

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η εξάρτηση της ραδιομετρικής θερμοκρασίας επιφάνειας από τη δομή του αστικού ιστού: η περίπτωση της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας με χρήση δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης»

ΠΑΠΑΛΕΞΗ ΧΡΥΣΑ

<u>Τριμελής Επιτροπή:</u> Χατζάκη Μαρία, Επίκ. Καθηγήτρια ΕΚΠΑ (Επιβλέπουσα) Κεραμιτσόγλου Ιφιγένεια, Κύρια Ερευνήτρια ΙΑΑΔΕΤ, ΕΑΑ Βασιλάκης Εμμανουήλ, Επίκ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

AOHNA 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, με τίτλο «Η εξάρτηση της ραδιομετρικής θερμοκρασίας επιφάνειας από τη δομή του αστικού ιστού: η περίπτωση της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας με χρήση δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης», μου δίνεται η ευκαιρία να ευχαριστήσω θερμά την Επίκ. Καθηγήτρια Μαρία Χατζάκη για την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και για την ενθάρρυνση και την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Τα δεδομένα της διπλωματικής παραχωρήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, από την Κύρια Ερευνήτρια ΙΑΑΔΕΤ Ιφιγένεια Κεραμιτσόγλου, την οποία ευχαριστώ πολύ για την παραχώρησή τους και τη συμμετοχή της στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκ. Καθηγητή Εμμανουήλ Βασιλάκη για τη συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και στο χρόνο που αφιέρωσε συμβάλλοντας με τη βοήθειά του στη λύση προβλημάτων με σκοπό την ορθή διεξαγωγή της διπλωματικής.

Ευχαριστώ εξίσου θερμά τον Δρ. Παναγιώτη Σισμανίδη για την καθοριστική βοήθειά του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας και για το χρόνο που αφιέρωσε, ο οποίος ήταν στο πλευρό μου από την αρχή μέχρι το τέλος της προσπάθειάς μου, πάντα πρόθυμος να απαντήσει στις απορίες μου, ενώ με τις πολύτιμες συμβουλές και εύστοχές του παρατηρήσεις συνέβαλε τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή και συνάδελφο Νίκο Κορδαλή για την παραχώρηση των δορυφορικών δεδομένων MODIS.

Τέλος, ευχαριστώ ειλικρινά την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για την κατανόηση και τη συμπαράσταση που μου έδειξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αστικό θερμικό περιβάλλον είναι εξέχουσας σημασίας για τον άνθρωπο, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού παγκοσμίως κατοικεί και δραστηριοποιείται στα αστικά κέντρα. Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (LST) μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστο δείκτη των επιπτώσεων της επιφανειακής αστικής θερμότητας, αφού επιδρά άμεσα στη θερμοκρασία αέρα και θεωρείται βασική παράμετρος της φυσικής επιφάνειας του εδάφους.

Στην παρούσα εργασία, μελετάται η κατανομή και συμπεριφορά της LST για την περιοχή της Αθήνας, με στοιχεία που προέκυψαν από την επίγεια και εναέρια πειραματική εκστρατεία THERMOPOLIS της ESA το καλοκαίρι του 2009. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν νυκτερινές από αέρος ραδιομετρικές μετρήσεις πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης κατά τη διάρκεια τριών τυπικών καλοκαιρινών ημερών με διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες: μία σχετικά θερμή ημέρα, μία δροσερή ημέρα με ισχυρό μελτέμι και μία ημέρα καύσωνα. Για την περαιτέρω επικύρωση των δεδομένων της LST λαμβάνεται υπόψη η θερμοκρασία αέρα, η οποία εξήχθη από 26 διαφορετικούς σταθμούς. Επίσης, διερευνάται η σχέση μεταξύ της LST και του αστικού ιστού, ο οποίος αντιπροσωπεύεται από το ποσοστό κάλυψης των αστικών περιοχών ανά χωροταξική μονάδα, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οικιστικό Χάρτη (ESM) που παρέχεται από την ευρωπαϊκή υπηρεσία παρακολούθησης της γης Copernicus. Τέλος, συγκρίνεται η LST των δεδομένων Thermopolis με την αντίστοιχη LST των δορυφορικών δεδομένων MODIS.

Βρέθηκε ότι η LST καθορίζεται σημαντικά από τις διαφορετικές χρήσεις γης (LCLU class), αλλά και από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Από τη χωρική ανάλυση φαίνεται ότι η LST παρουσιάζει χωρική συσσώρευση νησίδων πολύ υψηλών LST (hotspots) στο κέντρο και στα νοτιοδυτικά και χαμηλών LST (coldspots) στις βόρειες και ανατολικές περιοχές, η οποία επηρεάζεται από τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Μεταξύ της LST και του αστικού ιστού μπορεί να κατασκευαστεί μια γενική γραμμική σχέση, αλλά απαιτούνται περισσότερες επεξηγηματικές μεταβλητές για τη δημιουργία ενός ισχυρού παγκόσμιου μοντέλου. Αντίθετα, η κατασκευή ενός τοπικά σταθμισμένου μοντέλου παλινδρόμησης συνδέει ισχυρά τις δύο αυτές μεταβλητές. Τέλος, η LST των δορυφορικών δεδομένων MODIS διαφέρει στατιστικά σημαντικά από την αντίστοιχη του Thermopolis, αλλά παρουσιάζεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους. Τόσο για την LST_{MODIS} όσο και για την LST_{Therm} δεν προκύπτει στατιστικά σημαντική συσσώρευση, καθώς όσο μικραίνει η χωρική ανάλυση χάνεται και η πληροφορία των hotspots και coldspots.

Με στόχο τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, δίνονται προτάσεις για περαιτέρω μελέτη, καθώς όσο η αστική υπερσυγκέντρωση θα συνεχίσει να αναπτύσσεται, θα αυξάνεται και η ανάγκη για εξεύρεση βελτιωμένης σχέσης ανάμεσα στην πυκνότητα δόμησης και στη δημιουργία ενός ανεκτού αστικού κλίματος.

ABSTRACT

The urban thermal environment is of paramount importance to humans, as most of the world's population lives and operates in urban centers. The land surface temperature (LST) is a reliable indicator of Surface Urban Heat Island effects, as it directly affects the air temperature and is considered a basic parameter of the physical surface.

In the present study, the distribution and behavior of LST for the Athens area are studied, with data derived from ESA's THEPOPOLIS ground and airborne experimental campaign in the summer of 2009. Specifically, nocturnal aerial radiometric measurements of very high spatial resolution were used during three typical summer days with different weather conditions: a relatively hot day, a cool day with strong Etesian winds and a heat wave day. It is also being studied the relationship between LST and the urban fabric, which represents the built-up coverage rate of the residential area per spatial unit according to the European Settlement Map (ESM) provided by the Copernicus Land Monitoring Service. Finally, the LST of Thermopolis data is compared with the corresponding LST of the MODIS satellite data.

LST was found to be significantly determined by different urban land cover/land use (LCLU) classes but also by meteorological conditions. From the spatial analysis, LST shows spatial clustering of islands of very high LST (hotspots) in the center and the southwest and low LST (coldspots) in the northern and eastern regions, which is affected by the prevailing meteorological conditions. Between LST and the urban fabric a general linear relationship can be constructed, but more explanatory variables are needed on building a robust global model. Conversely, constructing a locally weighted regression model strongly links these two variables. Finally, the LST of the MODIS satellite data differs statistically significantly from that of Thermopolis, but there is a strong correlation between them and LST_{MODIS} and LST_{Therm} do not show statistically significant accumulation, because as the spatial resolution decreases, so the information of the hotspots and coldspots do.

In order to improve the results of the present study, suggestions for further study are given. As the urban hyper-concentration will continue to grow, the need for an improved relationship between urban density and a livable urban climate will continue to increase.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. Βασικό Αντικείμενο	7
1.2. Δομή Εργασίας	7
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	9
2.1. Αστικό κλίμα	9
2.2.1. Δημιουργία αστικής θερμικής νησίδας	11
2.2.2. Χαρακτηριστικά Αστικής Θερμικής Νησίδας	12
2.2.3. Μορφές Αστικής Θερμικής Νησίδας	14
2.2.4. Αίτια εμφάνισης Αστικής Θερμικής Νησίδας	15
2.2.4.1. Τοπογραφική θέση	16
2.2.4.2. Αστική Τοπογραφία	16
2.2.4.3. Χαρακτηριστικά οικοδομικών υλικών	
2.2.4.4. Χώροι πρασίνου	19
2.2.4.5. Τοπικές κλιματικές συνθήκες	19
2.2.4.6. Ανθρωπογενείς παράγοντες	20
2.2.4.7. Πληθυσμός	20
2.2.4.8. Ώρα της μέρας/εποχή	20
2.2.5. Μελέτες Αστικής Θερμικής Νησίδας	20
2.3. Τηλεπισκόπηση	23
2.3.1. Θερμική ακτινοβολία	23

2.3.2.Θερμική Απεικόνιση
2.3.3. Επίγεια Θερμική Απεικόνιση 24
2.3.4. Εναέρια Θερμική Απεικόνιση24
2.3.5. Δορυφορική Θερμική Απεικόνιση 25
2.3.6. Θερμική απεικόνιση μέσω μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) 26
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ27
3.1. Περιοχή Μελέτης
3.2. Δεδομένα
3.2.1. Δεδομένα Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST) - Thermopolis TIR Airborne28
3.2.2. Δεδομένα χρήσης – κάλυψης γης 30
3.2.3. Δεδομένα European Settlement Map (ESM) 201632
3.2.4. Μετεωρολογικά δεδομένα 33
3.2.5. Δορυφορικά δεδομένα 40
3.3. Επεξεργασία Δεδομένων41
3.3.1. Προεπεξεργασία δεδομένων41
3.3.2. Κατανομή δεδομένων 42
3.3.2.1. Στατιστική Ανάλυση
3.3.2.2. Έλεγχος Χωρικής Αυτοσυσχέτισης44
3.3.3. Διερεύνηση σχέσης μεταξύ των δεδομένων45
3.3.3.1. Έλεγχος Γραμμικής Σχέσης45
3.3.3.2. Παλινδρομική Ανάλυση 46
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ49
4.1. Κατανομή LST
4.1.1. Περιγραφικά Μέτρα 49
4.1.2. Έλεγχος Κανονικότητας51

4.1.3. Σύγκριση Μέσων Τιμών 52
4.1.4. Σύγκριση LST με τη θερμοκρασία αέρα 53
4.1.5. Χωρική Αυτοσυσχέτιση LST 54
4.2. Εξάρτηση LST από τον αστικό ιστό63
4.2.1. Γραμμική σχέση LST - ESM63
4.2.2. Παλινδρομική Ανάλυση65
4.2.2.1. Μοντέλο Γενικής Γραμμικής Παλινδρόμησης (OLS)65
4.2.2.2. Μοντέλο Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR) 70
4.3. Σύγκριση LST _{MODIS} - LST _{Therm} 76
4.3.1. Στατιστική Ανάλυση LST _{MODIS} - LST _{Therm} 76
4.3.2. Έλεγχος Χωρικής Αυτοσυσχέτισης LST _{MODIS} - LST _{Therm} 81
4.3.3. Γραμμική Σχέση LST _{MODIS} - LST _{Therm} 81
4.3.4. Εξάρτηση LST _{MODIS} και LST _{Therm} από τον αστικό ιστό 83
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ85
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ86
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ87
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ89
ПАРАРТНМА92
Παράρτημα 1. Σύγκριση μέσων τιμών της LST στις διαφορετικές κατηγορίες του Urban Atlas92
Παράρτημα 2. Υπολογισμός μέσης ωριαίας θερμοκρασίας σε Kelvin για κάθε μετεωρολογικό σταθμό95

1 εισαγωγή

1.1. Βασικό Αντικείμενο

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η χωρική στατιστική ανάλυση των δεδομένων της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (Land Surface Temperature - LST). Πιο συγκεκριμένα, κύριοι στόχοι της εργασίας είναι:

- Να ελεγχθεί αν η LST σχετίζεται με την εκάστοτε τάξη χρήσης κάλυψης γης (Land Cover / Land Use LCLU), πώς διαμορφώνεται η έντασή της στις διαφορετικές κατηγορίες αστικής κάλυψης εδάφους και αν εντοπίζονται διακυμάνσεις μεταξύ των τριών πειραματικών ημερών.
- Να εντοπιστούν οι περιοχές εκείνες, αν υπάρχουν, που έχουν ξεχωριστή συμπεριφορά από την υπόλοιπη ευρύτερη περιοχή, δηλαδή οι στατιστικά σημαντικές νησίδες υψηλών τιμών LST (hotspots) και χαμηλών τιμών (coldspots) και πώς αυτές μεταβάλλονται μεταξύ των ημερών με διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες.
- Να εξεταστεί, κατ' επέκταση, αν οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες έχουν εμφανή επίδραση στη συμπεριφορά της LST και πώς επηρεάζουν την ανάπτυξη και την χωρική κατανομή των hotspots και coldspots.
- Δεδομένης της ιδιαίτερης σημασίας του ποσοστού δόμησης στην LST, είναι σημαντική η εξέταση της μεταξύ τους σχέσης, ελέγχοντας την ύπαρξη ή μη γραμμικής συσχέτισης και διερευνώντας την ύπαρξη χωρικής διαφοροποίησης μεταξύ τους με απώτερο σκοπό την ανάδειξη του βαθμού επιρροής της ESM στην LST.
- Να εξεταστεί αν η LST, όπως καταγράφεται από δορυφόρο (MODIS), έχει την ίδια χωρική και χρονική συμπεριφορά με την αντίστοιχη LST, όπως καταγράφεται στις από αέρος μετρήσεις (THERMOPOLIS).

1.2. Δομή Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση της σχέση μεταξύ της LST και του αστικού τοπίου για την περιοχή της Αττικής.

Αρχικά, πραγματοποιείται μια εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία χωρίζεται σε δυο υποκεφάλαια. Στο πρώτο, γίνεται αναλυτική αναφορά στην έννοια, στα χαρακτηριστικά, στις μορφές, στα αίτια εμφάνισης του φαινομένου της Αστική Θερμική Νησίδα, αλλά και σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στον ελλαδικό χώρο και κυρίως στο λεκανοπέδιο της Αττικής. Στο δεύτερο, εξετάζεται η θερμική απεικόνιση που είναι προϊόν της υπέρυθρης θερμογραφίας, η οποία ανήκει στον ευρύτερο τομέα της τηλεπισκόπησης αλλά και οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να προσεγγιστεί.

Στη συνέχεια, εξετάζεται η περιοχή μελέτης ως προς την τοπογραφία και τις καιρικές συνθήκες. Επίσης, παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην εκπόνηση της εργασίας, αλλά και οι διαδικασίες επεξεργασίας των συλλεγόμενων δεδομένων που απαιτήθηκαν για την ορθή εκπόνηση της εργασίας.

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων και τα οποία χωρίζονται σε τρία υποκεφάλαια. Το πρώτο αφορά τα αποτελέσματα ανάλυσης της LST, μέσω της περιγραφικής στατιστικής (περιγραφικά μέτρα, έλεγχος κανονικότητας, σύγκριση μέσων τιμών, σύγκριση της LST με τη θερμοκρασία αέρα) και της γεωστατιστικής χωρικής ανάλυσης (έλεγχος χωρικής αυτοσυσχέτισης, συσχέτιση LST-ESM, εφαρμογή κλασικού μοντέλου παλινδρόμησης (OLS) και του μοντέλου γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης (GWR). Το δεύτερο αφορά τα αποτελέσματα από τη σύγκριση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους των δεδομένων Thermopolis και των δορυφορικών MODIS, μέσω των περιγραφικών μέτρων, ελέγχου κανονικότητας, σύγκρισης των μέσων τιμών τους, ελέγχου χωρικής αυτοσυσχέτισης, εξέτασης για την ύπαρξη γραμμικής συσχέτισης και εφαρμογής του κλασικού μοντέλου παλινδρόμησης (OLS).

Στο κεφάλαιο 5, διατυπώνονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν, καθώς και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα στο πεδίο της χωρικής ανάλυσης και μοντελοποίησης της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST).

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Αστικό κλίμα

Οι κοινωνικές και οικονομικές παράμετροι που διαμορφώθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες, οδήγησαν τον παγκόσμιο πληθυσμό σε μαζικές μετακινήσεις σε μεγάλα αστικά κέντρα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων πόλεων και πολεοδομικών συστημάτων. Σχεδόν το ήμισυ του ανθρώπινου πληθυσμού στον κόσμο ζει σε αστικές περιοχές (Ηνωμένα Έθνη 2001).

Σχεδόν κάθε μεγάλο αστικό κέντρο είναι θερμότερο από τις περιβάλλουσες μη αστικές περιοχές, με αποτέλεσμα να συμπεριφέρεται σαν «θερμονησίδα». Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό μικροκλίμα που επικρατεί στις πόλεις με τους κυριότερους παράγοντες που το καθορίζουν να είναι οι τοπογραφικές συνθήκες, το ανάγλυφο της περιοχής, η δομική πυκνότητα, ο προσανατολισμός των δρόμων, η σκίαση που παρέχουν τα κτίρια, το ύψος των κτιρίων, η εδαφολογική σύσταση, ο τύπος και το ποσοστό του αστικού πρασίνου (Χρονοπούλου-Σερέλη και Μπερνάρ, 1997).

Το κλίμα της πόλης δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει σε κάποια κατηγορία των ήδη υπαρχόντων κλιμάτων. Η αστική κλιματική έρευνα ασχολείται στην πραγματικότητα με το κλίμα του στρώματος του αέρα κοντά στο έδαφος. Προκειμένου να κατηγοριοποιηθεί το κλίμα μιας πόλης πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα (Kratzer, 1956):

- Το κλίμα της πόλης ως ένα ενιαίο σύνολο, δηλαδή η επίδραση των αερολυμάτων, η διάρκεια της ηλιοφάνειας, η στασιμότητα του αέρα, το είδος των ανέμων, η βροχόπτωση.
- Το κλίμα συγκεκριμένων τμημάτων της πόλης, δηλαδή το εμπορικό της τμήμα, οι κατοικημένες περιοχές, η βιομηχανική περιοχή, το κέντρο της πόλης, τα περίχωρα της.
- Το κλίμα σε συγκεκριμένους δρόμους, δηλαδή ανάλογα με την κατεύθυνσή τους σε σχέση με τον ήλιο και τον άνεμο, σύμφωνα με το πλάτος τους, τη θέση από διάφορες πλατείες και πάρκα.

Παρατηρήσεις για τις διαφορές θερμοκρασίας αέρα μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών ή αστικών θερμικών νησίδων, έχουν αναφερθεί για πόλεις και περιοχές σε όλο τον κόσμο. Συνήθως περιγράφονται μόνο ως "αστικές" ή "αγροτικές", αφήνοντας μεγάλη αβεβαιότητα ως προς την κάλυψη γης των τοποθεσιών αυτών, καθώς είναι πολύ διαφορετικές στα φυσικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά τους. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανεπάρκειες της περιγραφής των περιοχών, αναπτύχθηκε το σύστημα ταξινόμησης "τοπικής κλιματικής ζώνης" (LCZ). Οι ζώνες τοπικού κλίματος ορίζονται οι περιοχές όπου η θερμοκρασία του αέρα διανέμεται ομοιόμορφα σε οριζόντια απόσταση 10²-10⁴ μέτρα και χαρακτηρίζονται από το δικό τους μοναδικό τοπικό κλίμα (Stewart and Oke, 2012). Μεταξύ του αστικού κέντρου και των περιχώρων διακρίνονται 17 ζώνες κλίματος (Εικόνα 1) που το κλίμα της κάθε μίας χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη κτιρίων ή δέντρων, το ύψος και το πλήθος αυτών, τη μεταξύ τους απόσταση, αν γίνεται εξαερισμός, καθώς επίσης και από τη θερμοτητα που οφείλεται σε ανθρωπογενή αίτια.



Εικόνα 1. Τοπικές ζώνες κλίματος: LCZ 1. Συγκρότημα πυκνής και υψηλής δόμησης, LCZ 2. Συγκρότημα πυκνής και μεσαίας δόμησης, LCZ 3. Συγκρότημα πυκνής και χαμηλής δόμησης, LCZ 4. Συγκρότημα αραιής και υψηλής δόμησης, LCZ 5. Συγκρότημα αραιής και μεσαίας δόμησης, LCZ 6. Συγκρότημα αραιής και χαμηλής δόμησης, LCZ 5. Συγκρότημα αραιής και μεσαίας δόμησης, LCZ 6. Συγκρότημα αραιής και χαμηλής δόμησης, LCZ 7. Συγκρότημα μικρών κτιρίων χαμηλής και πυκνής δόμησης, LCZ 8. Συγκρότημα μεγάλων κτιρίων χαμηλής και αραιής δόμησης, LCZ 8. Συγκρότημα μεγάλων κτιρίων χαμηλής και αραιής δόμησης, LCZ 9. Περιαστική δόμηση, LCZ 10. Βιομηχανική περιοχή, LCZA. Δάσος, LCZB. Στοιχισμένη φυτοκάλυψη, LCZC. Θαμνώδης φυτοκάλυψη, LCZD. Χαμηλή φυτοκάλυψη, LCZE. Πετρώδες έδαφος, LCZF. Χωματώδες έδαφος, LCZG. Νερό. (Πηγή: Stewart and Oke, 2012)

2.2. Αστική Θερμική Νησίδα

Η Θερμική Αστική Νησίδα (Urban Heat Island - UHI) είναι το όνομα που δίνεται στη χαρακτηριστική θέρμανση της ατμόσφαιρας στις πόλεις σε σύγκριση με τα περίχωρα τους (Voogt, 2004). Σχεδόν κάθε μεγάλο αστικό κέντρο παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες από το γειτονικό μη αστικό, με αποτέλεσμα να συμπεριφέρεται σαν «θερμονησίδα». Οι θερμοκρασίες αυτές μπορεί να αναφέρονται στην επιφάνεια είτε στον αέρα. Στην πρώτη περίπτωση τα δεδομένα συνήθως λαμβάνονται με θερμική τηλεπισκόπηση, ενώ στη δεύτερη από τοπικούς μετεωρολογικούς σταθμούς (Memon, 2009).

Η ένταση του φαινομένου εξαρτάται από το μέγεθος, τον πληθυσμό και την οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη μιας πόλης, από την τοπογραφία της περιοχής, τα κατασκευαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και το γενικό κλίμα του τόπου και τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες (Mihalakakou, 2004).

2.2.1. Δημιουργία αστικής θερμικής νησίδας

Βασικός μηχανισμός δημιουργίας του φαινομένου είναι η ενεργειακή ισορροπία ανάμεσα στην εισερχόμενη και την εξερχόμενη ακτινοβολία σε μια περιοχή. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι αστικές, αλλά και οι αγροτικές περιοχές, απορροφούν μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία, την αποθηκεύουν και στη συνέχεια εκπέμπουν ένα μέρος της στην ατμόσφαιρα με τη μορφή θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όταν η ενέργεια που εκπέμπεται βρίσκεται σε ισορροπία με αυτήν που απορροφάται, τότε η θερμοκρασία είναι περίπου σταθερή. Λόγω των τοπικών κλιματικών συνθηκών, επηρεάζονται οι τοπικές θερμοκρασίες δημιουργώντας θερμικά κέρδη ή θερμικές απώλειες όπου η μεταξύ τους ισορροπία σε συνδυασμό με τις ροές θερμότητας διαμορφώνει τη θερμοκρασία που τελικά καταγράφεται και αυτό ονομάζεται θερμικό ισοζύγιο (Trenberth et al., 2009).

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες στο αστικό περιβάλλον είναι αποτέλεσμα του θετικού θερμικού ισοζυγίου των αστικών περιοχών, που οφείλεται στη σημαντική απελευθέρωση θερμότητας από την ανθρωπογενή δραστηριότητα, την αποθήκευση ηλιακής ακτινοβολίας από το αστικό τοπίο, την έλλειψη χώρων πρασίνου και δεξαμενών ύδατος, την περιορισμένη κυκλοφορία αερίων μαζών στις αστικές χαράδρες και τη μειωμένη δυνατότητα της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας να διοχετευτεί στην ατμόσφαιρα (Santamouris, 2012).

Οι μεγαλύτερες διαφορές στη θερμοκρασία παρατηρούνται συνήθως τις νυχτερινές ώρες της καλοκαιρινής περιόδου, γεγονός που εξηγείται από τη μεγάλη θερμοχωρητικότητα των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται στον αστικό ιστό και τη μειωμένη ταχύτητα των ανέμων μέσα στην πόλη εξαιτίας της αστικής τοπογραφίας (CIBSE, 2006). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του φυσικού δροσισμού των κτιρίων κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθώς αυτός επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και τη ροή του αέρα που περιβάλλει το κτίριο (Mumovic et al., 2009).

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, στις αγροτικές περιοχές και εξαιτίας της πιο εκτεταμένης βλάστησης, η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από το έδαφος προκαλεί εξάτμιση του νερού, κάτι που οδηγεί στην αύξηση του δροσισμού και τελικά στη μείωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα. Αντίθετα, στην πόλη, η απουσία πρασίνου και υδάτινων πόρων δεν ευνοεί το δροσισμό και έτσι προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Αυτό οδηγεί στην πιο εντατική κατανάλωση ενέργειας, που με τη σειρά της συνεισφέρει στην ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του ενεργειακού ισοζυγίου λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας (κτίρια, οχήματα, ακόμα και οι ίδιοι οι άνθρωποι). Ταυτόχρονα, ο χαμηλός συντελεστής ανάκλασης και η υψηλή θερμοχωρητικότητα των οικοδομικών υλικών ευνοούν την αποθήκευση θερμότητας, ενώ η αστική μορφολογία και η ατμοσφαιρική ρύπανση συμβάλλουν στην ένταση του φαινομένου (Gartland, 2008).

2.2.2. Χαρακτηριστικά Αστικής Θερμικής Νησίδας

Ο χαρακτηρισμός του φαινομένου ως «νησίδα» οφείλεται στην ομοιότητα μεταξύ του σχήματος που διαμορφώνουν οι ισόθερμες καμπύλες πάνω από την αστικοποιημένη περιοχή και τις γύρω πιο δροσερές περιοχές σε σύγκριση με το αντίστοιχο σχήμα που προκύπτει από την απεικόνιση των ισοϋψών ενός νησιού σε ένα τοπογραφικό χάρτη, δημιουργώντας έναν θόλο (Oke, 1982). Καθώς οι ισόθερμες καμπύλες προσεγγίζουν το κέντρο της πόλης σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες, σχηματίζοντας μια «κορυφή».

Η επιφανειακή θερμοκρασία έχει έμμεση αλλά σημαντική επίδραση στη θερμοκρασία του αέρα, ειδικά στο στρώμα του θόλου, το οποίο είναι πιο κοντά στην επιφάνεια. Για παράδειγμα, πάρκα και περιοχές με βλάστηση, οι οποίες συνήθως έχουν ψυχρότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, οδηγούν σε ψυχρότερες θερμοκρασίες αέρα, σε αντίθεση με πυκνές, χτισμένες περιοχές. Επειδή ο αέρας αναμιγνύεται μέσα στην ατμόσφαιρα, η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας επιφάνειας και αέρα δεν είναι σταθερή αλλά ποικίλλει στις διαφορετικές περιοχές χρήσης γης (Εικόνα 2). Οι επιφανειακές θερμοκρασίες διαφέρουν περισσότερο από τις θερμοκρασίες αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά και οι δύο είναι αρκετά όμοιες τη νύχτα. Η μείωση της LST πάνω από τη λίμνη (Pont) δείχνει πως το νερό διατηρεί αρκετά σταθερή θερμοκρασία ημέρα και νύχτα, λόγω της υψηλής θερμικής ικανότητάς του (Voogt, 2002).



Εικόνα 2. Παραλλαγές επιφανειακών και ατμοσφαιρικών θερμοκρασιών. (Πηγή: Voogt, 2002)

Ο ετήσιος μέσος όρος της θερμοκρασίας σε μια μεγαλούπολη μπορεί να είναι θερμότερος κατά 1°-3°C σε σχέση με την προ αστικής ανάπτυξης περίοδο, ενώ σε νύχτες που επικρατεί άπνοια η διαφορά αυτή μπορεί να φτάσει και τους 12°C. Η θέρμανση εκτείνεται κάθετα διαμορφώνοντας έτσι έναν αστικό θόλο θερμότητας σε μέρες με σχετική άπνοια, ενώ σε ημέρες όπου πνέουν ισχυροί άνεμοι σχηματίζεται ένα αστικό «λοφίο» θερμότητας (Voogt, 2002) (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Γενική απεικόνιση της χωρικής κατανομής των ισόθερμων στο κέντρο της πόλης και στα περίχωρα κατά τη διάρκεια της νύχτας. (Πηγή: Voogt, 2002)

Στο αστικό περιβάλλον μπορούν να καταγραφούν θερμοκρασίες 1-10°C υψηλότερες σε σχέση με τις παρακείμενες αγροτικές περιοχές. Οι επιφάνειες των κτιρίων και των δρόμων που ακτινοβολούνται άμεσα από τον ήλιο, θερμαίνονται και η επιφανειακή τους θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 55 - 60 °C. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ατμοσφαιρικός αέρας εγκλωβίζεται ανάμεσα στο επίπεδο των κτιρίων και σε σύγκριση με τον ατμοσφαιρικό αέρα στα περίχωρα, φτάνει μέχρι και στους 6°C διαφορά.

Στις σύγχρονες πόλεις παρατηρείται μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες που οφείλεται: 1) στη συμπίεση του εδάφους και στο μεγάλο ποσοστό κάλυψης του αστικού ιστού με μη-διαπερατά στη βροχή υλικά όπως, άσφαλτο και μπετόν που εμποδίζουν τη διείσδυση του νερού της βροχής, κάνοντας το έδαφος ξηρότερο, 2) στη μειωμένη κίνηση του αέρα που συντελεί στη μειωμένη απόψυξη θερμών επιφανειών, 3) στον υψηλό δείκτη θερμοχωρητικότητας των υλικών του αστικού ιστού και 4) σε ανθρωπογενής παράγοντες.

2.2.3. Μορφές Αστικής Θερμικής Νησίδας

Η αστική θερμική νησίδα αποτελείται από τρία στρώματα ξεκινώντας από το κατώτερο στρώμα (Oke, 1995) (Εικόνα 4):

- 1. Θερμική Νησίδα Στρώματος Βλάστησης (CLHI Canopy Layer Heat Island)
- 2. Θερμική Νησίδα Οριακού Στρώματος (BLHI Boundary Layer Heat Island)
- 3. Θερμική Νησίδα Επιφάνειας (SUHI Surface Heat Island)





Το στρώμα της βλάστησης είναι το πιο κοντινό στην επιφάνεια της πόλης τμήμα του αέρα, το οποίο εκτείνεται προς τα πάνω, περίπου, έως το μέσο ύψος μιας οικοδομής. Το οριακό στρώμα μπορεί να φτάνει και το 1km πάχος την ημέρα και να συρρικνώνεται σε λίγες εκατοντάδες μέτρα κατά τη νύχτα. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν ένας θόλος θερμού αέρα πάνω από την πόλη. Η ένταση της θερμικής νησίδας του στρώματος επιφανείας (SUHI) ποικίλει ανάλογα με την περιοχή καθώς είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των οικοδομικών υλικών, την ύπαρξη βλάστησης και την ύπαρξη επιφανειών νερού και διαπερατών εδαφών.

Οι δύο πρώτες νησίδες μπορούν να ανιχνευθούν με μετρήσεις της θερμοκρασίας αέρα από πρότυπους μετεωρολογικούς σταθμούς, ενώ η τελευταία χρειάζεται θερμική τηλεπισκόπηση που καταγράφει τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια.

Η επιφανειακή ατμοσφαιρική νησίδα (SUHI) είναι εμφανής τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας, αλλά είναι αρκετά πιο έντονη την ημέρα λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα, η ατμοσφαιρική θερμική νησίδα γίνεται εντονότερη μετά τη δύση του ήλιου, λόγω της συνεχούς εκπομπής της θερμότητας, που απορροφήθηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας, από τις διάφορες επιφάνειες.

Συγκεκριμένα, η θερμική νησίδα του στρώματος της βλάστησης ξεκινάει να γίνεται πιο έντονη από τη δύση του ήλιου φθάνοντας σε ένα μέγιστο μερικές ώρες μετά από αυτή και διατηρείται μέχρι και την ανατολή. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η έντασή του είναι αρκετά μικρή έως και αρνητική μερικές φορές (cool island) σε μερικά σημεία της πόλης όπου υπάρχει εκτενής σκίαση από ψηλά κτίρια ή γενικά άλλες δομές με αποτέλεσμα να υπάρχει καθυστέρηση στη θέρμανση λόγω της αποθήκευσης της θερμότητας από τα οικοδομικά υλικά. Τέλος, η θερμική νησίδα του οριακού στρώματος είναι γενικά θετική σε όλη τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, αλλά πολύ μικρότερη σε ένταση σε σχέση με τις δύο προηγούμενες (Voogt, 2004) (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Σχηματική αναπαράσταση της ατμόσφαιρας των πόλεων που παρουσιάζει την διάκριση μεταξύ διαφόρων τύπων Αστικής Θερμικής Νησίδας. (Πηγή: Oke 2006)

2.2.4. Αίτια εμφάνισης Αστικής Θερμικής Νησίδας

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας οφείλεται σε μια πληθώρα διαφορετικών παραγόντων που έχουν άμεση σχέση με το σχεδιασμό και την κατασκευή των σύγχρονων πόλεων, καθώς και με τις διάφορες δραστηριότητες που αυτές ενσωματώνουν. Επίσης, μπορούν να χωριστούν σε ελεγχόμενους και μη ελεγχόμενους καθώς και σε προσωρινούς (ταχύτητα ανέμων, νέφωση), μόνιμους (χώροι πρασίνου, υλικά δόμησης, αστική μορφολογία) και περιοδικούς (ηλιακή ακτινοβολία, ανθρωπογενής δραστηριότητα) (Memon et al., 2007) (Εικόνα 6).



EARTH'S ENERGY BUDGET

Εικόνα 6. Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης. (Πηγή:<u>science-edu.larc.nasa.gov</u>)

2.2.4.1. Τοπογραφική θέση

Η γεωγραφική τοποθεσία επηρεάζει τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής και κατά συνέπεια το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Πιο σημαντικός παράγοντας είναι η απόσταση από τη θάλασσα, καθώς οι παράκτιες περιοχές παρουσιάζουν αυξημένη υγρασία, η οποία επιδρά στη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ως επακόλουθο στη μείωση της έντασης του φαινομένου. Από μελέτη του Memon και συνεργατών του το 2009 στην πόλη του Χονγκ Κονγκ προέκυψε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της σχετικής υγρασίας και της έντασης της θερμικής νησίδας (Memon et al., 2009).

Στις παράκτιες περιοχές κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από ότι στην ενδοχώρα. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια των θερινών παρατηρείται συνήθως μείωση της έντασης του φαινομένου λόγω της δροσερής θαλάσσιας αύρας που πνέει προς τη θερμότερη ξηρά. Η παρουσία της θάλασσας επιδρά στη θερμοκρασία ως συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά να αντιστρέφεται. Από την ακτή προς το εσωτερικό και μέχρι μια απόσταση 15 χιλιομέτρων από τη θάλασσα παρατηρείται γενικά ομοιόμορφη θερμοκρασία, η οποία αυξάνεται σταδιακά από εκεί και πέρα (Katsoulis and Theocharatos, 1985).

2.2.4.2. Αστική Τοπογραφία

Η αστική τοπογραφία αφορά στη γεωμετρία των κτιρίων και των αστικών δρόμων και στις αποστάσεις μεταξύ τους μέσα στον αστικό ιστό. Σε πολύ πυκνοδομημένες περιοχές, ο άνεμος δεν καταφέρνει να διέλθει μέσα στον αστικό ιστό, καθώς τα κτίρια λειτουργούν ως «αποθήκη» θερμότητας και οι όγκοι τους εμποδίζουν την κυκλοφορία και την ένταση του άνεμου.

Η γεωμετρία των κτιρίων και των δρόμων εκτός του ότι επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου, διαμορφώνει και διάφορα χαρακτηριστικά είδη ροών με βάση τη γωνιά πρόσπτωσης του ανέμου στο δρόμο, αλλά και τα τρία γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου: το μέσο ύψος των κτιρίων Η, το πλάτος W και το μήκος του δρόμου L. Στην πιο κοινή περίπτωση όπου ο άνεμος που ρέει πάνω από τα κτίρια προσπίπτει υπό γωνία ως προς τον άξονα του δρόμου, η ροή ανάμεσα στα κτίρια είναι ελικοειδής και όταν η σχέση ύψους κτιρίων προς το πλάτος του δρόμου είναι μεγάλη τότε ο φυσικός αερισμός που επιτυγχάνεται είναι σχετικά μικρός (Εικόνα 7) (Oke, 1988).

Η αστική γεωμετρία παγιδεύει τη θερμότητα και τα υψηλά επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντείνοντας το φαινόμενο, το οποίο αυξάνεται με τα χρόνια και γίνεται πιο έντονο όσο μεγαλώνει ο αστικός ιστός (Gartland, 2008). Επηρεάζει τη ροή αέρα, την αποθήκευση θερμικής ενέργειας και την ανακλαστική ικανότητα του αστικού περιβάλλοντος (Sailor and Fan, 2002). Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια, αυξάνεται λόγω των πολλαπλών ανακλάσεων από τις πλαϊνές όψεις των κτιρίων, των δρόμων κτλ. Η θερμότητα που αποτροφάται από καλυμμένες επιφάνειες, δρόμους, τοίχους και οροφές κτιρίων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τους και του εγγύς περιβάλλοντος κατά δέκα έως και είκοσι βαθμούς περισότερο, απ' ότι η κανονική θερμοκρασία αέρα. Επίσης, ενώ τα ψηλά κτίρια μιας πόλης προσφέρουν σκιά

τους χειμερινούς μήνες. Κατά τη θερινή περίοδο, η σκιά μειώνεται σε μεγάλο βαθμό λόγω της κατακόρυφης θέσης του ήλιου.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα κτίρια αποθηκεύουν θερμότητα κυρίως στις εξωτερικές τους επιφάνειες, αυξάνοντας τη θερμοκρασία τους. Ο αέρας που έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες αυτές αποκτά τη θερμοκρασία τους, μεταφέροντας στη συνέχεια τη θερμότητα αυτή σε γειτονικές μάζες. Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας τα κτίρια εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία, εμποδίζοντας τον αέρα να ψυχθεί αποτελεσματικά.

- (a) Isolated roughness flow mmm. (b) Wake interference flow (c) Skimming flow 0.20 0.25 Isolated roughness flow 0.33 M/H Wake interference 0.50 1 Skimming 24 Canyon 0 2 3 4 5 6 7 8 L/H
- **Εικόνα 7.** Ροή του αέρα ανάμεσα στα κτίρια καθώς αυξάνει ο λόγος Η/W (ύψος κτιρίου προς πλάτος δρόμου). (Πηγή: Oke, 1988)

2.2.4.3. Χαρακτηριστικά οικοδομικών υλικών

Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε μια πόλη είναι σημαντικός παράγοντας καθώς το 4% της έκτασης είναι ανοιχτό φυσικό τοπίο, το 77% καλύπτεται από κτιριακές υποδομές και τεχνητές επιφάνειες και το 19% από οδικό δίκτυο (Stathopoulou et al., 2004).

Η θερμική συμπεριφορά των υλικών, αναφέρεται ουσιαστικά στη συμπεριφορά τους απέναντι στις διαφορετικές διαδικασίες μετάδοσης θερμότητας (αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία). Τα υλικά με υψηλό συντελεστή εκπομπής απορροφούν μεγάλα ποσά προσπίπτουσας ενέργειας και ακτινοβολούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε αντίθεση με υλικά με χαμηλό συντελεστή εκπομπής. Ο συντελεστής εκπομπής εξαρτάται από τον τύπο της επιφάνειας και το μήκος κύματος αλλά και από τη θερμοκρασία, η εξάρτησή του όμως για τα μήκη κύματος που μας ενδιαφέρουν είναι πολύ μικρή και τελικά την αγνοούμε. Στον Πίνακας 1 παρουσιάζεται ο συντελεστής εκπομπής των κοινών επιφανειών κατά μέσο όρο για το εύρος μηκών κύματος 8-14 μm.

	Επιφάνεια	Εκπομπή 8-14 μm	
	Σκόνη άνθρακα	0.98-0.99	
Νερό		0.98	
	Πάγος	0.97-0.98	
Φυτά, φύλλα, υγιή		0.96-0.99	
	Φυτά, φύλλα, ξερά	0.88-0.94	
	Άσφαλτος	0.96	
	Άμμος	0.93	
	Βασάλτης	0.92	
	Λευκό χαρτί	0.90	
	Ξύλο	0.87	
	Γρανίτης	0.83-0.87	
	Γυαλισμένα μέταλλα, κατά μέσο όρο	0.02-0.21	
	Αλουμινόχαρτο	0.036	

Πίνακας 1. Συντελεστής εκπομπής διάφορων επιφανειών με φάσμα μηκών κύματος 8-14μm. (Πηγή: Lillesand et al. (2008), Sabins (1996))

Οι τιμές της ανακλαστικότητας και της απορροφητικότητας παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, καθώς εξαρτώνται κυρίως από το χρώμα των υλικών. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στον αστικό ιστό είναι στην πλειοψηφία τους σκουρόχρωμα (ή σκουραίνουν λόγω τις αστικής ρύπανσης) και έχουν χαμηλό συντελεστή ανακλαστικότητας. Αυτό συνεπάγεται, μεγάλη θερμική απορρόφηση και χαρακτηρίζονται από μεγάλη θερμοχωρητικότητα, διατηρώντας τις υψηλές θερμοκρασίες στα υλικά για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Σανταμούρης, 2000).

Η αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού αυξάνει την εκπεμπόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία, ανάλογα με τον συντελεστή εκπομπής του υλικού. Γενικά, τα δομικά υλικά έχουν μεγάλο συντελεστή εκπομπής (>0.8), όμως η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της νύχτας δεν έχει τη δυνατότητα να διαφύγει άμεσα στην ατμόσφαιρα. Έτσι, μετά από διαδοχικές ανακλάσεις καταλήγει να απορροφάται κατά το μεγαλύτερο μέρος της από τις όψεις των κτιρίων, αυξάνοντας τις επιφανειακές θερμοκρασίες τους. Αντίθετα, τα δέντρα κατά μέσο όρο απορροφούν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία από ότι τα κτίρια και εκπέμπουν λιγότερη θερμική ακτινοβολία. Η βλάστηση είναι η μοναδική ύλη που έχει μικρή ανακλαστικότητα (τιμές από 0.05 – 0.30) και ταυτόχρονα αναπτύσσει χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από τα περισσότερα δομικά υλικά. Συνεπώς, η έλλειψη βλάστησης και αντικατάστασή της με δομικά υλικά οδηγεί σε υψηλότερες μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες.

Τα δομικά υλικά είναι ελάχιστα υδατοπερατά και δεν μπορούν να συγκρατήσουν το βρόχινο νερό. Η μείωση επιφανειών νερού και πρασίνου στα αστικά κέντρα προκαλεί μείωση δυνατοτήτων δροσισμού μέσω του φαινομένου της εξάτμισης, η οποία στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα, καθώς για να πραγματοποιηθεί απορροφώνται σημαντικά ποσά θερμότητας από το περιβάλλον (Σανταμούρης, 2000).

2.2.4.4. Χώροι πρασίνου

Ο ρόλος της ύπαρξης ανοικτών χώρων με πράσινο έχει επίσης καταδειχθεί. Τα δέντρα μπορούν να περιορίσουν την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους κατά 70-85%, μειώνοντας αισθητά τη θερμοκρασία στις σκιασμένες περιοχές (Papadakis, 2001).

Επίσης, τα πάρκα έχουν θετική επίδραση στη μείωση της θερμοκρασίας παρακείμενων περιοχών, με τρόπο που εξαρτάται από το μέγεθος του πάρκου και της απόστασης μιας περιοχής από αυτό, αλλά και από άλλα χαρακτηριστικά που αφορούν την αστική γεωγραφία (Gomez et al., 1998).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση για φύτευση πάνω στις στέγες των κτιρίων της πόλης, προσεγγίζοντας κατά κάποιο τρόπο το φυσικό περιβάλλον. Αυτό μπορεί να έχει αισθητή επίδραση στη θερμική προστασία των κτιρίων, χωρίς να υποκαθιστά τη λειτουργία μονωτικών στρωμάτων. Οι φυτεμένες στέγες λειτουργούν συμπληρωματικά στις μονώσεις των κτιρίων, μειώνοντας τη ροή της θερμότητας από τη στέγη προς το περιβάλλον, αλλά και προς το εσωτερικό των κτιρίων (Del Barrio, 1998).

2.2.4.5. Τοπικές κλιματικές συνθήκες

Με την έννοια των κλιματικών συνθηκών γίνεται κυρίως λόγος στην επίδραση που έχει ο άνεμος και η νεφοκάλυψη στο σχηματισμό της αστικής θερμικής νησίδας. Έχει παρατηρηθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου και η παρουσία νέφωσης έχουν αρνητική συμβολή στην εμφάνιση του φαινομένου (Oke, 1982).

Κατά τη διάρκεια μιας καθαρής και ήρεμης ημέρας παρατηρείται εντατικοποίηση του φαινομένου. Αντίθετα, στη μείωση αυτού συμβάλλουν τόσο η επικράτηση ανέμων, που προκαλούν μίξη του αέρα, όσο και η αύξηση του ποσοστού νέφωσης η οποία οδηγεί στη μείωση της ψύξης λόγω ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Άνεμοι με μεγάλες ταχύτητες προκαλούν την αυξημένη μεταφορά ψυχρών αέριων μαζών από τα προάστια προς το κέντρο της πόλης και ταυτόχρονα την αντίστροφη κίνηση θερμών αέριων μαζών, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ένταση του φαινομένου. Σε αυτό συνεισφέρει και η αυξημένη ατμοσφαιρική ανάμειξη που δημιουργούν αυτοί οι άνεμοι (Papanastasiou and Kittas, 2011).

2.2.4.6. Ανθρωπογενείς παράγοντες

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος είναι η αύξηση των εκπομπών ρύπων (διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, όζον, οξείδια του αζώτου, αεροζόλ, σωματίδια) από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως είναι η κυκλοφορία οχημάτων, χρήση κλιματιστικών, η καύση ορυκτών καυσίμων, συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στις πόλεις.

Περιοχές με έντονη εμπορική κίνηση εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες, κυρίως κατά τις εργάσιμες ώρες και ημέρες, όταν δηλαδή καταγράφεται σημαντική κίνηση ανθρώπων (Kim and Baik, 2005). Επιπλέον, η ίδια η ανθρωπογενής θερμότητα έχει σημαντική επίδραση στην ένταση της αστικής θερμικής νησίδας, κυρίως τη νύχτα, καθώς συνεισφέρει περίπου 1°C (Ryu and Baik, 2011).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση που χαρακτηρίζει τις σύγχρονες πόλεις λειτουργεί αρνητικά εμποδίζοντας τη διαφυγή της θερμικής ακτινοβολίας και εγκλωβίζοντάς την στην πόλη. Το γεγονός αυτό παρουσιάζει ομοιότητες με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς η ατμοσφαιρική ρύπανση και κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα είναι αδιαπέραστα από την θερμική ακτινοβολία (Σανταμούρης, 2000).

2.2.4.7. Πληθυσμός

Η αύξηση του πληθυσμού μιας πόλης έχει επίδραση στο τοπικό κλίμα, καθώς με την αύξηση αυτή σχετίζονται άλλοι παράγοντες, όπως η έκταση της πόλης, τα υλικά επιφανείας, το ποσοστό φύτευσης και η διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων. Κατ' επέκταση, το μικροκλίμα διαμορφώνει και την ένταση της αστικής θερμικής νησίδας, η οποία έχει την τάση να αυξάνεται με την αύξηση του πληθυσμού (Mallick and Rahman, 2012).

2.2.4.8. Ώρα της μέρας/εποχή

Η αστική θερμική νησίδα στις πόλεις που βρίσκονται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, γενικά εντείνεται περισσότερο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ή του χειμώνα, σε σχέση με τις μεταβατικές εποχές. Ομοίως σε πόλεις όπου επικρατούν τροπικά κλίματα, η περίοδος ανομβρίας ευνοεί το φαινόμενο.

2.2.5. Μελέτες Αστικής Θερμικής Νησίδας

Η αστική θερμική νησίδα είναι ένα φαινόμενο που έχει καταγραφεί σε εκατοντάδες πόλεις σε όλο τον κόσμο. Η πρώτη αναφορά έγινε το 1820 από τον Luke Howards, ο οποίος συνέκρινε τα δεδομένα της θερμοκρασίας εντός του Λονδίνου και της περιαστικής ζώνης και κατέληξε στο συμπέρασμα μιας «τεχνητής αύξησης θερμότητας» (Howards, 1833). Τον 19ο αιώνα, ο Renou μελέτησε τον καιρό στο Παρίσι και μίλησε για τις διαφορές της θερμοκρασίας μεταξύ της πόλης και των προαστίων (Renou 1862, 1868). Τον 20ο αιώνα ο Wilhelm Schmidt για την Βιέννη (Schmidt 1917, 1929). Οι μελέτες του φαινομένου στις ΗΠΑ ξεκίνησαν από τον Mitchell τον 20ο αιώνα (Mitchell, 1961).

Για Ελλάδα, έχουν γίνει αρκετές μελέτες που αφορούν στο φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, ενδεικτικά κάποιες από τις οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

- Το 1985 δημοσιεύεται μελέτη για την περιοχή της Θεσσαλονίκης που εξετάζεται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας από τη σύγκριση την ημερήσιων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών που εξήχθησαν από έναν αστικό και περιαστικό μετεωρολογικό σταθμό κατά τη διάρκεια των ετών 1966-1975. Από τη μελέτη προέκυψε ότι το φαινόμενο παρουσιάζει μεγάλη συχνότητα μέσα στην πόλη και εντατικοποιείται κατά την επικράτηση αντικυκλωνικών τύπων καιρού (Μπαλαφούτης, 1985).
- Περίπου μια δεκαετία αργότερα μια ακόμη μελέτη για την περιοχή της Θεσσαλονίκης που αφορούσε τους ίδιους υπό εξέταση σταθμούς, για την περίοδο 1950-1995, διαπιστώθηκε ότι κατά τη δεκαετία του 90 το φαινόμενο τείνει να εξασθενήσει (Balafoutis and Makrogiannis, 1998).
- Το 2009 εξετάζεται το φαινόμενο στα Χανιά της Κρήτης. Καταγράφηκε η θερμοκρασία αέρα και η σχετική υγρασία για διάστημα πέντε μηνών από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο του 2007 από 12 μετεωρολογικούς σταθμούς (9 αστικοί και 3 αγροτικοί). Επίσης, συλλέχτηκαν και αναλύθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα, όπως ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, βαρομετρική πίεση, η ηλιοφάνεια και η βροχόπτωση. Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι κατά τη θερινή περίοδο το φαινόμενο παρουσιάζει τη μέγιστη ένταση που είναι της τάξης των 8°C, η μορφή του επηρεάζεται από την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου και οι βόρειοι άνεμοι επεκτείνουν το μέτωπο του, ενώ οι δυτικοί άνεμοι συμβάλλουν στη μείωση του (Kolokotsa et al., 2009).
- Το 2010 μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά του φαινομένου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, μέσω της επεξεργασίας ωριαίων δεδομένων θερμοκρασίας του αέρα για την περίοδο Ιούνιο με Σεπτέμβριο του 2008. Διαπιστώθηκε ότι της πρωινές ώρες η αστική ζώνη της πόλης θερμαίνεται γρηγορότερα και πιο αποτελεσματικά από τα προάστια και το φαινόμενο είναι πιο ευδιάκριτο κατά τη διάρκεια της νύχτας, φθάνοντας, όμως, το μέγιστο μέγεθός του τις πρώτες πρωινές ώρες (Giannaros et al. 2010).

Όσον αφορά το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας για την Αθήνα, αυτό μελετάται συστηματικά, με στόχο να διερευνηθεί η ένταση του φαινομένου, η ανάπτυξή του στον χώρο και η χρονική μεταβολή του. Οι μελέτες για την Αθήνα παρουσιάζουν δυσκολίες εξαιτίας του ότι η θερμοκρασία και οι μικροκλιματικές συνθήκες εξαρτώνται από τις υψομετρικές διαφορές, την απόσταση από τη θάλασσα και την κυκλοφορία του αέρα που επηρεάζεται από τη μορφολογία του εδάφους και την αστική τοπογραφία (Katsoulis and Theocharatos, 1985). Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις μελέτες για την περιοχή της Αθήνας.

Το 2002 δημοσιεύεται μία μελέτη που σκοπό έχει να καθορίσει τις θέσεις όπου εντοπίζεται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Συλλέχτηκαν από 20 σταθμούς σε διάφορες περιοχές της πόλης μετεωρολογικά δεδομένα και υπολογίστηκαν οι ωριαίοι βαθμοί ψύξης και θέρμανσης. Από τη συνολική έρευνα προέκυψε ότι στις κεντρικές και δυτικές βιομηχανικές περιοχές το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας είναι έντονο ενώ σε περιοχές κοντά στο κέντρο και τα ανατολικά που υπάρχει πυκνή βλάστηση και «ανοιχτοί χώροι» παρουσιάζει διακυμάνσεις. Κατά τα τη χειμερινή περίοδο οι διαφορές μεταξύ

αστικών και περιαστικών σταθμών είναι μικρότερες λόγω της κυκλωνικής κυκλοφορίας που επικρατεί και της παρουσίας ανέμου. Τέλος, η διατήρηση των υψηλών θερμοκρασιών του αέρα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους ή των χαμηλών κατά την ψυχρή περίοδο σχετίζονται ως επί το πλείστον με τις συνοπτικές καιρικές συνθήκες και δεν μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης ανάπτυξης του φαινομένου (Livada et al., 2002).

- Το 2005 εξετάζεται το δυτικό τμήμα της Αθήνας που είναι ιδιαίτερα πυκνοδομημένη και περιλαμβάνει περιοχές με οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η επίδραση που έχουν οι αστικές πράσινες περιοχές στο τοπικό κλίμα. Έγινε λήψη μετεωρολογικών δεδομένων (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, κατεύθυνση ανέμου) κατά τη διάρκεια της νύχτας, με τη χρήση ενός κινούμενου οχήματος. Τα δεδομένα χωρίστηκαν σε όσα συλλέχτηκαν σε συνθήκες άπνοιας και σε υπό ελαφρύ άνεμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ταχύτητα του ανέμου έχει σημαντική επίδραση στη διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα καθώς επίσης ότι στους χώρους πρασίνου επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες και για τις κατηγορίες ανέμου. Συνεπώς, οι περιοχές μοιάζουν με δροσερά σημεία σε μια επιβαρυμένη θερμικά περιοχή (Charalampopoulos and Chronopoulou-Sereli, 2005).
- Το 2006 δημοσιεύεται μια μελέτη που στηρίζεται σε συνοπτικά δεδομένα της περιόδου 1990-2001, από τη διαφορά τις ελάχιστης θερμοκρασίας στις 06:00 το πρωί, μεταξύ των αγροτικών και αστικών περιοχών της πόλης. Από τη μελέτη προκύπτει ότι το 1/3 των ημερών της περιόδου το φαινόμενο εμφανίζεται ιδιαίτερα έντονο ενώ γίνεται εντονότερο τις νύχτες με αίθριο ουρανό και χαμηλή σχετική υγρασία. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού, η θαλάσσια αύρα μειώνει συνήθως την επίδραση του φαινομένου. Τέλος, διαφάνηκε ότι οι υψηλότερες βαθμίδες έντασης συνδέονται με αντικυκλωνική κυκλοφορία ενώ οι χαμηλότερες με ισχυρούς βορειοανατολικούς ανέμους (Kassomenos and Katsoulis, 2006).
- Το 2011 δημοσιεύεται μελέτη από την οποία προκύπτει ότι η ένταση του φαινομένου είναι ισχυρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς η θερμοκρασία στο κέντρο και τα δυτικά είναι 2-3°C υψηλότερη από την αντίστοιχη στα νότια και νοτιοανατολικά (Giannopoulou et al., 2011).
- Κατά τους χειμερινούς μήνες η μεταβολή της έντασης την ημέρα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αντίθετα, το καλοκαίρι η μεταβολή της έντασης είναι μεγαλύτερη κατά τις νυχτερινές ώρες ενώ το πρωί και το μεσημέρι το φαινόμενο είναι λιγότερο ισχυρό (Giannaros et al., 2013).
- Η μακρόχρονη παρατήρηση δεδομένων από διάφορους σταθμούς της Αττικής δείχνει πως το φαινόμενο μέσα στην ημέρα είναι γενικά πιο έντονο το καλοκαίρι από ότι το χειμώνα (Founda et al., 2015).
- Η εμφάνιση αστικών θερμικών νησίδων στην πόλη συνδέεται στενά με το πρόβλημα της υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλεται στην πυκνή κίνηση και τις κοντινές βιομηχανίες, καθώς και στον έντονο κλιματισμό. Οι περιορισμένοι ανοιχτοί χώροι, η έλλειψη πρασίνου, η έλλειψη υδάτινων πόρων προς εξάτμιση και η αγωγιμότητα των δομικών και επιφανειακών υλικών εντείνουν το φαινόμενο αυτό (Kourtidis et al., 2015).

Καθώς το αστικό θερμικό περιβάλλον θα εξελίσσεται, θα επεκτείνεται και θα αλλάζει, η μελέτη, η διαχείριση και η παρακολούθησή του είναι αναγκαία. Θα αυξάνεται και η ανάγκη για εξεύρεση βελτιωμένης σχέσης ανάμεσα στην πυκνότητα δόμησης και στη δημιουργία ενός ανεκτού αστικού κλίματος.

2.3. Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση είναι μία σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την απόκτηση πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μία περιοχή ή ένα φαινόμενο μέσα από την ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν από απόσταση σε σχέση με τον στόχο. Αποτελείται από τρία βασικά μέρη: στόχοι – αντικείμενα ή φαινόμενα σε μια περιοχή, απόκτηση δεδομένων μέσω ορισμένων μέσων και ανάλυση δεδομένων με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών και υπολογιστών με υψηλές προδιαγραφές. Η έννοια της Τηλεπισκόπησης, στον ευρύτερο ορισμό της, μπορεί να συμπεριλάβει και ακουστικά (ή ηχητικά) κύματα που παράγονται κάτω από την επιφάνεια του νερού, τα οποία μπορεί να καταγράφονται από ειδικούς αισθητήρες.

Τα βασικά στάδια του συστήματος της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν: 1. αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της Γης (ανάκλαση), 2. μετάδοση της ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς τον απομακρυσμένο αισθητήρα, 3. δεδομένα εξόδου αισθητήρα, 4. μετάδοση δεδομένων (επεξεργασία και ανάλυση).

2.3.1. Θερμική ακτινοβολία

Οι βασικότερες πηγές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι η φωτεινή ενέργεια του ήλιου και η εκπεμπόμενη θερμική ενέργεια. Η εκπεμπόμενη θερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως έμμεσα από την ακτινοβολία του ήλιου, η οποία απορροφάται από τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας ως μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία και επανεκπέμπεται ως μεγάλου μήκους κύματος θερμική ενέργεια.

Κάθε σώμα που θερμαίνεται εκπέμπει ακτινοβολία, η οποία σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι στο υπέρυθρο (αόρατη) και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μετατοπίζεται στο ορατό. Η εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία εξαρτάται από τη συχνότητα, τη θερμοκρασία και την απορροφούμενη ισχύ (όσο περισσότερο απορροφά ένα σώμα τόσο περισσότερο εκπέμπει).

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας, σε όλα τα μήκη κύματος, που είναι διαθέσιμο για να θερμάνει μια επιφάνεια εξαρτάται: 1. Από το ύψος του Ήλιου από τον ορίζοντα, που είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και του χρόνου της ημέρας και του μήνα, 2. Από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως η νεφοκάλυψη, η υγρασία και η πυκνότητα του αέρα, δηλαδή μια συνάρτηση των καιρικών συνθηκών και του γεωγραφικού πλάτους, 3. Από την τοπογραφία σε σχέση με το ηλιακό αζιμούθιο και το υψόμετρο: για παράδειγμα, κλίσεις που έχουν προσανατολισμό προς τον ήλιο λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον συντελεστή εκπομπής είναι: 1. Χρωματικός τόνος των αντικειμένων: τα πιο σκούρα αντικείμενα είναι καλύτεροι απορροφητές και καλύτεροι πομποί θερμικής ακτινοβολίας, 2. Τραχύτητα επιφάνειας: όσο πιο τραχιά είναι η επιφάνεια σε σχέση με το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια και επομένως μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα

απορρόφησης και εκ νέου εκπομπής της ακτινοβολίας, 3. Υγρασία: όσο περισσότερη η περιεχόμενη σε υγρασία σε ένα αντικείμενο τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα να είναι καλός πομπός το αντικείμενο αυτό, 4. Το οπτικό πεδίο και η γωνία θέασης του οργάνου καταγραφής μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα εκπομπής.

2.3.2.Θερμική Απεικόνιση

Η θερμική απεικόνιση είναι προϊόν της υπέρυθρης θερμογραφίας, η οποία ανήκει στον ευρύτερο τομέα της τηλεπισκόπησης και είναι η τεχνική απεικόνισης ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας τα μήκη κύματος του αντικειμένου αυτού. Η εκπεμπόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία (IR) είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι και ουσιαστικά οφείλεται στη θερμική κατάσταση του αντικειμένου που μελετάται. Η θερμική απεικόνιση μπορεί να προσεγγιστεί με επίγειες μετρήσεις, εναέριες, δορυφορικές και με μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV). Στον Πίνακας 2 παρουσιάζεται μια σύγκριση των επίγειων, UAV εναέριων, δορυφορικών και θερμικών δεδομένων.

	Δορυφορικά	UAV Εναέρια	Επίγεια
Περιοχή κάλυψης	Πολύ μεγάλη περιοχή	Μέτρια (εξαρτάται από το ύψος πτήσης)	Μικρή
Προσβασιμότητα περιοχής κάλυψης	Όχι απαραίτητη	Όχι απαραίτητη	Απαραίτητη
Χωρική ανάλυση	Χαμηλή	Καλή	Απόσταση σημείου
Πρόοδος των μετρήσεων	Πολύ γρήγορη	Μεσαία/αργή	Πολύ αργή

Πίνακας 2. Σύγκριση δορυφορικών, UAV εναέριων και επίγειων θερμικών δεδομένων (Πηγή: Kuenzer et Dech, 2013).

2.3.3. Επίγεια Θερμική Απεικόνιση

Οι θερμικές κάμερες είναι όργανα που θυμίζουν εξωτερικά τις συμβατικές κάμερες, αλλά ουσιαστικά δημιουργούν εικόνες από τη θερμότητα που εκπέμπεται ως ακτινοβολία. Κάθε σώμα με θερμοκρασία πάνω από αυτή του απόλυτου μηδέν (-273,15°C = 0 K) εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από την επιφάνεια του, η οποία είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του. Η ακτινοβολία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να μετρήσουμε τη θερμοκρασία του εξεταζόμενου σώματος.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία έχει την ιδιότητα να διαδίδεται στον αέρα κι έτσι δίνεται η δυνατότητα με τη χρήση κατάλληλων φακών να ανιχνεύεται. Έτσι προκύπτει η αναπαραγωγή ενός ηλεκτρικού σήματος ανάλογο της ακτινοβολίας, το οποίο με κατάλληλη ενίσχυση και ψηφιακή επεξεργασία σήματος μετασχηματίζεται σε ένα σήμα εξόδου ανάλογο της θερμοκρασίας του εξεταζόμενου αντικειμένου. Το σήμα εξόδου μπορεί να είναι μια εικόνα όπου φαίνονται αναλυτικά με χρωματική διαφοροποίηση οι θερμοκρασιακές διαφορές του αντικειμένου, στην περίπτωση μιας θερμικής κάμερας, ή απλά μια ψηφιακή ένδειξη στην περίπτωση άλλων οργάνων που χρησιμοποιούν τις αρχές αυτές (π.χ. υπέρυθρα θερμόμετρα ή πυρόμετρα).

2.3.4. Εναέρια Θερμική Απεικόνιση

Η εναέρια θερμική απεικόνιση χρησιμοποιείται σε θέματα αστικού περιβάλλοντος, καθώς παρέχει συνοπτικά δεδομένα θερμοκρασίας επιτρέποντας την ανάλυση τους σε διαφορετικές κλίμακες. Ειδικότερα, οι εναέριες θερμογραφικές μελέτες σε αστικές περιοχές μπορούν να φτάσουν σε πολύ υψηλό επίπεδο χωρικής λεπτομέρειας, καλύπτοντας, ταυτόχρονα, πολύ μεγάλες περιοχές σε σύγκριση με παραδοσιακές τεχνικές, με αποτέλεσμα να βρίσκουν εφαρμογή στην αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε αστική κλίμακα (Bitelli et al., 2015). Για τη διεξαγωγή μιας τέτοιας μελέτης χρησιμοποιούνται αεροσκάφη στα οποία εγκαθίστανται θερμικές κάμερες ή θερμικοί αισθητήρες.

2.3.5. Δορυφορική Θερμική Απεικόνιση

Υπάρχουν πολλοί δορυφόροι παρακολούθησης της γης που διαθέτουν όργανα απόκτησης δεδομένων - αισθητήρες στο θερμικό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στον Πίνακας 3 παρουσιάζονται ενδεικτικά παραδείγματα θερμικών υπέρυθρων αισθητήρων.

Θερμικοί αισθητήρες	Χωρική ανάλυση	Χρόνος επανόδου	Εδαφικό πλάτος	Αντίστοιχος δορυφόρος	Χρόνος εκτόξευσης
ETM+	60m	16 day	185km	Landsat 7	1999
TM	120m	16 day	185km	Landsat 5	1984
TIRS	100m	16 day	185km	Landsat 8 (LDCM)	2013
ASTER	90m	4-16 day	60km	Terra	1999
IRMSS	160m	26 day	120km	CBERS 1, 2, 2b	1999-2003, 2003, 2007-2010
IRSCAM	80m	26 day	120km	CBERS 3, and 4, 4b	2012, 2014,2016
MODIS	1km	4 per day	2330km	Terra, Aqua	1999, 2002

Πίνακας 3. Θερμικοί υπέρυθροι αισθητήρες (Πηγή: Kuenzer et Dech, 2013)

Η δορυφορική θερμική απεικόνιση θεωρείται από τα πιο σημαντικά εργαλεία ανίχνευσης θερμικών αλλαγών σε αστική κλίμακα, καθώς έχει τη δυνατότητα να συλλέγει χωρικές πληροφορίες σε μεγάλες εκτάσεις ταυτόχρονα. Εφαρμόζεται στη χαρτογράφηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της γης (Land Surface Temperature - LST), στην ανάλυση της αστικής θερμικής νησίδας (SUHI), στην κλιματολογία αστικών περιοχών, στην παρατήρηση βιομηχανικών περιοχών και στην ανάκτηση δεδομένων της υγρασίας του εδάφους (Kuenzer et Dech, 2013). Παράλληλα, μέσω των δορυφορικών εικόνων που δίνονται στα κανάλια του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου εξάγονται οι χωρικές κατανομές της αστικής λευκαύγειας, του συντελεστή εκπομπής (Land Surface Emissivity - LSE), και του ποσοστού βλάστησης μέσω διαφόρων δεικτών (Stathopoulou et al., 2009).

Ο άμεσος προσδιορισμός της θερμοκρασίας αέρα σε μια αστική πόλη δεν είναι δυνατός με την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων. Αντίθετα, με τη χρήση εικόνων στο θερμικό υπέρυθρο (8-12 μm) είναι δυνατός ο προσδιορισμός της LST σε διακριτική ικανότητα που κυμαίνεται ανάλογα με τον δορυφόρο. Η μικρότερη διακριτική ικανότητα είναι 60m από τον Landsat-7 (ETM+) και 100m από τον Landsat-8 (TIRS) μέχρι τα 1100m που δίνει ο NOAA/AVHRR και ο AATSR/ENVISAT. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα για την χωρική αποτύπωση της επιφανειακήςθερμοκρασίας, καθώς και για την ανίχνευση αλλαγών στο αστικό μικροκλίμα (Καρτάλης και Φείδας, 2006).

Τα δορυφορικά δεδομένα από το κανάλι του θερμικού υπέρυθρου (TIR) μετατρέπονται σε τιμές LST μέσω της εξίσωσης διάδοσης ακτινοβολίας. Παρόλα αυτά, δεν είναι δυνατή η εκτίμηση της LST απευθείας από την υπέρυθρη ακτινοβολία που λαμβάνει το TIR, καθώς αυτή επηρεάζεται όχι μόνο από εδαφικές παραμέτρους (θερμοκρασία, συντελεστή εκπομπής), αλλά και από τη σύσταση της ατμόσφαιρας. Για τον λόγο αυτό, για την εκτίμηση της LST πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

2.3.6. Θερμική απεικόνιση μέσω μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV)

Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα είναι μια ιπτάμενη πλατφόρμα η οποία φέρει διάφορες μετρητικές διατάξεις και ελέγχεται είτε από πιλότο στο έδαφος, είτε πετά αυτόνομα. Τα μεγέθη ποικίλουν από πολύ μικρά μέχρι μεγάλα όσο ένα αεροπλάνο, ενώ υπάρχουν και άλλα είδη όπως μικρό αερόστατο, αλεξίπτωτο, χαρταετός, σταθερών πτερυγίων ή ελικόπτερο, όπως και με διαφορετικό αριθμό ελίκων. Οι εφαρμογές των UAVs έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως είναι η μελέτη της περιοχής ενδιαφέροντος, η οποία μπορεί να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα και επαναληπτικά, η λήψη στοιχείων από τις περιοχές που δεν υπάρχουν ασφαλείς επιλογές πρόσβασης και το κόστος δεν είναι απαγορευτικό.

3 μεθοδολογία και δεδομένα

3.1. Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι η ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας και συγκεκριμένα ο γεωγραφικός χώρος από δυτικά προς ανατολικά (Ελευσίνα – Κορωπί), βορρά προς νότο (Πεντέλη – Σαρωνικός) (Εικόνα 8), σύμφωνα με την πορεία που ακολούθησε το αεροπλάνο για την καταγραφή της LST για τις χρονικές περιόδους 18/7/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009.



Εικόνα 8. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης με το κόκκινο πλαίσιο.

Η περιοχή της Αττικής έχει έκταση 412km² (Υπουργείο Εσωτερικών) και θεωρείται η 7η πιο πυκνοκατοικημένη αστική ζώνη στην Ευρωπαϊκή Ένωση με πληθυσμό 3.787.386 κατοίκους (σύμφωνα με την απογραφή του 2011). Η περιοχή παρουσιάζει χαρακτηριστικά που την καθιστούν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για τη μελέτη της αστικής θερμότητας. Υπάρχουν τρία σύνολα παραγόντων που αλληλεπιδρούν, τα οποία είναι η τοπογραφία, η αστική μορφολογία και η εγγύτητα στη θάλασσα. Περιβάλλεται δυτικά από το όρος Αιγάλεω (469m), βόρεια από την Πάρνηθα (1413m), βορειοανατολικά από την Πεντέλη (1109m) και ανατολικά από τον Υμηττό (1026m), ενώ στα νότια βρέχεται από τον Σαρωνικό κόλπο (Εικόνα 9). Εκτός από ποικιλία στο ανάγλυφο του εδάφους, όπως πεδινές εκτάσεις, λόφοι, ορεινοί όγκοι και παραθαλάσσιες περιοχές, υπάρχει και έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα στο μεγαλύτερο τμήμα της, όπως το σύνθετο αστικό περιβάλλον της, τα προάστια στο βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της, η περιοχή του αεροδρομίου στα Σπάτα καθώς επίσης και η περιοχή της Ελευσίνας, όπου παρατηρείται έντονη βιομηχανική δραστηριότητα (Thermopolis Final Report, 2009).



Εικόνα 9. Χάρτης Google Earth των ορίων λεκανοπεδίου Αττικής και των 5 βασικών ορέων που το περιβάλλουν. (Πηγή: Google Earth)

Η Αττική παρουσιάζει μεγάλη κλιματική ποικιλία, δεδομένης της σχετικά μικρής επιφάνειάς της. Το κλίμα είναι τυπικά μεσογειακό, με ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά ξηρά καλοκαίρια, όμως, ανάλογα με την περιοχή, παρατηρείται από ήπιο θαλάσσιο κλίμα στις παράκτιες περιοχές της, αρκετά ξηρό με ελάχιστο υετό στα νότια και νοτιοανατολικά τμήματά της, ηπειρωτικό κυρίως στις βόρειες περιοχές του κέντρου και προς βορειοανατολικά, αρκετά ψυχρό σχετικά στα βορειότερα προάστια. Η θερμή περίοδος διαρκεί από τον Απρίλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο, ενώ οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία αέρα για τον μήνα Ιούλιο είναι 33.5°C. Εξαιτίας των θερμών αέριων μαζών που σαρώνουν την Ελλάδα, εμφανίζονται κύματα καύσωνα με πολύ υψηλές θερμοκρασίες αέρα που ξεπερνούν τους 37.8°C, με την υψηλότερη να έχει καταγραφεί το 1987 στην Ελευσίνα (βιομηχανική ζώνη) της τάξης των 48.0°C. Βροχοπτώσεις έχουμε κυρίως από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο, αλλά συνολικά ολόκληρο τον χρόνο τα ύψη βροχής είναι χαμηλά και δεν ξεπερνούν τα 400 – 450 mm. Οι χιονοπτώσεις σημειώνονται κάθε χρόνο σχεδόν στα γύρω ορεινά της Αττικής, πιο σπάνια στα βόρεια προάστια των Αθηνών και ακόμα πιο σπάνια στο κέντρο της πόλης (Thermopolis Final Report, 2009).

3.2. Δεδομένα

3.2.1. Δεδομένα Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST) - Thermopolis TIR Airborne

Το THERMOPOLIS 2009 ήταν μια επίγεια και εναέρια εκστρατεία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) που διεξήχθη σε μια περίοδο τριών εβδομάδων (12-31 Ιουλίου 2009) στην Αθήνα. Ο στόχος του ήταν η συλλογή ποιοτικών και συντονισμένων υπερφασματικών, εναέριων, διαστημικών και επιτόπιων μετρήσεων, ώστε να δημιουργηθούν φασματικά, γεωμετρικά και ραδιομετρικά αντιπροσωπευτικά σύνολα δεδομένων για την μελέτη του UHI και SUHI. Τα εναέρια δεδομένα ανακτήθηκαν από ένα Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) που λειτουργεί από την INTA (Ισπανικό Εθνικό Ινστιτούτο Αεροδιαστημικής Τεχνολογίας). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τέσσερις ημερήσιες και τρεις νυχτερινές πτήσεις, οι οποίες σχεδιάστηκαν για να συμπίπτουν με τις σχετικές δορυφορικές διαβάσεις (Landsat, MODIS, ASTER, κ.λπ.).

Από αυτή την πειραματική εκστρατεία ανακτήθηκαν θερμικές εικόνες AHS πολύ υψηλής ευκρίνειας (4m) που απεικονίζουν την LST σε Kelvin (K), χρησιμοποιώντας αλγόριθμο TES, με 9 φασματικά κανάλια (το κανάλι 78 από AHS δεν χρησιμοποιείται λόγω του θορυβώδους σήματος) και είναι γεωαναφερμένες σε προβολικό σύστημαWGS84 UTM ζώνη 34N | EPSG: 32634 (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Απεικόνιση επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST) για την περιοχή μελέτης.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, παραχωρήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών με τη μορφή αρχείων εικόνας (.tif). Είναι νυχτερινών λήψεων και έχουν ληφθεί από 4 διαφορετικές διευθύνσεις: Ελευσίνα-Κορωπί, Κορωπί-Ελευσίνα, Πεντέλη-Σαρωνικός, Σαρωνικός-Πεντέλη, για τις ημερομηνίες 18/7/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Αναλυτική περιγραφή για την περιοχή μελέτης για τις ημερομηνίες λήψης. (Πηγή: Thermopolis Final Report, 2009)

NIGHT		18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009	
P01	Elefsina to Koropi	W to E	20:48 UTC	20:03 UTC	20:06 UTC
P02	Koropi to Elefsina	E to W	21:05 UTC	20:18 UTC	20:17 UTC
P03	Penteli - Saronikos	N to S	20:24 UTC	20:48 UTC	21:10 UTC
P04	Saronikos - Penteli	S to N	20:05 UTC	20:35 UTC	20:58 UTC

3.2.2. Δεδομένα χρήσης - κάλυψης γης

Για να συγκριθούν οι διαφορετικές περιοχές της Αθήνας μεταξύ τους, ως προς τη θερμική τους συμπεριφορά κατασκευάστηκε χάρτης χρήσης-κάλυψης γης (LCLU) με δεδομένα του Ευρωπαϊκού Αστικού Άτλαντα (European Urban Atlas – LUZ), ώστε να ταξινομηθούν οι περιοχές ως προς τα χαρακτηριστικά των υλικών της επιφάνειας τους.

Ο European Urban Atlas αποτελεί μέρος των υπηρεσιών παρακολούθησης της γης Copernicus. Παρέχει αξιόπιστους, υψηλής ανάλυσης χάρτες χρήσης γης για 305 μεγάλες αστικές περιοχές και τα περίχωρά τους (άνω των 100.000 κατοίκων) για το έτος 2006. Σχεδιάστηκε για να συγκρίνει τα πρότυπα χρήσης γης σε μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις και ως εκ τούτου για τη συγκριτική αξιολόγηση των πόλεων στην Ευρώπη. Χρησιμοποιεί εικόνες από τους δορυφόρους για τη δημιουργία αξιόπιστων και συγκρίσιμων χαρτών υψηλής ανάλυσης αστικών εκτάσεων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Copernicus, το οποίο αποτελεί συνέχεια του προγράμματος GMES, δημιουργήθηκε με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission) σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA). Έχει βασικό στόχο τη μελέτη και παρακολούθηση του περιβάλλοντος της γης και πιο στοχευμένα της επιφάνειας της γης, της ατμόσφαιρας, της αλλαγής του κλίματος, καθώς και τη διαχείριση έκτακτων καταστάσεων. Από τεχνολογικής πλευράς, πρόκειται για ένα σύνολο συστημάτων που αποτελείται από διαφόρων τύπων συστήματα και όργανα συλλογής δεδομένων από διαφορετικές πηγές: δορυφόρους παρατήρησης της γήινης επιφάνειας, αερομεταφερόμενες πλατφόρμες εφοδιασμένες με ειδικούς αισθητήρες και καταγραφείς της γήινης επιφάνειας και τέλος σταθερούς αισθητήρες συλλογής και καταγραφής των διαφόρων παραμέτρων και μεταβλητών που αφορούν το γήινο περιβάλλον.

Η βάση δεδομένων του European Urban Atlas προσφέρει δεδομένα υψηλής ευκρίνειας (resolution 2.5m), 100 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το CORINE land cover, σε διανυσματική μορφή και σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87. Η περιοχή της Αθήνας χωρίζεται σε 20 τάξεις (Εικόνα 11) όπου στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται οι 15, συγκεκριμένα:

- Continuous Urban fabric (S.L.:>80%) Συνεχής αστικός ιστός (>80%)
- Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L.: 50%-80%) Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός (50 80%)
- Discontinuous Medium Density Urban Fabric (S.L.: 30% 50%) Ασυνεχής μέσης πυκνότητας αστικός ιστός (30-50%)
- Discontinuous Low Density Urban Fabric (S.L.: 10% 30%) Ασυνεχής χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός (10-30%)
- Discontinuous very low density urban fabric (S.L. < 10%) Ασυνεχής πολύ χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός (<10%)
- Isolated Structures Απομονωμένες δομές
- Industrial-commercial-public-military and private units Βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες
- Mineral extraction and dump sites Περιοχές εξόρυξης ορυκτών και χωματερές
- Construction sites Υποκατασκευή τοποθεσίες
- Land without current use Γη χωρίς τρέχουσα χρήση
- Green urban areas Πράσινες αστικές περιοχές
- Sports and leisure facilities Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις
- Agricultural-semi-natural and wetland areas Γεωργικές, ημι-φυσικές και περιοχές υγροτόπων
- Forest Δάσος
- Water Νερό



Εικόνα 11. Χάρτης ταξινόμησης χρήσης - κάλυψης γης για την Αττική σύμφωνα με τον European Urban Atlas 2010.

3.2.3. Δεδομένα European Settlement Map (ESM) 2016

Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ LST και αστικού ιστού, χρησιμοποιείται ο Ευρωπαϊκός Οικιστικός Χάρτης (European Settlement Map (2016) – ESM), που παρέχεται από την ευρωπαϊκή υπηρεσία παρακολούθηση της γης Copernicus, που απεικονίζει το ποσοστό κάλυψης της κατοικημένης περιοχής ανά χωρική μονάδα, χρησιμοποιώντας τις δορυφορικές εικόνες του 2012.

Τα δεδομένα raster έχουν χωρική ανάλυση 10m και βρίσκονται σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87 (Εικόνα 12). Για την εξέταση της περιοχής μελέτης για την κάθε μέρα, τα δεδομένα ESM περιορίζονται ακριβώς στην περιοχή μελέτης με τη χρήση των εικόνων της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST) (Εικόνα 13).



Εικόνα 12. Χάρτης ποσοστού αστικής κάλυψης (European Settlement Map (ESM) 2016) για την περιοχή της Αττικής.



Εικόνα 13. Απεικόνιση ποσοστού αστικής κάλυψης (ESM) για την περιοχή μελέτης.

3.2.4. Μετεωρολογικά δεδομένα

Κατά τις τρεις ημέρες της πειραματικής εκστρατείας επικρατούσαν διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή της Αθήνας. Συγκεκριμένα, η 1^η ημέρα (18/07/2009) ήταν σχετικά θερμή με μέγιστη θερμοκρασία αέρα τους 36.4°C, η 2^η (21/07/2009) παρουσίαζε χαμηλότερες θερμοκρασίες και ισχυρό μελτέμι με υψηλότερη θερμοκρασία αέρα τους 33.4°C ενώ η 3^η (24/07/2009) ήταν ημέρα καύσωνα με μέγιστη θερμοκρασία αέρα τους 39.4°C (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Καταγραφή της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας (σε °C) για την περιοχή της Αθήνας κατά τις 3 μέρες της πειραματικής εκστρατείας.

Ημερομηνία	T _{min}	T _{max}	T _{mean}
18/7/2009	25.8	36.4	30.8
21/7/2009	26.2	33.4	29.1
24/7/2009	25.9	39.4	32.4

Στις 18/09/2009, στα 500hPa εμφανίζεται σφήνα ύφεσης στα βορειοδυτικά της εξεταζόμενης περιοχής εμποδιζόμενη από μία έξαρση με νοτιοδυτικό άξονα, δίνοντας στην επιφάνεια ασθενείς βαθμίδες πίεσης και χαμηλής έντασης ανέμους που οδηγούν σε αυξημένες θερμοκρασίες στην περιοχή της Αττικής.

Στις 21/07/2009, στα 500hPa φαίνεται η μετακίνηση της κυκλωνικής κυκλοφορίας προς την Ανατολική Ευρώπη και τα Βαλκάνια και η επέκταση του θερμού αντικυκλώνα προς τα βορειοανατολικά. Στα χαμηλά στρώματα ενισχύονται οι βαθμίδες πίεσης πάνω από το Αιγαίο που οδηγούν σε ισχυρό μελτέμι.

Στις 24/07/2009, σχηματίζεται η τυπική μορφή καύσωνα, αφού πλέον έχει επεκταθεί η έξαρση από τα νοτιοδυτικά πάνω από την περιοχή μας με θερμή μεταφορά στα μέσα και στα ανώτερα στρώματα και κατ' επέκταση και στα κατώτερα. Οι κατανομές των γεωδυναμικών υψών στα 500hPa δείχνουν την επέκταση του θερμού αντικυκλώνα από τα νοτιοδυτικά και τη στροφή του ρεύματος σε δυτικότερες διευθύνσεις στα μέσα και ανώτερα στρώματα, ορίζοντας έτσι τη μετάβαση από τα μελτέμι σε καύσωνα. Συγκεκριμένα, στην επιφάνεια οι άνεμοι εξασθενούν σημαντικά και η θερμοκρασία στην Αθήνα αγγίζει 40°C, τους οποίους θα ξεπεράσει τις δύο επόμενες μέρες (Κλιματικό Δελτίο Ιουλίου 2009, ΕΜΥ).

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται οι καιρικές συνθήκες για τις τρεις μέρες παρακολούθησης, δεδομένα reanalysis ERA–Interim του ECMWF (Dee et al., 2011). Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία στα 500hPa (Εικόνα 14), η θερμοκρασία στα 850hPa (Εικόνα 15), η θερμοκρασία αέρα στα 2m (Εικόνα 16), τα γεωδυναμικά ύψη στα 500hPa (Εικόνα 17), τα γεωδυναμικά ύψη στα 850hPa (Εικόνα 18), η πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας (Εικόνα 19), το άνυσμα του ανέμου στα 850hPa (Εικόνα 20), το άνυσμα του ανέμου στα 10m (Εικόνα 21).



Εικόνα 14. Θερμοκρασία στα 500hPa για τις 18/07/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 1200UTC.



Εικόνα 15. Θερμοκρασία στα 850hPa για τις 18/07/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 1200UTC.



Εικόνα 16. Θερμοκρασία στα 2m για τις 18/07/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 1200UTC.



Εικόνα 17. Γεωδυναμικά ύψη στα 500hPa για τις 18/07/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 1200UTC.






Εικόνα 19. Πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας για τις 18/07/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 1200UTC.



Εικόνα 20. Άνυσμα του ανέμου στα 850hPa για τις 18/07/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 1200UTC.



Εικόνα 21. Άνυσμα του ανέμου στα 10 μα τις 18/07/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 1200 UTC.

Κατά την περίοδο της πειραματικής εκστρατείας THERMOPOLIS για την περαιτέρω επικύρωση των δεδομένων της LST, εξήχθησαν τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα) για την Αθήνα και τα προάστια από 26 σταθμούς εδάφους από διαφορετικούς οργανισμούς (Εικόνα 22). Συγκεκριμένα,

- Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογίας (duth): παρέχει τη μέση θερμοκρασία 10λέπτων από 10 μετεωρολογικούς σταθμούς που τοποθετήθηκαν προσωρινά σε οικίες για τις ανάγκες του προγράμματος:
 - 1. Kountouriotou: 29m, 3^{ος} όροφος
 - 2. Serifou: 8m, 1^{ος} όροφος
 - 3. Seirinon1: 158m, $2^{\circ\varsigma}$ όροφος
 - 4. Seirinon2: 158m, 2°ς όροφος (ακάλυπτος)
 - 5. Anaximenous: 125m, 5^{ος} όροφος
 - 6. Dorms: 185m, 2^{ος} όροφος
 - 7. Pipinou: 101m, $5^{\circ\varsigma}$ όροφος
 - 8. Thaleias: 217m, 2^{ος} όροφος
 - 9. Pellis: 211m, 2^{ος} όροφος
 - 10. Papayannis: 235m, 1^{ος} όροφος
- <u>Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (hnms)</u>: παρέχει τη μέση ωριαία θερμοκρασία από 3 μετεωρολογικούς σταθμούς.
 - 11. Hellenikon
 - 12. Nea Filadelfia
 - 13. Elefsina
- <u>Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (noa)</u>: παρέχει τη θερμοκρασία από 3 μετεωρολογικούς σταθμούς.
 - 14. Thiseio
 - 15. Academy
 - 16. Penteli1
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ntua): παρέχει τη μέση θερμοκρασία 10 λεπτών από 10 μετεωρολογικούς σταθμούς.
 - 17. Elliniko
 - 18. Ilioupoli
 - 19. Psytaleia
 - 20. Zografou
 - 21. Pikermi
 - 22. Galatsi
 - 23. Ano losia
 - 24. Penteli2
 - 25. Menidi
 - 26. Mandra



Εικόνα 22. Χάρτης θέσης μετεωρολογικών σταθμών από τους οποίους εξήχθησαν τα μετεωρολογικά δεδομένα για την Αττική και τα περίχωρα.

3.2.5. Δορυφορικά δεδομένα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής εκστρατείας οι πτήσεις σχεδιάστηκαν για να συμπίπτουν με τις σχετικές δορυφορικές διαβάσεις. Γι' αυτό το λόγο, για τη σύγκριση της LST των δεδομένων Thermopolis με την αντίστοιχη LST που προκύπτει από δορυφόρο, χρησιμοποιούνται τα δορυφορικά δεδομένα MODIS και συγκεκριμένα του προϊόντος MOD11A1 της έκδοσης 6 του δορυφόρου TERRA που απεικονίζει την LST ανά pixel, η οποία προέρχεται από το προϊόν της σειράς MOD11_L2 σε δίκτυο 1200 x 1200 χιλιομέτρων.

Τα δεδομένα παρέχονται από το Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC) που διαχειρίζεται το έργο της NASA, Earth Science Data and Information System (ESDIS). Το LPDAAC είναι ένα από τα κέντρα διανομής ενεργών αρχείων (DAACs) του συστήματος παρακολούθησης δεδομένων και πληροφοριών του συστήματος Earth Observing System (EOSDIS), μέρος του έργου ESDIS.

Ορισμένα pixel στις δορυφορικές εικόνες, πάνω από 30 μοίρες γεωγραφικού πλάτους, μπορεί να έχουν πολλές παρατηρήσεις, όπου πληρούνται τα κριτήρια για καθαρό ουρανό. Όταν συμβεί αυτό, η τιμή τους είναι αποτέλεσμα του μέσου όρου όλων των παρατηρήσεων που είναι κατάλληλες. Ο MODIS αποτελείται από είκοσι υπέρυθρες ζώνες από τις οποίες στην 31 και 32 στα 11.0 και 12.0 μm αντίστοιχα μπορεί να ανακτηθεί η LST.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται οι δορυφορικές εικόνες νυχτερινών λήψεων για τις 18/7/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 σε χωρική ανάλυση 850m και προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87 (Εικόνα 23).





Εικόνα 23. Χάρτες δορυφορικών εικόνων MODIS για την περιοχή της Αττικής.

3.3. Επεξεργασία Δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιείται το λογισμικό «ArcGis» (ArcMap 10.3) της εταιρίας ESRI, το στατιστικό πρόγραμμα «IBM SPSS Statistics 25» και το πρόγραμμα λογιστικών φύλλων «Microsoft Office Excel».

3.3.1. Προεπεξεργασία δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων στο ArcGis θα πρέπει η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (LST), το Urban Atlas, το European Settlement Map (ESM), τα μετεωρολογικά και δορυφορικά δεδομένα MODIS να βρίσκονται στο ίδιο προβολικό σύστημα «WGS84 UTM ζώνη 34N | EPSG: 32634».

Επεξεργασία Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST)

Σε κάθε μία μέρα αντιστοιχούν 4 raster αρχεία (εικόνες). Από την ενοποίηση και των τεσσάρων προκύπτει ένα κοινό. Αρχικά, δημιουργείται ένα raster με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως cell size:10, pixel type:32 Bit Float και προβολικό σύστημα:WGS84 UTM ζώνη 34N | EPSG: 32634 και στη συνέχεια, πάνω σε αυτό προστίθενται οι 4 εικόνες θέτοντας η τιμή της κάθε κυψέλης του ψηφιδωτού να προκύπτει από το μέσο όρο και των τεσσάρων.

Αφού αλλάξει το cell size του raster από τα 4m στα 10m με σκοπό τη μείωση «θορύβου», μετατρέπεται σε vector αρχείο και συγκεκριμένα σε point (Raster To Point), υπολογίζοντας για κάθε σημείο τις συντεταγμένες χκαι γ.

Τέλος, δημιουργείται μια χωρική σχέση μεταξύ του Urban Atlas και της LST. Συγκεκριμένα, σε κάθε πολύγωνο (urban fabric) του Urban Atlas προσδιορίζεται μια μέση τιμή της LST.

Επεξεργασία European Settlement Map (ESM)

Για κάθε μέρα, για να περιοριστούν τα δεδομένα ESM ακριβώς στην περιοχή μελέτης, προσαρμόζονται με τη χρήση των εικόνων LST, μέσω της εντολής «Extract by Mask».

Στη συνέχεια, μετατρέπονται από raster σε vector αρχείο και συγκεκριμένα σε point (Raster To Point), υπολογίζοντας για κάθε σημείο τις συντεταγμένες x και y.

Τέλος, στη χωρική σχέση που έχει δημιουργηθεί (Urban Atlas–LST) προστίθενται και τα δεδομένα ESM όπου προσδιορίζεται μια μέση τιμή της σε κάθε πολύγωνο. Επομένως, σε κάθε πολύγωνο καταγράφεται μια μέση τιμή LST, μια μέση τιμή ESM και ένας χαρακτηρισμός κατηγορίας urban fabric.

Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

Για να περιοριστούν τα δορυφορικά δεδομένα ακριβώς στην περιοχή μελέτης, προσαρμόζονται με τη χρήση των εικόνων της LST, μέσω της εντολής «Extract by Mask».

Τα raster αρχεία μετατρέπονται σε vector και συγκεκριμένα σε polygon (Raster To Polygon), υπολογίζοντας για κάθε πολύγωνο τις συντεταγμένες x και y. Για να γίνει αυτό πρέπει τα raster δεδομένα που είναι δεκαδικού τύπου (float) να μετατραπούν σε ακέραιες τιμές.

Στη συνέχεια, δημιουργείται μια χωρική σχέση μεταξύ της LST των δορυφορικών δεδομένων MODIS (LST_{MODIS}) και των δεδομένων Thermopolis (LST_{Therm}). Συγκεκριμένα, σε κάθε πολύγωνο της LST_{MODIS}, χωρικής ανάλυσης 850m, προσδιορίζεται μια μέση τιμή της LST_{Therm}.

Επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων

Για τον κάθε μετεωρολογικό σταθμό υπολογίζεται η μέση ωριαία θερμοκρασία αέρα μετατρέποντας τη από βαθμούς κελσίου (°C) σε Kelvin.

3.3.2. Κατανομή δεδομένων

3.3.2.1. Στατιστική Ανάλυση

Μέσω της Περιγραφικής Στατιστικής Ανάλυσης γίνεται ουσιαστικά μια πρώτη προσπάθεια ερμηνείας των υπό εξέταση δεδομένων.

<u>Αριθμητικά Περιγραφικά Μέτρα – Γραφικές Παραστάσεις</u>

Στην παρούσα εργασία υπολογίζονται τα αριθμητικά περιγραφικά μέτρα της LST για την κάθε μέρα αλλά και για τη σύγκριση της LST_{MODIS} και της LST_{Therm}, μέσω του προγράμματος SPSS. Μέσω αυτών υπολογίζεται ένα σύνολο τιμών στατιστικών συναρτήσεων που δίνουν μια καλή θεωρητική εικόνα της δειγματικής κατανομής τους.

Συγκεκριμένα, υπολογίζονται τα «μέτρα κεντρικής τάσης» που αφορούν κάποια τιμή γύρω από την οποία τα δεδομένα τείνουν να συσσωρεύονται, τα «μέτρα διασποράς» που αναφέρονται στη

μεταβλητότητα των δεδομένων, δηλαδή στον καθορισμό της διασποράς τους γύρω από κάποιο μέτρο αριθμητικής θέσης, τα «μέτρα ασυμμετρίας» και τα «μέτρα κύρτωσης». Αναλυτικότερα,

<u>Μέτρα κεντρικής τάσης:</u> μέση τιμή (Mean), τυπικό σφάλμα του μέσου (Std. Error of Mean) <u>Μέτρα διασποράς:</u> εύρος δηλαδή τη διαφορά Max-Min (Range), διακύμανση (Variance), τυπική απόκλιση (Std. Deviation)

<u>Μέτρα ασυμμετρίας:</u> λοξότητα (Skewness)

<u>Μέτρα κύρτωσης:</u> κύρτωση (Kurtosis)

Οι γραφικές παραστάσεις αποτελούν μια χρήσιμη και γρήγορη παρουσίαση των δεδομένων καθώς απεικονίζουν την κατανομή τους και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια εποπτική αντίληψή τους, επιτρέποντας τον τονισμό των κύριων χαρακτηριστικών τους. Σχεδιάστηκαν μέσω του προγράμματος SPSS και συγκεκριμένα τα γραφήματα Ιστογραμμάτων και BoxPlot.

<u>Έλεγχος κανονικότητας</u>

Για τον έλεγχο κανονικότητας των δεδομένων της LST για την κάθε μέρα, αλλά και για τη σύγκριση της LST_{MODIS} και της LST_{Therm}, εφαρμόζεται το Test Kolmogorov-Smirnov (1-Sample K-S), μέσω του προγράμματος SPSS. Συγκεκριμένα, ελέγχεται η μηδενική υπόθεση H₀ ότι το δείγμα είναι κανονικά κατανεμημένο έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης H₁ ότι το δείγμα δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή.

Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας συνήθως ορίζεται ως p-value=0.05. Αν η p-value είναι μικρότερη του 0.05 τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται, ενώ αν είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0.05 τότε δεν απορρίπτεται. Στο SPSS το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας προκύπτει από το Asymp.Sig.(2-tailed).

Επίσης, έλεγχος γίνεται και γραφικά μέσω των ιστογραμμάτων παρατηρώντας αν ακολουθείται η καμπύλη κανονικότητας, αλλά και από το γράφημα Normal Q-Q Plot εξετάζοντας αν τα σημεία βρίσκονται πάνω στη διαγώνιο.

Σύγκριση Μέσων Τιμών ως ανεξάρτητα δείγματα

Η σύγκριση των μέσων τιμών εφαρμόζεται για τα δεδομένα: 1)συνολικά της LST μεταξύ των τριών ημερών, 2)της LST για κάθε κατηγορία χρήσης γης, που παρέχονται από το urban atlas, σε σχέση με το urban fabric «Continuous Urban Fabric (S.L. > 80%)», 3)της LST για κάθε κατηγορία χρήσης γης για τους συνδυασμούς ημερών 1^η-2^η, 1^η-3^η και 2^η-3^η μέρα, 4)της θερμοκρασίας αέρα σε σχέση με την LST και 5)της LST_{MODIS} σε σχέση με την LST_{Therm}.

Η σύγκριση μέσων τιμών γίνεται στο EXCEL χρησιμοποιώντας την «Ανάλυση Δεδομένων», εφαρμόζοντας τον έλεγχο t-test. Το t-test με ανεξάρτητα δείγματα βρίσκεται στην επιλογή «Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες ίσες διασπορές». Ακολουθώντας τα βήματα, προκύπτει η τιμή t και η αντίστοιχη p-value.

Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίζεται ως p-value=0.05. Αν η p-value είναι μικρότερη του 0.05 τότε οι μέσες τιμές των δύο μεταβλητών διαφέρουν στατιστικά σημαντικά, ενώ αν είναι

μεγαλύτερη του 0.05 τότε δε διαφέρουν. Στο excel το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας προκύπτει από το «P[T<=t] δίπλευρη».

3.3.2.2. Έλεγχος Χωρικής Αυτοσυσχέτισης

Σκοπός της χωρικής αυτοσυσχέτισης είναι να εντοπιστούν οι περιοχές εκείνες που έχουν ξεχωριστή συμπεριφορά από την υπόλοιπη ευρύτερη περιοχή. Αρχικά, εφαρμόζεται ο γενικός δείκτης «Global Moran's I», που δίνει μια γενικότερη εικόνα για την αυτοσυσχέτιση σε όλη την περιοχή μελέτης, και στη συνέχεια ο τοπικός δείκτης «Getis-OrdGi*» που εντοπίζει στατιστικά σημαντικά σημεία υψηλών τιμών (hotspots) και χαμηλών τιμών (κρύες κηλίδες).

Για την εφαρμογή των παραπάνω χρησιμοποιείται το λογισμικό ArcGis «ArcMap 10.3» της εταιρίας ESRI και συγκεκριμένα τα ενσωματωμένα εργαλεία Spatial Autocorrelation (Moran's I) και Hot Spot Analysis (Getis-OrdGi*).

<u>Γενικός δείκτης Global Moran's I</u>

Στην παρούσα εργασία για την εφαρμογή του γενικού δείκτη λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα: 1)τα γειτονικά χαρακτηριστικά να έχουν μεγαλύτερη επιρροή στους υπολογισμούς για ένα χαρακτηριστικό στόχο από χαρακτηριστικά που είναι μακριά (Inverse Distance), 2)μεταξύ δύο σημείων να λαμβάνεται υπόψη η ευθεία απόσταση (Euclidean Distance).

Από την εφαρμογή προκύπτουν 5 τιμές: ο δείκτης Moran (Moran's I Intex), ο αναμενόμενος δείκτης (Expected Index), η διακύμανση (Variance), η τυπική απόκλιση (z-score) και η πιθανότητα (p-value).

Οι τιμές z-score και p-value είναι μέτρα στατιστικής σημασίας για να απορριφθεί ή όχι η τυχαία κατανομή στην περιοχή μελέτης.

- Αν η p-value είναι στατιστικά σημαντική τότε η υπόθεση της τυχαίας κατανομής απορρίπτεται.
- Αν η p-value είναι στατιστικά σημαντική και η z-score θετική τότε η χωρική κατανομή υψηλών και χαμηλών τιμών στο σύνολο των δεδομένων είναι περισσότερο ομαδοποιημένη.
- Αν η p-value είναι στατιστικά σημαντική και η z-score αρνητική τότε η χωρική κατανομή υψηλών και χαμηλών τιμών στο σύνολο των δεδομένων είναι περισσότερο διασκορπισμένη.

Για τον δείκτηMoran's Ι:

- Θετική τιμή του δείκτη υποδηλώνει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση και αντιστοιχεί σε τελείως ομαδοποιημένο πρότυπο.
- Αρνητική τιμή του δείκτη υποδηλώνει αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση και αντιστοιχεί σε τελείως διασκορπισμένο πρότυπο.
- Τιμή 0 αντιστοιχεί σε πρότυπο τυχαίας κατανομής.

Τοπικός δείκτης Getis-OrdGi*

Στην παρούσα εργασία, για την εφαρμογή του τοπικού δείκτη λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα: 1)τα γειτονικά χαρακτηριστικά να έχουν μεγαλύτερη επιρροή στους υπολογισμούς για ένα χαρακτηριστικό στόχο από χαρακτηριστικά που είναι μακριά (Inverse Distance), 2)μεταξύ δύο σημείων να λαμβάνεται υπόψη η ευθεία απόσταση (Euclidean Distance), 3)κάθε στοιχείο να έχει έναν τουλάχιστον γείτονα, 4)εφαρμόζεται η διόρθωση FDR. Η διόρθωση FDR υπολογίζει τον αριθμό των ψευδών θετικών για ένα επίπεδο εμπιστοσύνης και προσαρμόζει ανάλογα την κρίσιμη τιμή p. Για τη μέθοδο αυτή, οι στατιστικά σημαντικές τιμές p κατατάσσονται από το μικρότερο (ισχυρό) στο μεγαλύτερο (ασθενές) και με βάση την ψευδώς θετική εκτίμηση οι ασθενέστεροι αφαιρούνται.

Από την εφαρμογή προκύπτει πίνακας στον οποίο καταγράφεται η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους, η τυπική απόκλιση, η πιθανότητα και ένα επίπεδο εμπιστοσύνης (Gi_Bin).

Το επίπεδο εμπιστοσύνης (Gi_Bin) παίρνει τιμές από το -3 έως 3. Οι θετικές τιμές αντιστοιχούν σε hotspots ενώ οι αρνητικές τιμές σε κρύες κηλίδες.

- + / 3 αντιστοιχεί σε 99% επίπεδο εμπιστοσύνης
- + / 2 αντιστοιχεί σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης
- + / 1 αντιστοιχεί σε 90% επίπεδο εμπιστοσύνης
- Τιμή 0 δεν είναι στατιστικά σημαντική

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του τοπικού δείκτη δημιουργούν χάρτες χωρικών προτύπων στους οποίους εντοπίζονται οι ομαδοποιήσεις των περιοχών με υψηλές ή χαμηλές τιμές καθώς και οι μη στατιστικά σημαντικές περιοχές.

3.3.3. Διερεύνηση σχέσης μεταξύ των δεδομένων

3.3.3.1. Έλεγχος Γραμμικής Σχέσης

Με τον έλεγχο γραμμικής συσχέτισης ελέγχεται εάν και πώς συσχετίζονται δύο μεταβλητές. Εφαρμόζεται μεταξύ: 1)LST-ESM, 2) LST_{MODIS} - LST_{Therm}, μέσω του προγράμματος SPSS.

Μία πρώτη ένδειξη για την ύπαρξη ή μη κάποιου είδους συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών παρέχεται από το Διάγραμμα Διασποράς (Scatter Plot). Ο έλεγχος για την ύπαρξη γραμμικότητας πραγματοποιείται από το εάν υπάρχει η τάση όλα τα σημεία να βρίσκονται στην γραμμή τάσης. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο υποδεικνύεται η ύπαρξη θετικής ή αρνητικής γραμμικής συσχέτισης (ανάλογα με την κλίση της γραμμής) μεταξύ των δύο μεταβλητών. Αντίθετα, όσο μεγαλύτερη διασπορά εμφανίζει το νέφος, τόσο περισσότερο απομακρυνόμαστε από τη γραμμικότητα.

Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της γραμμικής συσχέτισης εφαρμόζεται ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson (Pearson correlation coefficient test). Η ερμηνεία εμπειρικά του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης του Pearson γίνεται ως εξής:

- Αν r = -1 έως -0.5 τότε υπάρχει υψηλή αρνητική γραμμική συσχέτιση
- Αν r = -0.5 έως -0.2 τότε υπάρχει χαμηλή αρνητική γραμμική συσχέτιση
- Αν r = -0.2 έως 0.2 τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση
- Αν r = 0.2 έως 0.5 τότε υπάρχει χαμηλή θετική γραμμική συσχέτιση
- Αν r= 0.5 έως 1 τότε υπάρχει υψηλή θετική γραμμική συσχέτιση

Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίζεται ως p-value=0.05. Αν η p-value είναι μικρότερη από 0.05 τότε ο συντελεστής είναι στατιστικά σημαντικός και άρα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση (H₀) ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

3.3.3.2. Παλινδρομική Ανάλυση

Για την ανάλυση παλινδρόμησης εφαρμόζονται ερμηνευτικές μέθοδοι ανάλυσης χωρικών δεδομένων έτσι ώστε να μελετηθεί ποιοι παράγοντες και κατά πόσο επηρεάζουν ένα φαινόμενο. Μια τέτοια μέθοδος είναι η μοντελοποίηση κατά την οποία ορίζεται και βαθμονομείται ένα στατιστικό μοντέλο χρησιμοποιώντας ολικές και τοπικές μεθόδους παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα, οι ολικές μέθοδοι αφορούν στην πολλαπλή γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης (Ordinary Least Squares Regression-OLS) και οι τοπικές μέθοδοι στη γεωγραφικά σταθμισμένη ανάλυση παλινδρόμησης (Geographically Weighted Regression-GWR).

Για την εφαρμογή των παραπάνω χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGis «ArcMap 10.3» της εταιρίας ESRI και συγκεκριμένα τα ενσωματωμένα εργαλεία Ordinary Least Squares Regression (OLS) και Geographically Weighted Regression (GWR).

<u>Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση (OLS)</u>

Το μοντέλο Γενικής Γραμμικής Παλινδρόμησης περιγράφει τη σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής. Η μέθοδος αυτή εντοπίζει στατιστικά σημαντικές μεταβλητές που μπορούν να ταιριάξουν καλύτερα στον καθορισμό ενός σταθερού στατιστικά υποδείγματος υπολογισμού της εξαρτημένης μεταβλητής. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές θα πρέπει να πληρούν το κριτήριο της ανεξαρτησίας και επομένως δεν θα πρέπει να σχετίζονται μεταξύ τους.

Από την εφαρμογή του μοντέλου OLS προκύπτει:

1. πίνακας στον οποίο καταγράφονται: η πραγματική/παρατηρούμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, η πραγματική/παρατηρούμενη τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής, η εκτιμημένη τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής, τα κατάλοιπα του μοντέλου παλινδρόμησης (δηλαδή η διαφορά πραγματικής και εκτιμημένης τιμής της ανεξάρτητης μεταβλητής), η τυπική απόκλιση των υπολοίπων.

2. πίνακας με τα συνοπτικά αποτελέσματα OLS (τον εκτιμημένο συντελεστή παλινδρόμησης της ανεξάρτητης μεταβλητής και την τιμή p-value αυτής).

3. πίνακας με τα διαγνωστικά του μοντέλου, δηλαδή τα στατιστικά καλής προσαρμογής του μοντέλου και ορισμένους επιλεγμένους στατιστικούς δείκτες, (AIC, AICc, Multiple R-Squared

(R2), Adjusted R-Squared (AdjR2), Joint F-Statistic (F-Stat), F-Prob, Joint Wald Statistic, Wald-Prob, Koenker Statistic (K(BP)), K(BP)-Prob, Jarque-Bera Statistic (JB), JB-Prob, Sigma2)

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου OLS απαιτούνται να γίνουν κάποιοι έλεγχοι πριν τη δόμηση της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR):

1. Έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας εκτιμημένων παραμέτρων – συντελεστών παλινδρόμησης, με τον δείκτη p-valueόπου θα πρέπει p-value<0.05.

2. Λογικός έλεγχος προσήμων παραμέτρων – συντελεστών παλινδρόμησης, εξετάζοντας τα πρόσημα.

3. Έλεγχος κανονικής κατανομής υπολοίπων υποδείγματος , με το δείκτη Jarque-Bera όπου θα πρέπει Jarque-Bera's p-value>0.05.

4. Έλεγχος ικανοποιητικής ερμηνευτικής ισχύς υποδείγματος, με τους δείκτες Multiple R2 και Adjusted R2.

5. Έλεγχος ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης στα υπόλοιπα του υποδείγματος, με το δείκτη Global Moran's I.

6. Έλεγχος ύπαρξης χωρικής μη στασιμότητας στις σχέσεις ανεξάρτητης και εξαρτημένης μεταβλητής, με τον δείκτη Koenker (BP) Statistic, όπου Koenker (BP) Statistic's p-value<0.05.

<u>Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (GWR)</u>

Η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση αποτελεί μια επέκταση της γενικής παλινδρόμησης διότι εφαρμόζεται τοπικά στις επιμέρους περιοχές της περιοχής μελέτης, δίνοντας τη δυνατότητα αύξησης της επεξηγηματικής δύναμης του μοντέλου ενσωματώνοντας σημαντικές χωρικές σχέσεις. Αυτό είναι δυνατό, ορίζοντας και βαθμονομώντας ένα ξεχωριστό μοντέλο γύρω από κάθε παρατήρηση i με γεωγραφικές συντεταγμένες (x_i, y_i). Πάνω από κάθε σημείο τοποθετείται ένας χωρικός πυρήνας (spatial kernel) και τα δεδομένα γύρω από αυτό το σημείο σταθμίζονται ανάλογα με την καμπύλη αποστάσεως που εμφανίζεται από τον πυρήνα.

Στο μοντέλο GWR μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά συστήματα στάθμισης (πυρήνες) ανάλογα με τη συνάρτηση απόστασης που καθορίζει καθένα από αυτά. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες χωρικών πυρήνων (spatial kernel): ο σταθερός (fixed) και ο προσαρμοστικός (adaptive). Ένα σημαντικό στοιχείο ενός πυρήνα είναι το εύρος ζώνης (bandwidth) του που καθορίζει την ακτίνα γύρω από το σημείο i και ορίζει την γεωγραφική περιοχή γύρω από αυτό. Στην περίπτωση ενός σταθερού πυρήνα, η απόσταση είναι σταθερή σε όλη την περιοχή μελέτης, ενώ ενός προσαρμοστικού πυρήνα η απόσταση είναι μεταβλητή και πρέπει να καθοριστεί ο αριθμός των κοντινότερων γειτόνων.

Από την εφαρμογή του μοντέλου GWR προκύπτει:

1. πίνακας στον οποίο καταγράφονται: η πραγματική/προβλεπόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, ο τοπικός συντελεστής προσδιορισμού, η τοπικά εκτιμημένη παράμετρος της

παλινδρόμησης, η ανεξάρτητη μεταβλητή για κάθε ξεχωριστή χωρική ενότητα της περιοχής μελέτης, τα κατάλοιπα του μοντέλου, η τυπική απόκλιση των καταλοίπων κάθε τοπικού μοντέλου και η τιμή που αξιολογεί την τοπική πολυκεντρικότητα.

2. πίνακας με τα διαγνωστικά του μοντέλου (Residual Squares, Effective Number, Sigma, AICc, R2, R2Adjusted).

Οι διάφοροι στατιστικοί έλεγχοι που πραγματοποιούνται με σκοπό τη διερεύνηση του ορθού προσδιορισμού του μοντέλου GWR, είναι οι ακόλουθοι:

1. Έλεγχος τοπικής πολυκεντρικότητας, με τις τιμές της στήλης «Condition Numbers» που εμφανίζονται στο Attribute Table της GWR. Τα αποτελέσματα είναι ασταθή όταν υπάρχει ισχυρή πολυκεντρικότητα, επομένως τα αποτελέσματα που σχετίζονται με αριθμούς καταστάσεων <30 θεωρούνται αξιόπιστα.

2. Έλεγχος καλής προσαρμογής μοντέλου, με τους δείκτες R2 και R2Adjusted.

3. Έλεγχος ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης στα υπόλοιπα του υποδείγματος, με το δείκτη Global Moran's I.

Από την εφαρμογή προκύπτουν επιφάνειες rasterπου δημιουργούνται επεκτείνοντας τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, δομώντας ένα τοπικό μοντέλο όχι μόνο λαμβάνοντας υπόψη ως σημεία παλινδρόμησης i τα κεντροειδή των χωρικών ενοτήτων, αλλά το κάθε σημείο παλινδρόμησης i του χώρου.

Οι επιφάνειες αυτές απεικονίζουν: 1)τη χωρική κατανομή των κλίσεων β των τοπικών μοντέλων και 2) τη χωρική κατανομή των τεταγμένων α των τοπικών μοντέλων.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Κατανομή LST

4.1.1. Περιγραφικά Μέτρα

Ο υπολογισμός των περιγραφικών μέτρων της LST δίνουν μια καλή θεωρητική εικόνα της δειγματικής κατανομής της. Αναλυτικά τα αποτελέσματα καταγράφονται στον Πίνακας 6.

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
N	30840	29489	29951
Mean	303.835	300.871	304.088
Std. Error of Mean	0.014	0.014	0.013
Std. Deviation	2.374	2.457	2.235
Variance	5.637	6.039	4.997
Skewness	-1.139	-0.966	-1.493
Std. Error of Skewness	0.014	0.014	0.014
Kurtosis	0.845	0.771	2.672
Std. Error of Kurtosis	0.028	0.029	0.028
Range	16.9	20.8	17.9
Minimum	292.81	289.67	291.38
Maximum	309.72	310.48	309.26

Πίνακας 6. Περιγραφικά μέτρα επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι:

- Η μέση τιμή της LST παρουσιάζει διακυμάνσεις μεταξύ των ημερών, συγκεκριμένα LST₂<LST₁<LST₃, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα BoxPlot (Διάγραμμα 1). Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς την τρίτη μέρα που καταγράφονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες LST επικρατεί κύμα καύσωνα και συνεπώς πολύ υψηλές θερμοκρασίες αέρα, ακολουθεί η πρώτη μέρα (σχετικά θερμή μέρα) και οι χαμηλότερες θερμοκρασίες τη δεύτερη μέρα που είναι δροσερή με ισχυρούς ανέμους.
- Η τυπική απόκλιση (Std. Deviation) ακολουθεί το αντίστροφο πρότυπο από τη μέση τιμή (Mean) της LST, δηλαδή LST₂>LST₁>LST₃ που σημαίνει ότι τη δεύτερη μέρα έχουμε μεγαλύτερες διακυμάνσεις στις τιμές LST.
- Ο συντελεστής κυρτότητας παίρνει θετικές τιμές (θετική κύρτωση) που σημαίνει ότι η κατανομή έχει σχετικά μεγάλη συχνότητα (κορυφή) και επομένως μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο (λεπτόκυρτη).
- Ο συντελεστής ασυμμετρίας παίρνει αρνητικές τιμές (αρνητική ασυμμετρία) που σημαίνει ότι οι περισσότερες παρατηρήσεις βρίσκονται αριστερά της κορυφής. Η κατανομή πληθυσμού δεν είναι συμμετρική καθώς δεν ακολουθεί την κανονική καμπύλη (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 1. ΔιάγραμμαBoxPlot επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST).



Διάγραμμα 2. Διαγράμματα ιστογράμματος επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST).

Από τον υπολογισμό της μέσης τιμής LST για κάθε urban fabric και για τις τρεις μέρες, προκύπτει ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών για την ίδια μέρα. Επίσης, για την ίδια κατηγορία χρήσης γης, η LST διαφέρει μεταξύ των τριών ημερών με την υψηλότερη θερμοκρασία να εντοπίζεται σε περιοχές με υψηλή δόμηση που ξεπερνάει το 80% (Continuous Urban Fabric (S.L. > 80%)), ενώ η χαμηλότερη σε δασικές περιοχές (Forest) (Πίνακας 7).

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Continuous Urban Fabric (S.L. > 80%)	305.19	302.14	305.28
Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L.: 50% - 80%)	303.74	300.56	303.76
Discontinuous Medium Density Urban Fabric (S.L.: 30% - 50%)	301.68	298.50	302.13
Discontinuous Low Density Urban Fabric (S.L.: 10% - 30%)	300.24	296.78	300.95
Discontinuous very low density urban fabric (S.L. < 10%)	299.36	295.82	300.11
Isolated Structures	299.26	296.88	299.19
Industrial, commercial, public, military and private units	303.14	300.52	303.55
Mineral extraction and dump sites	300.82	297.42	301.83
Construction sites	302.04	299.24	302.58
Land without current use	301.52	298.91	302.40
Green urban areas	302.26	299.46	302.68
Sports and leisure facilities	303.09	300.38	303.08
Agricultural, semi-natural and wetland areas	299.73	297.58	300.23
Forest	298.45	295.62	299.60
Water	301.72	300.24	301.33

Πίνακας 7. Μέσες τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST) για κάθε Urban Fabric.

4.1.2. Έλεγχος Κανονικότητας

Εφαρμόζοντας το test Kolmogorov-Smirnov για την LST προκύπτει, όπως αποτυπώνεται και στον Πίνακας 8, ότι το «Asymp.Sig.(2-tailed)» που αντιστοιχεί στο παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας (p-value) για τον αμφίπλευρο έλεγχο είναι ίσο με 0.000^c, άρα μικρότερο από το επίπεδο σημαντικότητας α=0.05, οπότε η υπόθεση κανονικότητας απορρίπτεται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%. Επομένως, τα δεδομένα και για τις τρεις μέρες δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Πίνακας 8. Έλεγχος κανονικότητας επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST).

		18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Ν		30840	29489	29951
	Mean	303.84	300.87	304.09
Normal Parameters ^{a,b}	Std. Deviation	2.374	2.457	2.235
Most Extreme	Absolute	0.139	0.093	0.122
Differences	Positive	0.082	0.058	0.085
Differences	Negative	-0.139	-0.093	-0.122
Test Statistic		0.139	0.093	0.122
Asymp. Sig. (2-tailed)		0.000 ^c	0.000 ^c	0.000 ^c

Μια γρήγορη εκτίμηση της κανονικότητας των δειγμάτων γίνεται και από το γράφημα Normal Q-Q Plot όπου φαίνεται ότι δεν ακολουθείται η κανονική κατανομή καθώς τα σημεία δεν βρίσκονται πάνω στη διαγώνιο (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3. Διαγράμματα Q-Q Plot επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST).

4.1.3. Σύγκριση Μέσων Τιμών

- Από τη σύγκριση των μέσων τιμών της LST μεταξύ των τριών ημερών προκύπτει ότι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%.
- Από τη σύγκριση των μέσων τιμών της LST για κάθε κατηγορία χρήσης γης, που παρέχονται από τον urban atlas, σε σχέση με το urban fabric «Continuous Urban Fabric (S.L. > 80%)» ως ανεξάρτητα δείγματα, προκύπτει ότι οι μέσες τιμές της LST διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Όπως φαίνεται στους πίνακες στο Παράρτημα 1, ptcrit<pta2 = 0.025, που σημαίνει ότι οι μέσοι όροι των δύο πληθυσμών από τα οποία προήλθαν τα δείγματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% (Παράρτημα 1).

Από τη σύγκριση των μέσων τιμών της LST για κάθε κατηγορία χρήσης γης για τους συνδυασμούς ημερών 1^η -2^η, 1^η-3^η και 2^η-3^η μέρα ως ανεξάρτητα δείγματα, προκύπτει ότι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, καθώς p_{tcrit}<p_{ta.2} = 0.025,με ορισμένες εξαιρέσεις μεταξύ της πρώτης και τρίτης μέρας (Πίνακας 9).

Πίνακας 9. Η τιμή p(T<=t) δίπλευρη που προκύπτει από τη σύγκριση της LST για κάθε urban fabric για τους συνδυασμούς 1η-2η, 1η-3η και 2η-3η μέρα.

ITEM	p1,2	p1,3	p2,3
Continuous Urban Fabric (S.L: >80%)	0	2.2E-16	0
Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L: 50-80%)	0	0.556	0
Discontinuous medium density urban fabric (S.L : 30-50%)	0	7.4E-12	0
Discontinuous low density urban fabric (S.L : 10-30%)	2.10E-29	5.5E-16	7.1E-30
Discontinuous very low density urban fabric (S.L : <10%)	2.4E-79	0.00015	8.2E-65
Isolated Structures	3.3E-19	0.795	6.9E-14
Industrial, commercial, public, military and private units	2.3E-25	1.05E-08	0
Mineral extraction and dump sites	6.9E-11	0.043	2.9E-11
Construction areas	7.6E-07	0.279	1.6E-08
Land without current use	3.5E-27	3.9E-05	2.7E-49
Green urban areas	1.1E-11	7.6E-05	8.4E-15
Sports and leisure facilities	2.5E-26	0.977	6.8E-27
Agricultural, semi-natural and wetland areas	3.6E-93	1.9E-06	8.2E-10
Forest	2.5E-55	1.10E-08	2.1E-60
Water	2.8E-05	0.165	0.0007

4.1.4. Σύγκριση LST με τη θερμοκρασία αέρα

Από τη μέση ωριαία θερμοκρασία που υπολογίστηκε για κάθε μετεωρολογικό σταθμό (Παράρτημα 2), προκύπτει η μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα (Πίνακας 10).

Πίνακας 10. Μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα (σε Κ) για κάθε μετεωρολογικό σταθμό.

STATION NAME	T _{18/7/2009}	T 21/7/2009	T 24/7/2009		T _{18/7/2009}	T 21/7/2009	T _{24/7/2009}
Kountouriotou	304.09	302.75	305.41	Thiseio	304.66	302.79	306.37
Serifou	304.47	303.11	306.32	Academy	303.54	300.51	304.18
Seirinon1	303.96	301.70	304.83	Penteli1	301.07	297.33	301.65
Seirinon2	304.27	301.24	304.71	Elliniko	301.89	302.35	304.36
Anaximenous	303.91	301.89	305.03	Ilioupoli	303.74	301.00	305.02
Dorms	302.55	300.83	303.50	Psytaleia	301.64	301.69	304.42
Pipinou	304.77	303.90	306.31	Zografou	302.24	300.91	302.96
Thaleias	304.07	300.53	303.98	Pikermi	303.67	300.65	302.71
Pellis	304.26	300.52	303.79	Galatsi	303.38	300.85	303.85
Papayannis	302.53	299.60	303.44	Ano losia	303.32	300.97	304.73
Hellenikon	302.46	302.50	303.77	Penteli2	300.46	295.31	299.74
Nea Filadelfia	303.08	300.94	303.65	Menidi	303.27	300.44	303.59
Elefsina	303.23	302.02	305.15	Mandra	302.96	299.36	304.00

Για τους σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης: Kountouriotou, Seirinon1, Seirinon2, Anaximenous, Dorms, Pipinou, Papayannis, Nea Filadelfia, Elefsina, Thiseio, Academy, Zografou, Galatsi, έχει καταγραφεί και η αντίστοιχη τιμή επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST) (Πίνακας 11).

Station Name	Temp LST					
	T _{18/7/2009}	T _{21/7/2009}	T _{24/7/2009}	LST _{18/7/2009}	LST _{21/7/2009}	LST _{24/7/2009}
Kountouriotou	304.09	302.75	305.41	305.59	303.84	305.22
Seirinon1	303.96	301.70	304.83	304.33	300.35	304.57
Seirinon2	304.27	301.24	304.71	304.33	300.35	304.57
Anaximenous	303.91	301.89	305.03	305.04	302.66	304.68
Dorms	302.55	300.83	303.50	303.21	300.79	303.31
Pipinou	304.77	303.90	306.31	305.56	301.52	304.98
Papayannis	302.53	299.60	303.44	304.06	300.11	304.58
Nea Filadelfia	303.08	300.94	303.65	301.17	297.83	301.62
Elefsina	303.23	302.02	305.15	302.04	298.88	303.10
Thiseio	304.66	302.79	306.37	303.47	299.97	303.50
Academy	303.54	300.51	304.18	303.83	301.32	303.27
Zografou	302.24	300.91	302.96	300.72	299.47	302.18
Galatsi	303.38	300.85	303.85	302.65	300.67	302.38

Πίνακας 11. Καταγραφή για τη θέση του κάθε μετεωρολογικού σταθμού της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα και της αντίστοιχης LST σε Kelvin.

Εξετάζοντας τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνεται ότι η θερμοκρασία εδάφους συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη θερμοκρασία αέρα. Από τη σύγκριση των μέσων τιμών της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα με την αντίστοιχη επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους συνολικά για όλους τους σταθμούς ως ανεξάρτητα δείγματα για κάθε μία μέρα προκύπτει ότι δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, καθώς ptcrit>pta.2 = 0.025. Συγκεκριμένα, για την πρώτη μέρα ptcrit= 0.739, τη δεύτερη ptcrit= 0.243 και την τρίτη ptcrit= 0.183.

Ελέγχοντας τη γραμμική συσχέτιση των δύο μεταβλητών, εφαρμόζοντας τον συντελεστή Pearson,προκύπτει ότι η τιμή value είναι μικρότερη από το συνηθισμένο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας p<0.05, άρα ο συντελεστής είναι στατιστικά σημαντικός (p_{18/7/2009}=0.000, p_{21/7/2009}=0.001, p_{24/7/2009}=0.000)και άρα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση (H₀) ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεταβλητών. Επίσης, παρουσιάζουν υψηλή θετική γραμμική συσχέτιση καθώς ο συντελεστής r κυμαίνεται από 0.5 έως 1 (r_{18/7/2009}=0.846, r_{21/7/2009}=0.779, r_{24/7/2009}=0.807).

4.1.5. Χωρική Αυτοσυσχέτιση LST

Προκειμένου να διερευνηθεί η κατανομή που ακολουθείται από την LST, διεξάγεται ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης εφαρμόζοντας τον γενικό δείκτη Global Moran's I (Πίνακας 12). Από την εφαρμογή προκύπτει ότι ο δείκτης είναι στατιστικά σημαντικός (p<0.01) και επομένως, η LST δεν

παρουσιάζει τυχαία κατανομή. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα δεν είναι τυχαία κατανεμημένα, άρα υπάρχει πιθανότητα να είναι είτε διεσπαρμένα (dispersed), είτε συσσωρευμένα (clustered), δηλαδή να εμφανίζονται νησίδες με συγκεκριμένη συμπεριφορά. Καθώς, όμως σε όλες τις περιπτώσεις, ο δείκτης Moran είναι θετικός, σημαίνει ότι η μεταβλητή LST παρουσιάζει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση που ερμηνεύεται ως ομαδοποίηση (συσσώρευση) των δεδομένων, επομένως είναι απαραίτητη μια περαιτέρω τοπική ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης για τον εντοπισμό hotspots και coldspots, εφαρμόζοντας το στατιστικό Getis-OrdGi*.

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Moran's I Intex	0.486	0.557	0.408
Expected Intex	-0.000032	-0.000034	-0.000033
Variance	0	0	0
z-score	2366.68	1885.74	2017.29
p-value	0	0	0

Πίνακας 12. Αποτελέσματα εφαρμογής γενικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's Ι για την LST συνολικά για την περιοχή μελέτης.

Από την ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης με το στατιστικό Getis-OrdGi* είναι εμφανές όπως αποτυπώνεται και στους παρακάτω χάρτες (Εικόνα 24), ότι και για τις τρεις μέρες εμφανίζονται hotspots στο κέντρο και νοτιοδυτικά της Αθήνας, όπου το ποσοστό των αστικών ιστών είναι γνωστό ότι είναι υψηλό. Αντίθετα, τα κρύα σημεία στις βόρειες και ανατολικές περιοχές, οι οποίες είναι είτε ορεινές είτε βλάστησαν.

Παρατηρείται επίσης διακύμανση της έντασης του φαινομένου (Πίνακας 13), καθώς είναι αρκετά έντονο την πρώτη μέρα που είναι μια φυσιολογική καλοκαιρινή μέρα, εξασθενεί τη δεύτερη που είναι δροσερή μέρα με έντονους ανέμους και τείνει να αυξηθεί και πάλι την τρίτη μέρα που είναι η μέρα καύσωνα. Οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες φαίνεται να επηρεάζουν την ανάπτυξη και την έκταση των hotspots και coldspots και κυρίως από την ένταση του ανέμου καθώς, την πρώτη μέρα που δε φυσάει εμφανίζονται και τα περισσότερα θερμά σημεία παρόλο που δεν ήταν η ημέρα με τις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Πίνακας 13. Ακριβής καταγραφή του αριθμού των σημείων που παρουσιάζουν υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες συνολικά για την περιοχή μελέτης.

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Ν	30840	29489	29960
ColdSpot - 99% Confidence	2905	1505	2069
ColdSpot - 95% Confidence	1499	1670	766
ColdSpot - 90% Confidence	671	669	551
Sum ColdSpot	5075	3844	3386
HotSpot - 99% Confidence	5791	1218	3124
HotSpot - 95% Confidence	5122	4404	5314
HotSpot - 90% Confidence	2097	2471	2239
Sum HotSpot	13010	8093	10677



Εικόνα 24. Χάρτες Hot Spot Analysis για την LST συνολικά για την περιοχή μελέτης.

Για την περαιτέρω μελέτη της συσσώρευσης των δεδομένων LST, η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε τμήματα συγκεκριμένα: κέντρο, ανατολικά, δυτικά, βόρεια, νότια.

Αρχικά, εφαρμόζοντας τον γενικό δείκτη έλεγχο χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I, προκύπτει ότι δεν ακολουθείται τυχαία κατανομή (p<0.01) που σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορεί να είναι είτε διασκορπισμένα είτε συγκεντρωμένα, δηλαδή να σχηματίζουν νησίδες με συγκεκριμένη συμπεριφορά. Σε όλες τις περιπτώσεις ο δείκτης είναι θετικός που σημαίνει ότι οι LSTs ερμηνεύονται ως ομαδοποιημένες (Πίνακας 14).

		Kentro	East	West	North	South
	Moran's I Intex	0.239	0.649	0.410	0.114	0.311
	Expected Intex	-0.000156	-0.000847	-0.000433	-0.00057	-0.000284
18/7/2009	Variance	0.000005	0.000028	0.000012	0.000003	0.000008
	z-score	112.03	122.07	117.80	71.87	107.24
	p-value	0	0	0	0	0
	Moran's I Intex	0.402	0.411	0.544	0.196	0.295
	Expected Intex	-0.000156	-0.000927	-0.000446	-0.000878	-0.000306
21/7/2009	Variance	0.000005	0.00003	0.000013	0.000006	0.000009
	z-score	188.24	75.65	148.80	80.07	96.60
	p-value	0	0	0	0	0
	Moran's I Intex	0.241	0.593	0.451	0.224	0.304
	Expected Intex	-0.000156	-0.000845	-0.000425	-0.000944	-0.000291
24/7/2009	Variance	0.000005	0.000028	0.000012	0.000004	0.000009
	z-score	113.03	111.87	130.30	115.44	101.29
	p-value	0	0	0	0	0

Πίνακας 14. Αποτελέσματα εφαρμογής γενικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισηςMoran's Ι για LST τμηματικά για την περιοχή μελέτης.

Από την τοπική ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης προκύπτει ότι δεν υπάρχει συσσώρευση των δεδομένων LST, αλλά εμφανίζονται κάποιες νησίδες coldspots την πρώτη και τρίτη ενώ τη δεύτερη μέρα μειώνονται ή ακόμα και εξαφανίζονται, κυρίως για το κέντρο και τα νότια της περιοχής μελέτης, καθώς η περιοχή που εξετάζεται είναι πιο ομοιογενής. Συγκεκριμένα:

Στο κέντρο, η LST είναι 305.40K, 302.26K και 305.09K για την κάθε μέρα αντίστοιχα. Τα coldspots εμφανίζονται κυρίως σε πράσινες αστικές περιοχές, σε αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις και σε δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες, αλλά και σε διάσπαρτα σημεία συνεχούς και ασυνεχούς μέσης, χαμηλής και πολύ χαμηλής πυκνότητας αστικού ιστού. Παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στον αριθμό των coldspots μεταξύ των ημερών ($N_{18/7/2009}$ =111, $N_{21/7/2009}$ =31, $N_{24/7/2009}$ =102). Φαίνεται ότι την πρώτη και τρίτη μέρα που καταγράφονται πολύ υψηλές LST, εμφανίζονται περισσότερα coldspots σε σχέση με τη δεύτερη μέρα (μέρα σχετικά πιο δροσερή με ισχυρούς ανέμους) λόγω της μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς. Συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία LST των coldspots είναι LST_{18/7/2009}=301.49K, LST_{21/7/2009}=13), κυρίως σε συνεχή αστικό ιστό (>80%), σε ασυνεχή αστικό ιστό (50 – 80%), σε ασυνεχή μέσης

πυκνότητας αστικό ιστό (30-50%) και σε βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες (Εικόνα 25).



Εικόνα 25. Χάρτες Hot Spot Analysis για την LST για το κέντρο της περιοχής μελέτης.

Στα ανατολικά, η μέση θερμοκρασία εδάφους είναι 300.50K, 299.20K και 299.17K για την κάθε μέρα αντίστοιχα. Τα coldspots εμφανίζονται κυρίως σε βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες, σε γεωργικές και ημι-φυσικές περιοχές, σε απομονωμένες δομές και σε δασικές περιοχές, ενώ hotspots σε συνεχή αστικό ιστό (>80%), σε ασυνεχή αστικό ιστό (50 – 80%) και σε βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες. Παρόλα αυτά δεν παρατηρείται έντονη συσσώρευση LST καθώς ο αριθμός των coldspots είναι N_{18/7/2009}=2, N_{24/7/2009}=1 και των hotspots N_{18/7/2009}=13, N_{21/7/2009}=1, N_{24/7/2009}=4 (Εικόνα 26).



Εικόνα 26. Χάρτες Hot Spot Analysis για την LST για τα ανατολικά της περιοχής μελέτης.

Στα δυτικά, η μέση θερμοκρασία εδάφους είναι 302.41K, 299.34K και 303.44K για την πρώτη, δεύτερη και τρίτη μέρα αντίστοιχα. Την πρώτη μέρα δεν παρατηρείται καθόλου συσσώρευση LST, ενώ στις άλλες δύο ο αριθμός των cold και hotspots είναι ελάχιστος. Συγκεκριμένα, ο αριθμός των coldspots είναι $N_{21/7/2009}=3$, $N_{24/7/2009}=1$ και εμφανίζονται σε γεωργικές και ημι-φυσικές περιοχές και ο αριθμός των hotspots είναι $N_{21/7/2009}=1$, $N_{24/7/2009}=3$ και εμφανίζονται σε συνεχή αστικό ιστό (>80%) (Εικόνα 27).



Εικόνα 27. Χάρτες Hot Spot Analysis για την LST για τα δυτικά της περιοχής μελέτης.

Στα βόρεια, η μέση θερμοκρασία εδάφους είναι 298.86K, 294.66K και 298.10K για την κάθε μέρα, αντίστοιχα. Την πρώτη και την τρίτη μέρα δεν παρατηρείται καθόλου συσσώρευση LST, ενώ τη δεύτερη εμφανίζονται 7 σημεία coldspots σε γεωργικές και ημι-φυσικές περιοχές και σε ασυνεχή πολύ χαμηλής πυκνότητας αστικό ιστό (<10%) και 2 hotspots σε ασυνεχή μέσης και χαμηλής πυκνότητας αστικό ιστό (<10%) και 2 hotspots σε ασυνεχή μέσης και χαμηλής



Εικόνα 28. Χάρτες Hot Spot Analysis για την LST για τα βόρεια της περιοχής μελέτης.

Στα νότια, η μέση θερμοκρασία εδάφους είναι 305.04Κ, 302.78Κ και 305.50Κ για την κάθε μέρα αντίστοιχα. Τα coldspots εμφανίζονται σε δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες, σε πράσινες αστικές περιοχές, σε αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις, σε γεωργικές και ημιφυσικές περιοχές, κοντά σε περιοχές με νερό, αλλά και σε διάσπαρτα σημεία συνεχούς και ασυνεχούς μέσης, χαμηλής και πολύ χαμηλής πυκνότητας αστικού ιστού. Παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στον αριθμό των κρύων σημείων μεταξύ των ημερών (N_{18/7/2009}=46, N=_{21/7/2009}=29, N_{24/7/2009}=72). Όπως και στο κέντρο της περιοχής μελέτης, την πρώτη και τρίτη μέρα εμφανίζονται περισσότερα coldspots σε σχέση με τη δεύτερη μέρα λόγω της μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς. Συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία LST των coldspots είναι 301.24Κ, 298.31K και 301.56K για την πρώτη, δεύτερη και τρίτη μέρα, αντίστοιχα. Εμφανίζονται ελάχιστα hotspots (N_{18/7/2009}=4, N=_{21/7/2009}=3, N_{24/7/2009}=6) σε συνεχή αστικό ιστό (>80%), σε ασυνεχή μέσης πυκνότητας αστικό ιστό (30-50%) και σε βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες (Εικόνα 29).



Hotspot_south_21/7/2009 Gi Bin







Εικόνα 29. Χάρτες Hot Spot Analysis για την LST για τα νότια της περιοχής μελέτης.

4.2. Εξάρτηση LST από τον αστικό ιστό

4.2.1.Γραμμική σχέση LST - ESM

Μια πρώτη ένδειξη για την ύπαρξη ή μη κάποιου είδους σχέσης μεταξύ LST και ESM, παρέχεται από το Γράφημα Διασποράς (Scatter Plot) (

Διάγραμμα 4).

Για τον προσδιορισμό της γραμμικής σχέσης των δύο μεταβλητών εφαρμόζεται ο δειγματικός συντελεστής του Pearson από τον οποίο προκύπτει ότι η τιμή p-value είναι μικρότερη από το συνηθισμένο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας p<0.05, άρα ο συντελεστής είναι στατιστικά σημαντικός και επομένως απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση (H₀) ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεταβλητών.

Επίσης, υπάρχει σχετικά υψηλή θετική γραμμική συσχέτιση, καθώς ο συντελεστής r σε όλες τις περιπτώσεις υπερβαίνει το 0.5. Συγκεκριμένα, η τιμή του συντελεστή Pearson είναι $r_{18/7/2009}$ =0.584, $r_{21/7/2009}$ =0.519 και $r_{24/7/2009}$ =0.548 (Πίνακας 15). Η ESM ερμηνεύει το 34%, 27% και 30%, αντίστοιχα για κάθε μέρα, της συμπεριφοράς της LST.

		18/7/2009		21/7/2009		24/7/2009	
		LST	ESM	LST	ESM	LST	ESM
LST	Pearson Correlation	1	0.584	1	0.519	1	0.548
	p-value		0.000		0.000		0.000
ESM	Pearson Correlation	0.584	1	0.519	1	0.548	1
	p-value	0.000		0.000		0.000	

Πίνακας 15. Γραμμική συσχέτιση της LST-ESM με τον συντελεστή Pearson.



Διάγραμμα 4. Γραφήματα Διασποράς που απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ LST – ESM.

4.2.2. Παλινδρομική Ανάλυση

4.2.2.1. Μοντέλο Γενικής Γραμμικής Παλινδρόμησης (OLS)

Για την εξέταση της επίδρασης του ποσοστού αστικής δόμησης (μέσω των τιμών ESM) στην LST, κατασκευάζεται ένα μοντέλο OLS. Στην προκειμένη περίπτωση ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίζεται η LST και ως ανεξάρτητη η ESM.

Από την εφαρμογή του μοντέλου προκύπτει πίνακας (Εικόνα 30) στον οποίο καταγράφονται:

1. «Avg_GRID_C»: η πραγματική/παρατηρούμενη τιμή της LST

2. «Avg_GRID_1»: η πραγματική/παρατηρούμενη τιμή της ESM

3. «Estimated»: η εκτιμημένη τιμή της ESM

4. «Residual»: τα κατάλοιπα του μοντέλου παλινδρόμησης (δηλαδή η διαφορά πραγματικής και εκτιμημένης τιμής της ESM)

5. «StdResid»: η τυπική απόκλιση των καταλοίπων

Ta	Table									
🔚 + 🖶 + 🖳 🍢 🖾 🐗 🗙										
OL	OLS_1									
Γ	FID	Shape *	FID_1	Avg_GRID_C	Avg_GRID_1	Estimated	Residual	StdResid		
Þ	0	Polygon	0	305.550432	47.617647	303.605972	1.94446	1.009244		
	1	Polygon	1	305.971903	55.923077	304.312413	1.65949	0.861335		
	2	Polygon	2	304.665563	33.625	302.41579	2.249773	1.167713		
	3	Polygon	3	304.95452	46.53125	303.513566	1.440954	0.747907		
	4	Polygon	4	304.443057	46.666667	303.525084	0.917973	0.476461		
	5	Polygon	5	304.821039	56.013514	304.320105	0.500934	0.260002		
	6	Polygon	6	304.910546	55.702128	304.293619	0.616927	0.320207		
	7	Polygon	7	305.365171	59.967213	304.656397	0.708774	0.367879		
	8	Polygon	8	305.391947	65	305.084475	0.307473	0.159589		
	9	Polygon	9	304.910975	57.47619	304.444517	0.466458	0.242109		

Εικόνα 30. Ο πίνακας που δημιουργείται κατά τη δόμηση του μοντέλου OLS με μοναδική εισαγόμενη ανεξάρτητη μεταβλητή την ESM.

Ο εκτιμημένος συντελεστής παλινδρόμησης της ερμηνευτικής μεταβλητής ESM που ενσωματώθηκε στο μοντέλο, η τιμή p αυτής, τα στατιστικά καλής προσαρμογής του μοντέλου και ορισμένοι επιλεγμένοι στατιστικοί δείκτες αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 16, Πίνακας 17).

Πίνακας 16. Συνοπτικά αποτελέσματα OLS - Μεταβλητές μοντέλου συνολικά για την περιοχή μελέτης.

	Variable	Coefficient	Std.Error	t-statistic	Probability
19/7/2000	Intercept	299.56	0.04	8419.54	0.000000*
18/7/2009	ESM	0.0851	0.0007	126.45	0.000000*
21/7/2009	Intercept	296.95	0.04	7506.16	0.000000*
	ESM	0.0767	0.0007	104.28	0.000000*
24/7/2009	Intercept	300.32	0.03	8589.54	0.000000*
	ESM	0.0739	0.0007	113.34	0.000000*

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Number of Observations	3080	29489	29960
AIC	127972.80	127461.16	122531.62
AICc	127972.80	127461.16	122531.62
Multiple R-Squared (R2)	0.341	0.269	0.300
Adjusted R-Squared (AdjR2)	0.341	0.269	0.300
Joint F-Statistic (F-Stat)	15990.11	10874.96	12845.99
F-Prob	0	0	0
Joint Wald Statistic	9591.41	6821.25	6764.75
Wald-Prob	0	0	0
Koenker Statistic (K(BP)	2592.22	2660.57	2904.52
K(BP)-Prob	0	0	0
Jarque-Bera Statistic (JB)	4910.10	2401.74	14653.22
JB-Prob	0	0	0
Sigma2	3.712	4.412	3.497

Πίνακας 17. Διαγνωστικά μοντέλου OLS συνολικά για την περιοχή μελέτης.

Τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων που πραγματοποιούνται με σκοπό τη διερεύνηση του ορθού προσδιορισμού του μοντέλου OLS, είναι τα ακόλουθα:

Λογικός έλεγχος προσήμων: Ο συντελεστής παλινδρόμησης της ESM, εμφανίζει αναμενόμενο πρόσημο, δηλαδή θετική συσχέτιση.

Έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας: Από την εφαρμογή του γενικού μοντέλουOLS προκύπτει γραμμικό μοντέλο LST–ESM στο οποίο η γραμμική σχέση μεταξύ τους είναι στατιστικά σημαντική, σε επίπεδο σημαντικότητας 95% (τιμή p < 0.05).

Έλεγχος κανονικής κατανομής υπολοίπων μοντέλου: Από τη δοκιμή Jerque-Bera Statistic φαίνεται ότι και για τις τρεις μέρες, η δοκιμή είναι στατιστικά σημαντική (p<0.01), επομένως δεν κατανέμονται κανονικά για επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Αυτό αποτυπώνεται και στο ιστόγραμμα υπολοίπων (residuals) που φαίνεται να διαφέρει από την κανονική καμπύλη (Διάγραμμα 5).





Διάγραμμα 5. Ιστόγραμμα υπολοίπων (residuals) για τις 18/7/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009. Η μπλε γραμμή απεικονίζει την κανονική καμπύλη.

Στατιστικά καλής προσαρμογής μοντέλου: Βάσει του συντελεστή προσδιορισμού R2 τα εν λόγω γραμμικά μοντέλα εξηγούν το 1/3 της μεταβλητότητας της LST συγκεκριμένα, το 34%, 26% και 30% για τις 18/7/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009, αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά υπαγορεύουν την πιθανή παράλειψη και άλλων ερμηνευτικών μεταβλητών που εάν ενσωματωθούν στο μοντέλο θα αυξήσουν την ερμηνευτική του δύναμη.

Συνεπής σχέση μεταξύ LST-ESM: Από τη δοκιμή Koenker (BP) Statistic φαίνεται ότι το μοντέλο παρουσιάζει στατιστικά σημαντική ετεροσκεδαστικότητα ή μη σταθερότητα, δηλαδή οι σχέσεις που σχεδιάστηκαν δεν είναι συνεπείς, καθώς p<0.01. Επίσης, εξετάζοντας το διάγραμμα διασποράς (Διάγραμμα 6) των υπολειμματικών σε σχέση με των προβλεπόμενων τιμών της ESM, παρατηρείται ότι δεν έχουν μικρή και τυχαία δομή και επομένως το μοντέλο δεν είναι σωστά καθορισμένο.





Διάγραμμα 6. Διαγράμματα διασποράς υπολοίπων σε σχέση με τις προβλεπόμενες τιμές εξαρτημένων μεταβλητών.

Έλεγχος ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης στα υπόλοιπα του μοντέλου: Εφαρμόζοντας το γενικό δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I στα υπόλοιπα του μοντέλου προκύπτει ότι η τιμή Moran είναι θετική επομένως παρουσιάζουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση, δηλαδή η χωρική κατανομή τους παρουσιάζει ομαδοποίηση (συσσώρευση) (Πίνακας 18).

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Moran's I Intex	0.317	0.409	0.2539
Expected Intex	-0.000032	-0.000034	-0.000033
Variance	0	0	0
z-score	1544.81	1382.91	1253.56
p-value	0	0	0

Πίνακας 18. Αποτελέσματα γενικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Global Moran's Ι στα κατάλοιπα του μοντέλου OLS.

Χαρτογραφώντας τα υπόλοιπα του μοντέλου και πιο συγκεκριμένα την τυπική απόκλισή τους «StdResid» (Εικόνα 31), φαίνεται η συγκέντρωση θετικών υπολοίπων (περιοχές με κόκκινο χρώμα) στο κέντρο και αρνητικών (περιοχές με μπλε χρώμα) στα βόρεια και ανατολικά της περιοχής μελέτης. Θα μπορούσε να προσομοιάσει κανείς τους χάρτες αυτούς με εκείνους που προέκυψαν κατά τον έλεγχος για τον εντοπισμό των hotspots και coldspots.



Εικόνα 31. Χάρτες υπολοίπων μοντέλου OLS.

Από την εφαρμογή του μοντέλου OLS για κάθε τμήμα ξεχωριστά της περιοχής μελέτης προκύπτει ότι το ποσοστό αστικής κάλυψης επηρεάζει σε πολύ μικρό βαθμό την LST. Υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των ημερών για το καθένα, συγκεκριμένα τα μικρότερα ποσοστά επιρροής παρατηρούνται τη δεύτερη μέρα, εκτός από τα δυτικά της περιοχής μελέτης (Πίνακας 19).

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
kentro	26.3%	0.2%	2.6%
east	18.9%	9%	15.4%
west	12.4%	20.3%	10.3%
North	6.4%	-0.000525%	1.9%
south	0.7%	-0.000208%	8%

Πίνακας 19. Ποσοστά επιρροής του ποσοστού αστικής κάλυψης στην LST για κάθε τμήμα ξεχωριστά της περιοχής μελέτης από την εφαρμογή του μοντέλου OLS.

4.2.2.2. Μοντέλο Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης (GWR)

Η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση, αποτελώντας μια επέκταση της γενικής παλινδρόμησης, εφαρμόζεται τοπικά στις επιμέρους περιοχές της περιοχής μελέτης περιγράφοντας τη σχέση εξαρτημένης (LST) και ανεξάρτητης (ESM) μεταβλητής.

Από την εφαρμογή του μοντέλου προκύπτει πίνακας (Εικόνα 32) στον οποίο καταγράφονται τα ακόλουθα:

1. «Observed»: οι πραγματικές τιμές της ESM

2. «Cond»: οι τιμές που σχετίζονται με την τοπική πολυκεντρικότητα

3.«LocalR2»: οι τοπικοί συντελεστές προσδιορισμού

4.«Predicted»: οι προβλεπόμενες τιμές της ESM

5.«Intercept»: οι τοπικά εκτιμημένοι παράμετροι της παλινδρόμησης, δηλαδή ο συντελεστής παλινδρόμησης σταθερού όρου για κάθε ξεχωριστή χωρική ενότητα της περιοχής μελέτης

6. «C1_Avg_GRI»: οι τοπικά εκτιμημένοι παράμετροι της παλινδρόμησης, δηλαδή η ανεξάρτητη μεταβλητή ESM σταθερού όρου για κάθε ξεχωριστή χωρική ενότητα της περιοχής μελέτης

7.«Residual»: τα υπόλοιπα του μοντέλου

8.«StdResid»: η τυπική απόκλιση των υπολοίπων

Εικόνα 32. Πίνακας που δημιουργείται κατά τη δόμηση του γεωγραφικά σταθμισμένου μοντέλου παλινδρόμησης (GWR).

Ta	Table												
0	🗉 + 昏 + 旨 🚱 🖾 🐠 🗙												
G۷	VR_1												
	FID	Shape *	Observed	Cond	LocalR2	Predicted	Intercept	C1_Avg_GRI	Residual	StdError	StdErr_Int	StdErrC1_A	StdResid
Þ	0	Polygon	305.550432	12.586854	0.001295	305.421554	305.537876	-0.002443	0.128877	0.689114	1.365453	0.023736	0.187019
	1	Polygon	305.971903	16.969894	0.080319	305.368012	307.41512	-0.036606	0.60389	0.72078	1.660198	0.027203	0.837829
	2	Polygon	304.665563	6.509018	0.255676	304.185516	303.303483	0.026231	0.480048	0.75536	0.629772	0.01316	0.635523
	3	Polygon	304.95452	6.950824	0.191029	304.587948	303.591059	0.021424	0.366572	0.786582	0.680145	0.01417	0.466031
	4	Polygon	304.443057	9.485717	0.049065	304.751597	304.308253	0.0095	-0.30854	0.768169	0.944617	0.019379	-0.401657
	5	Polygon	304.821039	10.707546	0.194915	304.972655	303.066846	0.034024	-0.151617	0.727202	1.09537	0.022051	-0.208493
	6	Polygon	304.910546	9.566503	0.560398	304.973329	301.059676	0.07026	-0.062783	0.744489	0.860796	0.017511	-0.08433
	7	Polygon	305.365171	13.28068	0.139067	305.085995	304.261757	0.013745	0.279176	0.717481	1.38399	0.026272	0.389105
	8	Polygon	305.391947	16.480325	0.002458	305.00574	305.208728	-0.003123	0.386208	0.60667	1.72811	0.031876	0.636602
	9	Polygon	304.910975	15.525877	0.000095	304.972579	304.944228	0.000493	-0.061603	0.739647	1.780841	0.032397	-0.083288

Από την εφαρμογή του μοντέλου με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς kernel type και Bandwidth method με σκοπό τη βέλτιστη απόδοσή του, παρατηρείται από το μέσο όρο της τιμής LocalR2, ότι επιτυγχάνεται για αριθμό γειτόνων 25 (Πίνακας 20).

		18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009	
Kernel Type	Bandwidth Method	Mean LocalR2			
Fixed	AICc	0.098	0.050	0.070	
Fixed	CV	0.098	0.050	0.070	
Fixed	Bandwidth Distance: 2000	0.095	0.049	0.066	
Fixed	Bandwidth Distance: 1500	0.092	0.047	0.064	
Fixed	Bandwidth Distance: 1000	-5.829096e+303	0.043	-6.000311e+303	
Fixed	Bandwidth Distance: 500	-1.#INF00e+000	-1.#INF00e+000	-1.#INF00e+000	
Fixed	Bandwidth Distance: 100	-1.#INF00e+000	-1.#INF00e+000	-1.#INF00e+000	
Adaptive	AICc	0.080	0.053	0.062	
Adaptive	CV	0.080	0.051	0.062	
Adaptive	Bandwidth Neighbors: 30	0.122	0.107	0.116	
Adaptive	Bandwidth Neighbors: 25	0.133	0.119	0.128	
Adaptive	Bandwidth Neighbors: 20	-5.829096e+303	-6.10E+303	-6.10E+303	
Adaptive	Bandwidth Neighbors: 15	-1.#INF00e+000	-1.#INF00e+000	-1.#INF00e+000	

Πίνακας 20. Πιθανοί συνδυασμοί Kernel Type – Bandwidth Method για την καλύτερη απόδοση του μοντέλου GWR.

Από την εφαρμογή του μοντέλου GWR θέτοντας εξαρτημένη μεταβλητή την LST και ανεξάρτητη την ESM, kernel type:Adaptive και Bandwidth Neighbors:25, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Πίνακας 21).

Πίνακας 21. Διαγνωστικά GWR.

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Neighbors	25	25	25
Residual Squares	15874.83	15951.58	14680.68
Effective Number	7079.05	6895.86	7017.75
Sigma	0.84	0.85	0.80
AICc	78671.31	77829.48	76164.78
R2	0.900	0.910	0.901
R2Adjusted	0.869	0.882	0.871
Τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων που πραγματοποιούνται με σκοπό τη διερεύνηση του ορθού προσδιορισμού του μοντέλου GWR, είναι τα ακόλουθα:

Έλεγχος τοπικής πολυσυγγραμμικότητας: Οι τιμές της στήλης «Cond» που εμφανίζονται στο Attribute Table της GWR και όσον αφορά τον εν λόγω μοντέλο, κυμαίνονται μεταξύ 1.038899-62.230614, 1.01808-53.125694 και 1.038299-53.884957 για τις 18/7/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 αντίστοιχα, γεγονός που υπαγορεύει ότι υπάρχουν σημεία που εμφανίζουν τιμές >30 και μπορεί να θεωρηθούν αναξιόπιστα.

Στατιστικά καλής προσαρμογής μοντέλου: Βάσει του συντελεστή προσδιορισμού R2 τα εν λόγω τοπικά γραμμικά μοντέλα εξηγούν περίπου το 90% συγκεκριμένα, το 86.9%, 88% και 87% για τις 18/7/2009, 21/7/2009 και 24/7/2009 αντίστοιχα, της μεταβλητότητας της LST.

Η τιμή συντελεστή προσδιορισμού R2 του μοντέλου GWR είναι πολύ πιο μεγάλη από τη αντίστοιχη του OLS,καθώς η προσαρμογή είναι πιο έντονη και γι' αυτό το λόγο προτιμάται ως μέτρο σύγκρισης των μοντέλων ο δείκτης AICc. Το μοντέλο GWRπαρουσιάζει χαμηλότερες τιμές που σημαίνει ότι παρέχει και καλύτερη προσαρμογή στα παρατηρούμενα δεδομένα.

Έλεγχος ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης στα υπόλοιπα (residuals) του μοντέλου: Εφαρμόζοντας το γενικό δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισηςMoran's Ι στα υπόλοιπα του μοντέλου προκύπτει ότι η τιμή του δείκτη Moran είναι αρνητική επομένως, παρουσιάζουν αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση, δηλαδή η χωρική κατανομή τους παρουσιάζει διασπορά (Πίνακας 22).

Πίνακας 22. Αποτελέσματα γενικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Global Moran's Ι στα υπόλοιπα του μοντέλου GWR.

	18/7/2009	21/7/2009	24/7/2009
Moran's I Intex	-0.0029	-0.0050	-0.0028
Expected Intex	-0.000032	-0.000034	-0.000033
Variance	0	0	0
z-score	-13.92	-17.05	-13.63
p-value	0	0	0

Χαρτογραφώντας τα υπόλοιπα του μοντέλου και πιο συγκεκριμένα την τυπική απόκλισή τους «StdResid» (Εικόνα 33), έχουμε μια πιο ομοιόμορφη κατανομή των υπολοίπων σε σχέση με το μοντέλο OLS, καθώς η κατανομή τους είναι διάσπαρτη.

Από τη εφαρμογή του μοντέλου GWR προκύπτουν δύο χάρτες, ο πρώτος απεικονίζει τη χωρική κατανομή των τεταγμένων α των τοπικών μοντέλων (Εικόνα 34) και ο δεύτερος τη χωρική κατανομή των κλίσεων β των τοπικών μοντέλων (Εικόνα 35). Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση τοπικής ανάλυσης θα μπορούσε θα μπορούσε κάποιος να ανατρέξει στους χάρτες αυτούς και να βρει τοπικά στην περιοχή που θέλει ποια είναι η σχέση LST–ESM.





Εικόνα 33. Χάρτες υπολοίπων μοντέλου GWR.



Εικόνα 34. Χάρτες χωρικής κατανομής τεταγμένων α των τοπικών μοντέλων.



Εικόνα 35. Χάρτες χωρικής κατανομής κλίσεων β των τοπικών μοντέλων.

Εξετάζοντας την τιμή απόδοσης του μοντέλου GWR σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής μελέτης φαίνεται ότι την πρώτη και τρίτη μέρα έχει καλύτερες αποδόσεις σε σχέση με τη δεύτερη που αυτό μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη αερισμού.

Station Name	GWR _{18/7/2009}	GWR _{21/7/2009}	GWR _{24/7/2009}
Kountouriotou	0.13506	0.17622	0.21074
Seirinon1	0.39629	0.05086	0.03397
Seirinon2	0.39629	0.05086	0.03397
Anaximenous	0.05781	0.00974	0.06257
Dorms	0.63276	0.38440	0.49234
Pipinou	0.10534	0.42026	0.14194
Papayannis	0.17193	0.00002	0.05419
Nea Filadelfia	0.32830	0.57271	0.41116
Elefsina	0.01213	0.14363	0.02147
Thiseio	0.18562	0.00127	0.02000
Academy	0.30484	0.18958	0.38231
Zografou	0.19471	0.01582	0.08806
Galatsi	0.06705	0.02839	0.10509

Πίνακας 23. Απόδοση μοντέλου GWR σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής μελέτης.

4.3. Σύγκριση LST_{MODIS} - LST_{Therm}

4.3.1. Στατιστική Ανάλυση LST modis - LST Therm

Για τη σύγκριση της LST των δεδομένων Thermopolis με την αντίστοιχη των δεδομένων MODIS στην περιοχή μελέτης, προσαρμόζονται τα LST_{Therm} στη χωρική κατανομή (850m) των LST_{MODIS}, δημιουργώντας μια χωρική σχέση μεταξύ τους.

Βάσει του εύρους τιμών (Πίνακας 24), η LST χωρίζεται σε 9 βαθμίδες: <292K, 292-294K, 294-296K, 296-298K, 298-300K, 300-302K, 302-304K, 304-306K, >306K και προκύπτουν οι παρακάτω χάρτες (Εικόνα 36).

Από τους χάρτες αυτούς είναι ορατό ότι στην περιοχή μελέτης η LST_{Therm} παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την LST_{MODIS}. Φαίνεται ότι την πρώτη μέρα καταγράφονται υψηλές θερμοκρασίες, μειώνονται τη δεύτερη και αυξάνονται την τρίτη μέρα.

	18/7/2009		21/7	/2009	24/7/2009		
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Thermopolis	293.85	306.30	291.82	303.85	294.79	306.69	
MODIS	294.22	302.78	293.22	300.2	294.56	301.34	

Πίνακας 24. Εύρος επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους LST_{Therm} και LST_{MODIS}.



Εικόνα 36. Χάρτες επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους LST_{Therm} και LST_{MODIS}.

Υπολογίζοντας τα περιγραφικά μέτρα της LST_{MODIS} και LST_{Therm} (Πίνακας 25) προκύπτει ότι:

- Η μέση τιμή των δεδομένων παρουσιάζει αποκλίσεις και συγκεκριμένα, LST_{Therm}>LST_{MODIS}. Επίσης, διακυμάνσεις παρατηρούνται και μεταξύ των ημερών με τη χαμηλότερη μέση τιμή να καταγράφεται τη δεύτερη μέρα και την υψηλότερη την τρίτη (Διάγραμμα 7).
- Ο συντελεστής κυρτότητας παίρνει αρνητικές τιμές (αρνητική κύρτωση) που σημαίνει ότι η κατανομή έχει σχετικά μικρή συχνότητα (πλατύκυρτη).

Ο συντελεστής ασυμμετρίας παίρνει αρνητικές τιμές (αρνητική ασυμμετρία), δηλαδή οι περισσότερες παρατηρήσεις βρίσκονται αριστερά της κορυφής. Η κατανομή πληθυσμού δεν είναι συμμετρική καθώς δεν ακολουθεί την κανονική καμπύλη (Διάγραμμα 8).

	18/7	/2009	21/7	/2009	24/7/2009	
	LST _{Therm}		LST _{Therm}		LST _{Therm}	
Mean	301.79	299.43	299.08	297.23	302.40	298.67
Std. Error of Mean	0.13	0.10	0.15	0.09	0.15	0.10
Variance	7.77	4.63	8.70	3.20	7.67	3.27
Std. Deviation	2.79	2.15	2.95	1.79	2.77	1.81
Minimum	293.85	294.22	291.82	293.22	294.79	294.56
Maximum	306.30	302.78	303.85	300.20	306.69	301.34
Range	12.45	8.56	12.03	6.98	11.90	6.78
Skewness	-0.22	-0.28	-0.36	-0.27	-0.75	-0.44
Std. Error of Skewness	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13
Kurtosis	-0.95	-1.08	-0.77	-0.87	-0.29	-0.83
Std. Error of Kurtosis	0.23	0.23	0.24	0.24	0.26	0.26

Πίνακας 25. Περιγραφικά μέτρα επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους LST_{Therm} και LST_{MODIS}.



Διάγραμμα 7. Διάγραμμα BoxPlot επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους LST_{Therm} και LST_{MODIS}.





Διάγραμμα 8. Διαγράμματα ιστογράμματος επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους LST_{Therm} και LST_{MODIS}.

Εφαρμόζοντας το test Kolmogorov-Smirnov προκύπτει ότι το «Asymp.Sig.(2-tailed)» που αντιστοιχεί στο παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας (p-value) για τον αμφίπλευρο έλεγχο είναι ίσο με 0.000^c, άρα μικρότερο από το επίπεδο σημαντικότητας α=0.05, οπότε η υπόθεση κανονικότητας απορρίπτεται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% (Πίνακας 26). Επίσης, από τα γραφήματα Normal Q-Q Plot φαίνεται ότι δεν ακολουθείται η κανονική κατανομή καθώς τα σημεία δεν βρίσκονται πάνω στη διαγώνιο (Διάγραμμα 9).

		18/7	/2009	21/7	/2009	24/7/2009	
		LST _{Therm} LST _{MODIS}		$\textbf{LST}_{\text{Therm}}$		LST_{Therm}	
		463	463	410	410	362	362
Newwool Deverse terres h	Mean	301.79	299.43	299.08	297.23	302.40	298.67
Normal Parametersa,p	Std. Deviation	2.79	2.15	2.95	1.79	2.77	1.81
	Absolute	0.075	0.090	0.065	0.077	0.108	0.089
Most Extreme Differences	Positive	0.054	0.060	0.054	0.053	0.071	0.072
	Negative	-0.075	-0.090	-0.065	-0.077	-0.108	-0.089
Test Statistic		0.075	0.090	0.065	0.077	0.108	0.089
Asymp. Sig. (2-tailed)		0.000c	0.000c	0.000c	0.000c	0.000c	0.000c

Πίνακας 26	. Έλεγχος	κανονικότητας	$LST_{Therm}\kappa\alpha\iota$	LST _{MODIS} .
------------	-----------	---------------	--------------------------------	------------------------



Διάγραμμα 9. Διαγράμματα Normal Q-Q Plot επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους LST_{Therm} και LST_{MODIS}.

Από τη σύγκριση των μέσων τιμών LST_{MODIS} και LST_{Therm} ως ανεξάρτητα δείγματα, προκύπτει ότι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%, καθώς $p_{tcrit} < p_{ta.2} = 0.025$ (Πίνακας 27).

Πίνακας 27.	Σύγκριση	μέσων τιμών	ως ανεξάρτητα	δείγματα	της επ	ιφανειακής	θερμοκρασίας	εδάφους	$LST_{\text{Therm}} \kappa \alpha \iota$
LST _{MODIS} .									

	18/7/2009		21/7/	2009	24/7/2009	
		LST_{Therm}		LST_{Therm}		LST_{Therm}
Μέσος	299.43	301.79	297.23	299.08	298.67	302.40
Διακύμανση	4.631	7.766	3.196	8.695	3.268	7.674
Μέγεθος δείγματος	463	463	410	410	362	362
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0		0		0	
βαθμοί ελευθερίας	868		674		621	
t	-14.397		-10.909		-21.455	
Ρ(T<=t) μονόπλευρη	1.3E-42		6.3E-26		4.015E-77	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1.647		1.647		1.647	
Ρ(T<=t) δίπλευρη	2.8E-42		1.3E-25		8.03E-77	
t κρίσιμο, δίπλευρο	1.963		1.963		1.964	

4.3.2. Έλεγχος Χωρικής Αυτοσυσχέτισης LST MODIS - LST Therm

Από τον έλεγχο του γενικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I (Πίνακας 28) προκύπτει, ότι είναι στατιστικά σημαντικός (p<0.01) και επομένως η LST_{Therm} και η LST_{MODIS} δεν παρουσιάζουν τυχαία κατανομή. Επομένως, τα δεδομένα δεν είναι τυχαία κατανεμημένα, αλλά υπάρχει πιθανότητα να υπάρχουν νησίδες με συγκεκριμένη συμπεριφορά. Επίσης, σε όλες τις περιπτώσεις ο δείκτης Moran είναι θετικός που σημαίνει ότι παρουσιάζουν θετική χωρική αυτοσυσχέτιση που ερμηνεύεται ως ομαδοποίηση (συσσώρευση) των δεδομένων.

	18/7/2009		21/7/	/2009	24/7/2009		
		LST _{Therm}	herm LST _{MODIS} LST _{Therm}			LST _{Therm}	
Moran's I Intex	1.001	0.958	0.980	0.954	0.935	0.894	
Expected Intex	-0.002165	-0.002165	-0.002445	-0.002445	-0.00277	-0.00277	
Variance	0.000843	0.000843	0.000914	0.000914	0.001174	0.001174	
z-score	34.549	33.079	32.473 31.639		27.361	26.187	
p-value	0	0	0	0 0		0	

Πίνακας 28. Αποτελέσματα γενικού δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης (Moran's I) για την LST_{Therm} και την LST_{MODIS}.

Εφαρμόζοντας και τον τοπικό δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Getis-OrdGi* για την LST_{Therm} και την LST_{MODIS} σε όλη την περιοχή μελέτης και για τις τρεις μέρες προκύπτει ότι δεν εντοπίζεται στατιστικά σημαντική συσσώρευση, δηλαδή δεν εμφανίζονται coldspots και hotspots. Αυτό σημαίνει ότι όσο μικραίνει η χωρική ανάλυση χάνεται και η τοπική πληροφορία.

4.3.3.Γραμμική ΣχέσηLST_{MODIS} - LST_{Therm}

Μια πρώτη ένδειξη για την ύπαρξη ή μη κάποιου είδους σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών, παρέχεται από το διάγραμμα διασποράς (Διάγραμμα 10) όπου παρατηρείται ότι υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση.





Διάγραμμα 10. Διαγράμματα διασποράς γραμμικής σχέσης LST_{MODIS} - LST_{Therm}.

Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της γραμμικής σχέσης των δύο μεταβλητών χρησιμοποιείται ο δειγματικός συντελεστής του Pearson (Πίνακας 29). Από την εφαρμογή προκύπτει ότι η τιμή p είναι p=0.000 και άρα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση (H₀) ότι δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο εξεταζόμενων μεταβλητών.

Επίσης, υπάρχει πολύ υψηλή θετική συσχέτιση, καθώς ο συντελεστής Pearson είναι μεγαλύτερος του 0.9. Συγκεκριμένα, είναι $r_{18/7/2009}$ =0.954, $r_{21/7/2009}$ =0.948 και $r_{24/7/2009}$ =0.897, που σημαίνει ότι έχουν παρόμοια συμπεριφορά παρόλο που η μέσες τιμές τους διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.

Πίνακας 29. Γραμμική συσχέτιση με τον συντελεστή Pearson της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους LST_{MODIS} - LST_{Therm}.

		18/7/	2009	21/7/2009		24/7/2009	
			LST_{Therm}		LST_{Therm}		LST_{Therm}
	Pearson Correlation	1	0.954	1	0.948	1	0.897
	p-value		0.000		0.000		0.000
LST _{Therm}	Pearson Correlation	0.954	1	0.948	1	0.897	1
	p-value	0.000		0.000		0.000	

Όσο μικραίνει η χωρική ανάλυση δεν υπάρχει λεπτομερής καταγραφή της LST, καθώς μειώνεται ο αριθμός των σημείων τους. Η μέση τιμή των δεδομένων παρουσιάζει διαφοροποιήσεις και συγκεκριμένα, LST_{Therm(850m)} <LST_{Therm(10m)} με τις χαμηλότερες να καταγράφονται τη δεύτερη και οι υψηλότερες την τρίτη μέρα.

4.3.4. Εξάρτηση LST modis και LST Therm από τον αστικό ιστό

Από την εξέταση για τυχόν εξάρτησης της LST_{MODIS} και LST_{Therm} από τον αστικό ιστό φαίνεται ότι υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση (Διάγραμμα 11). Εφαρμόζοντας τον δειγματικό συντελεστή του Pearson προκύπτει ότι υπάρχει υψηλή συσχέτιση καθώς ο συντελεστής σε όλες τις περιπτώσεις είναι >0.5. Η ESM ερμηνεύει το 51.3%, 56.6% και 41.3, αντίστοιχα για κάθε μέρα, της συμπεριφοράς της LST_{MODIS} και το 50.9%, 56.5% και 49.2% της συμπεριφοράς της LST_{Therm} (Πίνακας31).

Αν συγκριθούν τα αποτελέσματα αυτά με τα αντίστοιχα της εξάρτησης της LST, στη χωρική ανάλυση των 10m, από τον αστικό ιστό φαίνεται ότι ναι μεν η ESM ερμηνεύει σε μεγαλύτερο ποσοστό τη συμπεριφορά της LST_{MODIS} και LST_{Therm}, αλλά όπως προέκυψε προηγουμένως, όσο μικραίνει η χωρική ανάλυση χάνεται και η τοπική πληροφορία, καθώς έχει μειωθεί ο αριθμός των σημείων LST.





Διάγραμμα 11. Διαγράμματα διασποράς γραμμικής σχέσης LST_{MODIS}-ESM και LST_{Therm}- ESM.

		18/7/2009		21/7	/2009	24/7/2009	
			ESM		ESM		ESM
	Pearson Correlation	1	0.716	1	0.752	1	0.643
	p-value		0.000		0.000		0.000
ESM	Pearson Correlation	0.716	1	0.752	1	0.643	1
	p-value	0.000		0.000		0.000	
		LST_{Therm}	ESM	LST _{Therm}	ESM	LST _{Therm}	ESM
LST _{Therm}	Pearson Correlation	1	0.714	1	0.752	1	0.702
	p-value		0.000		0.000		0.000
ESM	Pearson Correlation	0.714	1	0.752	1	0.702	
	p-value	0.000		0.000		0.000	

Πίνακας31. Γραμμική συσχέτιση της LST_{MODIS} – ESM και LST_{Therm}- ESM.

5 сумперасмата

Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (LST) είναι ένας αξιόπιστος δείκτης για την παρακολούθηση των επιπτώσεων της αστικής θερμικής νησίδας. Στην παρούσα εργασία, διερευνήθηκε η εξάρτηση της ραδιομετρικής επιφανειακής θερμοκρασίας από τη δομή του αστικού ιστού για την μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας με χρήση δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης για τρεις τυπικές καλοκαιρινές μέρες. Συνοψίζοντας τα κυριότερα αποτελέσματα της μελέτης μας συμπεραίνονται τα παρακάτω.

1. Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (LST) καθορίζεται σημαντικά από τις διαφορετικές χρήσεις γης (LCLU class), αλλά και από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Είναι μεγαλύτερη στις περιοχές με υψηλή δόμηση και μειώνεται στα προάστια με χαμηλή δόμηση/πράσινο, αλλά και σε ημέρες που είναι θερμές με χαμηλής έντασης ανέμους.

2. Από τη χωρική ανάλυση φαίνεται ότι η LST παρουσιάζει χωρική συσσώρευση hotspots και coldspots. Τα hotspots εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές πυκνού αστικού ιστού στο κέντρο και στα νοτιοδυτικά και τα coldspots στις βόρειες και ανατολικές (με μεγαλύτερο υψόμετρο) περιοχές όπου είναι έντονη η παρουσία βλάστησης. Επίσης, οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες επηρεάζουν την ανάπτυξη και την έκταση coldspots και hotspots και κυρίως η ένταση του ανέμου.

3. Μεταξύ της LST και του αστικού ιστού μπορεί να κατασκευαστεί μια γραμμική σχέση, αλλά απαιτούνται περισσότερες επεξηγηματικές μεταβλητές για τη δημιουργία ενός ισχυρού παγκόσμιου μοντέλου.

4. Η κατασκευή ενός γεωγραφικά σταθμισμένου μοντέλου (GWR) συνδέει ισχυρά την LST με το ποσοστό αστικής δόμησης και μπορεί να δώσει χρήσιμη πληροφορία σε τοπικές μελέτες.

5. Η LST των δορυφορικών δεδομένων MODIS, LST_{MODIS}, διαφέρει στατιστικά σημαντικά από την αντίστοιχη του Thermopolis, LST_{Therm}, αλλά παρουσιάζεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους.

6. Για την LST_{MODIS}, αλλά και την LST_{Therm} (προσαρμοσμένη στη χωρική ανάλυση της LST_{MODIS}) δεν προκύπτει στατιστικά σημαντική συσσώρευση που σημαίνει ότι όσο μικραίνει η χωρική ανάλυση χάνεται και η πληροφορία των hotspots και coldspots που αποτελούν μικρής χωρικής κλίμακας δομές και αυτό αποτελεί χρήσιμη πληροφορία στις μεθόδους υποβιβασμού κλίμακας.

Τέλος, στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας, δίνονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω μελέτη όπως 1. η προσθήκη επιπλέον επεξηγηματικών μεταβλητών στη σχέση της LST με την αστική δόμηση (πχ. απόσταση από θάλασσα, υψόμετρο), 2. πώς επιδρά η χωρική ανάλυση στην κατανομή και συμπεριφορά της LST, 3. να προσδιοριστεί η LST σε κάθε πολύγωνο λαμβάνοντας υπόψη τα γειτονικά πολύγωνα για την περαιτέρω διερεύνηση των αιτιών της συσσώρευσης.

Όσο η αστική υπερσυγκέντρωση θα συνεχίσει να αναπτύσσεται, θα αυξάνεται και η ανάγκη για εξεύρεση βελτιωμένης σχέσης ανάμεσα στην πυκνότητα δόμησης και στη δημιουργία ενός ανεκτού αστικού κλίματος.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΤΟΠΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ: LCZ 1. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΥΚΝΗΣ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 2. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΥΚΝΗΣ ΚΑΙ ΜΕΣΑΙΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 3. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΥΚΝΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 4. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΑΡΑΙΗΣ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 5. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΑΡΑΙΗΣ ΚΑΙ ΜΕΣΑΙΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 6. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΑΡΑΙΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 7. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΜΙΚΡΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΠΥΚΝΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 8. ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΑΡΑΙΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ, LCZ 9. ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΗ ΔΟΜΗΣΗ, LCZ 10. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ, LCZA. ΔΑΣΟΣ, LCZB. ΣΤΟΙΧΙΣΜΕΝΗ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗ, LCZC. ΘΑΜΝΩΔΗΣ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗ, LCZD. ΧΑΜΗΛΗ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗ, LCZE. ΠΕΤΡΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ, LCZF. ΧΩΜΑΤΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ, LCZG. ΝΕΡΟ. (ΠΗΓΗ: STEWART AND OKE, 2012)......10 ΕΙΚΟΝΑ 2. ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ. (ΠΗΓΗ: VOOGT, 2002). 12 ΕΙΚΟΝΑ 3. ΓΕΝΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΚΑΙ **ΕΙΚΟΝΑ 4.** ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ. (ΠΗΓΗ: VOOGT, ΕΙΚΟΝΑ 5. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΕΙΚΟΝΑ 6. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ. (ΠΗΓΗ:<u>SCIENCE-EDU.LARC.NASA.GOV</u>)....... 15 εικόνα 7. ροή του αερά ανάμεσα στα κτιρία καθώς αυξάνει ο λόγος ή/ω (ύψος κτιρίου προς ΕΙΚΟΝΑ 9. ΧΑΡΤΗΣ GOOGLE EARTH ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ 5 ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΡΕΩΝ ΠΟΥ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΝ. ΕΙΚΟΝΑ 10. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (LST) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ. ... 29 ΕΙΚΟΝΑ 11. ΧΑΡΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ - ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EUROPEAN ΕΙΚΟΝΑ 12. ΧΑΡΤΗΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ (EUROPEAN SETTLEMENT MAP (ESM) 2016) ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ 17. ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΑ ΥΨΗ ΣΤΑ 500ΗΡΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 18/07/2009, 21/7/2009 ΚΑΙ 24/7/2009 1200UTC. 35 **ΕΙΚΟΝΑ 18.** ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΑ ΥΨΗ ΣΤΑ 850ΗΡΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 18/07/2009, 21/7/2009 ΚΑΙ 24/7/2009 1200UTC..... 36 **ΕΙΚΟΝΑ 19.** ΠΙΕΣΗ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ 18/07/2009, 21/7/2009 ΚΑΙ 24/7/2009 1200UTC. EIKONA 20. ΆΝΥΣΜΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ 850ΗΡΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 18/07/2009, 21/7/2009 ΚΑΙ 24/7/2009 1200UTC.37 EIKONA 21. ΆΝΥΣΜΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ 10ΜΓΙΑ ΤΙΣ 18/07/2009, 21/7/2009 ΚΑΙ 24/7/2009 1200UTC. 37 ΕΙΚΟΝΑ 22. ΧΑΡΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΕΞΗΧΘΗΣΑΝ ΤΑ ΕΙΚΟΝΑ 28. ΧΑΡΤΕΣ ΗΟΤ SPOT ANALYSIS ΓΙΑ ΤΗΝ LST ΓΙΑ ΤΑ ΒΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ......61

ΕΙΚΟΝΑ 30. Ο ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΟΙ	.s me monaδikh
ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΤΗΝ ESM	65
ΕΙΚΟΝΑ 31. ΧΑΡΤΕΣ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ OLS.	69
είκονα 32. Πίνακας που δημιουργείται κατά τη δομήση του γεωγραφικά	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ (GWR)	
ΕΙΚΟΝΑ 33. ΧΑΡΤΕΣ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GWR	
ΕΙΚΟΝΑ 34. ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ Α ΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	
ΕΙΚΟΝΑ 35. ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ Β ΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	75
ΕΙΚΟΝΑ 36. ΧΑΡΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{THERM} ΚΑΙ LST _{MODIS}	

καταλογός διαγραμματών

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΒΟΧΡΙΟΤ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (LST)	0
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (LST) 50	0
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ Q-Q PLOT ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (LST)	2
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4. ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΥΝ ΤΗ ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ LST – ESM	4
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5. ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ (RESIDUALS) ΓΙΑ ΤΙΣ 18/7/2009, 21/7/2009 ΚΑΙ 24/7/2009. Η	Н
ΜΠΛΕ ΓΡΑΜΜΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΙ ΤΗΝ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ	7
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕ	Σ
ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	8
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΟΧΡΙΟΤ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{THERM} KAI LST _{MODIS} 73	8
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{THERM} ΚΑ	١
LST _{MODIS}	9
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ NORMAL Q-Q PLOT ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{THERM} ΚΑ	١
LST _{MODIS}	0
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ LST _{MODIS} - LST _{THERM}	2
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ LST _{MODIS} -ESM KAI LST _{THERM} - ESM	4

καταλογός πινακών

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΜΕ ΦΑΣΜΑ ΜΗΚΩΝ ΚΥΜΑΤΟΣ 8-14ΜΜ.
(ПНГН: LILLESAND ET AL. (2008), SABINS (1996))
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ, UAV ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΠΗΓΗ:
KUENZER ET DECH, 2013)
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΥΠΕΡΥΘΡΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ (ΠΗΓΗ: KUENZER ET DECH, 2013)
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ ΛΗΨΗΣ. (ΠΗΓΗ:
THERMOPOLIS FINAL REPORT, 2009)
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ, ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΣΕ °C) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΚΑΤΑ ΤΙΣ 3 ΜΕΡΕΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΚΣΤΡΑΤΕΙΑΣ
ΠΙΝΑΚΑΣ 6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (LST)
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (LST) ΓΙΑ ΚΑΘΕ URBAN FABRIC 51
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (LST)
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Η ΤΙΜΗ Ρ(T<=T) ΔΙΠΛΕΥΡΗ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ LST ΓΙΑ ΚΑΘΕ URBAN FABRIC
ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ 1Η-2Η, 1Η-3Η ΚΑΙ 2Η-3Η ΜΕΡΑ
ΠΙΝΑΚΑΣ 10. ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ (ΣΕ Κ) ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ LST ΣΕ ΚΕLVIN
ΠΙΝΑΚΑΣ 12. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ MORAN'S Ι ΓΙΑ ΤΗΝ
LST ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΠΙΝΑΚΑΣ 13. ΑΚΡΙΒΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΥΨΗΛΕΣ ΚΑΙ
ΧΑΜΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΠΙΝΑΚΑΣ 14. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣΜΟRAN'S Ι ΓΙΑ LST
ΤΜΗΜΑΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΠΙΝΑΚΑΣ 15. ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ LST-ESM ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ PEARSON
ΠΙΝΑΚΑΣ 16. ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ OLS - ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΜΕΛΕΤΗΣ
ΠΙΝΑΚΑΣ 17. ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ OLS ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΠΙΝΑΚΑΣ 18. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ GLOBAL MORAN'S Ι ΣΤΑ
KATAΛΟΙΠΑ ΤΟΥ MONTEΛΟΥ OLS
ΠΙΝΑΚΑΣ 19. ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗΝ LST ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΜΗΜΑ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ MONTEΛΟΥ OLS
ΠΙΝΑΚΑΣ 20. ΠΙΘΑΝΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ KERNEL TYPE – BANDWIDTH METHOD ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟΔΟΣΗ
TOY MONTΕΛΟΥ GWR
ΠΙΝΑΚΑΣ 21. ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΑ GWR
ΠΙΝΑΚΑΣ 22. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ GLOBAL MORAN'S Ι ΣΤΑ
ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΤΟΥ MONTEΛΟΥ GWR
ΠΙΝΑΚΑΣ 23. ΑΠΟΔΟΣΗ MONTEΛΟΥ GWR ΣΕ ΚΑΘΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.76
ΠΙΝΑΚΑΣ 24. ΕΥΡΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{THERM} ΚΑΙ LST _{MODIS}
ΠΙΝΑΚΑΣ 25. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{THERM} KAI LST _{MODIS}
ΠΙΝΑΚΑΣ 26. ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ LST _{THERM} ΚΑΙ LST _{MODIS}
ΠΙΝΑΚΑΣ 27. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ
ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{THERM} KAI LST _{MODIS}
ΠΙΝΑΚΑΣ 29. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (MORAN'S I) ΓΙΑ ΤΗΝ LST _{THERM} ΚΑΙ
THN LST _{MODIS}
ΠΙΝΑΚΑΣ 30. ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΡΕARSON ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ
ΕΔΑΦΟΥΣ LST _{MODIS} - LST _{THERM}
ΠΙΝΑΚΑΣ 32. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΗΣ LST ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ URBAN ATLASΓΙΑ ΤΙΣ
18/7/2009
ΠΙΝΑΚΑΣ 33. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΗΣ LST ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ URBAN ATLASΓΙΑ ΤΙΣ
21/7/2009
ΠΙΝΑΚΑΣ 34. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΗΣ LST ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ URBAN ATLASΓΙΑ ΤΙΣ
24/7/2009
ΠΙΝΑΚΑΣ 35. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΓΙΑ ΤΙΣ
18/7/2009
ΠΙΝΑΚΑΣ 36. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΓΙΑ ΤΙΣ
21/7/2009
ΠΙΝΑΚΑΣ 37. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΓΙΑ ΤΙΣ
24/7/2009

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- **Balafoutis Ch.**, Makrogiannis T. (1998): Heat Island and Bioclimatic Indexes in the city of Thessaloniki. Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica 3.
- **Bitelli G.**, Conte P., Csoknyai T., Franci F., Girelli V.A. & Mandanici E. (2015): Aerial Thermography for Energetic Modelling of Cities. Remote Sensing, 7(2): 2152-2170.
- Charalampopoulos I., Chronopoulou-Sereli A. (2005): Mapping the urban green area influence on local climate under windless and light wind conditions. The case of Western part of Athens, Greece, Acta Climatologica et Chorologica, Universitatis Szegediensis, Tom. 38-39: 25-31.
- **Dee D.P.**, Coauthors (2011): The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 137, 553-597, doi:10.1002/qj.828.
- **Del Barrio E.P.** (1998): Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy and Buildings, vol. 27: 179-193.
- **Founda D.** (2015): Interdecadal variations and trends of the Urban Heat Island in Athens (Greece) and its response to heat waves. Atmospheric Research, 161-162 (2015), pp.1-13.
- **Gartland L.** (2008): Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. London: Earthscan, 2008.
- **Giannaros T.M.** (2013): Numerical study of the urban heat island over Athens (Greece) with the WRF model. Atmospheric Environment, Vol.73: 103-111.
- **Giannaros T.M.**, Melas, D., Kontogianni P. (2010): An Observational Study of the Urban Heat Island in the Greater Thessaloniki Area: Preliminary Results and Development of a Forecasting Service, AIP Conference Proceedings, 1203: 991-996.
- **Giannopoulou K.**, Livada I., Santamouris M., Saliari M., Assimakopoulos M., Caouris Y.G. (2011): On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece, Sustainable Cities and Society, Volume 1, Issue 1, February 2011, Pages 16-28.
- **Gomez F.**, Gaja E., Reig A. (1998): Vegetation and climatic changes in a city, Ecological Engineering vol. 10, pp. 355–360.
- Howard L. (1833): The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places Around it. London, Harvey and Darton cited in Gartland, L., 2008.
- Kassomenos P.A., Katsoulis B. D. (2006): Mesoscale and macroscale aspects of the morning Urban Heat Island around Athens, Greece. Meteorology and Atmospheric Physics, Vol. 94, Numbers 1-4: 209-218.
- **Katsoulis B.D.** and Theocharatos G.A. (1985): Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece. Journal of Climate and Applied Meteorology. 1985, Vol.24, pp. 1296-1302.
- **Kim Y.**, Baik J. (2005): Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul. Bulletin of the American Meteorological Society, vol.44: 591-605, May 2005.
- Kolokotsa D., Psomas A., Karapidakis E. (2009): Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete. Solar Energy, 83, Issue 10:1871-1883.
- **Kourtidis K.** (2015): A study of the hourly variability of the urban heat island effect in the Greater Athens Area during summer. Science of the Total Environment, vol.517: 162-177.

Kratzer A. (1956): The Climate of Cities, American Meteorological Society: pp. 230.

- Kuenzer C., Dech S. (2013): Thermal Infrared Remote Sensing Sensors, Methods, Applications, Springer Science & Business Media.
- **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, 71: 219-230.
- Mallick J., Rahman A. (2012): Impact of population density on the surface temperature and microclimate of Delhi, Current Science, 102 (12), 1708-1713.
- Memon R.A. (2009): An investigation of urban heat island intensity (UHII) as an indicator of urban heating. Atmospheric Research, vol.94: 491-500.
- Memon R.A., Leung Y.C. Dennis, Liu Chun-Ho (2007): A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, Journal of Environmental Sciences, Vol.20, No.1, pp. 120-128, Sept 2007.
- Mihalakakou G. (2002): Application of neural networks to the simulation of the heat island over Athens, Greece using synoptic types as a predictor. Journal of Applied Meteorology 2002, Vol. 41, pp. 519–527.
- **Oke T.R.** (1982): The energetic basis of the urban heat island, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 108, 1–24.
- Oke T.R. (1988): Street and Urban Canopy Layer Climate. Energy and Building, 11.
- **Oke T.R.** (1995): The heat island characteristics of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects. In J.E. Cermak, A.G. Davenport, E.J. Plate, and D.X. Viegas (eds). Wind Climate in Cities: 81–107. Netherlands: Kluwer Academic.
- **Papadakis G.** (2001): An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. Energy and Buildings, vol. 33, pp. 831-836.
- Papanastasiou D., Kittas C. (2011): Maximum urban heat island intensity in a medium sized coastal Mediterranean city. Theoretical and Applied Climatology 107, vol. 3–4: 407–416, July 2011.
- **Renou E.** (1862): Differences de Temperature entre Paris and Choisy le Roi. SocieteMeteorologie de France 10:105-109.
- **Renou E.** (1868): Differences de temperature entre la ville and la champagne. An nuaire Societe Meteorologie de France 3:83-97.
- **Ryu Y.**Baik J. (2011): Quantitative Analysis of Factors Contributing to Urban Heat Island Intensity. Journal Of Applied Meteorology And Climatology, vol.51: 842-854.
- Sailor J. David and Fan Hongli (2002): Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities. Atmospheric Environment, vol.36: 713-725, February 2002.
- Santamouris M. (2012): Cooling the cities A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy. 2012, Vol. 55, pp. 66-76.
- Stathopoulou M., Cartalis C., Keramitsoglou I. (2004): Mapping micro-urban heat islands using NOAA/AVHRR images and CORINE Land Cover: an application to coastal cities of Greece. International Journal of Remote Sensing 25, vol. 12: 2301–2316.
- **Stathopoulou M.**, Synnefa A., Cartalis C., Santamouris M., Karlessi T. and Akbari H. (2009): A surface heat island study of Athens using high-resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials.

Stewart I.D., Oke T.R. (2010): Thermal differentiation of Local Climate Zones using temperature observations from urban and rural field sites, in Proceedings of the 9th Symposium, on the Urban Environment, Keystone, Colo, USA, August 2010.

Stewart I.D., Oke T.R. (2012): Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93: 1879-1900.

- **Trenberth E. Kevin**, Fasullo T. John, Kiehl Jeffrey (2009): Earth's Global Energy Budget Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 90, no. 3, pp. 311-323, March 2009.
- **Voogt J.A.** (2002): Urban Heat Island. Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 3, Causes and consequences of global environmental change: 660–666.
- Voogt J.A. (2004): Urban Heat Islands: Hotter Cities. America Institute of Biological Sciences.

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- **Καρτάλης Κ.**, Φείδας Χ. (2006): Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα.
- **Μπαλαφούτης Χ.** (1985): Γενική Κλιματολογία. Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: σελ 190.
- **Μπαλαφούτης Χ.** (1985): Η κλιματολογία της Θερμής Αστικής Νησίδας στη Θεσσαλονίκη. 4 ο Σεμινάριο για την προστασία του περιβάλλοντος, 4-7 Νοεμβρίου 1985, Θεσσαλονίκη: 49-53.
- **Μπουγατιώτη Φ.** (2009-10): ΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΕΜΠ, Αθήνα.
- **Παρχαρίδης Ι.** 2015: Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- **Σανταμούρης Μ.**, (2000): Οικολογική Δόμηση. Ελληνικά Γράμματα, Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Δ/νση Οικιστικής Πολιτικής και Κατοικίας, Αθήνα, 21-23.

Χρονοπούλου–Σερέλη Α., Μπερνάρ Ο. (1997): Μαθήματα Βιοκλιματολογίας, Αθήνα.

Πηγές από διαδίκτυο

https://earth.esa.int/c/document_library/get_file?folderId=21020&name=DLFE-900.pdf science-edu.larc.nasa.gov

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1. Σύγκριση μέσων τιμών της LST στις διαφορετικές κατηγορίες του Urban Atlas

Πίνακας 30. Σύγκριση μέσων τιμών της LST στις διαφορετικές κατηγορίες του Urban Atlasγια τις 18/7/2009.

	Μέσος	Διακύμανση	Μέγεθος	Υποτιθέμενη	Βαθμοί	t	P(T<=t)	t κρίσιμο,	P(T<=t)	t κρίσιμο,
			δείγματος	διαφορά μέσων	ελευθερίας	-	μονόπλευρη	μονόπλευρο	δίπλευρη	δίπλευρο
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	7783	60,63814483	0	1,645049433	0	1,9602687
11210	303,7409095	2,914506296	5912							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	2207	76,33680082	0	1,645544345	0	1,9610393
11220	301,6787423	4,182019159	2054							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	1334	98,72096316	0	1,645996682	0	1,9617438
11230	300,2443704	3,053026291	1256							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	255	61,06018821	1,6357E-154	1,650851093	3,2714E-154	1,9693105
11240	299,3562848	2,278334946	252							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	187	45,32687311	4,2119E-103	1,653042889	8,4237E-103	1,97273099
11300	299,2564994	3,169267791	186							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	2344	39,81875603	1,3658E-265	1,645503958	2,7316E-265	1,9609765
12100	303,140795	5,675765094	2214							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	23	16,0732669	2,6659E-14	1,713871517	5,3318E-14	2,0686575
13100	300,8182638	1,770585653	24							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	48	9,147878159	2,15102E-12	1,677224197	4,30204E-12	2,0106347
13300	302,0360033	5,807112735	49							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	238	22,54054275	2,79394E-61	1,651281164	5,58788E-61	1,9699814
13400	301,5236839	6,265762132	238							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	1023	37,14097666	3,6518E-192	1,646344496	7,3037E-192	1,9622855
14100	302,2614475	6,119964481	999							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	246	13,24249292	7,00067E-31	1,651071345	1,40013E-30	1,96965412
14200	303,0874195	6,160784598	246							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	1198	85,81347999	0	1,646126545	0	1,96194609
20000	299,7289348	4,584381999	1155							
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	242	60,92892848	4,1489E-149	1,651174514	8,2978E-149	1,96981507
30000	298,4511443	2,914542859	240				,			
11100	305,1862173	1,20025503	15977	0	31	16,28454496	4,79795E-17	1,695518742	9,59589E-17	2,03951343
50000	301,7190247	1,448219385	32							

	Μέσος	Διακύμανση	Μέγεθος δείγματος	Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	Βαθμοί ελευθερίας	t	Ρ(T<=t) μονόπλευρη	t κρίσιμο, μονόπλευρο	Ρ(T<=t) δίπλευρη	t κρίσιμο, δίπλευρο
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	7749	55,64354259	0	1,645050292	0	1,960270116
11210	300,5574698	3,9429459	5729							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	2048	69,91380406	0	1,645597994	0	1,961122943
11220	298,4954335	4,870711736	1877							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	1181	83,35859174	0	1,646144883	0	1,96197466
11230	296,7805205	4,476287526	1116							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	230	53,39388776	6,8696E-132	1,651505639	1,3739E-131	1,970331721
11240	295,823173	3,146637785	227							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	124	25,86322879	4,26573E-52	1,657234971	8,53146E-52	1,979280091
11300	296,8799559	5,106641277	124							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	2246	30,04322837	2,779E-167	1,645532346	5,5579E-167	1,961020714
12100	300,5218955	5,733408457	2070							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	22	15,99461339	6,70278E-14	1,717144335	1,34056E-13	2,073873058
13100	297,4164617	1,999789001	23							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	42	7,323797743	2,511E-09	1,681952358	5,022E-09	2,018081679
13300	299,2390212	6,722648341	43							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	220	20,40538471	5,99776E-53	1,651809286	1,19955E-52	1,970805542
13400	298,914975	5,431099229	219							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	998	30,93081683	3,7272E-148	1,646381877	7,4545E-148	1,962343802
14100	299,4581426	7,1423619	968							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	239	9,723859569	2,40347E-19	1,651254166	4,80694E-19	1,969939352
14200	300,3783027	7,748180222	238							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	1039	58,64682769	0	1,646321517	0	1,962249782
20000	297,5822482	5,912403059	1000							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	226	58,02629207	4,8334E-138	1,65162386	9,6668E-138	1,970516191
30000	295,6227743	2,78358413	223							
11100	302,1359246	1,81674485	15600	0	29	7,70577427	8,48068E-09	1,699126996	1,69614E-08	2,045229611
50000	300,2415604	1,809580661	30							

Πίνακας 31. Σύγκριση μέσων τιμών της LST στις διαφορετικές κατηγορίες του Urban Atlas για τις 21/7/2009.

	Μέσος	Διακύμανση	Μέγεθος δείγματος	Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	Βαθμοί ελευθερίας	t	Ρ(T<=t) μονόπλευρη	t κρίσιμο, μονόπλευρο	Ρ(T<=t) δίπλευρη	t κρίσιμο, δίπλευρο
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	7402	64,2540750	0	1,645059512	0	1,9602844
11210	303,7594499	2,878455223	5797							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	2008	64,2729676	0	1,645612829	0	1,9611460
11220	302,1330986	4,440091964	1900							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	1135	60,9808997	0	1,646197258	0	1,9620562
11230	300,9479032	5,518483417	1106							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	224	30,2712258	2,05092E-81	1,65168456	4,10183E-81	1,9706109
11240	300,1054598	6,540534582	224							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	131	29,0813652	2,65078E-59	1,656568649	5,30156E-59	1,9782385
11300	299,1924604	5,782800987	132							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	2234	34,3772383	1,4861E-208	1,645535993	2,9723E-208	1,9610263
12100	303,5480831	5,264801731	2120							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	24	8.,1712199	4,13175E-09	1,710882067	8,26349E-09	2,0638985
13100	301,829828	4,015315824	25							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	41	7,60255212	1,17772E-09	1,682878003	2,35545E-09	2.,195409
13300	302,5750961	5,329483186	42							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	228	21,5411100	3.,548E-57	1,651564229	6,9096E-57	1,9704231
13400	302,3972849	4,061472396	227							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	997	37,2016864	5,7157E-191	1,646383411	1,1431E-190	1,9623461
14100	302,6768337	4,704498849	971							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	238	14,4604316	9.754E-35	1,651281164	1,9508E-34	1,9699814
14200	303,0809787	5,508086837	238							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	1068	59.470006	0	1,646281623	0	1,9621876
20000	300,232966	7,497569555	1049							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	216	34,0744921	3,83336E-89	1,651938652	7,66673E-89	1,9710074
30000	299,5976463	6,000994849	216							
11100	305,2839833	1,053814815	15868	0	32	22,2924789	2,31942E-21	1,693888703	4,63884E-21	2,0369333
50000	301,3301668	1,03588699	33							

Πίνακας 32. Σύγκριση μέσων τιμών της LST στις διαφορετικές κατηγορίες του Urban Atlas για τις 24/7/2009.

Παράρτημα 2. Υπολογισμός μέσης ωριαίας θερμοκρασίας σε Kelvin για κάθε μετεωρολογικό σταθμό

Πίνακας 33. Υπολογισμός μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για κάθε μετεωρολογικό σταθμό για τις 18/7/2009.

Station	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	302.5	301.4	300.9	300.9	301.0	302.0	303.2	303.1	303.0	303.6	305.0	305.7	307.7	308.2	307.7	307.1	306.0	304.6	304.3	304.0	304.1	305.0	304.7	302.8
2	301.9	301.6	301.2	300.9	300.7	303.0	306.5	308.4	308.9	308.9	308.3	307.4	306.5	306.1	305.5	304.7	303.7	303.4	304.0	304.0	303.4	303.0	302.7	302.5
3	301.2	301.1	300.2	300.1	300.2	301.0	302.3	304.7	306.2	306.1	306.6	307.3	306.8	307.2	307.4	306.3	306.0	304.2	304.2	304.4	303.7	302.8	302.7	302.3
4	301.7	301.4	300.7	300.5	300.6	301.2	302.1	303.2	305.0	306.2	307.2	307.4	307.9	309.3	309.6	306.7	306.0	304.5	304.3	304.4	304.0	303.3	303.0	302.6
5	300.4	300.0	299.7	299.5	299.6	301.1	302.8	304.8	306.1	306.2	306.7	307.2	307.5	308.3	307.8	307.0	305.6	304.6	304.8	304.4	303.6	302.6	301.9	301.5
6	297.7	296.6	296.7	296.1	296.2	297.7	301.5	303.1	304.9	305.8	305.9	307.0	307.3	308.3	308.9	308.3	307.1	304.7	304.4	302.7	301.5	300.3	299.5	298.9
7	302.9	302.6	302.1	301.5	301.6	301.9	302.9	304.7	305.9	306.0	306.9	308.0	308.2	308.7	307.7	306.7	305.7	305.0	304.9	305.0	304.5	304.1	303.8	303.4
8	299.5	299.4	298.8	298.4	300.2	302.8	304.3	306.3	308.0	308.3	308.4	308.7	308.7	308.4	307.5	306.6	305.2	304.2	303.8	303.1	302.5	302.1	301.6	300.8
9	301.4	300.8	300.5	300.2	300.2	300.9	302.2	303.1	304.2	305.3	307.1	308.0	308.6	309.1	308.4	307.5	306.7	306.0	305.2	304.6	304.0	303.4	302.8	302.4
10	297.1	296.8	296.5	296.1	296.6	299.0	303.2	306.6	307.8	307.8	307.4	307.6	307.8	307.4	307.2	306.3	305.3	303.6	302.6	301.3	300.0	299.5	299.3	298.2
11	300.0	299.0	297.6	297.6	298.0	297.4	298.0	299.0	301.0	303.4	304.6	305.4	306.2	307.2	307.2	307.4	306.2	305.8	305.2	303.6	303.6	302.8	302.6	301.4
12	299.2	298.2	297.2	296.2	296.0	295.6	295.8	297.2	301.0	305.2	308.2	309.2	310.0	309.6	309.8	309.2	309.6	308.4	307.2	304.6	303.8	302.2	301.2	300.6
13	300.4	299.0	299.4	298.4	297.4	298.0	297.8	299.4	302.2	304.4	306.2	306.8	306.8	308.0	308.8	308.8	307.8	306.6	305.6	305.2	304.0	303.8	302.6	301.2
14	301.5	300.8	300.0	299.7	300.0	301.8	304.2	306.2	306.9	307.2	308.6	309.0	309.6	309.5	308.1	307.1	305.5	304.9	304.6	304.4	303.7	303.4	302.8	302.4
15	299.2	298.6	298.6	298.2	299.2	301.4	303.4	305.9	307.4	306.7	307.0	307.4	307.6	308.2	308.3	307.0	306.5	304.5	303.9	303.0	302.2	300.9	300.1	299.8
16	297.5	298.3	298.6	299.4	299.8	301.0	300.9	302.3	303.0	304.1	304.2	304.7	305.1	304.4	303.5	302.2	301.5	300.2	299.6	299.6	299.4	298.5	298.8	298.8
17	300.2	299.8	299.0	299.2	299.8	301.3	301.1	300.6	300.6	301.0	302.6	302.8	304.0	304.3	303.7	303.8	303.2	303.5	303.5	303.2	302.7	302.4	302.1	301.0
18	300.4	300.6	300.2	300.5	300.3	301.0	303.7	304.4	304.7	305.6	305.9	306.9	307.4	308.1	307.7	306.8	305.1	303.8	303.7	303.7	303.0	302.5	302.4	301.3
19	299.9	299.9	299.7	298.8	299.3	300.0	301.5	302.1	302.3	304.1	304.8	304.9	303.8	303.1	302.8	303.1	302.7	301.5	300.9	301.1	300.8	301.1	300.5	300.5
20	294.9	294.6	293.6	293.5	295.4	301.9	304.9	307.2	308.7	308.1	308.4	309.2	309.2	309.7	309.4	307.9	306.2	304.0	302.2	299.2	297.1	296.7	296.4	295.6
21	300.1	299.3	297.9	297.8	299.1	301.4	305.4	306.3	306.9	307.6	308.3	309.2	309.2	308.9	307.9	307.0	306.3	304.1	302.6	300.8	300.8	300.2	301.1	299.7
22	297.4	297.0	296.8	296.3	298.8	302.2	304.3	306.2	307.6	308.0	308.0	308.4	308.8	309.3	308.6	307.1	305.7	304.4	304.1	302.8	301.2	300.6	299.3	298.3
23	298.2	297.5	296.9	296.8	298.3	301.3	304.1	306.1	307.5	307.8	308.6	309.2	309.1	308.6	307.7	306.7	305.3	304.0	303.5	302.4	301.5	300.2	299.5	298.9
24	296.9	297.1	297.3	297.7	297.8	299.2	300.4	301.6	302.9	304.1	304.1	305.3	305.9	305.2	304.9	303.7	302.1	300.0	297.7	298.5	297.8	296.6	296.9	297.3
25	297.9	297.3	297.7	297.5	299.8	302.6	303.9	305.8	307.0	308.1	308.2	308.3	308.5	308.7	308.0	306.5	305.1	303.0	302.2	301.7	301.2	300.5	299.9	299.0
26	299.5	298.9	299.2	299.3	299.0	301.0	303.4	304.7	305.9	306.8	307.2	307.7	308.1	308.0	307.1	305.9	304.6	303.0	301.5	301.1	299.8	299.3	300.0	299.8

Station	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	301.7	301.4	301.0	300.6	300.4	300.9	301.7	302.4	303.1	303.6	304.0	304.5	305.2	306.2	306.4	305.8	304.6	303.2	302.1	301.8	301.7	301.8	301.2	300.7
2	301.7	301.5	301.1	300.7	300.5	301.6	303.3	304.4	305.2	305.6	305.7	305.6	305.8	305.9	305.4	304.8	304.2	303.2	302.2	301.9	301.6	301.3	301.0	300.5
3	300.7	300.3	299.8	299.4	299.0	299.6	300.8	302.8	303.5	303.7	303.9	304.2	304.2	304.1	304.0	303.6	302.9	302.2	301.0	300.8	300.4	300.1	300.0	299.7
4	300.7	300.4	299.7	299.2	298.9	299.3	299.9	300.9	301.5	302.2	302.7	303.1	303.4	304.3	304.5	303.4	302.7	302.0	300.9	300.5	300.3	300.0	299.9	299.5
5	300.6	300.2	299.6	299.2	299.2	299.9	300.8	301.7	302.7	303.6	304.2	304.8	305.4	305.7	305.6	305.1	303.7	302.1	301.2	300.7	300.3	300.0	299.9	299.5
6	299.8	299.5	298.6	298.3	297.9	298.7	299.6	300.7	301.2	302.1	302.3	303.1	303.8	304.3	304.4	304.5	303.3	301.8	300.3	299.7	299.4	299.1	299.0	298.4
7	302.7	302.5	302.1	301.5	301.2	301.4	302.5	303.2	303.7	303.7	306.0	308.1	308.0	308.2	307.6	306.6	305.5	304.4	303.4	302.9	302.6	302.3	302.1	301.6
8	299.4	298.5	298.3	298.2	298.7	299.7	301.0	301.6	302.1	302.3	302.6	302.7	302.8	302.8	302.7	302.2	301.4	300.4	299.6	299.5	299.4	299.3	299.1	298.6
9	299.4	298.8	298.3	298.0	298.1	298.9	300.1	301.1	301.4	302.0	302.9	303.6	303.9	303.5	303.0	302.5	301.8	300.7	299.8	299.4	299.1	299.0	298.8	298.4
10	298.4	297.7	297.3	296.8	297.1	298.6	299.8	301.0	301.5	301.9	302.0	302.0	302.1	302.2	302.0	301.5	300.7	299.7	298.9	298.5	298.1	297.8	297.7	297.2
11	302.0	301.8	301.6	301.2	300.4	299.8	299.6	300.4	301.2	303.0	304.2	304.8	305.2	305.8	306.2	306.2	306.2	305.8	305.0	303.2	301.8	301.0	300.4	299.8
12	299.2	299.2	298.8	298.6	298.4	298.0	297.8	298.2	299.6	300.8	303.2	303.4	304.6	304.8	305.2	304.2	303.8	303.8	303.2	301.8	300.8	299.2	298.6	298.6
13	301.0	300.6	300.4	300.2	299.2	299.0	298.8	299.8	301.0	302.2	303.2	304.4	305.0	305.2	305.6	305.2	305.2	305.2	304.0	303.0	301.6	300.4	300.2	299.2
14	301.4	301.1	300.4	299.9	300.2	301.2	302.5	303.6	304.7	305.6	306.3	306.3	306.7	306.6	305.8	305.0	303.9	302.4	301.4	300.9	300.4	300.2	300.3	300.0
15	299.6	299.1	298.5	298.1	298.4	299.3	300.3	301.0	301.6	302.0	302.5	302.7	303.1	303.3	302.9	302.5	301.9	300.7	299.9	299.5	299.2	299.1	298.8	298.3
16	296.1	295.4	294.9	294.9	295.4	296.6	298.1	299.2	299.0	299.8	300.0	300.1	300.0	300.0	299.4	298.5	297.4	296.3	295.9	296.1	296.1	295.9	295.5	295.0
17	301.3	301.0	300.3	299.8	299.9	300.8	301.9	302.7	303.4	304.1	304.5	304.8	305.2	305.5	305.1	304.6	304.0	302.7	301.5	301.1	300.9	300.6	300.4	300.3
18	299.6	299.0	298.4	297.9	297.9	298.8	300.9	302.3	302.9	303.5	303.8	304.2	304.8	305.1	304.8	304.0	303.1	301.2	299.7	299.2	298.4	298.2	298.1	298.1
19	300.1	299.9	299.5	299.3	299.3	299.8	301.0	302.3	303.5	304.1	304.5	304.5	304.6	304.8	304.7	304.3	303.4	302.2	301.0	300.3	299.8	299.4	299.2	299.1
20	299.0	298.2	297.7	297.4	297.9	299.7	301.1	302.6	303.2	304.2	304.6	305.1	305.5	305.1	304.7	304.0	302.5	300.4	299.3	298.7	298.0	298.1	297.7	297.0
21	299.4	298.7	298.5	298.3	299.0	300.1	301.0	301.7	302.4	302.8	303.1	303.2	303.3	303.2	302.7	302.2	301.5	300.1	299.3	299.3	299.2	299.3	299.0	298.6
22	300.1	299.7	298.6	298.5	299.0	299.9	300.8	301.6	302.2	302.6	302.9	303.2	303.5	303.4	303.2	302.8	302.3	301.2	300.5	300.0	299.9	298.9	297.2	298.4
23	299.1	298.7	298.2	297.8	298.2	299.7	301.8	303.0	303.7	303.8	305.0	305.0	305.2	304.9	304.5	303.7	302.7	300.8	299.3	298.6	297.8	298.0	296.9	297.0
24	294.0	293.2	293.0	292.7	292.9	294.2	295.7	296.4	297.1	297.4	297.8	298.0	298.2	298.3	298.1	297.5	296.4	295.0	294.1	293.9	293.6	293.5	293.4	293.1
25	299.4	299.1	298.4	297.6	297.9	299.3	300.4	301 5	302.1	302.3	302.8	303.4	303 3	303.6	303 5	302.9	301.6	299.6	298.8	298.9	298.8	298.8	298.4	298.1
26	297.6	297.1	296.9	296.4	296.6	297.9	299.2	300.6	301.3	302.0	302.3	303.0	303.1	303.1	302.8	302.2	301.4	299.8	298.5	297.6	296.9	295.9	296.0	296.5

Πίνακας 34. Υπολογισμός μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για κάθε μετεωρολογικό σταθμό για τις 21/7/2009.

Station	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1	300.7	300.8	300.6	300.3	300.6	301.9	303.1	304.3	306.2	307.2	308.0	308.7	309.9	311.2	311.5	311.3	309.9	308.1	307.2	305.9	305.2	303.0	302.2	302.0
2	301.5	301.1	300.8	300.5	300.5	303.6	306.2	307.8	309.7	309.9	310.0	310.0	310.3	310.6	310.6	310.3	309.7	308.5	307.6	306.5	305.6	304.1	303.3	303.1
3	300.5	299.9	299.6	299.6	299.6	300.3	301.2	304.5	306.8	307.3	308.6	308.3	308.6	308.8	309.0	308.6	308.1	307.1	306.1	305.3	304.9	305.1	304.3	303.8
4	300.8	300.4	300.2	300.0	300.0	300.4	301.2	302.7	304.6	305.8	307.0	307.6	308.2	309.6	310.4	308.8	308.3	307.5	306.3	305.5	305.2	304.7	304.2	303.8
5	299.5	299.3	298.7	298.3	298.8	300.4	302.3	304.5	306.3	307.3	308.7	309.6	310.8	311.5	311.6	310.8	309.3	307.5	306.1	305.2	304.5	303.9	303.1	302.7
6	298.2	296.6	296.4	295.5	296.0	299.4	301.3	302.9	304.6	305.8	307.2	308.4	309.2	310.0	310.7	310.3	309.0	307.6	305.6	303.8	302.8	301.8	301.0	299.8
7	302.0	301.5	301.1	300.9	300.9	301.4	302.9	304.6	305.9	306.9	308.7	311.5	312.2	312.5	312.0	311.1	309.8	308.7	307.8	307.0	306.3	305.8	305.2	304.7
8	298.7	298.4	298.5	298.4	299.6	302.0	303.3	304.5	306.0	306.6	307.1	307.4	308.0	308.4	308.4	308.0	307.3	305.8	304.5	304.1	303.0	302.2	302.6	302.7
9	299.0	298.6	298.3	297.7	298.2	300.1	301.8	303.2	304.8	306.3	307.5	308.3	308.9	309.2	308.8	308.0	307.2	306.0	304.7	304.3	303.6	302.2	301.8	302.5
10	298.2	297.8	298.0	298.2	298.7	300.6	302.3	304.2	305.4	306.4	306.8	306.9	307.4	307.8	307.6	307.3	306.5	305.2	303.7	302.7	303.2	303.3	302.7	301.4
11	300.2	300.2	300.0	300.2	298.6	297.2	297.4	299.4	302.6	304.2	305.0	308.2	309.8	310.6	311.2	311.4	311.8	311.8	309.4	307.0	306.2	303.4	303.0	301.8
12	298.4	298.2	297.2	295.8	296.2	296.2	296.6	298.2	301.0	305.6	307.2	308.0	308.8	310.0	310.4	310.6	310.2	309.8	308.4	307.2	306.2	304.2	302.8	301.6
13	301.2	299.8	299.4	297.2	297.2	297.2	301.2	302.4	304.2	306.0	307.0	307.8	309.2	309.8	310.2	310.8	311.2	310.8	310.2	309.2	308.0	306.6	305.2	303.0
14	300.5	300.2	300.0	300.0	300.5	302.0	304.0	307.0	308.9	310.0	310.9	311.8	312.7	312.8	312.3	311.2	309.7	308.2	306.9	306.1	305.3	304.7	304.0	303.3
15	299.4	298.3	297.7	297.6	299.3	301.4	303.0	304.6	305.7	306.8	307.7	308.1	308.5	309.0	309.0	308.7	308.0	306.6	305.4	304.6	303.2	303.6	302.6	301.5
16	296.3	296.2	296.4	296.5	297.5	298.5	299.8	301.4	303.5	304.3	305.2	306.0	306.4	306.9	306.1	304.9	303.3	301.9	301.1	301.1	301.7	301.8	301.8	301.0
17	300.8	300.4	300.0	299.6	300.6	302.7	302.2	301.1	305.6	308.3	309.4	310.1	310.7	311.1	311.1	305.9	306.1	308 5	304.3	305.1	301.4	300.4	299.9	299.5
18	300.3	300.1	299.4	298.3	298.4	300.1	303.0	305.0	307.0	308.3	309.7	310.0	310.9	311.4	311.4	310.7	309.5	307.2	306.0	305.4	304.2	302.6	301.2	300.4
19	301.2	301.1	300.9	300.6	301.0	301.8	302.8	304.8	305.2	307.4	308.3	309.1	309.8	310.2	309.8	308.9	308.8	306.4	302.6	302.0	300.9	300.7	300.6	301.2
20	293.6	293.0	292.8	292.4	295.9	302.0	304.3	306.2	307.7	309.2	310.2	310.4	311.0	311.4	311.0	310.2	308.1	305.6	303.0	300.8	300.2	298.3	297.4	296.3
21	299.4	298.5	297.4	298.0	299.5	301.7	303.7	305.3	305.9	306.2	306.1	306.4	307.1	307.2	307.2	306.0	305.3	303.3	301.8	300.3	299.4	200.0	200.4	299.5
22	297.5	296.7	296.1	296.2	200.0	302.4	304.3	305.0	306.3	307.1	308.0	308.5	309.1	309.5	309.3	308.9	308.2	306.8	305.1	304.1	302.5	300.9	300.3	299.4
22	299.0	298.4	298.7	290.2	300.7	302.4	304.3	305.4	307.0	308.2	309.6	310.1	310.4	311.2	310.8	309.6	308.6	307.2	304.9	303.1	302.3	301.0	300.2	300.3
23	291 1	294.0	293.8	293.0	291 1	296.2	297.0	299.7	300.0	303.2	302.5	303.3	30/ 2	304.6	304.6	303.7	302.6	307.2	299.2	299.2	300.0	300.1	300.2	300.5
24	207.7	204.0	295.0	295.9	209.5	200.0	201.0	233.2	206.9	207.7	202.5	202.2	200 5	210.0	200 5	200.2	202.0	205.0	299.0	299.0	200.7	200 5	200.6	200.1
26	298.3	298.1	298.3	298.9	299.0	300.3	301.9	303.4	304.8	306.1	307.2	307.8	308.4	308.8	308.6	308.5	307.6	306.1	304.8	304.7	304.8	304.0	302.6	303.0

Πίνακας 35. Υπολογισμός μέσης ωριαίας θερμοκρασίας για κάθε μετεωρολογικό σταθμό για τις 24/7/2009.