

# Χαρτογράφηση της αστικής θερμονησίδας και του δείκτη ποιότητας ζωής για την πόλη της Αθήνας με συνδυαστική χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής κλίμακας και δεδομένων GIS.

Μ. Σταθοπούλου και Κ. Καρτάλης

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ελλάδα*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται χωρική αποτύπωση της ημερήσιας και νυχτερινής επιφανειακής θερμονησίδας που αναπτύσσεται στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας καθώς και του δείκτη αστικής ποιότητας ζωής που παρουσιάζουν τα δημοτικά διαμερίσματα του λεκανοπεδίου Αθηνών. Για τις ανάγκες της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας και διανυσματικά δεδομένα GIS.

Όσο αφορά την θερμική νησίδα, ο προσδιορισμός της επιφανειακής θερμοκρασίας από τις δορυφορικές εικόνες, οδήγησε στην αναλυτική χαρτογράφηση του ημερήσιου και νυχτερινού θερμικού περιβάλλοντος της Αθήνας με χωρική κλίμακα της τάξεως των 100m, επιτρέποντας την ανίχνευση των θερμών και ψυχρών νησίδων θερμότητας της πόλης. Η θερμοκρασιακή συμπεριφορά της επιφάνειας εξετάστηκε μέσω της συσχέτισης των νησίδων αυτών με τους διάφορους τύπους εδαφοκάλυψης και χρήσεων της γης που εμφανίζονται στην πόλη της Αθήνας, πληροφορία που δόθηκε από τον θεματικό χάρτη Corine Land Cover για την Ελλάδα.

Για την ανάπτυξη του δείκτη αστικής ποιότητας ζωής, έγινε σε επίπεδο δήμων, ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών μεταβλητών που περιγράφουν το φυσικό περιβάλλον της Αθήνας και υπολογίζονται από δορυφορικές εικόνες Landsat (π.χ. ποσοστό αστικού πρασίνου, χωρική κατανομή επιφανειακής θερμοκρασίας, χωρική κατανομή αρνητικών χρήσεων γης, κλπ) με κοινωνικές και οικονομικές μεταβλητές που παρέχονται από τα εθνικά στατιστικά στοιχεία απογραφής σε διανυσματική μορφή (π.χ. ποσοστό ανεργίας, πληθυσμιακή πυκνότητα, επίπεδο μόρφωσης κλπ) σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS). Ο δείκτης αυτός επιτρέπει την παρακολούθηση των τάσεων της ποιότητας ζωής των κατοίκων των διαφόρων δημοτικών διαμερισμάτων μίας πόλης, καταδεικνύοντας εκείνα που απαιτούν την λήψη πρόσθετων μέτρων για αειφόρο ανάπτυξη και βελτίωση της ποιότητας ζωής.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας αποτελεί κυρίαρχο γνώρισμα του αστικού μικροκλίματος. Αναφέρεται στην χαρακτηριστική θέρμανση των αστικών κέντρων έναντι των μη-αστικοποιημένων περιοχών στην περιφέρεια της πόλης. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που παρουσιάζει σημαντική χωρική και χρονική μεταβολή στην διάρκεια ενός 24ώρου και αναφέρεται τόσο σε αύξηση της θερμοκρασίας της αστικής ατμόσφαιρας όσο και σε αύξηση της θερμοκρασίας των αστικών επιφανειών. Στην δεύτερη περίπτωση, το φαινόμενο ονομάζεται επιφανειακή αστική θερμονησίδα (Surface Urban Heat Island – SUHI) (Voogt and Oke, 2003).

Για τον υπολογισμό και την χαρτογράφηση της επιφανειακής θερμοκρασίας (Land Surface Temperature - LST) μίας αστικής περιοχής από το διάστημα, χρησιμοποιούνται θερμοκοί αισθητήρες οι οποίοι φέρονται από δορυφόρους και καταγράφουν την ακτινοβολία που ανιχνεύουν από την

γήινη επιφάνεια στην φασματική περιοχή του θερμικού υπέρυθρου. Οι δορυφορικές εικόνες LST μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χαρτογράφηση του επιφανειακού θερμικού περιβάλλοντος μιας πόλης, καθώς και για την εκτίμηση της έντασης της επιφανειακής αστικής θερμονησίδας που αναπτύσσεται σε αυτήν.

Η αντικατάσταση των φυσικών επιφανειών με τυπικές αστικές επιφάνειες που συνήθως συνθέτουν μία πόλη, έχει ως αποτέλεσμα ουσιαστικά την μεταβολή των ακτινοβολιών, των συνθηκών υγρασίας αλλά και των αεροδυναμικών και θερμικών ιδιοτήτων που επικρατούν σε μία αστική περιοχή (Oke and Maxwell, 1975). Στις πόλεις, το μεγαλύτερο ποσοστό της αστικής επιφάνειας καλύπτεται από κτίρια, δρόμους και πεζοδρόμια. Για την κατασκευή τους, συνήθως χρησιμοποιούνται δομικά υλικά που χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμοχωρητικότητα, χαμηλή ανακλαστικότητα και χαμηλή θερμική εκπομπή. Υπάρχει εκτεταμένη κάλυψη από μη-υδατοδιαπερατές επιφάνειες που σε συνδυασμό με την έλλειψη πρασίνου και την γεωμετρία των αστικών δρόμων συντελούν στην μείωση της εξάτμισης, στην αύξηση της απορροφημένης ηλιακής ακτινοβολίας στην διάρκεια της ημέρας και στην μείωση της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας στην διάρκεια της νύχτας. Αντίθετα, οι μη-αστικοποιημένες περιοχές στην περιφέρεια μίας πόλης εμφανίζουν τελείως διαφορετικές ιδιότητες, ανάλογα με το είδος των φυσικών επιφανειών από τις οποίες απαρτίζονται. Για παράδειγμα, οι υπαίθριες περιοχές με γυμνό ξηρό έδαφος χαρακτηρίζονται από χαμηλή θερμική αδράνεια, που σημαίνει ότι οι περιοχές αυτές εμφανίζουν μεγάλες μεταβολές στην επιφανειακή τους θερμοκρασία από ημέρα σε νύχτα: έτσι, θερμαίνονται γρήγορα κατά την διάρκεια της ημέρας και ψύχονται επίσης γρήγορα κατά την διάρκεια της νύχτας (Xue and Cracknell, 1995). Συμπερασματικά, η ανάπτυξη των επιφανειακών αστικών θερμονησίδων οφείλεται κύρια στον διαφορετικό ρυθμό θέρμανσης και ψύξης των αστικών και γειτονικών υπαίθριων επιφανειών.

Ειδικά σε πόλεις με θερμό κλίμα, το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας παρουσιάζει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας και νερού, στην ποιότητα της ατμόσφαιρας, στην δημόσια υγεία αλλά και στο αίσθημα θερμικής άνεσης των κατοίκων της πόλης. Έχει αποδειχθεί ότι, οι υψηλές θερμοκρασίες των πόλεων ενισχύουν την ένταση των επεισοδίων καύσωνα, προκαλώντας έντονο αίσθημα δυσφορίας ή ακόμα και θερμοπληξία σε ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού, ενώ επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην παραγωγή τροποσφαιρικού όζοντος με βλαβερές συνέπειες στην δημόσια υγεία. Τοπικές μελέτες για την Αθήνα που πραγματοποιήθηκαν με χρήση επίγειων μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα (Santamouris et al., 2001; Mihalakakou et al., 2002), έχουν δείξει ότι το κέντρο της πόλης, κατά την θερινή περίοδο, μπορεί να είναι έως και 10°C θερμότερο σε σύγκριση με τις δασικές περιοχές στην περιφέρεια της πόλης (π.χ. στον Ύμηττό) με αποτέλεσμα τον διπλασιασμό του κλιματιστικού φορτίου των κτιρίων και την μείωση της απόδοσης των κλιματιστικών συσκευών κατά περίπου 25%.

Οι δορυφορικές καταγραφές της επιφανειακής θερμοκρασίας LST έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς και σε άλλες εφαρμογές για το αστικό περιβάλλον όπως π.χ. σε μελέτες που αφορούν στην διαχείριση του αστικού χώρου (Quattrochi et al., 2000), στην παρακολούθηση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος (Nichol and Wong, 2005), στην εκτίμηση του αστικού περιβαλλοντικού κινδύνου (Dousset et al., 2007) αλλά και στην χαρτογράφηση της αστικής ποιότητας ζωής. Ο όρος «αστική ποιότητα ζωής» (Quality Of Life - QOL) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ευημερία των κατοίκων μίας πόλης, δηλαδή το πώς οι κάτοικοι αισθάνονται σε σχέση με το περιβάλλον και την κοινωνία που ζουν. Αποτελεί μία πολυδιάστατη και σύνθετη έννοια που είναι δύσκολο να οριστεί. Η συχνή αποτίμηση της ποιότητας ζωής ενός αστικού πληθυσμού είναι σημαντική, καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση της εξέλιξης και της προόδου της ποιότητας ζωής σε μία πόλη, ενώ παράλληλα μπορεί να υποστηρίξει την λήψη αποφάσεων από την πολιτεία για να επιτευχθεί αειφόρος διαχείριση και πολεοδομικός σχεδιασμός της πόλης.

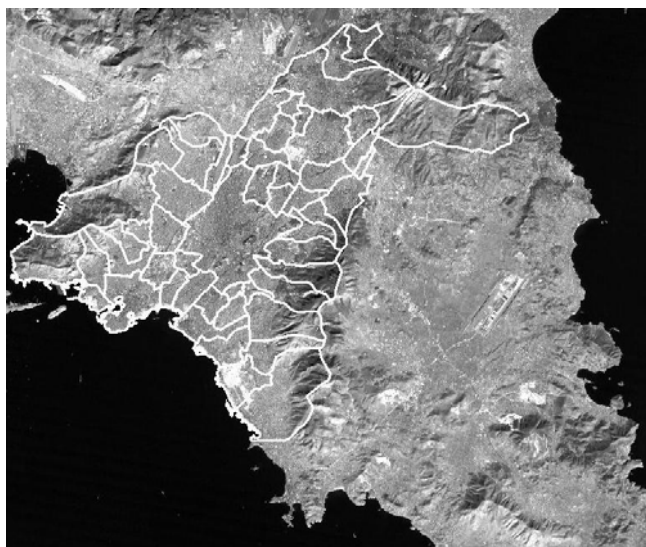
Για να καθοριστεί η ποιότητα ζωής σε μια πόλη, χρησιμοποιούνται διάφορες μεταβλητές που περιγράφουν τις πιο σημαντικές πτυχές στην καθημερινή ζωή ενός ανθρώπου, για παράδειγμα την εργασία, την εκπαίδευση, την στέγαση ή την κατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος. Γενικά,

υπάρχουν κάποιες ευρύτατα αποδεκτές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αστικής ποιότητας ζωής, οι οποίες συνήθως εντάσσονται σε τρεις κατηγορίες που περιγράφουν α) το φυσικό περιβάλλον (αστικό πράσινο, ποιότητα ατμόσφαιρας, εδαφοκάλυψη, χρήσεις της γης κλπ.) β) το κοινωνικό περιβάλλον (πληθυσμιακή πυκνότητα, εκπαίδευση κλπ.) και γ) το οικονομικό περιβάλλον (ανεργία, εισόδημα κλπ). Οι πρώτες έρευνες που διεξήχθησαν για την αστική ποιότητα ζωής περιορίζονταν σε μεταβλητές του κοινωνικο-οικονομικού περιβάλλοντος. Με την πάροδο των ετών, οι ερευνητές ενσωμάτωσαν στην μελέτη της αστικής ποιότητας ζωής το φυσικό περιβάλλον, καθώς επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα ζωής, έχοντας άμεσες ή/και έμμεσες επιπτώσεις στην σωματική και ψυχική υγεία ενός ατόμου αλλά και στην ενεργειακή κατανάλωση μιας πόλης.

Σκοπός της εργασίας είναι η χαρτογράφηση της επιφανειακής θερμοησίδας και της ποιότητας ζωής στην πόλη της Αθήνας με συνδυαστική χρήση δορυφορικών και διανυσματικών δεδομένων σε περιβάλλον GIS. Για την χαρτογράφηση της επιφανειακής θερμοησίδας, χρησιμοποιήθηκαν μία ημερήσια και μία νυχτερινή εικόνα LST της Αθήνας που έχουν καταγραφεί από τους δορυφορικούς αισθητήρες Landsat-TM και TERRA-ASTER, αντίστοιχα, με χωρική διακριτική ικανότητα της τάξεως των 100 m. Σε πρώτο στάδιο έγινε ανάλυση των εικόνων LST με σκοπό την ανίχνευση των θερμών και ψυχρών νησίδων θερμότητας της πόλης. Έπειτα, μέσω του διανυσματικού χάρτη Corine Land Cover για την Ελλάδα, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των νησίδων αυτών με τους διάφορους τύπους εδαφοκάλυψης και χρήσεων της γης που εμφανίζονται στην πόλη της Αθήνας για εκτίμηση της μέσης και μέγιστης έντασης της SUHI που εκδηλώνεται την ημέρα και την νύχτα. Για την χαρτογράφηση της ποιότητας ζωής στην πόλη της Αθήνας, χρησιμοποιήθηκε ένας αθροιστικός δείκτης ποιότητας ζωής που συνυπολογίζει τις συνιστώσες του φυσικού, κοινωνικού και οικονομικού περιβάλλοντος μίας πόλης, έχοντας ως βάση αναφοράς το μοντέλο Atlas of Canada quality of life model (<http://atlas.nrcan.gc.ca>). Το φυσικό περιβάλλον αποτυπώθηκε μέσω δορυφορικών εικόνων Landsat TM/ETM+, ενώ το κοινωνικο-οικονομικό περιβάλλον περιγράφηκε μέσω στοιχείων από τις εθνικές απογραφές του 1991 και 2001 της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας. Η ανάπτυξη του δείκτη πραγματοποιήθηκε με εισαγωγή και συνδυαστική χρήση των μεταβλητών του φυσικού περιβάλλοντος που εξάγονται σε πλεγματική μορφή (raster data) και των μεταβλητών του κοινωνικο-οικονομικού περιβάλλοντος που ορίζονται σε διανυσματική μορφή (vector data) σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ – GIS). Ο δείκτης αυτός εφαρμόστηκε για την αποτύπωση των αλλαγών στην ποιότητα ζωής στο πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών - Πειραιώς κατά την δεκαετία 1991 – 2001.

## 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα της Ελλάδας. Καταλαμβάνει έκταση 412.000 στρεμμάτων καλύπτοντας την κεντρική πεδιάδα της Αττικής, το λεκανοπέδιο, το οποίο περιβάλλεται από το όρος Αιγάλεω στα δυτικά, το όρος Πάρνηθα στα βόρεια, το όρος Πεντέλη στα βορειοανατολικά, το όρος Ύμηττός στα ανατολικά, ενώ στα νοτιοδυτικά βρέχεται από το Σαρωνικό κόλπο. Παρόλο που η Αθήνα είναι πολύ δύσκολο να επεκταθεί περαιτέρω λόγω των φυσικών συνόρων, τα προάστια της διαρκώς επεκτείνονται στα άκρα της πόλης. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη οικοδομική ανάπτυξη στα Μεσόγεια, κυρίως λόγω του αεροδρομίου Ελευθέριος Βενιζέλος. Το πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών – Πειραιώς καλύπτει το λεκανοπέδιο με πληθυσμό 3.130.841 κατοίκους, δηλ. περίπου 1/3 του ολικού πληθυσμού της Ελλάδας (απογραφή 2001). Αποτελείται από 55 δήμους, από τους οποίους 48 δήμοι υπάγονται στην Νομαρχία Αθηνών και 7 δήμοι υπάγονται στην Νομαρχία Πειραιώς (Εικόνα 1).



«Εικόνα 1. Αποψη ευρύτερης περιοχής Αθηνών από τον δορυφόρο Landsat, όπου φαίνονται και τα γεωγραφικά όρια των δημοτικών διαμερισμάτων του πολεοδομικού συγκροτήματος Αθηνών - Πειραιώς».

### 3. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΝΗΣΙΔΑΣ

#### 3.1 Δεδομένα

Προκειμένου να εξεταστεί το ημερήσιο και νυχτερινό χωρικό προφίλ της επιφανειακής θερμοκρασίας για την Αθήνα συναρτήσεως των διαφόρων τύπων κάλυψης και χρήσεων της γης που παρουσιάζει, χρησιμοποιήθηκαν οι θερμικές εικόνες TM και ASTER της 11ης και 12ης Οκτωβρίου του 2003 αντίστοιχα. Οι εικόνες αυτές αποτυπώνουν το επιφανειακό θερμικό περιβάλλον της πόλης με μόλις 12 ώρες διαφορά (Πίνακας 1). Το έτος 2003, έχει χαρακτηριστεί από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, ως ένα από τα έξι θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί έως και σήμερα, με τον Οκτώβριο του 2003 να συμπεριλαμβάνεται ανάμεσα στους δέκα θερμότερους μήνες Οκτωβρίου στο αρχείο των θερμοκρασιακών μετρήσεων του σταθμού. Οι δύο δορυφορικές εικόνες έχουν ληφθεί υπό ανέφελο ουρανό και αντιστοιχούν σε παρόμοιες αίθριες καιρικές συνθήκες.

Πίνακας 1. Δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση LST.

<i>Αισθητήρας - θερμικό κανάλι</i>	<i>Ημερομηνία λήψης</i>	<i>Ώρα λήψης (UTC)</i>	<i>Μήκος κύματος λ (μm)</i>	<i>Χωρική ανάλυση (m)</i>
ASTER-13	11/10/2003	20:32	10.66	90
TM-6	12/10/2003	08:43	11.46	120

Για την χαρτογράφηση των διαφόρων τύπων εδαφοκάλυψης και χρήσεων της γης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, χρησιμοποιήθηκε η γεωγραφική βάση Corine Land Cover 2000 (CLC00) για την Ελλάδα, η οποία αναπτύχθηκε από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (Ο.Κ.Χ.Ε.) στο πλαίσιο συμμετοχής του στο πρόγραμμα Corine του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος. Ο θεματικός χάρτης CLC00 περιγράφει την κάλυψη της γης (και εν μέρει τις χρήσεις γης) χρησιμοποιώντας ένα αναλυτικό σύστημα γεωταξινόμησης με 44 τάξεις σε χωρική κλίμακα 1:100 000. Ο χάρτης διατίθεται σε διανυσματική μορφή (vector data) από τον διαδικτυακό τόπο της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (EEA) στη διεύθυνση <http://dataservice.eea.europa.eu>.

### 3.2 Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας LST από τις δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιήθηκε ο γενικευμένος μονοκαναλιακός αλγόριθμος  $SC^{JM\&S}$  που αναπτύχθηκε από τους Jimenez-Munoz και Sobrino (2003). Τα στάδια επεξεργασίας των εικόνων περιλαμβάνουν: α) γεωμετρική διόρθωση, β) βαθμονόμηση για μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικόνων σε τιμές έντασης ακτινοβολίας και θερμοκρασίας λαμπρότητας (Chander and Markham, 2003; ERSDAC, 2001), ενώ ειδικά για τις ψηφιακές τιμές της εικόνας ASTER, έγινε επιπρόσθετα γραμμική διόρθωση των τιμών της έντασης ακτινοβολίας σύμφωνα με Topinka et al. (2003) και γ) υπολογισμός τιμών LST με εφαρμογή του αλγορίθμου  $SC^{JM\&S}$ . Για τον υπολογισμό των ατμοσφαιρικών συναρτήσεων στον αλγόριθμο  $SC^{JM\&S}$  χρησιμοποιήθηκαν: α) οι ημερήσιες τιμές του υετίσιμου νερού  $w$  για τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων από μετρήσεις ραδιοβολίσεων του μετεωρολογικού σταθμού στο Ελληνικό και β) η ενεργός τιμή του μήκους κύματος κάθε θερμικού καναλιού (Πίνακας 1). Καθώς από στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι, οι μέσες μηνιαίες τιμές του υετίσιμου νερού για την Αθήνα κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα ( $< 3 \text{ g/cm}^2$ ) για όλους τους μήνες του έτους (Chrysoulakis and Cartalis, 2002), η παράμετρος  $T_o$  στον αλγόριθμο  $SC^{JM\&S}$  προσεγγίστηκε από την θερμοκρασία λαμπρότητας. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε συντελεστής επιφανειακής θερμικής εκπομπής  $\varepsilon = 0.95$ , ο οποίος αντιπροσωπεύει την μέση θερμική εκπομπή των αστικών επιφανειών της Αθήνας (Stathoroulou et al., 2007). Οι Εικόνες 2α και 2β αποτυπώνουν το ημερήσιο και νυχτερινό χωρικό προφίλ της επιφανειακής θερμοκρασίας για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας στην κλίμακα των 100 m, όπως αυτό προέκυψε από την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων.

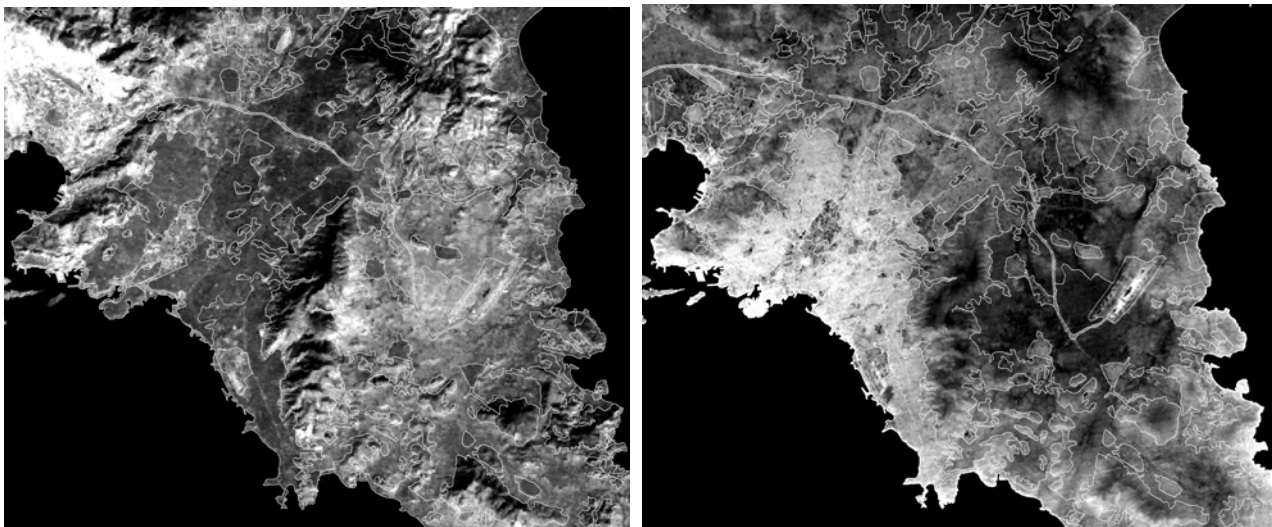
Στα διανυσματικά δεδομένα CLC00 αρχικά εφαρμόστηκαν κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας με σκοπό την επιλογή και αποκοπή της περιοχής ενδιαφέροντος αλλά και την γεωμετρική διόρθωση ως προς το προβολικό σύστημα αναφοράς των δορυφορικών εικόνων. Καθώς το ενδιαφέρον εστιάζεται στην εκτίμηση της έντασης SUHI που αναπτύσσεται μεταξύ των αστικών και υπαίθριων περιοχών της Αθήνας, πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση των 11 αρχικών αστικών τάξεων της γεωγραφικής βάσης CLC00 με ομαδοποίηση τάξεων βάσει κοινών χαρακτηριστικών π.χ. διαχωρισμός κατοικημένων και μη-κατοικημένων περιοχών. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός νέου θεματικού χάρτη για την Αθήνα που περιλαμβάνει τέσσερις αστικές τάξεις:

- οικιστική περιοχή με πυκνή δόμηση
- οικιστική περιοχή με μεσαία/αραία δόμηση (περιλαμβάνει τις αρχικές τάξεις CLC00: «μη-συνεχής αστικός ιστός», «αστικές περιοχές με πράσινο», «χώροι αθλητισμού και αναψυχής»)
- βιομηχανική/εμπορική περιοχή
- περιοχή αστικών χρήσεων (περιλαμβάνει τις αρχικές τάξεις CLC00: «μεταφορές», «ορυχεία/λατομεία», «χωματερές», «εργοτάξια»)

και δύο μη-αστικές τάξεις:

- αγροτική περιοχή
- δασική περιοχή

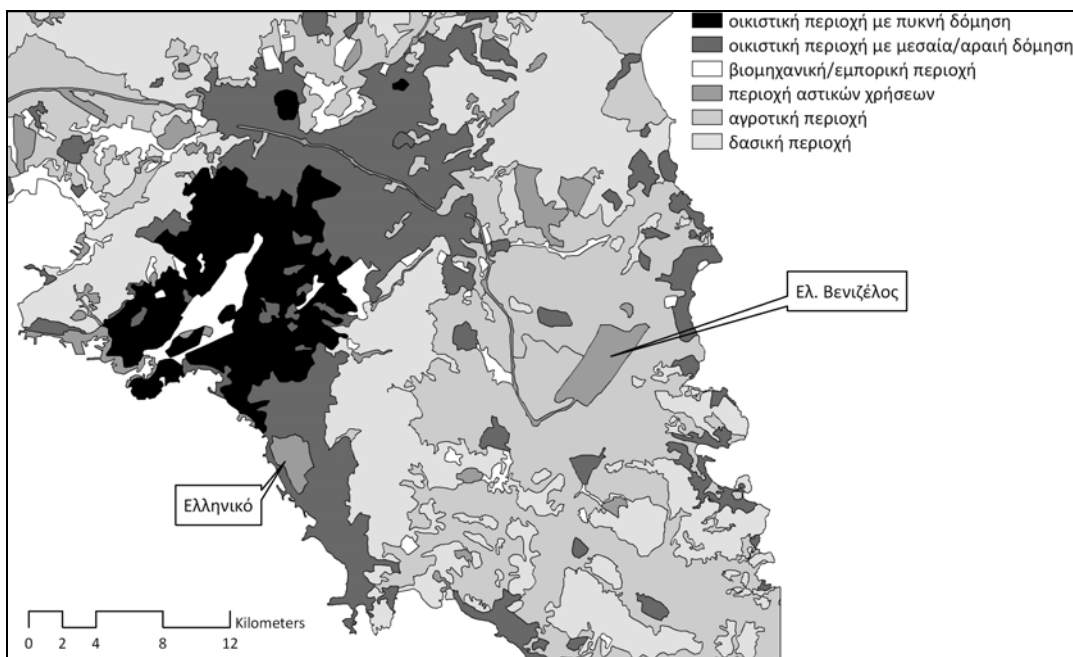
που μαζί συνθέτουν την περιβάλλουσα υπαίθρια περιοχή της Αθήνας. Στην Εικόνα 3 φαίνεται ο θεματικός χάρτης κάλυψης και χρήσεων της γης για την Αθήνα, όπως αυτός παράχθηκε από την γεωγραφική βάση CLC00. Με υπέρθεση του θεματικού χάρτη (διανυσματικής μορφής) στους χάρτες LST (πλεγματικής μορφής) που παράχθηκαν από τις δορυφορικές εικόνες και εφαρμογή της τεχνικής *zonal summary*, υπολογίστηκε η μέση επιφανειακή θερμοκρασία LST που εμφανίζει κάθε τάξη κάλυψης και χρήσης της γης κατά την ώρα λήψης των δορυφορικών εικόνων. Ορίζοντας ως μέση ένταση SUHI την διαφορά στην μέση LST μεταξύ αστικών τάξεων και υπαίθρου και ως μέγιστη ένταση SUHI την διαφορά της μέσης LST των αστικών τάξεων από την ελάχιστη LST της υπαίθρου, έγινε εκτίμηση της μέσης και μέγιστης έντασης SUHI που αναπτύσσεται στην Αθήνα την ημέρα και την νύχτα.



(α)

(β)

«Εικόνα 2. Αποτύπωση χωρικού προφίλ LST (α) τις πρώτες μεσημβρινές ώρες από την εικόνα TM και (β) την νύχτα από την εικόνα ASTER. Οι σκούρες προς τις ανοικτές αποχρώσεις του γκρι υποδηλώνουν ψυχρές προς θερμές επιφάνειες».



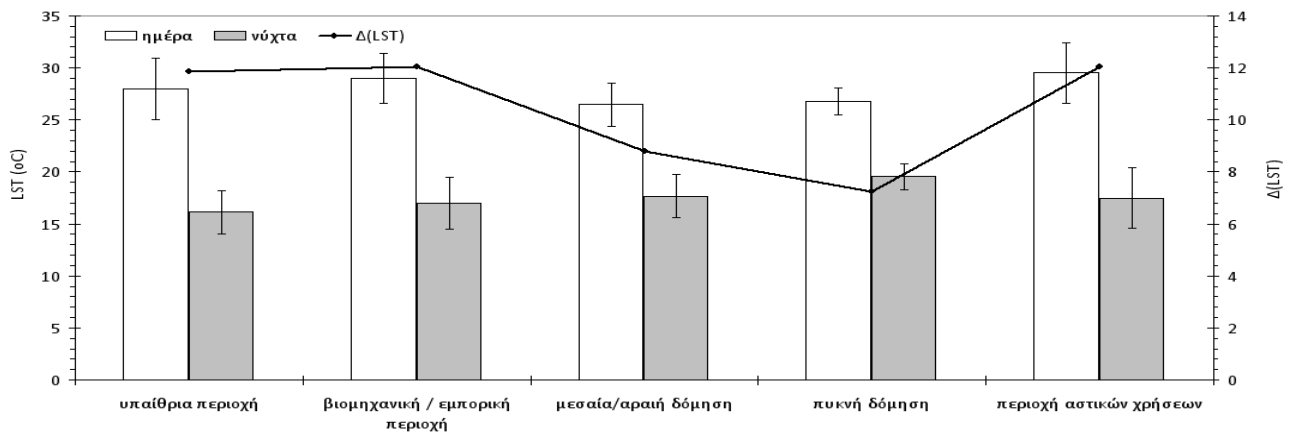
«Εικόνα 3. Θεματικός χάρτης κάλυψης και χρήσεων της γης για την ευρύτερη Αθήνα».

### 3.3 Αποτελέσματα

Το φαινόμενο της επιφανειακής αστικής θερμνησίδας αποτυπώνεται καθαρά στην νυχτερινή εικόνα ASTER (Εικόνα 2β), όπου οι αστικές επιφάνειες εμφανίζονται θερμότερες από τις περιαστικές και υπαίθριες επιφάνειες. Αντίθετα, η πρωινή εικόνα TM (Εικόνα 2α) δείχνει τις υπαίθριες επιφάνειες θερμότερες από τις αστικές επιφάνειες, δηλαδή αποτυπώνει μία επιφανειακή αστική ψυχρή νησίδα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα στατιστικά αποτελέσματα του Σχήματος 1. Έτσι, κατά τις πρώτες μεσημβρινές ώρες (11:43 π.μ. τοπική ώρα), οι επιφάνειες με πυκνή και μεσαία/αραιή δόμηση βρέθηκαν να είναι κατά περίπου 1.2°C και 1.5°C, αντίστοιχα, ψυχρότερες από τις επιφάνειες της υπαίθρου, ενώ οι επιφάνειες των βιομηχανικών/εμπορικών περιοχών και των περιοχών με

αστικές χρήσεις βρέθηκαν να είναι  $2.7^{\circ}\text{C}$  θερμότερες από τις επιφάνειες των οικιστικών περιοχών και  $1-1.5^{\circ}\text{C}$  (μέση τιμή) έως και  $8 - 9^{\circ}\text{C}$  (μέγιστη τιμή) θερμότερες από τις επιφάνειες της υπαίθρου.

Στην Εικόνα 2α είναι εμφανείς οι υψηλότερες τιμές LST που καταγράφονται στην περιοχή του Ελαιώνα, κοντά στο κέντρο της Αθήνας, σε σχέση με τις γύρω αστικές περιοχές. Η περιοχή αυτή μπορεί εύκολα να χαρακτηριστεί μία θερμή πηγή για την πόλη της Αθήνας στην διάρκεια της ημέρας. Αποτελείται από μεγάλες ελεύθερες επιφάνειες γυμνού ξηρού εδάφους, χαμηλά κτίρια κυρίως βιοτεχνίες, αμαξοστάσια και πολλές πρόχειρες κατασκευές. Οι γυμνές αυτές επιφάνειες στην διάρκεια της ημέρας δέχονται ανεμπόδιστα μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και καθώς χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές θερμοχωρητικότητας, θερμαίνονται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να αυξάνει πολύ η θερμοκρασία τους. Παράλληλα, λόγω έλλειψης πρασίνου, η θερμική ενέργεια των επιφανειών αυτών μετατρέπεται κυρίως σε αισθητή θερμότητα, που αυξάνει την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα που έρχεται σε επαφή με αυτές, παρά σε λανθάνουσα θερμότητα, δηλαδή θερμότητα που απορροφάται για την εξάτμιση του νερού, επιβαρύνοντας έτσι το αίσθημα της θερμικής άνεσης των πολιτών.



«Σχήμα 1. Μέσες τιμές LST και διαφορά LST από ημέρα σε νύχτα ανά τύπο κάλυψης της γης για την Αθήνα».

Παρόμοια θερμοκρασιακή κατάσταση επικρατεί και στην περιοχή του πρώην αεροδρομίου στο Ελληνικό. Εκεί παρατηρούνται υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες σε σχέση με τις γύρω κατοικημένες περιοχές, γεγονός που καταδεικνύει την περιοχή αυτή ως μία θερμή πηγή του αστικού πλέγματος της Αθήνας. Στην περιοχή του πρώην αεροδρομίου, καταγράφονται τιμές LST μεταξύ  $28$  και  $33^{\circ}\text{C}$ , ενώ οι γύρω κατοικημένες περιοχές εμφανίζουν τιμές LST μεταξύ  $24$  και  $27^{\circ}\text{C}$ . Συνεπώς, οι επιφάνειες του πρώην αεροδρομίου στο Ελληνικό εμφανίζονται, εκείνη την ώρα της ημέρας, έως και  $10^{\circ}\text{C}$  θερμότερες από τις γύρω αστικές επιφάνειες. Ο λόγος έγκειται στην εκτεταμένη κάλυψη του χώρου αυτού από ξηρό γυμνό έδαφος, το οποίο θερμαίνεται πολύ γρηγορότερα από τις αστικές επιφάνειες που λειτουργούν ως συσσωρευτές ηλιακής ακτινοβολίας λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας. Η αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του πρώην αεροδρομίου οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στην περιοχή αυτή, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση της θερμικής άνεσης, ακόμα και στις γύρω αστικές περιοχές που βρίσκονται στην διεύθυνση του επικρατούντος ανέμου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η θερμοκρασιακή εικόνα που εμφανίζει το γήπεδο του γκολφ της Γλυφάδας, λίγα μόλις μέτρα από τον χώρο του πρώην αεροδρομίου; η κάλυψη του εδάφους από γρασίδι συντελεί σε  $2$  έως και  $6^{\circ}\text{C}$  μικρότερες τιμές LST συγκριτικά με τις επιφάνειες του πρώην αεροδρομίου.

Ψυχρές πηγές του λεκανοπεδίου της Αθήνας αποτελούν οι χώροι πρασίνου, όπως π.χ. ο Εθνικός Κήπος και ο Λυκαβηττός. Αντίθετα, τα ΝΔ προάστια του λεκανοπεδίου εμφανίζουν επιφάνειες κατά μέσο όρο  $3^{\circ}\text{C}$  περίπου θερμότερες από εκείνες των ΒΑ προαστίων. Αυτό αποδίδεται τόσο στην δομή των περιοχών αυτών, όσο και στην τοπογραφία του λεκανοπεδίου σε συνδυασμό με την ώρα λήψης

της εικόνας TM. Συγκεκριμένα, τα ΝΔ προάστια χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πυκνότητα δόμησης και μικρότερο ποσοστό βλάστησης σε σχέση με τα ΒΑ προάστια. Η μεγάλη πυκνότητα δόμησης συνεπάγεται περισσότερα κτίρια, άρα μεγαλύτερη «μάζα» δομικών υλικών που απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνονται. Παράλληλα, η μεγάλη πυκνότητα δόμησης έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του συντελεστή οπτικού πεδίου του ουρανού (sky view factor) που οδηγεί στην παγίδευση της ηλιακής ακτινοβολίας ανάμεσα στα κτίρια, συντελώντας έτσι στην αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς στον γρηγορότερο ρυθμό θέρμανσης των επιφανειών αυτών σε σχέση με τις αστικές επιφάνειες των ΒΑ προαστίων. Η έλλειψη πράσινου, επίσης συμβάλλει σε μεγαλύτερες τιμές LST λόγω μη ύπαρξης σκίασης αλλά και φαινομένου εξατμισοδιαπνοής. Η τοπογραφία του λεκανοπεδίου της Αθήνας είναι τέτοια, ώστε επηρεάζει σε κάποιο βαθμό την χωρική κατανομή της επιφανειακής θερμοκρασίας στην πόλη, κατά τις πρώτες μεσημβρινές ώρες. Η ώρα λήψης της εικόνας TM, πάνω από την Αθήνα, κυμαίνεται μεταξύ 8:30 με 9:00 UTC (11:30-12:00πμ), όταν το ύψος του ηλίου είναι τέτοιο, ώστε το λεκανοπέδιο να σκιάζεται εν μέρει από τους ορεινούς όγκους στα ανατολικά (π.χ. Υμηττός).

Την νύχτα, το χωρικό προφίλ της επιφανειακής θερμοκρασίας στην Αθήνα αντιστρέφεται πλήρως αποτυπώνοντας μία έντονη επιφανειακή θερμονησίδα, με τις αστικές επιφάνειες να είναι ευκρινώς θερμότερες από τις υπαίθριες επιφάνειες στα περίχωρα του λεκανοπεδίου. Την νύχτα, απουσία ηλιακής ακτινοβολίας, ο ρυθμός ψύξης μιας επιφάνειας εξαρτάται αποκλειστικά από τα θερμικά χαρακτηριστικά της. Έτσι, τις νυχτερινές ώρες, οι επιφάνειες με πυκνή δόμηση εμφανίζονται να είναι 3.4°C θερμότερες από τις υπαίθριες επιφάνειες, λόγω υψηλότερης θερμικής εκπομπής που έχουν οι υπαίθριες επιφάνειες με βλάστηση έναντι των αστικών επιφανειών. Αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά οδηγεί στην ανάπτυξη μίας επιφανειακής θερμονησίδας με μέση τιμή έντασης 3.4°C που μπορεί να φτάσει έως και τους 7.2°C (μέγιστη τιμή). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2β, παρατηρείται μία διαφορά μεταξύ των τιμών LST των πυκνοκατοικημένων και αραιοκατοικημένων αστικών επιφανειών. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα, η διαφορά αυτή υπολογίζεται να είναι περίπου 1.87°C. Σε αντίθεση με την ημέρα, η περιοχή του πρώην αεροδρομίου στο Ελληνικό, εμφανίζεται ψυχρότερη από τις γύρω αστικές περιοχές, οι οποίες εκλύουν την θερμότητα που έχουν απορροφήσει στην διάρκεια της ημέρας με μικρότερο ρυθμό λόγω μεγαλύτερης θερμικής αδράνειας. Ιδιαίτερα η επιφάνεια γρασιδιού του γηπέδου γκολφ της Γλυφάδας, λίγα μόλις μέτρα έξω από τον χώρο του πρώην αεροδρομίου, εμφανίζει επιφανειακή θερμοκρασία 4 έως και 9°C μικρότερη από την επιφανειακή θερμοκρασία του πρώην αεροδρομίου.

Στην Εικόνα 2β παρατηρείται διάκριση των οδικών αξόνων της Αττικής Οδού στο Θριάσιο Πεδίο αλλά και στα Μεσόγεια, λόγω υψηλότερων τιμών LST σε σχέση με τις υπαίθριες επιφάνειες που διασχίζουν. Επίσης, διακρίνονται καθαρά οι υψηλότερες τιμές LST του διεθνή αερολιμένα Αθηνών Ελ. Βενιζέλος και των κοντινών σε αυτό προαστίων των Σπάτων, της Παιανίας, του Κορωπίου και του Μαρκόπουλου σε σχέση με τις ψυχρότερες φυσικές επιφάνειες στην πεδιάδα των Μεσογείων. Όλες αυτές οι περιπτώσεις, αποδεικνύουν την μεταβολή που υφίστανται το επιφανειακό θερμοκρασιακό περιβάλλον μιας περιοχής από την ανθρώπινη παρέμβαση με δράσεις αστικοποίησης για εξάπλωση της πόλης και την ανάγκη για σωστό χωροταξικό σχεδιασμό.

#### 4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΖΩΗΣ

##### 4.1 Δεδομένα

Για την χαρτογράφηση της ποιότητας ζωής στο πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών – Πειραιώς, χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά τα παρακάτω δεδομένα:

- Δορυφορικές εικόνες από τον αισθητήρα TM του δορυφόρου Landsat 5 και τον αισθητήρα ETM+ του δορυφόρου Landsat 7.



- Διανυσματικά δεδομένα κάλυψης και χρήσεις της γης από τη γεωγραφική βάση δεδομένων Corine Land Cover για τα έτη 1990 (CLC90) και 2000 (CLC00).
- Κοινωνικο-οικονομικά στοιχεία ανά δήμο της εθνικής απογραφής του 1991 και 2001 που συλλέχθηκαν από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος.
- Χάρτης σε διανυσματική μορφή (vector data) που αποτυπώνει τα γεωγραφικά όρια των δημοτικών διαμερισμάτων που βρίσκονται εντός του λεκανοπεδίου Αττικής.

Ο καθορισμός της ποιότητας ζωής έγινε μέσω της ανάπτυξης ενός δείκτη ποιότητας ζωής που συνδυάζει τις μεταβλητές του φυσικού περιβάλλοντος που εξάγονται από τις εικόνες Landsat TM/ETM+ και τη γεωγραφική βάση δεδομένων CLC με τις μεταβλητές του κοινωνικο-οικονομικού περιβάλλοντος που προκύπτουν από τις εθνικές απογραφές του 1991 και 2001. Οι μεταβλητές που περιγράφουν το φυσικό περιβάλλον είναι:

1. Η επιφανειακή θερμοκρασία. Η επιφανειακή θερμοκρασία LST αποτελεί μία κύρια μεταβλητή του φυσικού περιβάλλοντος μιας πόλης, καθώς συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο της επιφανειακής θερμονησίδας που επιφέρει σημαντικές αρνητικές συνέπειες στην δημόσια υγεία και στο επίπεδο θερμικής άνεσης των κατοίκων. Έτσι, οι υψηλές τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας ζωής σε μία πόλη. Η μεταβλητή αυτή υπολογίστηκε έπειτα από επεξεργασία δύο εικόνων Landsat που έχουν ληφθεί την ίδια εποχική περίοδο πάνω από την Αθήνα, το 1991 και 2001.

2. Το αστικό πράσινο. Η παρουσία χώρων πρασίνου σε μία πόλη παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, καθώς η βλάστηση προσφέρει σκιασμό από την ηλιακή ακτινοβολία και δροσισμό, βελτιώνει την ποιότητα του αέρα, μειώνει την ηχορύπανση και συντελεί θετικά στην αισθητική των εξωτερικών χώρων. Η μεταβλητή αυτή του φυσικού περιβάλλοντος ποσοτικοποιήθηκε μέσω του δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) που εξάγεται από δύο εικόνες Landsat που έχουν ληφθεί την ίδια εποχική περίοδο πάνω από την Αθήνα, το 1991 και 2001.

3. Ποσοστό αστικών χρήσεων. Οι αστικές χρήσεις αναφέρονται στις περιοχές του αστικού ιστού που συνδέονται με τις λειτουργίες της πόλης (π.χ. βιομηχανική ζώνη, εμπορική ζώνη, μεταφορές, χωματερές, εργοτάξια, ορυχεία/λατομεία). Οι χρήσεις αυτές θεωρούνται αρνητικές καθώς υποβαθμίζουν το φυσικό περιβάλλον. Συνεπώς, τα υψηλά ποσοστά κάλυψης ενός δήμου από αστικές χρήσεις συμβάλλουν αρνητικά στην ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η μεταβλητή αυτή υπολογίστηκε με την βοήθεια της γεωγραφικής βάσης Corine Land Cover για την Ελλάδα του 1990 και 2000.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν το κοινωνικο-οικονομικό περιβάλλον της Αθήνας σε επίπεδο δήμων το 1991 και 2001, περιλαμβάνουν:

1. Πυκνότητα πληθυσμού (κάτοικοι/km<sup>2</sup>) ανά δήμο. Η μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα γενικά επιφέρει αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, καθώς συνδέεται με περιορισμένους ελεύθερους χώρους, έλλειψη χώρων στάθμευσης, στέγαση σε πολυώροφα κτίρια και όχι μονοκατοικίες, αυξημένη χρήση μέσων μεταφοράς και αυξημένα επίπεδα θορύβου. Συνεπώς, η αύξηση της πυκνότητας πληθυσμού συμβάλλει αρνητικά στην ποιότητα ζωής.

2. Μορφωτικό επίπεδο ανά δήμο. Το μορφωτικό επίπεδο ορίστηκε ως το ποσοστό επί τοις εκατό των κατοίκων ενός δήμου που είναι απόφοιτοι ανώτατων και ανώτερων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων. Υψηλά ποσοστά μορφωτικού επιπέδου συμβάλλουν θετικά στην ποιότητα ζωής και το αντίθετο.

3. Ποσοστό ανεργίας ανά δήμο. Το ποσοστό ανεργίας για κάθε δήμο υπολογίστηκε βάσει του αριθμού των ανέργων προς τον οικονομικά ενεργό πληθυσμό κάθε δήμου. Η μεταβλητή αυτή σχετίζεται κατ' επέκταση με το εισόδημα των κατοίκων. Χαμηλό ποσοστό ανεργίας υποδηλώνει με έμμεσο τρόπο εισοδηματική σταθερότητα, βελτιωμένη κοινωνική κατάσταση, μειωμένη εγκληματικότητα κλπ. Έτσι, το χαμηλό ποσοστό ανεργίας συμβάλλει θετικά στην ποιότητα ζωής.

4. Ποσοστό εργοδοτών ανά δήμο. Οι εργοδότες ανήκουν σε υψηλή κλίμακα από άποψη εισοδημάτων συγκρινόμενοι με τον υπόλοιπο οικονομικά ενεργό πληθυσμό. Όπως είναι φυσικό

λοιπόν, άτομα με υψηλό εισόδημα και με ανώτερη επαγγελματική θέση θα διαμένουν κατά κύριο λόγο σε προνομιακές ή και πιο ακριβές περιοχές που παρουσιάζουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά (υψηλή αξία γης, αυξημένα ποσοστά πρασίνου, χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού κ.α.) που συνεπάγονται μία βελτιωμένη ποιότητα ζωής. Βάσει αυτής της παραδοχής, θεωρούμε ότι υψηλό ποσοστό διαμονής εργοδοτών σε κάποιο δήμο καταδεικνύει μία αυξημένη ποιότητα ζωής και το αντίστροφο.

5. Πυκνότητα νοικοκυριών ανά δήμο (νοικοκυριά/km<sup>2</sup>). Η μεταβλητή αυτή είναι μία κοινωνική μεταβλητή που παράλληλα υποδηλώνει και μία οικονομική κατάσταση. Η αυξημένη πυκνότητα νοικοκυριών ανά δήμο συμβάλλει αρνητικά στην ποιότητα ζωής.

#### 4.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας ζωής περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας:

1<sup>ο</sup> στάδιο: Γίνεται χαρακτηρισμός κάθε μεταβλητής σε θετική (+) ή αρνητική (-) ανάλογα με την επίδραση που έχει στην ποιότητα ζωής. Π.χ. το αστικό πράσινο χαρακτηρίζεται ως θετική μεταβλητή, ενώ το ποσοστό ανεργίας χαρακτηρίζεται ως αρνητική μεταβλητή.

2<sup>ο</sup> στάδιο: Πραγματοποιείται ταξινόμηση των ψηφιακών τιμών κάθε μεταβλητής σε 10 τάξεις εφαρμόζοντας την μέθοδο των ίσων διαστημάτων.

3<sup>ο</sup> στάδιο: Γίνεται βαθμολόγηση των τάξεων κάθε μεταβλητής βάσει χαρακτηρισμού αυτής. Για την βαθμολόγηση χρησιμοποιείται μία κλίμακα από 1 έως 10, με τον βαθμό 1 να αποδίδεται στην τάξη με τις χαμηλότερες (υψηλότερες) τιμές μιας θετικής (αρνητικής) μεταβλητής, ενώ με 10 να βαθμολογείται η τάξη με τις υψηλότερες (χαμηλότερες) τιμές μιας θετικής (αρνητικής) μεταβλητής. Για παράδειγμα, η τάξη με τις χαμηλότερες τιμές αστικού πρασίνου βαθμολογείται με 1, ενώ η τάξη με τις μικρότερες τιμές ποσοστού ανεργίας βαθμολογείται με 10.

4<sup>ο</sup> στάδιο: Πραγματοποιείται εισαγωγή όλων των βαθμολογημένων μεταβλητών σε περιβάλλον GIS, υπέρθεση αυτών και άθροιση των βαθμών που συγκεντρώνει κάθε δήμος. Με αυτόν τον τρόπο, έχει υπολογιστεί ο δείκτη ποιότητας ζωής (quality of life scores) ανά δημοτικό διαμέρισμα.

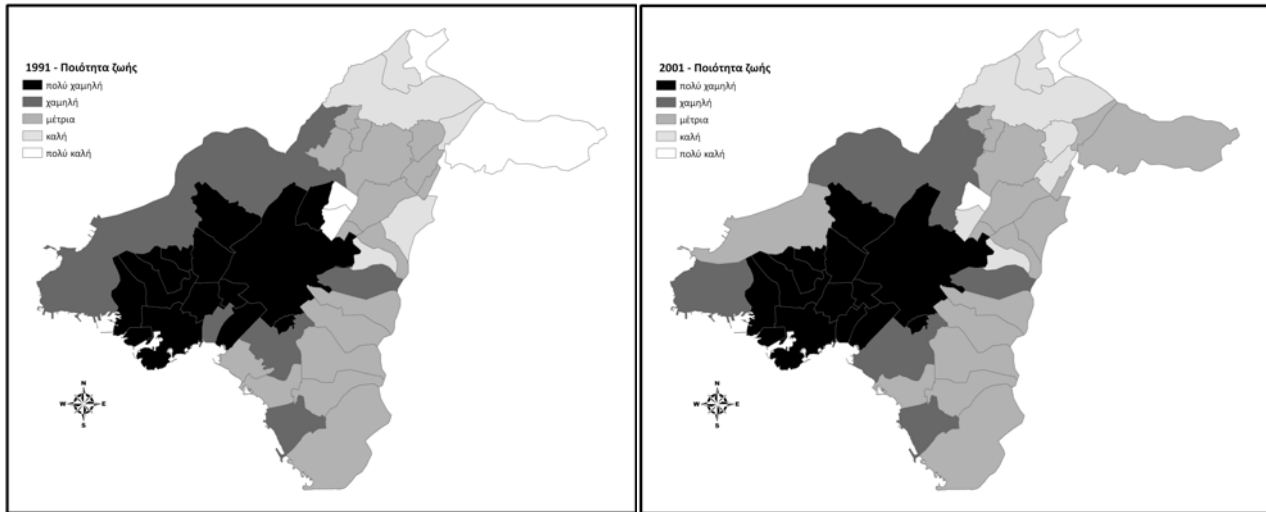
5<sup>ο</sup> στάδιο: Γίνεται ταξινόμηση των τιμών του δείκτη ποιότητας ζωής σε 5 τάξεις, οι οποίες χαρακτηρίζουν την ποιότητα ζωής ως πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, καλή και πολύ καλή.

Στις Εικόνες 4(α)-(β), αποτυπώνεται ο δείκτης ποιότητας ζωής σε επίπεδο δήμων για τα έτη 1991 και 2001, ενώ στην Εικόνα 5 βλέπουμε την αλλαγή στην ποιότητα ζωής που συντελέστηκε σε επίπεδο δήμων την δεκαετία 1991-2001.

#### 4.3 Αποτελέσματα

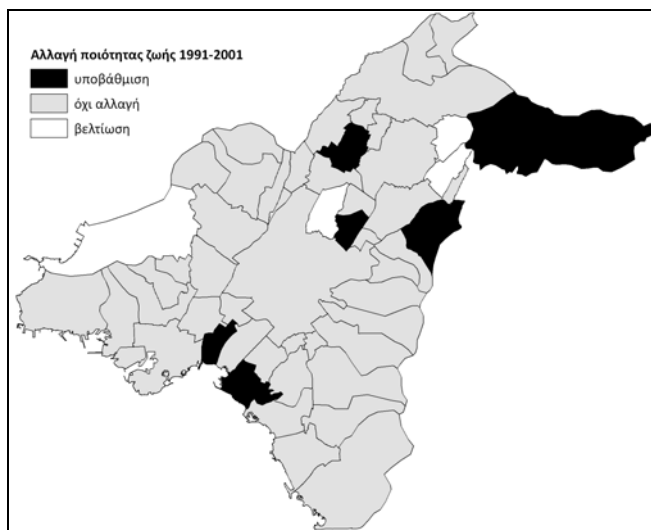
Μελετώντας τις Εικόνες 4(α) και (β), παρατηρούμε, για το 1991, πολύ καλή και καλή ποιότητα ζωής σε δήμους κυρίως των Β και ΒΑ προαστίων, με την Εκάλη να κατέχει την υψηλότερη τιμή του δείκτη σε σχέση με τους υπόλοιπους 54 δήμους. Κατά το 2001, ο χαρακτηρισμός της καλής ποιότητας ζωής επεκτείνεται και σε επιπλέον δήμους των Β και ΒΑ προαστίων (αντικαθιστώντας δήμους με πολύ καλή ποιότητα ζωής το 1991), καθώς επίσης και σε δήμους των Α και Ν προαστίων. Με μέτρια ποιότητα ζωής χαρακτηρίζονται κυρίως δήμοι των ΒΑ και ΝΑ προαστίων με μια μικρή αυξητική τάση το 2001. Οι δήμοι με χαμηλή ποιότητα ζωής δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές στην δεκαετία 1991-2001 και συγκεντρώνονται κυρίως στα Δ προάστια του λεκανοπεδίου. Παράλληλα, οι δήμοι που χαρακτηρίζονται με πολύ χαμηλή ποιότητα ζωής, είναι οι κεντρικοί δήμοι του λεκανοπεδίου και τα ΝΔ προάστια της Νομαρχίας Πειραιά, ως αποτέλεσμα αυξημένης πληθυσμιακής πυκνότητας και ποσοστού ανεργίας σε συνδυασμό με χαμηλά επίπεδα φυσικού περιβάλλοντος, μόρφωσης και ποσοστού εργοδοτών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι 6 από τους 7 δήμους της Νομαρχίας Πειραιά παρουσιάζουν επίπεδα δείκτη που αντιστοιχούν σε πολύ

χαμηλή ποιότητα ζωής. Τόσο το 1991 όσο και το 2001, οι πλειοψηφία των δήμων χαρακτηρίζεται από μέτρια και χαμηλή ποιότητα ζωής.



«Εικόνα 4. Αποτύπωση ποιότητας ζωής στο πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών-Πειραιώς για το (α) 1991 και (β) 2001».

Στην δεκαετία 1991-2001 (Εικόνα 5), το 80% των δήμων δεν εμφάνισαν κάποια αλλαγή στο επίπεδο ποιότητας ζωής που εμφανίζουν. Στο 12.7% των δήμων συντελέστηκε υποβάθμιση του επιπέδου ποιότητας ζωής, ενώ μόλις το 7.3% των δήμων βελτίωσαν το επίπεδο ποιότητα ζωής τους. Αν εξετάσουμε τους δήμους που παρουσίασαν αλλαγή είτε θετική είτε αρνητική στην ποιότητα ζωής μέσω του δείκτη που χρησιμοποιήθηκε, μπορούμε να έχουμε πληροφόρηση για τις μεταβλητές εκείνες που μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνες για μία αλλαγή στις τιμές του δείκτη. Π.χ. στον δήμο Πεντέλης, η ποιότητα ζωής άλλαξε από πολύ καλή το 1991 σε μέτρια το 2001, λόγω αύξησης του ποσοστού ανεργίας και υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος, εξαιτίας δύο μεγάλων πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν στην περιοχή το καλοκαίρι του 1995 και 1999 καταστρέφοντας μεγάλες δασικές εκτάσεις. Αντίθετα, στον δήμο Βριλησίων παρατηρήθηκε αναβάθμιση του επιπέδου ποιότητας ζωής το 2001 σε σχέση με το 1991 (από μέτρια σε καλή), που οφείλεται σε αύξηση του ποσοστού μόρφωσης, μείωση του ποσοστού ανεργίας και μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας.



«Εικόνα 5. Αποτύπωση αλλαγών στην ποιότητα ζωής κατά την δεκαετία 1991-2001».

Καταλήγοντας, τα αποτελέσματα δείχνουν την αποτελεσματικότητα του δείκτη να χαρτογραφήσει και να εκτιμήσει την ποιότητα ζωής σε μία πόλη, καθώς και να αναγνωρίσει τις μεταβλητές που μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνες για μία υποβάθμιση/βελτίωση ή αλλαγή στην ποιότητα ζωής. Η μέθοδος αυτή προσφέρει την δυνατότητα για παρακολούθηση της εξέλιξης και της προόδου σχετικά με την ποιότητα ζωής σε μία αστική περιοχή ενώ παράλληλα, επιδέχεται εύκολα βελτιώσεις με εισαγωγή περισσότερων μεταβλητών για έναν ακριβέστερο καθορισμό της ποιότητας ζωής π.χ. κατά κεφαλήν εισόδημα, πρόσβαση σε υπηρεσίες και εξυπηρέτηση πολιτών, αίσθημα ασφάλεια πολιτών, εγκληματικότητα κλπ. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται επίσης, η δυνατότητα συχνής ανανέωσης του δείκτη όσο αφορά στο φυσικό περιβάλλον μέσω χρήσης δορυφορικών εικόνων συχνής επαναληπτικότητας. Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η 10ετής ανανέωση των στοιχείων εθνικής απογραφής, καθώς και η διάθεση/πρόσβαση σε κοινωνικο-οικονομικά δεδομένα υψηλότερης χωρικής κλίμακας από το επίπεδο του δήμου.

## ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ / ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chander G., and Markham B.I. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, pp. 2674-2677.
- Chrysoulakis, N. and C. Cartalis, 2002: Improving the estimation of land surface temperature for the region of Greece: adjustment of a split window algorithm to account for the distribution of precipitable water. *International Journal of Remote Sensing*, **23**, 871-880.
- Dousset, B., Gourmelon, F., & Mauri, E. (2007). Application of satellite remote sensing for urban risk analysis: a case study of the 2003 extreme heat wave in Paris, *IEEE Conference Proceedings of the 2007 Urban Remote Sensing Joint Event*, Paris, France, 11-13 April 2007, pp.1-5.
- ERSDAC (2001). ASTER user's guide. Version 3, Earth Remote Sensing Data Analysis Center.
- Mihalakakou G., Flokas H., Santamouris M., and Helmis C., (2002) Application of neural networks to the simulation of the heat island over Athens, Greece, using synoptic types as a predictor, *Journal of Applied Meteorology*, vol 41: 519-527.
- Nichol, J., & Wong, M.S. (2005). Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape Urban Planning*, vol.73: 49-58.
- Oke, T. R., & Maxwell, G. B. (1975). Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment*, vol.9: 191-200.
- Quattrochi, D. A., Luvall, J. C., Rickman, D. L., Estes Jr., M. G., Laymon, C. A., & Howell, B. F. (2000). A decision support system for urban landscape management using thermal infrared data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.66: 1195-1207.
- Quality of Life Indicators Project. 2002. *Quality of Life in Canada - A Citizens' Report Card*. Ottawa: Canadian Policy Research Network.
- Santamouris, M., Papanicolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., and Assimakopoulos, D.N., (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy*, vol.70: 201-216.
- Stathopoulou, M, C. Cartalis and Petrakis, M, (2007). Integrating Corine Land Cover data and Landsat TM for surface emissivity definition: Application to the urban area of Athens, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, *International Journal of Remote Sensing*, vol 28, pp. 3291-3304.
- Tonooka, H., Sakuma, F., Kudoh, M. and Iwafune, K., (2003). ASTER/TIR onboard calibration status and user-based recalibration, *Proc. SPIE*, vol. 5234, pp. 191-201.
- Voogt, J.A., & Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, vol.86: 370-384.
- Xue, Y., & Cracknell, A. P. (1995). Operational bi-angle approach to retrieve the Earth surface albedo from AVHRR data in the visible band. *International Journal of Remote Sensing*, vol.16: 417-429.