



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Επιμέλεια Εργασίας

Στίγκας Στέφανος (21025)

Επιβλέπων Καθηγητής

Χαλκιάς Χρίστος

Αθήνα 2016

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

**Αξιοποίηση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών
για την χαρτογράφηση της Ηλιακής Ακτινοβολίας**

Πτυχιακή εργασία του Στίγκα Στέφανου

Επιβλέπων Καθηγητής

Χαλκιάς Χρίστος

Εξεταστική Επιτροπή

Κατσαφάδος Πέτρος

Παρχαρίδης Ισαάκ

Αθήνα, Ιούνιος 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	4
Περίληψη.....	5
Summary.....	6
1. Εισαγωγή.....	7-12
1.1. Ήλιος.....	7-8
1.2. Ηλιακή Ακτινοβολία.....	9
1.3. Ηλιακή Ακτινοβολία στη Γήινη Ατμόσφαιρα.....	9-10
1.4. Ηλιακή Σταθερά.....	10-11
1.5. Παράγοντες Υπολογισμού Ηλιακής Ενέργειας στην Γη.....	11-12
2. Μοντέλα Υπολογισμού Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	13-28
2.1. Μοντέλο Ashrae.....	13-14
2.2. Ανισοτροπικό Μοντέλο Εδάφους Hay και Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία σε κεκλιμένη Επιφάνεια.....	15-21
2.3. Μοντέλο Fu και Rich.....	22-28
3. Λογισμικό – Προγραμματισμός.....	29-31
3.1. Γλώσσα Προγραμματισμού Visual Basic.....	29
3.2. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).....	30-31
4. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	32-34
5. Μεθοδολογία.....	35-42
6. Αποτελέσματα.....	43-62
7. Συμπεράσματα.....	63-64
Επίλογος.....	65
Παράρτημα.....	66-111
• Κώδικας Visual Basic.....	66-78
• Χάρτες.....	79-111
Βιβλιογραφία.....	112-115
• Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία.....	112

- Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....113-114
- Βιβλιογραφία Διαδικτύου.....114-115

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί την κορύφωση των προπτυχιακών μου σπουδών στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, στο τμήμα Γεωγραφίας. Βασικός σκοπός αυτής της δουλειάς είναι η χαρτογράφηση της λαμβανόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του εδάφους με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Ο τόπος διεκπεραίωσής της ήταν το εργαστήριο Γεωπληροφορικής του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου και το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), στο οποίο ολοκλήρωσα και την πρακτική μου άσκηση. Για την εκπόνηση της εργασίας ήταν απαραίτητη η χρήση των λογισμικών G.I.S και γλωσσών προγραμματισμού (ArcMap 10.2.2 της ESRI και της Visual Basic 2010 της Microsoft). Τα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας προέρχονται από τον κώδικα SUNAE που αναπτύχθηκε στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Χρίστο Χαλκιά, Αναπληρωτή Καθηγητή του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου Αθηνών για την πολύτιμη καθοδήγησή του για την χρήση του προγράμματος του ArcGIS και την υποστήριξη του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, τον Δρ. Βασίλειο Ψυλόγλου, Κύριο Ερευνητή του ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ, για την συμβολή του στο κομμάτι της ηλιακής έκθεσης, ο οποίος συνέβαλε σημαντικά με τον κώδικα SUNAE για τον ακριβή προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και τον κ. Χρυσόστομο Αλεξάκο για την πολύτιμη βοήθεια του στη συγγραφή του κώδικα της Visual Basic. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρόεδρο κ. Γιάννη Κοντό της εταιρίας Marathon Data Systems, θυγατρική της ESRI στην Ελλάδα, για την άδεια χρήσης του προγράμματος του ArcGIS 10.2.2.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να αναδειχθούν τα αποτελέσματα του πλησιάζουν τις πραγματικές τιμές μίας ηλιόλουστης μέρας σε ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος μέσω της σύγκρισης δύο μοντέλων που υπολογίζουν την ηλιακή ακτινοβολία. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται μέσω της οπτικοποίησης τους με την χρήση του λογισμικού ArcGIS. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο μοντέλο υπολογισμού είναι το Area Solar Radiation, η εκτέλεση του οποίου παρέχεται από το λογισμικό του GIS που χρησιμοποιήθηκε και το δεύτερο μοντέλο υπολογισμού είναι αυτό που προτείνεται από την ASHRAE Αμερικής (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Το μοντέλο ASHRAE έχει αναπτυχθεί σε κώδικα Visual Basic για την εισαγωγή των δεδομένων σε περιβάλλον GIS.

Στην εργασία αναλύονται τα μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας της ASHRAE και των Fu και Rich του Area Solar Radiation. Επιπλέον γίνεται αναφορά στο ανισοτροπικό μοντέλο εδάφους του Hay, το οποίο χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της διάχυτης ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε μία επιφάνεια τυχαίας κλίσης και προσανατολισμού. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στην χρησιμότητα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής και παρουσιάζονται παρόμοιες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν και βοήθησαν στη διεκπεραίωση της εργασίας.

Έγινε επεξεργασία των δεδομένων με τα μοντέλα που προαναφέρθηκαν, παράχθηκαν χάρτες με την ηλιακή έκθεση και για τις δύο περιπτώσεις για συγκεκριμένες μέρες μέσα στο έτος και έγινε προσπάθεια για την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Τέλος, γίνεται αναφορά για την βελτιστοποίηση της μελέτης που έγινε και για τους τομείς στους οποίους μπορεί να φανεί χρήσιμη μία τέτοια μελέτη.

SUMMARY

The goal of the present thesis is to highlight the results which approach the actual rates of a sunny day in ideal environmental conditions, through the comparison of two models, which calculate the solar radiation. The presentation of the results is achieved through their visualization by the use of the ArcGIS software. More specifically, the first calculation model is Area Solar Radiation, which is implemented by the software, and the second model is ASHRAE. The ASHRAE model has been developed with the use of the Visual Basic for the data insertion in GIS environment.

The thesis analyzes the solar radiation calculation models of ASHRAE and the ones of Fu and Rich of Area Solar Radiation. There is also a reference to Hay's anisotropic soil model, which helps to calculate the diffuse solar energy according to the slope and the orientation of a random area. In addition, there is a reference to the utility of the Geographical Information Systems and similar studies which have been conducted in the past and helped in the processing of the thesis are also presented.

The data of the models previously mentioned were analyzed, maps with the solar exposure in both cases for specific days of the year were produced, and there was also an effort to conduct results. Finally, there is a reference to the improvement of the study and the fields to which such a research can be useful.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στον πλανήτη του Ηλίου και στην ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτόν και φτάνει στην γήινη ατμόσφαιρα.

1.1. ΗΛΙΟΣ

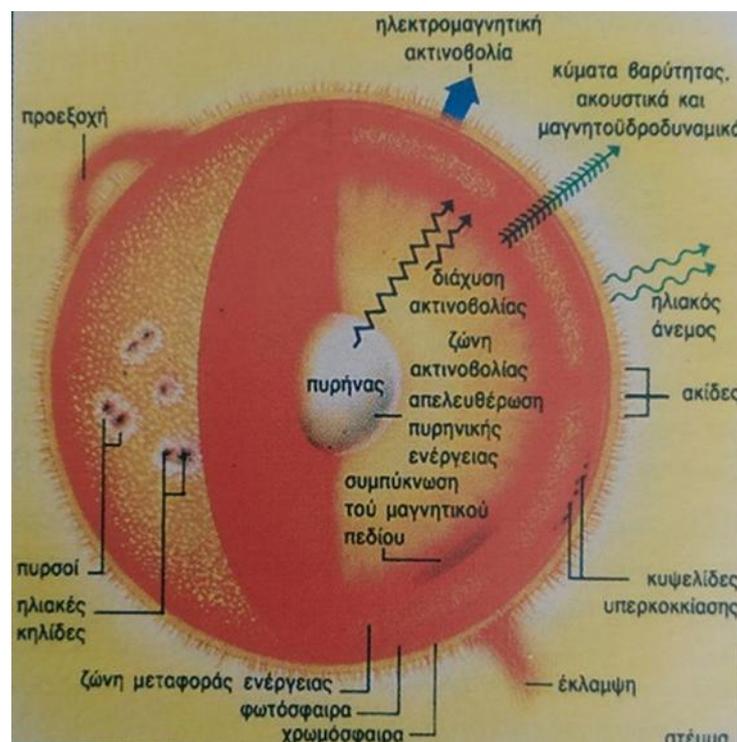
Ο Ήλιος είναι μία σχεδόν τέλεια σφαίρα με διάμετρο περίπου $1,3 \times 10^6$ km, μάζα 2×10^{30} kg και αποτελεί το 99.86% της μάζας του ηλιακού συστήματος. Είναι το λαμπρότερο σώμα του ουρανού και ο αστέρας του ηλιακού συστήματός μας. Ο Ήλιος είναι το κοντινότερο στη Γη άστρο, σε απόσταση 149,6 εκατομμύρια χιλιόμετρα (1 AM) και περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, κάνοντας κατά μέσο όρο μια περιστροφή σε τέσσερες εβδομάδες. Η περίοδος της περιστροφής του εξαρτάται από το ηλιογραφικό πλάτος και μεταβάλλεται από 27 ημέρες στον ηλιογραφικό ισημερινό μέχρι 30 περίπου ημέρες στην πολική του περιοχή. Ακολουθεί μία τροχιά μέσα στον Γαλαξία σε απόσταση περίπου 25.000 έως 28.000 έτη φωτός από το κέντρο του, ολοκληρώνοντας μία περιφορά σε περίπου 226 εκατομμύρια έτη (Κοσμικό έτος).

Το εσωτερικό του αποτελείται από τον πυρήνα, όπου αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες και υπάρχει μεγάλη πίεση, με αποτέλεσμα να γίνονται πυρηνικές διεργασίες και να απελευθερώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας προς την επιφάνεια του ήλιου, από όπου και ακτινοβολείται στο διάστημα. Στην επιφάνεια του ήλιου έχουμε την φωτόσφαιρα που έχει πάχος περίπου 200 έως 300 km και είναι η ορατή επιφάνεια που έχει ο ήλιος. Την φωτόσφαιρα με την σειρά της την διακρίνουμε σε δύο στρώματα. Το εσωτερικό που ονομάζεται χρωμόσφαιρα με πάχος περίπου 5.000km και το εξωτερικό που είναι γνωστό ως στέμμα είναι εξαιρετικά αραιό και εκτείνεται μέχρι τη Γη και πέρα από αυτήν. Αναλυτικότερα, η δομή του Ηλίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Εδώ και τουλάχιστον 5 εκατομμύρια χρόνια, ο ήλιος αποτελεί μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, καθώς τροφοδοτεί τον γαλαξία μας με ηλιακή ενέργεια, γεγονός που τον κάνει σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη μας. Χαρακτηρίζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες του, τόσο στο εσωτερικό του (4×10^7 K), όσο και στην εξωτερική του επιφάνεια (6×10^3 K). Η επιφάνεια του είναι 12.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή του πλανήτη μας, ενώ η πυκνότητα του είναι περίπου το $\frac{1}{4}$ της πυκνότητας της γης (Kondratyev, Βαρώτσος, 1996, σελ. 17). Η ενέργεια που παράγεται στο

εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας διαδίδεται στα εξωτερικά στρώματα για να ακτινοβοληθεί στο διάστημα.

Ο Ήλιος είναι ένας τυπικός αστέρας και αποτελεί κυρίαρχο σώμα του ηλιακού μας συστήματος είναι πολύ σημαντικός, τόσο για τη διατήρηση της ζωής πάνω στη Γη όσο και από επιστημονικής άποψης. Ο Ήλιος έχει πολύ μεγάλη σημασία στην εξέλιξη και την διατήρηση της ζωής στη Γη, καθώς με τη θεμελιώδη διαδικασία της φωτοσύνθεσης προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών, και διατηρεί την επιφανειακή θερμοκρασία της Γης σε ανεκτά για τη ζωή επίπεδα, καθώς επίσης και προκαλεί τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Η σημασία του ήταν γνωστή από τα προϊστορικά χρόνια, με αποτέλεσμα ο Ήλιος να λατρεύεται ως θεότητα. Σύμφωνα με την αρχαία ελληνική μυθολογία, κατά τον Όμηρο και τον Ησίοδο, ήταν γιος του Τιτάνα Υπερίωνα. Φοίβος, φωτοβόλος δηλαδή, ήταν η προσωνομία του Ηλίου, η ίδια με του θεού Απόλλωνα. Κατά την εξέλιξη του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού, οι ηλιακές ιδιότητες αποδόθηκαν στον θεό Απόλλωνα.



Σχήμα 1,1. Η δομή του Ηλίου.

1.2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Με τον όρο ηλιακή ακτινοβολία ή ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε στην εκπομπή και την διάδοση της ακτινοβολίας που δέχεται η γη από τον ήλιο μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. (Φλόκας, 1997, σελ.65, 72) Αναλυτικότερα, από την επιφάνεια του ήλιου εκπέμπεται ενέργεια σχεδόν ίση με $3,91 * 10^{26}$ W, από την οποία μόνο το $1,8 * 10^{26}$ W φτάνουν στα ανώτερα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Γεγονός που σημαίνει ότι η γη κάθε χρόνο δέχεται ενέργεια ίση με $5,78 * 10^{18}$ Wsec.

1.3. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗ ΓΗΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως από τα τεράστια ποσά ηλιακής ενέργειας μόνο μία μικρή ποσότητα φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας. Από την στιγμή που η ακτινοβολία αυτή εισέλθει στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται από διαφόρους παράγοντες, όπως

- Σκέδαση είναι η αλλαγή διεύθυνσης διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και δημιουργείται λόγω της ύπαρξη των αιωρούμενων σωματιδίων (aerosols), των μορίων της ατμόσφαιρας και είναι προϊόν της πολλαπλής ανάκλασης. Υπολογίζεται ως αντιστρόφως ανάλογη της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.
- Διάχυση είναι η διαδικασία κατά την οποία το ποσό της ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος (α), το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα (ΥΠΕΚΑ 2010, σελ 40) και
- Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας που οφείλεται στα αιωρούμενα σωματίδια αλλά κυρίως στα μόρια της ατμόσφαιρας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει απευθείας στη γη, χωρίς να αλλάξει διεύθυνση διερχόμενη από την ατμόσφαιρα ονομάζεται Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία (Direct Beam Solar Radiation). Παράλληλα, το μέρος της ακτινοβολίας που θα υποστεί αλλαγή στη διεύθυνσή

της και ύστερα φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους χαρακτηρίζεται ως Διάχυτη Ηλιακή Ακτινοβολία (Diffuse Solar Radiation) .Ακόμα, σημαντική είναι και η Ανακλώμενη Ηλιακή Ακτινοβολία (Reflected Solar Radiation) η οποία προκύπτει ως εξής: “Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια της γης ανακλάται και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα απ’ όπου και πάλι επιστρέφει στη επιφάνεια του εδάφους.” (Φλόκας, 1997, σελ. 78). Τέλος, έχουμε και την Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία(Total Solar Radiation), η οποία προκύπτει από το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια.

1.4. ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ

Το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η έντασή της, δηλαδή το ποσό που προσπίπτει κάθετα στη μονάδα επιφάνειας και στη μονάδα του χρόνου. Η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που μετρείται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρα, όταν η γη βρίσκεται στη μέση απόσταση της από τον Ήλιο, είναι γνωστή σαν ηλιακή σταθερά (Φλόκας, 1997, σελ. 77). Ορίζεται σαν η ολοφασματική ηλιακή ενέργεια που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας (1 cm^2), κάθετα στις ηλιακές ακτίνες, στη μονάδα χρόνου (1 min) χωρίς την επίδραση της ατμόσφαιρας ή σε έξω σημείο από αυτή και σε απόσταση από τον ήλιο ίση με 1 αστρονομική μονάδα ($1 \text{ α.μ.} = 149.5 * 10^6 \text{ km}$). Αυτή παριστάνεται ως I_0 ή GSC (Global Solar Constant) και από μετρήσεις προκύπτει ότι:

$$I_0 = 1.98 \text{ cal} * \text{cm}^{-2} * \frac{1}{2} \text{Min}^{-1} \pm 2\% \quad \text{ή} \quad I_0 = 1380 \text{ Wm}^{-2} \pm 1\%$$

Η I_0 υπολογίζεται από τον τύπο:

$$I_0 = \int_0^{\infty} W_{\lambda} * d\lambda$$

όπου

$$W_{\lambda} = E_{\lambda} (R/\bar{R})^2$$

με $\bar{R} = 1 \text{ α.μ.} = 149.5 * 10^6 \text{ km}$ (μέση απόσταση γης-ήλιου)

R = η απόσταση γης – ήλιου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Από τις τελευταίες μετρήσεις προκύπτει ότι η τιμή της I_0 είναι ίση με 1383 Wm^{-2} και με διακύμανση 3.5% περίπου, λόγω τη μεταβολής της απόστασης γης – ήλιου και έχοντας μέγιστη τιμή I_0 ίση με 1435 Wm^{-2} (αρχές Ιανουαρίου) και ελάχιστη τιμή ίση με 1335 Wm^{-2} (αρχές Ιουλίου).

Η μεταβολή στην τιμή της I_0 , που θα είχε σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της ηλιακής ενέργειας που δέχεται ο πλανήτης μας, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Σε μια τέτοια περίπτωση, το αποτέλεσμα θα ήταν η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της γης. Συνέπεια μιας τέτοιας θερμοκρασιακής μεταβολής του πλανήτη μας θα ήταν το λιώσιμο ή η επέκταση των πάγων, η άνοδος ή η κάθοδος της στάθμης των υδάτων της θάλασσας και πολλά άλλα.

1.5. Παράγοντες Υπολογισμού της Ηλιακής Ενέργειας στην Γη

Η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από μια επιφάνεια, οριζόντια ή κεκλιμένη, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, καθορίζεται από διάφορους παράγοντες που έχουν σχέση με την τοπογραφία της περιοχής που την δέχεται, αλλά και από την θέση που βρίσκεται ο ήλιος σε σχέση την περιοχή αυτή. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- Sun Altitude (H) (Degrees): Είναι η γωνία που δημιουργείται από την θέση που έχει ο ήλιος σε σχέση με τον ορίζοντα στην επιφάνεια της Γης.
- Zenith Angle (θ_z) (Degrees): Ζενίθια γωνία είναι αυτή που βρίσκεται ανάμεσα στη θέση του ηλίου και την ακριβώς κατακόρυφη ζενίθια θέση και υπολογίζεται από τη σχέση $\text{Zenith Angle} = 90 - \text{Sun Altitude}$.
- Sun Azimuth (γ) (degrees): Η αζιμούθια γωνία εκφράζει τη γωνία ανάμεσα σε ένα οριζόντιο επίπεδο, με τον νότο να είναι το σημείο αναφοράς, και την προβαλλόμενη θέση του ηλίου πάνω σε ένα οριζόντιο επίπεδο.
- Latitude (Φ) (degrees): Είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που μελετάμε την ηλιακή ακτινοβολία.
- Declination (δ) (degrees): Η απόκλιση του ηλίου, η οποία υποδεικνύει τη γωνία ανάμεσα στη διεύθυνση του ηλίου και του επιπέδου του Ισημερινού της Γης.

- Hour Angle (Ω) (degrees): Ωριαία γωνία είναι η γωνία που περιλαμβάνεται μεταξύ του μεσημβρινού ενός τόπου επί της Γης και του ωρικού κύκλου του Ηλίου. Διαφορετικά, μπορούμε να πούμε πως είναι η γωνία που καθορίζει πόσο ανατολικά ή δυτικά είναι ο ήλιος από τον τοπικό μεσημβρινό.
- Slope (β) (degrees): Η κλίση μίας επιφάνειας ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός αλλαγής του υψομέτρου στην έκταση της επιφάνειας αυτής και μετράται σε μοίρες ή σε ποσοστά επί τοις εκατό.
- Aspect (ψ) (degrees) (0 = south, + East): Ο προσανατολισμός που έχει η περιοχή μελέτης, δηλαδή ο προσδιορισμός της θέσης που έχει η περιοχή μελέτης μας ως προς τον Βορρά ή σε σχέση με άλλα σημεία του ορίζοντα.

2. Μοντέλα Υπολογισμού Ηλιακής Ακτινοβολίας

2.1. Το μοντέλο της ASHRAE

Το μοντέλο της Ashrae, αρχικά υπολογίζει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την 21^η ημέρα του εκάστοτε μήνα του έτους θεωρώντας ιδανικές καιρικές συνθήκες. Είναι ένα από τα απλούστερα παραμετρικά μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο από μηχανικούς και αρχιτέκτονες.

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει κάθετα σε μία επιφάνεια στη Γη υπολογίζεται από τον τύπο $I_{bn} = (Cn)Ae^{-B/\sec\theta_z}$ και καθορίζεται από τέσσερις παραμέτρους, τις εξής:

1. Το C_n προσδιορίζει την καθαρότητα του ουρανού και οι τιμές του μπορεί να κυμαίνονται από 0.8 έως 1.2. Στην δική μας περίπτωση έχουμε θεωρήσει ότι η διαύγεια του ουρανού είναι 1. (Solar radiation model L.T. Wong, W.K. Chow *, 2001)
2. Το A ορίζεται ως η φαινομενική ηλιακή ακτινοβολία η οποία επηρεάζεται από την απόσταση της γης από τον ήλιο. Η μεταβλητή A υπολογίζεται από τον τύπο $A = I_{sc}E_0$, όπου E_0 θεωρείται η διορθωμένη σταθερά της εκκεντρότητας της τροχιάς της γης (Eccentricity correction factor of the Earth's orbit).
3. Η μεταβλητή B είναι η ολική ευρυζωνική τιμή του ατμοσφαιρικού συντελεστή εξασθένησης για τα βασικά τμήματα της ατμόσφαιρας.
4. Τέλος, η ζενίθια γωνία που αναφέρεται και στην ενότητα 1.5 και μετριέται σε μοίρες (0-90°).

Ακόμη οι τιμές A και B επηρεάζονται και από εποχιακές μεταβολές στην ατμόσφαιρα όπως είναι η σκόνη και οι υδρατμοί που υπάρχουν σε αυτή.

Στην συνέχεια σημαντικός είναι ο υπολογισμός της έμμεσης (διάχυτης) ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία έρχεται από τα διάφορα μέρη του ουρανού, αφού έχει σκεδαστεί. Στην περίπτωση του μοντέλου ASHRAE, ο υπολογισμός γίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$I_{D(0)} = C * I_{bn}$$

Όπου C είναι η παράμετρος που εκφράζει το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας με βάση την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Τέλος, σημαντικός είναι ο υπολογισμός της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο. Δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$I_T(0) = I_B(0) + I_D(0) = (I_{BN} * \sin h) + I_D(0) = I_{BN} * (\sin h + C)$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές των παραμέτρων A, B και C για το μοντέλο της ASHRAE.

MONTH	A (W/m²)	B*	C*
January	1202	0,141	0,103
February	1187	0,142	0,104
March	1164	0,149	0,109
April	1130	0,164	0,120
May	1106	0,177	0,130
June	1092	0,185	0,137
July	1093	0,186	0,138
August	1107	0,182	0,134
September	1136	0,165	0,121
October	1166	0,152	0,111
November	1190	0,144	0,106
December	1204	0,141	0,103

*(Dimensionless Ratios)

2.2. Ανισοτροπικό μοντέλο του HAY και Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία σε κεκλιμένη Επιφάνεια

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο της ASHRAE για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια. Όμως για την σωστή αποτύπωση των αποτελεσμάτων σε χάρτη χρειάζεται να γίνει ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο τυχαίου προσανατολισμού.

Το ανισοτροπικό μοντέλο του HAY υπολογίζει την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μία επιφάνεια σύμφωνα με την κλίση και τον προσανατολισμό της. Έτσι, βασιζόμενοι στα αποτελέσματα που έχουμε από το μοντέλο της ASHRAE για την άμεση, την διάχυτη και την ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια προκύπτουν τα πλέον κατάλληλα αποτελέσματα προς επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο του HAY υπολογίζει την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που έχουμε σε κεκλιμένη επιφάνεια και συμβολίζεται με $H_d(\beta)$, στην συνέχεια σημαντικός είναι ο υπολογισμός της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας $H_b(\beta)$ και της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας $H_r(\beta)$, καθώς είναι σημαντικοί παράγοντες για τον υπολογισμό της ολικής ηλιακής $H_t(\beta)$ ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο. Για τον υπολογισμό των παραπάνω ακτινοβολιών σημαντικοί είναι οι παράγοντες R_r , R_{di} , R_b , Angle of incidence, $A_{ters 1,2}$ και 3 , K_b και HGIO. Παρακάτω, θα αναφερθούν αναλυτικά οι υπολογισμοί που χρειάζονται για να εξάγουμε τα αποτελέσματα και θα γίνει επεξήγηση των παραπάνω παραγόντων.

- $H_t(\beta) = H_b(\beta) + H_d(\beta) + H_r(\beta)$
- $H_r(\beta) = 0,2 * R_r * H_t(0)$
- $H_b(\beta) = H_b(0) * R_b$
- $H_d(\beta) = H_d(0) * (K_b * R_b + (1 - K_b) * R_{di})$
- $R_r = (1 - \cos(\beta)) / 2$
- $R_{di} = (1 + \cos(\beta)) / 2$
- $R_b = \cos(\text{angle of incidence}) / \cos(\theta_z)$
- $\cos(\text{Angle of Incidence}) = A_1 * \sin(\delta) + A_2 * [\cos(\delta) * \cos(\Omega)] - A_3$
- $A_1 = \sin(\phi) * \cos(\beta) - \cos(\phi) * \sin(\beta) * \cos(\psi)$
- $A_2 = \cos(\phi) * \cos(\beta) + \sin(\phi) * \sin(\beta) * \cos(\psi)$

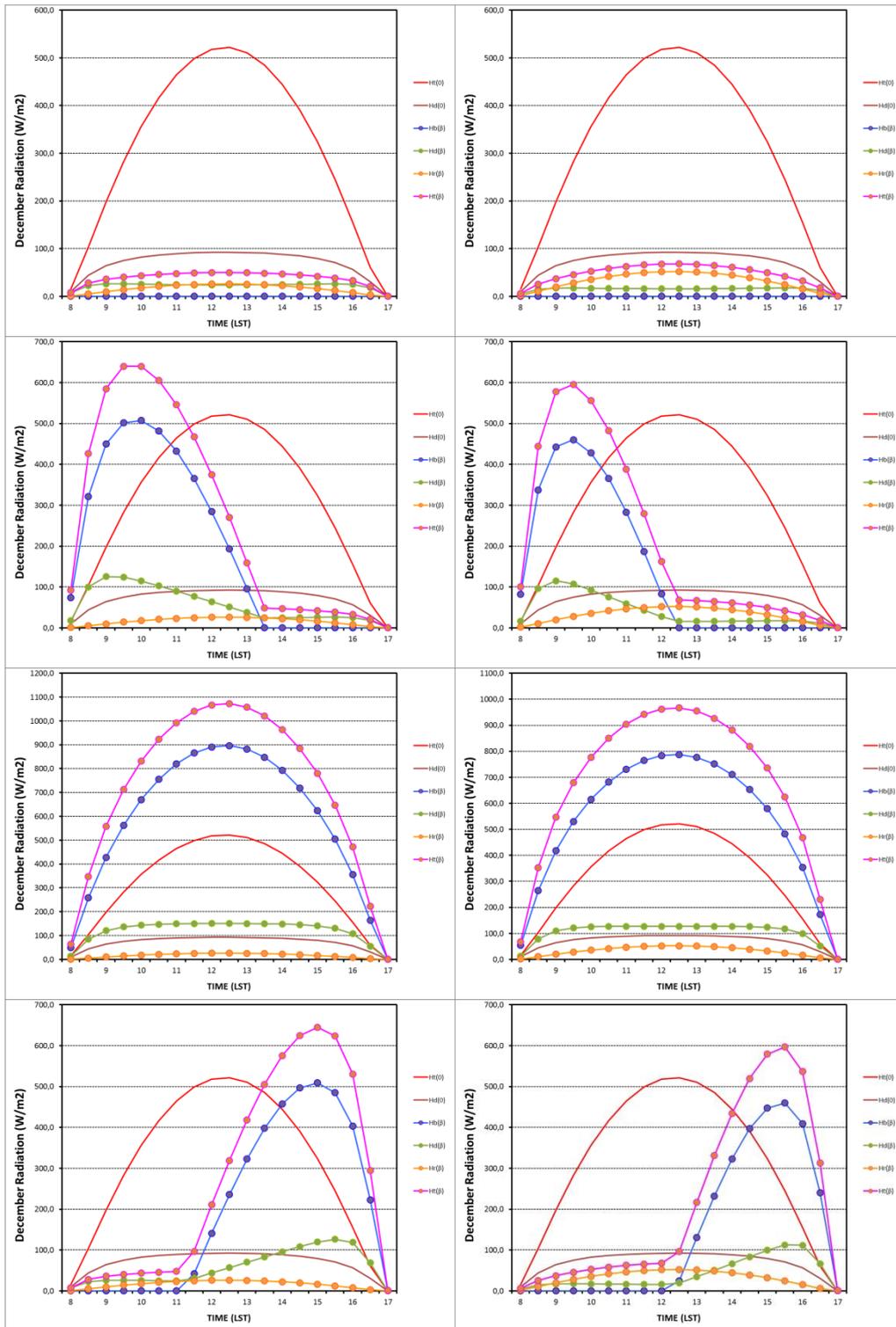
- $A_3 = \cos(\delta) * \sin(\beta) * \sin(\psi) * \sin(\Omega)$
- $K_b = (H_t(0) - H_d(0)) / HGIO$
- $HGIO = GSC * (\cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\Omega) + \sin(\delta) * \sin(\phi))$

Για την κατανόηση των παραπάνω υπολογισμών πρέπει να γίνει επεξήγηση των παρακάτω παραγόντων.

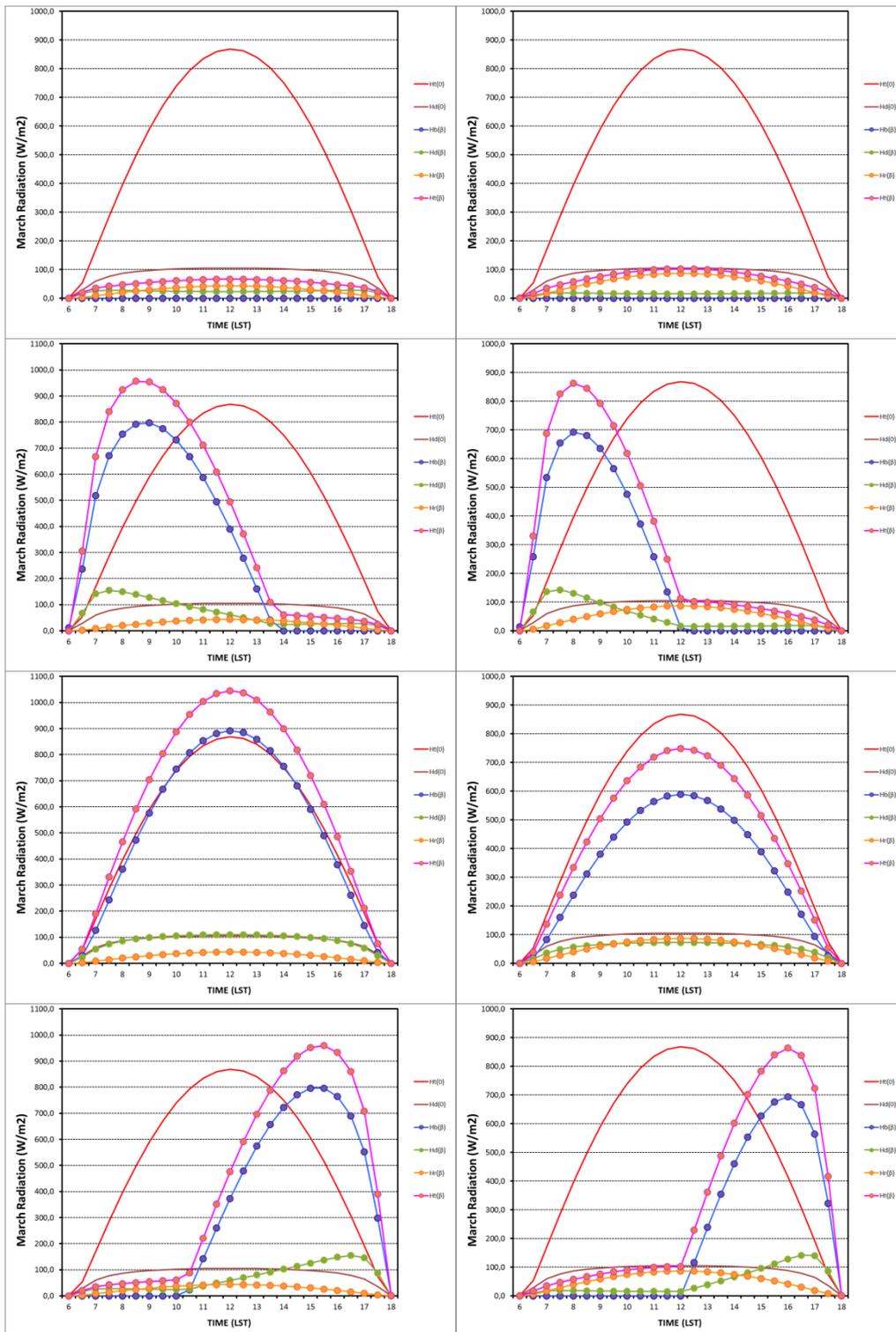
1. R_r : είναι ο συντελεστής υπολογισμού της ισοτροπικά ανακλώμενης από το έδαφος ηλιακής ακτινοβολίας, ο οποίος αν πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή ανακλαστικότητας (albedo) του εδάφους 0,2 προκύπτει το ποσό της ανακλώμενης ακτινοβολίας που έχουμε από το έδαφος.
2. R_b : είναι ο συντελεστής μετατροπής της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από οριζόντιο επίπεδο σε μία κεκλιμένη επιφάνεια τυχαίου προσανατολισμού, και καθορίζεται από τους παράγοντες angle of incidence και την ζενίθια γωνία
3. K_b : εκφράζει την αιθριότητα του ουρανού. Υπολογίζεται με βάση τους συντελεστές HGIO, $H_t(0)$ και $H_d(0)$. Αναλυτικότερα, είναι ο λόγος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε οριζόντιο επίπεδο προς αυτή που λαμβάνεται στο όριο της ατμόσφαιρας.
4. R_{di} : είναι ο ισοτροπικός παράγοντας διαμόρφωσης του ουρανού για την εξεταζόμενη κεκλιμένη επιφάνεια.
5. Angle of incidence : αποτελεί την γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της κάθετης του σημείου πρόσπτωσης.
6. A_1, A_2, A_3 : Οι όροι που χρειάζονται για τον υπολογισμό του $\cos(\text{Angle of Incidence})$.
7. HGIO : είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται σε οριζόντια επιφάνεια στο όριο της γήινης ατμόσφαιρας (δηλαδή πριν εισέλθει σε αυτή). Μονάδα μέτρησης είναι σε W/m^2 .

Έτσι, αξιοποιώντας τους παραπάνω υπολογισμούς θα κάνουμε μία ενδεικτική παρουσίαση αποτελεσμάτων για κάθε εποχή. Οι μήνες που θα φανούν στην συνέχεια είναι ο Δεκέμβρης, ο Μάρτιος, ο Ιούνιος και ο Σεπτέμβριος. Οι μήνες αυτοί επιλέχθηκαν λόγω των ακραίων τιμών που παρουσιάζει το μοντέλο. Αναλυτικότερα, σε κάθε σελίδα παρουσιάζεται ο κάθε μήνας με την σειρά που αναφέραμε προηγουμένως. Ακόμη, είναι

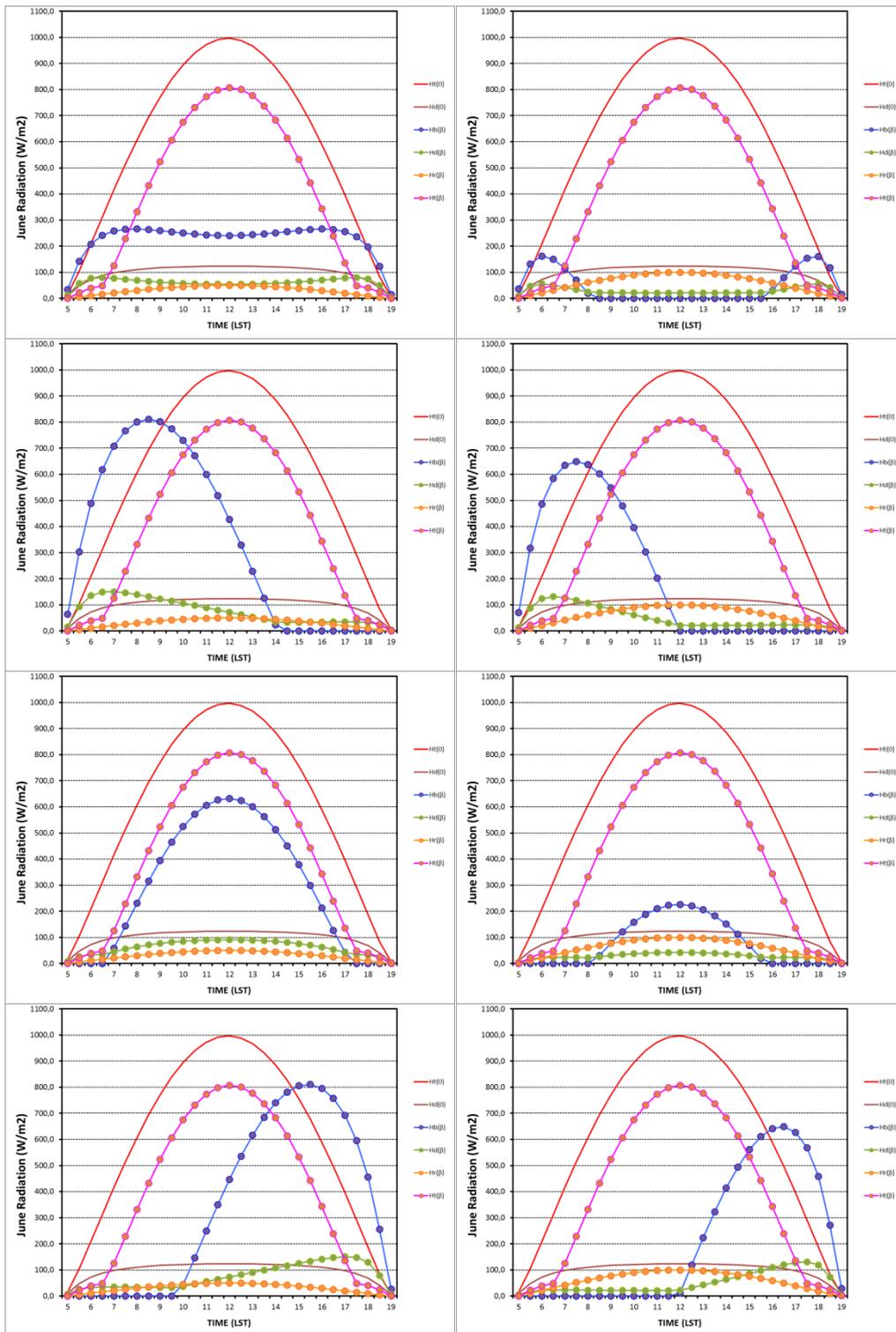
σημαντικό να αναφερθεί ότι τα διαγράμματα που βρίσκονται στην αριστερή πλευρά της σελίδας έχουν κλίση 60° , ενώ τα διαγράμματα που βρίσκονται στην δεξιά πλευρά έχουν κλίση 90° . Επιπλέον, στην πρώτη σειρά κάθε σελίδας παρατηρούμε την ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι περιοχές που έχουν βόρειο προσανατολισμό, στην δεύτερη εκείνες που έχουν ανατολικό, στην τρίτη αυτές με νότιο και τέλος στην τέταρτη σειρά είναι οι περιοχές με δυτικό προσανατολισμό. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως στους παρακάτω πίνακες με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η ολική ακτινοβολία στην οριζόντια επιφάνεια με καφέ χρώμα βλέπουμε στην διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, με μπλε είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια, με πράσινο η διάχυτη σε κεκλιμένη επιφάνεια, κίτρινο χρώμα η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο και τέλος με ροζ χρώμα έχουμε την ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια.



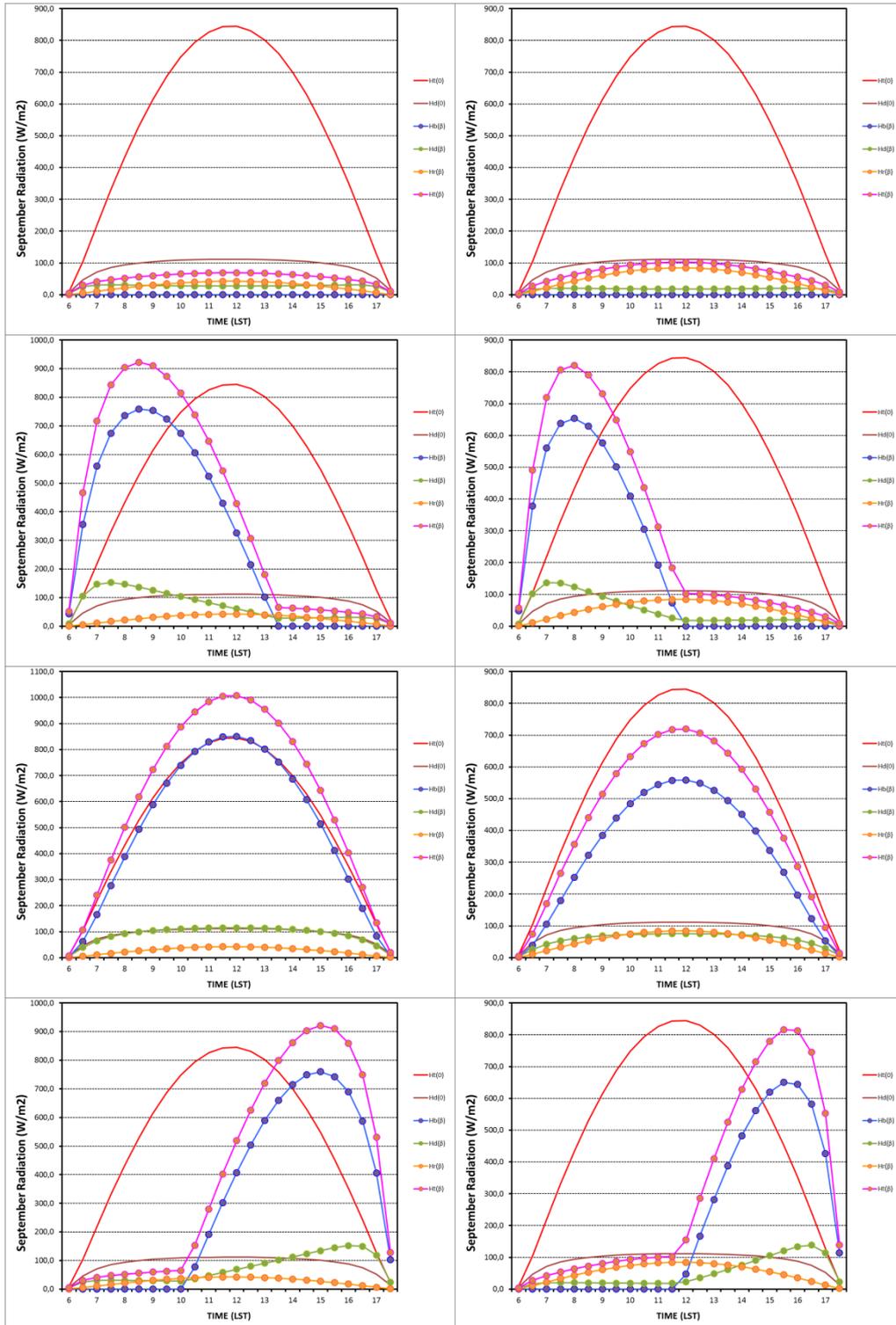
Σχήμα 2.1. Διαγράμματα για τον μήνα του Δεκεμβρίου



Σχήμα 2.2. Διαγράμματα για τον μήνα του Μαρτίου.



Σχήμα 2.3. Διαγράμματα για τον μήνα του Ιουνίου.



Σχήμα 2.4. Διαγράμματα για τον μήνα του Σεπτεμβρίου.

2.3. Το μοντέλο Fu και Rich

Το μοντέλο των Fu και Rich για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας, που συναντάμε στην εφαρμογή του ArcMap, είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την αποτύπωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε χάρτη είτε μελετάμε ένα μεγάλο σε έκταση τοπίο είτε πολύ συγκεκριμένες περιοχές.

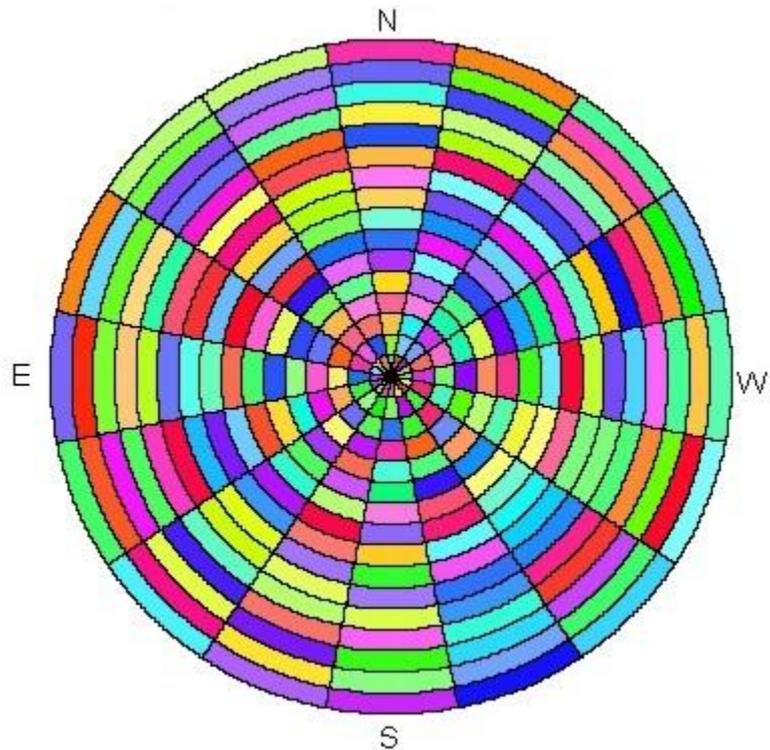
Έτσι το χωρικό μοντέλο ηλιακής ακτινοβολίας μπορούμε να το διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες: Στο σημειακό μοντέλο (point specific model) και στο βασισμένο στην έκταση μοντέλο (area-based model) (Fu & Rich, 1999). Το σημειακό μοντέλο υπολογίζει την ηλιακή ακτινοβολία για μια περιοχή με βάση την γεωμετρία του προσανατολισμού της επιφανείας και την ορατότητα του ουρανού. Ακόμη, το μοντέλο αυτό μπορεί να έχει μεγάλη ακρίβεια για μία συγκεκριμένη περιοχή, αλλά δεν παρουσιάζει σωστά αποτελέσματα αν προσπαθήσουμε να μελετήσουμε κάθε τοποθεσία πάνω σε ένα ευρύτερο τοπίο. Αντίθετα, το βασισμένο στην έκταση μοντέλο μπορεί να υπολογίσει την ηλιακή ακτινοβολία για μια μεγάλης έκτασης περιοχή, υπολογίζοντας τον προσανατολισμό της επιφανείας και τις σκιάσεις από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Οπότε, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα σημειακά μοντέλα μπορεί να έχουν μεγάλη ακρίβεια για μια συγκεκριμένη περιοχή, αλλά το βασισμένο στην έκταση μοντέλο μπορεί να υπολογίσει την ηλιακή ενέργεια για κάθε περιοχή που υπάρχει σε ένα ευρύτερο τοπίο.

Αξιοσημείωτοι είναι οι παράγοντες που λαμβάνουν υπόψη τους οι Fu και Rich για τον υπολογισμό του μοντέλου της ηλιακής ακτινοβολίας και θα αναφερθούν παρακάτω αναλυτικά.

- *Ημισφαιρικής Ορατότητας Αλγόριθμος (Hemispherical Viewshed Algorithm):* Ο παράγοντας αυτός χρησιμοποιείται για τα σημειακά μοντέλα υπολογισμού ηλιακής ενέργειας. Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία διακρίνεται στην άμεση, στην διάχυτη και στην ανακλώμενη. Κύρια είναι η άμεση με το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας, αμέσως επόμενη είναι η διάχυτη και τέλος έχουμε την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι τόσο μικρή σε σχέση με τις άλλες δυο που ορισμένες φορές μπορούμε να την παραβλέψουμε.
- *Υπολογισμός Ορατότητας (Viewshed Calculation):* Η ορατότητα υπολογίζεται για κάθε κελί του DEM που έχουμε. Παρουσιάζεται ως η γωνιακή κατανομή από την

ουράνια παρεμπόδιση. Ο υπολογισμός της γίνεται από την αναζήτηση του συνόλου των κατευθύνσεων που υπάρχουν για το σημείο ενδιαφέροντος, που ονομάζεται και οριζόντια γωνία, για κάθε κατεύθυνση. Ο κύριος παράγοντας που την επηρεάζει είναι τα φυσικά εμπόδια που βρίσκονται στην γύρω περιοχή, δηλαδή επιφάνειες με μεγάλο υψόμετρο. Έτσι για τον υπολογισμό της ορατότητας στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) η οριζόντια γωνία μετατρέπεται σε ημισφαιρικό σύστημα συντεταγμένων

- *Υπολογισμός του Sunmap*: Το ποσό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η κάθε επιφάνεια από όλες τις διευθύνσεις του ουρανού δημιουργεί τον ηλιακό χάρτη. Για την δημιουργία του ηλιακού χάρτη χρειαζόμαστε την θέση του ηλίου την κάθε χρονική στιγμή που θέλουμε να μελετήσουμε, για παράδειγμα αν μελετάμε μία συγκεκριμένη μέρα θέλουμε την θέση του ηλίου για κάθε μισή ώρα μεσα στην μέρα για να έχουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η κάθε περιοχή. Η θέση του ηλίου στο μοντέλο μας υπολογίζεται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης, την μέρα του χρόνου και την ώρα που μελετάμε.
- *Επιδράσεις Σκίασης (Penumbral Effects)*: Για τους ηλιακούς χάρτες που αναπαριστούν μία μέρα ή λιγότερο, η επίδραση της σκίασης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Το μοντέλο υπολογισμού μας χρησιμοποιεί έναν ηλιακό δίσκο με ημιδιάμετρο 0,00466 radians κοντά στο ζενίθ (0.2668ο) και οι τιμές αυξάνουν καθώς πάμε προς τον ορίζοντα (μέχρι 1.6ο). Ο ηλιακός δίσκος φαίνεται μεγαλύτερος κοντά στον ορίζοντα λόγω της διάθλασης, αλλά δεν διαφέρει σημαντικά από 0.5ο, όταν ο ήλιος έχει ανέβει σε γωνία ανύψωσης πάνω από 10ο.
- *Υπολογισμός ουράνιου χάρτη (Skymap Calculation)*: Αντίθετα με την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που καθορίζεται από το αποτύπωμα του ηλίου πάνω στην επιφάνεια, η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προέλθει από κάθε πιθανό σημείο του ουρανού. Έτσι χρειαζόμαστε έναν ουράνιο χάρτη, όπως κατασκευάζεται από την διαίρεση ολόκληρου του ουρανού σε μία σειρά από τομείς, οι οποίοι καθορίζονται από την ζενίθια και την αζιμούθια γωνία. Έτσι προκύπτει ένας ουράνιος χάρτης του οποίου ο διαχωρισμός γίνεται σε 16 ζενίθια τμήματα των 5.625° και 16 αζιμούθια τμήματα των $22,5^\circ$ το καθένα. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.5. Ουράνιος χάρτης που διαχωρίζεται σε 16 ζενίθια τμήματα και σε 16 αζιμούθια τμήματα.

- *Επικάλυψη Ορατότητας με Sunmaps και Skymaps:* Ο ουράνιος και ο ηλιακός χάρτης επικαλύπτουν την ορατότητα της περιοχής. Οπότε, το κενό που προκύπτει στον ουρανό από τον συνδυασμό του ουράνιου και του ηλιακού χάρτη υπολογίζεται από την διαίρεση του αριθμού των κελιών που δέχονται ανεμπόδιστα την ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με όλο το πλήθος των κελιών που υπάρχουν στην συγκεκριμένη περιοχή.

Καταλήγουμε λοιπόν ότι οι παραπάνω παράγοντες είναι σημαντικοί για τον υπολογισμό της άμεσης, της διάχυτης και της ολικής ακτινοβολίας.

- Άμεση ηλιακή ακτινοβολία: Για τα σημεία αυτά που η ηλιακή ακτινοβολία δεν εμποδίζεται να φτάσει στη επιφάνεια της Γης, υπολογίζεται με βάση το κενό, την θέση του ηλίου, την ατμοσφαιρική εξασθένιση και των προσανατολισμό των εδαφικών επιφανειών. Οπότε το μοντέλο μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας που ξεκινά με την ηλιακή σταθερά έξω από την ατμόσφαιρα, με το που εισέλθει σε αυτή δέχεται τροποποιήσεις από την πυκνότητα της αέριας μάζας και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$Dir_{tot} = \sum Dir_{\theta,\alpha}$$

Η ολική άμεση ηλιακή ακτινοβολία (Dir_{tot}) είναι το άθροισμα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ($Dir_{\theta,\alpha}$) από όλους τους τομείς του ηλιακού χάρτη. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία από τον τομέα του ηλιακού χάρτη που έχει κέντρο βάρους σε ζενίθια γωνία θ και αζιμούθια γωνία α υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση.

$$Dir_{\theta,\alpha} = S_{const} * \tau^{m(\theta)} * SunDur_{\theta,\alpha} * SunGap_{\theta,\alpha} * \cos(AngIn_{\theta,\alpha})$$

Όπου:

1. S_{const} : είναι η ηλιακή σταθερά. Η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται στο κενό και η τιμή της, σύμφωνα με εκτιμήσεις κυμαίνεται από 1338 έως 1368 WM^{-2} . Για να είναι όμως πιο ακριβείς οι υπολογισμοί συμφωνήθηκε η ηλιακή σταθερά να έχει την τιμή 1367 WM^{-2} , όπως υπολογίζεται και στο μοντέλο του ArcMap.
2. τ : είναι η διαπερατότητα της ατμόσφαιρας για ένα μικρό κομμάτι της.
3. $m(\theta)$: είναι το σχετικό μήκος της οπτικής διαδρομής (η μέτρηση του σχετίζεται με το μήκος της διαδρομής της ζενίθιας γωνίας). Οπότε καθορίζεται από την ηλιακή ζενίθια γωνία και το υψόμετρο πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Αν η ζενίθια γωνία είναι κάτω των 80° τότε υπολογίζεται από τον τύπο που θα αναφερθεί παρακάτω, αν όμως η ζενίθια γωνία είναι άνω των 80° τότε σημαντικό ρόλο παίζει η διάθλαση που έχουμε. Σε αυτήν την περίπτωση η διάθλαση δέχεται διορθώσεις από διάφορους αστρονομικούς πίνακες.
4. $SunDur_{\theta,\alpha}$: είναι η χρονική διάρκεια που παρουσιάζεται από τον ουράνιο τομέα. Για τους περισσότερους τομείς, είναι ίσο με το διάστημα ημερών που πολλαπλασιάζεται με το διάστημα ωρών. Για μερικούς τομείς (κοντά στον ορίζοντα), η διάρκεια υπολογίζεται χρησιμοποιώντας σφαιρική γεωμετρία.
5. $SunGap_{\theta,\alpha}$: είναι το κενό που παρουσιάζεται στον τομέα του ηλιακού χάρτη.
6. $AngIn_{\theta,\alpha}$: είναι η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ του κεντροειδούς του τομέα του ουρανού και του άξονα κάθετα προς την επιφάνεια. Μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση, παρακάτω. Η επίδραση του

προσανατολισμού επιφάνειας εξηγείται από πολλαπλασιασμό του συνημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης.

$$m = \text{EXP}(-0.000118 * \text{Elev} - 1.638 * 10^{-9} * \text{Elev}^2) / \cos(\theta)$$

όπου

- m είναι το σχετικό μήκος της οπτικής διαδρομής (οπτική μάζα)
- θ_z είναι η ηλιακή ζενίθια γωνία
- Elev είναι το υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας σε μέτρα

$$\text{AngIn}_{\theta,\alpha} = \text{acos}[\text{Cos}(\theta) * \text{Cos}(G_z) + \text{Sin}(\theta) * \text{Sin}(G_z) * \text{Cos}(\alpha - G_a)]$$

όπου

- $\text{AngInSky}_{\theta,\alpha}$: είναι γωνία πρόσπτωσης μεταξύ μίας επιφάνειας και ενός συγκεκριμένου τομέα του ουρανού, ο οποίος έχει ζενίθια γωνία θ και αζιμούθια γωνία α .
 - G_z : είναι η ζενίθια γωνία της επιφανείας
 - G_a : είναι η αζιμούθια γωνία της επιφανείας
- Διάχυτη Ηλιακή Ακτινοβολία: Την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μπορούμε να την διακρίνουμε σε δύο επιμέρους μοντέλα διάχυτης ακτινοβολίας, στο ενιαίο μοντέλο διάχυτης ακτινοβολίας και στο μοντέλο σταθερής νεφοκάλυψης. Στο πρώτο μοντέλο που αναφέρεται και ως “uniform overcast sky” (UOC), η εισερχόμενη διάχυτη ακτινοβολία είναι ίδια από οποιαδήποτε ουράνια διεύθυνση μπορεί να προέρχεται. Στο δεύτερο μοντέλο που ονομάζεται “Standard Overcast Sky” (SOC), η διάχυτη ακτινοβολία ποικίλει με βάση την ζενίθια γωνία. Τα δύο αυτά μοντέλα υπάρχουν μέσα στην εφαρμογή του ArcMap και υπολογίζονται από την παρακάτω εξίσωση.

$$\text{Dif}_{\theta,\alpha} = R_{\text{gib}} * P_{\text{dif}} * \text{Dur} * \text{SkyGap}_{\theta,\alpha} * \text{Weight}_{\theta,\alpha} * \cos(\text{AngIn}_{\theta,\alpha})$$

Όπου

- R_{glb} : είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία
- P_{dif} : καθορίζει την καθαρότητα του ουρανού. Οι τιμές που παίρνει είναι από 0,2 για τέλειες καιρικές συνθήκες έως και 0,7 για μεγάλη νεφοκάλυψη στον ουρανό
- Div : είναι το χρονικό διάστημα που μελετάμε
- $SkyGap_{\theta,\alpha}$: είναι το κενό που έχουμε για καθαρό ουρανό για τον τομέα που μελετάμε
- $Weight_{\theta,\alpha}$: είναι η αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας που δημιουργείται στον ουράνιο τομέα που μελετάμε σε σχέση με όλους τους άλλους ουράνιους τομείς.
- $\cos(\text{AngIn}_{\theta,\alpha})$: είναι η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ του κεντροειδούς του τομέα του ουρανού και της επιφάνειας μελέτης.

Το R_{glb} υπολογίζεται από το άθροισμα της άμεσης ακτινοβολίας σε κάθε τομέα χωρίς να γίνει διόρθωση της γωνίας πρόσπτωσης, διορθώνοντας όμως το ποσοστό της άμεσης το οποίο ισούται με $1 - P_{dif}$, έτσι προκύπτει ο παρακάτω τύπος.

$$R_{glb} = (S_{const} \sum (\tau^{m(\theta)})) / (1 - P_{dif})$$

Ακόμη σημαντικό να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι το $Weight_{\theta,\alpha}$ διαφέρει μεταξύ των “Standard & Uniform Overcast Sky”

Οπότε για το μοντέλο “Uniform Overcast Sky” έχουμε:

$$Weight_{\theta,\alpha} = (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) / Div_{azi}$$

Όπου:

- ❖ θ_1 και θ_2 : είναι οι ζενίθιες γωνίες που οριοθετούν τον τομέα του ουρανού
- ❖ Div_{azi} : είναι ο αριθμός των αζιμουθιακών τμημάτων που υπάρχουν στον ουράνιο χάρτη.

Τέλος, αθροίζοντας την διάχυτη ακτινοβολία για όλους τους τομείς προκύπτει η ολική διάχυτη ακτινοβολία, έτσι έχουμε:

$$Dif_{tot} = \Sigma Dif_{\theta,\alpha}$$

- Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία: Η ολική ηλιακή ακτινοβολία προκύπτει αν αθροίσουμε την ολική άμεση ακτινοβολία και την ολική διάχυτη ακτινοβολία για την περιοχή μελέτης μας. Ο αντίστοιχος τύπος είναι:

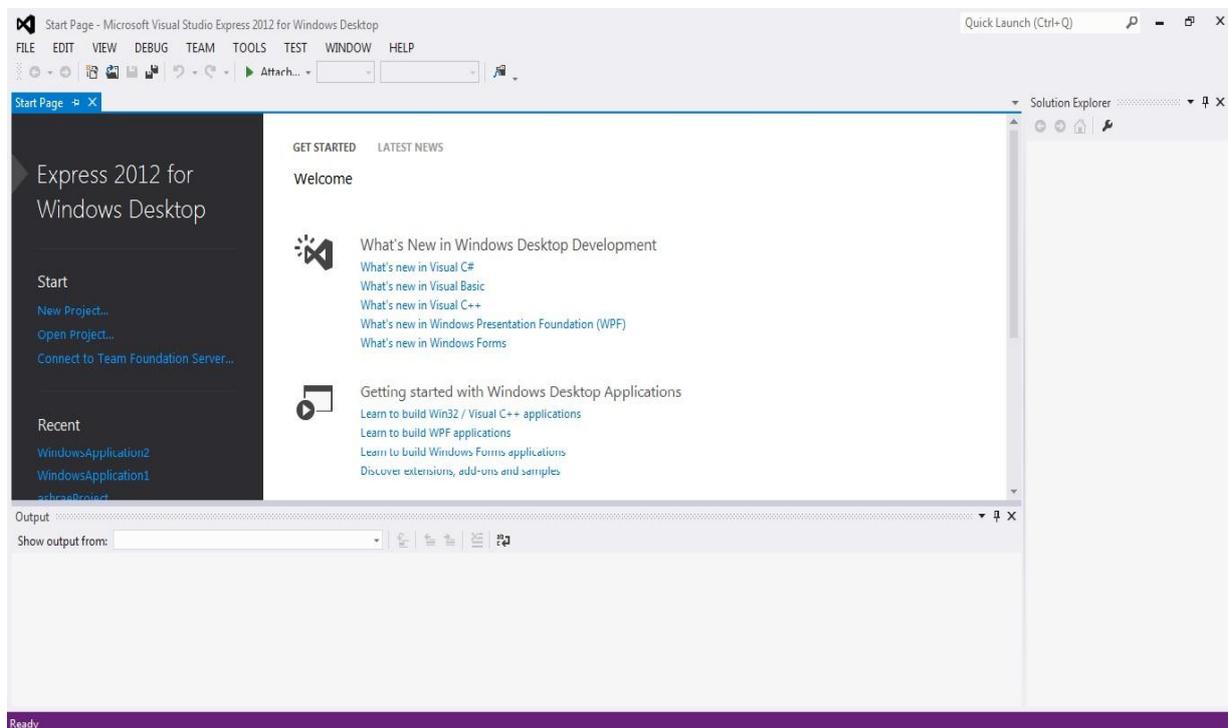
$$Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot}$$

3. Λογισμικό – Προγραμματισμός

3.1. Γλώσσα Προγραμματισμού Visual basic

Η Visual Basic (VB) είναι μία γλώσσα οπτικού προγραμματισμού εύκολη προς τον χρήστη τόσο ως προς την εκμάθησή της, όσο και ως προς τον χειρισμό της. Η Visual Basic ανήκει στην ομάδα προγραμμάτων της Microsoft Visual Studio και χρησιμοποιείται για την επικοινωνία εφαρμογών της Microsoft, όπως είναι η Access, το Word, το Excel και άλλες τέτοιες εφαρμογές. Η Visual Basic χρησιμοποιεί την λογική του αντικειμενοστραφή προγραμματισμού, όπου δίνεται έμφαση στη δημιουργία μονάδων οι οποίες θα περιλαμβάνουν τα δεδομένα αλλά και τις εντολές που τα διαχειρίζονται (Νάκου, 2010). Αναλυτικότερα, γίνεται εισαγωγή αντικειμένων που έχει επιλέξει ο χρήστης και με τις κατάλληλες υπορουτίνες που εκτελούνται κάθε φορά, γίνεται η εκτέλεση του προγράμματος.

Ανοίγοντας το πρόγραμμα της Visual Basic έχουμε την αρχική σελίδα, η οποία είναι η εξής:



Σχήμα 3.1. Αρχική σελίδα γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic

3.2. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), καθώς αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό και αναπόσπαστο μέρος της εργασίας αυτής. Ξεκινώντας, θα πρέπει να δούμε την σημασία της έννοιας ΣΓΠ και τι καλύτερο από τον ορισμό της. Οπότε, όταν αναφερόμαστε στα ΣΓΠ εννοούμε *ένα σύνολο υλικού, λογισμικού και διαδικασιών το οποίο με την κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική ανάλυση. Ακόμη αποτελεί σημαντικό εργαλείο υποστήριξης λήψεων αποφάσεων στην επίλυση ποικίλων προβλημάτων διαχείρισης και σχεδιασμού* (Χαλκιάς, 2006).

Ακόμη, σημαντικό να αναφερθεί είναι η χρησιμότητα των ΣΓΠ, καθώς είναι εκείνα που μπορούν να προσδιορίσουν το αντικείμενο μελέτης, την θέση στην οποία βρίσκεται, τις αλλαγές που έχει υποστεί ή που μπορεί να συμβούν στο μέλλον και ποιες άλλες γεωγραφικές οντότητες μπορεί να σχετίζονται με το αντικείμενο αυτό. Επιπλέον, τα ΣΓΠ βοηθάνε στην συντήρηση χωρικών δεδομένων και μπορούν να ενημερώνουν με νέα δεδομένα τους χάρτες και τα στατιστικά στοιχεία που έχουμε. Επιπρόσθετα, δημιουργούν υπηρεσίες ανάκτησης δεδομένων και υπηρεσίες κατανομής – διαμοιρασμού δεδομένων, καθώς πριν την δημιουργία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών δεν υπήρχαν τέτοιου είδους υπηρεσίες.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η αξιοποίηση δεδομένων από διαφορετικές πηγές
- Η ευκολία με την οποία μπορούμε να κάνουμε αναθεωρήσεις και ενημερώσεις
- Η ευκολία αποθήκευσης και ανάκτησης πληροφοριών
- Οι εξελιγμένες δυνατότητες επεξεργασίας και μοντελοποίησης
- Οι δυνατότητες αυτοματοποιημένης χαρτογραφίας (ευκολία δημιουργίας εναλλακτικών χαρτογραφικών επιλογών, ευκολία παραγωγής χαρτών, 3D διαγράμματα κλπ)

Ειδικότερα, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να πραγματοποιήσουν τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας μόνο από την κλίση, τον

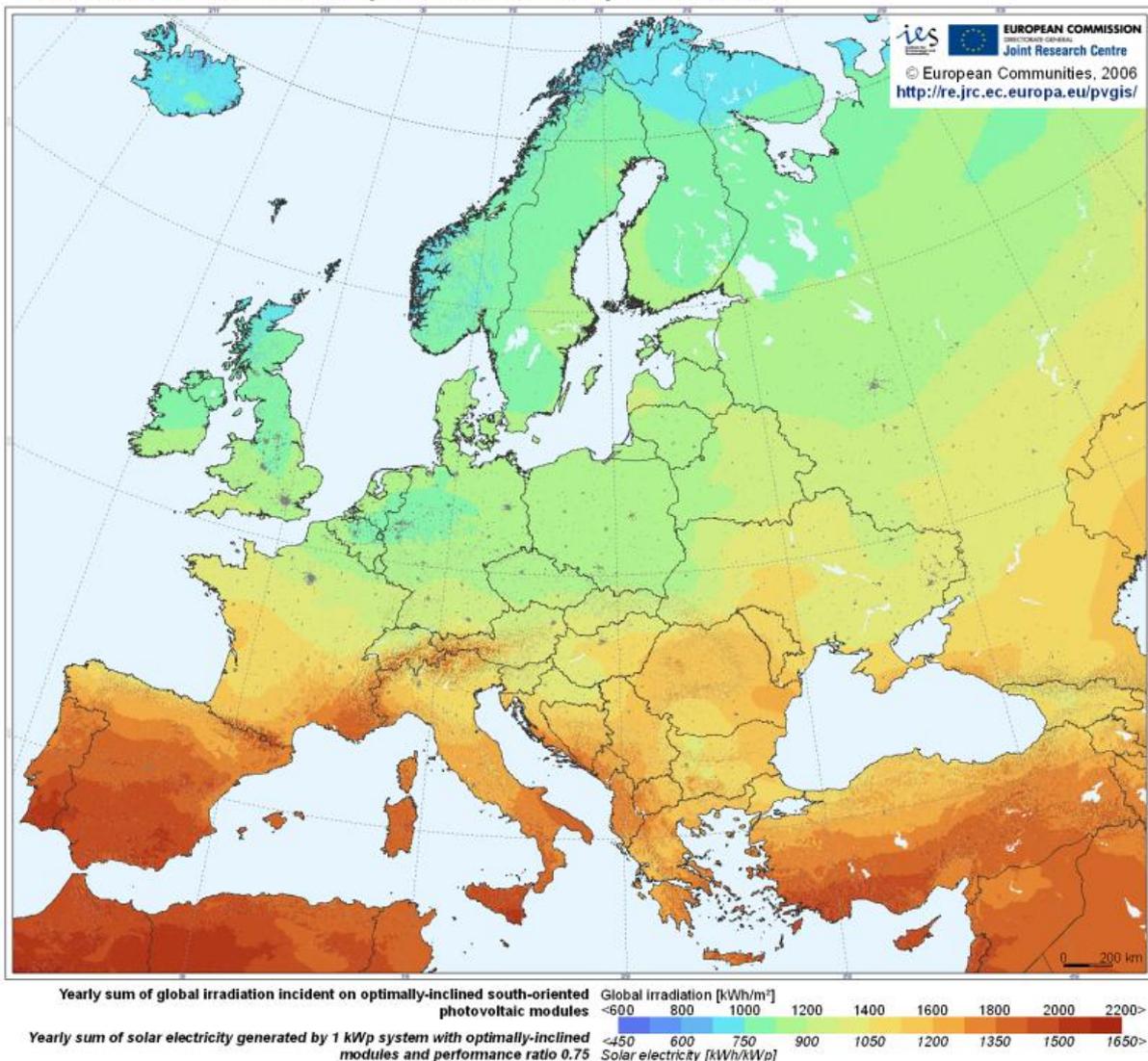
προσανατολισμό και την σκίαση μίας επιφάνειας (Fu and Rich, 1999). Τα ΣΓΠ που λειτουργούν σε υπολογιστές νέας γενιάς μπορούν να δημιουργήσουν σε κατάλληλες πλατφόρμες μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως και στην περίπτωση της παρακάτω μελέτης. Όπου γίνεται αναφορά του μοντέλου που ήδη υπάρχει στην εφαρμογή του ArcGIS, που θεωρείται μία πλατφόρμα υπολογισμού που σχετίζονται με τα ΣΓΠ, το οποίο είναι το μοντέλο υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας των Fu & Rich που έχει αναφερθεί αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο και του μοντέλου ASHRAE – Hay, το οποίο έχει δημιουργηθεί εφαρμογή μέσω της Visual Basic για την εισαγωγή των δεδομένων στο ArcGIS.

4. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ένα θέμα το οποίο έχει μελετηθεί παγκοσμίως και έχουν γίνει διάφορες μελέτες για την όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη αποτύπωση της. Τέτοιες μελέτες είναι του Lacis (1973), ο οποίος υπολογίζει την ακτινοβολία στην γήινη επιφάνεια με βάση τον προσανατολισμό και την κλίση του εδάφους, αλλά λαμβάνει υπόψη του και τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες, όπως είναι η νεφοκάλυψη και η υγρασία της ατμόσφαιρας που μειώνουν το ποσό της άμεσης ακτινοβολίας που φτάνει την επιφάνεια της γης. Ακόμη οι Wong & Chow (2001) χρησιμοποιούν 7 ηλιακά μοντέλα (μαζί και του μοντέλου της Ashrae που μελετάμε στην παρούσα εργασία) και κάνουν σύγκριση των αποτελεσμάτων της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, για την πόλη του Hong Kong, που εξάγει το κάθε μοντέλο και έχει ακριβέστερα αποτελέσματα. Μια σημαντική μελέτη που συμπληρώνει αυτή των Wong & Chow είναι αυτή των Kambezidis, Psiloglou & Gueymard (1994), η οποία βοηθάει τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας με την χρήση ιστροπικών και ανιστροπικών μοντέλων εδάφους σε κεκλιμένο επίπεδο. Ακόμη σημαντικές μελέτες έχουν γίνει για την ηλιακή ακτινοβολία με την χρήση των ΣΓΠ. Ξεκινώντας από πιο παλιά, ο Hetrick (1993) χρησιμοποίησε το μοντέλο ροής της ηλιακής ακτινοβολίας (SOLARFLUX), το οποίο είναι βασισμένο στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, και βασίζεται στον προσανατολισμό του εδάφους, στην ηλιακή γωνία, στην σκίαση, στην τοπογραφία της περιοχής και σε ατμοσφαιρικούς παράγοντες. Ακόμη, οι Dubayah & Rich ανέπτυξαν το ατμοσφαιρικό και τοπογραφικό μοντέλο (ATM) και το SOLARFLUX που αναφέρεται και προηγουμένως. Στην συνέχεια έχουμε το μοντέλο των Fu & Rich (1999, 2000, 2002), το οποίο ενσωματώθηκε στην εφαρμογή του ArcMap και αποτελεί ένα πλήρες μοντέλο αποτύπωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε χάρτη, καθώς λαμβάνει υπόψη ένα μεγάλο πλήθος παραγόντων που έχουν να κάνουν τόσο με την τοπογραφία της περιοχής, αλλά και με τον ουράνιο και τον ηλιακό χάρτη. Σημαντική να αναφερθεί είναι και η έρευνα των Suri & Hofierka (2002), καθώς ανέπτυξαν το μοντέλο r.sun το οποίο υπολογίζει την ηλιακή ακτινοβολία για την ανατολική και κεντρική Ευρώπη σύμφωνα με το ανάγλυφο που έχουμε. Την τελευταία δεκαετία, οι Pons & Ninyerola (2008) χαρτογραφούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία με βάση τα εδαφικά δεδομένα που υπάρχουν σύμφωνα με τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους που υπήρχαν για την περιοχή της Καταλονίας. Σημαντική και

μη εξαιρετέα μπορεί να θεωρηθεί η έρευνα των Gadsen, Rylatt & Lomas (2003), αφού παρουσιάζει την χρησιμότητα της μοντελοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση των ΣΓΠ, καθώς βοηθάει στην χωροθέτηση ηλιακών θερμοσιφώνων για την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα για την περιοχή του Leicester στην Αγγλία. Ακόμη, σημαντική είναι η προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, από το 2007, να χαρτογραφήσει την ηλιακή ακτινοβολία με την χρήση των ΣΓΠ για την περίοδο 1981-1990 για την χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Σχήμα 4.1. Solar Map για την Ευρώπη για την περίοδο 1981 – 1990.

Τέλος, θα ήθελα να αναφερθώ σε δύο μελέτες που έγιναν για την ηλιακή ακτινοβολία με την χρήση των ΣΓΠ στην Ελλάδα και ειδικότερα στο τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκοπέιου,

τόσο σε προπτυχιακό όσο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο. Ο Μήτρου Ανδρέας (2005) μοντελοποίησε την ηλιακή ακτινοβολία με την χρήση των ΣΓΠ για την περιοχή της Τήνου, με χρήση των μοντέλων SUNAE και ASHRAE σε συνεργασία με τον ερευνητή του ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ Δρ. Β. Ψυλόγλου. Η Σαλονικίδη Αθανασία (2016) ασχολείται με την εκτίμηση και την ανάλυση του ηλιακού δυναμικού στην Ελλάδα με την χρήση ΣΓΠ, κύριως σκοπός της εργασίας ήταν η χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου για την περιοχή της Ελλάδος. Για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού χρησιμοποίησε το ατμοσφαιρικό μοντέλο POSEIDON.

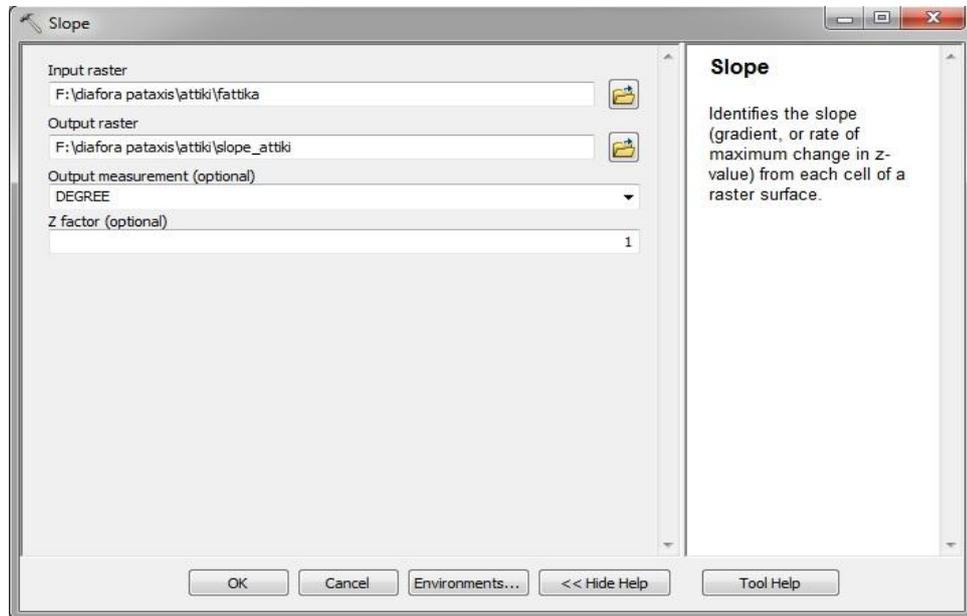
5. Μεθοδολογία

Στο παρών κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην μεθοδολογία, η οποία ακολουθήθηκε για την παραγωγή των αποτελεσμάτων της ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση των προγραμμάτων της Visual Basic και του ArcGIS. Πιο συγκεκριμένα, τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι η Visual Basic 2012, που υπάρχει διαθέσιμη δωρεάν στο Visual Studio Express 2012 και το ArcMap 10.2.2 που υπάρχει μέσα στο λογισμικό του ArcGIS.

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθούμε στον υπολογισμό της θέσης του ηλίου στον ουράνιο θόλο, για κάθε χρονική στιγμή, με χρήση του κώδικα SUNAE (έτοιμος κώδικας σε γλώσσα FORTRAN από τον Δρ. Β. Ψυλόγλου). Ο κώδικας SUNAE λαμβάνοντας ως δεδομένα εισόδου την ημερομηνία (έτος και Ιουλιανή ημέρα), το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής ενδιαφέροντος, υπολογίζει την ζενίθια γωνία (zenith angle), την αζιμούθια γωνία (azimuth angle), την ωριαία γωνία (hour angle) και την απόκλιση του ήλιου (sun declination). Έχοντας τα δεδομένα αυτά μπορούμε στην συνέχεια να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία με χρήση του μοντέλου της ASHRAE, με βάση τον τύπο που έχουμε αναφέρει προηγουμένως.

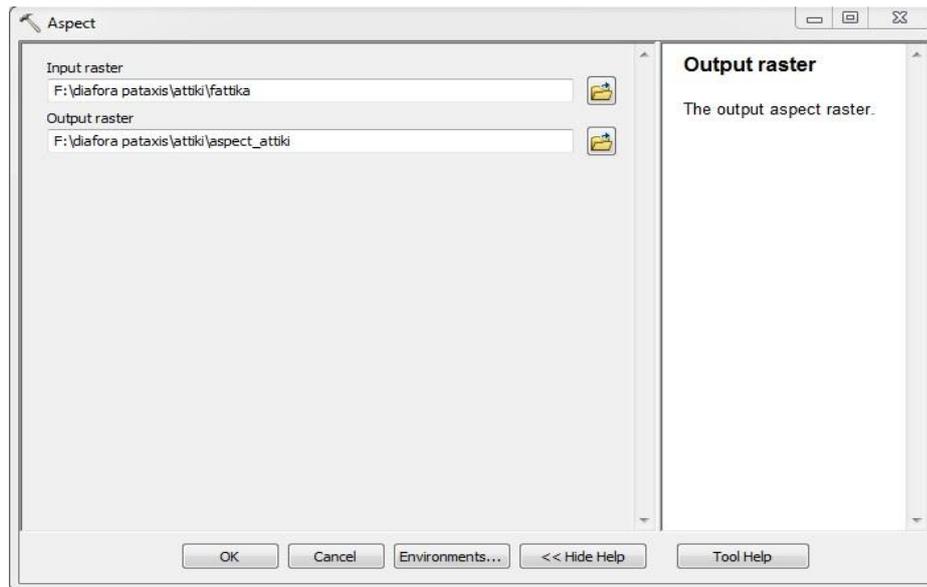
Τα αποτελέσματα του μοντέλου ASHRAE αναφέρονται στην ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει ένα οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης. Όμως λόγω της μορφολογίας του εδάφους υπάρχουν επιφάνειες με κλίση και συγκεκριμένο προσανατολισμό, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφορές στις τιμές των ακτινοβολιών που δέχεται μια οριζόντια από μία κεκλιμένη επιφάνεια. Έτσι χρησιμοποιούμε το ανισοτροπικό μοντέλο του Hay, το οποίο έχουμε αναλύσει προηγουμένως, για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε τέτοιες επιφάνειες. Οπότε με βάση τα πρωτογενή δεδομένα (DEM) που έχουμε για την περιοχή της Αττικής με Cell size 100* 100 μπορούμε και δημιουργούμε δύο αρχεία το ένα για την κλίση και το άλλο για τον προσανατολισμό κάθε επιφάνειας. Η παραγωγή των αρχείων αυτών γίνεται με την χρήση των εντολών Aspect και Slope που υπάρχουν μέσα στο Arc Toolbox. Για την εξαγωγή των δεδομένων σε μορφή ASCII, ώστε να μπορέσουμε να τα εισάγουμε στο μοντέλο υπολογισμού του Hay, χρησιμοποιούμε την εντολή του ArcGIS “Raster to Ascii”.

Αναλυτικότερα, έχοντας ως δεδομένο το DEM για την περιοχή της Αττικής ανατρέχουμε στην εφαρμογή του Slope που βρίσκεται μέσα στο ArcToolbox και την επιλέγουμε, τότε εμφανίζεται το εξής παράθυρο:



Σχήμα 5.1. Παράθυρο εφαρμογής Slope.

Στην συνέχεια, επιλέγουμε το DEM της Αττικής, το οποίο στην περίπτωσή μας έχει την ονομασία fattika και στην συνέχεια ορίζουμε τον φάκελο που θέλουμε να αποθηκευτεί το αρχείο μας. Ακόμη, σημαντικό είναι να ορίσουμε ότι η μονάδα μέτρησης της κλίσης μας θέλουμε να είναι σε μοίρες ώστε να συμβαδίζουν με τις τιμές που χρησιμοποιεί ο κώδικας του υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίστοιχα, για τον προσανατολισμό της περιοχής μας χρησιμοποιούμε την εφαρμογή του Aspect και το παράθυρο που εμφανίζεται όταν το επιλέξουμε είναι το εξής:



Σχήμα 5.2. Παράθυρο εφαρμογής Aspect.

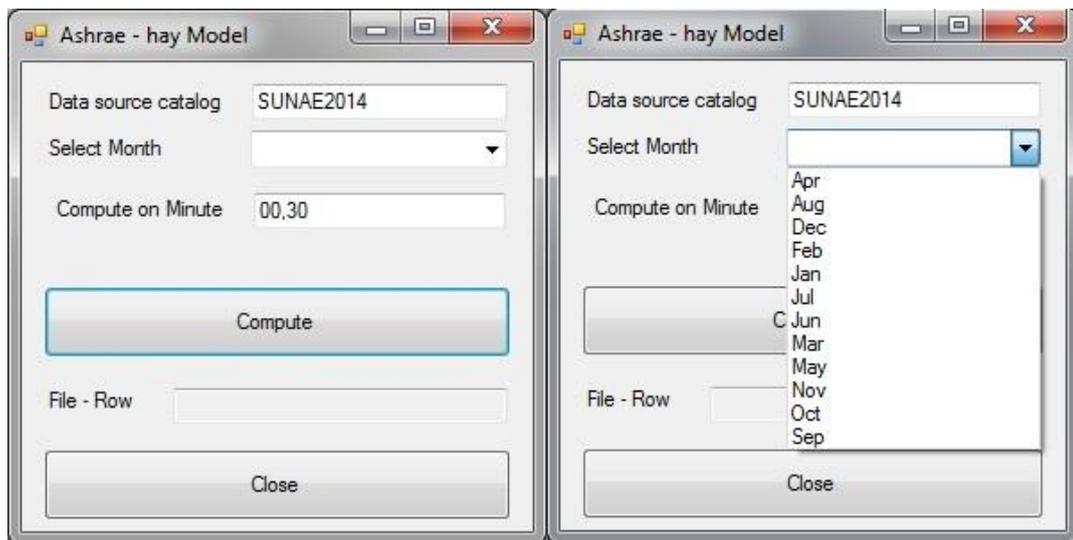
Στην περίπτωση του προσανατολισμού το αποτέλεσμα επηρεάζεται αποκλειστικά και μόνο από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Αττικής και εμείς απλά ορίζουμε την ονομασία και τον φάκελο που θα αποθηκευτεί το συγκεκριμένο Raster. Βέβαια, στην περίπτωση του προσανατολισμού χρησιμοποιήθηκε ένας επιπλέον υπολογισμός, καθώς τα αποτελέσματα του προσανατολισμού που έχουμε από την εφαρμογή του GIS είναι διαφορετικά από τα εισαγόμενα που χρειαζόμαστε για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του μοντέλου της ASHRAE - HAY. Ειδικότερα, στην περίπτωση του GIS το αποτέλεσμα που λαμβάνεται έχει τιμές από 0 – 360 μοίρες, με την τιμή του μηδενός να βρίσκεται στον Βορρά και καθώς κινούμαστε δεξιόστροφα (προς τα ανατολικά) οι τιμές να αυξάνουν με την Ανατολή να έχει την τιμή 90, τον Νότο να παίρνει την τιμή 180 και την δύση να έχει την τιμή 270. Αντίθετα, το μοντέλο SUNAE καθορισμού της θέσης του ήλιου στον ουράνιο θόλο και τα μοντέλα ASHRAE – HAY για να μπορέσουν να κάνουν σωστούς υπολογισμούς της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια χρειάζονται ο προσανατολισμός της περιοχής να έχει τιμές από -180 έως 0 και από 0 έως 180 με 0 να είναι το σημείο του Νότου και 180 ή -180 το σημείο του Βορρά, ακόμη θετικές τιμές να παίρνουμε για τις ανατολικές περιοχές και αντίστοιχα αρνητικές τιμές για τις δυτικές, δηλαδή για την Ανατολή η τιμή που παίρνουμε είναι 90 και αντίστοιχα για την Δύση έχουμε την τιμή -90. Οπότε για την μετατροπή αυτή χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε το Raster

Calculator για να μπορέσουμε να μετατρέψουμε τον αρχικό μας προσανατολισμό στον επιθυμητό. Η πράξη που χρησιμοποιήθηκε για να γίνει αυτή η μετατροπή είναι η εξής:

$$(Aspect - 180) * -1$$

Έτσι, λοιπόν έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του μοντέλου SUNAE - ASHRAE - HAY.

Έχοντας, λοιπόν τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς, καταλήγουμε στην χρήση της Visual Basic για την παραγωγή του προγράμματος υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια. Στην αρχή, δημιουργήθηκε το επιθυμητό interface για την βέλτιστη χρήση της εφαρμογής και το αποτέλεσμα είναι το εξής:



Σχήμα 5.3. Interface εφαρμογής υπολογισμού Ashrae - Hay.

Στην συνέχεια, επιλέγοντας τα τρία πρώτα boxes που φαίνονται στην εφαρμογή καθορίζουμε τα δεδομένα εισόδου. Αναλυτικότερα, στο πρώτο box αναγράφεται το όνομα του φακέλου, όπου βρίσκονται τα δεδομένα εισόδου, στον δεύτερο box επιλέγουμε τον μήνα για τον οποίο θέλουμε να πάρουμε αποτελέσματα και στο τρίτο και τελευταίο box δίνουμε την εντολή κάθε πότε θα γίνεται λήψη των δεδομένων από τα αρχεία τις SUNAE, καθώς έχουμε δεδομένα με ακρίβεια λεπτού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην διάρκεια της μέρας γίνεται με χρονικό βήμα μισής ώρας. Έπειτα, ανοίγοντας τον κώδικα του button "Compute" εισάγουμε τις εξισώσεις των μοντέλων του ASHRAE και του Hay και καθορίζουμε τα αρχεία που εξάγονται μέσω των υπολογισμών αυτών. Βλέποντας το σχήμα μας

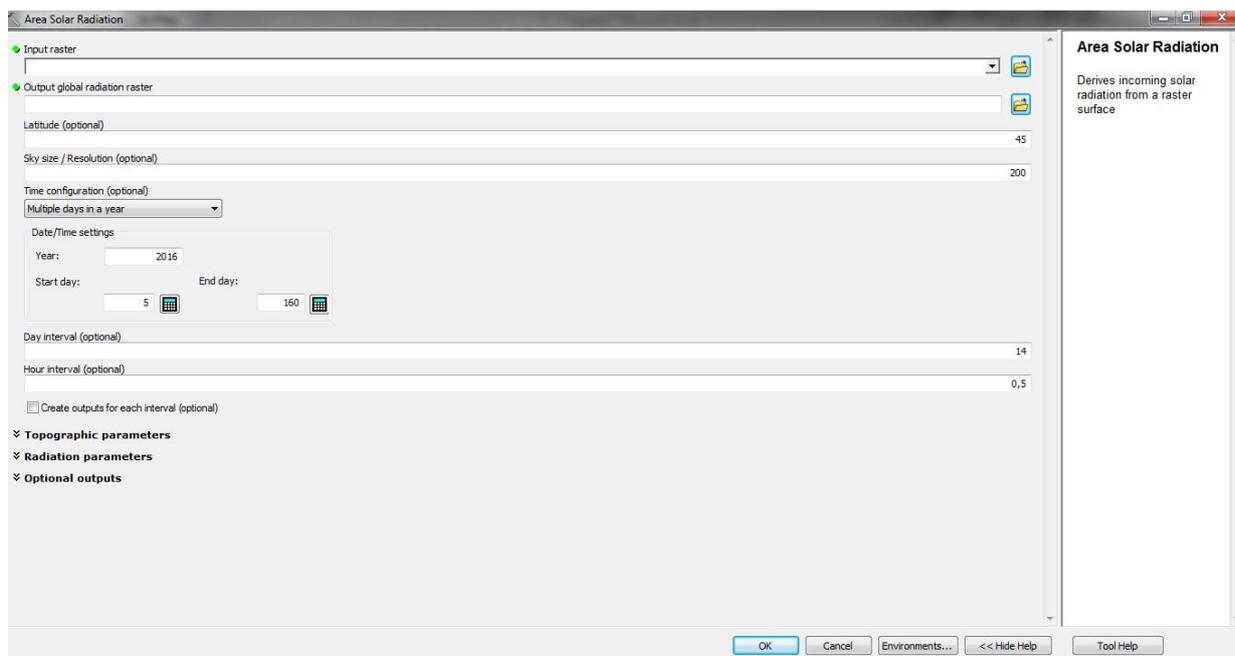
δίνεται το File – Row, το οποίο μας δείχνει το στάδιο που βρίσκεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων μας για την ολοκλήρωσή τους. Σημαντικό να αναφερθεί είναι ότι το μοντέλο υπολογισμού εξάγει αποτελέσματα ίδιας μορφής με αυτά των ASCII αρχείων που πήραμε από το ArcMap. Πιο συγκεκριμένα, στον κώδικα δώσαμε την εντολή να μην διαβάσει τις 6 πρώτες γραμμές και να τις εισάγει αυτούσιες στα ASCII αρχεία που δημιουργούνται, τις τιμές -9999 να τις λαμβάνει ως “no data” και οι υπολογισμοί να γίνονται για όλα τα υπόλοιπα κελιά. Κατά αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι έτοιμα για την εισαγωγή τους στην εφαρμογή του ArcMap.

Επομένως, ακολουθεί η εισαγωγή των αποτελεσμάτων, που έχουμε μέσω του προγράμματος ASHRAE – Hay, στην πλατφόρμα του ArcMap. Για την επίτευξη αυτού του βήματος χρησιμοποιούμε την εντολή Ascii to Raster. Κατά αυτόν τον τρόπο μετατρέπουμε τα αριθμητικά δεδομένα που έχουμε σε ψηφίδες και δημιουργείται ο χάρτης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια. Αφού εισάγουμε όλα τα δεδομένα για κάθε μισή ώρα που η επιφάνεια της αττικής δέχεται ηλιακή ενέργεια, τότε με την εντολή του Raster Calculator υπολογίζουμε την αθροιστική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια σε Wh/m². Για τον υπολογισμό της αθροιστικής ακτινοβολίας για μία ημέρα χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο ολοκλήρωσης του τραπέζιου. Ενδεικτικά, για τον μήνα του Ιανουαρίου έχουμε δεδομένα για κάθε μισή ώρα από τις 8:00 το πρωί μέχρι τις 17:30 το απόγευμα, οπότε για το υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας σε Wh/m² χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$January = \left(\frac{8:00}{2} + 8:30 + 9:00 + \dots + 17:00 + \frac{17:30}{2} \right) * 0,5$$

Έτσι λοιπόν καταλήγουμε στις μέσες Wh/m² για κάθε μήνα, καθώς αντιμετωπίζουμε την 21 μέρα κάθε μήνα ως αντιπροσωπευτικό δείγμα σύμφωνα με το μοντέλο υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας της ASHRAE. Τέλος, υπολογίζουμε την μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για το 2014, καθώς τότε έχουμε πάρει το δείγμα μας.

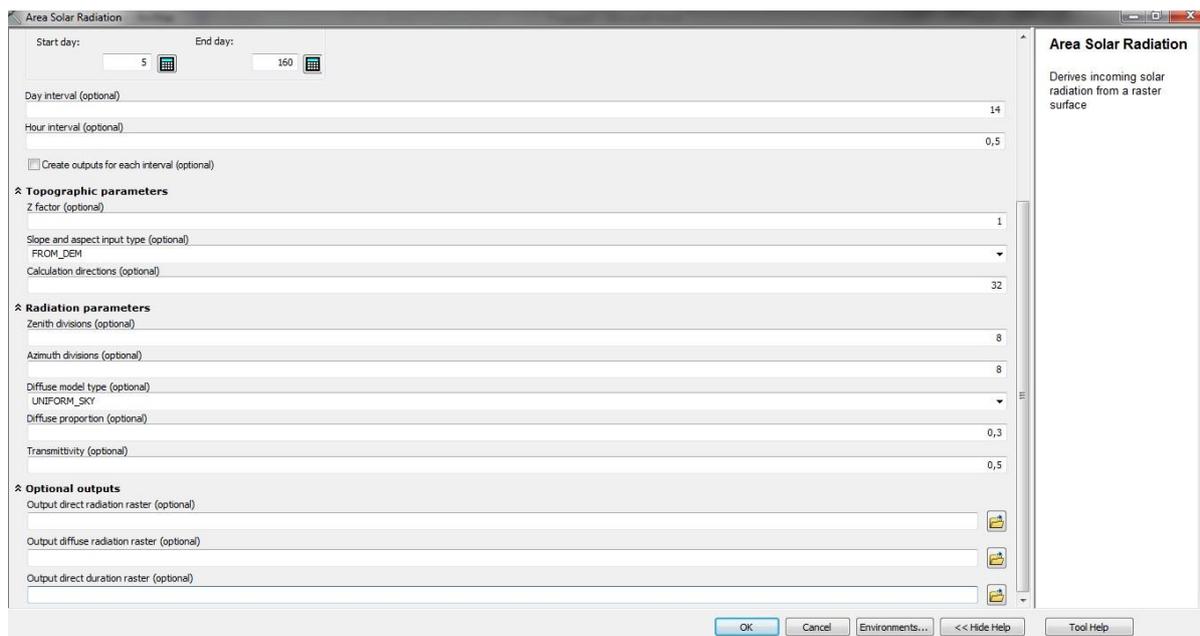
Εφόσον, έγινε ο υπολογισμός της ASHRAE και του Hay, τώρα σειρά έχει η εκτέλεση της εντολής Solar Radiation που ήδη υπάρχει στην πλατφόρμα του ArcMap και συγκεκριμένα βρίσκεται στα extensions του Arc Toolbox. Για την μελέτη της περιοχής της αττικής χρησιμοποιούμε συγκεκριμένα την εντολή του Area Solar Radiation.



Σχήμα 5.4. Άνοιγμα εντολής Area Solar Radiation

Με το που ανοίξουμε το παράθυρο του Area Solar Radiation βλέπουμε την παραπάνω εικόνα. Έτσι ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία για να πάρουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αρχικά, εισάγουμε το DEM της περιοχής μας και επιλέγουμε την αποθήκευση του στον φάκελο που επιθυμούμε. Εάν το μοντέλο εδάφους είναι γεωαναφερμένο το Latitude θα αλλάξει σύμφωνα το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μας. Το Sky size/ Resolution είναι η ανάλυση που έχει το sky και το sun map για την ορατότητα της περιοχής και συνήθως δίνεται με 200 κελιά. Στην συνέχεια επιλέξαμε να λάβουμε αποτελέσματα για μία μέρα (Within a day) και ορίσαμε τις ώρες που θέλουμε σύμφωνα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Ashrae και επιλέξαμε να δημιουργήσει αποτελέσματα για κάθε μισάωρο (hour interval: 0,5).

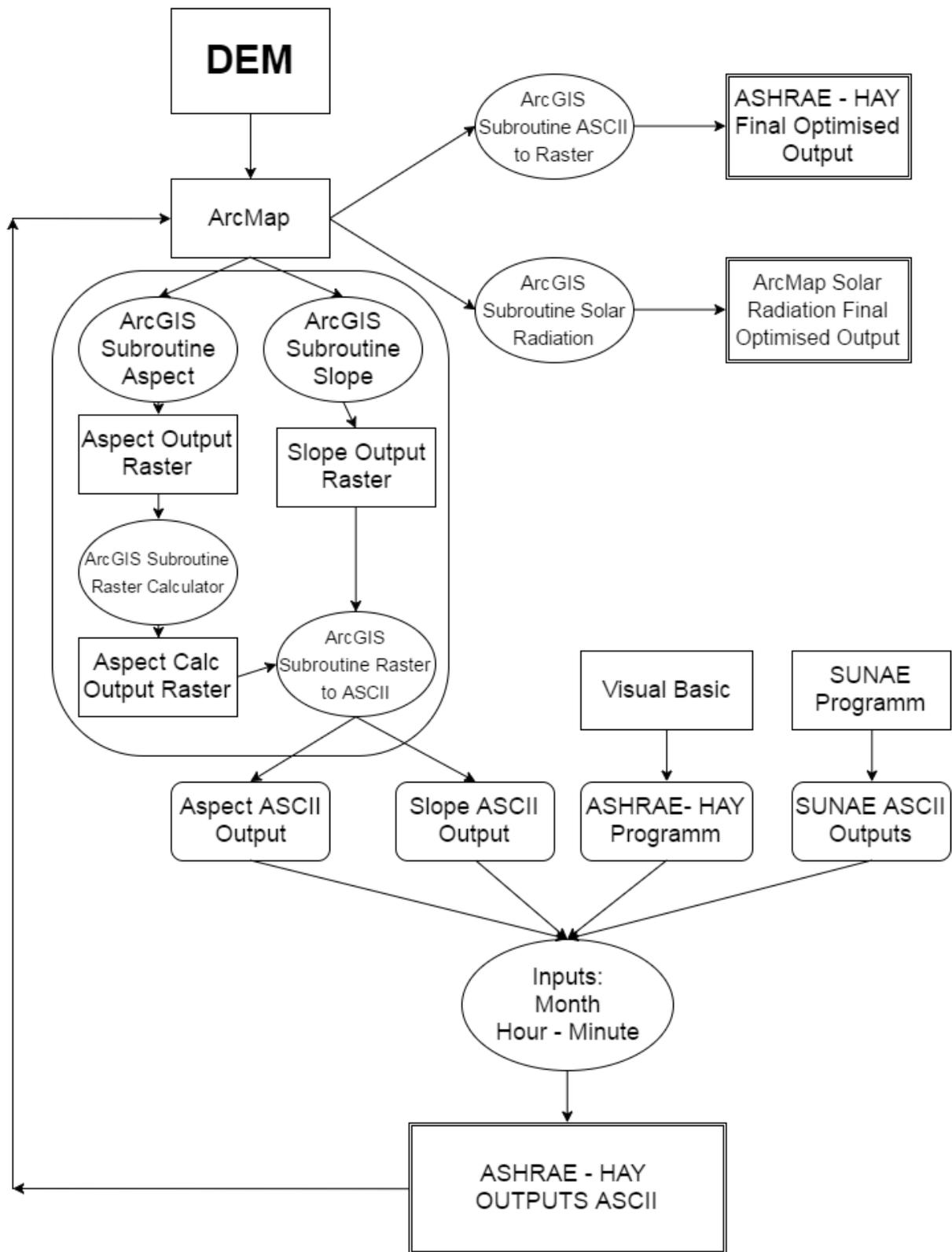
Ακόμη δευτερεύοντες είναι οι παράγοντες που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 5.5. Δευτερεύοντες Παράγοντες του Area Solar Radiation

Πιο συγκεκριμένα, εάν θέλουμε μπορούμε να ορίσουμε τις παραμέτρους της τοπογραφίας και της ακτινοβολίας. Στην συγκεκριμένη εργασία δεν χρειάστηκε να αλλάξουμε καμία από τις παραπάνω παραμέτρους, καθώς οι προκαθορισμένες επιλογές ήταν κατάλληλες για την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Τέλος, τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε είναι σε Wh/m^2 , οπότε σε αυτή την περίπτωση για να βρούμε την αθροιστική ηλιακή ακτινοβολία για την 21 μέρα του κάθε μήνα, που έχουμε επιλέξει και σε αυτήν περίπτωση, κάνουμε μία απλή πρόσθεση των αποτελεσμάτων που βγήκαν από το πρόγραμμα. Και στην συνέχεια υπολογίζεται η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για το 2014.

Έτσι σύμφωνα με όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο παρακάτω λογικό διάγραμμα που ακολουθήθηκε για τη διεκπεραίωση της συγκεκριμένης μελέτης.



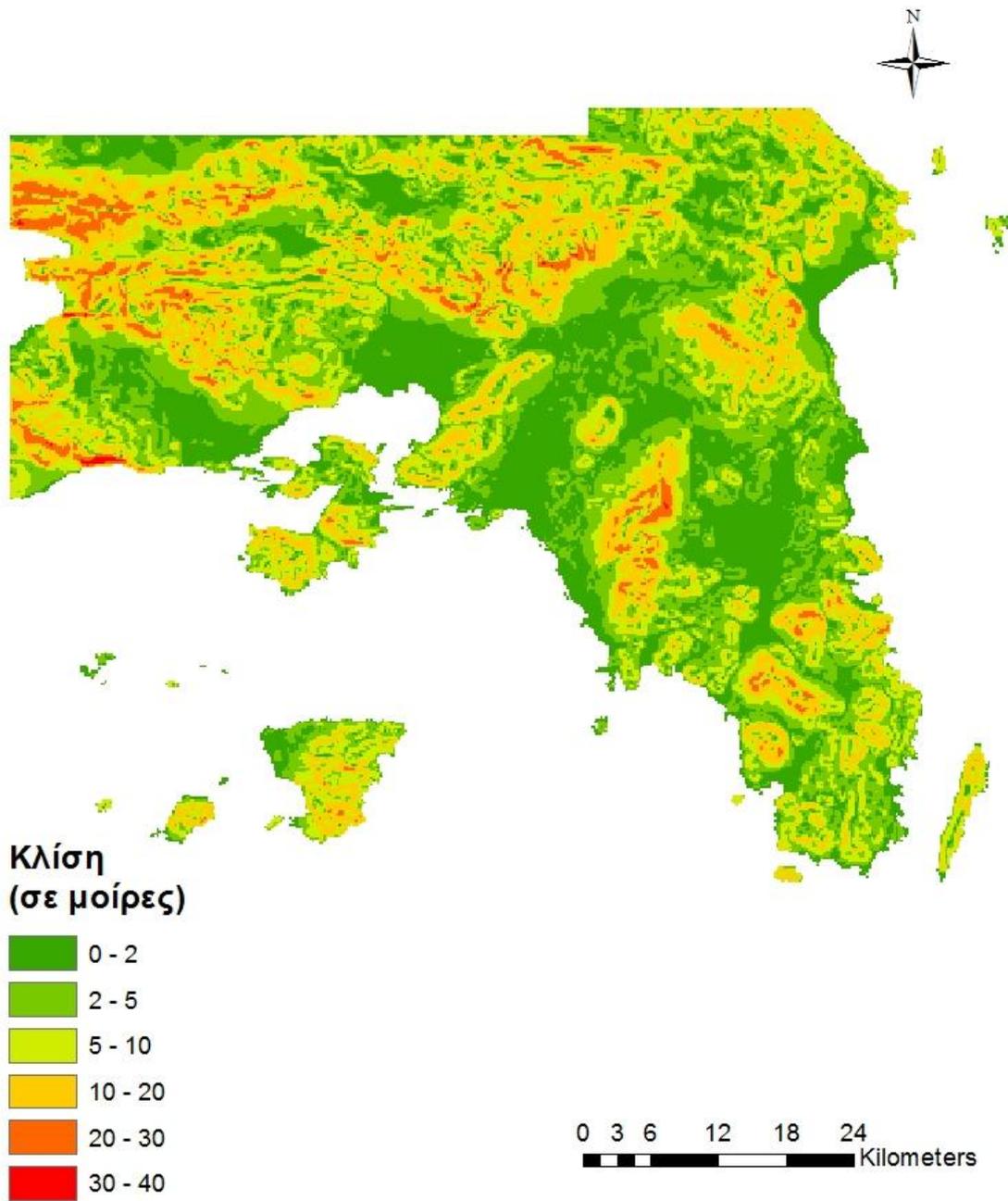
Σχήμα 5.6. Λογικό Διάγραμμα των μοντέλων ASHRAE – HAY και Solar Radiation.

6. Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν κατά την εκπόνηση της παραπάνω μεθοδολογίας. Αρχικά, έχουμε την εξαγωγή των εκτιμήσεων της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνειες οποιασδήποτε κλίσης και προσανατολισμού, τα οποία ήταν απαραίτητα για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, γίνεται μηνιαία ανάλυση των αποτελεσμάτων που εξάγει ο συνδυασμός των μοντέλων ASHRAE – Hay για την επιφάνεια της Αττικής και τα αποτελέσματα που έχουμε είναι για την 21^η μέρα κάθε μήνα, καθώς την θεωρούμε αντιπροσωπευτική ως μέσο για την ηλιακή ενέργεια που δέχεται η επιφάνεια μας κάθε μέρα. Έτσι προκύπτει ότι οι τιμές που λαμβάνουμε θεωρούνται ως μέσες τιμές των μηνών για το έτος 2014 και καταλήγουμε στην μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Αττική για ένα ολόκληρο έτος. Τέλος, παρουσιάζουμε κάποια αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του ArcMap, τα οποία είναι για την εποχή του χειμώνα, της άνοιξης και του καλοκαιριού και τη μέση ηλιακή ενέργεια για όλο το έτος του 2014.

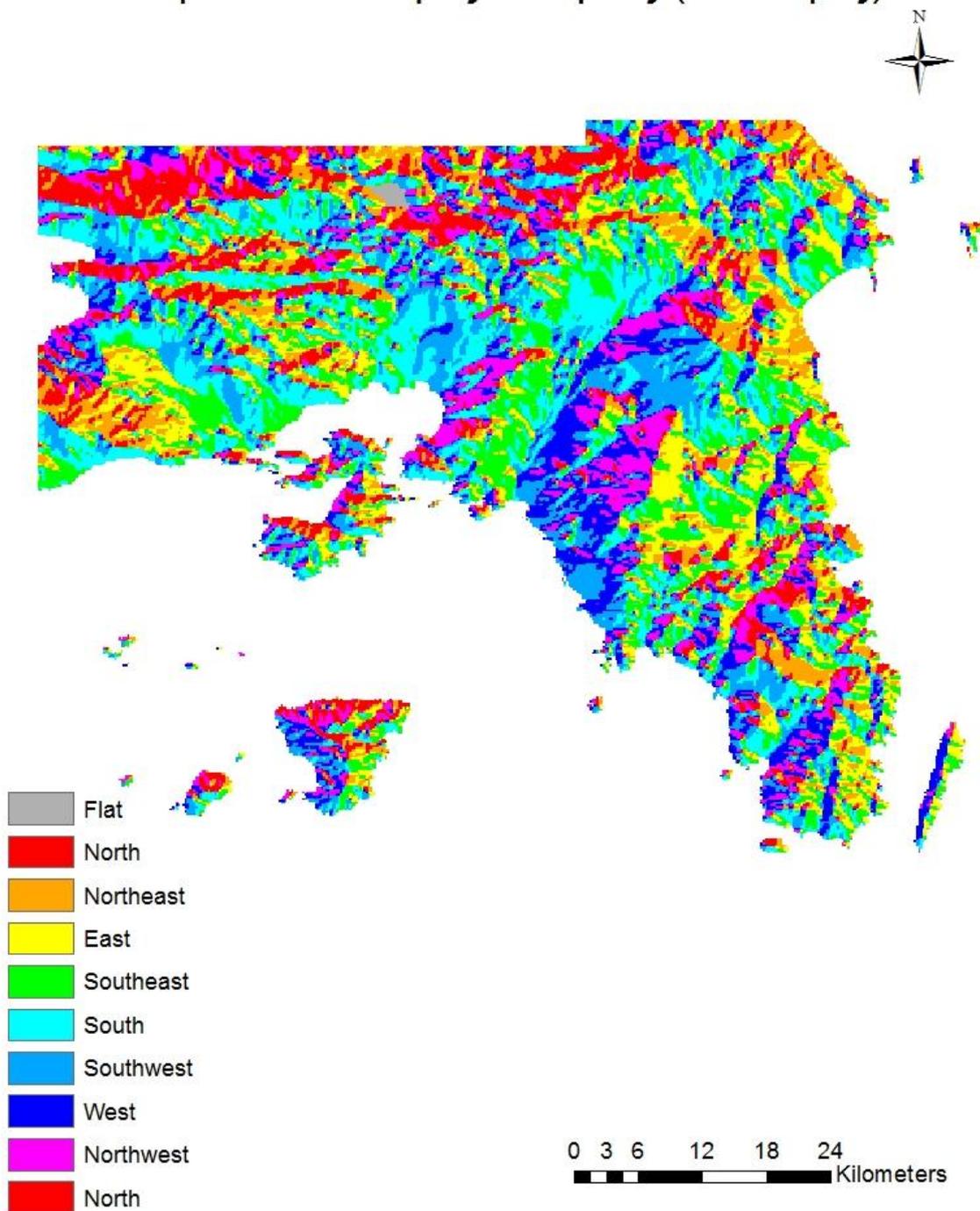
Όπως αναφέραμε και προηγουμένως σημαντικά παραγόμενα είναι οι χάρτες της κλίσης και του προσανατολισμού, οι οποίοι δημιουργήθηκαν μέσω της εφαρμογής του ArcMap από το αρχικό DEM της περιοχής της Αττικής που ήδη είχαμε. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν από το μοντέλο του Hay, το οποίο υπολογίζει την ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια. Οι χάρτες αυτοί φαίνονται παρακάτω.

Κλίση Εδάφους



Χάρτης 6.1. Κλίση εδάφους σε μοίρες

Προσανατολισμός Εδάφους (σε Μοίρες)



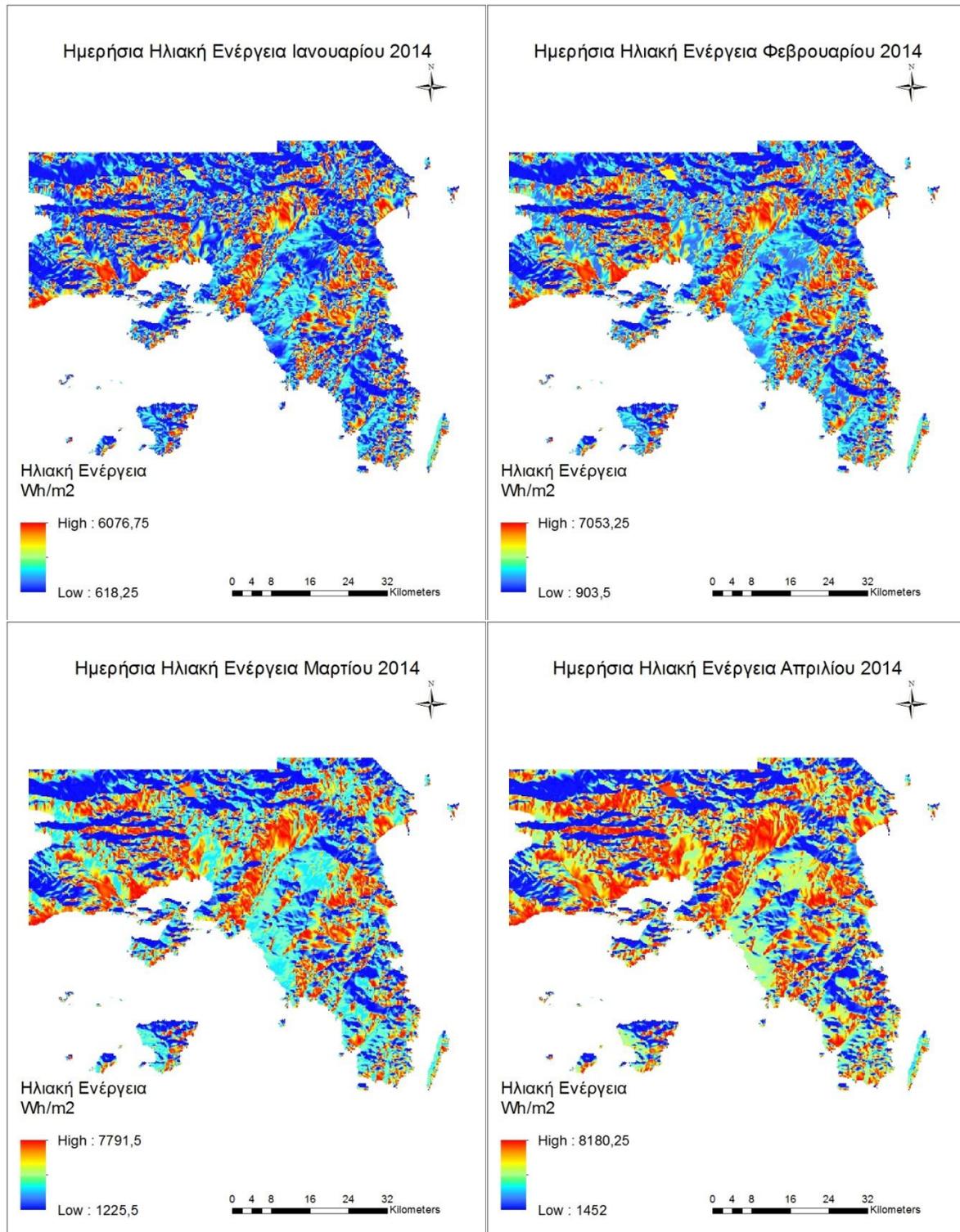
Χάρτης 6.2. Προσανατολισμός της κλίσης της επιφανείας

Έχοντας, πλέον τα δεδομένα αυτά μπορούμε να καταλήξουμε στα αποτελέσματα των μέσων ηλιακών ακτινοβολιών που δέχεται η επιφάνεια της Αττικής για κάθε μήνα. Ο υπολογισμός τους γίνεται από το σύνολο των ωριαίων αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε για κάθε 21^η μέρα του μήνα. Έπειτα, αθροίζουμε τις τιμές αυτές, που είναι σε Watt/m^2 , και τις διαιρούμε με 0,5 καθώς το χρονικό διάστημα των αποτελεσμάτων μας είναι ανά μισή ώρα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η αθροιστική ακτινοβολία για την μέρα που μελετάμε, αλλά καθώς θεωρούμε την μέρα αυτή μία μέση αντιπροσωπευτική μέρα για την αποτύπωση της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε μήνα προκύπτει να έχουμε την ημερήσια ηλιακή ενέργεια του μήνα. Έτσι, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, όπου φαίνονται οι μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση ηλιακή ακτινοβολία που έχουμε για κάθε μήνα, σύμφωνα με τα μοντέλα της ASHRAE και του HAY.

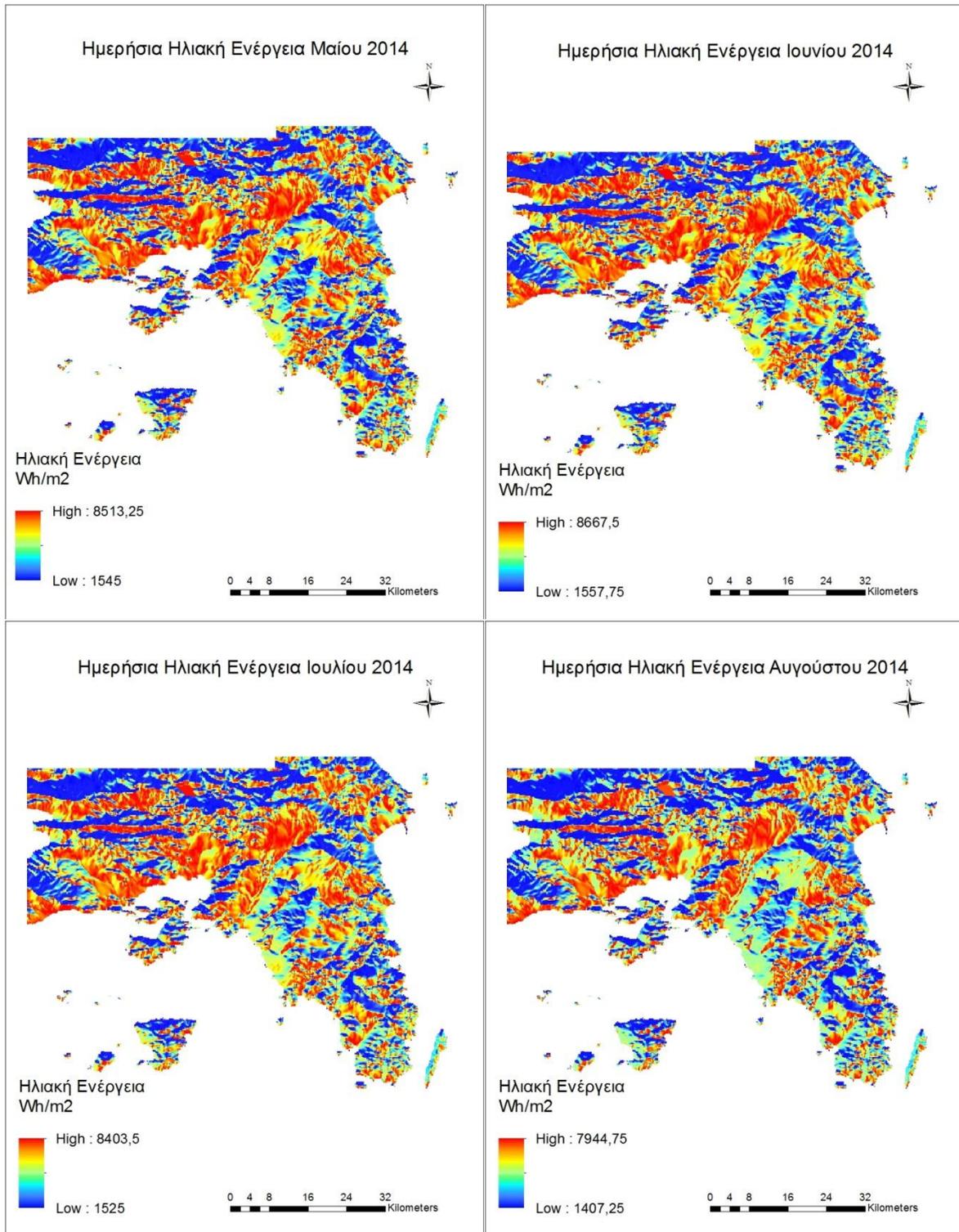
Μήνες	ΕΛΑΧΙΣΤΟ (Wh/m^2)	ΜΕΓΙΣΤΟ (Wh/m^2)	ΜΕΣΟΣ (Wh/m^2)
Ιανουάριος	618,25	6067,75	2471,1
Φεβρουάριος	903,5	7053,25	3241,53
Μάρτιος	1225,5	7791,5	4061,8
Απρίλιος	1452	8180,25	4691,6
Μάιος	1545	8513,25	5057,44
Ιούνιος	1557,75	8667,5	5140,3
Ιούλιος	1525	8403,5	4995,52
Αύγουστος	1407,25	7944,75	4548,2
Σεπτέμβριος	1184	7526	3907,85
Οκτώβριος	871,5	6843	3132,1
Νοέμβριος	610	6008,75	2442,33
Δεκέμβριος	330	5610,5	2166,93
Ετήσιος Μέσος	1182,15	7183,54	3821,38

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι η μία περιοχή στην Αττική δέχτηκε κατά μέσο όρο ελάχιστη ηλιακή ενέργεια για το έτος του 2014 ίση με $1182,15 \text{ Wh/m}^2$, αντίστοιχα η μέγιστη ηλιακή ενέργεια για το έτος του 2014 ίση με $7183,54 \text{ Wh/m}^2$. Τέλος, μία μέση τιμή ηλιακής ενέργειας για την περιοχή της Αττικής για το 2014 είναι περίπου $3821,38 \text{ Wh/m}^2$. Ακόμη από τον πίνακα προκύπτει, όπως ήταν αναμενόμενο, η ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία να παρατηρείται τον Δεκέμβριο με τιμή 330 Wh/m^2 και

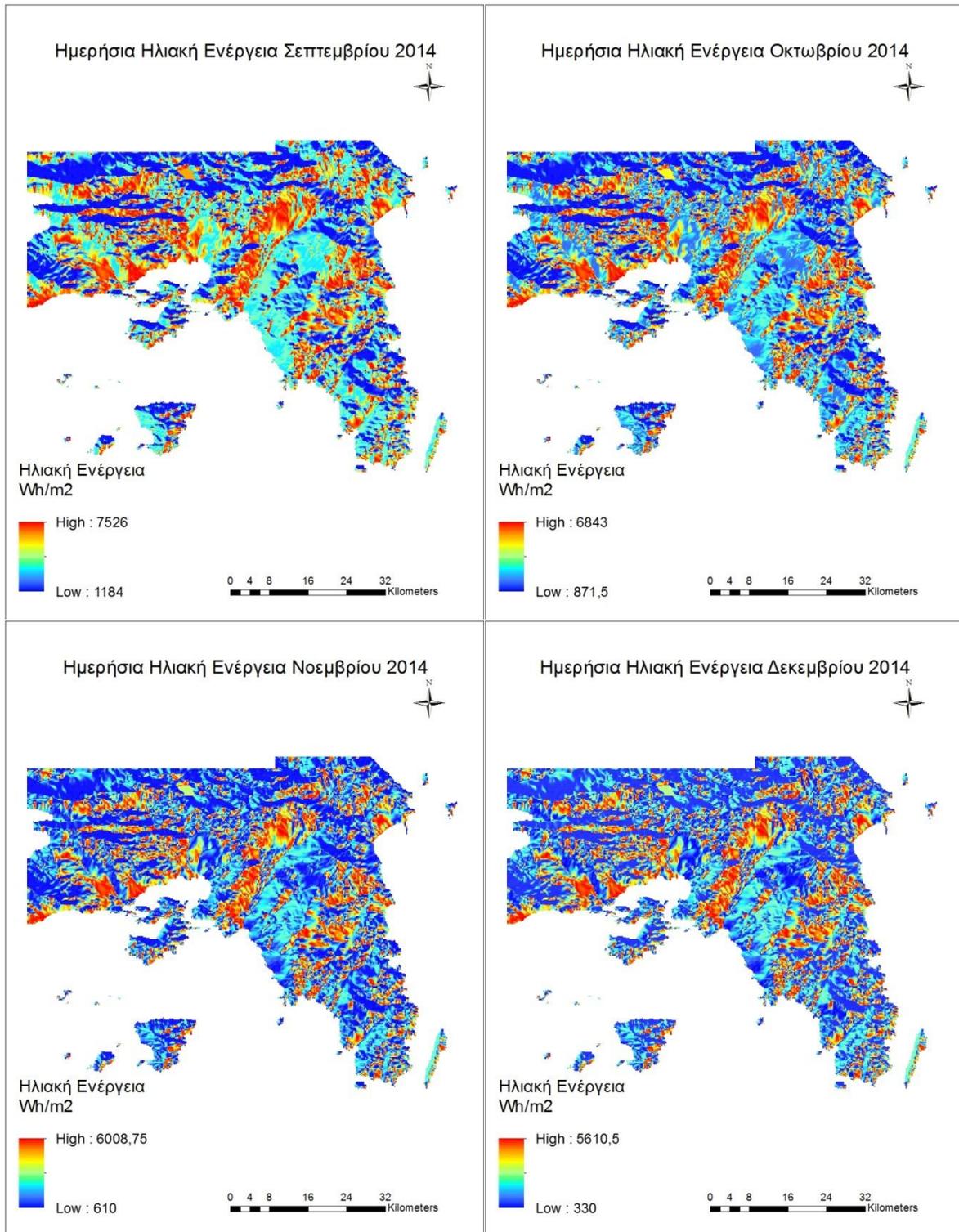
αντίστοιχα μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία τον Ιούνιο με τιμή 8667,5 Wh/m². Παρακάτω θα γίνει και οπτική παράθεση των αποτελεσμάτων με τους χάρτες που εξάγαμε από την εφαρμογή του ArcMap.



Χάρτες 6.3, 6.4, 6.5, 6.6. Ηλιακή Ενέργεια σε Wh/m².

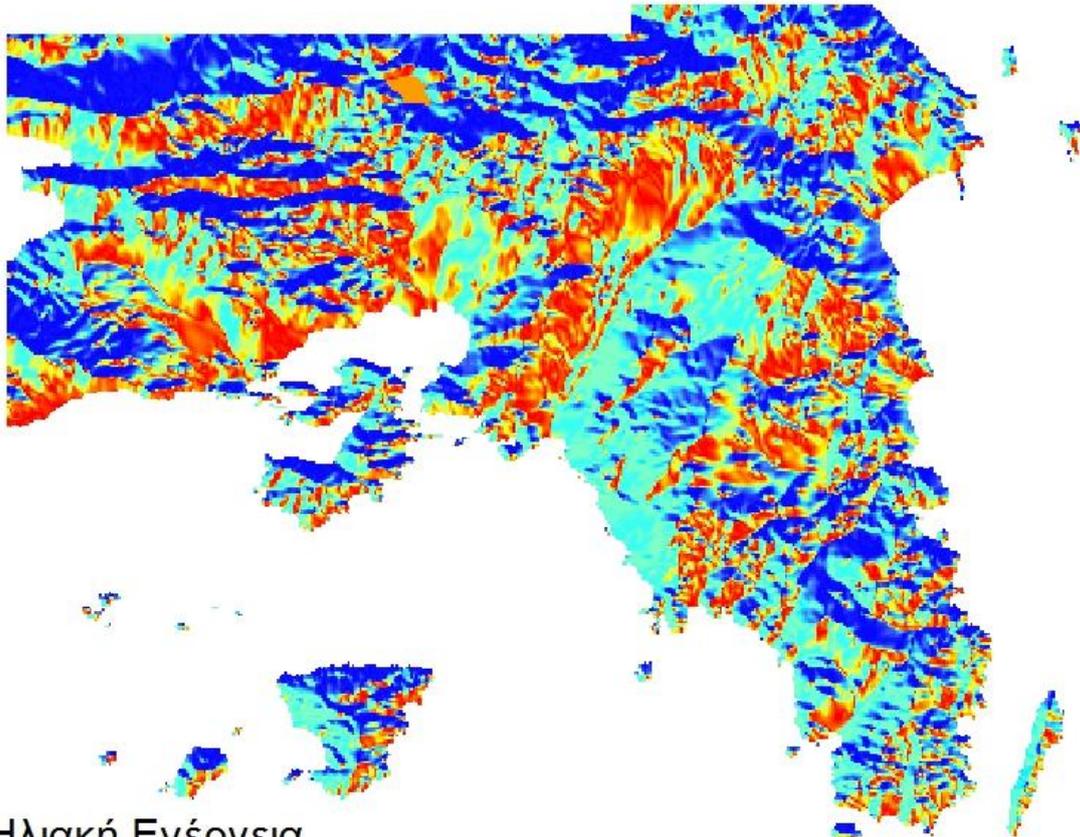


Χάρτες 6.7, 6.8, 6.9, 6.10. Ηλιακή Ενέργεια σε Wh/m².

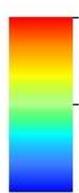


Χάρτες 6.11, 6.12, 6.13, 6.14. Ηλιακή Ενέργεια σε Wh/m².

Μέση Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Έτους 2014



Ηλιακή Ενέργεια
Wh/m²



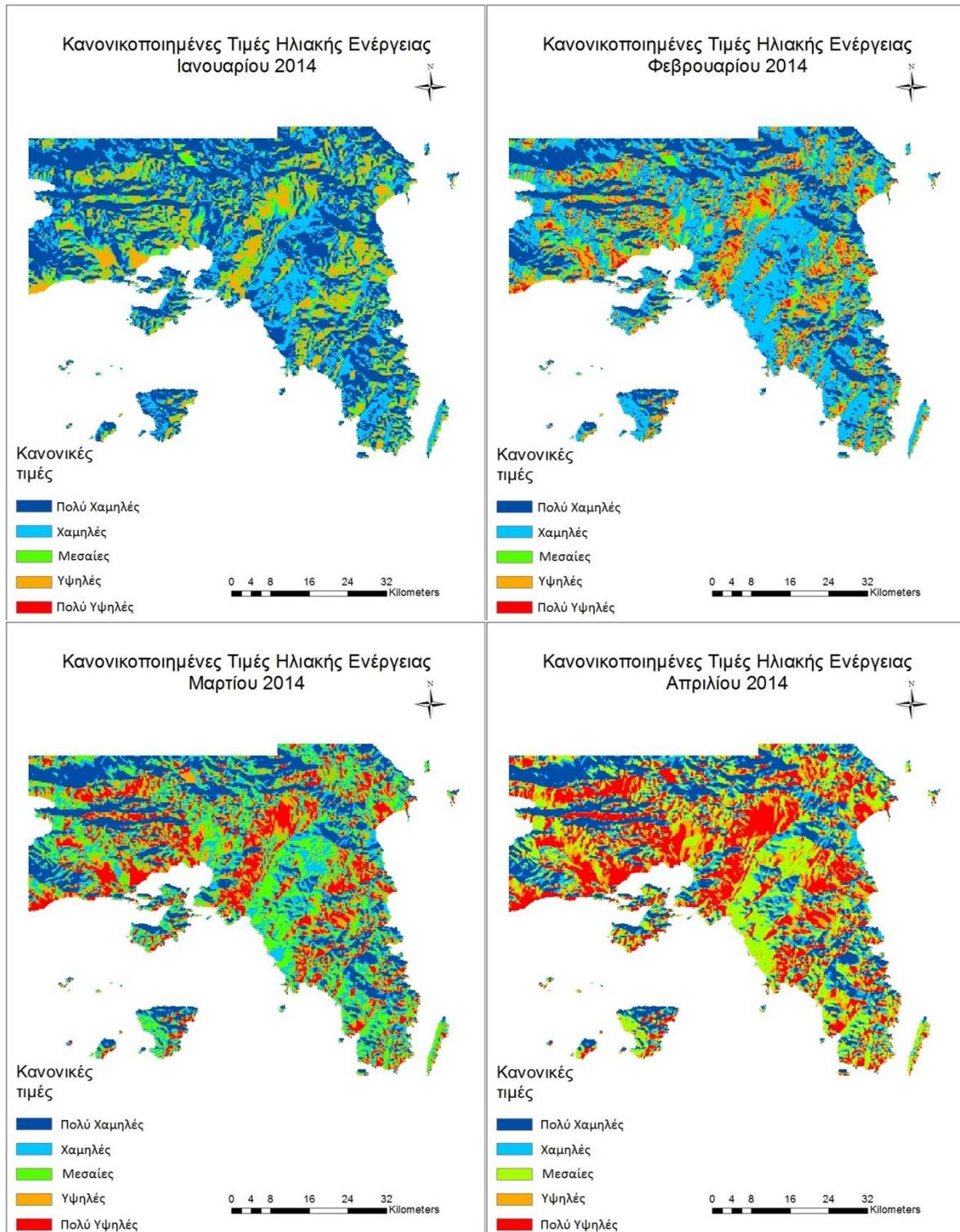
High : 7183,54

Low : 1182,15

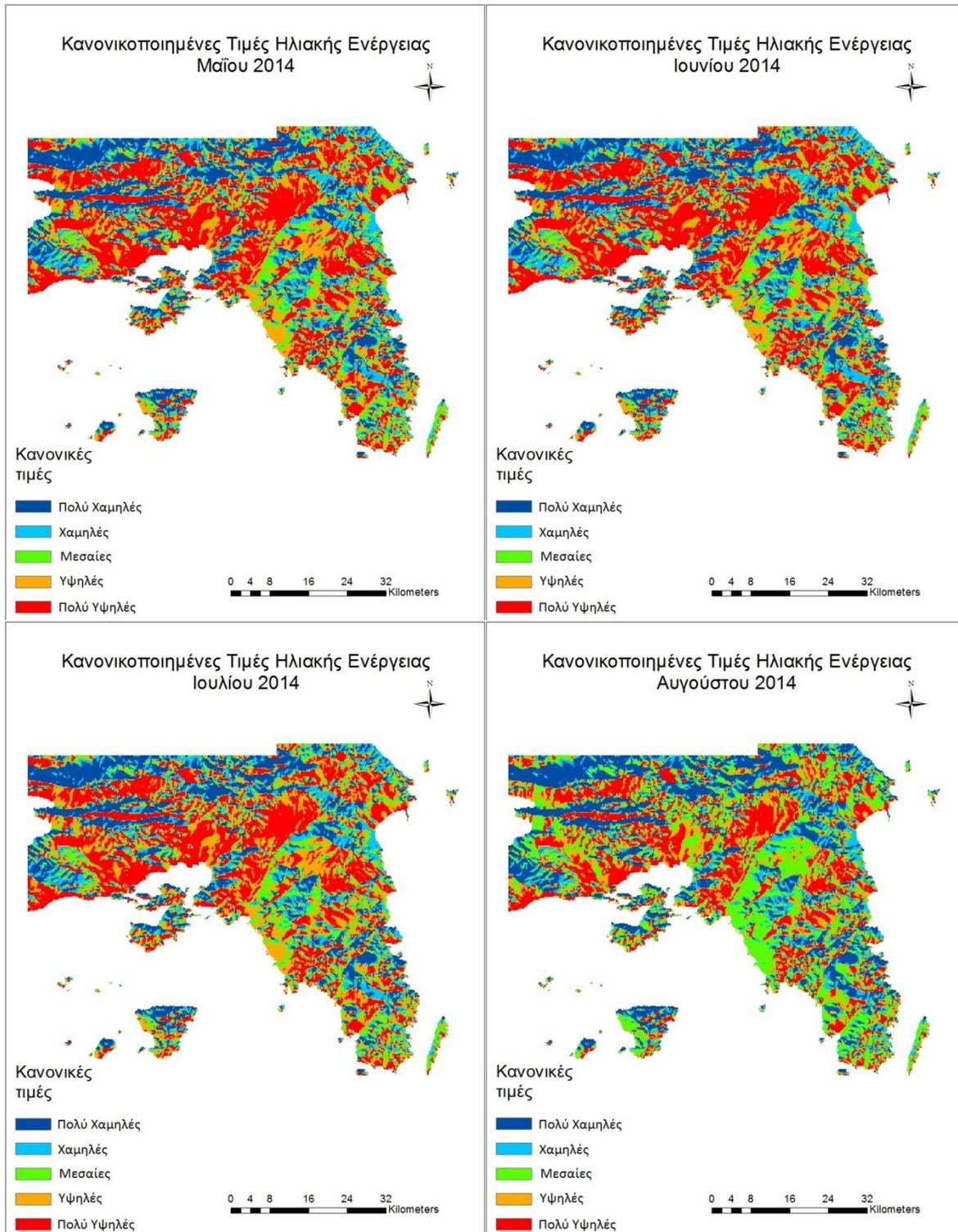
0 4 8 16 24 32
Kilometers

Χάρτης 6.15. Μέση Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια για το έτος του 2014

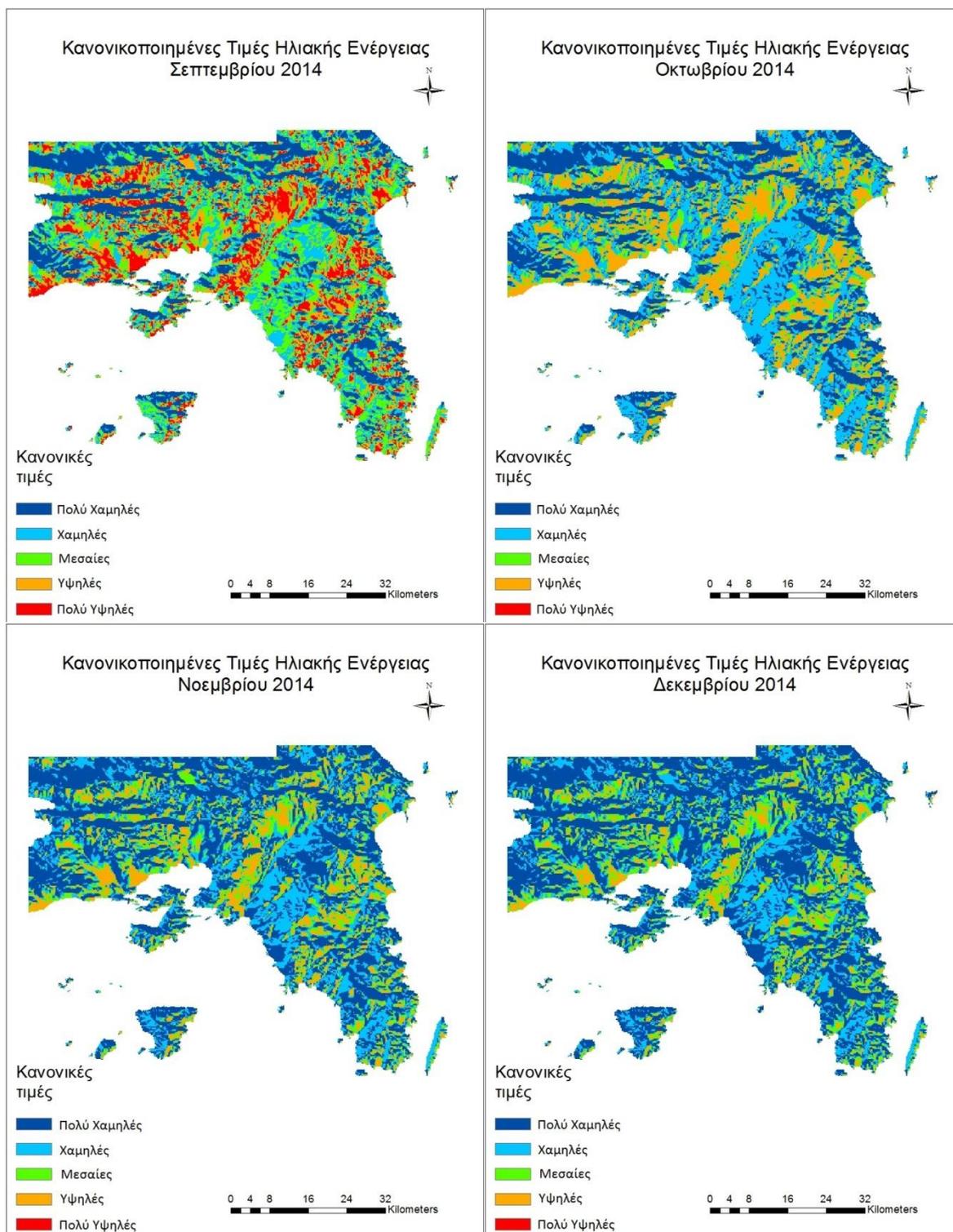
Ακόμη πρέπει να αναφερθεί ότι παρακάτω κάνουμε αναγωγή όλων των παραπάνω χαρτών με τιμές μεταξύ 0 και 1, καθώς διαιρέσαμε με την μέγιστη τιμή που προκύπτει τον μήνα του Ιουνίου και είναι ίση με $8667,5 \text{ Wh/m}^2$. Έτσι στην συνέχεια θα γίνει παρουσίαση της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε μήνα του έτους του 2014.



Χάρτες 6.16, 6.17, 6.18, 6.19. Κανονικοποιημένες Τιμές Ηλιακής Ακτινοβολίας



Χάρτες 6.20, 6.21, 6.22, 6.23. Κανονικοποιημένες Τιμές Ηλιακής Ακτινοβολίας

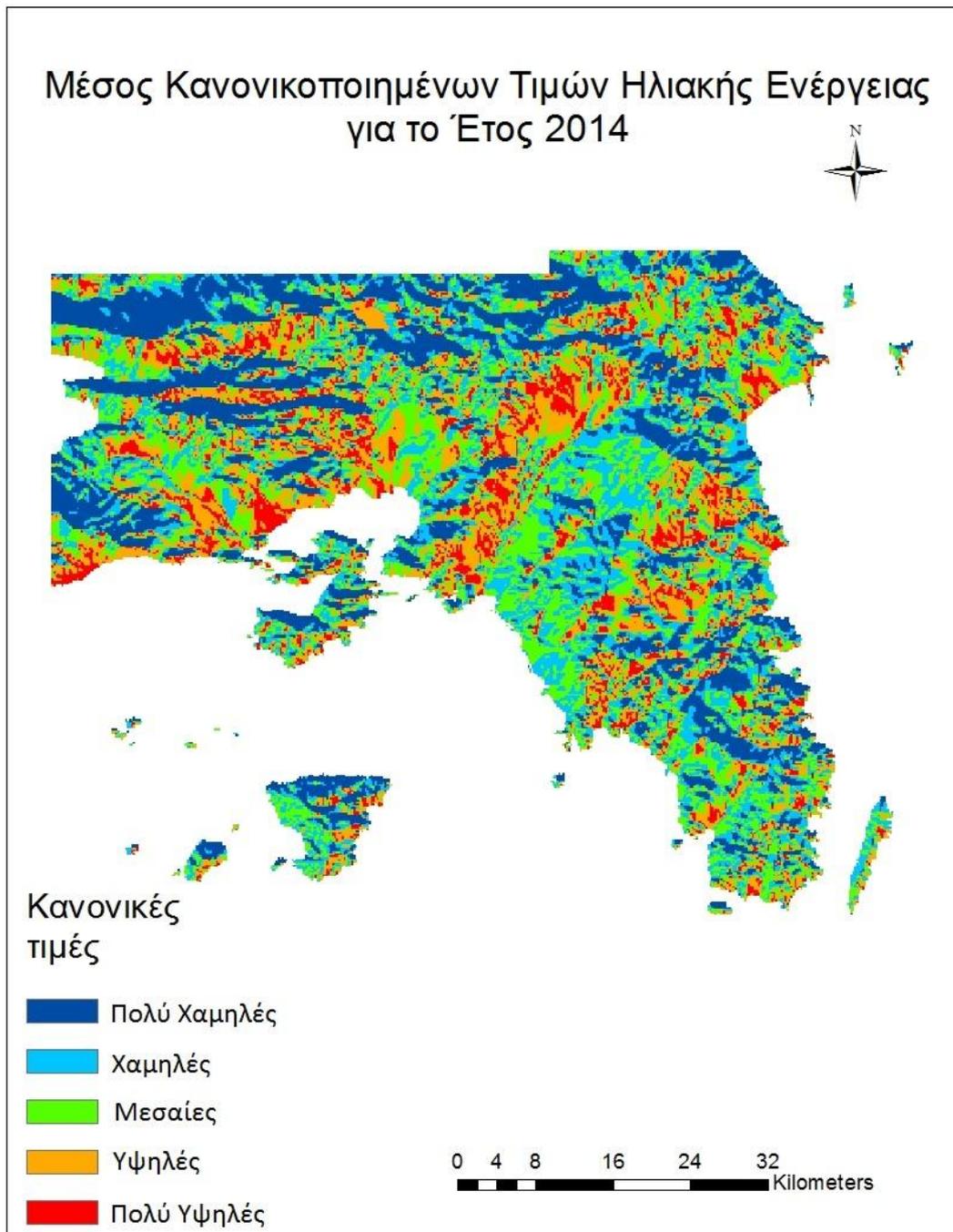


Χάρτες 6.24, 6.25, 6.26, 6.27. Κανονικοποιημένες Τιμές Ηλιακής Ακτινοβολίας

Παρατηρώντας τους παραπάνω χάρτες βλέπουμε ο μήνας του Δεκεμβρίου να λαμβάνει την μικρότερη ηλιακή ενέργεια, ενώ ο μήνας του Ιουνίου να δέχεται τα μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο χρόνο. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό

οφείλεται στο χειμερινό ηλιοστάσιο (21^η Δεκεμβρίου), το οποίο συμβαίνει την ημέρα που έχουμε την μεγαλύτερη διάρκεια νύχτας, αντίστοιχα έχουμε το θερινό ηλιοστάσιο (21^η Ιουνίου) και αντιστοιχεί στην ημέρα που έχουμε την μικρότερη σε διάρκεια νύχτα μέσα στον χρόνο. Έτσι χρονικά κατευθυνόμενοι από τον Δεκέμβρη προς τον Ιούνιο παρατηρούμε την μείωση της διάρκειας της νύχτας, με αποτέλεσμα να δεχόμαστε περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Αντίστοιχα, κατευθυνόμενοι από τον Ιούνιο προς τον Δεκέμβριο συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή έχουμε μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς μεγαλώνει η διάρκεια της νύχτας. Παρατηρώντας και τις τιμές που λαμβάνουμε από τα αποτελέσματα για τον μήνα του Δεκεμβρίου έχουμε τιμές που κυμαίνονται από 330 έως 5610 Wh/m² για κεκλιμένη επιφάνεια, ενώ για τον μήνα του Ιουνίου έχουμε τιμές από 1557 έως 8867 Wh/m².

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω αποτελέσματα καταλήγουμε στην μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια της αττικής. Ο υπολογισμός της ορίζεται από το άθροισμα όλων των μεταβλητών διά το πλήθος τους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αθροίσαμε τα αποτελέσματα που είχαμε για κάθε μήνα και διαιρέσαμε δια 12 που είναι το πλήθος των μηνών για ένα έτος. Έτσι προέκυψε ο παρακάτω χάρτης και μετριέται σε Wh/m².



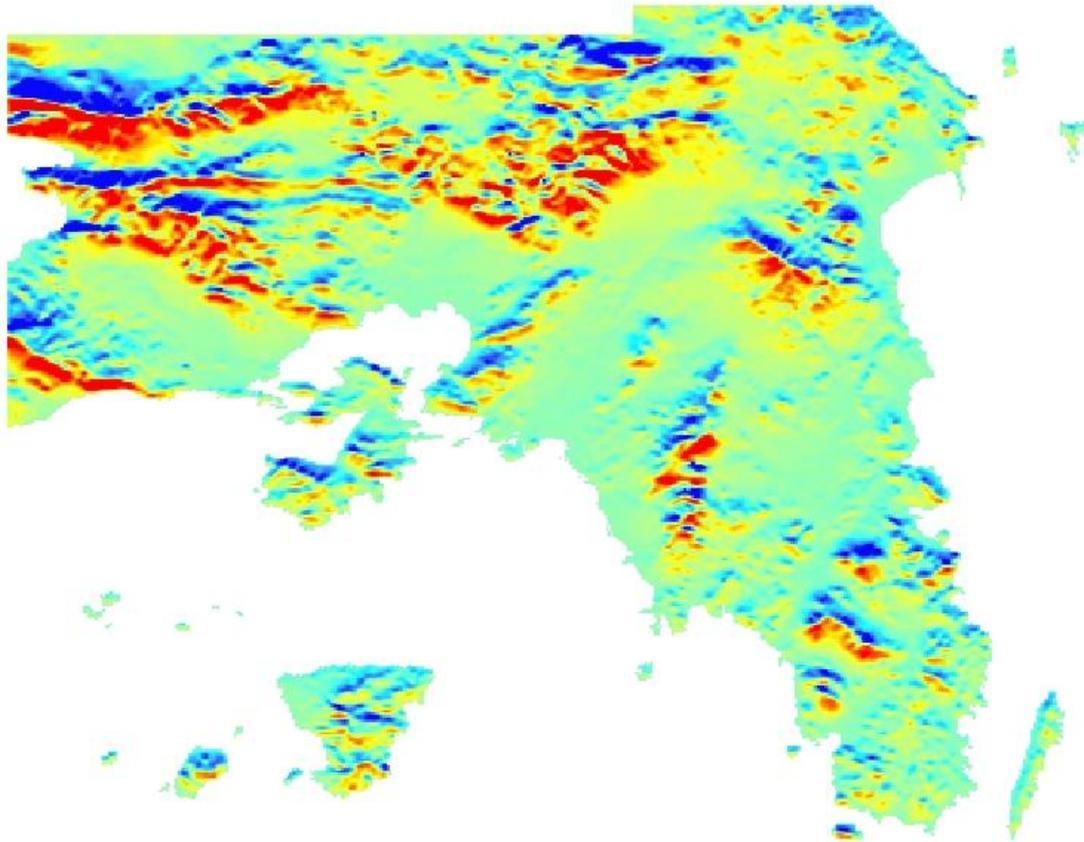
Χάρτης 6.28. Μέσες Κανονικοποιημένες Τιμές Ετήσιας Ηλιακής Ακτινοβολίας για το 2014

Παρατηρώντας τον χάρτη βλέπουμε όπως ήταν αναμενόμενο ότι περιοχές με νότιο προσανατολισμό δέχονται μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ενέργειας, ενώ περιοχές με βόρειο προσανατολισμό έχουν πολύ μικρότερες τιμές. Αυτό οφείλεται στην κλίση και τον προσανατολισμό της περιοχής της Αττικής, γνωρίζουμε ότι περιοχές που έχουν νότιο προσανατολισμό και κλίση κοντά στις 38° δέχονται την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία για την περιοχή της Αττικής. Ενώ περιοχές με βόρειο προσανατολισμό και κλίση κοντά στις 90°

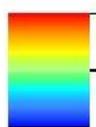
μοίρες δέχονται ελάχιστη ακτινοβολία κατά της διάρκεια του έτους. Παραπάνω η παρουσίαση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται από τιμές 0 έως 1, όμως οι πραγματικές τιμές διακύμανσης είναι από ελάχιστη τιμή 1182 Wh/m² έως και την μέγιστη τιμή που είναι 7183 Wh/m².

Στην συνέχεια θα γίνει μία σύντομη αναφορά στα αποτελέσματα που εξάγουμε για τους μήνες του Δεκεμβρίου, Μαρτίου και Ιουνίου από την εφαρμογή του Solar Radiation του ArcMap. Ο λόγος που επιλέξαμε τους συγκεκριμένους μήνες είναι για να φανούν οι ακραίες τιμές που λαμβάνουμε κατά τους μήνες του Δεκεμβρίου και Ιουνίου, όπου έχουμε πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές τιμές αντίστοιχα της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακόμα παρουσιάζουμε και τον μήνα του Μαρτίου ως έναν ενδιάμεσο μήνα που αναφέρεται στην εποχή της άνοιξης, για αυτόν τον λόγο άλλωστε δεν παρουσιάζουμε κάποιο αποτέλεσμα για την εποχή του φθινοπώρου καθώς τα αποτελέσματα θα είναι παρόμοια με αυτά του Μαρτίου λόγω της Ισημερίας που παρουσιάζεται και στην άνοιξη και στο φθινόπωρο. Οπότε έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Δεκεμβρίου 2014



Ηλιακή Ενέργεια
Wh/m²



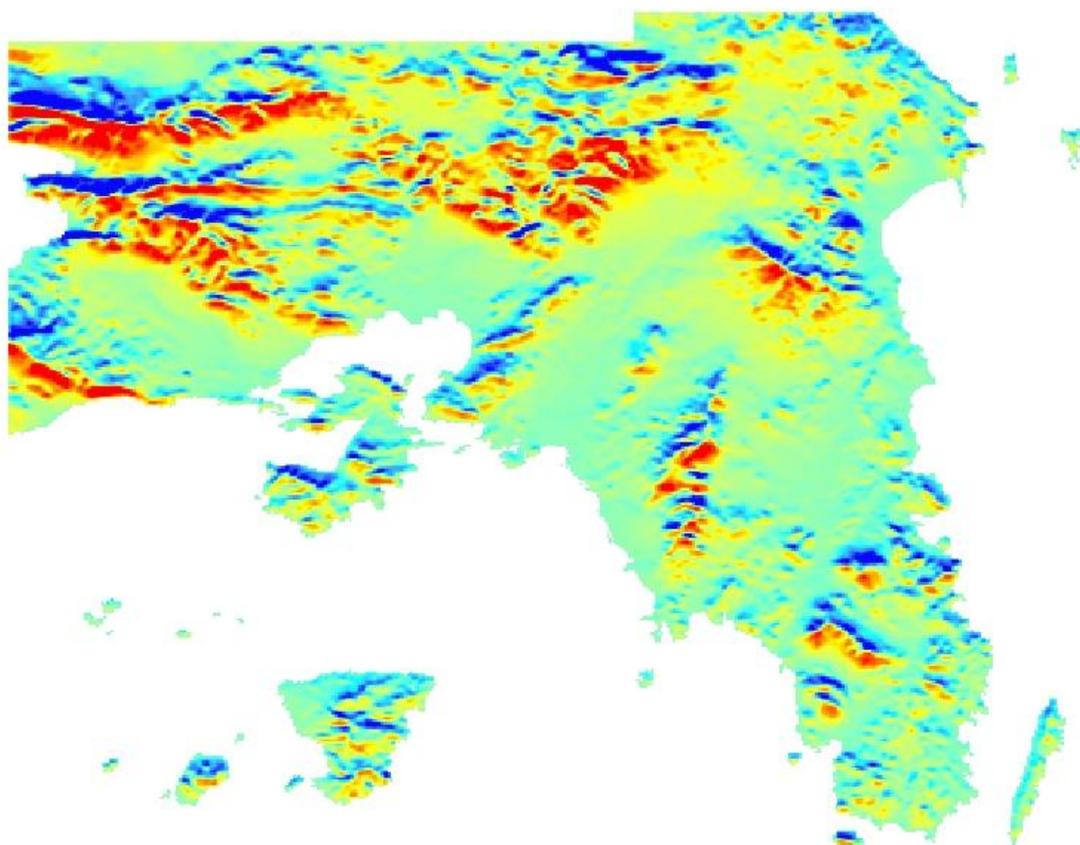
High : 1031,94

Low : 174,717

0 4 8 16 24 32
Kilometers

Χάρτης 6.29. Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Δεκεμβρίου 2014

Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Μαρτίου 2014



Ηλιακή Ενέργεια
Wh/m²



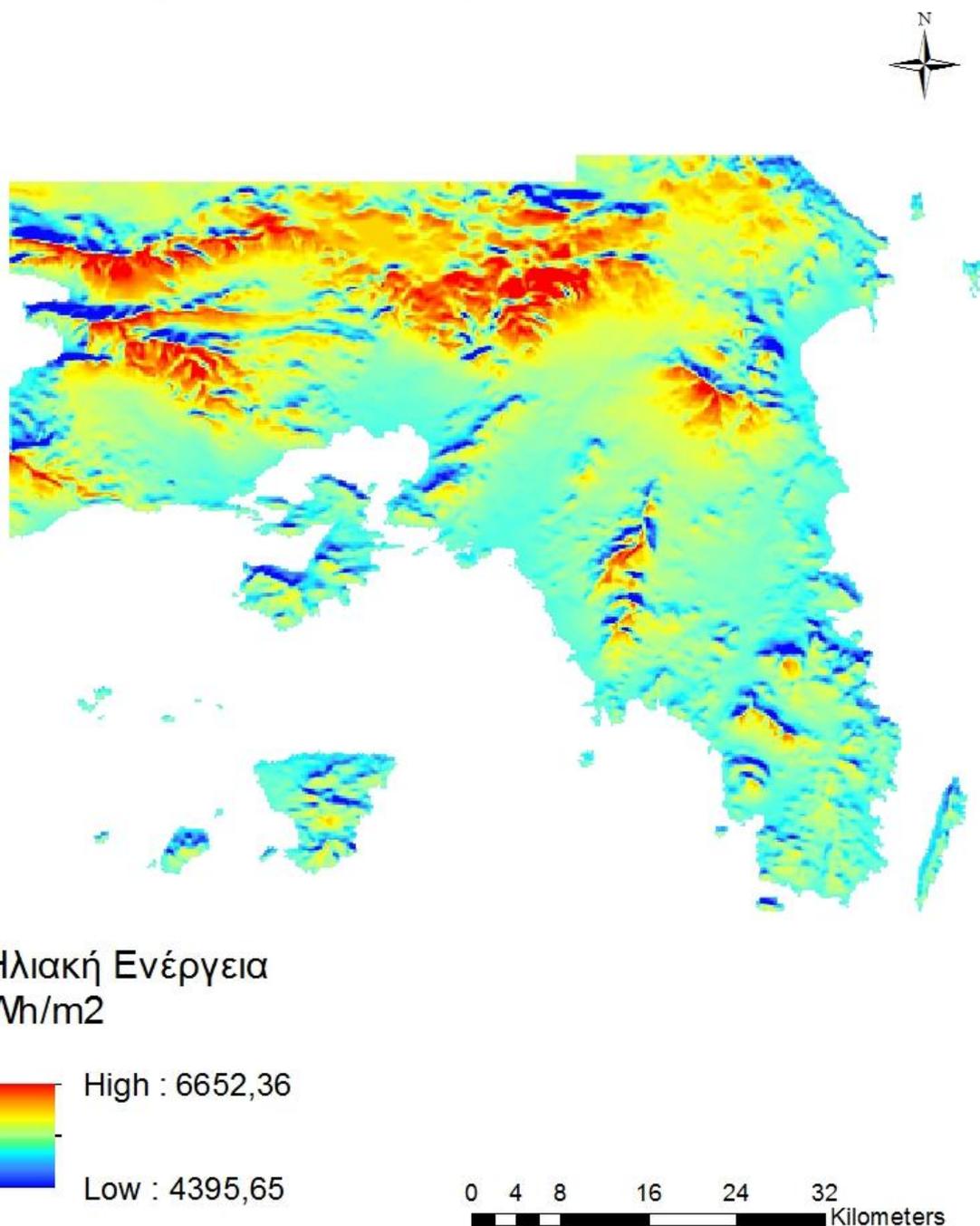
High : 4060,37

Low : 1356,82

0 4 8 16 24 32
Kilometers

Χάρτης 6.30. Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Μαρτίου 2014

Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Ιουνίου 2014



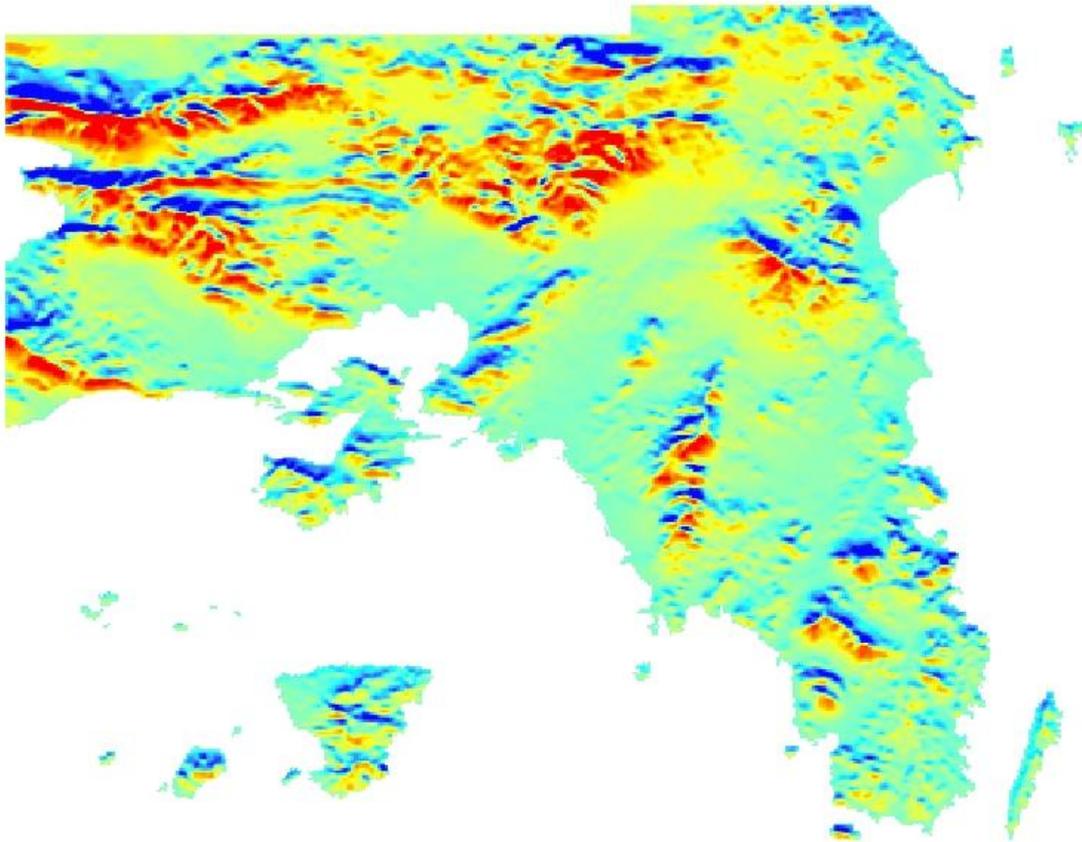
Χάρτης 6.31. Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Ιουνίου 2014

Παρατηρώντας τους παραπάνω χάρτες έχουμε πολύ χαμηλά ποσοστά ηλιακής ενέργειας των μήνα του Δεκεμβρίου, μεσαίες ποσοστιαίες τιμές για τον μήνα του Μαρτίου και τέλος για τον μήνα του Ιουνίου παρατηρούμε ότι έχουμε μεγάλο ποσοστό ηλιακής

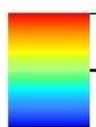
ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα. Αναλυτικότερα, οι τιμές που λαμβάνουμε για τους παραπάνω μήνες είναι για τον Δεκέμβριο από 174 έως 1031 Wh/m², για τον Μάρτιο από 1356 έως 4060 Wh/m² και για τον Ιούνιο από 4395 έως 6652 Wh/m². Παρατηρώντας, τιμές αυτές κατανοούμε και την τόσο μεγάλη διαφορά που υπάρχει σε χρώματα από χάρτη σε χάρτη.

Τέλος, σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί ο χάρτης της μέσης ημερήσιας ηλιακής ενέργειας για το έτος του 2014 που προκύπτει από την εφαρμογή του ArcMap και φαίνεται παρακάτω στον χάρτη 6.32.

Μέση Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια Έτους 2014



Ηλιακή Ενέργεια
Wh/m²



High : 3966,78

Low : 1864,44

0 4 8 16 24 32
Kilometers

Χάρτης 6.32. Μέση Ημερήσια Ηλιακή Ενέργεια έτους 2014

Το αποτέλεσμα της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας για το 2014 περιμέναμε ότι θα είχε την εξής μορφή καθώς επηρεάζεται εξίσου από όλες τις τιμές και της ακραία μεγάλες, αλλά και τις ακραία μικρές. Τα αριθμητικά αποτελέσματα που έχουμε για την συγκεκριμένη περίπτωση είναι από 1864 έως 3966 Wh/m².

Έτσι, παρατηρώντας τους χάρτες μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ τους. Καθώς το ετήσιο εύρος τιμών για το δικό μας μοντέλο ASHRAE – Hag είναι πολύ μεγαλύτερο με τιμές από 1182 έως 7183 Wh/m², ενώ το μοντέλο που είναι ενσωματωμένο στην εφαρμογή του ArcMap έχει πολύ μικρότερο εύρος τιμών από 1864 έως 3966 Wh/m². Πιθανότατα, ο λόγος αυτής της μεγάλης απόκλισης να οφείλεται στις διαφορετικές παραμέτρους που λαμβάνει το κάθε μοντέλο για να εξάγει τα δικά του αποτελέσματα. Ακόμη σημαντικό να αναφερθεί είναι και το γεγονός ότι δεν δημιουργήσαμε αποτελέσματα χαρτών με κανονικές τιμές καθώς η σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι εντελώς διαφορετική καθώς οι μήνες που εξετάζουμε δεν έχουν καμία κοινή τιμή στο εύρος που παρουσιάζουν για αυτούς τους 3 μήνες.

Μελετώντας, όμως το κάθε μοντέλο υπολογισμού ξεχωριστά μας δίνονται σε κάθε περίπτωση σημαντικά αποτελέσματα που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια. Αναλυτικότερα, παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται μέσα στο έτος του 2014 είναι τον μήνα του Ιουνίου και ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ότι η διάρκεια της μέρας είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες. Ακόμη, η θέση του ηλίου για τον μήνα του Ιουνίου είναι πολύ κοντά στον πλανήτη της Γης σε σχέση με τους άλλους μήνες, ειδικά τον μήνα του Δεκεμβρίου υπάρχει η μέγιστη απόσταση που μπορεί να υπάρξει μεταξύ της Γης και του Ήλιου.

7. Συμπεράσματα

Με την εργασία αυτή έγινε μία προσπάθεια προσέγγισης και μελέτης της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες επιφάνειες ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους DEM με την χρήση δύο μοντέλων που την υπολογίζουν σε περιβάλλον GIS. Σημαντική ήταν και η συμβολή της γλώσσας προγραμματισμού της Visual Basic, καθώς μας βοήθησε στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων του μοντέλου ASHRAE – HAY. Το άλλο μοντέλο υπήρχε ήδη ενσωματωμένο στο λογισμικό του GIS, οπότε ήταν ευκολότερη η εξαγωγή των αποτελεσμάτων στην περίπτωση αυτή. Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα της ηλιακής ακτινοβολίας και για τα δύο μοντέλα έχουν υπολογιστεί για διάστημα κάθε μισής ώρας για την 21^η μέρα κάθε μήνα, την οποία και λαμβάνουμε ως αντιπροσωπευτικότερη. Στο μοντέλο της ASHRAE – HAY, το οποίο είναι ένα απλουστευμένο μοντέλο υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας, θα μπορούσαν να είχαν ληφθεί και άλλοι παράγοντες για την αντιπροσωπευτικότερη αποτύπωση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως αυτή της νεφοκάλυψης και της ορατότητας της κάθε περιοχής με βάση το ανάγλυφο. Ακόμα, θα μπορούσαμε να λάβουμε υπόψη μας τον δείκτη βλάστησης της περιοχής μελέτης μας έτσι ώστε να υπάρξει και μια διαφοροποίηση του συντελεστή ανακλαστικότητας του εδάφους (albedo) κατά τον υπολογισμό της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας. Επίσης, σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το μοντέλο ASHRAE – HAY είναι μία σημαντική πρώτη προσπάθεια υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας και μας δίνει κάποια αρχικά στοιχεία για την συμπεριφορά της ηλιακής ακτινοβολίας για ιδανικές καιρικές συνθήκες, καθώς έχουμε λάβει υπόψη ότι η νέφωση που υπάρχει αντιπροσωπεύει μία ηλιόλουστη μέρα για κάθε μήνα. Αντίθετα, για το μοντέλο των Fu & Rich βλέπουμε ότι τα εξαγόμενα αποτελέσματα παρουσιάζουν μία εξομάλυνση της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Αττικής, ο λόγος για τον οποίον πιθανότατα συμβαίνει αυτό, πρέπει να είναι ο γενικός διαχωρισμός που γίνεται στον ουράνιο χάρτη και καθορίζει κάποια βασικά χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας με τον συγκεκριμένο τρόπο.

Ακόμη, σε επίπεδο ανάλυσης της περιοχής μελέτης μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων, καθώς θα μπορούσαμε να μελετήσουμε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους με μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα, καθώς το συγκεκριμένο είχε cell size 100x100, ενώ θα μπορούσαμε να μελετήσουμε την περιοχή με cell size 25x25, αλλά στην συγκεκριμένη περίπτωση η χωρητικότητα των δεδομένων μας θα ήταν αρκετά μεγαλύτερη

και θα καθιστούσε την εργασία μας αρκετά πιο χρονοβόρα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μας. Επιπλέον, θα μπορούσαμε να είχαμε μελετήσει την ηλιακή ακτινοβολία σε πιο λεπτομερή χρονικό διάστημα και να είχε γίνει ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας με χρονική λεπτομέρεια σε επίπεδο τετάρτου, αλλά ακόμα και σε επίπεδο ενός λεπτού. Βέβαια, και σε αυτήν την περίπτωση τα δεδομένα μας θα ήταν τεράστια σε χωρητικότητα και θα καθιστούσε την εργασία μας σχεδόν αδύνατη να χωρέσει μέσα στο πρόγραμμα του ArcGIS για να μπορέσουμε να εξάγουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Έτσι μέσα από αυτήν την εργασία γίνονται εμφανή τα οφέλη της χρήσης της τεχνολογίας των GIS και της Visual Basic για την μελέτη ανάλογων φαινομένων. Καθώς ο ήλιος αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και μπορεί με τα κατάλληλα μέσα να χρησιμοποιηθεί για την διευκόλυνση της. Οπότε σε επόμενο στάδιο θα μπορούσε να γίνει μελέτη χωροθέτησης φωτοβολταϊκών συστημάτων, η οποία θα βασίζεται σε πραγματικές τιμές ηλιακής ενέργειας, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίλογος

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση της προσλαμβανόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνειες με διαφορετικές κλίσεις και προσανατολισμούς σε ένα επιλεγμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) και η χωρική παρουσίασή της μέσω της χρήσης Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Τα μοντέλα υπολογισμού που μας βοήθησαν για την επίτευξη του στόχου μας ήταν το μοντέλο του ASHRAE – Hay και αυτό του Solar Radiation που υπάρχει ήδη στην εφαρμογή του ArcMap.

Έτσι καταλήξαμε στα αποτελέσματα των ωριαίων τιμών για κάθε μήνα και στην συνέχεια εξάγαμε τις μέσες μηνιαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνει η επιφάνεια της Αττικής. Εν τέλει, έγινε η παραγωγή του χάρτη της μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και για τα δύο μοντέλα υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιήσαμε.

Παρόλα αυτά, η εργασία αυτή αποτελεί βασικό κίνητρο για την συνέχιση της μελέτης της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς ο ήλιος αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας που μπορεί με τα κατάλληλα μέσα να χρησιμοποιηθεί για την διευκόλυνση της. Έτσι, σε επόμενο στάδιο θα μπορούσε να γίνει μία μελέτη η οποία θα βασίζεται σε άλλο πιο λεπτομερές ατμοσφαιρικό μοντέλο που θα εισάγει ανά ημέρα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης και θα εξάγει την ένταση της ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και το χρονικό βήμα των δεδομένων θα καθορίζεται με βάση το χρονικό βήμα που δίνεται από τα δεδομένα εισόδου. Ακόμη, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ένα μοντέλο νέφωσης έτσι ώστε οι τιμές της ολικής και της διάχυτης να πλησιάζουν τις πραγματικές συνθήκες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας υπολογισμού μέσω Visual Basic

```
Imports System.IO
Imports Microsoft.VisualBasic.FileIO
Imports System.Math
```

```
Public Class Main
    Dim constArray(0 To 12, 3)
    Dim BasePath As String
    Dim root As String
    Dim f As DirectoryInfo
    Dim dirs() As DirectoryInfo
    Dim j As Integer
    Dim selectedPath As String
    Dim aspectPath As String
    Dim slopePath As String
    Dim hayPath As String

    Dim dataArray(50, 13)

    Dim fYear As String
    Dim fDay As String
    Dim fHour As String
    Dim fMinute As String
    Dim altitudeAngle As Double
    Dim azimuthAngle As Double
    Dim zenithAngle As Double
    Dim strLine As String
    Dim strLine1 As String

    Dim A, B, C As Double
    Dim lbn As Double
    Dim ID As Double
    Dim IT As Double

    Dim ITbc As Double
    Dim IBbc, IDbc, IRbc As Double
    Dim ground_albedo = 0.2
    Dim aspect As Double
    Dim slope As Double

    'Hay
    Dim Hd0, Hdb As Double
```

```

Dim H0, Hb0 As Double
Dim Kb As Double
Dim Rb As Double
Dim Rdi As Double
Dim GSC As Double
Dim DirectHor As Double
Dim fdegrees As Double
Dim declination As Double
Dim hourAngle As Double
Dim ater1 As Double
Dim ater2 As Double
Dim ater3 As Double
Dim COSAngleIncidence As Double
Dim COSZenithAngle As Double
Dim Hbb As Double
Dim Rr As Double
Dim Hrb As Double
Dim Htb As Double
Dim Ht0 As Double
Dim hgio As Double

Dim aspectFields() As String
Dim slopeFields() As String

Dim aspectRow As String()
Dim slopeRow As String()
Dim row As Integer
Dim col As Integer

Dim Cn As Integer

Dim objReader As System.IO.StreamReader
Dim objWriter As System.IO.StreamWriter
Dim objWriter1 As System.IO.StreamWriter
Dim objWriter2 As System.IO.StreamWriter
Private Sub Main_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
    'On Application start
    'Fill constant values table

    constArray(1, 0) = "Jan"
    constArray(1, 1) = 1202
    constArray(1, 2) = 0.141
    constArray(1, 3) = 0.103

    constArray(2, 0) = "Feb"
    constArray(2, 1) = 1187
    constArray(2, 2) = 0.142

```

constArray(2, 3) = 0.104

constArray(3, 0) = "Mar"
constArray(3, 1) = 1164
constArray(3, 2) = 0.149
constArray(3, 3) = 0.109

constArray(4, 0) = "Apr"
constArray(4, 1) = 1130
constArray(4, 2) = 0.164
constArray(4, 3) = 0.12

constArray(5, 0) = "May"
constArray(5, 1) = 1106
constArray(5, 2) = 0.177
constArray(5, 3) = 0.13

constArray(6, 0) = "Jun"
constArray(6, 1) = 1092
constArray(6, 2) = 0.185
constArray(6, 3) = 0.137

constArray(7, 0) = "Jul"
constArray(7, 1) = 1093
constArray(7, 2) = 0.186
constArray(7, 3) = 0.138

constArray(8, 0) = "Aug"
constArray(8, 1) = 1107
constArray(8, 2) = 0.182
constArray(8, 3) = 0.134

constArray(9, 0) = "Sep"
constArray(9, 1) = 1136
constArray(9, 2) = 0.165
constArray(9, 3) = 0.121

constArray(10, 0) = "Oct"
constArray(10, 1) = 1166
constArray(10, 2) = 0.152
constArray(10, 3) = 0.111

constArray(11, 0) = "Nov"
constArray(11, 1) = 1190
constArray(11, 2) = 0.144
constArray(11, 3) = 0.106

```
constArray(12, 0) = "Dec"  
constArray(12, 1) = 1204  
constArray(12, 2) = 0.141  
constArray(12, 3) = 0.103
```

```
Cn = 1  
H0 = 4.921
```

```
'Get Application path (the path of the ashraeProject.exe)  
'Month() 's folders, aspect.txt and slope.txt  
'must exist under ApplicationPath\sFolderPath\  
'Month's names must be exactly as above constArray values  
'sFolderPath is user defined (default value = "SUNAE2014")  
root = Application.StartupPath  
sFolderPath.Text = "SUNAE2014"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub sFolderPath_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs) Handles  
sFolderPath.TextChanged
```

```
'Fill drop down list with Months (sub-directories of sFolderPath)  
'On change of sFolderPath clear and recreate list  
BasePath = root + "\" + sFolderPath.Text  
cboMonths.Items.Clear()
```

```
Try
```

```
    f = New DirectoryInfo(BasePath)  
    dirs = f.GetDirectories()  
    For Each Dir As DirectoryInfo In dirs  
        cboMonths.Items.Add(Dir)
```

```
    Next
```

```
Catch ex As System.Exception  
    cboMonths.Items.Clear()
```

```
End Try
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click  
'On Compute button click
```

```
'Check if month is selected  
If cboMonths.Text = "" Then  
    MsgBox("Select a Month")  
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
'Fill constants A,B,C from Month's array  
A = B = C = 0
```

```

For i = 1 To 12
    If CStr(constArray(i, 0)) = cboMonths.Text Then
        A = constArray(i, 1)
        B = constArray(i, 2)
        C = constArray(i, 3)
        Exit For
    End If
Next
'If month's name not found on constArray Exit
If A = 0 Then
    MsgBox("Month not found")
    Exit Sub
End If

'Open SUNPSTN.TXT file for input
selectedPath = BasePath & "\" & cboMonths.Text & "\" & "SUNPSTN.TXT"
j = 0
'Check if file exists
If System.IO.File.Exists(selectedPath) = True Then

    objReader = New System.IO.StreamReader(selectedPath)

    Do While objReader.Peek() <> -1
        'Read lines of SUNPSTN.TXT one by one in strLine string
        strLine = objReader.ReadLine()
        If Not IsNumeric(Mid(strLine, 3, 1)) Then
            Continue Do
        End If

        'Get values from strLine string
        fYear = Mid(strLine, 3, 4)
        fDay = Mid(strLine, 8, 3)
        fHour = Mid(strLine, 12, 2)
        fMinute = Mid(strLine, 15, 2)
        altitudeAngle = CDb(Replace(Mid(strLine, 18, 11), ".", ","))
        azimuthAngle = CDb(Replace(Mid(strLine, 30, 11), ".", ","))

        declination = CDb(Replace(Mid(strLine, 42, 11), ".", ","))
        hourAngle = CDb(Replace(Mid(strLine, 54, 11), ".", ","))

        'For minute = 00 or 30 fill dataArray and do calculations for Ashrae
        If strMinute.Text.Contains(fMinute) Then

            dataArray(j, 0) = fYear
            dataArray(j, 1) = fDay
            dataArray(j, 2) = fHour

```

```

        dataArray(j, 3) = fMinute
        dataArray(j, 4) = A
        dataArray(j, 5) = B
        dataArray(j, 6) = C
        dataArray(j, 7) = altitudeAngle
        dataArray(j, 8) = azimuthAngle
        'Calculations
        lbn = A * Cn * Exp((-1) * B / Dsin(altitudeAngle))
        dataArray(j, 9) = lbn
        ID = lbn * C
        dataArray(j, 10) = ID
        IT = ID + (lbn * Dsin(altitudeAngle))
        dataArray(j, 11) = IT

        dataArray(j, 12) = declination
        dataArray(j, 13) = hourAngle

        j = j + 1

    End If
Loop
Else

    MsgBox("File GISINPUT.TXT Does Not Exist")
    Exit Sub
End If

'Save Results into ASHRAE.TXT file
selectedPath = BasePath & "\" & cboMonths.Text & "\" & "ASHRAE.TXT"
objWriter = New System.IO.StreamWriter(selectedPath)

'For every line of array dataArray create a string Tab delimited
'Write the string to file
For i = 0 To j - 1
    strLine = dataArray(i, 0).ToString + vbTab + _
        dataArray(i, 1).ToString + vbTab + dataArray(i, 2).ToString + vbTab + _
        dataArray(i, 3).ToString + vbTab + dataArray(i, 4).ToString + vbTab + _
        Replace(dataArray(i, 5), ",", ".").ToString + vbTab + _
        Replace(dataArray(i, 6), ",", ".").ToString + vbTab + _
        Replace(dataArray(i, 7), ",", ".").ToString + vbTab + _
        Replace(dataArray(i, 8), ",", ".").ToString + vbTab + _
        Replace(dataArray(i, 9), ",", ".").ToString + vbTab + _
        Replace(dataArray(i, 10), ",", ".").ToString + vbTab + _
        Replace(dataArray(i, 11), ",", ".").ToString
    objWriter.WriteLine(strLine)
Next

```

```

objWriter.Close()
MsgBox("File " & selectedPath & " Saved!")
'Finish Ashrae

```

```

!*****

```

```

*****

```

```

'hay Model 1
'constant values
aspect = 0
slope = 60
GSC = 1367
fdegrees = 37.967

```

```

'For every ashrae line (array dataArray above) we will calculate hay model
'We will create 1 file hay.txt

```

```

'Create file for output

```

```

hayPath = BasePath & "\" & cboMonths.Text & "\" & "HAY" & ".TXT"
objWriter2 = New System.IO.StreamWriter(hayPath)

```

```

For i = 0 To j - 1

```

```

    strLine1 = ""
    Try

```

```

        'compute hay model
        Hd0 = dataArray(i, 10)
        Ht0 = dataArray(i, 11)
        declination = dataArray(i, 12)
        hourAngle = dataArray(i, 13)
        hgio = Max(GSC * Dcos(declination) * Dcos(fdegrees) * Dcos(hourAngle) *
Dsin(declination) * Dsin(fdegrees), 0)

```

```

        zenithAngle = 90 - dataArray(i, 7)
        DirectHor = Ht0 - Hd0
        Kb = Min(DirectHor / hgio, 1.0)

```

```

        ater1 = Dsin(fdegrees) * Dcos(slope) - Dcos(fdegrees) * Dsin(slope) *
Dcos(aspect)

```

```

        ater2 = Dcos(fdegrees) * Dcos(slope) + Dsin(fdegrees) * Dsin(slope) *
Dcos(aspect)

```

```

        ater3 = Dcos(declination) * Dsin(slope) * Dsin(aspect) * Dsin(hourAngle)
        COSAngleIncidence = ater1 * Dsin(declination) + ater2 * (Dcos(declination)

```

```

* Dcos(hourAngle)) - ater3

```

```

        COSZenithAngle = Dcos(zenithAngle)

```

```
Rb = Max(COSAngleIncidence / COSZenithAngle, 0)
Rdi = (1 + Dcos(slope)) / 2
```

```
Hdb = Hd0 * (Kb * Rb + (1 - Kb) * Rdi)
Hbb = DirectHor * Rb
Rr = (1 - Dcos(slope)) / 2
Hrb = Max(0.2 * Rr * Ht0, 0)
Htb = Hbb + Hdb + Hrb
```

```
*****
```

```
'write HAY_COMPUTATIONS line
```

```
strLine1 = dataArray(i, 2).ToString + vbTab + _
           dataArray(i, 3).ToString + vbTab + _
           Replace(dataArray(i, 7), ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(zenithAngle, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(dataArray(i, 8), ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(GSC, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(hgio, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Ht0, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Hd0, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(DirectHor, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(fddegrees, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(declination, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(hourAngle, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(aspect, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(slope, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Kb, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(ater1, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(ater2, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(ater3, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(COSAngleIncidence, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(COSZenithAngle, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Rb, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Rdi, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Hdb, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Hbb, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Rr, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Hrb, ",", ".").ToString + vbTab + _
           Replace(Htb, ",", ".").ToString
```

```
objWriter2.WriteLine(strLine1)
```

```
Catch ex_conv As System.Exception
```

End Try

Next

objWriter2.Close()

MsgBox("File " & hayPath & " Saved!")

'Finish Hay Model 1

'hay Model 2

'constant values

GSC = 1367

fdegrees = 37.967

aspectPath = BasePath + "\" & "aspect.txt"

slopePath = BasePath + "\" & "slope.txt"

'For every ashrae line (array dataArray above) we will read aspect and slope files
'and we will calculate hay model (ITbc value)

'We will create 2 files one in the form of aspect/slope with only ITbc value and
'one with complete calculations procedure

For i = 0 To j - 1

'Create files for output

selectedPath = BasePath & "\" & cboMonths.Text & "\" & "HAY_" _
& dataArray(i, 0) & dataArray(i, 1) & dataArray(i, 2) _
& dataArray(i, 3) & ".TXT"

hayPath = BasePath & "\" & cboMonths.Text & "\" & "HAY_COMPUTATIONS_"

—

& dataArray(i, 0) & dataArray(i, 1) & dataArray(i, 2) _
& dataArray(i, 3) & ".TXT"

objWriter1 = New System.IO.StreamWriter(hayPath)

strLine1 = ""

objWriter = New System.IO.StreamWriter(selectedPath)

'Check if file exists

If System.IO.File.Exists(aspectPath) = True And
System.IO.File.Exists(slopePath) = True Then

```

'Open aspect.txt and slope.txt for input
Using          aspectReader          As          New
Microsoft.VisualBasic.FileIO.TextFieldParser(aspectPath)
    aspectReader.TextFieldType = FieldType.Delimited
    aspectReader.Delimiters = New String() {" "}
    aspectReader.HasFieldsEnclosedInQuotes = False

```

```

Using          slopeReader          As          New
Microsoft.VisualBasic.FileIO.TextFieldParser(slopePath)
    slopeReader.TextFieldType = FieldType.Delimited
    slopeReader.Delimiters = New String() {" "}
    slopeReader.HasFieldsEnclosedInQuotes = False

```

```

row = 0
While Not aspectReader.EndOfData
    strLine = ""
    Try
        'Read a line from aspect and slope
        aspectRow = aspectReader.ReadFields()
        slopeRow = slopeReader.ReadFields()
        row = row + 1
        'Display line number on screen
        tRow.Text = i & " - " & row
        System.Windows.Forms.Application.DoEvents()

```

```

'Skip the first 6 lines (no data there)
If row < 7 Then
    Dim aField As String
    'For every value (column) in aspect
    For Each aField In aspectRow
        strLine = strLine + aField.ToString + " "
    Next
    objWriter.WriteLine(strLine)
    ' strLine1 = aspectRow.ToString
    ' objWriter1.WriteLine(strLine1)

    Continue While
End If

```

```

col = 0
Dim aspectField As String
'For every value (column) in aspect

```

```

For Each aspectField In aspectRow
  If aspectField.Length = 0 Then
    Continue For
  End If
  Try
    aspect = Cdbl(Replace(aspectField, ".", ","))
    slope = Cdbl(Replace(slopeRow(col), ".", ","))
    'Check if no-data
    If Abs(aspect) <> 181 And Abs(aspect) <> 9999 And
Abs(aspect) <> 9.999 Then
      '*****
      'compute hay model
      Hd0 = dataArray(i, 10)
      Ht0 = dataArray(i, 11)
      declination = dataArray(i, 12)
      hourAngle = dataArray(i, 13)
      hgio = Max(GSC * Dcos(declination) * Dcos(fdegrees) *
Dcos(hourAngle) * Dsin(declination) * Dsin(fdegrees), 0)

      zenithAngle = 90 - dataArray(i, 7)
      DirectHor = Ht0 - Hd0
      Kb = Min(DirectHor / hgio, 1.0)
      ater1 = Dsin(fdegrees) * Dcos(slope) - Dcos(fdegrees) *
Dsin(slope) * Dcos(aspect)
      ater2 = Dcos(fdegrees) * Dcos(slope) + Dsin(fdegrees) *
Dsin(slope) * Dcos(aspect)
      ater3 = Dcos(declination) * Dsin(slope) * Dsin(aspect) *
Dsin(hourAngle)
      COSAngleIncidence = ater1 * Dsin(declination) + ater2 *
(Dcos(declination) * Dcos(hourAngle)) - ater3
      COSZenithAngle = Dcos(zenithAngle)
      Rb = Max(COSAngleIncidence / COSZenithAngle, 0)
      Rdi = (1 + Dcos(slope)) / 2

      Hdb = Hd0 * (Kb * Rb + (1 - Kb) * Rdi)
      Hbb = DirectHor * Rb
      Rr = (1 - Dcos(slope)) / 2
      Hrb = Max(0.2 * Rr * Ht0, 0)
      Htb = Hbb + Hdb + Hrb

      '*****
      'write field to line
      strLine = strLine + Replace(Htb, ",", ".").ToString + " "
      'write HAY_COMPUTATIONS line
      strLine1 = dataArray(i, 2).ToString + vbTab + _

```

```

dataArray(i, 3).ToString + vbTab + _
Replace(dataArray(i, 7), ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(zenithAngle, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(dataArray(i, 8), ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(GSC, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(hgio, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Ht0, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Hd0, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(DirectHor, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(fddegrees, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(declination, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(hourAngle, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(aspect, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(slope, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Kb, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(ater1, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(ater2, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(ater3, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(COSAngleIncidence, ",", ".").ToString + vbTab
+ _

```

```

Replace(COSZenithAngle, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Rb, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Rdi, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Hdb, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Hbb, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Rr, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Hrb, ",", ".").ToString + vbTab + _
Replace(Htb, ",", ".").ToString

```

```

objWriter1.WriteLine(strLine1)
Else 'no-data or 181
If Abs(aspect) = 181 Then
strLine = strLine + Replace(Ht0, ",", ".").ToString + " "
Else
'write empty field
strLine = strLine + "-9999 "
End If
End If

```

```

Catch ex_conv As System.Exception
'write empty field (no-data)
strLine = strLine + "-9999 "
End Try
col = col + 1
Next

```

```

Catch ex As Microsoft.VisualBasic.FileIO.MalformedLineException

```

```

        MsgBox("Line " & ex.Message &
            "is not valid and will be skipped.")
    End Try
    'write hay line
    objWriter.WriteLine(strLine)

    End While
    End Using
    End Using
Else
    MsgBox("File aspect.TXT and/or slope.TXT Does Not Exist")
    Exit Sub
End If

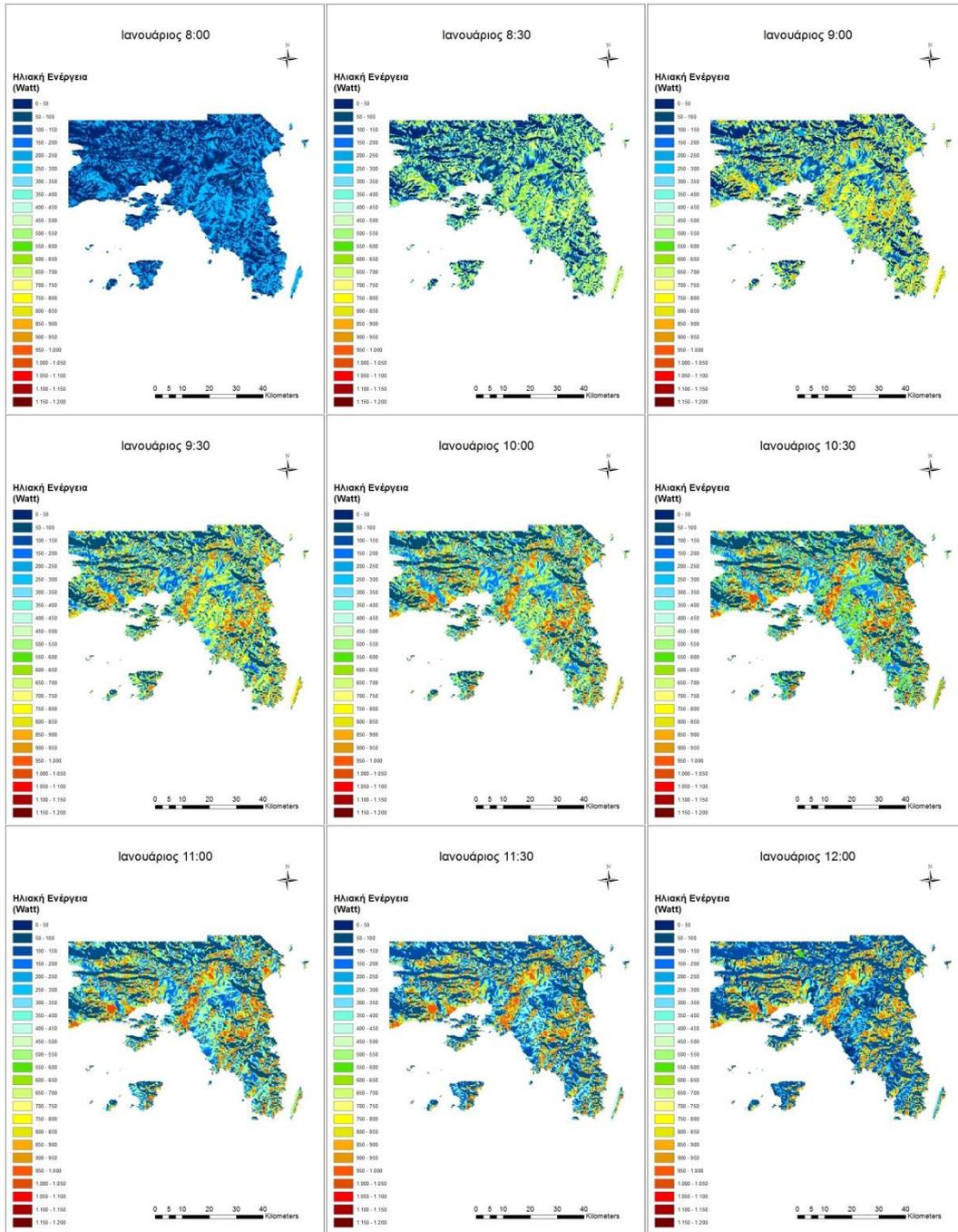
    objWriter.Close()
    objWriter1.Close()
Next 'next ashrae line

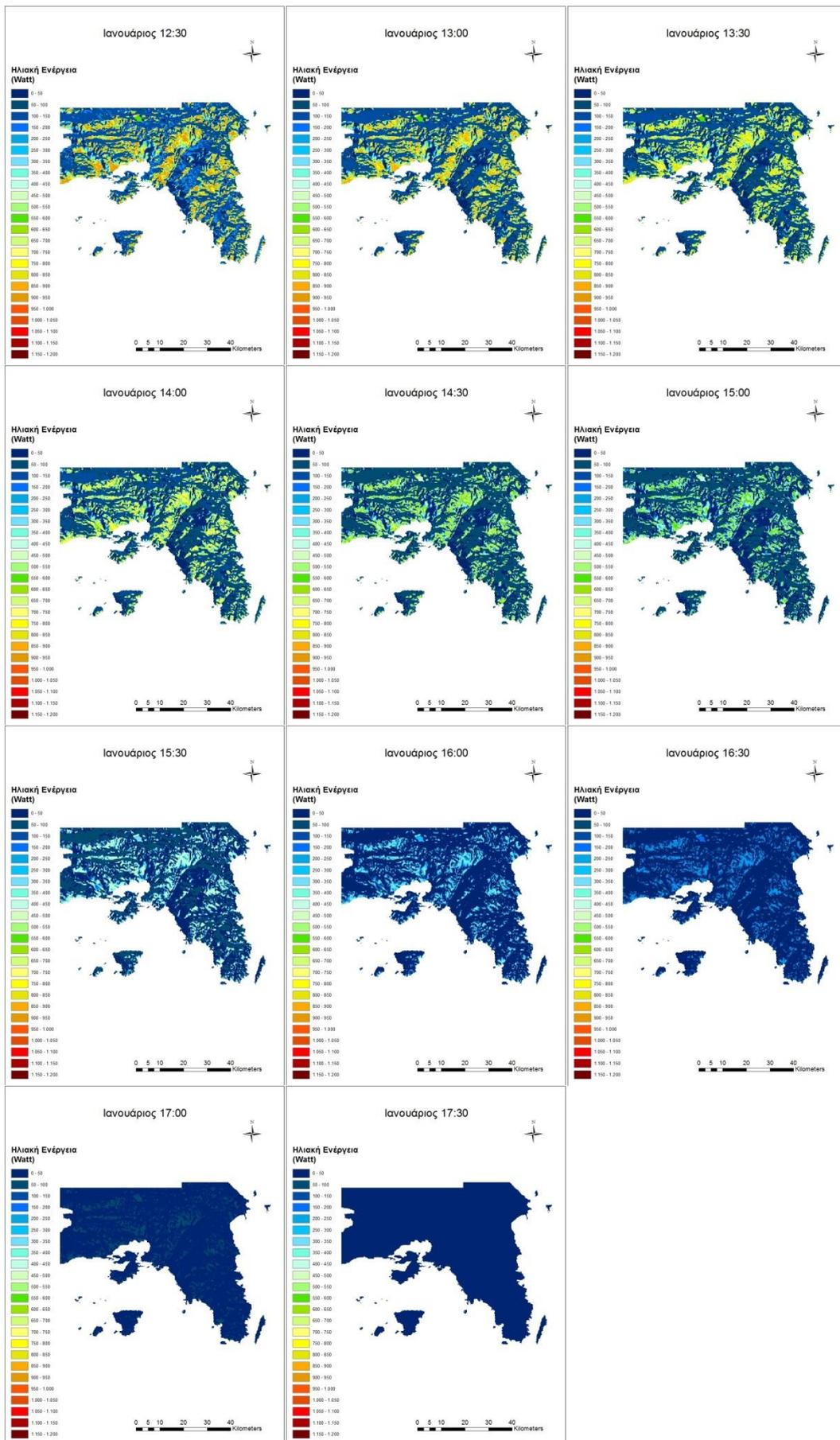
End Sub

Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button2.Click
    End
End Sub
Private Sub Main_FormClosed(sender As Object, e As
System.Windows.Forms.FormClosedEventArgs) Handles Me.FormClosed
    End
End Sub
'Functions to convert degrres and compute sin, cos
Private Function Dsin(degrees As Double) As Double
    Return Sin(degrees * (Math.PI / 180))
End Function
Private Function Dcos(degrees As Double) As Double
    Return Cos(degrees * (Math.PI / 180))
End Function
End Class

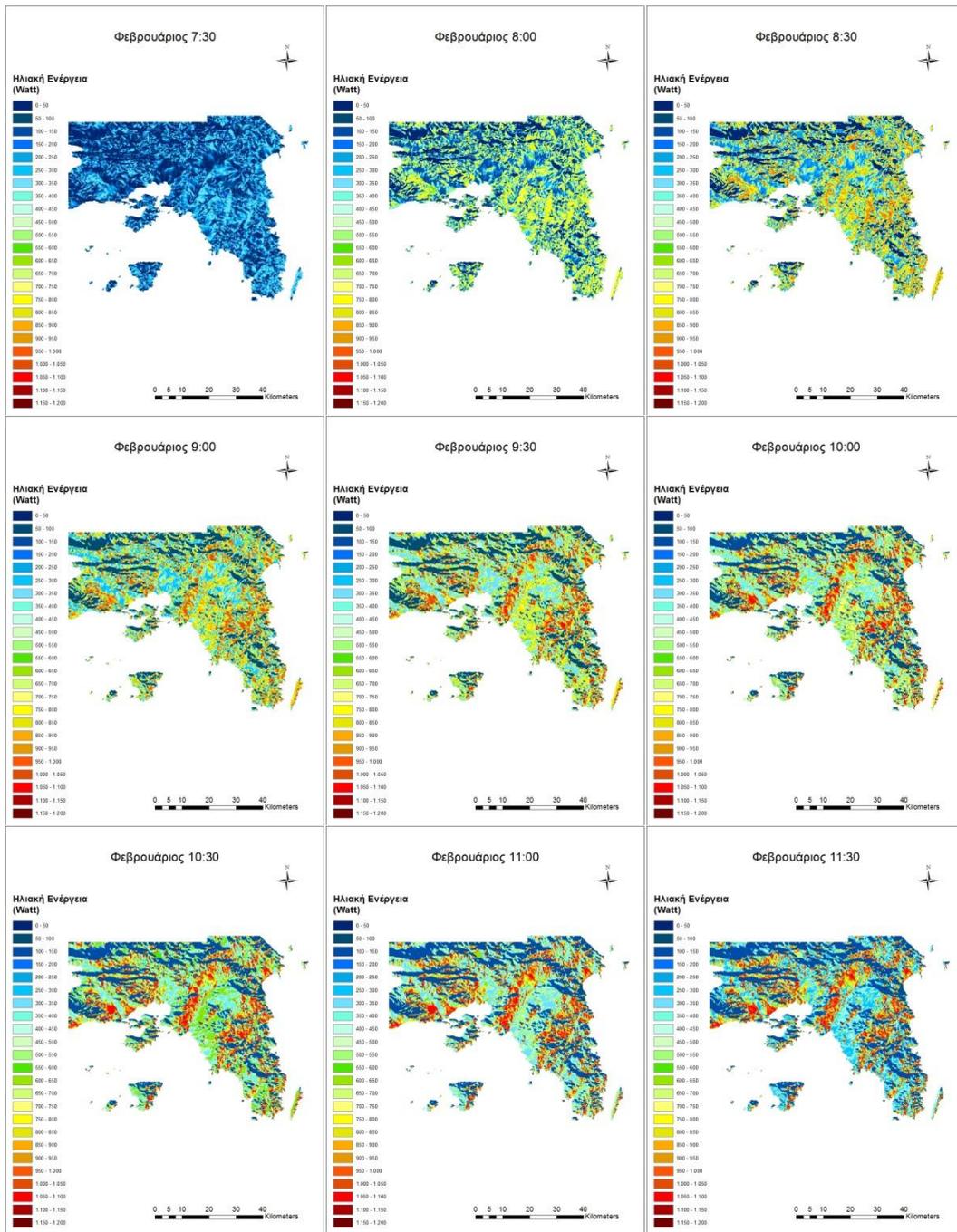
```

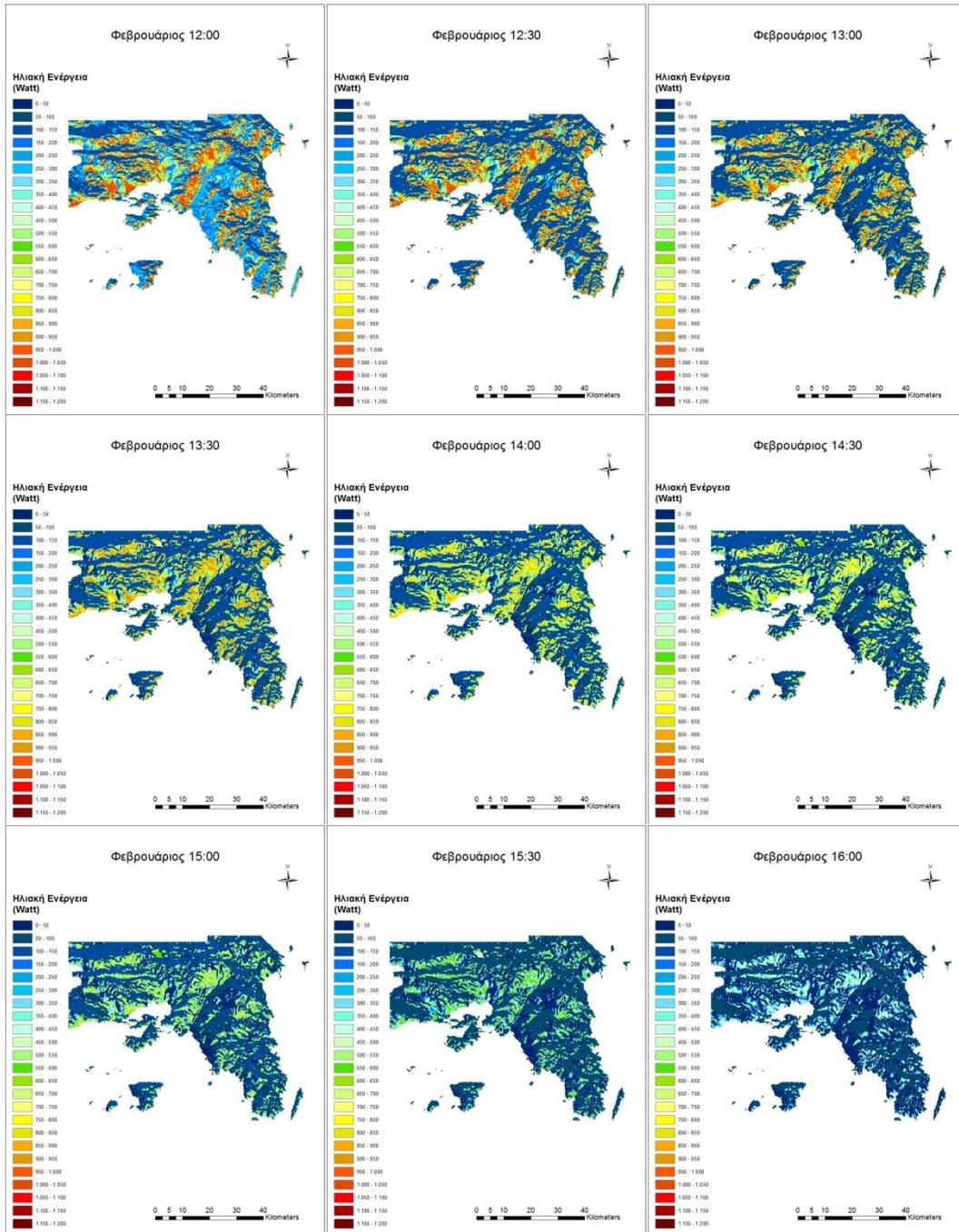
Χάρτες Ιανουάριος

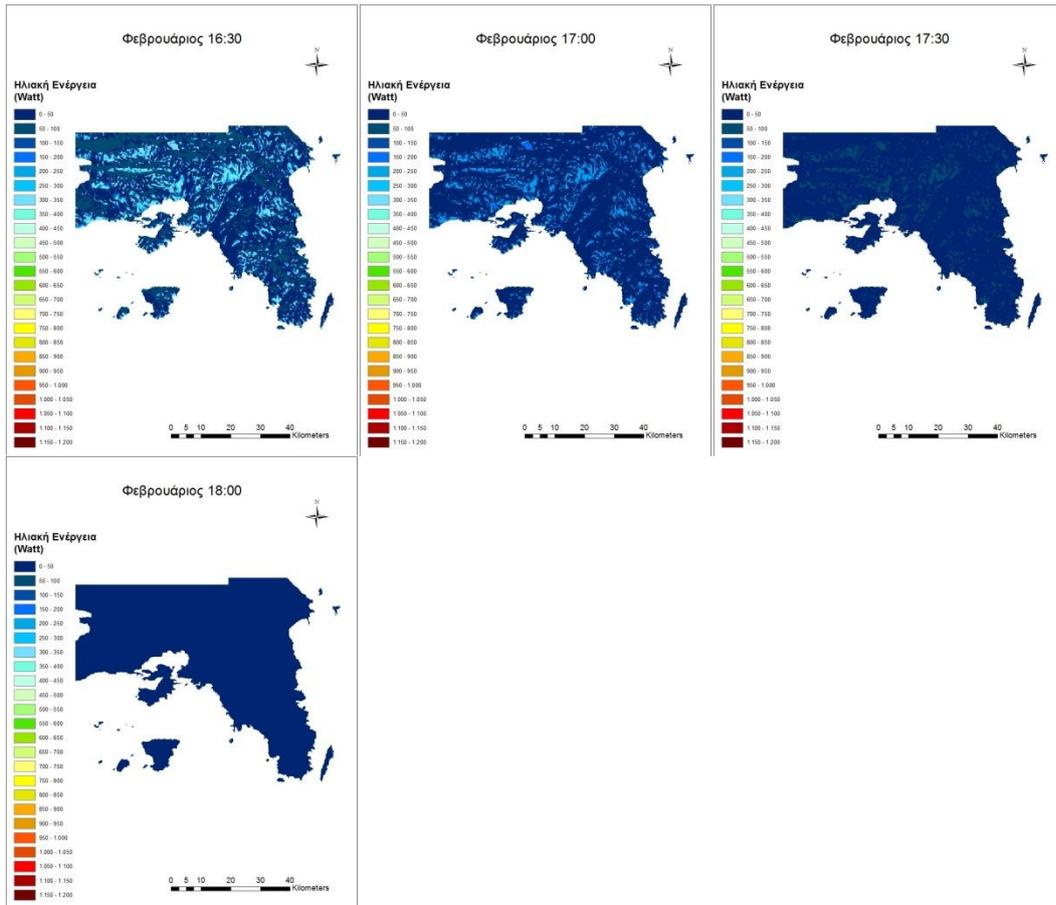




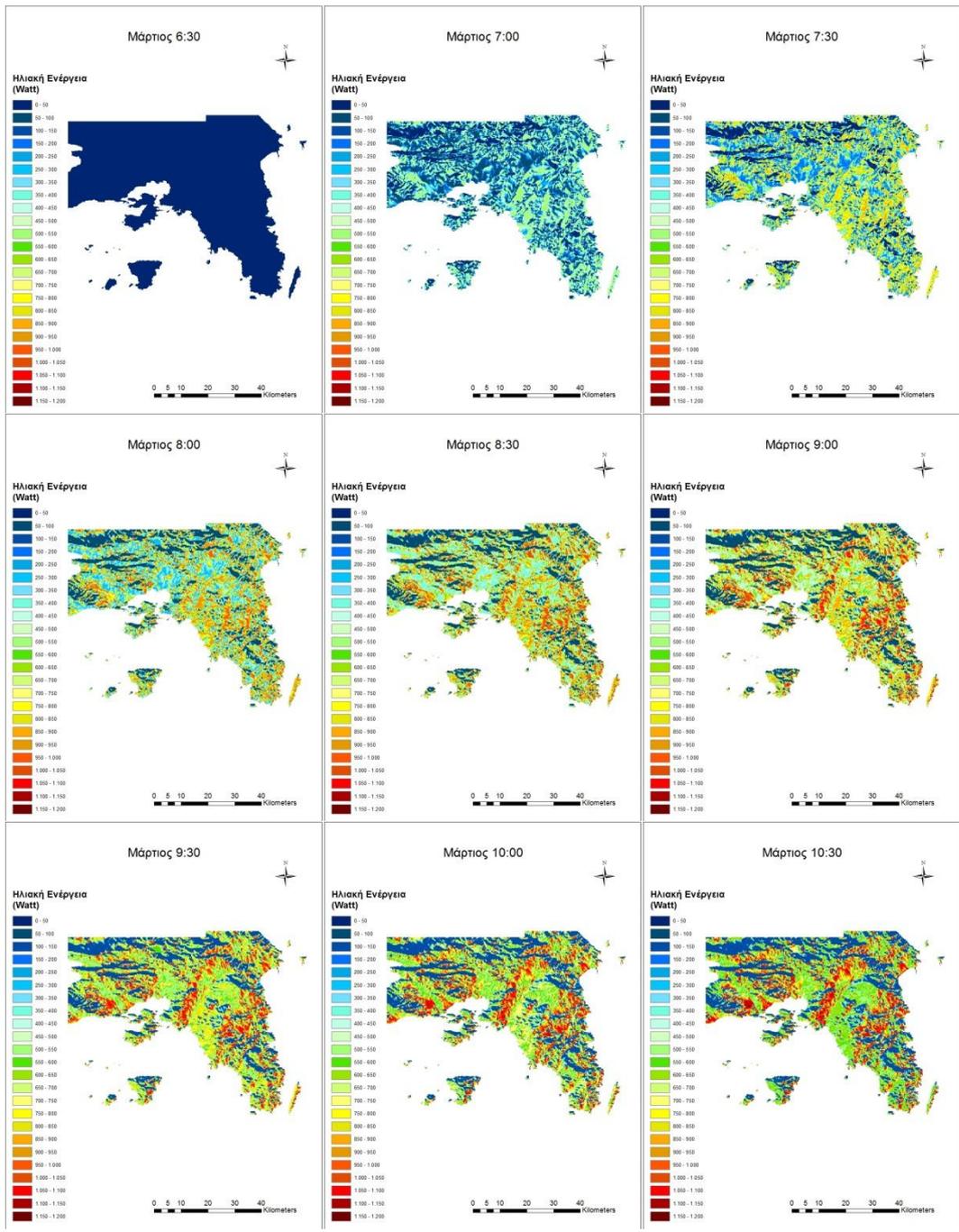
Φεβρουάριος

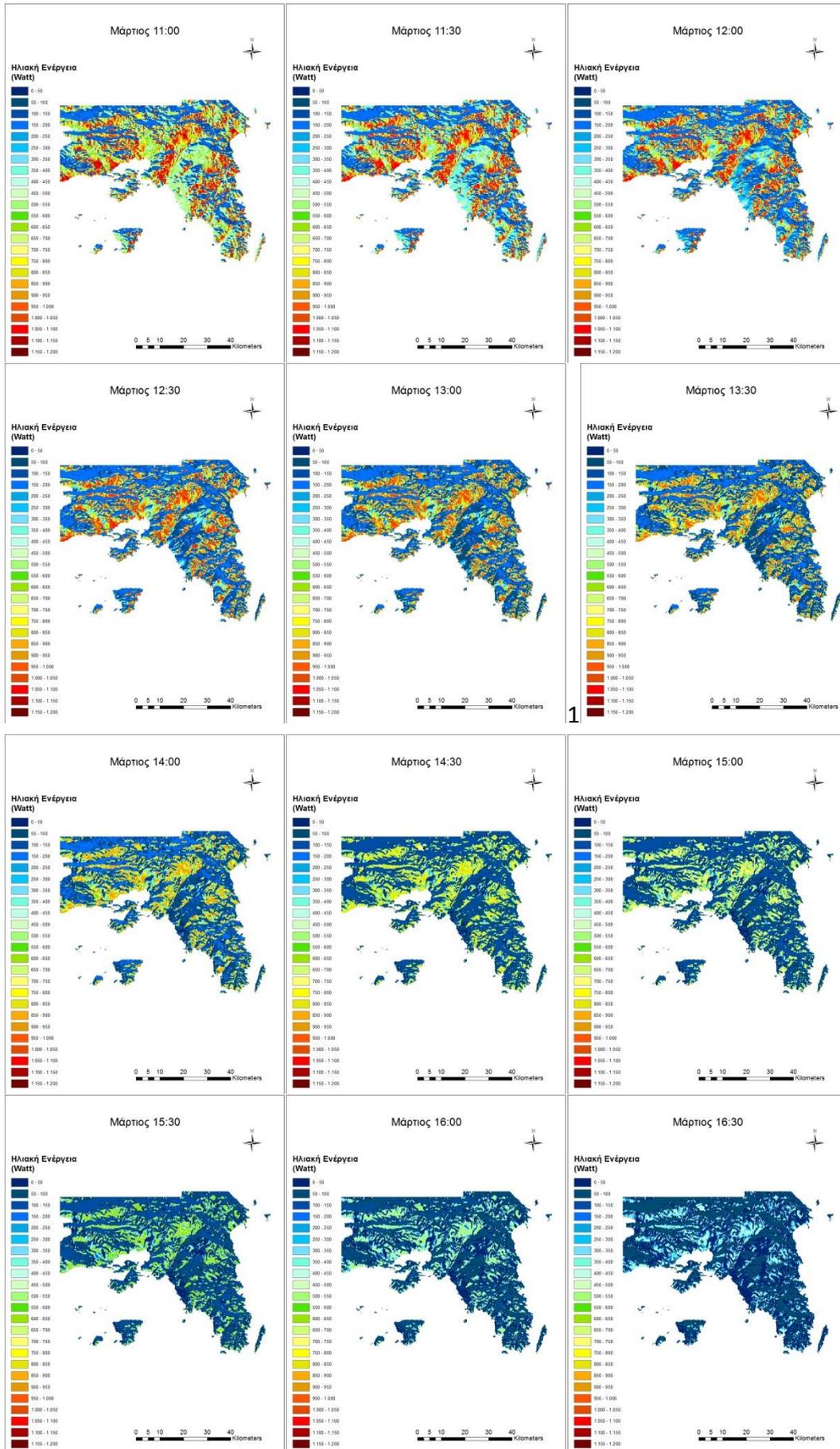


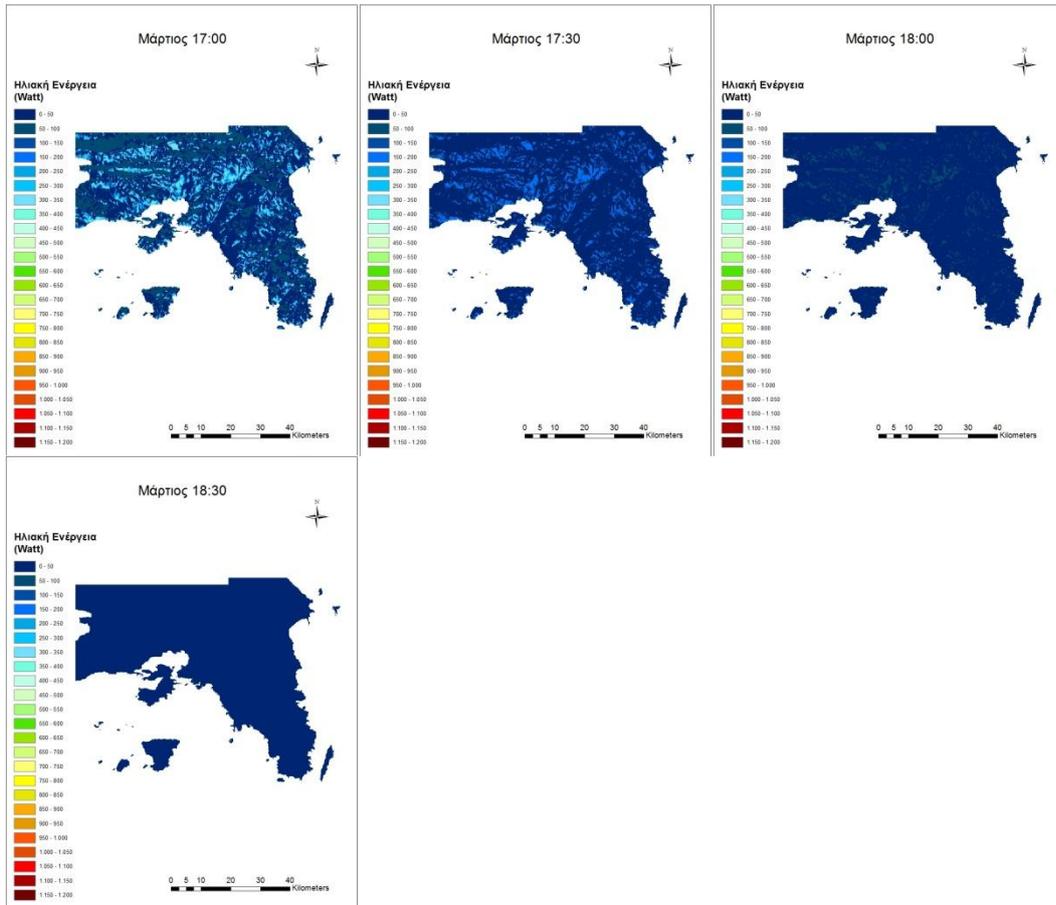




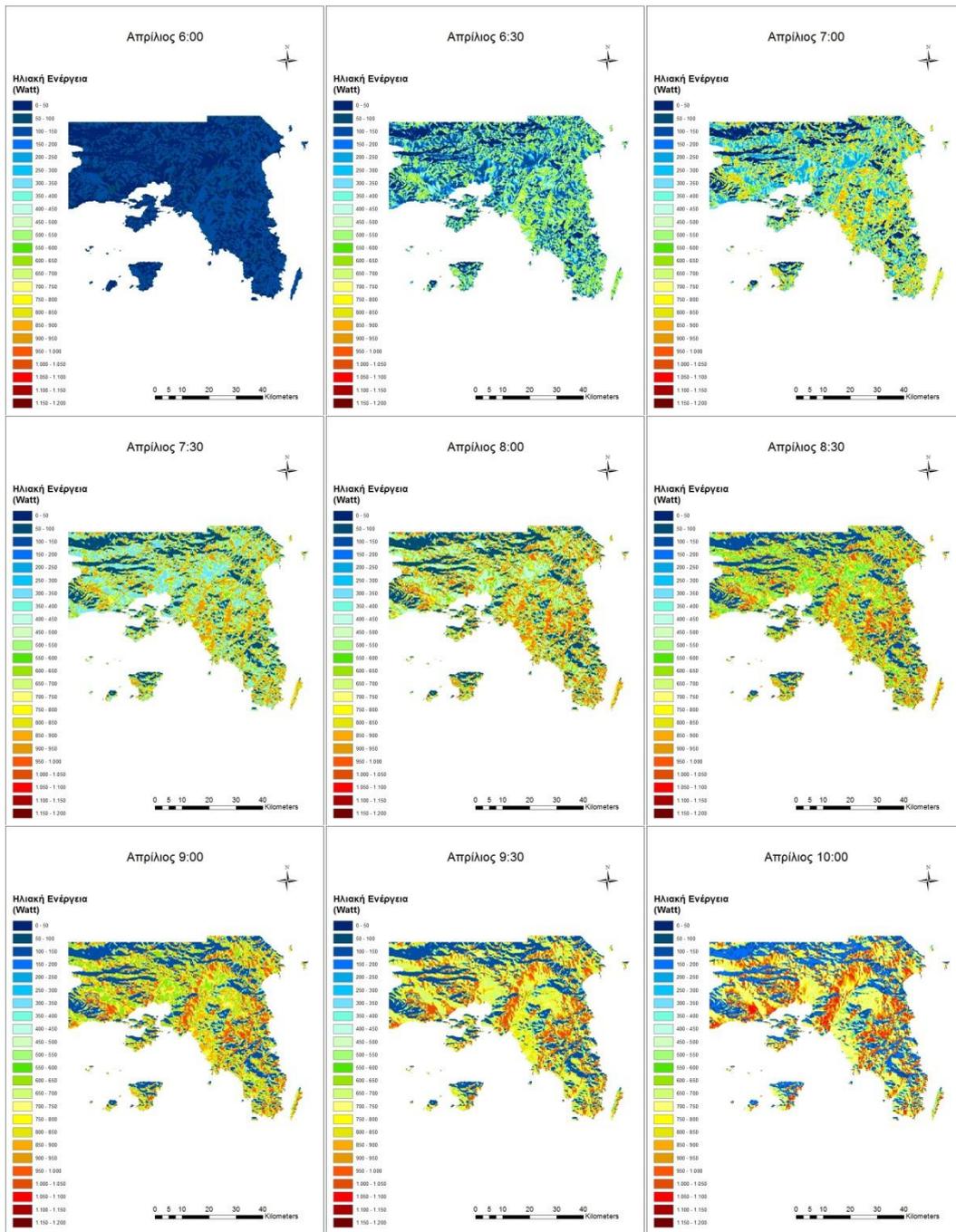
Μάρτιος

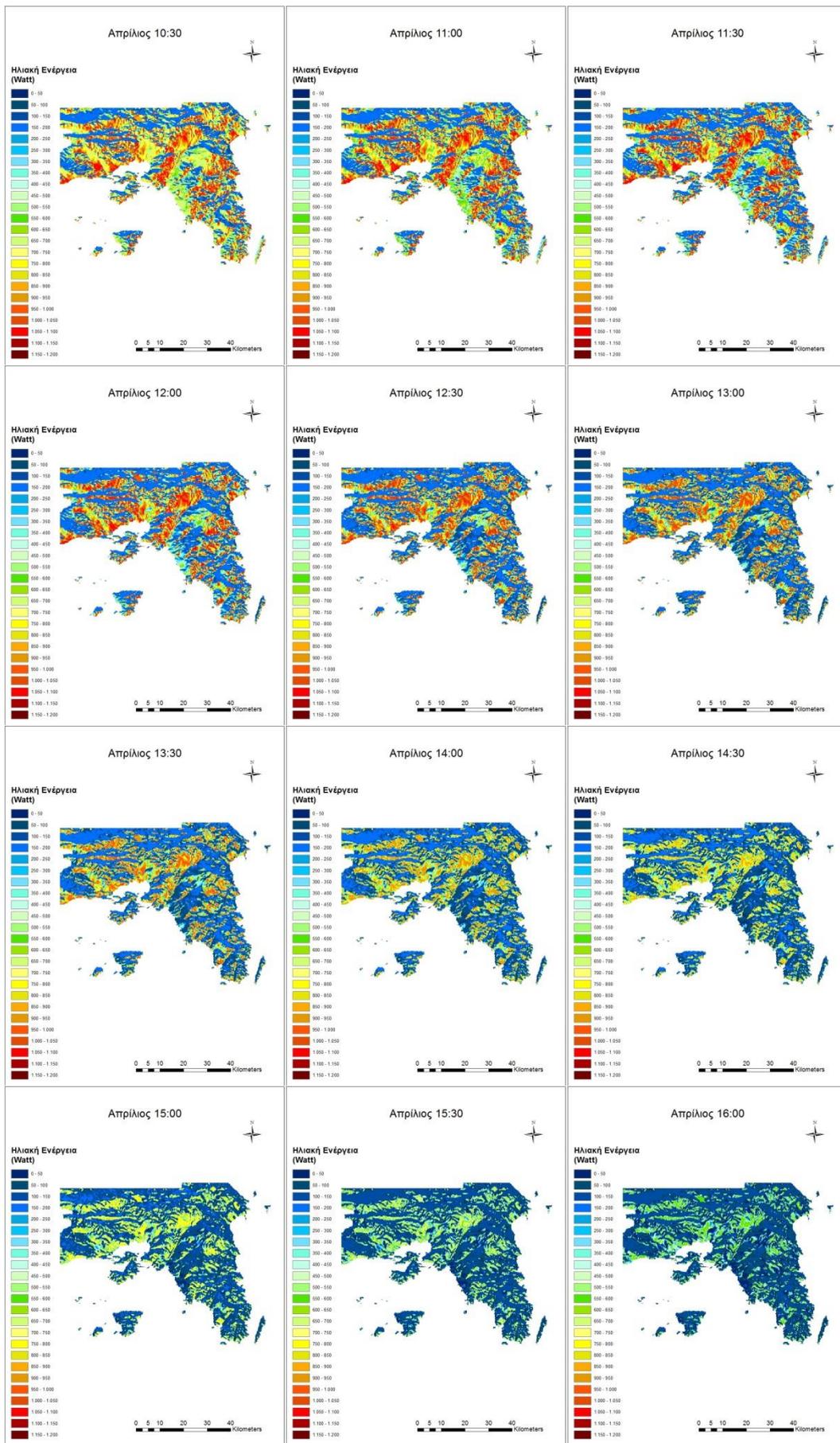


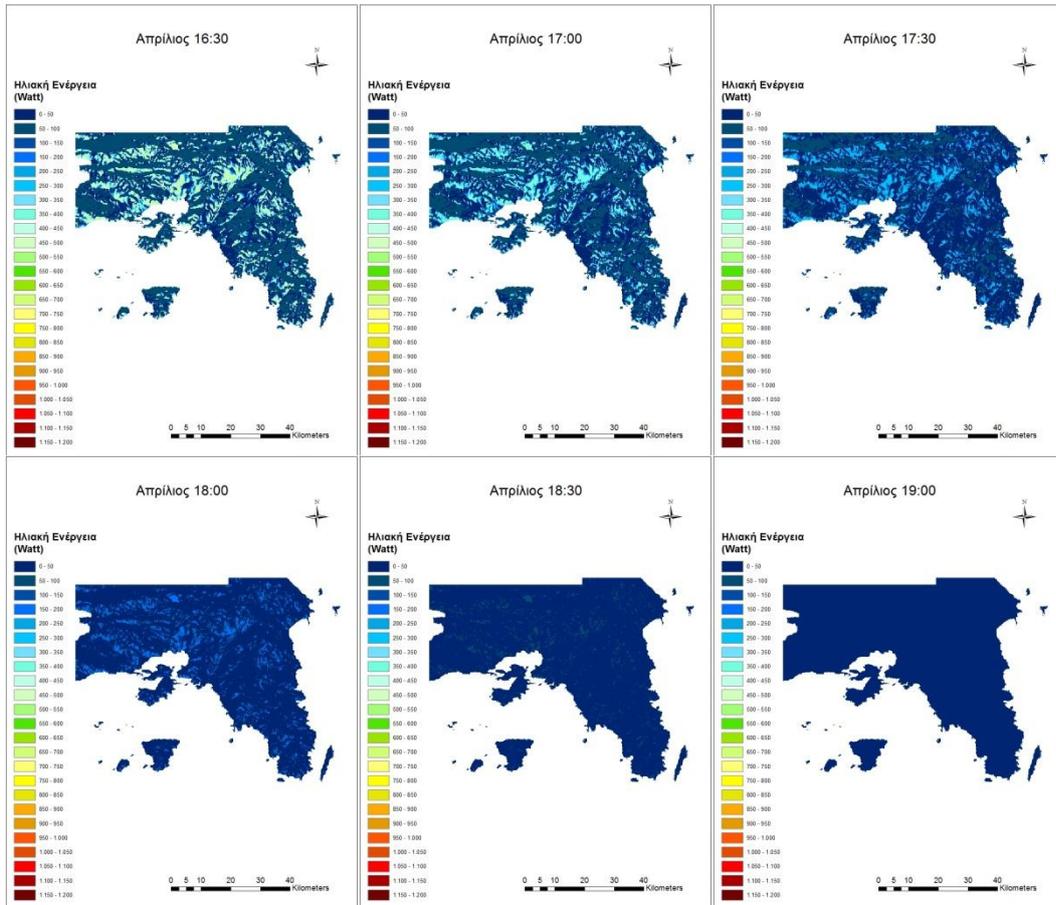




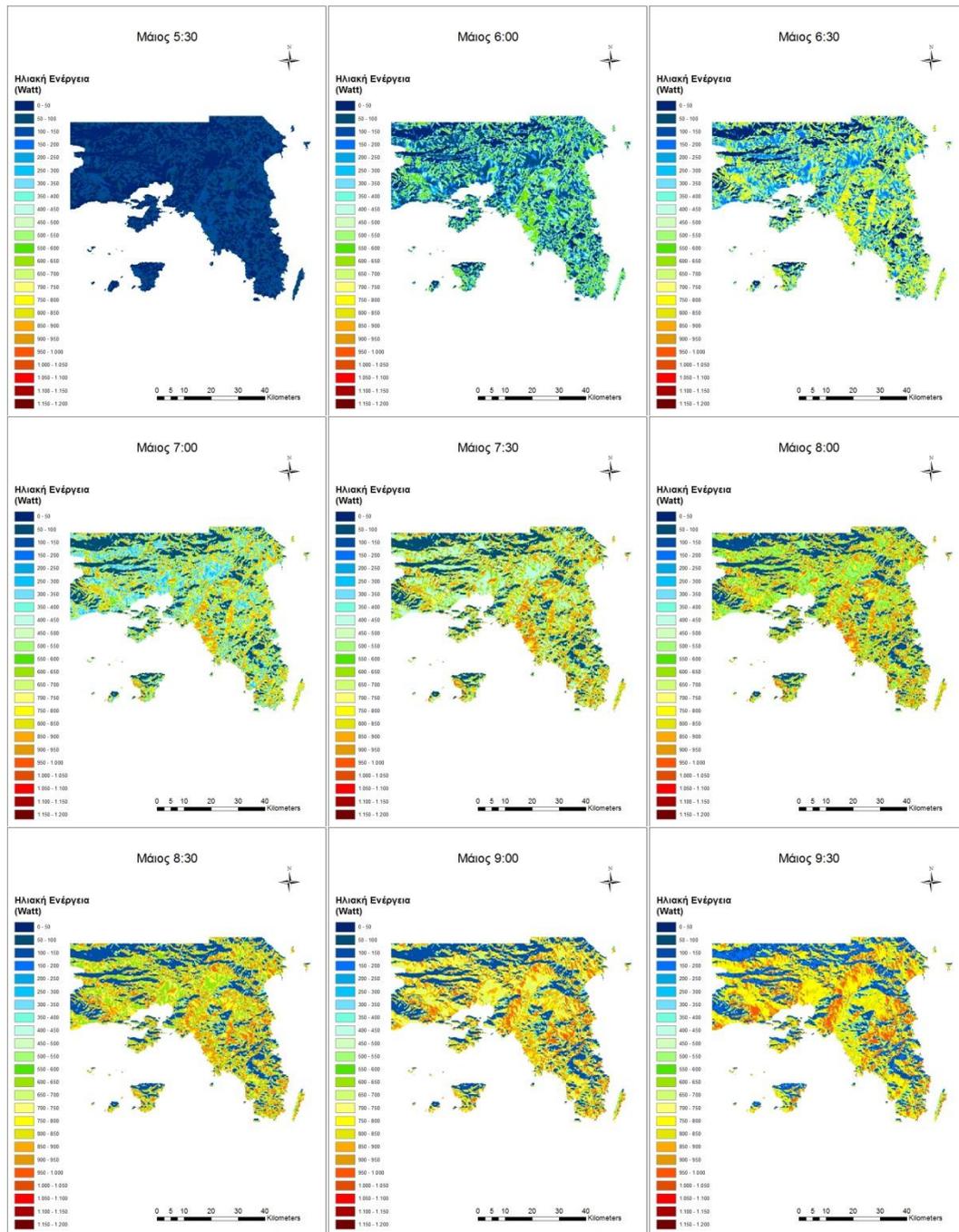
Απρίλιος

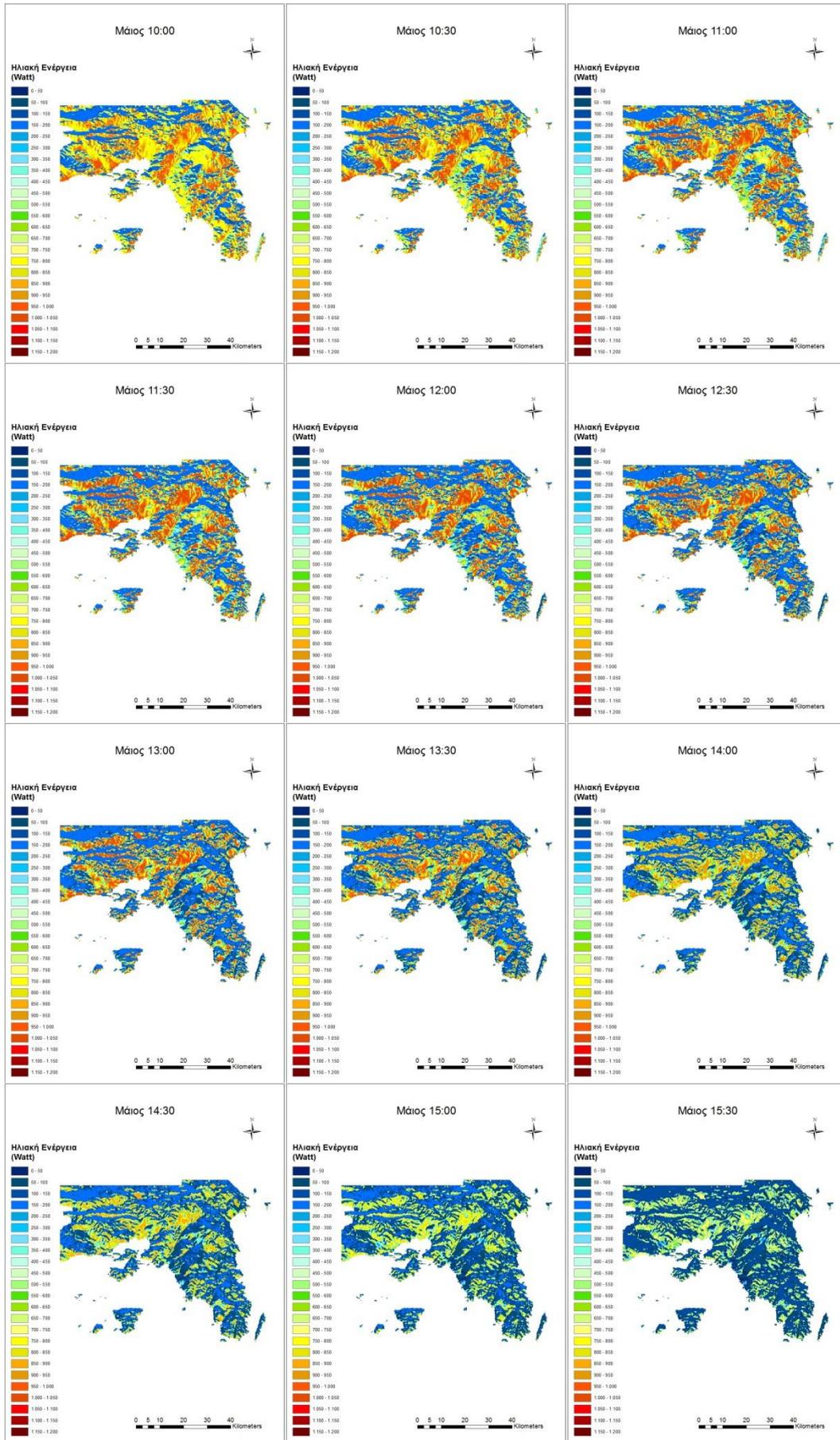


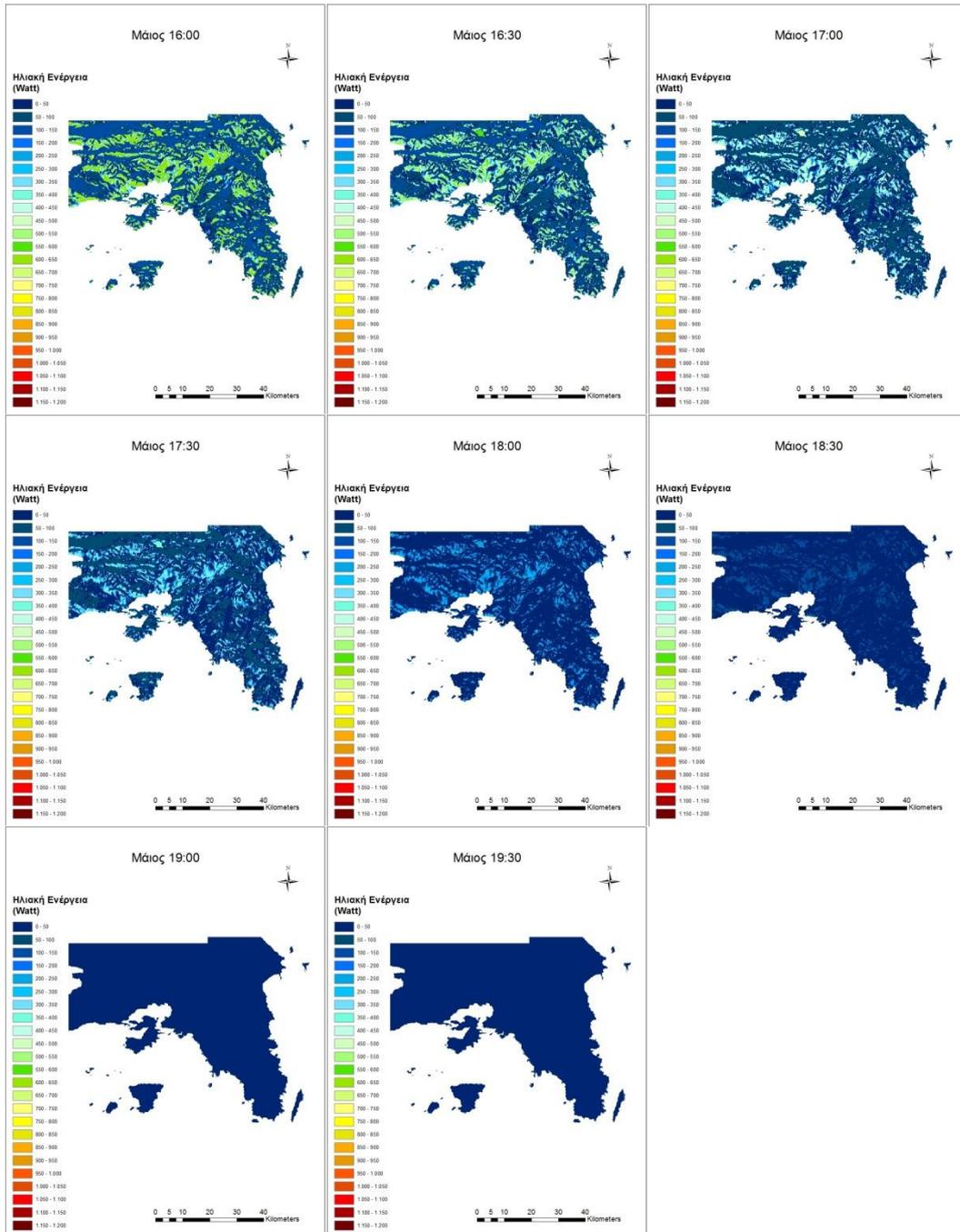




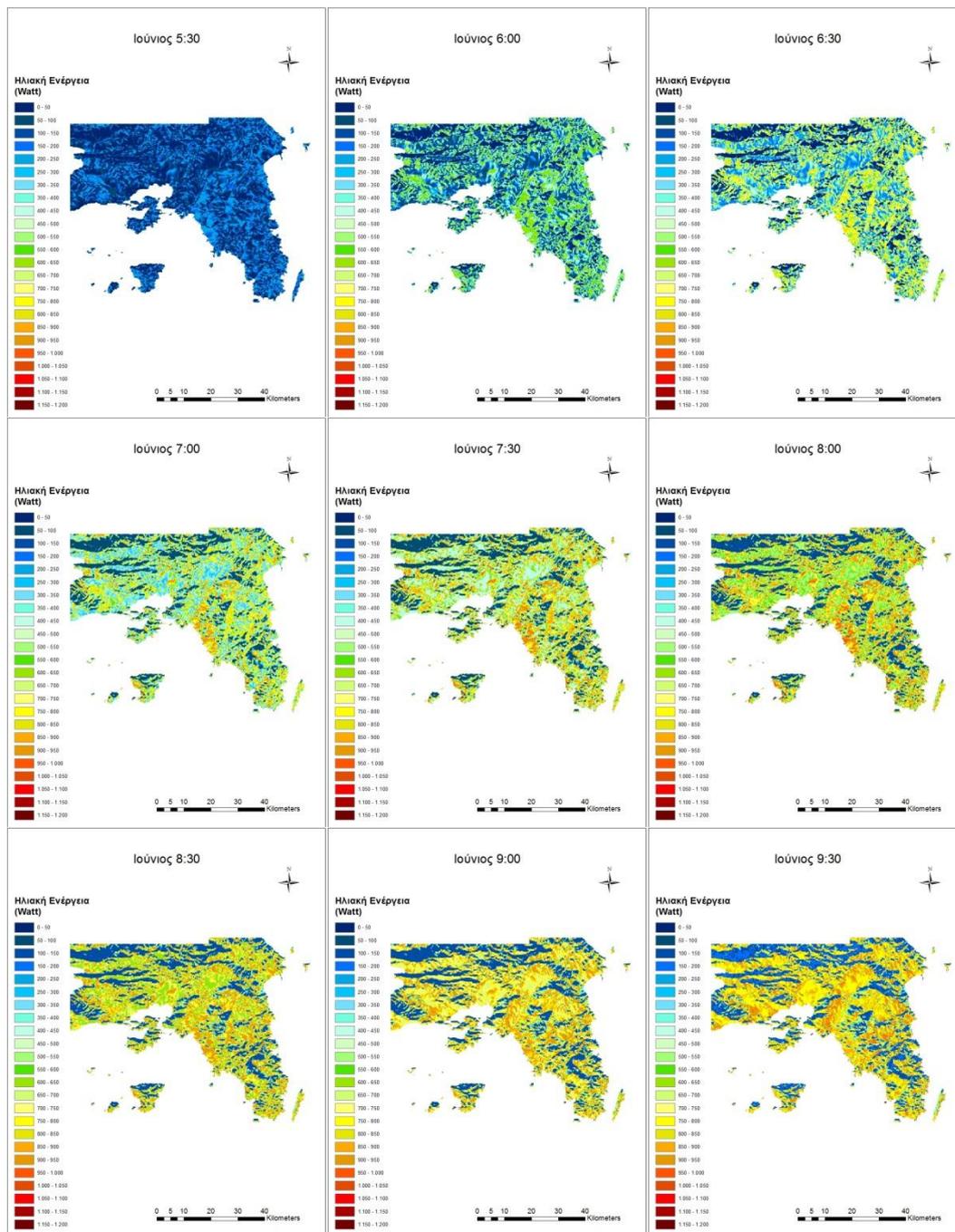
Μάιος

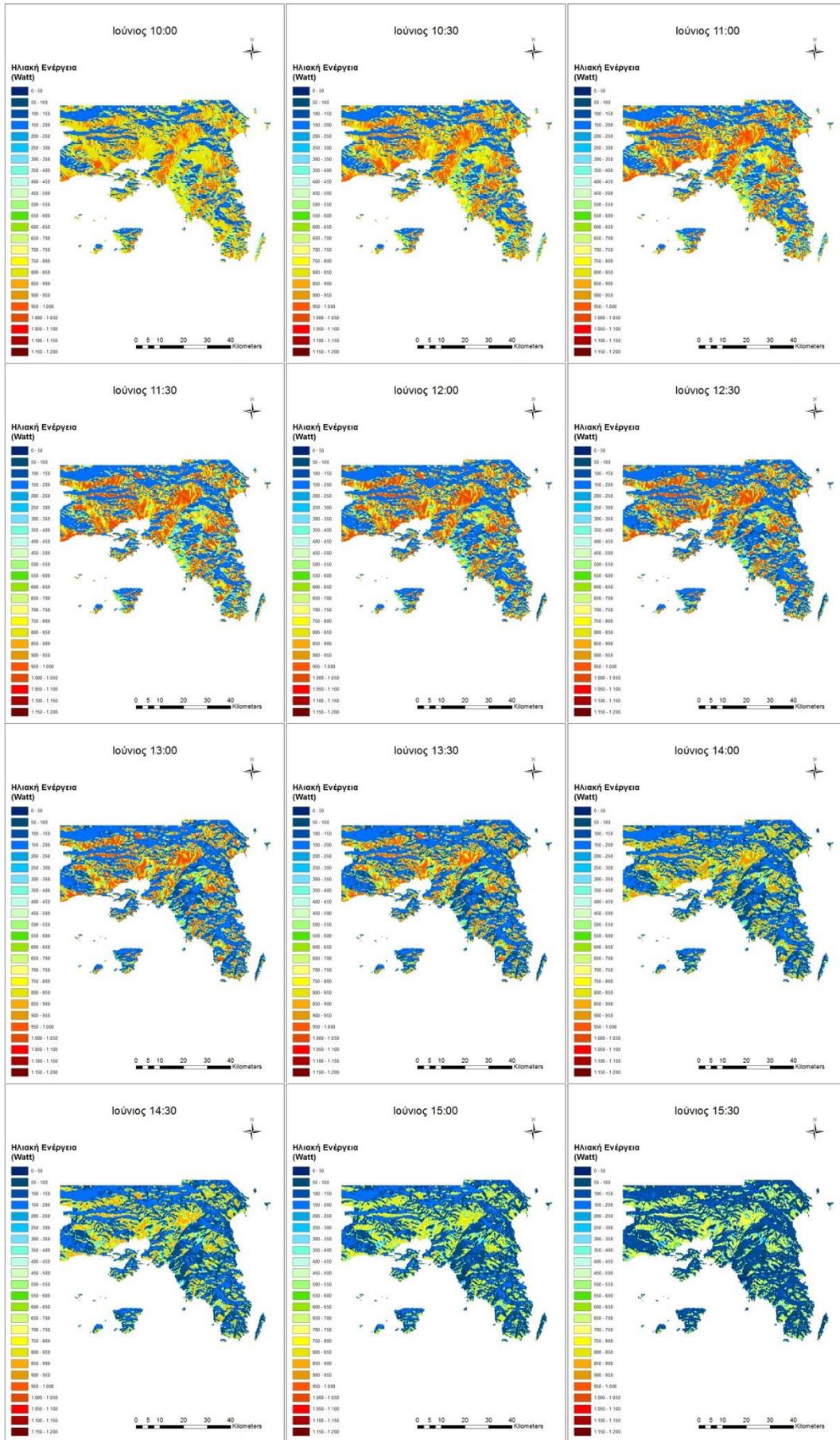


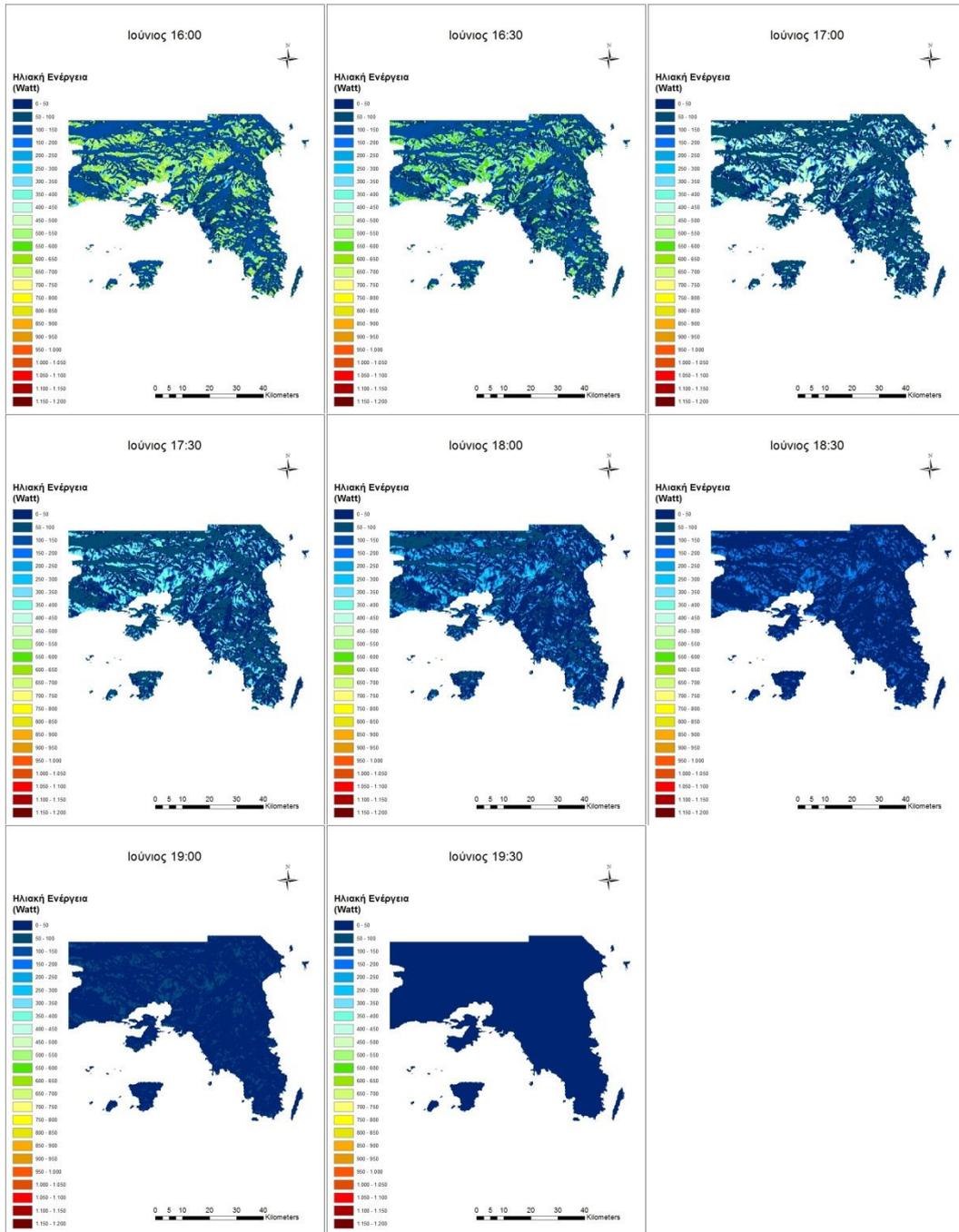




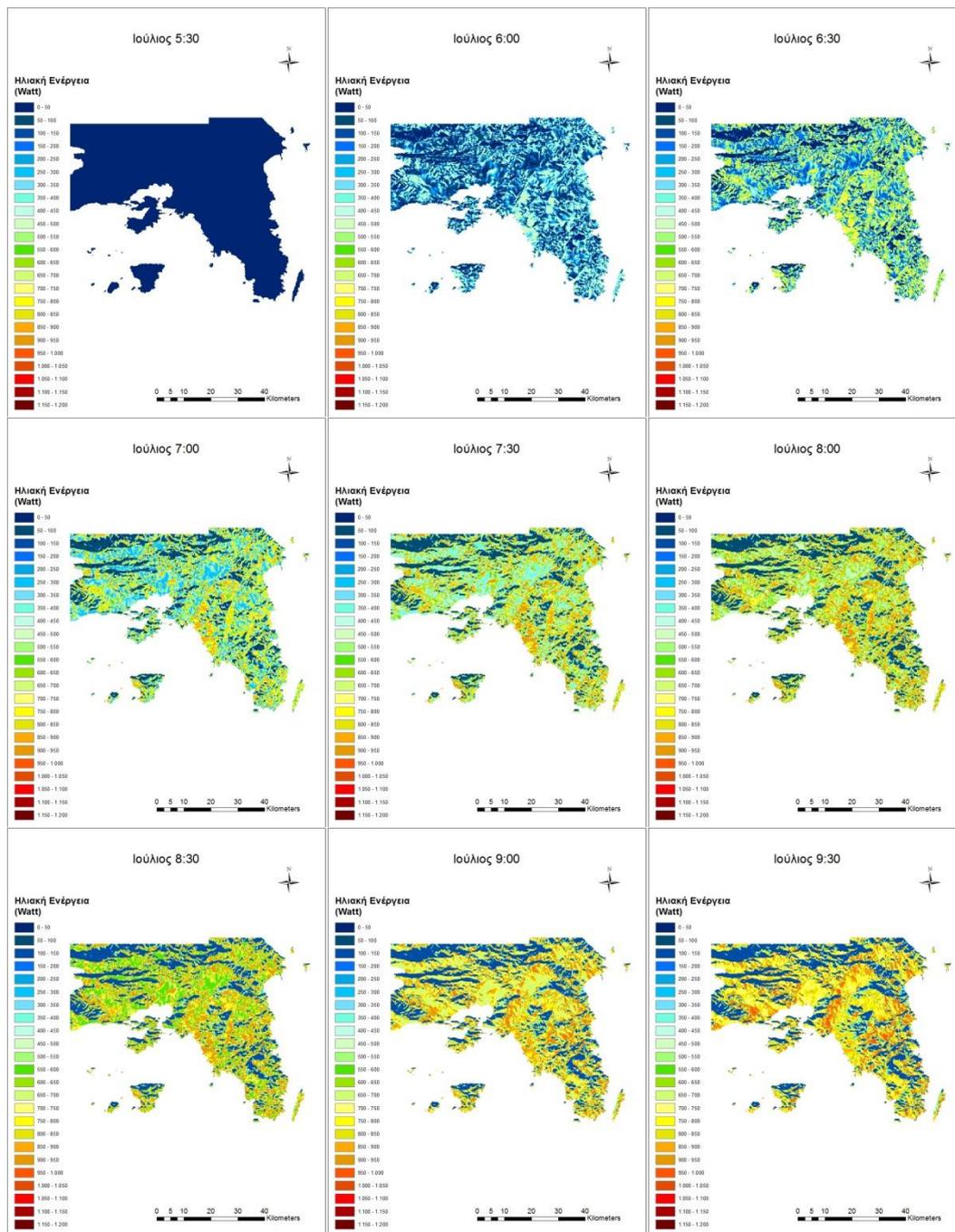
Ιούνιος

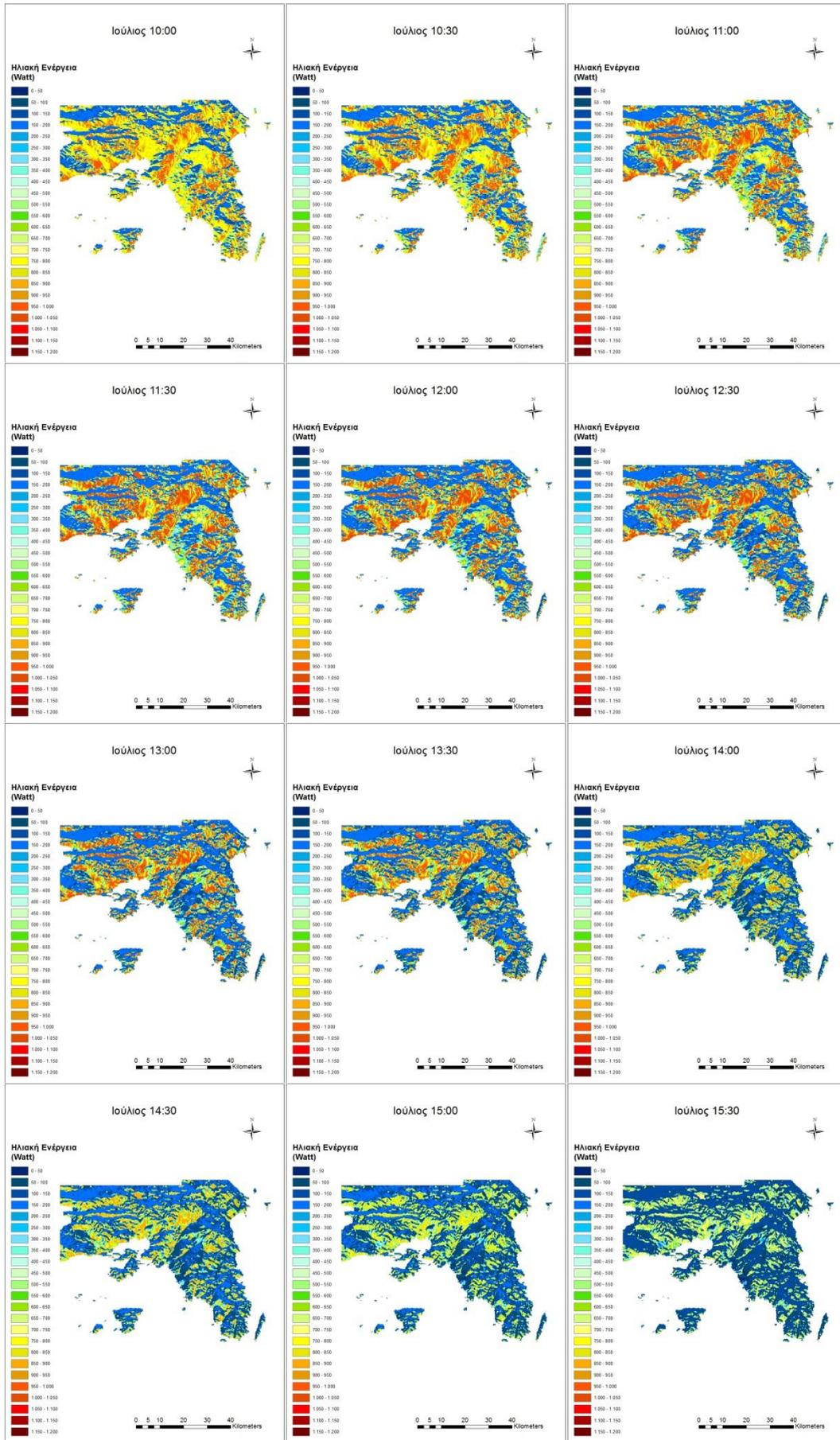


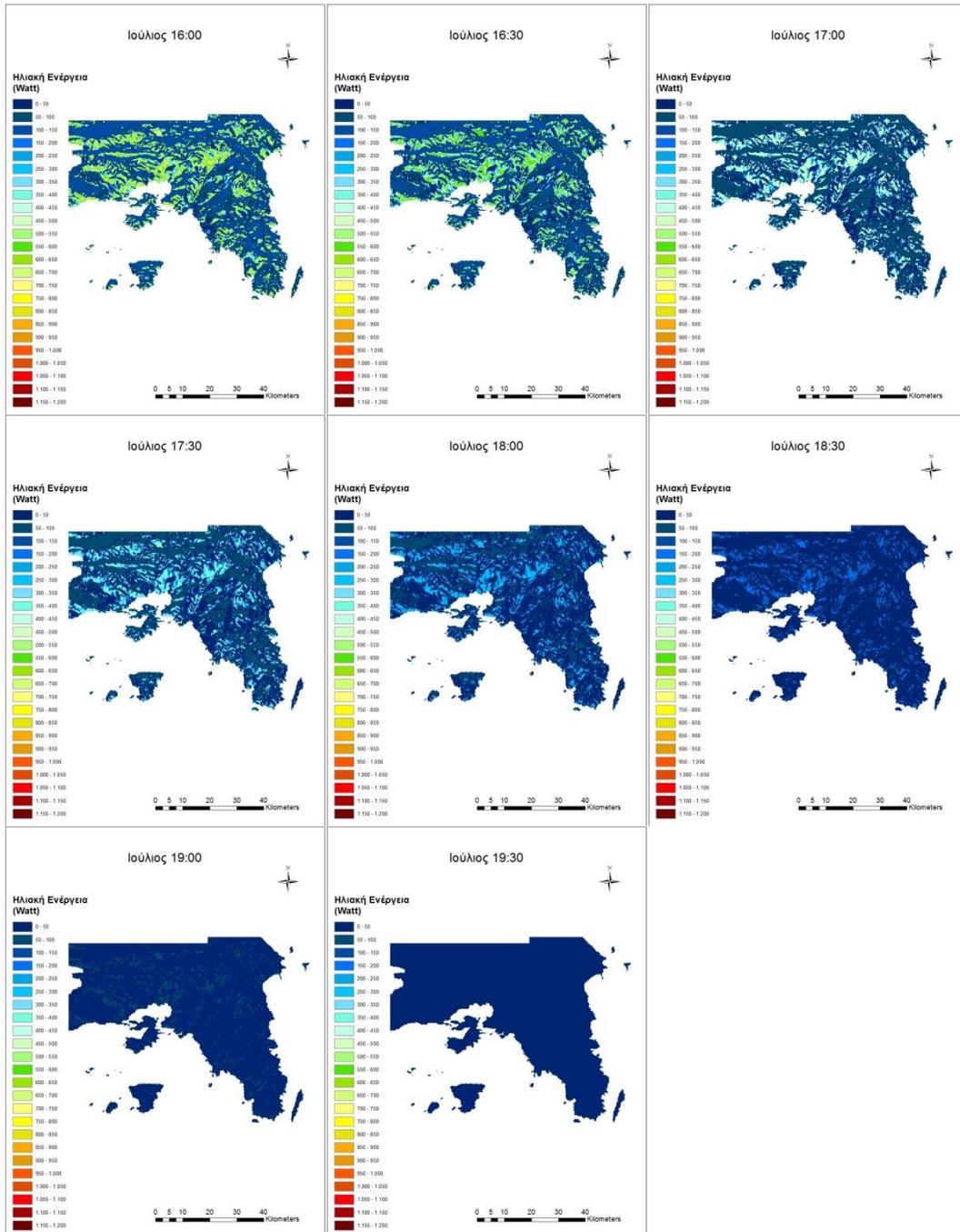




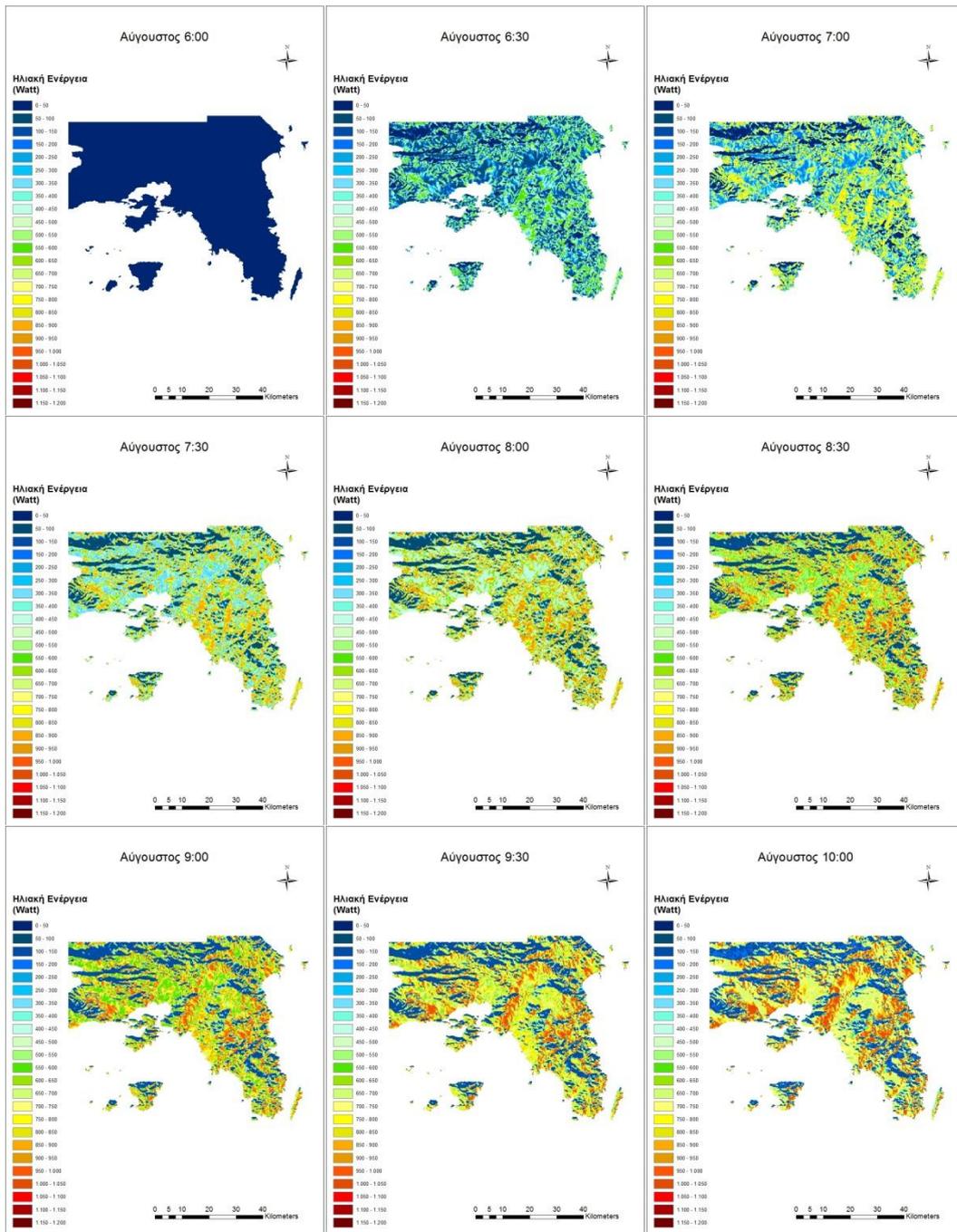
Ιούλιος

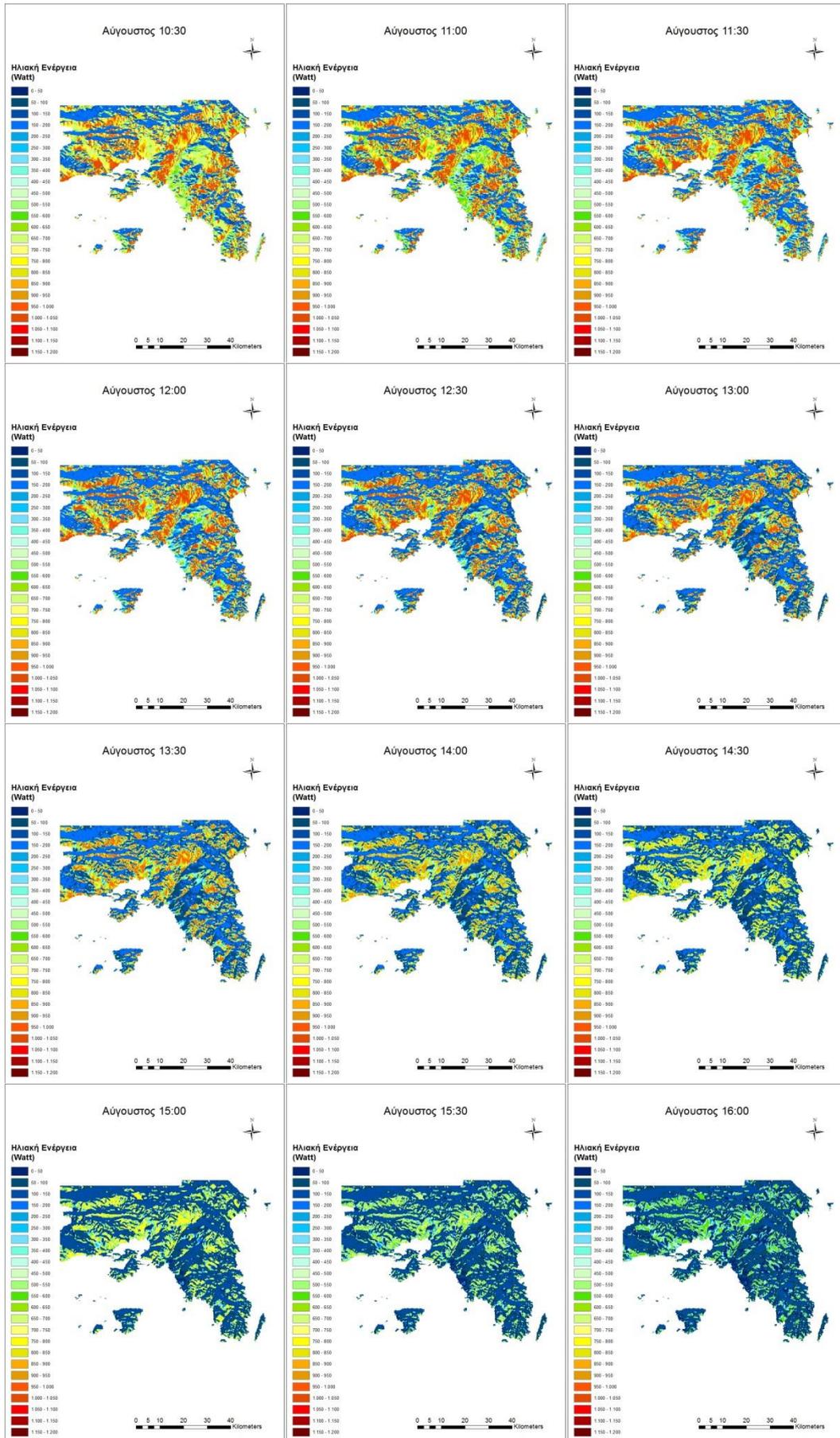


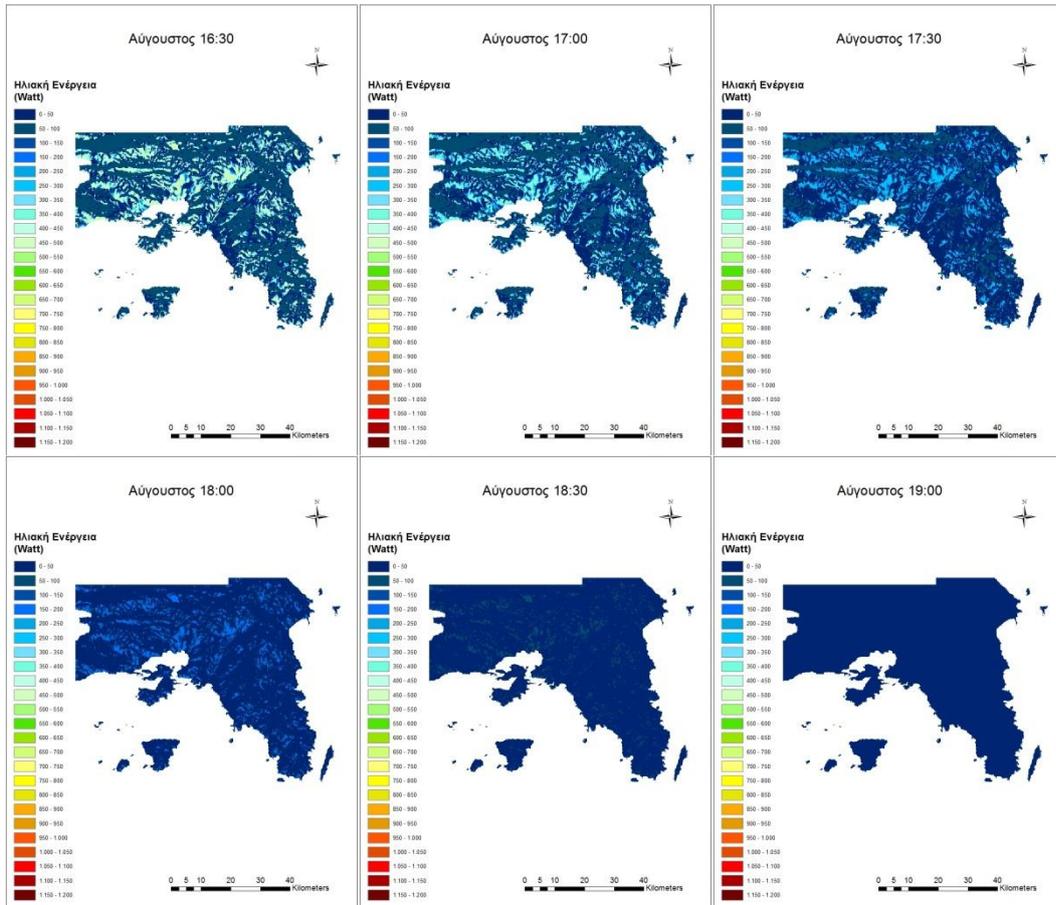




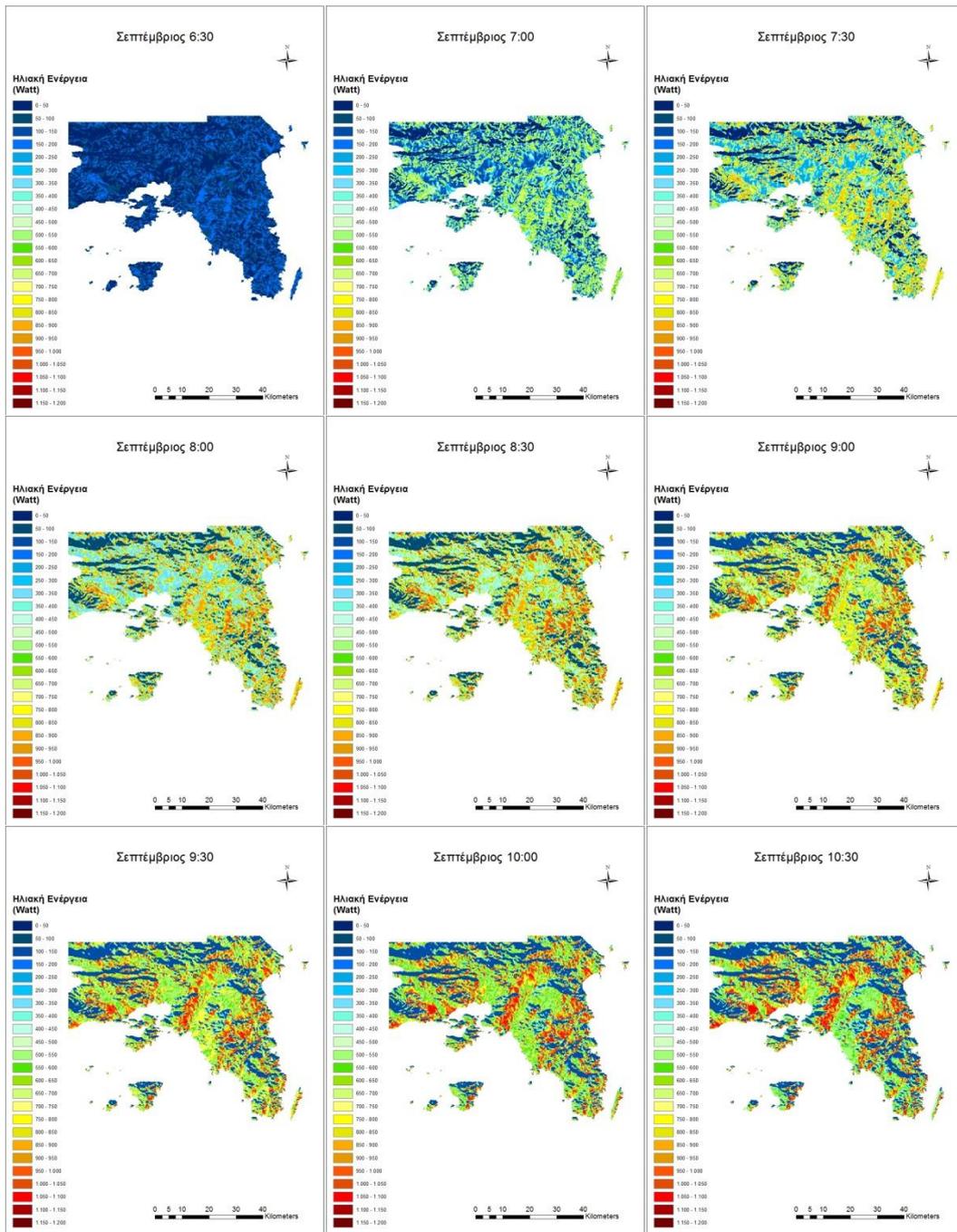
Αύγουστος

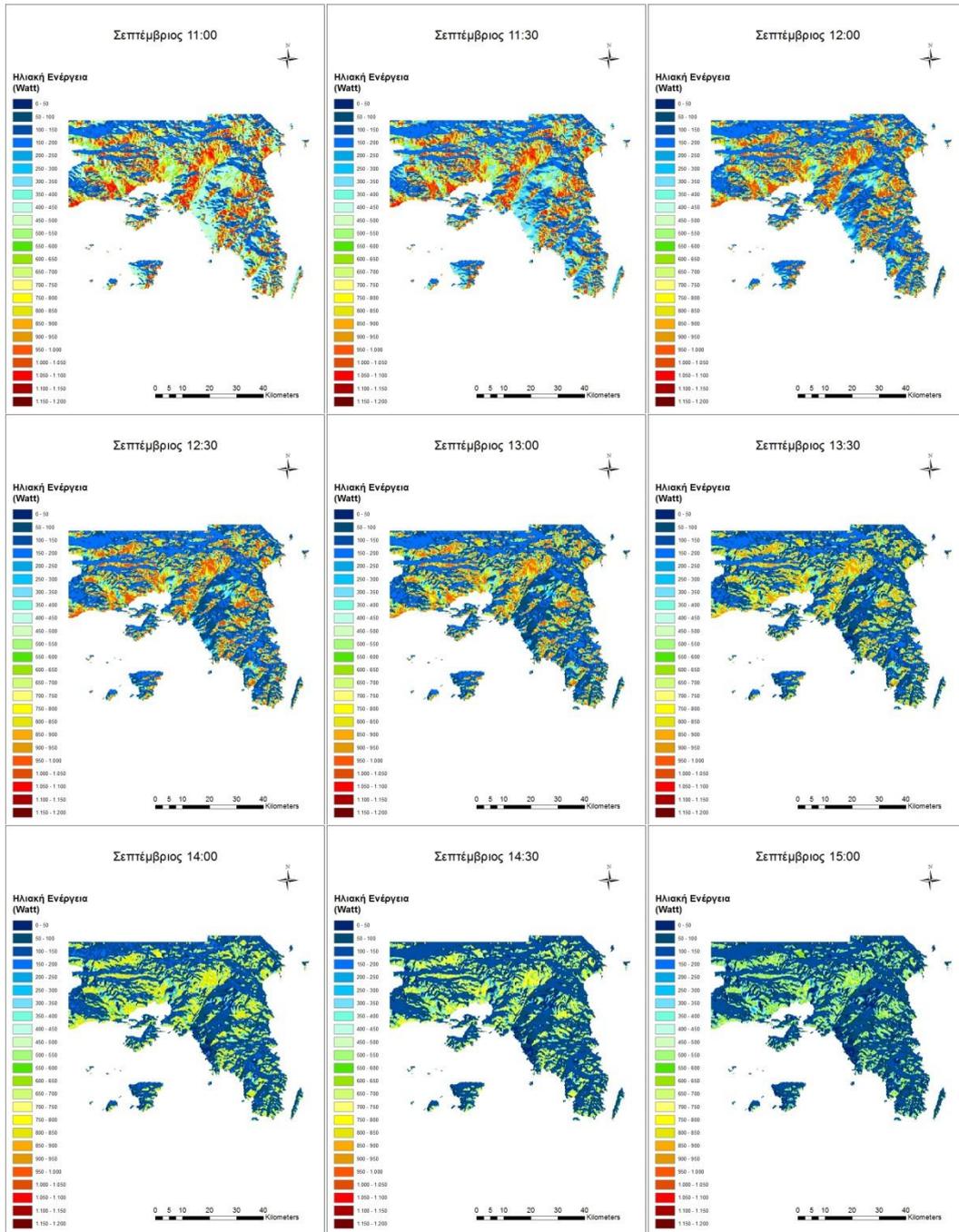


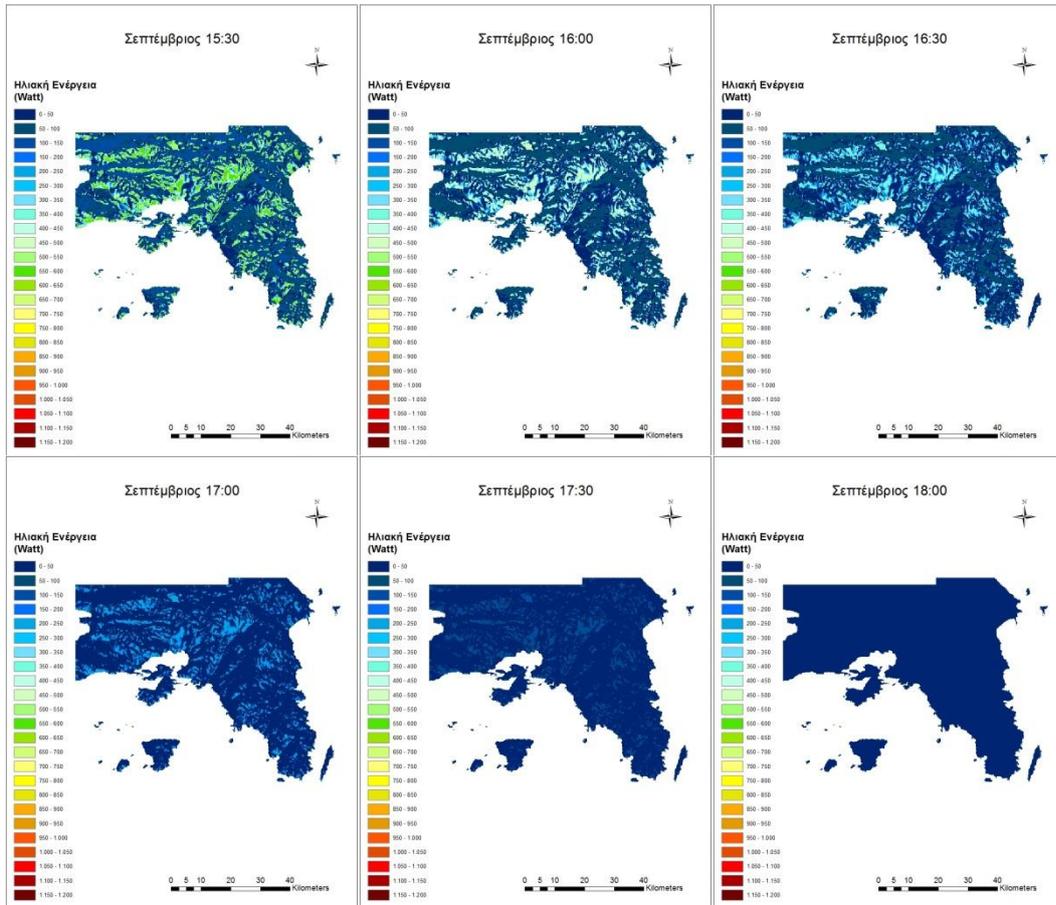




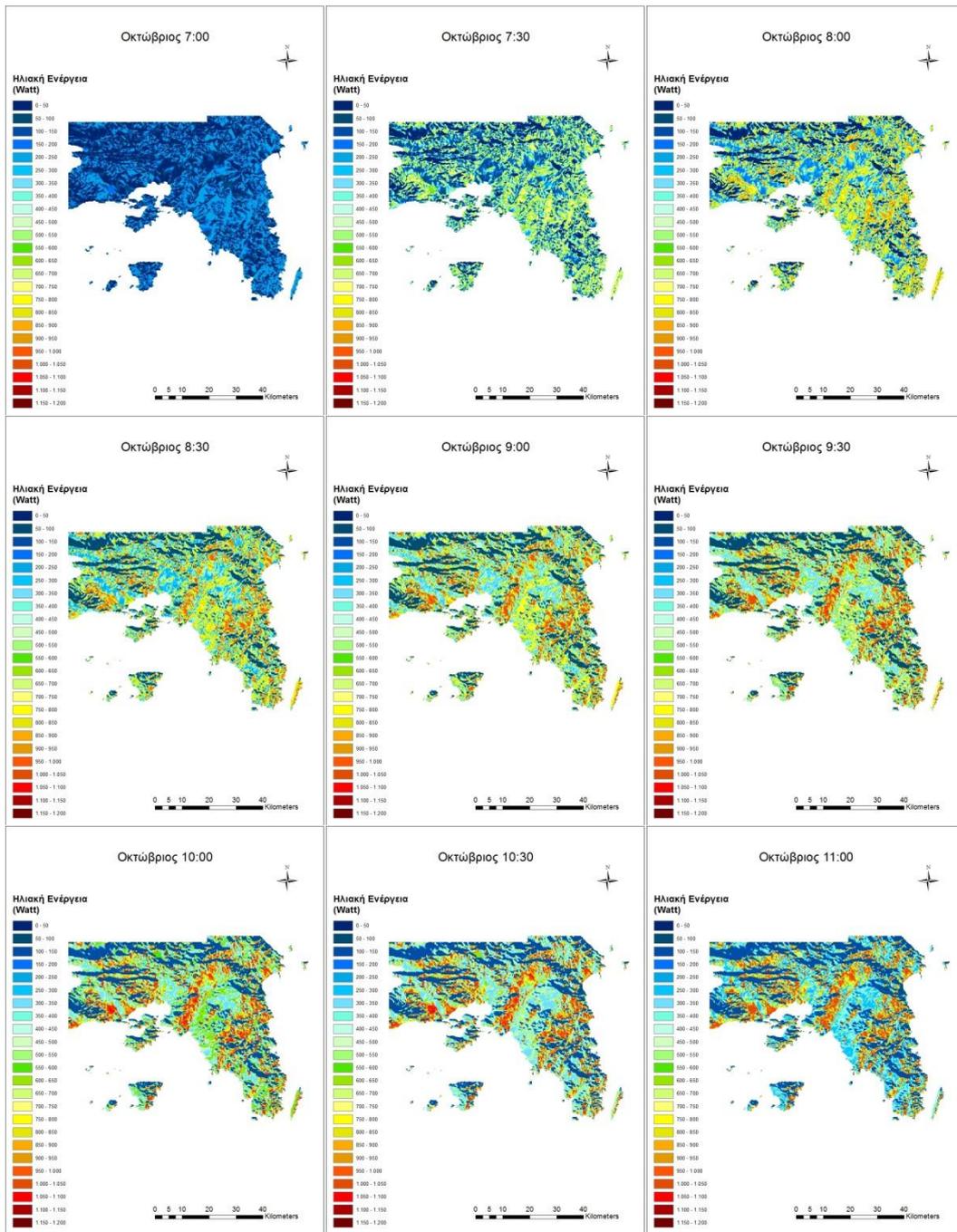
Σεπτέμβριος

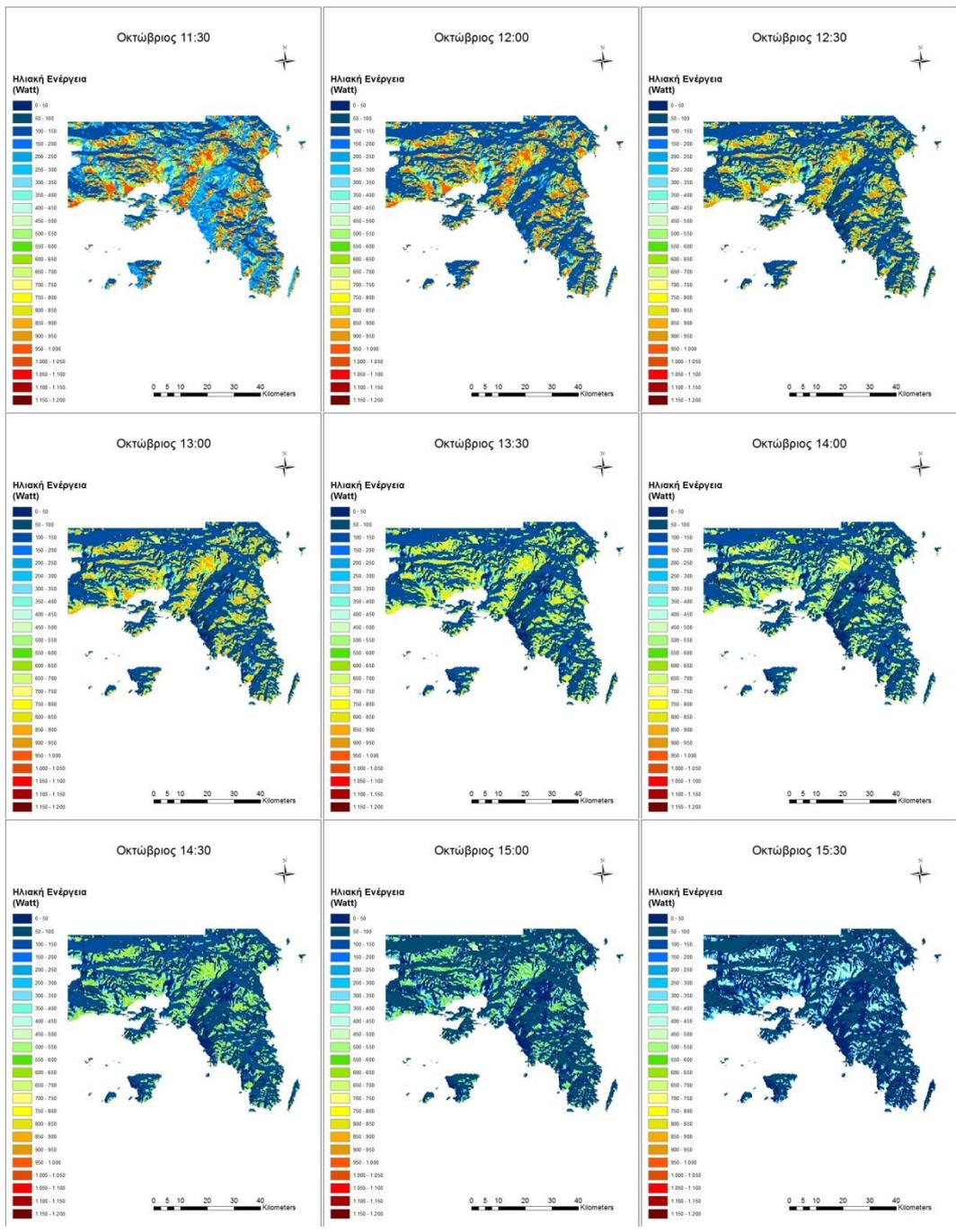


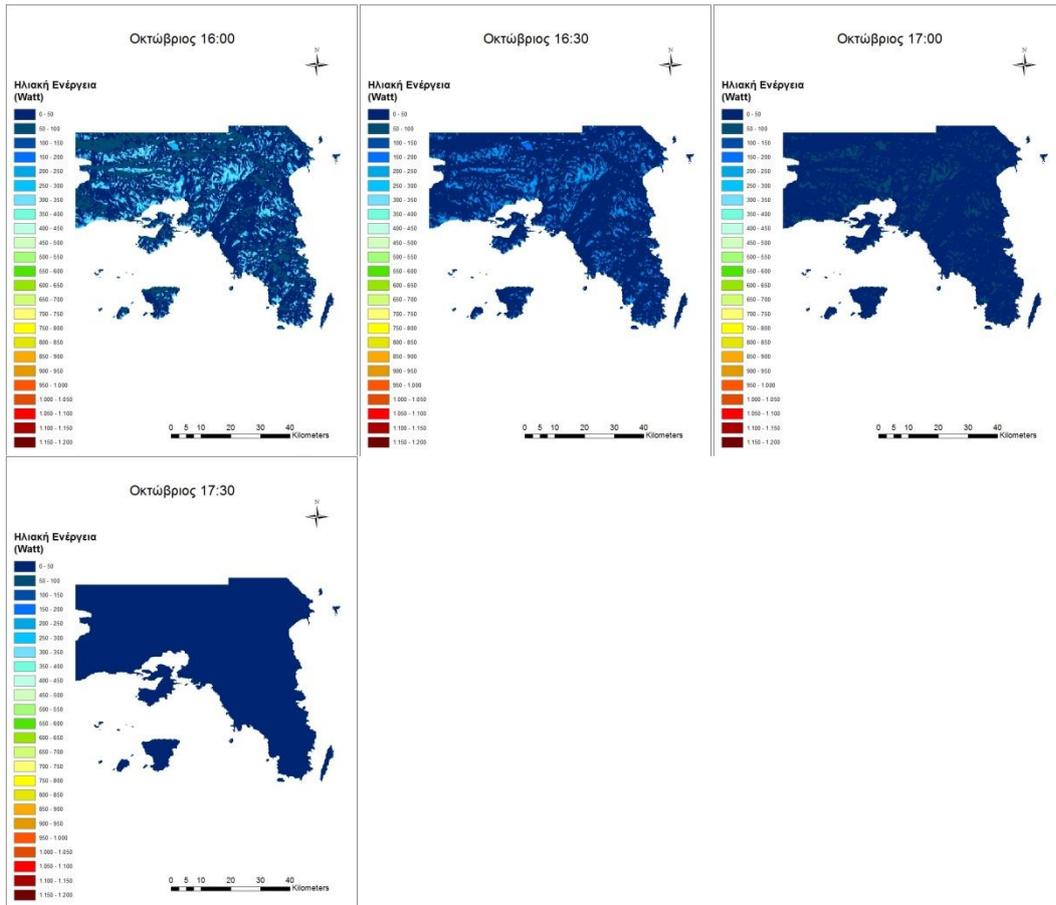




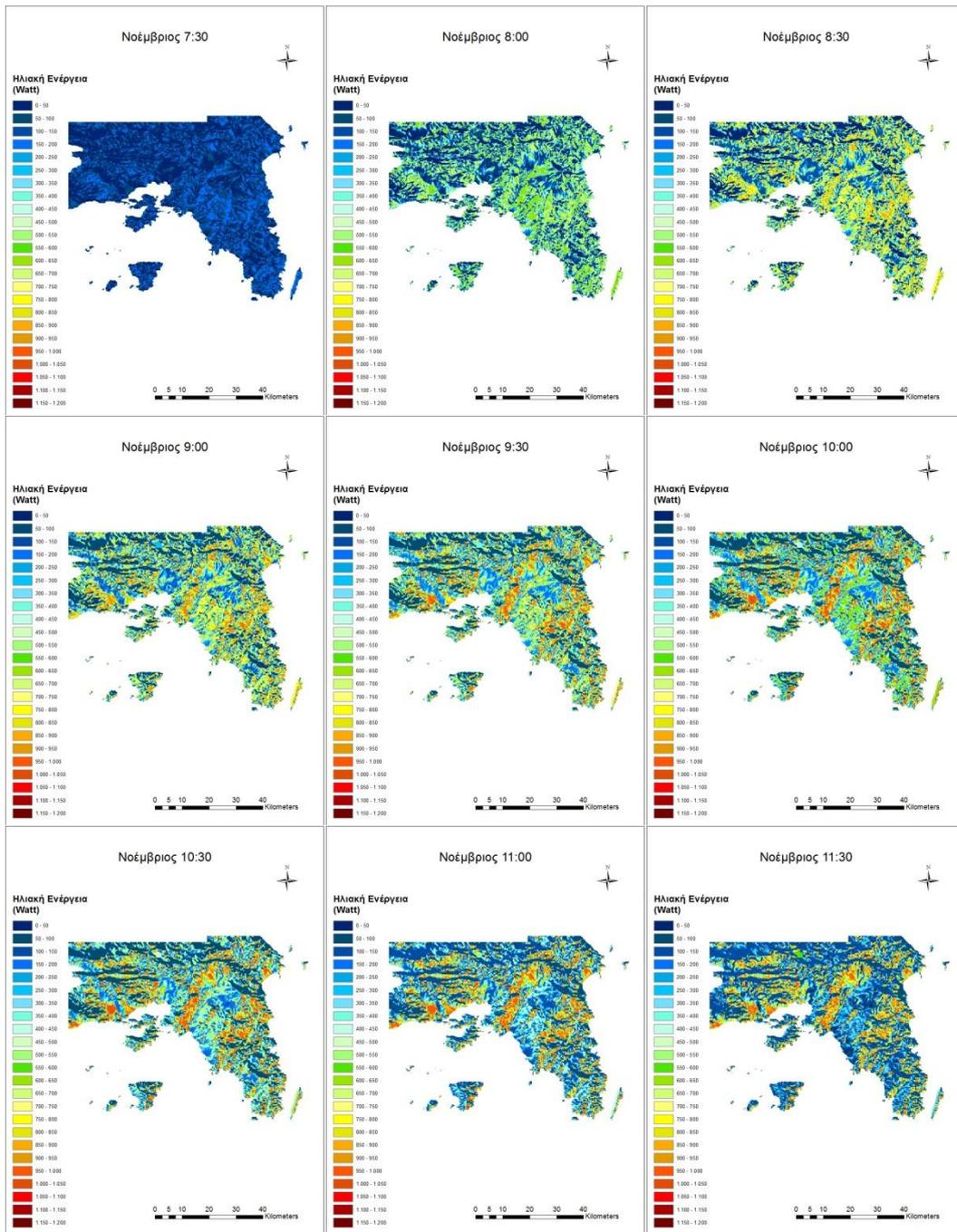
Οκτώβριος

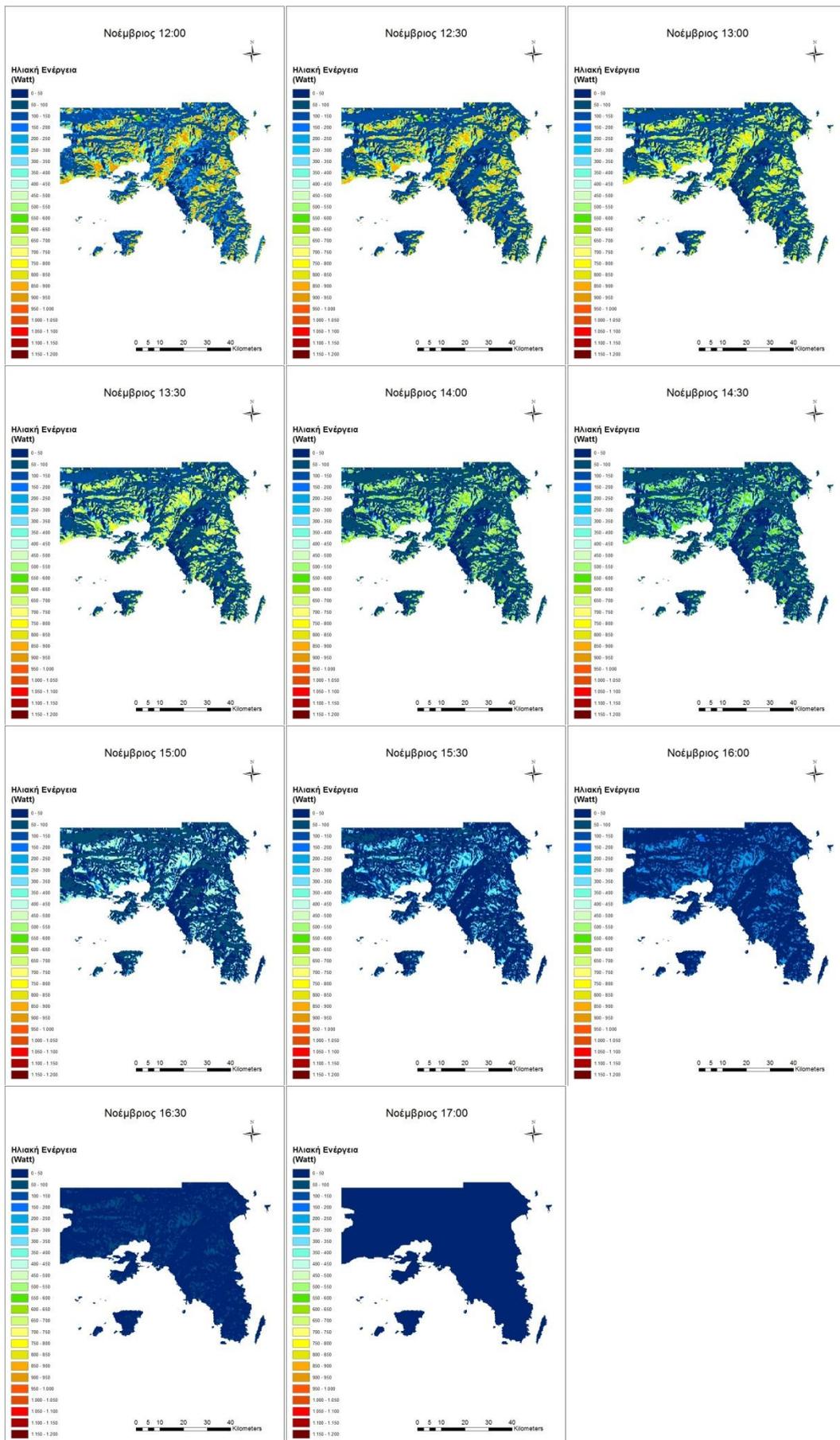




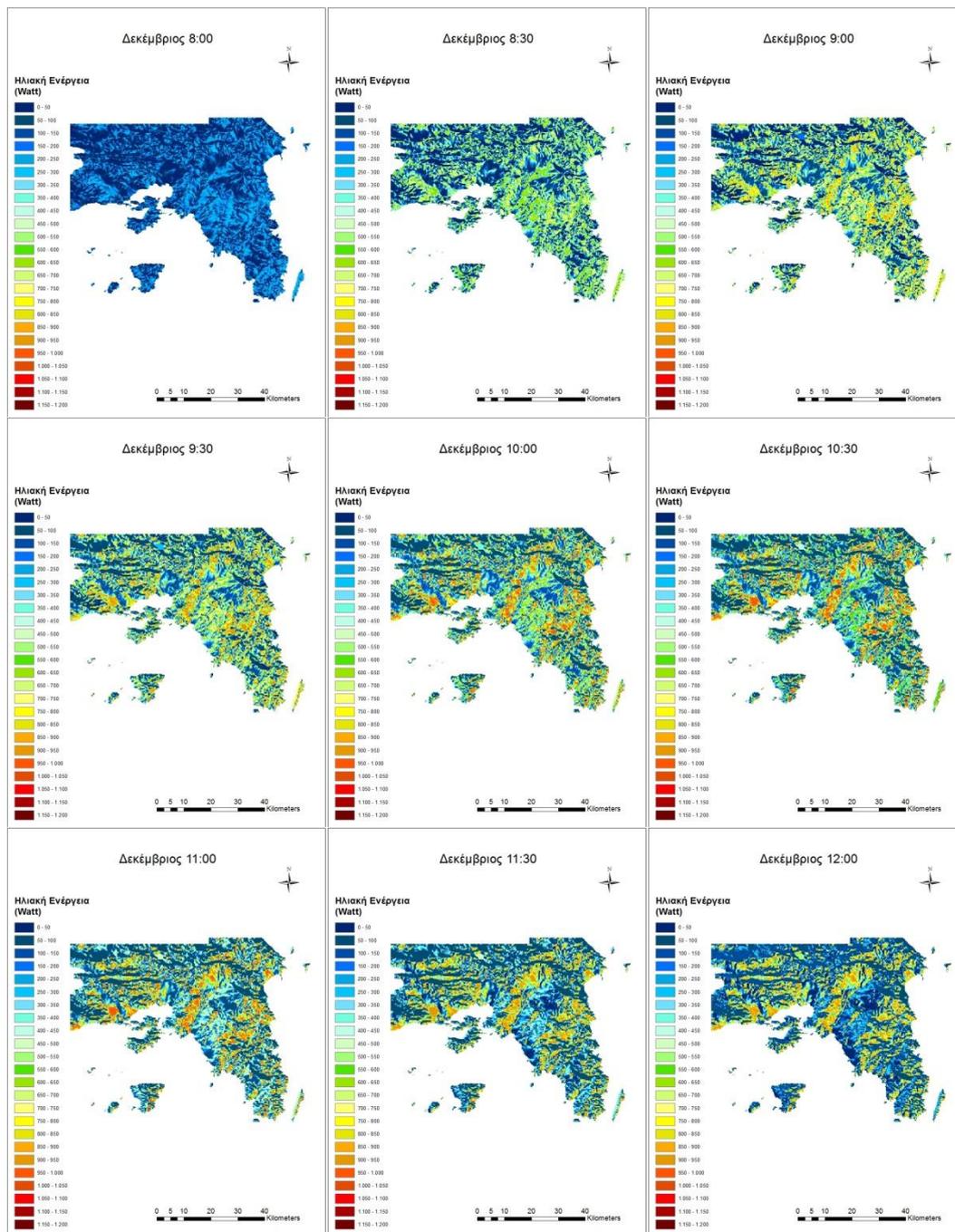


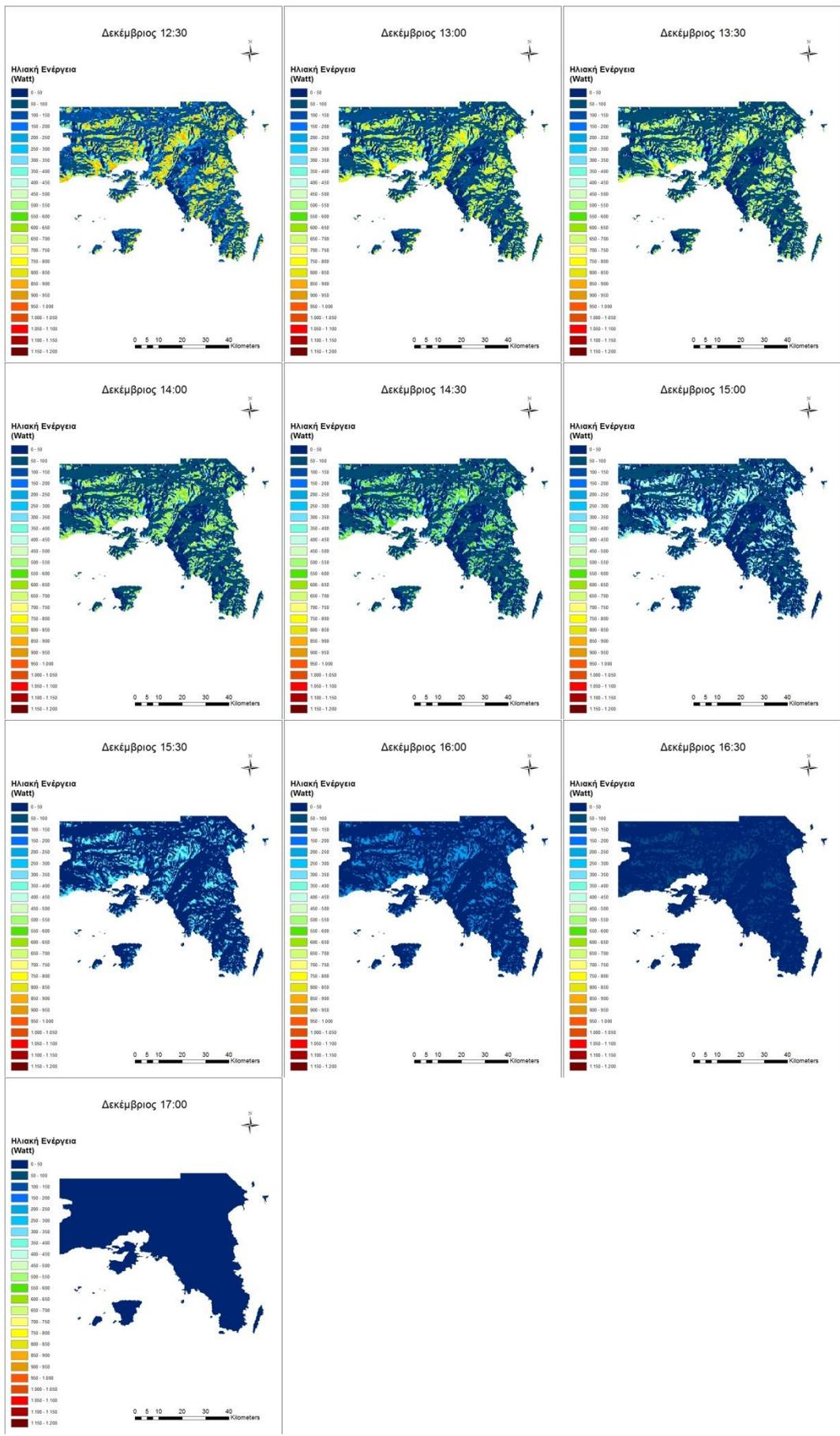
Νοέμβριος





Δεκέμβριος





ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

➤ Ελληνική Βιβλιογραφία

2007, «Πάπυρος Larousse Britannica», Αθήνα, Εκδοτικός Οργανισμός Πάπυρος, Τόμος 22, 337-394.

Βαρώτσος Κ., Kondratyev K., 1996, «Φυσικοχημεία Περιβάλλοντος: Τόμος Ι: Ακτινοβολία – Θερμοκήπιο – Κλιματική Αλλαγή», Τραυλός, Αθήνα.

Ζαμπάρα Κ., 1995, «Εκτίμηση της Ηλιακής ακτινοβολίας στον Ελλαδικό Χώρο και Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων Ηλιοφάνειας για Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας», Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Ζαφειριάδου Ε., Καζάκης Μ., 2001, «Ανασύνθεση του πακέτου “Web G.I.S. – Αθηνών” του εργαστηρίου ReLAB με χρήση ORACLE 8.0», Διπλωματική Εργασία, Τ.Ε.Ι Πειραιά, Αθήνα.

Μήτρου Α., 2005, «Μοντελοποίηση της Ηλιακής Έκθεσης με τη Χρήση Σ.Γ.Π και Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους», Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Νάκου Κ.Ε., 2010, «Δημιουργία λογισμικού εργαλείου για την αξιολόγηση ενεργειακού σχεδιασμού», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Σαλονικίδη Αθ., 2016, «Εκτίμηση και Ανάλυση του Ηλιακού Δυναμικού στον Ελλαδικό Χώρο με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών», Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Φλόκας Αθ. Απ., 1992, «Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

➤ **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

Amarananwatana P., Sorapipatana C., 2007, “An Assessment of the ASHRAE Clear Sky Model for Irradiance Prediction in Thailand Nuntiya”, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

Barnes F., Hetrick W. A., Rich P. M., Weiss S. B., 1993, “GIS-based solar radiation flux models”, American society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, Vol. 3, GIS. Photogrammetry, and Modeling. 132-143.

Bojanowski J. S., 2013, “Quantifying Solar Radiation at the Earth Surface with Meteorological and Satellite Data”, University of twenty, Netherlands.

Brunger P. Al., Hooper C. F., 1993, “Anisotropic Sky Radiance Model Based on Narrow Field of View Measurements of Shortwave Radiance” University of Toronto, Canada.

Chow W. K., Wong L. T., 2001, “Solar Radiation Model”, The Hong Kong Polytechnic University, China.

Dubayah R. O., Rich P. M., Hetrick W. A., Saving S. C., 1994, “Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology”, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers. 524–529.

Dubayah R. O., Rich P. M., 1995, “Topographic Solar Radiation Models for GIS”, Taylor & Francis, England, 405-419,

Fu, P. and Rich. P.M., 1999, “Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales”, Proceedings of the Nineteenth Annual ESRI User Conference, USA.

Fu, P. and Rich. P.M., 2000, "A GEOMETRIC SOLAR RADIATION MODEL AND ITS APPLICATIONS IN AGRICULTURE AND FORESTRY", Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, USA, 357-364.

Fu, P. and Rich. P.M., 2002, "A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry", Computers and Electronics in Agriculture 37, USA, 25-35.

Gadsden S., Rylatt M., Lomas K., 2003, "Putting solar energy on the urban map: a new GIS-based approach for dwellings", Science Direct, UK, 397-407.

Gueymard C., Kambezidis H., Psiloglou B., 1994, "MEASUREMENTS AND MODELS FOR TOTAL SOLAR IRRADIANCE ON INCLINED SURFACE IN ATHENS, GREECE", Elsevier Science Ltd, USA, 177-185.

Hansen J., Lacis An., 1973, "A Parameterization for the Absorption of Solar Radiation in the Earth's Atmosphere", Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 3, New York.

Hertel J., Martinez-Moll V., Pujol- Nadal R., 2015, "Estimation of the influence of different incidence angle modifier models on the biaxial factorization approach", Elsevier Science Ltd, Spain, 249-259.

Hofierka j. and Suri M., 2002, " The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications", Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002 - Trento, Italy.

➤ **Βιβλιογραφία Διαδικτύου**

ΥΠΕΚΑ 2010, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Εύρεση στις 23 Ιανουαρίου 2016 στην ιστοσελίδα

http://helapco.gr/pdf/TOTEE_20701_3_Final_TEE_2nd.pdf
http://helapco.gr/pdf/TOTEE_20701_3_Final_TEE_2nd.pdf

Δανέζης Μ., 2016, «Τα γενικά χαρακτηριστικά του Ήλιου». Εύρεση στις 16 Νοεμβρίου 2015 στην ιστοσελίδα http://www.manosdanezis.gr/attachments/article/101/1.%20%CE%9F%20%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82%20%CE%93%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CF%87%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC_.pdf

Morisson D., 1999, «Ο Ήλιος. Ένα λαμπρό παρελθόν και ένα λαμπρότερο μέλλον». Εύρεση στις 17 Νοεμβρίου στην ιστοσελίδα <http://www.physics.ntua.gr/~ntrac/POP/articles/Sun.html>

Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305. Εύρεση στις 8 Ιουνίου στην ιστοσελίδα <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/countries-europe.html>