

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
«ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ»

ΚΛΑΔΟΣ II: «ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

«Διερεύνηση Βιοκλιματικών Συνθηκών
Περιοχών του Λεκανοπεδίου της Αττικής
με Σύγχρονες Μεθόδους
Ανάλυσης και επεξεργασίας»



Ρήγα Μαρία
Γεωπόνος

ΑΘΗΝΑ 2011

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

«ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ»

**ΚΛΑΔΟΣ ΙΙ: «ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Διερεύνηση Βιοκλιματικών Συνθηκών Περιοχών του Λεκανοπεδίου της Αττικής με
Σύγχρονες Μεθόδους Ανάλυσης και επεξεργασίας»**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Α. Καμούτσης

ΜΕΛΗ : Α. Χρονοπούλου-Σερέλη

Ι. Τσίρος

ΡΗΓΑ ΜΑΡΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2011

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Περίληψη.....	5
Abstract	6
Πρόλογος.....	7
1.1 Ιστορία της Βιοκλιματολογίας.....	8
1.2 Μικροκλιματικές συνθήκες του αστικού περιβάλλοντος.....	10
1.2.1 Βασικές παράμετροι αστικού μικροκλίματος.....	10
1.2.2 Μικροκλίμα Αθήνας.....	13
1.2.3 Βιοκλιματικές Συνθήκες της Αθήνας κατά τη θερινή περίοδο.....	14
1.3 Αστική θερμική νησίδα (Urban Heat Island)	15
2. Βιομετεωρολογικοί – βιοκλιματικοί δείκτες	16
2.1 Θέρμο-υγρομετρικός δείκτης (THI)	17
2.1.1 Θερμοκρασία αέρος.....	17
2.1.2 Υγρασία αέρος.....	18
2.2 Υπολογισμός δείκτη THI.....	18
2.2.1 Κλάσεις THI	19
2.3 Επίδραση περιβάλλοντος στον δείκτη THI	20
3. Γενικά περί Τηλεπισκόπησης	22
3.1 Εισαγωγή	22
3.2 Ορισμός	23
3.3 Η ιστορία της Τηλεπισκόπησης.....	25
3.4 Φυσικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης	26
3.4.1 Ηλιακή ακτινοβολία και γήινο περιβάλλον.....	27
3.4.2 Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα	28
3.4.3 Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη.....	29
3.5 Χαρακτηριστικά των μέσων τηλεπισκόπησης	32
3.6 Οπτικά Συστήματα	34
3.6.1 Η σειρά των δορυφόρων LANDSAT	34
3.6.2 Χαρακτηριστικά των LANDSAT πρώτης και δεύτερης γενιάς	35
3.6.3 Ο Θεματικός Χαρτογράφος του δορυφόρου LANDSAT 5.....	37
4. Θερμικό υπέρυθρο.....	39
4.1 Θερμικοί σαρωτές.....	41
4.2 Βασικές ιδιότητες της θερμικής ενέργειας	43
4.3 Ερμηνεία των θερμικών εικόνων.....	46
4.4 Χρήσεις των θερμικών-υπέρυθρων εικόνων	48
5. Επεξεργασία και ερμηνεία των οπτικών δεδομένων	51

5.1 Γενικά	51
5.2 Αποκατάσταση ή Προεπεξεργασία	52
5.3 Τεχνικές Βελτίωσης της εικόνας (Image Enhancement)	56
5.3.1 Βελτίωση της αντίθεσης (Contrast Stretching)	56
5.3.2 Λόγοι φασματικών καναλιών (Multispectral band ratioing)	59
5.3.3 Φασματικοί λόγοι για παρατήρηση της βλάστησης	60
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	63
1. Περιοχή μελέτης.....	63
1.1 Περιοχή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών	64
1.2 Περιοχή των Μελισσίων.....	64
1.3 Πεντελικό Όρος.....	65
1.4 Περιοχή του Ελληνικού.....	65
1.5 Περιοχή της Νέας Σμύρνης	66
2. Επεξεργασία των δεδομένων τηλεπισκόπησης	67
2.1 Ανάλυση μοντέλου- Εξαγωγή θερμοκρασίας από θερμικές τιμές	73
2.2 Ανάλυση μοντέλου – Εξαγωγή δείκτη βλάστησης από θερμικές τιμές	78
3. Επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων	82
3.1 Επιλογή σημείων	82
3.2 Περιγραφή οργάνων μέτρησης.....	83
3.3 Περιγραφή θέσεων εγκατάστασης των οργάνων και τρόπος επεξεργασίας δεδομένων.....	83
3.3.1 ΓΠΑ.....	83
3.3.2 Μελίσσια	84
3.3.2.1 Πεντελικό Όρος.....	85
3.3.3 Ελληνικό.....	85
3.3.4 Νέα Σμύρνη	86
4. Αποτελέσματα – Συζήτηση	87
4.1 ΓΠΑ	87
4.1 Μελίσσια	90
4.1.1 Πεντελικό όρος.....	95
4.2 Ελληνικό.....	97
4.3 Νέα Σμύρνη	102
Συμπεράσματα- Προτάσεις	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	110

Περίληψη

Στην εργασία αυτή διερευνήθηκαν οι συνθήκες θερμικής αίσθησης για τον άνθρωπο, σε περιοχές του λεκανοπεδίου της Αττικής με τη χρήση της τηλεπισκόπησης. Συγκεκριμένα έγινε συγκριτική μελέτη των θερμομετρικών συνθηκών, θέσεων που εντοπίζονται εντός των ορίων των Δήμων Αθηναίων, Πεντέλης, Νέας Σμύρνης και Ελληνικού με τη χρήση μετεωρολογικών οργάνων που ήταν εγκατεστημένα σε αυτές και με δορυφορικές εικόνες που προήλθαν από το δορυφόρο Landsat-5 TM. Δημιουργήθηκαν δύο εικόνες μέσω λογισμικού μοντέλου, μία θερμική εικόνα, όπου αποτυπώθηκε η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας και μία εικόνα του δείκτη βλάστησης. Παράλληλα μετρήθηκε η θερμοκρασία από όργανα εδάφους και συγκρίθηκε με την χωρική κατανομή της θερμοκρασίας μέσω της θερμικής εικόνας. Επίσης, εκτός από τη θερμοκρασία, καταγράφηκε και η υγρασία, στη συνέχεια υπολογίστηκε ο θερμο-υγραμετρικός δείκτης THI, που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της θερμικής αίσθησης.

Η σύγκριση της θερμικής εικόνας, με την εικόνα του δείκτη βλάστησης, έδειξε ότι η παρουσία των χώρων πρασίνου, συμβάλουν θετικά στη βελτίωση των θερμικών συνθηκών του αστικού περιβάλλοντος. Οι υψηλότερες τιμές του THI παρατηρήθηκαν στις θέσεις με πυκνή δόμηση, γεγονός που αποδίδεται στη φύση των δομικών υλικών. Αντίθετα στις θέσεις που συμμετέχει το φυτικό υλικό παρατηρούνται βελτιωμένες συνθήκες θερμικής αίσθησης.

Abstract

This paper investigated the conditions of thermal sensation in humans in areas of Attica with the use of remote sensing. Specifically made a comparative study of thermometers conditions, locations identified within the Municipalities of Athens, Penteli, New Smyrni and Elliniko using meteorological instruments were installed in those with satellite images obtained by satellite Landsat-5 TM. Two images were created by software model, a thermal image, which illustrates the spatial distribution of temperature and a vegetation index image. While the temperature was measured by organic soils and compared with the spatial distribution of temperature through the thermal image. Also, unless the temperature was recorded and the humidity, then calculated the thermo-hygrometric index THI, used to determine the thermal sensation.

The comparison of the thermal image, the image of vegetation index showed that the presence of green spaces, contribute positively to the improvement of the thermal conditions of the urban environment. The higher values of THI were seen in places with dense structure, which is attributed to the nature of construction materials. Contrary to the positions involved in plant material observed improved conditions of thermal sensation.

Πρόλογος

Το θερμικό περιβάλλον παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου και την απόδοση του στις καθημερινές του δραστηριότητες. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις θερμικές συνθήκες είναι οι επικρατούσες Μετεωρολογικές-Κλιματικές συνθήκες και η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου. Όταν αναφερόμαστε στην έννοια ‘διαμόρφωση χώρου’ εννοούμε τη γεωμετρία του χώρου, την ύπαρξη ή όχι φυτών και την ύπαρξη δομικών ή άλλων υλικών. Τα τελευταία χρόνια έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες με σκοπό την έκφραση και την ποσοτικοποίηση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου και αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι τεχνολογίας για την περιγραφή της και την διερεύνηση των παραγόντων που συμβάλουν στη διαμόρφωση της. Μέσα από τις μελέτες αυτές προσδιορίστηκαν οι παράμετροι που βελτιώνουν την θερμική άνεση και γίνονται υποδείξεις για το πώς μπορεί να βελτιωθεί το θερμικό περιβάλλον.

Η μεταπτυχιακή αυτή μελέτη αποτελείται από τρία κύρια κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο που περιλαμβάνονται εισαγωγικές βιομετεωρολογικές έννοιες και παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση και αναφορά στους βιοκλιματικούς δείκτες. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται, εισαγωγικές έννοιες όσον αφορά την τηλεπισκόπηση, την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και την μέθοδο μετατροπής τους σε θερμικές εικόνες καθώς και τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης. Επίσης η μέθοδος λήψης των δεδομένων και ο τρόπος επεξεργασίας τους, η επιλογή και χρήση του θερμουγρομετρικού δείκτη ΤΗΗ και ακολούθως γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τέλος στο τρίτο μέρος αναλύονται τα συμπεράσματα της μελέτης και γίνονται σχετικές προτάσεις για τη βελτίωση των συνθηκών περιβάλλοντος των υπό μελέτη σημείων.

Η ανάλυση και επίβλεψη της παρούσας μελέτης έγινε από την κ. Αθανάσιο Καμούτση, Επίκουρο Καθηγητή Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γενικού Τμήματος. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Αικατερίνη Χρονοπούλου-Σερέλη Καθηγήτρια Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γενικού Τμήματος και τον κ. Ιωάννη Τσίρο Αναπληρωτή Καθηγητή Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γενικού Τμήματος για τις υποδείξεις και τις παρατηρήσεις τους. Τέλος εκφράζω τις ευχαριστίες μου στον Διδάκτορα κ. Εμμανουήλ Ψωμιάδη για την πολύτιμη βοήθεια του στην ολοκλήρωση της μελέτης αυτής.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Γενικά περί Βιοκλιματολογίας

1.1 Ιστορία της Βιοκλιματολογίας

Η επιστήμη της Βιοκλιματολογίας έχει σαν κύριο κλάδο της τη Βιοκλιματολογία του Ανθρώπου (Ανθρωποκλιματολογία ή Ιατρική Κλιματολογία) η οποία μελετά σε έκταση το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και τις επιδράσεις πάνω σε αυτό των ακτινοβολιών, της ατμοσφαιρικής σύνθεσης, της ατμοσφαιρικής ηλεκτρικής δραστηριότητας, των μεταβολών του καιρού και των καιροτρόπων ασθενειών.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα αναπτύχθηκε στο βαθμό που την αντιλαμβανόμαστε σήμερα η επιστήμη της Βιοκλιματολογίας. Από την αρχαιότητα υπάρχουν αναφορές στο θέμα του βιοκλιματικού σχεδιασμού με την έννοια της ιδεώδους κατοικίας, εκείνης δηλαδή που προσφέρει δροσιά το καλοκαίρι και ζέστη το χειμώνα (Σωκράτης). Παρατηρούμε ότι στις αρχαίες πόλεις όπως πχ. στις Μυκήνες, σημεία της δόμησή της, ήταν βάση βιοκλιματικών αρχών. Αυτό επισημαίνεται σε σημεία της πόλης όπου εκμεταλλεύονταν τον άνεμο (κατεύθυνση - ένταση) δημιουργώντας από ανοικτούς χώρους στενές οδούς-διόδους εγκλωβίζοντας την μάζα του αέρα με σκοπό την επιτάχυνσή της και την συγκεκριμένη κατεύθυνσή της (φαινόμενο καναλιού) σε σημείο όπου ήθελαν να δημιουργήσουν φυσικό κλιματισμό. Βέβαια οι περισσότερες αναφορές που έχουμε αφορούν το βιοκλιματικό σχεδιασμό στα κτίρια, με άμεσες όμως συνέπειες στους περιβάλλοντες χώρους και στην πολεοδομία της περιοχής, όπως για τα καμπυλόγραμμα και ευθύγραμμα οικήματα στην Δήλο, στην Ιωνία της Μ. Ασίας ή στην Χαλκιδική όπου εκεί μπορεί να ειπωθεί ότι η περίπτωση της Ολύνθου χαρακτηρίζεται αξιοκρατικά ως το τελειότερο «ηλιακό Άστυ». Έχοντας όμως αντιληφθεί οι αρχαίοι Έλληνες τα πλεονεκτήματα του ήλιο-προσανατολισμένου σπιτιού, κατασκεύαζαν τα σπίτια τους προσέχοντας να μην σκιάζουν το γειτονικό και χάραζαν τους δρόμους κατά τρόπο τέτοιο που εξυπηρετούσε την αρχή αυτή. Εξάλλου ο Αισχύλος έγραψε ότι οι πολιτισμένοι άνθρωποι έχουν σπίτια στραμμένα προς τον ήλιο.

Το κλίμα επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό από οποιοδήποτε άλλο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος την υγεία και ευεξία του ανθρώπου, των ζώων και των φυτών. Ειδικά για τον άνθρωπο παράγοντες όπως η περιορισμένη ορατότητα, η νέφωση και οι καταιγίδες προκαλούν ψυχολογικές διαταραχές που απεικονίζονται σε βιολογικές αντιδράσεις. Όμως μια συγκεκριμένη κλιματική μεταβολή όπου σε μια ομάδα του

πληθυσμού είναι ευχάριστη σε μια άλλη μπορεί να είναι αδιάφορη ενώ σε κάποια άλλη να προκαλεί ένταση ή ακόμα να επιφέρει και το θάνατο. Η διαφορετική αντίδραση του κάθε οργανισμού στις μεταβολές των κλιματικών στοιχείων οδήγησε τους επιστήμονες στην εισαγωγή βιοκλιματικών δεικτών του άμεσου περιβάλλοντος για τον καθορισμό της θερμικής άνεσης του οργανισμού.

Το σύνολο των βιομετεωρολογικών δημοσιεύσεων στις αρχές του αιώνα είχαν ως θέμα τους τις σχέσεις μεταξύ του κλίματος και της εκδήλωσης επιδημιών. Το 1911 ο Leffevre πρώτος υπέθεσε ότι το ανθρώπινο σώμα από θερμοδυναμικής πλευράς μπορεί να προσομοιωθεί με μια σφαίρα, δηλαδή αποτελεί ένα πυρήνα που παράγει θερμότητα. Την ίδια χρονιά ο Hill κατασκεύασε το πρώτο καθαρά βιομετεωρολογικό όργανο, το καταθερμόμετρο. Στη δεκαετία του '30 πραγματοποιήθηκαν πειράματα για στρατιωτικούς σκοπούς σε επιστημονικά εργαστήρια ώστε να βρεθούν οι σχέσεις μεταξύ των φυσιολογικών μεταβλητών, του μεταβολισμού, της ενδυμασίας, της τροφής και των μετεωρολογικών παραμέτρων. Το 1956 ιδρύεται η Παγκόσμια Βιομετεωρολογική Εταιρεία (International Society of Biometeorology, ISB), με σκοπό την ανταλλαγή απόψεων όπως και την προώθηση ερευνητικών μελετών και εφαρμογών των αποτελεσμάτων τους.

Σύμφωνα με όλες τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα για τις αντιδράσεις του ανθρώπινου οργανισμού στις κλιματικές μεταβολές υπάρχουν τέσσερις τρόποι προσέγγισης του προβλήματος, η φυσική προσομοίωση, οι πειραματικές μελέτες, οι μελέτες επιδημιολογίας και τα μαθηματικά μοντέλα. Η χρήση μαθηματικών μοντέλων ξεκίνησε τη δεκαετία του '60 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα υπολογίζοντας δείκτες που λαμβάνουν υπ' όψη το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου. Πρόοδο στην ανάπτυξη των μοντέλων αποτέλεσε η εισαγωγή φυσιολογικών στοιχείων όπως είναι η μάζα του σώματος, η κυκλοφορία του αίματος, η θερμοκρασία και υγρασία του δέρματος, η εναλλαγή θερμότητας στις αρτηρίες κ.λ.π. (Wissler, 1963, Stolwijk, 1970). Οι Berglund και Stolwijk (1978) σύγκριναν και αξιολόγησαν τα σπουδαιότερα μοντέλα και κατέληξαν ότι το ενεργειακό ισοζύγιο περιγράφει την πλήρη επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος του ανθρώπου.

Τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες οδήγησαν σε θερμικούς δείκτες που προσομοιάζουν το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος με μια μαθηματική σχέση, όπως αυτή του Fanger (1972), των Jendritzky κ.α (1979), του Horpe (1984) και του Hammer (1985). Συνεπώς ο καλύτερος βιοκλιματικός δείκτης για τον άνθρωπο θα είναι μια κλιματική ταξινόμηση με κλιματόμετρο τον ίδιο τον άνθρωπο (Ζαμπάκας, 1981).

1.2 Μικροκλιματικές συνθήκες του αστικού περιβάλλοντος

1.2.1 Βασικές παράμετροι αστικού μικροκλίματος

Μεταξύ των τοπικών κλιμάτων, όπως έχουν τροποποιηθεί από τον άνθρωπο, το αστικό είναι το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα. Ο κόσμος μας, αστικοποιείται με πολύ γρήγορους ρυθμούς για αυτό και τα χαρακτηριστικά αυτού του είδους τοπικού κλίματος γίνονται πολύ εμφανή (Unger, 1999).

Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του τοπικού αστικού κλίματος. Η φυσική ισορροπία ακτινοβολίας μεταβάλλεται με τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στις ιδιότητες του υποστρώματος και στη σύσταση της ατμόσφαιρας. Επίσης, οι δομημένες περιοχές αποτελούν εμπόδιο στην κίνηση του αέρα, τροποποιώντας τη φυσική ροή. Τέλος, οι διαδικασίες καύσης (θέρμανση, κυκλοφορία οχημάτων, βιομηχανία) εκπέμπουν θερμότητα, υδρατμούς και ρύπους στην ατμόσφαιρα (Unger, 1999). Γενικώς το αστικό κλίμα συγκρινόμενο με αυτό των γειτονικών μη αστικών περιοχών, παρουσιάζει μικρότερη ηλιοφάνεια και ταχύτητα ανέμου, μεγαλύτερη θερμοκρασία, νέφωση, βροχόπτωση και ατμοσφαιρική ρύπανση (Χρονοπούλου-Σερέλη, 1996).

Συγκεκριμένα, σε ένα αστικό μικροκλίμα παρατηρείται μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά 15-20%. Το καλοκαίρι, η μείωση της υπερϊώδους ακτινοβολίας σε σχέση με γειτονικές περιοχές φτάνει το 5% ενώ το χειμώνα το 30%. Μείωση παρατηρείται και στις ώρες ηλιοφάνειας (5-15%).

Η μέση ταχύτητα του ανέμου στις πόλεις ελαττώνεται κατά 10-20%, λόγω των πυκνών τεχνητών εμποδίων που έχουν διαμορφωθεί στην επιφάνειά τους.

Αντίθετα, η θερμοκρασία του αέρα στις αστικές περιοχές, εμφανίζεται αυξημένη κατά 0,5-1,5 °C, σε ετήσια βάση, ενώ ορισμένες μέρες η διαφορά αυτή με γειτονικές, μη αστικές περιοχές, μπορεί να φτάσει τους 6 °C. Η άνοδος της θερμοκρασίας οφείλεται στην πυκνή δόμηση που αποτελείται από κτίρια και ασφαλτοστρωμένους δρόμους, τον υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο καθώς και στην ύπαρξη παρακείμενων βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Τέλος στις αστικοποιημένες περιοχές οι ανοδικές κινήσεις των αερίων μαζών, επιφέρουν αύξηση της νεφοκάλυψης και των βροχοπτώσεων κατά 5-10%. Πολύ

αυξημένα εμφανίζονται και τα ποσοστά της ομίχλης ιδιαίτερα τον χειμώνα (Χρονοπούλου, 1996).

Μικροκλιματικές διαφοροποιήσεις παρατηρούνται ωστόσο και μέσα στο ίδιο αστικό περιβάλλον εξαιτίας της τοπικής διαμόρφωσης των χώρων και της παρουσίας ή όχι πρασίνου. Οι κυριότερες παράμετροι των τοπικών διαφοροποιήσεων του αστικού μικροκλίματος είναι οι εξής:

α) Τοπογραφία

Η κλιματική διαφοροποίηση μέσα σε ένα αστικό περιβάλλον προκαλείται πολλές φορές από την τοπογραφία της περιοχής. Πολύ σημαντική στη διαμόρφωση του μικροκλίματος είναι η γειτνίαση μιας πόλης με τη θάλασσα ή με οροσειρά. Επίσης διαφορετικές συνθήκες επικρατούν στις πλευρές ενός λόφου, που πιθανώς υπάρχει σε μια αστική περιοχή (Χρονοπούλου-Σερελη και Ουζιέλ, 1997).

β) Εδαφολογία/Δομικά υλικά/Κάλυψη εδάφους

Η θερμοκρασία του αέρα εξαρτάται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τις επιφάνειες με τις οποίες έρχεται σε επαφή.

Οι σύγχρονες αστικοποιημένες περιοχές συνδυάζουν ασφαλτοστρωμένους δρόμους, πεζοδρόμια από τσιμέντο και πλάκες, υπαίθριους χώρους στάθμευσης και κτίρια. Οι επιφάνειες αυτές επειδή είναι αρκετά σκούρες απορροφούν μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία τους και η θερμοκρασία του αέρα πάνω από αυτές. Έτσι δημιουργούνται οι αστικές θερμικές νησίδες (Yilmaz et al., 2007). Τα δομικά αυτά υλικά παρουσιάζουν αργό ρυθμό απελευθέρωσης της θερμότητας κατά τις νυχτερινές ώρες. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη τους θερμοχωρητικότητα και στο μειωμένο ρυθμό εκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Σαν αποτέλεσμα, τα παραπάνω υλικά αυξάνουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Kamoutsis et al, 2010; Kassomenos et al, 2006).

Εκτός από το δομικό στοιχείο το μικροκλίμα μιας αστικής περιοχής μπορεί να επηρεαστεί και από την εδαφολογική της σύσταση. Αργιλώδη εδάφη παρουσιάζουν μεγάλη υδατοχωρητικότητα σε σχέση με τα αμμώδη με αποτέλεσμα να συγκρατούν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας και να παρουσιάζουν σταθερότερη θερμοκρασία (Χρονοπούλου-Σερελη και Ουζιέλ, 1997). Η οδόστρωση του εδάφους προτείνεται να κατασκευάζεται από ανοιχτόχρωμα, πορώδη υλικά. Λεπτά στρώματα οδόστρωσης ή οδοστρώματα αναμεμιγμένα με πράσινες επιφάνειες για την προώθηση της εξάτμισης του εδάφους κρίνονται επίσης κατάλληλα, ειδικά σε γεωγραφικά πλάτη των οποίων τα

καλοκαίρια δεν είναι ξερά (Ali-Toudert and Mayer, 2003). Επίσης, επιφάνειες που καλύπτονται από γρασίδι εμφανίζονται δροσερότερες από τις δομημένες. Σύμφωνα με μελέτη που έλαβε χώρα κατά την καλοκαιρινή περίοδο, το άνυδρο γρασίδι παρουσιάζει κατά μέσο όρο έως και 5 °C χαμηλότερη θερμοκρασία από την άσφαλτο ενώ το γυμνό έδαφος εμφανίζει ενδιάμεσες τιμές (Yilmaz et al., 2007).

γ) Διαμόρφωση ελεύθερων επιφανειών (πλατείες, πάρκα, άλση)

Σε ένα αστικό περιβάλλον οι φυτοκαλυμμένες επιφάνειες διακρίνονται σε πλατείες, πάρκα και άλση, ανάλογα με το πώς έχουν διαμορφωθεί.

Οι πλατείες αποτελούν χώρους μικρής έκτασης που καλύπτονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από δομικά υλικά (πλάκες, μπετόν, άσφαλτο). Ανάλογα με το μέγεθός τους διακρίνουμε τις πλατείες μικρής, μέσης και μεγάλης επιφάνειας. Οι μικρές πλατείες (μεγέθους έως 1.000 m²) έχουν μεγάλο ποσοστό πλακόστρωσης, μηδαμινή βλάστηση και συχνά υπερθερμαίνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η θερμοκρασία τους δεν διαφοροποιείται σημαντικά κατά τις νυχτερινές ώρες. Οι πλατείες μεσαίου μεγέθους (γύρω στα 5.000 m²) παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα βλάστησης. Ως αποτέλεσμα την ημέρα παρατηρείται κατά τόπους έντονη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας σε σχέση με τον περιβάλλοντα δομημένο χώρο. Τη νύχτα η συμβολή της πλατείας στη βελτίωση των θερμομετρικών συνθηκών της γύρω περιοχής είναι ασήμαντη. Τέλος οι πλατείες μεγάλου μεγέθους (10.000 m²) παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης που απαρτίζεται από δέντρα, εποχιακά φυτά και χλοοτάπητα. Και εδώ παρατηρείται έντονη τοπική διαφοροποίηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας την ημέρα ενώ τη νύχτα η θερμοκρασία διαφοροποιείται σημαντικά από τον περιβάλλοντα χώρο, ιδιαίτερα προς το κέντρο της πλατείας.

Τα πάρκα είναι αρδευόμενοι χώροι με καλλωπιστική δενδρώδη, θαμνώδη και ποώδη βλάστηση. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν τα πάρκα που αποτελούνται από διαμορφωμένους χώρους πυκνής πολώροφης βλάστησης χωρίς την παρουσία δομικού στοιχείου ενώ στη δεύτερη είναι εμφανής και η παρουσία δομικών υλικών λόγω της ύπαρξης ασφαλτοστρωμένων δρόμων, πλακόστρωτων τμημάτων και κτιριακών εγκαταστάσεων. Αυτά λειτουργούν ως συλλέκτες θερμότητας το καλοκαίρι, εμποδίζοντας σημαντικά την ευεργετική επίδραση της βλάστησης στον περιβάλλοντα χώρο σε σχέση με την πρώτη κατηγορία πάρκων.

Τα άλση χωρίζονται σε μικρά (έως 50.000 m²) και μεγάλα (άνω των 100.000 m²). Και στις δύο περιπτώσεις αυτά αποτελούνται από ξηροφυτική δενδρώδη και θαμνώδη βλάστηση. Τα μικρά άλση συμπληρώνονται και από καλλωπιστικά είδη. Στο εσωτερικό

τους παρουσιάζεται διαφοροποίηση στις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας ειδικά στα σημεία που επικρατεί πυκνή βλάστηση. Τη νύχτα παρουσιάζεται μείωση της θερμοκρασίας και αύξηση της υγρασίας. Τα μικρά άλση έχουν ευεργετική επίδραση στις μικροκλιματικές συνθήκες της γύρω περιοχής στην περίπτωση που επικρατεί αραιή και χαμηλή δόμηση. Τα μεγάλα άλση αποτελούνται κυρίως από βλάστηση πεύκων και θάμνων μεσογειακής χλωρίδας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας υπάρχει μεταβολή των θερμομετρικών και υγρομετρικών συνθηκών σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο. Τη νύχτα η διαφοροποίηση γίνεται μεγαλύτερη με σαφή μείωση της θερμοκρασίας και αύξηση της σχετικής υγρασίας. Τα μεγάλα άλση προσφέρουν ευεργετική επίδραση στις βιοκλιματικές συνθήκες της γύρω δομημένης περιοχής μικρότερη ωστόσο από εκείνη των πάρκων (Χρονοπούλου-Σερέλη και Ουζιέλ, 1997).

1.2.2 Μικροκλίμα Αθήνας

Το λεκανοπέδιο της Αθήνας, αποτελεί θερμική νησίδα. Ο Εθνικός κήπος, οι πλαγιές των γύρω βουνών και οι λόφοι στο κέντρο της πόλης διακόπτουν τις ζώνες υψηλής θέρμανσης καθώς είναι πολύ πιο δροσερά. Η ανατολική πλευρά της Αθήνας εμφανίζει ευνοϊκότερες συνθήκες περιβάλλοντος σε σχέση με τη δυτική λόγω της επίδρασης του Υμηττού και της μεγαλύτερης ποσότητας διάσπαρτου πρασίνου. Αντίθετα οι βιομηχανικές και οι ανοιχτές περιοχές με χαμηλή δόμηση στο δυτικό τμήμα της Αθήνας είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένες.

Το πεδίο του Άρεως δεν επιδρά κλιματικά στη γύρω δομημένη περιοχή λόγω της διαμόρφωσης του και της πυκνής και υψηλής δόμησης που το περιβάλλει. Οι δροσερές αέριες μάζες που κινούνται καθοδικά στις πλαγιές του Λυκαβηττού επηρεάζουν την αραιοδομημένη περιοχή εκεί που οι δρόμοι έχουν καθοδική διεύθυνση.

Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζεται από την πυκνότητα και το ύψος της δόμησης. Για όλες σχεδόν τις ώρες της ημέρας παρατηρείται μείωση στις ταχύτητες του ανέμου από τις αραιοδομημένες περιοχές προς τις περιοχές υψηλής και πυκνής δόμησης. Έχει παρατηρηθεί ότι η διεύθυνση του επικρατούντος ανέμου στην Αθήνα, συμπίπτει με την κατεύθυνση κεντρικών οδικών αρτηριών. Στους στενούς δρόμους και τα πάρκα, η ταχύτητα του ανέμου είναι αρκετά εξασθενημένη.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα από την κυκλοφορία των οχημάτων είναι αρκετά υψηλή. Κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, σε πολλές περιοχές της Αθήνας παρατηρείται άνοδος του μονοξειδίου του άνθρακα με ταυτόχρονη μείωση της

ανταλλαγής αερίων μαζών. Το μονοξείδιο του άνθρακα τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας αυτοκινήτων, στο κέντρο της πόλης ξεπερνάει κατά πολύ τις ισχύουσες οριακές τιμές. Επίσης σημαντικές ποσότητες μολύβδου έχουν παρατηρηθεί στα φύλλα των δέντρων και των θάμνων της Αθήνας, που βρίσκονται κοντά στους δρόμους και συνδέονται άμεσα με την κυκλοφοριακή ρύπανση.

Η θάλασσα επηρεάζει σημαντικά τις κλιματικές συνθήκες της Αθήνας. Όταν επικρατούν νότιοι άνεμοι δημιουργείται έντονη θερμοκρασιακή διαφοροποίηση στο λεκανοπέδιο της Αττικής με τις παραλιακές περιοχές να είναι δροσερότερες. Επίδραση της θάλασσας στο εσωτερικό της πόλης διαπιστώνεται σε περιοχές με φαρδείς δρόμους παράλληλους προς τη διεύθυνση των ανέμων. Αντίθετα με την επικράτηση βορειών ανέμων οι παραλιακές περιοχές παρουσιάζονται αρκετά θερμές και έτσι επέρχεται εξομάλυνση των θερμοκρασιακών διαφοροποιήσεων. Αυξημένες υγρομετρικές συνθήκες παρατηρούνται τις νυχτερινές ώρες στην παραλία (Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας, 2010).

Το μετεωρολογικό και κλιματολογικό πρότυπο των παράκτιων ελληνικών περιοχών που περιβάλλουν την πόλη της Αθήνας, μπορεί να διαιρεθεί ικανοποιητικά σε δύο κύριες εποχές :

(α) Την ψυχρή περίοδο, από Οκτώβριο έως Μάρτιο, όταν οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες στην Αθήνα κυμαίνονται μεταξύ 10 και 20 °C και οι μέσες μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες μεταξύ 14 και 25 °C, με μέσες ημερήσιες τιμές σχετικής υγρασίας μεταξύ 63 και 71 %.

(β) Την θερμή περίοδο, από Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο, όταν οι μέσες ημερήσιες και μέσες μέγιστες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 17 °C έως 29 °C και από 21 έως 33 °C αντίστοιχα. Η ημερήσια σχετική υγρασία είναι αξιοσημείωτα χαμηλότερη, και κυμαίνεται μεταξύ 43 και 58% (Tselepidaki et al, 1995).

1.2.3 Βιοκλιματικές Συνθήκες της Αθήνας κατά τη θερινή περίοδο

Η περίοδος κατά την οποία μπορεί να υπάρξει δυσφορία στην Αθήνα, βρίσκεται μεταξύ Ιουνίου και Σεπτεμβρίου όταν η μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τους 29 °C. Κατά την περίοδο αυτή οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες βασίζονται πολύ στα τοπικά μεσογειακά μελτέμια, τα οποία προκαλούνται από το συνδυασμό του αντικυκλώνα που επικεντρώνεται πάνω από την Ανατολική Ευρώπη ή τα

Βαλκάνια, το χαμηλό βαρομετρικό πάνω από τη Μέση Ανατολή και του συστήματος υψηλών πιέσεων που καλύπτουν την Ελληνική επικράτεια (U.K. Air Ministry 1962; Tselepidaki et al., 1995).

1.3 Αστική θερμική νησίδα (Urban Heat Island)

Το αστικό τοπίο δημιουργεί ένα τοπικό κλίμα διαφορετικό από αυτό του περιβάλλοντος αγροτικού τοπίου. Η πιο καλά τεκμηριωμένη επίδραση είναι η αστική θερμική νησίδα. Οι μελέτες εμφανίζουν διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ αστικών-αγροτικών περιοχών μέχρι 12°C κατά τη διάρκεια ανέφελων και ήρεμων νυκτών (Oke, 1981). Οι πόλεις με ποικίλη χρήση εδάφους που τις χαρακτηρίζει, εντούτοις, συχνά εμφανίζουν ένα συνονθύλευμα θερμών και ψυχρών περιοχών, δεδομένου ότι οι χρήσεις εδάφους σε συγκεκριμένες αστικές περιοχές αλλάζουν, όπως παραδείγματος χάριν, η αλλαγή μεταξύ του πάρκου και της γειτνιάζουσας δομημένης περιοχής μπορεί να παραγάγει διαφορές θερμοκρασίας μέχρι 7°C (Spronken-Smith and Oke, 1998; Urmanis et al., 1998).

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας αποκτά ιδιαίτερη σημασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, δεδομένου ότι οι υψηλές θερμοκρασίες επιδρούν στο αστικό περιβάλλον. Η διαφορά της θερμοκρασίας είναι συνήθως μεγαλύτερη τη νύκτα σε σχέση με τη μέρα, διότι τα κτίρια και η άσφαλτος συσσωρεύουν θερμότητα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, την οποία εκλύουν τη νύκτα.

Υπάρχουν διάφορες αιτίες για την εμφάνιση του φαινομένου. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, παρατηρείται μια αλλαγή στη χρήση δομικών υλικών στις πόλεις, όπως το σκυρόδεμα, το γυαλί και η άσφαλτος, τα οποία έχουν διαφορετικές θερμικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται πολύ συχνότερα σε σχέση με τις περιαστικές περιοχές. Επιπλέον η πυκνότητα των ψηλών κτιρίων στις σύγχρονες πόλεις μέσω της αντανάκλασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας εντείνει τη θέρμανση της πόλης κατά τη διάρκεια της ημέρας και εμποδίζει την αποτελεσματική ψύξη της κατά τη διάρκεια της νύκτας. Αυτό προκαλεί μια αλλαγή στην ενεργειακή ισορροπία της αστικής περιοχής, που οδηγεί στην εμφάνιση υψηλότερων θερμοκρασιών σε σχέση με τις περιαστικές περιοχές. Η ενεργειακή ισορροπία επηρεάζεται επίσης από την έλλειψη βλάστησης στις αστικές περιοχές. Οι περιοχές πρασίνου μέσα ή κοντά στις πόλεις μπορούν να μετριάσουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, δεδομένου ότι τα δέντρα και η βλάστηση δροσίζουν τον αέρα στην πόλη μέσω της σκίασης και της

διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής που μπορούν να οδηγήσουν στη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1°-5°C.

Το κλίμα μιας συγκεκριμένης πόλης εξαρτάται από πολλούς φυσικούς παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος, η τοπογραφία, το είδος κάλυψης της επιφάνειας του εδάφους και η παρουσία υδάτινων περιοχών. Δεδομένου ότι μια πόλη αυξάνεται και επεκτείνεται, προστίθενται νέοι παράγοντες ανθρωπογενούς χαρακτήρα όπως η ρύπανση και η έκλυση θερμότητας στο περιβάλλον, προκαλούμενη από παραγωγή ενέργειας. Αμφότεροι οι παράγοντες σε συνδυασμό με τα αστικά δομικά υλικά όπως μπετόν, άσφαλτος, τούβλα και πέτρα διαμορφώνουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε αστικές, σε σχέση με μη αστικές περιοχές.

2. Βιομετεωρολογικοί – βιοκλιματικοί δείκτες

Βασικός σκοπός της βιομετεωρολογίας ήταν και είναι η πρόγνωση της θερμικής άνεσης του ανθρώπου για μια δεδομένη μετεωρολογική κατάσταση. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού αναπτύχθηκαν πάρα πολλοί βιομετεωρολογικοί δείκτες προκειμένου να βρεθούν σχέσεις μεταξύ των φυσιολογικών μεταβλητών, του μεταβολισμού, της ενδυμασίας, της τροφής και των μετεωρολογικών παραμέτρων.

Οι πρώτοι βιοκλιματικοί δείκτες οι οποίοι αναπτύχθηκαν ήταν ημιεμπειρικοί και περιορίζονταν στον υπολογισμό του συνδυασμένου αποτελέσματος της θερμοκρασίας αέρα, της υγρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου στην αίσθηση του ατόμου όταν αυτό βρισκόταν σε ηρεμία. Τα τελευταία χρόνια εισήχθησαν βιοκλιματικοί δείκτες οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τον τύπο της ενδυμασίας, την ανθρώπινη δραστηριότητα, το ρυθμό μεταβολισμού και την ηλιακή ακτινοβολία.

Η πλήρης και ολοκληρωμένη περιγραφή των θερμικών επιδράσεων του περιβάλλοντος στον άνθρωπο δίνεται με τη μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου του ανθρώπινου οργανισμού, όπου συναντώνται όλες οι θερμικές μεταβλητές και αντικατοπτρίζονται κάθε φορά με την μορφή ενεργειακών ροών.

Η περιγραφή του θερμικού περιβάλλοντος έχει μελετηθεί με απλούς ποσοτικούς βιομετεωρολογικούς δείκτες, οι οποίοι σε γενικές γραμμές διακρίνονται ανάλογα με τις θερμοκρασιακές συνθήκες (Matzarakis, 1995):

A) Σε δείκτες που αναφέρονται στο ψυχρό περιβάλλον, όπου έχουμε το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου, όπως π.χ οι δείκτες απόψυξης οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της τυρβώδους μεταφοράς αισθητής θερμότητας.

B) Σε δείκτες οι οποίοι αναφέρονται στο θερμό περιβάλλον, όπου γίνεται ο συνδυασμός της θερμοκρασίας του αέρα με διάφορους δείκτες υγρασίας για τη μελέτη της εξάτμισης, που προκαλείται από το ανθρώπινο σώμα.

2.1 Θέρμο-υγρομετρικός δείκτης (THI)

Στη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε ο θερμο-υγρομετρικός δείκτης (THI), ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί σε αστικά περιβάλλοντα (Λαμία – Αθήνα), αξιοποιώντας ως δεδομένα εισόδου την θερμοκρασία και την υγρασία αέρος (Kamoutsis et al, 2007; Matsoukis et al, 2009).

2.1.1 Θερμοκρασία αέρος

Η βασική περιβαλλοντική παράμετρος που επηρεάζει τη θερμική αίσθηση περισσότερο από κάθε άλλη είναι η θερμοκρασία αέρος (Parsons, 1993).

Η θερμοκρασία αέρα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μετεωρολογικά κλιματολογικά μεγέθη για την περιγραφή ενός τόπου ή μιας περιοχής. Επηρεάζει την θερμική αίσθηση με πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες αποτελεί το κλειδί για το ενεργειακό ισοζύγιο μας, την αίσθηση του ενεργειακού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα.

Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μια τιμή της θερμοκρασίας που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών της ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του.

Πιο αναλυτικά, η θερμοκρασία επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας με το περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία, ενώ αυξάνονται οι απώλειες θερμότητας λόγω εφίδρωσης.

2.1.2 Υγρασία αέρος

Ως ορισμός η υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης εκφράζεται ως ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Συνοπτικά η υγρασία του αέρα, επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματος του ανθρώπου:

- Τον μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό την μορφή αερίων μέσω του δέρματος
- Τον μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- Τον μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα. Αν το περιεχόμενο του αέρα είναι υψηλό σε υδρατμούς (σχετική υγρασία > 60-70%) και η θερμοκρασία του αέρα υψηλή, το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Ωστόσο η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδρατμών, και έτσι ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντάς το. Η κατάσταση αυτή οδηγεί το ανθρώπινο σώμα να αισθάνεται τον αέρα πιο ζεστό απ' όσο πραγματικά είναι και η ατμόσφαιρα μοιάζει να είναι κολλώδης.

Αντίθετα, το μικρό περιεχόμενο υδρατμών του αέρα (σχετική υγρασία < 30%) καθιστά εφικτή την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υγρών, άρα και του ιδρώτα του δέρματος.

2.2 Υπολογισμός δείκτη THI

Ο θερμοϋγρομετρικός δείκτης THI είναι ένας εναλλακτικός τρόπος για τη μέτρηση της θερμικής αίσθησης (Besancenot, 1990). Για τον υπολογισμό του THI χρησιμοποιείται ο τύπος:

$THI=t-[(0.55-0.0055Xf)X(t-14.5)]$, όπου

t : η θερμοκρασία αέρα σε βαθμούς Κελσίου

f: η σχετική υγρασία σε ποσοστό επί τοις εκατό (Kamoutsis et al. 2007).

2.2.1 Κλάσεις THI

Ο THI, μετράται σε βαθμούς Κελσίου, °C, και δείχνει ότι οι ιδανικές συνθήκες διαβίωσης για τους ανθρώπους είναι μεταξύ 15-20 °C. Οι ανεκτές τιμές φτάνουν μέχρι τους 26.5 °C ενώ για επίπεδα μεγαλύτερα από 28.5 °C, παρατηρείται εξαιρετική δυσφορία, η οποία πιστεύεται ότι οδηγεί σε καταστάσεις νοσηρότητας (Besancenot, 1990).

Ο δείκτης THI, χρησιμοποιήθηκε αρχικά, για να προσδιοριστεί η δυσφορία εξαιτίας της καταπόνησης λόγω ζέστης αλλά από εκεί και έπειτα έχουν διευρυνθεί τα όρια κλιματικών συνθηκών για το οποία χρησιμοποιείται. Σε τιμές του THI χαμηλότερες από 15 °C, η εξάτμιση που γίνεται στην επιφάνεια του δέρματος και με απουσία του ιδρώτα, απομακρύνει θερμότητα από το σώμα έτσι ώστε να απαιτείται άμυνα απέναντι στο κρύο. Άρα κάτω από τους 15 °C υπάρχει μια σειρά κατηγοριών όπου απαιτούνται αυξανόμενοι θερμό-γενετικοί μηχανισμοί για να αντιμετωπίσουν την καταπόνηση λόγω κρύου. Η αντίθετη διαδικασία, συμβαίνει στην περίπτωση που οι τιμές του THI είναι μεγαλύτερες από 20 °C καθώς ενεργοποιείται το σύστημα εφίδρωσης για την πρόληψη της υπερθέρμανσης του σώματος. Όσο υψηλότερες τιμές παίρνει ο THI, τόσο πιο αναποτελεσματικός γίνεται αυτός ο μηχανισμός, και έτσι έχει εισαχθεί μια σειρά κατηγοριών πάνω από τη «ζώνη του άνετου», όπου η καταπόνηση λόγω θερμότητας αυξάνεται (Unger, 1999). Στον Πίνακα 1 σημειώνονται οι κλάσεις του δείκτη THI.

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση της ανθρώπινης θερμικής άνεσης σε σχέση με τον θερμο-υγρομετρικό δείκτη (THI) (Conti et al., 2005, Toy et al., 2007; Kamoutsis et al. 2007).

<i>Κλάσεις ανθρώπινης θερμικής αίσθησης σύμφωνα με τον THI</i>	<i>Τιμές THI (°C)</i>
Υπέρ-παγερό	<-40
Παγερό	-39.9 to -20
Υπερβολικά ψυχρό	-19.9 to -10
Πολύ ψυχρό	-9.9 to -1.8
Ψυχρό	-1.7 to +12.9
Δροσερό	+13 to 14.9
Άνετο	+15 to +19.9
Ζεστό	+20 to +26.4
Πολύ ζεστό	+26.5 to +29.9
Υπέρθερμο	>+30

2.3 Επίδραση περιβάλλοντος στον δείκτη THI

Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στο έδαφος, η οποία επηρεάζει απευθείας τους ανθρώπους, οφείλεται στην πρόσληψη του ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια του εδάφους (Gedzelman, 1980). Ο λόγος είναι η βασική αρχή θέρμανσης της ατμόσφαιρας, ότι δηλαδή ο αέρας θερμαίνεται από τη βάση της επιφάνειας του εδάφους προς την κορυφή. Γι αυτό ο ρυθμός θέρμανσης εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους. Από αυτή την άποψη η ανάκλαση της επιφάνειας παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτό το φαινόμενο. Γενικά, οι σκούρες και υγρές επιφάνειες έχουν μικρότερη ικανότητα ανάκλασης σε σχέση με τις ανοιχτόχρωμες και ξηρές. (Yilmaz et al., 2007).

-θερμική άνεση σε διαφορετικές εδαφικές επιφάνειες

Η μορφή της εδαφοκάλυψης επηρεάζει σημαντικά τη θερμοκρασία του αέρα κοντά στο έδαφος (Χρονοπούλου- Σερέλη κα, 2002). Σύμφωνα με αποτελέσματα μελέτης σύγκρισης του δείκτη THI σε γυμνό έδαφος, γρασίδι και άσφαλτο, στην περίπτωση γυμνού εδάφους η κλάση «Άνετο» εμφανίζεται συχνότερα. Ωστόσο η κλάση «Ζεστό» εμφανίζεται συχνότερα από ότι στο γρασίδι. Η κλάση «Ζεστό» στην άσφαλτο υπερτερεί ποσοτικά σε σχέση με τις άλλες επιφάνειες.

Η διασπορά των «άνετων» ωρών, πάνω από το έδαφος δε θεωρείται πλεονεκτική καθώς περιλαμβάνει εκείνες τις ώρες που η ανθρώπινη δραστηριότητα εμφανίζεται μειωμένη. Επίσης στο γρασίδι η αναλογία των «ζεστών» ωρών είναι μικρότερη από τις

υπόλοιπες επιφάνειες. Η δροσερότερη περιοχή βρέθηκε να είναι πάνω από την επιφάνεια του γρασιδιού, με τιμή δείκτη 17 °C, ακολουθεί το έδαφος ,με 18 °C και η ασφαλτος με 22 °C (Yilmaz et al., 2007).

Επίσης σε εδαφικές θέσεις που αποκαλύπτεται το μητρικό πέτρωμα, η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται καθώς αυτό συσσωρεύει θερμότητα δεσμεύοντας την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας και αποδίδοντας την ως θερμική κατά τη διάρκεια της νύχτας. (Χρονοπούλου- Σερέλη κα, 2002).

-θερμική άνεση και βλάστηση

Οι ορεινές δασικές περιοχές χαρακτηρίζονται από ευνοϊκότερες περιβαλλοντικές συνθήκες σε σχέση με τις αστικές περιοχές, τους ζεστούς μήνες του έτους. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στις ορεινές κοινότητες της Ναυπακτίας με σκοπό την εκτίμηση των βιομετεωρολογικών συνθηκών της περιοχής, ανιχνεύτηκαν ευνοϊκές βιομετεωρολογικές συνθήκες (μεγάλο ποσοστό της κλάσης «Άνετο», με βάση τις τιμές του δείκτη THI). Η περιοχή αυτή καλύπτεται από έλατα και καστανιές (Kamoutsis et al., 2007). Είναι γνωστό ότι το δασικό μικροκλίμα επηρεάζεται από την στέγη που δημιουργεί το πυκνό φύλλωμα των δασικών δέντρων.

Γενικά καλύτερες συνθήκες θερμικής αίσθησης έχουν παρατηρηθεί σε διαμορφώσεις όπου συμμετέχει δενδρώδης βλάστηση σε σχέση με κτιριακές εγκαταστάσεις. Αυτό αποδίδεται στη σκίαση που δημιουργεί το φύλλωμα των δένδρων και έχει ως συνέπεια τη μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας στο χώρο (Ρήγα κα, 2010). Στην περίπτωση μια πευκώδους φυτοκαλυμμένης περιοχής (*Pinus halepensis* Mill), τα κλαδιά και οι πευκοβελόνες αντανακλούν και απορροφούν μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, επιτρέποντας μικρότερο ποσοστό ηλιακής ενέργειας να φτάσει στο έδαφος, κάτω από αυτά (Matsoukis et al, 2010). Ένα μέρος της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ενέργεια μεταβολισμού, αντί θερμική ενέργεια, εξαιτίας της άφθονης βιομάζας με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η άνοδος της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα, την ημέρα. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών η αποδιδόμενη, μεγάλου μήκους κύματος, ακτινοβολία από το έδαφος, εγκλωβίζεται κάτω από τη στέγη του φυλλώματος και ένα μεγάλο μέρος αυτής επιστρέφει στο έδαφος (Matsoukis et al, 2010; Renaud and Rebetez, 2009).

3. Γενικά περί Τηλεπισκόπησης

3.1 Εισαγωγή

Η εικόνα που είχε ο άνθρωπος για την γη και το σύμπαν που την περιβάλλει, μέχρι την δεκαετία του '60, βασιζόταν σε παρατηρήσεις και φωτογραφίες που χρησιμοποιούσαν το ορατό φάσμα. Η παρατήρηση αυτή από απόσταση λαμβανόταν μόνο από αεροσκάφη και τηλεσκόπια. Ήταν λοιπόν επιτακτική ανάγκη να προωθηθούν δυνατότητες παρατήρησης της γης και του σύμπαντος σε μήκη κύματος πολύ μεγαλύτερα από αυτά του ορατού φάσματος.

Κατά τις δεκαετίες του '70 και '80 και στις αρχές της δεκαετίας του '90 ξεκίνησε η δυναμική εξέλιξη των παρατηρήσεων από το διάστημα με πάρα πολλές εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Η βασική πηγή πληροφόρησης που προκύπτει από αυτού του είδους την παρατήρηση, είναι οι τηλεπισκοπικές εικόνες παρακολούθησης της Γης από ειδικά σχεδιασμένους δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από αυτή.

Σήμερα έχει γίνει σχεδόν απαραίτητη η συμβολή και συνδρομή, στις επιστημονικές έρευνες, των τηλεπισκοπικών προϊόντων, είτε στα προκαταρκτικά τους στάδια, είτε και κατά την διάρκεια των υπαίθριων εργασιών.

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί το απαραίτητο εργαλείο που συμπληρώνει την εμπειρία, τον ορθολογισμό και την ειδική επιστημονική γνώση, ιδιαίτερα στην διαδικασία αναγνώρισης περιβαλλοντικών προβλημάτων και αλλαγών. Αυτό συμβαίνει γιατί από μόνες τους αυτές οι γνώσεις δεν είναι αρκετές και μόνο με την συμβολή της Τηλεπισκόπησης, ο χρήστης των δεδομένων της μπορεί να συνειδητοποιήσει καλύτερα τον κόσμο που τον περιβάλλει και μπορεί να συνδυάσει τα φυσικά, τεχνικά, οικονομικά, κοινωνικά και εθιμοτυπικά επίπεδα που τον περιστοιχίζουν (Ψωμάδης, 2010).

Τα εργαλεία που υπάρχουν στους δορυφόρους, για την καταγραφή των εικόνων της γης, δίδουν στον χρήστη ψηφιακή πληροφόρηση, την οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Πολλές από αυτές περιλαμβάνουν το περιβάλλον, τις φυσικές καταστροφές, την χρήση/ κάλυψη γης, τις ανανεώσιμες και μη πηγές ενέργειας, την γεωλογία, την ωκεανογραφία και πολλά άλλα.

Η αλλαγή των χρήσεων γης είναι μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές των Τηλεπισκοπικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα του δορυφόρου Landsat, αποτελούν μια πηγή πληροφόρησης των αλλαγών της κάλυψης γης, που με συνοπτικό και

απλό τρόπο προσφέρουν την δυνατότητα για καταγραφή και απογραφή των διαταράξεων και άλλων αλλαγών που λαμβάνουν χώρα στις χρήσεις γης, στην κάλυψη γης και γενικά σε ότι βρίσκεται στην επιφάνεια του πλανήτη.

Στην Ελλάδα ένα μεγάλο μέρος επιστημών έχει εξοικειωθεί με την χρήση των δορυφορικών δεδομένων, πράγμα που έχει σαν συνέπεια την επίτευξη νέων και καταλληλότερων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων σε πολλά και εξεζητημένα θέματα.

3.2 Ορισμός

Η τηλεπισκόπηση (remote sensing), σύμφωνα με τον Ρόκο, είναι η επιστήμη και τεχνική μέσω της οποίας ο άνθρωπος:

α) Επικοινωνεί από απόσταση με τον εξωτερικό κόσμο του φυσικού και τεχνητού περιβάλλοντος, (όπως επίσης και με χειροπιαστά, ειδικά αντικείμενα, φαινόμενα και γεγονότα), αισθάνεται, παρατηρεί συστηματικά, διακρίνει, καταλαβαίνει, καταγράφει, αναγνωρίζει, μετράει και αρχειοθετεί τις αλλαγές/ διαφοροποιήσεις των δομικών, φυσικών, λειτουργικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων, στο χρόνο και στο χώρο.

β) Συλλέγει και/ ή αποκαλύπτει ένα μεγάλο αριθμό από ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες, τόσο για τη φυσικό, όσο και για την κοινωνικό-οικονομική πραγματικότητα και τις αλληλεπιδράσεις τους, καθώς και τις αλλαγές τους στο χρόνο.

γ) Επεξεργάζεται και συσχετίζει αυτή την πληροφόρηση με λογικές και/ ή υπολογιστικές (H/Y) μεθόδους και τεχνικές με κατάλληλο τρόπο και χρησιμοποιώντας την επιστημονική μεθοδολογία στην εκτίμηση και πιο γενικά στην εξαγωγή συμπερασμάτων, για μια σειρά από εφαρμογές του επιστημονικού πεδίου, ή για την ολοκληρωμένη μελέτη των φυσικών και ανθρωπογενών πόρων μιας περιοχής που συγκροτούν την πιο σημαντική υποδομή για τον αναπτυξιακό σχεδιασμό και την περιβαλλοντική παρατήρηση.

δ) Σχεδιάζει σωστά και αντίστοιχα εκτελεί συγκεκριμένες αναδιατάξεις των προηγούμενων φάσεων και διαδικασιών, αλλά πάντοτε με γνώμονα ένα συγκεκριμένο επίπεδο αναφοράς, ώστε η ακρίβεια, αληθοφάνεια, ακεραιότητα και ολοκλήρωση των εκτιμήσεων και απαντήσεων των προβλημάτων να βελτιστοποιούνται (Laskaris et al., 1993).

Κατά τον Mather (1987) η τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος συμπεριλαμβάνει την μέτρηση και καταγραφή (αποτύπωση) της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την γήινη επιφάνεια προς την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση γίνεται από ένα κατάλληλο σημείο πάνω από την επιφάνεια της Γης και ακολουθεί ο συσχετισμός των μετρήσεων αυτών με τα φυσικά χαρακτηριστικά.

Ο Gupta (1991) αναφέρει απλά ότι η τηλεπισκόπηση σημαίνει απόκτηση πληροφοριών γύρω από ένα αντικείμενο δίχως να είμαστε σε επαφή με το αντικείμενο αυτό καθ'αυτό. Η τηλεπισκόπηση έχει διττή διάσταση σύμφωνα με τον Gupta:

α) την τεχνολογία απόκτησης δεδομένων με τη βοήθεια ενός μέσου που βρίσκεται σε απόσταση από το αντικείμενο, και

β) την ανάλυση των δεδομένων για την ερμηνεία του αντικειμένου.

Και οι δύο αυτές παράμετροι βρίσκονται σε στενή σχέση μεταξύ τους.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA - European Space Agency, 1994), τηλεπισκόπηση είναι η ανίχνευση των διαφόρων χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης από δέκτες (sensors) που δεν βρίσκονται σ'επαφή με το αντικείμενο, με παρατήρηση από απόσταση, δηλαδή παρατήρηση χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή με το αντικείμενο.

Γενικά λοιπόν παρατηρούμε ότι η τηλεπισκόπηση αποτελείται από τρία κύρια συστατικά που είναι η συλλογή πληροφοριών, η ανάλυση τους και η ερμηνεία τους. Η μέτρηση και αποτύπωση γίνεται από ειδικούς αισθητήρες (sensors) που έχουν ενσωματωθεί σε αεροπλάνα ή διαστημόπλοια και μετρούν το ποσό της ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης (Ψωμιάδης, 2010).

Οι αισθητήρες αυτοί σαρώνουν την επιφάνεια κάτω και εκατέρωθεν του δορυφόρου ή αεροπλάνου και καθώς κινούνται σχηματίζεται μια εικόνα της γήινης επιφάνειας. Είναι έτσι προφανές ότι, το σημαντικότερο μέσο στην τεχνική της τηλεπισκόπησης είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το φως του ήλιου είναι η πλέον γνωστή μορφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ένα ελάχιστο μέρος του φάσματος της οποίας αποτελεί και το ορατό τμήμα, δηλαδή αυτό που είναι ανιχνεύσιμο με την ανθρώπινη όραση.

3.3 Η ιστορία της Τηλεπισκόπησης

Οι πρώτες εικόνες της Γης και ουσιαστικά τα πρώτα βήματα στον τομέα της Τηλεπισκοπικής παρατήρησής της, ελήφθησαν κατά την περίοδο 1946-1950 όταν η NASA (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος) με την παρότρυνση της κυβέρνησης των ΗΠΑ, τοποθέτησε σε πυραύλους U-2 (οι οποίοι είχαν πέσει στα χέρια τους από τους Γερμανούς κατά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο) φωτογραφικές μηχανές 35 mm και τους οποίους εκτόξευσαν από το Νέο Μεξικό. Η ποιότητα των φωτογραφιών ήταν πολύ χαμηλή και αφορούσε στοιχεία της γήινης επιφάνειας, ενώ αργότερα αποκτήθηκαν φωτογραφίες από υψόμετρο 225Km από τους πυραύλους VIKING 11 και 12 στους οποίους χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερες κάμερες (K-25) με υπέρυθρο φιλμ.

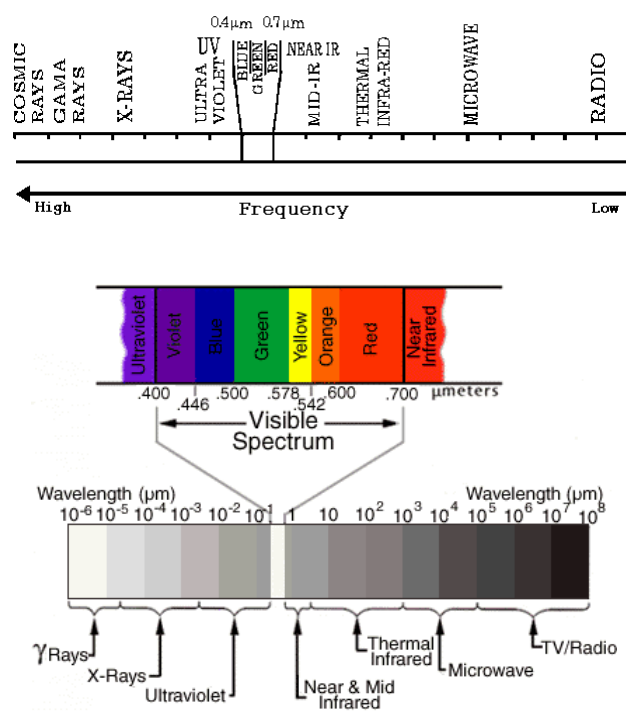
Οι πρώτοι τεχνικοί δορυφόροι που εκτοξεύθηκαν, όπως ο Sputnik-1, που εκτοξεύθηκε από την ΕΣΣΔ το 1957 και ο Explorer-1 που εκτοξεύθηκε από τις ΗΠΑ το 1958, αν και δεν έδωσαν ικανοποιητικές εικόνες ενθάρρυναν τους επιστήμονες να θέσουν σε τροχιά και άλλους δορυφόρους, οι οποίοι είχαν προγραμματιστεί να φέρουν αυτόματες φωτογραφικές μηχανές.

Από το 1960 και μετά υπήρξαν μεγάλα διαστημικά προγράμματα όπως το Mercury, Gemini και Apollo της NASA καθώς και διαστημικά λεφορεία. Τα αποτελέσματα των εικόνων των διάφορων προγραμμάτων είχαν μεγάλη επιτυχία καθώς οδήγησαν σε νέες ανακαλύψεις που αφορούσαν διάφορα περιβαλλοντικά θέματα, ενώ τα αποτελέσματα της σειράς Apollo έθεσαν τις βάσεις για τις μελλοντικές με επανδρωμένες πτήσεις των δορυφόρων της σειράς LANSAT.

Για περισσότερο από τρεις δεκαετίες, δεδομένα από δορυφόρους και αερομεταφερόμενους ανιχνευτές έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση της Γης, και ο όγκος των λαμβανόμενων στοιχείων έχει αυξηθεί σημαντικά. Στα τέλη Ιουλίου του 1972, η NASA εκτόξευσε τον πρώτο δορυφόρο για την εξερεύνηση των γήινων φυσικών πόρων (ERTS-1). Τα πολυφασματικά δεδομένα που ελήφθησαν, βελτίωσαν την κατανόηση του ανθρώπου για τις καλλιέργειες, τα πετρώματα, τα εδάφη, την αστικοποίηση και πολλά άλλα χαρακτηριστικά και διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην γήινη επιφάνεια. Το όνομα του δορυφόρου αυτού και των επόμενων άλλαξε και έγινε Landsat. Οι δορυφόροι Landsat (2-5), έδωσαν περισσότερα δεδομένα για τη Γη από οποιοδήποτε άλλο δορυφόρο.

3.4 Φυσικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ολόκληρο το εύρος της ηλεκτρικής ακτινοβολίας αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (EMS-Electromagnetic Spectrum). Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαχωρίζεται σε φασματικές ζώνες (bands) οι οποίες με την σειρά τους συγκροτούνται από μικρές ομάδες συνεχών φασματικών γραμμών. Οι φασματικές αυτές ζώνες είναι η υπεριώδης (Ultraviolet, UV), η ορατή (Visible), η υπέρυθη (Infrared, IR) και η μικροκυματική (Microwave), από τις οποίες το ορατό καθορίζεται σαφέστερα με βάση την ανθρώπινη όραση (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Δύο διαφορετικές απεικονίσεις του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στις οποίες φαίνονται αναλυτικά όλα τα τμήματα του, από τις κοσμικές ακτίνες μέχρι τα ραδιοκύματα.

Το κανάλι UV βρίσκεται μεταξύ ακτίνων X και ορατού στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, με μήκος κύματος από 0,01 έως 0,40 μm και διακρίνεται σε μακρινό (far UV, 0,01-0,20 μm), ενδιάμεσο (middle UV, 0,20-0,30 μm) και κοντινό (near UV, 0,30-0,40 μm).

Το ορατό κανάλι ή ορατό φάσμα στην τηλεπισκόπηση, με μήκος κύματος από 0,40 έως 0,70 μm έχει όρια που καθορίζονται από την ανθρώπινη όραση. Το λευκό χρώμα του φωτός προέρχεται από ένα μείγμα έξι χρωμάτων, που είναι τα ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και ερυθρό. Τα βασικά όμως χρώματα του ορατού είναι το μπλε (0,40-0,50 μm), το πράσινο (0,50-0,60 μm) και το ερυθρό (0,60-0,70 μm) και από τα

οποία με κατάλληλο συνδυασμό προκύπτουν όλα τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα το κίτρινο χρώμα προέρχεται από τον συνδυασμό του κόκκινου με το πράσινο, δηλαδή απορροφά το μπλε και ανακλά τα άλλα δύο, ενώ το κυανό απορροφά το κόκκινο και ανακλά το μπλε και το πράσινο.

Το κανάλι IR κυμαίνεται από το ερυθρό του ορατού καναλιού, μέχρι τα μικροκύματα, με μήκος κύματος από 0,70 μm έως 1000 μm . Διακρίνεται σε κοντινό (near IR, 0,70-1,50 μm), ενδιάμεσο (middle IR, 1,50-5,60 μm) και μακρινό (far IR, 5,60-1000 μm). Το υπέρυθρο χωρίζεται επίσης, ανάλογα με κάποιες ιδιότητες του, σε ανακλώμενο (reflected IR, από 0,70-3,00 μm) και θερμικό (thermal IR, από περίπου 3,00 έως 1000 μm ή 0,1 cm). Το κανάλι των μικροκυμάτων τοποθετείται μεταξύ του υπέρυθρου και των ραδιοκυμάτων, με μήκος κύματος από 0,1 cm έως 1 m.

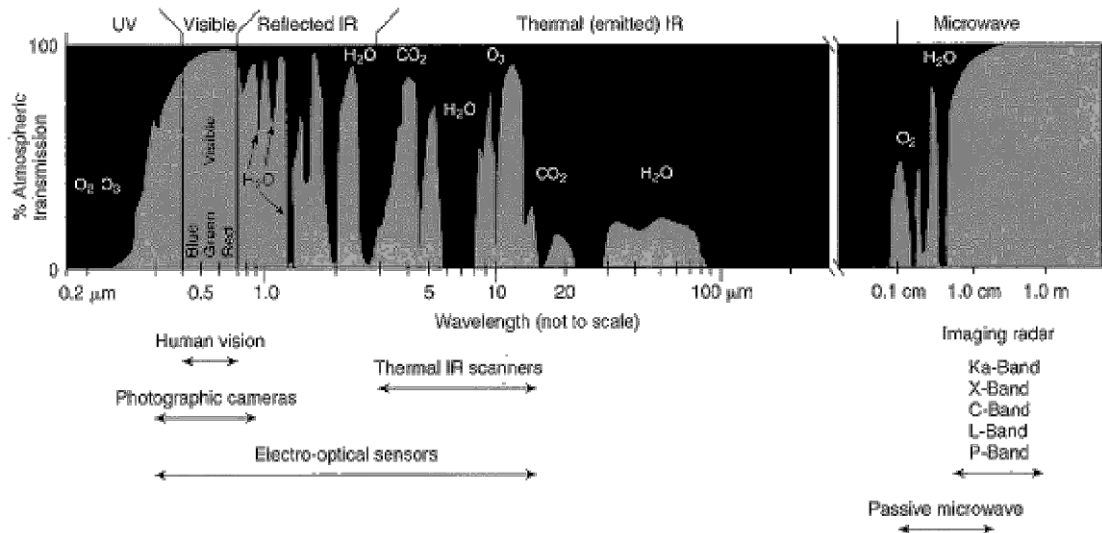
Αυτό περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση. Η ακτινοβολία των μικροκυμάτων έχει την ικανότητα να διαπερνάει τα σύννεφα και τις επιφάνειες των δένδρων. Σ' αυτό το κομμάτι της ακτινοβολίας, δηλαδή στο μικροκυμματικό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος υπάρχουν παθητικοί και ενεργητικοί αισθητήρες.

Στους παθητικούς αισθητήρες το όργανο καταγραφής (δέκτης) καταγράφει την ενέργεια που προέρχεται από τον στόχο (αντικείμενο), ενώ στους ενεργητικούς υπάρχει η καταγραφή του σήματος που όμως παράγεται από τον δορυφόρο, αποστέλλεται στον στόχο και επιστρέφοντας μετά, καταγράφεται από τους δέκτες.

3.4. 1 Ηλιακή ακτινοβολία και γήινο περιβάλλον

Η ποιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καταγράφεται από τα όργανα καταγραφής και επηρεάζεται άμεσα από την ατμόσφαιρα, της οποίας η μεσολάβηση είναι εκλεκτική για την διέλευσή της ακτινοβολίας, στα διάφορα μήκη κύματος, γεγονός που σημαίνει ότι άλλα μήκη κύματος περνάνε ελεύθερα ενώ άλλα περιορίζονται αισθητά.

Οι περιοχές αυτές του φάσματος που περιλαμβάνουν ειδικά μήκη κύματος τα οποία μπορούν ανεμπόδιστα να διαπεράσουν την ατμόσφαιρα καλούνται **ατμοσφαιρικά παράθυρα** (atmospheric windows) ή διερχόμενα κανάλια (transmission bands), ενώ σαν απορροφούμενα κανάλια (absorption bands) ή ατμοσφαιρικά τυφλά (atmospheric blinds) ορίζονται οι περιοχές εκείνες όπου τα μήκη κύματος δεσμεύονται μερικώς ή ολικώς (Εικόνα 2)



Εικόνα 2: Κύριες φασματικές περιοχές που χρησιμοποιεί η τηλεπισκόπηση, με το φάσμα της ατμοσφαιρικής απορρόφησης (ατμοσφαιρικά παράθυρα και τυφλά, γκρι και μαύρα αντίστοιχα) και τις περιοχές που καλύπτουν τα συστήματα τηλεπισκόπησης (Lillesand & Kiefer, 1994).

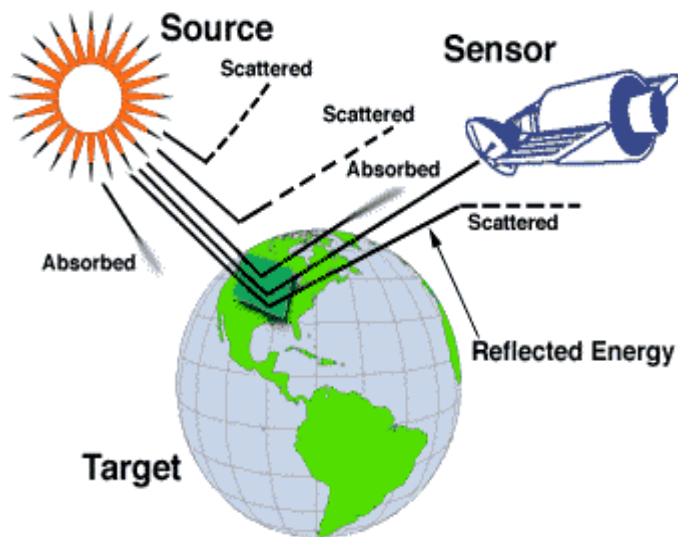
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο φτάνει στα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας και κατόπιν λαμβάνεται από τα όργανα καταγραφής, αφού περάσει δύο φορές μέσα από την ατμόσφαιρα. Κατά το πέρασμά της αυτό υφίσταται μεταβολές από την επίδραση τόσο των αιωρούμενων μικροσωματιδίων όσο και των μορίων διαφόρων αερίων, που παίρνουν μέρος στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους αντιδρά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με την ατμόσφαιρα είναι:

α) να απορροφηθεί από την επιφάνεια εκπεμπόμενη έπειτα σαν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, η οποία προκαλεί την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

β) να ανακλαστεί και να διαχυθεί χωρίς καμιά μεταβολή στην ταχύτητα και στο μήκος κύματος της.

γ) να διέλθει ευθύγραμμα, σχεδόν ανεμπόδιστη (Εικόνα 3).

Ένας μεγάλος αριθμός αερίων της ατμόσφαιρας, τα περισσότερα απορροφητικά, όπως τα O_2 , N_2 , O_3 , CO_2 και οι υδρατμοί, είναι υπεύθυνα για την απορρόφηση σε ορισμένα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα περισσότερα ατμοσφαιρικά παράθυρα γίνονται λιγότερο διαφανή όταν η ατμόσφαιρα έχει αυξημένη υγρασία.



Εικόνα 3: Μορφές αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας που προέρχεται από την «πηγή» (source), δηλαδή τον ήλιο, η οποία όταν έρχεται σ' επαφή με την ατμόσφαιρα, απορροφάται (absorbed), ανακλάται (reflected) και διαχέεται (scattered).

3.4.3 Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη

Μετά την αρχική διέλευση της από την ατμόσφαιρα η ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια με την οποία αντιδρά επίσης με ανάκλαση, διάχυση, απορρόφηση ή και με διαπέραση σε περίπτωση μιας αρκετά λεπτής επιφάνειας. Κάθε φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο της γήινης επιφάνειας, βομβαρδίζεται από τον ήλιο με ακτινοβολία, που καταλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο μέρος του φάσματος και έπειτα την ανακλά, την διαχέει ή την απορροφά (Εικόνα 4).

- Σαν ανάκλαση ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η ακτινοβολία κάνει "γκελ" πάνω στην επιφάνεια του εδάφους ή ενός αντικειμένου και φεύγει απ' αυτή αναλλοίωτη και με γωνία ίση και αντίθετη από αυτή που έχει όταν φτάνει στο αντικείμενο, και εξαρτάται:

α) από την κατεύθυνση της ακτινοβολίας

β) από την ένταση της ακτινοβολίας

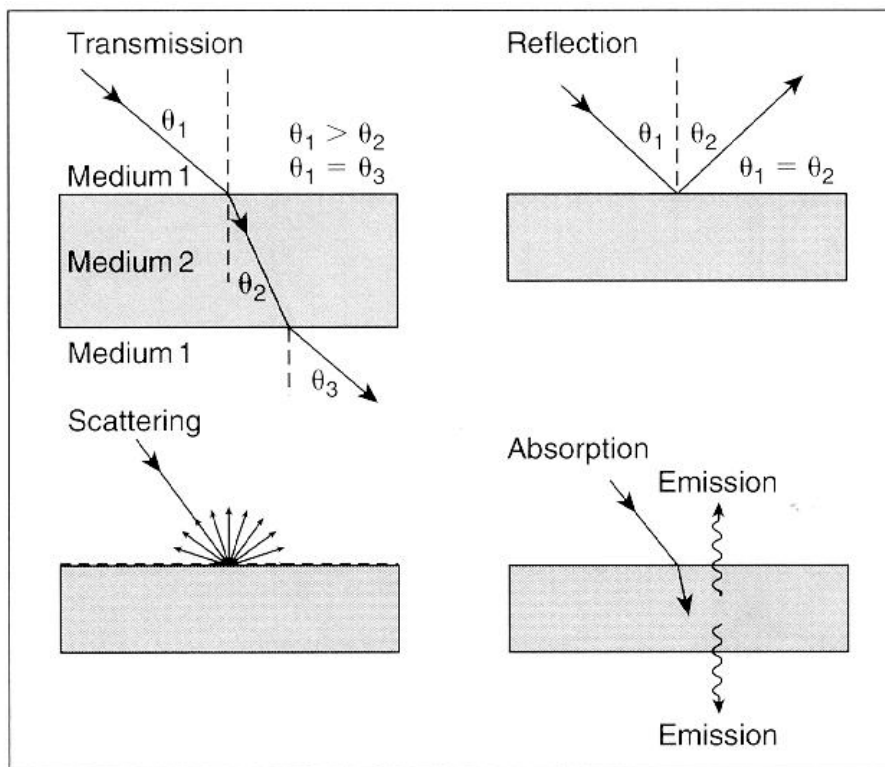
γ) το μήκος κύματος και την συχνότητα της ακτινοβολίας που λαμβάνεται από τα αντικείμενα στη βάση της ατμόσφαιρας

δ) την φασματική εξάπλωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας

- Σαν απορρόφηση εκφράζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η ακτινοβολία δεσμεύεται από το αντικείμενο και έπειτα επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος του θερμικού υπέρυθρου.

- Σαν διάχυση ορίζεται η διάδοση της ακτινοβολίας που πέφτει στο αντικείμενο σε διάφορες κατευθύνσεις συμπεριλαμβανομένου και της αρχικής κατεύθυνσής της. Στη φύση η διάχυση είναι πιο συνήθης απ' ότι η ανάκλαση. Η μετάδοση γίνεται όταν η ακτινοβολία διαπερνάει ένα αντικείμενο χωρίς να αλλάζει η συχνότητά του.

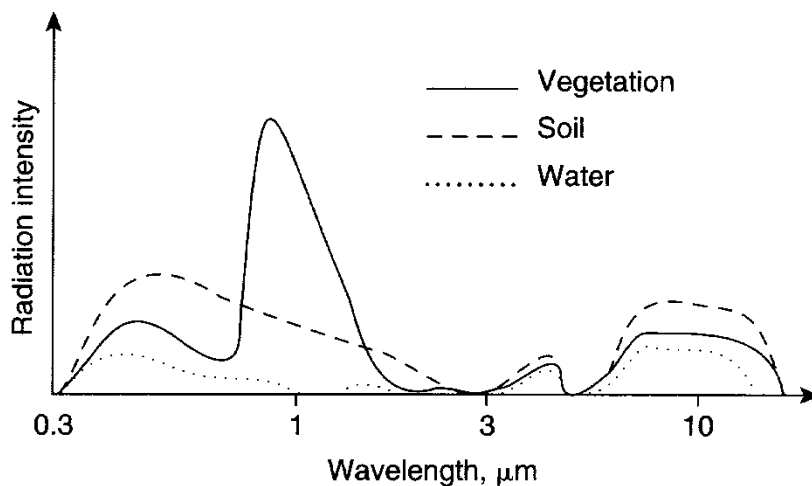
Εάν η ακτινοβολία περνάει από ένα μέσο σε ένα άλλο με διαφορετική πυκνότητα τότε αλλάζει η ταχύτητα και το μήκος κύματος, με ταυτόχρονη μεταβολή της γωνίας εισόδου της ακτινοβολίας.



Εικόνα 4: Οι τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις τις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας-Ανάκλαση (Reflection), Διάχυση (Scattering), Απορρόφηση (Absorption), Μεταβίβαση (Transmission), (Avery & Berlin, 1992).

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του κάθε αντικειμένου δείχνουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται και αποδίδεται, σε διάφορα μήκη κύματος, με τον δικό του χαρακτηριστικό τρόπο, ανάλογα με την σύστασή του και την κατάσταση στην οποία

βρίσκεται. Δηλαδή, το ποσόν και η φασματική κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ενέργειας από ένα αντικείμενο χρησιμοποιείται σαν μέσο αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού. Η ιδιότητα αυτή αναφέρεται σαν η **φασματική ταυτότητα** (spectral signature) ή **φασματική απόκριση** (spectral response) του αντικειμένου (Εικόνα 5) και καταγράφεται, από διάφορους δέκτες (sensors), διαφόρων δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης της Γης, (Mather 1987, Sabins 1997, Campbell 1996, Ψωμιάδης 1997).



Εικόνα 5: Τυπικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για τρία υλικά της γήινης επιφάνειας σε εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0,3 έως 12 περίπου μm , (σχεδιασμός από τη NASA).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, καταγράφεται και αναλύεται η ανακλαστική συμπεριφορά και η εκπομπή ενέργειας των διαφόρων αντικειμένων της επιφάνειας της Γης, ώστε να διευκολυνθεί η εκλογή των κατάλληλων δεκτών και φασματικών ζωνών που θα βοηθήσουν καλύτερα στον εντοπισμό των αντικειμένων, και των ιδιοτήτων τους, που μας ενδιαφέρουν.

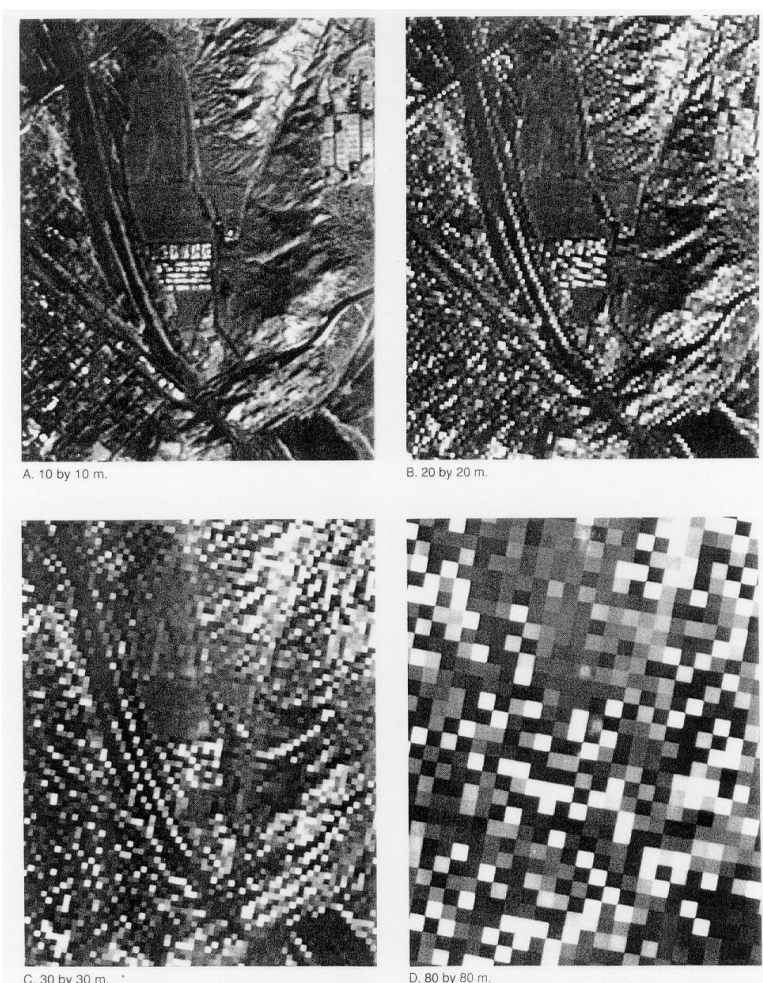
Εκτός από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, όπως απορρόφηση, ανάκλαση και διάχυση, που διαμορφώνουν την πληροφορία, που συλλέγεται με μεθόδους τηλεπισκόπησης, άλλος παράγοντας που επιδρά στην ποιότητα του φάσματος είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία εξαρτάται από το ύψος του Ηλίου (sun elevation).

3.5 Χαρακτηριστικά των μέσων τηλεπισκόπησης

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της Τηλεπισκόπησης με χρήση εικόνων, όπου χρησιμοποιούνται φασματικές ζώνες στο ορατό υπέρυθρο και μικροκυματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, περιγράφονται με τους όρους **χωρική** (spatial), **φασματική** (spectral) και **ραδιομετρική** (radiometric) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση.

- Σύμφωνα με τον Mather (1999) η χωρική ανάλυση ενός συστήματος καταγραφής δεν είναι εύκολη έννοια να ορισθεί. Μπορεί δε, να μετρηθεί με ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών τρόπων, εξαρτημένων από τους σκοπούς των ενδιαφερομένων.

Ο Townshead (1980) χρησιμοποιεί τέσσερα διαφορετικά κριτήρια για να ορίσει την χωρική ανάλυση. Αυτά είναι οι γεωμετρικές ιδιότητες του συστήματος εικόνας, η δυνατότητα διάκρισης των αντικειμένων που αποτελούν τους ερευνητικούς στόχους, η δυνατότητα να μετρηθούν οι φασματικές τους ιδιότητες, καθώς και η μέτρηση της περιοδικότητας των επαναλαμβανόμενων στόχων (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Εικόνες που παρουσιάζονται με διαφορετικό pixel εδαφικής ανάλυσης. Η χωρική ανάλυση καθορίζεται από το μέγεθος του pixel. Η περιοχή είναι ένα κομμάτι της πόλης Victorville στη νότια Καλιφόρνια (Sabins, 1997).

Ο Αστάρης (1994) αναφέρει σαν χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας ή φωτογραφίας, την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων στην οποία οι διαστάσεις αυτών των δύο αντικειμένων φαίνονται χωριστά και καθαρά. Αντικείμενα που βρίσκονται σε πλησιέστερη απόσταση από αυτήν θα φαίνονται στην εικόνα ως ένα αντικείμενο. Η χωρική διακριτική ικανότητα εξαρτάται από την αντίθεση (κοντράστ) των αντικειμένων της εικόνας. Σαν αντίθεση ορίζεται ο λόγος της διαφοροποίησης στην φωτεινότητα, μεταξύ ενός αντικειμένου και των υπολοίπων που βρίσκονται γύρω του και του αθροίσματος των δύο αυτών φωτεινοτήτων, εκφραζόμενο επί της εκατό, ή σύμφωνα με τον Campbell (1996) ορίζεται σαν η διαφοροποίηση της φωτεινότητας ενός αντικειμένου και του "φόντου" που υπάρχει γύρω του.

Η αντίθεση (contrast) εξαρτάται από:

- το σχήμα των αντικειμένων ή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους
- το λόγο του προσανατολισμού (όψη-aspect ratio) του μήκους σε σχέση με το πλάτος
- τον αριθμό των αντικειμένων σε μία περιοχή
- το "άπλωμα" (βαθμός που εκτείνεται) και η ομοιομορφία του γύρω χώρου

Συνήθως στις φωτογραφίες εκφράζεται σε ζεύγη γραμμών που μπορούν να διακριθούν, και έτσι εξαρτάται από την ανθρώπινη όραση, την κλίμακα και την απόσταση παρατήρησης (Sabins, 1997).

Στις δορυφορικές ψηφιακές εικόνες που προήλθαν από τους σαρωτές ή τις κάμερες, η χωρική διακριτική ικανότητα ταυτίζεται με το "στοιχείο της εικόνας" (pixel) που είναι η "στοιχειώδης επιφάνεια" της Γης που καταγράφεται από τους δέκτες. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος μέτρησης της χωρικής διακριτικής ικανότητας, που στηρίζεται στις γεωμετρικές ιδιότητες του συστήματος είναι το IFOV (Instantaneous Field of View-Στιγμιαίο Πεδίο Λήψεως) του αισθητήρα. Το IFOV ορίζεται ως η περιοχή στην επιφάνεια της Γης που ανιχνεύεται από ανάλογο όργανο για ένα συγκεκριμένο ύψος, σε μία δεδομένη στιγμή (Mather, 1999), και εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα της κίνησης σάρωσης και την κίνηση του οχήματος μεταφοράς του συστήματος. Άλλοι τρόποι μέτρησης είναι το: Ground Resolved Distance (GRD), το Line Pairs per Millimeter (LPM) και το Modulation Transfer Function (MTF).

- Η δεύτερη σημαντική ιδιότητα ενός οπτικού συστήματος εικόνας είναι η φασματική του διακριτική ικανότητα. Η φασματική διακριτική ικανότητα είναι σημαντική, πράγμα που φαίνεται καθαρά από δύο σημεία:

α) από το ότι, η θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών, μπορούν να καθορίζουν τον βαθμό και το είδος των διαφορών στόχων στις πολυφασματικές εικόνες και

β) από το ότι, η χρήση των πολυφασματικών εικόνων μπορεί να επιφέρει πολύ καλά αποτελέσματα διακριτικής ικανότητας σε σχέση με οποιαδήποτε μεμονωμένη μπάντα

Όμως η αύξηση της φασματικής ανάλυσης δεν μπορεί να αυξηθεί απεριόριστα χωρίς να πληρωθεί κάποιο τίμημα. Έτσι, η αύξηση της φασματικής ανάλυσης στα τεχνολογικά προηγμένα συστήματα δορυφόρων επιδρά αρνητικά στα προϊόντα, όπως για παράδειγμα μείωση του λόγου S/N (S= σήμα, N= θόρυβος- signal to ratio).

Τα νέα συστήματα pushbroom ("σάρωση κατά μήκος") δίνουν καλύτερα αποτελέσματα στον λόγο S/N για υψηλής φασματικής ικανότητας προϊόντα, σε σχέση με τους μηχανικούς σαρωτές.

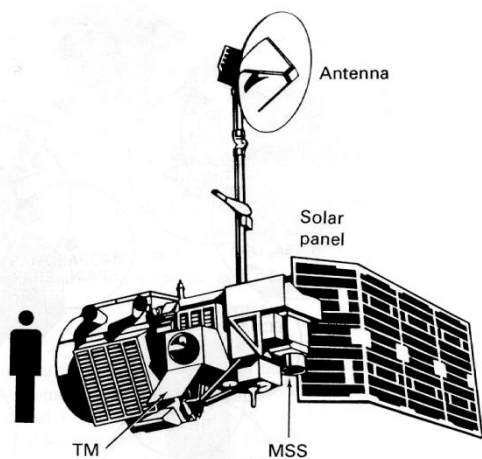
- Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των ψηφιακών επιπέδων που χρησιμοποιούνται για να εκφραστούν τα δεδομένα ενός αισθητήρα. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των επιπέδων, τόσο μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα θα έχουμε. Για παράδειγμα, μία εικόνα που αποτελείται από δύο ψηφιακά επίπεδα, το επίπεδο 0 (μηδέν) θα εμφανίζεται ως μαύρο και το επίπεδο 1 (ένα) ως λευκό. Εάν αυξηθούν τα επίπεδα θα εμφανιστούν στην εικόνα διάφορες διαβαθμίσεις του γκρι, επομένως θα έχουμε μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των στόχων. Για παράδειγμα ο Tucker (1979) ανακάλυψε την σχέση μεταξύ της ραδιομετρικής ικανότητας και της ικανότητας να διακρίνει διαφορετικά είδη βλάστησης, παρατηρώντας μία βελτίωση 2-3% με την χρήση 256 διαβαθμίσεων του γκρι (8 bits) σε σύγκριση με την χρήση 64 (6 bits).

3.6 Οπτικά Συστήματα

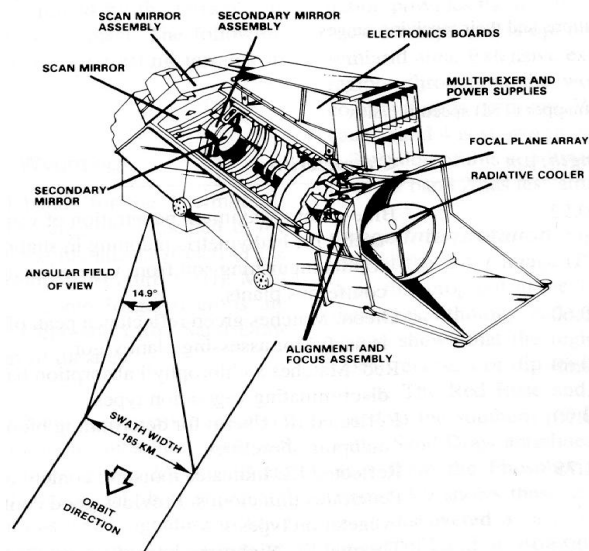
3.6.1 Η σειρά των δορυφόρων LANDSAT

Το πρώτο πρόγραμμα που έθεσε σε λειτουργία η NASA το 1967 ήταν το ERTS (Earth Resource Technology Satellite). Το πρόγραμμα αυτό είχε σαν σκοπό την εκτόξευση 5 δορυφόρων οι οποίοι μεταφέρουν διάφορα συστήματα τηλεπισκόπησης, τα οποία αρχικά είχαν σχεδιαστεί για να αποκτούν πληροφορίες για τις πλουτοπαραγωγικές πηγές της Γης. Ο πρώτος δορυφόρος εκτοξεύθηκε στις 23 Ιουλίου του 1972 και ονομαζόταν ERTS-1.

Έπειτα ακολούθησε ο ERTS-2 στις 22 Ιανουαρίου του 1975, τον οποίο πριν την εκτόξευσή του η NASA τον μετονόμασε σε LANDSAT ξεχωρίζοντας τον έτσι από τον ωκεανογραφικό δορυφόρο SEASAT που εκτοξεύθηκε στις 26 Ιουνίου του 1978. Ο ERTS-1 ονομάστηκε αναδρομικά LANDSAT-1 και ο ERTS-2 έγινε κατά την εκτόξευσή του LANDSAT-2. Ο LANDSAT-3 εκτοξεύθηκε στις 5 Μαρτίου του 1978, ο LANDSAT-4 στις 16 Ιουλίου του 1982 και ο LANDSAT-5 στις 1 Μαρτίου του 1984. Οι LANDSAT-2 και -3 λειτούργησαν επιτυχώς μέχρι τις 27/7/83 και 7/9/83 διότι διάφορες μηχανικές βλάβες επισπεύσανε την διακοπή της λειτουργίας αυτών των δύο αλλά και μερικών άλλων δορυφόρων LANDSAT. Ο LANDSAT-6 αν και εκτοξεύθηκε, έπεσε λίγο μετά την εκτόξευση στη θάλασσα εξαιτίας κάποιας βλάβης (Εικόνες 7 και 8). Ο δορυφόρος Landsat 7, εκτοξεύθηκε στις 15 Απριλίου 1999 και από τότε δίνει τα πιο νέα και βελτιωμένα δεδομένα αυτής της σειράς.



Εικόνα 7: Ο δορυφόρος Landsat 5. Στην εικόνα φαίνεται το μέγεθός του, συγκρινόμενο με έναν άνθρωπο ύψους 2 μέτρων



Εικόνα 8: Το σύστημα καταγραφής του θεματικού χαρτογράφου TM

3.6.2 Χαρακτηριστικά των LANDSAT πρώτης και δεύτερης γενιάς

Οι δορυφόροι LANDSAT-1, -2 και -3 (βάρους 815 kg και διαστάσεων περίπου 3 m ύψος και 4 m πλάτος και 1,5 m διάμετρο) είχαν παρόμοια χαρακτηριστικά στη λειτουργία τους και ονομάζονταν δορυφόροι πρώτης γενιάς. Είχαν σχήμα πεταλούδας με το κύριο μέρος να έχει κυλινδρικό σχήμα. Τα ηλιακά περύγια είχαν μήκος 4 m περίπου και τέθηκαν σε τροχιά 900 km.

Οι δορυφόροι LANDSAT-4 και LANDSAT-5 που τέθηκαν σε τροχιά στις 16/7/82 και 1/3/84 αντίστοιχα αποτελούν την συνέχεια των δορυφόρων πρώτης γενιάς (Πίνακες 2, 3).

Πίνακας 2.: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων της σειράς Landsat.

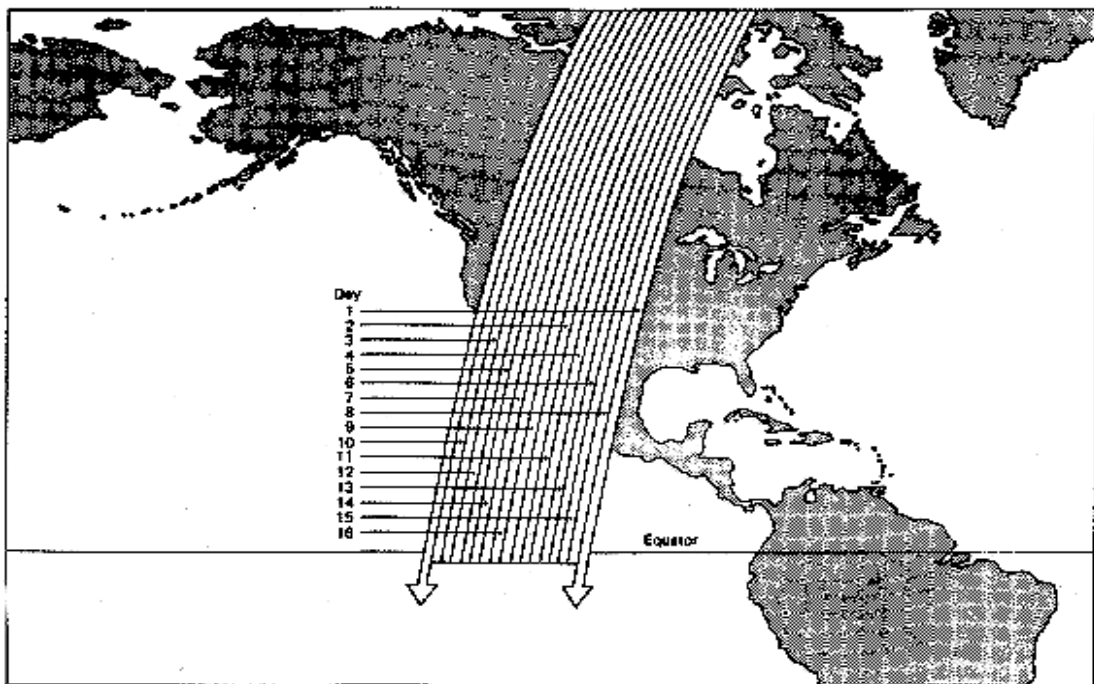
a) Χαρακτηριστικό	Landsat 1-3	Landsat 4-5
Υψόμετρο τροχιάς (km)	920	705
Είδος τροχιάς	Πολική, Ηλιοσύγχρονη	
Κλίση (μοίρες)	99,1-99,2	98,2
Επαναλαμβανόμενη κάλυψη σημείου	18 ημέρες	16 ημέρες
Τύπος σαρωτή	MSS	TM/MSS

Πίνακας 3.: Χαρακτηριστικά του δορυφόρου Landsat TM.

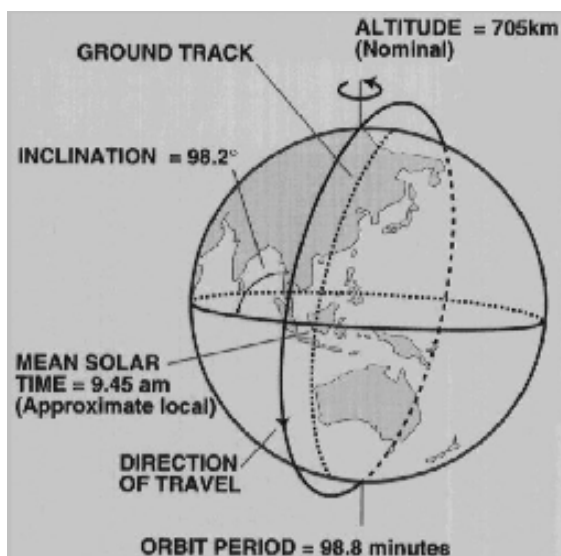
Δορυφόρος Landsat	Θεματικός Χαρτογράφος (TM)	Ραδιομετρική
Φασματική Ανάλυση	<u>Κανάλια</u>	<u>Εναισθησία</u>
	1	0,8
	2	0,5
	3	0,5
	4	0,5
	5	1,0
	6	0,5
	7	2,4
Στιγμιαίο πεδίο λήψης(Ground Instantaneous Field -Of -View)	30 metres (bands 1-5 & 7) 120 metres (band 6)	
Ραδιομετρική ανάλυση	256 (8 bit)	
Μέγεθος δεδομένων (Data Rate)	85 Megabits	
Κατανάλωση Ισχύος	345 Watts	
Μέγεθος	1,54 cubic metres (1,1 x 0,7 x 2,0 m)	
Βάρος	246 Kgr	

Το ύψος τροχιάς τους μειώθηκε από τα 900 στα 705 km. Αυτή η μείωση του ύψους έγινε βασικά για να είναι δυνατόν να επιδιορθώνονται από τα διαστημικά λεωφορεία και να βελτιωθεί η χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV), παραμένοντας όμως κυκλική, ηλιοσύγχρονη και σχεδόν πολική. Οι δορυφόροι περνούν από τον Ισημερινό στις 9:45 π.μ. τοπική ώρα. Κάθε πλήρης τροχιά διαρκεί 99min περίπου, δηλαδή πραγματοποιούν 14,5 περιστροφές γύρω από τη Γη την ημέρα και επαναλαμβάνουν την σάρωση του ίδιου

σημείου κάθε 16 ημέρες. Επειδή όμως οι δορυφόροι έχουν τεθεί σε τροχιά με διαφορά φάσεως 8 ημερών η επανάληψη ενός σημείου γίνεται κάθε 8 ημέρες (εικόνες 9, 10).



Εικόνα 9: Ο χρόνος των γειτονικών επικαλυπτόμενων τροχιών των Landsat 4 & 5.



Εικόνα 10: Στην εικόνα αυτή απεικονίζονται το επιφανειακό ίχνος (ground track), το υψόμετρο (altitude), η κλίση (inclination), η περίοδος της τροχιάς (orbit period), καθώς και η διεύθυνση κίνησης (direction of travel), του δορυφόρου Landsat5(Διαδίκτυο,5).

3.6.3 Ο Θεματικός Χαρτογράφος του δορυφόρου LANDSAT 5

Ο Θεματικός Χαρτογράφος του δορυφόρου LANDSAT 5 (Thematic Mapper, συντομογραφία TM) είναι πολυφασματικός σαρωτής με 7 κανάλια. Το μέγεθος του εικονοστοιχείου είναι 30 μέτρα εκτός από το κανάλι 6 (θερμικό κανάλι) στο οποίο το

μέγεθος είναι 120 μέτρα. Μία εικόνα TM καλύπτει περίπου 184km x 184km επί του εδάφους. Ακολουθεί πίνακας (Πίνακας 4) με την φασματική ευαισθησία και τις εφαρμογές του κάθε καναλιού.

Πίνακας 4: Φασματικά κανάλια και εφαρμογές τους για τον LANDSAT Thematic Mapper.

Φασματικά κανάλια και Εφαρμογές τους για τον LANDSAT Thematic Mapper			
Band	Wavelength	Spectral Location	Εφαρμογές
1	0.45-0.52	Blue	<p>Σχεδιάστηκε για να δεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες.</p> <p>Πολύ χρήσιμο για :</p> <ul style="list-style-type: none"> • την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, • την διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης, • την χαρτογράφηση δασικών περιοχών • ανθρωπογενών κατασκευών
2	0.52-0.60	Green	<p>Σχεδιάστηκε για να μετράει το μέγιστο της ανάκλασης</p> <p>της φασματικής καμπύλης της βλάστησης. Πολύ χρήσιμο για :</p> <ul style="list-style-type: none"> • διάκριση διαφόρων ειδών βλάστησης • ανθρωπογενών κατασκευών
3	0.63-0.69	Red	<p>Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για :</p> <ul style="list-style-type: none"> • διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών • ανθρωπογενών κατασκευών
4	0.76-0.90	Near Infrared	<p>Χρήσιμο</p> <ul style="list-style-type: none"> • στον προσδιορισμό ειδών βλάστησης • στον προσδιορισμό της βιομάζας • στην διάκριση υδάτινων επιφανειών • στην χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος
5	1.55-1.75	Mid	Χρήσιμο

		Infrared	<ul style="list-style-type: none"> • στον προσδιορισμό της υγρασίας των φυτών • στον προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους • στην διάκριση νεφών από επιφάνειες με χιόνια
6	10.4-12.5	Thermal InfraRed	<p>Χρήσιμο</p> <ul style="list-style-type: none"> • σε εφαρμογές θερμικής χαρτογράφησης • στην διάκριση διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους • στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης
7	2.08-2.35	Mid Infrared	<p>Χρήσιμο</p> <ul style="list-style-type: none"> • στην διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων • στον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης

4. Θερμικό υπέρυθρο

Όπως έχει αναφερθεί, οι βασικότερες πηγές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι η φωτεινή ενέργεια του ήλιου και η εκπεμπόμενη θερμική ενέργεια. Η δεύτερη προέρχεται κυρίως έμμεσα από την ακτινοβολία του ήλιου η οποία απορροφάται από τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας σαν μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία και επανεκπέμπεται σαν μεγάλου μήκους κύματος θερμική ενέργεια. Επομένως μπορεί να λεχθεί ότι από μόνη της η Γη είναι μια άριστη πηγή ενέργειας για δέκτες ευαίσθητους στην θερμική υπέρυθρη ζώνη, όπως αυτούς που μεταφέρουν τα οπτικά συστήματα καταγραφής των δορυφόρων.

Η ενέργεια που εκπέμπεται από κάθε αντικείμενο της επιφάνειας εξαρτάται άμεσα από την απόλυτη θερμοκρασία του και η οποία είναι συνάρτηση κυρίως της σύστασής του. Αυτή η ενέργεια που εκπέμπει κάθε σώμα ξεχωριστά, κατανέμεται μέσα σ'ένα συγκεκριμένο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το ποσόν της ηλιακής

ακτινοβολίας, σε όλα τα μήκη κύματος, που είναι διαθέσιμο για να θερμάνει μια επιφάνεια εξαρτάται:

- από το ύψος του ήλιου από τον ορίζοντα (που είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και του χρόνου της ημέρας και του μήνα).
- από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως η συννεφιά, η υγρασία και η πυκνότητα του αέρα (δηλαδή μια συνάρτηση των καιρικών συνθηκών και του γεωγραφικού πλάτους).
- από την τοπογραφία σε σχέση με το ηλιακό αζιμούθιο και το υψόμετρο (για παράδειγμα κλίσεις που έχουν προσανατολισμό προς τον ήλιο λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία).

Μια θερμική εικόνα είναι μια ποικιλομορφία στον τόνο (ή DN) και μετράει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από την γήινη επιφάνεια. Στα διαστήματα 3-5 μm και 8-14 μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος τα φυσικά σώματα είναι κυρίως απορροφητές της ηλιακής ακτινοβολίας και ανακλούν πολύ λίγο. Αν η επιφάνεια είναι το μαύρο σώμα ο τόνος της εικόνας θα είναι μια ακριβής μέτρηση της πραγματικής επιφανειακής θερμοκρασίας. Το μαύρο σώμα είναι ουσιαστικά δηλαδή ένα θεωρητικό υλικό που απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και έτσι η ανάκλαση και η διάχυση είναι μηδέν, ενώ η εκπεμπτικότητα του είναι ίση με την μονάδα. Η θερμοκρασία που προέρχεται από το θερμικό υπέρυθρο μετριέται από το νόμο των Stefan-Boltzman:

$$F_b = \sigma \times T_{kin}^4$$

όπου T_{kin}^4 η κινητική ενέργεια των μορίων ενός υλικού, από την οποία και προέρχεται η θερμότητα.

Συνεπώς όσα υλικά έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν (0 K, -273,16 °C, -459,69°F) εκπέμπουν ακτινοβολία ϵ (emissivity) που εξαρτάται από τον λόγο:

$$\epsilon = \frac{\text{ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο}}{\text{ακτινοβολία που εκπέμπεται από το μαύρο σώμα}}$$

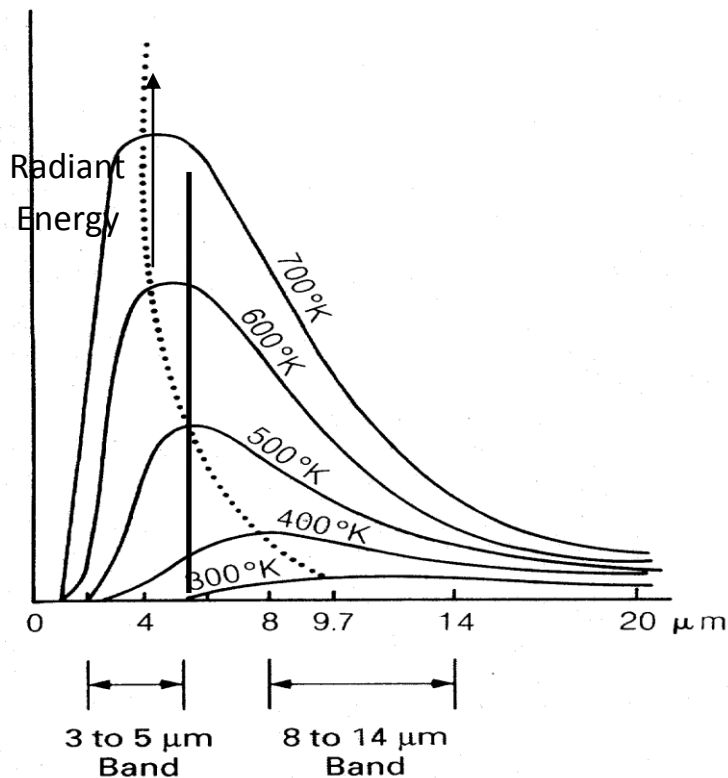
Κατ'αυτόν τον τρόπο η αύξηση ή μείωση της θερμοκρασία μιας επιφάνειας εξαρτάται από την αύξηση η μείωση της περιεχόμενης θερμότητας του υλικού στην επιφάνειά του (Εικόνα 14).

4.1 Θερμικοί σαρωτές

Οι θερμικοί σαρωτές έχουν ουσιαστικά την ίδια τεχνοτροπία με τους πολυφασματικούς σαρωτές, αλλά οι λειτουργίες τους περιορίζονται στο θερμικό υπέρυθρο ατμοσφαιρικό παράθυρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι θερμικοί σαρωτές έχουν την δυνατότητα της λήψης δεδομένων σε δύο διαφορετικά ατμοσφαιρικά παράθυρα από 3-5 μm και 8-14 μm . Οι μετρήσεις σε αυτά τα διαστήματα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, έχουν σημαντική εφαρμογή σε διάφορες επιστήμες (όπως Γεωλογία, Δασοπονία, Ωκεανογραφία κ.λ.π.). Γι'αυτό και η NASA χρησιμοποιεί συστήματα με 6 κανάλια για την απόκτηση πολυφασματικών υπέρυθρων εικόνων, οι οποίες και προσφέρουν πολύ σημαντικά συμπεράσματα. Το σύστημα αυτό έχει ονομαστεί με το ακρόνυμο TIMS (Thermal Infrared Multispectral Scanner), (Avery & Berlin 1992, Drury 1987).

Με την χρήση ειδικών φίλτρων, οι θερμικοί υπέρυθροι δέκτες σχεδιάστηκαν να λαμβάνουν δεδομένα στα διαστήματα 3-5 και 8-14 μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Όμως λόγω της μεγάλης ατμοσφαιρικής απορρόφησης στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας από διάφορα αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το όζον (O_3) και τους υδρατμούς του νερού, τα δεδομένα λαμβάνονται κυρίως στο διάστημα 10,5-12,5 μm του φάσματος όπου η απορρόφηση είναι πολύ πιο μικρή (Εικόνα 11).

Οι δέκτες αυτοί είναι κατάλληλα μεταλλικά στοιχεία που είναι ευαίσθητα στην ενέργεια αυτών των μηκών κύματος (για παράδειγμα το Ίντιο και το Αντιμόνιο χρησιμοποιούνται για το διάστημα 3-5 μm και τα Γερμάνιο, Υδράργυρος, Κάδμιο και Τελούριο για το διάστημα 8-14 μm). Οι δέκτες μετατρέπουν την προσπίπτουσα θερμική υπέρυθη ακτινοβολία σε ηλεκτρικά σήματα ανάλογα με την ένταση της λαμβανόμενης ενέργειας. Μετά την μετατροπή του σήματος σε ηλεκτρικής μορφής σήμα και την καταγραφή του σε μαγνητικές ταινίες είναι πολύ σημαντική η επεξεργασία του.



Εικόνα 11: Καμπύλες φασματικής κατανομής της ακτινοβολούμενης ενέργειας από αντικείμενα σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Σημειώνονται και τα φασματικά κανάλια εκπομπής (από Colwell and others, 1963).

Η επεξεργασία που γίνεται αποσκοπεί στο να εφαρμοστούν τα εξής:

- ✓ Γεωμετρική διόρθωση, βαθμονόμηση
- ✓ Επέκταση των "κρυμμένων" πληροφοριών της εικόνας
- ✓ θερμική σύγκριση και βελτίωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων

Από τα παραπάνω για παράδειγμα, η γεωμετρική διόρθωση θεωρείται βασικότερη ώστε να επιτευχθεί η διόρθωση των παραμορφώσεων της εικόνας που προέρχονται λόγω των κλυδωνισμών και της "ολίσθησης" της πλατφόρμας του μεταφορέα του δέκτη.

Επίσης σημαντικό ρόλο στον "διασκορπισμό" των θερμικών πληροφοριών είναι επί παραδείγματι η δημιουργία κυματισμών στην επιφάνεια της θάλασσας με χαμηλή θερμοκρασία που δημιουργούνται από την μετακίνηση μιας μάζας μέσα στο υδάτινο μέσο και η οποία προκαλεί την ανάμειξη των υδάτινων στρωμάτων. Υπάρχουν όμως κάποιοι αλγόριθμοι και για τα τις δύο παραπάνω περιπτώσεις που βοηθούν με αρκετά ικανοποιητικό τρόπο στην επίλυση αυτών των προβλημάτων (Tonelli, 1989).

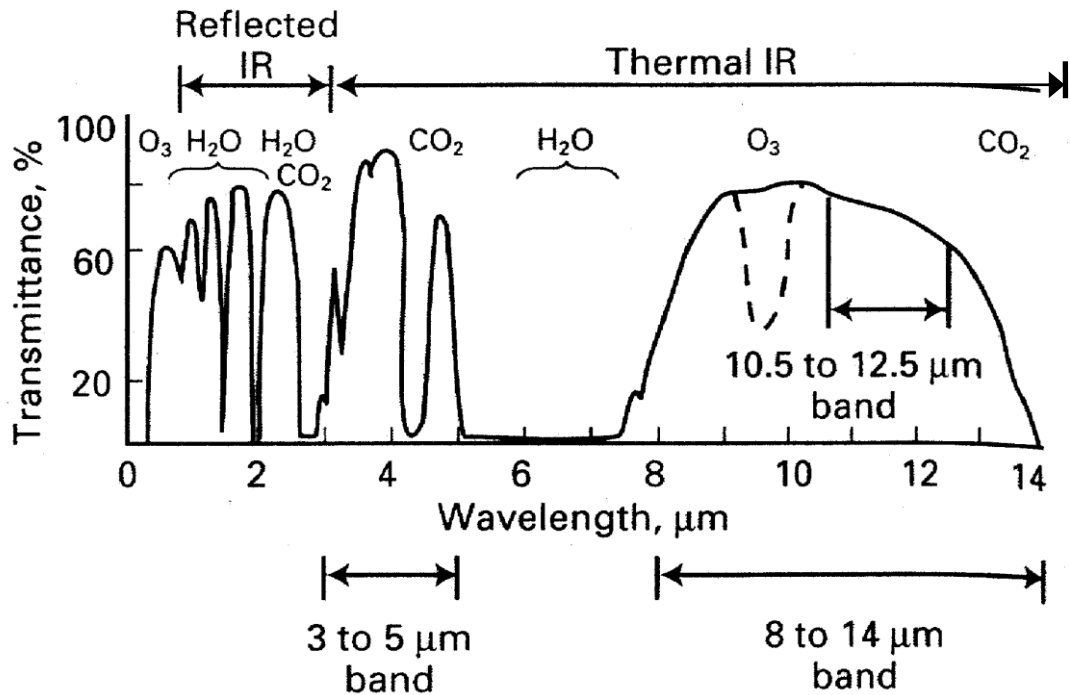
Οι φερόμενοι αυτοί δέκτες μπορεί να είναι ζυγοσταθμισμένοι (calibrated) ή μη. Οι γκρι τόνοι στους μη ζυγοσταθμισμένους αντιπροσωπεύουν σχετική θερμική ενέργεια. Οι σκουρότεροι τόνοι αναπαριστούν ψυχρές περιοχές, ενώ οι φωτεινότεροι τόνοι τις θερμότερες περιοχές. Τέτοιες εικόνες είναι χρήσιμες στην ποιοτική ανάλυση μιας εικόνας όπου το ενδιαφέρον εστιάζεται στα επιφανειακά χαρακτηριστικά. Οι ζυγοσταθμισμένοι σαρωτές είναι εξοπλισμένοι με δύο όργανα (ηλεκτρικά στοιχεία) ελέγχου της θερμοκρασίας, όπου το ένα έχει ένα θερμό σημείο αναφοράς και το άλλο ένα ψυχρό σημείο αναφοράς. Το αποτέλεσμα της καταγραφής είναι το αναλογικό σήμα, το οποίο καταγράφεται σε μαγνητικές ταινίες που έπειτα επεξεργάζονται στο εργαστήριο για την παραγωγή της εικόνας.

Οι περισσότεροι θερμικοί δέκτες καταγράφουν την συγκέντρωση της εκπεμπόμενης ενέργειας ή **ροή ενέργειας**, των αντικειμένων, που ορίζει την θερμική του ενέργεια και μπορεί να μετρηθεί με την βοήθεια θερμικών **ραδιομέτρων**. Αντίθετα οι θερμικοί δέκτες δεν μπορούν να μετρήσουν την θερμοκρασία ενός σώματος, η οποία προέρχεται από την κινητική ενέργεια των μορίων του και μετράται με το θερμόμετρο. Επειδή δε, όλα τα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας εκπέμπουν συνεχώς θερμική ενέργεια, αυτή είναι δυνατόν να ανιχνευθεί τόσο την ημέρα όσο και την νύχτα (Ψωμάδης, 2010).

4.2 Βασικές ιδιότητες της θερμικής ενέργειας

α) **Θερμική Αγωγιμότητα (Thermal conductivity-K):** Αναπαριστά το εύρος μέσα από το οποίο η θερμότητα περνάει μέσα σε ένα υλικό. Εκφράζεται σε θερμίδες, ανά εκατοστό, ανά δευτερόλεπτο και ανά βαθμό κελσίου ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), δηλαδή από το νούμερο των θερμίδων που θα περάσουν μέσα από μία επιφάνεια 1 cm^2 , σε χρόνο 1 sec ανά εύρος θερμοκρασίας $1 ^\circ\text{C}$ (Εικόνα 12).

β) **Θερμοχωρητικότητα (Thermal capacity-c):** είναι η ικανότητα κάθε αντικειμένου να αποθηκεύει θερμότητα. Εκφράζει δηλαδή τον αριθμό των θερμίδων που απαιτούνται για να αυξηθεί η θεροκρασία 1 gr κατά $1 ^\circ\text{C}$ ($\text{cal}/\text{gr} \cdot ^\circ\text{C}$). Η θερμοχωρητικότητα των περισσότερων γεωλογικών υλικών είναι σχεδόν όμοια, ενώ το νερό έχει πολύ μεγάλη θερμοχωρητικότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά.



Εικόνα 12: Τα φασματικά κανάλια που χρησιμοποιούνται στην θερμική υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Sabins, 1997).

Με την προσθήκη της πυκνότητας (density- ρ) ή του λόγου της μάζας δια του όγκου προστίθεται μια καινούρια έννοια, αυτή της **θερμικής αποθήκευσης (thermal storage)** που είναι παράγωγο του γινομένου της πυκνότητας με την θερμοχωρητικότητα, δηλαδή:

$$C = \rho \cdot c$$

γ) **Θερμική αδράνεια (Thermal inertia-P)**: είναι η μέτρηση της θερμικής απόκρισης ενός υλικού στις μεταβολές θερμοκρασίας και εκφράζεται σε θερμίδες ανα τετραγωνικό εκατοστό, ανά τετραγωνική ρίζα του δευτερολέπτου και ανά βαθμό κελσίου ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1/2} \cdot ^\circ\text{C}$). Η θερμική αδράνεια εκφράζεται σαν :

$$P = (K \cdot \rho \cdot c)^{1/2}$$

όπου K = θερμοχωρητικότητα

ρ = πυκνότητα, c = thermal capacity

Από τους τρεις αυτούς παράγοντες που την επηρεάζουν ο κυριότερος είναι η πυκνότητα. Στο μεγαλύτερο μέρος της η θερμική αδράνεια αυξάνεται γραμμικά με την

αύξηση της πυκνότητας ενός υλικού. Υλικά με χαμηλή θερμική αδράνεια έχουν μικρή θερμοχωρητικότητα, πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα. Ξηρά, πορώδη υλικά συνήθως έχουν χαμηλή θερμική αδράνεια. Αυτά τα υλικά αποκτούν την μέγιστη θερμοκρασία την ημέρα και την ελάχιστη την νύχτα. Αυτό συνοδεύεται και από μία μέγιστη διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, ΔT ($T_{max}-T_{min}$) κατά την διάρκεια της ημέρας (24 ώρες). Αντίθετα τα υλικά με υψηλή θερμική αδράνεια παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση στις μεταβολές της θερμοκρασίας, έτσι είναι σχετικά κρύα κατά την διάρκεια της ημέρας και σχετικά ζεστά κατά την διάρκεια της νύχτας. Αυτά παρουσιάζουν περισσότερο ομοιόμορφη επιφανειακή θερμοκρασία σ' ένα σχετικά μικρό θερμοκρασιακό εύρος, απ' ό,τι τα αντικείμενα με χαμηλή θερμική αδράνεια.

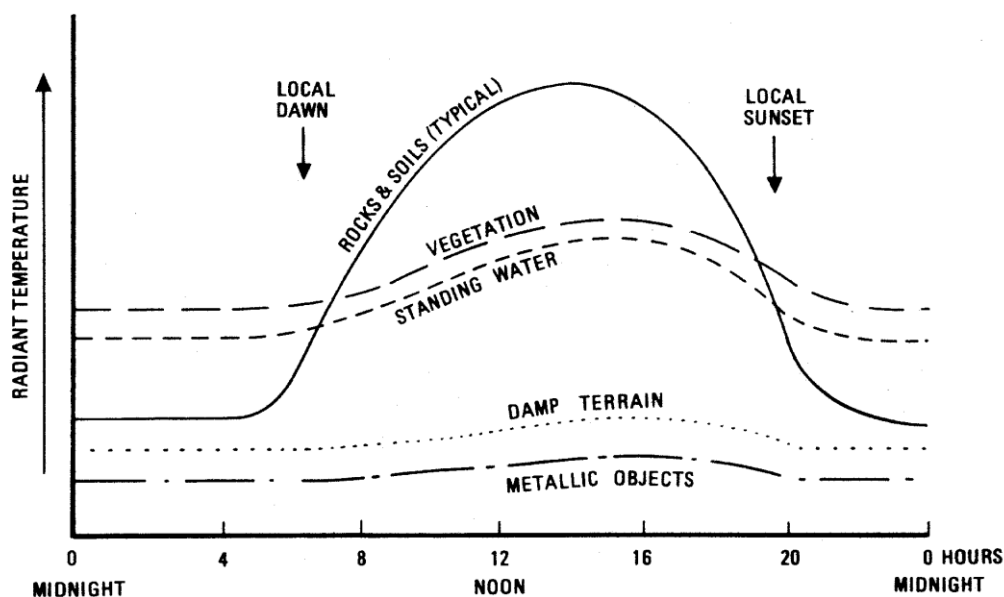
δ) **Θερμική διαχυτικότητα (Thermal Diffusivity-κ):** Οι ίδιες τιμές που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της θερμικής αδράνειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον καθορισμό της θερμικής διαχυτικότητας, η οποία δίδεται από την σχέση:

$$\kappa = K / (c \cdot \rho) = K/C \quad (\text{cm}^2/\text{sec})$$

Στον τομέα της τηλεπισκόπησης η θερμική διαχυτικότητα ελέγχει την ικανότητα των αντικειμένων να μεταφέρουν θερμότητα από την επιφάνεια του εδάφους στο υπέδαφος κατά την διάρκεια της ζεστής ημέρας και από το υπέδαφος στην επιφάνεια του εδάφους κατά την διάρκεια της ψυχρής νυχτερινής περιόδου. Για παράδειγμα ο γρανίτης έχει μεγαλύτερη θερμική διαχυτικότητα από ότι ο βασάλτης και έτσι μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερο ποσοστό θερμότητας στα βαθύτερα στρώματα κατά την διάρκεια τη ημέρας.

ε) **Ημερήσιες μεταβολές θερμοκρασίας (Diurnal temperature variation):**

Η εικόνα 13 δείχνει μια τυπική ημερήσια ποικιλομορφία στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία των διαφόρων γήινων αντικειμένων. Η πιο απότομη αλλαγή θερμοκρασίας εμφανίζεται με απότομα κύματα που λαμβάνουν χώρα νωρίς την αυγή και αργά το απόγευμα (δύση). Στην τομή δύο τέτοιων κυμάτων από διαφορετικά σώματα σχηματίζονται οι λεγόμενοι **θερμικοί κροσσοί συμβολής**, όπου η εκπεμπόμενη θερμοκρασία για τα δύο αντικείμενα είναι ακριβώς ίδια.



Εικόνα 13: Καμπύλες ημερήσιας ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας για διάφορα αντικείμενα της γήινης επιφάνειας (Sabins, 1997).

4.3 Ερμηνεία των θερμικών εικόνων

Οι θερμικές εικόνες απεικονίζουν την αντίθεση (contrast) στις διαβαθμίσεις του γκρι, οι οποίες προέρχονται από την διαφορετική θερμική ενέργεια που εκπέμπει κάθε σώμα. Οι ανοιχτότεροι τόνοι αναπαριστούν θερμές περιοχές ενώ οι σκοτεινότερες τις ψυχρότερες περιοχές. Αναλυτικότερα ισχύει για τα διάφορα αντικείμενα:

- Το νερό σε αντίθεση με το έδαφος: Οι υδάτινες μάζες είναι γενικά ψυχρότερες (σκοτεινές περιοχές) σε σχέση με τα εδάφη, κατά την διάρκεια της ημέρας, αλλά η επιφανειακή θερμοκρασία αντιστρέφεται την νύχτα με το νερό να είναι θερμότερο (λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας του - ανοιχτότεροι τόνοι), διότι δεν είναι δυνατή η μεταφορά θερμότητας στο έδαφος. Αν η ώρα της λήψης μιας εικόνας είναι απροσδιόριστη τότε υπολογίζεται η φασματική απόκριση κάθε αντικειμένου· έτσι μια εικόνα είναι γενικά νυχτερινή ή πρωινή ανάλογα με την απεικόνιση ενός συγκεκριμένου αντικειμένου.
- Βλάστηση: Τα δένδρα με κανονικό φύλλωμα συνήθως εμφανίζονται με σκούρους τόνους (ψυχρά) κατά την διάρκεια της ημέρας και με ανοιχτότερους τόνους την νύχτα (θερμά). Η εξατμισοδιαπνοή είναι μέγιστη τις πρωινές ώρες και αυτό μειώνει την θερμοκρασία των φύλλων (λανθάνουσα απώλεια θερμότητας).

Αυτός ο τύπος της βλάστησης εμφανίζεται θερμός την νύχτα λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό και της αντιστροφής του ζεστού αέρα από την επιφάνεια του εδάφους κατά την διάρκεια της νύχτας προς τα φύλλα (ο κρύος αέρας από τα υψηλότερα στρώματα πηγαίνει κοντά στο έδαφος). Τα δένδρα επίσης δεν επηρεάζονται από την επίδραση των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Το γρασίδι και αλλά χαμηλού ύψους φυτά είναι θερμότερα κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά γρήγορα πλησιάζουν την τοπική θερμοκρασία του αέρα μετά το ηλιοβασίλεμα. Σε μια ήρεμη νύχτα ο αέρας κοντά στο έδαφος είναι ψυχρότερος απ'ότι λίγα μέτρα πιο πάνω, έτσι η χαμηλή βλάστηση απεικονίζεται με σκοτεινότερους τόνους απ'ότι τα δένδρα. Η χαμηλή βλάστηση δε, επηρεάζεται άμεσα από τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους.

- Συνεκτικά και μη συνεκτικά υλικά: Εκτεθειμένα πετρώματα στην επιφάνεια εμφανίζονται γενικά με διαφορετικές διαβαθμίσεις του γκρι λόγω της διαφορετικής τους θερμικής αδράνειας και θερμικής διαχυτικότητας. Στις ημερήσιες εικόνες, τα επιφανειακά πετρώματα εμφανίζονται με σκοτεινότερους τόνους από ότι τα μη συνεκτικά υλικά, ενώ το αντίθετο λαμβάνει χώρα στις νυχτερινές εικόνες.

- Επίπεδα υλικά (Pavement materials): Υλικά όπως η άσφαλτος, το τσιμέντο και οι χωμάτινοι δρόμοι, εμφανίζονται σχετικά ζεστά (ανοιχτοί τόνοι) τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα. Είναι δηλαδή γενικά καλοί απορροφητές της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας και επειδή έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα είναι ικανά να εκπέμπουν θερμική ενέργεια για πολλές ώρες μετά την δύση του ηλίου. Λιγότερο φωτεινοί το βράδυ εμφανίζονται οι χωμάτινοι δρόμοι γιατί χάνουν πιο εύκολα την θερμική τους ενέργεια.

- Μεταλλικές επιφάνειες: Οι γυμνές μεταλλικές επιφάνειες εμφανίζονται με σκούρους τόνους τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας τους. Η γυαλιστερή επιφάνειά τους παρουσιάζει μικρότερη εκπομπή από άλλα σώματα ή ουσίες και συνεπώς εκπέμπουν πολύ λιγότερη θερμική ενέργεια.

- Πηγές υψηλής θερμοκρασίας: Η θερμική εκπομπή από σημεία όπως είναι το σημείο εκδήλωσης μιας πυρκαϊάς, ένα εν ενεργεία ηφαίστειο και γεωθερμικές πηγές είναι σχετικά ανεπηρέαστα απ'το στάδιο της ημέρας. Η εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία παραμένει αρκετά σταθερή και έτσι αυτοί εμφανίζονται με πολύ έντονα ανοιχτούς τόνους όλη την ημέρα.

- Καλυπτόμενα χαρακτηριστικά: Σε ορισμένες περιπτώσεις κάποια καλυμμένα χαρακτηριστικά ανιχνεύονται από τους θερμικούς δέκτες ακόμα και αν αυτοί δεν έχουν την δυνατότητα "διείσδυσης" στην πληροφόρηση. Για παράδειγμα, τις νυχτερινές θερμικές εικόνες μπορεί να ανιχνευτεί ένα ρέμα που βρίσκεται κάτω από πυκνή βλάστηση. Αυτό συμβαίνει γιατί η βλάστηση τότε λαμβάνει την θερμότητα που προέρχεται από το ρέμα και έτσι αυτή υπερεκπέμπει θερμική ενέργεια που έμμεσα υποδηλώνει την ύπαρξη του ρέματος.

- "Φαντάσματα" : Το φαινόμενο των φαντασμάτων κάποιων συγκεκριμένων σωμάτων μπορεί να εμφανιστεί σε μία θερμική εικόνα, όταν το αντικείμενο που δημιούργησε μια διαφοροποίηση στην θερμοκρασία σε σχέση με το έδαφος μετακινηθεί. Για παράδειγμα, αυτοκίνητα που είναι παρκαρισμένα σε άσφαλο κατά την διάρκεια της μέρας δημιουργούν από κάτω τους έναν χώρο (όσο το εμβαδό τους) με χαμηλότερη θερμοκρασία, έτσι όταν μετακινηθούν αφήνουν ουσιαστικά ένα σημάδι χωρίς να βρίσκονται εκεί δηλαδή δίνουν την εντύπωση ενός φαντάσματος.

4.4 Χρήσεις των θερμικών-υπέρυθρων εικόνων

Από τις φασματικές εικόνες μπορούν να προκύψουν ποικίλες πληροφορίες οι οποίες είναι εφαρμόσιμες σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Μερικές από αυτές τις πληροφορίες είναι:

- Οι θερμικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με το υδάτινο δυναμικό. Για παράδειγμα, θερμές επιδράσεις που είναι αποτέλεσμα της ρύπανσης των υδάτων μετά την απόρριψη λυμάτων σε λίμνες και ποτάμια, μπορούν εύκολα να ανιχνευθούν εξαιτίας της μεγάλης θερμικής διαφοροποίησης μεταξύ των αποβλήτων και των υδάτων. Ταυτόχρονα είναι δυνατός ο εντοπισμός συγκεκριμένων περιοχών όπου είναι εμφανής η παρουσία φυσικών μορφών κυκλοφορίας στα υδάτινα σώματα, όπου τα υπόγεια νερά εκβάλλουν σε ένα ωκεανό ή σε ένα ποτάμι. Ακόμα είναι δυνατή η ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων από την επίσης διαφορετική θερμική εκπομπή του πετρελαίου από το περιβάλλον ύδωρ.

- Επιπλέον είναι δυνατός και ο εντοπισμός των επιφανειακών υδάτων. Για παράδειγμα, πηγές, διαρροές υδάτων και μικρές πηγές που τροφοδοτούν ρέματα, κυρίως στις εικόνες που προέρχονται από ήπιες νύχτες. Έτσι καθώς το νερό των πηγών είναι θερμότερο από το έδαφος, ανιχνεύεται αφού έχει ανοιχτότερους χρωματισμούς από τους πιο σκούρους που υπάρχουν από το γύρω έδαφος.

Οι θερμικές εικόνες επίσης είναι χρήσιμες για πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου:

- της καταγραφής της επιφανειακής υγρασίας
- την παρακολούθηση πυρκαγιών δασών
- την χαρτογράφηση περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών

Οι θερμικές εικόνες επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες του περιβάλλοντος που ένας ερμηνευτής πρέπει να γνωρίζει :

α) Από τα σύννεφα και τους επιφανειακούς ανέμους: αυτοί δημιουργούν θερμικά τμήματα "ομίχλης" κοντά στην επιφάνεια του εδάφους

β) Ώρα της ημέρας: Οι ημερήσιες εικόνες καταγράφουν την διαφορετική εκπεμπόμενη θερμότητα και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Οι γεωλογικές όμως αλλά και άλλοι τομείς ερμηνείας απαιτούν κυρίως νυχτερινές εικόνες.

γ) Επιφανειακή υγρασία και πυκνότητα της βλάστησης: Αυτοί οι παράγοντες επιδρούν καλύπτοντας κατά κάποιον τρόπο άλλα χαρακτηριστικά στις θερμικές εικόνες και γι' αυτό και τα συμπεράσματα είναι καταλληλότερα σε εικόνες ξηρών και ημίξηρων περιοχών.

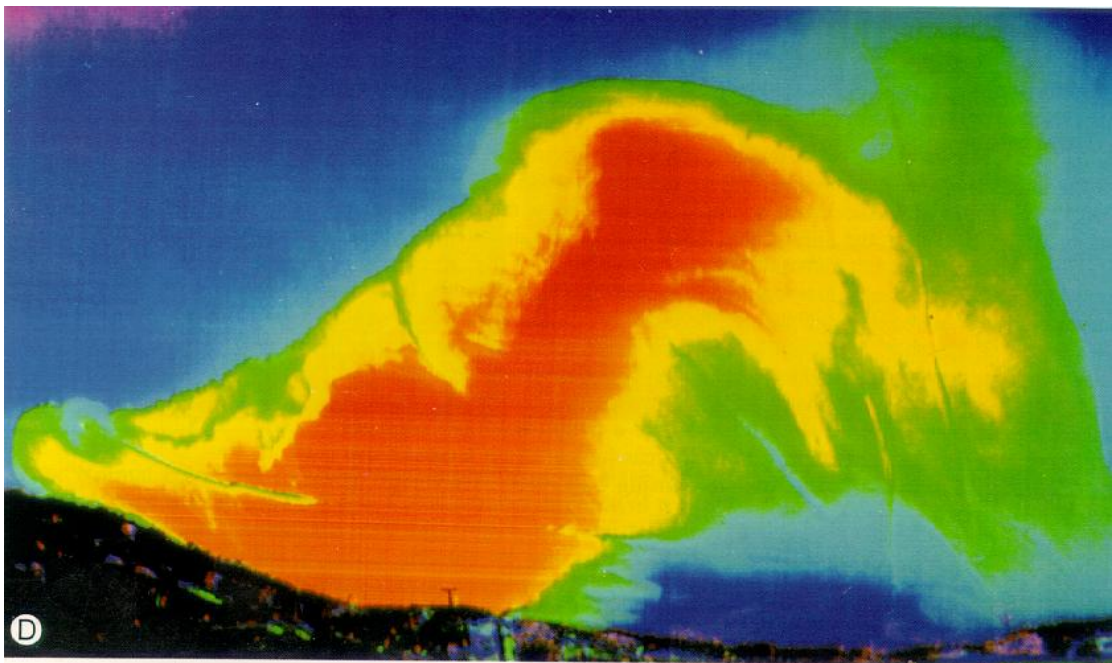
Διάφορες εφαρμογές του θερμικού φάσματος του Landsat TM έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για έρευνα και εξερεύνηση διαφόρων φυσικών φαινομένων. Κάποιες από αυτές είναι η χρησιμοποίησή του για την αναγνώριση θερμικών νησίδων στην περιοχή των Αθηνών (Παρχαρίδης και αλ., 1994), η εκτίμηση της επιφανειακής θερμοκρασία με ανίχνευση της ατμοσφαιρικής επίδρασης (Price, J.C., 1983), την μέτρηση της θερμικής εκπεμπτικότητας των εδαφών (Taylor, S.E., 1979) καθώς και η θερμική φασματική συμπεριφορά κάποιων πετρωμάτων και ορυκτών (Lyon, 1972; 1975), η μελέτη του φαινομένου της θερμικής διαχωριστικής επιφάνειας που παρουσιάζεται σε διάφορες λίμνες (κυρίως μεγάλου μεγέθους που έχουν ένα κομμάτι με μεγάλο βάθος και ένα άλλο ρηχό) και κατά το μεταβατικό στάδιο από κρύες σε θερμές περιόδους του έτους και αντίστροφα, σε διάφορες μεγάλες ή μικρές λίμνες. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των λιμνών είναι η ύπαρξη μιας περιοχής με αρκετό βάθος και μιας άλλης περιοχής αρκετά ρηχής που συντελούν κατά αυτόν τον τρόπο στην δημιουργία του φαινομένου, το οποίο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη και διατήρηση της ζωής των υδρόβιων οργανισμών μιας της λίμνης (Malm & Jönsson, 1993) κ.α..

Ταυτόχρονα με την χρήση θερμικών-υπέρυθρων εικόνων είναι δυνατή και η ανίχνευση της διαφυγής θερμών και ψυχρών υδάτων σε διάφορες μεγάλες υδάτινες μάζες, όταν υπάρχει μια σαφής θερμοκρασιακή διαφοροποίηση μεταξύ τους. Στην Εικόνα 14, φαίνεται μία χρωματικά κωδικοποιημένη θερμική, υπέρυθη εικόνα όπου φαίνεται η

διάχυση θερμών υδάτων σε ένα υδάτινο μέσο. Η εικόνα αυτή αποκτήθηκε τον Αύγουστο του 1970 στις 7:20 πμ. τοπική ώρα. Κάθε θερμοκρασιακό διάστημα 1°C απεικονίζεται σε ένα από τα έξι χρώματα. Η διαδοχική θερμοκρασιακή σχέση από το ζεστό στο ψυχρό είναι: κόκκινο, κίτρινο, πράσινο, κυανό, μπλε και ανοιχτό μωβ. Η παραγόμενη αυτή εικόνα βελτιώνει ουσιαστικά την ερμηνεία των δεδομένων της. Η επεξεργασία της δε, έγινε με το σύστημα Daedalus DIGICOLOR®.

Επίσης μια σημαντική εφαρμογή των θερμικών εικόνων είναι η εντοπισμός αρχαιολογικών χώρων, λόγω της ικανότητάς τους να ανιχνεύουν ακόμα και ελάχιστες θερμοκρασιακές διαφοροποιήσεις (ημέρα και/ή νύχτα) που μπορούν να συσχετιστούν με θαμμένα ή δύσκολα διακριτά αντικείμενα της γήινης επιφάνειας.

Τέλος οι Ρόκος κ. αλ. 1990, αναφέρουν ότι σύμφωνα με τον Rudd (1974) οι θερμικές εικόνες έχουν εξακριβώσει ρηξιγενείς ζώνες ή άλλα ρήγματα στο μητρικό πέτρωμα, ανιχνεύοντας διάφορες στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία, οι οποίες οφείλονται στην παρουσία αυξημένης υγρασίας στην περιοχή των ρηγμάτων. Επίσης οι απεικονίσεις των θερμικών σαρωτών που λαμβάνονται λίγο πριν την ανατολή του ηλίου αποκαλύπτουν τόσο λιθολογικά όσο και τεκτονικά στοιχεία, γεγονός που οφείλεται στον διαφορετικό ρυθμό ψύχρανσης (cooling rate) των πετρωμάτων. Σύμφωνα όμως με την έρευνα που έγινε από την ερευνητική ομάδα του καθηγητή Δ. Ρόκου στην περιοχή της Καλαμάτας, το θερμικό κανάλι δεν έδωσε πολύ σημαντικές πληροφορίες τόσο λιθολογικού όσο και τεκτονικού χαρακτήρα λόγω της μικρής διακριτικής ικανότητας 120 x 120 m των pixel της εικόνας.



Εικόνα 14: Κωδικοποιημένη χρωματικά υπέρυθρη εικόνα. Η διαδοχική θερμοκρασιακή σχέση από το ζεστό στο ψυχρό είναι: κόκκινο, κίτρινο, πράσινο, κυανό, μπλε και ανοιχτό μωβ (George England, Daedalus Enterprises, Inc. and the University of Wisconsin).

5. Επεξεργασία και ερμηνεία των οπτικών δεδομένων

Όλες οι εργασίες επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων (Δ.Ε.) έγιναν με το λογισμικό Erdas Imagine 8.7. Το λογισμικό ERDAS Imagine 8.7 είναι μια ευρεία συλλογή από εργαλεία λογισμικού η οποία έχει σχεδιαστεί ειδικά για την επεξεργασία εικόνων. Επιτρέπει την εξαγωγή δεδομένων από εικόνες σαν ένας έμπειρος επαγγελματίας, ανεξάρτητα από την εμπειρία ή την εκπαίδευσή του χρήστη.

Από την ίδρυσή της, ERDAS Imagine έχει χρησιμοποιηθεί για πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των φυσικών πόρων, των τηλεπικοινωνιών, τον αστικό σχεδιασμό και τη χαρτογράφηση των ενδιατημάτων. Απλό, εύκολο στη χρήση γραφικό περιβάλλον εργασίας του προϊόντος παρουσιάζει στους χρήστες ένα συγκρότημα με σουίτες της υψηλής ισχύος χωρικών ενίσχυση και εργαλείων ανάλυσης. Επιπλέον, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας του λογισμικού είναι αρκετές και περιλαμβάνουν εκείνων που απαιτούνται για την εκτέλεση των καθηκόντων που κυμαίνονται από γεωμετρική διόρθωση και βελτίωση της εικόνας στην προηγμένη επεξεργασία και ανάλυση των πολυφασματικών και υπερφασματικών εικόνων σε μορφή 2-D και 3-D περιβάλλοντα.

Με μεγάλη και εύκολη στη χρήση επιλογή των εργαλείων επεξεργασίας εικόνας, το ERDAS Imagine, απλουστεύει και βελτιστοποιεί τη ροή εργασίας.

Μια σχεσιακή βάση δεδομένων προσφέρει τεράστια οφέλη αφού επιτρέπει στους τελικούς χρήστες ορατότητα στα δεδομένα που περιέχει και την αύξηση της προσβασιμότητας της πληροφορίας.

Το ERDAS ενσωματώνει τις λειτουργίες επεξεργασίας της εικόνας και GIS. Ειδικότερα, στόχος της χρήσης του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν η γεωαναφορά (γεωμετρική διόρθωση) των δορυφορικών εικόνων και ακολούθως η μελέτη των μεταβολών της θερμοκρασίας του αστικού ιστού, μέσω αλγορίθμων.

5.1 Γενικά

Πριν δοθεί μία εικόνα, με υψηλή πιστότητα στους ερευνητές για ανάλυση, υπόκειται σε:

- i) διορθώσεις και
- ii) αποκατάσταση της αρχικής της μορφής.

Οι διορθώσεις και η αποκατάσταση της αρχικής εικόνας περιλαμβάνει γεωμετρικές και ραδιομετρικές διορθώσεις (Mather, 1987). Τα γεωμετρικά λάθη μπορεί να οφείλονται σε λάθη των οργάνων του δορυφόρου, στην πανοραμική παραμόρφωση λόγω σχήματος της Γης ή στην περιστροφή της Γης. Γεωμετρική διόρθωση ονομάζεται η μετατροπή της εικόνας, έτσι ώστε να έχει την κλίμακα και τις σχεδιαστικές ιδιότητες ενός χάρτη.

Η ακτινοβολία που μετράται από ένα σύστημα για ένα αντικείμενο επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο φωτισμός, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του οργάνου που κάνει την μέτρηση. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να διορθώσουμε μια εικόνα από αυτές τις επιδράσεις ονομάζονται ραδιομετρικές και είναι δυσκολότερες στην εφαρμογή τους σε σχέση με τις γεωμετρικές. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε ιστογράμματα στα οποία παρουσιάζεται η συχνότητα κατανομής των ψηφιακών τιμών των pixels (Digital Numbers-DNs), ενώ οι μεγαλύτερες τιμές των δεδομένων καθορίζονται από διάφορες μετρήσεις όπως είναι η διάμεσος, η σταθερή απόκλιση, η μέση τιμή κ.λ.π.. Επίσης, είναι δυνατόν να έχουμε επιπλέον στοιχεία όπως είναι ο αριθμός των pixels για κάθε ψηφιακή τιμή, το ποσοστό συμμετοχής κάθε ψηφιακής τιμής, στο σύνολο των pixels, τα αθροιστικά ποσοστά των DNs κ.α.

Τα βασικά τμήματα επεξεργασίας μιας εικόνας σύμφωνα με τους (Avery & Berlin 1992, Richards 1994, Campbell 1996) είναι:

- α) Αποκατάσταση ή προεπεξεργασία (preprocessing) της εικόνας,
- β) Βελτίωση της παρουσίασης της εικόνας (image enhancement),
- γ) Ταξινόμηση της εικόνας (image classification)

5.2 Αποκατάσταση ή Προεπεξεργασία

Η προεπεξεργασία, στο κεφάλαιο της ψηφιακής ανάλυσης, αναφέρεται σε εκείνες τις διαδικασίες που είναι προκαταρκτικές για την κύρια ανάλυση. Πρέπει βέβαια να δοθεί έμφαση στο ότι παρόλο που η προεπεξεργασία είναι μια βασική διαδικασία που χρησιμοποιείται συχνά, όμως ωστόσο δεν υπάρχει μια σταθερή διαδικασία, τυπικών ενεργειών που ακολουθούμε, διότι κάθε φορά το προϊόν, αλλά και το επιθυμητό αποτέλεσμα διαφέρουν.

ι) Ραδιομετρικές διορθώσεις: στην περίπτωση των ψηφιακών εικόνων χρησιμοποιούμε H/Y και ειδικό λογισμικό για τη διαχείριση και εμφάνιση της εικόνας,

καθώς και για τη δημιουργία προϊόντων τα οποία θα ικανοποιούν τον ερμηνευτή. Βασικά τα ραδιομετρικά προβλήματα οφείλονται κατά κύριο λόγο είτε σε λάθος στην καταγραφή ή την ψηφιοποίηση, είτε στην λάθος αντίληψη της φωτεινότητας στην εικόνα από την επίδραση της ατμόσφαιρας. Αυτό συμβαίνει διότι κάθε δέκτης που καταγράφει την γήινη επιφάνεια (στο ορατό ή κοντινό υπέρυθρο) καταγράφει ουσιαστικά την μίξη δύο ειδών φωτεινότητας.

Μία που προέρχεται από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των αντικειμένων και μία δεύτερη από την διάχυση που επιφέρει στην ακτινοβολία η διάχυση της από την ατμόσφαιρα. Η διάκριση των δύο τιμών φωτεινότητας είναι δύσκολη, έτσι το βασικό μέλημα της ραδιομετρικής διόρθωσης (ή ατμοσφαιρικής διόρθωσης) είναι να αναγνωριστούν και κατόπιν να διαχωριστούν αυτοί οι δύο παράγοντες, έτσι ώστε η βασική ανάλυση έπειτα να γίνει σύμφωνα με την σωστή επιφανειακή φωτεινότητα.

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται χρησιμοποιούν, είτε την εξέταση και σύγκριση μιας γνωστής ακτινοβολούμενης ενέργειας από ένα αντικείμενο ώστε να φανεί η διαφοροποίηση, είτε έτοιμα μοντέλα εφαρμογών που εξετάζουν την φυσική συμπεριφορά της ενέργειας που διέρχεται από την ατμόσφαιρα.

Θεωρητικά η διάκριση των δύο τιμών φωτεινότητας θα έπρεπε να γίνει για κάθε τιμή pixel της εικόνας χωριστά, πρακτικά όμως εφαρμόζουμε την ίδια διόρθωση σε ολόκληρο το φασματικό κανάλι (Campbell, 1996).

Συνήθως προσθέτοντας γνώσεις για την φύση αυτών των επιδράσεων είναι δυνατό να εκτιμηθεί η σπουδαιότητα τους και μετά να καταστεί δυνατή η εξάλειψη τους ή η μείωση της επίδραση τους στα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στα τελευταία βήματα της ανάλυσης. Αποβάλλοντας αυτές τις επιδράσεις βέβαια υπάρχει πάντα η πιθανότητα, χωρίς να γίνεται εύκολα αντιληπτό, να υπάρχουν λάθη μιας και δεν είναι απόλυτη και ακριβής η πραγματική αυτή τιμή. Έτσι ο ερευνητής πρέπει να αποφασίσει εάν τα λάθη ή μειονεκτήματα μιας εικόνας που θα εξαλειφθούν είναι σημαντικότερα και μεγαλύτερα απ' αυτά που ίσως δημιουργηθούν.

ii) Γεωμετρικές διορθώσεις: η δορυφορική εικόνα δεν αποτελεί τοπογραφικό ή άλλο συντεταγμένο και τοπογραφημένη χάρτη οπότε και εμφανίζει γεωμετρικές παραμορφώσεις οι οποίες συνδέονται με διάφορα χαρακτηριστικά της σάρωσης, της κίνησης του δορυφόρου ως προς τη γη κ.α. (Reichert 1989, Mather 1999):

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα περιέχουν τόσο συστηματικά όσο και μη συστηματικά γεωμετρικά λάθη, που μπορούν σύμφωνα με τον Jensen (1986) να χωριστούν σε δύο

κατηγορίες: αυτά που μπορεί να διορθωθούν υπολογίζοντας την επίδραση του δορυφόρου και του αισθητήρα και σε αυτά που δεν μπορούν να διορθωθούν με ακρίβεια χωρίς ένα ικανοποιητικό αριθμό εδαφικών σημείων ελέγχου (GCP), τα οποία είναι σημεία της γήινης επιφάνειας όπου τόσο οι συντεταγμένες στην εικόνα όσο και στο χάρτη, μπορούν να προσδιοριστούν.

α. Μετατροπή των συντεταγμένων

Βασίζεται στη γνώση χαρακτηριστικών της τροχιάς του δορυφόρου, της περιστροφής της γης και στο βαθμό δειγματοληψίας της, κατά την κατά μήκος (along-scan) και την κατά πλάτος (across-scan) σάρωση του αισθητήρα.

Εφαρμόζονται οι ακόλουθοι τρόποι διόρθωσης:

1. Αλλαγή της κλίμακας.
2. Διόρθωση της στρέβλωσης (skew correction).
3. Διόρθωση του σφάλματος λόγω περιστροφής της γης.

β. Μετατροπές που βασίζονται σε εδαφικά σημεία ελέγχου (GCP's)

Τα εδαφικά σημεία ελέγχου πρέπει να είναι καλά ορισμένα και εύκολα αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά που μπορούν να εντοπιστούν με ακρίβεια τόσο πάνω στο χάρτη όσο και πάνω στην εικόνα. Δεν πρέπει όμως να είναι σημεία με εποχιακές διακυμάνσεις όπως π.χ. όρια αγροτεμαχίων, ακτογραμμές κ.τ.λ..

Ο αριθμός των GCP's που χρειάζεται για να δώσει πρακτικά ικανοποιητική διόρθωση της εικόνας, είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που μαθηματικός απαιτείται.

Έτσι για παράδειγμα για να εξασφαλιστεί ο μετασχηματισμός για πρώτου βαθμού πολυώνυμο χρειάζονται 3 σημεία, για δευτέρου 6 σημεία και για τρίτου 10.

Οι περισσότεροι αποδεκτές στατιστικές υποδεικνύουν όμως ένα δείγμα 30 σημείων, αν και η πράξη δείχνει ότι και 15 σημεία αρκούν για να δώσουν ικανοποιητική διόρθωση σε μικρή περιοχή με τη χρήση πρώτης τάξεως πολυωνύμου.

Η χωρική διακύμανση των εδαφικών σημείων ελέγχου παίζει επίσης σημαντικότερο ρόλο στη διόρθωση. Στατιστικές δείχνουν ότι τα GCP's πρέπει να ακολουθούν τη συνάρτηση της κανονικής κατανομής στην εικόνα.

γ. Αναδόμηση της εικόνας (Resampling Procedure)

Όπως αναμένεται κατά τη διόρθωση της εικόνας από χάρτη, τα κέντρα των pixels του πλέγματος δεν αντιστοιχούν ακριβώς με τα κέντρα των pixels στην εικόνα. Προκειμένου λοιπόν να ληφθεί απόφαση για την τιμή της φωτεινότητας του κάθε pixel, προτείνονται τρεις μέθοδοι:

1. Μέθοδος των γειτονικών σημείων (**Nearest Neighbor**), σύμφωνα με την οποία επιλέγεται το pixel που έχει το κέντρο του πιο κοντά στο σημείο που εντοπίστηκε στην εικόνα. Αν και η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα της απλότητας, μπορεί να δημιουργήσει αξιοσημείωτα λάθη στα γραμμικά χαρακτηριστικά.
2. Μέθοδος της διγραμμικής παρεμβολής (**Bilinear Interpolation**), η οποία υπολογίζει μία τιμή φωτεινότητας βασιζόμενη στο μέσο όρο των τιμών των τεσσάρων κοντινότερων pixels. Η τελική εικόνα έχει περισσότερο “φυσική” όψη απ’ ότι με την προηγούμενη μέθοδο αλλά η διακύμανση των τιμών της φωτεινότητας διαφέρει από αυτή της αρχικής εικόνας. Επίσης μειώνεται και η χωρική ανάλυση γεγονός που οφείλεται στο ότι τα μικρά χαρακτηριστικά, με την εφαρμογή του μέσου όρου, εξομοιώνονται με το περιβάλλον τους.
3. Μέθοδος της κυβικής συνέλιξης (**Cubic convolution**). Είναι η πιο πολύπλοκη και πιθανώς η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος που βασίζεται στον υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών της φωτεινότητας των 25 κοντινότερων pixels (Campbell, 1996).

δ. Αναγωγή εικόνας ως προς άλλη (image to image registration)

Για ορισμένες εφαρμογές μπορεί να μην απαιτείται η γεωδαιτική συσχέτιση και αναφορά μιας εικόνας σ' ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο, αλλά απλώς η συσχέτισή της με άλλη εικόνα της ίδιας περιοχής, που ελήφθη με τις ίδιες ή άλλες συνθήκες λήψης, από τον ίδιο ή διαφορετικούς σαρωτές, στην ίδια ή σε διαφορετικές φασματικές περιοχές, την ίδια ή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Για παράδειγμα, οι μεταβολές των χρήσεων γης σε μία εκτεταμένη περιοχή, χωρίς την ανάγκη ακριβούς εκτίμησής τους, θα μπορούσε να γίνει με απλή συσχέτιση και σύγκριση δύο ή περισσότερων εικόνων διαφορετικών χρονικών περιόδων.

Πέρα από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, πολύ συχνά χρησιμοποιούνται για την αναγωγή των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων ως προς άλλες, ειδικές μέθοδοι συσχέτισης (Ρόκος και αλ., 1990).

5.3 Τεχνικές Βελτίωσης της εικόνας (Image Enhancement)

Οι τεχνικές βελτίωσης μιας δορυφορικής εικόνας είναι:

- ✓ Βελτίωση της αντίθεσης (Contrast Enhancement)
- ✓ Χρήση φίλτρων (filters)
- ✓ Συνδυασμός φασματικών ζωνών (Combination of spectral zones)
- ✓ Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal components analysis)
- ✓ Λόγοι φασματικών ζωνών (Ratios)

5.3.1 Βελτίωση της αντίθεσης (Contrast Stretching)

Οι τεχνικές αυτές τονίζουν την αντίθεση μεταξύ των χαρακτηριστικών σε μια ψηφιακή εικόνα (Avery & Berlin, 1992). Οι αισθητήρες των δορυφόρων πρέπει να έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύουν επίπεδα ανάκλασης από τα χαμηλότερης (θαλάσσιες επιφάνειες) μέχρι τα υψηλότερης (επιφάνειες πάγων) ανακλαστικής ικανότητας αντικείμενα. Ερμηνεύοντας ένα ιστόγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε την αποτύπωση των pixels σε μία εικόνα που έχουν τιμές από 0 έως 255, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα συστήματα δουλεύουν με 8-bits, τα οποία αντιστοιχούν σε 256 διαβαθμίσεις του γκρι. Στην αρχική μορφή της εικόνας δεν χρησιμοποιούνται όλες οι διαβαθμίσεις με αποτέλεσμα η εικόνα να εμφανίζεται χωρίς χρωματική αντίθεση και με χαμηλή φωτεινότητα (contrast). Σύμφωνα με το στερεοδιάγραμμα του κύβου RGB οι τιμές των pixels συσσωρεύονται σε ένα μικρό τμήμα του άξονα με κορυφές το άσπρο και το μαύρο. Η βελτίωση της αντίθεσης στην εικόνα γίνεται με τους εξής τρόπους:

α) Με γραμμική επέκταση της αντίθεσης (linear contrast stretching): στην πιο απλή της μορφή, περιλαμβάνει την αποτύπωση των τιμών των pixels στην πλήρη εξάπλωσή της κατανομής των τιμών, από την παρατηρούμενα κατάσταση DN_{min} έως DN_{max} . Οι τιμές των pixels ορίζονται με τρόπο ώστε τα DN_{min} να αποτυπώνονται στην τιμή 0 και τα DN_{max} στην τιμή 255. Οι ενδιάμεσες τιμές κρατούν τις σχετικές θέσεις με τρόπο ώστε οι μέσες τιμές μεταξύ DN_{min} και DN_{max} να αντιστοιχούν στο 127. Με γραμμική επέκταση της αντίθεσης έχουμε αύξηση της αντίθεσης στην ψηφιακή εικόνα ενώ διατηρούνται οι συσχετισμοί της αρχικής ακτινοβολίας.

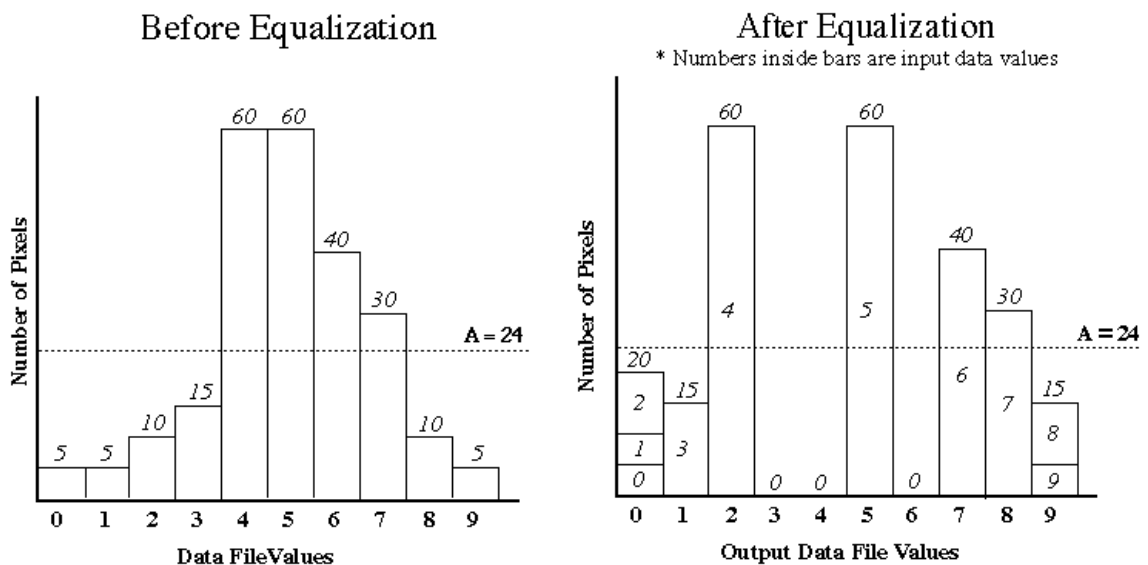
β) Με λογαριθμική επέκταση: Τα δεδομένα με αυτήν την μέθοδο μπορούν να επεκταθούν χρησιμοποιώντας μια λογαριθμική συνάρτηση. Η λογαριθμική αυτή επέκταση είναι χρήσιμη για χαρακτηριστικά που κρύβονται σε σκοτεινά σημεία της

αρχικής εικόνας, ενώ η εκθετική συνάρτηση επεκτείνει τα φωτεινά σημεία της κλίμακας του γκρι της αρχικής εικόνας.

γ) Με πολλαπλή γραμμική επέκταση (piece-wise linear stretch): Διαφορετικά segments της χρωματικής διαφοροποίησης του γκρι, στην αρχική εικόνας μπορούν να επεκταθούν διαφορετικά, δηλαδή κάθε ένα απ' αυτά να επιδέχεται ξεχωριστά γραμμική επέκταση.

δ) Ισοδυναμοποίηση του ιστογράμματος (Histogram Equalization): η οποία καλείται επίσης και αθροιστική κατανομή συνάρτηση επέκτασης ή ενιαία κατανομή επέκτασης. Ακολουθώντας την κανονική κατανομή, τα pixels κοντά στην μέση τιμή είναι αυτά που απαντώνται πιο συχνά. Η μέθοδος αυτή επεκτείνει όλα τα DNs και τα μετατρέπει σε ισοδύναμη συχνότητα. Κατ' αυτόν τον τρόπο η νέα εικόνα που δημιουργείται έχει ομοιόμορφη πυκνότητα των pixels κατά τον άξονα DN. Η μέθοδος αυτή από μόνη της περιέχει τον υπολογισμό του αριθμού των pixels σε κάθε τάξη του ιστογράμματος κατανομής.

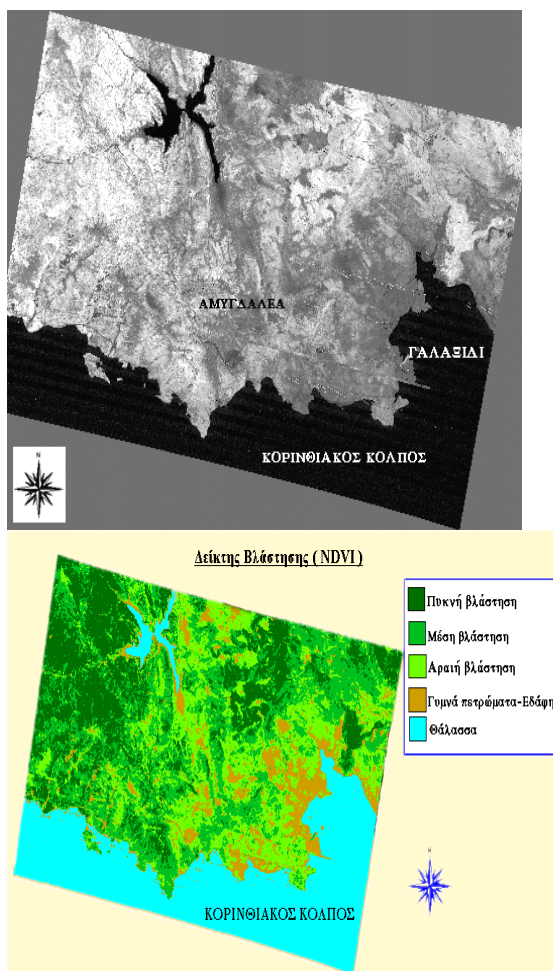
Η τιμή αυτή μπορεί να βρεθεί εύκολα από τη διαίρεση του N, που αντιπροσωπεύει το σύνολο των pixels της εικόνας, με το 256, που είναι ο αριθμός των τάξεων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε μεμονωμένη εικόνα (μιας ψηφιακής ζώνης) B/W, δεν κρίνεται όμως κατάλληλη για έγχρωμες εμφανίσεις (Μιγκίρος κ. αλ. 1995), (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Απεικονίζονται τα ιστογράμματα που δείχνουν τις τιμές πριν και μετά την εφαρμογή της ισοδυναμοποίησης. Όταν τα συγκρίνουμε, βλέπουμε ότι η μέθοδος αυτή ενισχύει το κοντράστ των πιο πολυεμφανιζόμενων περιοχών. Στο παράδειγμα αυτό το αρχικό ιστόγραμμα από 3-7 επεκτείνεται σε εύρος από 1-8.

ε) Χρωματική Βελτίωση με τεμαχιοποίηση της πυκνότητας (Density slicing): Είναι ο χάρτης ενός τμήματος από συνεχόμενα γκρι επίπεδα μιας εικόνας από συγκεκριμένα φασματικά κανάλια στις οποίες εφαρμόζεται μια κυβική έγχρωμη απεικόνιση των βασικών χρωμάτων (κόκκινο, πράσινο, μπλε). Το εύρος των συνεχόμενων γκρι επιπέδων καλούνται **τεμάχια** (slices). Το εύρος 0-255 απλά μετατρέπεται σε διαφορετικά τεμάχια χρωμάτων. Αυτή η μετατροπή της μαυρόασπρης εικόνας σε ψευδέγχρωμη, δίνει την δυνατότητα του καλύτερου τονισμού ορισμένων χαρακτηριστικών, με ταυτόχρονο όμως τον κίνδυνο της απώλειας κάποιων απαραίτητων λεπτομερειών.

Βέβαια εάν οι τιμές των pixels μιας εικόνας είναι συγκεντρωμένες σε ένα μικρό κομμάτι της κλίμακας του γκρι τότε η απόδοση ενός χρώματος σε μία εικόνα δεν θα δώσει αντίστοιχα έντονη χρωματική διαφοροποίηση. Για αυτό η χρήση της ισοδυναμοποίησης του ιστογράμματος, μπορεί να δώσει λύση σε αυτό το πρόβλημα (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Εικόνα του δείκτη βλάστησης μιας περιοχής στην Κεντρική Στερεά Ελλάδα, πριν και μετά την εφαρμογή της τεμαχιοποίησης της πυκνότητας (density slicing). Είναι φανερό ότι το προϊόν που προκύπτει, αποτελεί καλύτερο υπόβαθρο, για έναν χρήστη όσον αφορά την προσπάθεια ανάλυσης και ερμηνείας αυτής της εικόνας, (Parcharidis et al., 1998).

5.3.2 Λόγοι φασματικών καναλιών (Multispectral band ratioing)

Η διαίρεση φασματικών καναλιών είναι μια μέθοδος, η οποία δημιουργεί πολυφασματικές εικόνες που βελτιώνουν λεπτές φασματικές ανακλαστικότητες ή χρωματικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιφανειακών υλικών που συχνά είναι δύσκολο να ανιχνευτούν στις αρχικές εικόνες (π.χ. σ' ένα απλό φασματικό κανάλι ή στις σύνθετες ψευδέγχρωμες εικόνες των απλών καναλιών). Η διαίρεση των καναλιών τονίζει τις χρωματικές διαφοροποιήσεις αφού απομακρύνει την φωτεινότητα πρώτης τάξης, η οποία οφείλεται στην τοπογραφία (π.χ. προσήλια ή σκιασμένα πρανή). Έτσι η διακαναλική διαίρεση επιδρά ομαλοποιώντας τα φασματικά δεδομένα απομακρύνοντας την φωτεινότητα της αντίθεσης και τονίζοντας τα περιεχόμενα χρώματα των δεδομένων.

Η εφαρμογή λόγου ολοκληρώνεται με την διαίρεση των ψηφιακών τιμών (Digital numbers-DNs) των δεδομένων του ενός φασματικού καναλιού με τις φασματικές τιμές ενός δεύτερου για κάθε χωρικά καταγεγραμμένο (registered) ζευγάρι εικονοκουττάρων (pixels).

Τα πηλίκα (quotients) έπειτα μετατρέπονται σε ακέραιους αριθμούς 8-bit, χρησιμοποιώντας πολλαπλασιασμένους παράγοντες (normalization factors), για παράδειγμα:

α) **DN40/DN50 = 0.80** (Για παράδειγμα ο λόγος TM4/TM5 των καναλιών του Landsat)

β) (τιμή του λόγου) x (παράγοντα ομαλοποίησης-normalization factors*) =

= **Νέα ψηφιακή τιμή (DN) μεταξύ 0-255**

*συνήθως ο παράγοντας αυτός ισούται με την τιμή 100

Η κατανομή της καινούριας ψηφιακής τιμής επεκτείνεται με εφαρμογή της μεθόδου της βελτίωσης της αντίθεσης (contrast stretch), πριν την τελική ερμηνεία της εικόνας. Η ανακατανομή των ψηφιακών τιμών είναι συνήθως γραμμική (linear stretch) ώστε να διατηρούνται οι αυθεντικές σχέσεις των λόγων. Οι ακραίες διαβαθμίσεις σε μία εικόνα λόγου αναπαριστά τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις φασματικής ανάκλασης (Avery & Berlin 1992).

Ο αριθμός (n) των πιθανών συνδυασμών λόγων για ένα πολυφασματικό σαρωτή με **P** φασματικά κανάλια, δίδεται από τον τύπο :

$$n = P (P-1)$$

Έτσι για παράδειγμα για τα έξι φασματικά κανάλια (εκτός του θερμικού) του θεματικού χαρτογράφου (TM) του Landsat 5, υπάρχουν 30 διαφορετικοί πιθανοί συνδυασμοί λόγων, 15 κανονικοί και 15 αντίστροφοι.

Μερικοί από τους λόγους αυτούς και η γενική τους χρήση είναι:

(α) Οι λόγοι 3/1 και 3/2 είναι σημαντικοί για την περιγραφή πετρωμάτων πλούσια σε οξείδια και υπεροξείδια του σιδήρου.

(β) Ο λόγος 5/7 είναι χρήσιμος για την εξακρίβωση των αργιλικών πετρωμάτων, διότι αυτά παρουσιάζουν μεγάλη απορρόφηση στο κανάλι 7 (2,2 μm) και μεγάλη ανάκλαση στο κανάλι 5 (1,6 μm) του Landsat.

(γ) Ο λόγος 4/3 είναι ιδανικός στο να σκιαγραφεί την κατανομή της βλάστησης. Γενικά όσο πιο ανοιχτοί οι τόνοι στην εικόνα, τόσο εντονότερη είναι η παρουσία της βλάστησης.

(δ) Ο λόγος 5/2 είναι χρήσιμος για την διάκριση διαφορετικών τύπων βλάστησης. Γενικά οι ανοιχτοί τόνοι σε μία εικόνα εκφράζουν την έντονη παρουσία της βλάστησης.

(ε) Ο λόγος 3/7 είναι κατάλληλος για την παρατήρηση διαφοροποιήσεων μεταξύ διαύγειας-θολερότητας των υδάτων.

Επίσης πολλές φορές έχει παρατηρηθεί, ότι οι πληροφορίες της φωταύγειας ή albedo των διαφόρων αντικειμένων της επιφάνειας, χάνονται μετά την επεξεργασία των λόγων. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αποκατασταθεί με τον χρωματικό συνδυασμό ενός απλού φασματικού καναλιού με δύο εικόνες λόγων. Το αποτέλεσμα αυτού του συνδυασμού ονομάζεται **υβριδική ψευδέγχρωμη εικόνα**, η οποία βελτιώνει τις ιδιότητες της φωταύγειας αλλά και τις χρωματικές διαφοροποιήσεις της εικόνας (Chavez et al. 1977).

5.3.3 Φασματικοί λόγοι για παρατήρηση της βλάστησης

Για την μεθοδικότερη παρατήρηση της βλάστησης αναπτύχθηκαν κατά καιρούς διάφορες μορφές συνδυασμών λόγων, χρησιμοποιώντας μήκη κύματος της περιοχής 0,7-1,1 μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με μήκη κύματος της περιοχής 0,6-0,7 μm. Συγκεκριμένα έγινε προσπάθεια εκτίμησης της βιομάζας ή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας μιας καλλιέργειας, η διάκριση μεταξύ υγιούς και μη βλάστησης, της παραγωγικότητας κ.α. (Tucker 1979, Jackson 1983, Philipson & Teng 1988, Teng 1990).

Αυτοί οι συνδυασμοί είναι γνωστοί σαν **Δείκτες βλάστησης** (Vegetation Indices) και έχουν σαν σκοπό τον περιορισμό των χρονοβόρων και πολυδάπανων εργασιών υπαίθρου, συνεκτιμώντας τις τεράστιες ποσότητες των δορυφορικών δεδομένων. Στην διεθνή βιβλιογραφία συναντάμε διάφορους τύπους Δεικτών Βλάστησης όπως:

α. Δείκτες Βλάστησης οι οποίοι σχετίζονται με τις συγκεκριμένες ψηφιακές τιμές ενός καναλιού.

β. Δείκτες Βλάστησης οι οποίοι αποτελούν λόγο ψηφιακών τιμών δύο καναλιών.

γ. Δείκτες Βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών των ψηφιακών τιμών δύο κατάλληλων καναλιών όπως π.χ.

δ. Δείκτες Βλάστησης με εμπειρικές βελτιώσεις των παραπάνω τιμών κ.τ.λ.

Ο πιο διαδεδομένος Δείκτης που χρησιμοποιείται είναι ο Δείκτης Βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), και ορίζεται από την ακόλουθη γενική εξίσωση:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Κοντινό υπέρυθρο} - \text{ερυθρό}}{\text{Κοντινό υπέρυθρο} + \text{ερυθρό}}$$

Το άθροισμα στον παρανομαστή αναπληρώνει κυρίως αλλαγές που υπάρχουν στις συνθήκες φωτισμού, στις επιφανειακές κλίσεις και στον προσανατολισμό τους.

Το αποτέλεσμα αυτού του λόγου είναι μια νέα ασπρόμαυρη εικόνα, κάθε pixel της οποίας παριστάνει την διαίρεση της φωτεινότητας των pixels των δύο αρχικών εικόνων. Έτσι οι περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση αποδίδονται με ανοιχτότερες αποχρώσεις του γκρι έως και λευκές, λόγω της υψηλής ανάκλασης που αυτή παρουσιάζει στο κοντινό υπέρυθρο και την αντίστοιχη χαμηλή στο ορατό, ενώ οι υδάτινες μάζες εμφανίζονται με μαύρο χρώμα.

Άλλοι λόγοι που χρησιμοποιούνται επίσης είναι ο TVI, ο OSAVI, ο PVI και άλλοι (Sabins 1997, Lillesand & Kiefer 1994).

Τα δεδομένα όμως που χρησιμοποιούνται κυρίως κάθε φορά ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο δέκτη είναι:

α. Landsat MSS = Φασματικά κανάλια 5 (0,6-0,7 μm) και 6 (0,7-0,8 μm) ή 7 (0,8-1,1 μm) κανάλια 2, 3, 4 αντίστοιχα για τον Landsat 4 και 5.

β. Landsat TM = Φασματικά κανάλια 3 (0,63-0,69 μm) και 4 (0,76-0,90 μm)

γ. SPOT HRV πολυφασματικό = Φασματικά κανάλια 2 (0,61-0,68 μm) και 3 (0,79-0,89 μm).

δ. NOAA AVHRR = Φασματικά κανάλια 1 (0,58-0,68 μm) και 2 (0,72-1,0 μm).

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Περιοχή μελέτης

Στη μελέτη αυτή περιλαμβάνονται περιοχές που βρίσκονται στο λεκανοπέδιο της Αθήνας εντός των ορίων των Δήμων Αθηναίων (Βοτανικός), Πεντέλης, Νέας Σμύρνης και Ελληνικού. Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση του θερμικού περιβάλλοντος των περιοχών αυτών με τη χρήση δορυφορικών εικόνων (Landsat-5 TM) και η συγκριτική αξιολόγηση της τεχνικής αυτής με την κλασική μέθοδο λήψης δεδομένων που προέρχονται από σταθμούς εδάφους.

Η περιφέρεια Αττικής βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της χώρας και ειδικότερα καταλαμβάνει το νοτιοανατολικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας. Έχει έκταση 3,808 Km² και καλύπτει το 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας. Έχει έδρα την Αθήνα, η οποία αποτελεί και την πρωτεύουσα της Ελλάδας και οριοθετείται βόρεια από τον ορεινό όγκο της Πάρνηθας (μέγ. υψόμ. 1413m), βορειοανατολικά από το Πεντελικό όρος (μέγ. υψόμ. 1109m), ανατολικά - νοτιοανατολικά από τον Υμηττό (μέγ. υψόμ. 1026m) και δυτικά - νοτιοδυτικά από το όρος Αιγάλεω (μέγ. υψόμ. 468m), που συνεχίζει και καταλήγει στο ακρωτήριο Πέραμα. Το λεκανοπέδιο Αθήνας χωρίζεται σε ανατολικό και δυτικό με μια χαμηλή οροσειρά που αποτελείται από τα Τουρκοβούνια (μέγ. υψόμ. 338m) και μικρούς λόφους (Λυκαβηττός, Ακρόπολη Άρειος Πάγος, Νυμφών, Φιλοπάππου με υψόμετρα που κυμαίνονται από 14 μέχρι 277 m (Μιχέλη, 1987).

Η περιφέρεια Αττικής συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της χώρας. Ειδικότερα η Αθήνα, πρωτεύουσα του Ελληνικού κράτους, είναι η μεγαλύτερη πόλη της χώρας. Σύμφωνα με την απογραφή του 2001 της ΕΣΥΕ, ο μόνιμος πληθυσμός του νομού Αττικής είναι 3.002.980 (Νομαρχίες Αθηνών, Ανατολικής και Δυτικής Αττικής και Πειραιώς) και καλύπτει το 34,3% του συνολικού πληθυσμού της χώρας, ενώ ο αστικός της πληθυσμός καλύπτει το 51,35% του συνολικού αστικού πληθυσμού της χώρας. Ο αστικός πληθυσμός, γενικά καλύπτει το 94% του συνολικού πληθυσμού της περιφέρειας, ο ημιαστικός το 5% ενώ ο αγροτικός το 1%.

1.1 Περιοχή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Βοτανικός)

Στη περιοχή αυτή βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Γ.Π.Α.) που προέρχεται από μετεξέλιξη της Ανωτάτης Γεωπονικής Σχολής Αθηνών (Α.Γ.Σ.Α.) και η ιστορία του αρχίζει ουσιαστικά από τις 14/1/1920, με τη δημοσίευση του Νόμου 1884 για την ίδρυση της Ανωτέρας Γεωπονικής Σχολής στην Αθήνα (όπως είχε αρχικά ονομασθεί η Σχολή). Η εγκατάσταση της Σχολής έγινε στο Εθνικό Κτήμα Ρούφ, στην έκταση που καταλαμβάνει σήμερα το Πανεπιστήμιο στο Βοτανικό. Το Γ.Π.Α βρίσκεται κοντά στο κέντρο της Αθήνας στην περιοχή του Βοτανικού. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι 340 στρέμματα και περιλαμβάνει κτηριακές εγκαταστάσεις όπως αμφιθέατρα διδασκαλίας, εργαστηριακές αίθουσες και χώρους αναψυχής. Τέλος σημαντική έκταση καταλαμβάνουν οι πειραματικοί αγροί.

1.2 Περιοχή των Μελισσίων

Τα Μελίσσια, κατά την αρχαιότητα, υπαγόταν στο Δήμο Αθμόνων. Αποτελούσαν αγροτική περιοχή και πολλές εκτάσεις της χρησιμοποιούνταν για μελισσοκομία, κτηνοτροφία και καλλιέργεια. Κατά τα ρωμαϊκά και βυζαντινά χρόνια, η περιοχή των Μελισσίων ανήκε στη Μονή Πεντέλης. Οι σπηλιές στους πρόποδες του Πεντελικού όρους χρησιμοποιήθηκαν ως κρυψώνες τα χρόνια της Τουρκοκρατίας από τους κατοίκους του Αμαρουσίου. Η πρώτη υποτυπώδης δόμηση στην περιοχή εμφανίστηκε το 1920, με τη μορφή εξοχικών κατοικιών για τους επισκέπτες της Ιεράς Μονής. Ο εποικισμός των Μελισσίων αρχίζει μετά τη μικρασιατική καταστροφή, σε εκτάσεις που παραχωρήθηκαν στους Ποντίους από την Ιερά Μονή. Παράλληλα εμφανίζονται τα πρώτα νοσοκομεία-σανατόρια για όσους έπασχαν εκείνη την εποχή από φυματίωση, και επέλεξαν την περιοχή για την ανάρρωσή τους λόγω του καλού κλίματος και της πυκνής βλάστησης. Νοσοκομειακά συγκροτήματα λειτουργούν μέχρι και σήμερα στις εκτάσεις πρασίνου του Δήμου. Από το 1946 τα Μελίσσια αποτελούν αυτόνομη διοικητική οντότητα της Ανατολικής Αττικής ενώ από το 1990 αναγνωρίζονται ως Δήμος της Νομαρχίας Αθηνών. Μεγάλη πληθυσμιακή έκρηξη παρατηρείται από τη δεκαετία του '80 ενώ το '90 αρχίζει ο οικιστικός «κορεσμός» των Μελισσίων. Το 2001 η πόλη εμφάνιζε 19.700 κατοίκους, ενώ το 2007 συγκεντρώνει σύμφωνα με εκτιμήσεις 36.000. Σε κάθε km² αντιστοιχούν το 2001 5.043 κάτοικοι, ενώ το 2007 γύρω στους 9.216. Η έκταση του Δήμου ορίζεται στα 3.906 km². Σήμερα τα Μελίσσια θυμίζουν ορεινή κωμόπολη. Οι γειτονιές διχοτομούνται από ρέματα, ορεινούς όγκους και δασικές εκτάσεις (www.Wikipedia.org). Η περιοχή των

Μελισσίων σύμφωνα με τη νέα σύσταση και συγκρότηση των δήμων με βάση τον «Καλλικράτη 2010», υπάγεται στο Δήμο Πεντέλης.

1.3 Πεντελικό Όρος

Στο όρος της Πεντέλης εξορύσσεται το χιονόλευκο μέχρι τεφρού χρώματος, πεντελικό μάρμαρο. Η εξορυκτική δραστηριότητα στην Πεντέλη, είναι γνωστή από την αρχαιότητα και αναπτύχθηκε ιδιαίτερα κατά τους κλασσικούς και τους ρωμαϊκούς χρόνους, προσφέροντας προϊόντα κατάλληλα για δομικά υλικά και για τη γλυπτική. Έτσι το «λευκό πεντελικό μάρμαρο» χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του Παρθενώνα, του Ερεχθείου, των προπυλαίων της Ακρόπολης, του Θησείου, του ναού του Ολυμπίου Διός, και της Ακαδημίας Αθηνών, στους νεώτερους χρόνους. (Μερτζάνης κ.α, 2004).

Βρίσκεται σε υψόμετρο 410m και αποτελεί μια γραφική περιοχή που θυμίζει ορεινό χωριό με σύγχρονες κατοικίες. Ο πεντελικός όγκος προσδιορίζεται από τα υψηλότερα σημεία, τις κορυφές Πυργάρι (ύψ. 1108 m.), Μπύρζα (ύψους 897 m.) και Άγιος Παντελεήμων (ύψους 870 m), που διαμορφώνουν την κορυφογραμμή και προσδιορίζουν την Β.Δ.-Ν.Α. διεύθυνση ανάπτυξης του πεντελικού όρους. Με τη δραστική επέμβαση του ανθρώπου υποβαθμίστηκε η υπάρχουσα βλάστηση της περιοχής ενώ παράλληλα δημιουργήθηκαν ευνοϊκές συνθήκες για την εγκατάσταση και κυριαρχία της Χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis* Mill). Επίσης εντοπίζονται και είδη των οικογενειών Ericaceae (όπως *Arbutus Unedo* κοιν. κουμαριά και *Erica manipuliflora* κοιν. ρεϊκί) και Cistaceae.

1.4 Περιοχή του Ελληνικού

Το Ελληνικό (Ελληνικόν) πρώην Σούρμενα περιλαμβάνεται στο πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας. Ανήκει στα νότια προάστια. Είναι συνολικής έκτασης 7,5 τετ. χλμ. εκ των οποίων τα 5,5 ανήκαν στο παλαιό Διεθνές Αεροδρόμιο Ελληνικού.

Η παλιά ονομασία της περιοχής ήταν Λοιμικό, λόγω του λοιμοκαθαρηρίου που υπήρχε εκεί. Στις αρχές του 20ου αιώνα εισήχθη η ονομασία Ελληνικό, ως πιο εύχητη παραλλαγή της προηγούμενης ονομασίας. Δεν επεκράτησε όμως, παρά μόνο μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, καθώς ως τότε χρησιμοποιούνταν παράλληλα με την ονομασία Χασάνι, λόγω ενός πύργου κάποιου Τουρκαλβανού ονόματι Χασάν. Το 1922

μετά τη Μικρασιατική εκστρατεία εγκαταστάθηκαν στην βόρεια περιοχή του δήμου πρόσφυγες από τον Πόντο και η περιοχή πάνω από τη λεωφόρο Βουλιαγμένης που χωρίζει τον δήμο ονομάστηκε Σούρμενα. Αναγνωρίστηκε κοινότητα το 1930 μέχρι που συγχωνεύθηκε με τη κοινότητα Καλαμακίου και δημιουργήθηκε ο σημερινός Δήμος Αλίμου. Το 1976 αποσπάστηκε από το δήμο Αλίμου και απέκτησε αυτοτέλεια. Το 2010 με τον Καλλικράτη καταργήθηκε και αποτέλεσε με το σημερινό δήμο Αργυρούπολης το δήμο Ελληνικού – Αργυρούπολης.

Στη περιοχή αυτή εντοπίζονται οι εγκαταστάσεις αεροπορικής βάσης της Πολεμικής Αεροπορίας σε τμήμα της οποίας λειτουργούσε στο παρελθόν αμερικανική στρατιωτική βάση, ο πρώην Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών που λειτούργησε έως το 2001 που συμπεριελάμβανε δύο τομείς τον ανατολικό και το δυτικό.

Βρίσκεται στη νοτιοανατολική Αττική και αναπτύσσεται ανάμεσα στον ορεινό όγκο του Υμηττού, στους νοτιοδυτικούς πρόποδες σε υψόμετρο 60 - 100 μέτρα, και στην παραλία του Σαρωνικού. Η έκταση του είναι 7.420 στρέμματα εκ των οποίων τα 5.500 καταλαμβάνουν οι εγκαταστάσεις πρώην Ανατολικού και Δυτικού Αερολιμένα.

1.5 Περιοχή της Νέας Σμύρνης

Η περιοχή της σημερινής Νέας Σμύρνης ονομαζόταν στο παρελθόν Ανάλατος, λόγω ενός πηγαδιού με γλυκό νερό που βρισκόταν κοντά στο ναό των Αγίων Θεοδώρων, στη θέση όπου βρίσκεται σήμερα το γήπεδο του Πανιώνιου. Στις 24 Απριλίου 1827 έγινε εκεί μάχη μεταξύ Τούρκων και εξεγερμένων Ελλήνων για την ανακατάληψη της Ακρόπολης, γνωστή ως *Μάχη Αναλάτου*. Στις 14 Φεβρουαρίου 1898 στον Ανάλατο έγινε απόπειρα δολοφονίας του Βασιλιά Γεωργίου Α΄. Σε ανάμνηση της διάσωσής του, η Βασίλισσα Όλγα έχτισε το ναό του Αγίου Σώστη. Η περιοχή άρχισε να κατοικείται στις αρχές του 20ού αιώνα, ενώ μέχρι τότε δεν είχε κατοικηθεί συστηματικά. Τη διέσχιζε η Φαληρική οδός η οποία ένωνε την Αθήνα με το Φάληρο, το αρχαιότερο επίγειο της Αθήνας. Μετά τη Μικρασιατική καταστροφή, το 1922-1923, η κυβέρνηση αποφάσισε την κατασκευή συνοικισμού για τους πρόσφυγες από τη Σμύρνη στην περιοχή και η οικοδόμησή του άρχισε το 1926. Το 1928 είχε πληθυσμό μόλις 210 κατοίκων. Μεταξύ 1933 η περιοχή αναπτύχθηκε σε πραγματική πόλη με πληθυσμό 6.500 κατοίκων, ο οποίος έφτασε τους 15.000 κατοίκους πριν το 1940. Η Νέα Σμύρνη έγινε Δήμος με το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου και την απελευθέρωση, το 1944 και οφείλει το όνομά της στην καταγωγή των προσφύγων κατοίκων της. Μεταπολεμικά η Νέα Σμύρνη ενσωματώθηκε

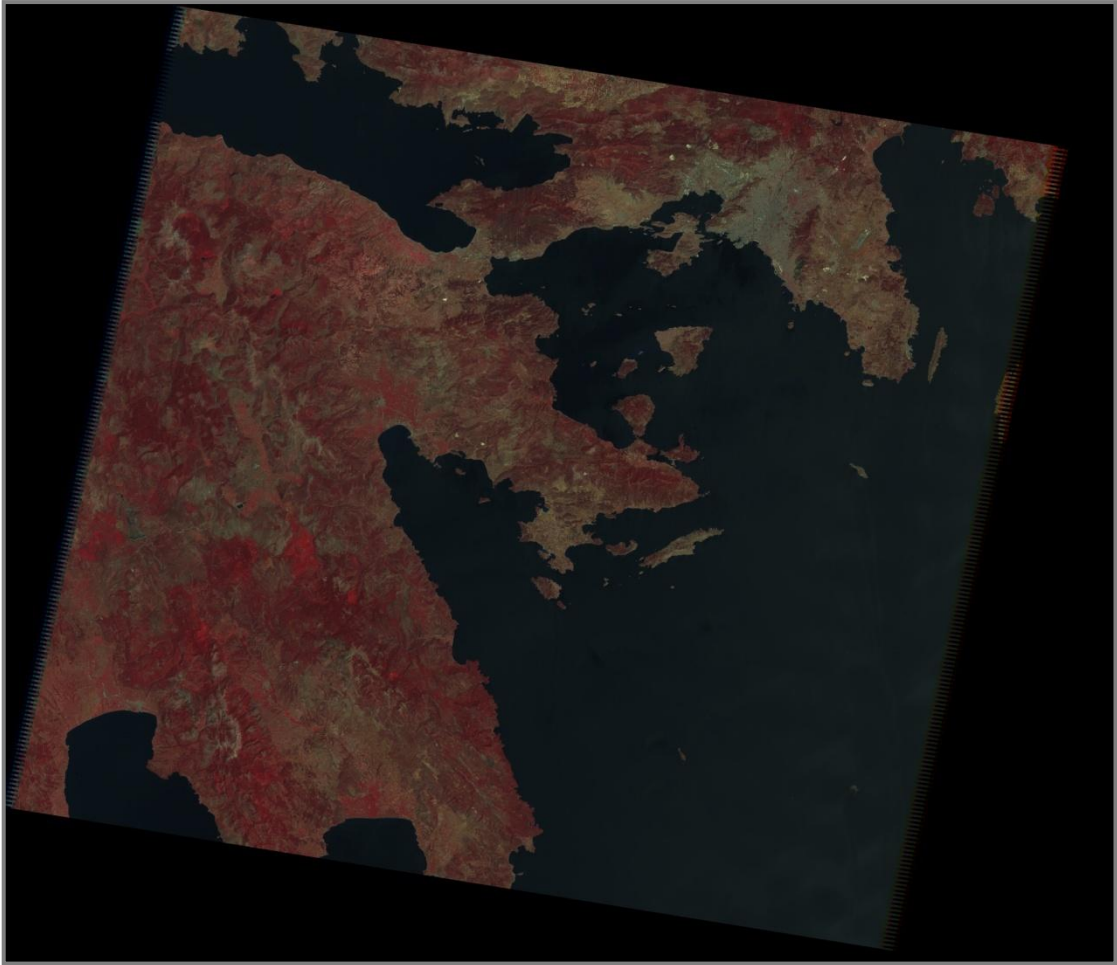
στην Αθήνα που γιγαντώθηκε από την εσωτερική μετανάστευση και επεκτάθηκε προς τα ανατολικά και νότια με αυξανόμενο πληθυσμό.

Η Νέα Σμύρνη είναι ένα από τα νότια προάστια Δήμους της Αθήνας. Η έκταση του είναι 3,524 km². Ο πληθυσμός της ήταν 73.986 κάτοικοι κατά την απογραφή του 2001.

Στο συγκεκριμένο Δήμο βρίσκεται το Άλσος Νέας Σμύρνης έχει έκταση 50 στρεμμάτων. Αποτελείται από δέντρα, δασικά κυρίως (χαλέπιος Πεύκη, κουκουναριά, πεύκη τύπου θάσου, κυπαρίσσια κλπ.) σε ποσοστό περίπου 20% και δέντρα καλλωπιστικά σε ποσοστό σχεδόν 20%. Επίσης, το μεγαλύτερο μέρος του συγκεκριμένου χώρου πρασίνου καλύπτεται από θάμνους (βιβούρνο, αβουτήλο, μυόπωρο, πυράκανθο). Σήμερα, τα κωνοφόρα αποτελούν το 60% περίπου της χλωρίδας του άλσους. Στο χώρο του Άλσους δεν υπάρχουν αθλητικές εγκαταστάσεις. Σε καθημερινή βάση όμως λειτουργεί η παιδική χαρά. Οι περιμετρικοί διάδρομοι χρησιμοποιούνται για άθληση, ασκήσεις και τζόκιν από μεμονωμένα άτομα και από αθλητές σωματείων της πόλης. Υπάρχει ποδηλατοδρόμιο περιμετρικά σε όλη την έκταση του Άλσους.

2. Επεξεργασία των δεδομένων τηλεπισκόπησης

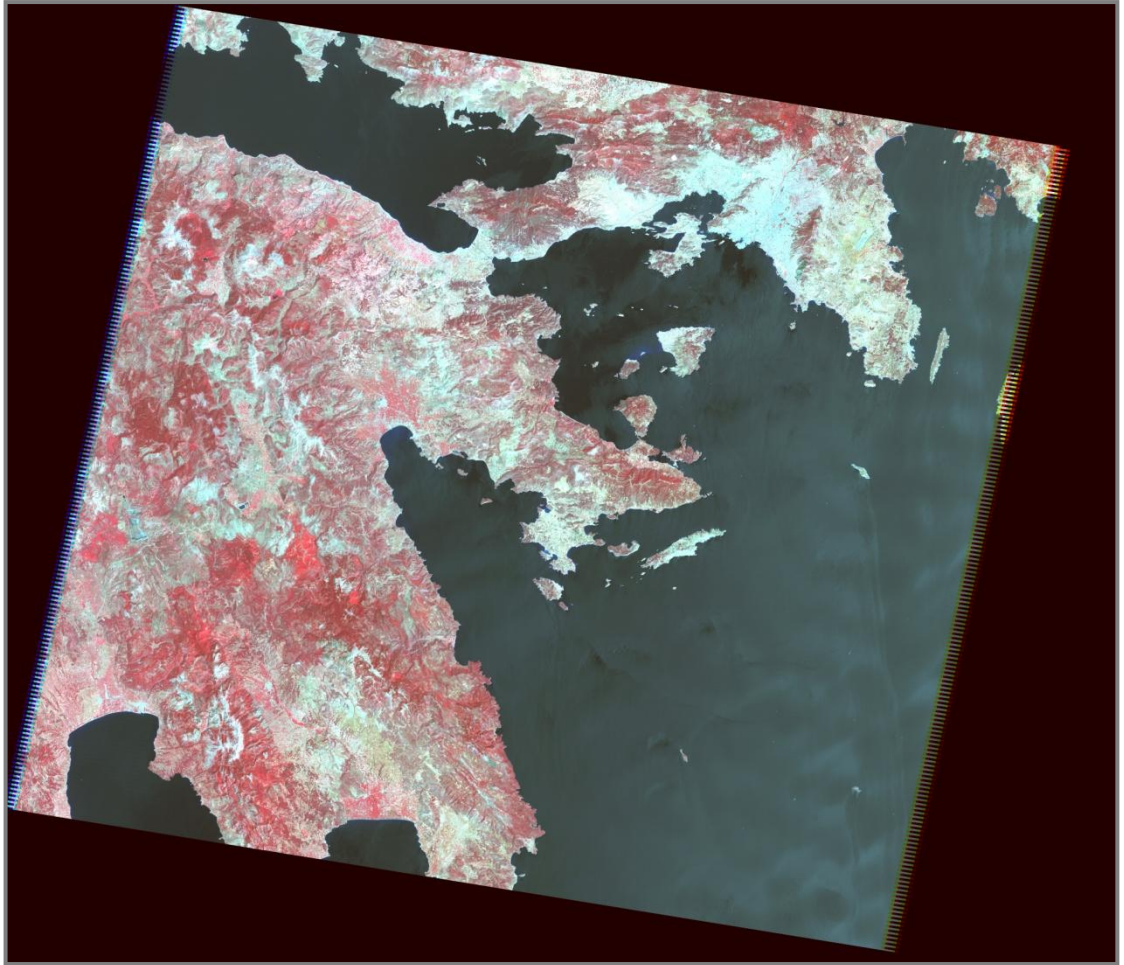
Ο βασικός στόχος της παρούσας μελέτης είναι η μελέτη του θερμικού περιβάλλοντος σε σχέση με τις τιμές του δείκτη βλάστησης όπως διαμορφώνεται από δορυφορικές εικόνες και η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με δεδομένα που προέρχονται από όργανα που έχουν εγκατασταθεί σε διαφορετικές περιοχές του Λεκανοπεδίου της Αθήνας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε εικόνα του Landsat-5 TM, με path/row: 184/033, οποία έχει ληφθεί στις 24/ Ιουλίου/ 2009, με αριθμό γραμμών και στηλών 2489 x 3129 και με ποσοστό νεφοκάλυψης 0% (Εικόνα 17). Από αυτή την εικόνα χρησιμοποιήθηκε το φασματικό κανάλι 6 (θερμικό), για την διεξαγωγή της θερμικής εικόνας και τα φασματικά κανάλια 3,4 προκειμένου να διαφοροποιηθεί ο δείκτης βλάστησης στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 17: Η αρχική εικόνα λήψης του δορυφόρου Landsat-5 TM (Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας).

Όλες οι εργασίες επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων Landsat-5 TM έγιναν με το λογισμικό Erdas Imagine 8.7 και το πρόγραμμα GIS.

Στη συνέχεια έγιναν οι απαραίτητες ραδιομετρικές διορθώσεις της εικόνας, για την απαλοιφή σφαλμάτων που οφείλονται στην απορύθμιση των αισθητήρων, του καταγραφέα και γενικά σε σφάλματα και αλλοιώσεις που προέρχονται από τα τεχνικά στοιχεία της διαδικασίας καταγραφής και μετάδοσης. Επιπλέον, βελτιώνεται η αντίληψη της φωτεινότητας στην εικόνα από την επίδραση της ατμόσφαιρας. Δηλαδή διορθώνει ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά σφάλματα προερχόμενα από την επίδραση του ανάγλυφου, όπως είναι η σκιά ενός ορεινού όγκου (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Εικόνα του δορυφόρου Landsat-5 TM ύστερα από τις ραδιομετρικές διορθώσεις.

Στη συνέχεια απομονώθηκε η περιοχή ενδιαφέροντος, το λεκανοπέδιο Αθηνών, με συντεταγμένες γωνιών (UL(712814,4235086) , CR(783138,4135086)). Αυτό γίνεται για να γίνει καλύτερος εντοπισμός της περιοχής μελέτης, να εστιάσουμε στα σημεία ενδιαφέροντος καθώς και για να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων που θα οδηγήσει στην μετέπειτα εευκολότερη και κυρίως γρηγορότερη επεξεργασία τους (Εικόνα 19).



Εικόνα 19 : Εικόνα του δορυφόρου Landsat-5 TM, με την περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής.

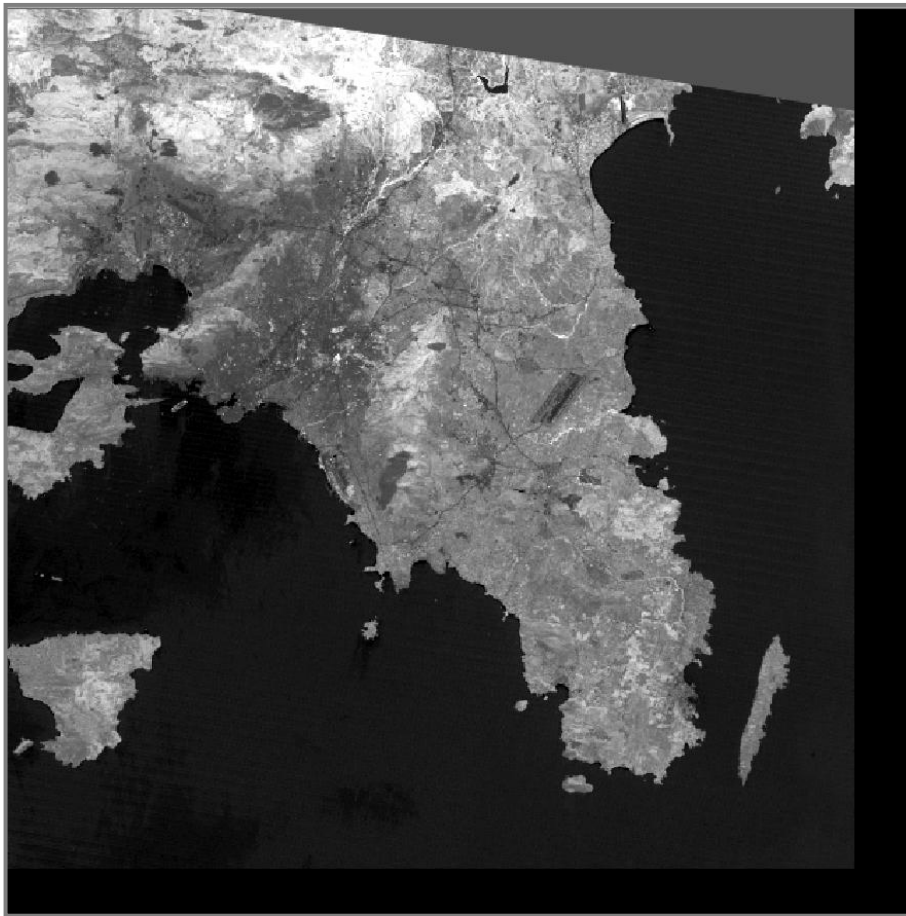
Το επόμενο βήμα (Εικόνα 20), ήταν η βελτίωση της αντίθεσης (contrast enhancement) των εικόνων με τη μέθοδο «ισοδυναμοποίηση του ιστογράμματος», (Histogram Equalization).



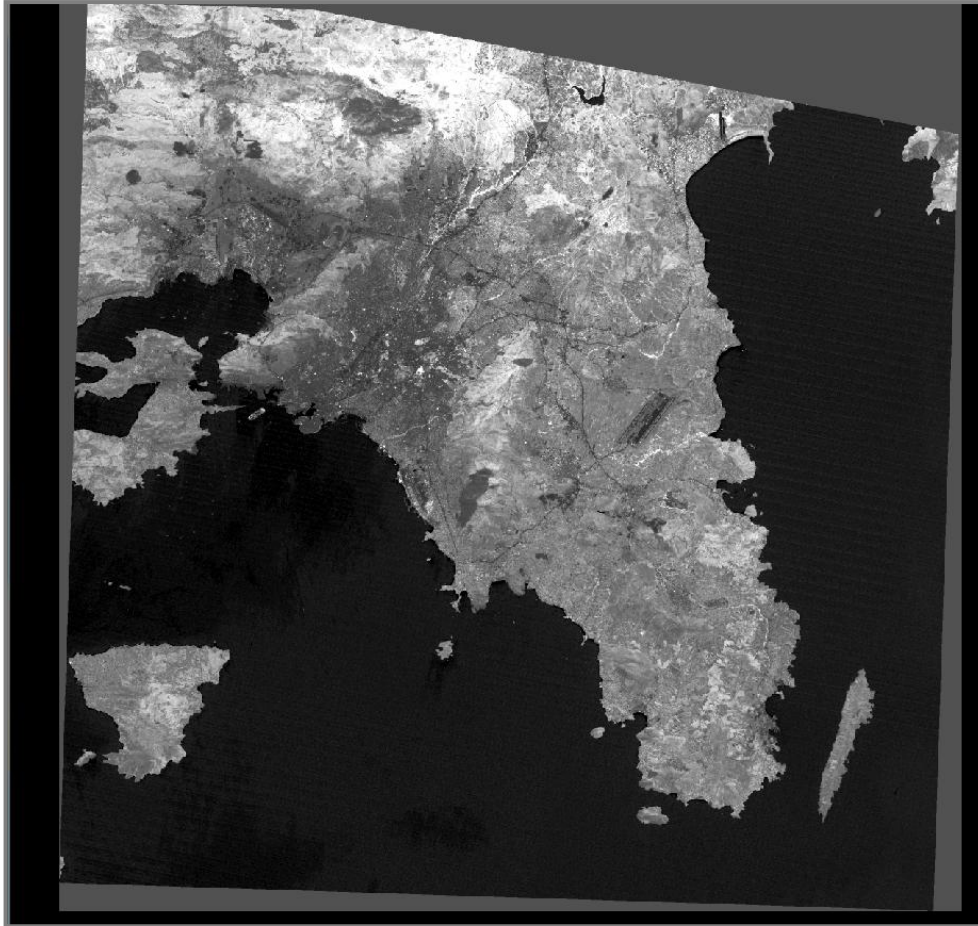
Εικόνα 20: Εικόνα του δορυφόρου Landsat-5 TM ύστερα από τη μέθοδο «ισοδυναμοποίηση του ιστογράμματος».

Τέλος πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική διόρθωση της εικόνας, έτσι ώστε να αποκτήσει κάθε pixel τους, γεωγραφικές συντεταγμένες. Η διόρθωση έγινε με αναγωγή εικόνας ως προς άλλη (image to image). Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι εικόνες αποκτούν συντεταγμένες, διατηρώντας όμως την αρχική γεωμετρία τους, δηλαδή τα pixels

καταλαμβάνουν την ίδια θέση μέσα στην εικόνα. Για να αποκτήσουν τα pixels την σωστή προσανατολισμένη γεωμετρία (γραμμών και στηλών), εφαρμόστηκε η μέθοδος της αναδόμησης (resampling) των pixels (Εικόνες 21,22). Οι δορυφορικές εικόνες ‘επαναπροβλήθηκαν’ (re-projection) από το αρχικό ‘ενσωματωμένο’ σύστημα αναφοράς τους (U.T.M) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ’87 (Ε.Γ.Σ.Α. '87), το οποίο είναι ένα μετρικό σύστημα που είναι περισσότερο εύχρηστο και προσαρμοσμένο για το Ελλαδικό χώρο.



Εικόνα 21: Εικόνα του δορυφόρου Landsat-5 TM πριν τη γεωμετρική διόρθωση.



Εικόνα 22: Εικόνα του δορυφόρου Landsat-5 TM μετά τη γεωμετρική διόρθωση.

2.1 Ανάλυση μοντέλου- Εξαγωγή θερμοκρασίας από θερμικές τιμές

Οι δορυφορικές εικόνες Landsat, καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των υλικών σωμάτων σε διάφορες φασματικές περιοχές, χρησιμοποιώντας σχετικούς αισθητήρες που μετρούν την ένταση της ακτινοβολίας σε μια κλίμακα από 0 έως 255 μονάδες (ψηφιακός αριθμός, DN). Η μέτρηση αυτή πρέπει να διορθωθεί με κατάλληλους συντελεστές και να μετατραπεί αρχικά σε μονάδες ακτινοβολίας (L) με τον ακόλουθο τύπο:

$$L = c_0 + c_1 * DN$$

Με τη βοήθεια σχετικών πινάκων της βιβλιογραφίας (Metzler and Malila, 1985; EOSAT, 1986), οι συντελεστές για τον δορυφόρο Landsat-5 TM, στην θερμική φασματική ζώνη 6 (10,40-12,50 μ m) είναι:

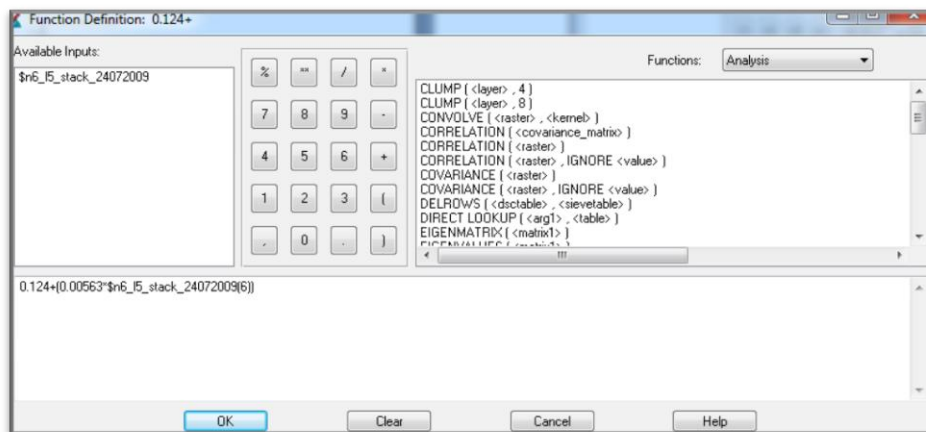
$c_0=0.124$, $c_1= 0.00563$ ($mWcm^{-2}sr^{-1}$, μm^{-1}).

DN: η ψηφιακή καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε κάθε μοναδιαίο τμήμα της εικόνας.

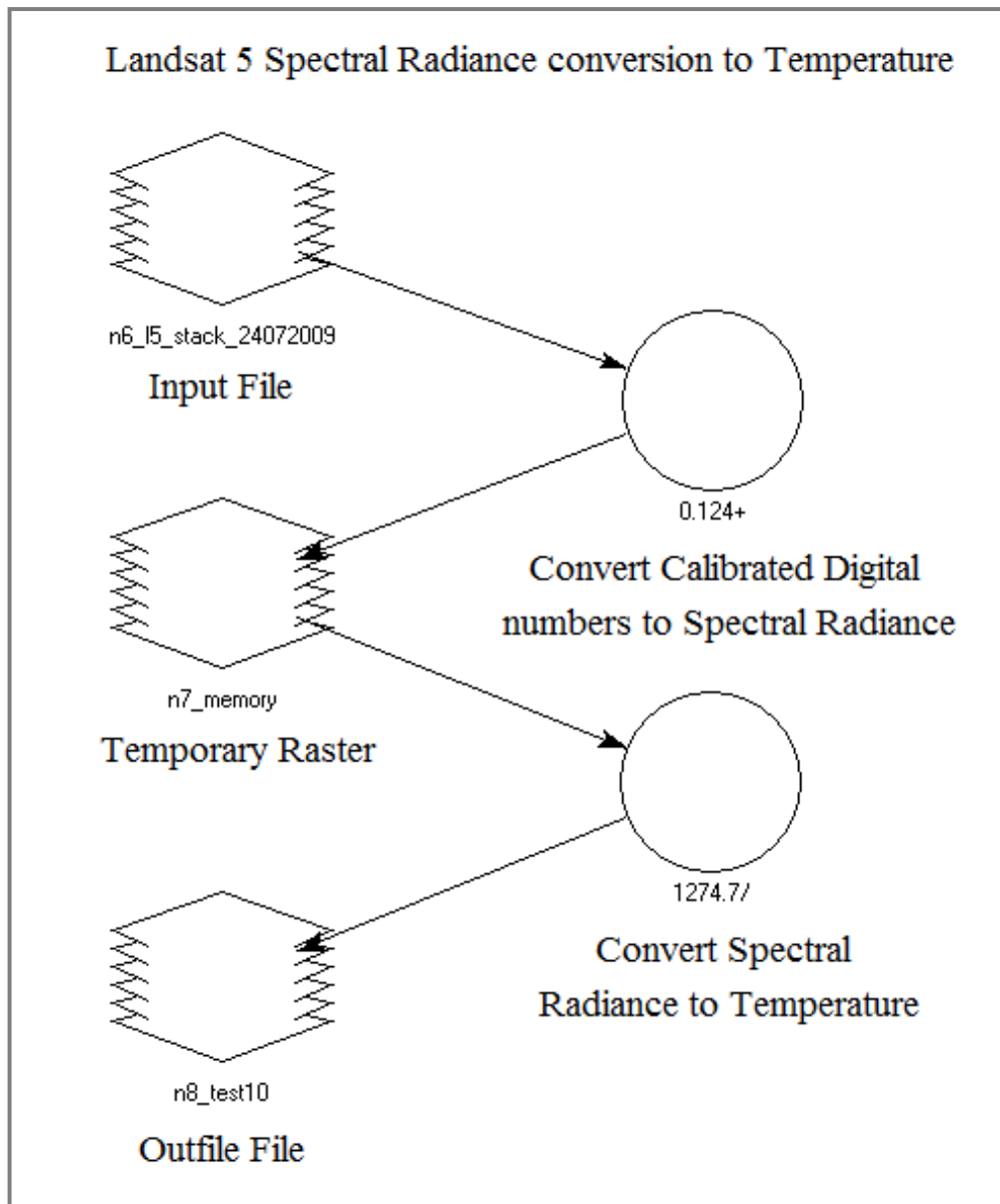
Η μετατροπή της ακτινοβολίας (L) σε τιμές θερμοκρασίας ($^{\circ}C$) πραγματοποιείται με αυξημένη ακρίβεια επιλύοντας ως προς την θερμοκρασία (T_c) την ακόλουθη εξίσωση:

$$T_c = \frac{K_1}{K_2 - \ln L} - 273$$

Οι συντελεστές K_1 και K_2 εξαρτώνται από το εύρος της θερμοκρασίας του μέλανος σώματος. Με βάση την βιβλιογραφία (Singh, 1988), η θερμοκρασία του μέλανος σώματος στην περιοχή 260-300 $^{\circ}K$, οι προεπιλεγμένες τιμές για τον δορυφόρο Landsat-5 TM είναι $K_1=4.127$, $K_2=1274.7$ (Εικόνα 23, 24).

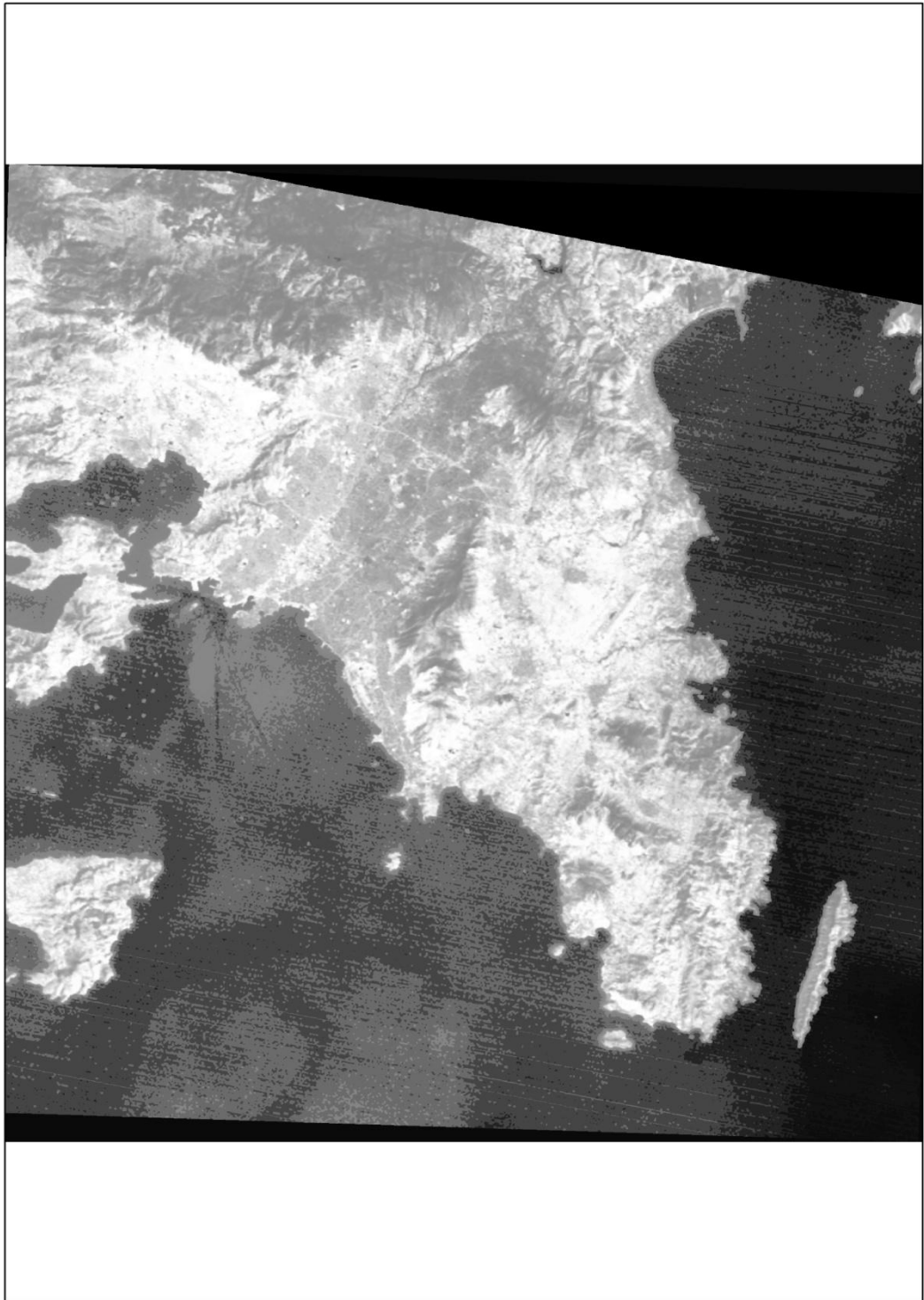


Εικόνα 23: Δεδομένα εισόδου του μοντέλου, Erdas Imagine 8.7.



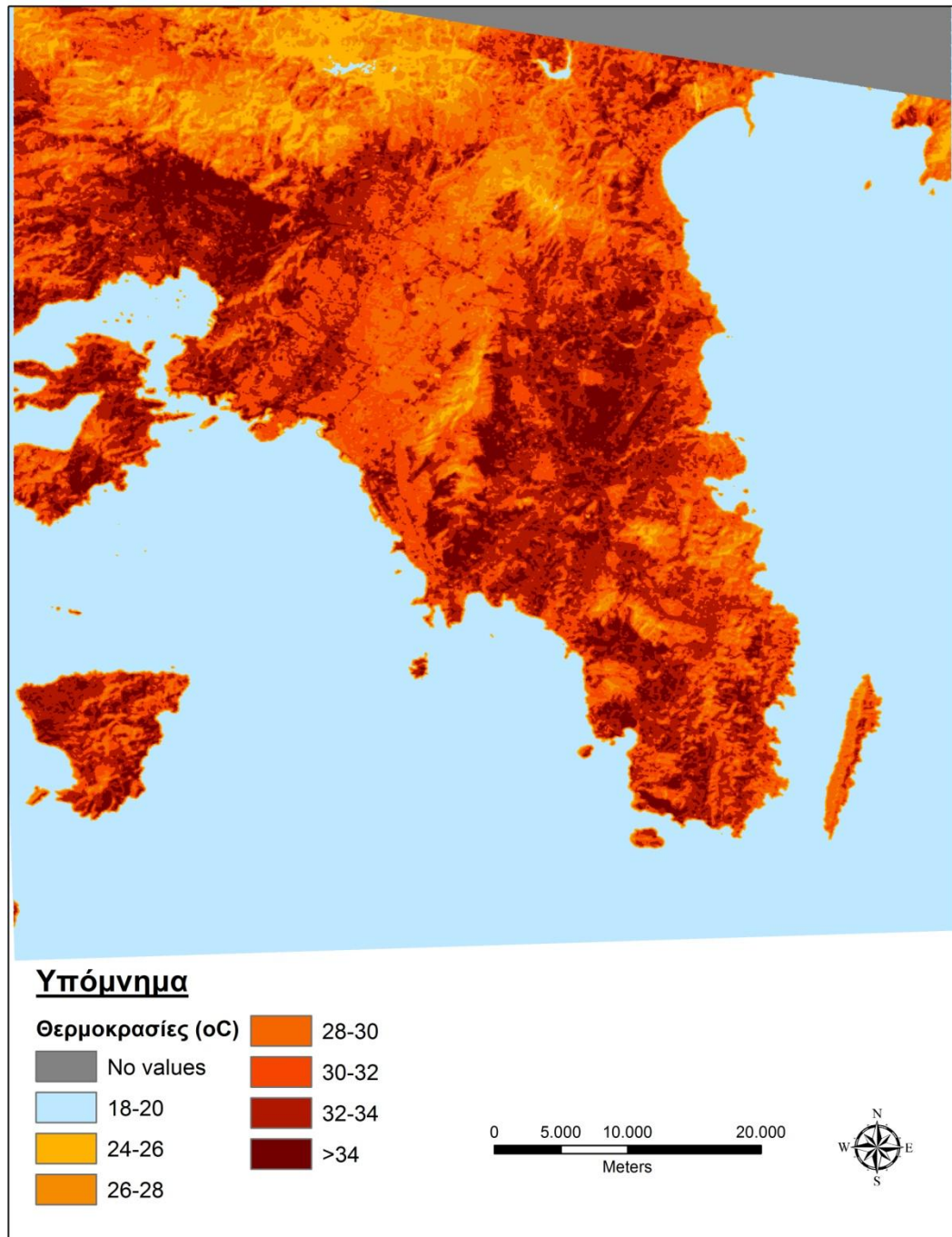
Εικόνα 24: Το περιβάλλον επεξεργασίας του μοντέλου Erdas Imagine 8.7, κατά τη μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμοκρασία..

Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δεδομένων εισόδου του μοντέλου, η εικόνα που προκύπτει κατά την έξοδο της , περιέχει πλέον τιμές θερμοκρασίας από θερμικές τιμές. Η θερμική εικόνα απεικονίζει την αντίθεση στις διαβαθμίσεις του γκρι, οι οποίες προέρχονται από την διαφορετική θερμική ενέργεια που εκπέμπει κάθε σώμα. Οι ανοιχτότεροι τόνοι αναπαριστούν θερμές περιοχές ενώ οι σκοτεινότερες τις ψυχρές περιοχές (Εικόνα 25).



Εικόνα 25: Η εικόνα του λεκανοπεδίου με τιμές θερμοκρασίας.

Για να γίνει πιο κατανοητή η ερμηνεία αυτής της εικόνας, εφαρμόστηκε η τεχνική «τεμαχιοποίησης της πυκνότητας», με την οποία ουσιαστικά προσθέτουμε χρώμα στις διαφορετικές κλάσεις χαρακτηριστικών, όπου έχουν εντοπιστεί μέσα στην εικόνα, με σκοπό να καταστούν περισσότερο εμφανείς (Εικόνα 26).



Εικόνα 26: Η εικόνα του λεκανοπεδίου με τιμές θερμοκρασίας, ύστερα από την τεχνική της «τεμαχιοποίησης της πυκνότητας».

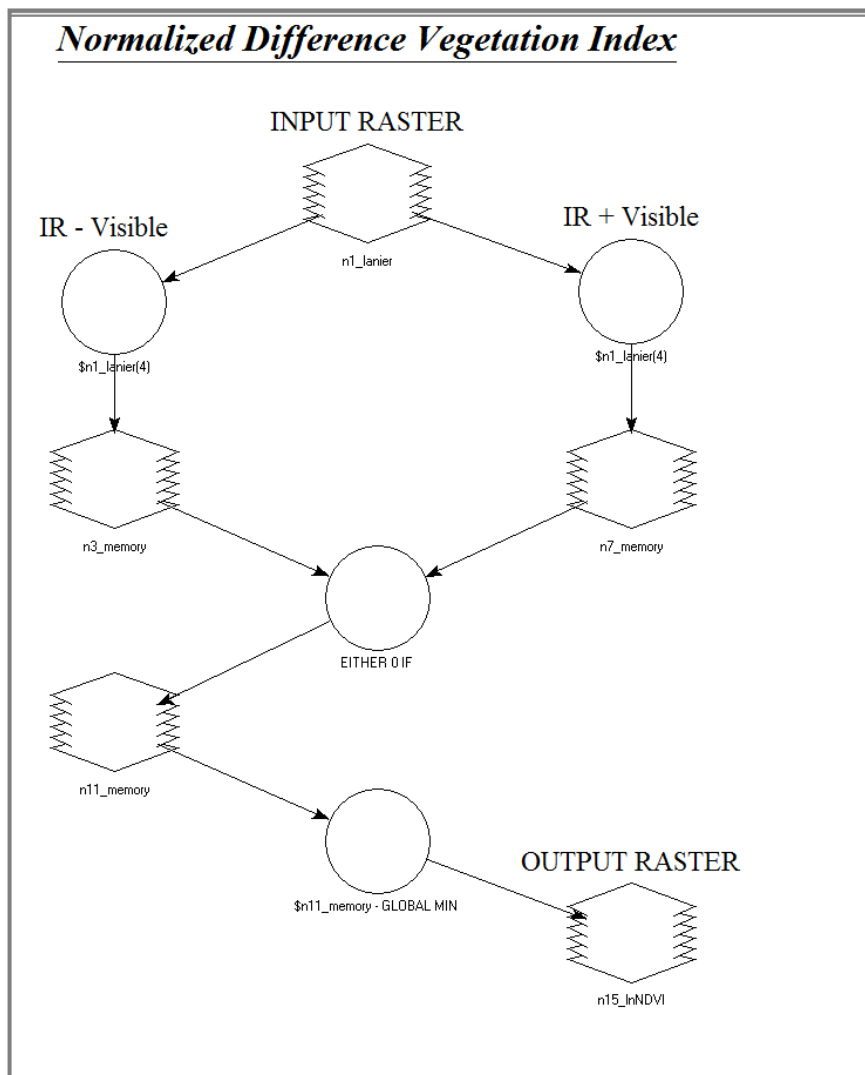
2.2 Ανάλυση μοντέλου – Εξαγωγή δείκτη βλάστησης από θερμικές τιμές

Προκειμένου να μελετηθούν οι βιοκλιματικές συνθήκες, διαφόρων περιοχών του λεκανοπεδίου της Αθήνας, εκτός από τη διεξαγωγή της θερμικής εικόνας, μέσω της μελέτης του φασματικού καναλιού 6 (θερμικό), εφαρμόστηκε και ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών NDVI (Normalized difference vegetation index) μέσω της μελέτης των φασματικών καναλιών 3,4.

Η μαθηματική σχέση του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένων Διαφορών είναι:

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

όπου TM4 και TM3 τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat 5 (Εικόνα 27).

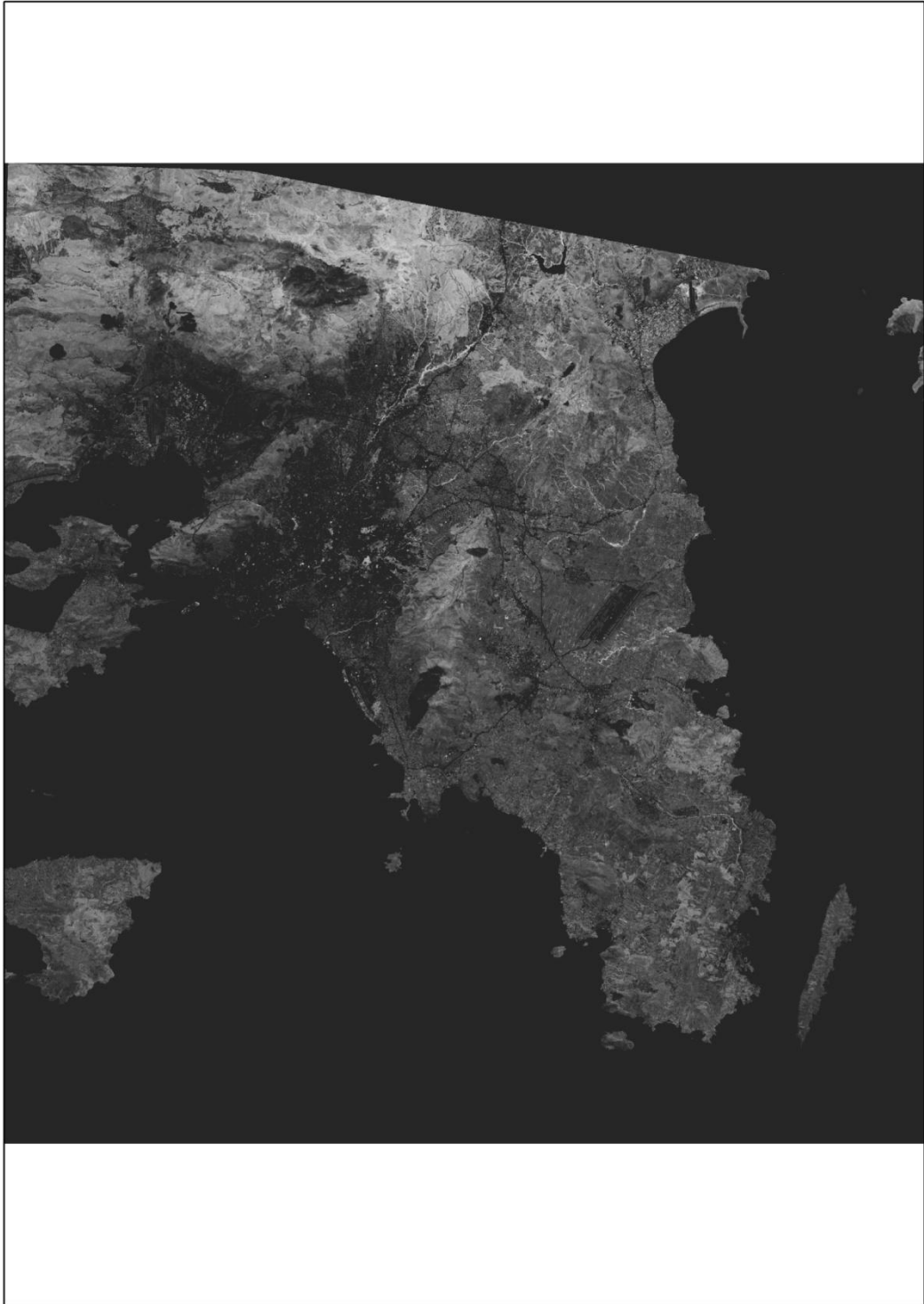


Εικόνα 27: Το περιβάλλον επεξεργασίας του μοντέλου Erdas Imagine 8.7, κατά τη διεξαγωγή του δείκτη βλάστησης.

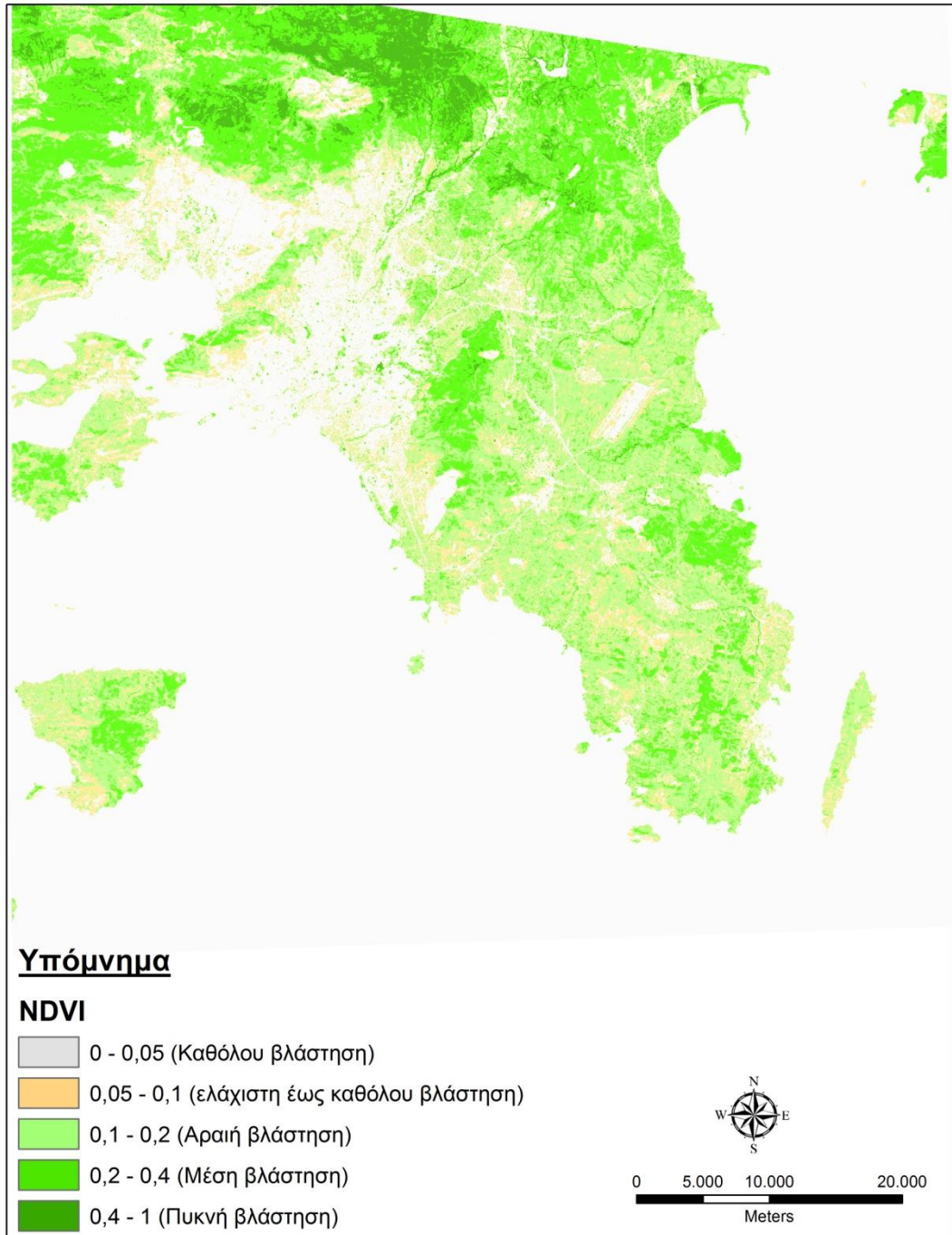
Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε η εικόνα του δείκτη βλάστησης, μία για την συγκεκριμένη ημερομηνία λήψης. Στην εικόνα αυτή οι περιοχές με λευκό χρώμα (κοντά στην τιμή 255, των διαβαθμίσεων του γκρι) αντιστοιχούν στις φυτοκαλυμμένες περιοχές (καλλιέργειες ή φυσική βλάστηση), με μαύρο η θάλασσα και με τις υπόλοιπες διαβαθμίσεις του γκρι τα γυμνά πετρώματα και εδάφη, καθώς και οι αστικές περιοχές (Εικόνα 28).

Για να γίνει πιο κατανοητή η ερμηνεία αυτής της εικόνας, εφαρμόστηκε η τεχνική «τεμαχιοποίησης της πυκνότητας», με την οποία ουσιαστικά προσθέτουμε χρώμα στις διαφορετικές κλάσεις χαρακτηριστικών, όπου έχουν εντοπιστεί μέσα στην εικόνα, με σκοπό να καταστούν περισσότερο εμφανείς. Τέλος, εφαρμόστηκε και το φίλτρο majority, με μέγεθος κελιού 3x3, ώστε να γίνει ομογενοποίηση των ενοτήτων που καθορίστηκαν με την τεμαχιοποίηση (Εικόνα 29).

Ο δείκτης βλάστησης με βάση τον αλγόριθμο που τρέξαμε στο μοντέλο, εμφάνισε τιμές από «0» έως «1». Η ταξινόμηση των κλάσεων είναι από «0-0,05» καθόλου βλάστηση, από «0,05-0,1» ελάχιστη έως καθόλου βλάστηση, από «0,1-0,2» αραιή βλάστηση, από «0,2-0,4» μέση βλάστηση και από «0,4-1» πυκνή βλάστηση.



Εικόνα 28: Η εικόνα του λεκανοπεδίου με τιμές του δείκτη βλάστησης.



Εικόνα 29: Η εικόνα του λεκανοπεδίου με τιμές του δείκτη βλάστησης, ύστερα από την τεχνική «τεμαχιοποίηση της πυκνότητας».

3. Επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων

3.1 Επιλογή θέσεων

Για τη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης, επιλέχθηκαν επτά (7) θέσεις σε περιοχές του Βοτανικού, των Μελισσίων, του Πεντελικού όρους, του Ελληνικού και της Νέας Σμύρνης.

Τα θερμοϋγρομετρικά δεδομένα που αφορούσαν τις περιοχές των Μελισσίων και του Πεντελικού Όρους προέρχονταν από αυτόνομα ηλεκτρονικά καταγραφικά όργανα που είχαν εγκατασταθεί στα πλαίσια σχετικής μελέτης του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γ.Π.Α (Πετρούλεα, 2010). Συγκεκριμένα τα όργανα αυτά ήταν εγκατεστημένα σε πυκνές πευκόφυτες περιοχές του Άλσους Μελισσίων (Νοσηλευτικού Ιδρύματος Εμπορικού Ναυτικού - NIEN), σε περιοχές με υψηλή και πυκνή δόμηση καθώς επίσης και στην κορυφή του Πεντελικού Όρους. Στην περιοχή της Νέας Σμύρνης τα δεδομένα προέρχονταν από δύο αυτόνομα ηλεκτρονικά καταγραφικά όργανα, από τα οποία, το πρώτο ήταν εγκατεστημένο στο Άλσος της Νέας Σμύρνης (θέση πυκνής φύτευσης) και το δεύτερο σε παρακαείμενη δομημένη περιοχή. Τα όργανα αυτά λειτουργήσαν υπό την εποπτεία του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γ.Π.Α. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που προέρχονταν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογικής του Γ.Π.Α (περιοχή Βοτανικού) και της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (περιοχή Ελληνικού).

Οι επτά (7) θέσεις επιλέχθηκαν με σκοπό τη λήψη δεδομένων για τον προσδιορισμό της διακύμανσης της θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που έδωσε η δορυφορική εικόνα κατά τη μετατροπή της σε θερμική και την διακύμανση της θερμικής αίσθησης στις περιοχές του Βοτανικού, Μελισσίων, Πεντελικού Όρους, Ελληνικού και Νέας Σμύρνης, για την συγκεκριμένη ημερομηνία λήψης της δορυφορικής εικόνας, την 24^η Ιουλίου 2009 . Στην συγκεκριμένη μελέτη υπεισέρχεται και ο δείκτης βλάστησης. Η επιλογή των σημείων έγινε με βάση:

α) την γεωγραφική θέση, σημεία κοντά στη θάλασσα, κοντά σε ορεινούς όγκους και σε πυκνοδομημένο αστικό ιστό.

β) την επίδραση της βλάστησης στη διαμόρφωση των θερμομετρικών συνθηκών και της θερμικής αίσθησης των γύρω περιοχών και

γ) την επίδραση της δόμησης στη διαμόρφωση των θερμομετρικών συνθηκών και της θερμικής αίσθησης στον περιβάλλοντα χώρο.

3.2 Περιγραφή οργάνων μέτρησης

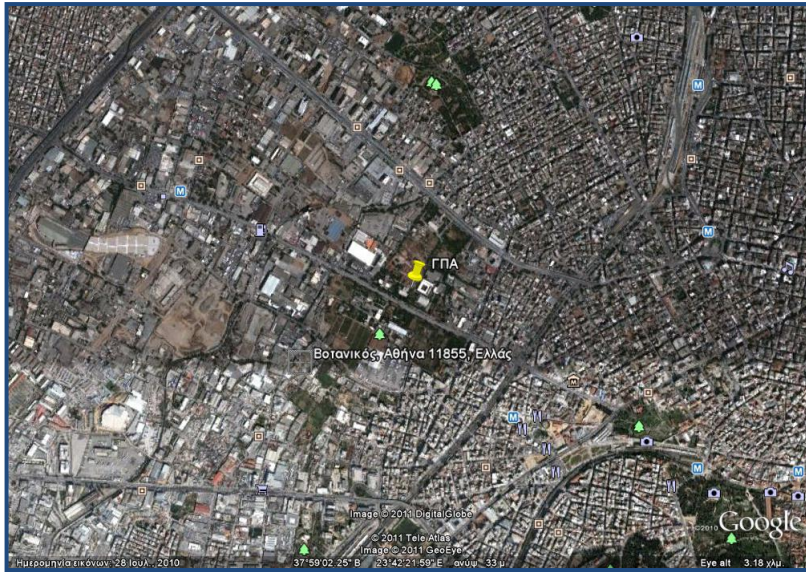
Για τον υπολογισμό των βιομετεωρολογικών συνθηκών των περιοχών χρησιμοποιήθηκε ο θερμοϋγρομετρικός δείκτης (THI). Η χρήση του THI κρίθηκε πιο κατάλληλη για τη συγκεκριμένη μελέτη σε σχέση με άλλους βιομετεωρολογικούς δείκτες. Δεδομένου ότι είναι ένας εύχρηστος δείκτης που έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών ορεινών περιοχών (Kamoutsis et al, 2007) αλλά και αρκετών αστικών (Barradas, 1991; Toy et al, 2007). Επίσης ο δείκτης αυτός έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς και στον προσδιορισμό συνθηκών θερμικής άνεσης σε πευκόφυτες περιοχές (Matsoukis et al, 2010).

Οι απαιτούμενες παράμετροι είναι αυτές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Για το λόγο αυτό στην παρούσα μελέτη, για την περιοχή της Πεντέλης, χρησιμοποιήθηκαν αυτόματα καταγραφικά όργανα, τα HOBO Pro v2 (U23-00X) της εταιρείας Onset Computer Corporation (USA), τα οποία μέσω ενσωματωμένων αισθητήρων μετρούν θερμοκρασία και σχετική υγρασία. Ενώ για την περιοχή της Νέας Σμύρνης Hobo type Pro (H-032-08). Τα όργανα ελέγχονταν ανά δυο μήνες με πρότυπο φορητό εξοπλισμό, ώστε να διαπιστωθούν τυχόν σφάλματα στη καταγραφή των δεδομένων τα οποία ελήφθησαν υπόψη στην επεξεργασία. Για την επεξεργασία των μετρήσεων και τον υπολογισμό του δείκτη THI χρησιμοποιήθηκαν τα λογιστικά φύλλα του Excel του λογισμικού της Microsoft.

3.3 Περιγραφή θέσεων εγκατάστασης των οργάνων και τρόπος επεξεργασίας δεδομένων

3.3.1 ΓΠΑ

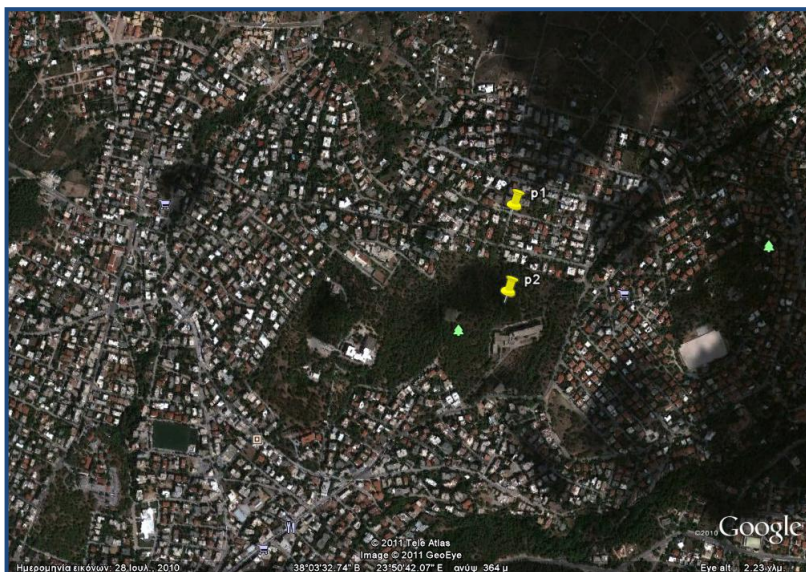
Στην περιοχή του Βοτανικού εντοπίζεται ένας μεγάλος χώρος πρασίνου, που ανήκει στο Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, με δενδρώδη, θαμνώδη και ποώδη αρδευόμενη και μη βλάστηση σε υψόμετρο 38 μέτρα με γεωγραφικό πλάτος 37°59'8.3N και γεωγραφικό μήκος 23°42'22.2E, (Εικόνα 30).



Εικόνα 30: Η εικόνα του ΓΠΑ από αεροφωτογραφία (GoogleEarth) στις 2 Ιουνίου 2011 .

3.3.2 Μελίσσια

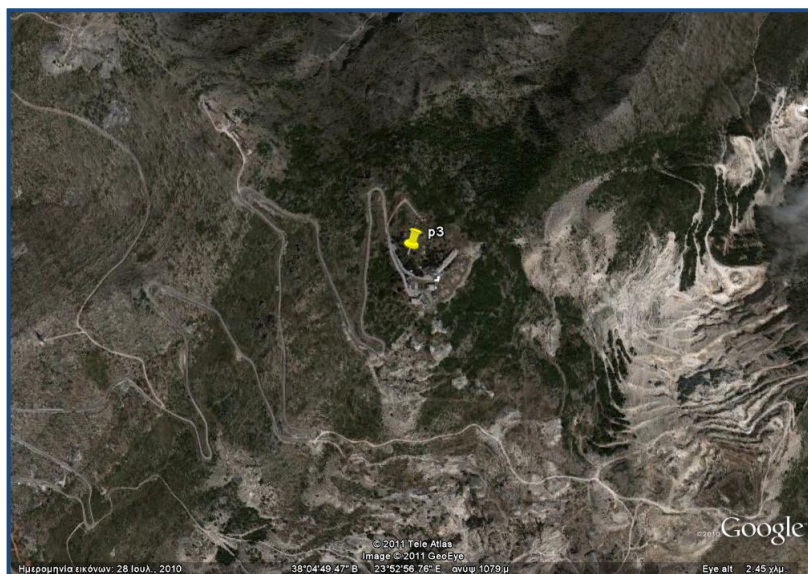
Στην περιοχή των Μελισσίων επιλέχθηκαν δύο σημεία. Το σημείο P1 βρίσκεται στην αυλή τριώροφου κτιρίου επί της οδού Ηφαίστου σε υψόμετρο 397 μέτρα ($38^{\circ} 03' 41,7$ N, $023^{\circ} 51' 02,7$ E). Στην περιοχή επικρατεί υψηλή και πυκνή δόμηση. Υπάρχει ελάχιστη βλάστηση. Το σημείο P2 βρίσκεται μέσα στο πάρκο, σε περιοχή πυκνής βλάστησης, σε υψόμετρο 397 μέτρα ($38^{\circ} 03' 30,4$ N, $023^{\circ} 51' 54,3$ E). Στο χώρο επικρατεί κυρίως βλάστηση πεύκου (*Pinus halepensis*) και σχίνα (*Pistacia lentiscus*), (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Η εικόνα του Άλσους των Μελισσίων από αεροφωτογραφία (GoogleEarth στις 2 Ιουνίου 2011).

3.3.2.1 Πεντελικό Όρος

Το σημείο P3, βρίσκεται στην κορυφή του πεντελικού όρους σε υψόμετρο 1086 μέτρα, ($38^{\circ} 04' 56,5$ N, $023^{\circ} 52' 57,7$ E) . Στην περιοχή επικρατεί αραιή βλάστηση από δέντρα πεύκων (*Pinus halepensis*) και υπάρχουν εγκαταστάσεις του στρατού (Εικόνα 32).



Εικόνα 32: Η εικόνα του Πεντελικού όρους από αεροφωτογραφία (GoogleEarth) στις 2 Ιουνίου 2011.

3.3.3 Ελληνικό

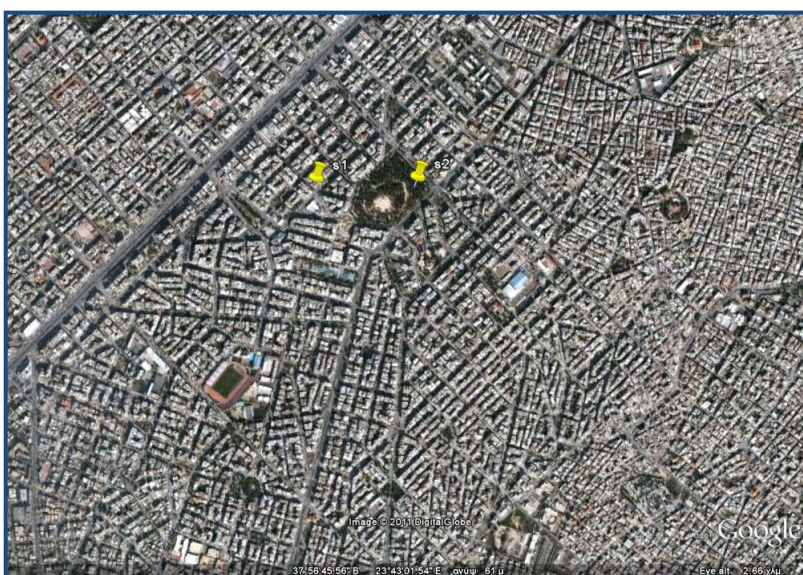
Ο μετεωρολογικός σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας βρίσκεται στο πρώην Ανατολικό Αεροδρόμιο Αθηνών, εκεί που βρίσκονται και η κτηριακές εγκαταστάσεις της σε υψόμετρο 10 μέτρα, ($37^{\circ} 53' 34,8$ N, $23^{\circ} 43' 37,2$ E). Ο χώρος είναι απαλλαγμένος από βλάστηση, κάποιες εγκαταλελειμμένες κτηριακές εγκαταστάσεις βρίσκονται σε απόσταση από το σταθμό, του πρώην αεροδρομίου (Εικόνα 33).



Εικόνα 33: Η εικόνα του Ελληνικού από αεροφωτογραφία (GoogleEarth) στις 2 Ιουνίου 2011.

3.3.4 Νέα Σμύρνη

Στην περιοχή της Νέας Σμύρνης επιλέχθηκαν δύο σημεία. Το σημείο S1 βρίσκεται σε δομημένη περιοχή της Νέας Σμύρνης στην οδό Φιλαδελφείας σε υψόμετρο 63 μέτρα ($37^{\circ} 57' 00.2''$ N, $23^{\circ} 42' 50.8''$ E). Το ύψος δόμησης φτάνει στους τέσσερις ορόφους. Το σημείο S2, βρίσκεται εντός του Άλσους της Νέας Σμύρνης σε υψόμετρο 59 μέτρα ($37^{\circ} 57' 01.7''$ N, $23^{\circ} 43' 04.0''$ E). Στην περιοχή επικρατεί δενδρώδη βλάστηση από δέντρα πεύκων (*Pinus halepensis*), καλλωπιστική και ποώδη αρδευόμενη βλάστηση (Εικόνα 34).

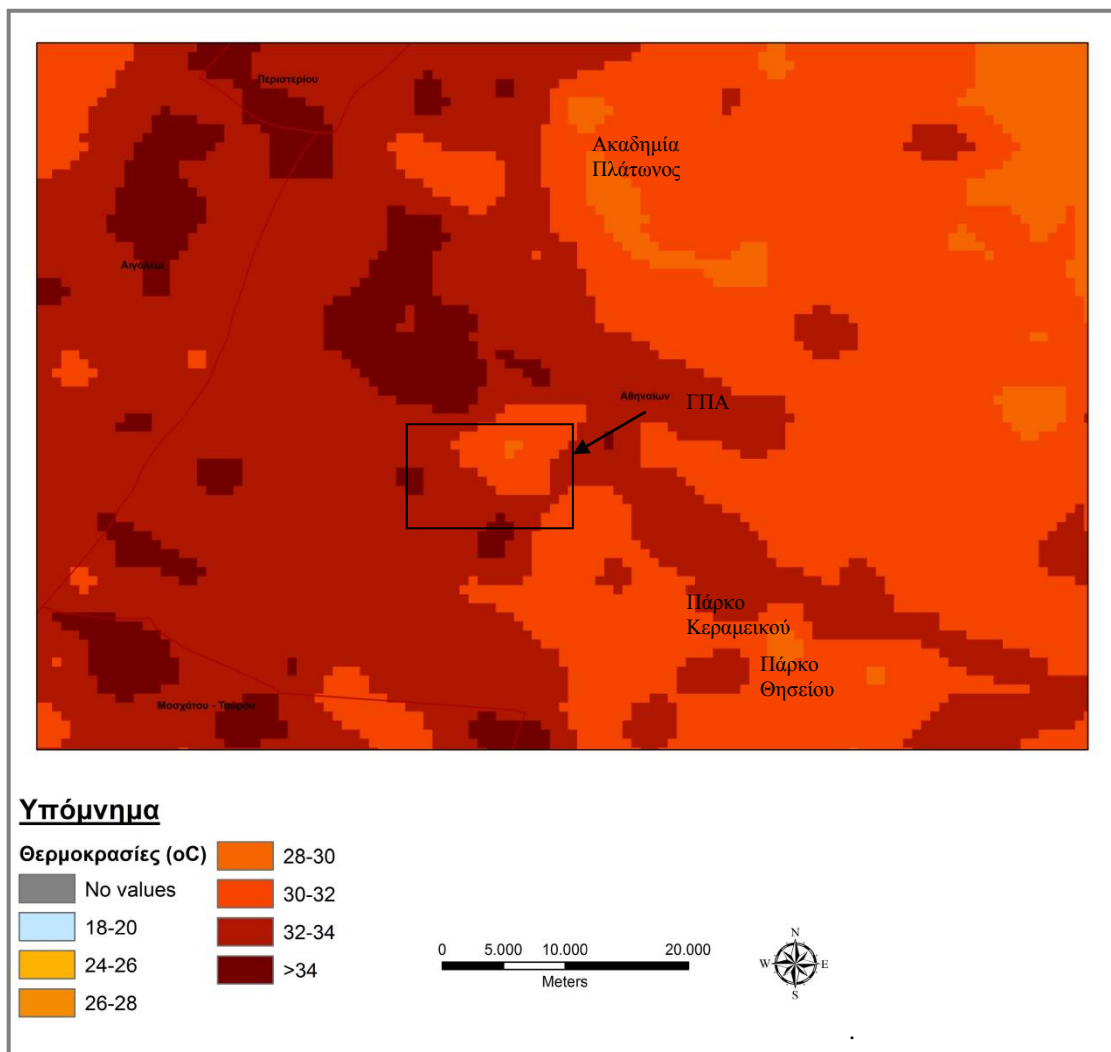


Εικόνα 34: Η εικόνα του Άλσους της Νέας Σμύρνης από αεροφωτογραφία (GoogleEarth) στις 2 Ιουνίου 2011.

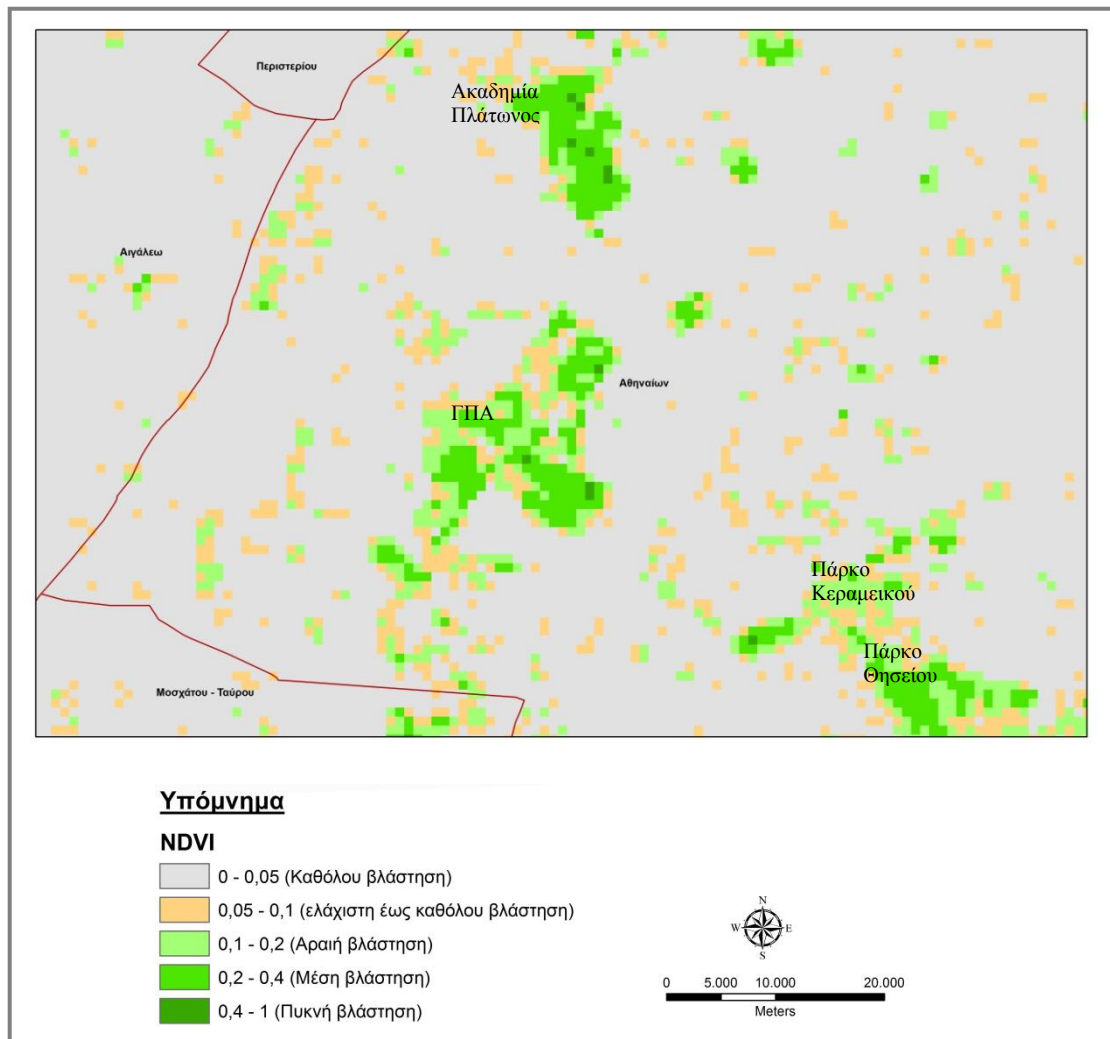
4. Αποτελέσματα – Συζήτηση

4.1 ΓΠΑ

Στην περιοχή του Γ.Π.Α η διέλευση του δορυφόρου πραγματοποιήθηκε στις 10:30π.μ., στις 24 Ιουλίου του έτους 2009. Από τη χωρική κατανομή της θερμοκρασίας, όπως αποτυπώθηκε στη θερμική εικόνα της 24^{ης} Ιουλίου 2009, προκύπτει ότι η θερμοκρασία στην περιοχή του Βοτανικού (Γ.Π.Α), διαμορφώθηκε στους «26-28°C», ενώ ο μετεωρολογικός σταθμός αποτύπωσε την θερμοκρασία στους 26,7°C (Εικόνα 35). Από ότι παρατηρούμε η θερμική εικόνα δεν αποκλίνει από τα δεδομένα θερμοκρασίας εδάφους. Η μέγιστη θερμοκρασία που κατέγραψε ο μετεωρολογικός σταθμός έφτασε στους 38,3°C στις 15:00LT (Εικόνα 37).



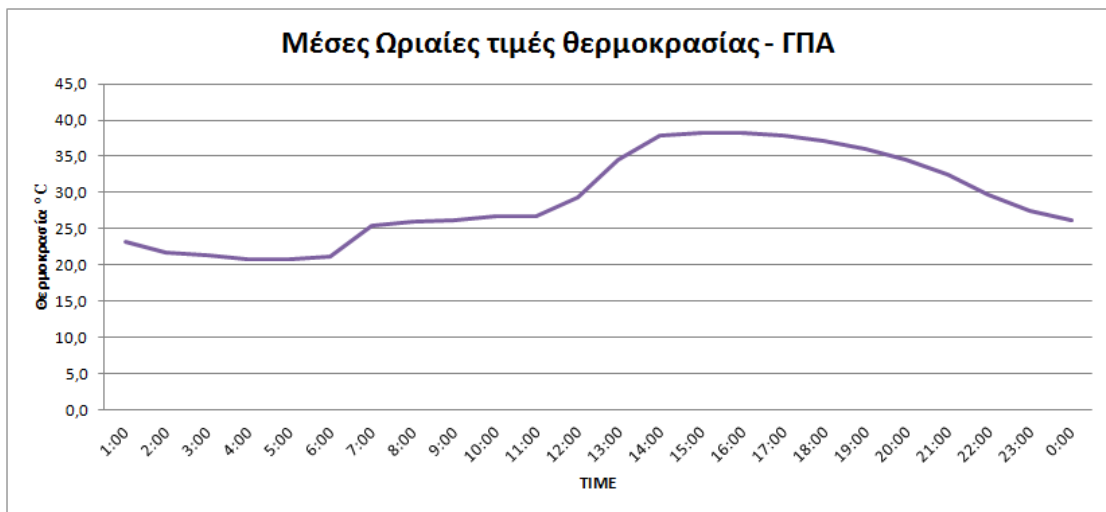
Εικόνα 35: Η χωρική αποτύπωση της θερμοκρασίας, όπως διαμορφώθηκε από τις θερμικές τιμές του Landsat-5 TM για την περιοχή του ΓΠΑ



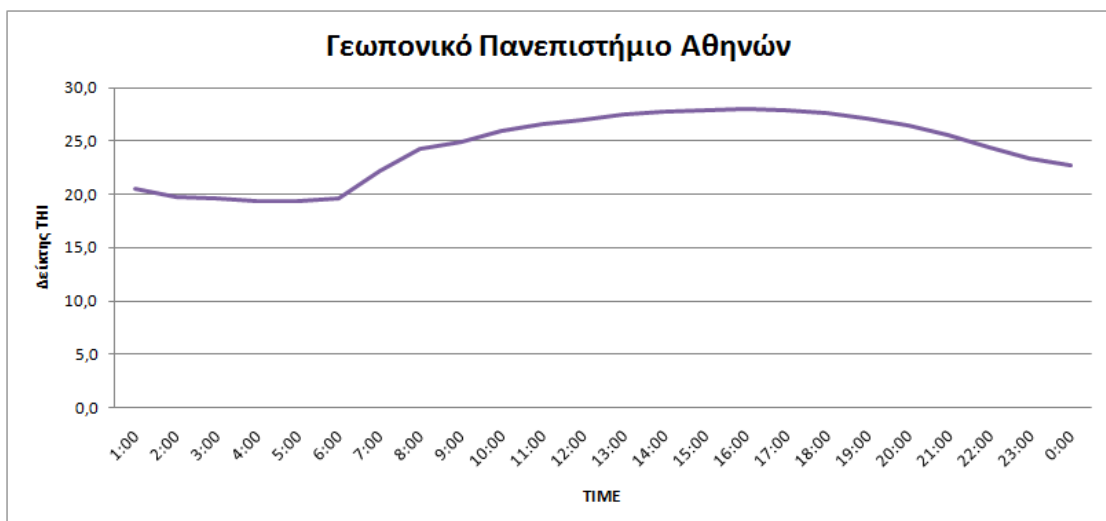
Εικόνα 36: Η απεικόνιση του δείκτη βλάστησης (NDVI) για την περιοχή του ΓΠΑ.

Συγκρίνοντας τη θερμική εικόνα που αποτυπώνει την περιοχή του ΓΠΑ (Εικόνα 35) και την εικόνα του δείκτη βλάστησης (Εικόνα 36), διαπιστώνεται πως το ΓΠΑ αποτελεί μια όαση πρασίνου, στην ευρύτερη δομημένη περιοχή. Η φυτοκαλυμμένη έκταση του ΓΠΑ συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας. Οι θερμικές συνθήκες θα ήταν ακόμη καλύτερες αν δεν διέκοπτε τον συγκεκριμένο χώρο η Ιερά Οδός, δρόμος αυξημένης κυκλοφορίας. Επίσης οι συνεχόμενοι χώροι πρασίνου, όπως το πάρκο Κεραμεικού και το πάρκο του Θησειού, δίνουν καλύτερα θερμικά αποτελέσματα. Τέλος το πάρκο της Ακαδημίας Πλάτωνος όπως φαίνεται από την εικόνα του δείκτη βλάστησης αποτελείται από «μέση και πυκνή βλάστηση», η θερμοκρασία όπως διαμορφώθηκε στην θερμική εικόνα στο πάρκο είναι «26-28°C» και στην ευρύτερη περιοχή «28-30°C» και αυξάνεται όσο πυκνώνει ο αστικός ιστός.

Για τη συγκεκριμένη ημέρα υπολογίστηκε ο δείκτης ΤΗΙ, εμφανίζοντας τις κλάσεις «άνετο» από τις 02:00-06:00LT με τιμές από 19,3-19,7(°C), από 07:00-10:00LT και από τις 21:00-01:00LT εμφανίστηκε η κλάση «ζεστό» με τις τιμές του δείκτη να κυμαίνονται από 20,5-26(°C), οι δυσμενέστερες συνθήκες παρατηρήθηκαν από τις 11:00-20:00LT εμφανίζοντας την κλάση «πολύ ζεστό», με τον δείκτη να κυμαίνεται από 26,6-28,0(°C) (Εικόνα 38). Η ωριαία τιμή του δείκτη ΤΗΙ τη στιγμή διέλευσης του δορυφόρου, προσδιορίστηκε στην κλάση «ζεστό» (Εικόνα 38).

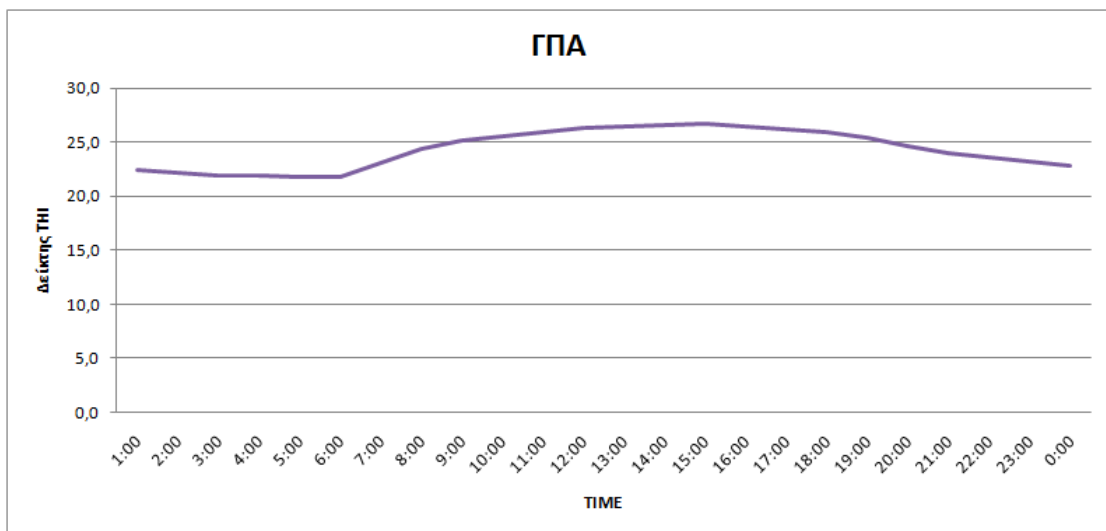


Εικόνα 37: Διάγραμμα μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για την περιοχή του ΓΠΑ.



Εικόνα38: Η μεταβολή του δείκτη (ΤΗΙ) καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου για την περιοχή του ΓΠΑ.

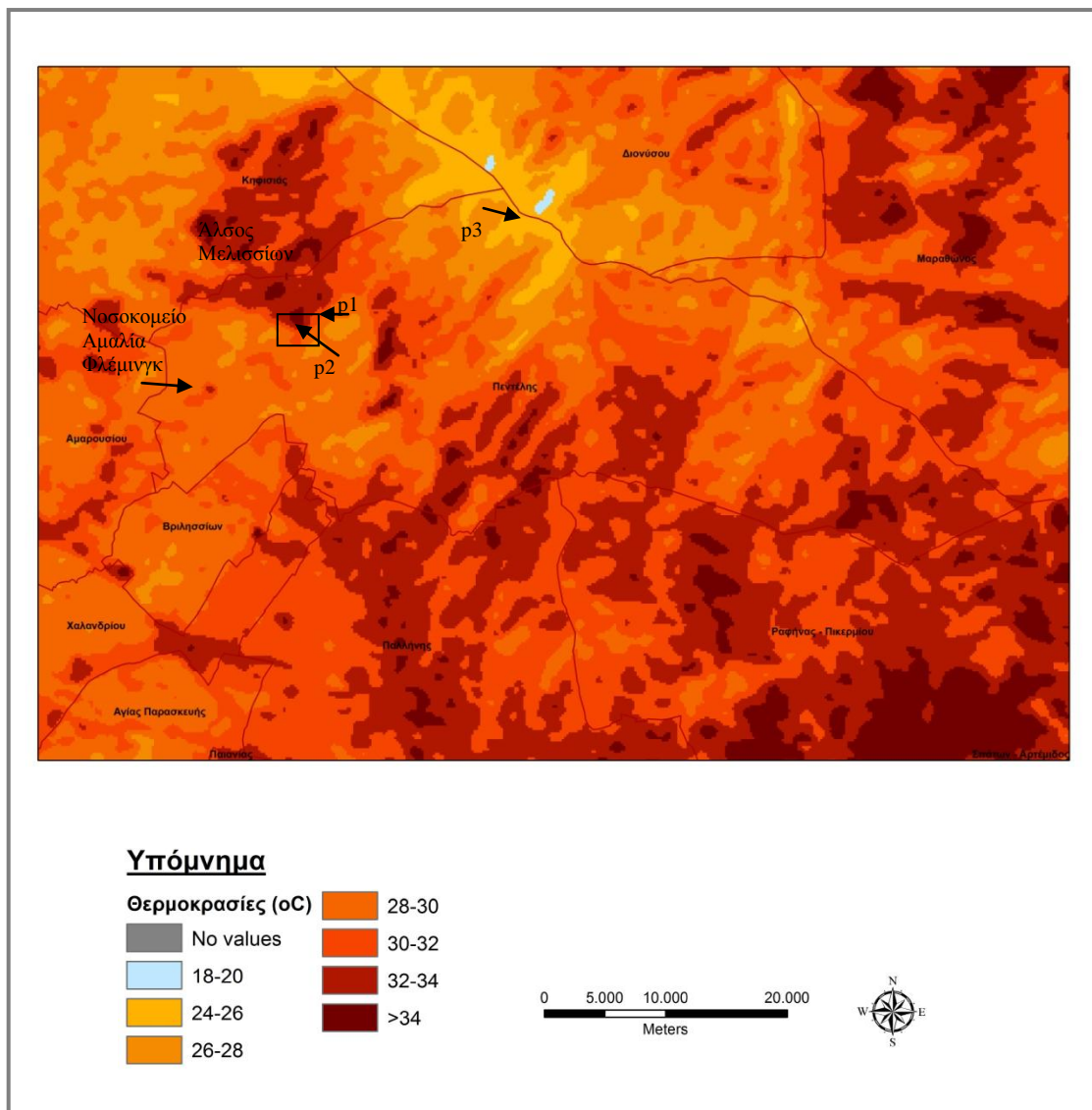
Τέλος υπολογίστηκε ο δείκτης THI για το δεύτερο μισό του μήνα Ιουλίου, που θεωρείται η πιο θερμή περίοδος του έτους. Συγκεκριμένα από τις 18 έως τις 31 Ιουλίου του 2009. Στο διάγραμμα (Εικόνα 40) απεικονίζεται η πορεία του δείκτη θερμικής άνεσης μέσα στο 24ωρο. Οι κλάσεις που εμφανίστηκαν είναι «ζεστό» και «πολύ ζεστό». Η κλάση «πολύ ζεστό», εντοπίζεται στις μεσημβρινές ώρες της ημέρας, 14:00-16:00LT με τιμή του THI, να κυμαίνεται από 26,5-26,7 (°C). Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας εμφανίστηκε η κλάση «ζεστό», με τιμές 21,7-26,4 (°C).



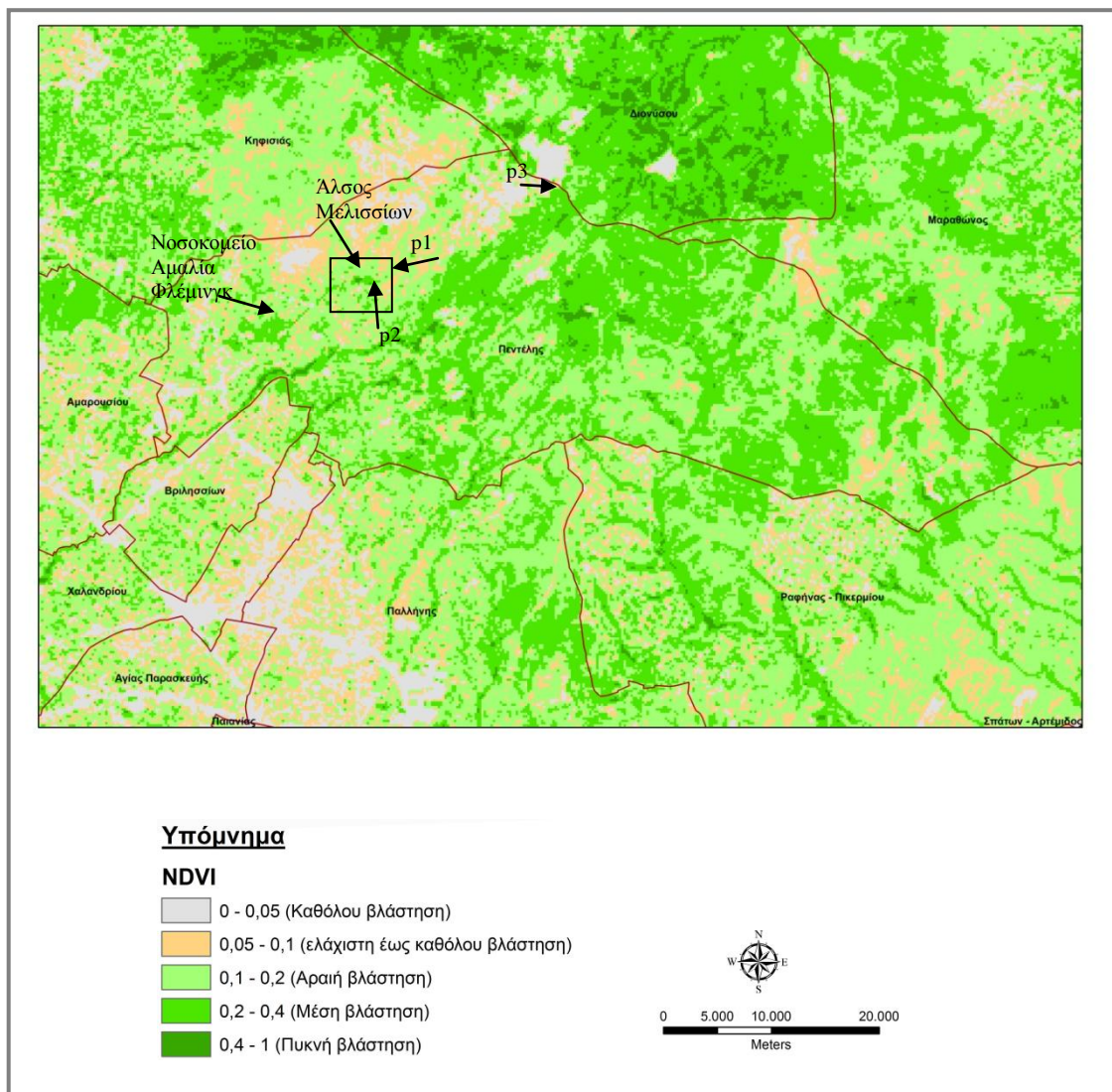
Εικόνα 40: Η ημερήσια πορεία του δείκτη THI, κατά το διάστημα, 18- 31 Ιουλίου 2009.

4.1 Μελίτσια

Εξετάζοντας τη θερμική εικόνα του Δήμου Πεντέλης (Εικόνα 41) και τη χωρική αποτύπωση του δείκτη βλάστησης (Εικόνα 42), παρατηρείται πως στην περιοχή του Δήμου της Πεντέλης, οι χώροι πρασίνου είναι αρκετοί (άλση, πάρκα, πλατείες), νοσοκομειακά συγκροτήματα λειτουργούν μέχρι και σήμερα στις εκτάσεις πρασίνου του Δήμου. Οπότε παρατηρείται μια διακύμανση της θερμοκρασίας από 24-26°C κοντά στην κορυφή του Πεντελικού όρους και αυξάνεται όσο πλησιάζουμε στη δομημένη περιοχή με 32-34°C, με βάση τη θερμική εικόνα. Οι καλύτερες θερμικές συνθήκες, κοντά στην κορυφή του Πεντελικού όρους θα μπορούσαν να αποδοθούν στην επίδραση του υψομέτρου. Επίσης καλύτερες θερμικές συνθήκες παρατηρούνται στις περιοχές με «μέση» και «πυκνή» βλάστηση όπως φαίνεται στη εικόνα του δείκτη βλάστησης (Εικόνα 42), συγκρίνοντας την με την προηγούμενη (Εικόνα 41).



Εικόνα 41: Η χωρική απεικόνιση της θερμοκρασίας, όπως διαμορφώθηκε από τις θερμικές τιμές του Landsat-5 TM για την περιοχή του Δήμου Πεντέλης.



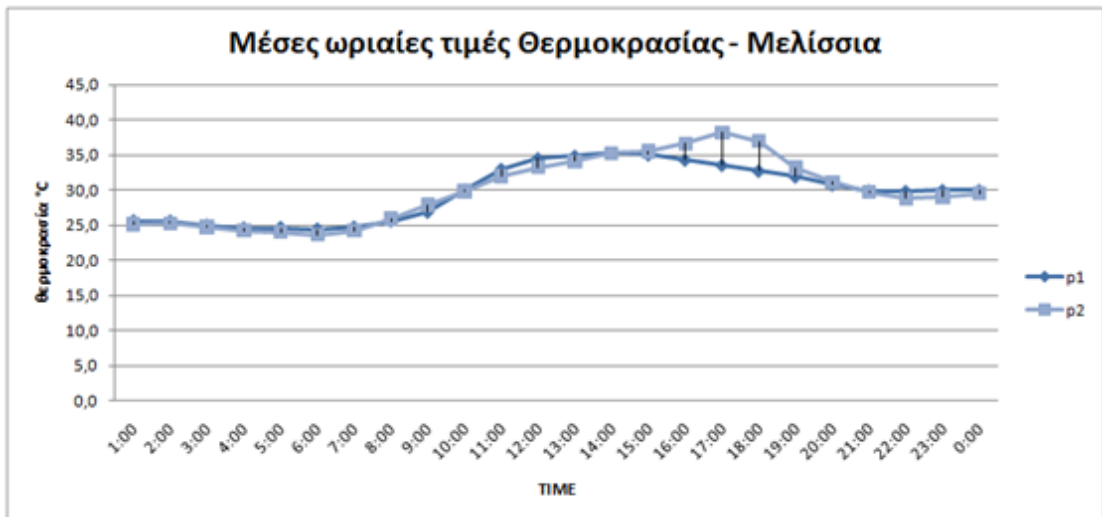
Εικόνα 42: Η χωρική απεικόνιση του δείκτη βλάστησης (NDVI) για την περιοχή του Δήμου Πεντέλης.

Στην θέση p1 (πυκνή και υψηλή δόμηση), (Εικόνα 42) η θερμοκρασία που κατέγραψε ο μετεωρολογικός σταθμός στις 10:30LT είναι στους 33°C. Η θερμική απεικόνιση της θέσης αυτής έδειξε πως η θερμοκρασία κυμαίνεται 32°C έως 34°C τη δεδομένη χρονική στιγμή, (Εικόνα 41). Ενώ στη θέση p2 (υψηλή και πυκνή φύτευση), η θερμοκρασία με βάση τον σταθμό, είναι κατά ένα βαθμό μικρότερη, δηλαδή στους 32,0°C, σε σχέση με την θέση p1. Ωστόσο από τη θερμική απεικόνιση δε διαπιστώθηκε μεταβολή σε σχέση με τη προηγούμενη θέση (p1) γεγονός που αναδεικνύει την αδυναμία των δορυφορικών εικόνων να εντοπίζουν θερμομετρικές διαφοροποιήσεις σε μικρής κλίμακας περιοχές. Η θέση p1, εμφανίζει υψηλές θερμοκρασίες όλο το 24 ωρο καθώς περιβάλλεται από πυκνή δόμηση. Σημειώνεται ότι η θερμοκρασία διαμορφώθηκε στους 38,2°C, στις 17:00LT (Εικόνα 43).

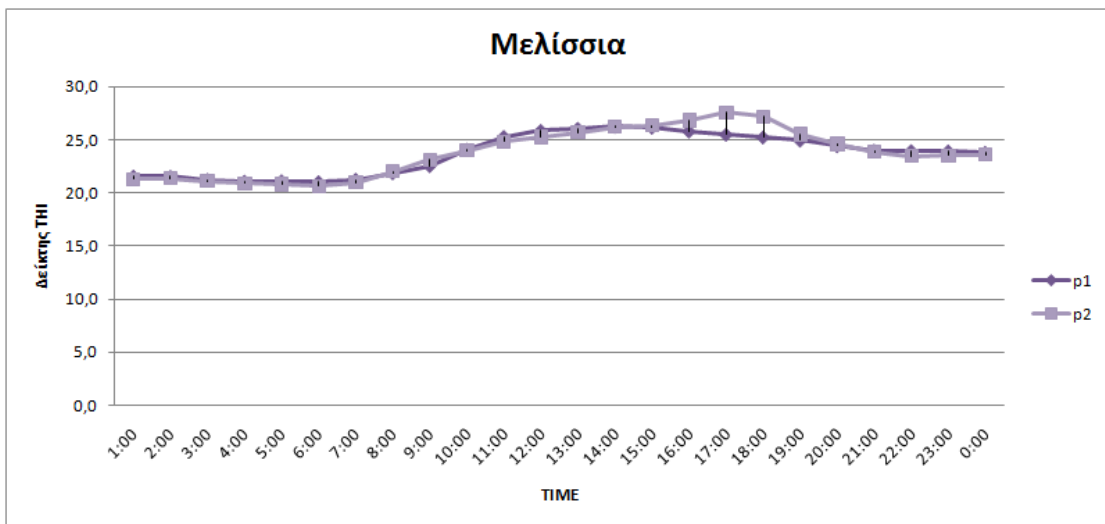
Τα παραπάνω οφείλονται στην παρουσία πυκνής και υψηλής δόμησης της περιοχής καθώς και στην απουσία βλάστησης. Σύμφωνα με σχετικές μελέτες τα δομικά υλικά, όπως το τσιμέντο, η άσφαλτος κ.α, δεσμεύουν μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία τους και η θερμοκρασία του αέρα πάνω από αυτά. Έτσι δημιουργούνται οι αστικές θερμικές νησίδες. (Yilmaz et al., 2007). Παράλληλα, τα παραπάνω δομικά υλικά παρουσιάζουν αργό ρυθμό απελευθέρωσης της θερμότητας κατά τις νυχτερινές ώρες. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη τους θερμοχωρητικότητα και στο μειωμένο ρυθμό εκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη νύχτα. (Kamoutsis et al, 2010; Kassomenos et al, 2006).

Η θέση p2 εμφανίζει τοπικά πολύ πυκνή και υψηλή βλάστηση (Εικόνα 42) η οποία εξασφαλίζει μεν δροσερές συνθήκες την ημέρα λόγω σκίασης, τη νύχτα όμως η απόδοση θερμικής ακτινοβολίας από το έδαφος εμποδίζεται από την κόμη των δέντρων με αποτέλεσμα να επιστρέφει σε αυτό (Matsoukis et al, 2010; Renaud and Rebetez, 2009). Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος τις νυχτερινές ώρες. Η μέγιστη θερμοκρασία σημειώθηκε στις 14:00LT στους 35,3°C (Εικόνα 42).

Ο δείκτης THI τη στιγμή σάρωσης του δορυφόρου, για τη θέση p1 υπολογίστηκε 24,7°C και για τη θέση p1 στους 24,4°C. Επιπλέον ο δείκτης THI καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας για την θέση p1, εμφάνισε την κλάση «ζεστό», με τις τιμές να διακυμαίνονται από 21,0-26,2°C χωρίς να υπάρχει καμμία διαφοροποίηση κατά τη διάρκεια της νύκτας. Στην θέση p2, ο δείκτης THI, εμφάνιζε την κλάση «ζεστό» και «πολύ ζεστό». Η κλάση «πολύ ζεστό» εντοπίστηκε από τις 16:00-18:00LT, με τιμές από 26,8-27,5°C, τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου η κλάση «ζεστό» κυμάνθηκε μεταξύ 20,6-26,3°C (Εικόνα 44).

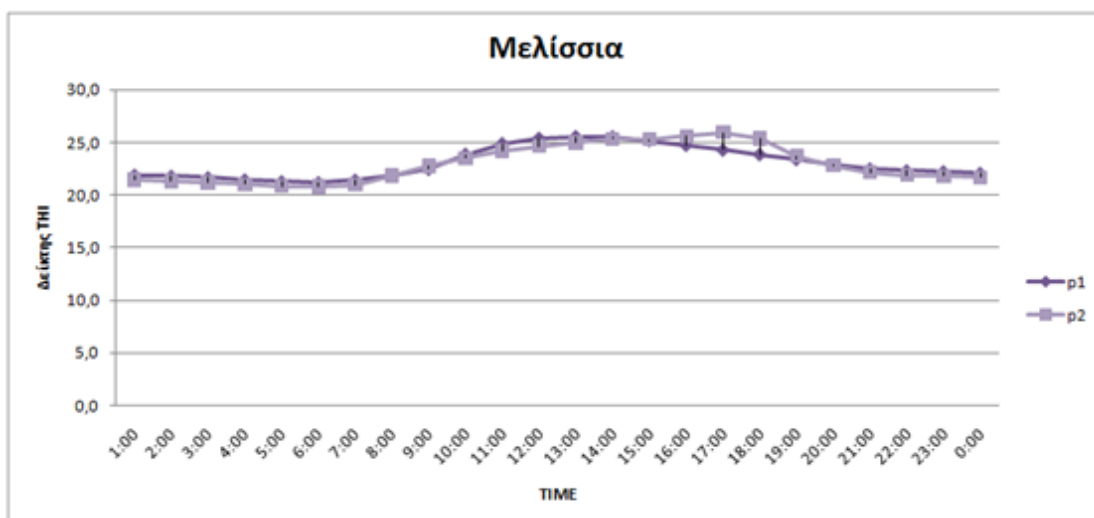


Εικόνα 43: Διάγραμμα μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για την περιοχή των Μελισσίων. (p1,p2).



Εικόνα 44: Η μεταβολή του δείκτη (THI) καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου για την περιοχή των Μελισσίων (p1,p2).

Πρόσθετα υπολογίστηκε η ημερήσια πορεία του δείκτη THI για το διάστημα 18-31 Ιουλίου του 2009 (Εικόνα 46), έδειξε ότι το σημείο p1 εμφάνισε την κλάση «ζεστό» καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, με τις τιμές να διακυμάνθηκαν από 21,2-25,5(°C). Επίσης, το σημείο p2 εμφάνισε την κλάση «ζεστό» με τις τιμές του δείκτη να κυμαίνονται στους 21,0-25,9(°C), για τη συγκεκριμένη περίοδο. Το σημείο p2 (πυκνή φύτευση), εξασφαλίζει ελαφρά βελτιωμένες συνθήκες θερμικής αίσθησης (Εικόνα 46), σε σχέση με το σημείο p2 (πυκνή δόμηση) καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.



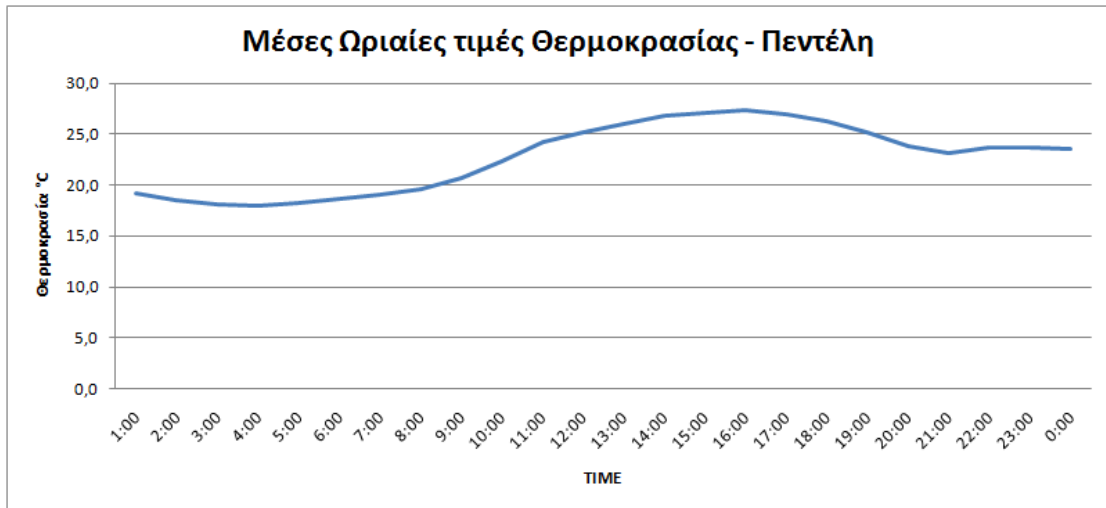
Εικόνα 46: Η πορεία του δείκτη THI, όλο το 24ωρο, από τις 18 έως 31 Ιουλίου του 2009, για τα σημεία p1,p2.

4.1.1 Πεντελικό όρος

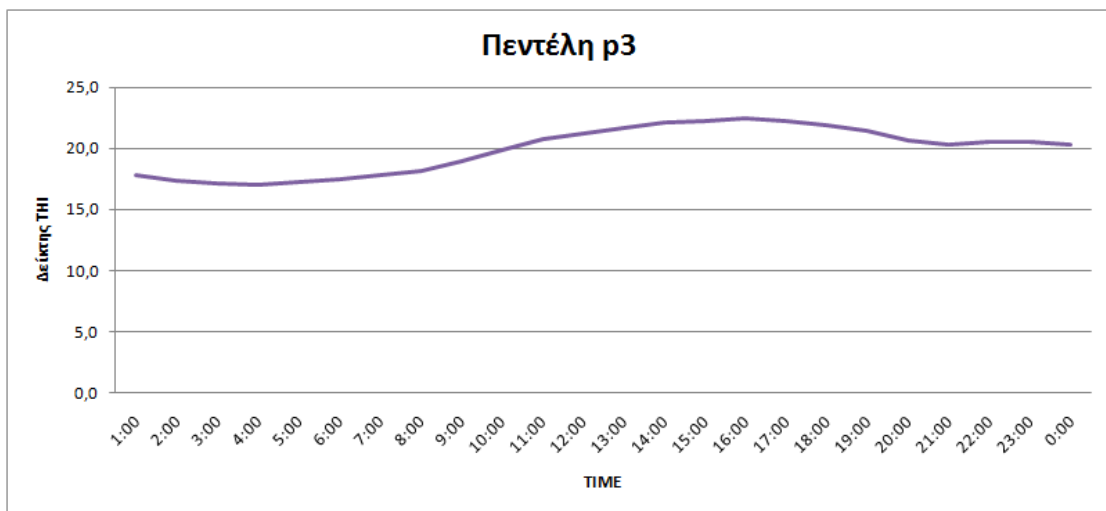
Μελετώντας την εικόνα με τα αποτελέσματα του δείκτη βλάστησης, το Πεντελικό όρος (πριν την πυρκαγιά της 23^{ης} Αυγούστου του 2009), χαρακτηριζόταν από «μέση και πυκνή βλάστηση» (Εικόνα 42), με αποτέλεσμα να δίνει πολύ καλά θερμικά αποτελέσματα (Εικόνα 41) στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου, σε συνδυασμό με το μεγάλο υψόμετρο της περιοχής.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η κορυφή του Πεντελικού όρους, όπου τοποθετήθηκε ο σταθμός στη θέση p3, βρίσκεται στα 1086m (Εικόνα 42). Η θερμοκρασία που κατέγραψε ο σταθμός στη χρονική στιγμή που κατέγραφε ο δορυφόρος ήταν 24,5°C. Ενώ η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας με βάση τη θερμική είναι στους «24-26°C». Η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας, με βάση τη μέτρηση του σταθμού ήταν στους 27,3°C (Εικόνα 47).

Η εικόνα των κλάσεων του δείκτη THI εδώ είναι πολύ διαφορετική σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις καθώς βρισκόμαστε σε ορεινό περιβάλλον, οι κλάσεις που εμφανίστηκαν είναι «άνετο» και «ζεστό». Συγκεκριμένα η κλάση «Άνετο», παρατηρήθηκε από τις 01:00-10:00LT με τιμές από 17,1-19,9 (°C), ενώ από τις 11:00-00:00LT οι τιμές του δείκτη για την κλάση «ζεστό» κυμάνθηκαν από 20,3-22,4(°C), με την τιμή των 22,4(°C) να εμφανίζεται στις 15:00LT (Εικόνα 48). Οι βελτιωμένες από βιομετεωρολογική απόψη συνθήκες, θα μπορούσαν να αποδοθούν στην επίδραση του υψόμετρου.

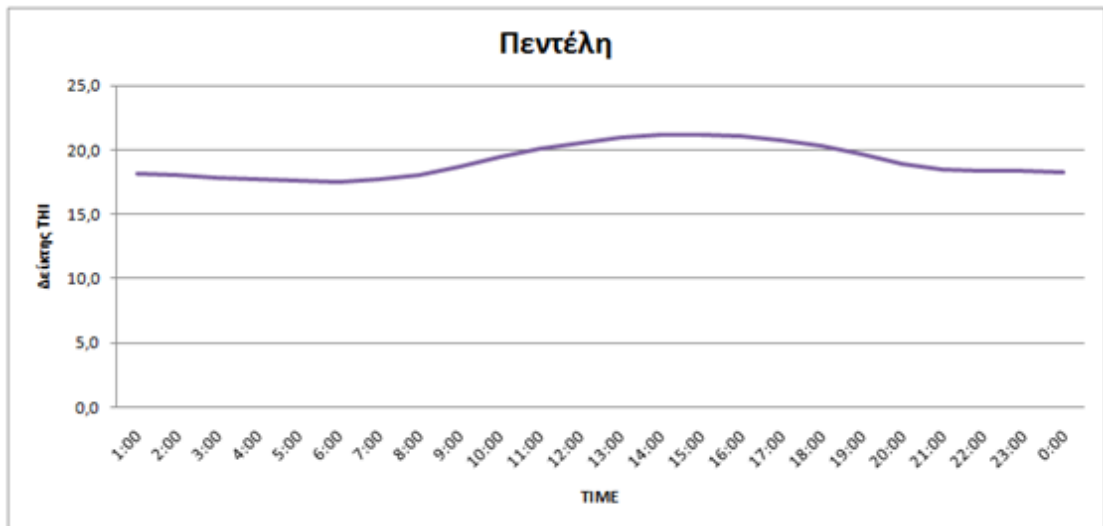


Εικόνα 47: Διάγραμμα μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για την περιοχή του Πεντελικού όρους. (p3).



Εικόνα 48: Η μεταβολή του δείκτη (ΤΗΙ) καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου για την περιοχή του Πεντελικού όρους (p3).

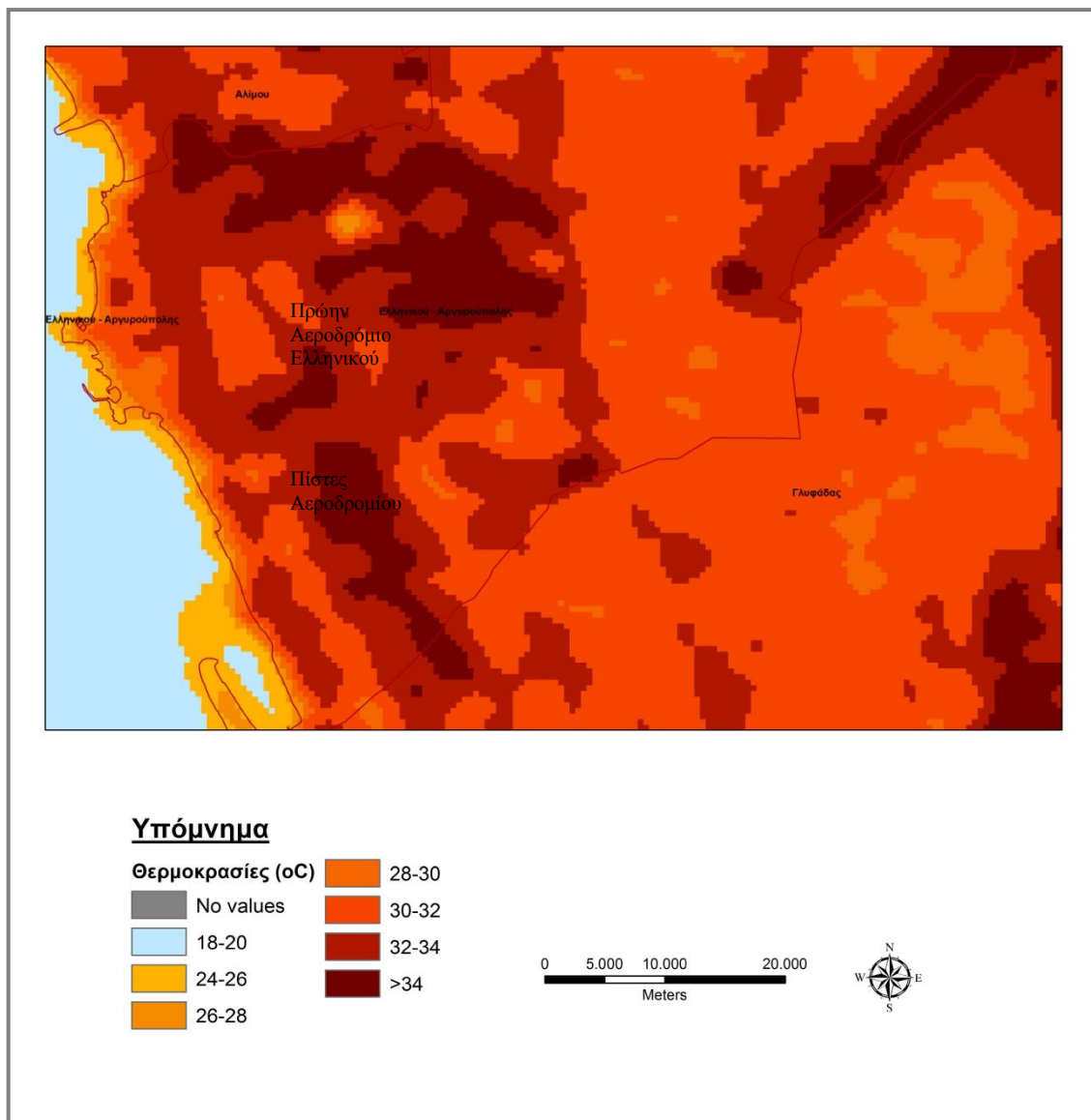
Τέλος για το σημείο p3, υπολογίστηκε ο δείκτης ΤΗΙ, για την περίοδο από τις 18 έως 31 Ιουλίου. Οι κλάσεις που εμφανίστηκαν από τις μέσες ωριαίες τιμές του δείκτη, ήταν «άνετο» και «ζεστό». Όπως φαίνεται στο διάγραμμα (Εικόνα 50), η κλάση «άνετο» κυριαρχεί σε σχέση με την κλάση «ζεστό» στη διάρκεια του 24ώρου. Συγκεκριμένα από τη 01:00π.μ μέχρι και τις 10:00 LT και από τις 19:00 LT μέχρι τα μεσάνυχτα. Οι τιμές κυμαίνονται από 17,5-19,9 (°C). Ενώ η κλάση «ζεστό» εμφανίζεται από τις 10:00-19:00 LT, με τις τιμές να κυμαίνονται στο εύρος από 20,1 έως 21,2(°C).



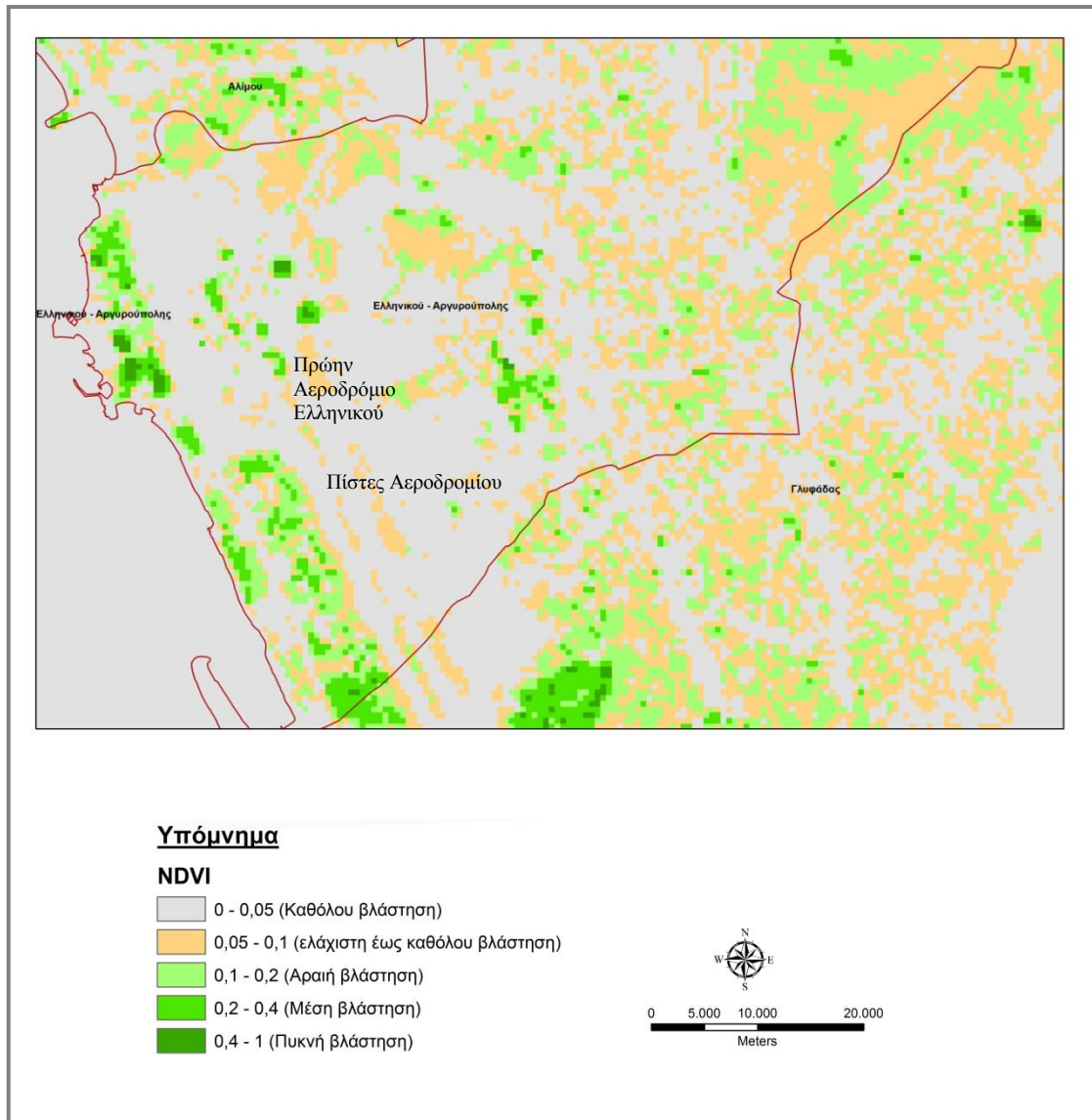
Εικόνα 50: Η πορεία του δείκτη THI, όλο το 24ωρο, από τις 18 έως 31 Ιουλίου του 2009, για το σημείο p3.

4.2 Ελληνικό

Η περιοχή του πρώην αεροδρομίου του Ελληνικού, εμφανίζει επιβαρυμένες θερμικές συνθήκες (Εικόνα 51), γεγονός που αποδίδεται στην έλλειψη φυτοκαλυμμένων εκτάσεων, όπως φαίνεται από τη χωρική απεικόνιση του δείκτη βλάστησης (Εικόνα 52). Ο χώρος αποτελείται από κτηριακές εγκαταστάσεις και τις πίστες προσγείωσης και απογείωσης του πρώην αεροδρομίου, που δεσμεύουν ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και στη συνέχεια την μετατρέπουν σε θερμότητα.



Εικόνα 51: Η χωρική απεικόνιση της θερμοκρασίας, όπως διαμορφώθηκε από τις θερμικές τιμές του Landsat-5 TM για την περιοχή του Δήμου Ελληνικού.



Εικόνα 52: Η χωρική απεικόνιση του δείκτη βλάστησης (NDVI) για την περιοχή του Δήμου Ελληνικού.

Στην θέση του Ελληνικού η θερμοκρασία που κατέγραφε ο μετεωρολογικός σταθμός, τη στιγμή της διέλευσης του δορυφόρου, ήταν 36°C. Το εύρος της θερμοκρασίας, που αποτυπώθηκε στη θερμική εικόνα είναι «>34°C». Απ' ότι παρατηρούμε στην απεικόνιση της θερμικής εικόνας του Ελληνικού (Εικόνα 51) η περιοχή του πρώην αεροδρομίου Αθηνών είναι θερμικά επιβαρυνμένη. Οι κλάσεις που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή είναι «32-34» και «>34°C». Στο διάγραμμα των μέσων ωρικών τιμών θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του 24ωρου, τις μεσημεριανές ώρες, η θερμοκρασία έφτασε τους 38,6°C (Εικόνα 53). Η κατάργηση της Αμερικάνικης βάσης μαζί με την μετεγκατάσταση του αεροδρομίου από το Ελληνικό στα Σπάτα, είχε ως αποτέλεσμα την «αποδέσμευση»

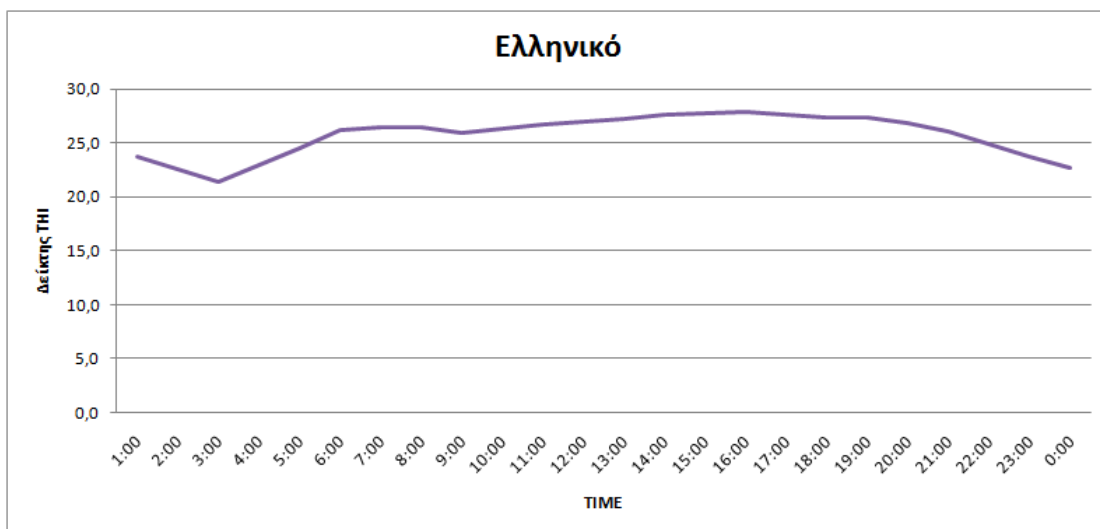
5600 στρεμμάτων, τα οποία καλύπτονταν από μπετόν (κτήρια) και ασφάλτο (πίστες αεροδρομίου). Η έλλειψη βλάστησης (Εικόνα 52), δικαιολογεί τις υψηλές τιμές θερμοκρασίας. Παρόλο που η περιοχή γειτνιάζει με τον Σαρωνικό κόλπο, και δέχεται την επίδραση της θαλάσσιας αύρας, η θερμοκρασία παραμένει σε υψηλά επίπεδα γεγονός όπου αποδεικνύει την δυσμενή επίδραση των δομικών υλικών (άσφαλτος, τσιμέντο) στη διαμόρφωση των θερμομετρικών συνθηκών της περιοχής. Μόνο στην ακτογραμμή παρατηρούνται οι τιμές της μικρότερης κλάσης, θερμοκρασίες μεταξύ «24-26°C».

Οι συνθήκες θερμικής αίσθησης διαμορφώθηκαν στις κλάσεις «ζεστό», «πολύ ζεστό» καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα που έδωσε ο δείκτης THI (Εικόνα 54). Αναλυτικά, η κλάση «ζεστό» παρατηρείται από τη 01:00π.μ έως τις 10:00LT και από τις 21:00LT μέχρι και τα μεσάνυχτα, με τιμές από 21,4-26,5(°C). Ενώ οι συνθήκες γίνονται πιο δυσμενείς από τις 11:00-20:00LT, όπου εμφανίζεται η κλάση «πολύ ζεστό» με τιμές από 26,7-27,8(°C).

Η δημιουργία χώρων πρασίνου στην περιοχή του πρώην αεροδρομίου Ελληνικού θα συμβάλει στην «περιβαλλοντική ανόρθωση» της Αθήνας, δεδομένου ότι η φυτοκάλυψη συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας.

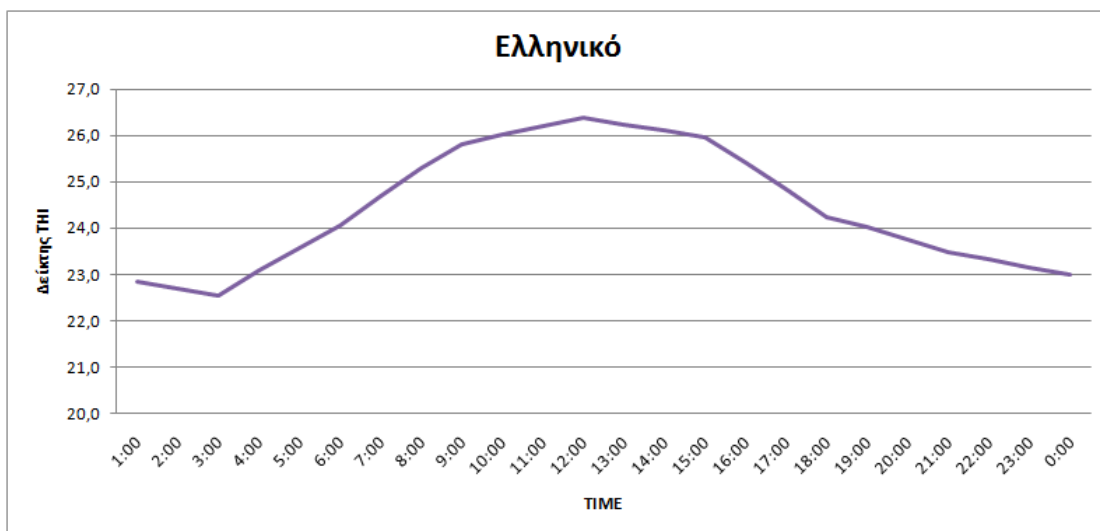


Εικόνα 53: Διάγραμμα μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για την περιοχή του Ελληνικού.



Εικόνα 54: Η μεταβολή του δείκτη (THI) καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου για την περιοχή του Ελληνικού.

Για την περιοχή του Ελληνικού, υπολογίστηκε ο δείκτης THI, από τις 18 έως τις 31 Ιουλίου του 2009. Στο διάγραμμα (Εικόνα 56), φαίνεται η ωριαία μεταβολή του δείκτη, καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Η κλάση που παρατηρήθηκε είναι «ζεστό», για όλο το 24ωρο, με τιμές του δείκτη από 22,7-26,4(°C).

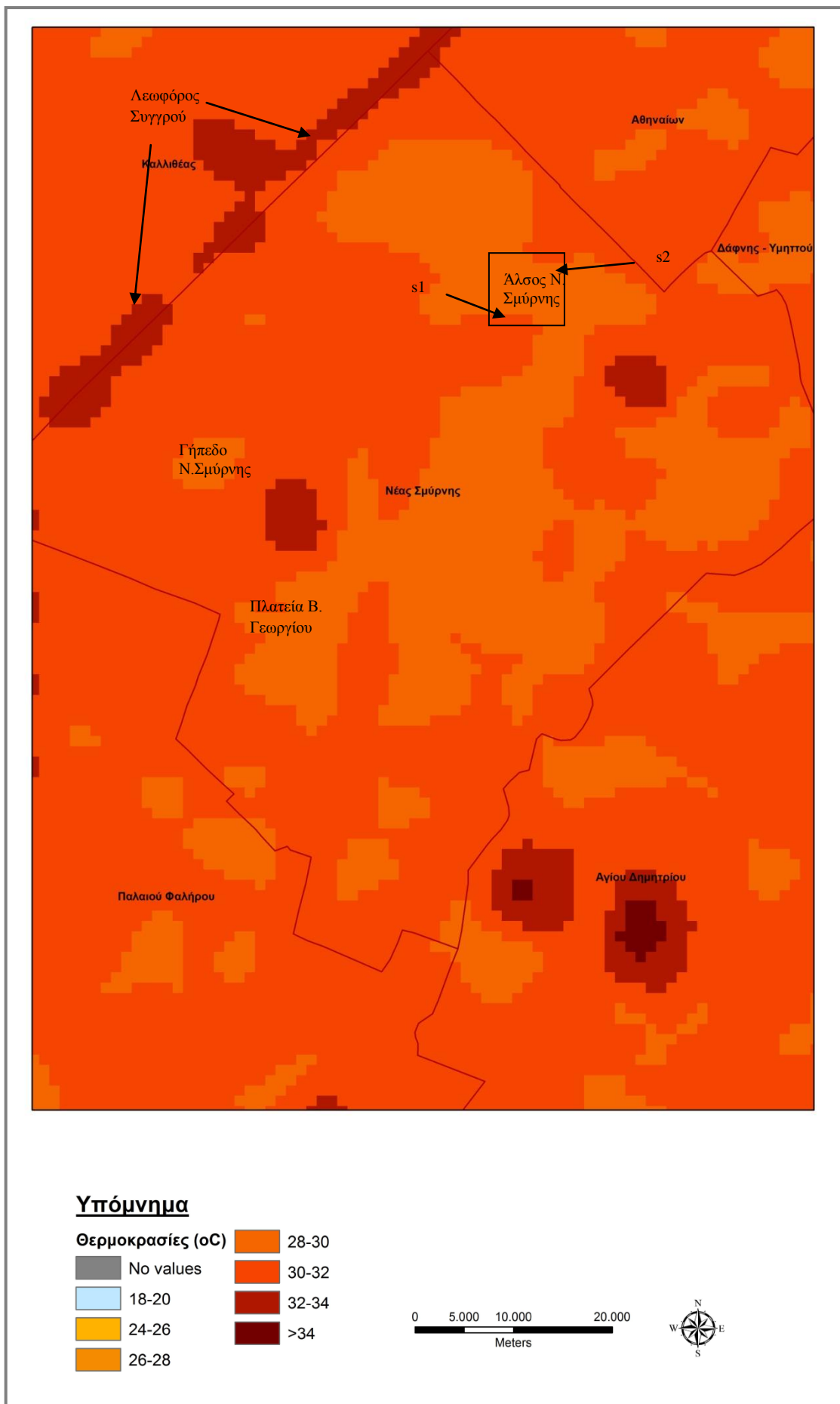


Εικόνα 56: Η πορεία του δείκτη THI, όλο το 24ωρο, από τις 18-31 Ιουλίου του 2009.

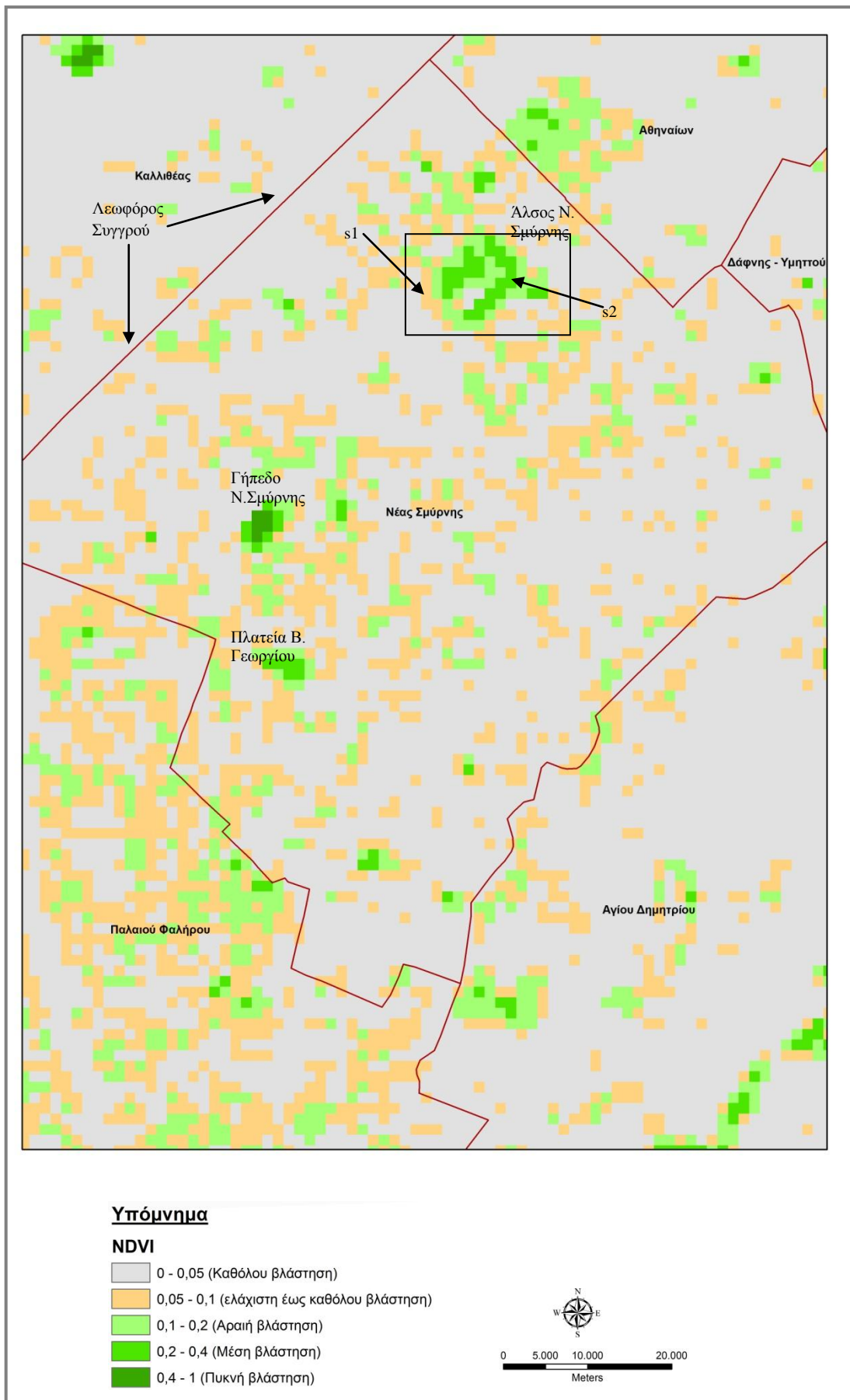
4.3 Νέα Σμύρνη

Η περιοχή της Νέας Σμύρνης είναι μια πυκνοδομημένη περιοχή της Αθήνας με μικρό δείκτη βλάστησης (Εικόνα 58). Ο μεγαλύτερος σε έκταση χώρος πρασίνου του δήμου, αποτελεί το Άλσος της Νέας Σμύρνης, το οποίο εξασφαλίζει βελτιωμένες θερμικές συνθήκες, στη γύρω περιοχή, με βάση τη θερμική εικόνα (Εικόνα 57). Όπως προκύπτει από την χωρική απεικόνιση της θερμοκρασίας (Εικόνα 57) το γήπεδο της Νέας Σμύρνης εμφανίζει κατά 2°C χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με την παρακείμενη δομημένη περιοχή (με θερμοκρασία που κυμαίνεται από 30,0-32,0°C). Η πλατεία Βασιλέως Γεωργίου επίσης εξασφαλίζει καλύτερες θερμικές συνθήκες στο ευρύτερο αστικό ιστό της περιοχής. Η σημασία του πράσινου και των ελεύθερων χώρων είναι εξαιρετικά μεγάλη σε πόλεις με υψηλή πυκνότητα δόμησης. Με τη δημιουργία ενεργών χώρων πράσινων, θα επέλθει μείωση της θερμοκρασίας και η γενικότερη αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος.

Στη λεωφόρο Συγγρού όπως παρατηρείται στην θερμική εικόνα (Εικόνα 57), η θερμοκρασία που κατέγραψε ο δορυφόρος, κυμαίνεται μεταξύ «30-32°C», δηλαδή υψηλότερη κατά δύο βαθμούς σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει τις δυσμενείς συνθήκες που επιφέρουν τα δομικά υλικά και συγκεκριμένα η άσφαλτος, λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας που παρουσιάζει, δεσμεύοντας μεγάλα ποσά της εισερχόμενης ακτινοβολίας την οποία επαναποδίδει με τη μορφή θερμότητας.



Εικόνα 57: Η διαβάθμιση της θερμοκρασίας, όπως διαμορφώθηκε από τις θερμικές τιμές του Landsat-5 TM για την περιοχή του Δήμου της Νέας Σμύρνης.



Εικόνα 58: Η απεικόνιση του δείκτη βλάστησης (NDVI) για την περιοχή του Δήμου Νέας Σμύρνης.

Στη θέση s1 (πυκνή δόμηση) η θερμοκρασία του σταθμού τη στιγμή της διέλευσης του δορυφόρου, διαμορφώθηκε στους 34,9°C, ενώ την ίδια στιγμή η θερμική εικόνα έδειξε ότι η θερμοκρασία κυμαίνεται από «30 έως 32°C» (Εικόνα 57). Από την ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη τιμή εμφανίστηκε στις 15:00LT και έφτασε έως 43°C (Εικόνα 59).

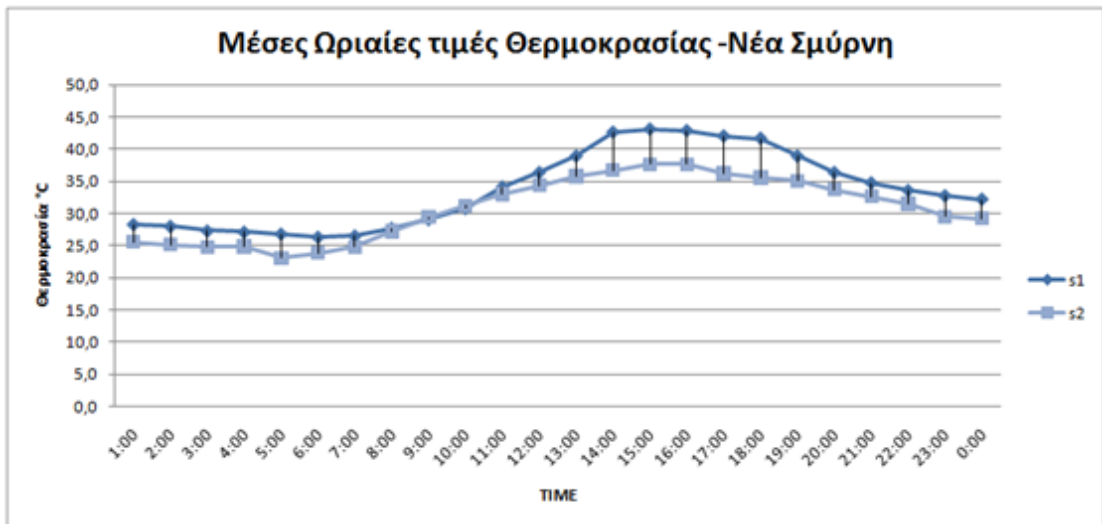
Αιτία της υψηλής θερμοκρασίας είναι τα δομικά υλικά, όπως το τσιμέντο, η άσφαλτος κ.α, δεσμεύουν μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία τους και η θερμοκρασία περιβάλλοντος γύρω από αυτά.

Την συγκεκριμένη ημέρα για τη θέση s1 ο δείκτης THI εμφάνισε τις κλάσεις «ζεστό» και «πολύ ζεστό». Η κλάση «ζεστό», επικρατούσε από τη 1:00LT μέχρι τις 11:00LT και από τις 21:00LT έως τις 00:00LT, οι τιμές των κλάσεων κυμάνθηκαν από 22,1-26,2 °C. Από τις 12:00LT και έπειτα μέχρι και τις 20:00LT επικράτησε η κλάση «πολύ ζεστό» με τιμές 26,6-29,4 °C (Εικόνα 60). Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανότητα στην επίδραση των δομικών υλικών, τα οποία, όπως αναφέρθηκε, αυξάνουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά τη νύχτα. (Kamoutsis et al, 2010; Kassomenos et al, 2006).

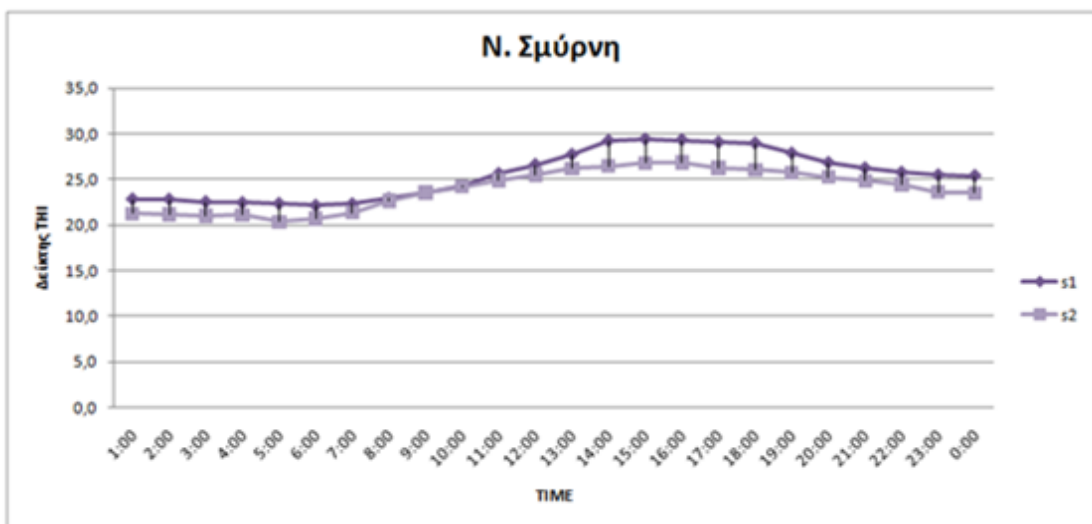
Στην περιοχή s2 (πυκνή βλάστηση, αρδευόμενη) η θερμοκρασία του σταθμού ήταν στους 33,2°C ενώ η θερμική εικόνα του δορυφόρου κατέγραφε στο εύρος «20-30°C». Η θερμική εικόνα μας δείχνει την θετική επιρροή του Άλσους της Νέας Σμύρνης, στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου της Νέας Σμύρνης, η οποία διακόπτεται από την Λεωφόρο Συγγρού, όπου η θερμοκρασία με βάση τη θερμική εικόνα, διαφοροποιείται και εμφανίζεται το εύρος από «32-34°C». Η μέγιστη θερμοκρασία με βάση τον σταθμό εμφανίστηκε στις 15:00LT και διαμορφώθηκε στους 37,7°C (Εικόνα 59).

Ο δείκτης THI για το σημείο s2 διακυμάνθηκε μεταξύ των κλάσεων «ζεστό» και «πολύ ζεστό». Η κλάση «πολύ ζεστό», παρουσιάστηκε 15:00-16:00LT, με τιμή 26,8°C όλες τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου η κλάση ήταν «ζεστό» με τιμές μεταξύ 21,0-26,4°C. (Εικόνα 60).

Δηλαδή η περιοχή με την υψηλή και πυκνή δόμηση είναι η πιο ζεστή. Γεγονός που αποδίδεται στην απορρόφηση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και το μεγάλο ύψος των κτιρίων σε σχέση με το πλάτος του δρόμου, που δεν επιτρέπει την καλή κυκλοφορία των αερίων ρευμάτων.

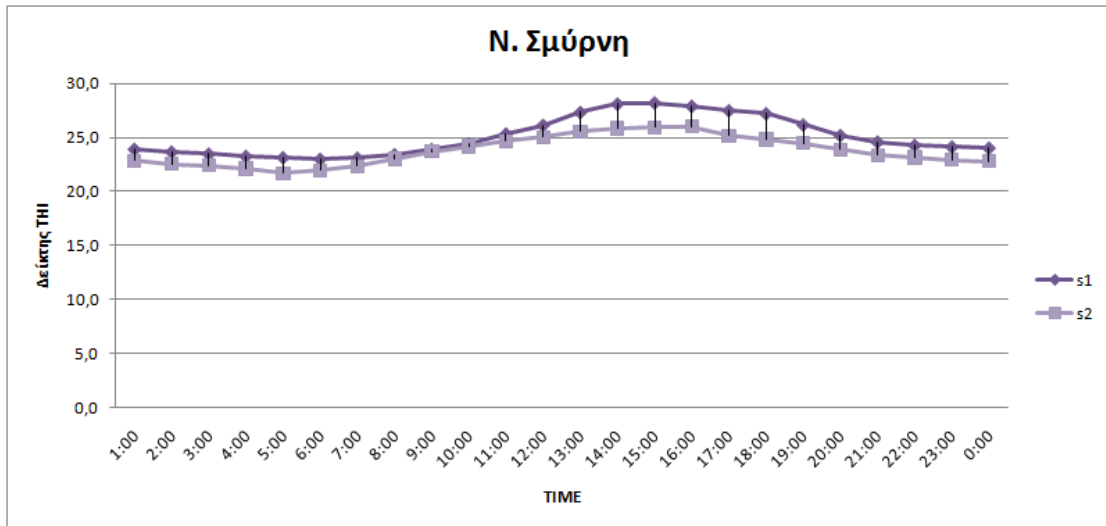


Εικόνα.59: Διάγραμμα μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για την περιοχή της Νέας Σμύρνης (s1,s2).



Εικόνα 60: Η μεταβολή του δείκτη (THI) καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου για την περιοχή της Νέας Σμύρνης (s1,s2).

Για τα σημεία της Νέας Σμύρνης s1 (πυκνή δόμηση), s2 (πυκνή βλάστηση), υπολογίστηκε ο δείκτης THI για την περίοδο από τις 18 έως 31 Ιουλίου. Τα αποτελέσματα σε ωριαία βάση, απεικονίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 61). Αναλυτικά, για το σημείο s1 οι κλάσεις που εμφανίστηκαν, είναι «ζεστό» και «πολύ ζεστό». Η κλάση «πολύ ζεστό» κυριαρχεί από τη 12:00LT έως τις 17:00LT με τιμές 27,2-28,2°C ενώ τις υπόλοιπες ώρες επικρατεί η κλάση «ζεστό» με τιμές 23,0-26,2°C. Στο σημείο s2 εμφανίζεται η κλάση «ζεστό», καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, με τιμές κλάσεων μεταξύ 21,7-26,0°C.



Εικόνα 61: Η πορεία του δείκτη THI, όλο το 24ωρο, από τις 18-31 Ιουλίου 2009, για τα σημεία s1 s2.

Στις θέσεις τις οποίες η παρουσία του φυτικού υλικού είναι έντονη παρατηρήθηκαν βελτιωμένες συνθήκες θερμικής αίσθησης. Αυτό οφείλεται στο ότι πέραν της προσφοράς του φυτικού υλικού ως παράγοντα μείωσης της θερμοκρασίας μέσω της εξατμισοδιαπνοής, σημαντική είναι η επίδραση της σκίασης λόγω της μείωσης εισερχόμενης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από την κόμη των δένδρων.

Συμπεράσματα- Προτάσεις

Η εικόνα του δείκτη βλάστησης έδωσε τη δυνατότητα εντοπισμού όλων των χώρων πρασίνου, στο λεκανοπέδιο της Αττικής και σε συνδυασμό με τη θερμική εικόνα που προήλθε από τον δορυφόρο Landsat-5 TM, εντοπίζονται θέσεις θερμικά επιβαρυνμένες.

Η χωρική απεικόνιση της θερμοκρασίας και του δείκτη βλάστησης έδειξε ότι οι φυτοκαλυμμένες περιοχές, εμφανίζουν καλύτερες θερμικές συνθήκες. Όσο πιο μεγάλες ή συνεχόμενες είναι αυτές, τόσο βελτιωμένες είναι οι θερμικές συνθήκες στην ευρύτερη δομημένη περιοχή.

Η χωρική κατανομή των θερμικών εικόνων έδειξε καλά αποτελέσματα, σε περιοχές ευρείας κλίμακας. Ωστόσο εμφανίστηκε η αδυναμία των δορυφορικών εικόνων να εντοπίζουν θερμομετρικές διαφοροποιήσεις σε θέσεις μικρής κλίμακας.

Στις θέσεις που μελετήθηκαν εμφανίστηκαν, τρεις κλάσεις του δείκτη THI, «άνετο», «ζεστό» και «πολύ ζεστό».

Στη δομημένη ζώνη επικρατεί η κλάση «Ζεστό» ενώ στην ορεινή, τη μεγαλύτερη σχετική συχνότητα εμφανίζει η κλάση «Άνετο».

Η κορυφή του πεντελικού όρους (p3) παρουσιάζει σταθερά χαμηλότερες τιμές δείκτη THI και θερμοκρασίας όλο το 24ωρο σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία.

Τις υψηλότερες τιμές του δείκτη THI παρουσίασαν οι περιοχές με πυκνή δόμηση, γεγονός που αποδίδεται στη φύση των δομικών υλικών. Πιο συγκεκριμένα τα δομικά υλικά έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και να το μετατρέπουν σε θερμότητα, ενώ το υπόλοιπο το ανακλούν. Όσο μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα παρουσιάζει ένα υλικό τόσο μεγαλύτερη είναι η αποθήκευση θερμότητας του κατά τη διάρκεια της ημέρας και ταυτόχρονα η θερμική του απόδοση τη νύκτα. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία δυσμενέστερων συνθηκών περιβάλλοντος.

Οι θερμότερες κλάσεις εμφανίζονται τις μεσημβρινές ώρες και ειδικότερα το χρονικό διάστημα 15:00-16:00LT, όπου μεγιστοποιείται η συχνότητα εμφάνισής τους. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι ο παρατηρητής δέχεται άμεσα την επίδραση των ηλιακών ακτινών λόγω του μεγαλύτερου ύψους του ηλίου τη χρονική αυτή στιγμή, με αποτέλεσμα

οι διαφορετικές διαμορφώσεις να μην επηρεάζουν ουσιαστικά τη θερμική αίσθηση του παρατηρητή.

Η τηλεανίχνευση σε σχέση με άλλες μεθόδους τεχνολογίας εξασφαλίζει την προκαταρκτική μελέτη περιοχών οι οποίες παρουσιάζουν δυσκολία στην πρόσβαση και όπου η τηλεπισκόπηση μπορεί και την δυνατότητα μια πρώτης πληροφόρησης για τον καλύτερο σχεδιασμό μιας βιοκλιματικής μελέτης.

Με την εισχώρηση της επιστήμης της τηλεπισκόπησης στην επιστήμη της βιοκλιματολογίας, το κόστος είναι χαμηλότερο, καθώς η πληροφόρηση για μεγάλες περιοχές αποκτάται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επίσης επιτρέπει τη μελέτη διαφόρων χωρικών χαρακτηριστικών, το συσχετισμό τους και την αποτύπωση ευρείας κλίμακας χαρακτηριστικών ή φαινομένων.

Για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι χρήσιμη η πολυετής μελέτη του θερμικού περιβάλλοντος με τις σύγχρονες μεθόδους της τηλεανίχνευσης που έχουν ως βάση την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων σε συνδυασμό με μετεωρολογικά δεδομένα σταθμών εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. ΞΕΝΗ

Ahmad S.A., (1992). "Some effects of urban parks on air temperature variations in Kuala – Malaysia". 2nd CUTEST'92 International Symposium. Fukuoka. Japan.

Ali-Toudert, F. and Mayer, H. (2007). Thermal comfort in an east–west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 87:223-237

Alvarez S., Sanchez F.J., Velazquez D. and Perez – Lombard L., (2001). "Use of vegetation and water to promote passive cooling". University of Seville. Spain.

AMS (American Meteorological Society), (1954). "Meteorological Monographs Recent studies in bioclimatology". AMS, Boston.

Avery T.E., Berlin G.L., (1992). *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation*. Macmillan p.c. and Maxwell c.g., USA.

Barradas, V. L. (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *International Journal of Biometeorology*, 35: 24-28

Berglund, L.G. and Stolwijk, J.A.J. (1978), The use of simulation models of human thermoregulation in assessing acceptability of complex dynamic thermal environments. In: J.A.J. Stolwijk (Ed.), *Energy Conservation Strategies in Buildings*, New Haven, CT: John B. Pierce Foundation Laboratory, pp. 157-191.

Besancenot, JP (1990). *Climate and tourism*. Paris, Masson édit. Collection géographie, Paris.

Bisanti L., Cadum E., Costa G, Michelozzi P., Perucci C. and Russo C., (2004). "2003 heat waves and mortality in Italy". *Epidemiology* 15:97.

Campbell B.J., (1996). *Introduction to Remote Sensing*, (2nd edition). Virginia Polytechnic Institute and State University, The Guilford Publications Press, New York, London.

Chavez, P.S., Jr. (1986). Digital Merging of Landsat TM and Digitized NHAP data for 1:24.000-scale image mapping. U.S. Geological Survey. *Photo-grammetric Engineering and Remote Sensing* 52:1637-46.

Conti S., Meli P., Menelli G, Solimini R, Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C and Perini L., (2005). "Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy". *Environmental research* v.98, pp. 390-399.

Drury, S.A., (1987). *Image interpretation in Geology*. Allen & Unwin Ltd London.

ESA/ESRIN, Eurimage, 1994. *Optical to ERS-1 SAR:A cross-over course at ESRIN*.

Fanger P, (1972) *Thermal comfort*, McGraw-Hill, New York

Givoni B., (1989). "Urban design for different climates. World Meteorological Organization". TD-No. 346.

- Gomez F., Gaja E. and Reig A., (1998), "Vegetation and climatic changes in a city". *Ecological Engineering* v.10, pp.355-360.
- Gupta **P.R.**, (1991). *Remote sensing in Geology*. Springer-Verlag, 356 p.
- Hammer N., (1985) Ein Energiebilanzmodell des Menschen. Die Energiebilanz in einem Schneebiwak *wetter und Leben* 37, 73-87
- Höppe P (1984) Die Energiebilanz des Menschen. *Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. Munchen* Nr. 49
- Horbert M. and Kirchgeorg A., (1982). "Climate and air hygienic aspects in the planning of inner-city open spaces: Berliner grosser tiergarten". *Energy and Buildings*. V.1, pp.255-75.
- Horbert M., Blume H.P., Elvers H. and Sukopp H., (1982). "In: *Ecological, ontributions to Urban Planning Blackwell*". Oxford, pp.255-275.
- Jedritzky G, Sonning W, Swantes H (1979) Ein objectives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung. *ARL Beiträge* Nr. 28
- Kamoutsis, A., Matsoukis, A., Charalampopoulos, I., and Chronopoulou-Sereli, A., (2007). Biometeorological conditions in mountainous communitie and adjacent urban center in Greece by the use of indices: the case study of mountainous Nafpaktia district. *Developments in Tourism Climatology – A. Matzarakis, C. R. de Freitas, D. Scott*. p144-149
- Kamoutsis, A., Matsoukis, A., Chronopoulos, K., Manoli, E., (2010). A comparative study of human thermal comfort conditions in two mountainous regions in greece during summer. *Global NEST Journal* 12:(4),401-408
- Kassomenos, P.A. and Katsoulis, B.D., (2006). Mesoscale and macroscale aspects of the morning Urban Heat Island around Athens, Greece. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 94, 209-218
- Jauregui E., (1990). "Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city". *Journal of Energy and Buildings*. V15-16. Pp. 457-463.
- Laskaris C., Vlachou A., Kourliouros E., Papagounos G., Chalaris G., Rokos D., Loukissas Ph., Louloudis L., Beopoulos N., Panagiotou A., Zalaoras N., Tsartas P., Panagopoulos C., (1993). *Environmental Crisis, Methodological and Specific Approaches*. Petra Programme, Greek Centre of Development Studies (ELKAM), p. 215-219.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. J. Willy & Sons, USA.
- Lyon, R.J.P., (1972). *An Intoduction to Atmospheric Radiation*. Academic Press, New York.
- Lyon, R.J.P., 1975. Reflectance and emittance of terrain in the mid-infrared (6-25 μm) region. In *Infrared and Raman Spectroscopy of Lunar and Terrestrail Minerals* (C. Karr, Jr., Ed.), pp.165-196. Academic Press, New York.

- Malm, J., Jonson, L., 1993. A study of the thermal bar in lake Ladoga using water surface temperature data from satellite images. *Remote Sens. Environ.* 44:35-46, Elsevier Science Publishing Co. Inc., 1993, New York.
- Mather M.P., (1987). *Computer processing of remote sensing and image interpretation.* J.Willy & Sons, Great Britain.
- Mather M.P., (1999). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images.* 2nd edition, J. Wiley & Sons, p. 292 , Great Britain.
- Matsoukis, A., Kamoutsis, A., Chronopoulos, K.I. (2009). Air temperature and thermal comfort conditions in mountainous and urban regions *Int. J. Sus. Dev. Plann.* Vol. 4, No. 4,357–363
- Matsoukis, A., Kamoutsis, A., Chronopoulos, K.I. and Fotos D.N. (2010). Role of burned and unburned pine (*Pinus halepensis* Mill) areas to air temperature and thermal comfort conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol.19, 6:1125-1131
- Matzarakis A (1995) Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Matzarakis, A. and Mayer, H. (1997). Heat stress in Greece. *International Journal of Biometeorology* 41:34–39
- Oke, T. R., (1981) "Canyon geometry and the nocturnal heat island. Comparison of scale model and field observations," *Journal of Climatology*, 1, 237-254.
- Parsons K (1993) *Human thermal environments.* Taylor & Francis, London
- Price, J. C. , (1983). Estimating surface temperatures from satellite thermal infrared data-a simple formulation for the atmospheric effect. *Remote Sens. Environ.*13:353-361.
- Reichert, P., (1989). *Digital image processing. Remote Sensing applications to water resources,* FAO, pp 75-100.
- Renaud, V. and Rebetez, M. (2009). Comparison between open-site and below canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer of 2003. *Agricultural and Forest Meteorology* Vol.149, 873-880
- Rudd, R.D., (1974). *Remote sensing, a better view,* Duxbury Press, North Scituate, Massachusetts, 1974.
- Sabins F.F., (1997). *Remote Sensing: Principles and Interpretation.* 3rd edition, W.H. Freeman and Company, p. 494, New York.
- Shashua-Bar L., and Hoffinan M.E., (2000). "Vegetation as a climate component in the design of an urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees". *Energy and Buildings* v.31, pp. 221-235.
- Spronken-Smith R.A, Oke T.R. (1998) The thermal regime of urban parks in two cities with different summertime climates. *International Journal of Remote Sensing* 19:2085-2104
- Stolwijk J.A.J, (1970) Mathematical model of thermoregulation, in physiological and behavioral temperature regulation, J.D. Hardy, A.P. Gagge, and J.A.J Stolwijk, ed Charles C Thomas, Springfield, Ill, pp. 703-721

- Swaid H., (1993). "Urban climate effects of artificial heat sources and ground shadowing by buildings". *International Journal of Climatology* v.13, pp. 797-812.
- Tonelli, M.A., 1989. *Thermal-Infrared Techniques in Water-Resources Studies. Remote sensing applications to land resources*. FAO, Rome, pp. 137-159.
- Taylor, S.E., 1979. Measured emissivity of soils in the southeast United States. *Remote Sens. Environ.* 8:359-364
- Terjung W.H. and O'Rourke P.A., (1981). "Relative influence of vegetation on urban energy budgets and surface temperatures" *Boundary-Layer Meteorol.* V21, pp.255-263.
- Townshend J.R.G., (1980). The spatial resolving power of the earth resources satellites: a review. NASA Technical Memorandum 82020, National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Toy, S., Yilmaz, S. and Yilmaz, H. (2007). Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. *Building and Environment*, 42, 1315-1318
- Tselepidaki, I.G., Asimakopoulos, D.N, Katsouyanni, K., Moustiris, C., Touloumi, G. and Pantazopoulou A. (1995). The use of a complex thermohygro-metric index in predicting adverse health effects in Athens. *International Journal of Biometeorology* 38:194-198
- Tucker C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8: 127-150.
- Unger, J. (1999). Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *International Journal of Biometeorology* 43:139-144
- United Kingdom, Air Ministry Meteorological Office (1962) *Weather in the Mediterranean*, vol 1. General meteorology. London, UK
- Upmanis H., Eliasson I. and Lindqvist S., (1998). "The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden)" *Int. J. Climatol.* v. 18, pp. 681-700.
- Wissler E.H, (1963) An analysis of factors affecting temperature levels in the nude human, in *temperature-Its measurement and control in science and industry*. Part 3, J.D. Hardy, ed. Reinhold, New York, pp. 603-612
- WMO (World Meteorological Organization), (1964). "Technical Note No 65, A survey of human biometeorology", Geneva, Switzerland.
- WMO (World Meteorological Organization), (2004). "TD No 1184, Guidelines on Biometeorology and air quality forecasts", Geneva, Switzerland.
- Yilmaz, S., Toy, S. and Yilmaz, H. (2007). Human Thermal comfort over three different land surfaces during summer in the city of Erzurum, Turkey. *Atmosfera* 20 (3):289-297

B. ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αστάρας Θ., (1994). Η συμβολή της σύγχρονης τηλεπισκόπησης στην περιοδική ανίχνευση-προστασία του περιβάλλοντος. Πρακτικά Β΄ Πανελληνίου Συμποσίου για την "Ηλιακή και διαστημική έρευνα στην Ελλάδα σήμερα- Βασική έρευνα, τεχνολογία και εφαρμογές". Δημοκρ. Παν/μιο Θράκης, Ξάνθη, 26-29 Απριλίου 1993 (35 σελίδες). Πρακτικά υπό έκδοση.

Γρηγοράκου- Μάρθα Λ., Θανασούλια Β., Λευκαδίτου-Παπαντωνίου Ρ., Μουρμούρη Α., Παπαϊωάννου Α. και Τούντα Φ., (1985). «Πολιτική για το πράσινο σε σχέση με τη ρύπανση και την ποιότητα του περιβάλλοντος στην Αθήνα» Τ.Ε.Ε., Αθήνα.

Ζαμπάκας Ι.Δ. (1981) Γενική Κλιματολογία. Αθήνα.

Μαντζαράκης Α., (1995). «Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδας» Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μερτζάνης Α., Σκοτίδου Α., Ευθυμίου Γ. και Ζακυνθινός Γ., (2004). Διαχρονική εξέλιξη της κατάστασης περιβάλλοντος (γεωλογία- γεωμορφές) και των χρήσεων γης, σε αργούντα λατομεία του Πεντελικού όρους (Αττική). Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. 36, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη

Μπαλαφούτης Χ., (2002). «Γενική Κλιματολογία και κλίμα Μεσογείου». Βόλος.

Μιγκίρος, Γ., Παυλόπουλος, Α., Παρχαρίδης, Ισ., 1995. Τηλεπισκόπηση. Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γ.Π.Α., Αθήνα.

Μπόλλας Α., (2011) Μεταπτυχιακή εργασία – Μελέτη των βιοκλιματικών συνθηκών του Άλσους Ν.Σμύρνης.

Παρχαρίδης, Ισ., 1994. Τεκτονική Ανάλυση της περιοχής Βόρειας Θεσσαλίας και Κεντρικής-Δυτικής Μακεδονίας με Χρήση Μεθόδων Τηλεπισκόπησης. Διδακτορική διατριβή. Υποβλήθηκε στο Γενικό Τμήμα του Γεωργικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ.244, Αθήνα

Πετρούλεα Β., (2010) Μεταπτυχιακή εργασία - Έρευνα συνθηκών θερμικής αίσθησης σε περιοχές του Βορειοανατολικού τμήματος του λεκανοπεδίου Αττικής.

Ρήγα Μ., Καμούτσης Α., Χαραλαμπίδης Ι., Χρονοπούλου-Σερέλη Α. και Ματσούκης Α., (2010). Εκτίμηση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου σε σχέση με τη διαμόρφωση και τον προσανατολισμό του περιβάλλοντος χώρου στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. 10^ο Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της ατμόσφαιρας, Πάτρα, σ353-360

Ρόκος, Δ., Φυτρολάκης, Ν., Στεφούλη, Μ., Σπυράκος, Ι., 1990. Διερεύνηση των δυνατοτήτων της ολοκληρωμένης ανάλυσης Τηλεσκοπικών απεικονίσεων Landsat στην προσέγγιση της σεισμοτεκτονικής έρευνας της Καλαμάτας. Ερευνητικό πρόγραμμα, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης Ε.Μ.Π. και Ο.Α.Σ.Π, Αθήνα, σελ. 186.

Φλόκας Α., (1990). «Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας». Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

Χρονοπούλου -Σερέλη Α. και Φλόκας Α., (2010). Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Ζήτη.

Χρονοπούλου Α. και Ουζιέλ, (1997). «Θέματα βιοκλιματολογίας». Αθήνα.

Χρονοπούλου-Σερέλη Α, Τσίρος Ι. και Ματσούκης Α. (2002). Χωρική κατανομή της θερμοκρασίας αέρος στην ευρύτερη περιοχή εγκατάστασης εργοστασίου μηχανικής ανακύκλωσης απορριμμάτων στα Άνω Λιόσια Αττικής. 6^ο Πανελλήνιο συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της ατμόσφαιρας, Ιωάννινα, σ539-543

Ψωμιάδης Εμμ., (1997). Υδρολογικές συνθήκες των παράκτιων λεκανών του Βόρειου Κορινθιακού κόλπου με έμφαση στην ανίχνευση της διαφυγής υπογείων υδάτων με χρήση τηλεανίχνευσης. Πτυχιακή μελέτη. Υποβλήθηκε στα Εργαστήρια Ορυκτολογίας-Γεωλογίας και Γεωργικής Υδραυλικής, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 211 .

Ψωμιάδης Εμμ., (2010). Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών. Διδακτορική διατριβή.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ:

(1): <http://www.wikipedia.org>,

(2): <http://www.arch.hku.hk>,

(3): <http://www.ecogreens.gr>

(4): www.google-earth.com

(5): (<http://mtpe.gsfc.nasa.gov/landsat/default.html>)