περαστικών συνοπτικών συστημάτων (Founda, 2011).

Κατά τη διάρκεια της ψυχρής και υγρής περιόδου του έτους (Νοέμβριος - Μάρτιος), η μεταβλητότητα του καιρού επηρεάζεται από τα συστήματα χαμηλής πίεσης που φθάνουν στην Ελλάδα από τα δυτικά. Η μέση θερμοκρασία το χειμώνα στην Αθήνα είναι περίπου 10 °C, και η πέφτει κάτω από 0 °C δύο φορές το χρόνο, κατά μέσο όρο. Κατά τα μέσα Ιανουαρίου, και για περίπου δύο εβδομάδες, παρατηρούνται συνήθως οι αλκυονίδες ημέρες. Αυτές οι μέρες χαρακτηρίζονται από καθαρό ουρανό και ένα αδύναμο και ξηρό, βόρειο άνεμο.

Ασυνήθιστα ζεστοί και ψυχροί χειμώνες έχουν παρατηρηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις στην Αθήνα και σχετίζονται με ανωμαλίες στο πεδίο των πιέσεων στη στάθμη της θάλασσας, με τα κέντρα δράσης πάνω από τη βορειοδυτική Ευρώπη και την Αρκτική. Παρ' όλα αυτά η χιονόπτωση στην Αθήνα μπορεί να θεωρηθεί ένα σπάνιο γεγονός, και η περίπτωση να χιονίσει για περισσότερο από δύο συνεχόμενες ημέρες είναι σπάνια (Founda, 2011).

Το καλοκαίρι, ο καιρός στην Αθήνα είναι λιγότερο μεταβλητός. Η μακροπρόθεσμη μέση ημερήσια θερμοκρασία στην Αθήνα είναι 26.3 °C, αλλά η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι πολύ υψηλότερη (31.8 °C). Παρά την εγγύτητά της προς τη θάλασσα, τα καλοκαίρια στην Αθήνα είναι ξηρά και οι κατακρημνίσεις είναι αραιές. Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, η θερμοκρασία της Αθήνας ελέγχεται από την επιρροή των Ετησίων ανέμων, καθώς και από τα τοπικά συστήματα κυκλοφορίας, όπως είναι η θαλάσσια αύρα και οι καταβάτες άνεμοι που ρέουν από τα γύρω βουνά (Founda, 2011).

Η πόλη της Αθήνας επηρεάζεται κυρίως από την θαλάσσια αύρα του Σαρωνικού κόλπου που αναπτύσσεται κατά μήκος ενός άξονα από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά. Παρά το γεγονός ότι η θαλάσσια αύρα

είναι ένα συχνό φαινόμενο στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, κάτω από ορισμένες συνθήκες συνοπτικές μπορεί επίσης να σχηματιστεί και το χειμώνα. Άρα σαφές ότι η θαλάσσια αύρα επηρεάζει έντονα το πεδίο των θερμοκρασιών στην Αθήνα (Founda, 2011).

1.4.2 Η εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής στην Αθήνα

Με το διαρκώς αυξανόμενο επίπεδο της αστικοποίησης, το αστικό περιβάλλον υπερβαίνει το φυσικό, επηρεάζοντας έτσι τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Οι μεταβολές του κλίματος της Αθήνας τις τελευταίες δεκαετίες είναι ιδιαίτερα έντονες ως αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης διαφόρων παραγόντων, κυρίως ανθρωπογενών, όπως (ΕΜΕΚΑ, 2011):

- εντεινόμενη αστικοποίηση (αύξηση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας)
- παγκόσμια κλιματική μεταβολή λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου
- καταστροφή περιαστικού πρασίνου από δασικές πυρκαγιές
- φυσική μεταβλητότητα του κλίματος
- αυξημένη τραχύτητα της επιφάνειας, που διαμορφώνει το πεδίο του ανέμου
- ατμοσφαιρική θολότητα λόγω της αυξημένης ρύπανσης

Η αστικοποίηση και η ανθρώπινη δραστηριότητα μεταβάλλουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες ως εξής (ΕΜΕΚΑ, 2011):

α) με τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης και την αλλαγή των χρήσεων γης

β) με την έκλυση ενέργειας στην ατμόσφαιρα (βιομηχανίες, θέρμανση, ηλεκτροφωτισμός κ.λπ.)

γ) με τον εμπλουτισμό του αέρα με διάφορους ρύπους και σωματίδια. Η επίδραση του ανθρώπου στην ατμόσφαιρα είναι πιο ορατή στις μεγάλες πόλεις.

Το φαινόμενο της αστικοποίησης έχει ως συνέπεια τη σημαντική τροποποίηση των κλιματικών παραμέτρων του αστικού περιβάλλοντος. Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στα κλιματικά στοιχεία της πόλης μπορεί να είναι μεγάλες και σχετίζονται με την έκτασή της, τον πληθυσμό, τη διανομή του δομημένου χώρου, τα δομικά υλικά, τους χώρους πρασίνου, τις διαστάσεις των δρόμων, τις πηγές ενέργειας και φυσικά τις βιομηχανικές δραστηριότητες.

Η μελέτη της επίδρασης των παραπάνω παραγόντων στο κλίμα προϋποθέτει την ύπαρξη μακροχρόνιων, αξιόπιστων και κυρίως ομοιογενών χρονοσειρών μετεωρολογικών δεδομένων στην περιοχή. Ο σταθμός του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Θησείο), θεωρείται ιδανικός για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών στην Αθήνα, καθώς παρέχει συνεχείς χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων διάρκειας μεγαλύτερης του ενός αιώνα, στην ίδια περιοχή του κέντρου της πόλης και με αναλλοίωτο το άμεσο περιβάλλον σε ακτίνα μερικών εκατοντάδων μέτρων (Founda et al., 2004).

Η διαχρονική μεταβολή της θερμοκρασίας στο ΕΑΑ είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής (από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια) και της εντεινόμενης αστικοποίησης της ευρύτερης περιοχής (Founda et al., 2004).

Στη συνέχεια, ακολουθούν κάποιες αναλύσεις ορισμένων συγγραφέων (με χρονολογική σειρά, οι οποίοι μελέτησαν διαφορετικές περιόδους των δεδομένων του ΕΑΑ και εντόπισαν διακυμάνσεις, τάσεις και περιοδικότητες, ανάλογα με την αρχή και το τέλος της μελετούμενης περιόδου και από τον τύπο της αναλυόμενης σειράς (ετήσια, εποχική, μέση , μέγιστη / ελάχιστη θερμοκρασία κλπ.).

Η πρώτη ανάλυση (Reparis et al., 1988) αφορά τη μελέτη της ετήσιας θερμοκρασίας περιόδου 1870-1984. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν μια αρνητική τάση για το σύνολο της περιόδου που μελετήθηκε, η οποία δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Μια στατιστικά σημαντική αρνητική τάση βρέθηκε για την περίοδο 1870-1905, που ακολουθείται από μια στατιστικά σημαντική θετική τάση για την περίοδο 1906-1930, στη συνέχεια, μια στατιστικά σημαντική αρνητική τάση για την περίοδο 1931-1984. Ακολούθησε μία επέκταση της εργασίας και μέχρι το 1989 (Metaxas et al., 1991). Οι συγγραφείς, αντί να κάνουν ανάλυση της

πραγματικής θερμοκρασίας, έκαναν μία ετήσια και μία εποχιακή ανάλυση με βάση τη διαφορά συχνότητας (επί τοις εκατό) του αριθμού των θερμών έναντι του αριθμού των ψυχρών μηνών. Έτσι, αναφέρθηκε ότι η επίδραση της αστικοποίησης μετά το 1970 προκάλεσε αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1 °C, σε αντίθεση με τη γενική πτωτική τάση.

Η διαχρονική μεταβλητότητα της θερμοκρασίας της Αθήνας και η σχέση της με την μέση θερμοκρασία ήταν το αντικείμενο της επόμενης μελέτης στην οποία θα αναφερθούμε (Reparis et al., 1983). Βρέθηκε ότι δεν υπάρχει καμία απόδειξη για στατιστικά σημαντική διαχρονική μεταβλητότητα της θερμοκρασίας των Αθηνών κατά την περίοδο 1861-1980. Εξετάζοντας τη σχέση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας του αέρα και της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας του αέρα, οι συγγραφείς βρήκαν μια ισχυρή συσχέτιση, αλλά μόνο για την ετήσια θερμοκρασία, ενώ η εποχιακή και μηνιαία ανάλυση δεν υποστηρίζουν την παραπάνω σχέση. Στη συνέχεια έγινε επέκταση της χρονοσειράς μέχρι το 2007 (Nastos et al., 2007). Χρησιμοποιώντας την κανονική κατανομή, προσαρμοσμένη σε σειτ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα για περιόδους των 10 ετών και των 30 ετών, διαπιστώθηκε ότι οι θερμές περίοδοι (π.χ. την περίοδο 1930-1960 και την περίοδο μετά το 1980) συνδέονται κυρίως από μεγάλη διακύμανση, και οι πιο ψυχρές περίοδοι αντιστοιχούν σε μικρότερη διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα. Η διακύμανση της ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα στο ΕΑΑ βρέθηκε να είναι μεγαλύτερη μετά το 1990 από οποιαδήποτε άλλη περίοδο στο παρελθόν.

Σε μία άλλη ανάλυση οι συγγραφείς μελέτησαν το φαινόμενο της αστικοποίησης στην Αθήνα χρησιμοποιώντας μεταβλητότητα του κλίματος και την αστική έκταση πριν και μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο (Philandras et al., 1999). Για το σκοπό αυτό αναλύθηκαν οι μηνιαίες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες στους σταθμούς του ΕΑΑ και της Αλιάρτου (70 χιλιόμετρα βορειοδυτικά της Αθήνας) για την περίοδο 1925-1996. Διαπιστώθηκε ότι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο ΕΑΑ κατά το πρώτο μισό του 20ου αιώνα, συνάδουν με την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος, ενώ μια έντονη αστική επίδραση στον σταθμό του ΕΑΑ ανιχνεύεται μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Η επίδραση εμφανίζεται μόνο κατά τη θερμή περίοδο του έτους, από την άνοιξη έως το

φθινόπωρο, με αποτέλεσμα την αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας στο ΕΑΑ της τάξεως του 1 °C ή ακόμα και των 2 °C σε σχέση με την Αλιάρτο. Οι συγγραφείς αποδίδουν την αύξηση αυτή στην αύξηση της θερμοκρασίας της θαλάσσιας αύρας, καθώς διασχίζει μια απόσταση περίπου 5 χιλιομέτρων από την ακτή προς το ΕΑΑ πάνω από μια πυκνοδομημένη περιοχή.

Σε άλλη μελέτη (Hasanean et al., 2001), αναλύθηκε η ετήσια χρονοσειρά της θερμοκρασίας της Αθήνας από το ΕΑΑ για την περίοδο 1858-1991, και μεταξύ άλλων, για οκτώ άλλες πόλεις της ανατολικής Μεσογείου. Σε αντίθεση με τις άλλες πόλεις, οι οποίες εμφανίζουν θετικές ή αρνητικές σημαντικές τάσεις, δεν παρατηρήθηκε σημαντική τάση στην ετήσια θερμοκρασία της Αθήνας κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου μελέτης. Στις περισσότερες πόλεις, συμπεριλαμβανομένης της Αθήνας, μια αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται μετά το 1970.

Μελετώντας τις τάσεις της θερμοκρασίας του αέρα σε 25 ελληνικούς σταθμούς κατά την περίοδο 1951-1993 (Proedrou et al., 1997), παρατηρήθηκαν αρνητικές τάσεις στην χειμερινή θερμοκρασία σε διάφορους σταθμούς (αστικού, ημιαστικού και αγροτικού) για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Οι τάσεις αυτές βρέθηκαν να είναι στατιστικά σημαντικές, αλλά ασθενέστερες από τις αρνητικές τάσεις των άλλων ελληνικών σταθμών, πιθανώς λόγω της αστικοποίησης της περιοχής Αθηνών. Σε αντίθεση, σημειώθηκαν θετικές τάσεις της καλοκαιρινής μέγιστης θερμοκρασίας, στατιστικά σημαντικές για ορισμένους σταθμούς (π.χ. +2.6 °C για τον αστικό σταθμό της Ν. Φιλαδέλφειας και +2.9 °C για το σταθμό στο λιμάνι του Πειραιά), ενώ το έτος που κατά προσέγγιση ξεκίνησε η θέρμανση, εκτιμάται ότι είναι περίπου το 1985.

Παρόμοια συμπεράσματα αντλήθηκαν και από ανάλυση, στην οποία μελετήθηκαν οι ετήσιες και εποχιακές τάσεις σε 20 ελληνικούς σταθμούς από το 1955 έως το 2001 (Feidas et al., 2004). Εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις της θερμοκρασίας το καλοκαίρι στην Αθήνα, και αρνητικές (όχι σημαντικές) το χειμώνα. Η πρόσφατη αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είχε σχέση με την αποδυνάμωση των Ετησίων ανέμων, που προκαλείται από τη λιγότερο συχνή επέκταση ενός συστήματος

χαμηλής πίεσης πάνω από την νοτιοανατολική Μεσόγειο, αλλά και την αύξηση της αντικυκλωνικής δραστηριότητα.

Από την ανάλυση της μέσης, της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα στο ΕΑΑ για την περίοδο 1897-2001 σε σχέση με τις ετήσιες και εποχιακές τάσεις, καθώς και την εμφάνιση ακραίων γεγονότων, εξήχθησαν επίσης κάποια χρήσιμα αποτελέσματα (Founda et al., 2004). Βρέθηκαν διαφορετικές τάσεις της θερμοκρασίας μεταξύ των θερμών και των ψυχρών εποχών του έτους, καθώς και μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών, όπου στατιστικά σημαντικές ήταν οι τάσεις που παρατηρήθηκαν κατά τη θερμή περίοδο (άνοιξη και καλοκαίρι), και είναι ιδιαίτερα έντονες στις μέγιστες και όχι στις ελάχιστες θερμοκρασίες. Αντίθετα, δεν εντοπίστηκαν σημαντικές τάσεις κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Για παράδειγμα, οι μακροπρόθεσμες τάσεις της μέγιστης θερμοκρασίας την άνοιξη και το καλοκαίρι βρέθηκαν να είναι 1,66 °C και 1.91 °C, αντίστοιχα.

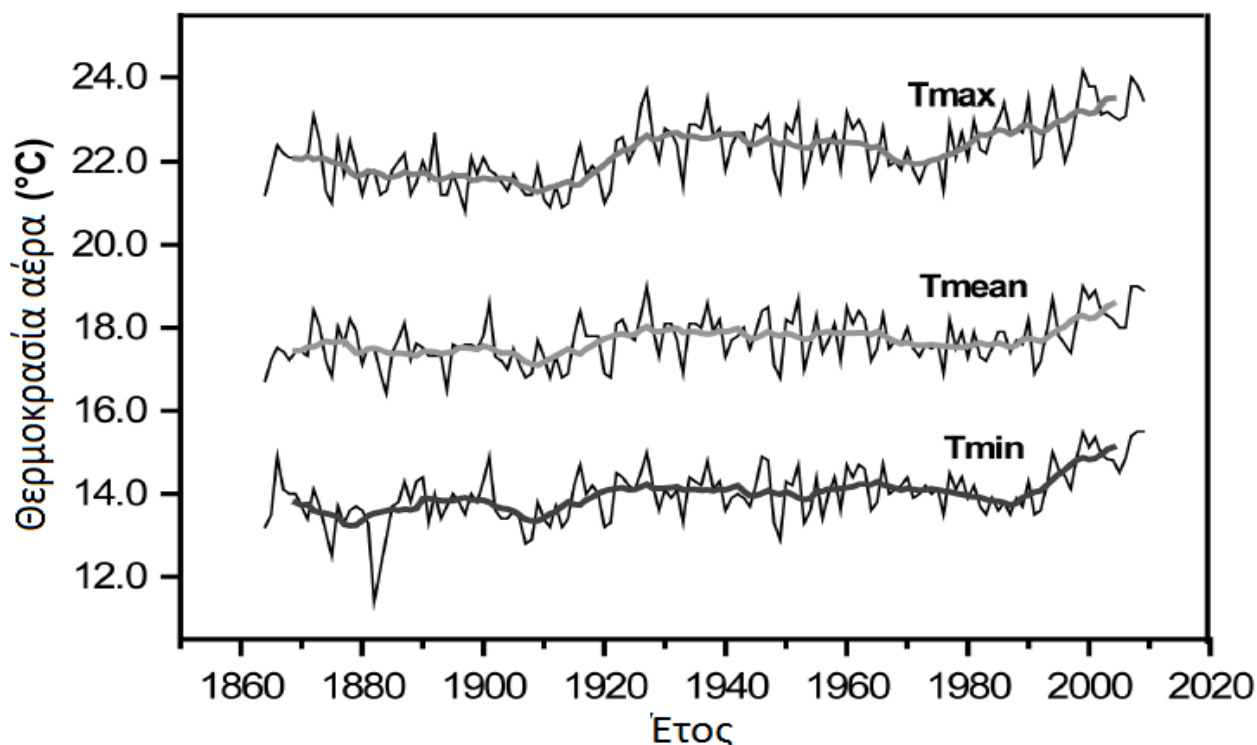
Αργότερα, με βάση τα δεδομένα της παραπάνω έρευνας, έγινε επέκταση της μελετούμενης περιόδου μέχρι το 2007 (Founda et al., 2009). Έτσι, προστέθηκε στις χρονοσειρές, μια σειρά εξαιρετικά θερμών ετών (ιδιαίτερα το καλοκαίρι), δίνοντας μια υψηλότερη τάση θέρμανσης, η οποία, στην περίπτωση της θερινής μέγιστης θερμοκρασίας, εκτιμάται ότι είναι $+2,4 \pm 0,9$ °C. Παρατηρήθηκε μια ισχυρή και συνεχής τάση θέρμανσης μετά το 1976 που ανέρχεται σε $+0,96$ °C ± 0.33 °C ανά δεκαετία. Η υψηλότερη μέση μέγιστη θερινή θερμοκρασία στην χρονοσειρά (34,9 °C), καταγράφηκε το 2007.

Σε δεκαετή χρονική κλίμακα, η δεκαετία 1998-2007 ($\Delta T_{max} = 2,1$ °C σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990) ήταν σίγουρα πιο θερμή από τη δεύτερη θερμότερη δεκαετία (1937-1946) ολόκληρης της χρονοσειράς, ως εκ τούτου, θερμότερη από οποιαδήποτε άλλη δεκαετία στο αρχείο (Founda et al., 2009). Αξίζει να σημειωθεί, ότι σύμφωνα με παρατηρήσεις στο ΕΑΑ, η δεκαετία 1999-2008 ήταν ακόμα πιο θερμή (όχι στατιστικά σημαντικά) σε σύγκριση με τη δεκαετία 1998-2007, όσον αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες του καλοκαιριού. Το σχήμα 1.3 παρουσιάζει τη χρονική μεταβολή της μέσης, της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης ετήσιας θερμοκρασίας στο ΕΑΑ για ολόκληρη την περίοδο των διαθέσιμων μετρήσεων στην Αθήνα, και

συγκεκριμένα από τα μέσα του 19ου αιώνα έως το 2009. Το κυμαινόμενο μοτίβο των τριών καμπυλών και η εναλλαγή ανάμεσα σε ψυχρές και θερμές περιόδους, που έχουν ήδη εντοπιστεί από άλλους συγγραφείς, είναι προφανή στο σχήμα, και όλες οι καμπύλες δείχνουν μια αύξουσα φάση κατά τις τελευταίες δεκαετίες (Founda, 2011).

Η μακροπρόθεσμη γραμμική τάση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα στο ΕΑΑ, είναι $+0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ για την περίοδο 1890-2009, ενώ από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, η τάση γίνεται $+1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1976-2009). Η μακροπρόθεσμη τάση της ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας είναι πολύ μεγαλύτερη ($+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η θερινή μέγιστη θερμοκρασία παρουσιάζει την πιο έντονη τάση, περίπου $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ για την περίοδο 1976-2009.

Όσον αφορά την ελάχιστη θερμοκρασία, η μακροπρόθεσμη ετήσια τάση ανέρχεται σε περίπου $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Μια χρονική καθυστέρηση παρατηρείται στην ελάχιστη θερμοκρασία, η οποία αρχίζει να αυξάνεται συστηματικά αργότερα (περίπου 10 χρόνια αργότερα από τη μέγιστη θερμοκρασία), αλλά με μεγαλύτερο ρυθμό από τη μέγιστη θερμοκρασία, η οποία ανέρχεται σε $+1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ για την περίοδο 1984-2009 σε ετήσια βάση, αλλά ανεβαίνει στους $+3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ αν υπολογισθεί μόνο η θερινή περίοδος (Founda, 2011).



Σχήμα 1.3: Χρονική διακύμανση της μέσης, της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας στο ΕΑΑ, μαζί με ένα φίλτρο 11-ετούς κινητού μέσου όρου (Πηγή: Founda, 2011)

Η διαφορετική συμπεριφορά των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών μετά το 1970, έχει ήδη επίσης εξεταστεί από ορισμένες έρευνες (Metaxas et al., 1991; Bartzokas et al., 1995). Οι συγγραφείς την σχετίζουν με την αστική θερμική νησίδα στην Αθήνα, η οποία έχει μια πιο σοβαρή ισχύ την ημέρα παρά τη νύχτα θερμοκρασίες, λόγω της ραγδαίας αύξησης του αριθμού των οχημάτων στην Αθήνα, μετά το 1970, καθώς επίσης και λόγω της εξασθένησης και της θέρμανσης της θαλάσσιας αύρας που προκλήθηκε από την επέκταση της πόλης προς την ακτή.

Εποχιακή ανάλυση που εφαρμόστηκε την ίδια περίοδο, επιβεβαιώνει τα ευρήματα άλλων πρόσφατων μελετών για την Αθήνα, με έντονες στατιστικά σημαντικές θερινές τάσεις και την απουσία οποιασδήποτε σημαντικής τάσης κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Εκτιμήθηκε ότι οι αρχικοί μήνες του καλοκαιριού (Μάιος-Ιούνιος) είναι αυτοί με τις πιο έντονες θετικές τάσεις της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα θερμότερες συνθήκες στις αρχές του έτους.

Σύμφωνα με πιο πρόσφατες μετρήσεις, η δεκαετία 2001-2010 ήταν η θερμότερη δεκαετία που έχει καταγραφεί στην Αθήνα ως προς τις ετήσιες τιμές

της θερμοκρασίας (μέση, μέγιστη και ελάχιστη), πάντοτε σύμφωνα με το ιστορικό αρχείο του ΕΑΑ. Έξι από τα θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί ποτέ ανήκουν στη δεκαετία αυτή. Το έτος 2010 ήταν το θερμότερο έτος όλων των εποχών με μέση θερμοκρασία 19,6 °C, και απόκλιση από τη μέση κλιματική τιμή σχεδόν 2 °C. Η υψηλή αυτή τιμή οφείλεται κυρίως στους μήνες Αύγουστο και Νοέμβριο του 2010, οι οποίοι ήταν θερμότεροι κατά 3,8 °C και 3,5 °C, αντίστοιχα, από τις μέσες κλιματικές τους τιμές (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Οι παρατηρούμενες τάσεις της θερμοκρασίας στην ανατολική Μεσόγειο και την Ελλάδα σχετίζονται από ορισμένους ερευνητές με αντίστοιχες αλλαγές και τάσεις στο πεδίο των πιέσεων και στους δείκτες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω από την περιοχή.

Για τον λόγο αυτό, εξετάστηκε η σχέση μεταξύ της τοπικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των αλλαγών σε ακραίες θερμοκρασίες σε 20 ελληνικές πόλεις, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής της Αθήνας (Maheras et al., 2006). Η επιλεγείσα περίοδος ήταν από το 1958 έως το 2000. Οι συγγραφείς βρήκαν μια αυξημένη συχνότητα αντικυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας και μειωμένη συχνότητα σε κυκλωνικούς τύπους. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η αύξηση της συχνότητας των αντικυκλωνικών ροών θα μπορούσε να εξηγήσει τις ανοδικές τάσεις των θερινών μέγιστων θερμοκρασιών. Στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις της θερινής μέγιστης θερμοκρασίας που σχετίζονται με αντικυκλωνικούς τύπους κυκλοφορίας βρέθηκαν στην Αθήνα.

Παρόλο που πολλοί ερευνητές συνδέουν την αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο της Αθήνας κατά τους θερινούς μήνες με την εξασθένηση και θέρμανση της θαλάσσιας αύρας λόγω της έντονης δόμησης (Metaxas et al., 1991, Philandras et al., 1999), είναι χαρακτηριστικό ότι παρόμοιοι ρυθμοί αύξησης της θερμοκρασίας καταγράφονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και σε παράκτιους σταθμούς, όπως είναι ο σταθμός, του Ελληνικού (Founda, 2011).

1.4.2.1 Εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών

Εκτός όμως από τις μακροχρόνιες τάσεις των μέσων τιμών της θερμοκρασίας, ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του κλίματος της Αθήνας τα τελευταία

χρόνια αποτελεί η μεταβολή ως προς την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών) κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Η μεταβολή αυτή συνίσταται στην (ΕΜΕΚΑ, 2011):

- αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών
- αύξηση της έντασης των φαινομένων (απόλυτα μέγιστων θερμοκρασιών),
- αύξηση της διάρκειας (εμμονής) των φαινομένων
- χρονική μετατόπιση της εμφάνισης των φαινομένων, ημερολογιακά νωρίτερα

Επιπλέον, τα ακραία γεγονότα έχουν επιστήσει την προσοχή μας, επειδή συχνά συνδέονται με καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον, την υγεία και την οικονομία, αν και ένα καταστροφικό γεγονός δεν είναι απαραίτητα κλιματολογικά ακραίο και ένα κλιματολογικά ακραίο γεγονός δεν είναι απαραίτητα καταστροφικό (Founda et al., 2009).

Ερευνητές μελέτησαν τη συχνότητα των ακραίων θερμοκρασιών στην Αθήνα από το 1897 έως το 2001 (Founda et al., 2004). Για τους σκοπούς της ανάλυσης, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν θερμοκρασίες πάνω από αρκετές οριακές τιμές που ξεκινούν από 35 °C (σε βήματα του 1 °C) το καλοκαίρι και κάτω από το οριακή τιμή του 1 °C (σε βήματα του 1 °C) το χειμώνα (η επιλογή των τιμών δεν έγινε αυθαίρετα, διότι η τιμή των 35 °C είναι περίπου 9 °C πάνω από τη μέση θερινή θερμοκρασία και η τιμή του 1 °C είναι περίπου 9 °C κάτω από τη μέση χειμερινή θερμοκρασία). Μια ελλатуόμενη συχνότητα εμφάνισης χαμηλών χειμερινών θερμοκρασιών έχει αναφερθεί για το δεύτερο μισό του περασμένου αιώνα, με τις θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν σχεδόν να λείπουν κατά τη δεκαετία 1992-2001. Παρατηρήθηκε μια ανοδική μακροπρόθεσμη τάση της ετήσιας απολύτως ελάχιστης θερμοκρασίας από το 1897 έως το 2001, η οποία ανέρχεται σε περίπου +2 °C και είναι πιο έντονη μετά το 1970.

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι οι θερμοκρασίες της τάξης των -4 °C φαίνεται να έχουν εξαφανιστεί κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του περασμένου αιώνα στην Αθήνα, και πιθανόν αυτό να οφείλεται στην αστική νησίδα. Παραδόξως, κατά τη διάρκεια των ετών που ακολούθησαν, ένας αριθμός εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών σημειώθηκαν στην Αθήνα (π.χ. -4.8 °C τον

Φεβρουάριο του 2004 και $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ τον Φεβρουάριο του 2008 στο ΕΑΑ, η χαμηλότερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί από το 1929), ενώ την ίδια στιγμή, η θερμοκρασία έπεσε στους $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ στο σταθμό του ΕΑΑ στην Πεντέλη (Founda et al., 2004). Όσον αφορά τα θερμά ακραία γεγονότα, οι συγγραφείς ανέφεραν μια ξαφνική αύξηση του αριθμού των θερμών ημερών, ιδιαίτερα κατά την τελευταία δεκαετία της ανάλυσης.

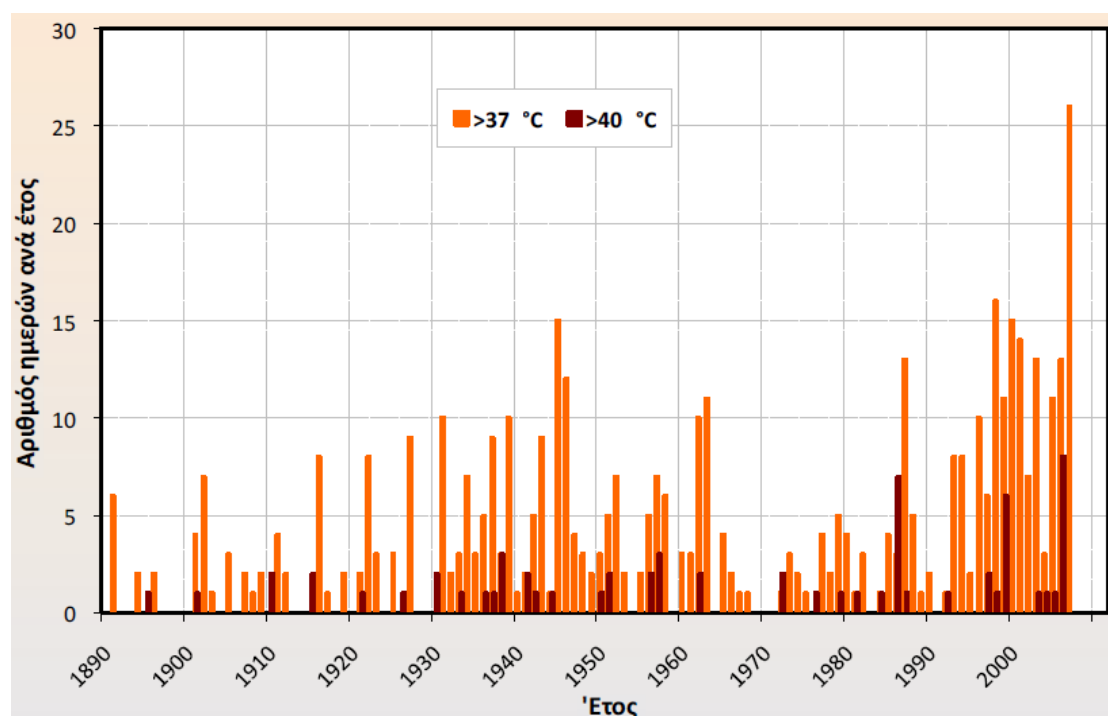
Μία άλλη έρευνα μελέτησε αλλαγές στη συχνότητα των ακραίων θερμοκρασιών στην Αθήνα, για την περίοδο 1890-2007, χρησιμοποιώντας διάφορους δείκτες, οι οποίοι βασίζονται σε εκατοστημόρια και σε σταθερές τιμές κατωφλίου (Nastos et al., 2007). Θερμές ημέρες και νύχτες ορίστηκαν ως αυτές με μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, αντίστοιχα, πάνω από το 90ο εκατοστημόριο της περιόδου αναφοράς 1961-1990, ενώ το 10ο εκατοστημόριο για την ίδια περίοδο χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των ψυχρών ημερών και νυχτών. Θερινές ημέρες θεωρήθηκαν ως οι μέρες με μέγιστες θερμοκρασίες άνω των $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Οι συγγραφείς παρατήρησαν στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις στον ετήσιο αριθμό των θερμών ημερών (2,5 ημέρες ανά δεκαετία), των θερμών νυχτών (2 νύχτες ανά δεκαετία) και των θερινών ημερών (2,5 ημέρες ανά δεκαετία), αλλά ανέφεραν αρνητικές τάσεις (όχι σημαντικές) στον αριθμό των ψυχρών ημερών, ψυχρών νυχτών και των ημερών με παγετό.

Ενδιαφέροντα αποτελέσματα εξήχθησαν και από μελέτη, η οποία παρουσιάζει τις αλλαγές στη συχνότητα των εξαιρετικά θερμών ημερών στο ΕΕΑ από το 1890 έως το 2007 χρησιμοποιώντας τις τιμές κατωφλίου των $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ και των $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Founda et al., 2009). Το πρώτο όριο αντιστοιχεί στο 95ο εκατοστημόριο της μέγιστης ημερήσιας θερινής θερμοκρασίας σε σχέση με της μακροχρόνιες παρατηρήσεις (περίοδος βάσης). Η τιμή αυτή αντιστοιχεί επίσης στη θερμοκρασία ενός υγιούς ανθρώπινου σώματος και, κατά συνέπεια, οι θερμοκρασίες πάνω από αυτό το όριο που σχετίζονται με δυσάρεστες συνθήκες για τους ανθρώπους. Το όριο αυτό χρησιμοποιείται επίσης από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για τον ορισμό του καύσωνα και την έκδοση προειδοποιήσεων.

Από την άλλη, το όριο των $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ μπορεί να οδηγήσει σε ιδιαίτερα άβολα συνθήκες και συνδέεται με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και αυξημένη

θησιμότητα. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι ο αριθμός των ημερών με μέγιστες θερμοκρασίες άνω των 37 °C και άνω των 40 °C αυξήθηκε εντυπωσιακά κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας της ανάλυσης, και κατά τη διάρκεια του εξαιρετικά θερμού καλοκαιριού του 2007, 26 ημέρες ξεπέρασαν τους 37 °C και 8 ημέρες ξεπέρασαν τους 40 °C, γεγονός που αποτελεί ρεκόρ όλων των εποχών.

Στο Σχήμα 1.4, εμφανίζεται ο αριθμός των ημερών ετησίως, με μέγιστες θερμοκρασίες πάνω από τα δύο προαναφερθέντα όρια, και η χρονοσειρά επεκτείνεται πίσω στα μέσα του 19ου αιώνα, προκειμένου να τονιστεί η εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών στην περίοδο πριν το 1890 (Founda, 2011).



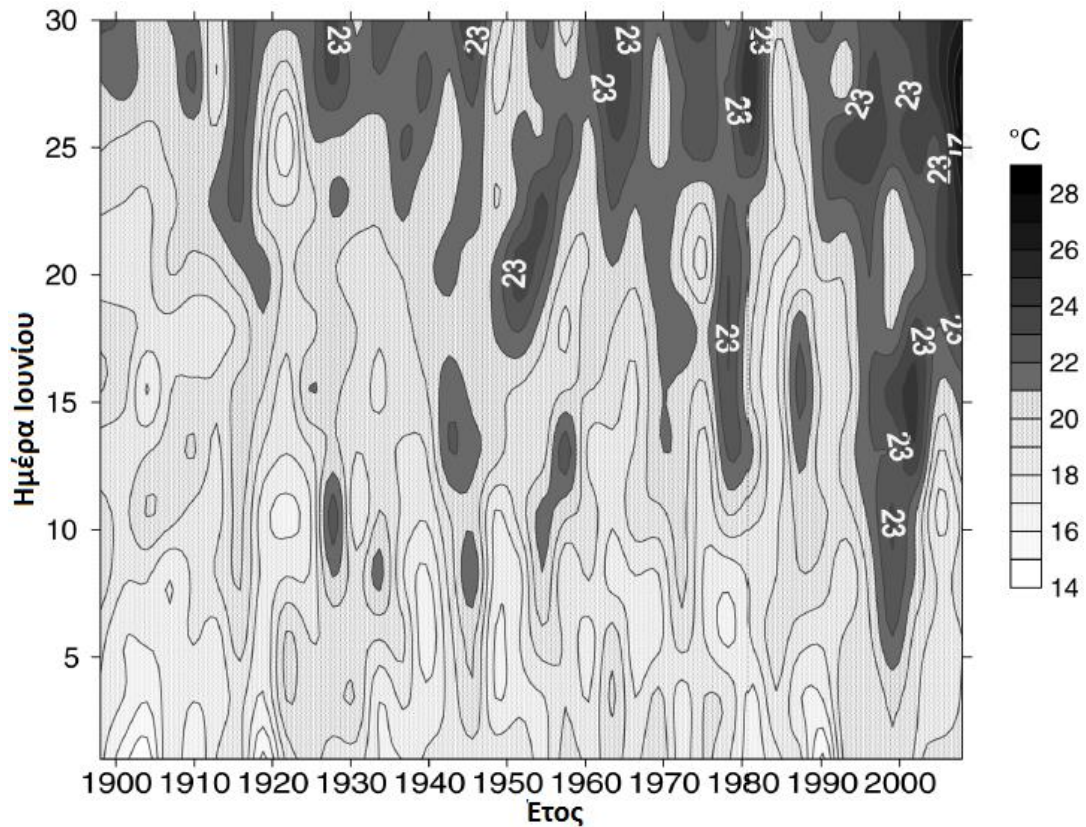
Σχήμα 1.4: Ετήσιος αριθμός ημερών στην Αθήνα με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 37 °C και μεγαλύτερες από 40 °C (Πηγή: Founda and Giannakopoulos, 2009; ΕΜΕΚΑ, 2011)

Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από το Σχήμα 1.4 είναι ότι οι θερμές περιόδους, για παράδειγμα, η περίοδος 1930-1960 και η περίοδος μετά το 1980, χαρακτηρίζονται από μια πιο συχνή εμφάνιση των εξαιρετικά θερμών ημερών, ενώ κατά τη διάρκεια των δροσερών περιόδων, τέτοιες μέρες είναι λιγότερο συχνές. Το βασικό χαρακτηριστικό του Σχήματος 1.4 είναι η αξιοσημείωτη

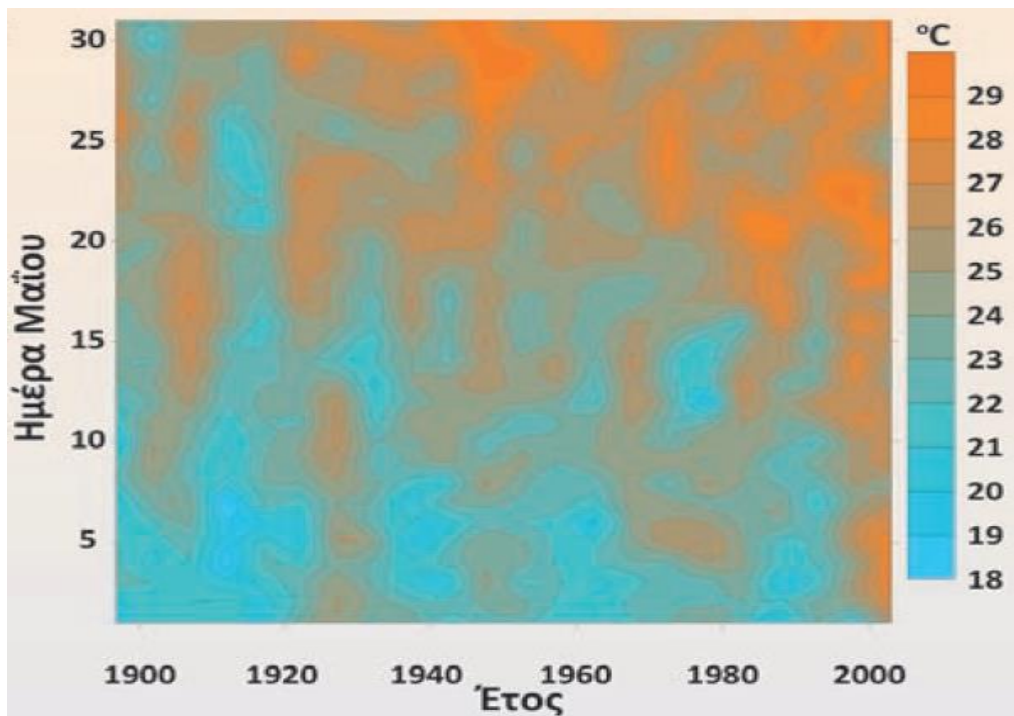
αύξηση του ετήσιου αριθμού των θερμών ημερών από τα τέλη της δεκαετίας του 1990. Έχει υπολογιστεί ότι 129 από τις 274 ημέρες, καθ' όλη τη διάρκεια των 150 ετών, με θερμοκρασίες πάνω από 37 °C σημειώθηκαν κατά την περίοδο 1998-2007. Παρόμοιο ποσοστό υπολογίστηκε για τις ημέρες με θερμοκρασία πάνω από 40 °C. Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο των εξαιρετικά θερμών ημερών είναι η χρονική στιγμή της εμφάνισής τους, η οποία παρουσιάζει μια στροφή προς προγενέστερες ημερομηνίες μέσα στο θέρος. Υπολογίζεται ότι κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1999-2008, υπήρχαν 14 ημέρες τον Ιούνιο με θερμοκρασίες πάνω από 37 °C, με τη μέση τιμή αυτών των ημερών είναι 2,5 ημέρες ανά δεκαετία για το σύνολο της χρονοσειράς (Founda, 2011).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο Μάιος και ο Ιούνιος είναι οι μήνες με τις πιο έντονες θετικές τάσεις και για τις θερμοκρασίες της ημέρας και της νύχτας. Επίσης έχει παρατηρηθεί μια συστηματική μετατόπιση της εμφάνισης υψηλότερων θερμοκρασιών τη νύχτα σε προγενέστερες ημερομηνίες εντός του Ιουνίου από την αρχή μέχρι το τέλος της υπό μελέτη περιόδου (τέλη δεκαετίας 1890 έως το 2008). Για παράδειγμα, τη νύχτα θερμοκρασίες της τάξης των 23 °C έχουν συμβεί ακόμη και από τις πρώτες εβδομάδες του Ιουνίου, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της ζήτησης ενέργειας για την περίοδο ψύξης (Founda,2011).

Στο Σχήμα 1.5, εμφανίζονται οι θερμοκρασίες τη νύχτα μέσα στον Ιούνιο για χρονικό διάστημα που εκτείνεται από την αρχή του περασμένου αιώνα μέχρι το 2008. Στο Σχήμα 1.6, εμφανίζονται οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά το μήνα Μάιο στο ΕΑΑ, για την περίοδο 1900-2005. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται σταδιακή μετατόπιση της εμφάνισης υψηλών θερμοκρασιών ημερολογιακά νωρίτερα.



Σχήμα 1.5: Ισοπληθείς των ελαχίστων θερμοκρασιών (νυκτερινών) για τον μήνα Ιούνιο στην Αθήνα (1900-2010) (Πηγή: Founda, 2011)



Σχήμα 1.6: Μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά το μήνα Μάιο στην Αθήνα (1900-2005) (Πηγή: ΕΜΕΚΑ, 2011)

Εξίσου σημαντικά συμπεράσματα βγαίνουν και από μία πιο πρόσφατη έρευνα, στα πλαίσια της οποίας υπολογίσθηκε, μεταξύ άλλων, η συχνότητα των θερμών ημερών στην Αθήνα (Founda et al., 2015). Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σταθμοί με διαθέσιμα μακροχρόνια δεδομένα θερμοκρασίας : ο αστικός σταθμός του ΕΑΑ στο Θησείο, ο παράκτιος αστικός σταθμός του Ελληνικού, ο σταθμός του Τατοΐου στα βόρεια προάστια της πόλης και οι σταθμοί της Τανάγρας και της Αλιάρτου, οι οποίοι επιλέχθηκαν για να αντιπροσωπεύσουν τις επαρχιακές (αγροτικές) συνθήκες. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, ο σταθμός της Ελευσίνας που βρίσκεται σε μια βιομηχανική περιοχή και αποδίδεται ως προαστιακός σταθμός.

Από τους προαναφερθέντες σταθμούς χρησιμοποιήθηκαν η ημερήσια μέγιστη (T_{max}), η ημερήσια ελάχιστη (T_{min}) και η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα (T_{mean}) για την περίοδο 1970-2004. Έτσι, εκτιμήθηκαν μηνιαία και εποχιακά μέσα από τις ημερήσιες τιμές, ώστε να υπολογιστούν τα ποσοστά αύξησης των θερμών ημερών.

Υπολογίστηκαν, λοιπόν, οι ρυθμοί αύξησης του αριθμού των θερμών ημερών ($T_{max} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) ανά έτος για την περίοδο 1970-2004 για τους αστικούς, προαστιακούς και επαρχιακούς σταθμούς. Στους δύο αστικούς σταθμούς, Θησείο και Ελληνικό, η συχνότητα των θερμών ημερών έχει αυξηθεί κατά 8 ημέρες ανά δεκαετία και 7 ημέρες ανά δεκαετία αντίστοιχα. Σημαντικές αυξήσεις παρατηρούνται επίσης σε άλλους σταθμούς, ιδιαίτερα στην Ελευσίνα, όπου η συχνότητα των θερμών ημερών έχει αυξηθεί κατά 5 ημέρες ανά δεκαετία. Θετικές, αλλά πολύ πιο ήπιες τάσεις παρατηρούνται στις επαρχιακές περιοχές, επίσης. Στους δύο επαρχιακούς σταθμούς, η συχνότητα των θερμών ημερών έχει αυξηθεί κατά σχεδόν 3 ημέρες ανά δεκαετία, γεγονός που αντικατοπτρίζει τάσεις θέρμανσης.

1.4.2.2 Καύσωνες

Μια επιπλέον παράμετρος που σχετίζεται με την ανθρώπινη αντίληψη της θερμικής άνεσης είναι η διάρκεια, η ένταση και η συχνότητα εμφάνισης των θερμών και ψυχρών γεγονότων (Founda et al, 2004). Υπάρχει μια ποικιλία

όρων στη βιβλιογραφία που αναφέρεται στην εμφάνιση των διαδοχικών ημερών με ακραίες θερμοκρασίες, και περιλαμβάνει τους όρους θερμό ή ψυχρό διάστημα, θερμό ή ψυχρό γεγονός, θερμή ή ψυχρή εισβολή ή μεταφορά, και καύσωνα. Ο όρος καύσωνα χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο το καλοκαίρι (Founda, 2011).

Ένα κύμα καύσωνα είναι μία παρατεταμένη χρονική περίοδος με υπερβολικά θερμές καιρικές συνθήκες, η οποία μπορεί να συνοδεύεται από υψηλά επίπεδα υγρασίας και θεωρείται ότι συνδέεται με την κυκλοφορία συνοπτικής κλίμακας της ατμόσφαιρας. Δεν υπάρχει καθολικός ορισμός του καύσωνα, ο όρος σχετίζεται με τις μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες μιας περιοχής. Θερμοκρασίες που οι κάτοικοι των θερμών κλιματικών ζωνών θεωρούν φυσιολογικές, μπορεί να είναι εξαιρετικά υψηλές για όσους ζουν σε πιο δροσερές περιοχές (Theoharatos et al., 2010).

Επί παραδείγματι, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) ένα κύμα καύσωνα ορίζεται ως το φαινόμενο κατά το οποίο η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει για τουλάχιστον πέντε συνεχόμενες ημέρες τη μέση μέγιστη θερμοκρασία κατά 5 °C, λαμβάνοντας το χρονικό διάστημα μεταξύ 1961 και 1990 ως η κανονική περίοδος μέτρησης.

Σύμφωνα με τους ορισμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της χώρας, το κατώτατο όριο διάρκειας 3 ημερών συνιστά επίσης ένα εμπειρικό όριο που διακρίνει «μικρά» και «μεγάλα» τα κύματα καύσωνα. Αν και δεν υπάρχει ενιαίος ορισμός του καύσωνα και κάθε χώρα υιοθετεί το δικό της ορισμό για την έκδοση προειδοποιήσεων, το όριο διάρκειας 3 ημερών αποτελεί ένα ευρέως αποδεκτό όριο (Founda et al., 2009).

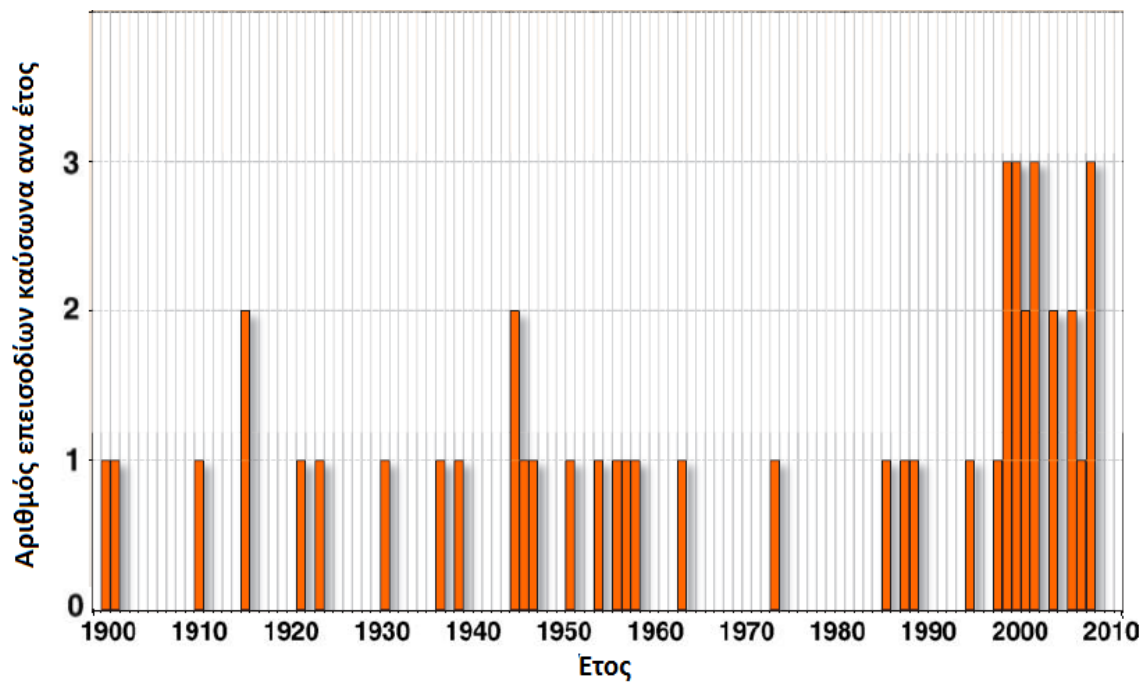
Στην περίπτωση της Αθήνας, τα κύματα καύσωνα φαίνεται να είναι πιο εμφανή και επηρεάζουν σοβαρά πολλούς τομείς. Λόγω της πυκνότητας του πληθυσμού, καθώς επίσης και λόγω της αύξησης των επιπέδων ρύπανσης στην πόλη, οι καύσωνες έχει αποδειχθεί ότι συνδέονται με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και την απώλεια ανθρώπινων ζώων. Επίσης έχουν επηρεαστεί ιδιαίτερα και οι τομείς του περιβάλλοντος, της ενέργειας.

Μελετώντας τη συνοπτικές συνθήκες που ευνοούν τα κύματα καύσωνα στην Αθήνα, έχουν εξαχθεί κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Κοινά χαρακτηριστικά

τους περιλαμβάνουν αντικυκλωνικές συνοπτικές συνθήκες και μεγάλης κλίμακας καθίζηση, με αποτέλεσμα να υπάρχει οριζόντια μεταφορά θερμών αερίων μαζών από τη βόρεια Αφρική και την αδιαβατική θέρμανση (Founda et al., 2009). Στην ανώτερη ατμόσφαιρα, ο ρόλος της θέσης του υποτροπικού αεροχειμάρρου έχει αποδειχθεί κρίσιμος για την εμφάνιση κυμάτων καύσωνα, μέσω δευτερογενών κυκλοφοριών που προκαλούν καθίζηση και την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας των αερίων μαζών. Τα πιο σοβαρά κύματα καύσωνα στην Αθήνα, όπως αυτά του Ιουλίου του 1987, του Αυγούστου του 1999, του Αυγούστου του 2006 και του Ιουνίου / Ιουλίου του 2007, σχετίζεται με μία βόρεια στροφή της εξόδου του αεροχειμάρρου σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη από την κλιματολογική του θέση (Founda, 2011).

Η συχνότητα των επεισοδίων καύσωνα έχει αυξηθεί σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία, υποδεικνύοντας ότι ένα κυρίαρχο τμήμα ακραίων θερμοκρασιών συμβαίνει σε οργανωμένες εκδηλώσεις (Founda et al., 2009). Η μελέτη αυτή, παρουσιάζει τον αριθμό των κυμάτων καύσωνα ανά έτος στην Αθήνα για την περίοδο 1891-2007 (ως κύμα καύσωνα ορίζεται ως μια ακολουθία τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών με καθημερινές μέγιστες θερμοκρασίες πάνω από 37 °C), και αναφέρει μια πολύ έντονη αύξηση στη συχνότητα εμφάνισής τους μετά το 1998.

Η εξέλιξη της συχνότητας των καυσώνων στην Αθήνα μελετήθηκε για χρονικό διάστημα που εκτείνεται περίπου 150 χρόνια. Εκτιμάται ότι 19 από τα 52 κύματα καύσωνα σε όλη την περίοδο συνέβησαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1998-2007. Εκτιμάται επίσης ότι υπήρξαν έξι σοβαρά κύματα καύσωνα με μέγιστες θερμοκρασίες πάνω από 40 °C για τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες από το 1950, αλλά τέτοιο γεγονός δεν έχει καταχωρηθεί πριν από την ημερομηνία αυτή (Founda et al., 2009). Παρόμοια αποτελέσματα ελήφθησαν χρησιμοποιώντας το όριο διάρκειας 4 ημερών. Εκτιμάται ότι από τα 22 επεισόδια καύσωνα (τουλάχιστον 4 συνεχόμενες ημέρες με $T_{max} > 37$ °C) της περιόδου 1891-2007, 9 επεισόδια σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1998-2007. Στο Σχήμα 1.7 φαίνεται ο αριθμός των επεισοδίων καύσωνα (τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες με $T_{max} > 37$ °C) κατ'έτος κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα στο ΕΑΑ.



Σχήμα 1.7: Ετήσιος αριθμός των καυσώνων στην Αθήνα για την περίοδο 1900-2007 (Πηγή: Founda and Giannakopoulos, 2009; ΕΜΕΚΑ, 2011)

Από όλα τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, αν και ζεστές μέρες και τα κύματα καύσωνα έχουν πάντα ένα γνωστό χαρακτηριστικό των καλοκαιριών στην Αθήνα, από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 και μετά έχουν γίνει πολύ συχνό φαινόμενο. Τα κύρια χαρακτηριστικά των αλλαγών στα ακραία γεγονότα εστιάζονται κυρίως στην αύξηση της συχνότητας τους και, σε μικρότερο βαθμό, στην αύξηση της έντασης και της διάρκειάς τους. Από όλα τα κύματα καύσωνα που έχει καταγραφεί ποτέ, δύο ξεχωρίζουν περισσότερο: το παρατεταμένο κύμα καύσωνα του καλοκαιριού του 1987, καθώς και εκείνο του καλοκαιριού του 2007 (Founda, 2011).

Το καλοκαίρι του 2007 ήταν, από πλευράς θερμοκρασίας του αέρα, το πιο ακραίο καλοκαίρι όλων των εποχών στην Αθήνα. Η τιμή των 44,8 °C που σημειώθηκε στις 26 Ιουνίου του 2007 στο ΕΑΑ (> 46 °C σε γειτονικούς σταθμούς) αποτέλεσε ρεκόρ θερμοκρασίας όλων των εποχών στο ΕΑΑ, σύμφωνα με καταγραφές 150 ετών, ενώ ο καύσωνας του Ιουνίου του 2007 ήταν ο πιο 'πρώιμος' καύσωνας που έχει καταγραφεί (αν και τον Ιούνιο του 2010 σημειώθηκε ένας ακόμα πιο 'πρώιμος' αλλά όχι ακραίος καύσωνας). Καθώς η θερμοκρασία υπερέβαινε το 90ό εκατοστημόριο της κανονικής τιμής της

περιόδου αναφοράς (1961-1990) σχεδόν τις μισές ημέρες του θέρους, το καλοκαίρι του 2007 έμοιαζε με ένα διαρκή καύσωνα (Founda et al., 2009).

Επιπλέον, το καλοκαίρι του 2007 έσπασε το ρεκόρ του συνολικού αριθμού των θερμών ημερών (26 ημέρες με τις μέγιστες θερμοκρασίες πάνω από 37 °C καταγράφηκαν από τον Ιούνιο έως Αύγουστο).

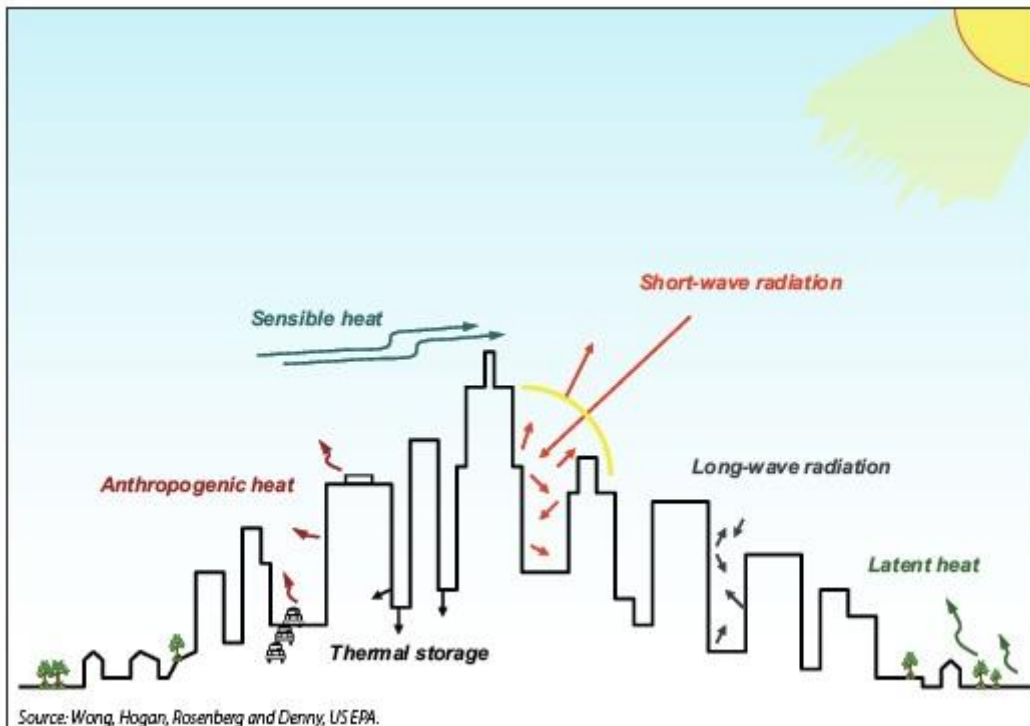
2. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ

2.1 Γενικά στοιχεία

Το φαινόμενο της αστικοποίησης, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχει ως συνέπεια τη σημαντική τροποποίηση των κλιματικών παραμέτρων του αστικού περιβάλλοντος. Το αστικό κλίμα διαφέρει από το κλίμα των γύρω περιοχών, λόγω ενός αριθμού παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών, της ανθρωπογενούς θερμότητας, του αστικού φαινομένου του θερμοκηπίου και της μείωσης των επιφανειών εξάτμισης (Oke et al., 1991).

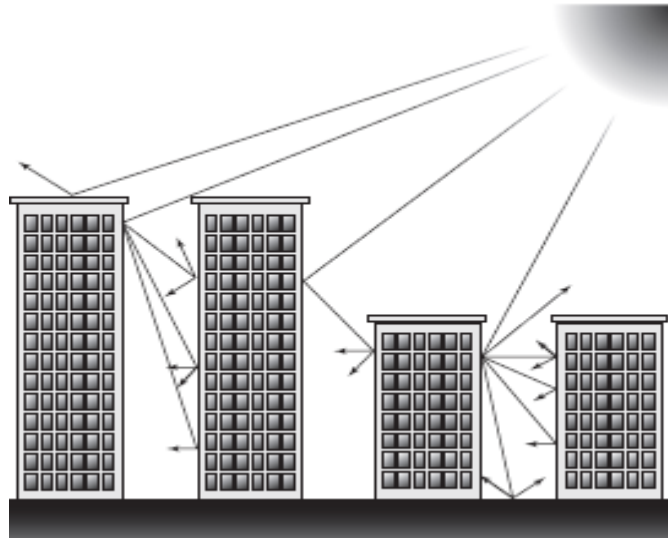
Η επίδραση του φαινομένου της αστικοποίησης, είναι ιδιαίτερα αισθητή στη θερμοκρασία του αέρα. Η ενέργεια που εκλύεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στις πόλεις συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Η δόμηση και οι δρόμοι μεταβάλλουν επίσης το ισοζύγιο των ακτινοβολιών, διότι απορροφούν και επανεκπέμπουν θερμότητα κατά διαφορετικό τρόπο από ό,τι σε μια μη αστικοποιημένη περιοχή. Για το λόγο αυτό, ο αέρας των πόλεων είναι κατά μέσον όρο θερμότερος από τον αέρα στο μη αστικοποιημένο περιβάλλον και η αύξηση αυτή είναι ανάλογη κυρίως με τον πληθυσμό της πόλης. Το φαινόμενο αυτό καλείται αστική θερμική νησίδα (ΑΘΝ) (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Η υψηλότερη θερμοκρασία των κατοικημένων περιοχών είναι στην πραγματικότητα το αποτέλεσμα των διαδικασιών που σχετίζονται με το επιφανειακό ενεργειακό ισοζύγιο, όπως είναι η ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου και μικρού μήκους κύματος, αλλά και οι ροές λανθάνουσας, αισθητής και αγωγίμης θερμότητας. Πολλές αστικές επιφάνειες, όπως είναι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι και οι στέγες των κτιρίων, έχουν χαμηλότερη ανακλαστικότητα από τις φυσικές επιφάνειες και απορροφούν αποτελεσματικά τη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 1: Ενεργειακό ισοζύγιο των αστικών επιφανειών (Πηγή: USEPA)

Τα τούβλα, το τσιμέντο και η ασφαλτος, εκτός του ότι οδηγούν σε χαμηλότερο βαθμό εξάτμισης, απορροφούν τη θερμότητα καλύτερα από το έδαφος, το νερό, και τα φυτά στην ύπαιθρο (λόγω θερμοχωρητικότητας). Έχουν επίσης πολύ χαμηλότερο συντελεστή λευκαύγειας (albedo) από τα χωράφια. Ένας ουρανοξύστης απορροφά έως και έξι φορές περισσότερη θερμότητα από ότι ένα χωράφι ανά μονάδα επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι τα κτίρια και οι δρόμοι της πόλης θερμαίνονται γρήγορα κατά τη διάρκεια της ημέρας και χάνουν εξίσου γρήγορα τη θερμότητα τους τη νύχτα. Οι ζεστές επιφάνειες θερμάνουν τον αέρα που βρίσκεται σε επαφή. Σε μια ζεστή μέρα του καλοκαιριού η θερμοκρασία στην πόλη μπορεί να αυξηθεί έως και κατά 17°C από την αυγή μέχρι και τα μέσα του απογεύματος (Μπουντάς, 2014).

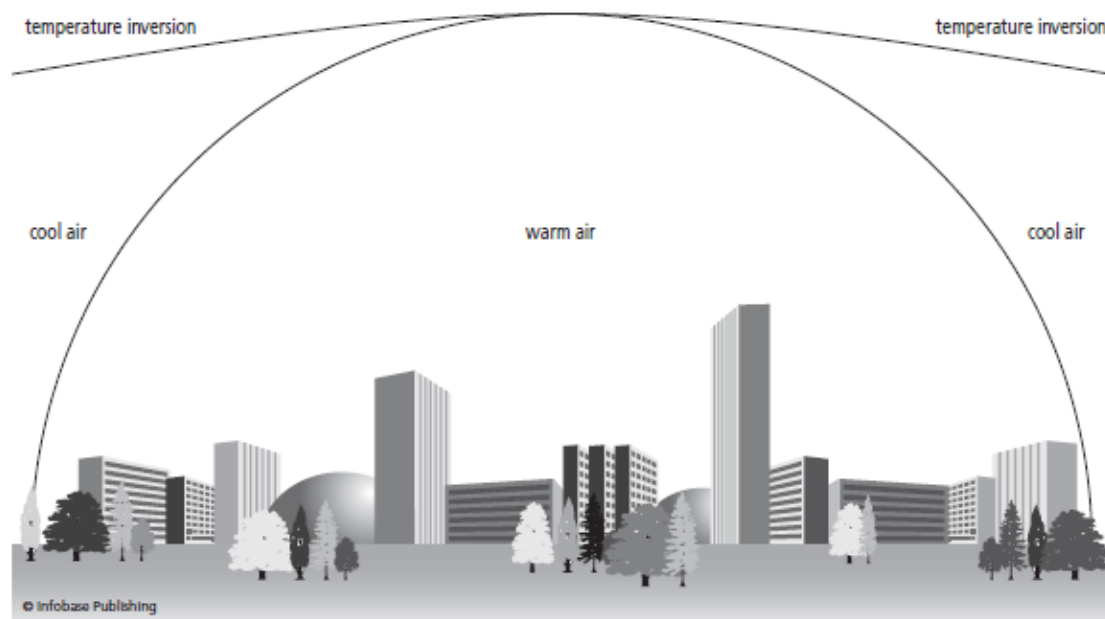


Εικόνα 2: Ο τρόπος με τον οποίο ψηλά και χαμηλά κτίρια αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Λίγη μόνο από την ακτινοβολία φτάνει στο έδαφος. Σχεδόν όλη απορροφάται από τα κτίρια (Allaby, 2007).

Λόγω της πυκνής δόμησης στις πόλεις, και της μειωμένης θέας του ουρανού στο επίπεδο του δρόμου, εμποδίζεται η ψύξη μέσω των διαδικασιών της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (φαινόμενο αστικής χαράδρας). Επιπλέον, η υψηλή θερμοχωρητικότητα των αστικών επιφανειών έχει ως αποτέλεσμα την αποθήκευση θερμότητας και την απελευθέρωση της κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η αστική γεωμετρία επιβραδύνει τον άνεμο και δυσκολεύει τον εξαερισμό και την ψύξη των αστικών περιοχών. Η ροή λανθάνουσας θερμότητας είναι επίσης μειωμένη σε αστικές περιοχές, λόγω της μείωσης της εξατμισοδιαπνοής σε σύγκριση με περιοχές με βλάστηση ή φυσικό έδαφος, άρα περιορίζεται και άλλη μία διαδικασία που βοηθάει στην ψύξη (Founda et al., 2015).

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμότητας μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην πόλη (π.χ. καυσαέρια από την κυκλοφορία, θέρμανση και ψύξη των κτιρίων, ανθρωπίνος μεταβολισμός) έχουν θεωρηθεί ως ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αστική θερμική νησίδα στις ανεπτυγμένες χώρες (Ohashi et al., 2007). Επίσης, η ατμοσφαιρική ρύπανση (π.χ. αεροζόλ) είναι ικανή όχι μόνο να μειώσει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και να μειώσει την ψύξη μέσω ακτινοβολίας, λόγω των αυξημένων επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα (Blake et al., 2011).

Ένα άλλο φαινόμενο που συνδέεται με την αστική θερμική νησίδα είναι η αναστροφή θερμοκρασίας, όπως ονομάζεται η κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά την οποία η θερμοκρασία του αέρα μέσα σε ένα στρώμα της τροπόσφαιρας αυξάνει με το ύψος, αντί να ελαττώνεται, όπως συμβαίνει συνήθως υπό κανονικές συνθήκες (Μπουντάς, 2014). Ζεστός αέρας ανεβαίνει πάνω από την πόλη, συναντά την αντιστροφή, και εξαπλώνεται προς τα πλάγια. Καθώς κινείται, ακτινοβολεί μερική από τη δική του θερμότητα. Αυτή η ακτινοβολία ψύχει τον αέρα, αυξάνοντας την πυκνότητά του, με αποτέλεσμα ο αέρας να υποχωρεί πάνω από την ύπαιθρο ακριβώς πέρα από τα όρια της πόλης. Από εκεί ρέει πίσω στην πόλη, προς την περιοχή χαμηλής πίεσης στο κέντρο. Υπάρχει έτσι η σύγκλιση στο εσωτερικό μέρος της πόλης και απόκλιση πάνω από την πόλη, και ο θερμός αέρας κάτω από την αναστροφή έχει κατά προσέγγιση θολωτό σχήμα (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Επίδραση της θερμοκρασιακής αναστροφής (Allaby, 2007)

Η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας καθορίζεται από πολλούς παράγοντες και επιδεικνύει έντονη μεταβλητότητα ανάλογα με τον τύπο του κλίματος (γεωγραφικό πλάτος, μήκος, υψόμετρο, εγγύτητα προς τη θάλασσα), τις μετεωρολογικές συνθήκες (νεφοκάλυψη, ταχύτητα του ανέμου, θερμοβαθμίδα

κοντά στην επιφάνεια), την εποχή, την ώρα της ημέρας, αλλά και τη γεωμετρία, τη μορφολογία και το μέγεθος μιας πόλης. Εξίσου σημαντικές είναι και οι τοπικές συνθήκες, ως προς την επιρροή τους στην ένταση της αστικής θερμικής νησίδας (Founda et al., 2015).

Ο λόγος για τον οποίο η μέγιστη ένταση της ΑΘΝ εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας (ή κατά τη διάρκεια του χειμώνα ή του θέρους), καθορίζεται κυρίως από τη θερμική ισορροπία της πόλης, η οποία σχετίζεται με την ηλιακή ακτινοβολία, την ανακλαστικότητα των επιφανειών, την ανθρωπογενή έκλυση θερμότητας, την έκλυση λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας και την αποθήκευση και μεταφορά θερμότητας. Για παράδειγμα, σε θερμά και πολύ υγρά κλίματα, η θερμότητα η οποία αποθηκεύεται στο υγρό έδαφος κατά τη διάρκεια της ημέρας, μετριάζει την ψύξη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Πόλεις με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού και αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα βιώνουν υψηλότερη ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας (Founda et al., 2015).

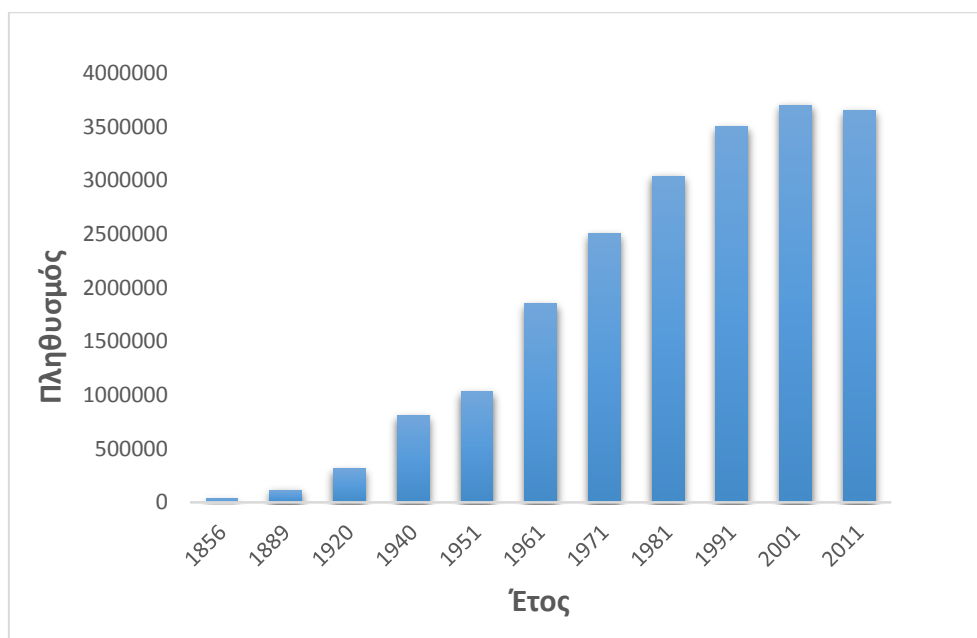
Σύμφωνα με μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι η ένταση της ΑΘΝ σε πολλές ευρωπαϊκές και μεσογειακές πόλεις είναι πιο σημαντική τη νύχτα και κυμαίνεται μεταξύ 1,5 °C και 12 °C. Αντίθετα, σε άλλες πόλεις, όπως είναι η Αθήνα και η Πάρμα, το μέγιστο της έντασης της ΑΘΝ εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας (Santamouris, 2007). Άλλες πόλεις αντιμετωπίζουν υψηλότερη ένταση της ΑΘΝ το καλοκαίρι (π.χ. Ρώμη, Μαδρίτη), ενώ σε άλλες παρουσιάζεται μεγαλύτερη ένταση το χειμώνα (π.χ. Λισαβόνα). Επί παραδείγματι, στην Θεσσαλονίκη εμφανίζεται μεγαλύτερη ένταση της ΑΘΝ κατά το θέρος και κατά τη διάρκεια της νύχτας (Giannaros, 2012).

Σημαντικοί παράγοντες για τη μελέτη της ΑΘΝ είναι η γνώση της χρονικής μεταβλητότητας της και οι τάσεις της έντασης. Οι παραπάνω παράγοντες είναι πολύ σημαντικοί στη μελέτη της κλιματικής αλλαγής, με δεδομένο ότι η θερμική νησίδα έχει αθροιστική δράση πάνω στις μακροπρόθεσμες τάσεις της θερμοκρασίας του αέρα. Αυτό έχουν δείξει, στις περισσότερες περιπτώσεις μετρήσεις ιστορικών σταθμών που παραδοσιακά βρίσκονται σε αστικές περιοχές. Πρέπει να αναφερθεί όμως, ότι η πολυετής μεταβλητότητα της έντασης της ΑΘΝ εξαρτάται πολύ από την ιστορία του σταθμού αναφοράς,

δεδομένου ότι πολλοί επαρχιακοί ή ημιαστικοί σταθμοί έχουν βιώσει την αστικοποίηση με την πάροδο του χρόνου και εμφανίζουν και αυτοί τάσεις αύξησης της θερμοκρασίας (Founda et al., 2015).

2.2 Αστική θερμική νησίδα στην Αθήνα

Είναι γνωστό ότι η Αθήνα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μεγάλου αστικού κέντρου, με πυκνά δομημένες περιοχές στο κέντρο της πόλης και αραιότερη δόμηση στα προάστια. Η ευρύτερη αστική ζώνη της Αθήνας έχει πληθυσμό που αριθμεί περίπου 3.700.000 κατοίκους, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 1/3 του πληθυσμού όλης της χώρας. Σήμερα, συγκεντρώνει το μεγαλύτερο κομμάτι των διοικητικών, εμπορικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτιστικών δραστηριοτήτων της χώρας (Founda, 2015). Το σχήμα 2.1 απεικονίζει την αύξηση του πληθυσμού της Αθήνας από τα μέσα του 19ου αιώνα.



Σχήμα 2.1: Η αύξηση του πληθυσμού στην ευρύτερη αστική περιοχή της Αθήνας από τον 19ο αιώνα (Founda, 2015)

Η αύξηση του πληθυσμού της πόλης, αλλά και η αναζήτηση καλύτερης ποιότητας ζωής από τους κατοίκους, έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή επέκταση του αστικού ιστού της πόλης. Μόνο τη δεκαετία 1990-2000, η αστικοποίηση στην Αθήνα αυξήθηκε κατά 4,6%. Με τη συνεχιζόμενη επέκταση του αστικού ιστού και τη διεύρυνση των οδικών αρτηριών και ασφαλτοστρώσεων, το αστικό περιβάλλον υπερτερεί ολοένα και περισσότερο του φυσικού, και έτσι ενισχύεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, ενώ αναδιαμορφώνονται συνεχώς οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Η αύξηση της κατανάλωσης των προϊόντων και υπηρεσιών και η εντατικοποίηση ορισμένων δραστηριοτήτων, οδήγησε σε αύξηση των ανθρωπογενών εκπομπών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων που αυξήθηκε από 20 οχήματα ανά 1000 κατοίκους το 1964, σε 440 οχήματα ανά 1000 κατοίκους το 2008. Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στην αύξηση των ανθρωπογενών εκπομπών είναι και η διείσδυση των συστημάτων ψύξης του αέρα στην ελληνική αγορά, ειδικά μετά τα θανατηφόρα κύματα καύσωνα του 1987 και 1988. Αυτοί οι παράγοντες δεν επηρεάζουν μόνο τα επίπεδα της απελευθέρωσης ανθρωπογενούς θερμότητας, αλλά και τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη, η οποία σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές συνθήκες, επηρεάζουν την θερμική νησίδα (Founda et al., 2015).

Στις επόμενες σελίδες θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ορισμένων ερευνών σχετικά με την ΑΘΝ στην Αθήνα, ώστε να γίνει πλήρως κατανοητό το φαινόμενο.

Σύμφωνα με έρευνα, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από την ανάλυση ωριαίων μετρήσεων θερμοκρασίας που ελήφθησαν από 30 σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας για χρονικό διάστημα πολλών ετών. Τα κριτήρια επιλογής των σταθμών προσδιορίστηκαν προκειμένου να εκπληρώνουν την απαίτηση για μια πλήρη και ολοκληρωμένη μελέτη της επίδρασης θερμικής νησίδας στην ευρύτερη αστική περιοχή (Santamouris et al., 2001). Ένας επαρχιακός (αγροτικός σταθμός) χρησιμοποιήθηκε ως σταθμός αναφοράς. Βρέθηκε ότι η μέση τιμή της έντασης της ΑΘΝ είναι της τάξης των 12 °C στην

ευρύτερη κεντρική ζώνη, αλλά περίπου 15 °C στο κέντρο της πόλης. Οι διαφορές στις απόλυτες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες μεταξύ των κεντρικών περιοχών και των προαστίων έφτασε τους 15 °C και τους 3 °C, αντίστοιχα. Σε γενικές γραμμές, η ένταση της ΑΘΝ στις περιοχές των προαστίων (σε σύγκριση με τον επαρχιακό σταθμό) βρέθηκε να κυμαίνεται από 6 °C έως 2 °C. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η ένταση της ΑΘΝ κυμαινόταν μεταξύ 2 °C και 5 °C ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σταθμού.

Παρόμοια αποτελέσματα ελήφθησαν και από άλλη μελέτη, η οποία διαπίστωσε μια μέση διαφορά της τάξης των 4,5 °C μεταξύ των θερμοκρασιών του αέρα σε 20 αστικές και προαστιακές περιοχές στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας (Livada et al., 2002). Οι διαφορές βρέθηκαν να είναι πιο έντονες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε σχέση με την περίοδο του χειμώνα, ενώ οι υψηλότερες θερμοκρασίες το χειμώνα στις παράκτιες περιοχές αποδόθηκαν στην επιρροή της θάλασσας και όχι στην ΑΘΝ. Αναφέρθηκε επίσης ότι η διατήρηση των υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της θερμής και ψυχρής περιόδου αντίστοιχα, σχετίζονται περισσότερο με τις συνοπτικές καιρικές συνθήκες, παρά με την ΑΘΝ.

Το φαινόμενο της ΑΘΝ μειώνεται σημαντικά στις περιοχές με πράσινο και δεν μπορεί να ανιχνευθεί εύκολα σε χώρους με ψηλή και πυκνή βλάστηση. Η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του Εθνικού Κήπου της Αθήνας και τοποθεσιών στο κέντρο της πόλης, βρέθηκε να είναι 13 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 6,3 °C το βράδυ, με μέση τιμή 7 - 8 °C (Zouli et al., 2008). Ωστόσο, η επίδραση αυτού της περιοχής πρασίνου στη θερμοκρασία του αέρα εξαφανίζεται σε απόσταση μόλις λίγων μέτρων έξω από το πάρκο, σε ένα δρόμο με ένα υψηλά επίπεδα κυκλοφορίας.

Ο Εθνικός Κήπος παρουσιάζει τις χαμηλότερες διαφορές θερμοκρασίας με τον κεντρικό πεζόδρομο της Ερμού (σε σχέση με άλλα σημεία της πόλης). Γενικά, το κέντρο της πόλης κατά τη διάρκεια της ημέρας χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από τις προαστιακές περιοχές. Το κέντρο της Αθήνας είναι περίπου 7-8 °C πιο θερμό από τα προάστια, ενώ στον υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου σταθμό της Ιπποκράτους η διαφορά αγγίζει τους 12-13

°C. Η θερμοκρασία στην περιοχή της Αθήνας αυξάνεται ασύμμετρα στις διάφορες περιοχές της πόλης ανάλογα με το θερμικό φόρτο (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Έχει διαπιστωθεί, επίσης, ότι η συνοπτικής κλίμακας κυκλοφορία είναι μια παράμετρος με σημαντική επίδραση στην ένταση της ΑΘΝ (Mihalakakou et al., 2002). Οι συγγραφείς τονίζουν το ρόλο της αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην ανάπτυξη των κυττάρων θαλάσσιας αύρας πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, η οποία μειώνει τη θερμοκρασία στις νότιες και δυτικές περιοχές, παίζοντας έτσι σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της Θερμικής Νησίδας. Συνοπτικοί τύποι κυκλοφορίας που αντιστοιχούν σε βόρεια, βορειοδυτική και βορειοανατολική ροή, ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ετησίες), είναι υπεύθυνοι για την απουσία ή τον τερματισμό του φαινομένου.

Στα πλαίσια άλλης μελέτης, εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά της ΑΘΝ το πρωί στην Αθήνα, με βάση τις διαφορές στην ελάχιστη θερμοκρασία μεταξύ ενός αστικού σταθμού και ενός επαρχιακού (αγροτικού) σταθμού για μια περίοδο 10 ετών. Αναφέρθηκε ότι η ΑΘΝ παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια των δύο τρίτων των ημερών, ενώ είναι ισχυρή για το ένα τρίτο από αυτές τις ημέρες (Kassomenos et al., 2006). Η ένταση της ΑΘΝ ήταν αντιστρόφως ανάλογη με τη συνολική νέφωση, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου, ενώ είναι ανάλογη με τις υψηλές θερμοκρασίες. Οι συγγραφείς βρήκαν ότι ο ρυθμός ψύξης της αστικής περιοχής ήταν υψηλότερος υπό αρνητική ΑΘΝ από ό,τι στην αγροτική περιοχή. Αντίθετα, ήταν χαμηλότερος όταν η ένταση της ΑΘΝ ήταν θετική. Βρέθηκε επίσης ότι οι αρνητικές τιμές της Θερμικής Νησίδας αντιστοιχούν σε βορειοανατολική ροή του αέρα πάνω από το Αιγαίο, τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι, και οι θετικές τιμές της Θερμικής Νησίδας σχετίζονται με μία αδύναμη βαθμίδα πίεσης πάνω από το Αιγαίο, καθώς και αντικυκλωνικές συνθήκες και τοπικές κυκλοφορίες.

Σε άλλη έρευνα μελετήθηκε η επίδραση του ανέμου στην κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα στην Αθήνα, στο παράκτιο σταθμό του Ελληνικού και τον κεντρικό σταθμό του ΕΑΑ κατά τις θερμές περιόδους και για μία περίοδο 5 ετών (Livada et al., 2005). Στο Ελληνικό, βρέθηκε μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητα του ανέμου για όλο το εικοσιτετράωρο, αλλά μόνο για ανέμους που φυσούν από τη θάλασσα. Για

όλους τους άλλους προσανατολισμούς, υψηλότερες ταχύτητες ανέμου βρέθηκαν να αντιστοιχούν σε υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ ακόμα και από βόρειους ανέμους που προκλήθηκαν υψηλότερες θερμοκρασίες. Η τελευταία παρατήρηση σχετίζεται με το γεγονός ότι το βόρειο ρεύμα αέρα αναμιγνύεται με θερμό αέρα πάνω από την πόλη, ώστε οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου. Για το σταθμό του ΕΑΑ, η ΑΘΝ βρέθηκε να μην επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια της περιόδου των 24 ωρών για χαμηλές ταχύτητες ανέμου, αλλά και για ανέμους πάνω από μία τιμή κατωφλίου η θερμοκρασία του αέρα τείνει να ακυρώσει την επίδραση θερμικής νησίδας.

Ερευνητές μελέτησαν την αλληλεπίδραση μεταξύ της θαλάσσιας αύρας και της ΑΘΝ στην Αθήνα (Dandou et al., 2009). Πέρα από μία επιβράδυνση του πεδίου του ανέμου που σχετίζεται με την επίδραση της τριβή λόγω της κατοικημένης περιοχής, αναφέρθηκε ότι η ΑΘΝ ενίσχυσε την θαλάσσια αύρα, η οποία με τη σειρά τους εκτόπισε την ΑΘΝ προς την ενδοχώρα (5-7 χλμ.).

Εξίσου σημαντικά συμπεράσματα βγαίνουν και από μία πιο πρόσφατη έρευνα για την ΑΘΝ στην Αθήνα. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σταθμοί με διαθέσιμα μακροχρόνια δεδομένα θερμοκρασίας : ο αστικός σταθμός του ΕΑΑ στο Θησείο, ο παράκτιος αστικός σταθμός του Ελληνικού, ο σταθμός του Τατοΐου στα βόρεια προάστια της πόλης και οι σταθμοί της Τανάγρας και της Αλιάρτου, οι οποίοι επιλέχθηκαν για να αντιπροσωπεύσουν τις επαρχιακές (αγροτικές) συνθήκες. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, ο σταθμός της Ελευσίνας που βρίσκεται σε μια βιομηχανική περιοχή και αποδίδεται ως προαστιακός σταθμός (Founda et al., 2015). Συμπληρωματικά, χρησιμοποιήθηκε μια σειρά από επιπλέον σταθμούς, που προέρχεται από το νέο δίκτυο αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του ΕΑΑ. Οι σταθμοί επιλέχθηκαν σύμφωνα με τη θέση τους, το εύρος των δεδομένων και την τοποθέτηση των οργάνων. Οι σταθμοί που πληρούσαν τα κριτήρια και επιλέχθηκαν, βρίσκονται στην Εκάλη (2011-2013), στην Κάντζα (2009-2013) και στα Σπάτα (2009-2013).

Από τους προαναφερθέντες σταθμούς χρησιμοποιήθηκαν η ημερήσια μέγιστη (T_{max}), η ημερήσια ελάχιστη (T_{min}) και η μέση ημερήσια θερμοκρασία του

αέρα (T_{mean}) για την περίοδο 1970-2004. Έτσι, εκτιμήθηκαν μηνιαία και εποχιακά μέσα από τις ημερήσιες τιμές. Επίσης, υπολογίσθηκαν μηνιαία μέσα του Ημερήσιου Θερμοκρασιακού Εύρους (ΗΘΕ), ώστε να τονιστούν καλύτερα τα κλιματικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων σταθμών (Founda et al., 2015). Τέλος, υπολογίσθηκε και η ένταση της ΑΘΝ.

Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

Το ΗΘΕ σε όλους τους σταθμούς επιδεικνύει έντονη εποχιακή διακύμανση, με τις υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν σε θερινούς μήνες και χαμηλότερες τιμές το χειμώνα. Στους δύο αστικούς σταθμούς το ΗΘΕ είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με τους μη αστικούς σταθμούς σε όλη τη διάρκεια του έτους. Λόγω της εγγύτητάς του με τη θάλασσα, ο παράκτιος αστικός σταθμός (Ελληνικό) έχει τις χαμηλότερες τιμές του ΗΘΕ, αλλά και λιγότερο έντονη εποχιακή διακύμανση. Οι υψηλότερες τιμές του ΗΘΕ παρατηρήθηκαν στον επαρχιακό σταθμό της Αλιάρτου, που υπερβαίνει τους $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Οι χαμηλότερες τιμές του ΗΘΕ στους δύο αστικούς σταθμούς, αλλά και η λιγότερο έντονη εποχιακή μεταβλητότητα αντικατοπτρίζουν την αστική επιρροή στις δύο περιοχές και ιδιαίτερα την επίδραση των διαδικασιών της ακτινοβολίας στο δομημένο περιβάλλον και την νυχτερινή τους δράση.

Όσον αφορά την ΑΘΝ, αυτή παρατηρείται στην Αθήνα τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας, ωστόσο, το μέγεθος τους (της ημερήσιας και της νυχτερινής ΑΘΝ) διαφέρει σημαντικά, γεγονός που υποδηλώνει έντονη ημερήσια διακύμανση της έντασης της Θερμικής Νησίδας στην πόλη. Επίσης, παρατηρείται αξιοσημείωτη διαφορά στην εποχική διακύμανση μεταξύ της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας με αυτήν κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το μέγεθος της νυχτερινής Θερμικής Νησίδας είναι πολύ μεγαλύτερο σε σύγκριση με αυτό κατά τη διάρκεια της ημέρας, για όλο το έτος. Η νυκτερινή Θερμική Νησίδα ποικίλλει εντός του έτους, με τις υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν στην θερμή περίοδο και τις χαμηλότερες στην ψυχρή περίοδο. Το εύρος της νυκτερινής Θερμικής Νησίδας κυμαίνεται περίπου μεταξύ $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ανάλογα με την εποχή του έτους. Οι υψηλότερες τιμές της έντασης της νυχτερινής Θερμικής Νησίδας παρατηρήθηκαν στις αρχές του καλοκαιριού μεταξύ του Θησείου και της Τανάγρας, και του Θησείου με το Τατόϊ, αλλά και στο τέλος του καλοκαιριού

μεταξύ του Ελληνικού και της Τανάγρας, αντανακλώντας την επίδραση της υψηλότερης θερμοχωρητικότητας της θάλασσας στην παράκτια αστική περιοχή του Ελληνικού. Το ίδιο περίπου μοτίβο της νυκτερινής Θερμικής Νησίδας ισχύει μεταξύ όλων των ζευγών των αστικών-μη αστικών σταθμών (Η σύγκριση των αστικών με τους προαστιακούς σταθμούς επέφερε σχεδόν παρόμοια αποτελέσματα με ελαφρώς χαμηλότερες τιμές της νυκτερινής έντασης της ΑΘΝ).

Όσον αφορά την ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας, το εύρος της κυμαίνεται, επίσης, ανάλογα με την εποχή. Σε γενικές γραμμές, οι υψηλότερες τιμές της (της τάξης των 1,5 °C) παρατηρούνται το χειμώνα μεταξύ των δύο αστικών σταθμών και των επαρχιακών, αλλά και των προαστιακών σταθμών. Λόγω της θέσης του κοντά στη θάλασσα, ο παράκτιος αστικός σταθμός του Ελληνικού, βιώνει πιο δροσερές συνθήκες κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι, γεγονός που οδηγεί σε πολύ χαμηλές ή ακόμη και αρνητικές τιμές της έντασης της ΑΘΝ. Η θαλάσσια αύρα επηρεάζει έντονα την περιοχή του Ελληνικού (αλλά και το Θησείο) κατά τα τέλη της άνοιξης και στις αρχές του καλοκαιριού, ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι δύο αστικοί σταθμοί είναι περισσότερο εκτεθειμένοι στους Ετησίες (Founda et al., 2015).

Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι ο μέση τιμή (για ολόκληρη την περίοδο που μελετήθηκε) της νυκτερινής Θερμικής Νησίδας είναι ισχυρότερη από ό,τι κατά τη διάρκεια της ημέρας, και αυτή η διαφορά είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι. Αυτό σημαίνει ότι οι εκπομπές ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της νύχτας ρυθμίζουν σε μεγάλο βαθμό το εύρος της ΑΘΝ. Ωστόσο, οι μέσες τιμές του μεγέθους της Θερμικής Νησίδας (για την περίοδο 1970-2004) δεν είναι αρκετά αντιπροσωπευτικές για την πιο πρόσφατη περίοδο.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκαν επίσης τρεις επιπλέον σταθμοί από τους πρόσφατα εγκατεστημένους αυτοματοποιημένους μετεωρολογικούς σταθμούς του ΕΑΑ. Όλες οι συγκρίσεις έγιναν με τον αστικό σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο (Founda et al., 2015).

Η ένταση της νυκτερινής ΑΘΝ εξαρτάται από την εποχή και τον τόπο, και κυμαίνεται περίπου μεταξύ 1 °C και 3 °C, ενώ είναι υψηλότερη το καλοκαίρι. Οι υψηλότερες τιμές της νυκτερινής ΑΘΝ παρουσιάζονται στον σταθμό της

Κάντζας κατά τη διάρκεια της άνοιξης και στις αρχές του καλοκαιριού, και πιθανώς να σχετίζονται με την ψύξη της περιοχής από την τοπική αύρα, που προέρχεται από το γειτονικό βουνό. Όσον αφορά την εποχιακή διακύμανση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρατηρείται μία συνοχή μεταξύ των τριών σταθμών, παρά τις διαφορετικές θέσεις τους. Η ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ είναι υψηλότερη το καλοκαίρι, σε αντίθεση με τα ευρήματα από τους ιστορικούς σταθμούς (για την περίοδο 1970-2004). Αυτό είναι πιθανόν να οφείλεται στα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά των σταθμών και στην διαφορετική έκθεση στους Ετησίους ανέμους στο τέλος του καλοκαιριού. Αυτό συμβαίνει, διότι τα Σπάτα είναι μια πολύ ανοιχτή και εκτεθειμένη στους ανέμους, ενώ η Εκάλη είναι ένα από τα πιο πράσινα προάστια της Αθήνας (Founda et al., 2015). Τέλος, διαπιστώθηκε, επίσης, ότι το μέγεθος της Θερμικής Νησίδας επηρεάζεται από τη συνολική νεφοκάλυψη και το μέγεθος της ταχύτητας του ανέμου.

Στην ίδια μελέτη παρουσιάζονται, επίσης, η μεταβλητότητα και οι τάσεις της μέσης ετήσιας έντασης της ΑΘΝ, ανά δεκαετία, μεταξύ των δύο αστικών σταθμών και του επαρχιακού σταθμού της Τανάγρας (Founda et al., 2015). Η εντατικοποίηση της ετήσιας μέσης έντασης της ΑΘΝ είναι προοδευτική και δείχνει τη συνεχιζόμενη αστικοποίηση της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας. Η μακροπρόθεσμη τάση του ετήσιου εύρους της Θερμικής Νησίδας μεταξύ των αστικών και του επαρχιακού σταθμού είναι περίπου $+0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία και αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο μέρος της αυξανόμενης τάσης της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας του αέρα στο σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο.

Τέλος, μελετήθηκε και η δεκαετής μεταβλητότητα της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, μεταξύ των αστικών και των αγροτικών/προαστιακών σταθμών κατά τη διάρκεια του θέρους και του χειμώνα αντίστοιχα. Είναι σαφές ότι η ημερήσια και η νυχτερινή ΑΘΝ στην Αθήνα έχουν αναπτυχθεί αρκετά διαφορετικά με την πάροδο του χρόνου. Όσον αφορά την ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρουσιάζει μια θετική μακροπρόθεσμη τάση κατά τη διάρκεια και των δύο εποχών, όπως διαπιστώθηκε από τη σύγκριση των δύο αστικών σταθμών με τους υπόλοιπους. Είναι ενδιαφέρον ότι αρνητικές τιμές της ημερήσιας ΑΘΝ (σε σχέση με τον σταθμό του Ελληνικού) στρέφονται σε θετικές μετά την αρχή της δεκαετίας του 1990, υποδηλώνοντας τη συνεχιζόμενη

αστικοποίηση στην περιοχή. Η αύξηση της θερινής ημερήσιας έντασης της ΑΘΝ είναι πιο έντονη μεταξύ των σταθμών του Θησείου και της Τανάγρας και ανέρχεται σε περίπου 0,8 °C ανά δεκαετία (Founda et al., 2015). Το χειμώνα, οι τιμές της έντασης της ημερήσιας ΑΘΝ είναι θετικές για ολόκληρη την περίοδο μελέτης και παρουσιάζουν, επίσης, μία θετική τάση. Ο ρυθμός αύξησης της τάσης (περίπου 0,3 °C/δεκαετία) είναι σχεδόν ο μισός σε σύγκριση με την αύξηση των ποσοστών του καλοκαιριού. Μία σταθεροποίηση κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών παρατηρείται και από τη σύγκριση με τον προασιακό σταθμό.

2.3 Επίδραση καυσωνικών επεισοδίων στην ΑΘΝ

Ενώ η βιβλιογραφία είναι πλούσια όσον αφορά τα επεισόδια καυσώνων και το φαινόμενο της ΑΘΝ, είναι φτωχή όσον αφορά την αλληλεπίδραση τους. Η αλληλεπίδραση μεταξύ της ΑΘΝ, σε μία πόλη, και εξαιρετικά του εξαιρετικά θερμού καιρού (καύσωνα) έχει λάβει κάποια προσοχή πρόσφατα, ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου καύσωνα (Basara et al., 2010). Η αλληλεπίδραση της ΑΘΝ με την θέρμανση του πλανήτη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, που σχετίζονται με τον τύπο του κλίματος και τη γεωγραφία της περιοχής.

Πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δύο φαινομένων, τα οποία καθορίζουν κατά πόσο ο η ΑΘΝ θα ενταθεί ή να αποδυναμωθεί από ένα επεισόδιο καύσωνα, παραμένουν ασαφείς, παρά τις σημαντικές και εκτεταμένες επιπτώσεις αυτών των αλληλεπιδράσεων. Υπάρχουν μια σειρά από φυσικές ιδιότητες των δύο φαινομένων, που μπορεί να ρίξουν κάποιο φως σχετικά με τους πιθανούς τρόπους με τους οποίους μπορούν να αλληλεπιδράσουν (Li et al., 2013):

- Οι καύσωνες θα μπορούσαν να ενισχύσουν δευτερεύουσες κυκλοφορίες. Ο θερμότερος αέρας πάνω από την πόλη τείνει να αυξάνεται, αντλώντας ψυχρό αέρα από τις γύρω περιοχές και ενεργεί ως μηχανισμός αρνητικής ανάδρασης στην ένταση της ΑΘΝ (Ohashi, 2002).

Για τις παράκτιες πόλεις, καθώς η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι σταθερή, οι υψηλότερες θερμοκρασίες των αστικών επιφανειών κατά τη διάρκεια του καύσωνα μπορεί να εντείνουν σημαντικά αυτά τις δευτερεύουσες κυκλοφορίες και να οδηγήσουν σε ψύξη με την βοήθεια της θαλάσσιας αύρας.

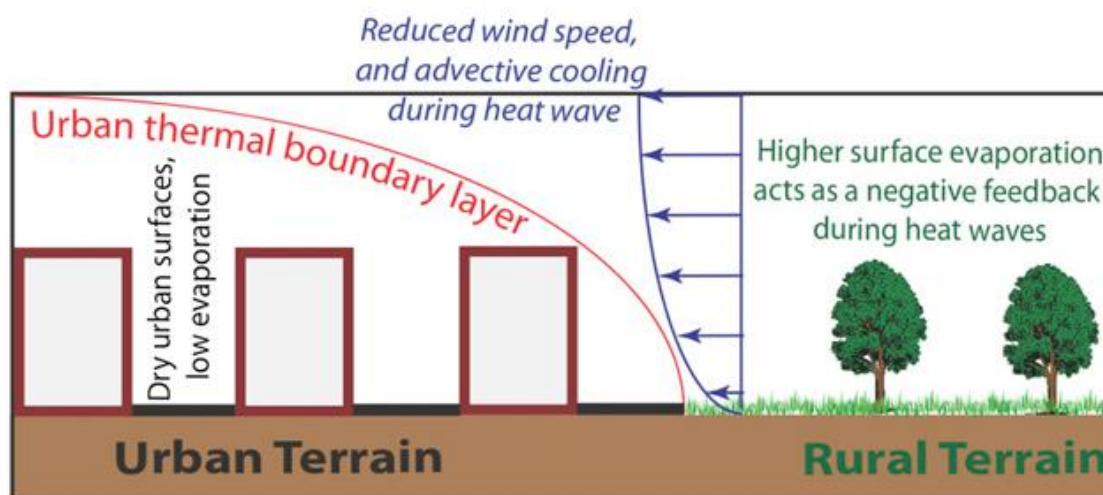
- Τα κύματα καύσωνα που προκύπτουν από επίμονους αντικυκλώνες υψηλής πίεσης συνήθως συνδέονται με χαμηλές ταχύτητες του ανέμου. Σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, η επίδραση της ΑΘΝ αναμένεται να είναι ισχυρότερη λόγω της μειωμένης ψύξης, από φαινόμενα οριζόντιας μεταφοράς, με αέρα χαμηλής θερμοκρασίας από τις γύρω αγροτικές περιοχές. Η μειωμένη ταχύτητα του ανέμου είναι έτσι ένας πιθανός συνεργιστικός παράγοντας που μπορεί να επιδεινώσει τις συνδυασμένες επιπτώσεις της ΑΘΝ και του καύσωνα (Oke, 1982). Ωστόσο, η μείωση της ταχύτητας του ανέμου μειώνει επίσης το μέγεθος της ροής θερμότητας επιφάνειας πάνω από τις πόλεις, έτσι ώστε οι έμμεσες επιπτώσεις της στην θερμοκρασία του αέρα μπορεί να οδηγήσουν σε αρνητικές ανατροφοδοτήσεις που αντισταθμίζουν την μειωμένη ψύξη.
- Οι υψηλότερες θερμοκρασίες στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια του καύσωνα θα μεταβάλλουν το ισοζύγιο της εισερχόμενης ακτινοβολίας ενέργειας [Εξ. (1)] στην επιφάνεια, υπέρ της περισσότερης εξατμισοδιαπνοής (LE) και της περισσότερης ροής θερμότητας G που αποθηκεύεται στο έδαφος

$$R_n = H + LE + G \quad (\text{Εξ. 1})$$

R_n είναι η συνολική ακτινοβολία (αυτή είναι η κινητήρια ενέργεια ροή στην επιφάνεια της γης), H είναι η ροή αισθητής θερμότητας από την επιφάνεια προς τον παρακείμενο αέρα, LE είναι η ροή λανθάνουσας θερμότητας στην ατμόσφαιρα από εξατμισοδιαπνοή, και G είναι η ροή θερμότητας στην επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι μεταβλητές είναι σε μονάδες Watts/m^2 . Η πιθανή αύξηση της εξάτμισης κατά τη διάρκεια του

καύσωνα θα μειώσει τη ροή θερμότητας H , η οποία είναι η κύρια πηγή θερμότητας για τη θέρμανση του αέρα και την παραγωγή του φαινομένου της ΑΘΝ. Ωστόσο, η μείωση αυτή θα είναι πιο αποτελεσματική σε αγροτικές περιοχές, λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας επιφανειακής υγρασίας, αυξάνοντας έτσι, ενδεχομένως, την αστικό-αγροτική αντίθεση στη θερμοκρασία της επιφάνειας και του αέρα. Όσο για την αυξημένη αποθηκευμένη θερμότητα G , θα απελευθερωθεί κατά την διάρκεια νύχτας ή τις επόμενες ημέρες, αλλάζοντας έτσι το χρονοδιάγραμμα των θερμοκρασιών αιχμής.

Η δεύτερη και η τρίτη αλληλεπίδραση οδηγούν σε συνεργιστικές αλληλεπιδράσεις που επιδεινώνουν την θερμική καταπόνηση των πόλεων, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 4: Συνεργιστικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης μεταξύ της ΑΘΝ και ενός επεισοδίου καύσωνα, που σχετίζονται κυρίως με την μειωμένη διαθεσιμότητα υγρασίας σε αστικές περιοχές και τη μειωμένη ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια του καύσωνα (Li et al., 2013).

Επιστημονικές έρευνες έχουν αναφερθεί στην συνεργιστική αλληλεπίδραση μεταξύ της ΑΘΝ και των καυσώνων, που έχει ως αποτέλεσμα μια ισχυρότερη επίδραση στις μεγάλες πόλεις (Li et al., 2013). Σε αυτή τη μελέτη, έγινε μία προσπάθεια ποσοτικοποίησης της επίδρασης της ΑΘΝ, βάσει της θερμοκρασίας του αέρα (επιφάνειας και στα 2 μέτρα ύψος) κατά τη διάρκεια εκδήλωσης ενός καύσωνα (7-10 Ιουνίου 2008) πάνω από την περιοχή της

Βαλτιμόρης, στις ΗΠΑ. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ΑΘΝ και των κύματων καύσωνα διερευνήθηκαν χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό παρατηρήσεων και αριθμητικής ανάλυσης. Αμφότερες οι παρατηρήσεις και οι προσομοιώσεις του αριθμητικού μοντέλου δείχνουν ότι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας ενισχύεται κατά την περίοδο καύσωνα.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι η μεγαλύτερη εξάτμιση (λόγω αύξησης του ενεργειακού φορτίου στην επιφάνεια) είναι ένας σημαντικός μηχανισμός μετριασμού κατά τη διάρκεια του καύσωνα στις αγροτικές περιοχές, αλλά εμποδίζεται σε αστικές περιοχές από την έλλειψη βλάστησης και επιφανειακής υγρασίας. Αυτό εξηγεί σε μεγάλο βαθμό την αύξηση των δεικτών της Θερμικής Νησίδας κατά τις περιόδους καύσωνα. Άλλοι παράγοντες, όπως η μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια συνθηκών καύσωνα συμβάλλουν επίσης στις συνεργιστικές αλληλεπιδράσεις (Li et al., 2013).

Το πιο εντυπωσιακό γενικό συμπέρασμα της μελέτης αυτής είναι ότι, τα κύματα καύσωνα δεν αυξάνουν μόνο τα απόλυτα μεγέθη των αστικών και αγροτικών θερμοκρασιών, αλλά αλληλεπιδρούν με την ΑΘΝ και εντείνουν τη διαφορά μεταξύ των αστικών και των αγροτικών θερμοκρασιών. Έτσι, οδηγούν σε επιπτώσεις, που σχετίζονται με την ύπαρξη υψηλότερης θερμότητας στις πόλεις (Li et al., 2013).

Η συγκεκριμένη μελέτη απεικονίζει, λοιπόν, αυτές τις προκλήσεις και εγείρει ορισμένες σημαντικές ανησυχίες σχετικά με την ικανότητα των σημερινών πόλεων για την αντιμετώπιση μελλοντικών κινδύνων. Με την προβλεπόμενη εντατικοποίηση και επιμήκυνση των κυμάτων καύσωνα κάτω υπό την κλιματική αλλαγή, οι κάτοικοι της πόλης θα διατρέχουν σημαντικά υψηλότερο κίνδυνο για την υγεία τους από εκείνους στην αγροτική περιοχή. Με την αύξηση των αστικών πληθυσμών και τα ακραία καιρικά φαινόμενα θερμότητας, το φορτίο για τα ηλεκτρικά δίκτυα που έχουν σχεδιαστεί για χαμηλότερα φορτία, επίσης, πρόκειται να αυξηθεί σημαντικά (Li et al., 2013).

Σε άλλη μελέτη, σκοπός της οποίας ήταν να προσδιοριστεί ποσοτικά η επίπτωση της Θερμικής Νησίδας στην πόλη της Οκλαχόμα, στις ΗΠΑ, κατά τη διάρκεια ενός έντονου κύματος καύσωνα που σημειώθηκε στα τέλη Ιουλίου και στις αρχές Αυγούστου 2008, εξήχθησαν κάποια εξίσου σημαντικά

συμπεράσματα (Basara et al., 2010). Για τις ανάγκες της μελέτης έγινε ανάλυση δεδομένων από 46 τοποθεσίες (αστικές, προαστιακές και αγροτικές), για την περίοδο από 15 Ιουλίου μέχρι 15 Αυγούστου. Οι πιο έντονες συνθήκες εκτείνονται από 31 Ιουλίου έως 5 Αυγούστου του 2008 (περίοδος καύσωνα).

Η σύνθετη ανάλυση της θερμοκρασίας, έδειξε με συνέπεια ότι ο αστικός πυρήνας της Οκλαχόμα ήταν σημαντικά θερμότερος από τις γύρω αγροτικές περιοχές σε όλο τον ημερήσιο κύκλο. Οι προαστιακές περιοχές ήταν επίσης θερμότερες από τις γύρω αγροτικές ζώνες, αν και δεν είναι ήταν τόσο θερμές, όσο ο αστικός πυρήνας (Basara et al., 2010).

Η ΑΘΝ της Οκλαχόμα επιδείνωσε ένα γεγονός (καύσωνα) που, σε γενικές γραμμές, σημειώθηκαν ιστορικά φορτία θερμότητας αποκαλύπτοντας την πραγματική ένταση της θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας εντός των αστικών και προαστιακών περιοχών και την αύξηση των ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας. Συνολικά, τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι υπήρχε μια συνεπής ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης σύμφωνα με την οποία οι τιμές της θερμοκρασίας εντός του αστικού πυρήνα ήταν περίπου 1 °C έως 2 °C (0,5 °C έως 1,5 °C στις προαστιακές ζώνες) θερμότερη κατά τη διάρκεια την ημέρα από ό,τι στις αγροτικές περιοχές και πάνω από 3 °C (2 °C στις προαστιακές ζώνες) θερμότερη τη νύχτα. Οι συνέπειες είναι ότι τα άτομα που ζουν στην αστική ζώνη, με την αυξημένη θερμότητα, διατρέχουν και μεγαλύτερους κινδύνους από εκείνους στις αγροτικές περιοχές, λόγω των συνδυασμένων επιπτώσεων της Θερμικής Νησίδας και του επεισοδίου καύσωνα (Basara et al., 2010).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η παρούσα εργασία διερευνά τη μεταβλητότητα της έντασης της ΑΘΝ στην Αθήνα, συγκρίνοντας τα δεδομένα της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ των αστικών και των γύρω μη αστικών σταθμών. Δεδομένου ότι ένα κυρίαρχο χαρακτηριστικό του κλίματος της Αθήνα είναι η αυξημένη συχνότητα των εξαιρετικά θερμών ημερών και των κυμάτων καύσωνα, η μελέτη εξετάζει επίσης την αλληλεπίδραση μεταξύ της ΑΘΝ και των καυσωνικών επεισοδίων. Ειδικότερα, η μελέτη εξετάζει πώς η ένταση της ΑΘΝ αλληλεπιδρά με τους δριμείς καύσωνες.

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας, υιοθετήθηκε ένας ορισμός του καύσωνα, παρόμοιος με άλλες εργασίες που έχουν ασχοληθεί με το συγκεκριμένο θέμα. Έτσι, ένα κύμα καύσωνα ορίζεται ως μια ακολουθία από τουλάχιστον τρεις διαδοχικές ημέρες με μέγιστη θερμοκρασία του αέρα που υπερβαίνει τους 37 °C (Founda et al., 2004 ; Founda et al., 2009 ; Founda et al., 2015). Με δεδομένη την έλλειψη ενός καθολικού ορισμού των κυμάτων καύσωνα, η υιοθέτηση αυτού του ορισμού φαίνεται κάπως αυθαίρετη. Στην πραγματικότητα, το όριο των 37 °C επιλέχθηκε, επειδή αντιπροσωπεύει περίπου το 95ο εκατοστημόριο της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας στο σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο, αλλά είναι και η θερμοκρασία του σώματος ενός υγιούς ατόμου, έτσι φαίνεται να είναι ένας κατάλληλος δείκτης τόσο για τις κλιματικές ακραίες θερμοκρασίες και όσο και για την θερμική καταπόνηση. Επιπλέον, ο ελάχιστος αριθμός των διαδοχικών θερμών ημερών που απαιτούνται για να αποτελέσουν ένα κύμα καύσωνα είναι αρκετά μεταβλητός μεταξύ των ερευνητικών μελετών ή και των χωρών (Founda et al., 2015).

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε μία κατάταξη των επεισοδίων καύσωνα στην Αθήνα, ως προς την δριμύτητά τους. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο, για την περίοδο 1995-2014. Η χρονοσειρά των θερμοκρασιών αποτελείται από ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας, καθώς και μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες του αέρα.

Ο σταθμός του ΕΑΑ στο Θησείο βρίσκεται σε ένα μικρό λόφο κοντά στην Ακρόπολη σε υψόμετρο 107 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η απόστασή του από την ακτή είναι περίπου 5 χιλιόμετρα. Παρά το γεγονός ότι ο σταθμός βρίσκεται κοντά στο κέντρο της Αθήνας, είναι απομονωμένος από την αστική κυκλοφορία και τις πυκνοδομημένες περιοχές της Αθήνας, λόγω της θέσης του μέσα σε μια ευρεία περιοχή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Έτσι, ο περιβάλλον χώρος του σταθμού (βραχώδες έδαφος με πολλά αειθαλή δέντρα) δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά στα πάνω από 100 χρόνια λειτουργίας του. Συνεπώς, παρέχει συνεχείς χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων διάρκειας μεγαλύτερης του ενός αιώνα, στην ίδια περιοχή του κέντρου της πόλης και με αναλλοίωτο το άμεσο περιβάλλον σε ακτίνα μερικών εκατοντάδων μέτρων (Founda et al., 2004).



Εικόνα 5: Ο ιστορικός σταθμός του ΕΑΑ στο κέντρο της Αθήνας (Θησείο)

Η διαχρονική μεταβολή της θερμοκρασίας στο ΕΑΑ είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής (από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια) και της εντεινόμενης αστικοποίησης της ευρύτερης περιοχής (Founda et al., 2004). Η ραγδαία ανάπτυξη της πόλης των Αθηνών μετά από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο τροποποίησε ουσιαστικά την

περιβάλλουσα περιοχή σε όλες τις κατευθύνσεις, επηρεάζοντας αναπόφευκτα τις μετεωρολογικές μετρήσεις. Μια γενική παρατήρηση είναι ότι κατά την τελευταία δεκαετία, ο ρυθμός αστικοποίησης της Αθήνας έχει μειωθεί τουλάχιστον γύρω από το ιστορικό κέντρο της, όπου βρίσκεται ο σταθμός του ΕΑΑ, αν και η μητροπολιτική περιοχή εξακολουθεί να επεκτείνεται στα βόρεια και ανατολικά προάστια της πόλης.

3.1 Κατάταξη επεισοδίων καύσωνα στην Αθήνα

Μετά από αυτή τη σύντομη περιγραφή του σταθμού του ΕΑΑ στο Θησείο, Θα περάσουμε στην κατάταξη των καυσωνικών επεισοδίων από το 1995 μέχρι το 2014. Η κατάταξη τους έγινε με βάση την ένταση και την διάρκειά τους. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- Εντοπίστηκαν οι ακολουθίες ημερών (τουλάχιστον 3 συνεχόμενες) με μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{max}) μεγαλύτερη από $37\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Για κάθε ημέρα, σε κάθε μία από αυτές τις ακολουθίες, βρέθηκε πόση είναι η διαφορά της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας από την τιμή κατωφλίου των $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = T_{max} - 37\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Για κάθε ακολουθία, προστέθηκαν όλες αυτές οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ τους και υπολογίστηκε ένα άθροισμα. Προφανώς, όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το άθροισμα, τόσο δριμύτερο είναι το κύμα καύσωνα

Στον πίνακα 3.1 φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία.

Πίνακας 3.1: Επεισόδια καύσωνα στην Αθήνα για την περίοδο 1995-2014, όπου έχει υπολογισθεί και το συνολικό άθροισμα των αποκλίσεων της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας από το κατώφλι των 37 °C

Έτος	Μήνας	Ημέρα	Tmax (°C)	ΔT=(Tmax - 37°C)	Άθροισμα (°C)
1996	7	5	37,5	0,5	4,8
1996	7	6	37,2	0,2	
1996	7	7	37,3	0,3	
1996	7	8	38,8	1,8	
1996	7	9	39,0	2,0	
1997	7	4	38,6	1,6	3,2
1997	7	5	37,2	0,2	
1997	7	6	38,4	1,4	
1998	7	2	37,8	0,8	9,7
1998	7	3	42,7	5,7	
1998	7	4	40,2	3,2	
1998	7	26	37,5	0,5	3,3
1998	7	27	37,6	0,6	
1998	7	28	39,0	2,0	
1998	7	29	37,2	0,2	
1998	8	2	37,0	0,0	5,7
1998	8	3	38,9	1,9	
1998	8	4	39,0	2,0	
1998	8	5	38,8	1,8	
1999	8	9	37,0	0,0	3,6
1999	8	10	39,4	2,4	
1999	8	11	38,2	1,2	
1999	8	17	37,4	0,4	10,7
1999	8	18	38,0	1,0	
1999	8	19	37,2	0,2	
1999	8	20	40,8	3,8	
1999	8	21	39,4	2,4	
1999	8	22	39,9	2,9	

2000	7	4	41,4	4,4	18,8
2000	7	5	41,6	4,6	
2000	7	6	42,7	5,7	
2000	7	7	37,0	0,0	
2000	7	8	38,5	1,5	
2000	7	9	39,6	2,6	
2000	7	25	38,2	1,2	15,8
2000	7	26	42,2	5,2	
2000	7	27	41,9	4,9	
2000	7	28	41,5	4,5	
2001	7	18	38,3	1,3	2,9
2001	7	19	38,4	1,4	
2001	7	20	37,2	0,2	
2001	8	5	38,0	1,0	9,8
2001	8	6	37,6	0,6	
2001	8	7	38,2	1,2	
2001	8	8	38,2	1,2	
2001	8	9	38,8	1,8	
2001	8	10	39,2	2,2	
2001	8	11	38,8	1,8	
2003	8	15	37,6	0,6	
2003	8	16	37,5	0,5	
2003	8	17	39,3	2,3	
2003	8	30	38,3	1,3	4,3
2003	8	31	38,3	1,3	
2003	9	1	38,7	1,7	
2004	7	10	39,9	2,9	6,8
2004	7	11	39,4	2,4	
2004	7	12	38,5	1,5	
2005	7	19	37,2	0,2	1,8
2005	7	20	38,4	1,4	
2005	7	21	37,2	0,2	

2005	7	30	37,0	0,0	8,1
2005	7	31	37,5	0,5	
2005	8	1	38,8	1,8	
2005	8	2	40,0	3,0	
2005	8	3	39,2	2,2	
2005	8	4	37,6	0,6	
2006	8	16	37,6	0,6	13,1
2006	8	17	37,0	0,0	
2006	8	18	37,0	0,0	
2006	8	19	39,1	2,1	
2006	8	20	39,8	2,8	
2006	8	21	42,6	5,6	
2006	8	22	38,6	1,6	
2006	8	23	37,4	0,4	
2007	6	24	42,8	5,8	22,6
2007	6	25	37,8	0,8	
2007	6	26	44,8	7,8	
2007	6	27	42,0	5,0	
2007	6	28	40,2	3,2	
2007	7	19	39,8	2,8	26,4
2007	7	20	39,3	2,3	
2007	7	21	38,2	1,2	
2007	7	22	40,8	3,8	
2007	7	23	41,4	4,4	
2007	7	24	41,7	4,7	
2007	7	25	41,9	4,9	
2007	7	26	38,6	1,6	
2007	7	27	37,7	0,7	
2007	8	22	37,6	0,6	2,4
2007	8	23	38,8	1,8	
2007	8	24	37,0	0,0	
2008	8	23	38,6	1,6	2,7

2008	8	24	37,2	0,2	
2008	8	25	37,9	0,9	
2009	7	24	39,4	2,4	7,4
2009	7	25	39,2	2,2	
2009	7	26	39,8	2,8	
2010	6	15	37,7	0,7	4,1
2010	6	16	39,1	2,1	
2010	6	17	38,3	1,3	
2010	8	9	37,7	0,7	2,7
2010	8	10	37,5	0,5	
2010	8	11	38,5	1,5	
2010	8	13	37,4	0,4	14,9
2010	8	14	40,2	3,2	
2010	8	15	39,1	2,1	
2010	8	16	39,4	2,4	
2010	8	17	38,2	1,2	
2010	8	18	39,0	2,0	
2010	8	19	40,0	3,0	
2010	8	20	37,6	0,6	
2011	7	18	37,5	0,5	1,0
2011	7	19	37,3	0,3	
2011	7	20	37,2	0,2	
2012	7	8	38,2	1,2	16,8
2012	7	9	38,4	1,4	
2012	7	10	38,8	1,8	
2012	7	11	37,1	0,1	
2012	7	12	38,8	1,8	
2012	7	13	37,5	0,5	
2012	7	14	40,1	3,1	
2012	7	15	40,5	3,5	
2012	7	16	40,4	3,4	
2012	7	20	37,0	0,0	3,2

2012	7	21	39,8	2,8	5,1
2012	7	22	37,4	0,4	
2012	7	27	37,6	0,6	
2012	7	28	37,8	0,8	
2012	7	29	38,4	1,4	
2012	7	30	38,8	1,8	
2012	7	31	37,5	0,5	
2012	8	5	39,6	2,6	16,0
2012	8	6	40,8	3,8	
2012	8	7	40,5	3,5	
2012	8	8	41,3	4,3	
2012	8	9	38,5	1,5	
2012	8	10	37,3	0,3	
2012	8	22	39,4	2,4	15,8
2012	8	23	38,8	1,8	
2012	8	24	39,4	2,4	
2012	8	25	39,5	2,5	
2012	8	26	40,3	3,3	
2012	8	27	40,4	3,4	
2014	8	12	38,2	1,2	3,4
2014	8	13	37,8	0,8	
2014	8	14	38,4	1,4	

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, οι καύσωνες με την μεγαλύτερη ένταση σημειώθηκαν στην Αθήνα κατά τις εξής περιόδους:

α) 4/7 – 9/7 του 2000

β) 25/7 – 28/7 του 2000

γ) 24/6 – 28/6 του 2007

δ) 19/7 – 27/7 του 2007

ε) 13/8 – 20/8 του 2010

στ) 8/7 – 16/7 του 2012

ζ) 5/8 – 10/8 του 2012

η) 22/8 – 27/8 του 2012

Στην παρούσα εργασία, έγινε εκτενής ανάλυση (η οποία θα παρουσιαστεί παρακάτω) του καύσωνα του Αυγούστου 2012, και συγκεκριμένα για τις ημερομηνίες 5/8 – 8/8. Το επεισόδιο αυτό επελέγη για δύο βασικούς λόγους.

Πρώτον, διότι για προγενέστερες ημερομηνίες δεν υπάρχει το απαιτούμενο πλήθος δεδομένων ώστε να γίνει μία σωστή ανάλυση. Για παράδειγμα, το επεισόδιο καύσωνα του 2007, παρουσιάζεται από τη βιβλιογραφία ως ένα από πιο ακραία όλων των εποχών, με πολύ υψηλές θερμοκρασίες (στις 26/6/07, η μέγιστη θερμοκρασία στο Θησείο έφτασε τους 44,8 °C), ενώ καταρρίφθηκαν ένας αριθμός από μακροχρόνια ρεκόρ, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2007 στο Θησείο, όπως ο αριθμός των θερμών και εξαιρετικά ζεστών ημερών (26 ημέρες με $T_{max} > 37$ °C) (Founda, 2009). Παρ'όλα αυτά, δεν υπήρχε το κατάλληλο πλήθος δεδομένων ώστε να διεξαχθεί μία εκτενής ανάλυση. Από το 2008 και μετά άρχισε η εγκατάσταση των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του ΕΑΑ, σε πολλά σημεία στην Αττική, και έτσι υπήρχαν δεδομένα για περισσότερες τοποθεσίες. Κυριότερες από όλες είναι οι παράκτιες περιοχές, για τις οποίες, έχουμε δεδομένα από 4 σταθμούς, όσον αφορά τον καύσωνα του Αυγούστου 2012.

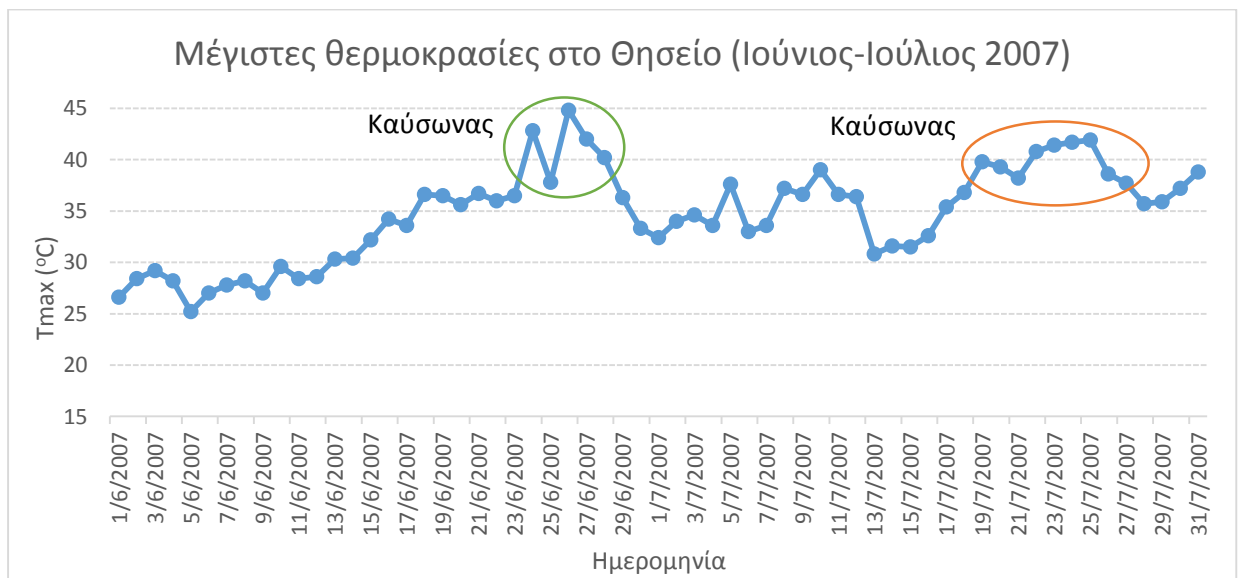
Δεύτερον, διότι την περίοδο 5-8 Αυγούστου παρουσιάστηκαν υψηλότερες μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες σε σχέση με τους άλλους καύσωνες που σημειώθηκαν το 2012.

Παρ'όλα αυτά επιχειρήθηκε και μία ανάλυση του καύσωνα του 2007 (Ιούνιος – Ιούλιος) με δεδομένα από πολύ λιγότερους σταθμούς. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από τους συμβατικούς σταθμούς της ΕΜΥ. Μετρήσεις για παράκτια περιοχή διαθέτουμε μόνο από το σταθμό του Ελληνικού, οπότε η ανάλυση δεν είναι εκτενής.

Στα παρακάτω σχήματα, απεικονίζονται οι μέγιστες θερμοκρασίες του αέρα, στο σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο, για τις περιόδους 1/7/2012 – 31/8/2012 και 1/6/2007 – 31/7/2007. Πάνω στα σχήματα είναι σημειωμένα τα επεισόδια καύσωνα που παρατηρήθηκαν.

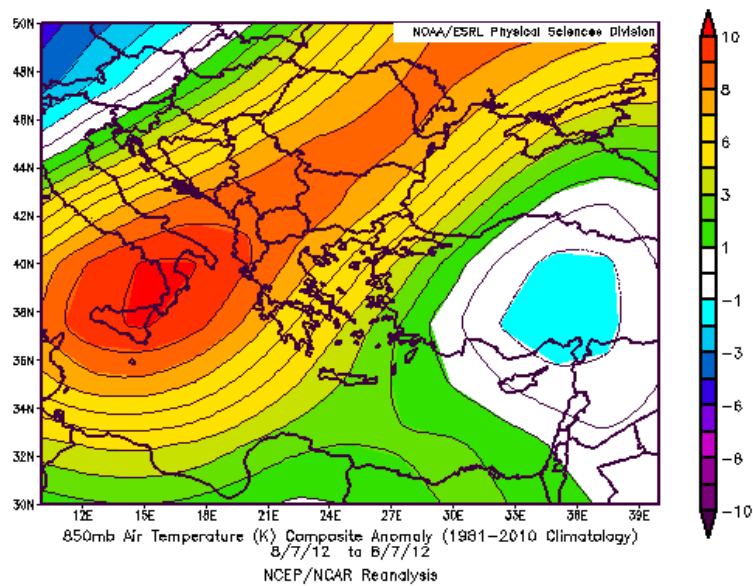


Σχήμα 3.1: Μέγιστες θερμοκρασίες στο Θησείο για την περίοδο 1/7/2012 – 31/8/2012. Με κύκλο σημειώνονται τα επεισόδια καύσωνα

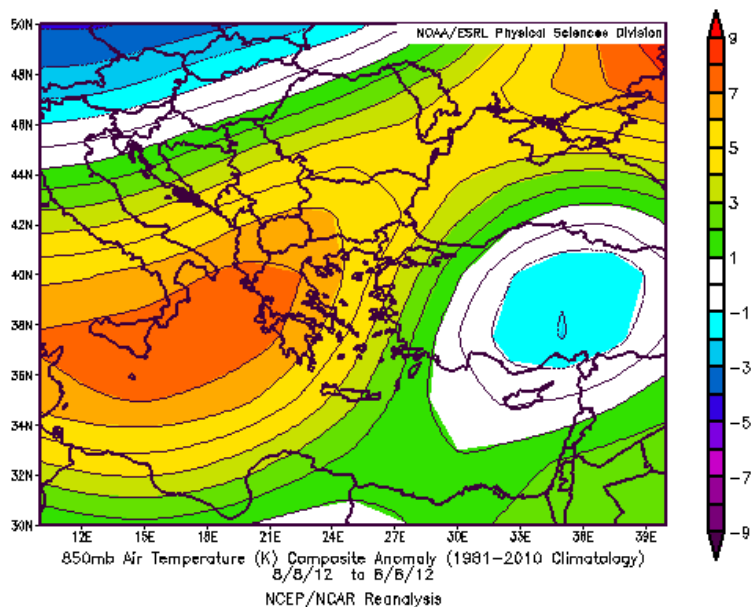


Σχήμα 3.2: Μέγιστες θερμοκρασίες στο Θησείο για την περίοδο 1/6/2007 – 31/7/2007. Με κύκλο σημειώνονται τα επεισόδια καύσωνα

Στις παρακάτω εικόνες των συνοπτικών συνθηκών, για την 7^η και 8^η Αυγούστου του 2012, βλέπουμε τις ανωμαλίες που παρουσιάζονται εκείνες τις ημέρες στο πεδίο των θερμοκρασιών. Σύμφωνα με τα στοιχεία της βάσης πλεγματικών δεδομένων NCEP/NCAR, το πεδίο θερμοκρασίας στα 850 hPa παρουσίασε πολύ σημαντικές αποκλίσεις (anomalies) από τη μέση κλιματική τιμή (1981-2010) κατά τις ημέρες του καύσωνα, εκτεινόμενες κατά μήκος του άξονα από Δυτικά προς ΒΑ της Ελλάδας.



Εικόνα 6 : Πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας αέρα στα στα 850hPa για τις 7 Αυγούστου του 2012 (Πηγή: NCEP/NCAR)



Εικόνα 7: Πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας αέρα στα στα 850hPa για τις 8 Αυγούστου του 2012 (Πηγή: NCEP/NCAR)

Το κέντρο των ανωμαλιών κατά την περίοδο 7-8 Αυγούστου βρισκόταν στη Νότια Ιταλία με αποκλίσεις που έφτασαν μέχρι και +10 °C και μέχρι +7 °C στην Κεντρική Ελλάδα (Εικόνα 1 και Εικόνα 2). Το πεδίο ανέμου για τις ίδιες μέρες, στα 850 hPa υπέδειξε μεταφορά αερίων μαζών από ΒΑ διευθύνσεις.

3.1.2 Περιγραφή μετεωρολογικών σταθμών

Στην προσπάθεια να αναλυθεί το επεισόδιο καύσινα (5/8-8/8) του καλοκαιριού του 2012 στην Αθήνα, είναι ζωτικής σημασίας να χρησιμοποιηθούν μετεωρολογικοί σταθμοί με συνεχείς μετρήσεις, χωρίς μετεγκαταστάσεις και μικρές αλλαγές στο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, έγινε χρήση δεδομένων, για αστικούς και μη αστικούς σταθμούς, από το δίκτυο αυτόματων σταθμών του ΕΑΑ. Οι σταθμοί αυτοί περιλαμβάνουν μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος, υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου και βροχόπτωσης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις θερμοκρασίας και ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου. Η συχνότητα των μετρήσεων είναι ανα δεκάλεπτο ή δεκαπεντάλεπτο, παρ'όλα αυτά για τις ανάγκες της εργασίας έγινε χρήση μόνο των ωριαίων τιμών.

Πρόκειται για ένα δίκτυο 19 σταθμών (μαζί με το Θησείο και την Πεντέλη που είναι παλαιότεροι σταθμοί). Οι αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί του ΕΑΑ βρίσκονται στις εξής περιοχές:

Θησείο (1995-2014), Πεντέλη (1999-2014), Μαρκόπουλο (2007-2014), Τανάγρα (2007-2013), Ψυχικό (2008-2014), Γκάζι (2008-2014), Κάντζα (2008-2014), Αμπελόκηποι (2009-2014), Σπάτα (2009-2014), Λαύριο (2009-2014), Αυλίδα (2009-2013), Μαρούσι (2010-2014), Διόνυσος (2010-2013), Εκάλη (2010-2013), Άνω Λιόσια (2011-2014), Νέα Μάκρη (2011-2014), Νέος Κόσμος (2011-2014), Ανάβυσσος (2012-2014), Φάληρο (2012-2014).

Οι σταθμοί στο Γκάζι, στο Ψυχικό, στους Αμπελόκηπους, στο Μαρούσι, στο Νέο Κόσμο και φυσικά στο Θησείο, επιλέχθηκαν ώστε να εκπροσωπήσουν τις αστικές συνθήκες, καθώς βρίσκονται μέσα στον αστικό ιστό.

Οι σταθμοί στο Μαρκόπουλο, στην Κάντζα, στα Σπάτα και στα Άνω Λιόσια επιλέχθηκαν ώστε να εκπροσωπήσουν τις προαστιακές συνθήκες. Οι σταθμοί αυτοί έχουν αυξημένα ποσοστά αστικοποίησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 15 ετών (κυρίως η Κάντζα), ενώ τα Σπάτα και το Μαρκόπουλο έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές στην κάλυψη των χρήσεων γης, οι οποίες σχετίζονται με την κατασκευή και τις δραστηριότητες του αεροδρομίου της Αθήνας, που μεταφέρθηκε στην περιοχή το 2002.

Οι σταθμοί της Τανάγρας (περίπου 50 χιλιόμετρα βορειοδυτικά της Αθήνας) και της Αυλίδας (περίπου 55 χιλιόμετρα βορειοδυτικά) επιλέχθηκαν, ώστε να εκπροσωπήσουν τις επαρχιακές (αγροτικές) συνθήκες.

Οι σταθμοί στο Λαύριο, στο Φάληρο, στην Ανάβυσσο και στη Νέα Μάκρη επελέγησαν, ώστε να εκπροσωπούν τις παράκτιες συνθήκες. Σε μεταγενέστερο στάδιο της εργασίας, θα γίνει σύγκριση της έντασης της ΑΘΝ σε αυτούς τους σταθμούς με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, ώστε να διαπιστωθεί πως επηρεάζει η θαλάσσια αύρα την ΑΘΝ, κατά τη διάρκεια ενός καυσωνικού επεισοδίου.

Τέλος, οι σταθμοί στην Εκάλη, στο Διόνυσο και στην Πεντέλη επιλέχθηκαν ώστε να εκπροσωπήσουν τις ορεινές συνθήκες. Οι σταθμοί βρίσκονται στους πρόποδες του όρους Πεντέλη και ανήκουν στα πράσινα προάστια, βόρεια της Αθήνας.

Στον πίνακα 3.2 υπάρχουν κάποιες επιπρόσθετες πληροφορίες για την τοποθεσία και το υψόμετρο των σταθμών.

Πίνακας 3.2: Πληροφορίες για τους μετεωρολογικούς σταθμούς

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Τοποθέτηση
Γκάζι	50	Οροφή κτιρίου
Αμπελόκηποι	136	Οροφή κτιρίου
Ανάβυσσος	10	Έδαφος
Άνω Λιόσια	182	Οροφή κτιρίου
Αυλίδα	16	Έδαφος
Διόνυσος	575	Οροφή κτιρίου

Εκάλη	357	Οροφή κτιρίου
Κάντζα	221	Έδαφος
Λαύριο	3	Οροφή κτιρίου
Μαρκόπουλο	104	Οροφή κτιρίου
Μαρούσι	235	Οροφή κτιρίου
Νέος Κόσμος	85	Οροφή κτιρίου
Νέα Μάκρη	25	Οροφή κτιρίου
Πεντέλη	495	Έδαφος
Σπάτα	144	Έδαφος
Τανάγρα	140	Έδαφος
Φάληρο	51	Οροφή κτιρίου
Ψυχικό	209	Οροφή κτιρίου

Όσον αφορά την ανάλυση του καύσωνα του 2007, έγινε χρήση δεδομένων από τη Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Πιο συγκεκριμένα, έγινε χρήση ωριαίων τιμών της θερμοκρασίας από 5 συμβατικούς σταθμούς της ΕΜΥ, αστικούς και μη αστικούς, που καλύπτουν ένα ικανοποιητικό εύρος της Αττικής. Σε αυτούς τους σταθμούς προστέθηκαν και τα δεδομένα από τους σταθμούς του Θησείου και της Πεντέλης, από το ΕΑΑ, οι οποίοι έχουν δεδομένα για εκείνη την περίοδο. Οι αυτόματοι σταθμοί του ΕΑΑ δεν χρησιμοποιήθηκαν, διότι δεν διαθέτουν δεδομένα για εκείνη την περίοδο.

Για την παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σταθμοί με διαθέσιμα μακροπρόθεσμα δεδομένα θερμοκρασίας: ο αστικός σταθμός της Νέας Φιλαδέλφειας, ο παράκτιος αστικός σταθμός του Ελληνικού, ο σταθμός του Τατοΐου στα βόρεια προάστια της πόλης που επιλέχθηκε να εκπροσωπήσει τις προαστιακές συνθήκες, και ο σταθμός της Τανάγρας, ο οποίος επιλέχθηκε για να αντιπροσωπεύσει τις επαρχιακές (αγροτικές) συνθήκες. Τέλος, ο σταθμός της Ελευσίνας που βρίσκεται σε μια βιομηχανική περιοχή χρησιμοποιήθηκε επίσης, και αποδίδεται ως προαστιακός σταθμός. Όλοι οι σταθμοί αποτελούν ένα πρότυπο δίκτυο σταθερών σταθμών, με όλα τα όργανα

να είναι του ίδιου τύπου και σε ύψος 1,5 μέτρα πάνω από το έδαφος (Founda et al., 2015).

Τα υψόμετρα των σταθμών της ΕΜΥ είναι τα εξής: Νέα Φιλαδέλφεια 136 μέτρα, Ελληνικό 43 μέτρα, Τατόι 225 μέτρα, Τανάγρα 140 μέτρα, Ελευσίνα 20 μέτρα.

Στην παρακάτω εικόνα του νομού Αττικής, φαίνονται η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, τα προάστια της καθώς και οι επαρχιακές περιοχές. Εδώ απεικονίζεται η τοποθεσία του κάθε σταθμού που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 8: Χάρτης της περιοχής μελέτης. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι αυτόματοι σταθμοί του ΕΑΑ, ενώ με κίτρινο οι συμβατικοί σταθμοί της ΕΜΥ

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

4.1 Ανάλυση του επεισοδίου καύσωνα του 2012

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας από 19 σταθμούς, η περιγραφή των οποίων έγινε στις προηγούμενες σελίδες.

Για την υλοποίηση αυτής της ανάλυσης επελέγη ο σταθμός του Θησείου ως σταθμός αναφοράς. Στη συνέχεια, υπολογίσθηκε η ένταση της ΑΘΝ για κάθε ημέρα και σε κάθε σταθμό. Ως ένταση της ΑΘΝ έχει θεωρηθεί η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα (ΔT) μεταξύ του αστικού σταθμού του ΕΑΑ στο Θησείο και οποιουδήποτε άλλου σταθμού. Για παράδειγμα, η ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη ορίζεται ως η θερμοκρασία του αέρα μεταξύ του αστικού σταθμού (Θησείο) και του ορεινού σταθμού (Πεντέλη) και υπολογίζεται από τη σχέση $\Delta T = T(\Theta\text{Σ.}) - T(\text{ΠΕΝ.})$. Ο υπολογισμός της έντασης της ΑΘΝ έγινε για τρεις διαφορετικές περιόδους, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το καυσωνικό επεισόδιο.

Έτσι, η ένταση της ΑΘΝ υπολογίσθηκε για τις ημερομηνίες:

A) 1/8/2012 – 4/8/2012 (πριν)

B) 5/8/2012 – 8/8/2012 (κατά τη διάρκεια)

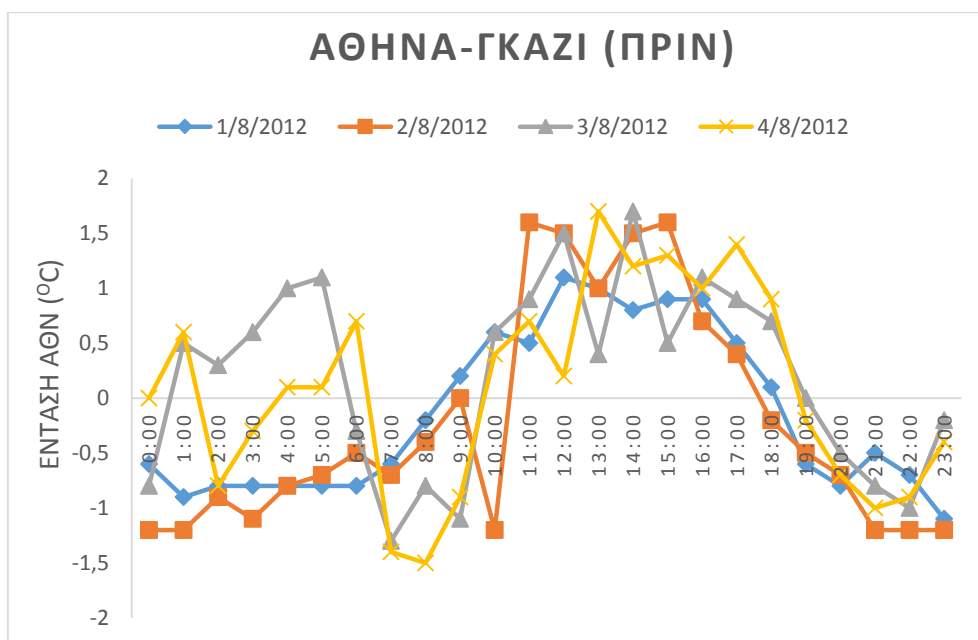
Γ) 11/8/2012 – 14/8/2012 (μετά)

Μετά τον υπολογισμό της έντασης, κατασκευάστηκαν κάποια διαγράμματα, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση της έντασης της ΑΘΝ για τις τρεις διαφορετικές περιόδους και να διαπιστωθεί πώς συμπεριφέρεται η ΑΘΝ κατά την περίοδο του καύσωνα. Στις επόμενες σελίδες θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης, με τη μορφή διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα θα παρατεθούν με βάση τις συνθήκες που αντιπροσωπεύει ο κάθε σταθμός (αστικός, προαστιακός κλπ.)

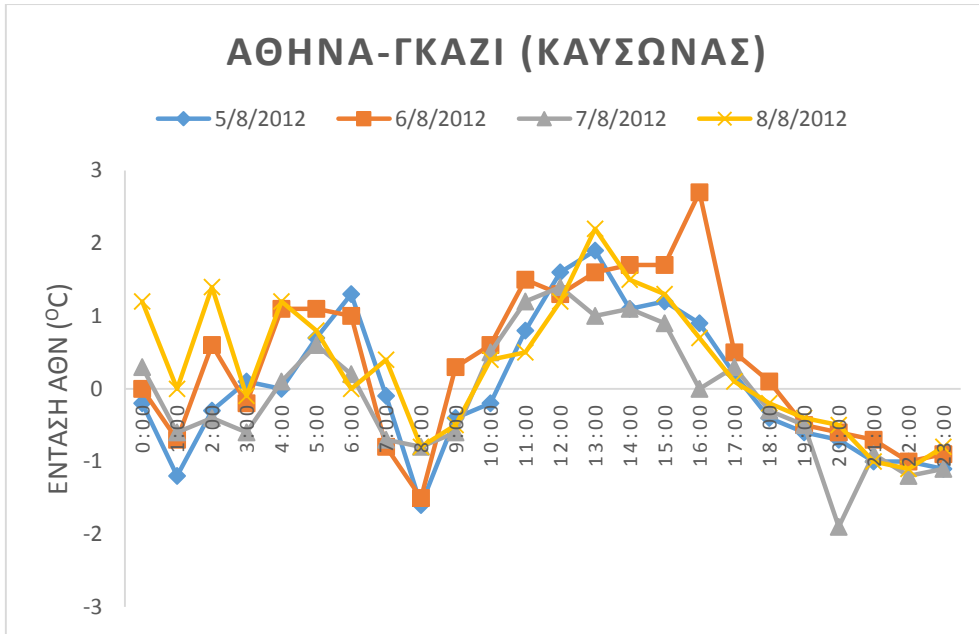
4.1.1 Αστικοί σταθμοί

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παραθέσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους αστικούς σταθμούς στο Γκάζι, στο Ψυχικό, στους Αμπελόκηπους, στο Μαρούσι, στο Νέο Κόσμο.

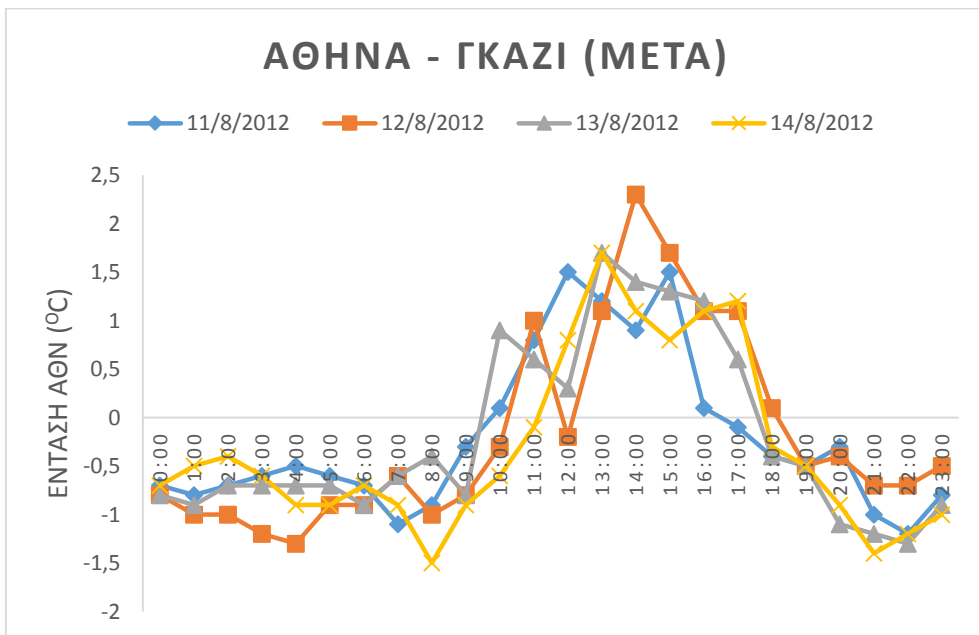
Πιο αναλυτικά, για τον σταθμό στο Γκάζι έχουμε:



Σχήμα 4.1: Ένταση της ΑθN στο Γκάζι πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου του 2012

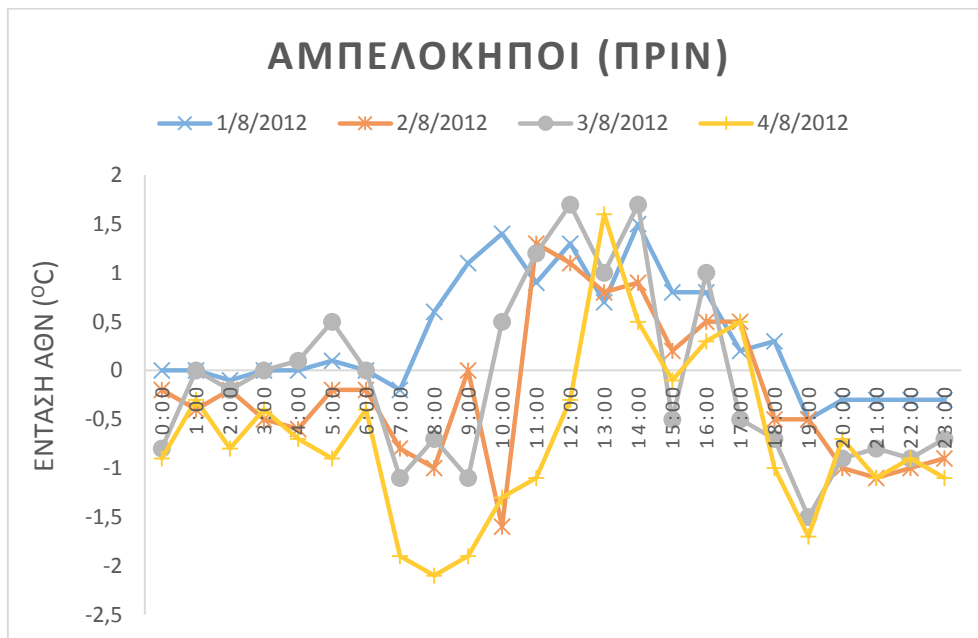


Σχήμα 4.2: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

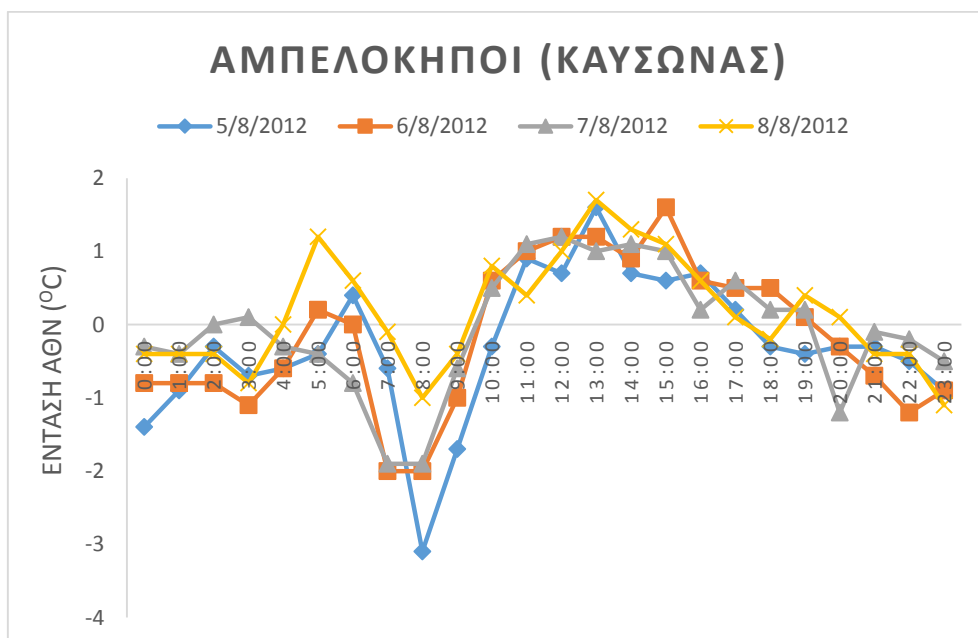


Σχήμα 4.3: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

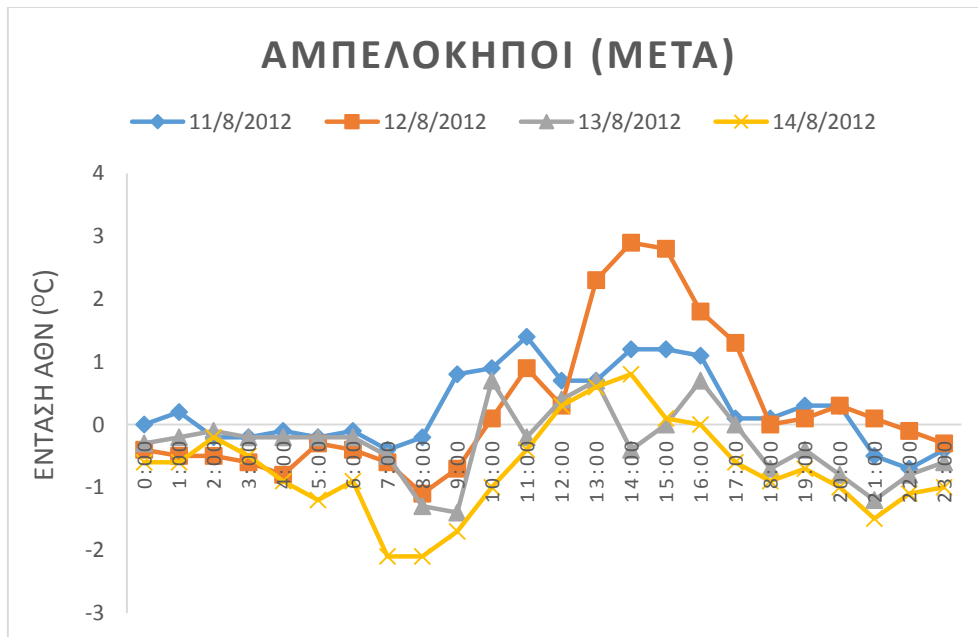
Αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός στους Αμπελοκήπους:



Σχήμα 4.4: Ένταση της ΑΘΝ στους Αμπελοκήπους πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

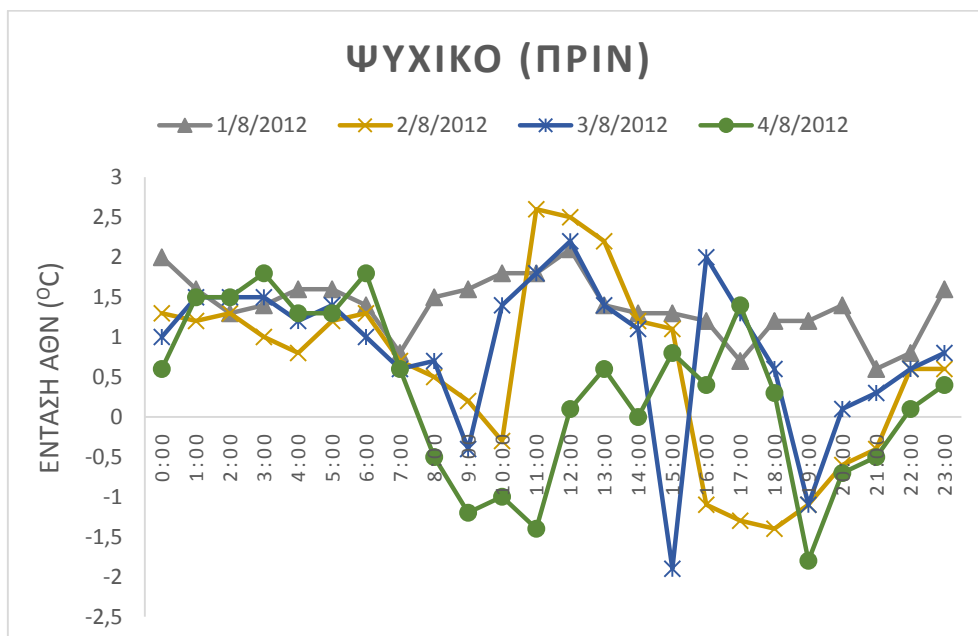


Σχήμα 4.5: Ένταση της ΑΘΝ στους Αμπελοκήπους κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

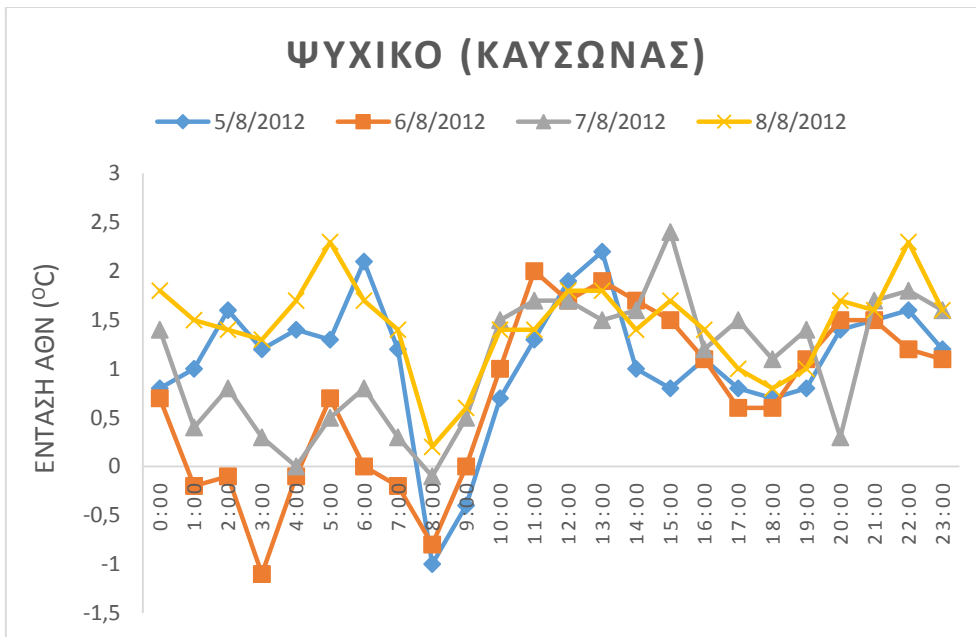


Σχήμα 4.6: Ένταση της ΑΘΝ στους Αμπελοκήπους μετά την πάροδο του καύσινα του Αυγούστου 2012

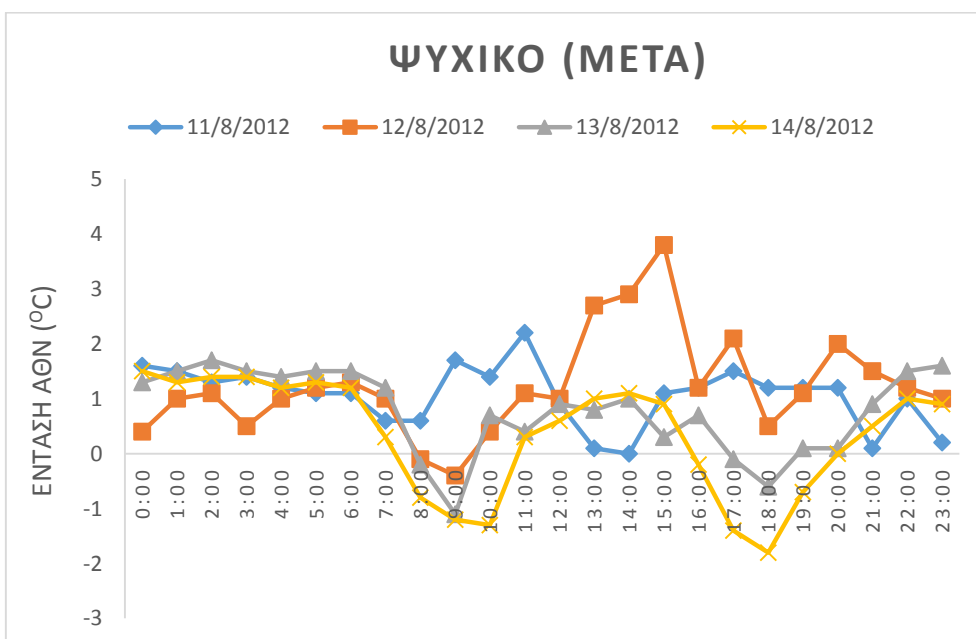
Αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός στο Ψυχικό:



Σχήμα 4.7: Ένταση της ΑΘΝ στο Ψυχικό πριν την εμφάνιση του καύσινα του Αυγούστου 2012

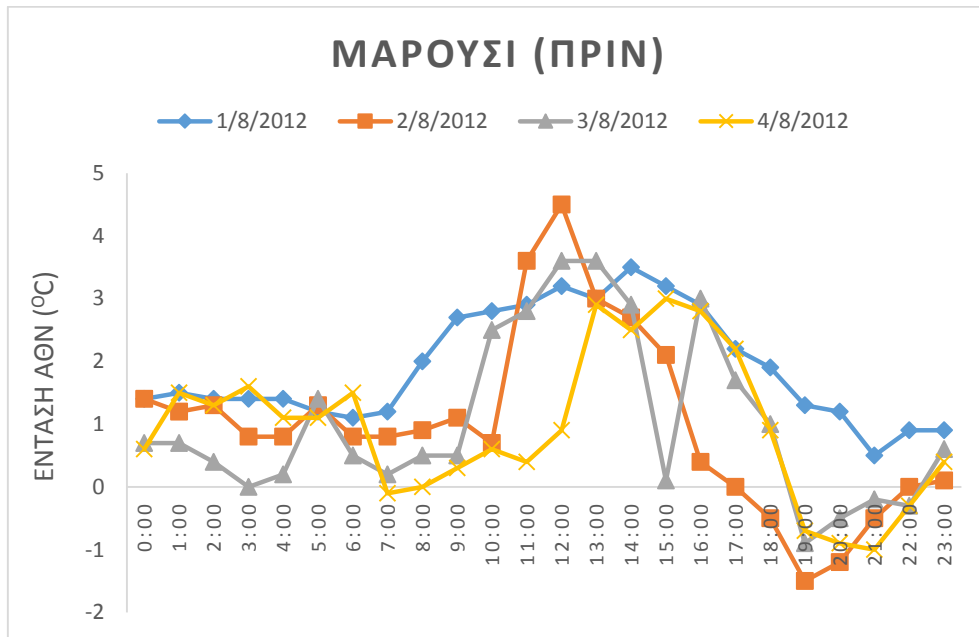


Σχήμα 4.8: Ένταση της ΑΘΝ στο Ψυχικό κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

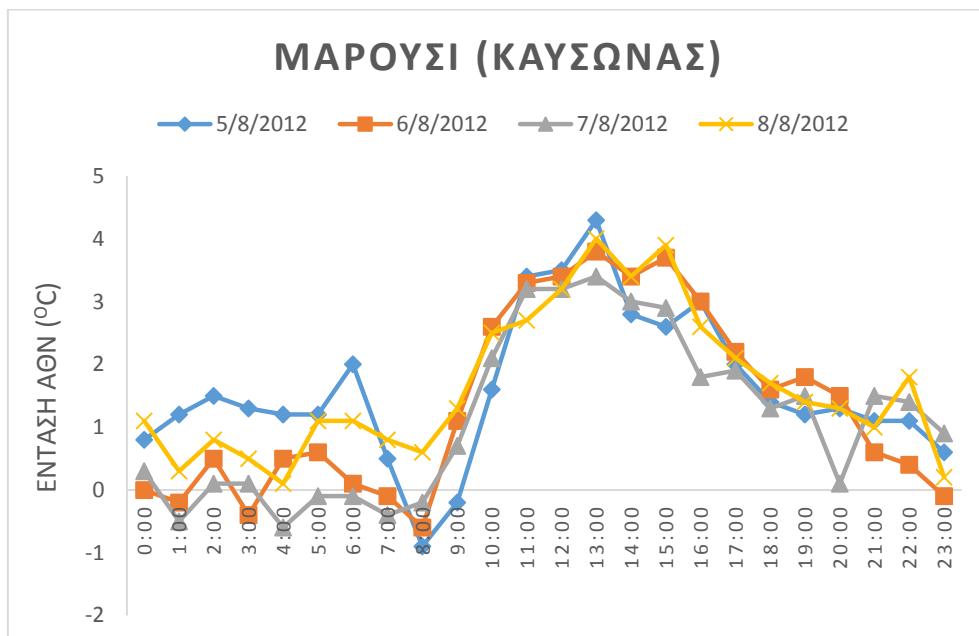


Σχήμα 4.9: Ένταση της ΑΘΝ στο Ψυχικό μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

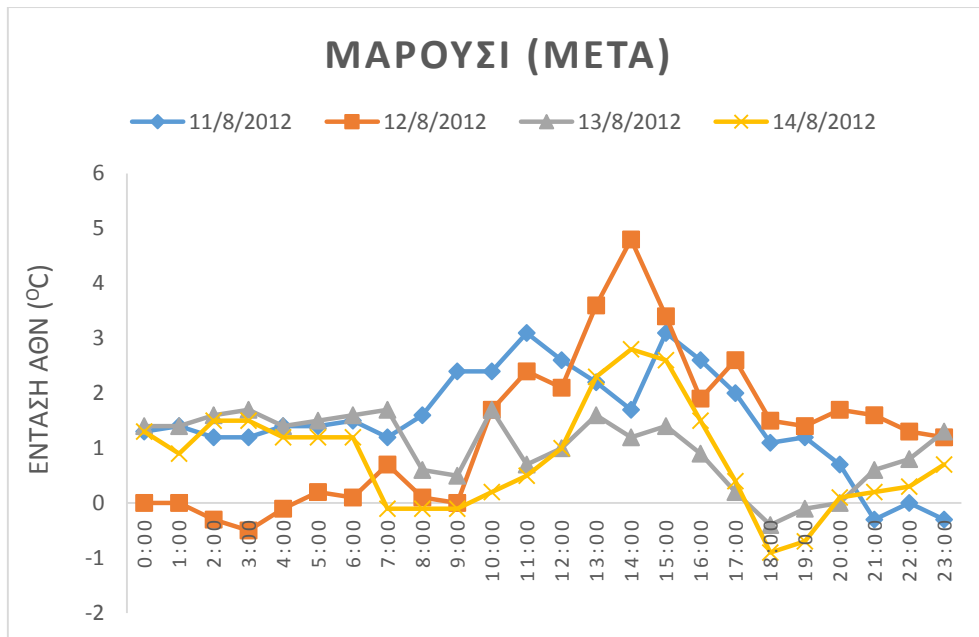
Αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός στο Μαρούσι:



Σχήμα 4.10: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρούσι πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

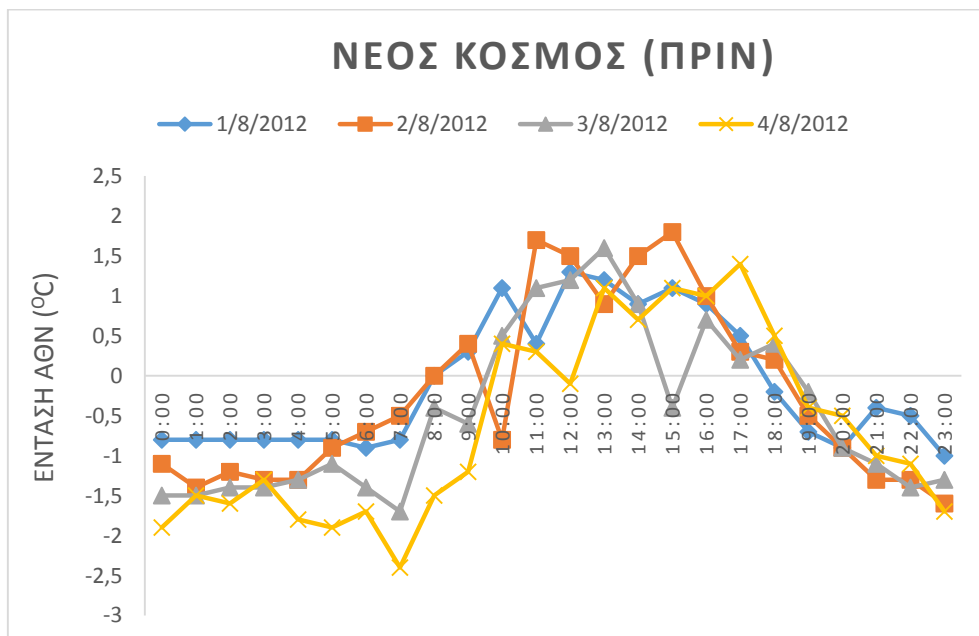


Σχήμα 4.11: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρούσι κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

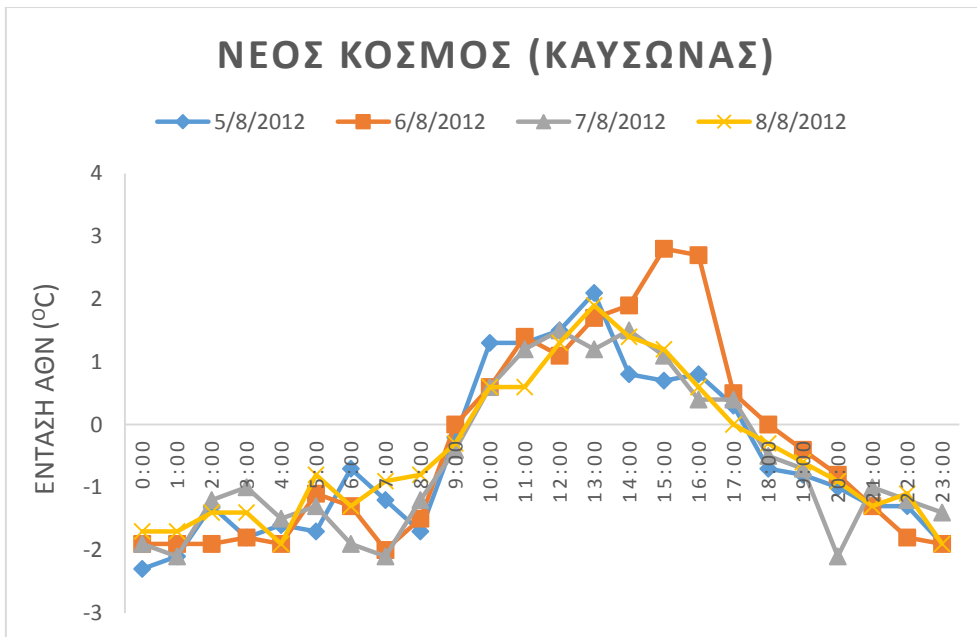


Σχήμα 4.12: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρούσι μετά την πάροδο του καύσινα του Αυγούστου 2012

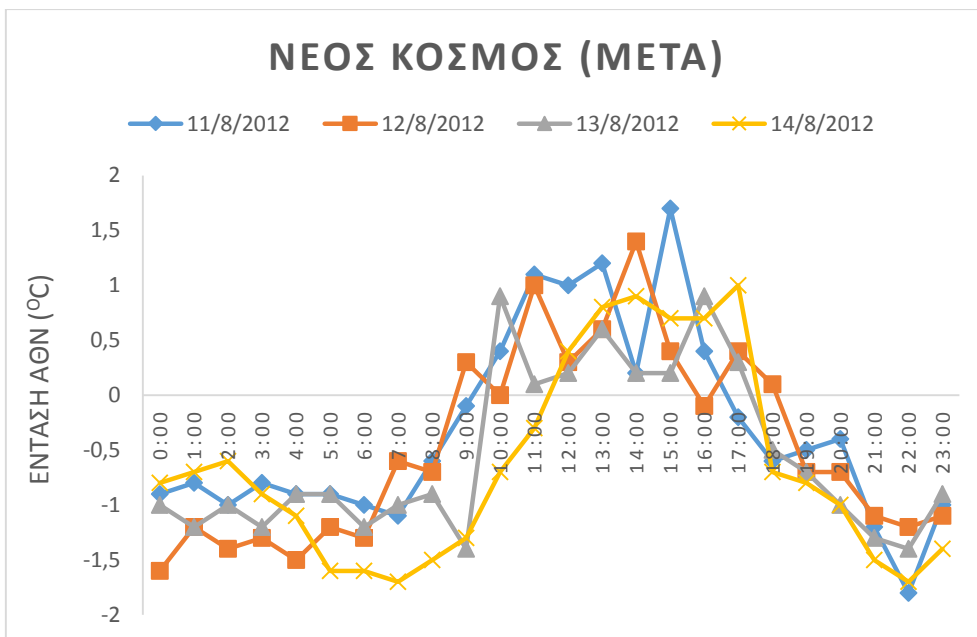
Αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός στο Νέο Κόσμο:



Σχήμα 4.13: Ένταση της ΑΘΝ στο Νέο Κόσμο πριν την εμφάνιση του καύσινα του Αυγούστου 2012



Σχήμα 4.14: Ένταση της ΑΘΝ στο Νέο Κόσμο κατά τη διάρκεια του καύσινα του Αυγούστου 2012

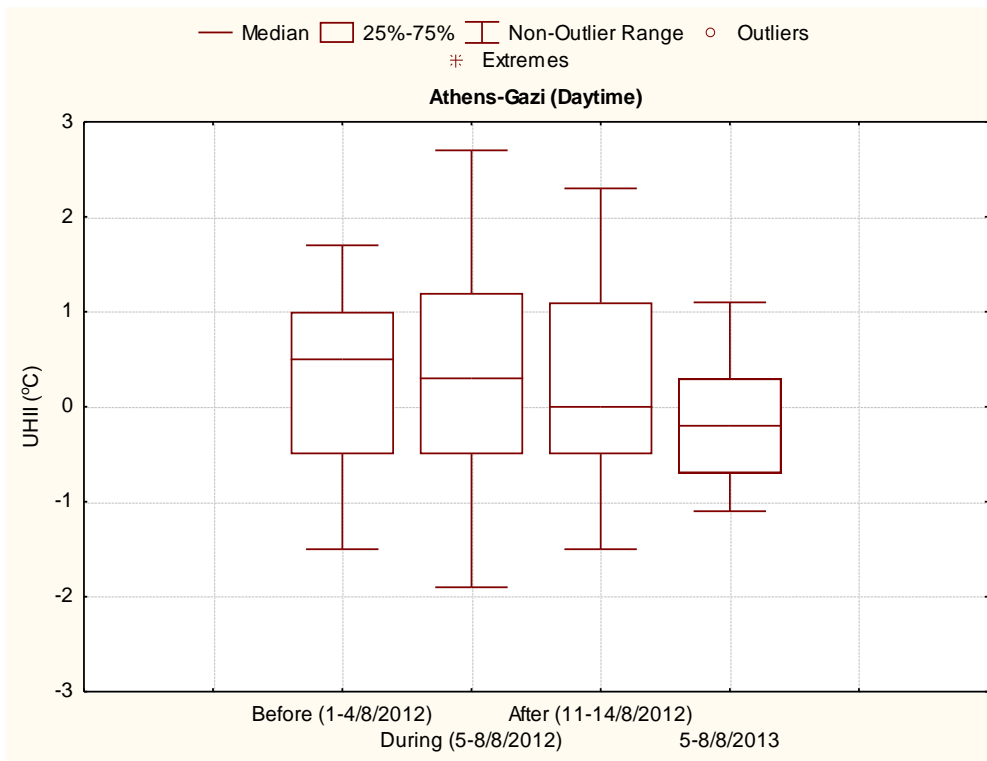


Σχήμα 4.15: Ένταση της ΑΘΝ στο Νέο Κόσμο μετά την πάροδο του καύσινα του Αυγούστου 2012

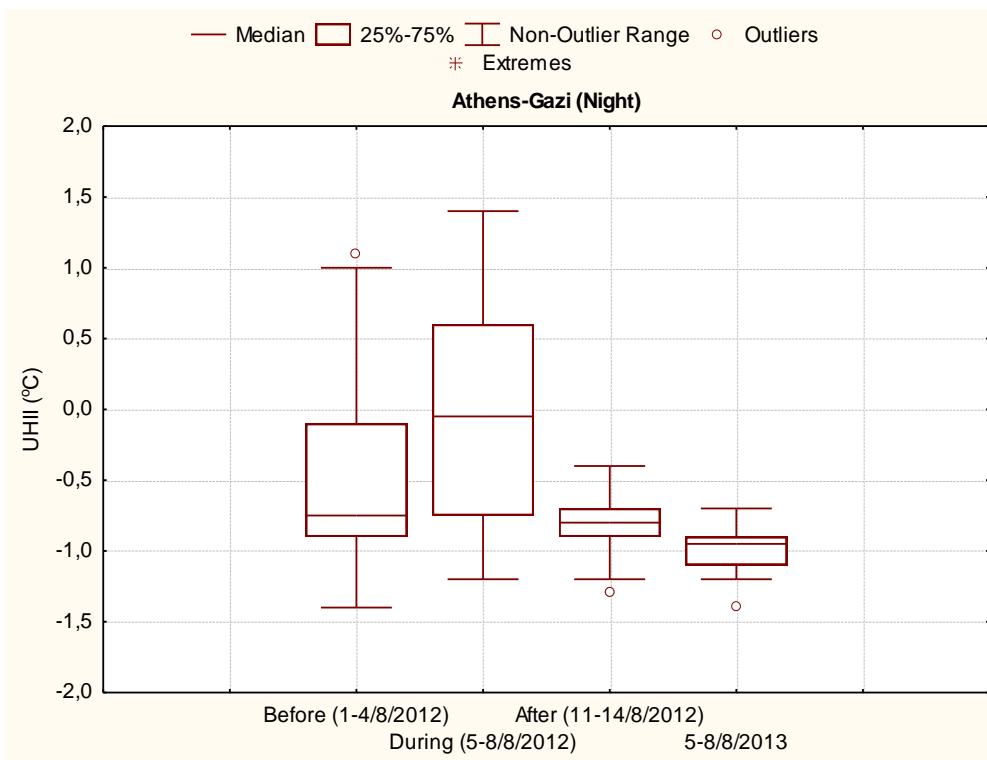
Στους σταθμούς στο Γκάζι και στους Αμπελόκηπους δεν παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα στην ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που είναι λογικό αφού πρόκειται για σταθμούς που βρίσκονται πολύ κοντά στο κέντρο της πόλης. Στους σταθμούς του Ψυχικού, του Αμαρουσίου και του Νέου Κόσμου παρατηρείται μία πολύ μικρή μεταβολή στην ένταση της ΑΘΝ, κυρίως κατά την περίοδο του καύσωνα, τις μεσημεριανές ώρες. Παρ'όλα αυτά η διαφορά της έντασης ανάμεσα στις περιόδους με καύσωνα και στις περιόδους χωρίς καύσωνα είναι πάρα πολύ μικρή. Μία αξιοπρόσεκτη μεταβολή της έντασης της ΑΘΝ εμφανίζεται στο Ψυχικό κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου στις 6 Αυγούστου η θερμοκρασία στην περιοχή αυτή είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στο Θησείο.

Αξιοσημείωτο είναι και ένα φαινόμενο που παρατηρείται στους σταθμούς των Αμπελοκήπων, του Ψυχικού και του Αμαρουσίου και είναι ιδιαίτερα εμφανές κατά την περίοδο του καύσωνα. Εκεί, σημειώνεται απότομη μείωση της έντασης της ΑΘΝ από τις 6 π.μ., περίπου, μέχρι τις 8 π.μ. και στη συνέχεια υπάρχει απότομη ψύξη και αύξηση της ΑΘΝ, από τις 8 π.μ. μέχρι τις 11 π.μ. Ο ρυθμός θέρμανσης αυξάνεται πάρα πολύ σε αυτούς τους σταθμούς, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον σταθμό του Αμαρουσίου, στον οποίο ο ρυθμός θέρμανσης από τις 8 π.μ. μέχρι τις 11 π.μ. είναι περίπου 1,5 °C/hr. Αυτό το φαινόμενο αποτυπώνεται στα σχήματα 4.5, 4.8 και 4.11, με έναν σχηματισμό που μοιάζει με το αγγλικό γράμμα V (V-like σχήμα).

Επίσης, στο Γκάζι παρατηρείται αύξηση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, για την περίοδο του καύσωνα, η οποία, όμως, δεν ξεπερνά ποτέ τους 2 °C. Αυτό είναι εμφανές στα παρακάτω διαγράμματα. Στα διαγράμματα, αυτά φαίνεται και η ένταση της ΑΘΝ τον Αύγουστο του 2013, κατά τον οποίο δεν παρουσιάστηκε επεισόδιο καύσωνα, και η ένταση παρουσιάζει πάρα πολύ μικρές διακυμάνσεις.



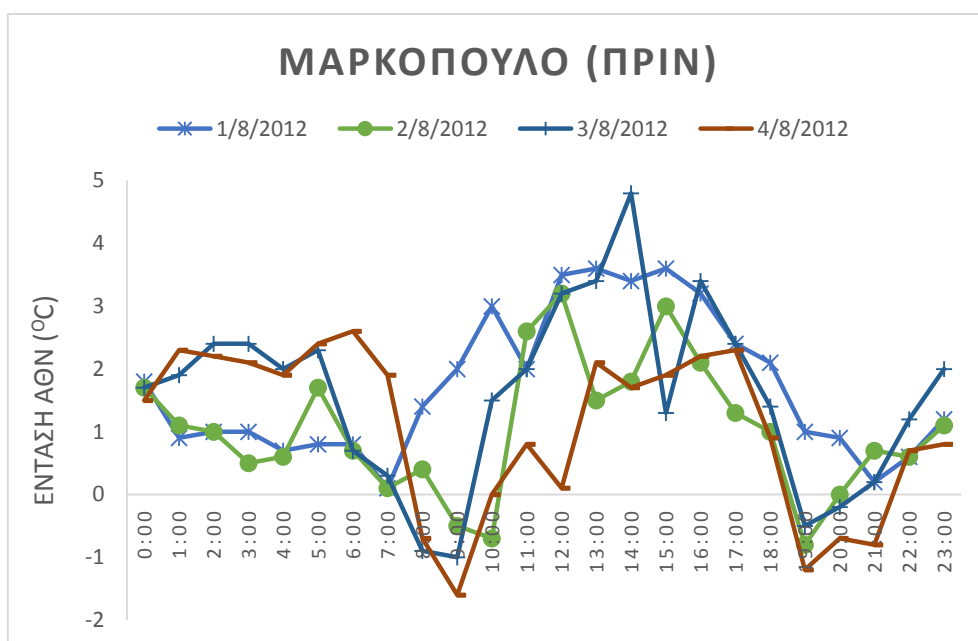
Σχήμα 4.16: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



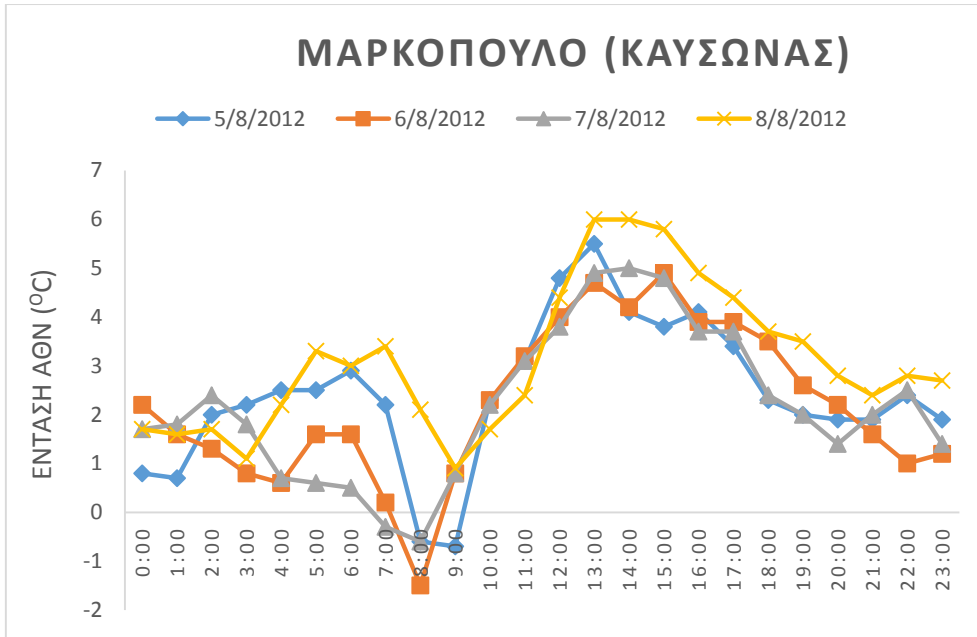
Σχήμα 4.17: Ένταση της ΑΘΝ στο Γκάζι κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013

4.1.2 Προαστιακοί σταθμοί

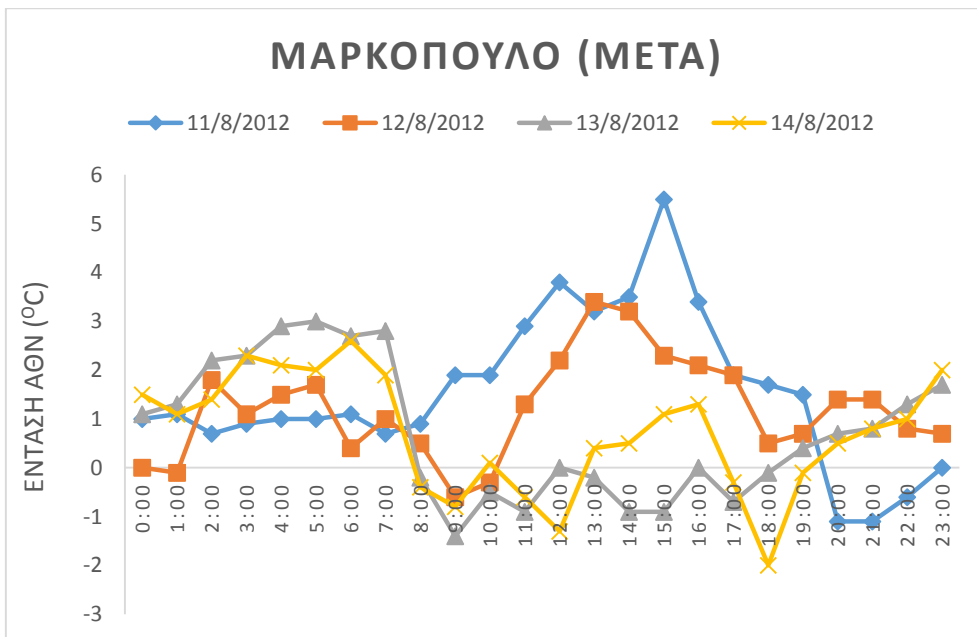
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους προαστιακούς σταθμούς στο Μαρκόπουλο, στην Κάντζα, στα Σπάτα και στα Άνω Λιόσια. Αρχικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στο Μαρκόπουλο:



Σχήμα 4.18: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρκόπουλο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

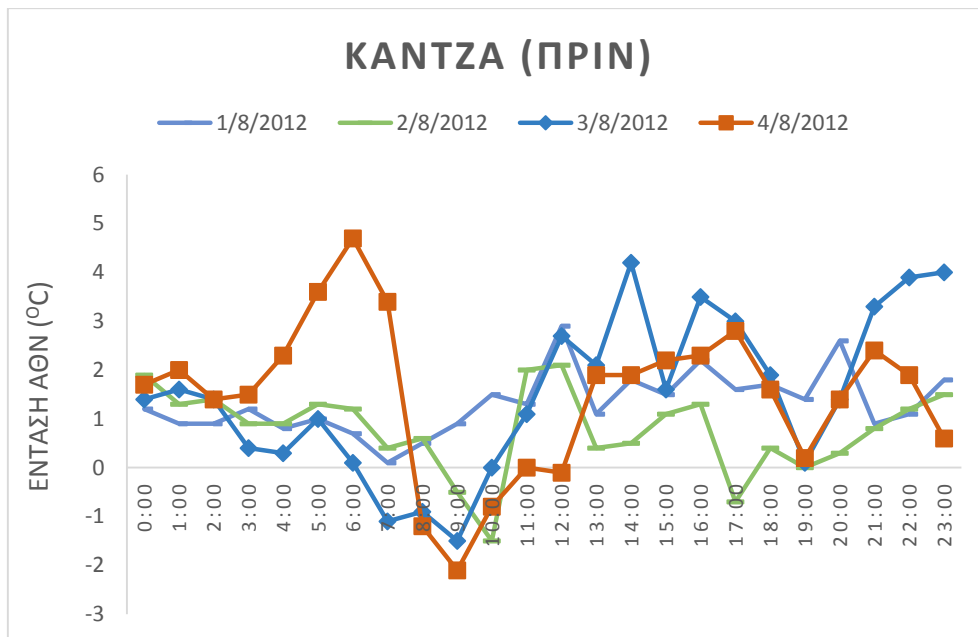


Σχήμα 4.19: Ένταση της ΑθΝ στο Μαρκόπουλο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

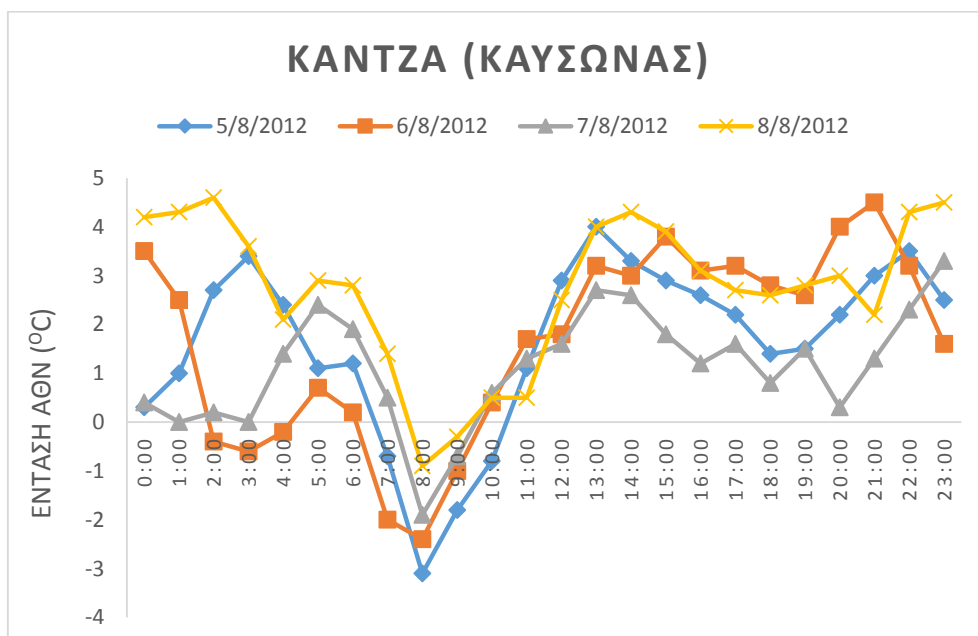


Σχήμα 4.20: Ένταση της ΑθΝ στο Μαρκόπουλο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

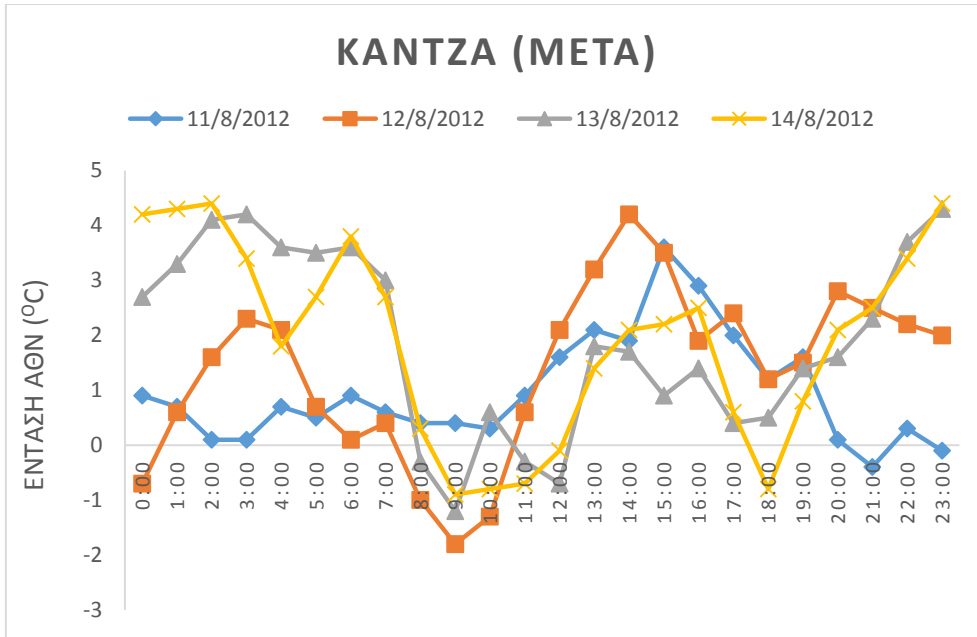
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στην Κάντζα:



Σχήμα 4.21: Ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

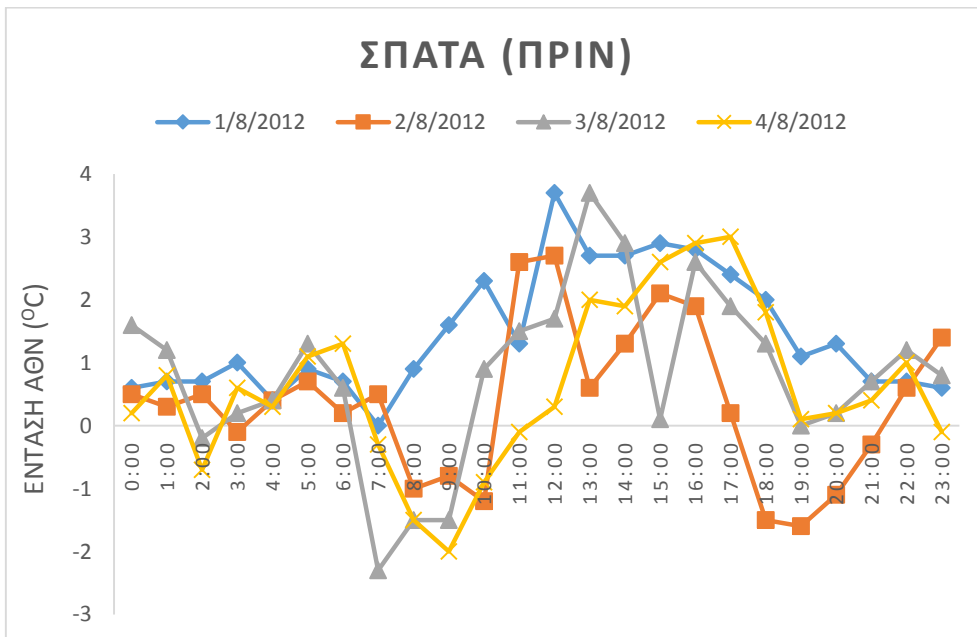


Σχήμα 4.22: Ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

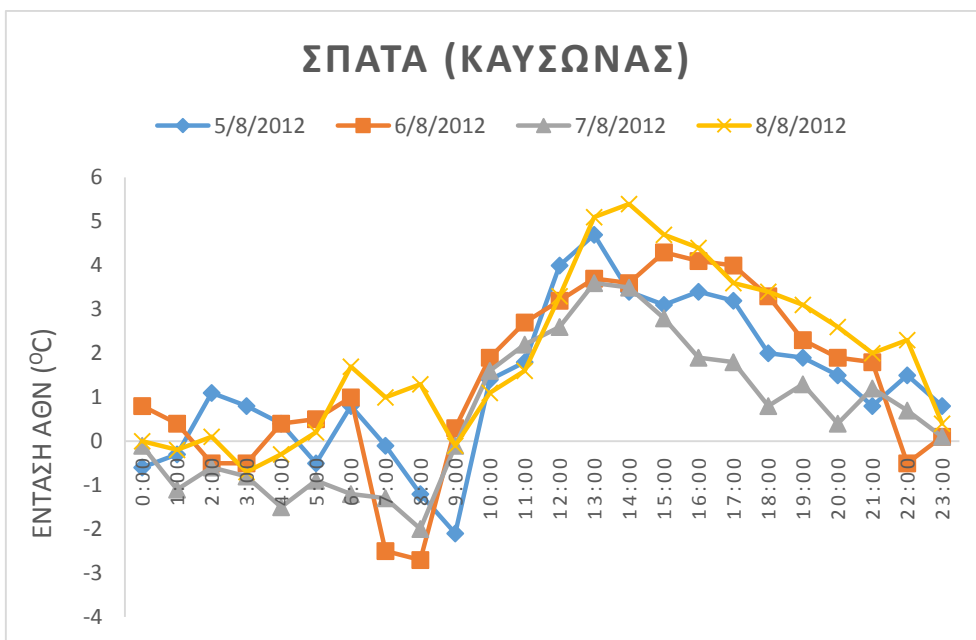


Σχήμα 4.23: Ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα μετά την πάροδο του καύσιωνα του Αυγούστου 2012

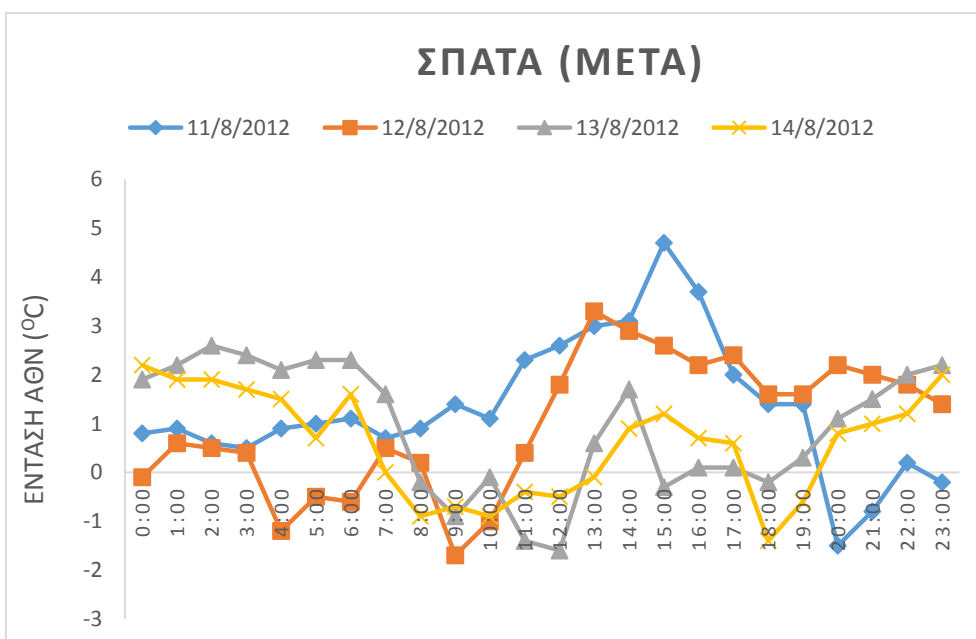
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στα Σπάτα:



Σχήμα 4.24: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα πριν την εμφάνιση του καύσιωνα του Αυγούστου 2012

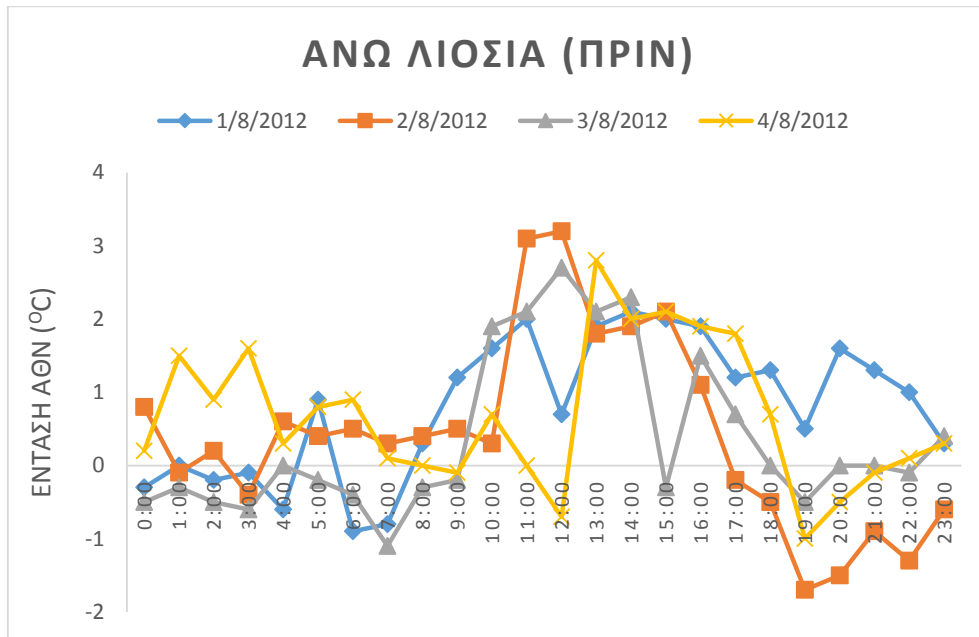


Σχήμα 4.25: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

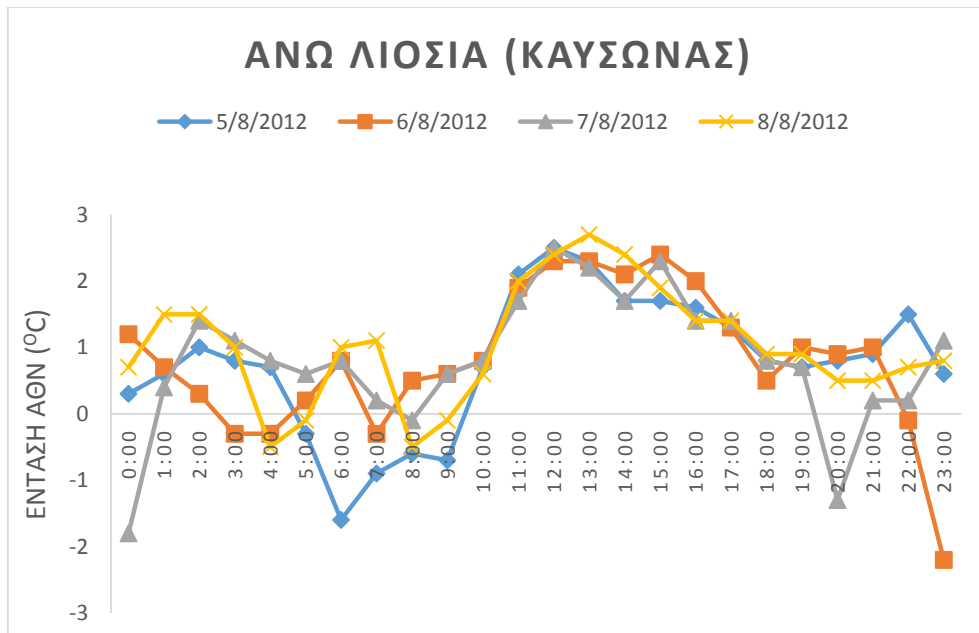


Σχήμα 4.26: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

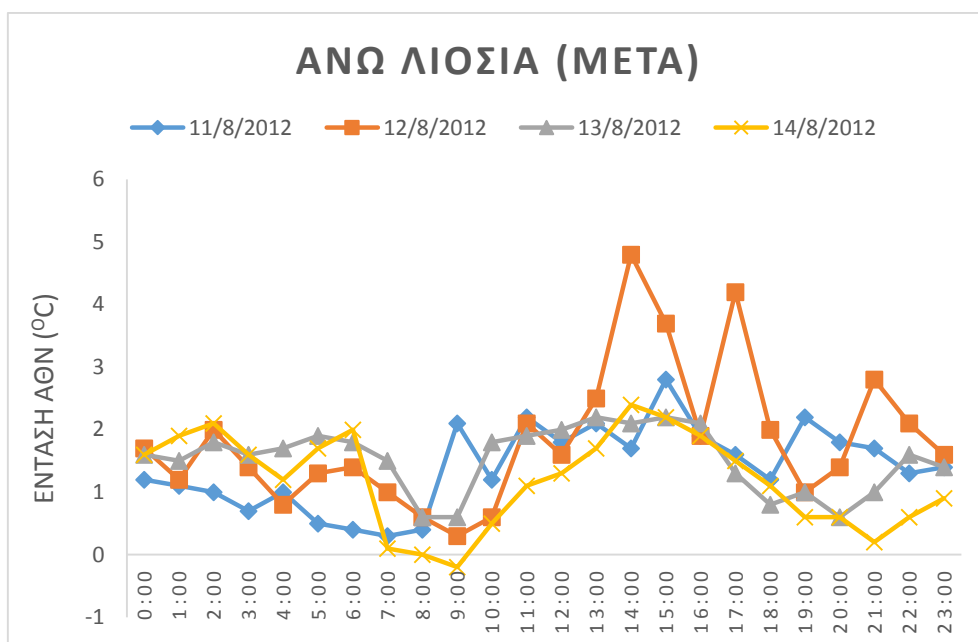
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στα Άνω Λιόσια:



Σχήμα 4.27: Ένταση της ΑΘΝ στα Άνω Λιόσια πριν την εμφάνιση του καύσινα του Αυγούστου 2012



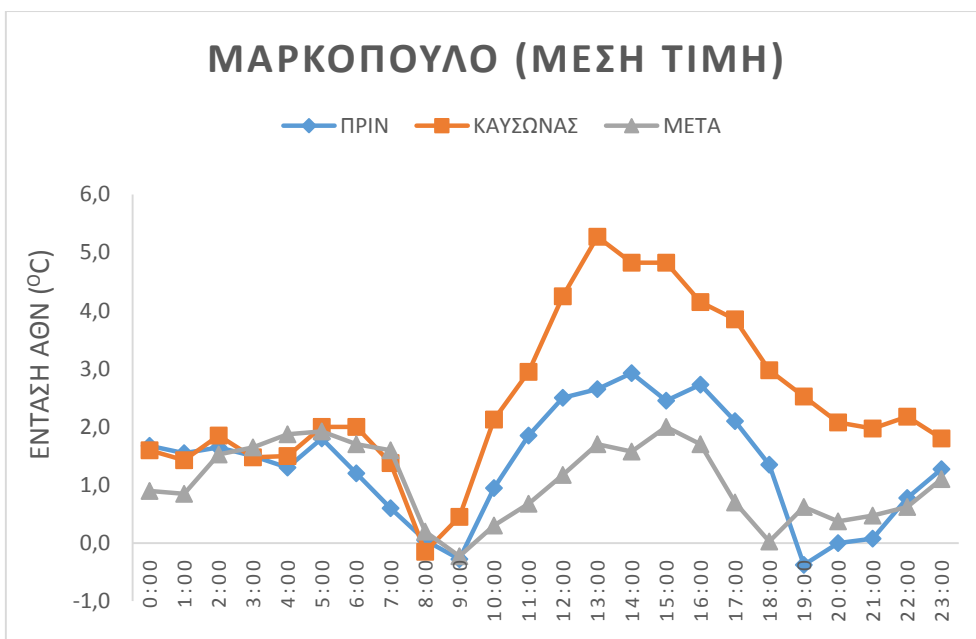
Σχήμα 4.28: Ένταση της ΑΘΝ στα Άνω Λιόσια κατά τη διάρκεια του καύσινα του Αυγούστου 2012



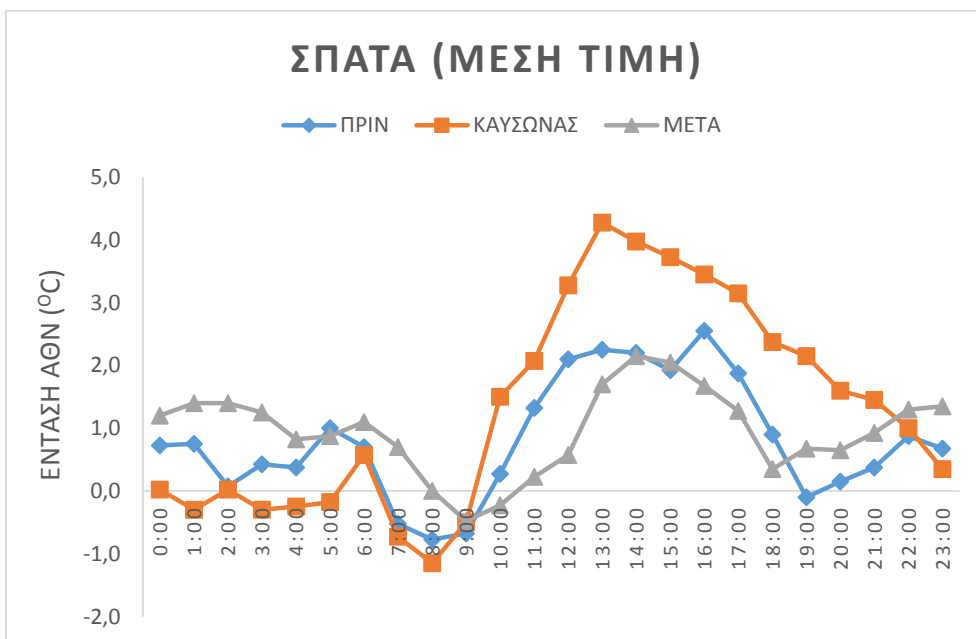
Σχήμα 4.29: Ένταση της ΑΘΝ στα Άνω Λιόσια μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

Η σύγκριση των προαστιακών σταθμών με τον σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο έδειξε σημαντικά υψηλότερες τιμές της μέγιστης έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας (και κυρίως τις μεσημεριανές ώρες), για τις ημέρες του καύσωνα. Αυτό γίνεται ιδιαίτερος αντιληπτό στους σταθμούς των Σπάτων και του Μαρκόπουλου, όπου η ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καύσωνα ξεπερνά τους 5 °C και 6 °C αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα αυτό γίνεται πιο κατανοητό αν υπολογίσουμε τις μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ.

Στα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές ότι η μέση τιμή της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καύσωνα είναι περίπου 2 °C μεγαλύτερη, κυρίως το μεσημέρι, από τις περιόδους χωρίς καύσωνα.



Σχήμα 4.30: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή του Μαρκόπουλου

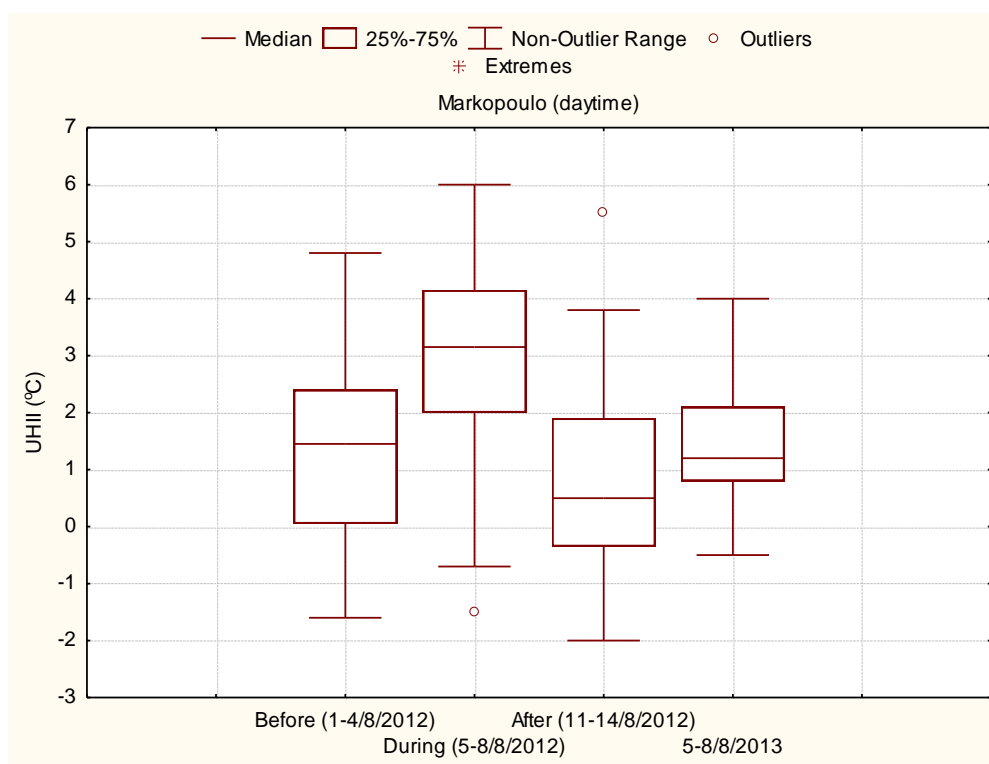


Σχήμα 4.31: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή των Σπατών

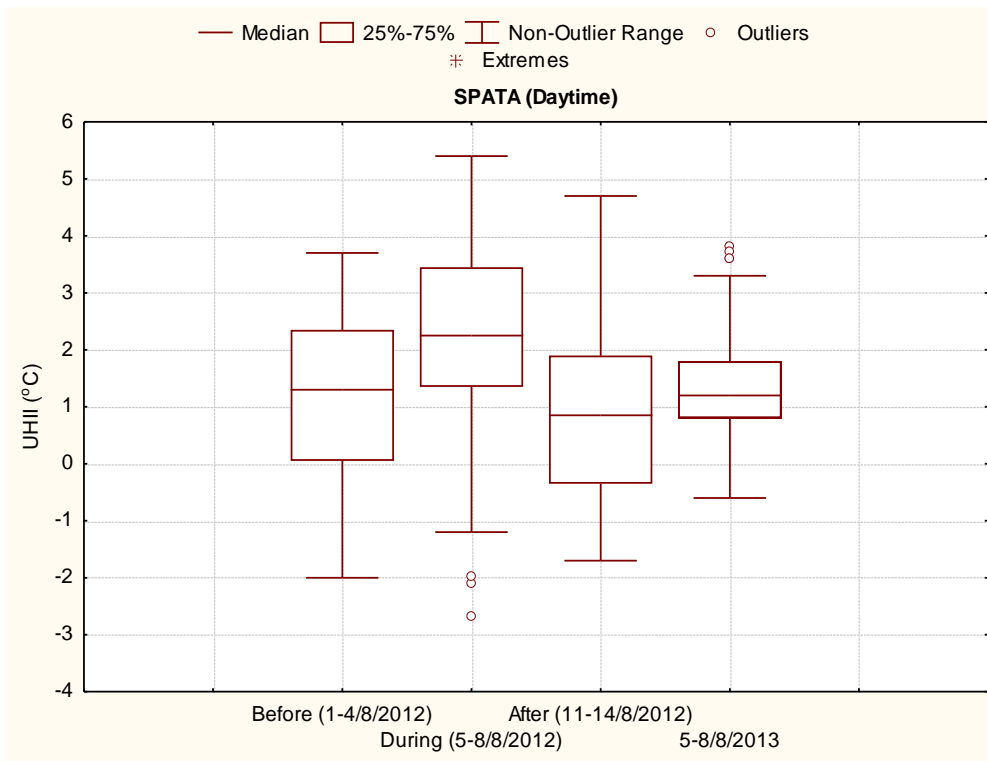
Για να ενισχυθούν τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατίθενται και τα παρακάτω διαγράμματα. Εδώ φαίνεται ότι στο Μαρκόπουλο, η μεταβλητότητα της έντασης της ΑΘΝ μπορεί να ξεπεράσει, σε ορισμένες περιπτώσεις και τους 6 °C κατά την περίοδο του καύσωνα, σε σχέση με τις άλλες δύο περιόδους.

Όσον αφορά τα Σπάτα, υπάρχει και εδώ μία μεταβλητότητα της έντασης της ΑΘΝ, η οποία ξεπερνά σε ορισμένες περιπτώσεις και τους 5 °C. Εδώ παρατηρείται, όμως, και μία μικρή μείωση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία μπορεί να φθάσει και τους 2 °C.

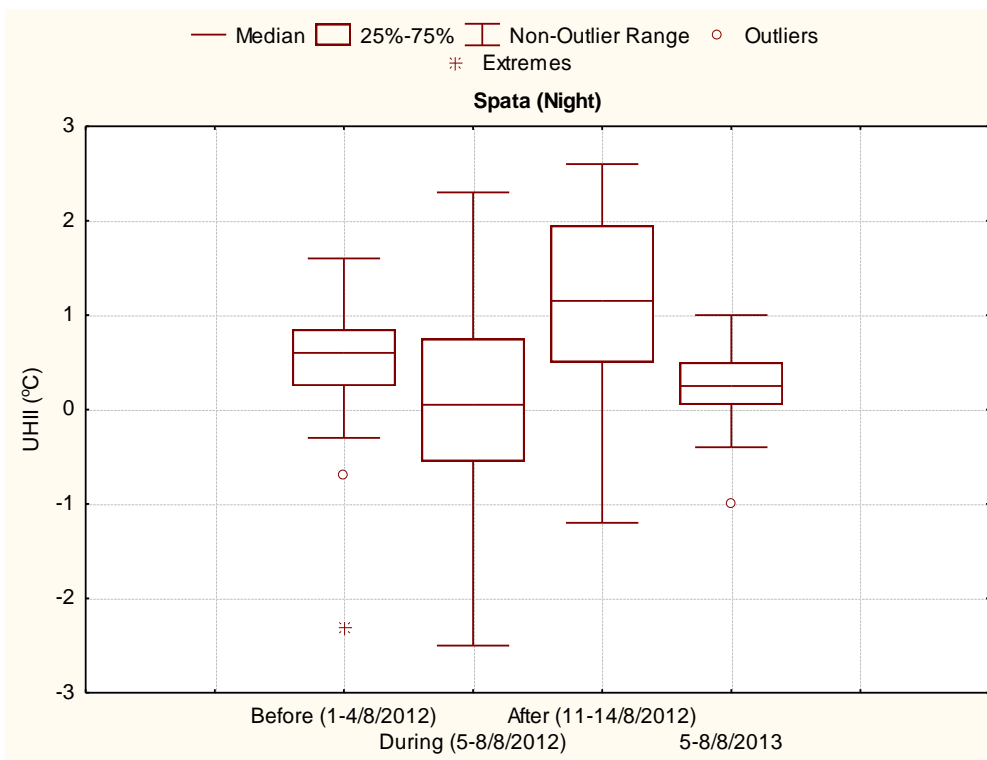
Τέλος, έχει υπολογισθεί και η ένταση της ΑΘΝ για την περίοδο από 5 μέχρι 8 Αυγούστου του 2013, όπου παρουσιάζονται πολύ μικρές αυξομειώσεις, λόγω του ότι το καλοκαίρι του 2013 δεν σημειώθηκε κανένα επεισόδιο καύσωνα.



Σχήμα 4.32: Ένταση της ΑΘΝ στο Μαρκόπουλο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



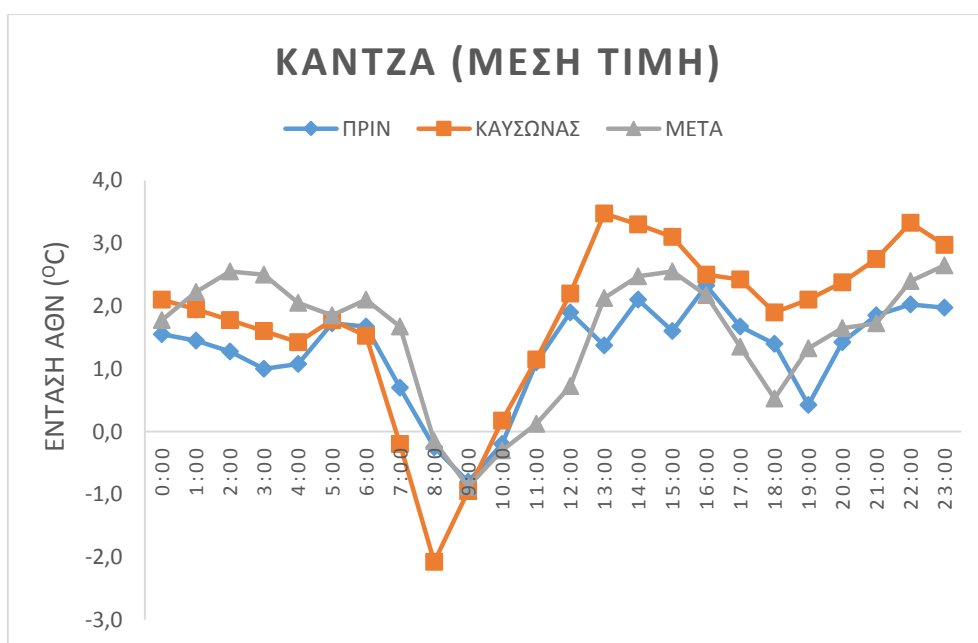
Σχήμα 4.33: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



Σχήμα 4.34: Ένταση της ΑΘΝ στα Σπάτα κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στην περιοχή της Κάντζας, στην περίπτωση αυτή, όμως, η διαφοροποίηση της μέσης τιμής δεν είναι τόσο υψηλή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.35.

Ένα αξιοσημείωτο φαινόμενο στην περιοχή της Κάντζας, είναι και το γεγονός ότι κατά την ανατολή του Ηλίου (5.30 π.μ. – 6 π.μ.) παρατηρείται μία κατακόρυφη αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή, κυρίως κατά την περίοδο του καύσωνα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.22, η ένταση της ΑΘΝ γίνεται αρνητική και φθάνει τους $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, στις 5 Αυγούστου.



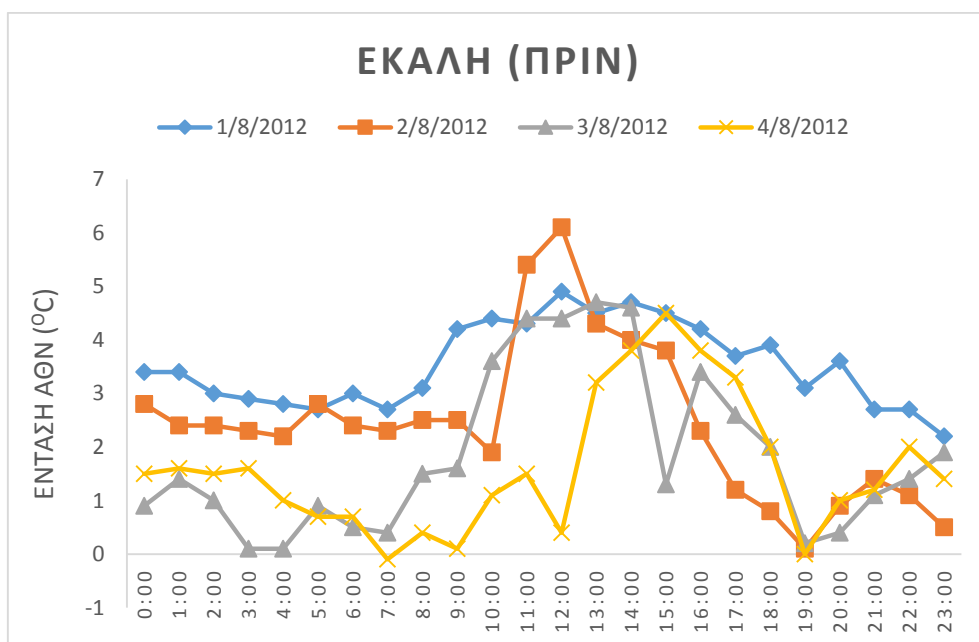
Σχήμα 4.35: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Κάντζας

Αυτό συμβαίνει, διότι η συγκεκριμένη περιοχή βρίσκεται στην ανατολική πλευρά του Υμηττού και είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία κατά την ανατολή του Ηλίου, άρα παρατηρείται ένα φαινόμενο τοπικής θέρμανσης μέχρι τις 8 π.μ. περίπου. Εκτός αυτού, ο σταθμός του ΕΑΑ στο Θησείο, λόγω του γεγονότος ότι βρίσκεται από την άλλη πλευρά του Υμηττού, αρχίζει να θερμαίνεται αργότερα, καθότι οι ακτίνες του Ηλίου δεν φτάνουν σε αυτή την περιοχή από νωρίς το πρωί. Η αρνητική ΑΘΝ στην Κάντζα εξαφανίζεται σταδιακά μετά τις 8 π.μ.

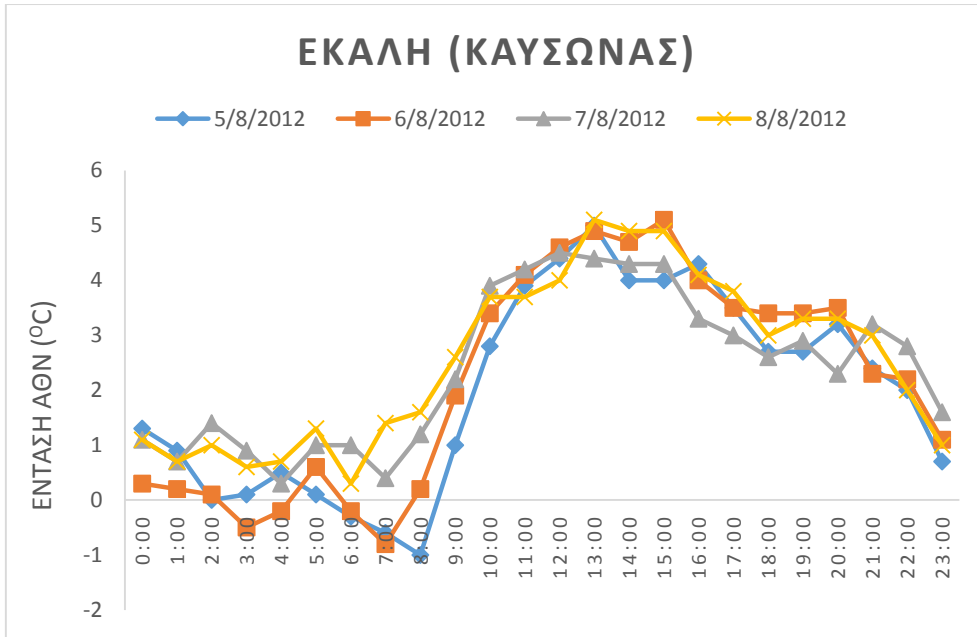
Το αντίθετο φαινόμενο παρατηρείται κατά την δύση του Ηλίου. Αυτή τη φορά ο Ήλιος δύει πρώτα στην περιοχή της Κάντζας και μετά στο Θησείο. Έτσι μετά τις 6 μ.μ. υπάρχει αύξηση της ΑΘΝ στην Κάντζα. Αυτό είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται γενικά σε όλους τους ανατολικούς σταθμούς.

4.1.3 Ορεινοί (ή ημιορεινοί) σταθμοί

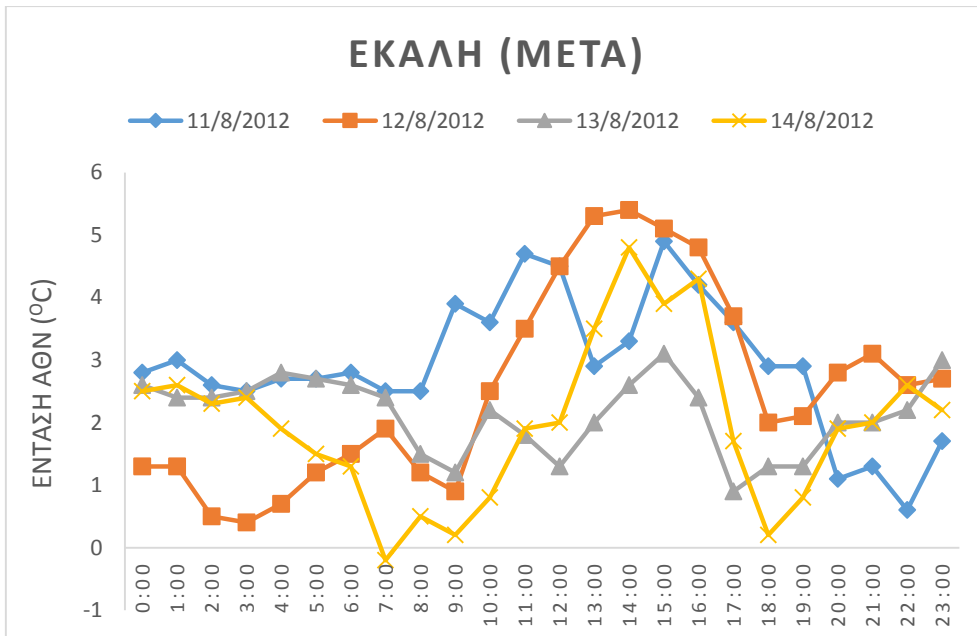
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους ορεινούς ή ημιορεινούς σταθμούς στην Εκάλη, στο Διόνυσο και στην Πεντέλη. Αρχικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στην Εκάλη:



Σχήμα 4.36: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

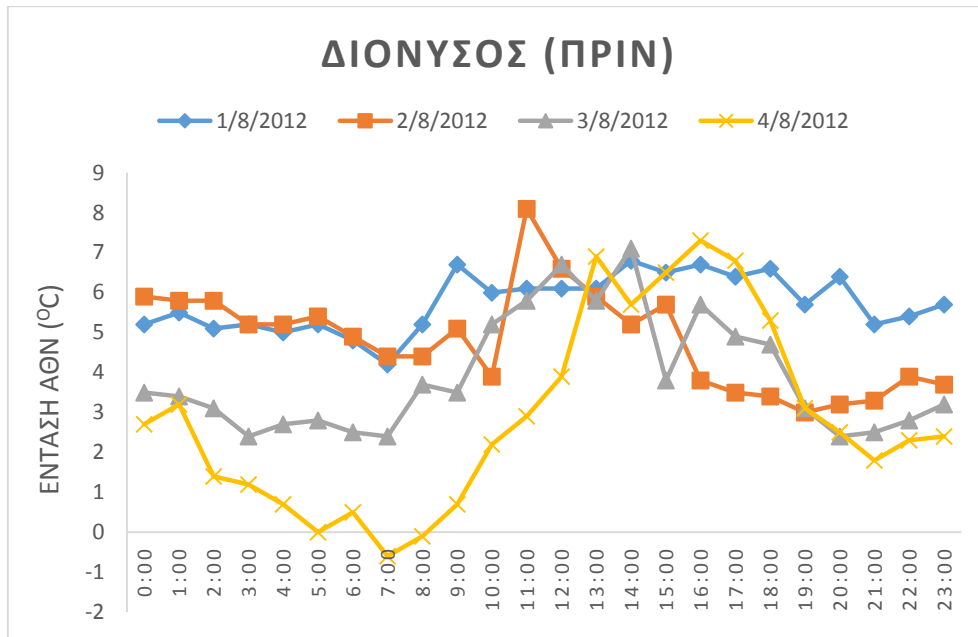


Σχήμα 4.37: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη κατά τη διάρκεια του καύσιωνα του Αυγούστου 2012

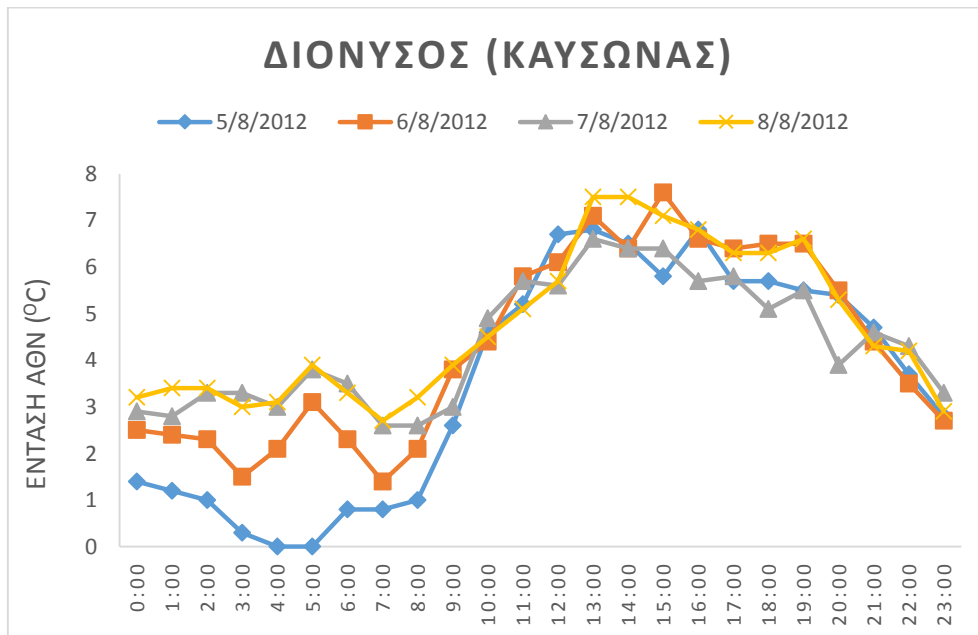


Σχήμα 4.38: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη μετά την πάροδο του καύσιωνα του Αυγούστου 2012

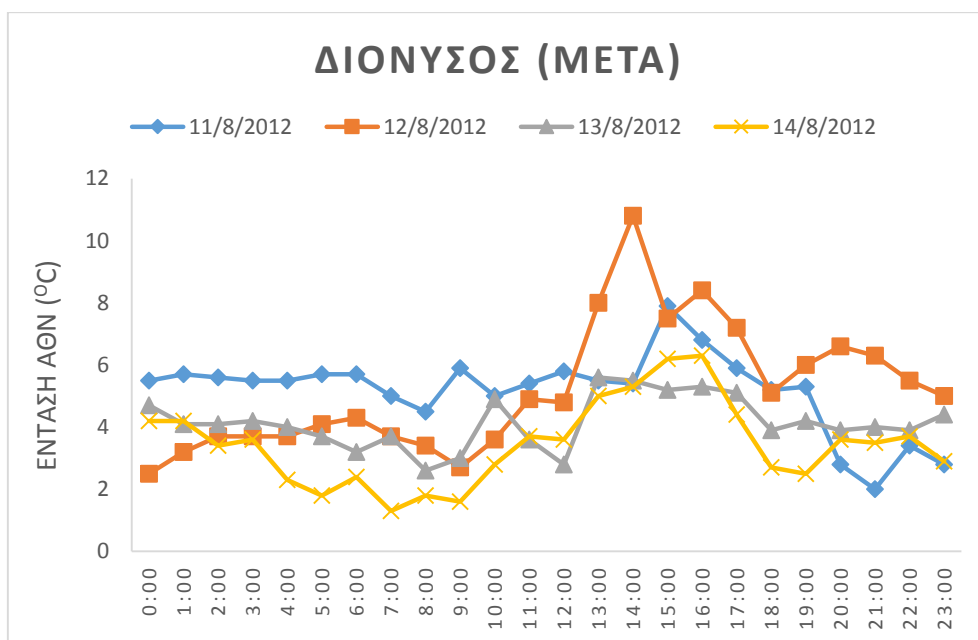
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στον Διόνυσο:



Σχήμα 4.39: Ένταση της ΑΘΝ στον Διόνυσο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

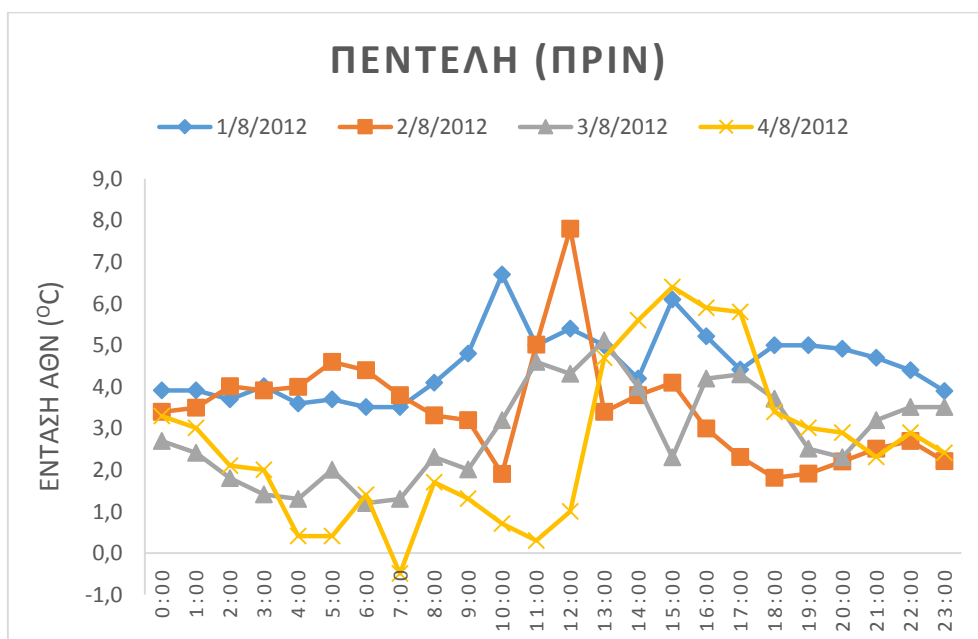


Σχήμα 4.40: Ένταση της ΑΘΝ στο Διόνυσο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

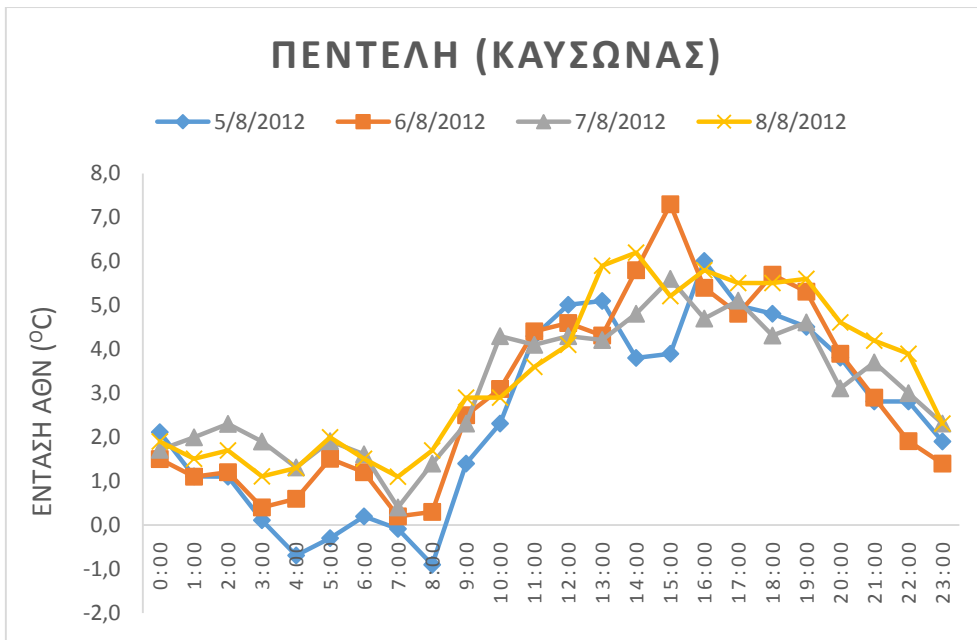


Σχήμα 4.41: Ένταση της ΑΘΝ στο Διόνυσο μετά την πάροδο του καύσινα του Αυγούστου 2012

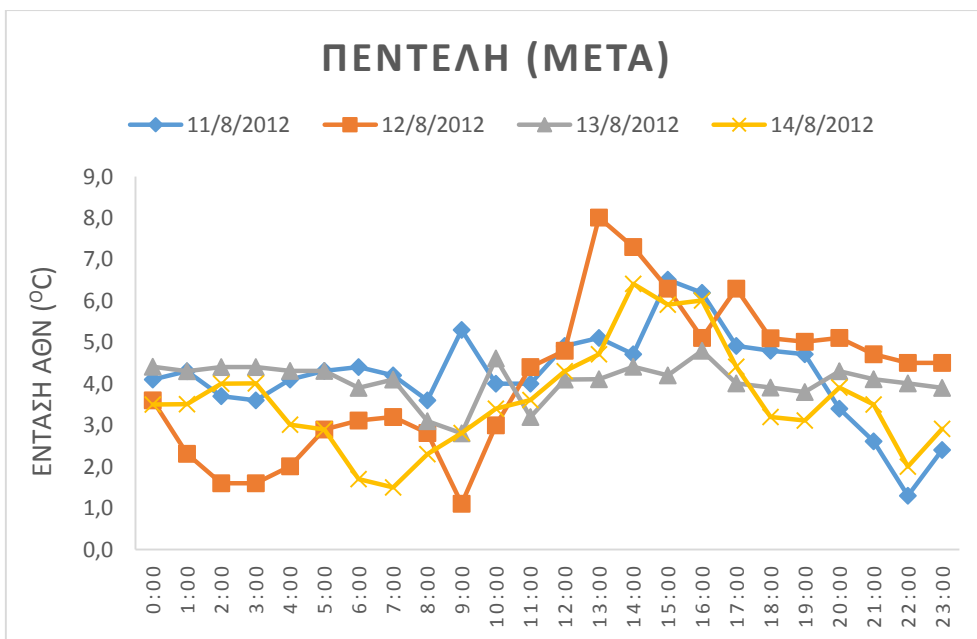
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στην Πεντέλη:



Σχήμα 4.42: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη πριν την εμφάνιση του καύσινα του Αυγούστου 2012



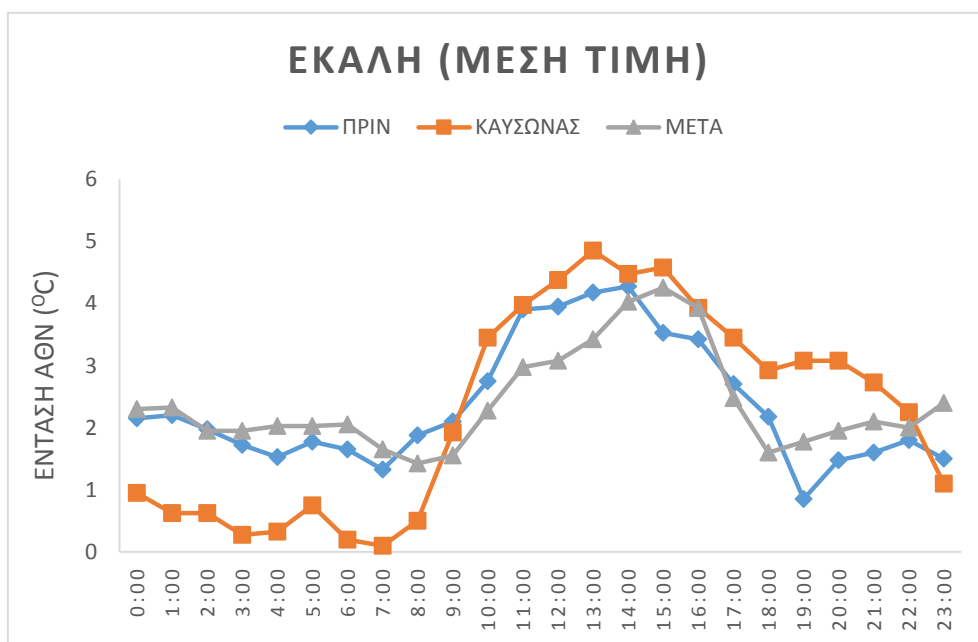
Σχήμα 4.43: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια του καύσινα του Αυγούστου 2012



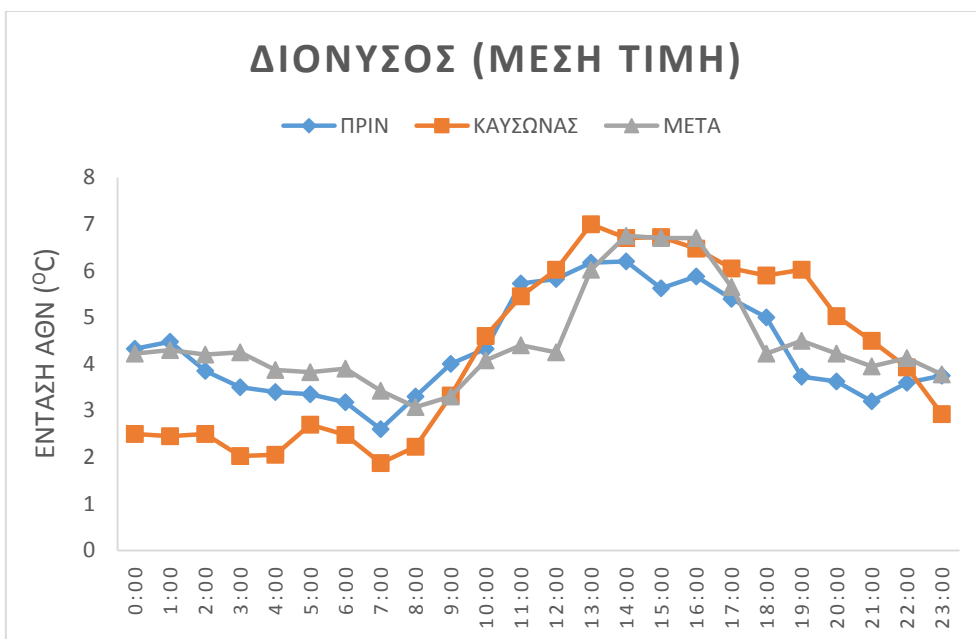
Σχήμα 4.44: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη μετά την πάροδο του καύσινα του Αυγούστου 2012

Στους σταθμούς που αντιπροσωπεύουν τις ορεινές συνθήκες, παρατηρήθηκε μια μείωση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, για τις ημέρες του καύσωνα. Η μείωση αυτή οφείλεται στις διαφορές που έχουν αυτοί οι σταθμοί, σε σχέση με το κέντρο της Αθήνας, όσον αφορά την εξατμισοδιαπνοή, καθώς και στην χαμηλή υγρασία του εδάφους. Δηλαδή, το φαινόμενο της εξάτμισης είναι έντονο κατά τη διάρκεια της ημέρας και η ένταση της ΑΘΝ είναι μεγάλη, αλλά τη νύχτα το έδαφος έχει αποβάλλει μεγάλο ποσοστό υγρασίας, άρα η ένταση της ΑΘΝ μειώνεται (κυρίως τις πρωινές ώρες).

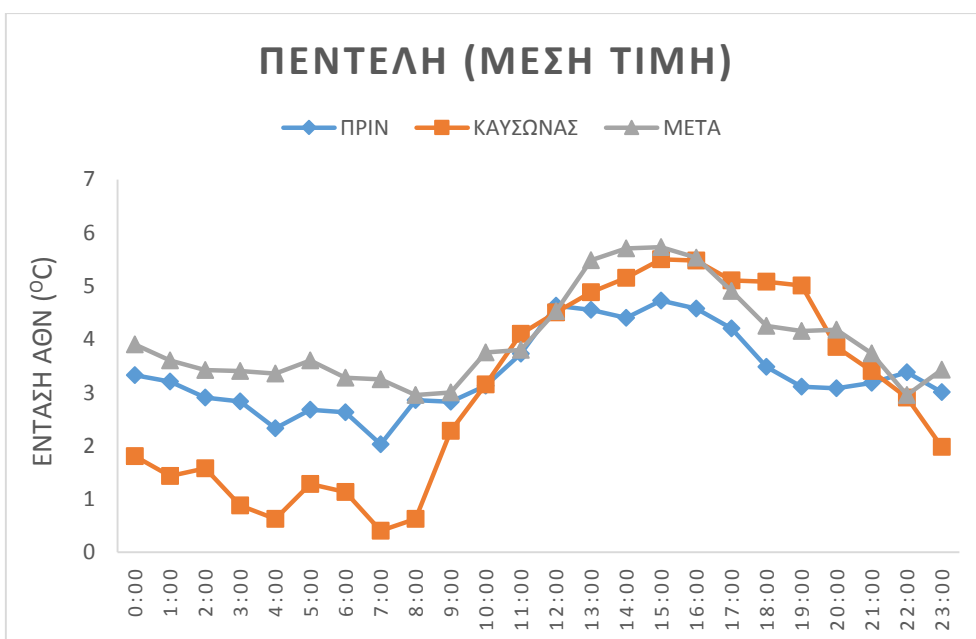
Αυτό γίνεται ευκολότερα κατανοητό στα παρακάτω διαγράμματα, τα οποία απεικονίζουν τις μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εμφάνιση του καύσωνα.



Σχήμα 4.45: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Εκάλης



Σχήμα 4.46: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα, στην περιοχή του Διονύσου

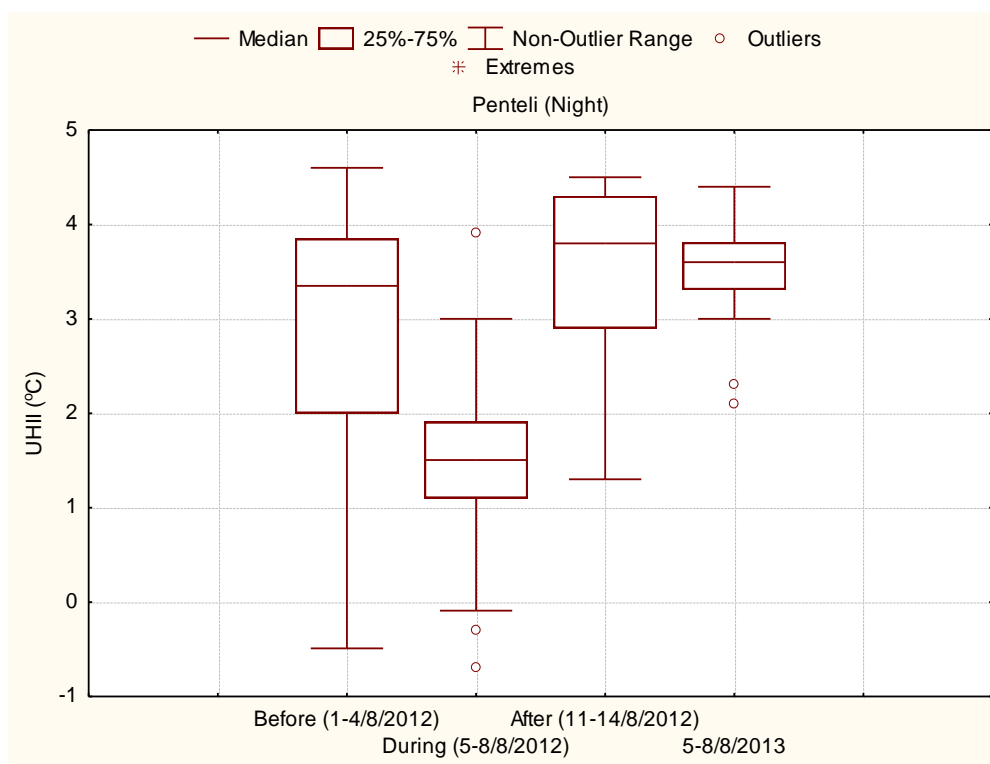


Σχήμα 4.47: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Πεντέλης

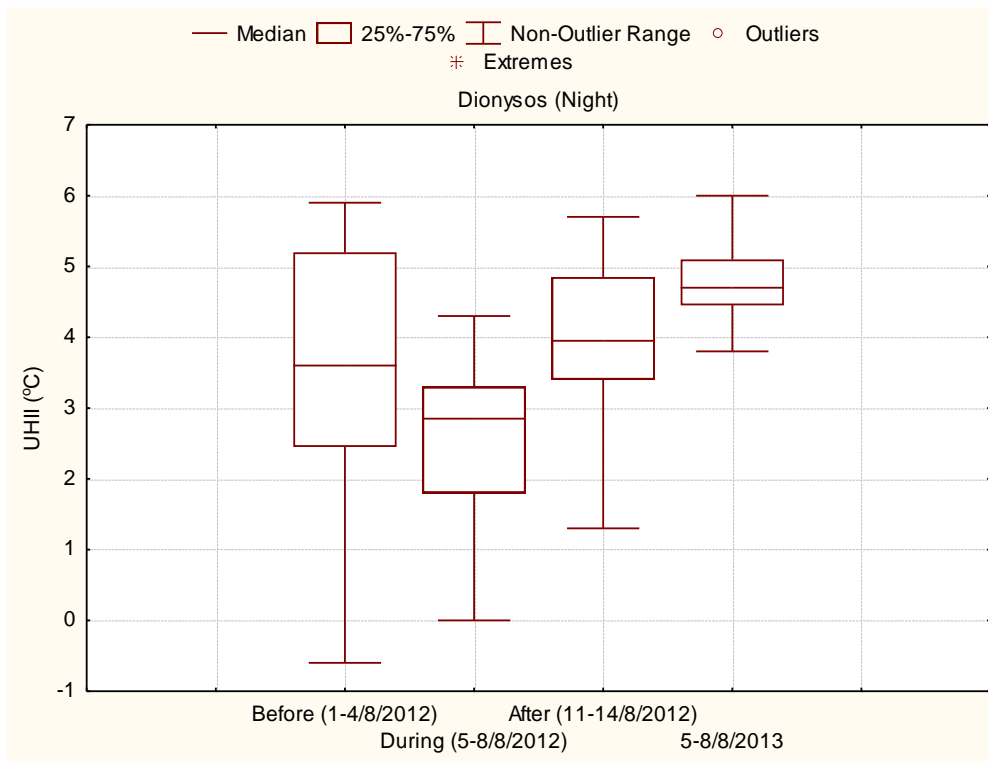
Στην περιοχή της Εκάλης η μέση ένταση της ΑΘΝ τη νύχτα, υπό συνθήκες καύσωνα, είναι κατά 1 °C μικρότερη σε σχέση με τις ημέρες χωρίς καύσωνα. Στους άλλους δύο σταθμούς η διαφορά αυτή φτάνει έως και τους 2 °C.

Η μείωση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, την περίοδο του καύσωνα, γίνεται ευκολότερα αντιληπτή στα παρακάτω σχήματα. Στην Πεντέλη η μείωση της έντασης, ξεπερνά σε ορισμένες περιπτώσεις, τους 3 °C, ενώ το ίδιο συμβαίνει και στην περιοχή του Διονύσου. Στην περιοχή της Εκάλης η μείωση είναι ελαφρώς μικρότερη, αλλά ξεπερνά, σε ορισμένες περιπτώσεις, τους 2 °C.

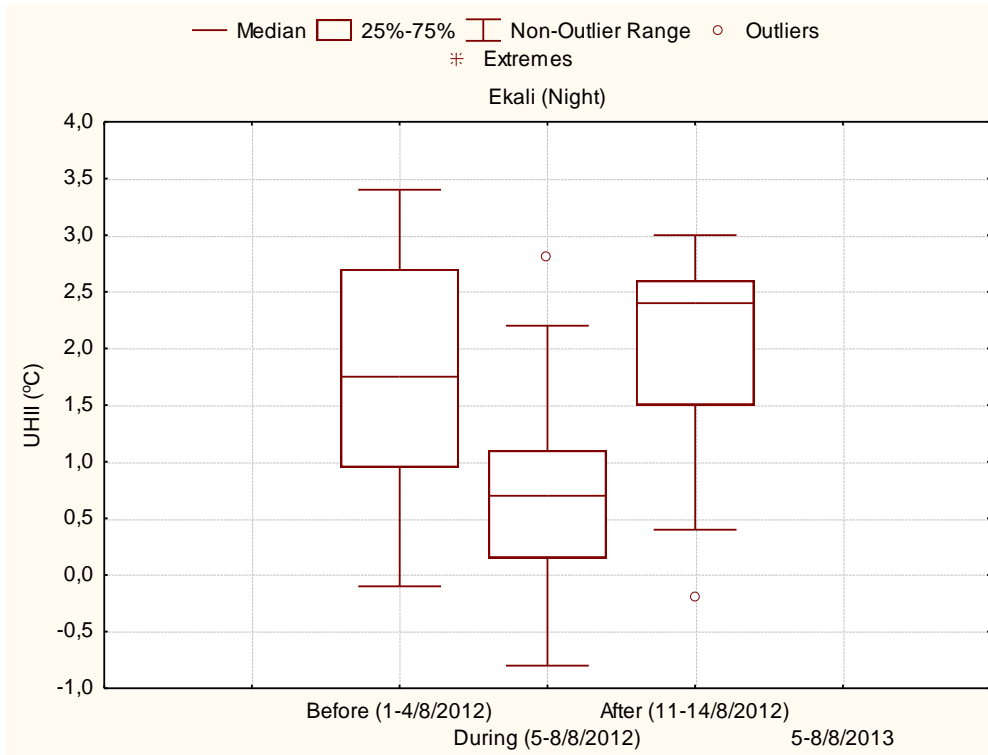
Όσον αφορά τον Αύγουστο του 2013, διαπιστώνουμε ξανά, πόσο μικρές είναι οι αυξομειώσεις και η μεταβλητότητα σε περιόδους που δεν εμφανίζουν ακραίες θερμοκρασίες και θερμά επεισόδια.



Σχήμα 4.48: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



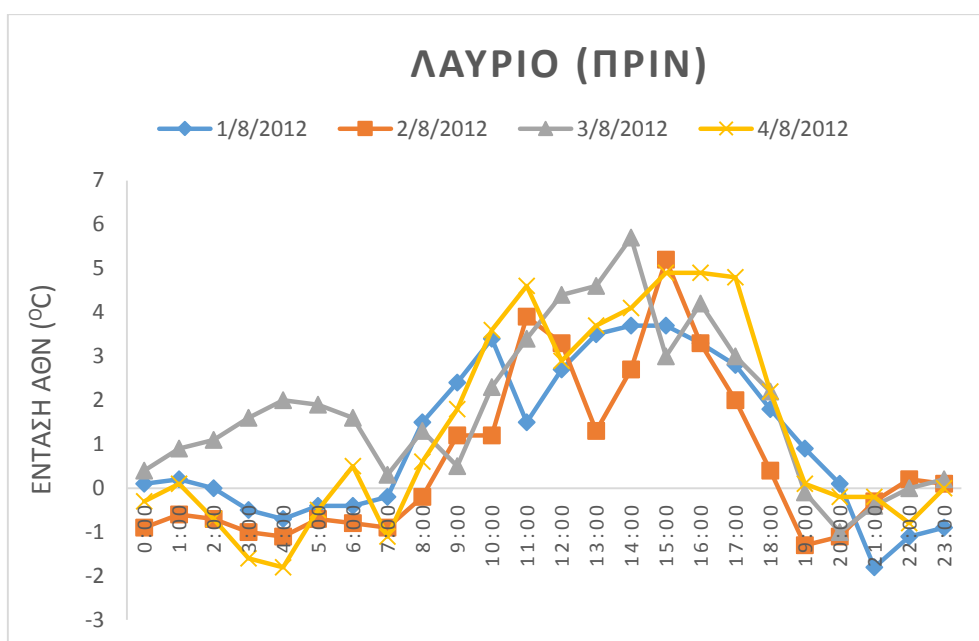
Σχήμα 4.49: Ένταση της ΑΘΝ στο Διόνυσο κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



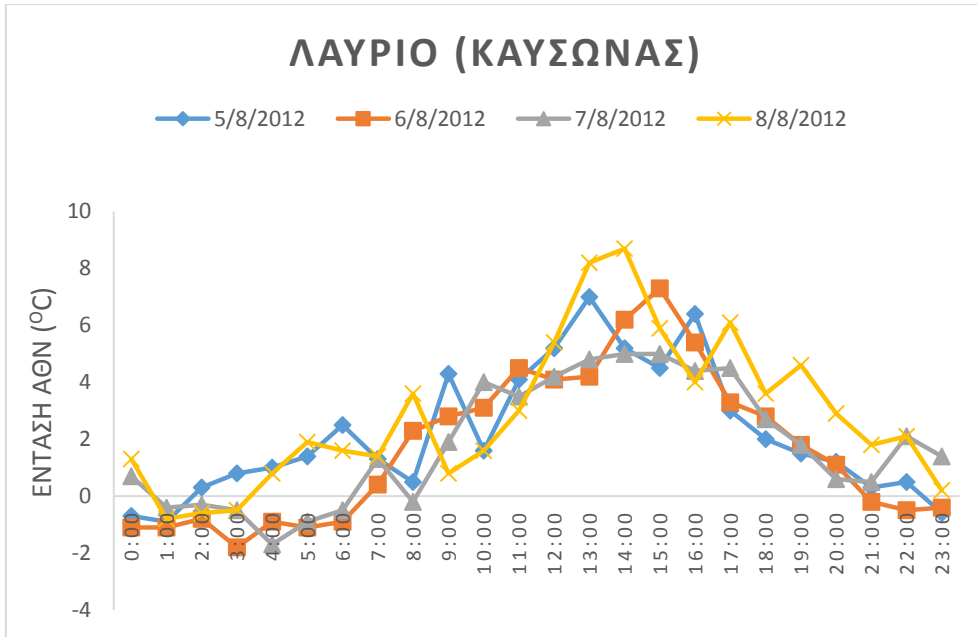
Σχήμα 4.50: Ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον Αύγουστο του 2012

4.1.4 Παράκτιοι σταθμοί

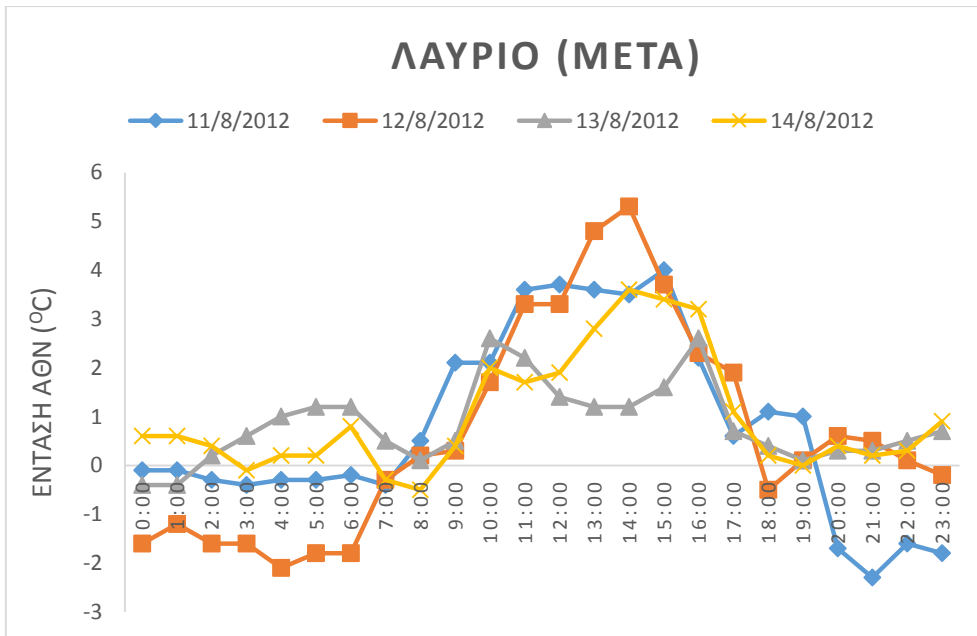
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους παράκτιους σταθμούς στο Λαύριο, στο Φάληρο, στην Ανάβυσσο και στη Νέα Μάκρη. Αρχικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στο Λαύριο:



Σχήμα 4.51: Ένταση της ΑΟΝ στο Λαύριο πριν την εμφάνιση του καύσινα του Αυγούστου 2012

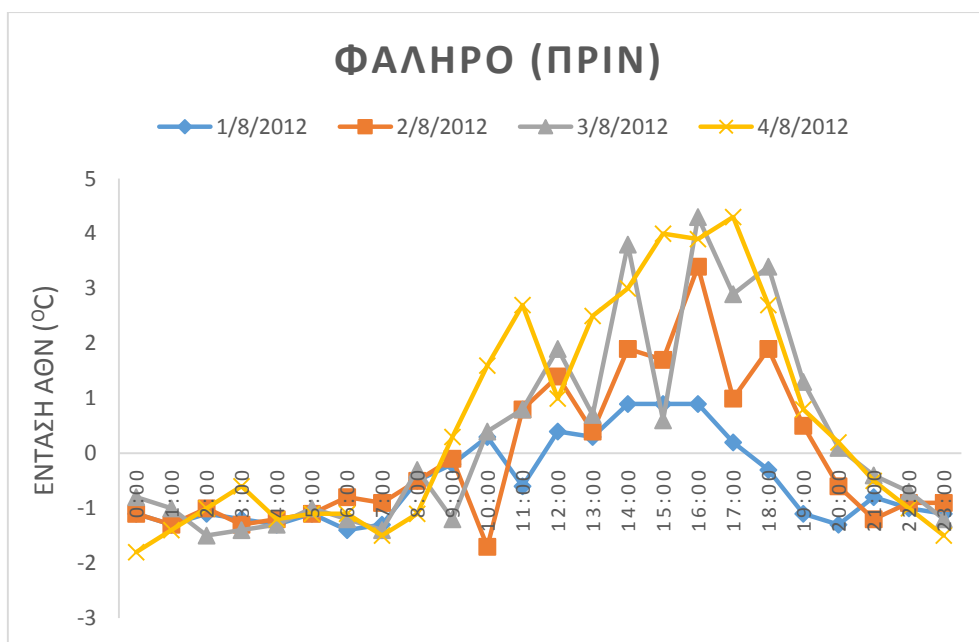


Σχήμα 4.52: Ένταση της ΑθΝ στο Λαύριο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012



Σχήμα 4.53: Ένταση της ΑθΝ στο Λαύριο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

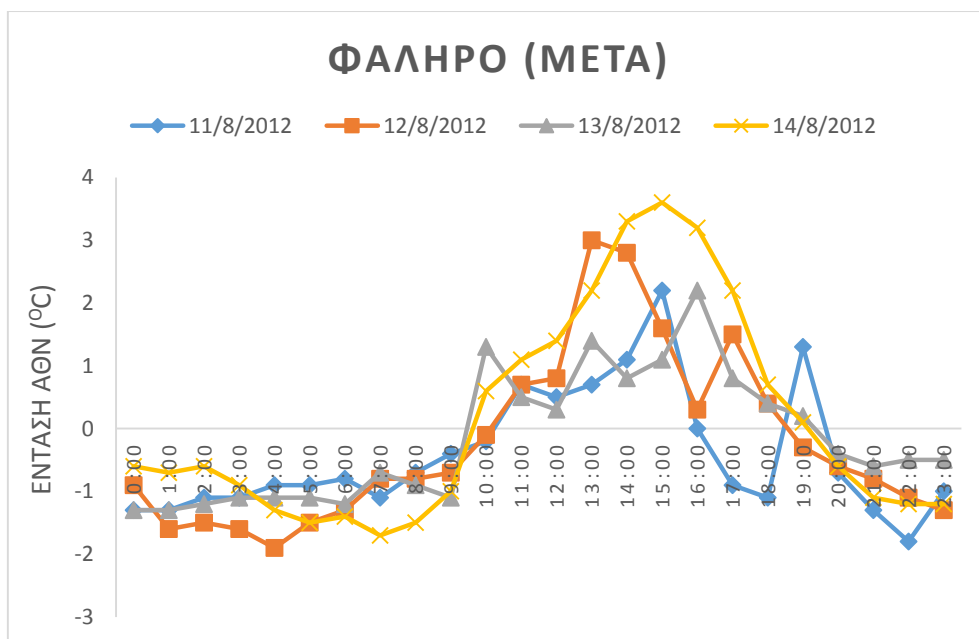
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στο Φάληρο:



Σχήμα 4.54: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

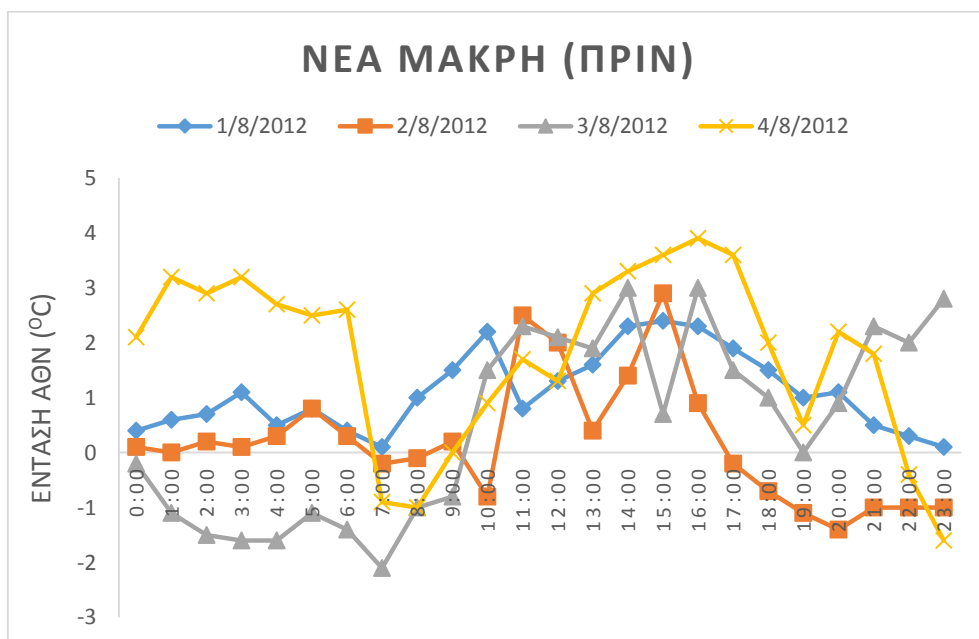


Σχήμα 4.55: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012

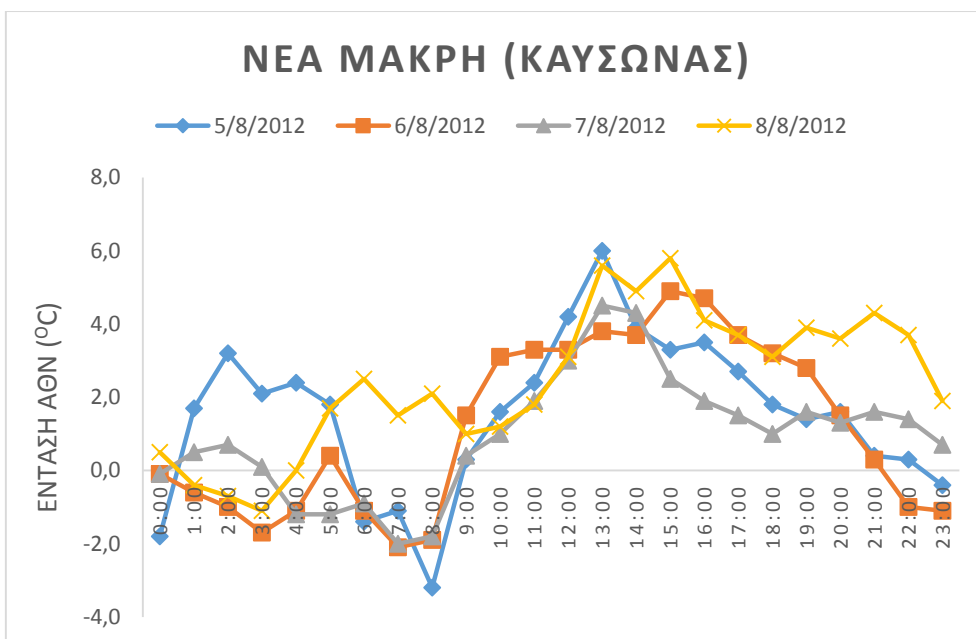


Σχήμα 4.56: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

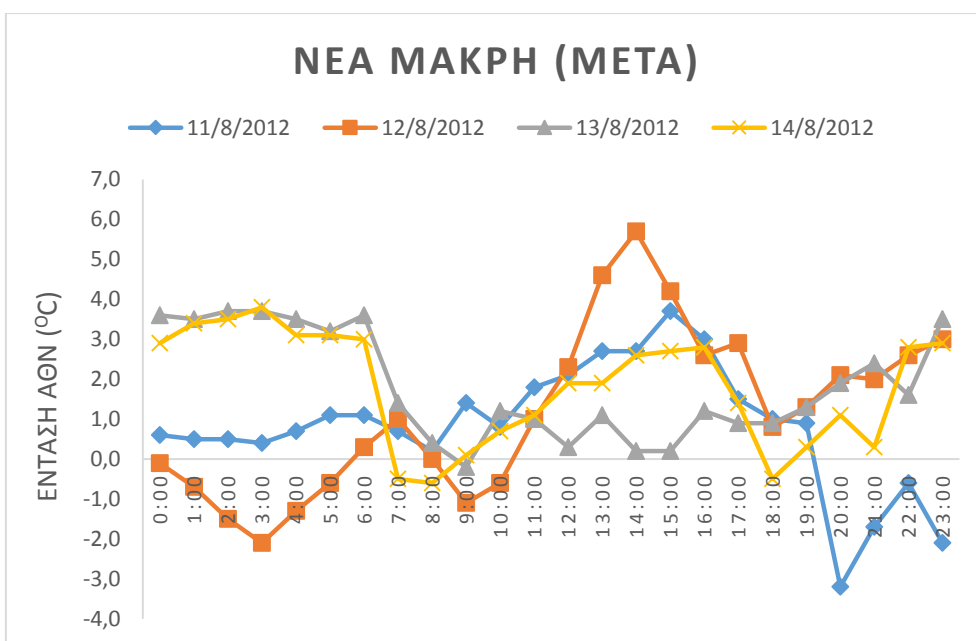
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στη Νέα Μάκρη:



Σχήμα 4.57: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012



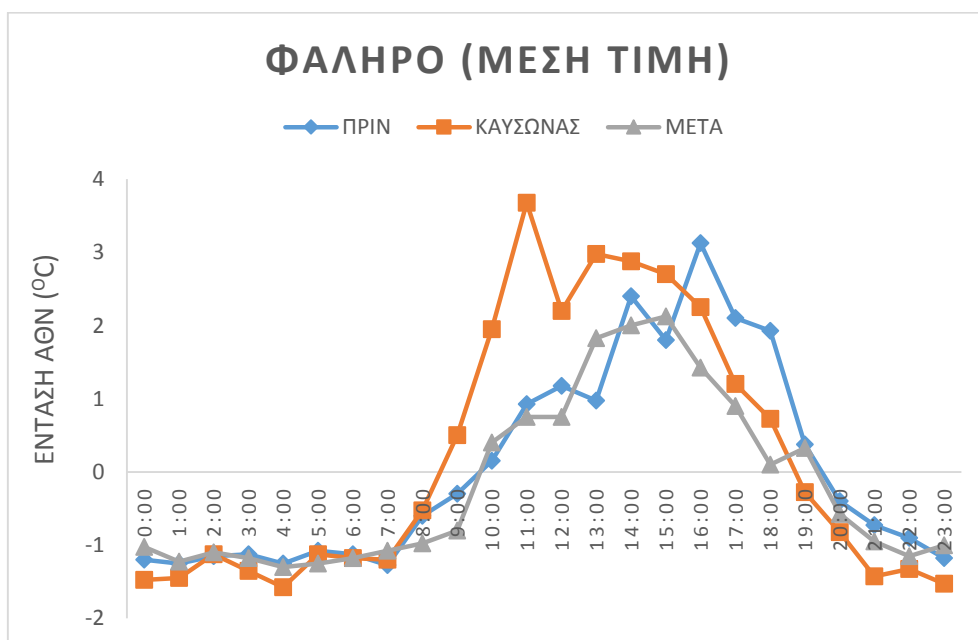
Σχήμα 4.58: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη κατά τη διάρκεια του καύσινα του Αυγούστου 2012



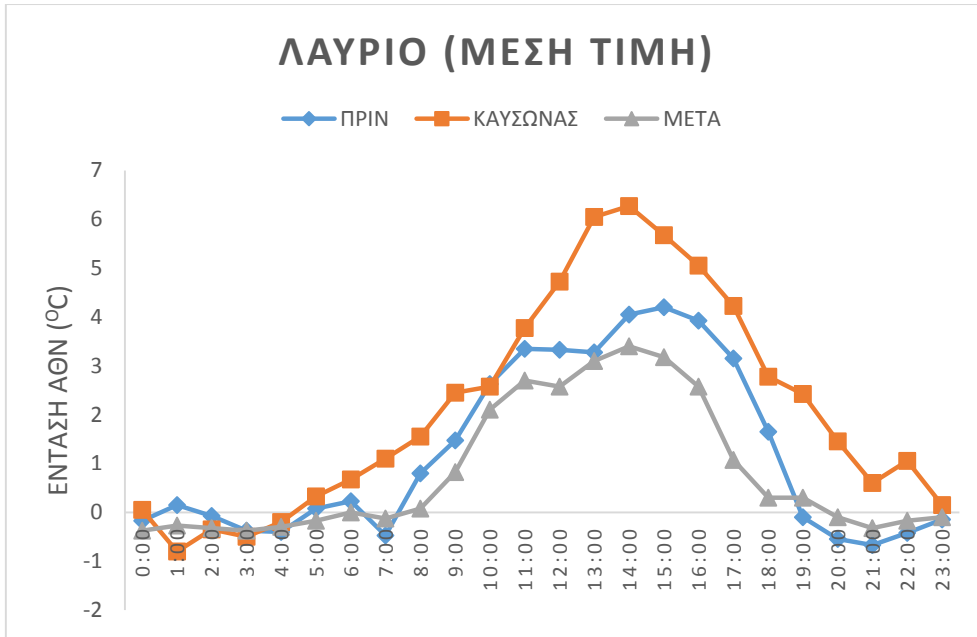
Σχήμα 4.59: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη μετά την πάροδο του καύσινα του Αυγούστου 2012

Στους παράκτιους σταθμούς παρατηρείται, κατά γενική ομολογία υψηλότερη ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας, υπό συνθήκες καύσωνα. Και σε αυτή την περίπτωση, το γεγονός αυτό μπορεί να διαπιστωθεί ευκολότερα στα παρακάτω διαγράμματα, με τις μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ. Στα σχήματα 4.60, 4.61, 4.62 είναι εμφανές ότι η μέση τιμή της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καύσωνα μπορεί να είναι έως και 2 °C μεγαλύτερη από τις ημέρες χωρίς καύσωνα. Η μέγιστη μεταβλητότητα της μέσης τιμής εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και κυριότερα το μεσημέρι. Για την περιοχή της Αναβύσσου τα δεδομένα είναι ελλιπή, κυρίως κατά τις ημέρες του καύσωνα, οπότε δεν μπορούν να εξαχθούν κάποια ασφαλή συμπεράσματα και γι' αυτό το λόγο δεν παραθέτουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα.

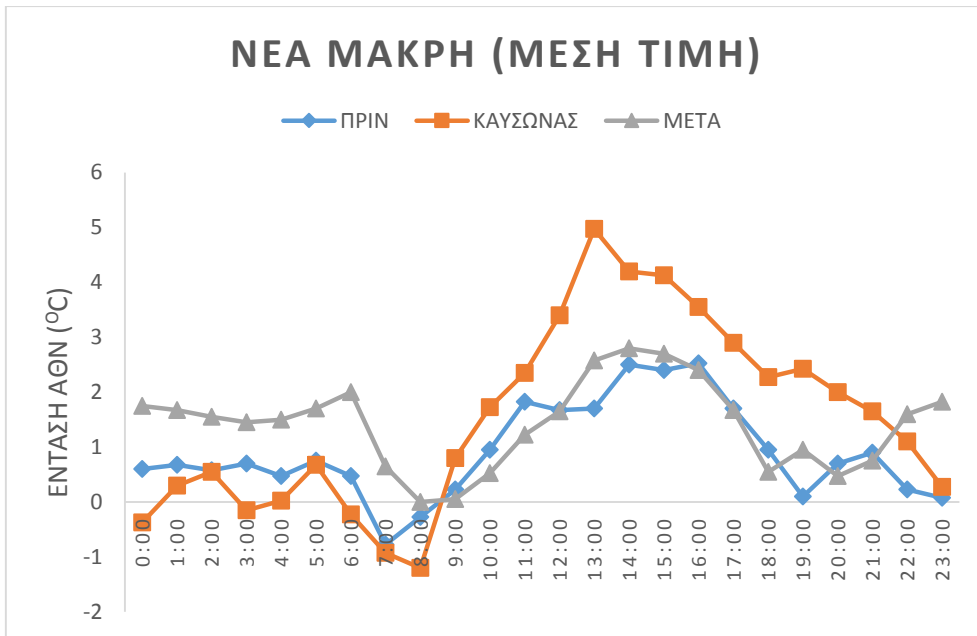
Από τα σχήματα των παράκτιων σταθμών, για την περίοδο του καύσωνα, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, από τις 11 μ.μ. μέχρι τις 5 μ.μ. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές τόσο στο Φάληρο όσο και στο Λαύριο και λιγότερο στη Νέα Μάκρη.



Σχήμα 4.60: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή του Φαλήρου



Σχήμα 4.61: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή του Λαυρίου

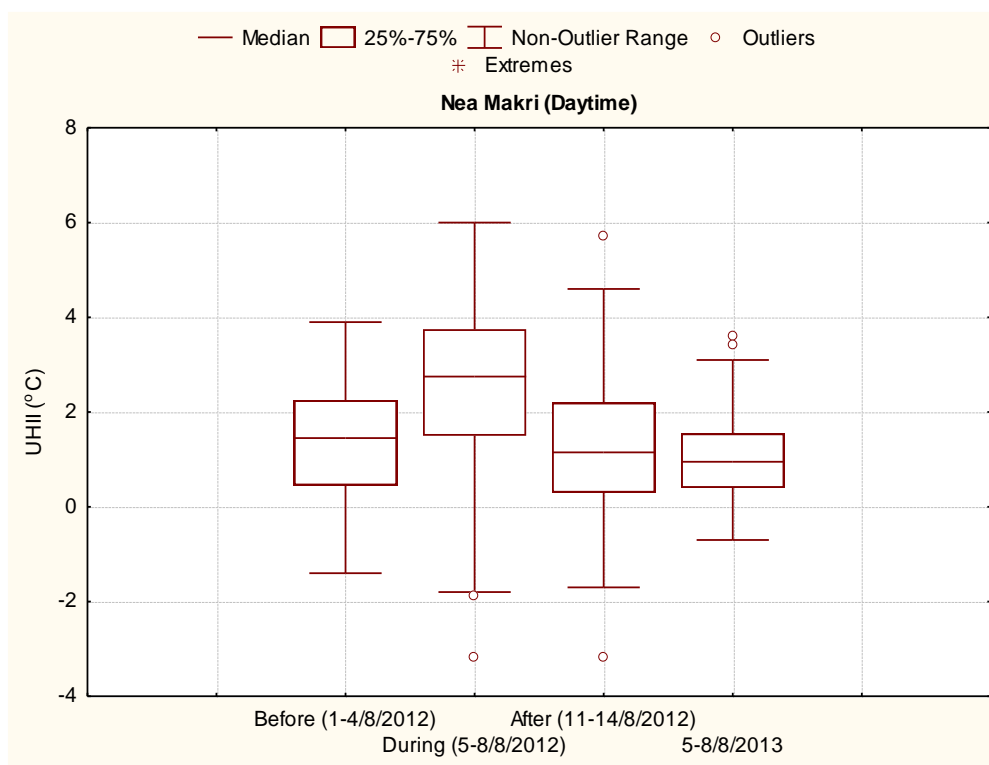


Σχήμα 4.62: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Νέας Μάκρης

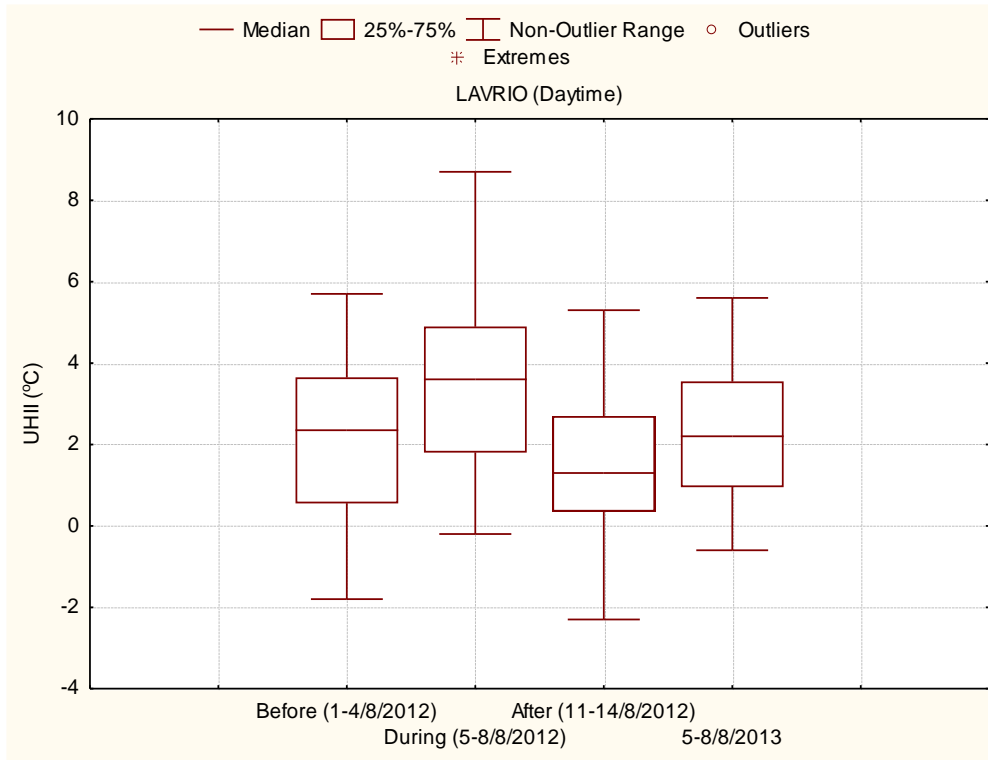
Τα παραπάνω αποτελέσματα επαληθεύονται και στα παρακάτω σχήματα. Οι περιοχές της Νέας Μάκρης και του Λαυρίου ακολουθούν το ίδιο μοτίβο, κατά τη διάρκεια του καύσωνα, όπου παρατηρείται αύξηση της έντασης της ΑΘΝ, σε πολλές περιπτώσεις και πάνω από 3 °C και 4 °C.

Πιο ενδιαφέροντα είναι τα ευρήματα για την περιοχή του Φαλήρου. Και εκεί παρατηρείται αύξηση της έντασης της ΑΘΝ, κατά την περίοδο του καύσωνα, αλλά η ένταση της ΑΘΝ παρουσιάζει και μεγάλες αυξομειώσεις. Αυτό συμβαίνει, διότι η 7^η και 8^η Αυγούστου 2012, είναι αρκετά θερμότερες από τις προηγούμενες δύο ημέρες της περιόδου του καύσωνα. Για να διαπιστώσουμε, γιατί υφίσταται αυτό το γεγονός είναι απαραίτητο να μελετήσουμε τους ανέμους που πνέουν πάνω απ' τη συγκεκριμένη περιοχή. Μία πιο λεπτομερής ανάλυση των παράκτιων σταθμών θα γίνει σε μεταγενέστερο στάδιο της εργασίας.

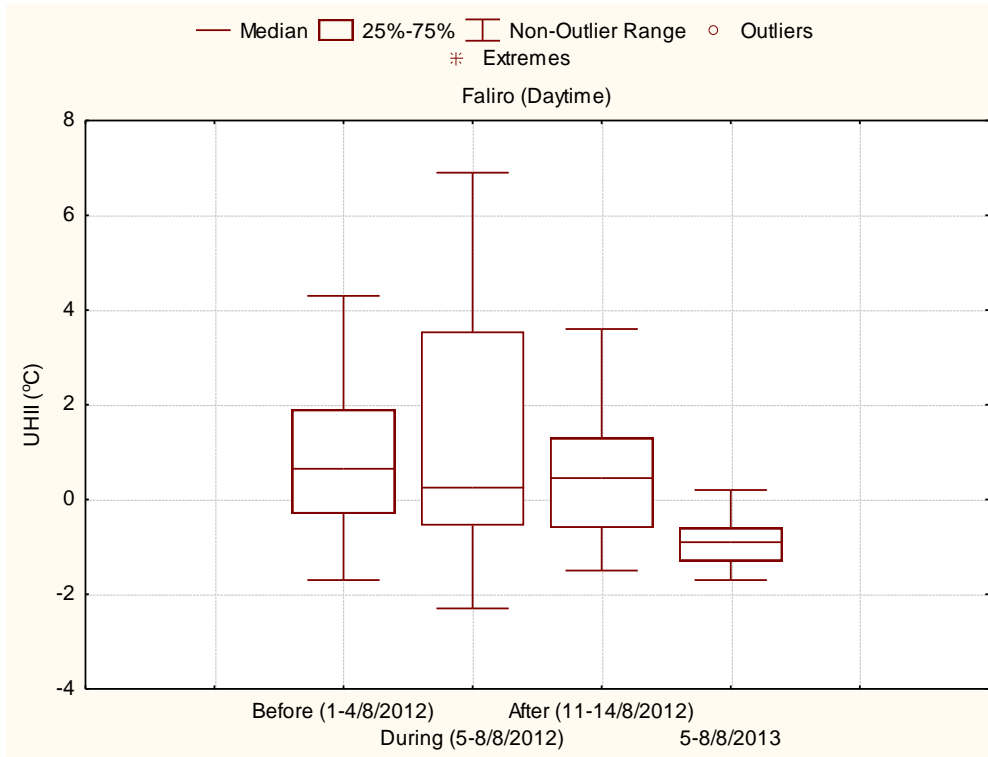
Όσον αφορά τον Αύγουστο του 2013, η ένταση της ΑΘΝ δεν παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις και στους παράκτιους σταθμούς, όπως και προηγουμένως.



Σχήμα 4.63: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



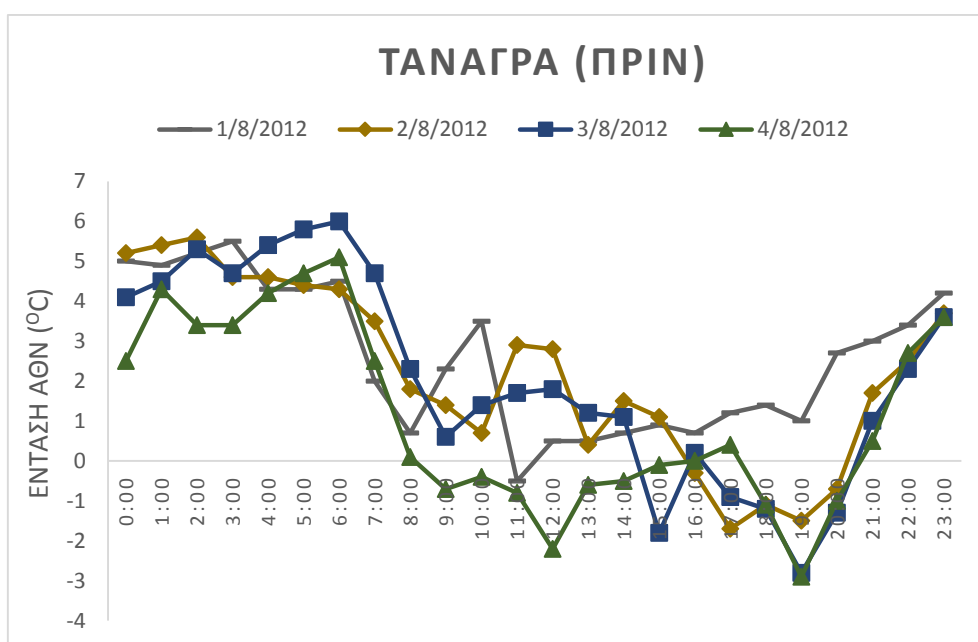
Σχήμα 4.64: Ένταση της ΑΘΝ στο Λαύριο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



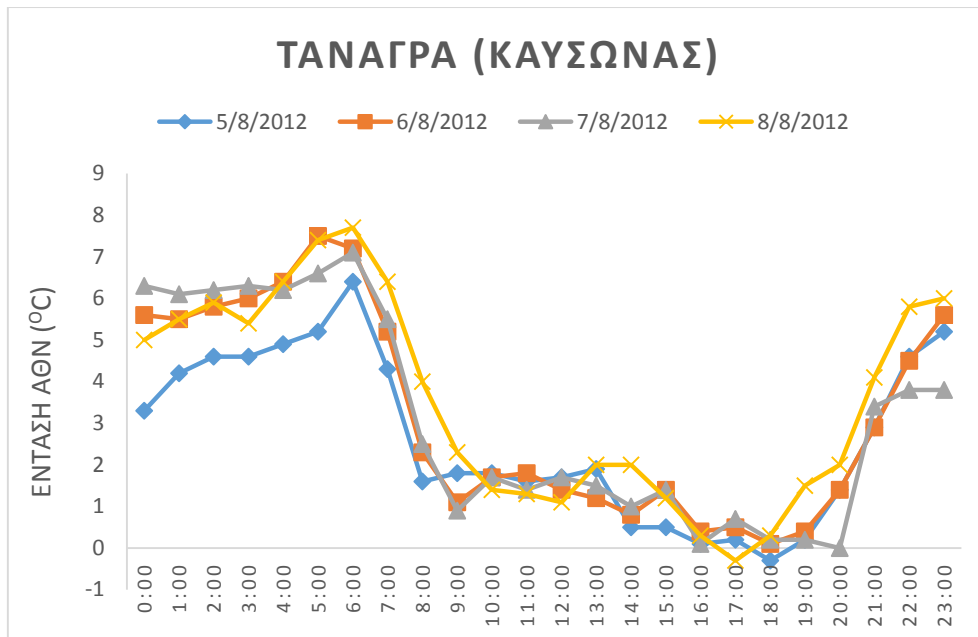
Σχήμα 4.65: Ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013

4.1.5 Επαρχιακοί (αγροτικοί) σταθμοί

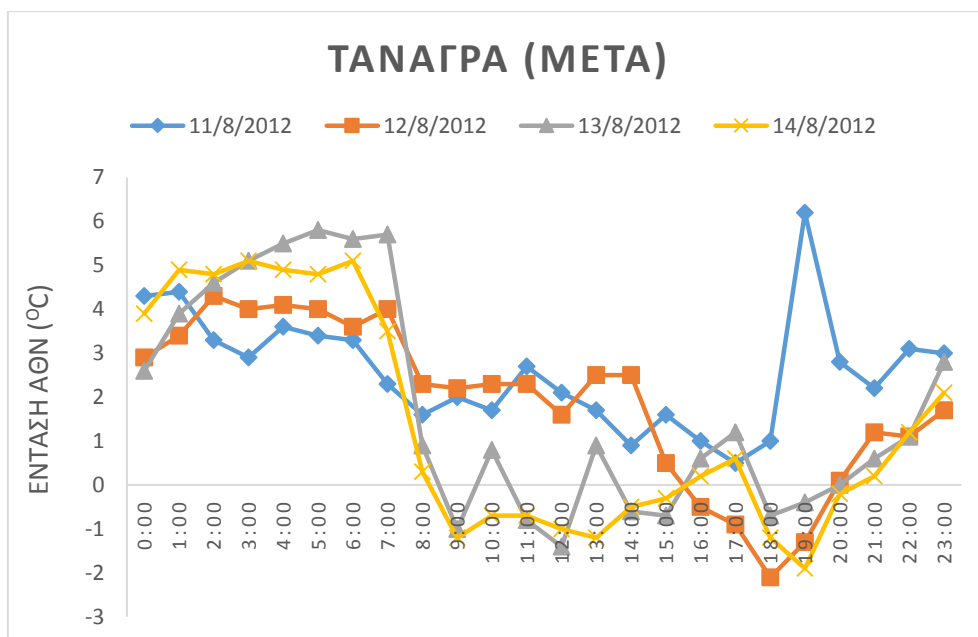
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους παράκτιους σταθμούς της Τανάγρας και της Αυλίδας. Αρχικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό της Τανάγρας:



Σχήμα 4.66: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012

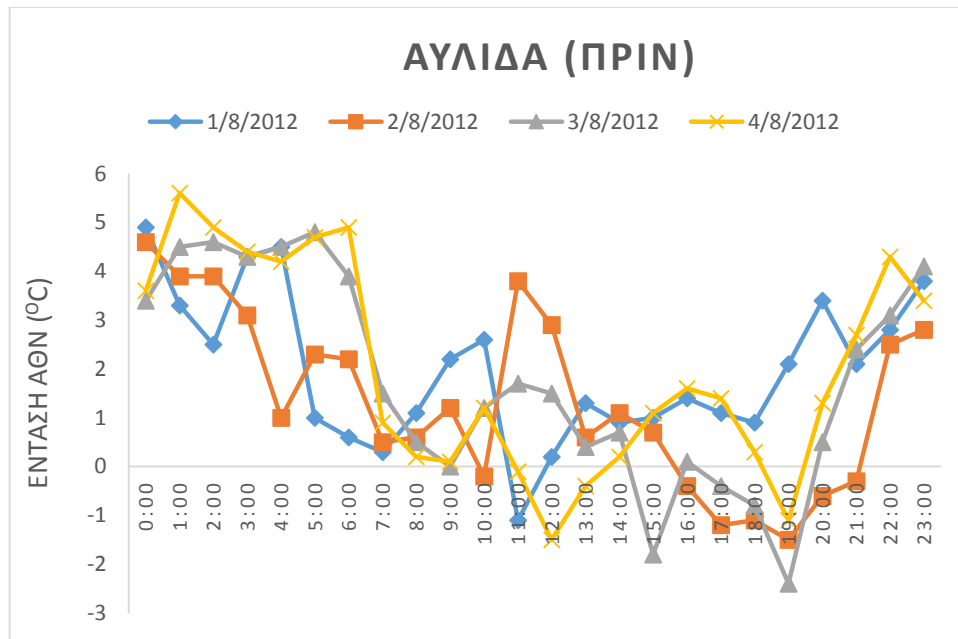


Σχήμα 4.67: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια του καύσινα του Αυγούστου 2012

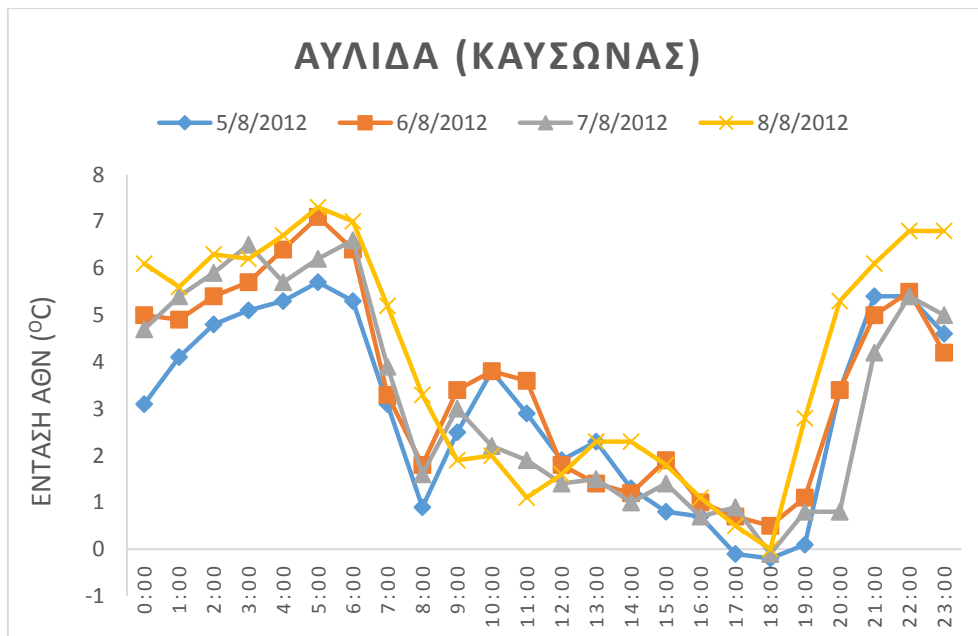


Σχήμα 4.68: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα μετά την πάροδο του καύσινα του Αυγούστου 2012

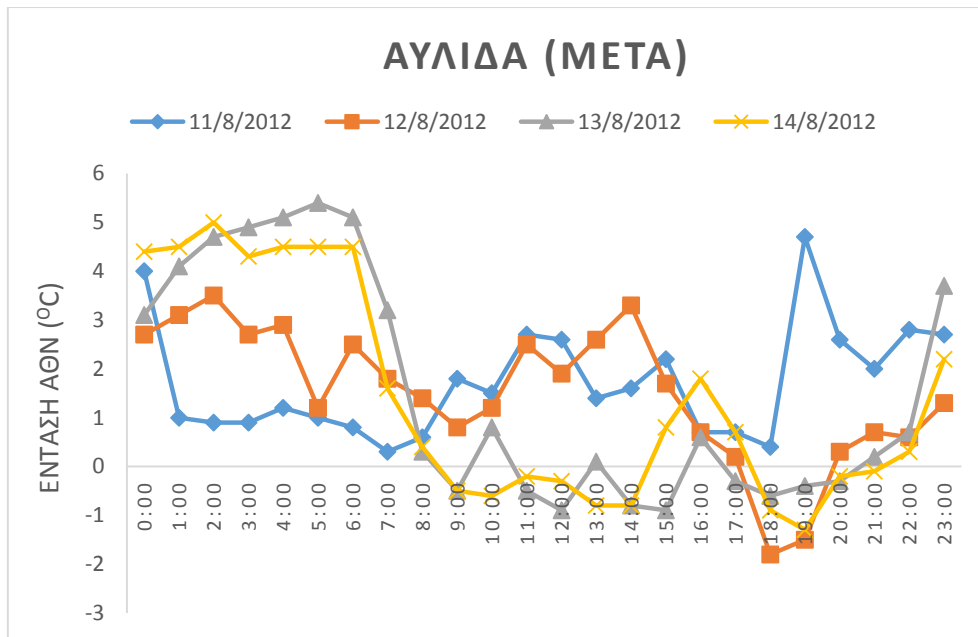
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στην Αυλίδα:



Σχήμα 4.69: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Αυγούστου 2012



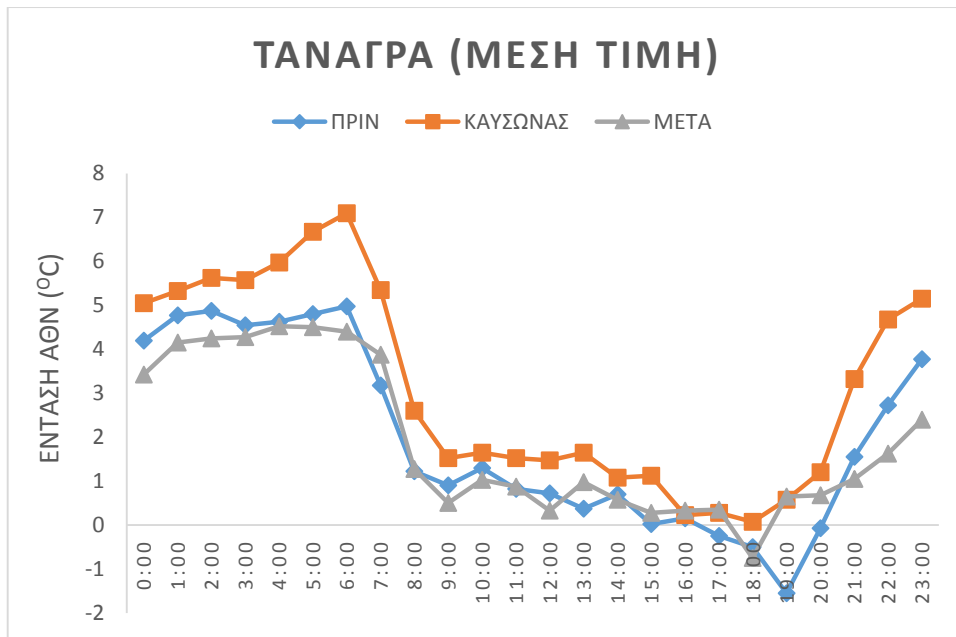
Σχήμα 4.70: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Αυγούστου 2012



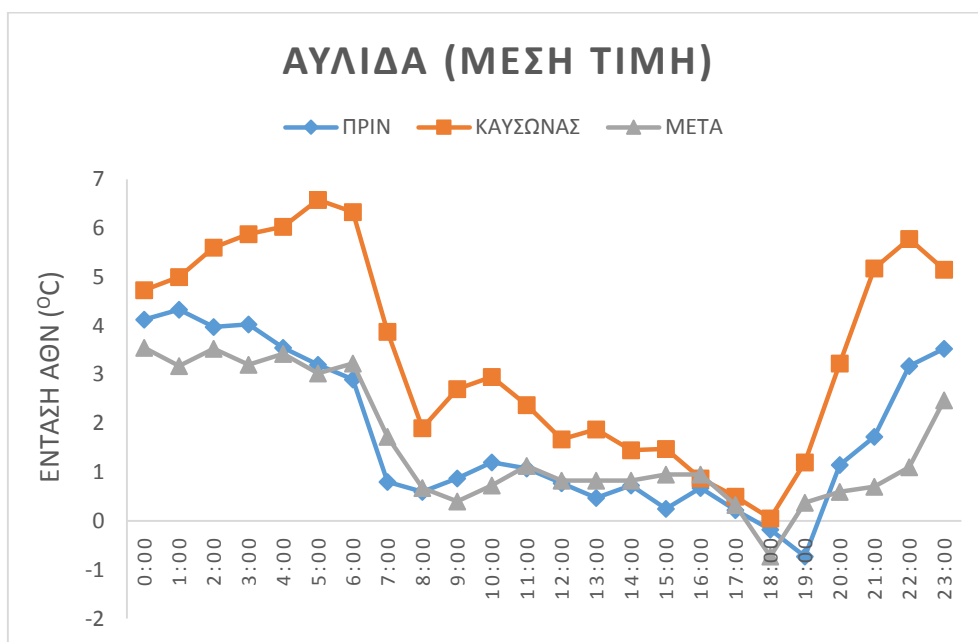
Σχήμα 4.71: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα μετά την πάροδο του καύσωνα του Αυγούστου 2012

Σε γενικές γραμμές, στις αγροτικές περιοχές η ένταση της ΑΘΝ, τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας, αυξάνεται υπό συνθήκες καύσωνα, η αύξηση όμως είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του καύσωνα, η νυχτερινή ένταση της ΑΘΝ είναι έως και 3 °C μεγαλύτερη από τις περιόδους δίχως καύσωνα.

Η αύξηση της έντασης της ΑΘΝ είναι σαφής στους αγροτικούς σταθμούς, κατά τη διάρκεια της νύχτας, στην περίοδο του καύσωνα. Αυτό συμβαίνει διότι, παρ'όλο που την περίοδο του καύσωνα αυξάνεται το φαινόμενο της εξάτμισης, το έδαφος στις αγροτικές περιοχές κρατά ένα ποσοστό της υγρασίας του, αντίθετα με τις αστικές περιοχές, με αποτέλεσμα αυτό να λειτουργεί σαν ένας μηχανισμός ψύξης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, όμως, η αύξηση είναι πιο μικρή, αφού το έδαφος δέχεται πολύ περισσότερη ακτινοβολία.



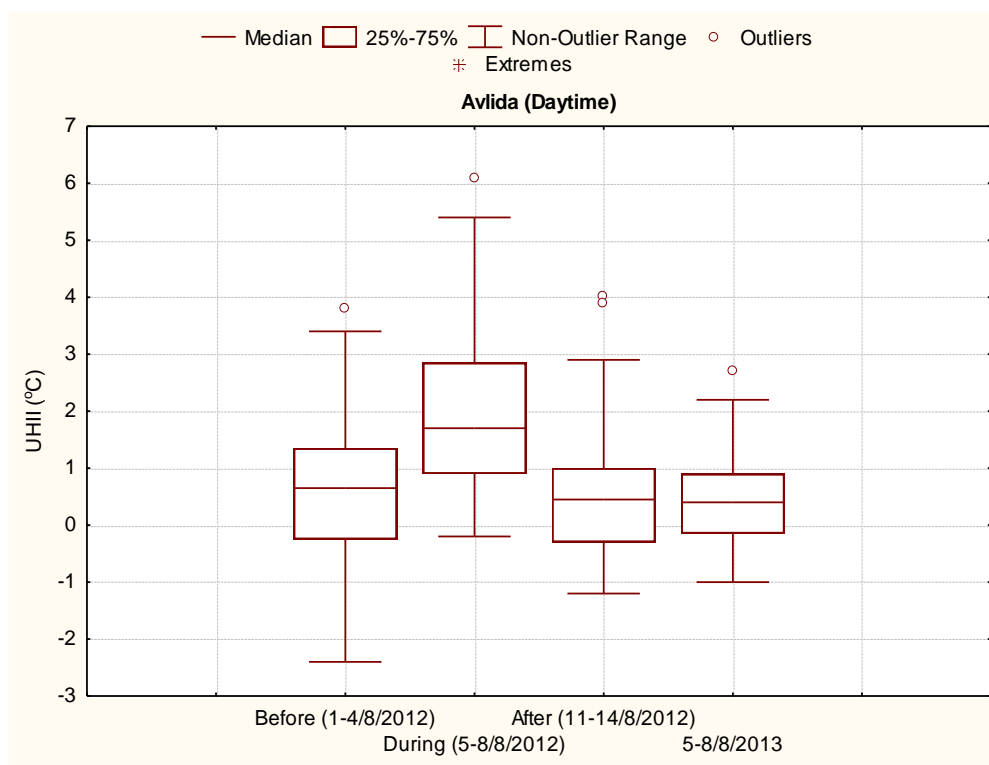
Σχήμα 4.72: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Τανάγρας



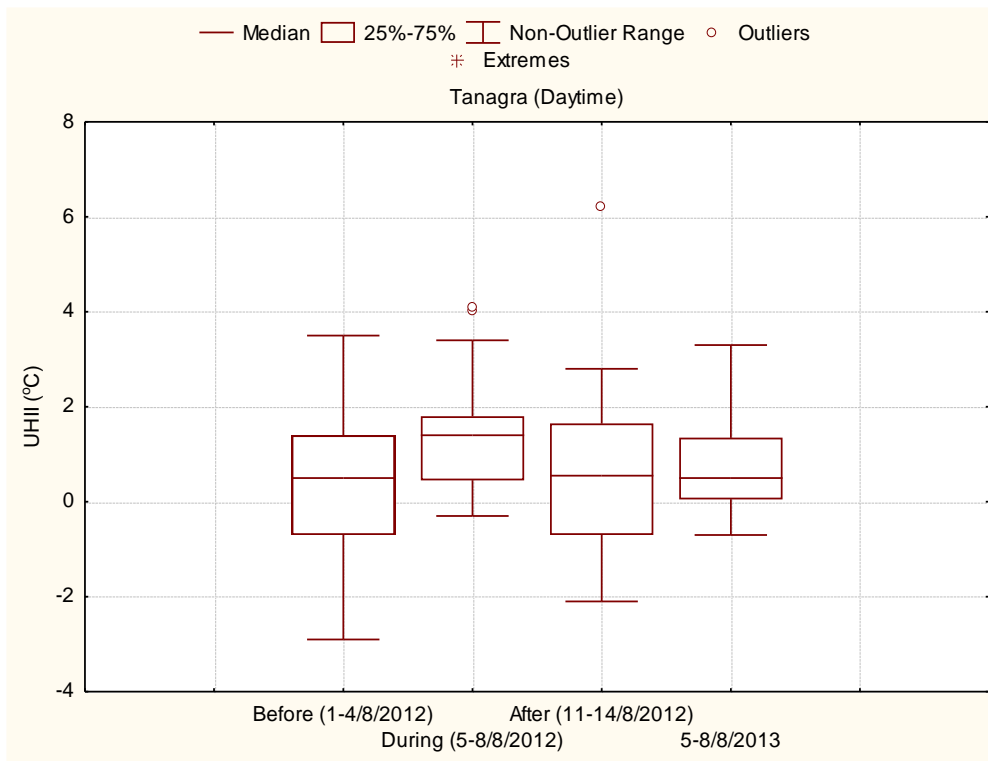
Σχήμα 4.73: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Αυγούστου 2012, στην περιοχή της Αυλίδας

Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται ότι στην περιοχή της Αυλίδας, η ένταση της ΑΘΝ παρουσιάζει σαφώς μεγαλύτερη αύξηση, κατά τη διάρκεια του καύσωνα, σε σχέση με την Τανάγρα, γεγονός που ίσως να οφείλεται στο ότι η Αυλίδα είναι παράκτια περιοχή.

Σχετικά με τον Αύγουστο του 2013, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με τους προηγούμενους σταθμούς, καθώς η ένταση της ΑΘΝ δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις.



Σχήμα 4.74: Ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013



Σχήμα 4.75: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια της ημέρας για τον Αύγουστο του 2012, καθώς και για τον Αύγουστο του 2013

4.2 Ανάλυση του επεισοδίου καύσωνα του 2007

4.2.1 Ιούνιος 2007

Για την υλοποίηση αυτής της ανάλυσης επελέγη ο σταθμός του Θησείου ως σταθμός αναφοράς. Στη συνέχεια, υπολογίσθηκε η ένταση της ΑΘΝ για κάθε ημέρα και σε κάθε σταθμό. Ο υπολογισμός της έντασης της ΑΘΝ έγινε για τρεις διαφορετικές περιόδους, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το καυσωνικό επεισόδιο.

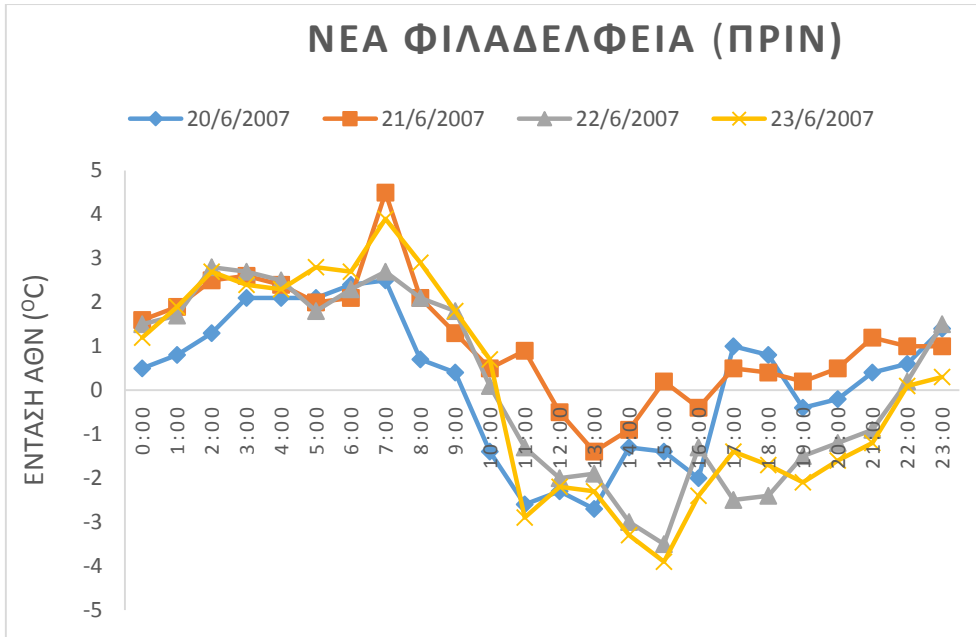
Έτσι, η ένταση της ΑΘΝ υπολογίσθηκε για τις ημερομηνίες:

- A) 20/6/2007 – 23/6/2007 (πριν)
- B) 24/6/2007 – 28/6/2007 (κατά τη διάρκεια)
- Γ) 29/6/2007 – 2/6/2007 (μετά)

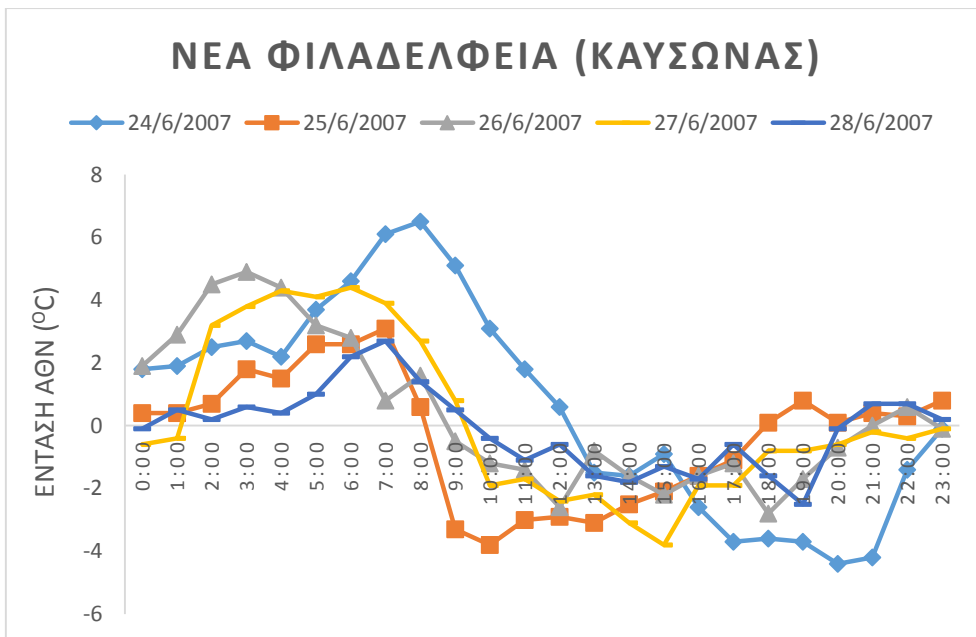
Μετά τον υπολογισμό της έντασης, κατασκευάστηκαν κάποια διαγράμματα, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση της έντασης της ΑΘΝ για τις τρεις διαφορετικές περιόδους και να διαπιστωθεί πώς συμπεριφέρεται η ΑΘΝ κατά την περίοδο του καύσωνα. Στις επόμενες σελίδες θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης, με τη μορφή διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα θα παρατεθούν με βάση τις συνθήκες που αντιπροσωπεύει ο κάθε σταθμός (αστικός, προαστιακός κλπ.)

4.2.1.1 Αστικοί σταθμοί

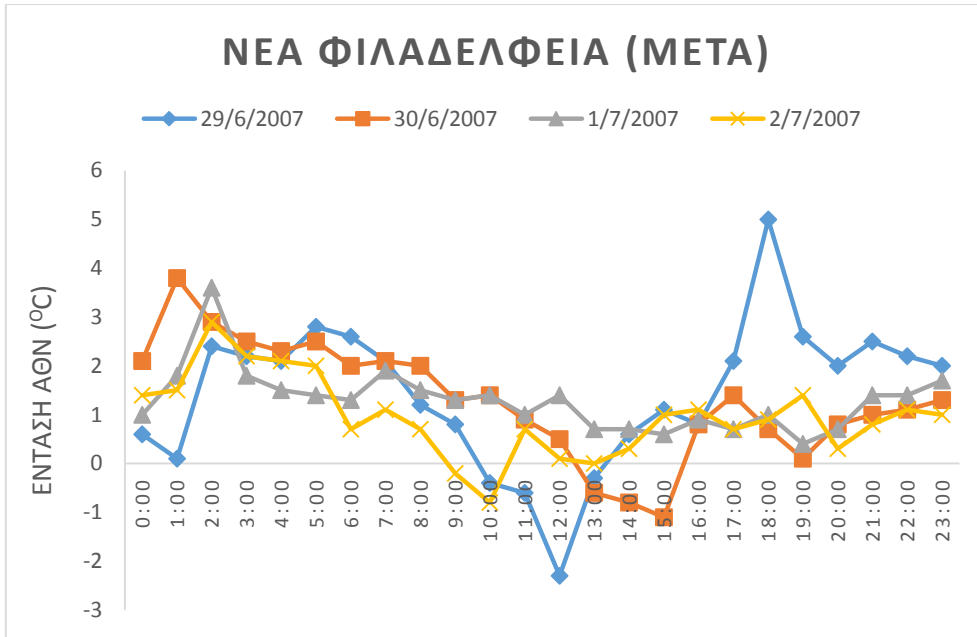
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον αστικό σταθμό στη Νέα Φιλαδέλφεια.



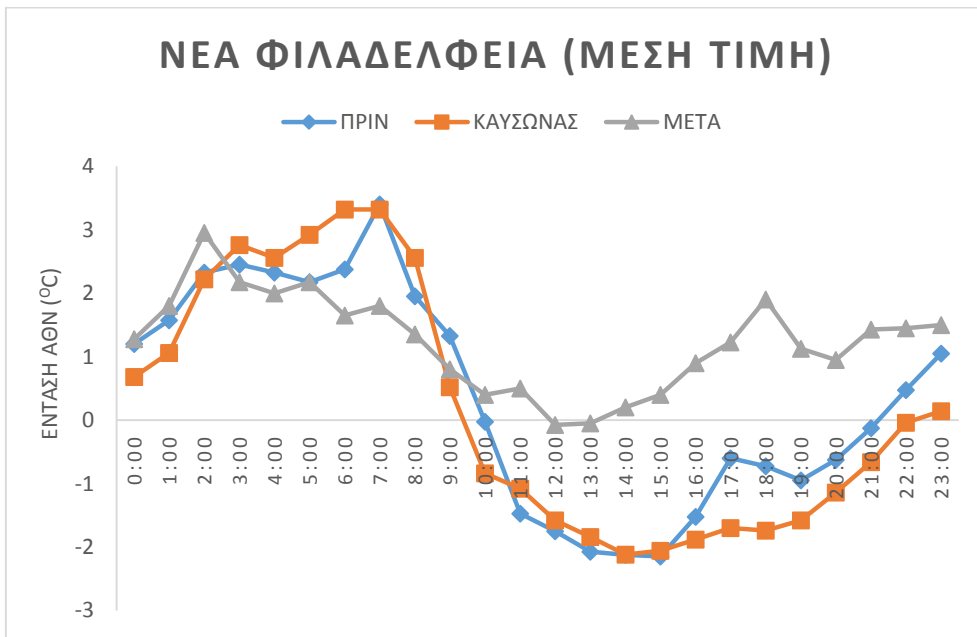
Σχήμα 4.76: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007



Σχήμα 4.77: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007



Σχήμα 4.78: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007

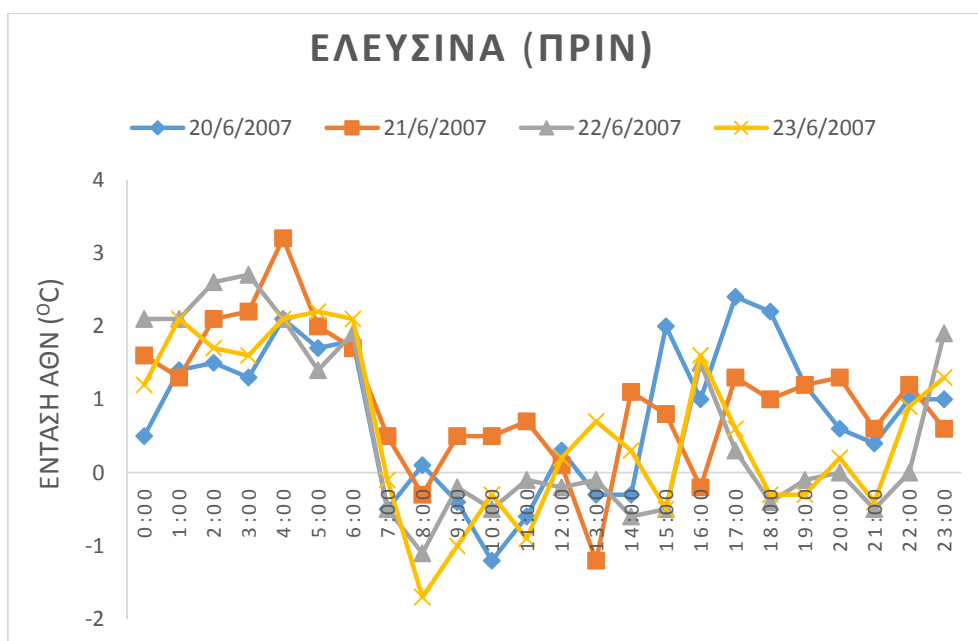


Σχήμα 4.79: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή της Ν. Φιλαδέλφειας

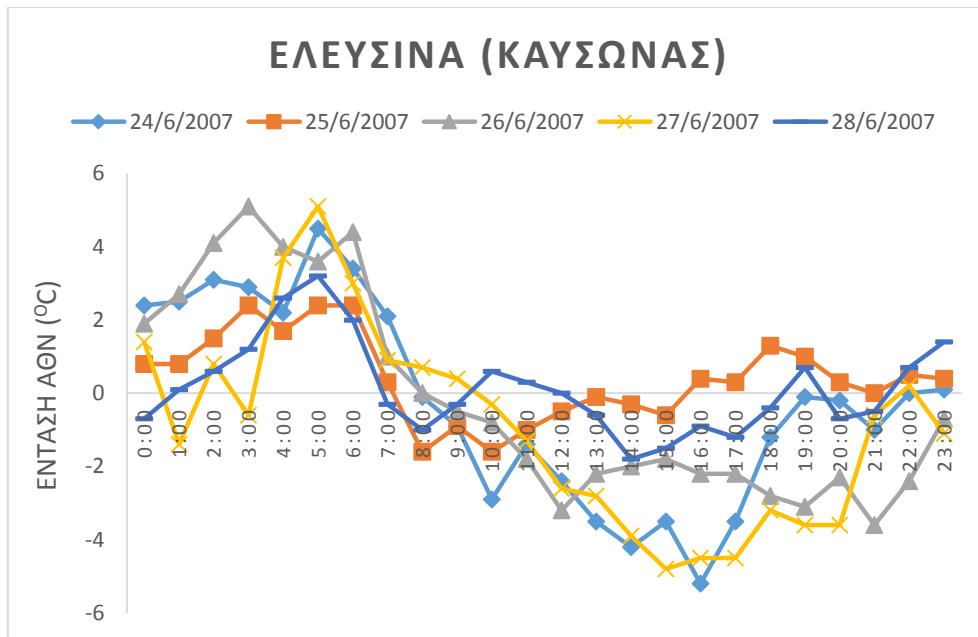
Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, αλλά και στο σχήμα με τις μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ, παρατηρείται μία αξιοπρόσεκτη αύξηση της έντασης, μετά την πάροδο των ημερών του καύσωνα. Η αύξηση αυτή είναι της τάξεως των 2 °C έως 3 °C τις μεσημβρινές ώρες, όσον αφορά τις μέσες τιμές. Οι δύο περίοδοι, πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτες αλλαγές.

4.2.1.2 Προαστιακοί σταθμοί

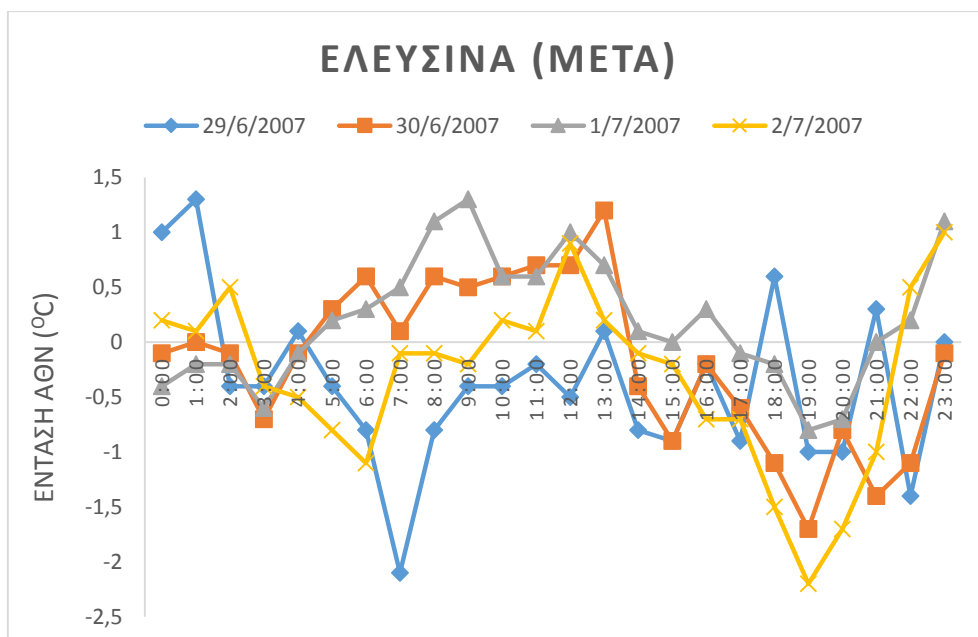
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους προαστιακούς σταθμούς στο Τατόϊ και στην Ελευσίνα. Αρχικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό της Ελευσίνας:



Σχήμα 4.80: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007

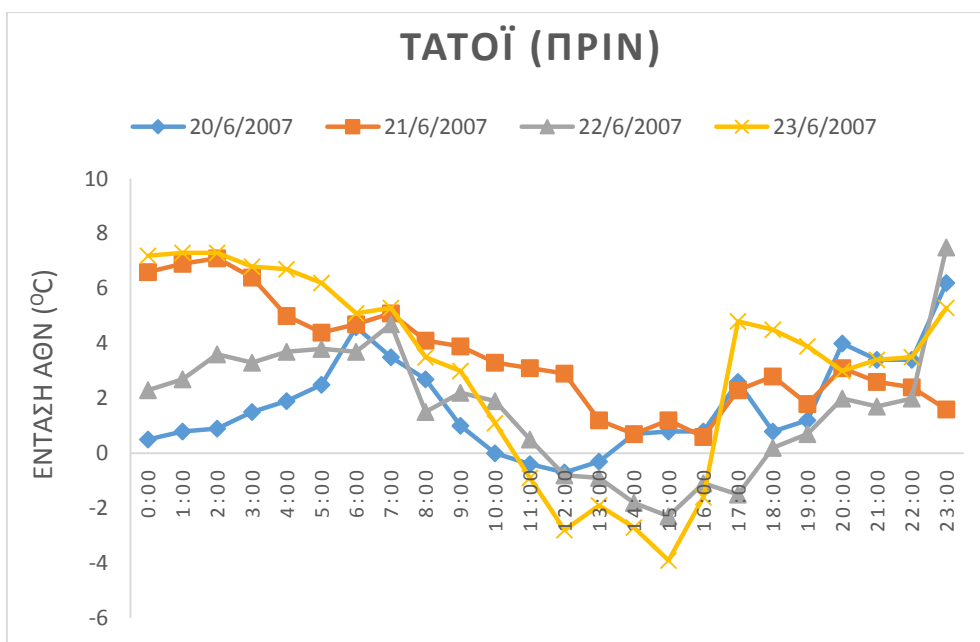


Σχήμα 4.81: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007

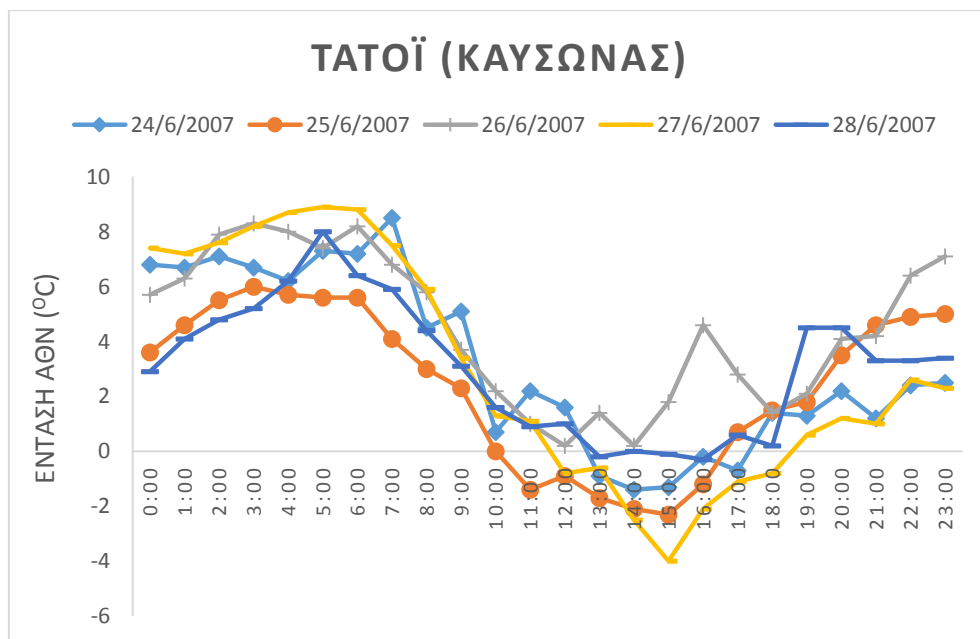


Σχήμα 4.82: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007

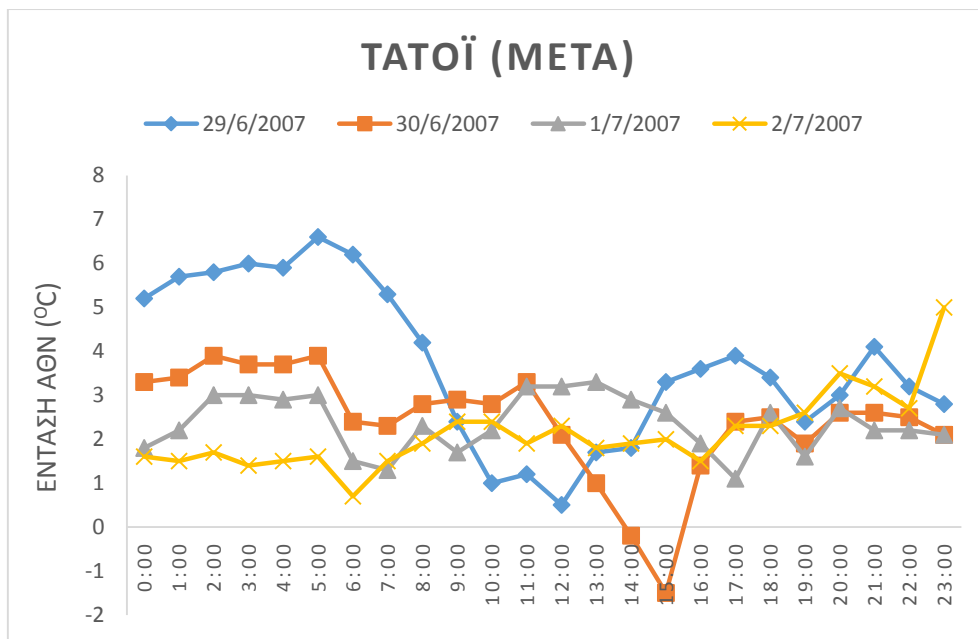
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στο Τατόϊ:



Σχήμα 4.83: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόϊ πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007



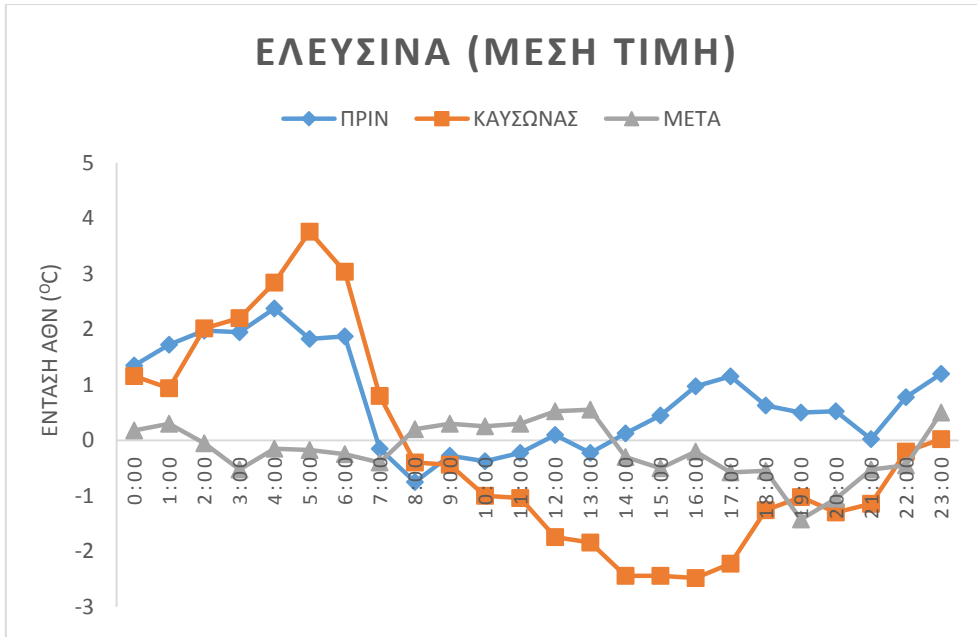
Σχήμα 4.84: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόϊ κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007



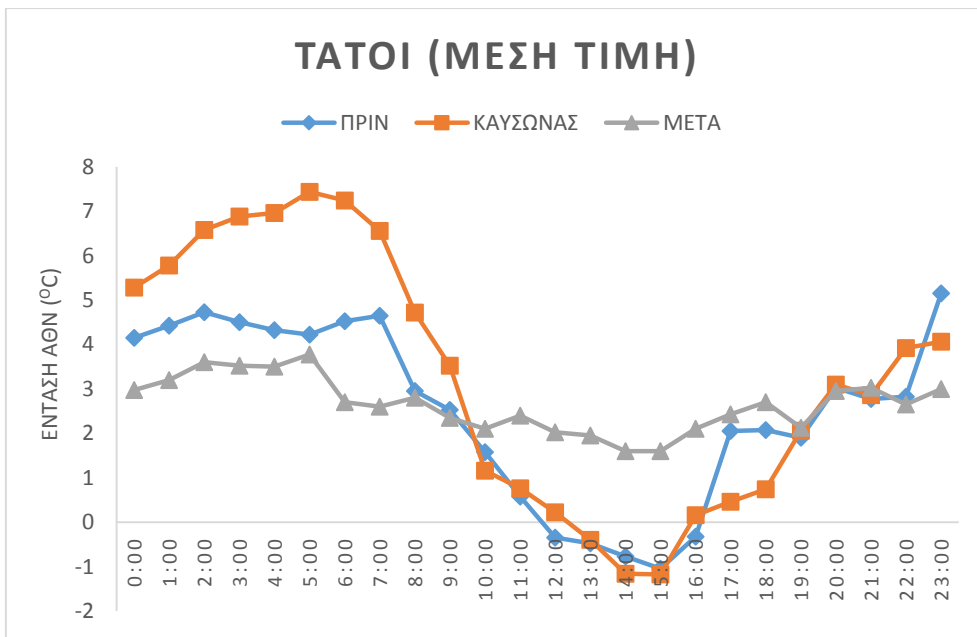
Σχήμα 4.85: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόϊ μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007

Σε αυτές τις δύο περιοχές, παρατηρείται μία αύξηση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, την περίοδο του καύσωνα. Αυτό μάλλον συμβαίνει λόγω της περισσότερης επιφανειακής υγρασίας, που υπάρχει σε αυτές τις περιοχές.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, όμως, δέχονται πολύ μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι παρατηρείται, κυρίως στην Ελευσίνα, σημαντική μείωση της έντασης κατά την περίοδο του καύσωνα, τις μεσημβρινές ώρες. Η καμπύλη της περιόδου μετά τον καύσωνα φαίνεται να είναι πιο ομαλή, που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις της έντασης της ΑΘΝ εκείνες τις ημέρες. Αυτά είναι εύκολα κατανοητά στα παρακάτω διαγράμματα με τις μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ.



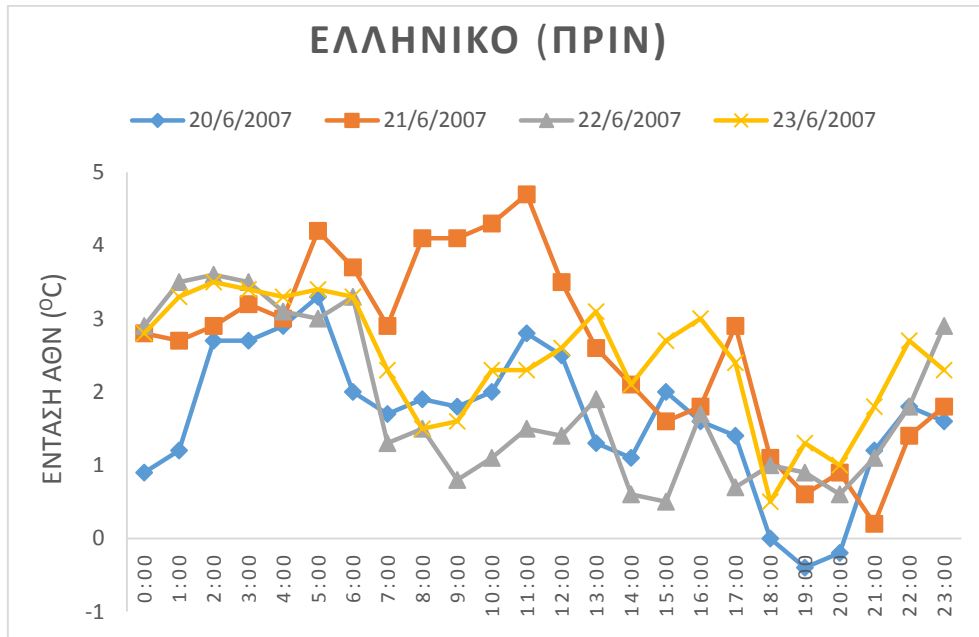
Σχήμα 4.86: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή της Ελευσίνας



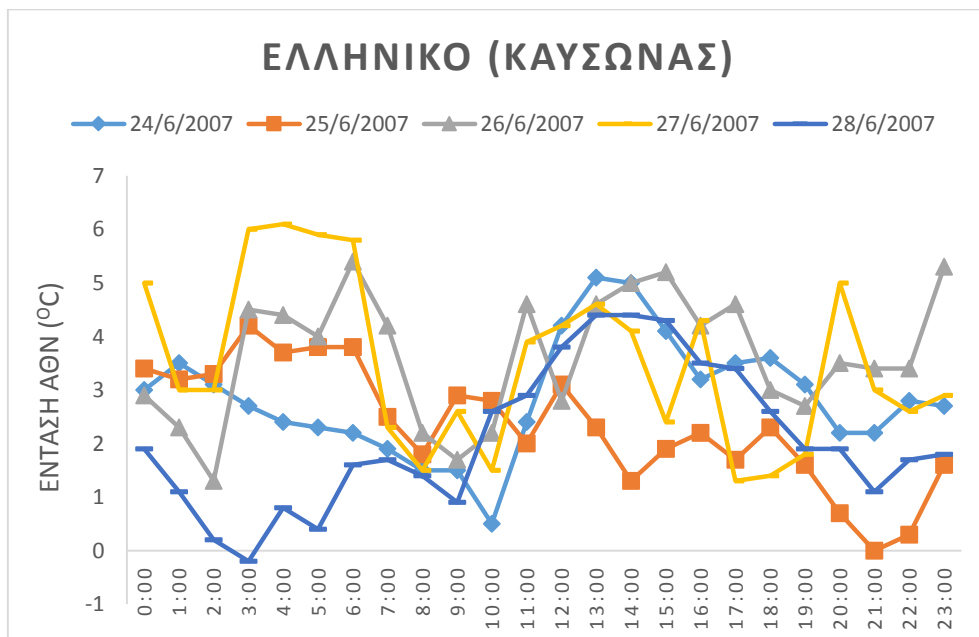
Σχήμα 4.87: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή του Τατοΐου

4.2.1.3 Παράκτιοι σταθμοί

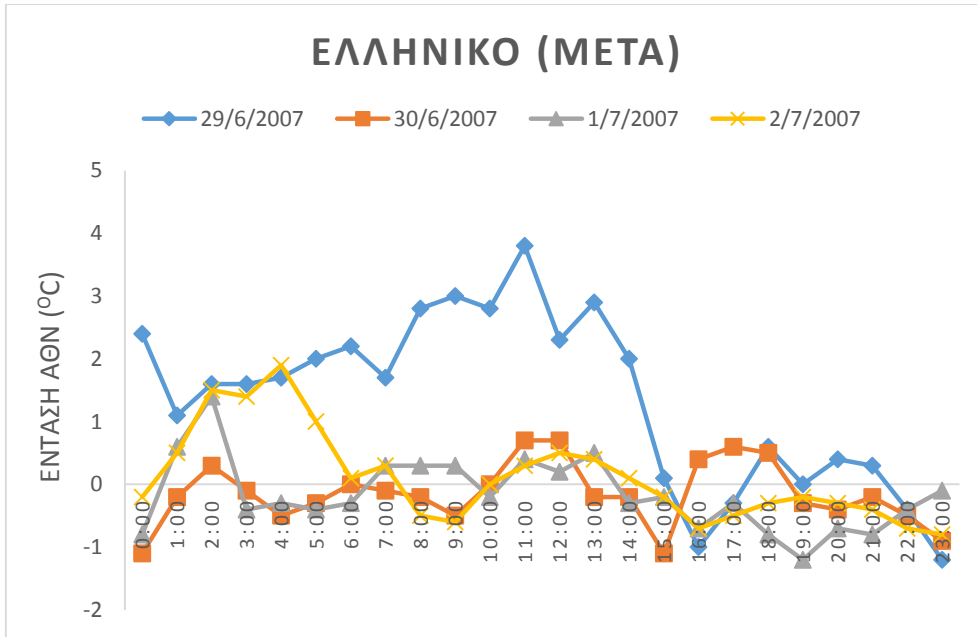
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον παράκτιο σταθμό στο Ελληνικό.



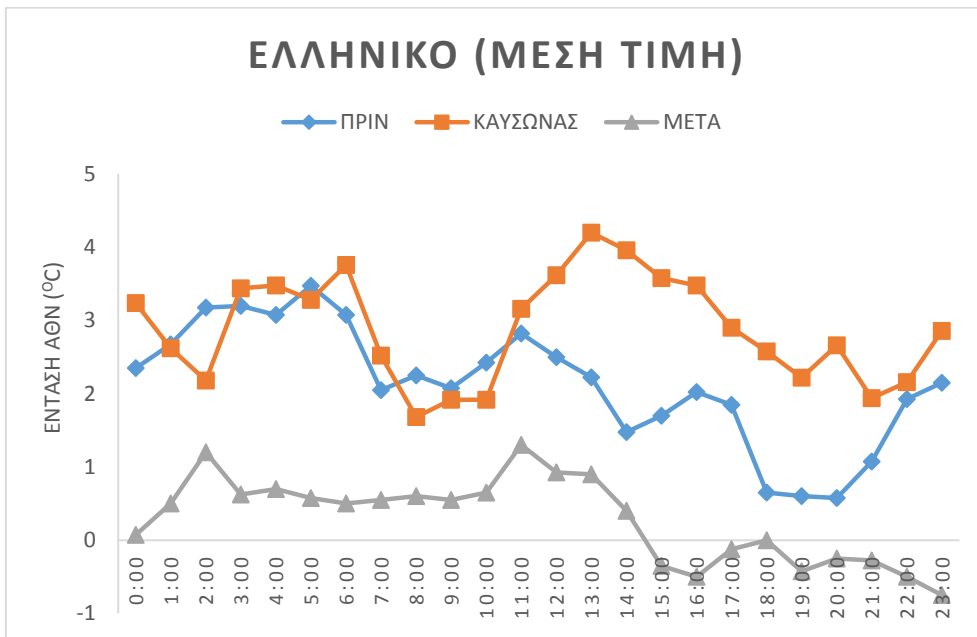
Σχήμα 4.88: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007



Σχήμα 4.89: Ένταση της ΑΘΝ στο Ελληνικό κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007



Σχήμα 4.90: Ένταση της ΑθΝ στο Ελληνικό μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007

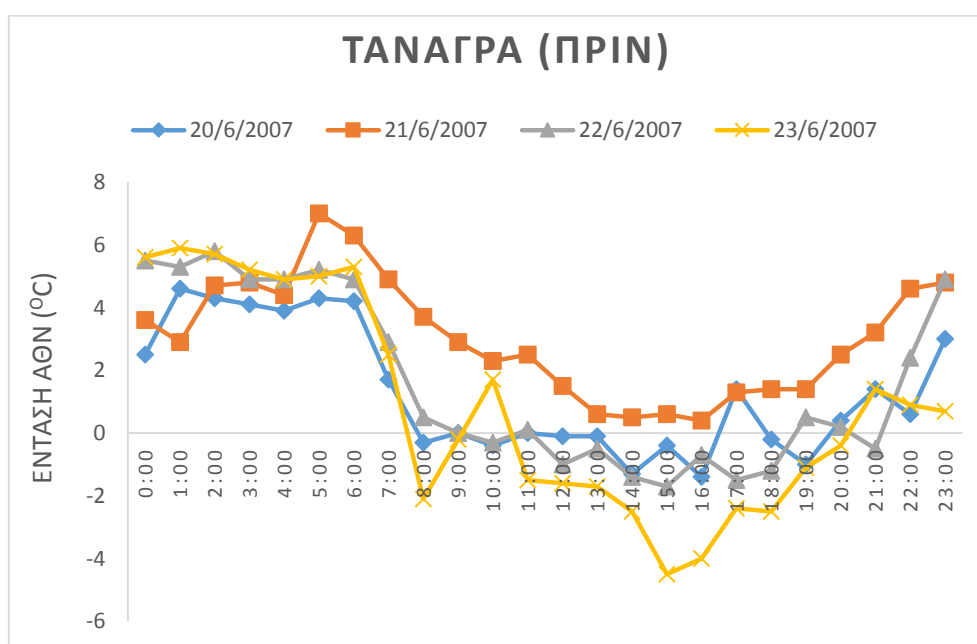


Σχήμα 4.91: Μέσες τιμές της έντασης της ΑθΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή του Ελληνικού

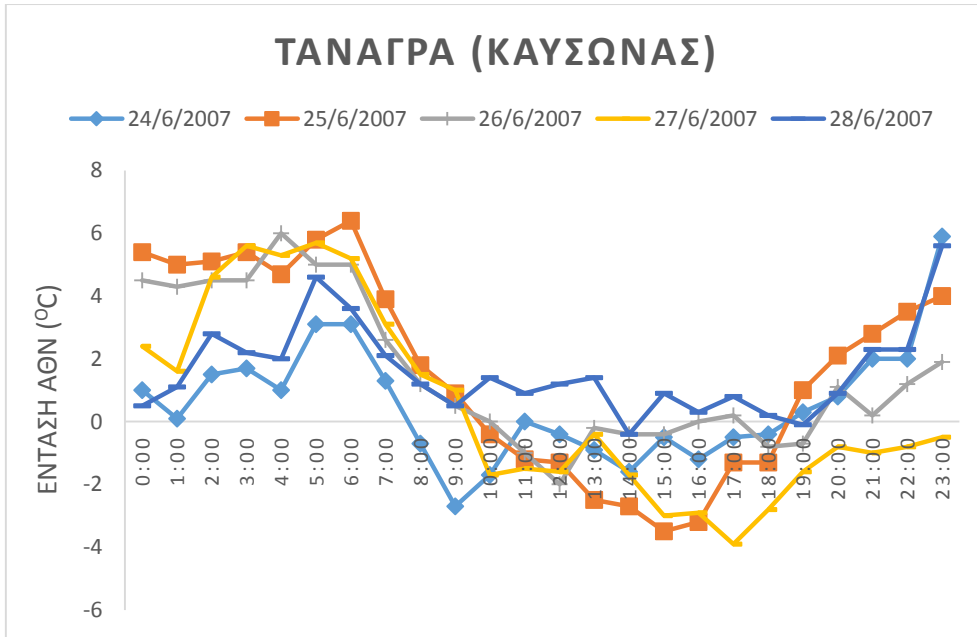
Στην περιοχή του Ελληνικού σημειώνεται αύξηση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καύσωνα, τις μεσημβρινές ώρες. Το γεγονός αυτό είναι ευκολότερα κατανοητό στο σχήμα 4.91, με τις μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ. Εδώ παρατηρείται αύξηση της μέσης έντασης έως και 2 °C, κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Η περίοδος μετά τον καύσωνα φαίνεται να είναι πιο ομαλή και δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις της έντασης της ΑΘΝ.

4.2.1.4 Επαρχιακοί (αγροτικοί) σταθμοί

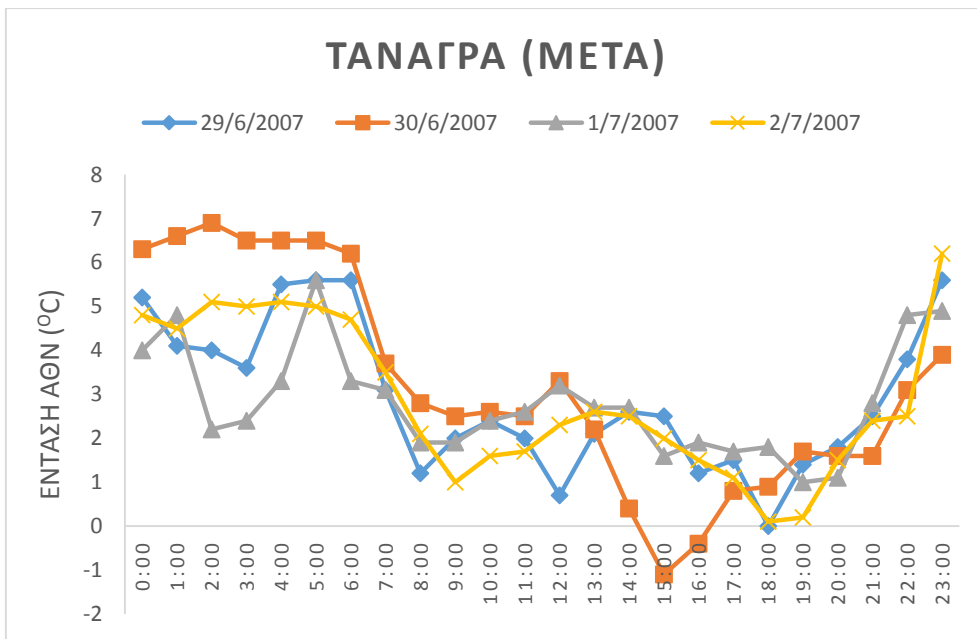
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον επαρχιακό σταθμό στην Τανάγρα.



Σχήμα 4.92: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007

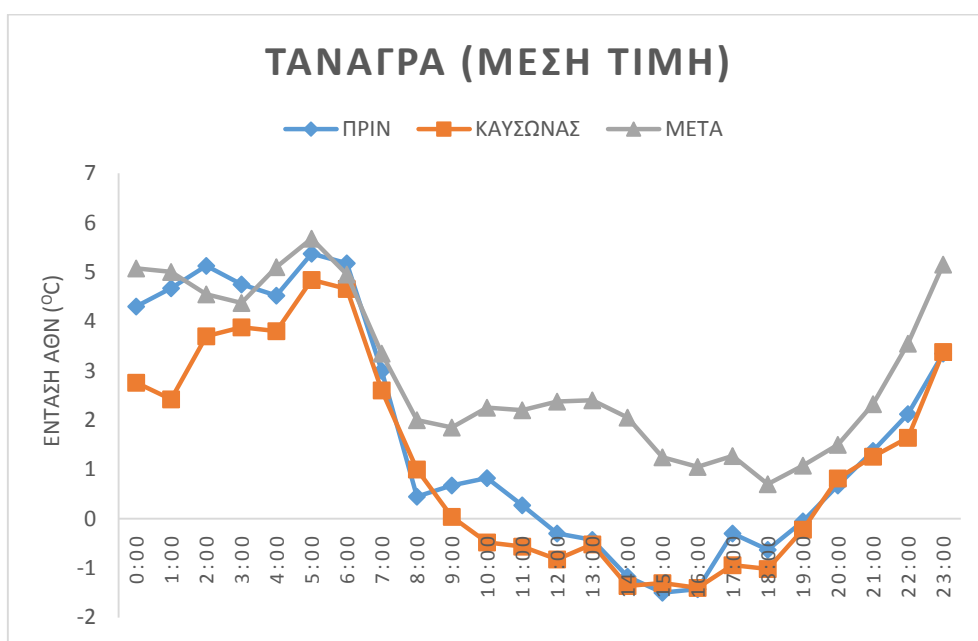


Σχήμα 4.93: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια του καύσιωνα του Ιουνίου 2007



Σχήμα 4.94: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα μετά την πάροδο του καύσιωνα του Ιουνίου 2007

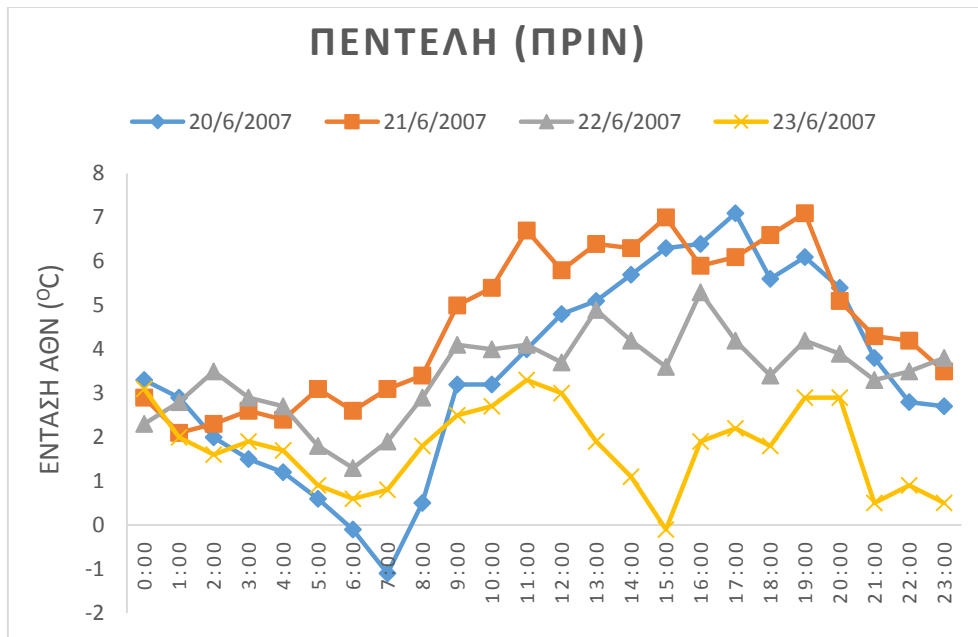
Στην Τανάγρα παρατηρείται μία μικρή μείωση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, τις ημέρες του καύσωνα. Η μέση ένταση της ΑΘΝ την νύχτα είναι περίπου 2 °C μικρότερη, κατά τη διάρκεια του καύσωνα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.95. Επίσης, φαίνεται να υπάρχει και μία αύξηση της μέσης έντασης της ΑΘΝ, μετά το πέρας του καύσωνα και κυρίως τις μεσημβρινές ώρες.



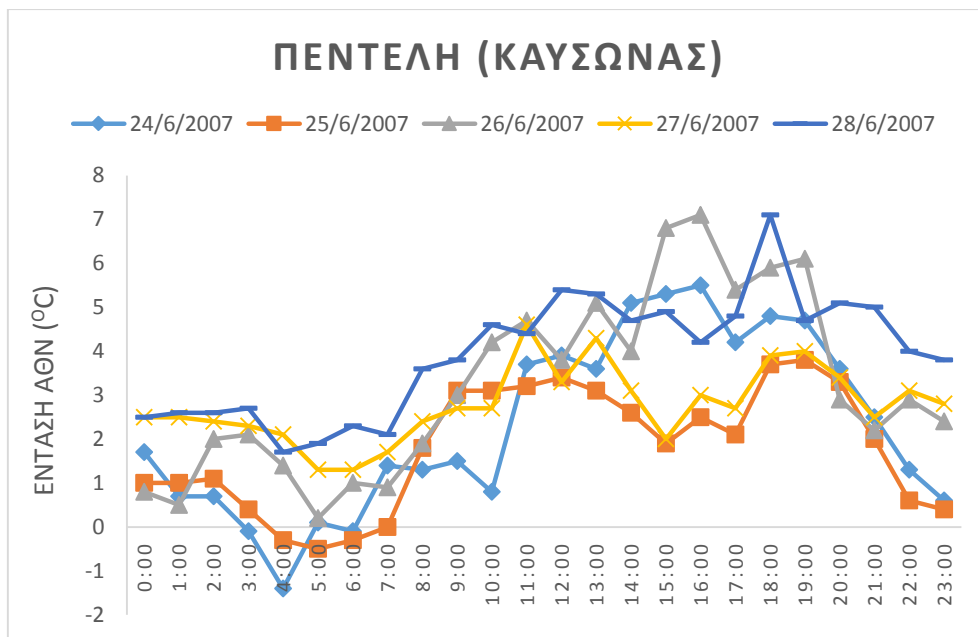
Σχήμα 4.95: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουνίου 2007, στην περιοχή του Τανάγρα

4.2.1.5 Ορεινοί σταθμοί

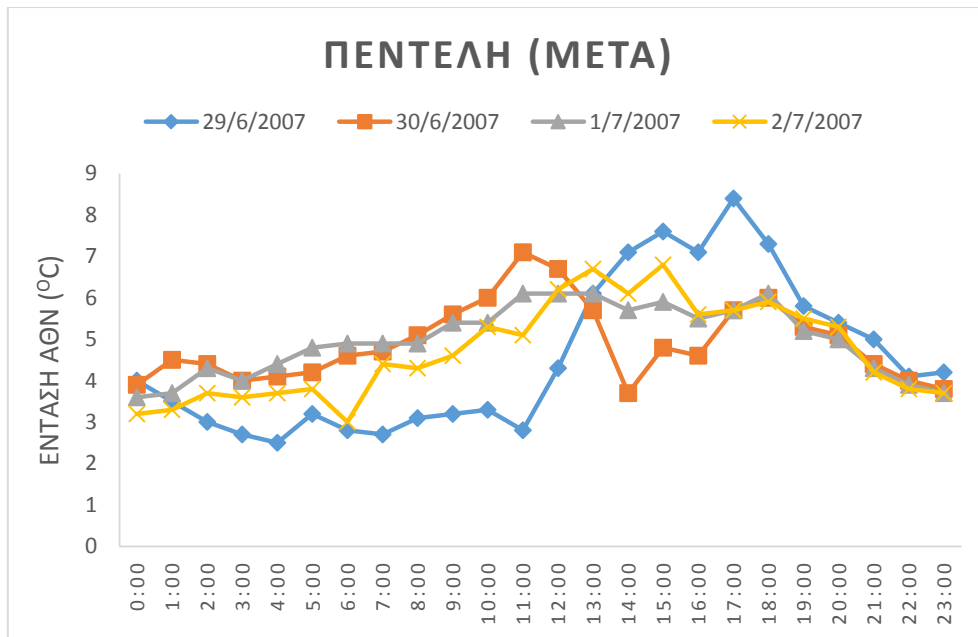
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον ορεινό σταθμό στην Πεντέλη.



Σχήμα 4.96: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουνίου 2007



Σχήμα 4.97: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουνίου 2007



Σχήμα 4.98: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουνίου 2007

Στην περιοχή της Πεντέλης οι μόνες αξιοσημείωτες αλλαγές που παρατηρούνται, είναι η μικρή μείωση της έντασης της νυχτερινής ΑΘΝ, κατά τη διάρκεια του καύσωνα και η αύξηση της έντασης της ΑΘΝ μετά το πέρας της περιόδου του καύσωνα και καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Προφανώς, όπως και το 2012, υπάρχει διαφορά στην εξατμισοδιαπνοή με τον σταθμό αναφοράς, αλλά και λιγότερη υγρασία κατά την περίοδο του καύσωνα.

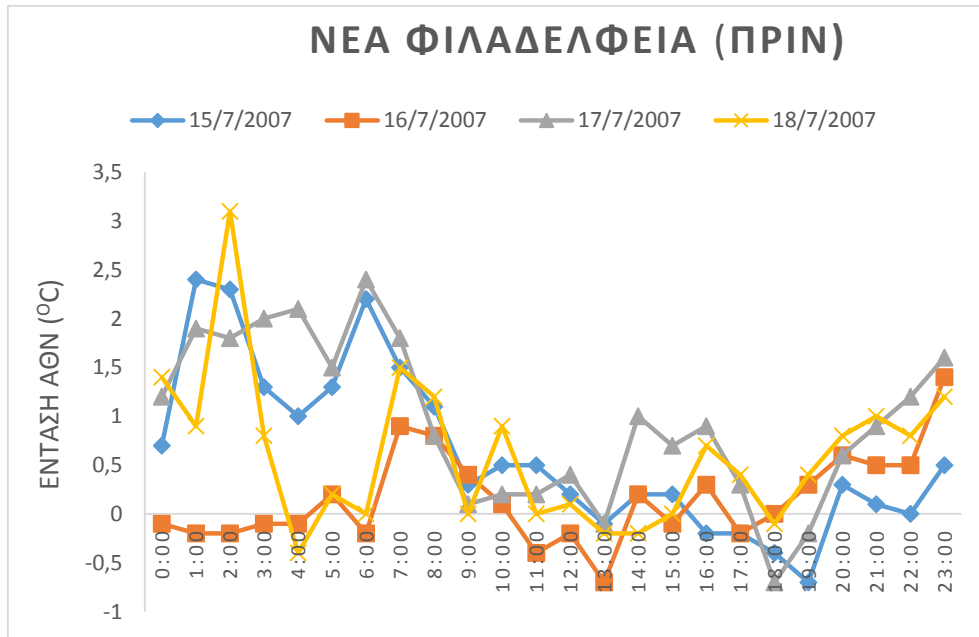
4.2.2 Ιούλιος 2007

Για την υλοποίηση αυτής της ανάλυσης επελέγη, ξανά, ο σταθμός του Θησείου ως σταθμός αναφοράς. Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, όπως και στις προηγούμενες παραγράφους. Έτσι, η ένταση της ΑΘΝ υπολογίσθηκε για τις ημερομηνίες:

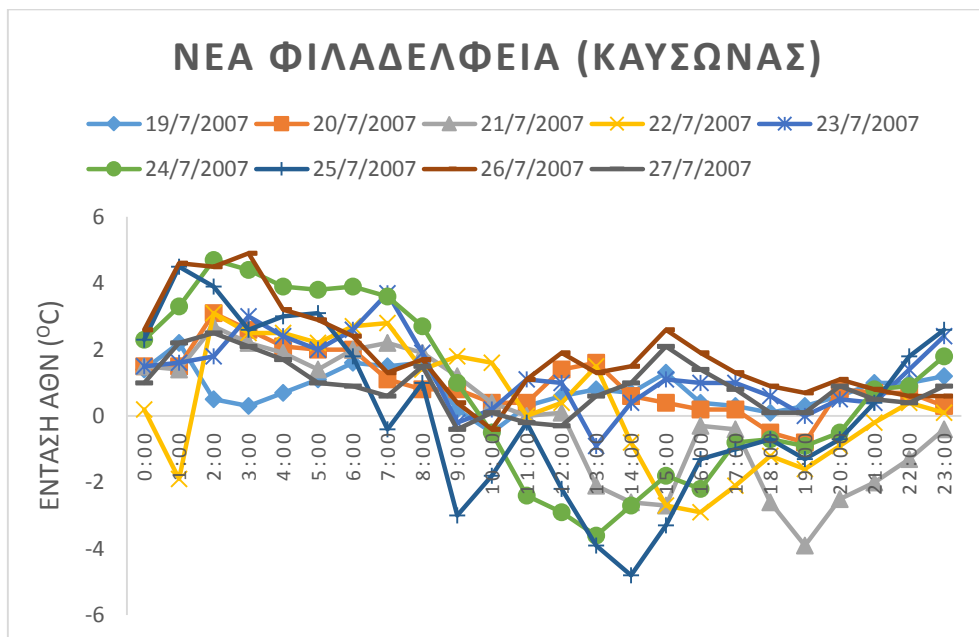
- A) 15/7/2007 – 18/7/2007 (πριν)
- B) 19/7/2007 – 27/7/2007 (κατά τη διάρκεια)
- Γ) 28/7/2007 – 31/7/2007 (μετά)

4.2.2.1 Αστικοί σταθμοί

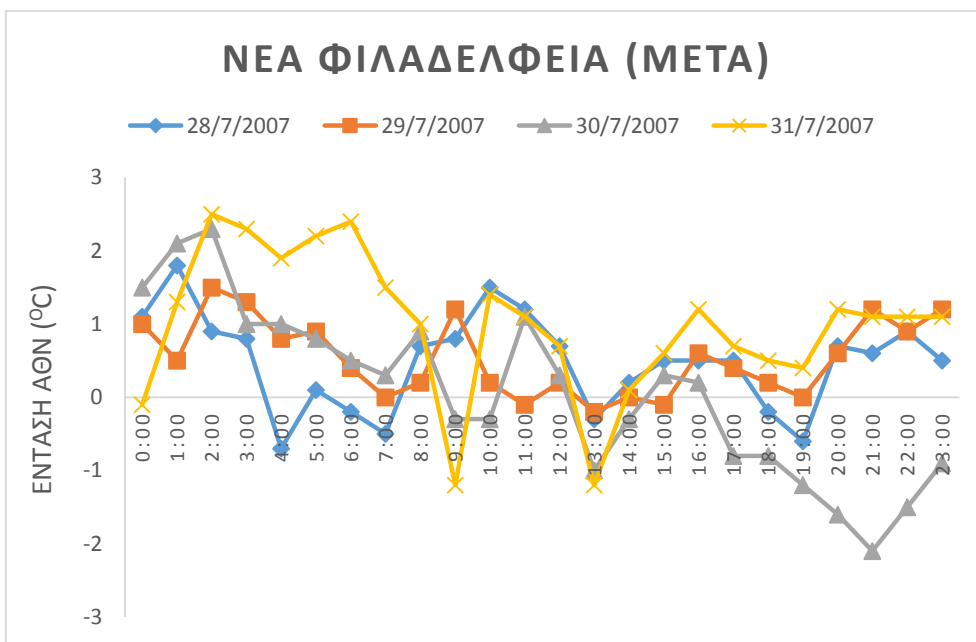
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον αστικό σταθμό στη Νέα Φιλαδέλφεια.



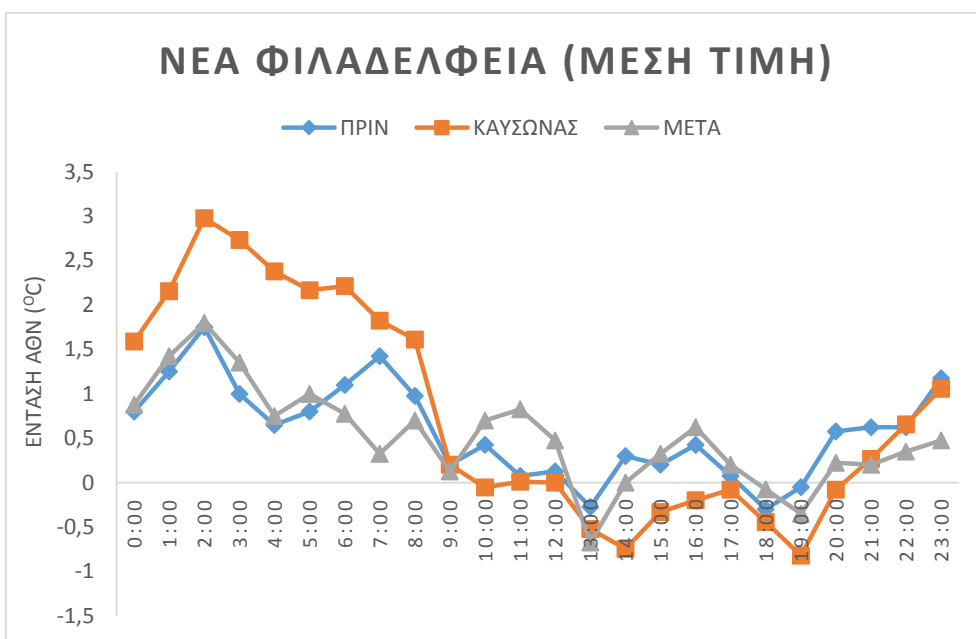
Σχήμα 4.99: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.100: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.101: Ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Φιλαδέλφεια μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007

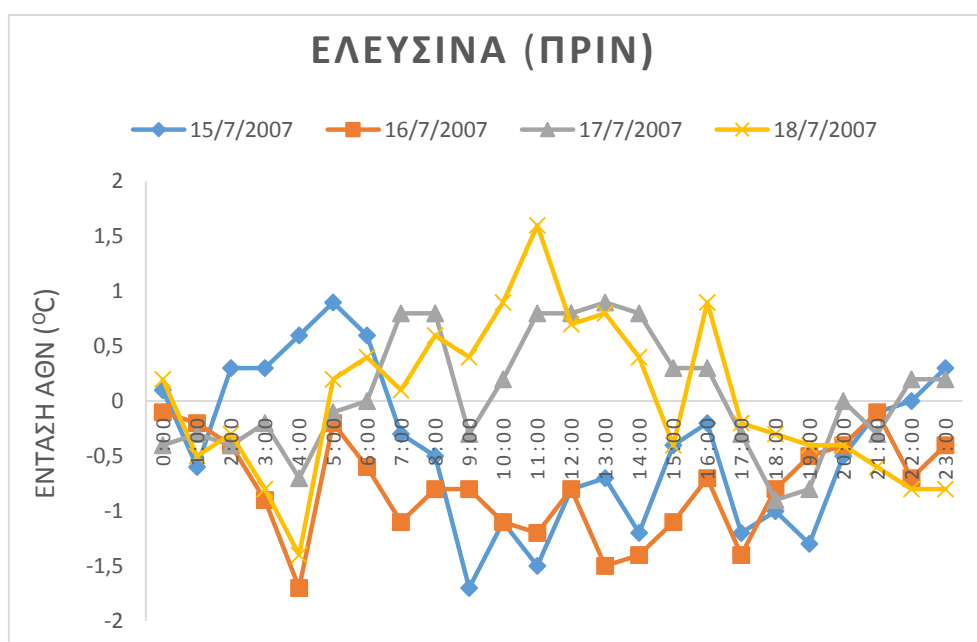


Σχήμα 4.102: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουλίου 2007, στην περιοχή της Ν. Φιλαδέλφειας

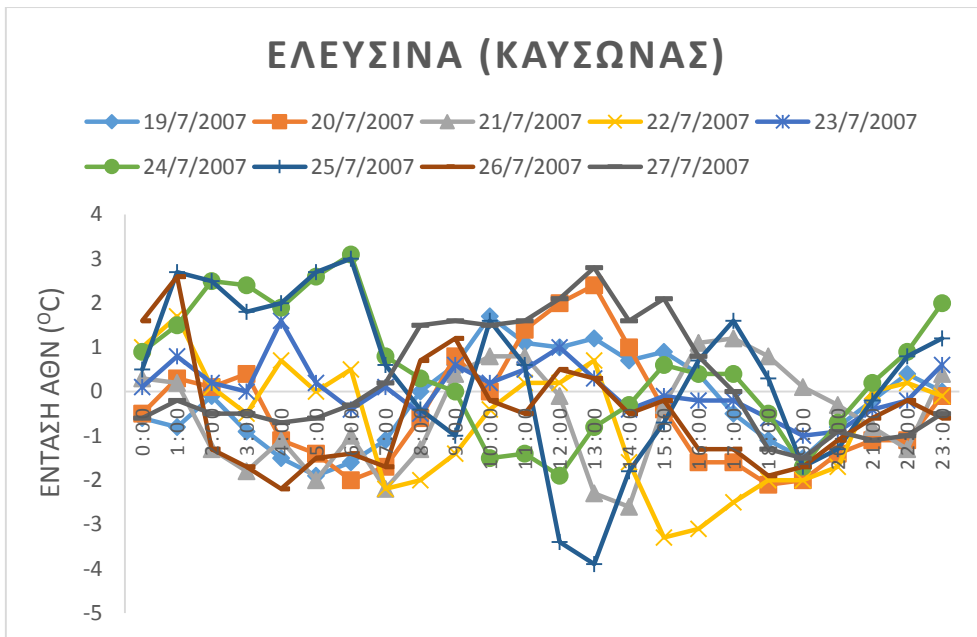
Στην περιοχή της Νέας Φιλαδέλφειας σημειώνεται αύξηση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, την περίοδο του καύσωνα. Έτσι, η μέση τιμή της έντασης της ΑΘΝ τη νύχτα, παρουσιάζει αύξηση έως και 2 °C κατά τη διάρκεια του καύσωνα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.102. Πέρα από αυτό δεν υπάρχει κάποιο άλλο γεγονός, το οποίο αξίζει να σημειωθεί.

4.2.2.2 Προαστιακοί σταθμοί

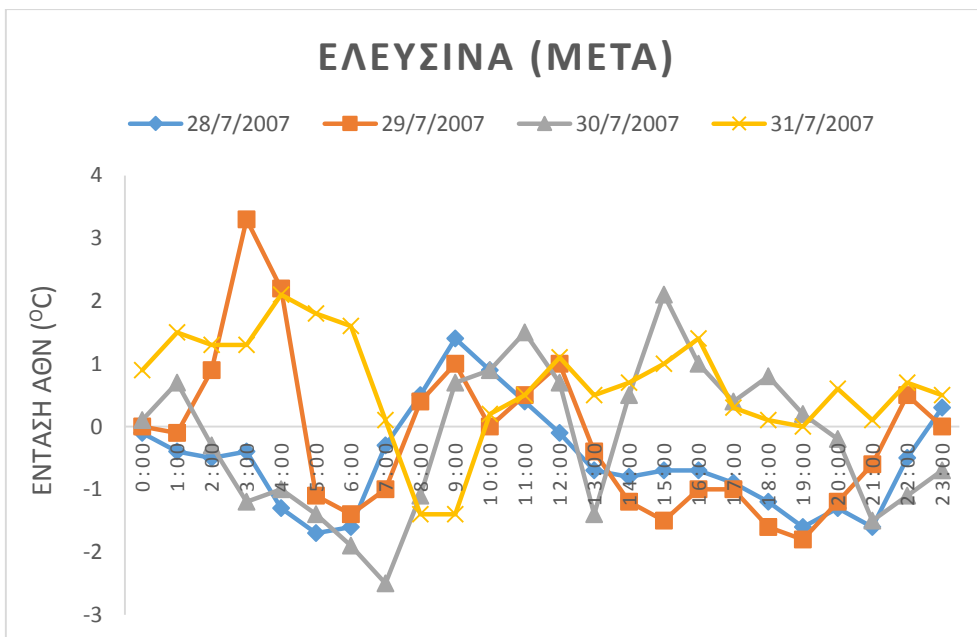
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους προαστιακούς σταθμούς στο Τατόϊ και στην Ελευσίνα. Αρχικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό της Ελευσίνας:



Σχήμα 4.103: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007



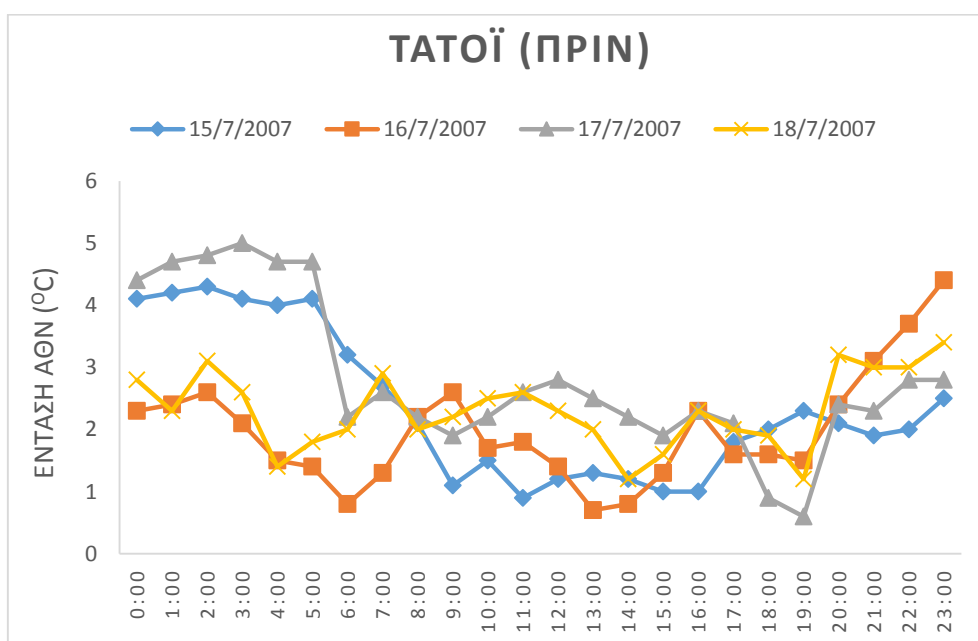
Σχήμα 4.104: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007



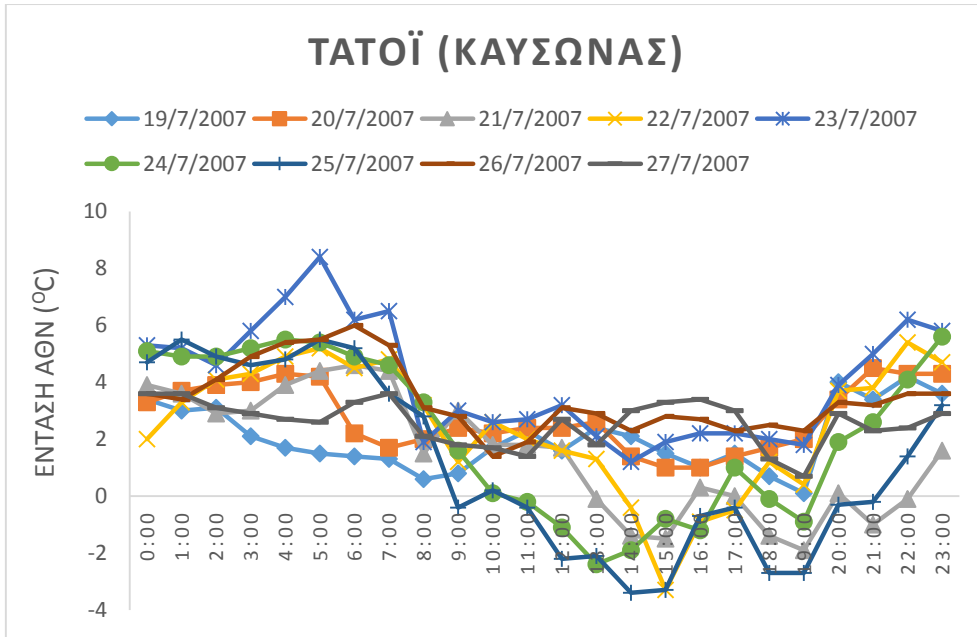
Σχήμα 4.105: Ένταση της ΑΘΝ στην Ελευσίνα μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007

Στο σταθμό της Ελευσίνας δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική αλλαγή κατά την εμφάνιση του καύσωνα. Το μόνο αξιοπρόσεκτο γεγονός είναι η μεγαλύτερη διακύμανση των μετρήσεων γύρω από τη μέση τιμή της έντασης της ΑΘΝ και υπάρχουν πολλές διαφοροποιήσεις της έντασης ανάλογα με την ημέρα.

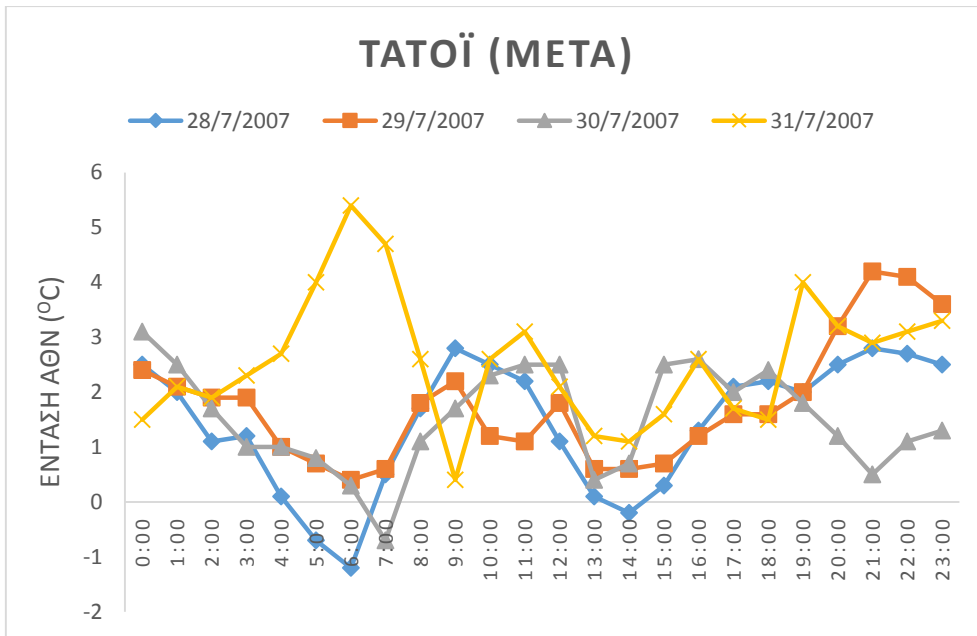
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον σταθμό στο Τατόϊ:



Σχήμα 4.106: Ένταση της ΑΘΝ στο Τατόϊ πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007



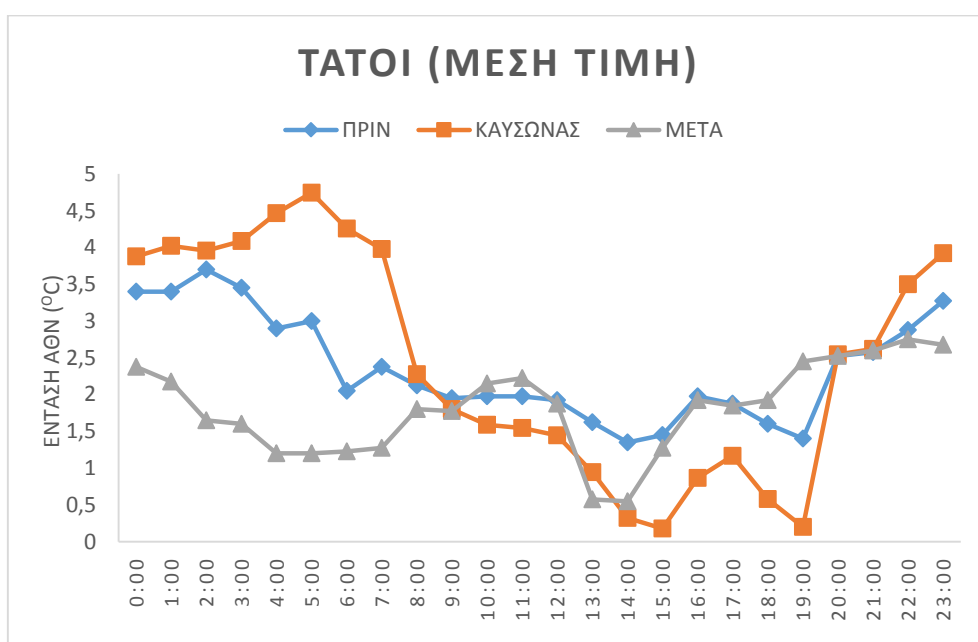
Σχήμα 4.107: Ένταση της ΑθΝ στο Τατόϊ κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.108: Ένταση της ΑθΝ στο Τατόϊ μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007

Στο Τατόϊ υπάρχει μία εμφανής αύξηση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, την περίοδο του καύσωνα. Υπάρχει, επίσης, μία πιο μικρή μείωση της έντασης κατά τη διάρκεια της ημέρας, κυρίως τις μεσημβρινές ώρες. Αυτή εμφανίζεται κυρίως από 21/7 – 25/7.

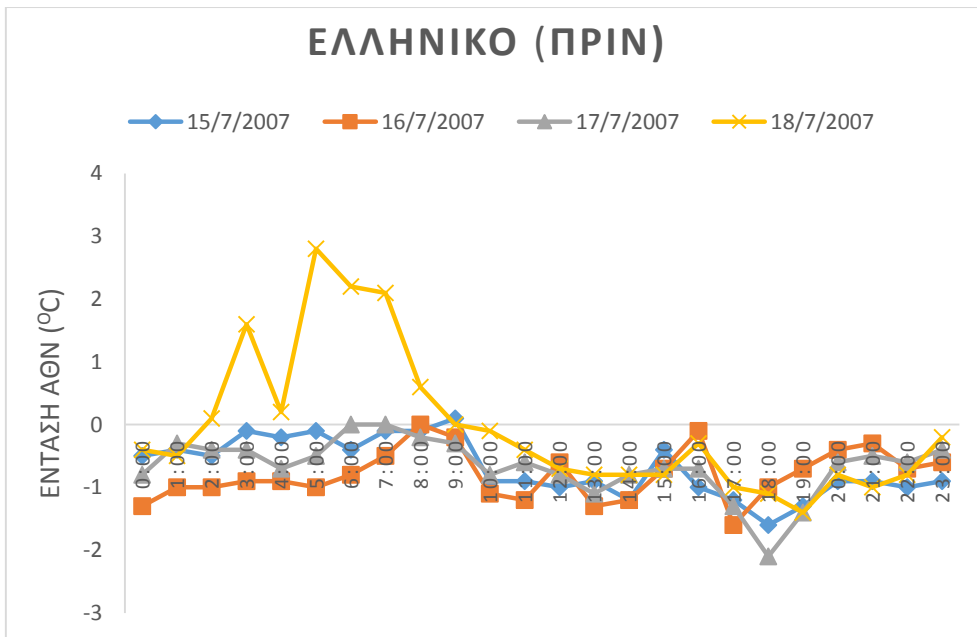
Παρατηρείται, λοιπόν, αύξηση της μέσης έντασης της νυχτερινής ΑΘΝ, έως και 2 °C, κατά τη διάρκεια του καύσωνα, ενώ η μείωση της έντασης της ΑΘΝ κατά τις μεσημβρινές ώρες είναι της τάξεως του 1 °C.



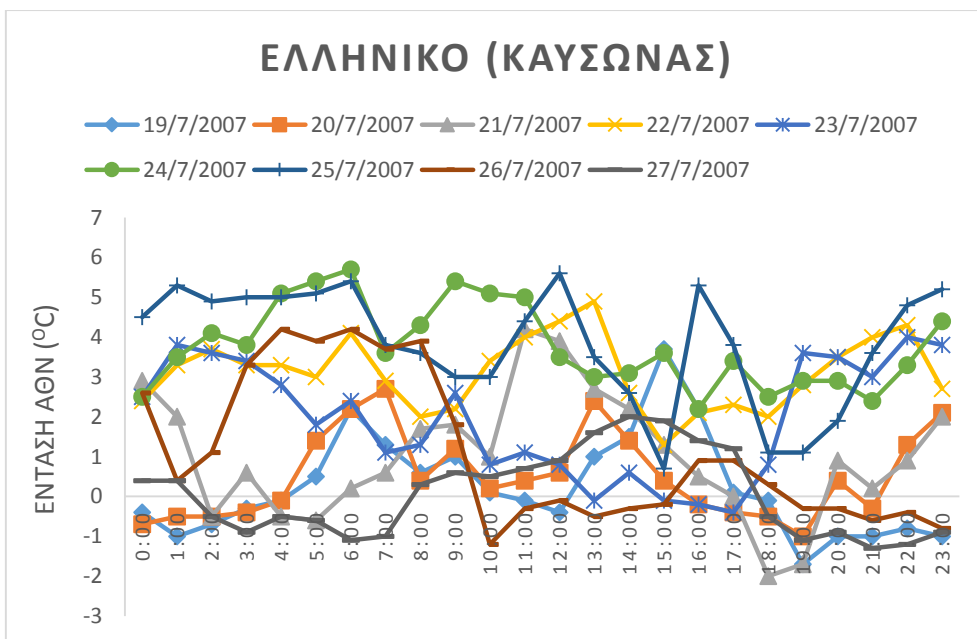
Σχήμα 4.109: Μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσωνα του Ιουλίου 2007, στην περιοχή του Τατοΐου

4.2.2.3 Παράκτιοι σταθμοί

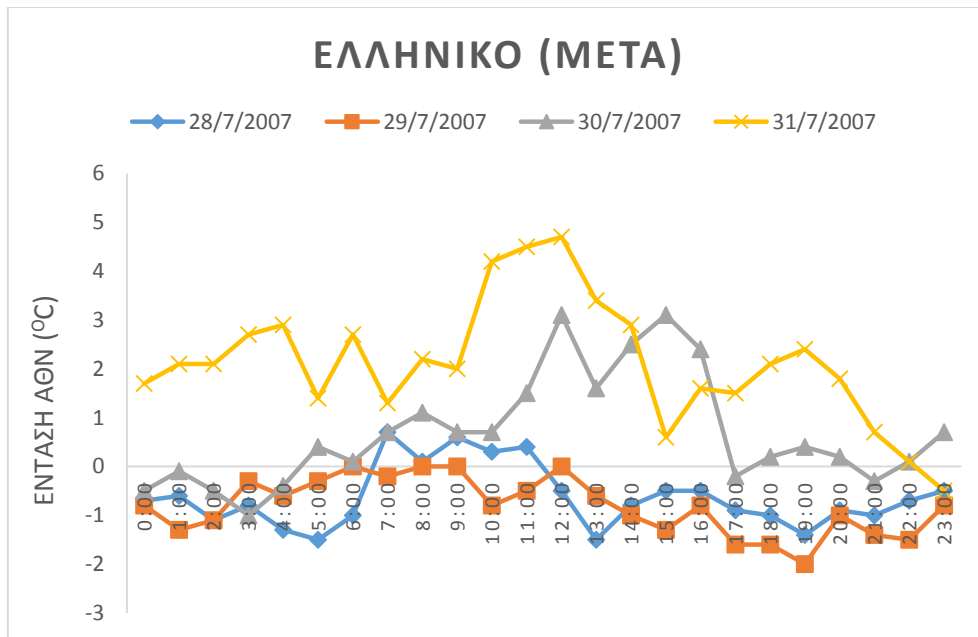
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον παράκτιο σταθμό στο Ελληνικό.



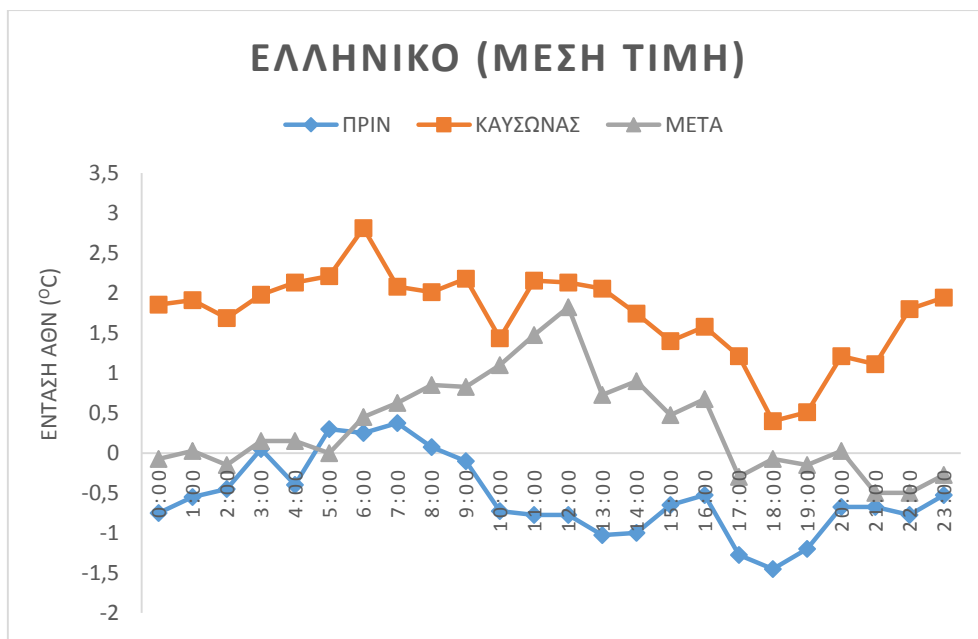
Σχήμα 4.110: Ένταση της ΑθΝ στο Ελληνικό πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.111: Ένταση της ΑθΝ στο Ελληνικό κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.112: Ένταση της ΑθΝ στο Ελληνικό μετά την πάροδο του καύσινα του Ιουλίου 2007

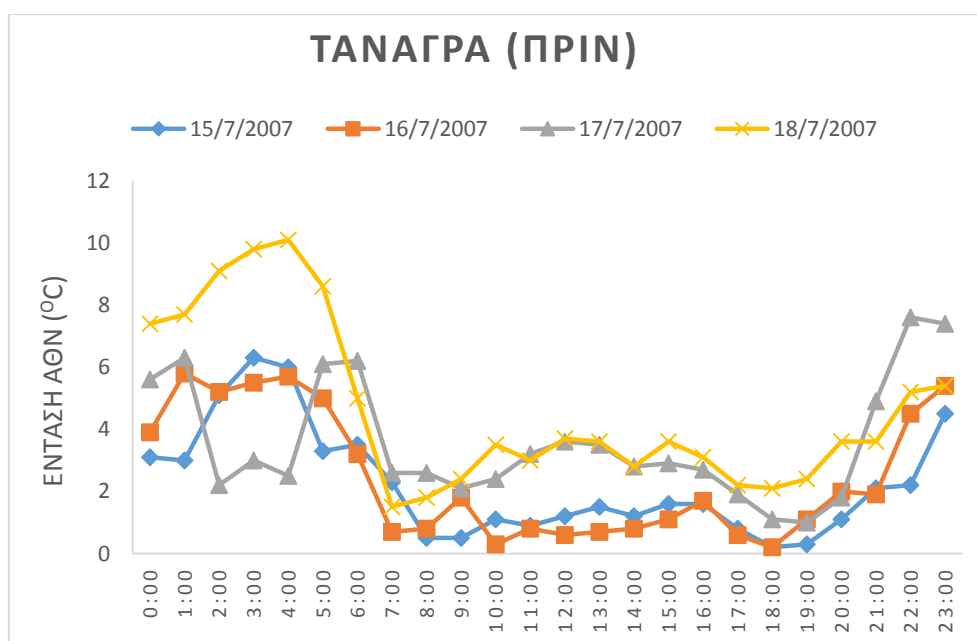


Σχήμα 4.113: Μέσες τιμές της έντασης της ΑθΝ για τις περιόδους πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση του καύσινα του Ιουλίου 2007, στην περιοχή του Ελληνικού

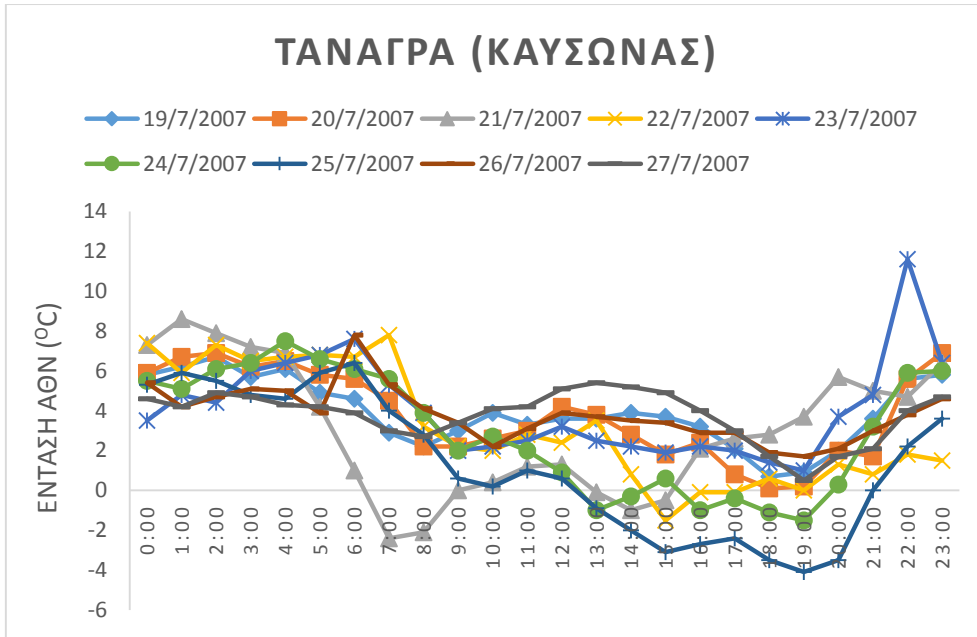
Στην παράκτια περιοχή του Ελληνικού παρατηρείται μία σαφής αύξηση της έντασης της ΑΘΝ καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας, την περίοδο του καύσωνα (αν εξαιρέσουμε τις δύο τελευταίες ημέρες της περιόδου αυτής). Το γεγονός αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό στο σχήμα 4.113, το οποίο απεικονίζει τις μέσες τιμές της έντασης της ΑΘΝ. Στο σχήμα αυτό είναι προφανές ότι η μεγαλύτερη αύξηση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας και μπορεί να φτάσει και τους 2 °C.

4.2.2.4 Επαρχιακοί (αγροτικοί) σταθμοί

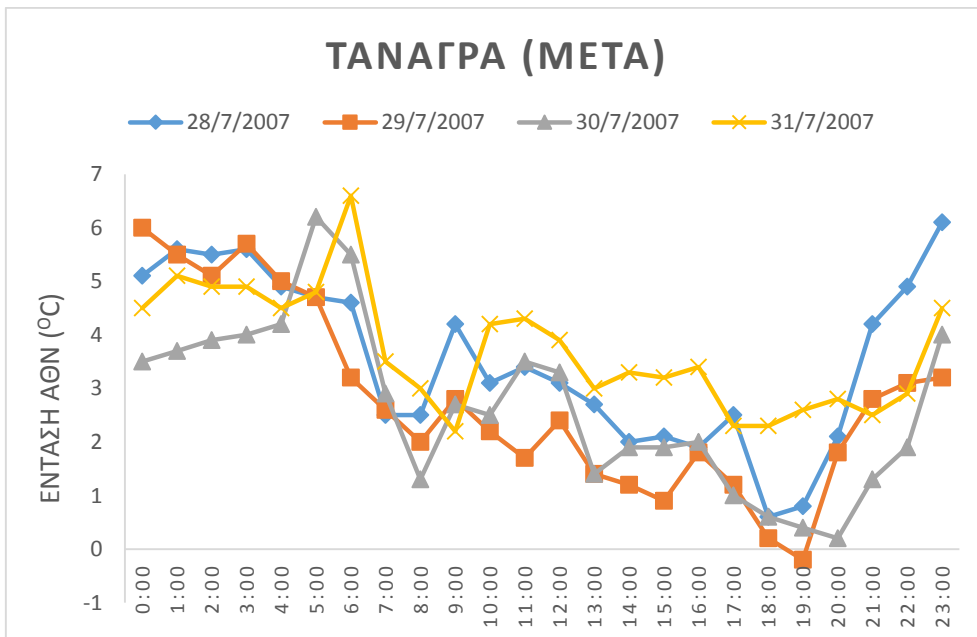
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον επαρχιακό σταθμό στην Τανάγρα.



Σχήμα 4.114: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.115: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007

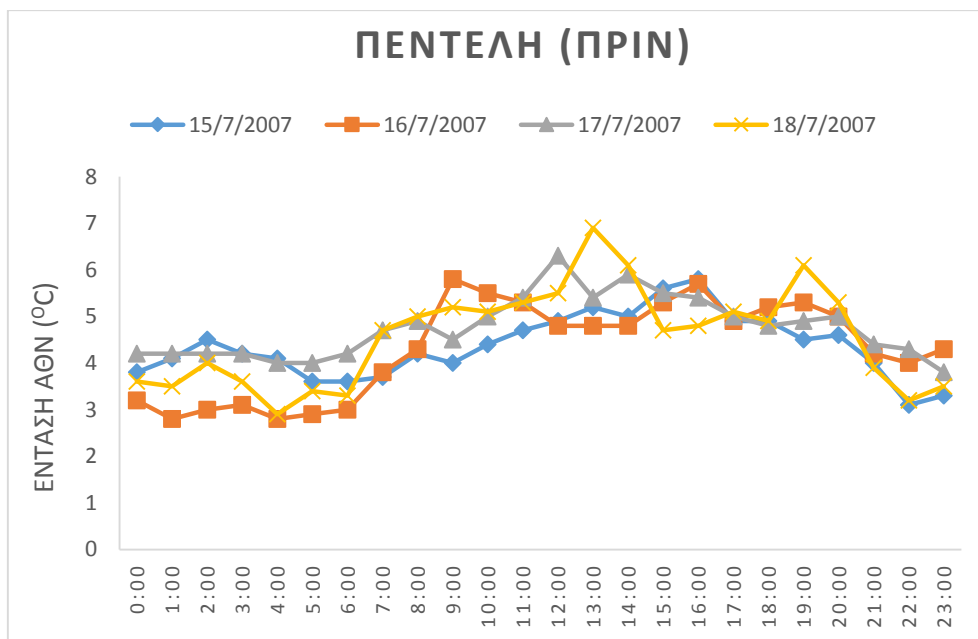


Σχήμα 4.116: Ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007

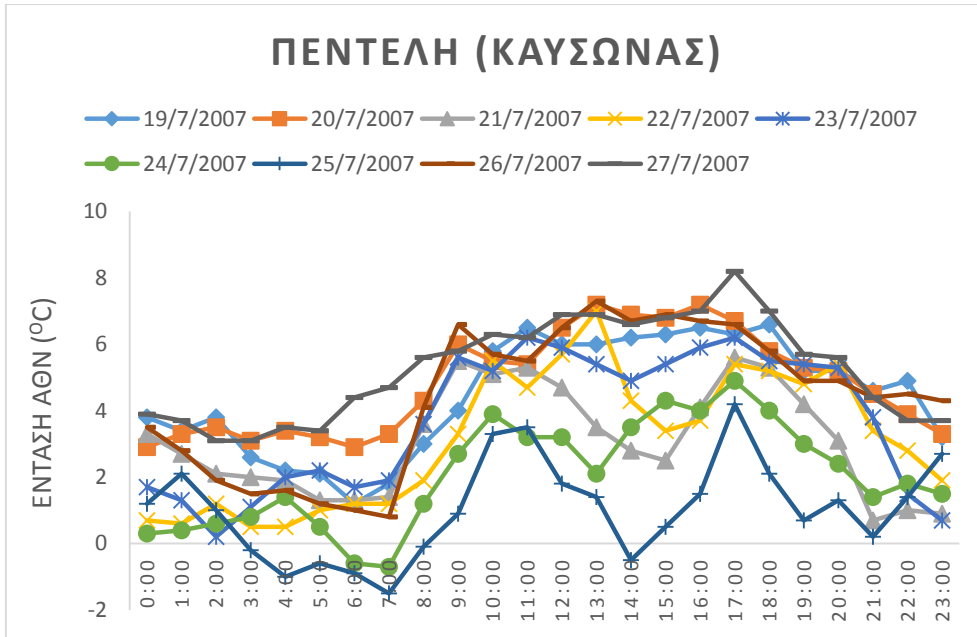
Στην περιοχή της Τανάγρας η ένταση της ΑΘΝ δεν παρουσιάζει κάποια αξιοσημείωτη μεταβλητότητα, κατά τη διάρκεια του καύσωνα σε σχέση με τις άλλες δύο περιόδους. Παρατηρούνται μόνο κάποιες ακραίες τιμές στις 21/7 (τη νύχτα και νωρίς το πρωί) και στις 25/7 (το μεσημέρι και αργά το απόγευμα).

4.2.2.5 Ορεινοί σταθμοί

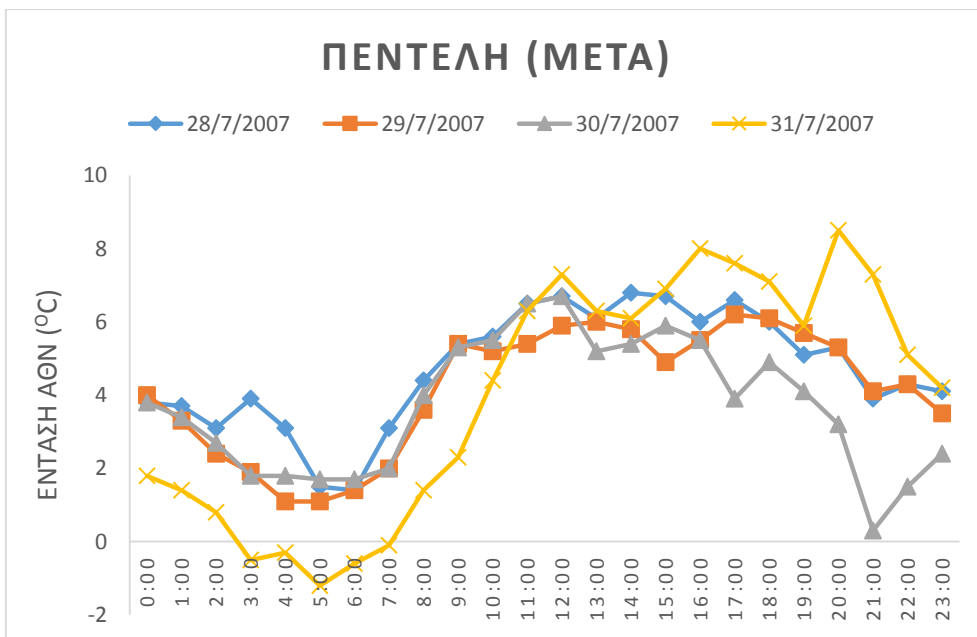
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον ορεινό σταθμό στην Πεντέλη.



Σχήμα 4.117: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη πριν την εμφάνιση του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.118: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη κατά τη διάρκεια του καύσωνα του Ιουλίου 2007



Σχήμα 4.119: Ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη μετά την πάροδο του καύσωνα του Ιουλίου 2007

Όσον αφορά το σταθμό της Πεντέλης υπάρχει μία μείωση της έντασης της νυχτερινής ΑΘΝ, τόσο κατά την περίοδο του καύσωνα όσο και μετά το πέρας της περιόδου αυτής. Η μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στις 24/7 και στις 25/7, με την τελευταία ημέρα να εμφανίζει τις πιο ακραίες τιμές.

4.3 Ανάλυση στους παράκτιους σταθμούς για τον καύσιμα του 2012

Για να ξεκινήσουμε την ανάλυση των παράκτιων σταθμών είναι απαραίτητο να παραθέσουμε έναν πίνακα με κάποια στοιχεία από το σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης για τους παράκτιους σταθμούς. Ο πίνακας 4.1 περιλαμβάνει τις τιμές των ρυθμών θέρμανσης (Heating Rates), της ταχύτητα του ανέμου (TA) και της διεύθυνσης του ανέμου (ΔΑ) στο σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο κατά την περίοδο από 1 έως 8 Αυγούστου 2012. Οι περίοδοι 1-4 Αυγούστου και 5-8 Αυγούστου 2012 αντιπροσωπεύουν περιόδους << χωρίς καύσιμα >> και << με καύσιμα >>, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.1: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (TA) και διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) στο σταθμό του ΕΑΑ στο Θησείο

Ημερομηνία	ΘΗΣΕΙΟ				
	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση TA (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα ΔΑ (7:00-14:00)	Μέση TA (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα ΔΑ (15:00-19:00)
1/8/2012	0,9	6,4	NNE	6,9	NE
2/8/2012	1,1	3,6	NE	3,4	SSW
3/8/2012	1,3	2,9	NE	2,4	S
4/8/2012	1,3	2,3	SSW	3,6	SW
5/8/2012	1,4	3,2	NE	6,5	NE
6/8/2012	1,5	3,3	NE	3,5	NE
7/8/2012	1,4	4,0	NE	7,7	NE
8/8/2012	1,3	4,2	NE	5,9	NE

Στο σημείο αυτό θα παραθέσουμε αντίστοιχες πληροφορίες για τους παράκτιους σταθμούς στο Φάληρο, το Λαύριο, τη Νέα Μάκρη και την Ανάβυσσο.

4.3.1 Φάληρο

Ο πίνακας 4.2 περιλαμβάνει τις τιμές των ρυθμών θέρμανσης (Heating Rates), της ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ) και της διεύθυνσης του ανέμου (ΔΑ) στο Φάληρο, κατά την περίοδο από 1 έως 8 Αυγούστου 2012, καθώς και τη μέγιστη παρατηρούμενη ημερήσια ένταση της ΑΘΝ, που υπολογίσθηκε από τις ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα στους σταθμούς του Θησείου και του Φαλήρου. Οι περιόδους 1-4 Αυγούστου και 5-8 Αυγούστου 2012 αντιπροσωπεύουν περιόδους << χωρίς καύσιμα >> και << με καύσιμα >>, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.2: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στο Φάληρο

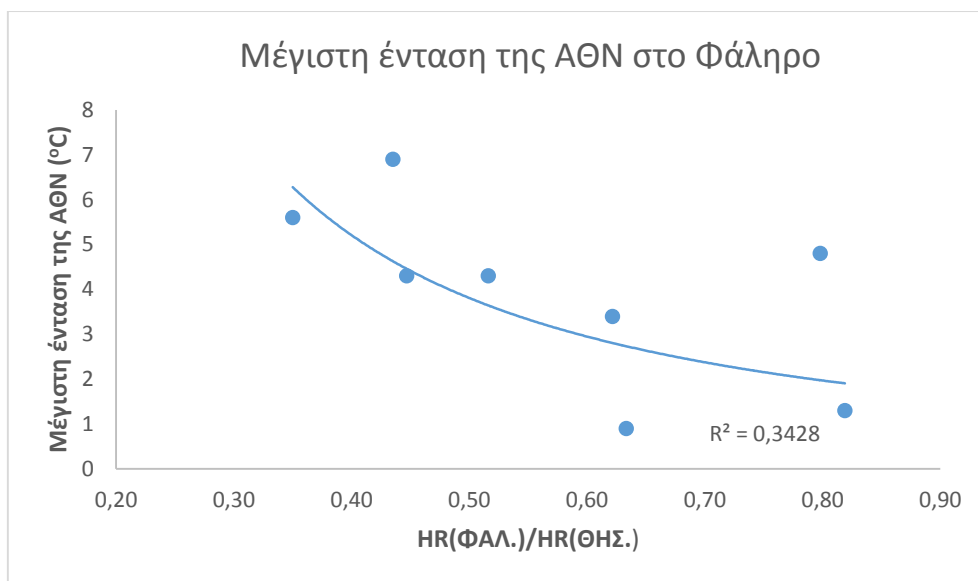
Ημερομηνία	ΦΑΛΗΡΟ					
	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα ΔΑ (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα ΔΑ (15:00-19:00)	Μέγ. Ένταση ΑΘΝ (°C)
1/8/2012	0,54	2,9	NE	3,2	NE	0,9
2/8/2012	0,66	1,4	NW	1,3	SE	3,4
3/8/2012	0,60	0,9	WNW	1,5	SSE	4,3
4/8/2012	0,69	0,7	SSW-SSE	1,2	SSE	4,3
5/8/2012	0,50	0,9	SSW	2,3	NE	5,6
6/8/2012	0,67	0,9	SSW	1,2	SSW	6,9
7/8/2012	1,13	1,0	N	3,5	NE	4,8
8/8/2012	1,10	1,6	NE	2,2	NE	1,3

Οι ρυθμοί θέρμανσης και η μέγιστη ένταση της Θερμικής Νησίδας φαίνεται να επηρεάζονται από το πεδίο του ανέμου. Όταν έχω ισχυρότερους βόρειους ανέμους, η θαλάσσια αύρα είναι ασθενέστερη. Σε αυτή την περίπτωση, ασθενέστερη είναι και η ένταση της ΑΘΝ, δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ Θησείου και Φαλήρου είναι μικρή. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα την 1^η Αυγούστου, καθώς και στις 8 Αυγούστου.

Όσον αφορά την 7^η και 8^η Αυγούστου, οι βόρειοι άνεμοι μεταφέρουν θερμό αέρα από την πόλη προς την ακτή και αυξάνουν τους ρυθμούς θέρμανσης, καθώς και την τοπική θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, ο ρυθμός θέρμανσης στο Φάληρο είναι περίπου ίσος με αυτόν στο Θησείο. Εμφανίζεται, λοιπόν, τοπικά υψηλή πίεση, και η θαλάσσια αύρα δεν μπορεί να αναπτυχθεί, άρα η τοπική ψύξη στην συγκεκριμένη περιοχή είναι σχεδόν αμελητέα. Ως αποτέλεσμα, η περιοχή θερμαίνεται γρηγορότερα από τις προηγούμενες ημέρες και η ένταση της ΑΘΝ μειώνεται.

Κατά τη διάρκεια του καύσωνα και συγκεκριμένα την 5η και 6η Αυγούστου, που η θαλάσσια αύρα έχει αναπτυχθεί, παρατηρείται τοπική ψύξη και χαμηλότεροι ρυθμοί θέρμανσης στο Φάληρο, παρόμοιοι με αυτούς πριν από το κύμα καύσωνα. Παράλληλα, τις ίδιες ημέρες ο ρυθμός θέρμανσης στο Θησείο αυξάνεται σημαντικά σε σύγκριση με την περίοδο πριν από το κύμα καύσωνα, κυρίως ως αποτέλεσμα της μεταφοράς θερμότητας από την πόλη. Έτσι την 5^η και 6^η Αυγούστου παρουσιάζεται η υψηλότερη ένταση της ΑΘΝ. Συνολικά, η μέση μέγιστη ημερήσια ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της περιόδου του καύσωνα είναι ίση με 4,6 °C, η οποία είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή της περιόδου πριν την εκδήλωση του καύσωνα (3,2 °C).

Επιπλέον, παρατηρείται μια συσχέτιση μεταξύ του κλάσματος των ρυθμών θέρμανσης του Φαλήρου και του Θησείου και της μέγιστης ημερήσιας έντασης της ΑΘΝ. Η συσχέτιση ισχύει και για τις δύο περιόδους, πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Όσο υψηλότερη είναι η αναλογία, τόσο χαμηλότερη είναι η ένταση της ΑΘΝ, καθώς και οι δύο σταθμοί θερμαίνονται με παρόμοιο τρόπο.



Σχήμα 4.120: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό του Φαλήρου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Φάληρο και στο Θησείο

4.3.2 Λαύριο

Ο πίνακας 4.3 περιλαμβάνει παρόμοιες πληροφορίες με τον πίνακα 4.2, αλλά για τον παράκτιο σταθμό του Λαυρίου.

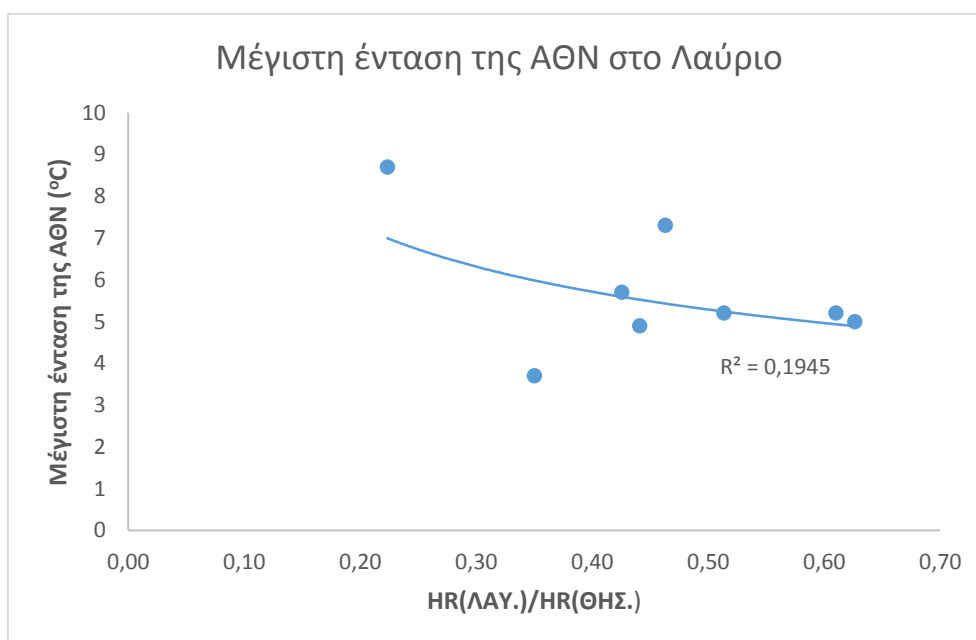
Πίνακας 4.3: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στο Λαύριο

Ημερομηνία	ΛΑΥΡΙΟ					
	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα ΔΑ (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα ΔΑ (15:00-19:00)	Μέγ. Ένταση ΑΘΝ (°C)
1/8/2012	0,30	6,8	NNE	5,1	NNE	3,7
2/8/2012	0,54	4,6	NE	3,3	NE	5,2
3/8/2012	0,57	3,4	NE	2,7	NE	5,7
4/8/2012	0,59	2,6	ENE	2,8	E	4,9
5/8/2012	0,87	4,2	NE	5,4	NNE	5,2
6/8/2012	0,71	4,4	NE	4,5	NNE	7,3
7/8/2012	0,89	5,3	NNE	6,0	NNE	5,0
8/8/2012	0,30	4,6	NE	4,7	NNE	8,7

Ως αποτέλεσμα της οριζόντιας μεταφοράς των θερμότερων αερίων μαζών από το βορρά κατά τη διάρκεια του καύσωνα, ο μέσος ρυθμός θέρμανσης στο Λαύριο είναι υψηλότερος σε σύγκριση με την προηγούμενη περίοδο κατά 0,2 °C/hr, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στο Θησείο είναι 0,3 °C/hr. Αυτό συμβαίνει επειδή η θερμοκρασία επιφάνειας στο Θησείο είναι πολύ υψηλότερη από ό,τι στο Λαύριο και τα αντίστοιχα φαινόμενα κατακόρυφης ανάμειξης είναι πιο σημαντικά.

Για το λόγο αυτό προκύπτει μια σημαντική αύξηση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καύσωνα, η οποία φτάνει τους 8,7 °C στις 8 Αυγούστου. Η μέση ένταση κατά τη διάρκεια του καύσωνα ισούται 6,5 °C, η οποία είναι μεγαλύτερη κατά 1,6 °C από την αντίστοιχη τιμή κατά την περίοδο πριν τον καύσωνα.

Επίσης, παρατηρείται μία παρόμοια, όπως και στο Φάληρο, σχέση μεταξύ του λόγου των ρυθμών θέρμανσης του Λαυρίου και του Θησειού σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.121.



Σχήμα 4.121: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό του Λαυρίου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Λαύριο και στο Θησείο

4.3.3 Νέα Μάκρη

Όπως και προηγουμένως, ο πίνακας 4.4 περιλαμβάνει παρόμοιες πληροφορίες με τους πίνακες 4.3 και 4.2, αλλά για τον παράκτιο σταθμό της Νέας Μάκρης. Στην περιοχή της Νέας Μάκρης προκύπτουν κάποια ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Οι ρυθμοί θέρμανσης στη Νέα Μάκρη παραμένουν στα ίδια επίπεδα για τις ημέρες πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα, δηλαδή ο μέσος ρυθμός θέρμανσης κατά τη διάρκεια του καύσωνα είναι περίπου ίσος με αυτόν που υπολογίστηκε πριν τον καύσωνα. Αντίθετα οι ρυθμοί θέρμανσης στο σταθμό του Θησείου, αυξήθηκαν κατά μέσο όρο κατά 0,3 °C/hr κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Αυτό είναι αποτέλεσμα του μηχανισμού κατακόρυφης ανάμειξης που αναπτύσσεται στην πόλη, εξαιτίας των υψηλότερων θερμοκρασιών επιφάνειας.

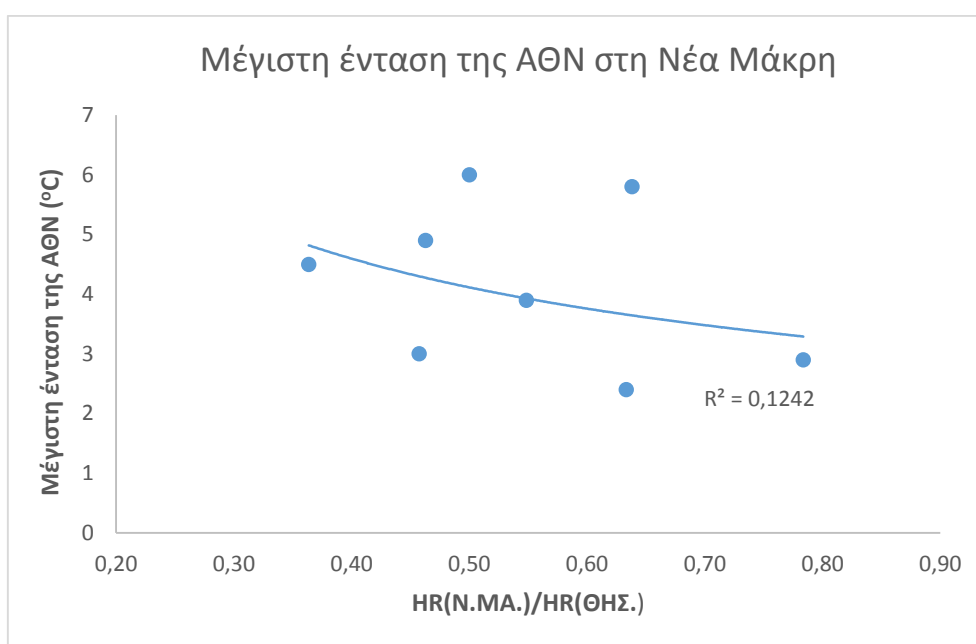
Πίνακας 4.4: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στη Νέα Μάκρη

Ημερομηνία	ΝΕΑ ΜΑΚΡΗ					
	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα ΔΑ (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα ΔΑ (15:00-19:00)	Μέγ. Ένταση ΑΘΝ (°C)
1/8/2012	0,54	3,5	NNE	2,2	ENE	2,4
2/8/2012	0,83	2,8	N	1,9	E	2,9
3/8/2012	0,61	2,3	E	2,1	ENE	3,0
4/8/2012	0,73	1,4	E	1,3	E	3,9
5/8/2012	0,71	1,8	ESE	1,8	E	6,0
6/8/2012	0,71	1,9	E	1,5	ENE	4,9
7/8/2012	0,51	2,3	ENE	2,3	NE	4,5
8/8/2012	0,86	1,8	E	1,3	E	5,8

Στην περιοχή της Νέας Μάκρης παρατηρούνται πολύ χαμηλότερες ταχύτητες του ανέμου απ'ότι στο Λαύριο, κυρίως επειδή βρίσκεται στην βορειοανατολική Αττική και η ροή του ανέμου εμποδίζεται από την νήσο Εύβοια. Οι χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου μειώνουν τα φαινόμενα οριζόντιας μεταφοράς στην περιοχή. Για το λόγο αυτό, η μέγιστη ημερήσια ένταση της ΑΘΝ αυξήθηκε σημαντικά

κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Οι υψηλότερες τιμές της έντασης της ΑΘΝ σημειώθηκαν υπό ανατολική κατεύθυνση του ανέμου, στις 5 και στις 8 Αυγούστου, και είναι πιθανόν η ψύξη αυτή να οφείλεται στην ανάπτυξη της θαλάσσιας αύρας (εφόσον ο άνεμος είναι ανατολικός). Η μέση (μέγιστη) ένταση της ΑΘΝ κατά την διάρκεια του καύσωνα ήταν 5,3 °C, και είναι υψηλότερη κατά 2,3 °C σε σύγκριση με την περίοδο πριν την εμφάνιση του καύσωνα.

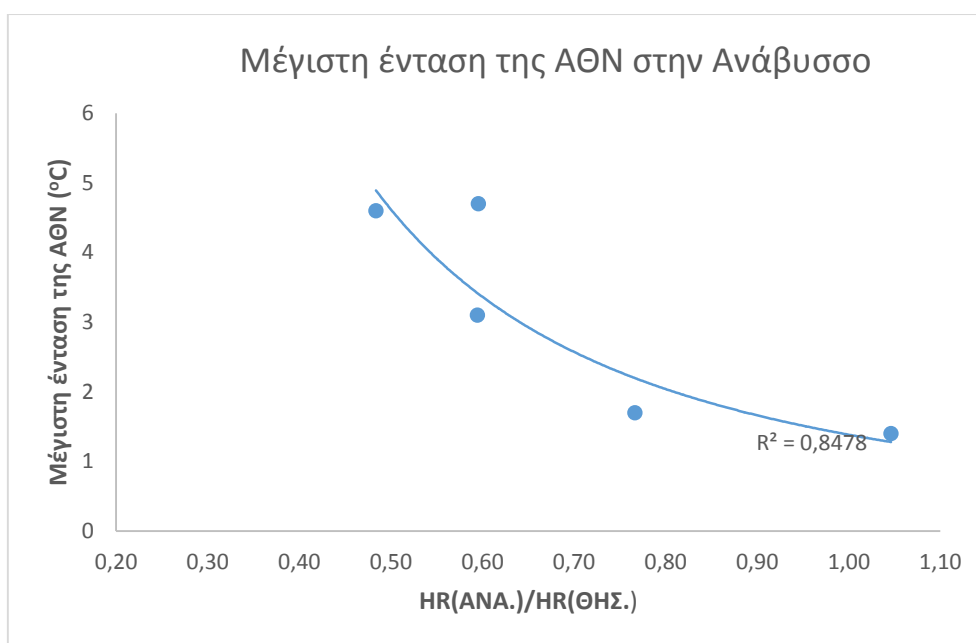
Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μία παρόμοια σχέση μεταξύ του λόγου των ρυθμών θέρμανσης της Νέας Μάκρης και του Θησειού σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ, όπως και προηγουμένως στο Λαύριο. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 4.122.



Σχήμα 4.122: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό της Νέας Μάκρης, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στη Νέα Μάκρη και στο Θησειό

4.3.4 Ανάβυσσος

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, για τον σταθμό της Αναβύσσου τα δεδομένα που υπάρχουν για την περίοδο του καύσωνα δεν επαρκούν, ώστε να εξαχθούν κάποια σαφή συμπεράσματα. Παρ'όλα αυτά παρουσιάζει ενδιαφέρον το σχήμα της μέγιστης έντασης της ΑΘΝ, σε συνάρτηση με τον λόγο των ρυθμών θέρμανσης της Αναβύσσου με αυτόν του Θησείου, διότι και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μία παρόμοια σχέση, όπως και στους υπόλοιπους παράκτιους σταθμούς. Να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που διαθέτουμε, επαρκούν ώστε να βρεθούν οι ρυθμοί θέρμανσης μόνο για μία ημέρα του καύσωνα (στις 6/8/2012).



Σχήμα 4.123: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον παράκτιο σταθμό της Αναβύσσου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Αναβύσσο και στο Θησείο

4.4 Σύγκριση παράκτιων με προαστιακούς, ορεινούς και αγροτικούς σταθμούς

Σε αυτή την παράγραφο θα επιχειρήσουμε μία σύγκριση μεταξύ των παράκτιων σταθμών και των υπόλοιπων σταθμών, οι οποίοι περιβάλλουν το κέντρο της πόλης. Η σύγκριση αυτή θα γίνει με τη βοήθεια των ρυθμών θέρμανσης, του ανέμου και διαγραμμάτων του λόγου των ρυθμών θέρμανσης μεταξύ του εκάστοτε σταθμού και του Θησειού σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ.

4.4.1 Προαστιακοί σταθμοί

Όσον αφορά τους προαστιακούς σταθμούς των Σπατών και του Μαρκόπουλου, παρατηρείται μία παρόμοια μεταβλητότητα της μέγιστης έντασης της ΑΘΝ, σε σχέση με τους παράκτιους σταθμούς και κυρίως με τη Νέα Μάκρη. Το γεγονός αυτό φαίνεται στον πίνακα 4.5.

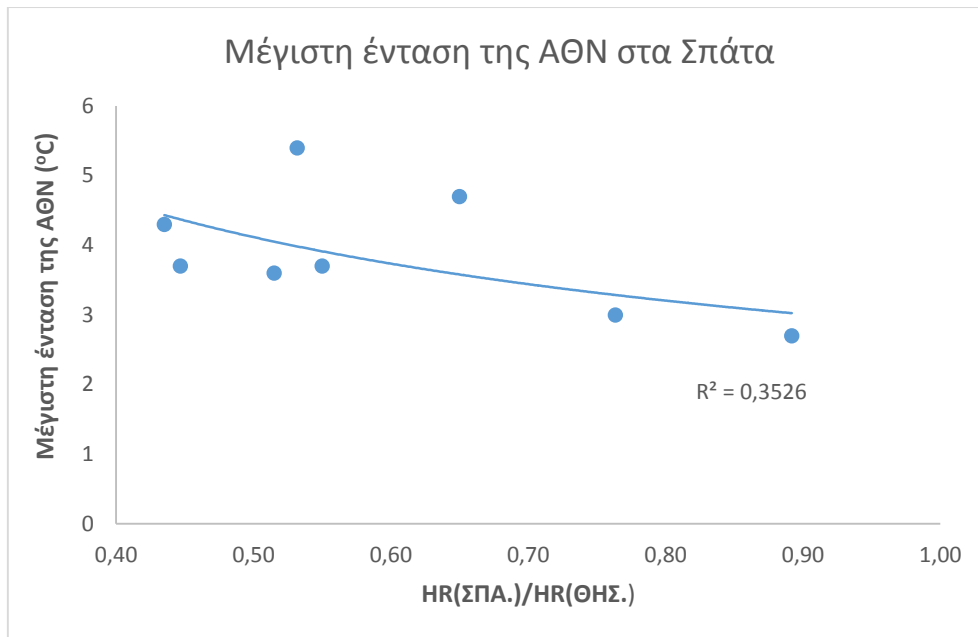
Οι μέσοι ρυθμοί θέρμανσης παρουσιάζουν ομοιότητες πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Επί παραδείγματι, στα Σπάτα και στη Νέα Μάκρη, οι μέσοι ρυθμοί θέρμανσης παραμένουν στα ίδια επίπεδα πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Αντίθετα στο Μαρκόπουλο και στο Λαύριο έχουμε μία αύξηση 0,14 °C/hr και 0,19 °C/hr για την περίοδο του καύσωνα, αντίστοιχα. Αυτό ίσως είναι αποτέλεσμα της οριζόντιας μεταφοράς θερμότερων αερίων μαζών από το βορρά κατά τη διάρκεια του καύσωνα (πίνακας 4.1).

Ένα άλλο κοινό χαρακτηριστικό, το οποίο παρουσιάζουν οι συγκεκριμένοι παράκτιοι και οι προαστιακοί σταθμοί, είναι η αύξηση της μέσης έντασης της ΑΘΝ κατά την περίοδο του καύσωνα. Σε όλους τους παραπάνω σταθμούς, η μέση ένταση της ΑΘΝ αυξάνεται από 1 °C έως 1,7 °C από την περίοδο χωρίς καύσωνα.

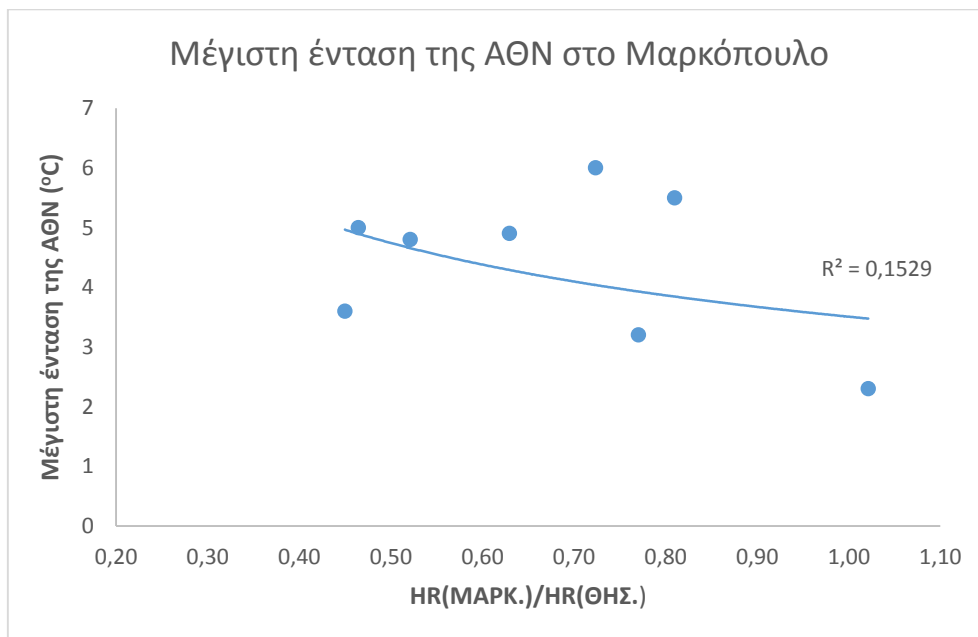
Πίνακας 4.5: Ρυθμοί θέρμανσης και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στους παράκτιους και προαστιακούς σταθμούς

	ΣΠΑΤΑ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	ΝΕΑ ΜΑΚΡΗ	ΛΑΥΡΙΟ
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ρυθμοί Θέρμανσης (°C/hr)			
1/8/2012	0,47	0,39	0,54	0,30
2/8/2012	0,94	0,81	0,83	0,54
3/8/2012	0,60	0,70	0,61	0,57
4/8/2012	1,01	1,36	0,73	0,59
5/8/2012	0,93	1,16	0,71	0,87
6/8/2012	0,67	0,97	0,71	0,71
7/8/2012	0,73	0,66	0,51	0,89
8/8/2012	0,71	0,97	0,86	0,30
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΘΝ			
1/8/2012	3,7	3,6	2,4	3,7
2/8/2012	2,7	3,2	2,9	5,2
3/8/2012	3,7	4,8	3	5,7
4/8/2012	3	2,3	3,9	4,9
5/8/2012	4,7	5,5	6	5,2
6/8/2012	4,3	4,9	4,9	7,3
7/8/2012	3,6	5	4,5	5
8/8/2012	5,4	6	5,8	8,7

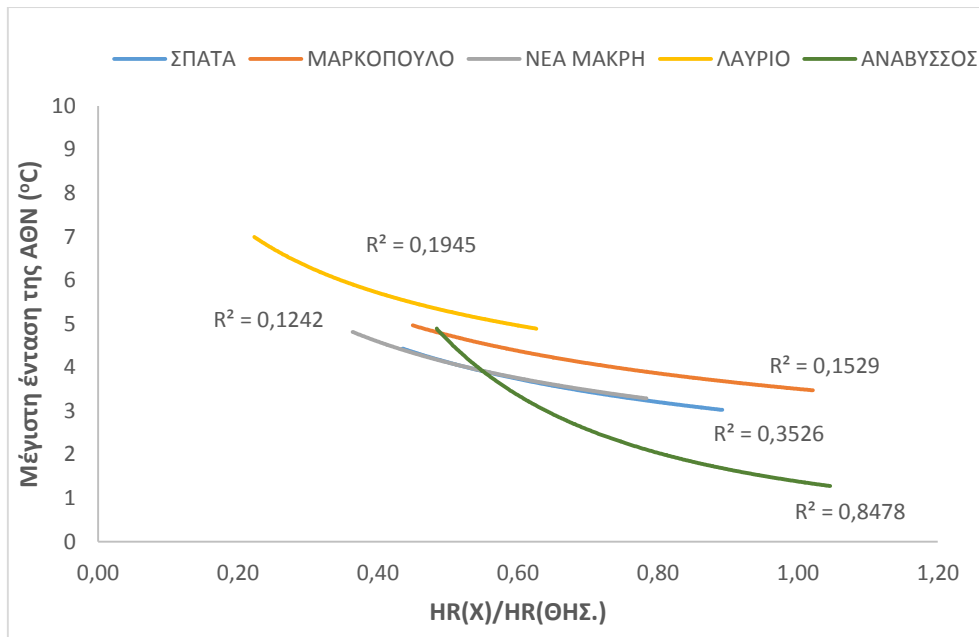
Επίσης, στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η παρόμοια σχέση μεταξύ του λόγου των ρυθμών θέρμανσης του εκάστοτε σταθμού ενδιαφέροντος και του Θησειού σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ, όπως και στους παράκτιους σταθμούς.



Σχήμα 4.124: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον προασιακό σταθμό των Σπατών, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στα Σπάτα και στο Θησείο



Σχήμα 4.125: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον προασιακό σταθμό του Μαρκόπουλου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Μαρκόπουλο και στο Θησείο



Σχήμα 4.126: Σύγκριση των τάσεων των παράκτιων και των προαστιακών σταθμών

Η παρόμοια συμπεριφορά των σταθμών στα Σπάτα και στο Μαρκόπουλο, πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιοχές αυτές βρίσκονται στην ανατολική Αττική και αρκετά κοντά στις ανατολικές ακτές του νομού (όπου βρίσκονται οι δύο παράκτιοι σταθμοί). Αυτό σημαίνει ότι μάλλον επηρεάζονται από την θαλάσσια αύρα, καθώς δεν υπάρχουν κάποια φυσικά εμπόδια ανάμεσα στις περιοχές αυτές και τις ανατολικές ακτές της Αττικής, ώστε να εμποδίσουν τη ροή του ανέμου. Αυτό επαληθεύεται και από τους πίνακες 4.6 και 4.7, καθ'ότι πνέει βορειοανατολικός άνεμος.

Όσον αφορά το σταθμό του Φαλήρου, παρ'όλο που παρουσιάζεται και σε αυτόν η ίδια σχέση μεταξύ του λόγου των ρυθμών θέρμανσης του με το σταθμό του Θησείου σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ (σχήμα 4.120), η σύγκριση με τους προαστιακούς σταθμούς δεν επιφέρει κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Αυτό συμβαίνει, διότι βρίσκεται κοντά στον αστικό ιστό και επηρεάζεται περισσότερο από τις συνθήκες που επικρατούν εκεί (όπως αναφέρθηκε όταν πνέει ΒΑ άνεμος, ο θερμός αέρας της πόλης μεταφέρεται προς τις δυτικές ακτές της Αττικής). Επίσης, ο σταθμός του Φαλήρου βρίσκεται στις δυτικές ακτές της Αττικής και εκεί οι συνθήκες διαμόρφωσης της ΑΘΝ είναι διαφορετικές σε σχέση με τις ανατολικές ακτές.

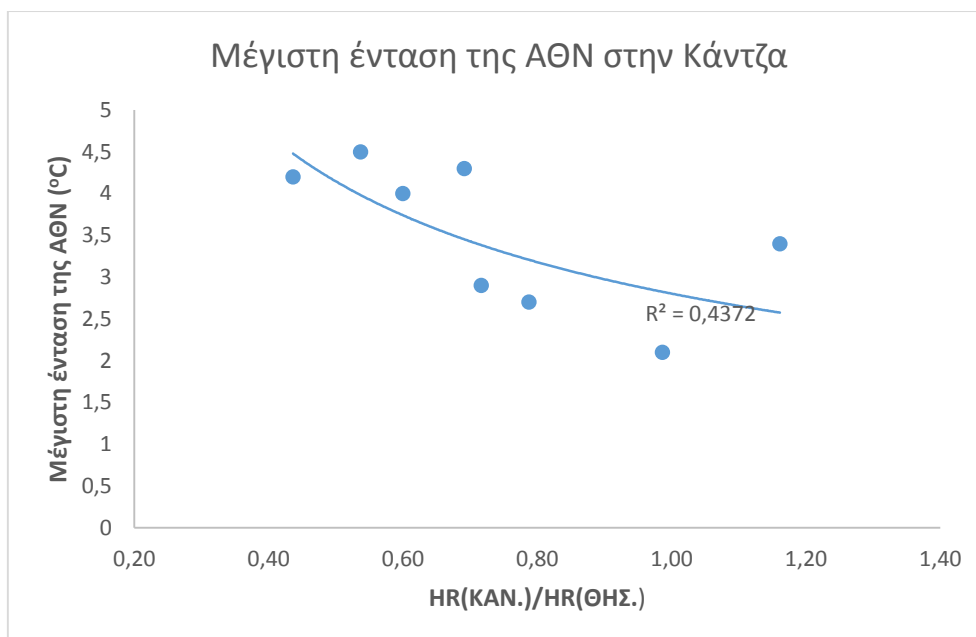
Πίνακας 4.6: Ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ) και διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) στο Μαρκόπουλο

ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα ΔΑ (7:00- 14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα ΔΑ (15:00- 19:00)
1/8/2012	5,6	NE	4,2	NE
2/8/2012	3,8	NE	2,3	ENE
3/8/2012	2,7	ENE	3,0	ENE
4/8/2012	1,7	ENE	2,1	E
5/8/2012	2,9	ENE	3,5	ENE
6/8/2012	2,8	ENE	4,4	ENE
7/8/2012	2,9	ENE	4,1	ENE
8/8/2012	3,6	ENE	3,6	ENE

Πίνακας 4.7: Ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ) και διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) στα Σπάτα

ΣΠΑΤΑ				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα ΔΑ (7:00- 14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα ΔΑ (15:00- 19:00)
1/8/2012	4,9	NE	4,0	NE
2/8/2012	3,0	NW-NE	3,1	ENE
3/8/2012	3,2	NE	3,9	ENE
4/8/2012	2,4	ENE	3,3	NE
5/8/2012	3,5	NE	4,4	NE
6/8/2012	3,6	NE	3,3	ENE
7/8/2012	4,4	NE	4,8	NE
8/8/2012	4,0	NE	4,3	NE

Μία άλλη ειδική περίπτωση είναι και η περιοχή της Κάντζας, διότι βρίσκεται στους πρόποδες του Υμηττού. Ο μέσος ρυθμός θέρμανσης, στην Κάντζα, παρουσιάζει μία πολύ μικρή μείωση 0,02 °C/hr, κατά την περίοδο του καύσωνα, και η μέση (μέγιστη) ένταση της ΑΘΝ αυξάνεται κατά 0,7 °C. Παρ'όλα αυτά, υπάρχει και σε αυτόν η ίδια σχέση μεταξύ του λόγου των ρυθμών θέρμανσης του με το σταθμό του Θησείου σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.127: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον προασιακό σταθμό της Κάντζας, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Κάντζα και στο Θησείο

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις τιμές των ρυθμών θέρμανσης (Heating Rates), της ταχύτητα του ανέμου (TA) και της διεύθυνσης του ανέμου (ΔΑ) στην Κάντζα, κατά την περίοδο από 1 έως 8 Αυγούστου 2012, καθώς και τη μέγιστη παρατηρούμενη ημερήσια ένταση της ΑΘΝ. Σταθμός αναφοράς είναι ο σταθμός του Θησειού.

Πίνακας 4.8: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (TA), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Κάντζα

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΚΑΝΤΖΑ					
	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση TA (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα ΔΑ (7:00-14:00)	Μέση TA (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα ΔΑ (15:00-19:00)	Μέγιστη έντ. ΑΘΝ
1/8/2012	0,61	2,3	NNE	2,1	NE	2,9
2/8/2012	1,04	2,0	NNW	1,0	SW	2,1
3/8/2012	0,59	1,3	NE	1,6	ENE	4,2
4/8/2012	1,54	1,3	E	1,4	ENE	3,4
5/8/2012	0,86	2,1	NW	2,5	NE	4
6/8/2012	0,83	2,0	NE	2,1	NE	4,5
7/8/2012	1,11	2,1	NE	2,3	NNE	2,7
8/8/2012	0,93	2,0	NE	2,0	NE	4,3

4.4.2 Ορεινοί σταθμοί

Στους ορεινούς σταθμούς, η συμπεριφορά που παρατηρείται δεν είναι ίδια με αυτήν στους παράκτιους. Πιο συγκεκριμένα, στο σταθμό της Εκάλης, ο μέσος ρυθμός θέρμανσης παρουσίασε αύξηση της τάξεως των 0,08 °C/hr κατά την περίοδο του καύσωνα (0,73 πριν και 0,81 °C/hr κατά τη διάρκεια του καύσωνα), στο σταθμό του Διονύσου υπάρχει αύξηση κατά 0,11 °C/hr (0,63 πριν και 0,74 °C/hr κατά τη διάρκεια του καύσωνα), ενώ στο σταθμό της Πεντέλης σημειώθηκε μείωση του μέσου ρυθμού θέρμανσης της τάξεως των 0,06 °C/hr (0,81 πριν και 0,75 °C/hr κατά τη διάρκεια του καύσωνα).

Όσον αφορά την μέση (μέγιστη) ένταση της ΑΘΝ στους ορεινούς σταθμούς, πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα, υπολογίστηκε ότι παραμένει, σχεδόν, στα ίδια επίπεδα με πριν (παρατηρείται μείωση μικρότερη από 0,3 °C). Αυτό σημαίνει ότι, κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι περιοχές της Εκάλης, του Διονύσου και της Πεντέλης παραμένουν σχεδόν ανεπηρέαστες από την εμφάνιση του καύσωνα.

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο η ένταση της ΑΘΝ, σε αυτές τις περιοχές, παρουσιάζει μεταβλητότητα κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οι υψηλότερες τιμές της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι πιθανό να σχετίζονται με την ψύξη της περιοχής από τοπική αύρα, η οποία πνέει από το όρος Πεντέλη.

Οι παρακάτω πίνακες περιλαμβάνουν τις τιμές των ρυθμών θέρμανσης (Heating Rates), της ταχύτητα του ανέμου (TA) και της διεύθυνσης του ανέμου (ΔΑ) στους ορεινούς σταθμούς, κατά την περίοδο από 1 έως 8 Αυγούστου 2012, καθώς και τη μέγιστη παρατηρούμενη ημερήσια ένταση της ΑΘΝ, που υπολογίστηκε από τις ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα στους σταθμούς του Θησείου και των ορεινών σταθμών.

Πίνακας 4.9: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Εκάλη

ΕΚΑΛΗ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα (15:00-19:00)	Μέγιστη έντ. ΑΘΝ
1/8/2012	0,57	5,2	NNE	4,0	NE	4,9
2/8/2012	0,81	3,5	N	3,9	N	6,1
3/8/2012	0,74	3,2	N	3,0	NNE	4,7
4/8/2012	0,77	1,7	NNE	2,2	E	4,5
5/8/2012	0,77	2,9	NE	3,7	NE	5
6/8/2012	0,76	2,9	NNE	2,9	NE	5,1
7/8/2012	0,86	3,4	NNE	4,7	NNE	4,5
8/8/2012	0,84	3,0	NNE	3,0	NE	5,1

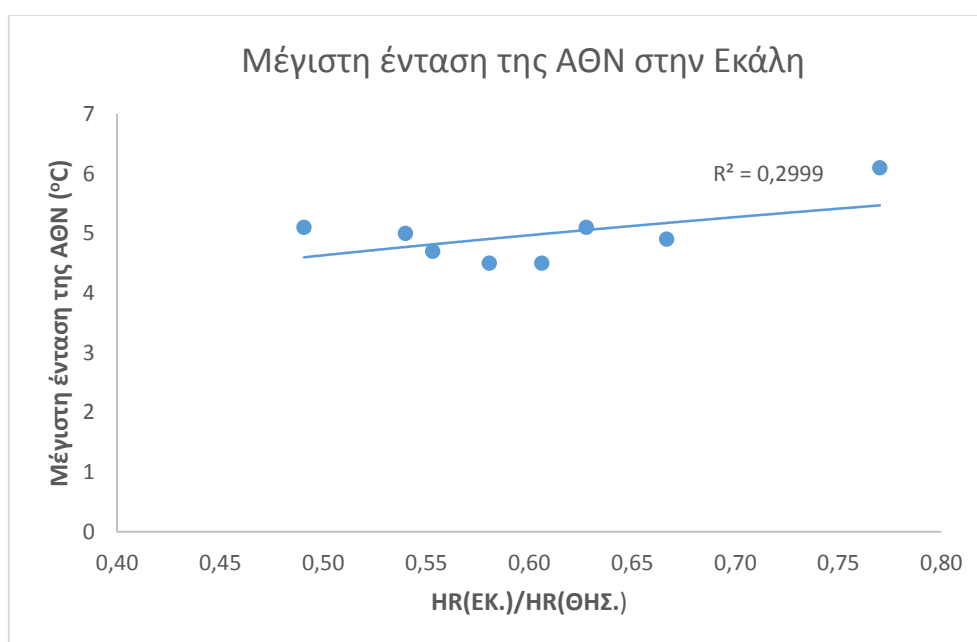
Πίνακας 4.10: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στον Διόνυσο

ΔΙΟΝΥΣΟΣ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα (15:00-19:00)	Μέγιστη έντ. ΑΘΝ
1/8/2012	0,49	6,5	NNE	4,8	NE	6,8
2/8/2012	0,94	5,6	N	4,9	NNE	8,1
3/8/2012	0,67	4,9	N	3,6	NE	7,1
4/8/2012	0,43	3,0	N	2,4	ENE	7,3
5/8/2012	0,61	5,0	N	4,4	NE	6,8
6/8/2012	0,83	4,2	NE	4,2	NE	7,6
7/8/2012	0,87	4,9	NE	6,2	NNE	6,6
8/8/2012	0,66	5,3	NE	3,5	NE	7,5

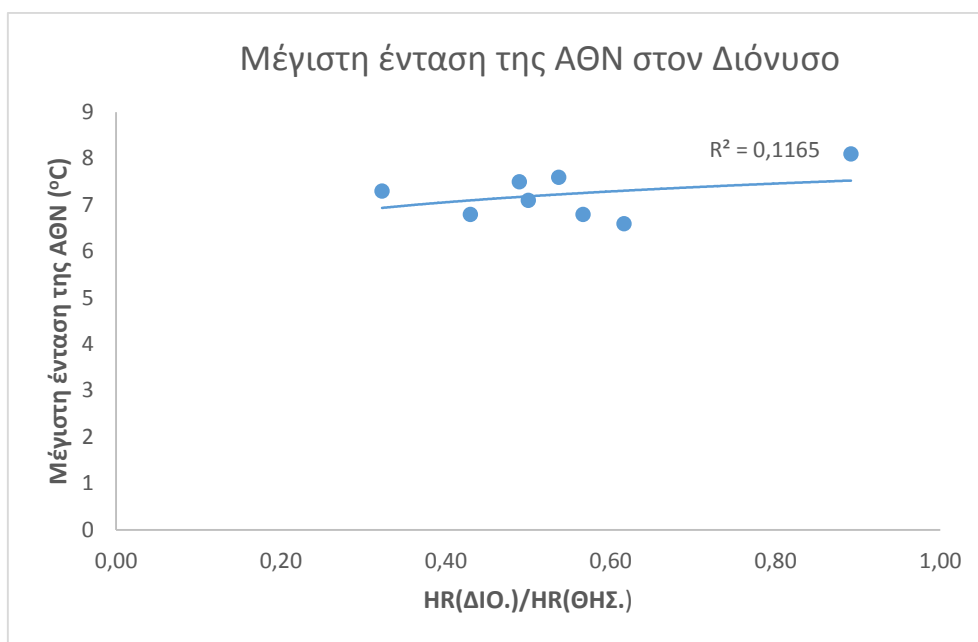
Πίνακας 4.11: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Πεντέλη

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΝΤΕΛΗ					
	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα (15:00-19:00)	Μέγιστη έντ. ΑΘΝ
1/8/2012	0,76	3,9	NNE	3,8	NNE	6,7
2/8/2012	1,06	4,8	N	4,4	N	7,8
3/8/2012	0,96	4,1	N	4,1	NNE	5,1
4/8/2012	0,46	1,9	N	2,7	ENE	6,4
5/8/2012	0,87	4,0	NNW	4,7	NNE	6,0
6/8/2012	0,74	3,6	N	3,6	NNE	7,3
7/8/2012	0,78	4,5	N	5,6	N	5,6
8/8/2012	0,61	4,3	N	4,1	NNE	6,2

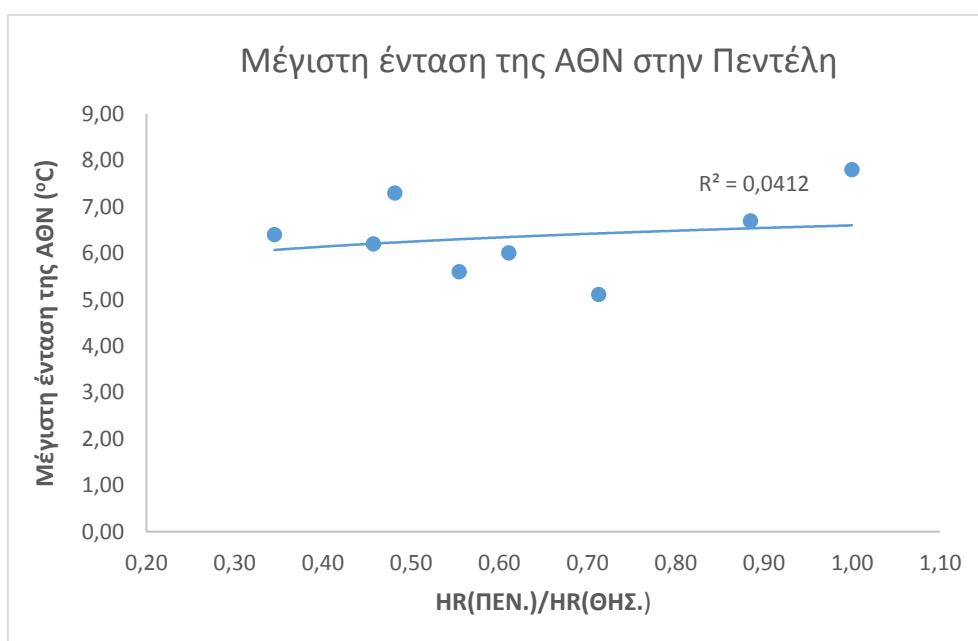
Επίσης, παρατηρείται μία αντίθετη, απ'ότι στους παράκτιους σταθμούς, σχέση μεταξύ του λόγου των ρυθμών θέρμανσης των ορεινών σταθμών και του Θησειού σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.128: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον ορεινό σταθμό της Εκάλης, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Εκάλη και στο Θησείο



Σχήμα 4.129: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στο ορεινό σταθμό του Διονύσου, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στο Διόνυσο και στο Θησείο



Σχήμα 4.130: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον ορεινό σταθμό της Πεντέλης, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Πεντέλη και στο Θησείο

4.4.3 Αγροτικοί σταθμοί

Στους αγροτικούς σταθμούς, η συμπεριφορά που παρατηρείται είναι ακριβώς αντίθετη με αυτήν στους παράκτιους, καθ'ότι η μέγιστη ένταση της ΑΘΝ εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας και η ελάχιστη κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στο σταθμό της Τανάγρας, ο μέσος ρυθμός θέρμανσης παρουσίασε αύξηση της τάξεως των 0,54 °C/hr κατά την περίοδο του καύσωνα (1,5 πριν και 2,04 °C/hr κατά τη διάρκεια του καύσωνα). Στο σταθμό της Αυλίδας υπάρχει αύξηση κατά 0,62 °C/hr (1,16 πριν και 1,78 °C/hr κατά τη διάρκεια του καύσωνα). Αυτό, ίσως είναι αποτέλεσμα της οριζόντιας μεταφοράς θερμότερων αερίων μαζών από το βορρά κατά τη διάρκεια του καύσωνα (πνέουν βόρειοι και βορειοανατολικοί άνεμοι, πιθανώς από την περιοχή της Χαλκίδας).

Όσον αφορά την μέση (μέγιστη) ένταση της ΑΘΝ στους αγροτικούς σταθμούς, πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα, υπολογίσθηκε ότι αυξάνεται κατά 1,8 °C στην Τανάγρα (3,6 °C πριν και 5,4 °C κατά τη διάρκεια του καύσωνα) και κατά 2,1 °C στην Αυλίδα (3,7 °C πριν και 5,8 °C κατά τη διάρκεια του καύσωνα). Το συμπέρασμα που εξάγεται εδώ, είναι ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνονται και οι ρυθμοί θέρμανσης, αλλά και η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην ημέρα και την νύχτα. Για αυτό και τις ημέρες του καύσωνα παρατηρείται η μέγιστη ένταση της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Στην περιοχές αυτές παρατηρούνται χαμηλές ταχύτητες του ανέμου. Ένας από τους λόγους είναι, επειδή βρίσκονται απέναντι από την νήσο Εύβοια και η ροή του ανέμου εμποδίζεται από αυτήν (κυρίως η Αυλίδα, αλλά και η Τανάγρα η οποία βρίσκεται 10 χλμ. από την ακτή). Οι χαμηλές ταχύτητες ανέμου μειώνουν τα φαινόμενα οριζόντιας μεταφοράς στην περιοχή. Για το λόγο αυτό, η μέγιστη ημερήσια ένταση της ΑΘΝ αυξήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Οι υψηλότερες τιμές της έντασης της ΑΘΝ σημειώθηκαν υπό βόρεια (Αυλίδα) και βορειοανατολική (Τανάγρα) κατεύθυνση του ανέμου, στις 8 Αυγούστου, και είναι πιθανόν η ψύξη αυτή να οφείλεται στην ανάπτυξη της θαλάσσιας αύρας.

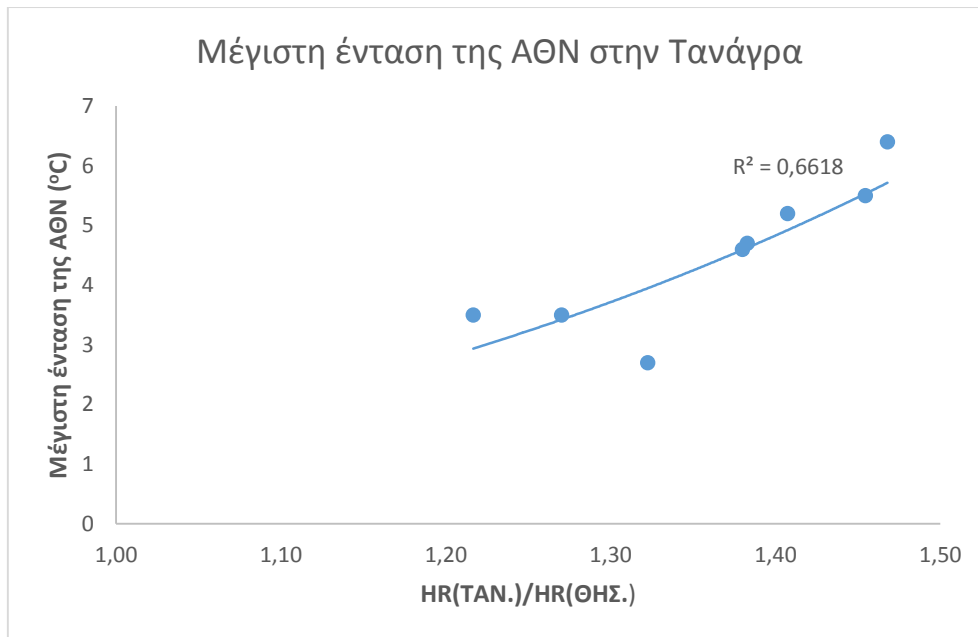
Πίνακας 4.12: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Τανάγρα

ΤΑΝΑΓΡΑ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα (15:00-19:00)	Μέγιστη έντ. ΑΘΝ
1/8/2012	1,04	2,5	NNE	2,5	N	3,5
2/8/2012	1,34	1,5	N	2,9	N	3,5
3/8/2012	1,86	1,4	N	2,0	N	4,7
4/8/2012	1,76	1,3	N	2,2	E	2,7
5/8/2012	1,97	1,6	NE	2,9	NE	4,6
6/8/2012	2,17	1,3	N	2,1	NE	5,2
7/8/2012	2,06	1,8	N	3,4	NE	5,5
8/8/2012	1,97	2,5	N	2,2	NE	6,4

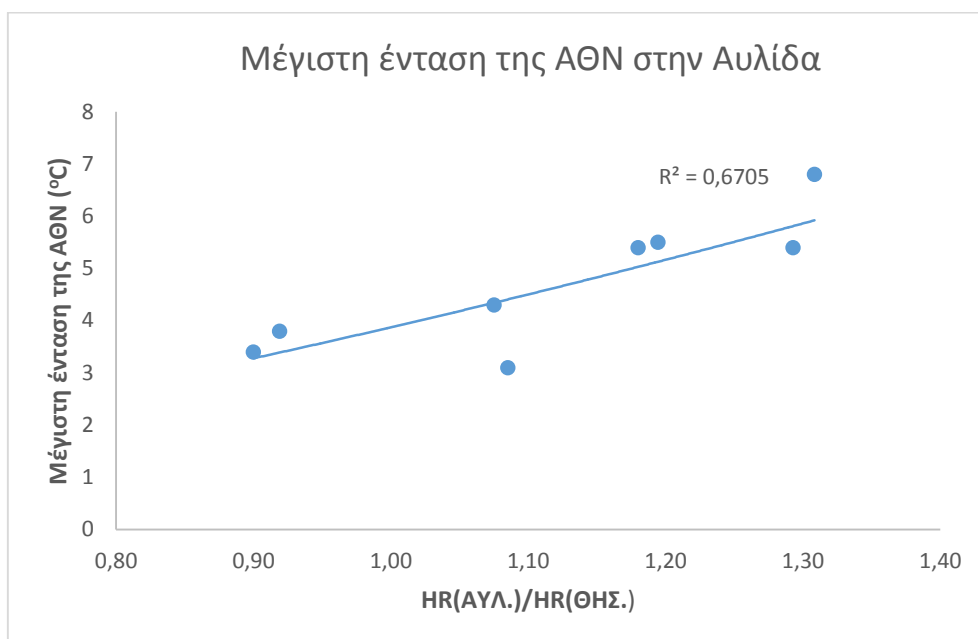
Πίνακας 4.13: Ρυθμοί θέρμανσης, ταχύτητα του ανέμου (ΤΑ), διεύθυνση του ανέμου (ΔΑ) και μέγιστη ένταση της ΑΘΝ στην Αυλίδα

ΑΥΛΙΔΑ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Ρυθμός Θέρμανσης (°C/hr)	Μέση ΤΑ (m/s) (7:00-14:00)	Επικρατούσα (7:00-14:00)	Μέση ΤΑ (m/s) (15:00-19:00)	Επικρατούσα (15:00-19:00)	Μέγιστη έντ. ΑΘΝ
1/8/2012	0,77	3,8	NNE	3,8	NNW	3,4
2/8/2012	0,97	3,1	NW	3,1	NW	3,8
3/8/2012	1,46	2,9	NW	2,5	N	3,1
4/8/2012	1,43	1,7	NNE	2,3	E	4,3
5/8/2012	1,69	2,2	NE	2,9	NE	5,4
6/8/2012	1,84	1,7	NE	1,9	NE	5,5
7/8/2012	1,83	2,4	N	3,1	N	5,4
8/8/2012	1,76	2,5	N	1,7	N	6,8

Επίσης, παρατηρείται και εδώ μία αντίθετη, απ'ότι στους παράκτιους σταθμούς, σχέση μεταξύ του λόγου των ρυθμών θέρμανσης των ορεινών σταθμών και του Θησειού σε συνάρτηση με τη μέγιστη ημερήσια ΑΘΝ, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Όσο υψηλότερη είναι η αναλογία, τόσο υψηλότερη είναι η ένταση της ΑΘΝ, καθώς και οι σταθμοί θερμαίνονται με διαφορετικό τρόπο.



Σχήμα 4.131: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον αγροτικό σταθμό της Τανάγρας, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Τανάγρα και στο Θησείο



Σχήμα 4.132: Μέγιστη ένταση της ημερήσιας ΑΘΝ στον αγροτικό σταθμό της Αυλίδας, σε συνάρτηση με το κλάσμα των ρυθμών θέρμανσης (HR) στην Αυλίδα και στο Θησείο

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παραπάνω εργασία πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση δεδομένων ,από μία σειρά από σταθερούς σταθμούς που έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος και γύρω από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Στα πλαίσια της ανάλυσης έγινε σύγκριση των χαρακτηριστικών της ΑΘΝ υπό συνθήκες καύσωνα και υπό κανονικές συνθήκες. Η ανάλυση αποκάλυψε μερικά ενδιαφέροντα και ισχυρά συμπεράσματα όσον αφορά την συμπεριφορά της ΑΘΝ στην Αθήνα υπό εξαιρετικά θερμό καιρό.

Αρχικά, έγινε ανάλυση του επεισοδίου καύσωνα του Αυγούστου 2012. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν εδώ προέρχονται από το δίκτυο αυτόματων σταθμών του ΕΑΑ. Με εξαίρεση τους αστικούς σταθμούς, οι οποίοι παρουσίασαν πολύ μικρή ή μηδενική αύξηση της έντασης της ΑΘΝ, σχεδόν όλοι οι σταθμοί παρουσίασαν υψηλότερη ένταση της καθημερινής ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μορφή (το μοτίβο) των διαγραμμάτων για όλες τις ημέρες του καύσωνα είναι ομοιόμορφη και σταθερή, δηλαδή δεν παρουσιάζονται μεγάλες διαφοροποιήσεις. Αυτό είναι εμφανές σχεδόν σε όλα τα σχήματα που απεικονίζουν συνθήκες την συμπεριφορά της ΑΘΝ υπό συνθήκες καύσωνα. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της Τανάγρας (σχήμα 4.67).

Το μέγεθος της αύξησης της έντασης της ΑΘΝ εξαρτάται από τον τύπο του σταθμού. Πιο συγκεκριμένα, οι προαστιακοί και οι παράκτιοι σταθμοί παρουσίασαν αύξηση κατά τη διάρκεια της ημέρας και κυρίως τις μεσημβρινές ώρες. Η συμπεριφορά της ΑΘΝ στους παράκτιους σταθμούς φαίνεται να επηρεάζεται από το πεδίο του ανέμου (θαλάσσια αύρα), γεγονός που αναλύθηκε στην παρούσα εργασία.

Οι αγροτικοί σταθμοί παρουσίασαν αύξηση κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό συνέβη, διότι το έδαφος στις αγροτικές περιοχές δεν αποβάλλει όλη την υγρασία του κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως συμβαίνει στις αστικές περιοχές, αλλά αποθηκεύει ένα μέρος αυτής και το κρατά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Έτσι δημιουργείται ένας μηχανισμός ψύξης.

Ενδιαφέροντα ήταν τα αποτελέσματα και στους ορεινούς σταθμούς, στους οποίους παρατηρήθηκε μείωση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, την περίοδο του καύσωνα, κυρίως λόγω των διαφορών που υπάρχουν, με τους αστικούς σταθμούς, στην εξατμισοδιαπνοή, αλλά και της χαμηλής υγρασίας του εδάφους στους ορεινούς σταθμούς, κατά τη νύχτα (φαίνεται ότι αποβάλλουν μεγάλο ποσοστό της υγρασίας τους κατά τη διάρκεια της ημέρας).

Σαν γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι υπήρχε συνέπεια (συμφωνία) στα αποτελέσματα των σταθμών ίδιου τύπου (αστικοί, προαστιακοί κτλ.). Έτσι, φαίνεται ότι τα αποτελέσματα είναι πιο ισχυρά και έχουν περισσότερη βαρύτητα.

Στη συνέχεια επιχειρήθηκε μία ανάλυση του επεισοδίου καύσωνα του Ιουνίου και του Ιουλίου του 2007. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν εδώ προέρχονται από ορισμένους συμβατικούς σταθμούς της ΕΜΥ. Όσον αφορά τον Ιούνιο του 2007, παρατηρήθηκαν διαφορετικά χαρακτηριστικά της ΑΘΝ σε κάθε περιοχή. Έτσι, στην αστική περιοχή (Νέα Φιλαδέλφεια) παρατηρήθηκε μείωση της έντασης της ΑΘΝ για τις περιόδους πριν και κατά τη διάρκεια του καύσωνα, ενώ υπήρχε και μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην ημέρα και τη νύχτα. Στις προαστιακές περιοχές (Ελευσίνα, Τατόι) παρουσιάστηκε αύξηση της έντασης της νυχτερινής ΑΘΝ, κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Προφανώς κι εδώ παίζει ρόλο η εξατμισοδιαπνοή, αλλά και η χαμηλή υγρασία του εδάφους τη νύχτα, αφού πρόκειται για περιοχές που δέχονται μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, υπήρχε και μείωση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της ημέρας (κυρίως στην Ελευσίνα) και γενικότερα τις μεσημβρινές ώρες επικράτησαν υψηλότερες θερμοκρασίες απ'ότι στο σταθμό αναφοράς (Θησείο).

Στον παράκτιο σταθμό (Ελληνικό) παρατηρήθηκε αύξηση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια του καύσωνα και κυρίως το μεσημέρι. Στον ορεινό σταθμό (Πεντέλη) έχουμε μείωση της έντασης της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας, για την περίοδο του καύσωνα, για τους ίδιους λόγους που συνέβη και κατά τον καύσωνα του 2012. Τέλος, στον αγροτικό σταθμό (Τανάγρα) παρατηρείται μείωση της έντασης της ΑΘΝ τη νύχτα, κατά τη διάρκεια του καύσωνα, αλλά

και μία μικρή μείωση τις μεσημεριανές ώρες, όπου επικράτησαν υψηλότερες θερμοκρασίες απ'ότι στο σταθμό αναφοράς.

Όσον αφορά τον Ιούλιο του 2007, η ένταση της ΑΘΝ στους σταθμούς της Πεντέλης και του Τατοΐου παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά, όπως και τον Ιούνιο, κατά τη διάρκεια του καύσωνα. Ο αστικός σταθμός της Νέας Φιλαδέλφειας παρουσιάζει μία αύξηση της έντασης κατά τη διάρκεια της νύχτας, την περίοδο του καύσωνα. Στο σταθμό της Τανάγρας δεν υπάρχει κάποια αξιοσημείωτη αλλαγή κατά την περίοδο του καύσωνα, σε σχέση με τις άλλες δύο περιόδους. Τέλος, στην Ελευσίνα παρατηρούνται μεγάλες διαφοροποιήσεις της έντασης της ΑΘΝ και είναι δύσκολο να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα επεισόδια καύσωνα του Ιουνίου-Ιουλίου 2007 και του Αυγούστου 2012. Σταθμοί ίδιου τύπου, αλλά και σταθμοί στις ίδιες περιοχές παρουσίασαν διαφορετικά αποτελέσματα το 2007 και το 2012. Αυτό σημαίνει ότι ο κάθε καύσωνας έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και διαμορφώνει ανάλογα την ΑΘΝ.

Βασική συνιστώσα στη διαμόρφωση της ΑΘΝ σε επεισόδια καύσωνα αποτελεί το πεδίο του ανέμου. Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο του 2007 εμφανίστηκαν μικρότερες ταχύτητες του ανέμου σε σχέση με τον Αύγουστο του 2012. Έτσι, τον Αύγουστο του 2012, λόγω των ισχυρών ανέμων, διαμορφώθηκαν τόσο φαινόμενα οριζόντιας μεταφοράς όσο και κατακόρυφης ανάμιξης. Από την άλλη το 2007, παρουσιάστηκαν κυρίως φαινόμενα κατακόρυφης ανάμιξης, αφού δεν ήταν αρκετά μεγάλη η ταχύτητα του ανέμου, ώστε να δημιουργηθούν φαινόμενα οριζόντιας μεταφοράς.

Σημειώνεται επίσης ότι έχει εξαιρετική σημασία, πότε εμφανίζεται ημερολογιακά κάποιος καύσωνας. Αν εμφανίζεται πρώιμα, όπως αυτός του Ιουνίου 2007 ή αν εμφανίζεται προς το τέλος της θερινής περιόδου, όπως αυτός του Αυγούστου 2012, διότι τα επίπεδα της επιφανειακής υγρασίας είναι εντελώς διαφορετικά ανάμεσα σε αυτές τις δύο περιόδους. Επί παραδείγματι, σε έναν πρώιμο καύσωνα τα επίπεδα της υγρασίας στο έδαφος είναι πιο υψηλά και διαμορφώνουν διαφορετικές συνθήκες και διαφορετικές ροές ενέργειας.

Αμέσως μετά, μια λεπτομερής ανάλυση στους παράκτιους σταθμούς, για τον καύσωνα του Αυγούστου 2012, οδήγησε σε συνεπή ευρήματα και έδωσε περαιτέρω απαντήσεις, σχετικά με τις διαδικασίες διαμόρφωσης της ΑΘΝ στις παράκτιες περιοχές, κάτω από ακραίες συνθήκες. Πριν, αλλά και κατά τη διάρκεια του καύσωνα μετρήθηκαν μέτριες ταχύτητες του ανέμου με βόρειο προσανατολισμό. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν κάποια φαινόμενα οριζόντιας μεταφοράς (και λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας), τα οποία ελέγχουν τη συμπεριφορά της ΑΘΝ.

Σημαντικά φαινόμενα μεταφοράς στην πόλη, σε συνδυασμό με την οριζόντια μεταφορά θερμών αερίων μαζών κατά τη διάρκεια του καύσωνα, αύξησαν τους ρυθμούς θέρμανσης σε σύγκριση με τους παράκτιους σταθμούς και έτσι αυξήθηκε και η ένταση της ΑΘΝ, στους σταθμούς αυτούς. Σε όλους τους παράκτιους σταθμούς, η μέση μέγιστη ημερήσια ένταση της ΑΘΝ αυξήθηκε κατά τη διάρκεια του καύσωνα, σε σύγκριση με την περίοδο πριν τον καύσωνα. Η ανάπτυξη της τοπικής θαλάσσιας αύρας, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός μηχανισμού ψύξης είχε ως αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της έντασης της ΑΘΝ.

Γίνεται κατανοητό ότι το καθεστώς του ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση), παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της ημερήσιας ΑΘΝ. Ως εκ τούτου, η ΑΘΝ μπορεί να συμπεριφερθεί διαφορετικά, ακόμα και σε επεισόδια καύσωνα, κατά τα οποία έχουν σημειωθεί παρόμοιες μέγιστες θερμοκρασίες.

Στη συνέχεια διαπιστώθηκε η σχέση που υπάρχει μεταξύ της μέγιστης ημερήσιας έντασης της ΑΘΝ και του λόγου των ρυθμών θέρμανσης των σταθμών ενδιαφέροντος, προς τον σταθμό αναφοράς. Η σχέση βρέθηκε να ισχύει για όλους τους παράκτιους σταθμούς και υπό συνθήκες καύσωνα, αλλά και υπό κανονικές συνθήκες.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μία σύγκριση της σχέσης που υπάρχει μεταξύ της μέγιστης ημερήσιας έντασης της ΑΘΝ και του λόγου των ρυθμών θέρμανσης των παράκτιων σταθμών, προς τον σταθμό αναφοράς, με την αντίστοιχη σχέση άλλων σταθμών, με βάση την περιοχή. Έτσι, φαίνεται ότι οι παράκτιοι σταθμοί ακολουθούν την ίδια σχέση με τους προαστιακούς σταθμούς, αλλά έχουν αντίθετη σχέση με τους ορεινούς και τους αγροτικούς σταθμούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. IPCC (2007), “Climate change 2007: The physical science basis”, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
2. United Nations Framework Convention on Climate Change (1992), United Nations
3. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (2011), “Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα”, Τράπεζα της Ελλάδος, Κεφ. 1, σελ. 30-64
4. IPCC (2013), “Climate change 2013: The physical science basis”, In T.F.Stocker, D.Qin, G.-K.Plattner, M.Tignor, S.K. Allen, J.Boschung, A.Nauels, Y.Xia, V.Bex, P.M.Midgley (Eds.), Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Ch. 1, pp 136-140
5. Giorgi, F. and Lionello, P. (2008), “Climate change projections for the Mediterranean region”, Global and Planetary Change, vol 63, pp 90–104
6. Founda, D. (2011), “Evolution of the air temperature in Athens and evidence of climatic change: A review”, Advances in Building Energy Research, vol 5, pp 7-41
7. Giannakopoulos, C., Kostopoulou, E., Varotsos, K., Plitharas, A. (2009), “Climate change impacts in Greece in the near future”, WWF Greece and National Observatory of Athens, pp 1-4
8. Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della Marta, P. M., Zerefos, C. S., Türkes, M. and Luterbacher, J. (2010), “Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960”, Geophysical Research Letters, vol 37, L04802, pp 1-5

9. Diffenbough, N.S., Pal, J.S., Giorgi F., and Gao X. (2007), "Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot", *Geophysical Research Letters*, 34, L11706,
10. Efthymiadis, D., Goodess, C. M., Jones, P. D. (2011), "Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and large-scale circulation influences", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol 11, pp 2199–2214
11. Δίκτυο αυτόματων σταθμών του ΕΑΑ, www.meteo.gr/meteoplus
12. Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-Aguirre J. L. (2006), "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation", Bureau of Meteorology Research Centre, British Crown, Australia, Ch. 1, pp 5-10
13. Kostopoulou, E. and Jones, P. D. (2005), "Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean", *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol 89, pp 69–85
14. Varfi, M. S., Karacostas, T. S., Makrogiannis, T. J., Flocas A. A. (2009), "Characteristics of the extreme warm and cold days over Greece", *Advances in Geosciences*, vol 20, pp 45–50
15. Repapis, C. C. and Philandras, C. M. (1988), "A note of the air temperature trends of the last 100 years as evidenced in the eastern Mediterranean time series", *Theoretical and Applied Climatology*, vol 39, pp 93–97
16. Metaxas, D. A., Bartzokas, A. and Vitsas, A. (1991), "Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the last 120 years", *International Journal of Climatology*, vol 11, pp 897–908
17. Repapis, C. C. and Zambakas, S. (1983), "A note on the interannual variability in Greece", *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Series B*, vol 33, pp 267–274

18. Nastos, P. T., Founda, D. and Zerefos, C. (2007), "On extreme daily air temperature at Athens, Greece", EMS7/ECAM8 Abstracts, vol 4, EMS2007-a-00240, 2007, in 7th EMS Annual Meeting/8th ECAM, Spain
19. Hasanean, H. M. (2001), "Fluctuations of surface air temperature in the Eastern Mediterranean", *Theoretical and Applied Climatology*, vol 68, pp 75–87
20. Proedrou, M., Theoharatos, G. and Cartalis, C. (1997), "Variations and trends in annual and seasonal air temperatures in Greece determined from ground and satellite measurements", *Theoretical and Applied Climatology*, vol 57, pp 65–78
21. Feidas, H., Makrogiannis, T. and Bora-Senta, E. (2004), "Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001", *Theoretical and Applied Climatology*, vol 79, pp 185–208
22. Founda, D., Papadopoulos, K. H., Petrakis, M., Giannakopoulos, C. and Good, P. (2004), "Analysis of mean, maximum and minimum temperature in Athens from 1897–2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events, and cold events", *Global and Planetary Change*, vol 44, pp 27–38
23. Founda, D. and Giannakopoulos, C. (2009), "The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece – Atypical summer in the future climate?", *Global and Planetary Change*, vol 67, pp 227–236
24. Bartzokas, A. and Metaxas, D. A. (1995), "Factor analysis of some climatological elements in Athens, 1931–1992: covariability and climate change", *Theoretical and Applied Climatology*, vol 52, pp 195–205
25. Maheras, P., Flocas, H., Tolika, K., Anagnostopoulou, Chr. and Vafiadis, M. (2006), "Circulation types and extreme temperature changes in Greece", *Climate Research*, vol 30, pp 161–174
26. Founda, D., Pierros, F., Petrakis, M., Zerefos C. (2015), "Interdecadal variations and trends of the Urban Heat Island in Athens (Greece) and its response to heat waves", *Atmospheric Research*, vol 161–162, pp 1–13
27. Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavrakis, A., Spanou, A., Katavoutas, G., Efstathiou, P., Mpekas, P. and Asimakopoulos, D. (2010), "Heat

- waves observed in 2007 in Athens, Greece: Synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects”, *Environmental Research*, vol 110, pp 152–161
28. Oke, T. R., Johnson, D. G., Steyn, D. G. and Watson, I. D. (1991), “Simulation of surface urban heat island under ideal conditions at night - Part 2. Diagnosis and causation”, *Boundary Layer Meteorology*, vol 56, pp 339–358
 29. Ohashi, Y., Genchi, Y., Kondo, H., Kikegawa, Y., Yoshikado, H., Hirano, Y. (2007), “Influence of air-conditioning waste heat on air temperature in Tokyo during summer: numerical experiments using an urban canopy model coupled with a building energy model”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol 46, pp 66-81
 30. Blake, R., Grimm, A., Ichinose, T., Horton, R., Gaffin, S., Jiong, S., Bader, D., Cecil, L.D. (2011), “Urban climate: processes, trends, and projections”, In Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Hammer, S.A., Mehrotra, S. (Eds.), *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, Cambridge University Press, pp. 43–81
 31. Santamouris, M. (2007), “Heat Island research in Europe – the state of the art”, *Journal Advances Building Energy Research*, vol 1, pp 123–150
 32. Giannaros, T.M., Melas, D. (2012), “Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: the case study of Thessaloniki, Greece”, *Atmospheric Research*, vol 118, pp 103–120
 33. Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., Assimakopoulos, D. N. (2001), “On the Impact of Urban Climate to the Energy Consumption of Buildings”, *Solar Energy*, vol 70, No. 3, pp 201-216
 34. Livada, I., Santamouris, M., Niachou, K., Papanikolaou, N., Mihalakakou, G. (2002), "Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed", *Theoretical and Applied Climatology*, vol 71, pp 219–230
 35. Zoulia, I., Santamouris, M., Dimoudi, A. (2008), “Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens”, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol 156, pp 275–292

36. Kassomenos, P. A. and Katsoulis, B. D. (2006), "Mesoscale and macroscale aspects of the morning Urban Heat Island around Athens, Greece", *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol 94, pp 209–218
37. Livada, I., Niachou, K. and Santamouris, M. (2005), "The impact of wind on air temperature distribution in Athens and in Santorini", in *International Conference Proceedings in 'Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment'*, Santorini, Greece, pp 133–138
38. Dandou, A., Tombrou, M. and Soulakellis, N. (2009), "The influence of the city of Athens on the evolution of the sea-breeze front", *Boundary-Layer Meteorology*, vol 131, pp 35–51
39. Basara, J. B., Basara, H. G., Illston, B. G., Crawford, K. C. (2010), "The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City", *Advances in Meteorology*, Volume 2010, Article ID 230365
40. Li, D., Bou-Zeid, E. (2013), "Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol 52, pp 2051–2064
41. Ohashi, Y., and H. Kida, (2002), "Local circulations developed in the vicinity of both coastal and inland urban areas: A numerical study with a mesoscale atmospheric model", *J. Appl. Meteor.*, vol. 41, pp 30–45.
42. Oke, T. R., (1982), "The energetic basis of the urban heat-island", *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, vol. 108, pp 1–24
43. Μπούντας, Ν., (2014), Διερεύνηση της Αστικής Θερμικής Νησίδας των Ελληνικών Πόλεων, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος
44. Allaby, M., (2007), "Encyclopedia of Weather and Climate", Facts on File Science Library, Revised Edition

