

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

" ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΓΠ "



Πτυχιακή εργασία της Ανθοπούλου Φανής

ΠΤΥ
ΑΘ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2005.

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

" ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΓΠ "

Πτυχιακή εργασία της Ανθοπούλου Φανής

Ομάδα Τριμελούς Επιτροπής: Χ. ΧΑΛΚΙΑΣ (Επιβλέπων Καθηγητής)
Α. ΡΟΒΟΛΗΣ
Α. ΤΡΑΓΑΚΗ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2005.

ХАВОКОПЕО ПАВЕПЕЗТНМО

УАВЕРТЭД ПАВЕПЕЗТНМО
ПАВЕПЕЗТНМО

ПАВЕПЕЗТНМО

А. ПАВЕПЕЗТНМО
ПАВЕПЕЗТНМО 14111
ПАВЕПЕЗТНМО 10289
ПАВЕПЕЗТНМО 014 910

ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО
ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО

ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО

ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО
ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО
ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО ПАВЕПЕЗТНМО

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας Περιεχομένων	σελ. i
Πρόλογος	σελ. ii
Περιγραφή	σελ. iii
Διεύθυνση	σελ. iv
Εκδοτική	σελ. v

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

1.1 Τηλεπισκόπηση	σελ. 1
1.1.1 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης	σελ. 4
1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)	σελ. 5
1.2.1 Εφαρμογές ΣΓΠ	σελ. 7
1.3 Η σχέση μεταξύ Τηλεπισκόπησης και ΣΓΠ	σελ. 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DMSP

2.1 Γενική Περιγραφή	σελ. 10
2.1.1 Οι Δορυφόροι του DMSP	σελ. 11
2.2 Περιγραφή Δεδομένων DMSP OLS Operational LineScan System (OLSS)	σελ. 15
2.3 Εφαρμογές των δορυφορικών δεδομένων DMSP OLS	σελ. 17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

3.1 Το φαινόμενο της Φωτορύπανσης	σελ. 21
3.1.1 Τα αίτια της Φωτορύπανσης	σελ. 24
3.2 Φωτορύπανση: Ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα για την αστικότητα και την ανάπτυξη	σελ. 25
3.2.1 Προσπάθειες αντιμετώπισης των ΕΝΦ	σελ. 25
3.2.2 Η επίδραση της Φωτορύπανσης στο περιβάλλον	σελ. 28
3.2.3 Παρεμβάσεις στη Φωτορύπανση	σελ. 30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

4.1 Εισαγωγή	σελ. 32
Πηγή εξοφύλλου: http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Lights	σελ. 33

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας Περιεχομένων	σελ i
Πρόλογος	σελ iii
Περίληψη	σελ iv
Abstract	σελ v
Εισαγωγή	σελ vi

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

1.1 Τηλεπισκόπηση	σελ 1
1.1.1 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης.....	σελ 4
1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)	σελ 5
1.2.1 Εφαρμογές ΣΓΠ.....	σελ 7
1.3 Η σχέση μεταξύ Τηλεπισκόπησης και ΣΓΠ	σελ 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DMSP

2.1 Γενική Περιγραφή	σελ 10
2.1.1 Οι Αισθητήρες του DMSP.....	σελ 11
2.2 Περιγραφή Δεδομένων DMSP OLS Operational Linescan System (OLS)	σελ 15
2.3 Εφαρμογές των δορυφορικών δεδομένων DMSP OLS	σελ 17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

3.1 Το φαινόμενο της Φωτορύπανσης	σελ 21
3.1.1 Τα αίτια της Φωτορύπανσης	σελ 24
3.2 Φωτορύπανση: Ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα για την αστρονομία και την ανθρωπότητα	σελ 25
3.2.1 Προσπάθειες καταγραφής των ΕΝΦ.....	σελ 25
3.2.2 Η επίδραση της Φωτορύπανσης στο περιβάλλον	σελ 28
3.2.3 Περιορίζοντας τη Φωτορύπανση	σελ 30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

4.1 Εισαγωγή	σελ 32
4.2 Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα.....	σελ 33

4.3 Βασικά Στάδια Επεξεργασίας Εικόνας	σελ 34
4.3.1 Η φύση μιας ψηφιακής εικόνας	σελ 34
4.3.2 Γεωμετρική Διόρθωση	σελ 35
4.3.3 Ατμοσφαιρική Διόρθωση	σελ 36
4.4 Ορισμός της «Αντιπροσωπευτικής Εικόνας»	σελ 37
4.5 Καθαρισμός από νέφη και εφήμερες πηγές	σελ 37
4.6 Δημιουργία Αντιπροσωπευτικών Εικόνων	σελ 41
4.6.1 Δημιουργία «Αντιπροσωπευτικής Εικόνας» για τον Χειμώνα 2000-2001	σελ 41
4.6.2 Δημιουργία «Αντιπροσωπευτικής Εικόνας» για τον Χειμώνα 1995-1996	σελ 45
4.7 Μελέτη Διαχρονικής Εξέλιξης των ΕΝΦ	σελ 47
4.8 Επεξεργασία Αντιπροσωπευτικών Εικόνων - Διαδικασία Ποσοτικοποίησης της Πληροφορίας Φωτός	σελ 48
4.8.1 Παρουσίαση Διαχρονικών Μεταβολών ΕΝΦ	σελ 49
4.9 Μελέτη Εποχιακής Εξέλιξης των ΕΝΦ	σελ 51
4.10 Μελέτη ΕΝΦ ως προς τις Χρήσεις Γης	σελ 54
4.11 Συσχέτιση Δορυφορικών Δεδομένων ΕΝΦ με Κοινωνικό - Οικονομικές Μεταβλητές	σελ 58
4.11.1 Συσχέτιση και Συντελεστής Spearman	σελ 59
4.11.2 Αποτελέσματα Συσχέτισης	σελ 59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ 69
Παράρτημα Πινάκων και Χαρτών	σελ 73
Βιβλιογραφία	σελ 85

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τη φοιτήτρια Ανθοπούλου Φανή του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2003-2004, με θέμα: *"Αξιοποίηση Δορυφορικών Δεδομένων Νυκτερινού Φωτισμού σε Γεωγραφικές Εφαρμογές με χρήσεις ΣΓΠ"*.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον λέκτορα κ Χρίστο Χαλκιά και επιβλέπων της παρούσας διπλωματικής εργασίας για την υπομονή του, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και την άψογη συνεργασία μας. Ευχαριστώ επίσης, την κ. Α. Τραγάκη και τον κ. Α. Ροβολή, λέκτορες του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου και μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές τους καθ' όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, για την σημαντικότερη βοήθεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Πετράκη, διευθυντή του *Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης* καθώς και τους συνεργάτες του κ. Β. Ψυλόγλου και την κ. Μ. Λιάνου για την πολύ σημαντική και καθοριστικής σημασίας βοήθεια που μου παρείχαν μέσα από την εμπειρία τους από την συμμετοχή τους στο πρόγραμμα MANTLE, καθώς και για την παροχή χρήσιμου υλικού, απαραίτητο για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου και τέλος τους συμφοιτητές μου για την ψυχολογική συμπαράσταση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου μελέτης.

Ανθοπούλου Φανή
Αθήνα, Φεβρουάριος 2005.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εκπομπές νυκτερινού φωτισμού κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα αποτελούν την αιτία για μία νέα μορφή περιβαλλοντικής ρύπανσης. Στην παρούσα μελέτη, αναπτύσσονται τεχνικές επεξεργασίας και συσχέτισης δεδομένων νυκτερινών εκπομπών φωτός από τον δορυφόρο DMSP (Defense Meteorological Satellite Program/OLS: Operational Linescan System) με διάφορα δημογραφικά και κοινωνικό-οικονομικά μεγέθη, μέσα σε ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η δυνατότητα δημιουργίας δεικτών συσχέτισης των εκπομπών νυκτερινού φωτισμού με κοινωνικό-οικονομικά μεγέθη. Οι δείκτες αυτοί, είναι εξαιρετικά χρήσιμα εργαλεία για μελλοντικές εκτιμήσεις μεγεθών, σε ενδιάμεσες χρονικές περιόδους από τις επίσημες καταγραφές αυτών.

Η μελέτη αυτή, αποτελείται από τέσσερα επιμέρους κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, δίνεται μία συνοπτική περιγραφή των τεχνολογιών ΣΓΠ και Τηλεπισκόπησης καθώς και των εφαρμογών τους, στο δεύτερο, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του δορυφορικού συστήματος DMSP, οι εφαρμογές και η χρησιμότητα του, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζεται το φαινόμενο της εκπομπής νυκτερινού φωτισμού, τα αίτια αυτής καθώς και η επίδρασή της στο περιβάλλον. Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναπτύσσονται τεχνικές επεξεργασίας και συσχέτισης δεδομένων νυκτερινού φωτισμού με οικονομικά και πληθυσμιακά μεγέθη, εξετάζοντας τη διαχρονική και εποχιακή μεταβολή τους, ενώ στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται συζήτηση και παρουσιάζονται τελικά τα συμπεράσματα.

Η εργασία αυτή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι εκπομπές νυκτερινού φωτισμού στην Ελλάδα αυξάνονται σταδιακά τα τελευταία χρόνια καθώς επίσης εντοπίστηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των κοινωνικό-οικονομικών παραγόντων με τις εκπομπές νυκτερινού φωτισμού.

ABSTRACT

Night-time light emissions - mainly derived from big cities - are responsible for a new form of environmental pollution, the *night-time pollution*. In this study are introduced techniques about the process and cross-correlation of night-time light emissions which are obtained from the Defense Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System (DMSP/OLS) with various demographic and socio-economic sizes, developed in a completed *Geographical Information System (GIS)*. Particularly, in this paper we examine the existence of some indicators of cross-correlation of socio-economic sizes with night-time light emissions and also light pollution changes in Greece during 1995-2001. These indicators are useful tools for future estimates of sizes, in intermediary time periods from the official recordings of these.

This study is divided into five chapters. In the first chapter are introduced the technologies of GIS and Remote Sensing and also their potential applications. In the second chapter the characteristics and the supporting applications of the DMSP satellite system are reported whereas in the third chapter the phenomenon of night-time emissions, its causes and final its effect on the environment is discussed. In the fourth chapter are developed techniques for the process of the DMSP data and also the cross-correlation of these data with various socio-economic elements, examine at the same time the variation through the years and seasons. In the final chapter are presented the conclusions of this study.

This work led to the conclusion firstly that the night-time light emissions in Greece are increased gradually the last six years and secondly that night-time light emissions are highly correlated with many socio-economic variables.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι η αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων νυκτερινού φωτισμού σε γεωγραφικές εφαρμογές με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Η κατανομή του ανθρώπινου πληθυσμού στην επιφάνεια της Γης παραμένει, ακόμα και σήμερα, ανεπαρκώς προσδιορισμένη (Clarke and Rhind, 1992). Λόγω της ποικιλίας των χρονοδιαγραμμάτων, μεθόδων καταγραφής και ακρίβειας, δεδομένα απογραφής διαφορετικών χωρών δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν ώστε να σχηματιστεί μια ενιαία βάση δεδομένων στην οποία να παρουσιάζεται λεπτομερώς η χωρική κατανομή του ανθρώπινου πληθυσμού. Το 1969, ο Tobler υποστήριξε ότι ο ανθρώπινος πληθυσμός μπορεί να εκτιμηθεί με υψηλό βαθμό ακριβείας, μετρώντας την έκταση των ανθρωπίνων εγκαταστάσεων που παρατηρούνται σε δορυφορικές εικόνες, που προέρχονταν από το πρόγραμμα Gemini. Μία εναλλακτική πρόταση για την εκτίμηση της έκτασης των ανθρωπίνων εγκαταστάσεων, είναι η χρήση των δεδομένων καταγραφής νυκτερινού φωτισμού που δόθηκε από τους Elvidge, Bauch, Kins et. al. (1996). Αργότερα προτάθηκε από τον Sutton (Sutton, 2003) η εκτίμηση του πληθυσμού αστικών περιοχών αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα νυκτερινού φωτισμού.

Η περιοχή μελέτης είναι ο Ελληνικός Χώρος και η ανάλυση έγινε σε επίπεδο νομών (NUTS 3). Η χρονική περίοδο που αναφέρεται αυτή η μελέτη είναι από το 1995 έως και το 2001. Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία προέρχονται από το *Πρόγραμμα Αμυντικών Μετεωρολογικών Δορυφόρων* (Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System, DMSP-OLS) του Αμερικανικού Υπουργείου Αμύνης. Οι δορυφόροι DMSP-OLS, παρέχουν μία μοναδική ικανότητα ανίχνευσης χαμηλού επιπέδου ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της νύκτας, στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο (VNIR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ΗΜΦ). Για την παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν επίσης δεδομένα χρήσεων γης από το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα CORINE καθώς και κοινωνικό-οικονομικά δεδομένα από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΕΣΥΕ).

Η παρούσα εργασία απαρτίζεται από δύο κύριους στόχους. Ο πρώτος στόχος, αφορά στη μελέτη και ανάλυση του φαινομένου των *Εκπομπών Νυκτερινού Φωτισμού (ΕΝΦ)*. Πιο συγκεκριμένα, με χρήση δεδομένων για διαφορετικά έτη και περιόδους (χειμώνας, καλοκαίρι), μελετάται η διαχρονική και διαεποχιακή μεταβολή των ΕΝΦ στην ελληνική επικράτεια. Η εργασία αυτή, ως δεύτερο στόχο έχει την μελέτη-εξέταση ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ των ΕΝΦ (ως ένδειξη ανθρώπινης δραστηριότητας) και διάφορων κοινωνικό-οικονομικών μεγεθών. Μερικά από τα κοινωνικό-οικονομικά μεγέθη που εξετάζονται είναι οι *Χρήσεις Γης*, το *Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ)*, ο *Πληθυσμός* και η *Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος*. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η δυνατότητα εκτίμησης αυτών των παραμέτρων, έχοντας κανείς στη διάθεση του δορυφορικά δεδομένα καταγραφής ΕΝΦ. Με αυτή τη μέθοδο, μπορούν να εκτιμηθούν εύκολα και με μικρό κόστος, μεγέθη για τα οποία δεν δίνεται η δυνατότητα λεπτομερούς (είτε ετήσιας είτε εποχιακής) καταγραφής τους και μάλιστα για περιοχές που είναι δυσπρόσιτες και επικίνδυνες για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων.

Τα κεφάλαια που αποτελούν αυτή την εργασία είναι πέντε. Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών καθώς και των εφαρμογών τους στην σύγχρονη έρευνα.

Όσον αφορά στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα τεχνικά μέρη του DMSP, τα δεδομένα που παρέχει καθώς και οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται το φαινόμενο της φωτορύπανσης (*light pollution*) καθώς και η αρνητική επίδραση αυτού στο περιβάλλον. Είναι γνωστό ότι ο τεχνητός νυκτερινός φωτισμός τείνει να αυξάνει όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια λόγω της αύξησης των κοινωνικό-οικονομικών παραγόντων. Μερικοί από τους παράγοντες αυτούς είναι ο φωτισμός του οδικού δικτύου, η νυκτερινή κυκλοφορία των αυτοκινήτων, η ισχύς των πηγών φωτισμού και ο φωτισμός για λόγους ασφαλείας σε ιδιωτικούς και επαγγελματικούς χώρους καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας. Το γεγονός αυτό, αναδεικνύει σε αντικείμενο υψηλού ενδιαφέροντος τη δυνατότητα καταγραφής του νυκτερινού φωτισμού από δορυφορικά συστήματα όπως ο DMSP.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επιχειρείται η μελέτη ΕΝΦ στον ελληνικό χώρο αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα DMSP. Τα δεδομένα αυτά στην αρχική τους κατάσταση, περιείχαν

διάφορες μορφές θορύβου, όπως είναι ο παρασιτικός θόρυβος, οι καταγραφές κορεσμένων ψηφιακών τιμών, η νεφοκάλυψη, το σεληνιακό φως και άλλα εφήμερα φώτα στη γήινη επιφάνεια και για την περαιτέρω αξιοποίηση τους ήταν απαραίτητο να διορθωθούν και να καθαριστούν. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες τεχνικές απομάκρυνσης θορύβου που στην συγκεκριμένη περίπτωση ως θόρυβος θεωρούνται τα εφήμερα φώτα (όπως π.χ. πυρκαγιές) καθώς δεν συνδέονται με ανθρώπινες δραστηριότητες και συνεπώς αφαιρούνται. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων και την ποσοτικοποίηση της πληροφορίας από αυτά ακολουθεί η εποχιακή και διαχρονική εξέταση των ΕΝΦ. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου διερευνάται η σχέση μεταξύ των ΕΝΦ και των υπό εξέταση κοινωνικό-οικονομικών μεταβλητών.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής, δίνονται προτάσεις για μελλοντική επέκταση αυτής καθώς γίνεται και μία κριτική επισκόπηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε.

Τέλος, παρατίθενται πίνακες και χάρτες που παρήχθησαν από την επεξεργασία των δεδομένων και οι οποίοι βοηθούν στην περαιτέρω κατανόηση του κειμένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

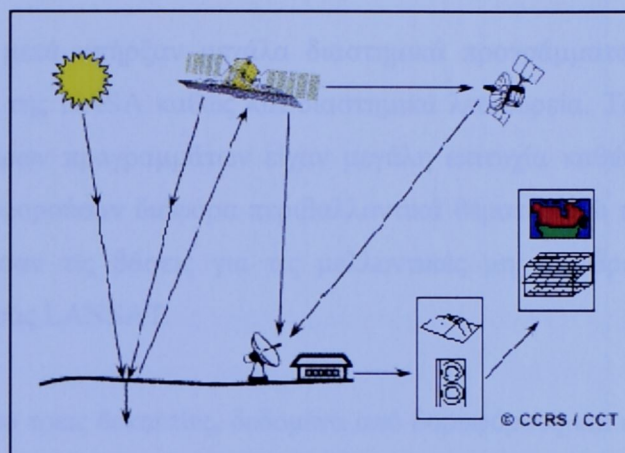
1.1 Τηλεπισκόπηση

Η λέξη Τηλεπισκόπηση συντίθεται από το επίρρημα ‘τήλε’ (= από μακριά) και το ρήμα ‘επισκοπεύω’ που σημαίνει επιθεωρώ - εξετάζω κάτι από μακριά. Επομένως, ο όρος **Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing, Teledetection, Telerilevamento)** σημαίνει αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Ορίζεται, ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε απευθείας επαφή με αυτόν (Μερτίκας, 1999). Έτσι, η Τηλεπισκόπηση, μπορεί να αποδοθεί και ως η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση (Avery & Berlin, 1992), ενώ παράλληλα υπάρχει και ο όρος *Τηλανίχνευση* (Μουτσούλας, 1992).

Ένας ακόμη ορισμός για την Τηλεπισκόπηση δίνεται από το καναδικό κέντρο *Canada Center of Remote Sensing (CCRC)*, σύμφωνα με τον οποίο "Τηλεπισκόπηση, είναι η επιστήμη, και κατά κάποιο τρόπο η τέχνη απόκτησης πληροφορίας για την επιφάνεια της γης χωρίς στην ουσία να υπάρχει επαφή με αυτή. Αυτό πραγματοποιείται με την ανίχνευση και καταγραφή ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ενέργειας, την επεξεργασία, ανάλυση και τέλος την ερμηνεία αυτής.

Ακόμη, η έννοια της Τηλεπισκόπησης, στον ευρύτερο ορισμό της, μπορεί να συμπεριλάβει και ακουστικά (ή ηχητικά) κύματα που παράγονται κάτω από την επιφάνεια του νερού τα οποία μπορεί να καταγράφονται από ειδικούς αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να συγκριθούν με το ανθρώπινο αυτί (Μιγκίρος, 2003).

Ο στόχος ή το αντικείμενο μελέτης της Τηλεπισκόπησης μπορεί να είναι είτε πολύ μεγάλο, όπως ολόκληρη η Γη, η Σελήνη και άλλοι πλανήτες, είτε πολύ μικρό, όπως για παράδειγμα τα βιολογικά κύτταρα που ερευνούνται με μικροσκόπια στην ιατρική και στη βιολογία (Μερτίκας, 1999).



Σχήμα 1: Η πηγή ενέργειας, η ατμόσφαιρα, η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και στόχου, η καταγραφή της ανακλώμενης ακτινοβολίας από τον αισθητήρα, μετάδοση και επεξεργασία, ερμηνεία, ανάλυση και εφαρμογές (Κέντρο Τηλεπισκόπησης Καναδά). Επεξεργασία δική μου.

Πηγή: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter1/chapter1_2_e.html

Τέλος, η Τηλεπισκόπηση παίζει έναν γενικότερο ρόλο στη συλλογή των στοιχείων εφ' όσον με την δυνατότητα συλλογής και "μη ορατών δεδομένων" που έχει, χρησιμοποιείται και για τη συλλογή θεματικού τύπου πληροφοριών, όπως π.χ. θερμοκρασία υδάτινων μαζών, θαμμένα μνημεία κλπ., γεγονός που την αναδεικνύει σε πολυδύναμο μέσο συλλογής δεδομένων παρατήρησης γεωμετρικού και θεματικού τύπου (Λιβιεράτος, 1985).

Οι πρώτες εικόνες της Γης και ουσιαστικά τα πρώτα βήματα στον τομέα της τηλεπισκοπικής παρατήρησης της, ελήφθησαν κατά την περίοδο 1946 – 1950 όταν η NASA (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος των ΗΠΑ) τοποθέτησε σε πυραύλους V-2 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 225 Km από τους πυραύλους VIKING 11 και 12 στους οποίους χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερες κάμερες (K-25) με υπέρυθρο φιλμ.

Οι πρώτοι τεχνητοί δορυφόροι που εκτοξεύθηκαν, (όπως ο Sputnik-1, που εκτοξεύθηκε από την ΕΣΣΔ το 1957), αν και δεν έδωσαν ικανοποιητικές εικόνες ενθάρρυναν τους επιστήμονες να θέσουν σε τροχιά 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 λεωφορεία. Τα αποτελέσματα των εικόνων των διαφόρων 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 μη 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 λαμβανομένων 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. Στον Πίνακα 1, παρουσιάζονται τα στοιχεία μερικών χαρακτηριστικών και ευρύτερα γνωστών σύγχρονων πλατφόρμων Τηλεπισκόπησης.

Πίνακας 1: Μερικές από τις Σύγχρονες Πλατφόρμες Τηλεπισκόπησης

		Type	Altitude	Inclination	Period	Repeat Cycle	Off-Nadir Revisit	Descending node crossing time	Field of Regard
High Resolution Optical/Infrared Remote Sensing Satellites	LANDSAT Orbit	Sun-Synchronous	705 km	98.2 deg	99 min	16 days			
	SPOT Orbit	Sun-Synchronous	832 km	98.7 deg	101 min	26 days	1 to 3 days		
	MOS Orbit	Sun-Synchronous	908 km		103 min	17 days			
	IRS-1C Orbit	Sun-Synchronous	817 km	98.69 deg	101 min	24 days			
Very High Resolution	IKONOS Orbit	Sun-Synchronous	681 km	98.1 deg	98 min		1.5 to 2.9 days at 40° latitude	10:30 am local solar time	
	Quickbird-2 Orbit	Sun-Synchronous	450 km	98 deg	93.4 min.		1 to 3.5 days		544 km swath
	SPOT 5 Orbit	Sun-Synchronous 10:30 am (local solar time) descending node crossing	832 km	98.7 deg	101 min	26 days	1 to 3 days		
Microwave Remote Sensing Satellites	ERS-1,2 Orbit	Sun-Synchronous	782 km	98.5 deg	100 min	35 days			
	RADARSAT Orbit	Sun-Synchronous	798 km	98.6 deg	100.7 min	24 days			

1.1.1 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης

Σήμερα, στοιχεία Τηλεπισκόπησης δεν χρησιμοποιούνται μόνο στην παρακολούθηση κλιματικών μεταβολών και στην ανακάλυψη φυσικών διαθεσίμων, αλλά επίσης στην καταγραφή της κτηματικής περιουσίας για τη φορολόγηση της, στο κτηματολόγιο, στην κατασκοπεία κλπ. Μερικές από τις χαρακτηριστικές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στις Γεωεπιστήμες είναι: *παρατήρηση ωκεανών* (μετρήσεις θερμοκρασίας στη θαλάσσια επιφάνεια, χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα), *Οικολογία, ανίχνευση ορυκτών πόρων* (γεωλογική χαρτογράφηση, ανίχνευση κοιτασμάτων, ανίχνευση υδρογονανθράκων), *τεκτονική πλακών, μελέτη βλάστησης*. Άλλες εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης σχετίζονται με τη *Μετεωρολογία, την Αρχαιολογία* κ.ά.

Η **NASA** (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυπηγικής και Διαστήματος - National Aeronautics and Space Administration), η **NOAA** (Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ - National Oceanic and Atmospheric Administration), η **ESA** (Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία - European Space Agency) και υπηρεσίες διαστήματος σε άλλες χώρες έχουν καταφέρει σημαντικά βήματα και θα συνεχίσουν τις προσπάθειες τους για την αύξηση των εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης. Έχουν αναπτυχθεί πολλά όργανα τα οποία είναι χρήσιμα στην ατμοσφαιρική χημεία (atmospheric chemistry) και τα οποία είναι ήδη σε τροχιά, όπως το φασματόμετρο TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), το φασματόμετρο MISR (Multi-Angle Imaging Spectrometer), το ραδιόμετρο SBUV (Solar Backscatter UV Radiometer), και άλλα τα οποία θα τεθούν στο μέλλον (όπως το φασματόμετρο TES (Tropospheric Emission Spectrometer), το όργανο OMI (Ozone Monitoring Instrument), το GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars) και άλλα ποικίλα περιβαλλοντικά δορυφορικά συστήματα που έχουν ως αντικείμενο τους την χημεία της ατμόσφαιρας. Επίσης, υπάρχουν άλλα περιβαλλοντικά δορυφορικά συστήματα όπως είναι το Εξελιγμένο Ραδιόμετρο Υπέρ-Υψηλής Ανάλυσης (Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR) και το ραδιόμετρο VIIRS (Visual/Infrared Imager Radiometer Suite) τα οποία παρέχουν πληροφορίες για την κατανόηση της ποιότητας του αέρα ιδιαίτερα σε περιοχές εκπομπής αερίων και δικτύων μεταφοράς. Η πιο γνωστή χαρτογραφική εφαρμογή της απεικόνισης AVHRR είναι η μηνιαία μεταβολή στην υγεία και την ανάπτυξη της γήινης βλάστησης (Robinson et. al., 1995).

Τέλος, οι κυριότεροι τομείς στους οποίους διαφαίνεται ουσιαστική ανάπτυξη των εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης, είναι τα νομικά θέματα, ο εντοπισμός, η γεωπληροφορική και η διαχείριση της γης (land management).

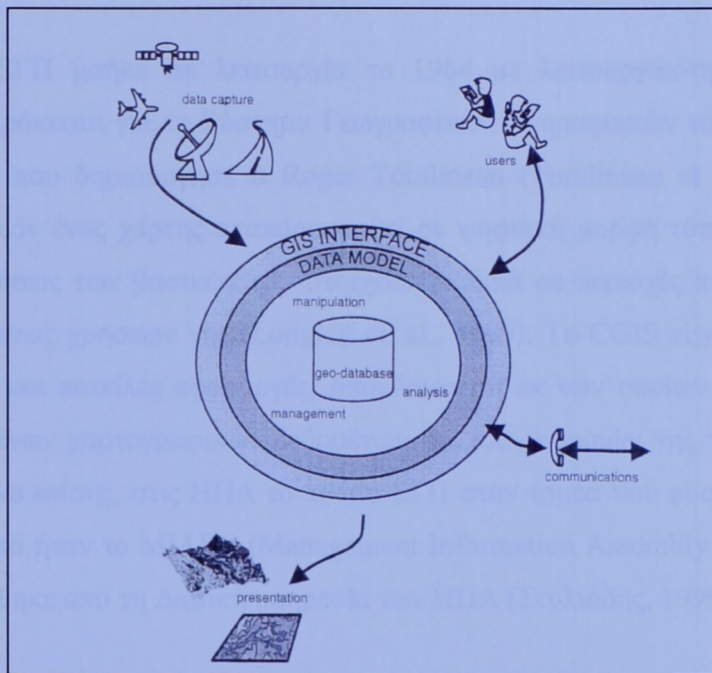
1.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Σύμφωνα με τον Longley, η τέχνη, η επιστήμη, η εφαρμοσμένη μηχανική και η τεχνολογία που απαντούν σε γεωγραφικά ερωτήματα καλούνται **Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)**. Είναι ένας σχετικός όρος, που αφορά στην χρήση υπολογιστών για τη δημιουργία και απεικόνιση ψηφιακών αναπαραστάσεων της γήινης επιφάνειας (Longley et. al., 1999).

Τα ΣΓΠ (ή Geographical Information Systems - GIS), μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν ως υπολογιστικά συστήματα σχεδιασμένα να υποστηρίζουν τη συλλογή, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση, μοντελοποίηση και απεικόνιση δεδομένων που αναφέρονται στο χώρο (Στεφανάκης, 2003) (Σχήμα 2). Διαχειρίζονται πληροφορίες με γεωγραφική υπόσταση, διάσταση και ενδιαφέρον. Η βάση δεδομένων ενός ΣΓΠ μπορεί να περιέχει εικόνες σε υπολογιστή, τυπωμένους χάρτες, στατιστικά δεδομένα ή οποιαδήποτε άλλη πληροφορία χρειάζεται σε μία μελέτη. Τα ΣΓΠ ορίζονται επίσης ως υπολογιστικά εργαλεία που έχουν σαν βασικό σκοπό την μετατροπή γεωγραφικών δεδομένων σε χρήσιμη πληροφορία (Longley et. al, 2001).

(Longley et. al, 2001)

Με την προδοχή ότι τα ΣΓΠ αποτελούν ένα σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, επεξεργασία και την παροχή πληροφορίας, μπορεί να προστεθεί ότι η χρήση τους αρχίζει να εξαπλώνεται κυρίως στα κράτη που έχουν οικονομική ανάπτυξη, καθώς και στα κράτη που διαθέτουν τις απαραίτητες τεχνολογικές δυνατότητες για να τους επιτρέψει να χρησιμοποιήσουν ΣΓΠ. Παράλληλα, οι ΣΓΠ έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται και από μικρά κράτη, καθώς και από άτομα. Παράλληλα, τα ΣΓΠ μπορούν να θεωρηθούν και μέρος του περιβάλλοντος για το GIS (Smy and Esaki, 1996 in CBAS Field Guide 2002).



Σχήμα 2: Σχηματική αναπαράσταση ενός ΣΓΠ

Πηγή: *GIS-A Computing Perspective*, M. F. Worboys (1995).

Παρόλο που ο όρος χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει λογισμικά πακέτα, ένα πραγματικό ΣΓΠ περιλαμβάνει έμπειρο προσωπικό, ένα πρόγραμμα εκπαίδευσης (βασικές οδηγίες διαχείρισης ψηφιακών δεδομένων σε έναν υπολογιστή), προϋπολογισμό, μάρκετινγκ, υλικό, δεδομένα και λογισμικό (Walker and Miller, 1990). Η τεχνολογία των ΣΓΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε σχεδόν επιστημονικό τομέα σχετιζόμενος με τη γεωγραφία, από αρχιτεκτονική τοπίου έως τη διαχείριση φυσικών πόρων και τη χάραξη του δικτύου μεταφορών (Erdas Field Guide, 2002). Τα ΣΓΠ είναι χρήσιμα εργαλεία που βοηθούν τους επιστήμονες αλλά και απλούς πολίτες να λύνουν γεωγραφικά προβλήματα (Longley et. al, 2001).

Με την αποδοχή ότι τα ΣΓΠ αποτελούν ένα σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, την επεξεργασία και την απόδοση στοιχείων, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η ιστορία τους αρχίζει να εξελίσσεται παράλληλα με την ιστορία των αντίστοιχων επιστημονικών περιοχών και ιδιαίτερα της Χαρτογραφίας. Σύμφωνα με αυτή τη λογική, μερικοί θεωρούν τους *άτλαντες θεματικών χαρτών* που πρωτοεμφανίστηκαν στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ως πρώτα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και στα οποία για πρώτη φορά εφαρμόστηκε η καταχώρηση της πληροφορίας σε επίπεδα (layers) (Στυλιάδης, 1999). Παρόλα αυτά, ΣΓΠ μπορούν να θεωρηθούν και χάρτες που χρονολογούνται στα 2500 π.Χ. (Star and Estes, 1990 in ERDAS Field Guide 2002).

Το πρώτο ΣΓΠ μπήκε σε λειτουργία το 1964 με λειτουργικότητα παρόμοια με τα σημερινά. Πρόκειται για το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών του Καναδά (Canadian GIS, CGIS) που δημιούργησε ο Roger Tomlinson (Tomlinson et al., 1976), ο οποίος πίστευε ότι εάν ένας χάρτης αναπαρασταθεί σε ψηφιακή μορφή τότε θα είναι εύκολο να γίνουν μετρήσεις των βασικών του στοιχείων, ειδικά σε περιοχές που καθορίζονται από ποικίλες κλάσεις χρήσεων γης (Longley et. al., 1999). Το CGIS είχε και εξακολουθεί να έχει πολλές και ποικίλες εφαρμογές, σπουδαιότερη εκ των οποίων είναι η αποθήκευση ψηφιοποιημένων χαρτογραφικών δεδομένων και πληροφοριών γης για όλο τον Καναδά. Το 1964 έγινε επίσης, στις ΗΠΑ το πρώτο ΣΓΠ στον τομέα των φυσικών διαθεσίμων. Το σύστημα αυτό ήταν το MIADS (Management Information Assembly and Display System) και αναπτύχθηκε από τη Δασική υπηρεσία των ΗΠΑ (Στυλιάδης, 1999).

Η εποχή των μοντέρνων ΣΓΠ ξεκίνησε την δεκαετία του 1970 όταν αναλυτές άρχισαν να χρησιμοποιούν υπολογιστές για να αυτοματοποιήσουν κάποιες διαδικασίες που γίνονταν με το χέρι. Εταιρίες Λογισμικού όπως οι ESRI, Integrgraph και MapInfo ανέπτυξαν λογισμικά πακέτα τα οποία μπορούν να εισάγουν, να απεικονίσουν και να επεξεργαστούν γεωγραφικά δεδομένα έτσι ώστε να δημιουργηθούν νέα επίπεδα πληροφορίας. Η σταθερή πρόοδος των χαρακτηριστικών και της ισχύος των υπολογιστών τα τελευταία χρόνια μαζί με τη μείωση του κόστους του υλικού έκαναν την τεχνολογία των ΣΓΠ προσβάσιμη από μεγάλο εύρος χρηστών (Longley et. al, 2001). Ο ρυθμός ανάπτυξης της βιομηχανίας των ΣΓΠ τα τελευταία χρόνια έχει ξεπεράσει ακόμη και τις πιο αισιόδοξες προοπτικές εξέλιξης.

Longley et al., 1999).

1.2.1 Εφαρμογές ΣΓΠ

Τα ΣΓΠ χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές διοικητικές και παραγωγικές δραστηριότητες, που μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: α) κοινωνικό - οικονομικές εφαρμογές (όπως π.χ. πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός, κτηματολόγιο), β) περιβαλλοντικές εφαρμογές και γ) εφαρμογές διαχείρισης (όπως π.χ. οργάνωση δικτύων ύδρευσης, μεταφορές, πλοήγηση πλοίων). Πιο αναλυτικά, μερικές διαδεδομένες εφαρμογές αφορούν: Γεωργία, Αρχαιολογία, Επιδημιολογία και Υγεία, Δασολογία, αντιμετώπιση επειγόντων περιστατικών (όπως πυρκαγιές), Marketing, Real Estate, Τουρισμό και άλλα.

Ο ρόλος των ΣΓΠ στις παραπάνω εφαρμογές είναι να προσφέρουν στους χρήστες και υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων ισχυρά εργαλεία για την επίλυση σύνθετων και όχι πλήρως δομημένων χωρικών προβλημάτων (Στεφανάκης, 2003).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης μπορούν να αποτελέσουν ιδανικές πηγές δεδομένων σε ένα ΣΓΠ. Σήμερα πλέον, τα συστήματα Τηλεπισκόπησης παρέχουν δεδομένα σε ψηφιακή μορφή, επομένως δεν είναι απαραίτητη η μετατροπή τους προκειμένου να ενταχθούν σε ένα ΣΓΠ. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις τα δεδομένα είναι χωρικά προσανατολισμένα οπότε μπορούν να συνδυαστούν άμεσα με υπάρχουσες πληροφορίες.

1.3 Η σχέση μεταξύ Τηλεπισκόπησης και ΣΓΠ

Τα τελευταία χρόνια, η σχέση μεταξύ των τεχνολογιών Τηλεπισκόπησης και ΣΓΠ αναφέρεται εκτενώς στη σύγχρονη βιβλιογραφία και παραμένει αντικείμενο συνεχών συζητήσεων (Hinton, 1996 και Wilkinson, 1996). Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των συζητήσεων περιλαμβάνει επιστημονικά και τεχνολογικά θέματα που αφορούν στην «ενοποίηση» των δύο αυτών τεχνολογιών (Ehlers et. al. 1989, 1991), έτσι ώστε εικόνες τηλεπισκόπησης να χρησιμοποιούνται και ως πηγή χωρικών δεδομένων στα ΣΓΠ αλλά και να αξιοποιείται η λειτουργικότητα ενός ΣΓΠ στην επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων (Longley et. al., 1999).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Wilkinson (1996), το κοινό σημείο επαφής μεταξύ της Τηλεπισκόπησης και των ΣΓΠ μπορεί να θεωρηθεί ένα από τα παρακάτω: α) η Τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη συλλογή συνόλου δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν μέσα σε ένα ΣΓΠ, β) ένα σύνολο δεδομένων ΣΓΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικουρικά για να βελτιωθούν τα προϊόντα που λαμβάνονται από την Τηλεπισκόπηση και τέλος γ) τηλεπισκοπικά δεδομένα και δεδομένα ΣΓΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί για σχεδιασμό και ανάλυση (Donnay et. al, 2001). Παρόλα αυτά, είναι πολύ σημαντικό να θυμόμαστε ότι Τηλεπισκόπηση και ΣΓΠ δεν είναι το ίδιο, αν και είναι πολύ στενά συνδεδεμένα το ένα με το άλλο.

9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DMSP

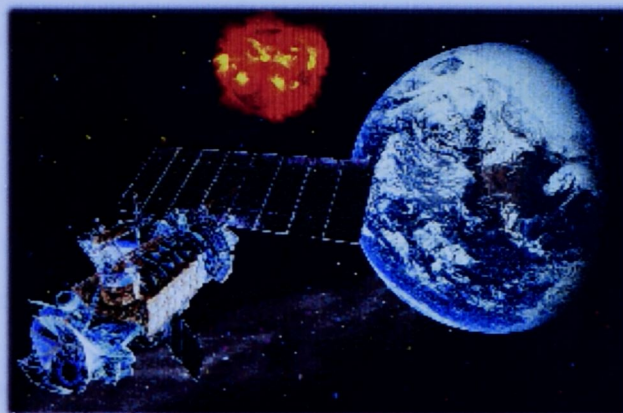
2.1 Γενική Περιγραφή

Το Πρόγραμμα Αμυντικών Μετεωρολογικών Δορυφόρων (*Defense Meteorological Satellites Program - DMSP*) δημιουργήθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '60 για την μελέτη του περιβάλλοντος της Γης. Είναι ένα πρόγραμμα του Αμερικανικού Υπουργείου Αμύνης και λειτουργεί υπό την ευθύνη της Αμερικανικής Αεροπορίας.

Οι δορυφόροι DMSP έχουν τεθεί σε ήλιο-σύγχρονη (sun-synchronous)¹, σχεδόν πολική τροχιά σε υψόμετρο 830 Km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Περιστρέφονται γύρω από τη Γη σε χρόνο 101 min (περίοδο τροχιάς), δηλαδή εκτελούν 14 περιστροφές την ημέρα οπότε και ολοκληρώνεται μία παγκόσμια κάλυψη, έχοντας σαν κύριο σκοπό την παρακολούθηση της κατανομής των νεφών και την εκτίμηση των καιρικών συνθηκών. Μέχρι σήμερα πάνω από 35 DMSP δορυφόροι έχουν εκτοξευθεί. Με τον καιρό, η χωρητική ικανότητα του δορυφόρου σε επιστημονικά όργανα έχει βελτιωθεί, οδηγώντας σε έξι διαφορετικούς τύπους. Οι δορυφόροι λειτουργούν σε ζευγάρια έτσι ώστε να παρέχουν καθημερινή κάλυψη ολόκληρης της Γης, με τις περιοχές στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη να καταγράφονται δύο φορές την ημέρα.

Το δορυφορικό πρόγραμμα DMSP παρέχει, μεταξύ άλλων, παρακολούθηση του καιρού για το στρατό. Οι πληροφορίες από τους δορυφόρους χρησιμοποιούνται για τη γενική πρόβλεψη καιρού καθώς και την έκδοση δελτίων έντονων καιρικών φαινομένων. Μία σημαντική στρατιωτική εφαρμογή είναι η χρήση των δεδομένων DMSP για την εξοικονόμηση χρόνου καταγραφής στους κατασκοπευτικούς δορυφόρους όταν ο στόχος καλύπτεται από νέφη.

¹ Ηλιοσύγχρονη, ονομάζεται η τροχιά όταν οι δορυφόροι καλύπτουν κάθε περιοχή της Γης σε μία σταθερή τοπική ώρα. Σε οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος και μήκος και για την ίδια εποχή, ο ήλιος θα έχει την ίδια θέση καθώς καλύπτεται από το δορυφόρο. Αυτό σημαίνει ότι ο φωτισμός παραμένει σταθερός και διευκολύνει τις συγκρίσεις διαχρονικά για την ίδια εποχή.



Εικόνα 1: Το Δορυφορικό Σύστημα DMSP
Πηγή: <http://dmsp.ngdc.noaa.gov/dmsp.html>

Ορισμένες πληροφορίες από το πρόγραμμα DMSP προσφέρονται από NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) για χρήση από τους πολίτες. Από το 1970 το *US Air Force Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)* λειτουργεί με δορυφορικούς αισθητήρες ικανούς να ανιχνεύουν στο, ορατό και κοντινό υπέρυθρο, VNIR (Visible and Near InfraRed), την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (HMA) από τις πόλεις και τις κωμοπόλεις.

Οι δορυφόροι DMSP, μεταξύ άλλων, διαθέτουν σύστημα δορυφορικής σάρωσης *Operational Linescan System (OLS)* που παρέχει τη δυνατότητα ανίχνευσης ασθενών πηγών εκπομπής φωτός στην επιφάνεια της γης, στο ορατό και το εγγύς υπέρυθρο (VNIR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την χαρτογράφηση των ΕΝΦ από ανθρωπογενείς δραστηριότητες σε αστικές περιοχές. Το σύστημα OLS του DMSP λαμβάνει παγκόσμιες λήψεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και της νύκτας σ' όλη τη γη.

2.1.1 Οι Αισθητήρες του DMSP

SSM/I - Microwave Imager

Ο αισθητήρας SSM/I είναι ένα παθητικό ραδιομετρικό σύστημα που μετράει τη θερμοκρασία των ατμοσφαιρικών, ωκεάνιων και εδαφικών μικροκυματικών εκπομπών σε τέσσερις συχνότητες (19.35, 22.235, 37.0 και 85.5 GHz). Επίσης διαθέτει επτά κανάλια και είναι γραμμικά πολωμένος.

SSMT/2 - Atmospheric Water Vapor Profiler

Ο αισθητήρας SSM/T-2 είναι ένα πεντακάναλο ραδιόμετρο ολικής μικροκυματικής ισχύος, με τρία κανάλια συμμετρικά τοποθετημένα γύρω από τη συχνότητα συντονισμού των υδρατμών (183.31 GHz), και δύο κανάλια παράθυρα (window channels). Το όργανο αυτό, χρησιμοποιήθηκε στους δορυφόρους DMSP Block 5D-2 ξεκινώντας από τον F11 που εκτοξεύθηκε το 1991.

SSJ/4 - Precipitating Electron and Ion Spectrometer

Τα δεδομένα του αισθητήρα SSJ/4 παρέχουν ένα πλήρες φάσμα των σωματιδίων χαμηλής ενέργειας που προκαλούν το Σέλας (aurora) και άλλα φαινόμενα των μεγάλων γεωγραφικών πλατών. Το σύνολο των δεδομένων αποτελείται από ροές ηλεκτρονίων και ιόντων μεταξύ 30 eV και 30 KeV που καταγράφονται κάθε δευτερόλεπτο.

SSM/T - Atmospheric Temperature Profiler

Ο αισθητήρας SSM/T είναι σχεδιασμένος να παρέχει θερμοκρασιακές μετρήσεις για περιοχές της ατμόσφαιρας που ήταν προηγούμενα μη προσβάσιμες και σε μεγαλύτερα υψόμετρα απ' ό,τι με τους αισθητήρες υπερύθρου όπως οι SSH και SSH2.

SSIES Ion Scintillation Monitor

Ο αισθητήρας SSI/ES είναι μία βελτιωμένη έκδοση του Ειδικού Αισθητήρα Ιόντων και Ηλεκτρονίων (SSI/E). Το όργανο SSI/E μετρά την περιβάλλουσα θερμοκρασία και ηλεκτρονιακή πυκνότητα, την περιβάλλουσα πυκνότητα ιόντων, την μέση θερμοκρασία των ιόντων και το μέσο μοριακό βάρος στο υψόμετρο της τροχιάς του δορυφόρου DMSP.

SSM Magnetometer

Ο αισθητήρας SSM μετράει τις γεωμαγνητικές διακυμάνσεις που σχετίζονται με γεωφυσικά φαινόμενα (όπως ρεύματα της ιονόσφαιρας που ρέουν σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη).

Operational Linescan System – OLS

Το σύστημα **OLS** αποτελείται από δύο τηλεσκόπια και ένα φωτοπολλαπλασιαστή (*Photo Multiplier tube, PMT*). Το τηλεσκόπιο ορατού είναι ευαίσθητο στην HMA από 0.40 – 1.10 μm και 10^{-3} – 10^{-5} Watts ανά cm^2 ανά στερεοακτίνιο. Το τηλεσκόπιο υπερύθρου είναι ευαίσθητο στην ακτινοβολία από 10.0 – 13.4 μm και 190 έως 310 Kelvins. Ο

φωτοπολλαπλασιαστής PMT είναι ευαίσθητος στην ακτινοβολία από $0.47 - 0.95 \mu\text{m}$ σε $10^{-5} - 10^{-9} \text{ Watts ανά cm}^2$ ανά στερεοακτίνιο. Οι ανιχνευτές κινούνται σε μια παλινδρομική κίνηση «μπρος-πίσω».

Πιο συγκεκριμένα, το OLS είναι ένα ραδιόμετρο σχεδιασμένο για την απεικόνιση των νεφών σε δύο φασματικά κανάλια, το ορατό και θερμικό, με εύρος πεδίου περίπου $3,000 \text{ km}$. Το σύστημα OLS τέθηκε σε εφαρμογή για πρώτη φορά σε DMSP δορυφόρους το 1976. Το ορατό κανάλι καλύπτει το τμήμα του VNIR του φάσματος του φωτός από $0.5 \mu\text{m}$ ως $0.9 \mu\text{m}$. Η ζώνη του ορατού φάσματος του OLS έχει ραδιομετρική διακριτική ικανότητα 6-bit, με ψηφιακές τιμές (*Digital Numbers, DN_s*²) να κυμαίνονται από το 0 έως το 63. Το ηλεκτρομαγνητικό σήμα στη ζώνη του ορατού (VIS band) ενισχύεται το βράδυ χρησιμοποιώντας τον φωτοπολλαπλασιαστή PMT, καθιστώντας έτσι δυνατή την ανίχνευση αμυδρών πηγών εκπομπής φωτός στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο. Το σύστημα PTM εφαρμόστηκε για την ανίχνευση των νεφών κατά τη διάρκεια της νύκτας. Μια προσδοκώμενη συνέπεια της ενδυνάμωσης του κοντράστ του φωτός τη νύχτα είναι η ανίχνευση των φώτων των πόλεων, των βιομηχανικών περιοχών, φυσικού αερίου (gas flares) καθώς και εφήμερων πηγών όπως πυρκαγιές (Elvidge, Hobson et. al. in Mesev, 2003).

Η θερμική ζώνη έχει ραδιομετρική διακριτική ικανότητα 8-bit, δηλαδή τα DN_s κυμαίνονται από 0-255 με μήκος κύματος από $10 \mu\text{m}$ έως $12 \mu\text{m}$. Το ευρύ πλάτος σάρωσης δίνει τη δυνατότητα παγκόσμιας κάλυψης τέσσερις φορές καθημερινά, την αυγή, την ημέρα, το σούρουπο και το βράδυ. Οι πλατφόρμες του DMSP σταθεροποιούνται χρησιμοποιώντας τέσσερα γυροσκόπια (τρεις άξονες σταθεροποίησης) και προσανατολίζονται χρησιμοποιώντας star mapper, αισθητήρα Γης (Earth limb sensor) και ανιχνευτή ηλίου. Το σύστημα του φωτοπολλαπλασιαστή ορατού (PMT) υλοποιήθηκε για να διευκολύνει την ανίχνευση των νεφών κατά τη διάρκεια της νύκτας χρησιμοποιώντας το φως του φεγγαριού. Με την απομάκρυνση του ηλιακού φωτός, η ενίσχυση του φωτός παράγει ένα σύνολο δεδομένων, όπου μπορούν να παρατηρηθούν τα φώτα των πόλεων, τα φώτα που προέρχονται από την καύση φυσικού αερίου (gas flares), οι πυρκαγιές και τα φωτισμένα από κεραυνούς σύννεφα (Elvidge, Hobson et. al. in Mesev, 2003).

² Στην πραγματικότητα, μία ψηφιακή εικόνα αποτελείται από ένα σύνολο ακέραιων αριθμών που αποκαλούνται συχνά ως Digital Numbers (Wolf P. R., 1974).

Τέλος, τα OLS δεδομένα ορατού καταγράφουν εκπομπές από τον ήλιο ή τη σελήνη που ανακλώνται στα σύννεφα ή σε άλλα χαρακτηριστικά, επίγειες πηγές φωτός, όπως είναι οι πυρκαγιές και οι πηγές, στο ανώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας όπως το Βόρειο Σέλας. Τα θερμικά δεδομένα OLS καταγράφουν θερμικές εκπομπές από την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα. Οι OLS εικόνες είναι τα πρώτα στοιχεία που εισάγονται στο πρόγραμμα ανάλυσης νεφών του AFWA (Air Force Weather Agency).

Η ενίσχυση ενός οπτικού οργάνου είναι ο πολλαπλασιασμός του εισερχόμενου σήματος, από το μπροστινό άκρο του τηλεσκοπίου ως την έξοδο των ψηφιακών τιμών. Ολόκληρο το σύστημα περιλαμβάνει και "ενισχύσεις" (gains) και "εξασθενήσεις" (losses), ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι συνολικά το σύστημα τελικά ενισχύει το αρχικό σήμα. Επίσης, η επίδραση της ηλιακής ενέργειας στις μετρήσεις του δορυφόρου δεν είναι αμελητέα. Η άποψη αυτή διορθώνεται αν δεχθούμε ότι η φυσική φωτεινότητα του ουρανού εξαρτάται από την φάση του ηλίου με έναν απλό νόμο του συνημίτονου ο οποίος προσαρμόζεται πολύ καλά στις μετρήσεις (Cinzano, *The Growth of Light Pollution in North-Eastern Italy from 1960-1995*).

Συνήθως ο αισθητήρας OLS χρησιμοποιείται με υψηλά gains για την ανίχνευση νεφών. Τα φώτα των πόλεων παρουσιάζονται κορεσμένα σε αυτά τα δεδομένα, με αποτέλεσμα η πραγματική ακτινοβολή να μη μπορεί να εξαχθεί. Έτσι, μετά από ειδικές αιτήσεις στην Αεροπορία, ο NGDC (National Geophysical Data Center) μπορεί να συλλέγει δεδομένα OLS PMT με μικρότερο gain. Κατά τη διάρκεια της συλλογής αυτών των δεδομένων, αλγόριθμοι που βρίσκονται στον δορυφόρο (on-board) και οι οποίοι ρυθμίζουν το gain, απενεργοποιούνται. Ο κύριος αλγόριθμος ο οποίος επηρεάζει τα δεδομένα στη ζώνη του ορατού κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι ο *ASGC (Along Scan Gain Control)*, ο οποίος ρυθμίζει δυναμικά το gain αντιδρώντας στη φωτεινότητα της περιοχής που καταγράφει. Στο δορυφόρο υπάρχει επίσης ο αλγόριθμος *BRDF (Bio-directional Reflectance Algorithm)* σχεδιασμένος να μειώνει τη λάμψη της περιοχής που καταγράφει, φαινόμενο που συμβαίνει όταν η γωνία παρατήρησης συμπίπτει με τη γωνία φωτισμού. Οι δύο αυτοί αλγόριθμοι απενεργοποιήθηκαν για να απλοποιηθούν την ανάκτηση της ακτινοβολήσης για αυτές τις ειδικές συλλογές δεδομένων. Κατά τη διάρκεια απόκτησης αυτών των δεδομένων το VDGA OLS gain, το οποίο συνήθως λειτουργεί στα 60 dB, μειώνεται για να αποφευχθεί κορεσμός σε αστικά κέντρα. Μερικά βράδια το gain ρυθμίζεται σε χαμηλότερες τιμές με απώτερο σκοπό να αποφευχθεί ο κορεσμός στα μεγάλα αστικά

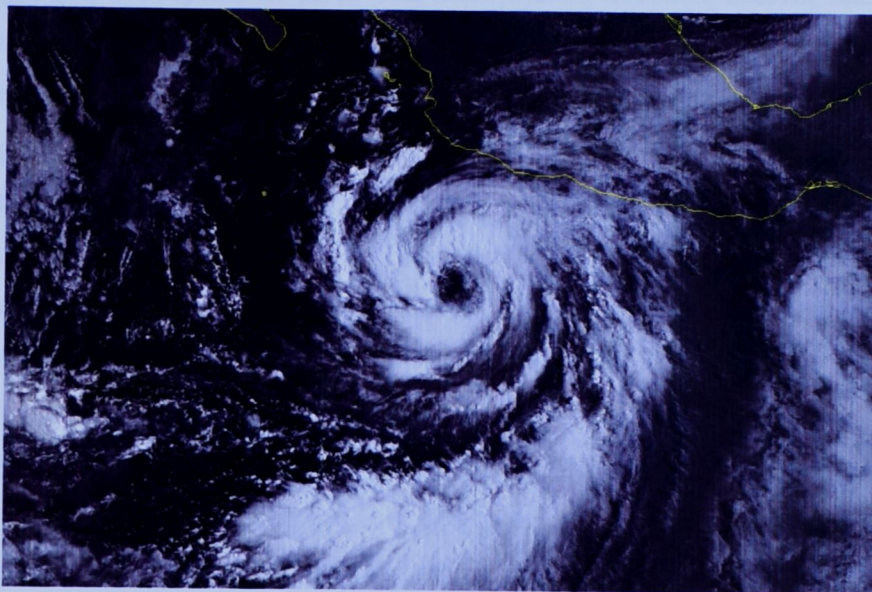
κέντρα, γεγονός που δεν επιτρέπει την ανίχνευση του φωτός στα άκρα των πόλεων και σε μικρότερες πόλεις. Για να ξεπεραστεί η περιορισμένη δυναμική περιοχή του οργάνου καταγραφής, αποκτώνται επίσης δεδομένα με μεγαλύτερα gain.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι τα μη-κορεσμένα δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα από το 1998 και μετά, παρέχουν ποσοτική πληροφορία για την προς τα πάνω ακτινοβολία (upward flux) που εκπέμπεται από τις πηγές (Elvidge et. al., 1999). Έτσι, τα δορυφορικά δεδομένα δεν παρέχουν καμία άμεση πληροφόρηση για τις επιδράσεις της ροής αυτής στον νυκτερινό ουρανό, λόγω της μετάδοσης της φωτορύπανσης (Cinzano et. al., 2001).

2.2 Περιγραφή Δεδομένων DMSP Operational Linescan System (OLS)

Το σύνολο των εικόνων στο ορατό και υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τα όργανα του δορυφορικού συστήματος DMSP Operational Linescan System (OLS) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της παγκόσμιας κατανομής των νεφών καθώς και της μέγιστης θερμοκρασίας των νεφών δύο φορές την ημέρα. Το αρχείο των δεδομένων αποτελείται από εικόνες μικρής ανάλυσης παγκόσμιας κάλυψης και εικόνες υψηλής ανάλυσης τοπικής κάλυψης, οι οποίες καταγράφονται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά μήκος ενός άξονα 3000 Km. Περιέχει επίσης, τα στοιχεία θέσης του δορυφόρου καθώς και πληροφορίες για τον ήλιο και τη σελήνη. Οι τιμές των εικονοστοιχείων, που αποτελούν το στοιχειώδες τμήμα μιας εικόνας, στο υπέρυθρο αντιστοιχούν στο θερμοκρασιακό εύρος των 190 με 310 βαθμούς Kelvin κβαντισμένο σε 256 τιμές. Η ρύθμιση (calibration) του σαρωτή πραγματοποιείται κάθε φορά κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Τα εικονοστοιχεία στο ορατό φάσμα, αντί για απόλυτες τιμές σε Watt/m^2 , δίνονται σε σχετικές τιμές από 0 έως 63 με επίπεδο αναφοράς την ένταση των νεφών η οποία ρυθμίζεται να είναι σταθερή κάτω από μεταβλητές συνθήκες φωτισμού από τον ήλιο και τη σελήνη. Τα όργανα είναι ρυθμισμένα έτσι ώστε να διατηρούν συνεχή αναφορά στις τιμές των νεφών κάτω από ποικίλες συνθήκες του ηλιακού και σεληνιακού φωτισμού.

γίνονται στα ορατοποιημένα δεδομένα.



*Εικόνα 2: Προϊόν Τροπικού Κυκλώνα από τον DMSP. Ο Κυκλώνας Nora (1997).
Πηγή: <http://dmsp.ngdc.noaa.gov/html/hurricanes/hurricanes.html>*

Κατά τη διάρκεια της νύκτας, οι τιμές των εικονοστοιχείων από το τηλεσκόπιο αντικαθίστανται με τις τιμές από τον φωτοπολλαπλασιαστή. Στην υψηλή ανάλυση (fine mode) το εικονοστοιχείο, στο τηλεσκόπιο αντιστοιχεί σε 0.5 km, ενώ στην χαμηλή ανάλυση (smooth mode) αντιστοιχεί σε 2.8 km. Οι τιμές στη χαμηλή ανάλυση προκύπτουν ως ο μέσος όρος από 25 κατάλληλα εικονοστοιχεία της υψηλής ανάλυσης. Συνεπώς, υπάρχουν δύο μέθοδοι χωρικής ανάλυσης με τις οποίες μπορούν να καταγραφούν τα δεδομένα από τον OLS. Τα δεδομένα πλήρους ανάλυσης (full resolution data), τα οποία έχοντας χωρική διακριτική ικανότητα 0.5 Km χαρακτηρίζονται ως "λεπτομερή" (fine data) και τα δεδομένα που προκύπτουν "εν πλώ" υπολογίζοντας τον μέσο όρο των 5 επί 5 κατάλληλων εικονοστοιχείων των λεπτομερών δεδομένων που χαρακτηρίζονται ως "ομαλοποιημένα" (smoothed data) με χωρική διακριτική ικανότητα 2.8 Km. Οι πρωτογενείς πηγές φωτισμού μπορούν να καταγραφούν στα ομαλοποιημένα δεδομένα. Τα λεπτομερή δεδομένα παρέχουν κάποια περαιτέρω χωρική πληροφορία, συμπεριλαμβάνοντας την ανίχνευση μικρών πηγών φωτισμού οι οποίες συνήθως "συγχέονται" με τον θόρυβο στα ομαλοποιημένα δεδομένα, καθώς επίσης τα λεπτομερή δεδομένα παρέχουν λεπτομέρειες για την δομή του τύπου του αστικού φωτισμού οι οποίες χάνονται στα ομαλοποιημένα δεδομένα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα φώτα στις παραγόμενες σύνθετες εικόνες υπερεκτιμούν το πραγματικό μέγεθος των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Αυτή η υπερεκτίμηση προκύπτει από ένα συνδυασμό παραγόντων, όπως είναι το μεγάλο μέγεθος των εικονοστοιχείου του OLS, η ικανότητα του OLS να ανιχνεύει πηγές φωτός σε μικρότερα στοιχεία από τα εικονοστοιχεία (subpixel light sources) καθώς σε και λάθη γεωτοποθέτησης. Επιφανειακά φαινόμενα, όπως είναι η παρουσία στρώματος χιονιού και η αντανάκλαση νερού σε παράκτιες περιοχές, συνεισφέρουν επίσης στη διάδοση του φωτός που μπορεί να ανιχνευτεί από το δορυφόρο.

Η ενδεχόμενη χρήση των νυκτερινών δεδομένων OLS για την παρατήρηση των φώτων των πόλεων και άλλων πηγών εκπομπής στο VNIR, σημειώνεται για πρώτη φορά το 1970 από τον Croft (1973, 1978, 1979). Ωστόσο, κατά την διάρκεια των πρώτων είκοσι χρόνων λειτουργίας του DMSP δεν διατηρήθηκαν ψηφιακά αρχεία και μόνο λωρίδες φιλμ ήταν διαθέσιμες στην επιστημονική κοινότητα. Το γεγονός αυτό περιορίσε τη επιστημονική αξία των παρατηρήσεων του OLS, παρόλο που η δυναμική αξία των δεδομένων αυτών για την παρατήρηση των πόλεων και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων είχε ήδη επισημανθεί (e.g., Welch 1980, Forster 1983).

2.3 Εφαρμογές των δορυφορικών δεδομένων DMSP OLS

Σήμερα έχει αναπτυχθεί μία πληθώρα περιβαλλοντικών εφαρμογών οι οποίες χρησιμοποιούν κυρίως τα δεδομένα νυκτερινού φωτισμού DMSP OLS, για τα οποία σημαντικές δυνατότητες αρχίζουν να παρουσιάζονται. Στην συνέχεια ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή των εφαρμογών αυτών.

Υπολογισμός Πληθυσμιακής Πυκνότητας Ο Sutton (1997) εξέτασε την πιθανή χρησιμότητα των δεδομένων μόνιμου φωτισμού για την χωρική κατανομή του πληθυσμού. Έτσι τα δεδομένα νυκτερινού φωτισμού DMSP των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων συνδυάστηκαν με άλλα δεδομένα, όπως είναι η τοπογραφία, η υδρογραφία και χρήσεις γης για να παράγουν κάναβους πληθυσμιακής πυκνότητας με υψηλή χωρική ανάλυση. Προκαταρκτικές έρευνες αποδεικνύουν ότι αυτά τα δεδομένα παρέχουν πιο λεπτομερή και περισσότερο ακριβή αναπαράσταση της πληθυσμιακής πυκνότητας από ότι τα προηγούμενα διαθέσιμα δεδομένα παγκόσμιας πληθυσμιακής πυκνότητας.

Μετεωρολογικές Προβλέψεις Μετεωρολογικές καταγραφές δεκαετιών από επίγειους σταθμούς σε αστικές περιοχές είναι αμφίβολης σημασίας για την ανάλυση της αλλαγής του κλίματος λόγω της ανάπτυξης του φαινομένου της θερμικής νησίδας (*urban heat islands*), καθώς οι αστικές περιοχές επεκτάθηκαν. Αυτό το πρόβλημα είναι σημαντικό λόγω του ότι πολλοί από τους σταθμούς που άρχισαν να καταγράφουν δεδομένα τοποθετημένοι σε αγροτικό περιβάλλον, έχουν καταπατηθεί ή περικυκλωθεί από την αστική ανάπτυξη. Οι Gallo (Gallo et. al., 1995) και Owen (Owen et. al., 1998) χρησιμοποίησαν νυκτερινά δεδομένα για να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις του φαινομένου της θερμικής νησίδας στις μετεωρολογικές καταγραφές. Σχεδιάζοντας τις θέσεις των σταθμών καταγραφής "πάνω" στα νυκτερινά δεδομένα μπόρεσαν να εντοπίσουν ποιες καταγραφές είναι περισσότερο επηρεασμένες από το φαινόμενο της θερμικής νησίδας. Ο απώτερος σκοπός ήταν να αφαιρεθεί η επίδραση του φαινομένου από αυτές τις καταγραφές.

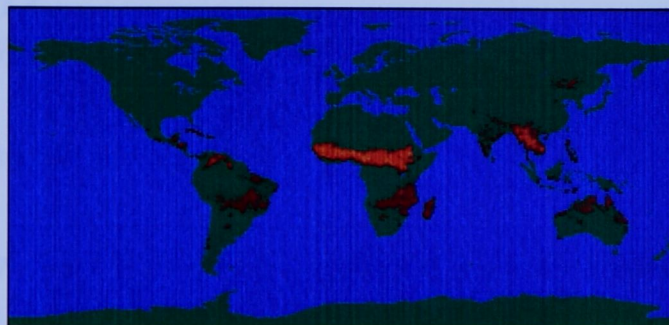
Αστική Εξάπλωση Τα δεδομένα νυκτερινού φωτισμού ίσως παρέχουν την καλύτερη ηπειρωτική (σε παγκόσμια κλίμακα) αναπαράσταση της αστικής εξάπλωσης. Ο Imhoff (Imhoff et. al., 1997) χρησιμοποίησε τα δεδομένα μόνιμου φωτισμού για να εκτιμήσει την έκταση της ξηράς που αφαιρέθηκε από την αγροτική παραγωγή. Το World Resources Institute (Revenga et. al., 1998) χρησιμοποίησε δεδομένα νυκτερινού φωτισμού για να εκτιμήσει το επίπεδο της ανάπτυξης που παρουσιάζεται σε μεγάλες λεκάνες απορροής του κόσμου. Το προσδόκιμο είναι, τα νυκτερινά φώτα να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της επίδρασης της άτακτης αστικής εξάπλωσης στο περιβάλλον. Τα νυκτερινά δεδομένα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της επίδρασης της αστικής ανάπτυξης στην βιοποικιλότητα. Μία πρόσφατη έρευνα (Salmon et al. 2000), βασισμένη σε δεδομένα DMSP, επιβεβαιώνει την αποστροφή των θαλασσιών χελωνών από το να φωλιάζουν σε έντονα φωτισμένες ακτές.

Ανίχνευση Εκπομπών Αερίων Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει υψηλή συσχέτιση μεταξύ της θέσης ή της φωτεινότητας των ανθρωπίνων εγκαταστάσεων και των εκπομπών αερίων από ενεργειακές δραστηριότητες (trace gas emissions) (Elvidge et al. 1997, Doll et al. 2000, Doll, 2003). Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η χωρική κατανομή των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από διάφορες μονάδες κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων μπορούν να μοντελοποιηθούν βάσει των δεδομένων νυκτερινού φωτισμού.

Ανίχνευση Φυσικών Καταστροφών Τα δεδομένα νυκτερινού φωτισμού DMSP χρησιμοποιούνται επίσης για την ανίχνευση έλλειψης ηλεκτρικής ενέργειας που διαδέχονται τους τυφώνες, τους σεισμούς και άλλες καταστροφές. Η διαθεσιμότητα των νυκτερινών παρατηρήσεων διευκολύνει την χρήση των δεδομένων για τον υπολογισμό της πιστότητας της παραγωγής και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας (Elvidge et. al., 2003).

Αστρονομική Παρατήρηση Ο τεχνητός φωτισμός έχει περιορίσει την ορατότητα των άστρων και των πλανητών σε εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως. Η υποβάθμιση των συνθηκών στην αστρονομική παρατήρηση εξανάγκασαν αρκετά παρατηρητήρια να μεταφερθούν και ουσιαστικά να περιορίσουν την αξία αρκετών καινοτόμων εγκαταστάσεων. Ο Cinzano χρησιμοποίησε βαθμονομημένης καταγραφής νυκτερινά φώτα για να παράγει έναν παγκόσμιο χάρτη τεχνητής ουράνιας φωτεινότητας και υποστηρίζει ότι σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες περισσότερο από τα 2/3 του πληθυσμού δεν μπορούν πλέον να δουν τον Γαλαξία από τα σπίτια τους (Cinzano et al. 2001).

Ανίχνευση της Καύσης της Βιομάζας Ένας τρόπος για να καθοριστούν επακριβώς η τοποθεσία και το μέγεθος των πυρκαγιών, είναι η ύπαρξη μιας παγκόσμιας άποψης της επιφάνειας της γης από το διάστημα. Εφόσον έως σήμερα κανένας δορυφόρος δεν αφιερώθηκε αποκλειστικά στην καταγραφή και παρακολούθηση των πυρκαγιών, οι περισσότερες παρατηρήσεις πυρκαγιών από το διάστημα έχουν αποκτηθεί από υπάρχοντες δορυφόρους, οι οποίοι εξυπηρετούν άλλους σκοπούς. Έτσι η μελέτη των πυρκαγιών προέρχεται από το πρόγραμμα δορυφόρων DMSP, του οποίου τα προϊόντα παρέχουν πληροφορίες για την τοποθεσία και τη συχνότητα της φωτιάς, και από το ραδιόμετρο AVHRR των δορυφόρων του NOAA τα προϊόντα του οποίου προσδιορίζουν την έκταση της καμένης περιοχής. Τα αποτελέσματα της τηλεπισκοπικής παρατήρησης δείχνουν ότι στην Αφρική καίγεται το μεγαλύτερο ποσοστό βιομάζας στον πλανήτη (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Η παγκόσμια κατανομή για την καύση της Βιομάζας.

Πηγή: http://earthobservatory.nasa.gov/Library/BiomassBurning/biomass_burning3.html

Η πολύ μικρής φωτεινότητας αναπαραστάσεις που παρέχονται από το πρόγραμμα DMSP, αναμένονται να συνεχιστούν και να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο μέχρι το 2010. Κατά συνέπεια, η χαρτογράφηση των πηγών φωτός που βρίσκονται στην γήινη επιφάνεια χρησιμοποιώντας νυκτερινά δορυφορικά δεδομένα αναμένεται να είναι μια συνεχόμενη πηγή πληροφοριών για τις επόμενες δεκαετίες. Με βάση αυτό το σκεπτικό η επιστημονική κοινότητα αναμένεται να αναπτύξει μελλοντικά όλο και περισσότερες μεθοδολογίες αξιοποίησης αυτών των δεδομένων.

Οι πόλεις αποτελούν σημαντικές πηγές φωτός στην επιφάνεια της Γης. Η πόλη αποτελεί ιδιαίτερα πρόβλημα για τους αστρονομικούς. Όταν η λάμψη κερνάει τα όρια της σκοτεινότητας και δημιουργεί πρόβλημα τόσο για την παρατήρηση των αστέρων (Light Pollution or Skyglow). Είναι το αποτέλεσμα της τι ασίας ελαττώσεως της σκοτεινότητας που το δορυφόρο παραβλέπει γίνονται πάντα για πρόβλημα πρόβλημα ή ακόμα και για την σκοτεινότητα. Η σκοτεινότητα είναι η σκοτεινότητα (Dark Sky Glow) αναφέρεται στον συνολικό φωτισμό που προέρχεται από τις πόλεις, τα κτίρια, τις οδούς, τα αυτοκίνητα κ.λπ. Είναι η αστρονομική λάμψη που φαίνεται στον ουρανό από αυτήν προέρχεται από μια αστρονομική πηγή προς μια αστρονομική πηγή, ή τον ουρανό.

Επομένως, η φωτορύπανση ως αστρονομική πηγή σε όλα τα αστρονομικά παρατηρητήρια να διατηρεί ως σημαντικό πρόβλημα αστρονομίας. Ο Διεθνής Οργανισμός Αστρονομίας (International Dark Sky Association - IDA) στο Tucson Arizona στη περιοχή του 1/1 που φωτός και χρησιμοποιείται ως ελαττωματικό γράμμα, διακρίνει στον νυχτερινό ουρανό είναι ακόμα από το να παρέχει την απαραίτητη φωτεινή-προσέγγιση λάμψη, επιδεικνύει πως και ορατά λάμψη (BuildingGreen.com - Light Pollution).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

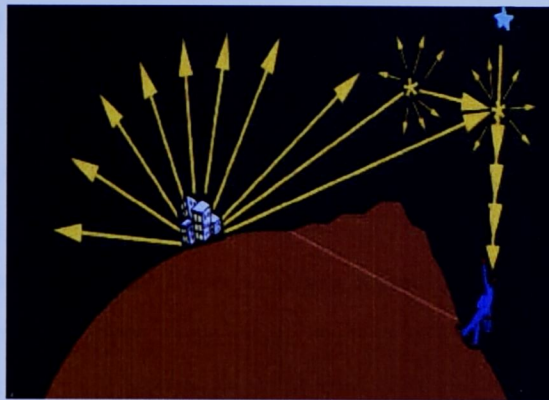
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΦΩΤΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ

3.1 Το φαινόμενο της Φωτορύπανσης

Φωτορύπανση (*Light Pollution, Photopollution, Luminous Pollution*) είναι το φωτεινό υπόβαθρο στο νυκτερινό ουρανό που δημιουργείται από τη σκέδαση του τεχνητού φωτός στα αέρια και στα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Η φωτορύπανση, προκύπτει από την προς τα πάνω και προς τα έξω εκπομπή του φωτός που προέρχεται είτε απευθείας από τα αντικείμενα είτε από αντανάκλαση στο έδαφος ή σε άλλες επιφάνειες. Οφείλεται κυρίως στα ακατάλληλα φωτιστικά σώματα που στέλνουν μέρος του φωτός προς τον ουρανό αντί στη φωτιζόμενη επιφάνεια και κατά την πορεία του προς τον ουρανό, το φως αυτό αλληλεπιδρά με τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και σκεδάζεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Μερικά από τα σημαντικότερα συστατικά της φωτορύπανσης είναι η Λάμψη, το *Παρείσακτο Φως* και η *Ουράνια λάμψη*. *Λάμψη (Glare)*, είναι το άμεσο φως που προέρχεται από μία ακατάλληλα σχεδιασμένη φωτεινή πηγή που προκαλεί δυσκολία στην όραση. Η λάμψη αποτελεί ιδιαίτερα πρόβλημα για τους αυτοκινητιστές. Όταν η λάμψη περνάει τα όρια της ιδιοκτησίας και δημιουργεί ενόχληση τότε καλείται *Παρείσακτο Φως (Light Trespass or Obtrusive Light)*. Είναι το ανεπιθύμητο φως το οποίο εξαιτίας της ποσότητας ή της κατεύθυνσης του σε δοσμένο περιβάλλον γίνεται αιτία για πρόκληση ενόχλησης ή μείωσης της ικανότητας διάκρισης βασικών λεπτομερειών. *Ουράνια Λάμψη (Sky Glow)*, αναφέρεται στον σύνθετο φωτισμό που προέρχεται από τις πόλεις, κωμοπόλεις και άλλες αναπτυγμένες περιοχές. Είναι η κιτρινωπή λάμψη που φαίνεται στον ουρανό όταν αυτός παρατηρείται από μία σχετικά σκοτεινή περιοχή προς μια γειτονική πόλη ή κωμόπολη.

Επιπλέον, η φωτορύπανση ως ισχυρή επίδραση σε όλα τα προηγούμενα, μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως σύμπτωμα απώλειας ενέργειας. Ο Διεθνής Οργανισμός Σκοτεινού Ουρανού (International Dark-Sky Association - IDA) στο Tucson εκτιμά ότι περίπου το 1/3 του φωτός που χρησιμοποιείται σε εξωτερικούς χώρους, διαχέεται στον νυκτερινό ουρανό όπου εκτός από το να παρέχει τον απαραίτητο φωτισμό προκαλεί λάμψη, παρείσακτο φως και ουράνια λάμψη (BuildingGreen.com - Light Pollution).



Σχήμα 3: Παρομοίωση της σκέδασης του φωτός
Πηγή: www.lightpollution.it/dmsp.

Ο όρος φωτορύπανση (Light Pollution), εισήχθηκε για πρώτη φορά πριν 40 περίπου χρόνια, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του '80 άρχισε να αυξάνεται παγκοσμίως η ανησυχία για αυτό το αυξανόμενο περιβαλλοντικό πρόβλημα που απειλεί να "σβήσει" τον νυκτερινό ουρανό. Οι αστρονόμοι, ήταν οι πρώτοι που έθεσαν τον κίνδυνο της ρύπανσης του έναστρου ουρανού με τις πρώτες έρευνες για την εκτίμηση του φαινομένου να γίνονται σε Αυστραλία και Γερμανία. Έτσι, στην Αυστραλία το 1981 γίνεται προσπάθεια να περιοριστεί η φωτορύπανση με κατάλληλη νομοθεσία και εθνικά πρότυπα. Ο Διεθνής Οργανισμός IDA στις ΗΠΑ, έχει αρχίσει εκστρατεία από τα τέλη της δεκαετίας του '80 και σήμερα έχει πάνω από 2000 μέλη από 68 χώρες. Είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε για να εκπαιδεύσει το κοινό και τη βιομηχανία για την φωτορύπανση. Μέλη του IDA είναι μεταξύ άλλων, πολιτικοί, αστρονόμοι και μηχανικοί. Τέλος, η Διεθνής Αστρονομική Ένωση (International Astronomical Union - IAU) και η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (International Commission on Illumination - CIE) κατάφεραν να επηρεάσουν τις κυβερνήσεις αφού ήδη έχουν ισχύσει νόμοι για να περιοριστεί η αστική λάμψη στον ουρανό κοντά στα αστρονομικά παρατηρητήρια.

Τα τελευταία 35 χρόνια η φωτορύπανση έχει αναπτυχθεί εκθετικά (Cinzano, 2000). Κάθε νύχτα εκατομμύρια λαμπτήρες στέλνουν την ενέργειά τους προς τον ουρανό, όπου φωτίζουν τα αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα σωματίδια σκόνης, υγρασίας, γύρης και ότι άλλο, δημιουργώντας ένα φωτεινό πέπλο που μας εμποδίζει να δούμε αχνά αντικείμενα στον έναστρο ουρανό. Κάποια όμως από τη λάμψη του ουρανού είναι φυσική, όπως για παράδειγμα η αμυδρή λάμψη από το Βόρειο Σέλας και άλλων πηγών της ανώτερης

ατμόσφαιρας, η ασθενής λάμψη από το φως των αστερών που σκεδάζεται στην ατμόσφαιρα και η λάμψη από τον ήλιο που σκεδάζεται σε σωματίδια σκόνης στο διαπλανητικό κενό.

Σήμερα, ο νυκτερινός ουρανός των προαστίων είναι περίπου 5 με 10 φορές πιο φωτεινός από την φυσική λάμψη του ουρανού, ενώ ο ουρανός πάνω από τις μεγάλες πόλεις είναι περίπου 25 με 50 φορές φωτεινότερος από τον ουρανό μιας απομακρυσμένης περιοχής, η οποία δεν έχει προσβληθεί από την φωτορύπανση. Οι αστικές περιοχές είναι πλημμυρισμένες με φως, με αποτέλεσμα οι κάτοικοι των πόλεων να έχουν χάσει ήδη το μεγαλύτερο μέρος των αστερισμών, τον Κρόνο και ενός πλήθους των μέσων αστεριών σε μέγεθος³.

Η φωτορύπανση που έρχεται από οριζόντιες κατευθύνσεις είναι χειρότερη από το φως που έρχεται απευθείας προς τα πάνω (upward light flux). Το φως που κατευθύνεται προς τα πάνω γενικά επηρεάζει τα άτομα που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με την πηγή αυτού, ενώ το φως που έρχεται από πλάγιες διευθύνσεις (όπως π.χ. η λάμψη) περνά από μεγαλύτερο κομμάτι της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια ρυπαίνει περισσότερο τον νυκτερινό ουρανό (www.gsfc.nasa.gov/scienceques2001).



Εικόνα 4: Ο ουρανός το βράδυ με «κακό φωτισμό» (Sky Glow)
Πηγή: <http://www.darksky.org>.

³Η ορατότητα με γυμνό οφθαλμό ενός αστερά, εξαρτάται από την ικανότητα και την εμπειρία του παρατηρητή, τη φωτεινότητα του ουρανού λόγω της φωτορύπανσης από τεχνητές και φυσικές πηγές (φεγγάρι). Σε ιδιαίτερα σκοτεινές τοποθεσίες έμπειροι παρατηρητές μπορούν να δουν αστέρες τόσο αμυδρούς όσο φαινόμενου μεγέθους +7.0 (το μέγεθος του ουρανού είναι μία κλίμακα μεταξύ του +7 και +1 - η ίδια κλίμακα προσδιορίζει και το βαθμό φωτορύπανσης μιας περιοχής-). Από τα 14.000 αστέρια μεγέθους μεγαλύτερου του +7 ακόμη και κάτω από ιδανικές συνθήκες ένας παρατηρητής μπορεί να δει περίπου τα μισά, αφού μόνο το μισό του ουρανού είναι ορατό (International Dark-Sky Association).



*Εικόνα 5: Ο ουρανός το βράδυ με «καλό φωτισμό» (No Sky Glow)
Πηγή: <http://www.darksky.org>.*

3.1.1 Τα αίτια της Φωτορύπανσης

Ο έντονος νυκτερινός φωτισμός παρουσιάζεται σήμερα σε όλα τα αστικά κέντρα. Τα επίπεδα αυτού του φωτισμού τείνουν να αυξάνονται συνεχώς λόγω πολλών κοινωνικό - οικονομικών παραγόντων. Μεταξύ των βασικότερων πηγών φωτορύπανσης είναι:

- ο αυξανόμενος φωτισμός στους δρόμους που αποτυγχάνει να κατευθύνει το φως προς τα κάτω, δηλαδή προς την επιθυμητή επιφάνεια,
- η σημαντική νυκτερινή κυκλοφορία των οχημάτων (κυρίως αυτοκίνητα),
- η αυξανόμενη ισχύς των πηγών φωτισμού,
- η αύξηση της χρήσης προβολέων σε κτήρια και στάδια καθώς και η αύξηση του φωτισμού των δημόσιων χώρων για λόγους δημόσιας ασφάλειας⁴,
- η αύξηση των διαφημιστικών πινακίδων και του φωτισμού για λόγους ασφαλείας και αποφυγής ατυχημάτων,
- και τέλος η αύξηση του εσωτερικού φωτισμού των κτηρίων (κυρίως συγκροτήματα γραφείων που αφήνονται φωτισμένα το βράδυ για να καθαριστούν αλλά και για λόγους ασφαλείας).

Αξιοσημείωτο αναφοράς είναι το γεγονός, ότι έχει εκτιμηθεί το 35% με 50% της συνολικής φωτορύπανσης να προέρχεται από το φωτισμό των οδών. Έτσι, σημαντικό κριτήριο για τους μηχανικούς αποτελεί πλέον εκτός από την ρύπανση του αέρα και του νερού και το πρόβλημα της φωτορύπανσης (Shaflik, 1997).

⁴Ερευνες, έχουν δείξει ότι η αύξηση του φωτισμού οδήγησε σε αρκετές περιπτώσεις σε μείωση των εγκληματικών δραστηριοτήτων από 40% μέχρι και 90%!

3.2 Φωτορύπανση: Ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα για την αστρονομία και την ανθρωπότητα

3.2.1 Προσπάθειες καταγραφής των ΕΝΦ

Πάνω από μία δεκαετία δορυφόροι καταγράφουν νυκτερινές παρατηρήσεις για την επιφάνεια της γης. Ήδη από το 1989, ο Woodruff Sullivan παρήγαγε την πρώτη παγκόσμια νυκτερινή απεικόνιση, με χωρική ανάλυση 10 Km (Elvidge, Hobson et. al. in Mesev, 2003). Ο Sullivan κατάφερε να κατασκευάσει τον πρώτο παγκόσμιο χάρτη αναπαριστώντας τις φωτεινές πηγές της γης, χρησιμοποιώντας λωρίδες φιλμ. Το προϊόν αυτό, δεν διαφοροποιούσε τις μόνιμες πηγές φωτός των πόλεων από τα εφήμερα φώτα, όπως είναι η φωτιά, αλλά αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του 90' ο Elvidge και άλλοι (Elvidge et. al. (1997a,b,c)) παρήγαγαν μια απαλλαγμένη από νέφη παγκόσμια καταγραφή φωτός, χρησιμοποιώντας χρονικές σειρές DMSP νυκτερινών παρατηρήσεων, ανιχνεύοντας τις τοποθεσίες των μόνιμων πηγών εκπομπής φωτός στην γήινη επιφάνεια. Η ενδεχόμενη αυτή χρήση του "μόνιμου φωτός" για την εξέταση του φαινομένου της φωτορύπανσης επισημάνθηκε από τους Isobe και Hamamura το 1998 (Cinzano et. al., 2001).

Συμπληρώνεται, ότι στο παρελθόν μπορούσε να μετρηθεί μόνο η κατακόρυφη ακτινοβολία που έφτανε στο διάστημα, ενώ σήμερα μπορούν να ληφθούν υπόψη και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι οποίες διασκορπίζουν την ακτινοβολία, επιδεινώνοντας έτσι την φωτορύπανση. Ακόμη, η σχετικά πρόσφατη διαθεσιμότητα δορυφορικών εικόνων βαθμονομημένης ακτινοβολίας από το δορυφορικό σύστημα DMSP του NGDC, επιτρέπει την απόκτηση σημαντικής ποσοτικής πληροφορίας για την προς τα πάνω ροή φωτός, που ξοδεύεται - χάνεται άμεσα στον ουρανό από συσκευές παραγωγής φωτός ή από την ανακλώμενη προς τα πάνω ακτινοβολία, που προέρχεται από φωτιζόμενες επιφάνειες (Cinzano et. al., 2000).

Οι Cinzano (Πανεπιστήμιο Πάντοβας), Falchi (Πανεπιστήμιο Πάντοβας) και Elvidge (NOAA), τόνισαν ότι η αύξηση της χρήσης του τεχνητού φωτισμού έχει σχεδόν εξαφανίσει τον καθαρό ουρανό και ότι εκατοντάδες εκατομμύρια άνθρωποι δεν μπορούν πλέον να δουν τον έναστρο ουρανό. Σύμφωνα με τους παραπάνω, τα 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού ζουν με φωτορύπανση. Πιο συγκεκριμένα, το 97% των κατοίκων των ΗΠΑ και

το 96% των κατοίκων της ΕΕ ζουν κάτω από ουρανούς που δεν σκοτεινιάζουν ποτέ (Cinzano et. al., 2001).



Εικόνα 6: Η εικόνα της Γης με τα φώτα των πόλεων το βράδυ. Η εικόνα προήλθε από DMSP OLS δεδομένα, από τους Craig Mayhew και Robert Simmon, NASA GSFC.

Πηγή: www.earthobservatory.nasa.gov

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 6), συγκρίνοντας τη δυτική Ευρώπη με Κίνα και Ινδία παρατηρείται, ότι οι φωτεινότερες περιοχές της Γης είναι οι πιο αστικοποιημένες αλλά όχι και οι πιο πυκνοκατοικημένες (η πολυπληθέστερη χώρα του Πλανήτη με πληθυσμό 1.3 δις, η Κίνα, φωτοβολεί λιγότερο από τις ΗΠΑ). Επίσης, παρατηρείται ότι η αστικοποίηση είναι εντονότερη κατά μήκος των ακτογραμμών και των δικτύων μεταφοράς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο ποταμός Νείλος, ο οποίος φαίνεται να είναι μία ακόμη "φωτεινή απειλή" μέσα σε μία σκοτεινή κατά τα άλλα περιοχή. Ακόμη και 100 χρόνια μετά την ανακάλυψη του ηλεκτρικού φωτός, μερικές περιοχές παραμένουν ελαφρώς εποικισμένες και μη φωτισμένες. Αυτές οι περιοχές είναι κυρίως οι έρημοι όπως στην Αφρική, Αυστραλία και Μογγολία καθώς και οι ζούγκλες όπως στην Αφρική και Νότια Αμερική. Ωστόσο, ο νυκτερινός ουρανός εμφανίζεται να έχει ρυπανθεί περισσότερο από φως από ότι πιστεύεται. Ο Άτλας αυτός, αποκαλύπτει επίσης, ότι η φωτορύπανση του νυκτερινού ουρανού δεν είναι περιορισμένη όπως πιστεύεται από τους περισσότερους στις αναπτυγμένες μόνο χώρες, αλλά φανερώνεται ως ένα παγκόσμιο πρόβλημα που επηρεάζει σχεδόν κάθε χώρα του πλανήτη. Το πρόβλημα της φωτορύπανσης, όπως είναι αναμενόμενο, είναι πιο σοβαρό σε ΗΠΑ, Ευρώπη και Ιαπωνία.

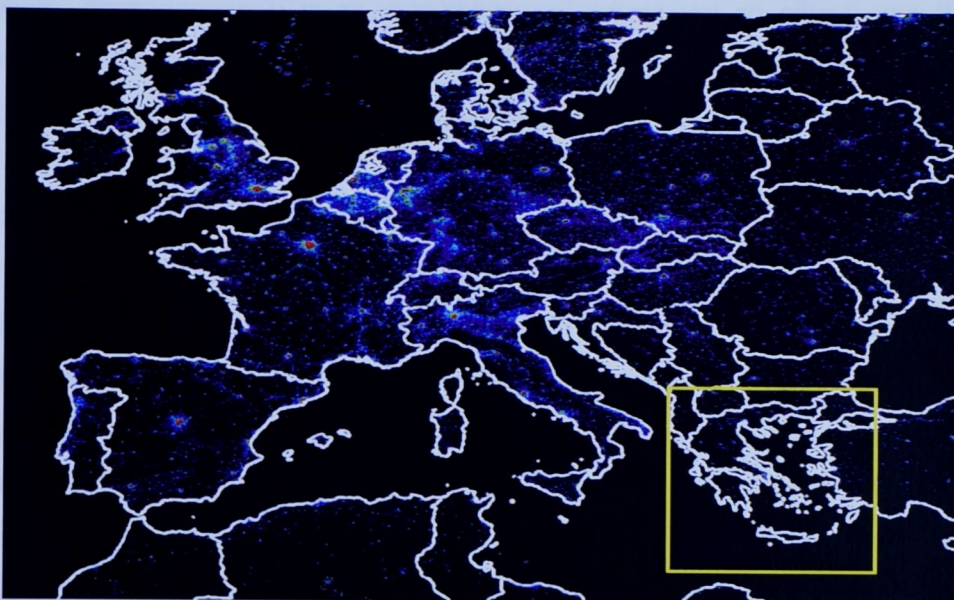
Στη συνέχεια, στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικές χώρες, ανάμεσα σε αυτές και η Ελλάδα, όπου καταγράφονται το ποσοστό του πληθυσμού που ζει κάτω από επίπεδο φωτεινότητας μεγαλύτερο από τα επιτρεπόμενα όρια.

Πίνακας 2: Εκτιμήσεις για το ποσοστό του πληθυσμού που ζει κάτω από ουρανό με φωτεινότητα μεγαλύτερη από τα δεδομένα επίπεδα *												
Χώρα	$\geq 0.11b_n$	$\geq 0.33b_n$	$\geq b_n$	$\geq 3b_n$	$\geq 9b_n$	$\geq 27b_n$	$\geq b_p$	$\geq b_{fq}$	$\geq b_m$	$\geq b_{fm}$	$\geq b_{mw}$	$\geq b_e$
Αφγανιστάν	11	8	1	0	0	0	12	8	1	0	0	0
Αλβανία	50	39	27	7	0	0	53	39	27	5	0	0
Αυστραλία	71	69	68	62	37	1	71	69	68	60	48	8
Βέλγιο	100	100	100	96	52	8	100	100	100	94	76	21
Καναδάς	97	94	90	83	71	46	97	94	90	82	77	59
Κίνα	54	41	29	13	5	1	55	40	29	12	7	2
Γαλλία	100	95	84	67	41	12	100	95	84	64	51	22
Γερμανία	100	100	94	66	25	0	100	100	94	60	40	5
Ελλάδα	90	80	70	54	41	17	91	80	70	52	44	31
Σιγκαπούρη	100	100	100	100	100	60	100	100	100	100	100	95
Ηνωμένο Βασίλειο	100	98	94	79	40	4	100	98	94	74	55	15
ΗΠΑ	99	97	93	83	62	30	99	97	93	81	71	44
Ζάμπια	38	36	12	0	0	38	36	32	32	11	4	0

Πηγή: Cinzano P., Falchi F., Elvinge C. D., *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*, 2001.

* Όπου b_n : είναι ο λόγος μεταξύ της τεχνητής φωτεινότητας και της φυσικής φωτεινότητας, b_p : αυτό είναι το κατώφλι για να θεωρηθεί ο νυκτερινός ουρανός φωτορυπασμένος (10 per cent b_n Smith 1979), η φωτεινότητα του ουρανού b_{fq} μετριέται με φεγγάρι ενός τέταρτου στις κατάλληλες αστρονομικές θέσεις ($90 \mu \text{ cd m}^{-2}$ e.g. Walker 1987), η φωτεινότητα b_m του νυκτερινού ουρανού όταν η φάση της σελήνης βρίσκεται στο πρώτο τέταρτο σε ύψος 15° και με μηδενική φωτορύπανση ($252 \mu \text{ cd m}^2$ based on Krisciunas & Schaefer 1991), η φωτεινότητα b_{fm} του ουρανού όταν πλησιάζει η πανσέληνος στις κατάλληλες αστρονομικές θέσεις ($890 \mu \text{ cd m}^2$ e.g. Walker 1987), b_{mw} είναι το κατώφλι ορατότητας του Γαλαξία για ένα μέσο κανονικό παρατηρητή (6 b_n estimate) και τέλος το κατώφλι b_e δείχνει την οξυνόρκεια του ματιού κατά τη διάρκεια της νύχτας ($4452 \mu \text{ cd m}^2$ Garstang 1986).

Μία σημαντική παρατήρηση που μπορεί να γίνει βλέποντας αυτόν τον πίνακα, είναι ότι χώρες με πολύ μικρά κ.κ. ΑΕΠ, όπως το Αφγανιστάν, η Αλβανία και η Ζάμπια, δεν παρουσιάζουν έντονα έως καθόλου το πρόβλημα της φωτορύπανσης, ενώ αντίθετα χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Γερμανία και η Γαλλία που έχουν ισχυρή οικονομία και παράλληλα έντονα αναπτυγμένη βιομηχανία, παρουσιάζουν πολύ υψηλά επίπεδα φωτορύπανσης.



*Εικόνα 7: Εκπομπές νυκτερινού φωτισμού στην Ευρώπη. Αξιοπαρατήρητος, είναι ο έντονος φωτισμός των κεντροευρωπαϊκών περιοχών. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι περιοχές που φωτοβολούν περισσότερο ενώ καθώς μετακινούμαστε προς το μπλε και το μαύρο η φωτορύπανση ελαττώνεται.
Πηγή: <http://www.mantle-project.com>*

3.2.2 Η επίδραση της Φωτορύπανσης στο περιβάλλον

Η φωτορύπανση έχει πολλές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία των όντων που ζουν μέσα σε αυτό (ζώα, φυτά και άνθρωποι), όπως μαρτυρούν εκατοντάδες επιστημονικές μελέτες και αναφορές. Η αύξηση της φωτεινότητας στο νυκτερινό ουρανό είναι το πιο γνωστό από τα πολλά αποτελέσματα της φωτορύπανσης, απλά και μόνο επειδή είναι το πιο εμφανές (Cinzano, 2002).

Πολλοί επιστήμονες μιλούν για διατάραξη των οικοσυστημάτων από την ύπαρξη του διάχυτου αυτού φωτισμού. Εκτεταμένες έρευνες έχουν γίνει για την **οικολογική επίδραση** του φαινομένου της φωτορύπανσης. Σημαντικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για το φώλιασμα των θαλάσσιων χελωνών στις νότιες ακτές του Ατλαντικού, όπου τέσσερα ήδη θαλάσσιες χελώνας (κάποια από τα οποία, απειλούμενα υπό εξαφάνιση) φωλιάζουν εκεί (είναι οι χελώνες *loggerhead*, *green*, *leatherback* και *hawksbill*). Τα θηλυκά κατευθύνονται προς την ακτή για να φτιάξουν τις φωλιές τους στην άμμο, με την παρουσία όμως του τεχνητού φωτισμού οι χελώνες αποπροσανατολίζονται με αποτέλεσμα να κατευθύνονται στο δρόμο όπου και σκοτώνονται. Ο τεχνητός φωτισμός, στις περιοχές που γεννάνε οι

χελώνες, αποπροσανατολίζει τα νεογέννητα χελωνάκια και τα οδηγεί στο θάνατο από εξάντληση ή από θήρευση (Longcore και Rich, 2004). Το γνωστότερο παράδειγμα στη χώρα μας, είναι η θαλάσσια χελώνα *caretta-caretta*.

Έχει αποδειχθεί επίσης, η αρνητική επίδραση της φωτορύπανσης στα *αποδημητικά πουλιά*, στα *έντομα* αλλά και στις *πυγολαμπίδες*, όπου σύμφωνα με το άρθρο μιας ιαπωνικής εφημερίδας, το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Ιαπωνίας προσπαθεί να περιορίσει την φωτορύπανση για να προστατευτούν οι ιερές γι' αυτούς πυγολαμπίδες. Πιο αναλυτικά, μικρά μεταναστευτικά ωδικά πτηνά, ειδικά η οικογένεια ωδικών πτηνών συλβία (*warbler*), είναι φαινομενικά τα περισσότερο επηρεασμένα από τη φωτορύπανση, πιθανότατα λόγω του τύπου της μετανάστευσης τους, που γίνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε χαμηλά υψόμετρα. Σημαντική, είναι επίσης η επίδραση των φωτεινών υποδομών και βιτρινών-παραθύρων για τα μεταναστευτικά πουλιά, αφού μέσα στο σκοτάδι και κυρίως σε ομιχλώδης και βροχερούς καιρούς, σύμφωνα με τους συγγραφείς του άρθρου: "Οι κίνδυνοι των φωτεινών υποδομών και των βιτρινών για τα μεταναστευτικά πουλιά", που δημοσιεύθηκε στο WWF του Καναδά (Τορόντο, 1996), ο συνδυασμός του γυαλιού και του φωτός αποδεικνύεται θανατηφόρος για αυτά (BuildingGreen.com – Light Pollution). Έτσι, με την σύγχυση που προκαλείται από τα τεχνητά φώτα, εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες πουλιά τραυματίζονται ή σκοτώνονται μέσα σε ένα βράδυ σε ένα μόνο κτήριο.

Πολύ σημαντική είναι επίσης η επίδραση της φωτορύπανσης στα *φύτα*, τα οποία χάνουν τα φύλλα τους και πεθαίνουν λόγω της αύξησης της διάρκειας της ημέρας ή λόγω της διακοπής της σκοτεινής νύκτας από την φωτορύπανση.

Τέλος, η φωτορύπανση μπορεί να έχει επιδράσεις ακόμη και στην *ανθρώπινη υγεία*, λόγω της μείωσης της περιόδου που επικρατεί σκοτάδι. Κάποιες έρευνες μιλούν για διατάραξη των επιπέδων ορμονών στις γυναίκες ακόμη και για εμφάνιση καρκίνου και κάποιες άλλες για σημαντικές ψυχολογικές διαταραχές (BuildingGreen.com – Light Pollution).

3.2.3 Περιορίζοντας τη Φωτορύπανση

Το πρόβλημα της φωτορύπανσης υπάρχει σχεδόν παντού και συνεχίζει να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς. Ευτυχώς, η φωτορύπανση δεν είναι μόνιμο πρόβλημα, είναι μια

πλήρως αντιστρέψιμη ρύπανση - σε αντίθεση με άλλες ρυπάνσεις - αρκεί να σταματήσει το νυκτερινό άνοιγμα των φώτων. Οι επιστήμονες έχουν ήδη αρχίσει να παράγουν λαμπτήρες φιλικούς προς το σκοτεινό ουρανό που ελαχιστοποιούν την προς τα πάνω φωτεινή ακτινοβολία ενώ ταυτόχρονα εξοικονομούν ενέργεια. Παράλληλα, ο Διεθνής Οργανισμός Σκοτεινού Ουρανού υποστηρίζει παγκοσμίως την νομοθετική προσπάθεια που διεξάγεται σε πολλές χώρες για τον περιορισμό της φωτορύπανσης, με σκοπό να προστατεύσει τις αστρονομικές παρατηρήσεις, τις ερασιτεχνικές παρατηρήσεις, την αντίληψη των πολιτών για το σύμπαν, να εξοικονομήσει χρήματα και πόρους (Cinzano et. al., 2001).

Ο εξωτερικός φωτισμός προσδιορίζει και χαρακτηρίζει το νυκτερινό περιβάλλον όσον αφορά στην ασφάλεια, στην αισθητική, στη θέαση του φυσικού περιβάλλοντος και του νυκτερινού ουρανού ενώ παράλληλα το πιο ανησυχητικό στοιχείο για τη φωτορύπανση είναι ότι αυξάνεται ταχύτατα λόγω της εξάρτησης αυτής από τον εξωτερικό νυκτερινό φωτισμό. Επιπρόσθετα όμως, προκειμένου να διατηρηθεί και να αποτραπεί η υποβάθμιση του αστικού νυκτερινού περιβάλλοντος πρέπει να ληφθούν μία σειρά από μέτρα όπως π.χ. να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι αυτοματισμοί προκειμένου ο φωτισμός να ενεργοποιείται όταν υπάρχει λόγος και στην ποσότητα που είναι αναγκαίος (φωτοκύτταρα, ωρολογιακοί διακόπτες, ανιχνευτές κίνησης κλπ). Μπορεί ακόμη, η τοποθέτηση των φωτιστικών να είναι τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η ωφέλεια και να ελαχιστοποιείται η ενόχληση σε γειτονικές θέσεις ώστε να είναι ασφαλές και φιλικό το νυκτερινό φυσικό περιβάλλον.

Πέρα όμως από τις πολύ σημαντικές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλούν οι εκπομπές νυκτερινού φωτισμού στο περιβάλλον, διερευνάται η δυνατότητα συσχέτισης του φαινομένου αυτού με βασικές ανθρώπινες δραστηριότητες. Δεδομένο του ότι όπου υπάρχουν πόλεις υπάρχουν και τα φώτα αυτών, μερικοί δορυφορικοί αισθητήρες (όπως αυτός του DMSP), σχεδιάστηκαν για να καταγράφουν την κατανομή των νεφών υπό το φως του φεγγαριού, οι οποίοι όμως ταυτόχρονα καταγράφουν και τα φώτα που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης. Έτσι, σήμερα πλέον, οι επιστήμονες χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα νυκτερινού φωτισμού, όπου, μεταξύ άλλων, καταγράφονται και τα φώτα των πόλεων, είναι σε θέση να προσδιορίζουν, σε ένα μεγάλο βαθμό, την κατανομή των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην επιφάνεια της γης.

Κατ' επέκταση, στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας των δορυφορικών αυτών δεδομένων, έτσι ώστε να παραμείνει μόνο ο απαιτούμενος φωτισμός, δηλαδή ο μόνιμος φωτισμός, μέσα από τον οποίο θα γίνει μία προσπάθεια προσδιορισμού των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην Ελλάδα.

4.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή που παρουσιάζεται εδώ, βασίζεται στην επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων DMSP OLS για την εξαγωγή συντεταγμένων όταν αφορά στην μέση ΕΝΦ στην ελληνική χώρα. Η συγκεκριμένη ανάλυση, επιδιώκει να τρέξει τμήματα κώδικα. Στο πρώτο μέρος, εξετάζονται οι ανθρωπίνες μεταβολές της ΕΝΦ στο δεύτερο μέρος οι διαφορετικές μεταβολές από στο τρίτο μέρος γίνεται μία προσπάθεια συσχέτισης των δορυφορικών δεδομένων με διάφορους κοινωνικό - οικονομικούς δείκτες. Ως πρώτη μονάδα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο των νομών (NUTS 3).

Τα δημογραφικά και κοινωνικά - οικονομικά δεδομένα έχουν συλλεχθεί από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΕΣΥΕ)¹ ενώ οι δορυφορικοί δεδομένοι νυκτερινού φωτισμού προέρχονται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα MANTLE (*Morning Night - Time Light Emission in the EU* κατά ελληνικά οφείλει να διαβαστεί ως *policy tool*) το οποίο υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (RTD, 2004-2002). Τα δεδομένα αυτά χορηγήθηκαν από το Εθνικό Αστυνομοκράτος Αθηνών. Για την παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν επίσης και δεδομένα χρήσεων γης από το Εθνικό Πρόγραμμα CORINE καθώς και ψηφιακό υπόβαθρο με τους νομούς της Ελλάδας. Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων για την εξαγωγή των νυκτερινών προέχων προς μέση και περαιτέρω επεξεργασία έγινε με τη βοήθεια των λογισμικών ARC GIS 4.3 και ERDAS 8.7. Παράλληλα, η επεξεργασία των δεδομένων από παλαιότερα κοινωνικό - οικονομικούς δείκτες έγινε με το λογισμικό πακέτο MATLAB 7.

Η συσχέτιση ανθρώπινων δραστηριοτήτων μπορεί να θεωρηθεί ως ένας καθοριστικός παράγοντας ΕΝΦ. Επαυξάζονται αυτό το γεγονός, αναλυτές έχουν αναπτύξει με αξιολογικές παρατηρήσεις και προσανατολισμένων τμήματων που υποδεικνύουν τη θέση και τη φύση των ανθρώπινων εγκαταστάσεων, βασίζονται σε δορυφορικές παρατηρήσεις (LULU) από τμήμα που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης, κατά τη διάρκεια της νύκτας.

¹ <http://www.statistics.gr> (ΕΣΥΕ) ή απλά διατίθεται στο διαδίκτυο (www.esy.gr), στην Εθνικη Στατιστική Υπηρεσία, αλλά και από τη Γραμματεία της Υπουργίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

4.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή που παρουσιάζεται εδώ, στοχεύει στην επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων DMSP OLS για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στην μελέτη ΕΝΦ στον ελληνικό χώρο. Η συγκεκριμένη εφαρμογή, υποδιαιρείται σε τρία επιμέρους τμήματα. Στο πρώτο μέρος, εξετάζονται οι διαχρονικές μεταβολές των ΕΝΦ, στο δεύτερο μέρος οι διαεποχιακές μεταβολές ενώ στο τρίτο μέρος, γίνεται μία προσπάθεια συσχέτισης των δορυφορικών δεδομένων με διάφορους κοινωνικό - οικονομικούς δείκτες. Ως χωρική μονάδα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο των νομών (NUTS 3).

Τα δημογραφικά και κοινωνικό - οικονομικά δεδομένα έχουν συλλεχθεί από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΕΣΥΕ)⁵ ενώ τα δορυφορικά δεδομένα νυκτερινού φωτισμού προέρχονται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα MANTLE (*Mapping Night - Time Light Emissions in the EU using satellite-observed visible near infrared as a policy tool*) το οποίο υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (RTD, 2000-2002). Τα δεδομένα αυτά χορηγήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Για την παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν επίσης και δεδομένα χρήσεων γης από το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα CORINE καθώς και ψηφιακό υπόβαθρο με τους νομούς της Ελλάδος. Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων για την παραγωγή των τελικών προϊόντων προς μελέτη και περαιτέρω επεξεργασία έγινε με τη βοήθεια των λογισμικών ARC GIS 8.3 και ERDAS 8.7. Παράλληλα, η επεξεργασία των δεδομένων που αφορούν κοινωνικό - οικονομικούς δείκτες έγινε με το λογισμικό πακέτο MATLAB 7.

Η συγκέντρωση ανθρωπίνων δραστηριοτήτων μπορεί να θεωρηθεί ως ένας καθοριστικός παράγοντας ΕΝΦ. Εκμεταλλευόμενοι αυτό το γεγονός, αναλυτές έχουν αναπτύξει μια μεθοδολογία παραγωγής γεω-προσανατολισμένων εικόνων που υποδεικνύουν τη θέση και το μέγεθος των ανθρωπίνων εγκαταστάσεων, βασιζόμενοι σε δορυφορικές παρατηρήσεις ΕΝΦ, από πηγές που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης, κατά τη διάρκεια της νύκτας.

⁵Με την αξιοποίηση της βάσης δεδομένων της ΕΣΥΕ η οποία διατίθεται στο διαδίκτυο (economics.gr), στην οποία συνδρομητής είναι το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, αλλά και από τη βιβλιοθήκη της Υπηρεσίας.

Πολύ σημαντικό, είναι το γεγονός ότι για να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών περιοχών με βάση δορυφορικές καταγραφές νυκτερινού φωτισμού, πρέπει οι υπό εξέταση περιοχές να ακολουθούν την ίδια πολιτική φωτισμού. Να παρουσιάζουν δηλαδή, παρόμοιες καταναλωτικές συνήθειες στη χρήση του φωτισμού αλλά και παρόμοια νομοθεσία που αφορά στην χρήση κατάλληλων φωτιστικών, όπως π.χ. στον φωτισμό δημοσίων οδών και αλλού. Σύμφωνα με τον Cinzano (Cinzano et. al., 2000, Falchi, 1999), σε ομογενείς περιοχές με παρόμοιες συνήθειες φωτισμού, δορυφορικές μετρήσεις δείχνουν μία, κατά προσέγγιση, αντιστοιχία μεταξύ του πληθυσμού των πόλεων και της προς τα πάνω ακτινοβολίας που αυτές εκπέμπουν. Η αντιστοιχία αυτή, σχετίζεται με τις ανάγκες για φωτισμό που συνδέονται με την ανθρώπινη ζωή.

Παράλληλα, σύμφωνα με τους Elvidge, Hobson et. al. (in Mesev, 2003), τα παρατηρούμενα από τον δορυφόρο φώτα, μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: α) ανθρώπινες εγκαταστάσεις, β) φώτα από καύση φυσικού αερίου (gas flares), γ) αλιευτικά πλοία και δ) άλλα εφήμερα φώτα (κυρίως πυρκαγιές). Άλλοι ερευνητές, όπως ο Imhoff (Imhoff et al., 1997), ανέπτυξαν πρωτοποριακές τεχνικές στην ακριβή απεικόνιση αστικών περιοχών, που όμως περιορίζουν την ανίχνευση φωτός των μικρών πόλεων, λόγω της μικρής συχνότητας ανίχνευσής τους.

4.2 Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα DMSP OLS με χωρική διακριτική ικανότητα 550 m («λεπτομερή δεδομένα» ή fine data). Τα δεδομένα φωτός θεωρείται ότι αναπαριστούν μόνο την *προς τα πάνω ακτινοβολία (Upward Flux Data)* ενώ αμελητέα θεωρούνται: η επίδραση της ατμόσφαιρας κατά τη διάδοση του φωτός, δηλαδή η σκέδαση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (σκέδαση Rayleigh για τα μόρια και η σκέδαση Mie για τα αεροζόλ, σύμφωνα με το μοντέλο του Garstang (1986)), η καμπυλότητα της γης, καθώς και η τοπογραφία του ελληνικού χώρου. Οι εικόνες παρουσιάζουν τον ελληνικό χώρο κατά τη διάρκεια της νύχτας από το 1994 έως και το 2001.

Η ψηφιακές τιμές που περιέχονται στις δορυφορικές εικόνες είναι σχετικές (δεν είναι βαθμονομημένες), δηλαδή δεν είναι οι πραγματικές τιμές του μετρούμενου φυσικού

μεγέθους, και επομένως συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν μόνο από τη φωτεινότητα μεταξύ των εικονοστοιχείων της ίδιας εικόνας. Ούτως ή άλλως, στην συγκεκριμένη εφαρμογή, η επιθυμητή πληροφορία που εξάγεται από τις δορυφορικές εικόνες, είναι το μέγεθος της έκτασης που φωτοβολεί κατά τη διάρκεια της νύκτας. Εξετάζεται η συσχέτιση του μεγέθους αυτού με τα δημογραφικά και κοινωνικό-οικονομικά δεδομένα καθώς και ε τα δεδομένα χρήσεων γης, που προέρχονται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα CORINE. Η μελέτη των στοιχείων γίνεται σε επίπεδο νομού.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή της παρούσας μελέτης, προέρχονται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα *MANTLE*, έχοντας ήδη υποστεί *γεωμετρική* και *ατμοσφαιρική διόρθωση*. Τα δεδομένα αυτά αφορούν εικόνες ταυτόχρονης λήψης στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο κατά την διάρκεια της νύκτας. Στις *εικόνες ορατού*, διακρίνονται οι φωτεινές πηγές, ενώ στο *υπέρυθρο* αποκαλύπτεται η θερμοκρασιακή κατάσταση των διαφόρων τμημάτων των εικόνων καθώς ανιχνεύεται και η νεφοκάλυψη.

Η θερμική εικόνα ή αλλιώς *εικόνα TIR (Thermal Infrared Images)*, δημιουργείται από έναν θερμικό σαρωτή. Είναι μία ψηφιακή εικόνα, που απεικονίζει θερμικές αντιθέσεις της γήινης επιφάνειας ως μεταβολές στους τόνους του γκρι. Συνήθως, οι φωτεινότεροι τόνοι του γκρι αναπαριστούν θερμότερα υλικά και οι σκοτεινότεροι αντιπροσωπεύουν ψυχρότερα υλικά (Canada Centre for Remote Sensing).

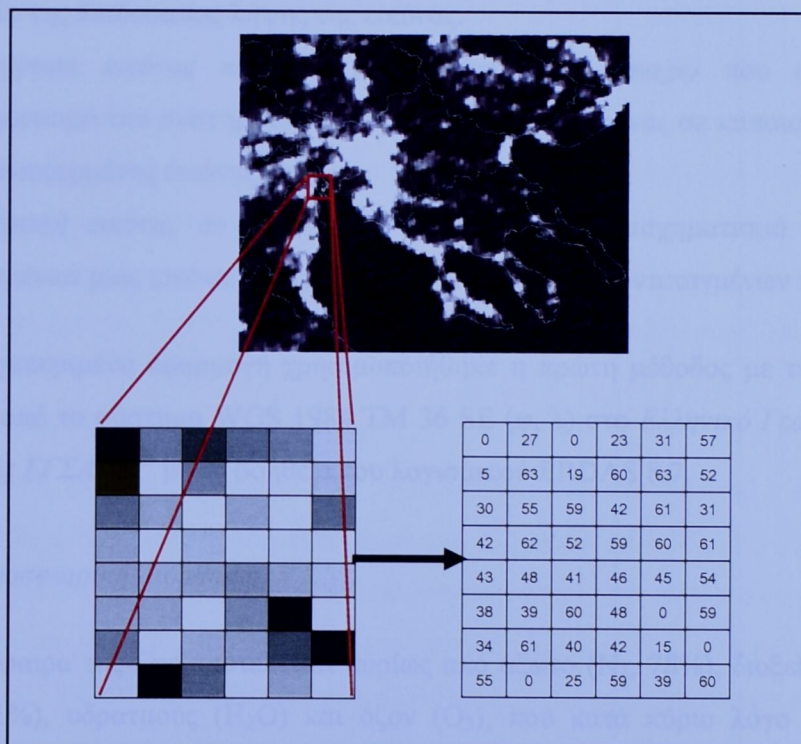
Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα νερά εμφανίζονται ως ψυχρό σώμα (σκούρος τόνος του γκρι) σε σχέση με την ξηρά στη θερμική φασματική ζώνη των 8-10 μm . Αυτό κυρίως οφείλεται στη χαμηλή θερμική αδράνεια του νερού σε σχέση με μια τυπική εδαφική κάλυψη. Τη νύχτα όμως οι σχετικές θερμοκρασίες αντιστρέφονται και τα νερά φαίνονται θερμότερα από τα εδάφη και τα πετρώματα (Μερτίκας, 1999).

4.3 Βασικά Στάδια Επεξεργασίας Εικόνας

4.3.1 Η φύση μιας ψηφιακής εικόνας

Στη φυσική της μορφή, μια ψηφιακή εικόνα είναι μια απεικόνιση δύο διαστάσεων αποτελούμενη από στοιχειώδη τμήματα που καλούνται εικονοστοιχεία (pixel) και

ανταποκρίνονται χωρικά σε σχετικά μικρές περιοχές που καλούνται ψηφίδες εδαφικής χωρικής ανάλυσης (ground resolution cells) (Erdas Field, 2002). Οι οριζόντιες σειρές των εικονοστοιχείων καλούνται γραμμές (lines) και οι κάθετες καλούνται στήλες (columns). Έτσι μία απεικόνιση, δηλαδή μία ψηφιακή εικόνα, αποτελείται από n στήλες που αριθμούνται από αριστερά προς τα δεξιά και s γραμμές από πάνω προς τα κάτω (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Η δομή μιας ψηφιακής εικόνας (Ελλάδα - Περιοχή Θεσσαλονίκης)

Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Ημερομηνία Λήψης Εικόνας: 14/09/2001, Ραδιομετρική Ανάλυση 0-63.

Το αρχικό στάδιο επεξεργασίας μιας εικόνας σχετίζεται με διορθώσεις για την αποκατάσταση της αρχικής της μορφής. Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα μιας εικόνας είναι οι γεωμετρικές παραμορφώσεις που προέρχονται κυρίως λόγω της καμπυλότητας της γης και την περιστροφή αυτής, ατμοσφαιρικές παραμορφώσεις που οφείλονται στην σκέδαση της ΗΜΑ στα μόρια της ατμόσφαιρας και στον θόρυβο από τα όργανα καταγραφής.

4.3.2 Γεωμετρική Διόρθωση

Ο σκοπός της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας είναι ο μετασχηματισμός του συστήματος συντεταγμένων αυτής (x , y) (το οποίο μπορεί να έχει υποστεί

παραμορφώσεις), σε κάποιο σύστημα (X, Y) χαρτογραφικής προβολής, έτσι ώστε η εικόνα να έχει συγκεκριμένη και ενιαία κλίμακα αλλά και σχεδιαστικές ιδιότητες χάρτη.

Στην Τηλεπισκόπηση υπάρχουν τρεις τύποι γεωμετρικών διορθώσεων:

1. η *γεωμετρική αποκατάσταση της εικόνας (geometric rectification)*, που καλύπτει τη γεωμετρία της διαδικασίας λήψης της εικόνας.
2. η *εγγραφή εικόνας σε άλλη εικόνα (image to image)* που αναφέρεται στον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας σε κάποιο άλλο μιας άλλης ήδη γεωαναφερμένης εικόνας και
3. η *εγγραφή εικόνας σε χάρτη*, που αφορά στον μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας στο χαρτογραφικό σύστημα συντεταγμένων του εδάφους.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η πρώτη μέθοδος με τη μετατροπή των εικόνων από το σύστημα WGS 1984 TM 36 SE (φ, λ) στο *Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87*⁶ με τη βοήθεια του λογισμικού ERDAS 8.7.

4.3.3 Ατμοσφαιρική Διόρθωση

Η ατμόσφαιρα της Γης αποτελείται κυρίως από άζωτο (N_2 , 78%), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2 , 21%), υδρατμούς (H_2O) και όζον (O_3), που κατά κύριο λόγο κυριαρχούν στις αλληλεπιδράσεις της με την ηλιακή ακτινοβολία. Επομένως, μία τιμή DN που καταγράφεται σε κάποια θέση ψηφίδας δεν αντιστοιχεί στην πραγματική ακτινοβολία της ψηφίδας, αλλά σε εξασθενημένη, λόγω απορρόφησης και σκέδασης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα της ακτινοβολίας, είναι ένα σοβαρό και πολύπλοκο θέμα, επειδή η παρουσία της ατμόσφαιρας επιδρά και επηρεάζει σημαντικά την ακτινοβολία που φτάνει στον ανιχνευτή. Συμπερασματικά, οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις προκαλούν υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας και ελαττώνουν την αντίθεση της (contrast). Κατά συνέπεια, επηρεάζεται η ταξινόμηση της εικόνας και η ανάλυση της (Μερτίκας, 1999). Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων για την περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία τους.

⁶ Το ΕΓΣΑ '87 εφαρμόζεται στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή και στο ελλειψοειδές GRS 80.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι ατμοσφαιρικής διορθώσεως: i) ατμοσφαιρική διόρθωση με αριθμητικά μοντέλα, ii) καθολική ατμοσφαιρική διόρθωση και iii) διόρθωση από μετασχηματισμένα DN σε τιμές ανακλαστικότητας.

4.4 Ορισμός της «Αντιπροσωπευτικής Εικόνας»

Για την εξέταση των μεταβολών των ΕΝΦ, διαχρονικών και εποχιακών, κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία "αντιπροσωπευτικής εικόνας" για κάθε χρονική περίοδο μελέτης. Η αντιπροσωπευτική εικόνα περιόδου, είναι μία εικόνα στην οποία παρουσιάζονται μόνο οι μόνιμες εκπομπές φωτός. Προκύπτει, από το συνδυασμό των εικόνων ορατού που επιλέγονται από όσο το δυνατόν κοντινότερες ημερομηνίες κάθε περιόδου.

Σύμφωνα με τους Elvidge, Hobson et. al. (Mesev, 2003), υπάρχουν τρία στάδια επεξεργασίας για την δημιουργία των αντιπροσωπευτικών εικόνων: i) η απομάκρυνση του θορύβου, ii) ο διαχωρισμός των εφήμερων από τα μόνιμα φώτα και iii) η απομάκρυνση του μόνιμου φωτισμού που προέρχεται από πηγές εκτός των ανθρωπίνων εγκαταστάσεων (όπως για παράδειγμα το κάψιμο της βιομάζας), που δεν αντιστοιχεί σε πόλεις ή κωμοπόλεις. Το τελευταίο αυτό στάδιο, δεν υλοποιήθηκε σε αυτή την εργασία λόγω της πολύ μικρής έκτασης εμφάνισης πηγών τέτοιου τύπου στον Ελληνικό χώρο.

4.5 Καθαρισμός από Νέφη και Εφήμερες Πηγές

Καθώς οι δορυφορικές εικόνες στο ορατό εξαρτώνται από μετεωρολογικές συνθήκες (όπως π.χ. νεφοκάλυψη) ο αριθμός των κατάλληλων εικόνων προς επεξεργασία περιορίζεται αρκετά, καθώς επίσης η ποιότητα των εικόνων δεν είναι πάντα η κατάλληλη για περαιτέρω επεξεργασία.

Με δεδομένο λοιπόν, το χαμηλό επίπεδο της παρουσίας του σεληνιακού φωτισμού στα νυκτερινά δεδομένα, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ζώνη του ορατού για την ανίχνευση των νεφών. Έτσι, η αναγνώριση των νεφών στηρίζεται στην αναπαράσταση τις θερμικής ζώνης, δηλαδή στις TIR εικόνες, όπου τα σύννεφα είναι «ψυχρότερα» από ότι η επιφάνεια της Γης, δηλαδή εμφανίζονται με σκούρο χρώμα. Επομένως, οι καθαρότερες από νέφη

εικόνες ορατού, επιλέγονται με βάση τις αντίστοιχες εικόνες στο θερμικό (TIR). Συνεπώς, οι εικόνες TIR χρησιμοποιούνται μόνο για οπτική φωτοερμηνεία (ποιοτική ανάλυση) και δεν τυχαίνουν περαιτέρω επεξεργασίας.

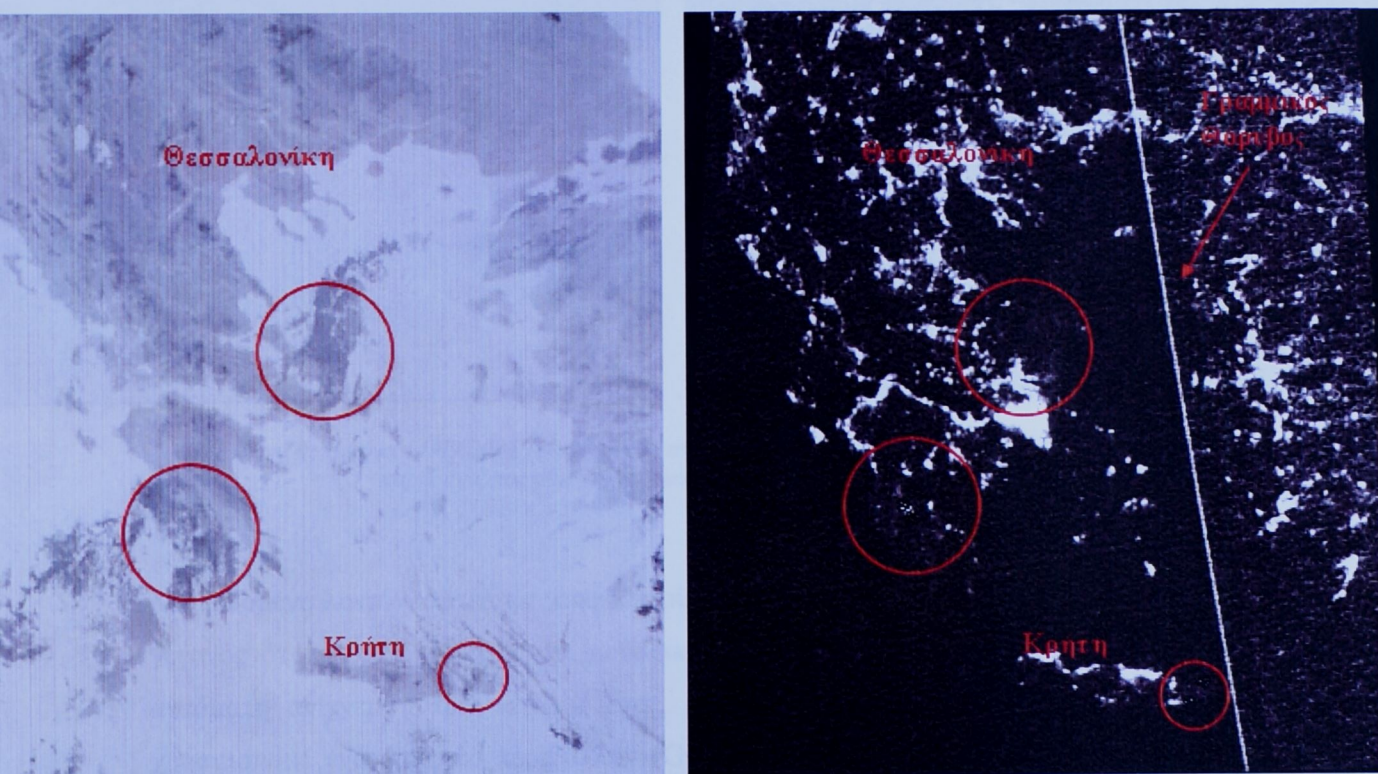
Σε αυτό το στάδιο του καθαρισμού των εικόνων, όπου έχουν πλέον επιλεγεί οι καταλληλότερες - οι πιο ανέφελες εικόνες - ακολουθεί η μαθηματική επεξεργασία των εικόνων αυτών, προκειμένου να απομακρυνθούν τα υπόλοιπα νέφη καθώς και οι εφήμερες πηγές φωτισμού (θόρυβος). Για τον καθαρισμό λοιπόν από τον εναπομείναντα θόρυβο, από ήδη επιλεγμένες εικόνες επιλέγονται αυτές που έχουν ληφθεί σε όσο το δυνατόν κοντινότερες ημερομηνίες λήψεις. Τέλος, γίνεται υπέρθεση των εικόνων αυτών με τελικό σκοπό την απομάκρυνση του θορύβου, χρησιμοποιώντας ως κριτήριο την συχνότητα εμφάνισης των τιμών των εικονοστοιχείων. Δηλαδή, εντοπίζονται τα εικονοστοιχεία που έχουν τιμές με μικρή συχνότητα εμφανίσεις και εξαιρούνται από την περαιτέρω επεξεργασία.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι εικόνες όπως αυτή που παρουσιάζεται στη συνέχεια (*Εικόνα 8*), η οποία είναι ακατάλληλη για οποιαδήποτε επεξεργασία, λόγω του ότι τα νέφη καλύπτουν σημαντικά τμήματα από τον ελληνικό χώρο κρύβοντας έτσι κάθε πληροφορία φωτός. Στην εικόνα αυτή παρουσιάζεται έντονη νεφοκάλυψη στα Β.Α. κυρίως της Εύβοιας (εικόνα TIR) και πράγματι στην αντίστοιχη εικόνα αυτής ορατού δεν έχουν καταγραφεί καθόλου φώτα.

Αντίθετα, στην *Εικόνα 9*, παρατίθεται παράδειγμα κατάλληλης δορυφορικής εικόνας που επιλέγεται για να χρησιμοποιηθεί στην δημιουργία αντιπροσωπευτικής εικόνας. Η μη ύπαρξη νεφοκάλυψης, κορεσμού καταγραφής από τον αισθητήρα στον δορυφόρο, παρασιτικού θορύβου καθώς και άλλων προβλημάτων στην συγκεκριμένη εικόνα, επιτρέπουν την καταγραφή των ΕΝΦ, χωρίς να υπεισέρχονται λάθη.

Υπάρχουν όμως μερικές εξαιρέσεις, που περιπλέκουν την ανίχνευση των νεφών και στο θερμικό από τον OLS. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ομίχλη η οποία τείνει να είναι ζεστή, με πολύ μικρή αντίθεση με την θερμοκρασία στην γήινη επιφάνεια. Επιπρόσθετα, υπάρχουν διαφορές στα σύννεφα και στην θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος. Πιο συγκεκριμένα, κατά τους χειμερινούς μήνες στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη η επιφάνεια της γης μπορεί να είναι ψυχρότερη από ότι τα τοπικά

σύννεφα. Επίσης περιοχές με μεγάλο υψόμετρο μπορεί να είναι ψυχρότερες από τα τοπικά νέφη⁷. Έτσι, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ της θερμοκρασίας των νεφών και της διαφοράς θερμοκρασίας (contrast) ανάμεσα στα νέφη και της γήινης επιφάνειας (Elvidge, Hobson et. al. in Mesev, 2003).



Εικόνα 8: Εικόνα 06/12/1999 (17:40 GMT) στο υπέρυθρο (αριστερά) και ορατό (δεξιά) όπου παρουσιάζεται έντονη νεφοκάλυψη και γραμμικός θόρυβος.

⁷ Μια ακόμη σύνθετη παρατήρηση είναι στην Ινδονησία, όπου τα νησιά μπορεί να είναι ψυχρότερα από ότι οι περιβάλλουσες ζεστές θάλασσες, οδηγώντας έτσι στη λάθος αναγνώριση της γης ως σύννεφα.



Εικόνα 9: Εικόνα 14/09/2001 (18:48 GMT) στο υπέρυθρο (αριστερά) και ορατό (δεξιά) όπου δεν παρουσιάζεται νεφοκάλυψη και κανενός άλλου είδους θορύβου.

Με δεδομένο λοιπόν, αυτές τις γενικά περίπλοκες μεθόδους ανίχνευσης των νεφών και το γεγονός ότι ο OLS έχει μία και μοναδική θερμική ζώνη, δεν είναι δυνατή η πλήρως αυτόματη ανίχνευση των νεφών. Έτσι, μία ημιαυτόματη μέθοδος ανίχνευσης νεφών χρησιμοποιεί ένα γραφικό περιβάλλον (Graphical User Interface - GUI) το οποίο είναι σχεδιασμένο να βοηθάει τον αναλυτή στην επιλογή ενός «θερμικού κατωφλιού» (*threshold*) για την ανίχνευση των νεφών. Όταν οριστεί το κατώφλι, τα αντίστοιχα εικονοστοιχεία στην εικόνα χρωματίζονται με διαφορετικό χρώμα, επιτρέποντας έτσι την επανεξέταση του αποτελέσματος. Όταν τελικά επιλεγεί το ικανοποιητικό κατώφλι, με το οποίο "χάνονται" όσο το δυνατόν λιγότερα από τα φώτα των πόλεων και κωμοπόλεων και απομακρύνεται περισσότερο θόρυβος, καταχωρείται μέσω του γραφικού περιβάλλοντος.

Αξιοσημείωτο αναφοράς, είναι ότι για την απομάκρυνση θορύβου που βρίσκεται στην θάλασσα αλλά και απομάκρυνση των πηγών φωτός (εφήμερων και μη) που προέρχονται από αλιευτικά σκάφη, εξορύξεις πετρελαίου και αερίου στην θάλασσα και άλλα που δεν αντιπροσωπεύουν το φωτισμό προς επεξεργασία για την συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι δυνατό να εφαρμοστεί από την αρχή της επεξεργασία των δεδομένων μια **μάσκα διαχωρισμού ξηράς - θάλασσας** έτσι ώστε οι οποιεσδήποτε περαιτέρω διαδικασίες να

επικεντρώνονται στο χώρο της ξηράς. Εάν η συγκεκριμένη μάσκα εφαρμοστεί, λόγω του μεγάλου μεγέθους του εικονοστοιχείου των δεδομένων, όπου το φως εξαπλώνεται και στα γειτονικά εικονοστοιχεία, ο φωτισμός σε παραλιακές ζώνες και μεγάλα λιμάνια όπως ο Πειραιάς θα περιοριστεί μόνο στα εικονοστοιχεία εντός της ξηράς.

4.6 Δημιουργία Αντιπροσωπευτικών Εικόνων

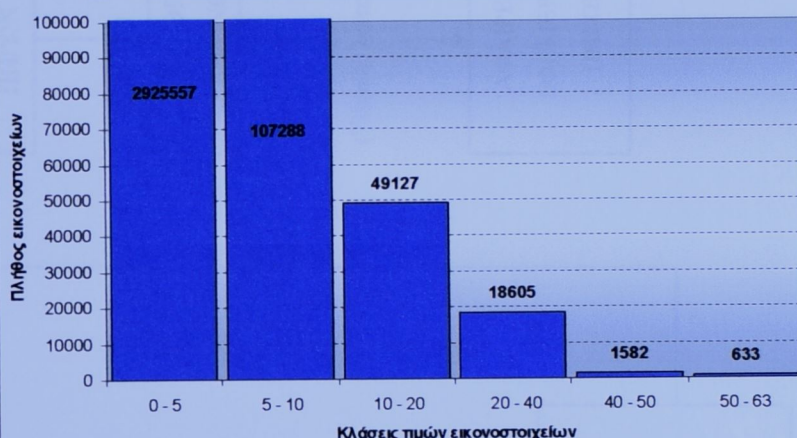
4.6.1 Δημιουργία «Αντιπροσωπευτικής Εικόνας» για τον Χειμώνα 2000-2001

Μετά από προσεκτική εξέταση όλων των εικόνων TIR, για τη δημιουργία της αντιπροσωπευτικής εικόνας του χειμώνα 2000-2001, επιλέγονται οι παρακάτω εικόνες ορατού: α) 14/09/2001, 18:48 GMT, όπου στην αντίστοιχη θερμική εικόνα παρουσιάζεται καθαρή η ΒΑ Ελλάδα, β) 19/09/2001, 19:17 GMT, όπου στην θερμική εικόνα παρουσιάζεται καθαρή η περιοχή της Κρήτης και της Πελοποννήσου και τέλος γ) 16/10/2001, 19:30 GMT, όπου στην αντίστοιχη εικόνα του θερμικού εντοπίζεται καθαρή η ΒΔ Ελλάδα.

Προκειμένου να ανιχνευτούν οι εφήμερες πηγές υπολογίζεται και εξετάζεται το εύρος τιμών και των τριών αρχικών εικόνων ορατού. Η ύπαρξη εικονοστοιχείων με μεγάλο εύρος τιμών, δηλαδή μεγάλες τιμές με μικρή συχνότητα εμφάνισης, υποδηλώνει την ύπαρξη εφήμερων πηγών⁸ στα σημεία αυτά. Έτσι μετά την εξέταση του ιστογράμματος της εικόνας του εύρους (*Ιστόγραμμα 1*), ορίζεται ως "κατώφλι" εφήμερων πηγών η τιμή 40. Αυτό σημαίνει ότι, τα εικονοστοιχεία που εμφανίζουν εύρος τιμών μεγαλύτερο από 40 θεωρούνται ότι αντιστοιχούν σε εφήμερο φωτισμό και επομένως θα εξαιρεθούν από τους υπολογισμούς για την παραγωγή της τελικής εικόνας.

⁸ Ο εντοπισμός των εφήμερων πηγών μπορεί να γίνει επίσης συγκρίνοντας την μέση τιμή (mean value) με την μέγιστη τιμή των εικονοστοιχείων (max value) που προέρχονται από τις αρχικές εικόνες.

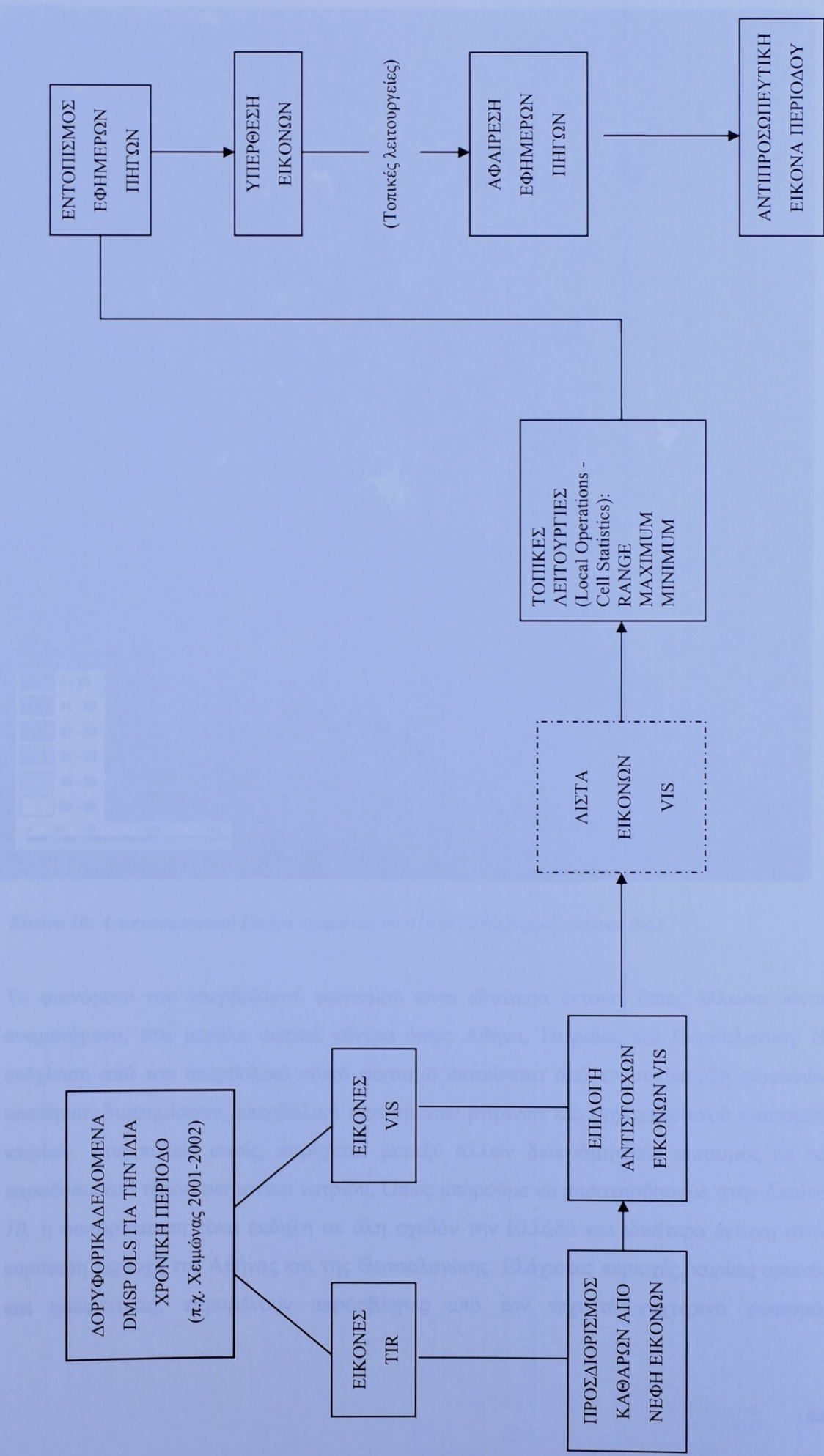
Ιστόγραμμα 1: "Ιστόγραμμα εύρους τιμών χειμερινών εικόνων περιόδου 2000-2001"

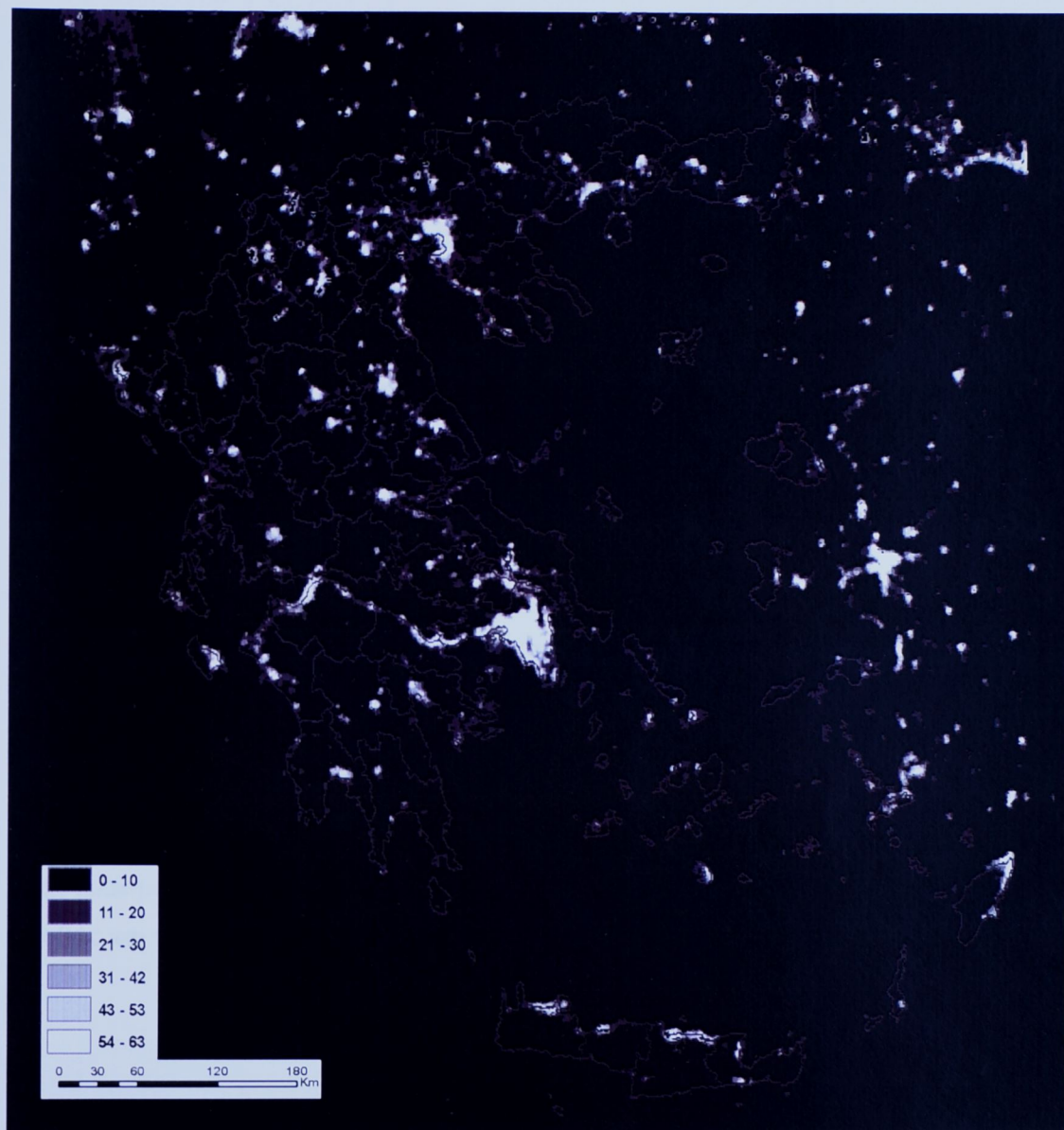


Στη συνέχεια, τα εικονοστοιχεία αυτά εντοπίζονται (δηλαδή εντοπίζονται οι περιοχές όπου εμφανίζονται εφήμερα φώτα) και για αυτά με την τοπική λειτουργία Cell Statistics υπολογίζεται μόνο η ελάχιστη τιμή αυτών από τις τρεις αρχικές εικόνες (Εικόνα Α). Παράλληλα, με την ίδια λειτουργία, για τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία υπολογίζεται η μέγιστη τιμή φωτισμού μεταξύ των τριών πρώτων εικόνων, προκειμένου να εξαλειφθούν τα νέφη (Εικόνα Β). Η παραγωγή των ψηφιδωτών του Range, Maximum και Minimum γίνεται με τη βοήθεια της τοπικής λειτουργίας Cell Statistics. Πιο συγκεκριμένα, οι τοπικές λειτουργίες προσεγγίζουν την καναβική μήτρα στη βάση κάθε φατνίου (εικονοστοιχείου) ξεχωριστά. Δηλαδή κάθε φατνίο υφίσταται οποιαδήποτε μορφή ανάλυσης μόνο με τη χρήση της τιμής που το ίδιο έχει, χωρίς καμία αναφορά στις τιμές των άλλων φατνίων. Έτσι, η τιμή του φατνίου στην τελική μήτρα (στην τελική εικόνα) είναι συνάρτηση των τιμών των αντίστοιχων φατνίων της κάθε επιμέρους μήτρας (οι αρχικές εικόνες που έχουν επιλεγεί για την δημιουργία της αντιπροσωπευτικής) που υφίστανται την ανάλυση.

Τέλος, προσθέτοντας τις Εικόνες Α και Β με τη βοήθεια του εργαλείου Raster Calculator (ARC View) παράγεται η αντιπροσωπευτική εικόνα περιόδου "χειμώνας 2000 - 2001" (Εικόνα 10), η οποία είναι απαλλαγμένη από νέφη και εφήμερες πηγές (βλέπε Διάγραμμα 1).

Διάγραμμα 1: Διαδικασία Δημιουργίας " Αντιπροσωπευτικών εικόνων "





Εικόνα 10: Αντιπροσωπευτική Εικόνα «χειμώνας 00-01» σε ραδιομετρική ανάλυση 0-63.

Το φαινόμενο του υπερβολικού φωτισμού είναι ιδιαίτερα έντονο, όπως άλλωστε είναι αναμενόμενο, στα μεγάλα αστικά κέντρα όπως Αθήνα, Πειραιάς και Θεσσαλονίκη. Η ενόχληση από τον υπερβολικό οδικό φωτισμό επιτείνεται από τη συνύπαρξη φωτεινών υπαίθριων διαφημίσεων, υπερβολικά φωτισμένων βιτρινών και αρχιτεκτονικού φωτισμού κτιρίων. Στις πόλεις αυτές, παρέχεται μεταξύ άλλων διακοσμητικός φωτισμός με τα παραδοσιακού τύπου φωτιστικά νατρίου. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην *Εικόνα 10*, η φωτορύπανση είναι έκδηλη σε όλη σχεδόν την Ελλάδα και ιδιαίτερα έντονη στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Ελάχιστες περιοχές, κυρίως ορεινές και ηπειρωτικές, παραμένουν απρόσβλητες από τον τεχνητό νυχτερινό φωτισμό.

Μπορούμε ακόμη να διαπιστώσουμε ότι η ρύπανση διαχέεται από τα φώτα των αστικών περιοχών σε γειτονικές περιοχές και μπορεί να φτάσει σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Η παραγόμενη αντιπροσωπευτική εικόνα είναι σε ραδιομετρική ανάλυση 0-63. Για καλύτερη ερμηνεία αλλά και για περαιτέρω επεξεργασία οι τιμές αναταξινομούνται σε 0 (σκοτεινά) και 1 (φωτεινά). Η αναταξινόμηση των τιμών ή αλλιώς η έκταση των τιμών (Stretching) σε ένα νέο διάστημα τιμών, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το 0-1 χωρίς να λαμβάνονται οι ενδιάμεσες τιμές του διαστήματος. Στην περίπτωση των γενικευμένων λειτουργιών, η τελική τιμή για κάθε εικονοστοιχείο είναι συνάρτηση των τιμών όλων των εικονοστοιχείων της αρχικής μήτρας.

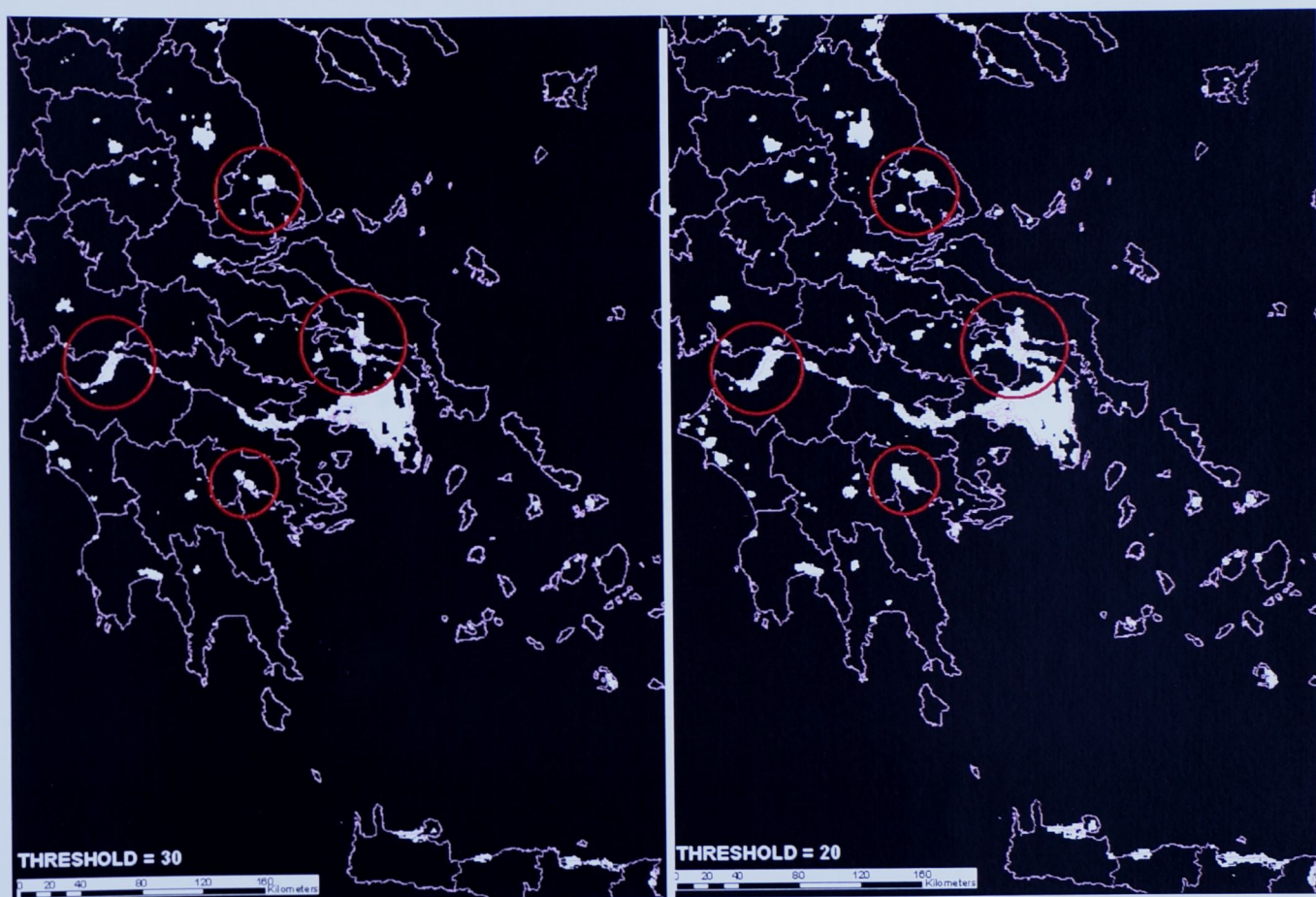
Έτσι, στο τελευταίο στάδιο επεξεργασίας ορίζεται το **κατώφλι φωτεινότητας (Threshold)**. Με το κατώφλι αυτό στην ουσία καθορίζεται πόσα θα είναι τα φωτεινά εικονοστοιχεία (δηλαδή με την τιμή 1) στην τελική εικόνα. Μετά από εξέταση διαφορετικών τιμών κατωφλίου (όπως 30, 25) στην εικόνα 0-63 επιλέχθηκε τελικά ως το καταλληλότερο κατώφλι η τιμή 20. Η επιλογή του συγκεκριμένου κατωφλίου επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα, χωρίς δηλαδή να χάνονται στην τελική εικόνα τα φώτα μικρών πόλεων καθώς και τα περίχωρα των μεγάλων αστικών κέντρων (Εικόνα 11).

4.6.2 Δημιουργία «Ανταπροσωπευτικής Εικόνας» για τον Χάρτη (1995 - 1996)

Για την δημιουργία της αντιπροσωπευτικής εικόνας «Χάρτης 23-96» χρησιμοποιούνται οι ετήσιες εικόνες α) 23/01/96 18-48 GMT, β) 17/05/96 και γ) 21/12/96, οι οποίες επιλέγονται με την λογική που περιγράφεται παραπάνω. Το πρώτο βήμα είναι η εκτέλεση των εικόνων αυτών για την παραγωγή της αντιπροσωπευτικής εικόνας της περιόδου αυτής με κατώφλι φωτεινότητας να επιλέγεται και εδώ το 20.

4.7 Μελέτη Διαχρονικής Εξέλιξης των ΕΝΦ

Η μελέτη της διαχρονικής μεταβολής των ΕΝΦ στην Ελλάδα, έγινε με την συγκατάθεση εξέλιξης των αντιπροσωπευτικών εικόνων των χαμηρινών περιόδων: 1995-96 και 2000-01.



Εικόνα 11: Η Αντιπροσωπευτική Εικόνα χειμώνας 2000-2001 με διαφορετικά Thresholds.

4.6.2 Δημιουργία «Αντιπροσωπευτικής Εικόνας» για τον Χειμώνα 1995 - 1996

Για την δημιουργία της αντιπροσωπευτικής εικόνας «χειμώνας 95-96» χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εικόνες: α) 23/ 01/ 96 18:48 GMT, β) 17/ 01/ 96 και γ) 21/ 12/ 95, οι οποίες επιλέγονται με την λογική που περιγράφεται παραπάνω. Το επόμενο βήμα είναι η υπέρθεση των εικόνων αυτών για την παραγωγή της αντιπροσωπευτικής εικόνας της περιόδου αυτής, με κατώφλι φωτεινότητας να επιλέγεται και εδώ το 20.

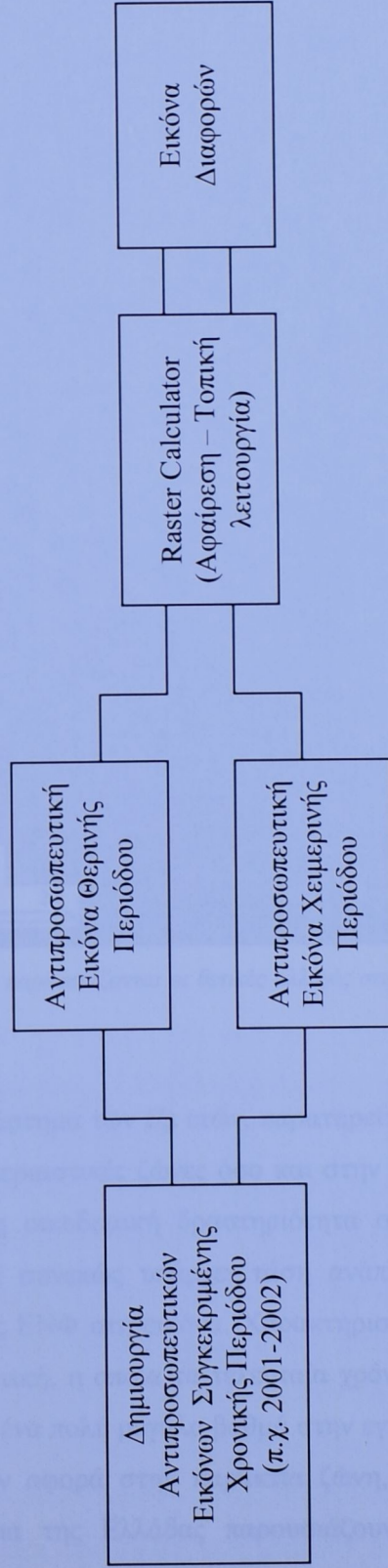
4.7 Μελέτη Διαχρονικής Εξέλιξης των ΕΝΦ

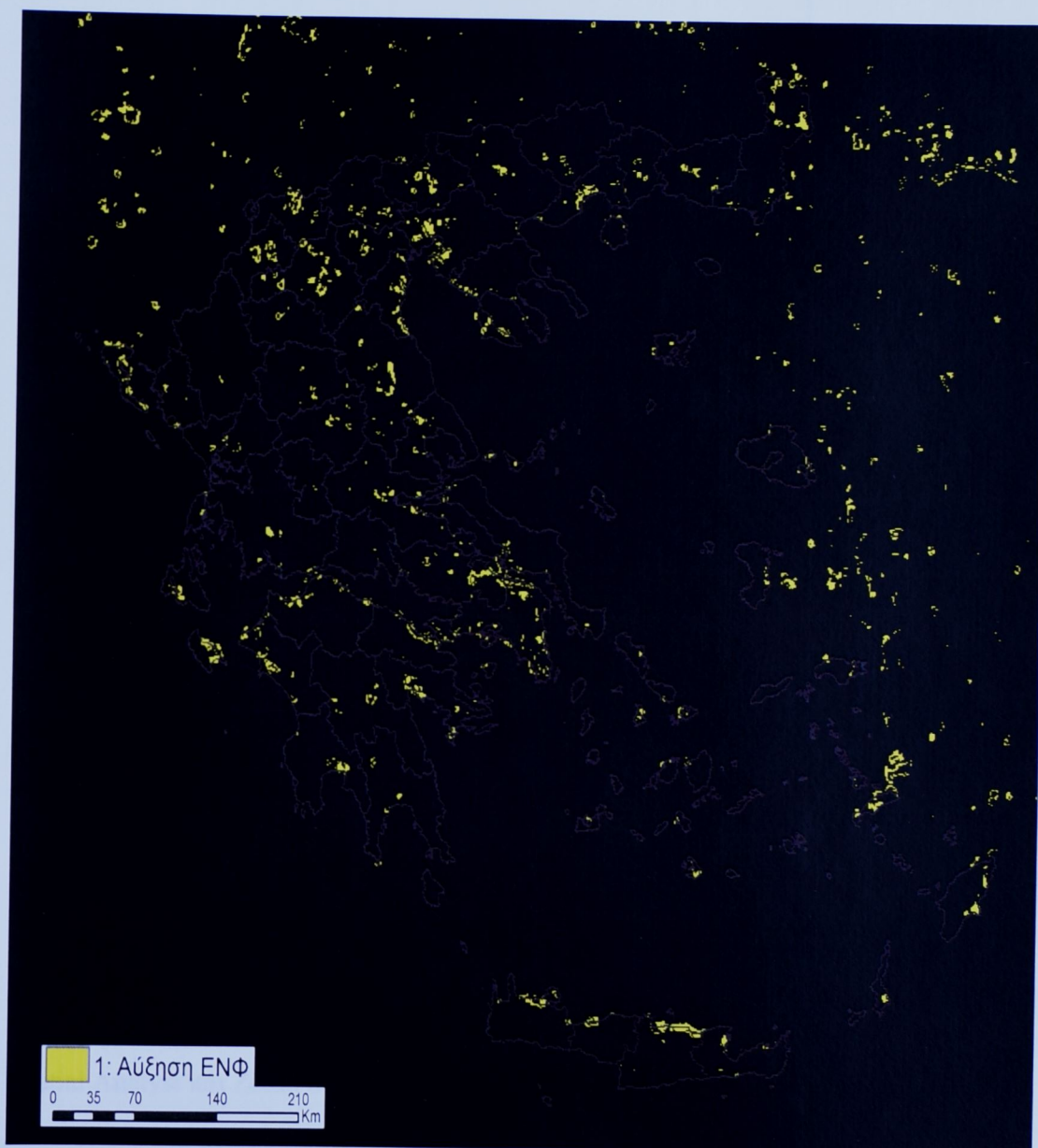
Η μελέτη της διαχρονικής μεταβολής των ΕΝΦ στην Ελλάδα, έγινε με την συγκριτική εξέταση των αντιπροσωπευτικών εικόνων των χειμερινών περιόδων: 1995-96 και 2000-01.

Προκειμένου να εντοπιστούν οι αλλαγές στο νυκτερινό φωτισμό, οι δύο εικόνες αφαιρούνται μεταξύ τους, με τη βοήθεια του Raster Calculator. Αφαιρείται δηλαδή, η εικόνα «χειμώνας 95-96» από την εικόνα «χειμώνας 00-01» και προκύπτει η «*εικόνα των αλλαγών*» (Εικόνα 12) (βλέπε Διάγραμμα 2).

Στην Εικόνα 12, που παρατίθεται στη συνέχεια, οι θετικές μεταβολές στο φωτισμό παρουσιάζονται με κίτρινο χρώμα. Πιο αναλυτικά, με κίτρινο χρώμα παρουσιάζονται οι περιοχές όπου ο νυκτερινός φωτισμός το χειμώνα 2000-01 έχει αυξηθεί, συγκριτικά πάντα με τον χειμώνα της περιόδου 1995-96, και έχουν DN ίσο με 1. Παράλληλα, οι περιοχές που δεν παρουσιάζουν αλλαγές στον φωτισμό μεταξύ των δύο αυτών χειμερινών περιόδων παρουσιάζονται με μαύρο χρώμα (και DN ίσο με 0).

Διάγραμμα 2: Διαδικασία Δημιουργίας "Εικόνας Διαφορών"





Εικόνα 12: Εικόνα όπου παρουσιάζονται οι θετικές αλλαγές στις ΕΝΦ μεταξύ των περιόδων χειμώνας 00-01 και χειμώνας 95-96.

Στο χρονικό αυτό διάστημα των έξι ετών, παρατηρείται σημαντική αύξηση των ΕΝΦ στην Ελλάδα, τόσο στις περιαστικές ζώνες όσο και στην παράκτια ζώνη. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη οικοδομική δραστηριότητα στον ελληνικό χώρο και παράλληλα αστική διάχυση και συνεπώς υπάρχει τάση ανάπτυξης στον περιαστικό χώρο, όπως παρουσιάζεται με τις ΕΝΦ στη εικόνα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περιοχή των Μεσογείων στην Αττική, η οποία τα τελευταία χρόνια εξελίσσεται ραγδαία, γεγονός που οφείλεται βέβαια σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό στην εγκατάσταση του διεθνούς αεροδρομίου στην περιοχή. Όσον αφορά στην παράκτια ζώνη, σχεδόν όλα τα νησιά αλλά και τα περισσότερα παράλια της Ελλάδας παρουσιάζουν αύξηση στις ΕΝΦ. Επιπλέον, τα

αποτελέσματα που προκύπτουν από την εικόνα 12 επιβεβαιώνονται με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ, όπου παρουσιάζεται αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, την χρονική περίοδο που εξετάζεται (Πίνακας 5, Διάγραμμα 3).

Συμπληρωματικά, δίνεται ο *Χάρτης 1* (βλέπε παράρτημα), όπου παρουσιάζονται οι θετικές μεταβολές της έκτασης που φωτοβολεί σε κάθε νομό σε κλίμακα από 0-63, σε διαβαθμίσεις του γκρι. Οι περιοχές με σκούρα χρώματα δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτες μεταβολές στην έκταση που φωτοβολεί (το χρώμα μαύρο δηλώνει και εδώ μηδενική μεταβολή) ενώ αντίθετα περιοχές με ανοικτές αποχρώσεις του γκρι παρουσιάζουν πολύ μεγάλες αυξήσεις στην έκταση που φωτοβολούν.

4.8 Επεξεργασία Αντιπροσωπευτικών Εικόνων - Διαδικασία Ποσοτικοποίησης της Πληροφορίας Φωτός

Σε αυτό το στάδιο της εφαρμογής, και εφόσον έχουν πλέον παραχθεί οι αντιπροσωπευτικές εικόνες των περιόδων που εξετάζονται, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της έκτασης που φωτοβολεί ανά νομό τις περιόδους αυτές, προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η πληροφορία φωτός που δίνουν τα δορυφορικά δεδομένα. Ο υπολογισμός αυτός, γίνεται με βάση τις αντιπροσωπευτικές εικόνες για κάθε εποχή και με τη βοήθεια των εργαλείων Spatial Analyst και Zonal Statistics Function (Λειτουργιών Ζώνης) του ARC GIS.

Πιο αναλυτικά, για την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων των ΕΝΦ που είναι σε ψηφιδωτή μορφή, στο λογισμικό Arc GIS 8.3 χρησιμοποιούνται οι *Τοπικές ή Σημειακές Λειτουργίες (Local Functions)* καθώς και οι *Λειτουργίες Ζώνης (Zonal Functions)*.

Γενικότερα, οι *λειτουργίες ζώνης* όταν εφαρμόζονται σε μια μοναδική καναβική μήτρα, υπολογίζουν ορισμένα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας για κάθε μια από τις ζώνες αυτές (π.χ. περίμετρο ή επιφάνεια). Στην προκειμένη περίπτωση, όπου υπάρχουν δύο καναβικές μήτρες, η μία ονομάζεται **μήτρα ζωνών** (zone grid) και ορίζει τις ζώνες - οι οποίες δεν είναι αναγκαστικά γειτονικές - επί των οποίων θα εφαρμοστούν οι λειτουργίες, ενώ η δεύτερη είναι η **μήτρα τιμών** (η αντιπροσωπευτική εικόνα), η οποία περιέχει τις τιμές των φατνίων οι οποίες και θα αναλυθούν μέσα στο πλαίσιο κάθε ζώνης. Η τελική τιμή για κάθε φατνίο είναι συνάρτηση των τιμών των φατνίων που ανήκουν στην ίδια ζώνη με αυτό.

Επομένως, στην τελική μήτρα, όλα τα φατνία κάθε ζώνης θα έχουν την ίδια τιμή, η οποία προκύπτει από την επιλεγείσα λειτουργία, που μπορεί να είναι: ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση, το άθροισμα, το εύρος, η ελάχιστη - μέγιστη τιμή κ.λ.π. (Κουτσόπουλος, 2002).

Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα εφαρμογή ως μήτρα ζωνών χρησιμοποιείται το θεματικό επίπεδο όπου παρουσιάζονται οι νομοί της Ελλάδος και στη συνέχεια το θεματικό επίπεδο όπου παρουσιάζονται οι χρήσεις γης από το πρόγραμμα CORINE. Ως μήτρα τιμών, χρησιμοποιείται κάθε φορά η αντίστοιχη αντιπροσωπευτική εικόνα που έχει παραχθεί για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο που πρόκειται να μελετηθεί.

Έτσι, αρχικά εφαρμόζεται η λειτουργία Ζώνης με τη μήτρα τιμών να είναι η αντιπροσωπευτική εικόνα της περιόδου και μήτρα ζωνών να είναι το raster με τους νομούς της Ελλάδας. Αποτέλεσμα της λειτουργίας αυτής, είναι ένας πίνακας όπου μεταξύ άλλων παρουσιάζεται και ο αριθμός των εικονοστοιχείων που φωτοβολούν (δηλαδή ο αριθμός των εικονοστοιχείων με την τιμή 1) ανά νομό. Στη συνέχεια, αυτός ο αριθμός πολλαπλασιάζεται με την έκταση που αντιστοιχεί το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, που στη συγκεκριμένη εφαρμογή εφόσον η εικόνα έχει χωρική διακριτική ικανότητα 0.5 Km ή αλλιώς 500m, το κάθε εικονοστοιχείο πολλαπλασιάζεται με το 250.000 (m²) ή με 0.25 Km², προκειμένου να υπολογιστεί η πραγματική έκταση που φωτοβολεί ο κάθε νομός (Παράρτημα, Πίνακας 2).

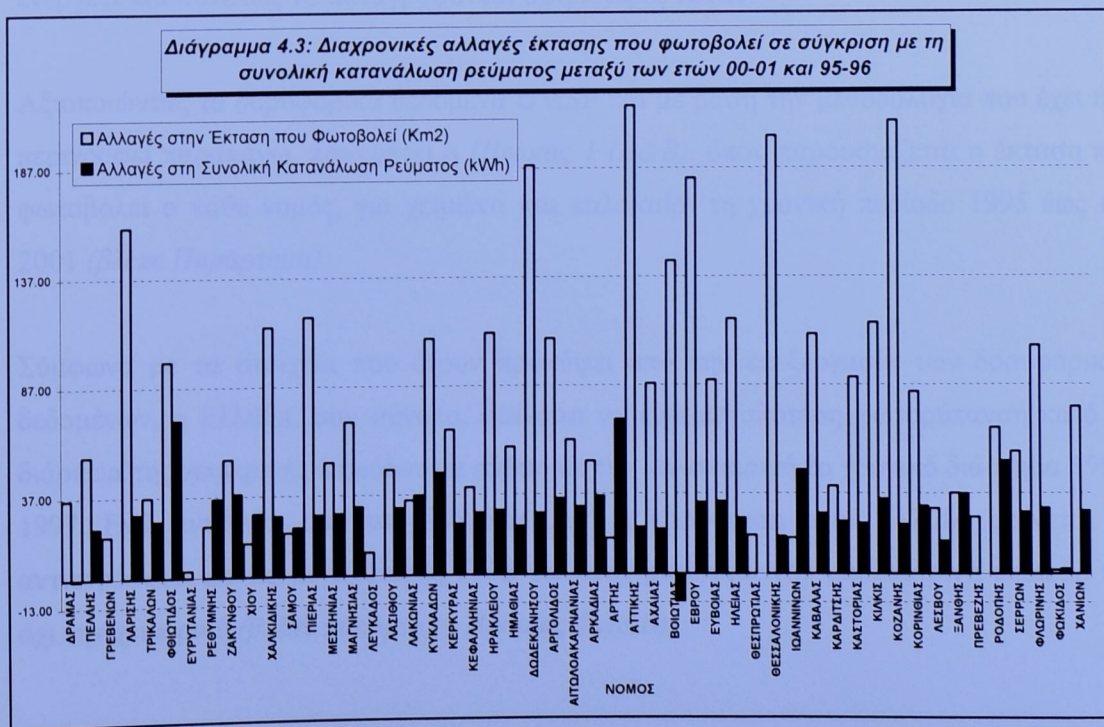
4.8.1 Παρουσίαση Διαχρονικών Μεταβολών ΕΝΦ

Σε αυτό το στάδιο της εφαρμογής και έχοντας πλέον υπολογίσει πόσο φωτοβολεί ο κάθε νομός, μπορεί να γίνει μια πρώτη προσέγγιση για το μέγεθος και τις μεταβολές των ΕΝΦ στον ελληνικό χώρο.

Στον Πίνακα 4, παρουσιάζεται το πόσο έχει μεταβληθεί η έκταση που φωτοβολεί σε κάθε νομό μεταξύ των περιόδων «χειμώνας 95-96» και «χειμώνας 00-01». Ο νομός Αττικής, παρουσιάζεται να έχει τη μεγαλύτερη αύξηση στην έκταση που φωτοβολεί στη συγκεκριμένη περίοδο, ενώ ακολουθούν οι Νομοί Κοζάνης, Θεσσαλονίκης, Δωδεκανήσου, Έβρου και ούτω κάθε εξής (Παράρτημα, Πίνακας 4).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης, η σύγκριση της διαχρονικής μεταβολής στην έκταση που φωτοβολεί σε κάθε νομό με την μεταβολή στην κατανάλωση του ρεύματος. Στο παρακάτω *Διάγραμμα 3*, παρατηρείται ότι οι θετικές μεταβολές στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος συνοδεύονται από θετικές μεταβολές στην έκταση που φωτοβολεί ανά επίπεδο νομού.

Οι μόνες εξαιρέσεις, όπως παρουσιάζεται και στον *Πίνακα 5* (βλέπε Παράρτημα), είναι οι νομοί Βοιωτίας και Δράμας όπου η αύξηση της επιφάνειας που φωτοβολεί αντιστοιχεί σε μείωση της συνολικής κατανάλωσης του ρεύματος. Το γεγονός αυτό στη Βοιωτία, πιθανότατα να οφείλεται στο γεγονός ότι ο νομός Βοιωτίας είναι ο νομός με τον ισχυρότερο προσανατολισμό στη βιομηχανία (στο νομό Βοιωτίας λειτουργεί το σημαντικότερο συγκρότημα Αλουμίνας της ΠΕΣΙΝΕ στον κόλπο της Αντίκυρας που είναι εθνικής και διεθνούς σημασίας). Δηλαδή υπάρχουν πολλά εργοστάσια και βιομηχανίες τα οποία απασχολούν προσωπικό που ενώ κατοικεί στις γύρω περιοχές εργάζεται στη Βοιωτία. Έτσι, στην συνολική κατανάλωση ρεύματος καταγράφεται η κατανάλωση αυτού από τις βιομηχανίες που λειτουργούν κυρίως την ημέρα ενώ η κατανάλωση οικιακού ρεύματος να καταγράφεται στον μόνιμο τόπο διαμονής τους που δεν είναι ο νομός Βοιωτίας (η μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος γίνεται την ημέρα οπότε και δεν καταγράφεται το φως αυτό που εκπέμπεται από το δορυφόρο λόγω της "ηλιακής ρύπανσης").



Τέλος, όσον αφορά στον ίδιο πίνακα, για τους Νομούς Ευρυτανίας, Λευκάδος, Θεσπρωτίας, Γρεβενών και Πρεβέζης δεν υπάρχουν δεδομένα κατανάλωσης ρεύματος για την περίοδο που μελετάται και επομένως δεν μπορεί να γίνει σύγκριση με την έκταση που φωτοβολεί. Παρόλα αυτά, μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει στους συγκεκριμένους νομούς είναι ότι παρουσιάζουν όλοι θετικές μεταβολές στην έκταση που φωτοβολεί.

4.9 Μελέτη Εποχιακής Εξέλιξης των ΕΝΦ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η μελέτη των εποχιακών μεταβολών ΕΝΦ που σημειώνονται στον ελληνικό χώρο. Σε σχέση με άλλες περιοχές όπου έχουν διεξαχθεί παρόμοιες μελέτες, όπως είναι οι ΗΠΑ και οι χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Elvinge et. al., 1997, Πρόγραμμα MANTLE, 2000-2002), η Ελλάδα παρουσιάζει σημαντική εποχιακή μεταβολή (αύξηση) στον πληθυσμό της. Το γεγονός αυτό, την αναδεικνύει ως χαρακτηριστικό παράδειγμα για την μελέτη των εποχιακών μεταβολών των ΕΝΦ. Είναι γνωστό ότι η Ελλάδα αποτελεί σημαντικό τουριστικό προορισμό, προσελκύοντας εκατοντάδες χιλιάδες τουρίστες κάθε χρόνο. Έτσι το καλοκαίρι λειτουργούν καταστήματα, ξενοδοχεία και γενικότερα υπηρεσίες που τον χειμώνα παραμένουν κλειστά. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα, να αυξάνονται οι ανθρώπινες μετακινήσεις και δραστηριότητες στον ευρύτερο χώρο, να καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια και συνεπώς να καταγράφονται υψηλότερες ΕΝΦ.

Αξιοποιώντας τα δορυφορικά δεδομένα DMSP και με βάση την μεθοδολογία που έχει ήδη περιγραφεί παραπάνω, προκύπτει ο Πίνακας 1 (Α&Β), όπου παρουσιάζεται η έκταση που φωτοβολεί ο κάθε νομός, για χειμώνα και καλοκαίρι τη χρονική περίοδο 1995 έως και 2001 (βλέπε Παράρτημα).

Σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, η Ελλάδα, σαν σύνολο, φαίνεται να έχει μεγαλύτερη φωτορύπανση κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου σε σχέση με την καλοκαιρινή το χρονικό διάστημα 1995-1997. Ενώ αντίθετα, από το 1998 και μετά η κατάσταση στην Ελλάδα φαίνεται να αντιστρέφεται με τις μεγαλύτερες ΕΝΦ να καταγράφονται την καλοκαιρινή περίοδο και όχι την χειμερινή (βλέπε παράρτημα Πίνακας 1 Α&Β).

Η ανάλυση των εποχιακών μεταβολών ΕΝΦ έγινε ομαδοποιώντας τους 51 νομούς της Ελλάδας σε τρεις κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές, προέκυψαν σύμφωνα με τις αλλαγές μεταξύ χειμώνα - καλοκαιριού που παρουσιάζει ο κάθε νομός, μέσα από την μελέτη του πίνακα 1 και είναι οι εξής:

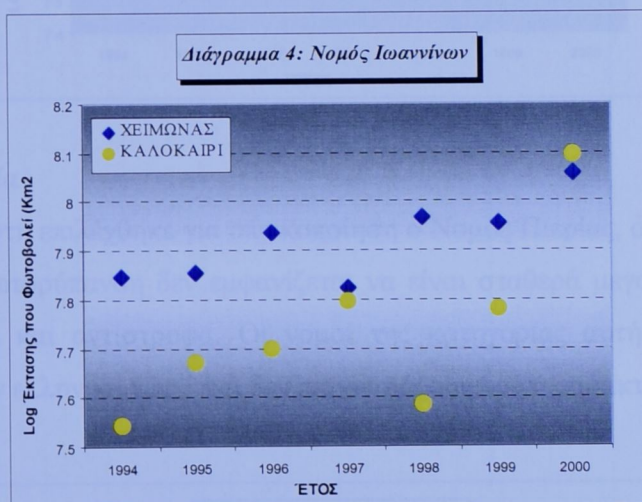
Κατηγορία 1: νομοί με μεγαλύτερη φωτορύπανση το χειμώνα απ' ότι το καλοκαίρι,
Κατηγορία 2: νομοί με μεγαλύτερη φωτορύπανση το καλοκαίρι απ' ότι το χειμώνα και
Κατηγορία 3: στην οποία εντάσσονται οι νομοί, όπου η φωτορύπανση δεν παρουσιάζει σαφή διαφοροποίηση μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού. Καθώς επίσης, εδώ εντάσσονται οι νομοί οι οποίοι λόγω έλλειψης στοιχείων δεν μπορούν να ταξινομηθούν σωστά (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Κατηγορίες νομών για την ανάλυση των εποχιακών μεταβολών ΕΝΦ			
	Κατηγορία 1	Κατηγορία 2	Κατηγορία 3
ΝΟΜΟΣ	Ευρυτανία	Βοιωτία	Αιτωλοακαρνανία
	Θεσπρωτία	Εύβοια	Φωκίδα
	Ιωάννινα	Αχαΐα	Αρκαδία
	Καρδίτσα	Ηλία	Λακωνία
	Μαγνησία	Κορινθία	Κέρκυρα
	Δράμα	Ζάκυνθος	Κεφαλονιά
	Ημαθία	Πρέβεζα	Λευκάδα
	Θεσσαλονίκη	Χαλκιδική	Άρτα
	Καστοριά	Δωδεκάνησα	Λάρισα
	Κοζάνη	Κυκλάδες	Τρίκαλα
	Σέρρες	Λέσβος	Γρεβενά
	Ξάνθη	Σάμος	Καβάλα
		Χίος	Κιλκίς
		Ηράκλειο	Πέλλα
		Λασιθί	Πιερία
		Ρέθυμνο	Φλώρινα
		Χανιά	Εύρος
		Μεσσηνία	Ροδόπη
		Αργολίδα	
		Φθιώτιδα	
		Αττική	
Σύνολο	12	21	18

Στη συνέχεια, η ανάλυση των εποχιακών μεταβολών ενισχύεται με την παρουσίαση διαγραμμάτων για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες με ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα νομού που ανήκει σε κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει ο θεματικός *Χάρτης 2*, όπου παρουσιάζονται χωροθετημένες οι τρεις παραπάνω κατηγορίες.

Κατηγορία 1: Ιωάννινα

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4, παρουσιάζεται ο Νομός Ιωαννίνων όπου είναι εμφανώς μεγαλύτερη η έκταση ΕΝΦ κατά τη χειμερινή περίοδο σε σχέση με την καλοκαιρινή με εξαίρεση στο χρονικό διάστημα των έξι αυτών ετών, να αποτελεί το έτος 2000, όπου τα πράγματα αντιστρέφονται. Γενικότερα, οι νομοί που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή, παρουσιάζονται να χωροθετούνται στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα και είναι κυρίως ορεινή.

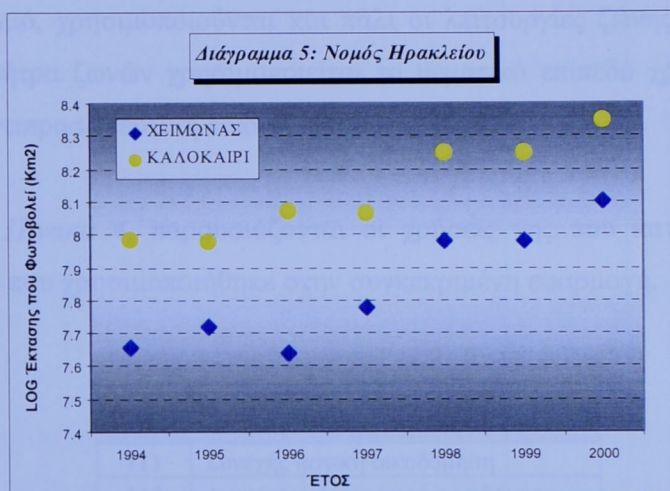


Κατηγορία 2: Ηράκλειο

Στο Νομό Ηρακλείου (Διάγραμμα 5) παρατηρείται όμοια αυξητική τάση της έκτασης που φωτοβολεί μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού με μεγαλύτερη φωτεινότητα να εμφανίζεται το καλοκαίρι σε όλα τα έτη. Είναι ο μόνος νομός όπου η διαφορά μεταξύ των δύο εποχών εντοπίζεται τόσο έντονα. Η σταδιακή και συνεχής αύξηση της έκτασης ΕΝΦ που εντοπίζεται την καλοκαιρινή περίοδο οφείλεται πιθανότατα στον τουρισμό που είναι σημαντικά ανεπτυγμένος στους νομούς αυτούς, χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι ο τουρισμός είναι ο μόνος ερμηνευτικός παράγοντας για το φαινόμενο αυτό. Οι νομοί που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή είναι στο σύνολο τους παραθαλάσσιοι και νησιωτικά συμπλέγματα.

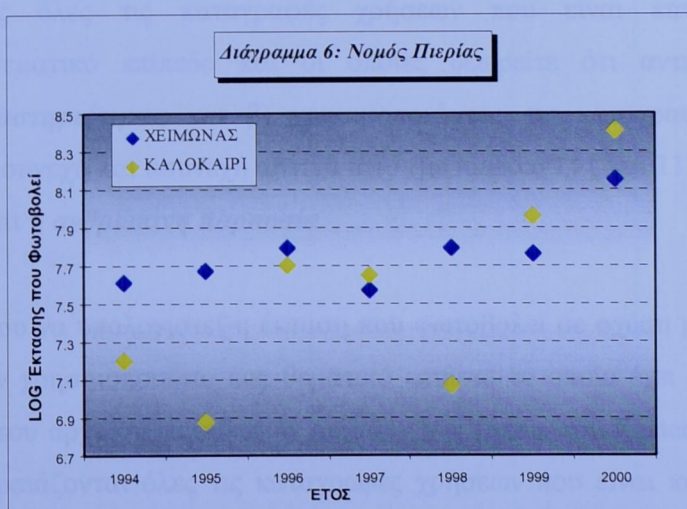
4.10 Μέγεθος ΕΝΦ ως προς τις Χρήσεις Γης

Ειδικότερα αποτελεί η ανάλυση των ΕΝΦ σε σχέση με τις χρήσεις γης που καταγράφονται στον ελληνικό χώρο. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει ήδη περιγραφεί, για τον υπολογισμό της έκτασης ΕΝΦ που ανταποκρίνεται σε χρήσεις γης που εντάσσονται



Κατηγορία 3: Πιερία

Στην κατηγορία αυτή επιλέχθηκε για οπτικοποίηση ο Νομός Πιερίας, όπου σύμφωνα με το *Διάγραμμα 6*, η φωτορύπανση δεν εμφανίζεται να είναι σταθερά μεγαλύτερη το χειμώνα από το καλοκαίρι και αντίστροφα. Οι νομοί της κατηγορίας αυτής είναι ακανόνιστα χωροθετημένη στον ελληνικό χώρο και δεν παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά.



4.10 Μελέτη ΕΝΦ ως προς τις Χρήσεις Γης

Ενδιαφέρον αποτελεί η ανάλυση των ΕΝΦ σε σχέση με τις χρήσεις γης που καταγράφονται στον ελληνικό χώρο. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει ήδη περιγραφεί, για τον υπολογισμό της έκτασης ΕΝΦ που αντιστοιχούν σε χρήσεις γης που εντοπίζονται

μέσα σε κάθε νομό, χρησιμοποιούνται και πάλι οι λειτουργίες ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση, ως μήτρα ζωνών χρησιμοποιείται το θεματικό επίπεδο χρήσεων γης και ως μήτρα τιμών η αντιπροσωπευτική εικόνα «χειμώνας 00-01».

Στον παρακάτω Πίνακα 4, παρουσιάζονται οι χρήσεις γης που καταγράφονται στο θεματικό επίπεδο που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

Πίνακας 4: ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	
CODE	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ
111	Συνεχής αστική οικοδόμηση
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
121	Βιομηχανικές ή Εμπορικές ζώνες
122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα περιοχή
123	Ζώνες λιμένων
124	Αεροδρόμια

Πηγή: Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα CORINE

Η ανάλυση των ΕΝΦ σε σχέση με τις χρήσεις γης έγινε σε δύο επίπεδα: α) χρησιμοποιώντας όλες τις καταγραφές χρήσεων που είναι καταχωρημένες στο συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο και οι οποίες θεωρείτε ότι αντιπροσωπεύουν τις **ανθρώπινες δραστηριότητες** και β) χρησιμοποιώντας τις καταγραφές χρήσεων που αντιστοιχούν σε συνεχή και ασυνεχή αστικό ιστό (με κωδικό 111 και 112) με τις οποίες θα αντιπροσωπεύεται η **ανθρώπινη παρουσία**.

Έτσι, προκειμένου να υπολογιστεί η έκταση που φωτοβολεί σε σχέση με τις χρήσεις γης, ως μήτρα ζωνών χρησιμοποιείται ένα θεματικό επίθετο το οποίο έχει προκύψει από την αναταξινόμηση του αρχικού ψηφιδωτού χρήσεων γης (μέσω του Raster Calculator), όπου με τιμή 1 παρουσιάζονται όλες τις καταγραφές χρήσεων που είναι καταχωρημένες στο συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο για τις **ανθρώπινες δραστηριότητες**. Τέλος, χρησιμοποιώντας και πάλι τις **Λειτουργίες Ζώνης** με μήτρα τιμών το θεματικό επίθετο που παρουσιάζει τους νομούς, υπολογίζεται με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω η ανθρώπινη παρουσία σε κάθε νομό. Ανάλογα εργαζόμαστε για την **ανθρώπινη παρουσία** όπου με την τιμή 1 παρουσιάζονται η συνεχής και διακεκομμένη αστική οικοδόμηση.

Το αποτέλεσμα είναι η φωτοβολία που παρουσιάζει ο κάθε νομός σύμφωνα με τις χρήσεις γης που καταγράφονται σε κάθε έναν από αυτούς στο θεματικό επίπεδο χρήσεων γης. Τα αποτελέσματα δίνονται στους Πίνακες 3.1 και 3.2, αντίστοιχα (βλέπε Παράρτημα).

4.11 Συσχέτιση Δορυφορικών Δεδομένων ΕΝΦ με Κοινωνικό - Οικονομικές Μεταβλητές

Με αφορμή αντίστοιχες εφαρμογές που έγιναν κατά καιρούς σε Ευρώπη και Αμερική (Elvidge et. al., 1997), γίνεται μία προσπάθεια συσχετισμού του μεγέθους των ΕΝΦ, που προέκυψαν από την επεξεργασία δεδομένων νυκτερινού φωτισμού DMSF, με διάφορες κοινωνικό-οικονομικές μεταβλητές που αφορούν στον ελληνικό χώρο. Πιο συγκεκριμένα, βασική επιδίωξη είναι ο έλεγχος της σχέσης των ΕΝΦ με τις κοινωνικό-οικονομικές μεταβλητές, αν δηλαδή τα μεγέθη αυτά συσχετίζονται μεταξύ τους και σε ποιο βαθμό. Σημειώνεται ακόμη, ότι η διεθνής βιβλιογραφία είναι πολύ πλούσια σε παρόμοιες εφαρμογές (Cinzano et. al., 1999, Elvinge et. al., 1997, Elvinge et. al., 1996, Sutton, 2003, MANTLE Project: Mapping Night-Time Light Emissions, 2000-2002) ενώ η αντίστοιχη ελληνική είναι αρκετά περιορισμένη (Χαλκιάς κ. άλ., 2002).

Είναι γεγονός, ότι τη χειμερινή περίοδο οι μετακινήσεις πληθυσμού είναι πολύ λιγότερες καθώς επίσης, την ίδια περίοδο, το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού της χώρας βρίσκεται στην μόνιμη κατοικία του. Το καλοκαίρι, όπως έχει ήδη ειπωθεί, λειτουργούν καταστήματα, ξενοδοχεία, σπίτια και δρόμοι τα οποία το χειμώνα εγκαταλείπονται ή υπολειπονται. Συνεπώς, η διαχρονική εξέταση των ΕΝΦ θα πραγματοποιηθεί τη χειμερινή περίοδο οπότε και η ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα στο χώρο είναι πιο σταθερές (το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού ζει στον τόπο της πρώτης του κατοικίας όπου και εργάζεται). Ο συσχετισμός των κοινωνικό-οικονομικών δεδομένων με τα δορυφορικά δεδομένα των ΕΝΦ πραγματοποιήθηκε για την περίοδο «χειμώνας 2000-2001», χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη αντιπροσωπευτική εικόνα περιόδου. Το μετρούμενο μέγεθος που αναλογεί στο μόνιμο φωτισμό είναι η έκταση που φωτοβολεί στις αντιπροσωπευτικές εικόνες.

Στη συνέχεια, ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή για το μέτρο συσχέτισης που επιλέχθηκε (συντελεστής συσχέτισης *Spearman*), η χρήση του οποίου θα καθορίσει εάν τα δεδομένα

παρουσιάζουν οποιοδήποτε συσχετισμό μεταξύ τους (θετική συσχέτιση, αρνητική συσχέτιση ή ασυσχέτιστα).

4.11.1 Συσχέτιση και Συντελεστής Spearman

Συσχέτιση (correlation) είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του βαθμού αλληλεξάρτησης των μεταβλητών. Ο συντελεστής συσχέτισης δείχνει τη διεύθυνση και το επίπεδο της συσχέτισης μεταξύ οποιονδήποτε δύο μεταβλητών και δεν υποδηλώνει συναρτησιακή ή αιτιώδη σχέση μεταξύ αυτών. Επιπλέον, αν οι μεταβλητές είναι δύο τότε έχουμε την **απλή συσχέτιση** ενώ αν είναι περισσότερες έχουμε την **πολλαπλή συσχέτιση**.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, ως στατιστικό μέγεθος συσχέτισης χρησιμοποιείται ο **Συντελεστής Spearman**. Ο **Συντελεστής Spearman R_s** , χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της μονοτονικής σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών. Παίρνει τιμές μεταξύ -1 και +1 και το διάστημα στο οποίο βρίσκεται η τιμή του συντελεστή υποδηλώνει το βαθμό συσχέτισης ως εξής: i) εάν η τιμή ισούται με +1/-1 τότε υπάρχει τέλεια θετική/αρνητική συσχέτιση ii) εάν η τιμή βρίσκεται στο διάστημα (-1, -0.5] τότε υπάρχει ισχυρή αρνητική συσχέτιση, iii) εάν η τιμή βρίσκεται στο διάστημα (-0.5, 0) τότε υπάρχει ασθενής αρνητική συσχέτιση, iv) εάν η τιμή του R_s είναι 0 τότε δεν εντοπίζεται συσχέτιση, v) το διάστημα (0, +0.5) υποδηλώνει ασθενούς φύσης συσχέτιση και τέλος στο διάστημα [0.5, 1) υπάρχει ισχυρή συσχέτιση.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, η κύρια υπόθεση (μηδενική υπόθεση, H_0) είναι ότι τα δεδομένα φωτός είναι στατιστικά ασυσχέτιστα με καθένα ένα από τα κοινωνικό-οικονομικά μεγέθη. Όταν η πειραματική τιμή ενός στατιστικού μεγέθους υποδεικνύει την αλήθεια εναλλακτικής υπόθεσης (H_a), τότε ως p-value (p-v) ορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης της συγκεκριμένης τιμής, αν η H_0 θεωρείται αληθής. Έτσι, η μηδενική υπόθεση H_0 , μπορεί να διατυπωθεί ως: $H_0 : R_s = 0$, ενώ η εναλλακτική $H_a : R_s \neq 0$. Ως **επίπεδο σημαντικότητας** (significance level) της υπόθεσης επιλέγεται το 0.05.

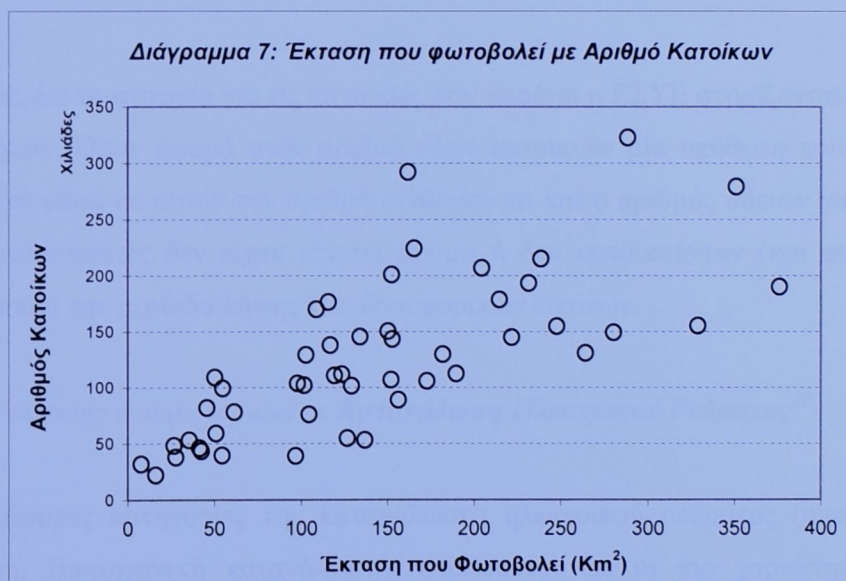
4.11.2 Αποτελέσματα Συσχέτισης

Η συσχέτιση των παραμέτρων μεταξύ τους έγινε με την **Spearman Rank Order Correlation** από όπου υπολογίστηκε και ο δείκτης της Correlation Coefficiency R και ο δείκτης στατιστικής σημαντικότητας p-value. Παρακάτω, ακολουθούν τα αποτελέσματα των

συσχετίσεων για κάθε ένα από τα κοινωνικό-οικονομικά μεγέθη που εξετάζονται. Πιο αναλυτικά⁹:

- Συσχέτιση έκτασης που φωτοβολεί με **Αριθμό Κατοίκων**

Η σχέση μεταξύ έκτασης που φωτοβολεί και Πληθυσμού εξετάζεται από το μέγεθος **Αριθμός Κατοίκων** (Διάγραμμα 7). Ο συντελεστής *Spearman* υπολογίστηκε σε $R_s = 0.8219$ με $p-v = 1.4 \times 10^{-13}$. Οι τιμές των R_s και $p-v$ υποδεικνύουν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

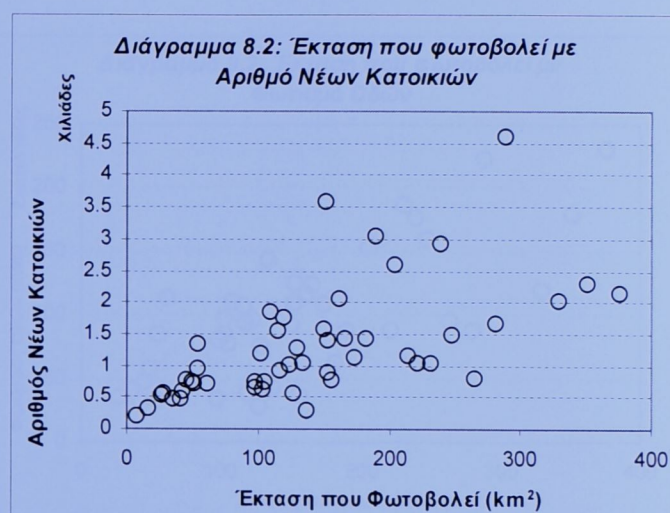
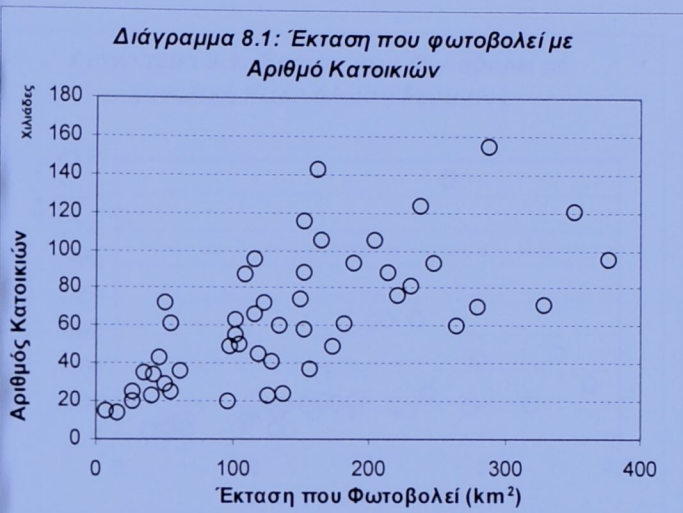


Σε αυτό το σημείο της εφαρμογής ενδιαφέρον παρουσιάζει ο *Χάρτης 3* (βλέπε παράρτημα), όπου για κάθε νομό δίνεται το μέγεθος του πληθυσμού καθώς και το μέγεθος των ΕΝΦ που εκπέμπουν.

- Συσχέτιση έκτασης που φωτοβολεί με **Αριθμό Κατοικιών και Νέων Κατοικιών**

Η συσχέτιση του **Αριθμού Κατοικιών** και **Αριθμού Νέων Κατοικιών** με την έκταση που φωτοβολεί, παρουσιάζουν $R_s = + 0.7518$, $p-v = 2 \times 10^{-10}$ και $R_s = + 0.7605$ $p-v = 9.5 \times 10^{-11}$ αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα δείχνουν μεγαλύτερη ισχυρή θετική συσχέτιση για τον αριθμό νέων κατοικιών σε σχέση με τον αριθμό κατοικιών.

⁹ Στα παρακάτω διαγράμματα δεν συμπεριλαμβάνονται οι δύο ακραίες παρατηρήσεις (Νομοί Αθήνας και Θεσσαλονίκης) προκειμένου να δειχθεί η σχέση μεταξύ των εκάστοτε μεταβλητών.



Σημειώνεται, ότι τα στοιχεία για τις κατοικίες που παρέχει η ΕΣΥΕ στηρίζονται στις άδειες που εκδόθηκαν. Όσον αφορά στον αριθμό νέων κατοικιών μία υπόθεση που μπορεί να γίνει είναι ότι μέσα σε αυτόν τον αριθμό εντάσσονται και ο αριθμός αδειών για κατοικίες οι οποίες ενδεχομένως δεν είχαν κτιστεί ακόμη ή δεν κατοικούνταν (και συνεπώς δεν φωτοβολούσαν) την περίοδο λήψης των δορυφορικών εικόνων.

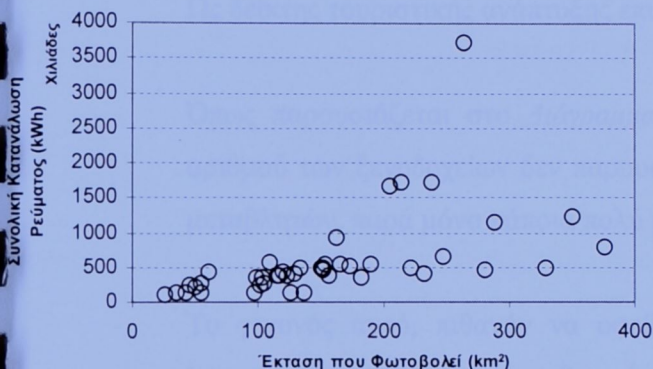
- Συσχέτιση έκτασης που φωτοβολεί με **Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος**¹⁰

Από τις διάφορες κατηγορίες της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος (όπως Οικιακή κατανάλωση, Βιομηχανική κατανάλωση), επιλέγονται ως οι πιο χαρακτηριστικές, ο Φωτισμός Οδών και η Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος (Διαγράμματα 9.1 και 9.2).

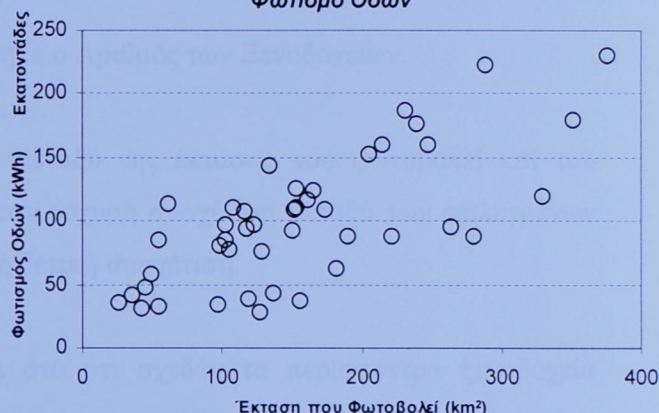
Οι τιμές των R και p-value που υπολογίστηκαν δείχνουν και εδώ την ύπαρξη ισχυρής θετικής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών (Πίνακας 6).

¹⁰Ελλειψη στοιχείων για τους Νομούς: Γρεβενών, Ευρυτανίας, Θεσπρωτίας, Λευκάδος και Πρεβέζης και επομένως οι νομοί αυτοί δεν συμπεριλαμβάνονται στα Διαγράμματα 9.1 και 9.2.

Διάγραμμα 9.1: Έκταση που Φωτοβολεί με Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος



Διάγραμμα 9.2: Έκταση που φωτοβολεί με Φωτισμό Οδών

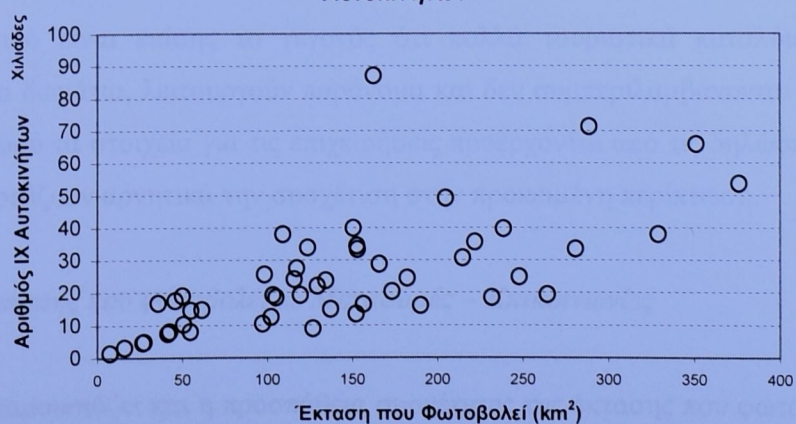


Θα περίμενε κανείς να υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ της έκτασης που φωτοβολεί και της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για ευνόητους λόγους. Όμως, ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό του ρεύματος καταναλώνεται από συσκευές που δεν "φωτοβολούν", όπως για παράδειγμα είναι τα κλιματιστικά (κυρίως την καλοκαιρινή περίοδο) και τα ηλεκτρικά σώματα (κυρίως τη χειμερινή περίοδο), οικιακές συσκευές κ.ά.

- Συσχέτιση έκτασης που φωτοβολεί με τα **Επιβατικά Αυτοκίνητα ΙΧ** σε κυκλοφορία

Για να ελεγχθεί η σχέση μεταξύ φωτός και του τομέα των μεταφορών, χρησιμοποιείται ως δείκτης ο Αριθμός Επιβατικών ΙΧ Αυτοκινήτων σε κυκλοφορία. Οι τιμές που υπολογίστηκαν, $R_s = +0.7731$ και $p-v = 3 \times 10^{-11}$, έδειξαν ισχυρή θετική συσχέτιση.

Διάγραμμα 10: Έκταση που φωτοβολεί με Αριθμό ΙΧ Αυτοκινήτων

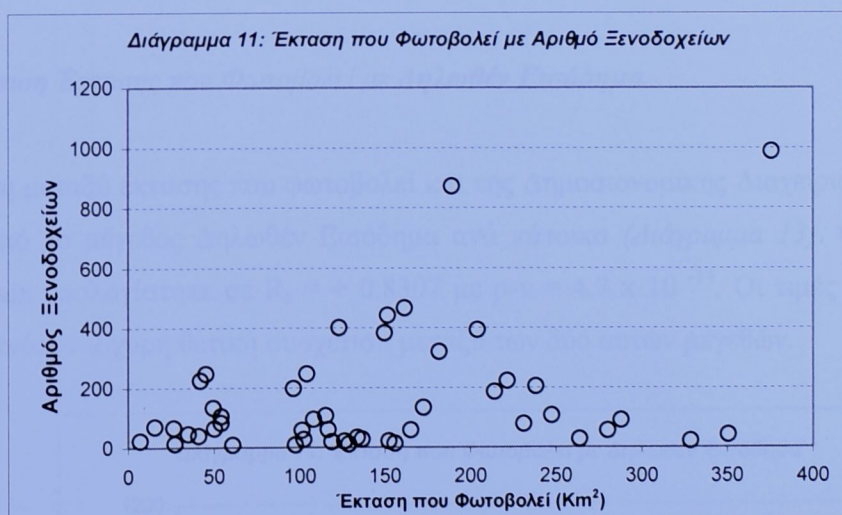


- Συσχέτιση έκτασης που φωτοβολεί με τον **Αριθμό Ξενοδοχείων**

Ως δείκτης τουριστικής ανάπτυξης επιλέχθηκε ο Αριθμός των Ξενοδοχείων.

Όπως παρουσιάζεται στο *Διάγραμμα 11*, μεταξύ της έκτασης που φωτοβολεί και του αριθμού των ξενοδοχείων δεν παρουσιάζεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των επιλεγμένων μεταβλητών, παρά μόνο κάποια πολύ μικρή θετική συσχέτιση.

Το γεγονός αυτό, πιθανόν να οφείλεται στο ότι σχεδόν τα περισσότερα ξενοδοχεία λειτουργούν μόνο κατά την θερινή περίοδο (και συνεπώς η αντιπροσωπευτική εικόνα "χειμώνας 00-01" δεν περιέχει τα φώτα αυτά) ενώ την χειμερινή περίοδο παραμένουν κλειστά ή υπολειτουργούν, με εξαίρεση τα ξενοδοχειακά καταλύματα στα μεγάλα αστικά κέντρα, όπως Αθήνα, Θεσσαλονίκη, κ.α.

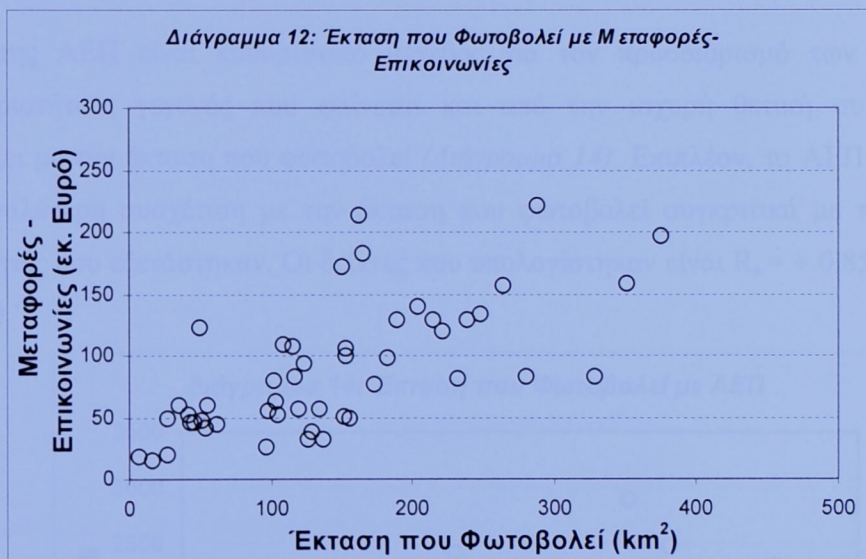


Χαρακτηριστικό είναι επίσης το γεγονός ότι πολλά τουριστικά καταλύματα, κυρίως ενοικιαζόμενα δωμάτια, λειτουργούν παράνομα και δεν συμπεριλαμβάνονται στα στοιχεία της ΕΣΥΕ, αφού τα στοιχεία για τις επιχειρήσεις προέρχονται από τις δηλώσεις ΦΠΑ, και συνεπώς επηρεάζουν αρνητικά την συσχέτιση στην προκειμένη περίπτωση.

- Συσχέτιση έκτασης που φωτοβολεί με **Μεταφορές – Επικοινωνίες**

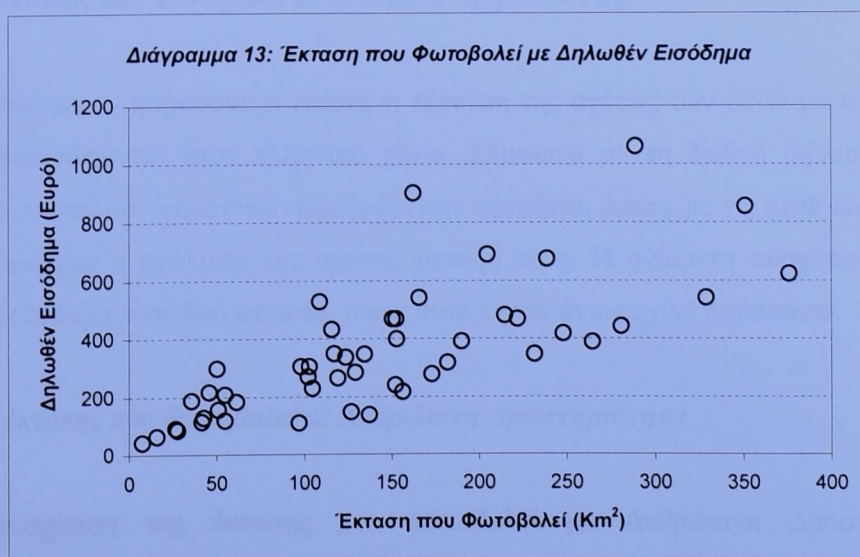
Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η προσπάθεια συσχέτισης της έκτασης που φωτοβολεί με τον δείκτη Μεταφορές - Επικοινωνίες. Η συσχέτιση μεταξύ έκτασης που φωτοβολεί και του

δείκτη Μεταφορές - Επικοινωνίες εντοπίστηκε να είναι ισχυρή θετική, με τιμές R_s και p -νίσιες με $+0.7441$ και 4.0×10^{-10} , αντίστοιχα.



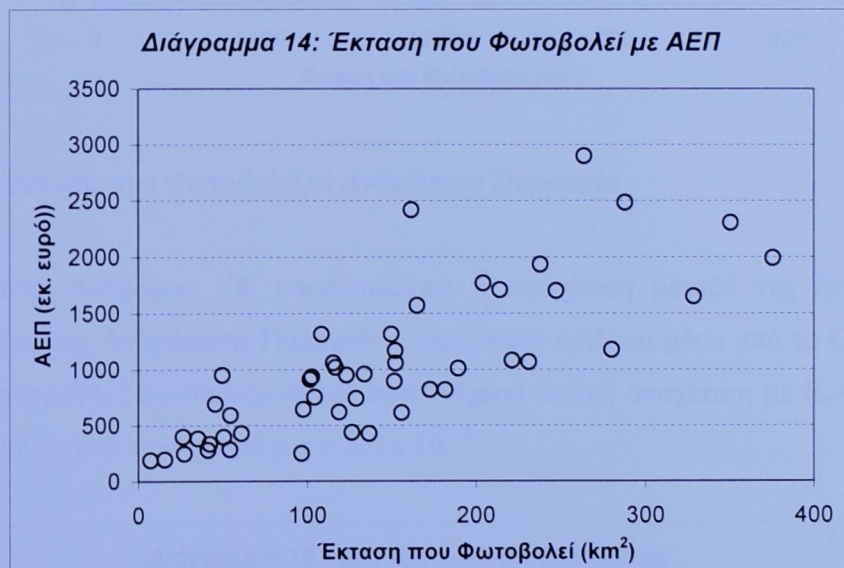
- Συσχέτιση Έκτασης που Φωτοβολεί με Δηλωθέν Εισόδημα

Η σχέση μεταξύ έκτασης που φωτοβολεί και της Δημοσιονομικής Διαχείρισης, εξετάζεται μέσα από το μέγεθος Δηλωθέν Εισόδημα ανά κάτοικο (Διάγραμμα 13). Ο συντελεστής *Spearman* υπολογίστηκε σε $R_s = +0.8307$ με p -νίσιες με 4.7×10^{-14} . Οι τιμές των R_s και p -νίσιες υποδεικνύουν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών.



- *Συσχέτιση Έκτασης που Φωτοβολεί με το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ)*

Ο δείκτης ΑΕΠ είναι καθοριστικό μέγεθος για τον προσδιορισμό των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, γεγονός που φαίνεται και από την ισχυρή θετική συσχέτιση που εμφανίζει με την έκταση που φωτοβολεί (Διάγραμμα 14). Επιπλέον, το ΑΕΠ παρουσιάζει την μεγαλύτερη συσχέτιση με την έκταση που φωτοβολεί συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταβλητές που εξετάστηκαν. Οι δείκτες που υπολογίστηκαν είναι $R_s = + 0.8559$ και $p-v = 1.1 \times 10^{-15}$.

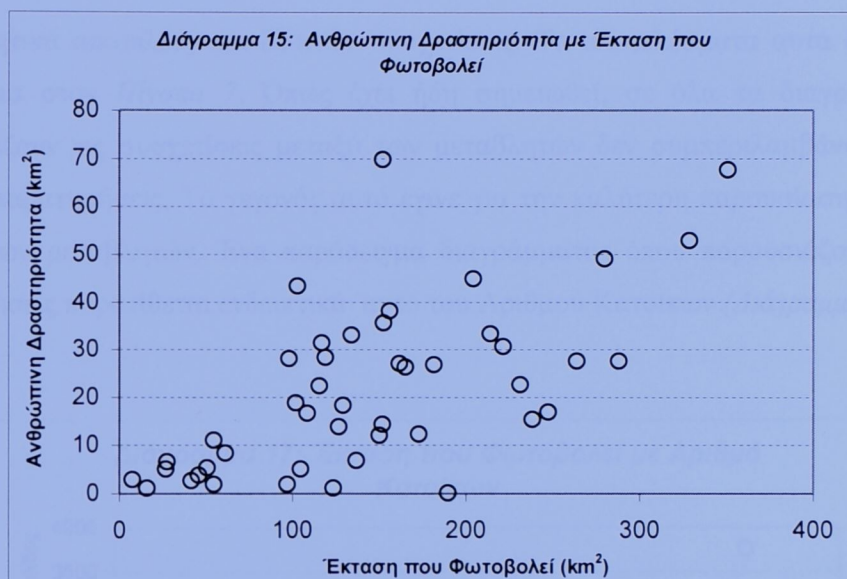


- *Συσχέτιση Έκτασης που Φωτοβολεί με Δεδομένα Χρήσεων Γης*

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η εξέταση της σχέσης των ΕΝΦ με τις Χρήσεις Γης που καταγράφονται στον ελληνικό χώρο. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία η χρήσεις γης αποτελούν σημαντικό παράγοντα που σχετίζεται άμεσα με τις ΕΝΦ και συνεπώς αποτελεί ενδιαφέρον η ανάλυση της σχέσης μεταξύ τους. Η ανάλυση συσχέτισης με τις χρήσεις γης εξετάζεται σε δύο επίπεδα, όπως αυτά έχουν αναπτυχθεί παραπάνω:

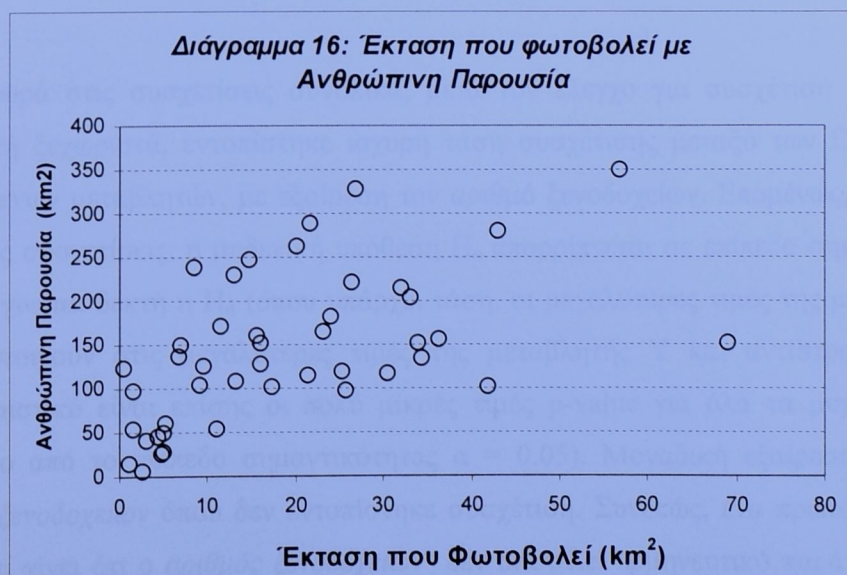
- *Συσχέτιση έκτασης που Φωτοβολεί με Ανθρώπινη Δραστηριότητα*

Από τη συσχέτιση της έκτασης που φωτοβολεί με Ανθρώπινη Δραστηριότητα παρουσιάζεται μία πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση με $R_s = + 0.6619$ και ταυτοχρόνως ένα πολύ μικρό $p-v = 5.5 \times 10^{-7}$.



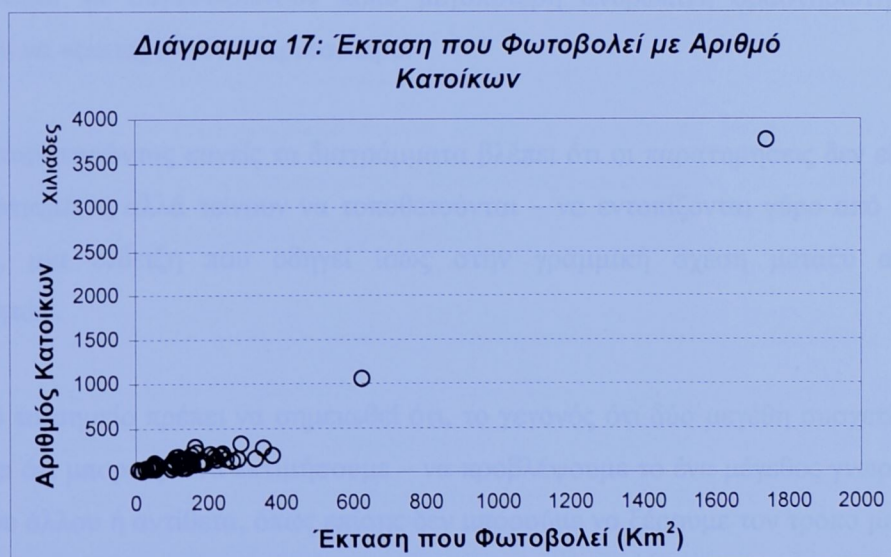
- Συσχέτιση έκτασης που Φωτοβολεί με Ανθρώπινη Παρουσία

Στο παρακάτω *Διάγραμμα 16*, παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της έκτασης που φωτοβολεί και της Ανθρώπινης Παρουσίας, όπως αυτή ορίζεται μέσα από το Corine στην παρούσα εφαρμογή. Παρουσιάζεται μία πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση με $R_s = + 0.6619$ και ταυτοχρόνως ένα πολύ μικρό $p-v = 5.5 \times 10^{-7}$.



Σημειώνεται ακόμη, ότι όλες οι παραπάνω συσχετίσεις εξετάστηκαν χωρίς τις δύο ακραίες παρατηρήσεις που είναι οι νομοί Αττικής και Θεσσαλονίκης, όπου και βρίσκονται τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας. Οι νέες αυτές συσχετίσεις έδωσαν εξίσου

ικανοποιητικά αποτελέσματα δεικτών συσχετίσεις. Τα αποτελέσματα αυτά δίνονται στο παράρτημα στον Πίνακα 7. Όπως έχει ήδη σημειωθεί, σε όλα τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τις συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών δεν συμπεριλαμβάνονται οι δύο ακραίες παρατηρήσεις. Το γεγονός αυτό έγινε για την καλύτερη παρουσίαση της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Ένα παράδειγμα διαγράμματος όπου παρουσιάζονται όλες οι παρατηρήσεις παρατίθεται ενδεικτικά αυτό του Αριθμού Κατοίκων (Διάγραμμα 17).



Όσον αφορά στις συσχετίσεις συνολικά, μετά τον έλεγχο για συσχέτιση με κάθε μία μεταβλητή ξεχωριστά, εντοπίστηκε ισχυρή τάση συσχέτισης μεταξύ των ΕΝΦ και των εξεταζόμενων μεταβλητών, με εξαίρεση τον αριθμό ξενοδοχείων. Επομένως, για όλες τις υπόλοιπες συσχετίσεις, η μηδενική υπόθεση H_0 απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 και γίνεται δεκτή η H_a (όπου υπάρχει τάση, οι μεγαλύτερες τιμές της μεταβλητής X να αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες τιμές της μεταβλητής Y και αντίστροφα). Γενικό χαρακτηριστικό είναι επίσης οι πολύ μικρές τιμές p -value για όλα τα μεγέθη (αρκετά μικρότερο από το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$). Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο αριθμός ξενοδοχείων όπου δεν εντοπίστηκε συσχέτιση. Συνεπώς, ένα πρώτο σχόλιο που μπορεί να γίνει ότι ο αριθμός ξενοδοχείων δεν αποτελεί ερμηνευτικό παράγοντα για τις ΕΝΦ.

Συμπληρωματικά, μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι για την ανομοιογένεια της κατανομής του πληθυσμού και συνεπώς των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην Ελλάδα,

γεγονός που φαίνεται έντονα σε όλα τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, σε όλα σχεδόν τα διαγράμματα παρατηρείται Θεσσαλονίκη και Αθήνα να διαφοροποιούνται κατά πολύ από τους υπόλοιπους νομούς και θα μπορούσε ίσως να υποστηριχθεί ότι ακολουθούν διαφορετικό μοντέλο. Το φαινόμενο αυτό, είναι εύλογο γιατί στον νομό Αττικής είναι συγκεντρωμένο σχεδόν το 50% του ελληνικού πληθυσμού. Επίσης, στους δύο αυτούς νομούς, εντοπίζονται οι μεγαλύτερες και καλύτερες υποδομές συγκριτικά πάντα με τους υπόλοιπους νομούς στην Ελλάδα. Φυσικό λοιπόν είναι οι δύο αυτοί νομοί να συγκεντρώνουν πολύ μεγαλύτερη ανθρώπινη δραστηριότητα και εν συνεχεία να «φωτοβολούν» περισσότερο.

Τέλος, παρατηρώντας κανείς τα διαγράμματα βλέπει ότι οι παρατηρήσεις δεν είναι τυχαία διασκορπισμένες αλλά τείνουν να τοποθετούνται – να εντοπίζονται γύρο από μία ευθεία γραμμή, μία ένδειξη που οδηγεί ίσως στην γραμμική σχέση μεταξύ αυτών των μεταβλητών.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι, το γεγονός ότι δύο μεγέθη συσχετίζονται δεν σημαίνει ότι μπορούμε να εκτιμήσουμε – να προβλέψουμε το ένα μέγεθος γνωρίζοντας τις τιμές του άλλου ή αντίθετα, όπως επίσης δεν μπορούμε να ξέρουμε τον τρόπο με τον οποίο τα μεγέθη αυτά συσχετίζονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτό που μπορεί να ειπωθεί, είναι ότι η μελέτη της μεταβολής του ενός μεγέθους δίνει κάποιες ενδείξεις για την αντίστοιχη τάση μεταβολής του άλλου (για την θετική μεταβολή του άλλου, στην προκειμένη περίπτωση). Συνεπώς, η εκτενέστερη ανάλυση μπορεί να αποδείξει τις πραγματικές σχέσεις μεταξύ μεταβλητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σήμερα, στην επιστημονική κοινότητα είναι πλέον γνωστό ότι ο τεχνητός νυκτερινός φωτισμός, ένα σχετικά νέο είδος περιβαλλοντικής ρύπανσης, μπορεί να θεωρηθεί ως ένας καθοριστικός παράγοντας συγκέντρωσης ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Cinzano et. al., 1999, Elvinge et. al., 1997, Elvinge et. al., 1996, MANTLE Project, 2000-2002). Σύμφωνα με τους Elvidge, Hobson και άλλους, έχοντας την δυνατότητα συχνής παγκόσμιας παρακολούθησης των ευρέως διαδεδομένων και κατηγορηματικά ανθρωπίνου χαρακτήρα δραστηριοτήτων (οι οποίες ποικίλουν σε ένταση), μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η κατανόηση του εύρους των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων καθώς και ο σχεδιασμός των επιδράσεων του στο περιβάλλον (Mesev, 2003).

Βασιζόμενοι λοιπόν σε αυτό το γεγονός, στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε αρχικά η εξέλιξη του φαινομένου της φωτορύπανσης στον ελληνικό χώρο την περίοδο 1994-2001 με την επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών και κοινωνικό-οικονομικών δεδομένων. Εξετάστηκε, τόσο η διαχρονική μεταβολή του φαινομένου αυτού όσο και η διαεποχιακή. Στη συνέχεια, έγινε μία προσπάθεια συσχέτισης της φωτορύπανσης με μία σειρά από κοινωνικό-οικονομικούς δείκτες που επιλέχθηκαν, προκειμένου να εξεταστεί αν υπάρχει σχέση ανάμεσα σε αυτά τα μεγέθη και ποια είναι αυτή.

Τα γενικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν από την διαχρονική εξέταση της φωτορύπανσης στην Ελλάδα, συγκεκριμένα την περίοδο 1995-2001, είναι η αύξηση της αυτό το διάστημα σχεδόν σε όλη την χώρα. Πιο συγκεκριμένα, μεγάλη αύξηση παρατηρείται κυρίως στις περιαστικές ζώνες λόγω αστικής εξάπλωσης αλλά και στην παράκτια ζώνη. Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια αυξάνεται όλο και περισσότερο η κατασκευαστική δραστηριότητα στον ελληνικό χώρο (δεύτερες κατοικίες σε επαρχία και νησιά, εθνικές οδοί και άλλα μεγάλα κατασκευαστικά έργα) και συνεπώς αναταξινομείται η ανθρώπινη δραστηριότητα και παρουσία στο χώρο.

Στη συνέχεια, εξετάστηκε η εποχιακή μεταβολή της φωτορύπανσης όπου και παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά ανάμεσα στους νομούς. Για καλύτερη ανάλυση έγινε ομαδοποίηση των 51 νομών της χώρας σε τρεις κατηγορίες, σύμφωνα με τις αλλαγές

μεταξύ χειμώνα - καλοκαιριού που παρουσιάζουν στις ΕΝΦ. Σημειώνεται, ότι η Ελλάδα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μελέτης των εποχιακών μεταβολών των ΕΝΦ λόγω της σημαντικής αύξησης στον πληθυσμό της την καλοκαιρινή περίοδο που οφείλεται στον τουρισμό. Οι περισσότεροι νομοί που παρουσιάζουν υψηλότερες καταγραφές ΕΝΦ το καλοκαίρι συγκριτικά με το χειμώνα είναι στο σύνολο τους παραθαλάσσιοι και νησιωτικά συμπλέγματα, ενώ αντίθετα όσοι νομοί παρουσιάζουν υψηλότερες καταγραφές ΕΝΦ το χειμώνα είναι κυρίως ορεινοί.

Όσον αφορά στις συσχετίσεις των ΕΝΦ με κοινωνικό-οικονομικούς παράγοντες, το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε μετά τη στατιστική ανάλυση για τη συσχέτιση των ΕΝΦ με τους κοινωνικό-οικονομικούς παράγοντες είναι ο εντοπισμός τάσης των εκάστοτε δύο παραμέτρων να αυξάνονται παράλληλα. Συνεπώς, οι συντελεστές συσχέτισης Spearman που υπολογίστηκαν έδειξαν ότι υπάρχει τάση ισχυρής θετικής συσχέτισης μεταξύ των ΕΝΦ και των κοινωνικό-οικονομικών παραγόντων που εξετάζονται εδώ ($p < 0.05$). Πιο αναλυτικά, οι μεγαλύτερες συσχετίσεις των ΕΝΦ εντοπίστηκαν με τον Πληθυσμό, το ΑΕΠ, το Δηλωθέν Εισόδημα και τη Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος. Οι μεγάλες συσχετίσεις που εντοπίστηκαν αποδεικνύουν εν μέρη αυτό που αναφέρεται εκτενώς στην σχετική βιβλιογραφία, τη σχέση δηλαδή μεταξύ των ΕΝΦ και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι η αρχική μελέτη έδειξε μία σημαντική συσχέτιση μεταξύ των ΕΝΦ και των κοινωνικό-οικονομικών δεικτών στον Ελληνικό χώρο, γεγονός που αποτελεί έναυσμα για μία εκτενέστερη και εις βάθος μελέτη του φαινομένου αυτού. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δείχνουν ότι τα δορυφορικά δεδομένα που καταγράφουν τις ΕΝΦ των πόλεων αποτελούν μία νέα σημαντική πηγή στοιχείων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εργαλείο για μελλοντικές εκτιμήσεις μεγεθών όπως πληθυσμιακή πυκνότητα, κατανάλωση ενέργειας, αστικοποίηση, χρήσεις γης, και άλλα. Με αυτή τη μέθοδο, μπορούν να εκτιμηθούν εύκολα και με σχετικά μικρό κόστος, μεγέθη για τα οποία δεν δίνεται η δυνατότητα λεπτομερούς (είτε ετήσιας είτε εποχιακής) καταγραφής τους και μάλιστα για περιοχές που είναι δυσπρόσιτες ή και επικίνδυνες για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Σημειώνεται ότι οι όποιες εκτιμήσεις μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων είναι δυνατές όταν διατηρούνται τα ίδια καταναλωτικά πρότυπα και η ίδια ποιότητα ζωής στις υπό εξέταση περιοχές.

Όσον αφορά στα δεδομένα, λόγω μη ύπαρξης δεδομένων μεγαλύτερης ανάλυσης, η ανάλυση στην εργασία αυτή περιορίζεται σε επίπεδο νομών (NUTS 3). Εάν στο μέλλον δοθεί η δυνατότητα μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης στις καταγραφές νυκτερινού φωτισμού, δηλαδή δυνατότητα αναπαράστασης της γήινης επιφάνειας σε μικρότερο από 500 x 500 μεγέθους εικονοστοιχείο, θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη του νυκτερινού φωτισμού και της αντίστοιχης καταναλωτικής συμπεριφοράς σε μικρότερο επίπεδο αναφοράς από τους νομούς όπως είναι οι πόλεις, οι δήμοι και κοινότητες (NUTS 1, NUTS 2).

Αξιοσημείωτο αναφοράς είναι το γεγονός ότι τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας ήταν σχετικά χαμηλής ποιότητας – προβληματικές εικόνες στην πλειοψηφία τους (με νέφη, θορύβους καταγραφής, κορεσμένα εικονοστοιχεία). Από τις εικόνες αυτές τελικά πολύ λίγες ήταν κατάλληλες οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Σημειώνεται ακόμη ότι αυτού του είδους τα δορυφορικά δεδομένα αν και είναι μια σχετικά φθηνή και άμεση πηγή δεδομένων, για την αξιοποίησή τους απαιτείται σημαντική προ-επεξεργασία και συνδυασμός αρκετών εικόνων.

Ένας περιορισμός που προκύπτει επίσης στην εφαρμογή αυτή, είναι το γεγονός ότι τα δεδομένα που παρέχει η ΕΣΥΕ είναι ετήσια. Θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη της συσχέτισης μεταξύ εποχιακών μεταβολών δεδομένων ΕΝΦ και των αντιστοίχων εποχιακών μεγεθών των κοινωνικό-οικονομικών δεδομένων. Γενικά για τον ελληνικό χώρο στον οποίο παρουσιάζονται σημαντικές εποχιακές χωρικές διαφοροποιήσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες, η μελέτη τους μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση αυτών των διαφοροποιήσεων και στην διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Μία ενδιαφέρουσα μελλοντική προοπτική είναι η μελέτη της σχέσης των ΕΝΦ με τις ανθρώπινες δραστηριότητες μέσα από ένα μοντέλο παλινδρόμησης, εξετάζοντας κάθε φορά ταυτόχρονα την συμπεριφορά δύο μεγεθών. Επίσης, μπορεί να εξεταστεί η σχέση αυτή μέσα από μια πολλαπλή παλινδρόμηση για να διερευνηθεί η ταυτόχρονη επίδραση όλων των μεταβλητών που επηρεάζουν την φωτορύπανση. Τα αποτελέσματα από μία τέτοια ανάλυση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές προβλέψεις - εκτίμησης πληθυσμού και άλλων μεγεθών που είναι δύσκολο να καταγραφούν για σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα αλλά και οικονομικά ασύμφορο.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος των ΣΓΠ στην συνδυαστική αξιοποίηση πληθώρας δεδομένων (όπως εικόνες Τηλεπισκόπησης, χαρτογραφικά δεδομένα, στατιστικά στοιχεία κ.λ.π.) και στην διενέργεια λειτουργιών χωρικής ανάλυσης.

Στην εργασία αυτή φαίνεται καθαρά ότι τα δεδομένα νυχτερινού φωτισμού θα πρέπει να αξιοποιηθούν μελλοντικά τόσο στην εξέταση του φαινομένου της φωτορύπανσης, φαινόμενο που εντείνεται διαρκώς και στον ελληνικό χώρο, όσο και στην αποτίμηση άλλων συσχετιζόμενων με αυτά γεωγραφικών μεταβλητών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΤΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1Α: ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΕΙ (m²)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΝΟΜΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 94-95	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 95	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 95-96	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 96	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 96-97	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 97
1	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	93250000	23250000	89250000	18000000	81000000	62250000
11	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	65750000	17250000	68750000	20500000	94500000	75750000
12	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	45750000	8500000	37500000	3750000	44000000	30250000
31	ΑΡΤΗΣ	27500000	16000000	26750000	9750000	20000000	38000000
0	ΑΤΤΙΚΗΣ	1466500000	906750000	1356750000	930750000	1653250000	1525500000
13	ΑΧΑΪΑΣ	118000000	65500000	138250000	52000000	109500000	111250000
3	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	116750000	31000000	105000000	10250000	132000000	133250000
51	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	11250000	2500000	9500000	0	3000000	4000000
52	ΔΡΑΜΑΣ	62500000	14750000	71250000	20250000	78500000	84750000
81	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	122000000	95000000	140000000	120000000	147000000	233500000
71	ΕΒΡΟΥ	82000000	32000000	94250000	23500000	90000000	67000000
4	ΕΥΒΟΙΑΣ	128250000	15750000	121750000	19500000	120500000	150250000
5	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	6500000	0	7000000	0	0	4750000
21	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	15500000	40250000	16000000	7000000	11000000	52250000
14	ΗΛΕΙΑΣ	92500000	13250000	82500000	13000000	76250000	90500000
53	ΗΜΑΘΙΑΣ	82500000	0	127250000	17250000	98000000	70750000
91	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	45250000	96750000	52000000	94750000	43500000	117500000
32	ΘΕΣΣΠΡΩΤΙΑΣ	14000000	5750000	16250000	2250000	18250000	15000000
54	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	506750000	213250000	550000000	215750000	523250000	493250000
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	70000000	34750000	71500000	46750000	86000000	50000000
55	ΚΑΒΑΛΑΣ	87000000	15000000	105000000	9500000	62750000	78500000
41	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	68500000	8000000	74500000	19500000	75500000	65750000
56	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	25750000	0	46500000	0	46500000	43250000
22	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	27750000	27500000	29750000	31250000	11250000	51000000
23	ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	16500000	6000000	7250000	0	11750000	6500000
57	ΚΙΛΙΚΙΣ	35250000	6500000	42250000	0	29750000	32250000
58	ΚΟΖΑΝΗΣ	72750000	18000000	72500000	11500000	70750000	90000000
15	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	144750000	45250000	142500000	26250000	131250000	177250000
82	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	60000000	66250000	45750000	64250000	96750000	93750000
16	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	21750000	3500000	13000000	0	24250000	19250000
42	ΛΑΡΙΣΗΣ	134500000	275750000	142750000	65750000	163500000	143250000
92	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	3500000	16500000	55500000	13500000	46000000	53000000
83	ΛΕΣΒΟΥ	14750000	9500000	11750000	4250000	29250000	7000000
24	ΛΕΥΚΑΔΟΣ	750000	0	1750000	0	0	3750000
43	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	127500000	50250000	114750000	58250000	137000000	105000000
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	61000000	31000000	60500000	25500000	87250000	54250000
72	ΞΑΝΘΗΣ	57750000	13500000	77500000	22750000	80250000	63000000
59	ΠΕΛΛΗΣ	63000000	0	63250000	0	74500000	61250000
61	ΠΙΕΡΙΑΣ	41000000	15750000	47250000	7500000	61500000	50000000
34	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	18500000	12500000	17750000	0	9500000	14500000
93	ΡΕΘΥΜΝΗΣ	11500000	18750000	4250000	24250000	3750000	22500000
73	ΡΟΔΟΠΗΣ	36500000	750000	37500000	13250000	40500000	30500000
84	ΣΑΜΟΥ	9500000	6750000	2000000	0	5250000	21000000
62	ΣΕΡΡΩΝ	88500000	23500000	117250000	21250000	79500000	96750000
44	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	80500000	47250000	76500000	29250000	90500000	85250000
6	ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	76500000	28750000	83750000	43500000	96750000	82750000
63	ΦΛΩΡΙΝΗΣ	21500000	0	9500000	0	8500000	14000000
7	ΦΩΚΙΔΟΣ	10250000	0	17500000	0	21250000	14500000
64	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	20500000	6250000	26250000	0	14500000	28500000
94	ΧΑΝΙΩΝ	39250000	43750000	59750000	51500000	56750000	80250000
85	ΧΙΟΥ	17750000	0	0	4500000	19250000	2500000
	ΕΛΛΑΔΑ	4667000000	2428750000	4787500000	2172250000	5115250000	5100750000

Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Πρόγραμμα MANTLE

ΠΙΝΑΚΑΣ 1Β: ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΕΙ (m²) (συνέχεια)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΝΟΜΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 97-98	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 98	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 98-99	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 99	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 99-00	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 00	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 00-01	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 01
1	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	41500000	45250000	63750000	50500000	99500000	117500000	125250000	134000000
11	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	41250000	160500000	65500000	143000000	118000000	166250000	137000000	208750000
12	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	13750000	41750000	47750000	83250000	59500000	91250000	105500000	96000000
31	ΑΡΤΗΣ	23000000	25000000	38000000	16500000	30250000	39250000	54000000	60500000
0	ΑΤΤΙΚΗΣ	1285500000	1613250000	1451000000	1619000000	1722000000	1902250000	1699500000	2048250000
13	ΑΧΑΪΑΣ	101750000	143000000	158500000	199000000	138250000	217000000	206000000	289250000
3	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	86500000	121750000	146000000	192250000	165500000	243250000	199250000	278250000
51	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	0	3000000	6250000	0	15000000	0	15500000	11500000
52	ΔΡΑΜΑΣ	41250000	41750000	90250000	46000000	93250000	78000000	117000000	112750000
81	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	112500000	181000000	103750000	336250000	155250000	400750000	226750000	334500000
71	ΕΒΡΟΥ	50750000	73250000	55250000	58250000	79000000	151000000	153750000	125250000
4	ΕΥΒΟΙΑΣ	54500000	188250000	115500000	192250000	161250000	270250000	255500000	320250000
5	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	0	0	2250000	750000	7500000	2250000	15500000	7000000
21	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	9250000	63500000	31500000	56000000	36000000	89500000	70250000	128250000
14	ΗΛΕΙΑΣ	35500000	75500000	85750000	129250000	107750000	139000000	181750000	198750000
53	ΗΜΑΘΙΑΣ	57250000	44500000	92500000	32000000	115000000	56500000	198000000	237250000
91	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	59750000	116250000	95500000	178250000	95000000	176750000	125500000	221500000
32	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	12000000	14250000	20000000	3250000	18250000	8250000	25500000	33000000
54	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	408000000	333000000	498750000	340500000	616500000	493750000	741250000	826500000
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	66750000	62250000	93000000	38500000	90500000	60500000	114000000	124500000
55	ΚΑΒΑΛΑΣ	28250000	51250000	95500000	45000000	162500000	164500000	214250000	270000000
41	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	48000000	85000000	57000000	40500000	81250000	66750000	111250000	111000000
56	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	38250000	20000000	42750000	10000000	77250000	14500000	71000000	99000000
22	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	24750000	52000000	42750000	15500000	38250000	20000000	49000000	146000000
23	ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	4000000	12000000	12000000	10250000	7250000	21500000	11750000	17250000
57	ΚΙΛΙΚΙΑΣ	15750000	2250000	36000000	5000000	51500000	23000000	82750000	93750000
58	ΚΟΖΑΝΗΣ	50000000	41500000	44500000	10500000	175000000	28750000	192000000	244000000
15	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	78000000	234250000	202250000	251000000	225000000	252000000	226250000	305000000
82	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	30750000	121750000	70250000	155750000	84500000	226000000	132000000	207000000
16	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	9000000	23750000	22250000	41750000	40750000	51250000	53000000	41250000
42	ΛΑΡΙΣΗΣ	98250000	159500000	155000000	138250000	228000000	212750000	332750000	491500000
92	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	6000000	51000000	42750000	89250000	50000000	108750000	53250000	103500000
83	ΛΕΣΒΟΥ	1750000	48250000	24750000	37000000	43250000	65750000	50750000	71750000
24	ΛΕΥΚΑΔΟΣ	0	2000000	2500000	1500000	250000	500000	7000000	21500000
43	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	92000000	91000000	109750000	132000000	167500000	163000000	175750000	225000000
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	43000000	93500000	57250000	106000000	88750000	104500000	90500000	101000000
72	ΞΑΝΘΗΣ	46250000	45000000	57750000	3750000	100500000	98000000	126750000	146500000
59	ΠΕΛΛΗΣ	36250000	5500000	60750000	11000000	82250000	19750000	167000000	171750000
61	ΠΙΕΡΙΑΣ	37250000	44750000	61250000	11750000	57750000	90750000	140500000	254750000
34	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	10250000	12000000	5000000	8000000	21750000	16750000	23500000	24500000
93	ΡΕΘΥΜΝΗΣ	12250000	25000000	25750000	46500000	10750000	23500000	16500000	34250000
73	ΡΟΔΟΠΗΣ	28000000	36500000	48250000	35000000	73500000	122250000	146000000	149000000
84	ΣΑΜΟΥ	1750000	17000000	7000000	34250000	17500000	40500000	29250000	55000000
62	ΣΕΡΡΩΝ	70750000	40250000	80750000	17000000	119500000	60750000	163500000	158750000
44	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	53250000	64250000	62500000	31250000	78000000	119500000	97000000	126500000
6	ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	59750000	62250000	108000000	108250000	107000000	139250000	166750000	205000000
63	ΦΛΩΡΙΝΗΣ	78250000	11000000	16500000	0	58750000	0	69750000	37250000
7	ΦΩΚΙΔΟΣ	3000000	1750000	5500000	16250000	21500000	27500000	31250000	29500000
64	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	20250000	84750000	33750000	32750000	63250000	169750000	112750000	261750000
94	ΧΑΝΙΩΝ	47750000	77250000	70500000	161000000	80750000	121750000	88500000	175000000
85	ΧΙΟΥ	11500000	15250000	11250000	27500000	47000000	51750000	49250000	66250000
	ΕΛΛΑΔΑ	3585000000	4978500000	4932500000	5348250000	6384000000	7328500000	8048250000	10240250000

Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Πρόγραμμα MANTLE.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Έκταση που Φωτοβολεί την περίοδο χειμώνας 2001-2002
(Μήτρα Ζωνών: Νομοί και Μήτρα Τιμών: Αντιπροσωπευτική Εικόνα 01-02)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΝΟΜΟΣ	VALUE	COUNT	AREA	SUM	SUM * 250000 m ²	ΕΚΤΑΣΗ ΠΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΕΙ (Km ²)
1	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	26	22011	5502750000	661	165250000	165.25
11	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	25	8632	2158000000	691	172750000	172.75
12	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	27	17693	4423250000	407	101750000	101.75
31	ΑΡΤΗΣ	28	6458	1614500000	244	61000000	61
0	ΑΤΤΙΚΗΣ	29	15067	3766750000	6953	1738250000	1738.25
13	ΑΧΑΪΑΣ	30	13055	3263750000	1153	288250000	288.25
3	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	31	11826	2956500000	1056	264000000	264
51	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	3	9102	2275500000	109	27250000	27.25
52	ΔΡΑΜΑΣ	1	13812	3453000000	391	97750000	97.75
81	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	24	10710	2677500000	1503	375750000	375.75
71	ΕΒΡΟΥ	32	16854	4213500000	1121	280250000	280.25
4	ΕΥΒΟΙΑΣ	33	16530	4132500000	953	238250000	238.25
5	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	7	7196	1799000000	29	7250000	7.25
21	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	9	1620	405000000	387	96750000	96.75
14	ΗΛΕΙΑΣ	34	10460	2615000000	925	231250000	231.25
53	ΗΜΑΘΙΑΣ	23	6817	1704250000	610	152500000	152.5
91	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	22	10605	2651250000	647	161750000	161.75
32	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	35	6074	1518500000	165	41250000	41.25
54	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	36	14634	3658500000	2495	623750000	623.75
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	37	20090	5022500000	434	108500000	108.5
55	ΚΑΒΑΛΑΣ	38	8371	2092750000	886	221500000	221.5
41	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	39	10499	2624750000	411	102750000	102.75
56	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	40	6816	1704000000	547	136750000	136.75
22	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	20	2548	637000000	493	123250000	123.25
23	ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	21	3568	892000000	217	54250000	54.25
57	ΚΙΛΚΙΣ	41	10027	2506750000	624	156000000	156
58	ΚΟΖΑΝΗΣ	42	14084	3521000000	1315	328750000	328.75
15	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	43	9193	2298250000	990	247500000	247.5
82	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	19	10232	2558000000	758	189500000	189.5
16	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	18	14513	3628250000	218	54500000	54.5
42	ΛΑΡΙΣΗΣ	4	21495	5373750000	1403	350750000	350.75
92	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	17	7384	1846000000	418	104500000	104.5
83	ΛΕΣΒΟΥ	44	8590	2147500000	199	49750000	49.75
24	ΛΕΥΚΑΔΟΣ	16	1416	354000000	63	15750000	15.75
43	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	15	10508	2627000000	817	204250000	204.25
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	14	11968	2992000000	462	115500000	115.5
72	ΞΑΝΘΗΣ	45	7055	1763750000	516	129000000	129
59	ΠΕΛΛΗΣ	2	9882	2470500000	536	134000000	134
61	ΠΙΕΡΙΑΣ	13	6084	1521000000	727	181750000	181.75
34	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	46	4105	1026250000	202	50500000	50.5
93	ΡΕΘΥΜΝΗΣ	8	5955	1488750000	182	45500000	45.5
73	ΡΟΔΟΠΗΣ	47	10093	2523250000	476	119000000	119
84	ΣΑΜΟΥ	12	3123	780750000	169	42250000	42.25
62	ΣΕΡΡΩΝ	48	15917	3979250000	609	152250000	152.25
44	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	5	13463	3365750000	467	116750000	116.75
6	ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	6	17689	4422250000	857	214250000	214.25
63	ΦΛΩΡΙΝΗΣ	49	7565	1891250000	506	126500000	126.5
7	ΦΩΚΙΔΟΣ	50	8430	2107500000	106	26500000	26.5
64	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	11	13007	3251750000	607	151750000	151.75
94	ΧΑΝΙΩΝ	51	9380	2345000000	600	150000000	150
85	ΧΙΟΥ	10	3602	900500000	141	35250000	35.25

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑ ΝΟΜΟ*

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΝΟΜΟΣ	VALUE	COUNT	AREA	SUM	SUM * 250000 (m ²)	Ανθρώπινη Δραστηριότητα (Km ²)
01	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	26	106	26500000	106	26500000	26.5
11	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	25	50	12500000	50	12500000	12.5
12	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	27	76	19000000	76	19000000	19
31	ΑΡΤΗΣ	28	34	8500000	34	8500000	8.5
00	ΑΤΤΙΚΗΣ	29	1516	379000000	1516	379000000	379
13	ΑΧΑΪΑΣ	30	111	27750000	111	27750000	27.75
03	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	31	111	27750000	111	27750000	27.75
51	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	3	27	6750000	27	6750000	6.75
52	ΔΡΑΜΑΣ	1	113	28250000	113	28250000	28.25
81	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	24					
71	ΕΒΡΟΥ	32	197	49250000	197	49250000	49.25
04	ΕΥΒΟΙΑΣ	33	62	15500000	62	15500000	15.5
05	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	7	12	3000000	12	3000000	3
21	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	9	8	2000000	8	2000000	2
14	ΗΛΕΙΑΣ	34	91	22750000	91	22750000	22.75
53	ΗΜΑΘΙΑΣ	23	143	35750000	143	35750000	35.75
91	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	22	109	27250000	109	27250000	27.25
32	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	35	11	2750000	11	2750000	2.75
54	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	36	450	112500000	450	112500000	112.5
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	37	67	16750000	67	16750000	16.75
55	ΚΑΒΑΛΑΣ	38	123	30750000	123	30750000	30.75
41	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	39	174	43500000	174	43500000	43.5
56	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	40	28	7000000	28	7000000	7
22	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	20	5	1250000	5	1250000	1.25
23	ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	21	8	2000000	8	2000000	2
57	ΚΙΛΚΙΣ	41	153	38250000	153	38250000	38.25
58	ΚΟΖΑΝΗΣ	42	212	53000000	212	53000000	53
15	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	43	68	17000000	68	17000000	17
82	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	19	1	250000	1	250000	0.25
16	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	18	45	11250000	45	11250000	11.25
42	ΛΑΡΙΣΗΣ	4	271	67750000	271	67750000	67.75
92	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	17	21	5250000	21	5250000	5.25
83	ΛΕΣΒΟΥ	44					
24	ΛΕΥΚΑΔΟΣ	16	5	1250000	5	1250000	1.25
43	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	15	180	45000000	180	45000000	45
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	14	90	22500000	90	22500000	22.5
72	ΞΑΝΘΗΣ	45	74	18500000	74	18500000	18.5
59	ΠΕΛΛΗΣ	2	133	33250000	133	33250000	33.25
61	ΠΙΕΡΙΑΣ	13	108	27000000	108	27000000	27
34	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	46	22	5500000	22	5500000	5.5
93	ΡΕΘΥΜΝΗΣ	8	16	4000000	16	4000000	4
73	ΡΟΔΟΠΗΣ	47	114	28500000	114	28500000	28.5
84	ΣΑΜΟΥ	12					
62	ΣΕΡΡΩΝ	48	280	70000000	280	70000000	70
44	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	5	126	31500000	126	31500000	31.5
06	ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	6	134	33500000	134	33500000	33.5
63	ΦΛΩΡΙΝΗΣ	49	56	14000000	56	14000000	14
07	ΦΩΚΙΔΟΣ	50	21	5250000	21	5250000	5.25
64	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	11	58	14500000	58	14500000	14.5
94	ΧΑΝΙΩΝ	51	49	12250000	49	12250000	12.25
85	ΧΙΟΥ	10					

*Στο θεματικό επίπεδο του Corine δεν συμπεριλαμβάνονται εγγραφές για τους παρακάτω νομούς: Χίου, Σάμου, Λέσβου και Δωδεκανήσου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΑ ΝΟΜΟ (ΚΩΔΙΚΟΣ CORINE: 111+112)*

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΝΟΜΟΣ	VALUE	COUNT	AREA	SUM	SUM * 250000 (m ²)	Ανθρώπινη Παρουσία (111+112) (Km ²)
01	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	26	111	27750000	92	23000000	23
11	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	25	48	12000000	46	11500000	11.5
12	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	27	78	19500000	69	17250000	17.25
31	ΑΡΤΗΣ	28	37	9250000	21	5250000	5.25
00	ΑΤΤΙΚΗΣ	29	1542	385500000	1336	334000000	334
13	ΑΧΑΪΑΣ	30	110	27500000	86	21500000	21.5
03	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	31	118	29500000	80	20000000	20
51	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	3	20	5000000	20	5000000	5
52	ΔΡΑΜΑΣ	1	113	28250000	103	25750000	25.75
81	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ						
71	ΕΒΡΟΥ	32	188	47000000	172	43000000	43
04	ΕΥΒΟΙΑΣ	33	55	13750000	34	8500000	8.5
05	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	7	10	2500000	10	2500000	2.5
21	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	9	7	1750000	6	1500000	1.5
14	ΗΛΕΙΑΣ	34	83	20750000	52	13000000	13
53	ΗΜΑΘΙΑΣ	23	139	34750000	135	33750000	33.75
91	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	22	87	21750000	62	15500000	15.5
32	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	35	15	3750000	12	3000000	3
54	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	36	461	115250000	383	95750000	95.75
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	37	62	15500000	53	13250000	13.25
55	ΚΑΒΑΛΑΣ	38	116	29000000	105	26250000	26.25
41	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	39	167	41750000	167	41750000	41.75
56	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	40	29	7250000	27	6750000	6.75
22	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	20	2	500000	2	500000	0.5
23	ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	21	8	2000000	6	1500000	1.5
57	ΚΙΛΚΙΣ	41	150	37500000	145	36250000	36.25
58	ΚΟΖΑΝΗΣ	42	227	56750000	107	26750000	26.75
15	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	43	67	16750000	59	14750000	14.75
82	ΚΥΚΛΑΔΩΝ						
16	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	18	47	11750000	44	11000000	11
42	ΛΑΡΙΣΗΣ	4	270	67500000	227	56750000	56.75
92	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	17	36	9000000	36	9000000	9
83	ΛΕΣΒΟΥ						
24	ΛΕΥΚΑΔΟΣ	16	4	1000000	4	1000000	1
43	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	15	189	47250000	132	33000000	33
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	14	97	24250000	85	21250000	21.25
72	ΞΑΝΘΗΣ	45	68	17000000	64	16000000	16
59	ΠΕΛΛΗΣ	2	139	34750000	137	34250000	34.25
61	ΠΙΕΡΙΑΣ	13	100	25000000	96	24000000	24
34	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	46	21	5250000	20	5000000	5
93	ΡΕΘΥΜΝΗΣ	8	19	4750000	17	4250000	4.25
73	ΡΟΔΟΠΗΣ	47	115	28750000	101	25250000	25.25
84	ΣΑΜΟΥ						
62	ΣΕΡΡΩΝ	48	283	70750000	276	69000000	69
44	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	5	123	30750000	122	30500000	30.5
06	ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	6	129	32250000	128	32000000	32
63	ΦΛΩΡΙΝΗΣ	49	56	14000000	38	9500000	9.5
07	ΦΩΚΙΔΟΣ	50	19	4750000	19	4750000	4.75
64	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	11	65	16250000	64	16000000	16
94	ΧΑΝΙΩΝ	51	48	12000000	28	7000000	7
85	ΧΙΟΥ						

* Στο θεματικό επίπεδο του Corine δεν συμπεριλαμβάνονται εγγραφές για τους παρακάτω νομούς: Χίου, Σάμου, Λέσβου και Δωδεκανήσου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Θετική Μεταβολή Έκτασης που Φωτοβολεί Μεταξύ Περιόδων 95-96 και 00-01
(Μήτρα Ζωνών: Νομοί και Μήτρα Τιμών: Εικόνα θετικών αλλαγών)**

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΝΟΜΟΣ	VALUE	COUNT	AREA	MEAN	STD	SUM	SUM *250000 (m ²)	ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΠΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΕΙ (00-01) - (95-96) (Km ²)
01	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	26	22011	5502750000	0.01122	0.10534	247	61750000	61.75
11	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	25	8632	2158000000	0.05028	0.21852	434	108500000	108.50
12	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	27	17693	4423250000	0.01176	0.10779	208	52000000	52.00
31	ΑΡΤΗΣ	28	6458	1614500000	0.01022	0.10058	66	16500000	16.50
00	ΑΤΤΙΚΗΣ	29	15067	3766750000	0.05721	0.23225	862	215500000	215.50
13	ΑΧΑΪΑΣ	30	13055	3263750000	0.02681	0.16153	350	87500000	87.50
03	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	31	11826	2956500000	0.04879	0.21543	577	144250000	144.25
51	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	3	9102	2275500000	0.00846	0.09159	77	19250000	19.25
52	ΔΡΑΜΑΣ	1	13812	3453000000	0.01043	0.10157	144	36000000	36.00
81	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	24	10710	2677500000	0.07031	0.25567	753	188250000	188.25
71	ΕΒΡΟΥ	32	16854	4213500000	0.04325	0.20343	729	182250000	182.25
04	ΕΥΒΟΙΑΣ	33	16530	4132500000	0.02154	0.14517	356	89000000	89.00
05	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	7	7196	1799000000	0.00181	0.04247	13	3250000	3.25
21	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	9	1620	405000000	0.13272	0.33927	215	53750000	53.75
14	ΗΛΕΙΑΣ	34	10460	2615000000	0.04484	0.20695	469	117250000	117.25
53	ΗΜΑΘΙΑΣ	23	6817	1704250000	0.03447	0.18244	235	58750000	58.75
91	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	22	10605	2651250000	0.04196	0.20050	445	111250000	111.25
32	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	35	6074	1518500000	0.01169	0.10748	71	17750000	17.75
54	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	36	14634	3658500000	0.05508	0.22813	806	201500000	201.50
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	37	20090	5022500000	0.00329	0.05722	66	16500000	16.50
55	ΚΑΒΑΛΑΣ	38	8371	2092750000	0.05268	0.22340	441	110250000	110.25
41	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	39	10499	2624750000	0.01533	0.12288	161	40250000	40.25
56	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	40	6816	1704000000	0.05296	0.22396	361	90250000	90.25
22	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	20	2548	637000000	0.10479	0.30628	267	66750000	66.75
23	ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	21	3568	892000000	0.04512	0.20758	161	40250000	40.25
57	ΚΙΛΚΙΣ	41	10027	2506750000	0.04608	0.20965	462	115500000	115.50
58	ΚΟΖΑΝΗΣ	42	14084	3521000000	0.05915	0.23590	833	208250000	208.25
15	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	43	9193	2298250000	0.03633	0.18712	334	83500000	83.50
82	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	19	10232	2558000000	0.04251	0.20176	435	108750000	108.75
16	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	18	14513	3628250000	0.00951	0.09705	138	34500000	34.50
42	ΛΑΡΙΣΗΣ	4	21495	5373750000	0.02987	0.17022	642	160500000	160.50
92	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	17	7384	1846000000	0.02627	0.15995	194	48500000	48.50
83	ΛΕΣΒΟΥ	44	8590	2147500000	0.01397	0.11737	120	30000000	30.00
24	ΛΕΥΚΑΔΟΣ	16	1416	354000000	0.03037	0.17160	43	10750000	10.75
43	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	15	10508	2627000000	0.02684	0.16161	282	70500000	70.50
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	14	11968	2992000000	0.01738	0.13068	208	52000000	52.00
72	ΞΑΝΘΗΣ	45	7055	1763750000	0.02098	0.14331	148	37000000	37.00
59	ΠΕΛΛΗΣ	2	9882	2470500000	0.02247	0.14819	222	55500000	55.50
61	ΠΙΕΡΙΑΣ	13	6084	1521000000	0.07824	0.26855	476	119000000	119.00
34	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	46	4105	1026250000	0.02534	0.15714	104	26000000	26.00
93	ΡΕΘΥΜΝΗΣ	8	5955	1488750000	0.01579	0.12464	94	23500000	23.50
73	ΡΟΔΟΠΗΣ	47	10093	2523250000	0.02655	0.16077	268	67000000	67.00
84	ΣΑΜΟΥ	12	3123	780750000	0.02562	0.15799	80	20000000	20.00
62	ΣΕΡΡΩΝ	48	15917	3979250000	0.01407	0.11779	224	56000000	56.00
44	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	5	13463	3365750000	0.01092	0.10392	147	36750000	36.75
06	ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	6	17689	4422250000	0.02233	0.14776	395	98750000	98.75
63	ΦΛΩΡΙΝΗΣ	49	7565	1891250000	0.05539	0.22873	419	104750000	104.75
07	ΦΩΚΙΔΟΣ	50	8430	2107500000	0.00083	0.02880	7	1750000	1.75
64	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	11	13007	3251750000	0.03521	0.18432	458	114500000	114.50
94	ΧΑΝΙΩΝ	51	9380	2345000000	0.03262	0.17765	306	76500000	76.50
85	ΧΙΟΥ	10	3602	900500000	0.01721	0.13006	62	15500000	15.50

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Διαχρονικές Αλλαγές Έκτασης που Φωτοβολεί και Αλλαγές στη Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος

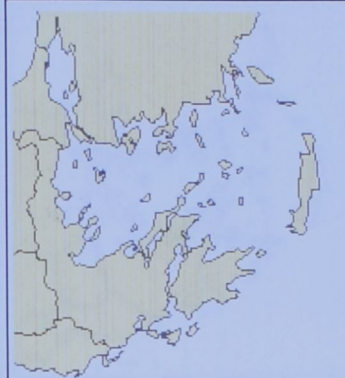
ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΝΟΜΟΣ	ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΠΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΕΙ (00-01) - (95-96) (Km ²)	ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (% της τελικής τιμής του 1994)
01	ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	61.75	-0.514171698
11	ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ	108.50	22.94213161
12	ΑΡΚΑΔΙΑΣ	52.00	
31	ΑΡΤΗΣ	16.50	29.08761251
00	ΑΤΤΙΚΗΣ	215.50	25.94955198
13	ΑΧΑΪΑΣ	87.50	71.84735091
03	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	144.25	
51	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	19.25	35.83367932
52	ΔΡΑΜΑΣ	36.00	37.98887246
81	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	188.25	28.76908759
71	ΕΒΡΟΥ	182.25	27.71198267
04	ΕΥΒΟΙΑΣ	89.00	22.36598745
05	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	3.25	27.96548627
21	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	53.75	28.49120436
14	ΗΛΕΙΑΣ	117.25	31.6816114
53	ΗΜΑΘΙΑΣ	58.75	
91	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	111.25	30.94606096
32	ΘΕΣΣΠΡΩΤΙΑΣ	17.75	36.65441788
54	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	201.50	46.91545842
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	16.50	23.48450328
55	ΚΑΒΑΛΑΣ	110.25	28.60012266
41	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	40.25	29.69803905
56	ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	90.25	22.37504509
22	ΚΕΡΚΥΡΑΣ	66.75	28.29960475
23	ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	40.25	34.84836899
57	ΚΙΛΚΙΣ	115.50	31.08326378
58	ΚΟΖΑΝΗΣ	208.25	35.80127085
15	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	83.50	71.09175988
82	ΚΥΚΛΑΔΩΝ	108.75	21.5685157
16	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	34.50	20.59209063
42	ΛΑΡΙΣΗΣ	160.50	-12.3911389
92	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	48.50	32.76041633
83	ΛΕΣΒΟΥ	30.00	33.13729756
24	ΛΕΥΚΑΔΟΣ	10.75	25.62391199
43	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	70.50	
17	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	52.00	17.19202949
72	ΞΑΝΘΗΣ	37.00	47.68370265
59	ΠΕΛΛΗΣ	55.50	27.75391961
61	ΠΙΕΡΙΑΣ	119.00	24.11857251
34	ΠΡΕΒΕΖΗΣ	26.00	23.22383925
93	ΡΕΘΥΜΝΗΣ	23.50	34.25346779
73	ΡΟΔΟΠΗΣ	67.00	22.69279265
84	ΣΑΜΟΥ	20.00	31.05897189
62	ΣΕΡΡΩΝ	56.00	15.008128
44	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	36.75	36.69909929
06	ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ	98.75	
63	ΦΛΩΡΙΝΗΣ	104.75	51.73419262
07	ΦΩΚΙΔΟΣ	1.75	28.31221858
64	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	114.50	30.15786278
94	ΧΑΝΙΩΝ	76.50	2.364194001
85	ΧΙΟΥ	15.50	28.83782191

Πίνακας 6: Συνοπτικός πίνακας παρουσίασης των Συντελεστών Spearman και P-Value μεταξύ έκτασης που φωτοβολεί και κοινωνικό-οικονομικών παραγόντων

	Συντελεστής Spearman (R_s)	P-Value	Σχόλιο
Πληθυσμός	+ 0.8219	1.4×10^{-13}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός Κατοικιών	+ 0.7518	2×10^{-10}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός Νέων Κατοικιών	+ 0.7605	9.5×10^{-11}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Φωτισμός Οδών	+0.7196	1.7×10^{-8}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος	+ 0.8186	3.7×10^{-12}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός ΙΧ Αυτοκινήτων	+ 0.7731	3.0×10^{-11}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός Ξενοδοχείων	+ 0.2508	0.0759	Μη ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Μεταφορές - Επικοινωνίες	+ 0.7441	4.0×10^{-10}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Δηλωθέν Εισόδημα	+ 0.8307	4.7×10^{-14}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
ΑΕΠ	+ 0.8559	1.1×10^{-15}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Ανθρώπινη Δραστηριότητα	+ 0.6619	5.5×10^{-7}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Ανθρώπινη Παρουσία	+ 0.6628	3.9×10^{-7}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση

Πίνακας 7: Συνοπτικός πίνακας παρουσίασης των Συντελεστών Spearman και P-Value μεταξύ έκτασης που φωτοβολεί και κοινωνικό-οικονομικών παραγόντων εκτός Αττικής και Θεσ/νίκης

	Συντελεστής Spearman (R_s)	P-Value	Σχόλιο
Πληθυσμός	+ 0.7992	5.8×10^{-12}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός Κατοικιών	+ 0.7201	5.4×10^{-9}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός Νέων Κατοικιών	+ 0.7300	2.6×10^{-9}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Φωτισμός Οδών	+ 0.6796	3.9×10^{-7}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Συνολική Κατανάλωση Ρεύματος	+ 0.7927	1.4×10^{-10}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός ΙΧ Αυτοκινήτων	+ 0.7442	8.8×10^{-10}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Αριθμός Ξενοδοχείων	+ 0.1941	0.1815	Μη ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Μεταφορές - Επικοινωνίες	+ 0.7114	1.0×10^{-8}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Δηλωθέν Εισόδημα	+ 0.8091	2.0×10^{-12}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
ΑΕΠ	+ 0.8376	6.2×10^{-14}	Πολύ Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Ανθρώπινη Δραστηριότητα	+ 0.6136	9.4×10^{-6}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση
Ανθρώπινη Παρουσία	+ 0.6158	6.7×10^{-6}	Ισχυρή Θετική Συσχέτιση



Κλίμακα: 1:4.200.000

Χάρτης 1:
Οι θεικές αλλαγές στη φωτορύπανση
που παρουσιάζονται στον ελληνικό χώρο
το χρονικό διάστημα 1995 - 2001

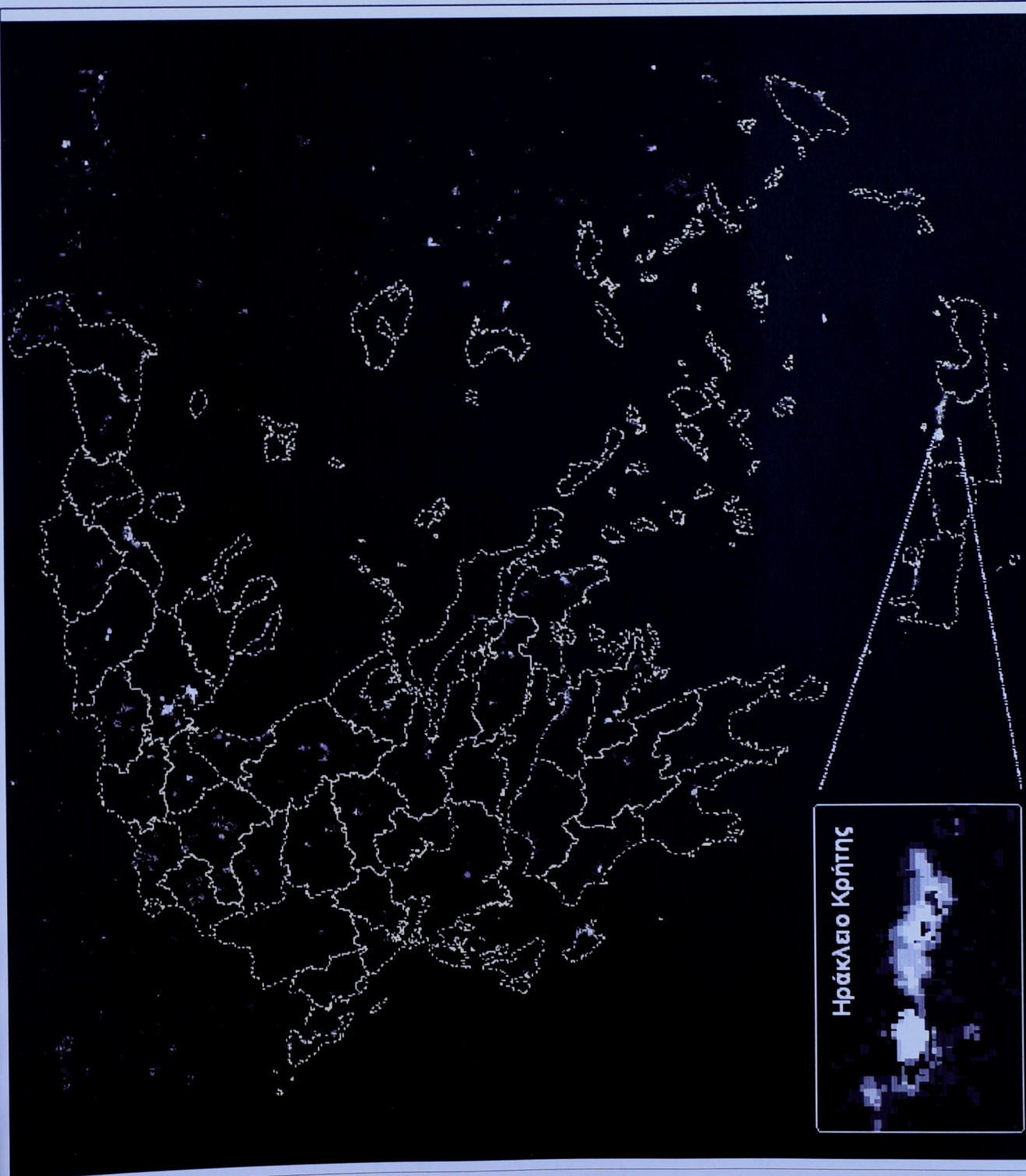
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

0-12: Αμελητέα Αύξηση
13-25: Πολύ μικρή Αύξηση
26-37: Μικρή Αύξηση
38-50: Μεγάλη Αύξηση
51-63: Πολύ μεγάλη Αύξηση

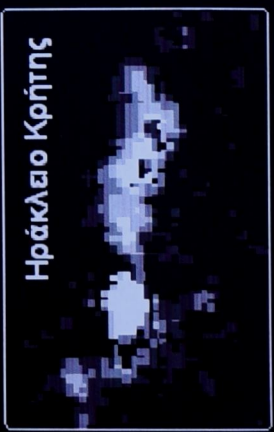
ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ ΦΑΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



Ηράκλειο Κρήτης





Κλίμακα: 1:4.200.000

ΧΑΡΤΗΣ 2: Οι κατηγορίες των νομών σύμφωνα με τις εποχιακές μεταβολές των ΕΝΦ που παρουσιάζουν

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Κατηγορία 1



Κατηγορία 2



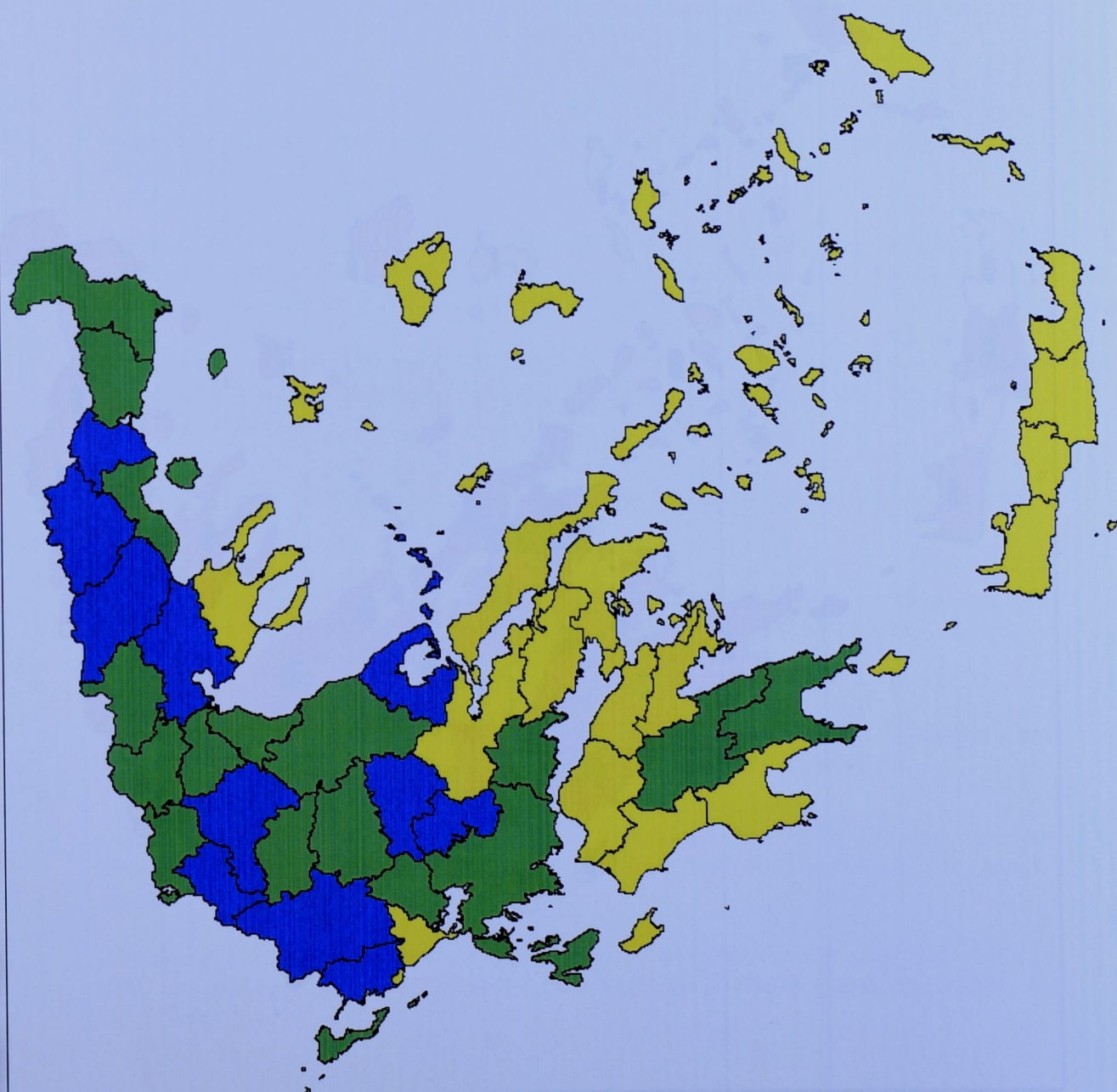
Κατηγορία 3



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ ΦΑΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005

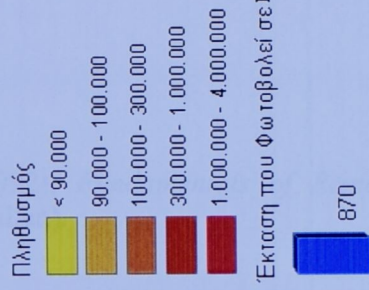




Κλίμακα: 1:4.200.000

ΧΑΡΤΗΣ 3: Έκταση που Φωτοβολεί
και Πληθυσμός ανά νομό

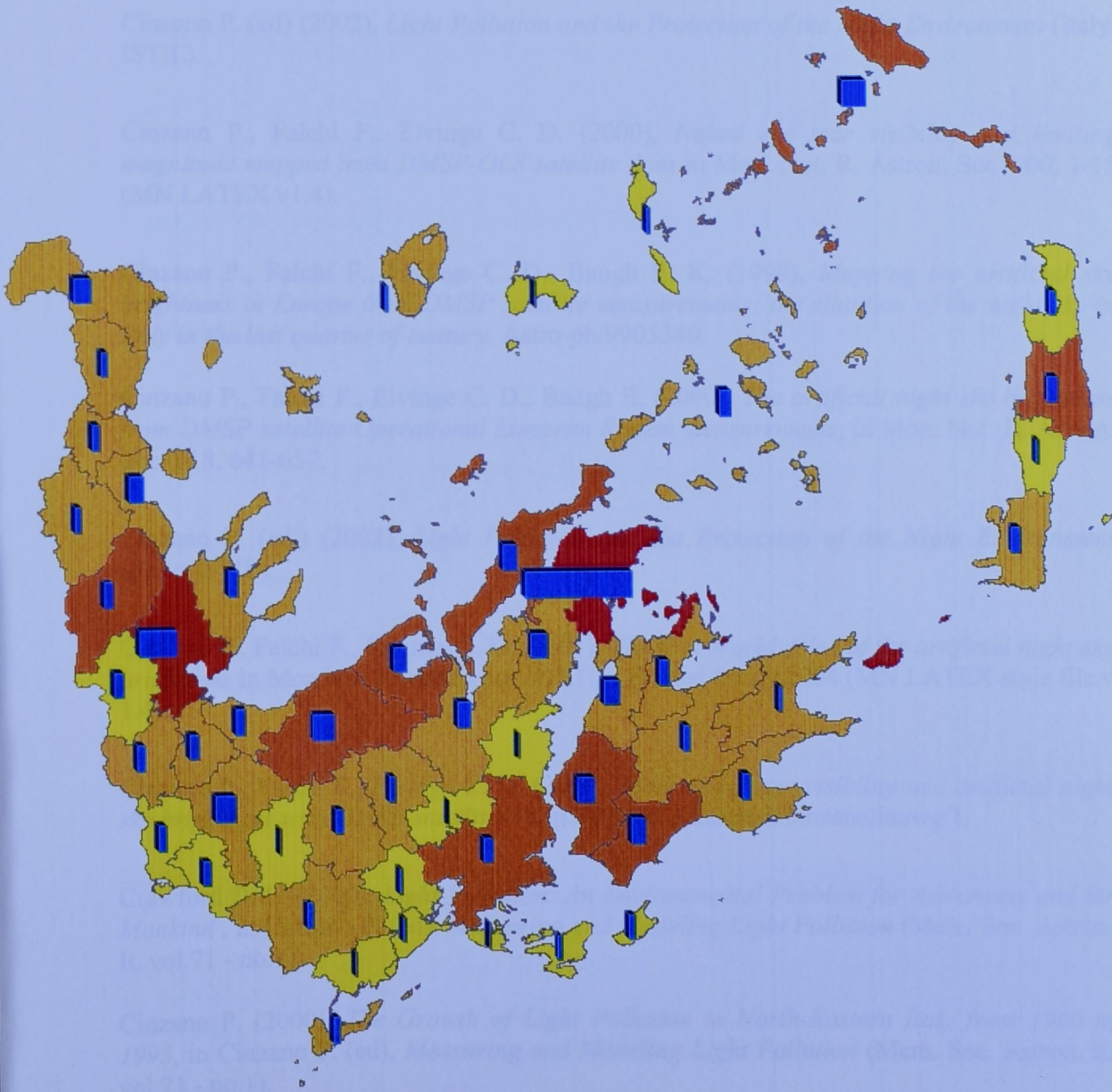
ΥΠΟΜΝΗΜΑ



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ ΦΑΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2005



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Avery T. E., Berlin G. L. (1992), *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation* (New York: Mc Millan).

Burrough P. A., McDonnell R. A. (1998), *Principles of Geographical Information Systems* (New York: Oxford).

Cinzano P. (ed) (2002), *Light Pollution and the Protection of the Night Environment* (Italy: ISTIL).

Cinzano P., Falchi F., Elvinge C. D. (2000), *Naked eye star visibility and limiting magnitude mapped from DMSP-OLS satellite data* in Mon. Not. R. Astron. Soc. 000, 1-15 (MN LATEX v1.4).

Cinzano P., Falchi F., Elvinge C. D., Baugh E. K. (1999), *Mapping the artificial sky brightness in Europe from DMSP satellite measurements: the situation of the night sky in Italy in the last quarter of century*. Astro-ph/9905340.

Cinzano P., Falchi F., Elvinge C. D., Baugh E. (2000), *The artificial night sky brightness from DMSP satellite Operational Linescan System measurements*, in Mon. Not. R. Astron. Soc. 318, 641-657.

Cinzano P. (ed.) (2002), *Light Pollution and the Protection of the Night Environment* (Italy: ISTIL).

Cinzano P., Falchi F., Elvinge C. D. (2001), *The first World Atlas of the artificial night sky brightness* in Mon.Not.R.Astron.Soc.000,116, Printed 8 July 2004 (MN LATEX style file v 1.4).

Cinzano P., Falchi F., Elvinge C. D. (2000), *Monitoring star visibility and artificial night sky brightness with DMSP satellites* (<http://debora.pd.astro.it/cinzano/iauwg/>).

Crawford D. L. (2000), *Light Pollution: An Environmental Problem for Astronomy and for Mankind*, in Cinzano P. (ed), *Measuring and Modeling Light Pollution* (Mem. Soc. Astron. It. vol.71 - no.1).

Cinzano P. (2000), *The Growth of Light Pollution in North-Eastern Italy from 1960 to 1995*, in Cinzano P. (ed), *Measuring and Modeling Light Pollution* (Mem. Soc. Astron. It. vol.71 - no.1).

Donnay J. P., Barnsley M. J., Longley P. A. (2001), *Remote Sensing and Urban Analysis* (USA, Canada: Teylor & Francis).

Ebdon D. (1985), *Statistics in Geography*, Δεύτερη Έκδοση (Oxford: Blackwell).

Elvinge C. D., Baugh E. K., Kihn E. A., Kroehl H. W., Davis E. R., Davis C. W. (1997), *Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption* in INT. J. Remote Sensing, VOL. 18, NO. 6 1373-1379 (Taylor & Francis Ltd).

Elvidge C., Hobson V. et. al. (2003), *Overview of DMSP OLS and scope of applications* in Mesev V (ed), *Remotely Sensed Cities* (London: Taylor & Francis).

ERDAS Field Guide (2002), Sixth Edition (Atlanta: ERDAS LLC).

Gallo K. P. et. al. (1995), *Assessment of urban heat islands: a satellite perspective*. Atmospheric Research, 37: 37-43.

Gujarati, D.N. (2003), *Basic Econometrics* (New York: McGraw-Hill).

Imhoff M. L. et. al. (1997), *A technique for using composite DMSP/OLS 'city lights' satellite data to accurately map urban areas* in *Remote Sensing of Environment*, 61, 361-70.

Longcore T., Rich C. (2004), *Ecological light pollution*, *Front Ecol Environ*, 2(4): 191-198. The Ecological Society of America (www.frontiersinecology.org).

Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire, Rhind D. W. (2001), *Geographical Information Systems and Science* (England: Wiley).

Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire, Rhind D. W. (1999), *Geographical Information Systems – Principles and Technical Issues* (USA: Wiley).

McGrew C. J. et. al. (2000), *An Introduction to Statistical Problem Solving in Geography* (Boston: McGraw-Hill).

Moore C. A. (2001), *Visual Estimations of Night Sky Brightness*, *Protecting Dark Skies*, The George Wright FORUM, Volume 18-Number 4.

Owen T. W. et. al. (1998), *Using DMSP- OLS light frequency data to categorize urban environments associated with U.S. climate observing stations*. Intl. J. Remote Sensing 19, 3451- 3456.

Robinson A. H., Morrison J. L., Muehrcke P. C., Kimerling A. J., Guptill S. C. (1995), *Elements of Cartography* (United States: John Wiley & Sons, Inc).

Rogerson A. P. (2001), *Statistical Methods for Geography* (London: SAGE).

Salmon M. et al. (2000), *Artificial lighting and the recovery of sea turtles* in Pilcher N. and Ismail G. (eds), *Sea Turtles of the Indo-Pacific: Research Management and Conservation* (London: Academic Press).

Sutton P. C. (2003), *Estimation of human population parameters using night-time satellite imagery* in Mesev V (ed), *Remotely Sensed Cities* (London: Taylor & Francis).

Shaflik C. (1997), *Environmental Effects of Roadway Lighting*, Technical Paper prepared at University of British Columbia, Department of Civil Engineering. IDA, Information Sheet 12 (<http://www.darksky.org/infoshts/is125.html>).

Walker M. F. (1977), *The Effects of Urban Lighting on the Brightness of the Night Sky*. Astronomical Society of the Pacific, 89: 405-409.

Wolf P. R., Dewitt B. A. (1974), *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS* (USA: McGraw-Hill).

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Δονάτος Γ. Σ., Χομπας Β. Χ. (1988), *Στατιστικές Μέθοδοι* (Αθήνα-Κομοτηνή: Αντ. Ν. Σακκουλα).

Κουτσόπουλος Κ. (2002), *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου* (Αθήνα: Παπασωτηρίου).

Λιβιεράτος Ε. (1985), *Γενική Χαρτογραφία και εισαγωγή στη Θεματική Χαρτογραφία* (Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ).

Μερτίκας Σ. Π. (1999), *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας* (Αθήνα: ΙΩΝ).

Μιγκίρος Γ. (2003) (επιμ.), *Τηλεπισκόπηση – Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες*, σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος *Ειδικά Θέματα Τηλεπισκόπησης*, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (Αθήνα).

Πετράκης Μ., Ψυλόγλου Β., Λιάνου Μ., Χαλκιάς Χ., Ακύλας Ε., Καρτάλης Κ. (2002), *Εκτίμηση Χώρο-Χρονικών & Κοινωνικό-Οικονομικών Παραμέτρων με τη Χρήση Νυκτερινών Δορυφορικών Εικόνων*, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα.

Στεφανάκης Ε. (2003), *Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών* (Αθήνα: Παπασωτηρίου).

Στυλιάδης Δ. Α. (1999), *Γραφικά με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Computer Graphics)* (Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ).

Χαλκιάς Χ., Πετράκης Μ., Λιάνου Μ., Ψυλόγλου Β. & Καρτάλης Κ. (2002), *Αξιοποίηση Δορυφορικών Δεδομένων DMSP με τη Χρήση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών για τον Πολιτικό Σχεδιασμό*. Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πρακτικά Τόμος II (Θεσσαλονίκη: ΕΞΑΝΤΑΣ).

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

<http://www.lightpollution.it/dmsp/>

<http://www.lightpollution.it/dmsp/intro.html>

<http://www.lightpollution.it/dmsp/starvis.html>

<http://www.lightpollution.it/worldatlas/pages/fig1.htm>

<http://www.darksky.org/infoshts/is131.html>

<http://eudoxos.snd.edu.gr/eudoxos/polution.html>

<http://www.spaceflightnow.com/news/n0108/18lightpollute/>

<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/>

http://earthobservatory.nasa.gov/Library/BiomassBurning/biomass_burning3.html

<http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3>

http://dmisp.ngdc.noaa.gov/html/sensors/doc_ols.html

<http://dmisp.ngdc.noaa.gov>

http://dmisp.ngdc.noaa.gov/pres/low_light_120701/html/

<http://dmisp.ngdc.noaa.gov/html/webcd.html>

<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/dmisp.html>

<http://leonardo.jpl.nasa.gov/msl/Programs/dmisp.html>

<http://www.buildinggreen.com/features/night/nightlight.cfm>

[http://www.BuildingGreen.com/LightPollution: *Efforts to Bring Back the Night Sky*](http://www.BuildingGreen.com/LightPollution: Efforts to Bring Back the Night Sky) (From EBN Volume 7, No.8-September 1998)

<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorial>

http://www.brainyencyclopedia.com/encyclopedia/l/li/light_pollution.html

<http://www.gsfc.nasa.gov/scienceques2001/20011005.html>

http://www.economics.gr/AllMedia/_gr/

<http://www.allmedia.gr/Info/Inf-nom-site.html>

<http://www.mantle-project.com/>

<http://www.revision-notes.co.uk/revision/181.html>

<http://geographyfieldwork.com/SpearmanRank.htm>

<http://mathworld.wolfram.com/SpearmanRankCorrelationCoefficient.html>

ΑΞΙΟΠΙΗΣΗ ΔΟΥΦΟΡΙΣΜΟΥ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ... ΠΤΥ ΑΝΘ
ΑΝΘΡΩΠΟΥ Φ.
1411 10289

**ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



* 1 4 1 1 1 *