



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου

Κατεύθυνση Γεωπληροφορικής

**«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΟΝ
ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ»**

Διπλωματική Εργασία της Σαλονικίδη Αθανασίας

ΑΜ: 214309

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου

Κατεύθυνση Γεωπληροφορικής

**«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΟΝ
ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ»**

Διπλωματική Εργασία της Σαλονικίδη Αθανασίας

ΑΜ: 214309

Επιβλέπων: Δρ. Κατσαφάδος Πέτρος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	v
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
ABSTRACT	ix
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. Ηλιακό Δυναμικό και αξιοποίησή του	4
2.1 ΑΠΕ και Φ/Β, περιγραφή και χρησιμότητα	4
2.2 Νομοθεσίες και Οδηγίες σχετικές με ΑΠΕ	7
2.3 Φ/Β και Ηλιακό δυναμικό στην Ευρώπη και Ελλάδα	8
2.4 Ηλιακό Δυναμικό	11
2.5 Χρησιμότητα ΣΓΠ	13
2.6 Κριτήρια χωροθέτησης Φ/Β πάρκου	14
3. Μεθοδολογία	16
3.1 Λογισμικά	16
3.2 Πρωτογενή εισερχόμενης Ηλιακής Ακτινοβολίας	16
3.3 Χωρικά Δεδομένα	17
3.3.1 Οι Πηγές των Χωρικών Δεδομένων	17
3.3.2 Η Φύση των Χωρικών Δεδομένων	18
3.4 Μεθοδολογία Ηλιακού Δυναμικού	18

3.4.1 Απόκλιση Ηλίου (ds)	19
3.4.2 Ωριαία Γωνία (hr)	20
3.4.3 Συνημίτονο Ζενίθιας Γωνίας $\cos(z)$	21
3.4.4 Αζιμούθια Γωνία (β)	21
3.4.5 Συνημίτονο γωνίας i ($\cos i$).....	22
3.5 Προετοιμασία δεδομένων για τον υπολογισμό Ηλιακού Δυναμικού	23
3.5.1 Τροποποίηση δεδομένων DEM	23
3.5.2 Υπολογισμός κλίσης και προσανατολισμού κλίσης	23
3.5.3 Τροποποίηση δεδομένων εισερχόμενης Ηλιακής Ακτινοβολίας μέσω ΣΓΠ	24
3.5.4 Τροποποίηση δεδομένων μέσω Matlab	27
3.6 Κατασκευή κώδικα στη Matlab για υπολογισμό Ηλιακού Δυναμικού	28
3.7 Εισαγωγή υπολογισμένου Ηλιακού Δυναμικού στα ΣΓΠ.....	30
3.8 Κατασκευή χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης Φ/Β Πάρκου	32
3.8.1 Πολυκριτηριακή Ανάλυση.....	32
3.8.2 Μεθοδολογία Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών	34
4. Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Σχολιασμός	38
4.1 Χάρτες Ανάγλυφου, Κλίσης και Προσανατολισμού Κλίσης	38
4.2 Δεδομένα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	42
4.3 Διαχρονική μεταβολή Ηλιακού Δυναμικού.....	50
4.4 Χάρτες Ηλιακού Δυναμικού και εισερχόμενης Ηλιακής Ακτινοβολίας ...	52
4.4.1 Συνολική εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία 2005.....	52
4.4.2 Μέσο συνολικό Ηλιακό Δυναμικό	53

4.4.3 Μέσο ημερήσιο Ηλιακό Δυναμικό ανά μήνες.....	57
4.4.4 Μέσο ημερήσιο Ηλιακό Δυναμικό ανά εποχές	64
4.5 Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης Φ/Β πάρκου	68
5. Συμπεράσματα	74
6. Δυσκολίες και μελλοντικοί στόχοι	77
7. Βιβλιογραφία	79
7.1 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	79
7.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	79
7.3 Βιβλιογραφία Διαδικτύου	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1. Χωρικά Δεδομένα – Πηγή – Ιστοσελίδα.....	17
Πίνακας 3.2. Χωρικά Δεδομένα – Κατηγορία και Είδος Δεδομένων	18
Πίνακας 3.3. Περιορισμοί ΕΠΧΣΣΑ – Χωρικά Δεδομένα.....	33
Πίνακας 3.4. Φυσικογεωγραφικοί περιορισμοί – Χωρικά Δεδομένα.....	33
Πίνακας 3.5. Κατηγοριοποίηση Χρήσεις γης (Corine 2000) βάσει καταλληλότητας.	35
Πίνακας 4.1. Ποσοστά κάλυψης ανά κατηγορίες κλίσης	41
Πίνακας 4.2. Ποσοστά κάλυψης ανά κατηγορίες προσανατολισμού κλίσης.....	42
Πίνακας 4.3. Στατιστικά ετήσιας μεταβολής συνολικού ηλιακού δυναμικού kWh/m ²	50
Πίνακας 4.4. Στατιστικά μεταβολής μέσου ημερήσιου ηλιακού δυναμικού ανά μήνα kWh/m ²	51

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1. Απόκλιση Ηλίου (Πηγή: pveducation 2016).....	19
Σχήμα 3.2. Ζενίθια γωνία και γωνία ύψους του ήλιου (Πηγή: pveducation 2016)	21
Σχήμα 3.3. Υπολογισμός γωνίας i (Πηγή: Pielke 2002).....	22
Σχήμα 3.4. Προσανατολισμός κλίσης (Πηγή: ArcGIS).....	24
Σχήμα 3.5. GIS μοντέλο μετατροπής δεδομένων εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας	26
Σχήμα 3.6. GIS μοντέλο μετατροπής τελικών δεδομένων ηλιακού δυναμικού	31

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 4.1. Υψομετρικός χάρτης Ελλάδος.....	39
Χάρτης 4.2. Κλίση εδάφους σε μοίρες	40
Χάρτης 4.3. Προσανατολισμός κλίσης ανά κατηγορίες.....	41
Χάρτης 4.4. Περιοχές αποκλεισμού βάσει απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο ..	43
Χάρτης 4.5. Περιοχές αποκλεισμού βάσει απόστασης από το οδικό δίκτυο και τους κεντρικούς οικισμούς.....	44
Χάρτης 4.6. Λίμνες και περιοχές Natura	45
Χάρτης 4.7. Περιοχές αποκλεισμού βάσει διαφόρων περιβαλλοντικών κριτηρίων....	46
Χάρτης 4.8. Εγκατεστημένοι φωτοβολταϊκοί σταθμοί.....	47
Χάρτης 4.9. Κατηγορίες χρήσεις γης (Corine 2000)	48
Χάρτης 4.10. Ορατότητα από κεντρικούς οικισμούς	49
Χάρτης 4.11. Συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία 2005 (kWh/m ²).....	53
Χάρτης 4.12. Μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό 1995 – 2009 (kWh/m ²).....	55
Χάρτης 4.13. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Ιανουαρίου (kWh/m ²)	57
Χάρτης 4.14. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Φεβρουαρίου (kWh/m ²).....	58
Χάρτης 4.15. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Μαρτίου (kWh/m ²)	58
Χάρτης 4.16. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Απριλίου (kWh/m ²)	59
Χάρτης 4.17. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Μαΐου (kWh/m ²).....	59
Χάρτης 4.18. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Ιουνίου (kWh/m ²)	60
Χάρτης 4.19. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Ιουλίου (kWh/m ²)	60
Χάρτης 4.20. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Αυγούστου (kWh/m ²)	61

Χάρτης 4.21. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Σεπτεμβρίου (kWh/m ²).....	61
Χάρτης 4.22. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Οκτωβρίου (kWh/m ²)	62
Χάρτης 4.23. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Νοεμβρίου (kWh/m ²).....	62
Χάρτης 4.24. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Δεκεμβρίου (kWh/m ²)	63
Χάρτης 4.25. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό χειμώνα (kWh/m ²)	64
Χάρτης 4.26. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό άνοιξης (kWh/m ²).....	65
Χάρτης 4.27. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό καλοκαιριού (kWh/m ²)	66
Χάρτης 4.28. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό φθινοπώρου (kWh/m ²).....	67
Χάρτης 4.29. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m ²).....	69
Χάρτης 4.30. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m ²), Ηράκλειο, Λασιίθι.....	70
Χάρτης 4.31. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m ²), Ρόδος.....	71
Χάρτης 4.32. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m ²), Κως.....	71
Χάρτης 4.33. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m ²), Χίος	72
Χάρτης 4.34. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m ²), Κρανίδι.....	72

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, της κατεύθυνσης Γεωπληροφορικής.

Η επιλογή του θέματος, το οποίο αφορά τον υπολογισμό του συνολικού ηλιακού δυναμικού στο χώρο της Ελλάδας και την κατασκευή χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, έγινε με γνώμονα τόσο το επαγγελματικό μου ενδιαφέρον όσο και την προσωπική μου προτίμηση σε ενεργειακά θέματα και πιο ειδικά σε ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας). Ταυτόχρονα, θεωρώ πως οι ΑΠΕ είναι ύψιστης σημασίας για το σύγχρονο κόσμο που ζούμε, τόσο για την απαίτησή του σε ενέργεια αλλά και όσο για την προστασία από επιπλέον ρύπους. Συγκεκριμένα, επέλεξα τα φωτοβολταϊκά πάρκα, διότι πιστεύω πως σε αντίθεση με άλλα ΑΠΕ είναι πιο αποδεκτά από τους πολίτες, αλλά και επειδή θεωρώ την ηλιακή ενέργεια ως την πιο σταθερή πηγή ενέργειας.

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, η συμβολή του κύριου Παπαδόπουλου Αναστάσιου και του επιβλέποντα διδάσκοντα Κατσαφάδου Πέτρου ήταν ουσιαστική. Επομένως αισθάνομαι την υποχρέωση να τους ευχαριστήσω για την καθοδήγηση, τις εύστοχες παρατηρήσεις, όπως και τις υποδείξεις τους.

Ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να εκφράσω στο σύνολο των διδασκόντων καθηγητών του τμήματος Γεωγραφίας για την πολύτιμη γνώση που μου παρείχαν, αλλά και για το ότι μου άνοιξαν τους ορίζοντες δίνοντάς μου καινούριες ιδέες και οπτικές γωνίες.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου και την αδερφή μου για τη συνεχή τους ενθάρρυνση, όπως και τους φίλους μου για τη ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Π.Μ.Σ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευή και ο υπολογισμός ενός χάρτη συνολικού ηλιακού δυναμικού για τον Ελλαδικό χώρο όπως επίσης και ένας χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Ο υπολογισμός του ηλιακού δυναμικού πραγματοποιείται με τη χρήση σχετικής μεθοδολογίας αλλά και εργαλείων του προγράμματος ArcGIS (ESRI) που διευκολύνουν τον υπολογισμό αλλά και την ταχύτητά του. Για τον υπολογισμό αυτόν, αναπτύχθηκε κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού Matlab χρησιμοποιώντας και δεδομένα που έχουν παραχθεί μέσω ArcMap. Το ηλιακό δυναμικό υπολογίζεται με βάση την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που έχει προσομοιωθεί από το ατμοσφαιρικό μοντέλο POSEIDON με πραγματικές μετρήσεις, σε οριζόντια χωρική ανάλυση 10 km για περίοδο 15 ετών (1995 – 2009). Επιπλέον, ο υπολογισμός αυτός περιλαμβάνει και το ανάγλυφο της επιφάνειας της Γης, όπου χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης, το αζιμούθιο και την απόκλιση του ηλίου, την ζενίθια γωνία όπως και την ωριαία γωνία.

Με βάση το υπολογισμένο συνολικό ηλιακό δυναμικό και χωρικές μεταβλητές, κατασκευάζεται χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου. Οι χωρικές μεταβλητές που λαμβάνονται υπόψη είναι η κλίση του εδάφους, ο προσανατολισμός της κλίσης, η απόσταση από το οδικό δίκτυο, το υδρογραφικό δίκτυο, η ακτογραμμή και οι οικισμοί, η ορατότητα από οικισμούς, οι χρήσεις γης, οι εκτάσεις Natura, οι λίμνες και η σκίαση που δημιουργείται από τον ήλιο με βάση το ανάγλυφο. Τα παραγόμενα δεδομένα εκτιμώνται και απεικονίζονται σε θεματικούς χάρτες 250 m.

Λέξεις Κλειδιά:

Ηλιακό δυναμικό, φωτοβολταϊκό πάρκο, ΣΓΠ, καταλληλότητα, ανάγλυφο, κλιματική ανάλυση, πολυκριτηριακή ανάλυση, κλίση, χωροθέτηση

ABSTRACT

The aim of this thesis is the production and the calculation of a solar irradiance map for Greece and a solar park allocation suitability map using Geographical Information Systems (GIS). The calculation of the solar irradiance is performed using relevant methodology and tools from the program ArcGIS (ESRI) to facilitate the calculation and increase the calculation's speed. For this calculation, code was developed in the programming language Matlab, also using data produced by ArcMap. The solar irradiance is calculated based on the incoming solar radiation which has been simulated by the atmospheric model POSEIDON with actual measurements, with horizontal spatial resolution 10 km for 15 years (1995 – 2009). Moreover, this calculation includes the relief of the Earth's surface, where the variables used are the latitude of the study area, azimuth and declination of the sun, the zenith angle and the hourly angle.

Based on the calculated solar irradiance and spatial variables, solar park allocation suitability map was produced. The spatial variables taken into account is the surface's slope, the aspect of the slope, the distance from the roads' network, hydrographic network, coastline and settlements, the visibility from settlements, land use, Natura areas, lakes and hillshade created by the sun and relief. The produced data is estimated and displayed in thematic maps 250 m.

Keywords:

Solar irradiance, photovoltaic park, GIS, surface's relief, suitability, climatic analysis, multi-criteria analysis, slope, allocation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον τωρινό και ταχεία εξελισσόμενο τεχνολογικά κόσμο, μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας είναι αναγκαία. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως συμβατικές πηγές ενέργειας, οι οποίες είναι εξαντλήσιμες αλλά και η χρήση τους μολύνει το περιβάλλον. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η εκμετάλλευση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες είναι ανεξάντλητες, υπάρχουν φυσικά και η χρήση τους προκαλεί ελάχιστη έως μηδαμινή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Οι βασικότερες πηγές είναι ο ήλιος, ο αέρας και η ροή του νερού. Οι περισσότερες ΑΠΕ προέρχονται από την ακτινοβολία και την ενέργεια του ήλιου πάνω στην επιφάνεια της Γης. Ο ήλιος είναι η πιο σταθερή πηγή ενέργειας, έχοντας ως μόνα εμπόδια τη νεφοκάλυψη και τα έντονα ανάγλυφα της επιφάνειας της Γης.

Για τη βέλτιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών πάρκων, η ακριβέστερη εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού πάνω στο ανάγλυφο της επιφάνειας της Γης είναι αναγκαία. Για την εκτίμηση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από δορυφόρους (μετεωρολογικά, γεωφυσικά, μετρήσεις ακτινοβολίας), από μετεωρολογικούς σταθμούς και από τοπικές μετρήσεις του ηλιακού δυναμικού. Επίσης, κατασκευάζονται μοντέλα υπολογισμού του ηλιακού δυναμικού, γίνονται παλινδρομήσεις βάσει των μετρήσεων ή και χρησιμοποιούνται διάφορα προγράμματα που μπορούν να διευκολύνουν την εκτίμηση αυτή, όπως τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Στη συνέχεια, πέρα από την εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού, είναι επίσης σημαντικό να αναδειχθούν οι εκτάσεις οι οποίες είναι οι καταλληλότερες για τη χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Αυτές οι εκτάσεις μπορούν να κριθούν με βάση το ηλιακό δυναμικό αλλά και σχετικά κριτήρια που έχει η κάθε χώρα για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων.

Παρόμοιες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως και έχουν αναπτυχθεί διαφόρων ειδών μοντέλα με σκοπό την όσο πιο ρεαλιστική εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού. Ξεκινώντας από πιο παλιά, σχετικά με την εκτίμηση ηλιακού δυναμικού, ο Tarpley (1979) χρησιμοποίησε μετρήσεις ηλιακού δυναμικού από πυρανόμετρα, νεφοκάλυψη, είδος νεφών και ποσοστό νερού στην ατμόσφαιρα από μετεωρολογικούς σταθμούς αλλά και μετεωρολογικούς δορυφόρους, για να εκτιμήσει το ηλιακό δυναμικό στα Great Plains των ΗΠΑ. Σε μερικές πιο σύγχρονες μελέτες στις οποίες κατασκευάστηκαν μοντέλα για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού

τα οποία όμως δε λαμβάνουν υπόψη τη νεφοκάλυψη, όπως των Allen et al. (2006) στις ΗΠΑ, των Kumar et al. (1997) στην Αυστραλία, των Tian et al. (2001) στη Νέα Ζηλανδία και των Donatelli et al. (2006) με το λογισμικό GSRad στην Ιταλία, όπου αναπτύχθηκαν μοντέλα ή και αλγόριθμοι για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού πάνω στο ανάγλυφο της Γης και με βάση τη διαπερατότητα της ατμόσφαιρας. Από τους Suri and Hofierka (2004) έχει αναπτυχθεί το μοντέλο r.sun το οποίο μπορεί να υπολογίσει το ηλιακό δυναμικό για την κεντρική και ανατολική Ευρώπη με βάση το ανάγλυφο. Αντίστοιχα οι Dubayah and Rich (1995) έχουν αναπτύξει το μοντέλο ATM (Atmospheric and Topographic Model) και το SOLARFLUX (βασισμένο σε ΣΓΠ) τα οποία μπορούν να υπολογίσουν το ηλιακό δυναμικό βάση της ατμόσφαιρας, τη νεφοκάλυψη, το ανάγλυφο αλλά και τις σκιάσεις του ανάγλυφου. Μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε μια πιο ευρεία κλίμακα υπολογισμού του ηλιακού δυναμικού είναι των Tobiska et al. (2000), όπου κατασκευάστηκε το μοντέλο SOLAR2000 για την εκτίμηση ηλιακού δυναμικού στο ηλιακό μας σύστημα, αλλά και σε άλλους πλανήτες πέρα από τη Γη, και ο βασικός του σκοπός είναι η κατανόηση του πώς ο ήλιος διαφέρει φασματικά με τη πάροδο του χρόνου και από τις ακτίνες X μέχρι τα υπέρυθρα μήκη κύματος. Σε μία ακόμη πιο πρόσφατη μελέτη (Mellit and Pavan, 2010) στην Ιταλία, έγινε εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού με την κατασκευή ενός μοντέλου που χρησιμοποιεί τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (artificial neural network), όπου λαμβάνονται υπόψη πολλές ατμοσφαιρικές μεταβλητές αλλά μόνο το γεωγραφικό πλάτος από γεωγραφικές μεταβλητές. Το μοντέλο που κατασκεύασαν πραγματοποιεί και υπολογισμούς για το προβλεπόμενο ηλιακό δυναμικό συνδυαστικά με το εκτιμώμενο. Ο Marquez και Coimbra (2011) παρομοίως με τους Mellit και Pavan (2010) κατασκεύασαν ένα μοντέλο που χρησιμοποιεί τεχνητό νευρωνικό δίκτυο, στο οποίο εισάγονται εκτιμώμενες μετεωρολογικές μεταβλητές, υπολογισμένες από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των ΗΠΑ, και με τη βοήθεια υπολογιζόμενων μέσων σφαλμάτων πραγματοποιείται μία πιο ρεαλιστική εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού. Για την Ελλάδα, μία παρόμοια μελέτη που χρησιμοποίησε το ατμοσφαιρικό μοντέλο POSEIDON (Papadopoulos et al., 2002) είναι αυτή των Katsafados et al. (2012) όπου αναπτύχθηκε ένας κάρναβος που αντιπροσωπεύει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κοντά στην επιφάνεια της γης. Οι ατμοσφαιρικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η μέση θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η εκτιμώμενη βροχόπτωση.

Μελέτες σχετικές με τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου στην Ελλάδα με τη χρήση ΣΓΠ είναι αυτή του Κοντογιάννη (2013) για την Άρτα, των Χατζόπουλο κ.α. (2007) για το νησί της Λέσβου και των Βαλτοπούλου κ.α. (2013) για το Πεντελικό Όρος. Η μελέτες αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση της σχετικής υπάρχουσας νομοθεσίας και των ανάλογων χωρικών δεδομένων. Οι κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκών με βάση τον Κοντογιάννη (2013) στην Άρτα, βρίσκονται διάσπαρτες στο κέντρο του νομού Άρτας και στα ανατολικά όριά της. Οι ζώνες που δεν έχουν αποκλειστεί, βάσει πολυκριτηριακής ανάλυσης, για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου στη Λέσβο με βάση τους Χατζόπουλος κ.α. (2007), βρίσκονται στη βόρεια και ανατολική Λέσβο. Τέλος, οι θέσεις επιλογής για εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου 100 KW στο Πεντελικό Όρος, βρίσκονται στις βορειοδυτικές και ανατολικές εκτάσεις.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτιμάται το ηλιακό δυναμικό του Ελλαδικού χώρου βάση του ανάγλυφου της επιφάνειας της Γης και της προσημείωσης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας του ατμοσφαιρικού μοντέλου POSEIDON με τη χρήση γλώσσας προγραμματισμού Matlab και δημιουργείται χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου με τη χρήση ΣΓΠ και βάση σχετικής νομοθεσίας, όπως το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης και τον Ν. 2773/99. Συνεπώς, στόχος της εργασίας είναι η αποτύπωση του ηλιακού δυναμικού στον Ελλαδικό χώρο για την περίοδο 1995 – 2009 (κλιματική εκτίμηση) και η ανάδειξη περιοχών αξιοποίησης του ηλιακού δυναμικού μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και τη γλώσσα προγραμματισμού Matlab.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύεται το ηλιακό δυναμικό και η αξιοποίησή του, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και η φύση τους, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και για πιο λόγο, τα αποτελέσματα και ο σχολιασμός τους και τέλος τα συμπεράσματα της εργασίας.

2. Ηλιακό Δυναμικό και αξιοποίησή του

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται συνοπτικά οι ΑΠΕ και τα Φ/Β αλλά και αναφέρεται η χρησιμότητά τους. Επιπλέον, αναλύεται το ηλιακό δυναμικό, από τι επηρεάζεται όπως και η κατανομή του στην Ευρώπη. Επίσης, επεξηγείται σχετική νομοθεσία και οδηγίες με τις ΑΠΕ αλλά και η κατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ευρώπη. Τέλος, αναφέρονται τα κριτήρια χωροθέτησης ενός Φ/Β πάρκου αλλά και η χρήση των ΣΓΠ στον τομέα αυτόν.

2.1 ΑΠΕ και Φ/Β, περιγραφή και χρησιμότητα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική με τη χρήση φωτοβολταϊκών συλλεκτών, οι οποίοι αποτελούνται από πολλές συνδεδεμένες συστάδες. Για την μεγαλύτερη απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, υπάρχουν περιστρεφόμενα στηρίγματα τα οποία ακολουθούν τον ήλιο, σε προσανατολισμό και κλίση (Καγκαράκης, 1995).

Το 1997 η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έθεσε ως στόχο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να αποτελούν το 12% της ακαθάριστης εσωτερικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2010, όπως και η νομοθεσία 20-20-20, γνωστή και ως «δέσμη για το κλίμα και την ενέργεια», έχει στόχο την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, τη μείωση των εκπομπών ρύπων και τις ΑΠΕ να αποτελούν το 20% της ακαθάριστης εσωτερικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2020. Από τότε το μερίδιο των ΑΠΕ έχει αυξηθεί σε απόλυτα ενεργειακά μεγέθη κατά 55% (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2005). Μερικοί από τους λόγους για τους οποίους η ΕΕ έδωσε τέτοια βάση στις ΑΠΕ είναι ότι ο κλάδος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τη ρύπανση όπως και να αξιοποιήσει ενεργειακές πηγές που βρίσκονται σε κεντρικές και μη περιοχές (Παιδακάκης, 2007).

Οι Ανανεώσιμες Πηγές έχουν διάφορες μορφές από τις οποίες μπορεί να παραχθεί ενέργεια, όπως:

1. Ήλιος, όπου μέσω Φωτοβολταϊκών και άλλων συστημάτων παράγεται ηλιακή ενέργεια
2. Άνεμος, όπου μέσω ανεμογεννητριών και άλλων συσκευών παράγεται αιολική ενέργεια

3. Υδατοπτώσεις, μέσω των οποίων παράγεται υδραυλική ενέργεια
4. Γεωθερμία, μέσω της οποίας παράγεται γεωθερμική ενέργεια
5. Βιομάζα, όπου μέσω καύσεων παράγεται ενέργεια
6. Θάλασσες, όπου με τη βοήθεια των ρευμάτων ή της παλίρροιας παράγεται ενέργεια

Η χρησιμότητα των ΑΠΕ αναδεικνύεται από διάφορους παράγοντες (Παιδακάκης, 2007):

- Λόγω των πηγών προέλευσής τους, είναι ουσιαστικά ανεξάντλητες και συνεισφέρουν στη μείωση χρήσης συμβατικών ενεργειακών πόρων που είναι εξαντλήσιμοι
- Εφόσον είναι πηγές ενέργειας οι οποίες προέρχονται από την ίδια τη χώρα, βοηθούν στην ενεργειακή ανεξαρτησία αλλά και στην ασφάλεια τυχούσας έλλειψης ηλεκτρικής ενέργειας σε εγχώριο επίπεδο
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε διάφορα σημεία (κεντρικά και μη) διευκολύνοντας έτσι τη τροφοδότηση κεντρικών και μη περιοχών με ενέργεια, αλλά και την ελάφρυνση κεντρικών συστημάτων σε ώρες αιχμής
- Ανάλογα με τις ανάγκες του καταναλωτή, μπορεί να γίνει και η κατάλληλη επιλογή μορφής ενέργειας, πράγμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την ορθή χρήση των ενεργειακών πόρων
- Επειδή η πηγή προέλευσης της ενέργειάς τους είναι από φυσικούς παράγοντες όπου ο καθημερινός άνθρωπος έχει πρόσβαση σε αυτές, έχουν χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και η τιμή τους δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη διακύμανση της οικονομίας και ειδικά των συμβατικών καυσίμων
- Έχουν σχετικά σύντομο χρόνο εγκατάστασης με αποτέλεσμα να ανταποκρίνονται πιο εύκολα στη ζήτηση ενέργειας
- Δημιουργούνται καινούριες θέσεις εργασίας, ειδικά σε τοπικό επίπεδο

- Βοηθούν αρκετά την τοπική ανάπτυξη, ιδιαιτέρως σε υποβαθμισμένες περιοχές που δεν έχουν πολλούς πόρους για έσοδα
- Είναι γενικά αποδεκτές από το κοινό, αλλά πιο βασικά είναι φιλικές προς το περιβάλλον, ειδικά με το γεγονός ότι συνεισφέρουν στη μείωση κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων τα οποία ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα

Πιο συγκεκριμένα, η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει τα εξής πλεονεκτήματα (Παιδακάκης, 2007, Tsoutsos et al., 2005):

- Δε ρυπαίνουν
- Λειτουργούν αθόρυβα
- Έχουν περίπου 30 χρόνια διάρκεια ζωής και είναι αξιόπιστα
- Έχουν πιθανώς τη δυνατότητα να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες μίας απομακρυσμένης περιοχής
- Ανάλογα με τις ανάγκες είναι προσαρμόσιμα
- Χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση
- Μπορούν να αποκαταστήσουν υποβαθμισμένα εδάφη
- Μειώνουν τον αριθμό των απαιτούμενων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρισμού

Αλλά τρία πιθανά μειονεκτήματα είναι:

- Το κόστος κατασκευής είναι σχετικά υψηλό
- Πρόβλημα με την αποθήκευση ενέργειας
- Οπτική όχληση (Tsoutsos et al., 2005)

Για την αντιμετώπιση της οπτικής όχλησης μπορεί να γίνει προσεκτική εκτίμηση των πιθανών και κατάλληλων εκτάσεων που να απέχουν από πολυπληθείς περιοχές αλλά και να έχει ζητηθεί η άποψη του κοινού από τα αρχικά στάδια του σχεδιασμού εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου (ETSU, 1996, Gekas et al., 2002, Frantzeskaki et al., 2002, Tsoutsos, 2001).

Γενικά, οι ανανεώσιμες πηγές έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν ασφαλής λύσεις σε αρκετά περιβαλλοντικά και κοινωνικά προβλήματα που σχετίζονται με τα ορυκτά και πυρηνικά καύσιμα (EC, 1995, 1997).

Σχετικά με την οικονομική αποδοτικότητα των Φ/Β συστημάτων, υπάρχουν τέσσερεις καθοριστικοί παράγοντες (Suri et al., 2007):

1. Το ηλιακό δυναμικό
2. Το κόστος ανά εγκαταστημένη φωτοβολταϊκή μονάδα
3. Η διάρκεια ζωής των Φ/Β συστημάτων
4. Το λειτουργικό κόστος και κόστος κεφαλαίου

2.2 Νομοθεσίες και Οδηγίες σχετικές με ΑΠΕ

Ξεκινώντας χρονολογικά από τις αρχές ανάπτυξης των ΑΠΕ, σηματοδοτικός ήταν ο Ν. 2244/94. Ακολούθησαν και άλλοι νόμοι όπως ο Ν. 2773/99 και ο Ν. 1512/85 που αφορούν βεβαιώσεις, δικαιολογητικά και περιορισμούς για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005). Γενικά όμως, η κατάσταση της Ελλάδας σχετικά με τα Φ/Β μπορεί να ευνοηθεί από τα ΜΜΕ λόγω επενδύσεων από βιομηχανίες και εμπορικές δραστηριότητες, αλλά πιο ειδικά με βάση τους Βόκα και Πρωτογερόπουλο (2005) έχει ως εξής:

«(...) νόμοι και ένα πλήθος από υπουργικές αποφάσεις, κοινές υπουργικές αποφάσεις και σχετικές εγκύκλιοι έχουν καταστήσει μια απλή εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών σε έναν γραφειοκρατικό λαβύρινθο με χάσιμο χρόνου και χρήματος αλλά και με αβέβαιο τέλος.»

Με βάση τον Ν. 3426/2005, επενδύσεις μεγάλης κλίμακας στην ηλεκτροπαραγωγή ενθαρρύνονται, καθώς από αυτές ωφελούνται καταναλωτές αλλά υπάρχει και δημιουργία θέσεων εργασίας (ΚΑΠΕ). Η οδηγία 2009/29/ΕΚ στοχεύει στη μείωση των εκπομπών ρύπων επικίνδυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θα πρέπει μέχρι το 2020 να αποτελούν το 20% της ακαθάριστης εσωτερικής κατανάλωσης ενέργειας (ΚΑΠΕ, ΥΠΕΚΑ, 2015α). Ένας στόχος επίσης είναι η μείωση κατά 20% της πρωτογενούς

ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Πιο ειδικά, η ευρωπαϊκή πολιτική για την Ελλάδα, έχει ως στόχο τη μείωση σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 των ρύπων του θερμοκηπίου κατά 4% σε όλους τους τομείς εκτός του εμπορίου, όπως και οι ΑΠΕ να αποτελούν το 18% στην ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Μία απόφαση η οποία επίσης σχετίζεται με τη μείωση της κατανάλωσης είναι η 406/2009/ΕΚ. Αλλά με βάση τον Ν. 3851/2010 το 20% της ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας και το 40% της παραγωγής ηλεκτρισμού πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ μέχρι το 2020 (ΥΠΕΚΑ, 2015α). Ο συνδυασμός της οδηγίας 2009/29/ΕΚ, 2009/28/ΕΚ και του στόχου της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας αποτελούν τη νομοθεσία γνωστή ως «δέσμη για το κλίμα και την ενέργεια», η οποία αναφέρεται στην υλοποίηση των στόχων 20-20-20. Η νομοθεσία αυτή προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιανουάριο του 2008 (ΥΠΕΚΑ, 2015α).

2.3 Φ/Β και Ηλιακό Δυναμικό στην Ευρώπη και Ελλάδα

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και σε άλλες χώρες του κόσμου (ΗΠΑ, Ιαπωνία, Αυστραλία, Καναδάς, κλπ) υπάρχουν συνεχείς και σημαντικές ερευνητικές δραστηριότητες σχετικά με τα Φ/Β οι οποίες έχουν μειώσει δραματικά το κόστος στην ανάπτυξη τεχνολογιών. Δηλαδή, το κόστος παραγόμενης ενέργειας του 2005 είναι το ένα πέμπτο αυτής του 1980 (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005). Επίσης, ερευνάται η ανάπτυξη νέας γενιάς Φ/Β με τη χρήση νανοτεχνολογίας (IENE, 2004).

Ιστορικά, στα πλαίσια προγραμμάτων τεχνολογικής έρευνας και ανάπτυξης άρχισαν οι πρώτες Φ/Β εφαρμογές στην Ελλάδα το 1980. Οι εφαρμογές αυτές έγιναν κυρίως σε νησιά, και συνέχισαν στη δεκαετία του '80 φέρνοντας ανάπτυξη στα Φ/Β συστήματα. Από το έτος όμως που ξεκίνησαν να υπάρχουν στην Ελλάδα οι εφαρμογές αυτές, παρέμειναν περιορισμένες με μικρή αγορά έχοντας μία επικέντρωση μόνο σε μικρά αυτόνομα συστήματα. Οι κύριοι παράγοντες της ανάπτυξης των Φ/Β εφαρμογών αποτελούν διάφορα Επιχειρησιακά Προγράμματα (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005). Τα περισσότερα Φ/Β συστήματα είχαν ως πρώτη προτεραιότητα την εγκατάστασή τους σε νησιωτικούς χώρους, ώστε να ηλεκτροδοτούν τις απομακρυσμένες αυτές περιοχές αλλά και να συμβάλουν στην περιφερειακή τους ανάπτυξη. Σημαντικό επίσης είναι να σημειωθεί είναι ότι το 2004 τα τρία τέταρτα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β προερχόταν από

αυτόνομα συστήματα, ενώ μόνο το ένα τέταρτο ήταν διασυνδεδεμένο στο δίκτυο της ΔΕΗ (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005).

Η Ευρώπη, με βάση τις μεγάλες γεωγραφικές διαφορές που έχουν οι χώρες της, μπορεί να χωριστεί σε πέντε κλιματικές περιοχές (Suri et al., 2007):

1. Η μεγαλύτερη δυνατότητα παραγωγής ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας είναι στην Πορτογαλία και στις χώρες της Μεσογείου, στην οποία περιλαμβάνεται και η Ελλάδα, σε συνδυασμό με αίθριο καλοκαίρι
2. Ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες υπάρχουν στα βόρεια μέρη της Ισπανίας, Ιταλίας, Κροατίας, πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας Μακεδονίας (ΠΓΔΜ) και γύρω από τη Μαύρη Θάλασσα
3. Καλές συνθήκες στην Γαλλία και κεντρική Ευρώπη
4. Λιγότερες ευνοϊκές συνθήκες στη Βορειοδυτική Ευρώπη
5. Οι φτωχότερες περιοχές της Ευρωπαϊκής ένωσης που είναι η Σκοτία, η Βόρεια Σουηδία και η Φινλανδία

Η κατάλληλη κλίση των Φ/Β συστημάτων προς τον νότο στην Ευρώπη, μπορεί να αυξήσει την ετήσια ηλεκτρική παραγωγή σε αστικές περιοχές κατά 9 – 26%. Το μικρότερο όμως όφελος από τη βέλτιστη κλίση αυτή αναμένεται στην Νότια Ελλάδα (9 – 10%). Στην Κύπρο, στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, στην Τουρκία, στη ΠΓΔΜ και στη Βουλγαρία, η αύξηση στην παραγωγή λόγω της κλίσης δεν περνάει το 12%. Γενικά, η περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί στη Μεσόγειο και στα νησιά της. Η κατάλληλη κλίση των Φ/Β αυξάνεται όσο πιο βόρεια είναι μία Ευρωπαϊκή χώρα (Suri et al., 2007). Θεωρητικά, με βάση την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και τη διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας, καλύπτοντας το 0,1% της έκτασης της Ελλάδας με Φ/Β, θα ικανοποιούσε την ηλεκτρική κατανάλωση της χώρας (Suri et al., 2007).

Ενώ η Ελλάδα έχει υψηλό ηλιακό δυναμικό και έχει πάρα πολύ ευνοϊκές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας, δεν υπάρχει αρκετή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και η Ελλάδα κατατάσσεται στην 9^η θέση στην ΕΕ σε εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (Παιδακάκης, 2007, Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005). Κύρια αιτία για αυτό είναι

το θεσμικό πλαίσιο για τα φωτοβολταϊκά όπως και για άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το οποίο είναι ανεπαρκές και πιθανώς αρνητικό (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005). Τα βασικά προβλήματα της απουσίας Φ/Β εφαρμογών στη Ελλάδα είναι (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005): οι άσκοπες διαδικασίες αδειοδότησης, οι εκτός λογικής περιβαλλοντικοί όροι και τα προβλήματα πρόσβασης και σύνδεσης στο δίκτυο.

Ενώ είχαν τεθεί μερικές οδηγίες σε εφαρμογή και υπήρχαν στόχοι για τις ΑΠΕ, είναι μία πολύπλοκη διαδικασία η κατάλληλη επιλογής τους και την τελευταία δεκαετία υπήρχε μικρή πρόοδος στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) (Collier, 2002). Πιο ειδικά, βάση ανακοινώσεων από την ευρωπαϊκή επιτροπή οι στόχοι που έχουν τεθεί πιθανώς να μην επιτευχθούν. Ένας από τους λόγους για τους οποίους υπάρχει αυτή η πιθανότητα είναι η έλλειψη συνεργασίας ανάμεσα σε οργανισμούς που ασχολούνται με τα ΑΠΕ και ερευνητικά κέντρα, καθώς και πανεπιστήμια. Έτσι, ενώ πραγματοποιούνται σχετικές έρευνες και μελέτες, τα αποτελέσματα δε χρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς που θα τις χρειαζόνταν (Παιδακάκης, 2007).

Σχετικά με την κατάσταση στην Ευρώπη, το τωρινό οικονομικό και κοινωνικό σύστημα είναι κατά βάση επικεντρωμένο στις συμβατικές πηγές ενέργειας και το σύστημα κατανομής τους. Άρα, η αγορά των ανανεώσιμων πηγών στην Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν αναμένεται να αναπτυχθεί με ένα φυσιολογικό ρυθμό χωρίς κάποια πολιτική υποστήριξης (Waldau, 2007). Κάθε χώρα έχει τις δικές της πολιτικές ενέργειας και υποστηρικτικά προγράμματα για Φ/Β, με αποτέλεσμα η κατάσταση της φωτοβολταϊκής αγοράς κάθε χώρας να διαφέρει (Waldau, 2007).

Γενικά, το έτος 2008 τα ΑΠΕ, στην Ελλάδα, προσέφεραν το 10,3% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας, όπου από αυτό το ποσοστό, μόλις 0,1% προερχόταν από Φ/Β (ΥΠΕΚΑ, 2015β). Στην Ιταλία από το 2005, μέσα σε λίγο χρόνο δεκαπλασιάστηκαν οι ήδη υπάρχουσες Φ/Β εγκαταστάσεις (Βόκας και Πρωτογερόπουλος, 2005). Η Γερμανία είχε γιγαντιαία ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων το 2004, όπου έφτασαν το 235% αυτών που ήδη υπήρχαν. Με αυτή την ανάπτυξη, η Γερμανία έγινε η μεγαλύτερη αγορά Φ/Β στον κόσμο, αποτελώντας το 88% της Ευρωπαϊκής αγοράς (Waldau, 2007). Αυτή η περίπτωση αποτελεί ένα καλό παράδειγμα για την επιτυχημένη εφαρμογή πολιτικής στη Γερμανία. Παρόμοιες πολιτικές έχουν τεθεί και σε άλλες χώρες, όπως Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα, Τσέχικη

Δημοκρατία, αλλά οι Φ/Β τεχνολογίες δεν εκτιμούνται πλήρως, πιθανώς λόγω έλλειψης κατανόησης των δυνατοτήτων τους (Suri et al., 2007).

Τέλος, αναφορικά, η έρημος Σαχάρα έχει τόσο ηλιακό δυναμικό που θα μπορούσε να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο (Sorensen, 2001). Πρόσφατα, στα τέλη του 2015, ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση ενός, μεγάλων διαστάσεων, συστήματος συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας. Το σύστημα αυτό αποτελεί ένα τμήμα του συμπλέγματος Noor που εγκαταστάθηκε στο Μαρόκο, όπου στα επόμενα δύο στάδια το Noor θα έχει συνολικό έργο 350 MW, τα οποία έχουν προγραμματιστεί να ολοκληρωθούν μέχρι το 2018. Αυτή τη στιγμή, το τμήμα συμπλέγματος Noor στο Μαρόκο, αποτελεί το μεγαλύτερο σύστημα συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας στη Μέση Ανατολή, Βόρεια Αφρική και στην Αφρικανική ήπειρο (Noor, 2016).

2.4 Ηλιακό Δυναμικό

Η ηλιακή ακτινοβολία χωρίζεται στην άμεση ακτινοβολία, τη διαχεόμενη και αυτή που ανακλάται (Dubayah and Rich, 1995, Allen et al., 2006). Η ακτινοβολία η οποία ανακλάται από την τοπογραφία της επιφάνειας είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας και μπορεί να μη μετρηθεί (Gates, 1980, Rich, 1989, 1990, Hetrick et al., 1993a, 1993b, Kumar, 1997, Tian et al., 2001, Allen et al., 2006). Ο όρος «ηλιακό δυναμικό» αναφέρεται στη ενέργεια που προσπίπτει στιγμιαία στη μονάδα επιφάνειας και έχει μονάδα μέτρησης W/m^2 (Page, 1986, Allen et al., 2006).

Το ηλιακό δυναμικό πάνω στην επιφάνεια της γης, είναι ένα σύνθετο αποτέλεσμα το οποίο επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα και τη μορφολογία του εδάφους. Οι παράγοντες της ατμόσφαιρας που το επηρεάζουν είναι τα αέρια που υπάρχουν, όπως O_2 , CO_2 , O_3 , στερεά και υγρά σωματίδια αλλά και τα σύννεφα. Τα σύννεφα μπορούν να μειώσουν το ηλιακό δυναμικό κατά πολύ, ανάλογα και με το πάχος τους, τη θέση τους, τα στρώματα σύννεφων, όπως και τις οπτικές τους ιδιότητες (Louche et al., 1986, Dubayah and Rich, 1995, Geiger, 1965, Holland and Steyn, 1975, Gates, 1980, Kirkpatrick and Nunez 1980, Davis et al., 1989, Dubayah et al., 1989, Brown, 1991, Davis et al., 1992, Dubayah and Van Katwuk, 1992, Fu and Rich, 1999). Το ηλιακό δυναμικό διαφέρει ανάμεσα σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, το οποίο προέρχεται

από τη γεωμετρία της γης αλλά και τη κίνησή της γύρω από τον ήλιο. Μεταβλητές που επηρεάζονται από αυτό είναι η ηλιακή απόκλιση (η γωνιαία απόσταση του ηλίου βόρεια από τον ισημερινό της Γης), το γεωγραφικό πλάτος και η ωριαία γωνία του ήλιου (η θέση του ηλίου στον ουρανό της Γης), οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια με τη χρήση αστρονομικών τύπων. Σε τοπική κλίμακα, το ανάγλυφο της γης είναι πολύ σημαντικό όσον αφορά την κατανομή του ηλιακού δυναμικού πάνω στην επιφάνεια. Μείζονες μεταβλητές που σχετίζονται με το ανάγλυφο είναι η υψομετρική μεταβλητότητα, η κλίση του εδάφους, ο προσανατολισμός της κλίσης και η σκίαση η οποία μπορεί να δημιουργείται από το ανάγλυφο (π.χ. η σκίαση από ένα βουνό). Η σκίαση είναι ακόμη πιο ορατή σε δεδομένα υψηλής ανάλυσης, όπου στη τωρινή εποχή, τα δεδομένα αυτά για το ανάγλυφο είναι διαθέσιμα. Η χωρική και προσωρινή διαφορετικότητα της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας καθορίζει τη δυναμικότητα πολλών διεργασιών που γίνονται πάνω στη γη (π.χ. αέρας, θερμοκρασία εδάφους). Δεδομένα με υψηλή χωρική ανάλυση του κατανεμημένου ηλιακού δυναμικού στην επιφάνεια της γης, είναι χρήσιμα για περιβαλλοντικές και άλλων ειδών μελέτες (Suri and Hofierka, 2004, Fu and Rich, 1999, Kumar, 1997, Iqbal, 1983).

Ένας τρόπος για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού είναι μέσω διαφόρων ειδών παλινδρόμησης με τη χρήση μετρήσεων από εκατοντάδες μετεωρολογικούς σταθμούς. (Hulme et al., 1995, Hutchinson et al., 1984, Zelenka et al., 1992). Αλλά γενικά, η παλινδρόμηση δεν μπορεί να είναι ακριβής όσον αφορά απότομες πλαγιές βουνών και εξ ου και δεν υπάρχουν αρκετά ακριβή δεδομένα με ηλιακό δυναμικό για βουνώδεις περιοχές (Fu and Rich, 1999), πράγμα το οποίο θα μπορούσε να υπολογιστεί μέσω ΣΓΠ με τη χρήση υψηλής ανάλυσης δεδομένων για το ανάγλυφο.

Το ηλιακό δυναμικό είναι μεγαλύτερο πάνω σε μία πλαγιά που «κοιτάζει» τον ήλιο, από ότι σε μία επιφάνεια που είναι επίπεδη (Lloyd and Swift, 1976, Sorensen, 2001). Αντίθετα, μία πλαγιά με βόρειο προσανατολισμό και μεγάλη κλίση μπορεί να μη δέχεται καθόλου ηλιακή ακτινοβολία για μία μεγάλη περίοδο του έτος, όπου και είναι η πιο δύσκολη περίπτωση για να υπολογιστεί το ηλιακό δυναμικό (Allen et al., 2006). Αυτό σχετίζεται με το αζιμούθιο του ήλιου (η κατεύθυνση από την οποία έρχεται το φως του ήλιου) και το ύψος του ήλιου (η γωνία που σχηματίζει η θέση του ηλίου με την νοητή κατακόρυφο από το κέντρο της Γης), τα οποία αλλάζουν συνεχώς μέσα σε

μία μέρα και άρα, πρέπει να υπολογίζονται σε κάθε φάση που υπολογίζεται το ηλιακό δυναμικό. Επίσης, χρειάζεται να υπολογιστεί και η απόκλιση του ηλίου, η οποία θεωρείται σταθερή για μία φορά ανά ημέρα (Kumar, 1997).

Γενικά, οι μεταβλητές που σχετίζονται με την τοπογραφία και τη θέση του ηλίου, οι οποίες χρειάζονται για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού, είναι (Kumar, 1997):

- Η ωριαία γωνία, η οποία καθορίζει πόσο ανατολικά ή δυτικά είναι ο ήλιος από τον τοπικό μεσημβρινό
- Η απόκλιση του ηλίου, η οποία υποδεικνύει τη γωνία ανάμεσα στη διεύθυνση του ηλίου και του επίπεδου του ισημερινού της Γης
- Η ζενίθια γωνία, η οποία είναι η γωνία ανάμεσα στη θέση του ηλίου και την ακριβώς κατακόρυφη ζενίθια θέση
- Η αζιμούθια γωνία, η οποία 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
- Η κλίση του εδάφους, η οποία εκφράζεται ως η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα σε δύο σημεία πάνω στο έδαφος, όπου υπολογίζεται με βάση την απόστασή τους και τη διαφορά ύψους τους
- Ο προσανατολισμός της κλίσης, ο οποίος λειτουργεί σαν πυξίδα και υποδηλώνει την διεύθυνση του ορίζοντα στην οποία «κοιτάζει» η κλίση του εδάφους

2.5 Χρησιμότητα ΣΓΠ

Τα ΣΓΠ έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν αρκετά γρήγορους υπολογισμούς και ακριβείς όσον αφορά τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού με βάση τη κλίση της επιφάνειας, τον προσανατολισμό της κλίσης και τη σκίαση, κυρίως για μεγάλης έκτασης περιοχές (Hetrick et al., 1993a, 1993b, Dubayah and Rich 1995, 1996, Rich et al., 1995, Kumar et al., 1997). Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει έντονο ανάγλυφο, το οποίο επηρεάζει αρκετά το ηλιακό δυναμικό, τα ΣΓΠ έχουν μία καλή δυνατότητα υπολογισμού και σε μεγάλη ανάλυση. Ο συνδυασμός μοντέλων και των ΣΓΠ βελτιώνει τη δυνατότητα επεξεργασίας διαφορετικών περιβαλλοντικών

δεδομένων και τη συνεργασία με άλλα μοντέλα (Hofierka and Suri, 2002). Ο συνδυασμός ενός μοντέλου με ΣΓΠ, με υψηλής ανάλυσης δεδομένα για το ανάγλυφο της γης και αρκετές εδαφιαίες μετρήσεις, μπορούν να βελτιώσουν τη γνώση για τη δυναμικότητα και των χωρικών μοτίβων των εκτάσεων που δέχονται ηλιακό δυναμικό, ειδικά εκτάσεων με πολύπλοκο ανάγλυφο (Suri and Hofierka, 2004). Επιπλέον, η μεταφορά δεδομένων από ένα άλλο πρόγραμμα σε ΣΓΠ (ή το αντίστροφο) είναι αρκετά εύκολο, όπου στο πρόγραμμα αυτό μπορεί να έχει αναπτυχθεί κώδικας για το ηλιακό δυναμικό. Η μετατροπή όμως και η μεταφορά των δεδομένων ανάμεσα σε ΣΓΠ και άλλα προγράμματα, πρέπει να γίνεται με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα (Dubayah and Rich, 1995).

Τα ΣΓΠ σε ένα νέας γενιάς υπολογιστή μπορούν να παράγουν την κατάλληλη πλατφόρμα για μοντελοποίηση και να εκτελέσουν πολλές συναρτήσεις για το ηλιακό δυναμικό. Στα ΣΓΠ μπορούν εύκολα να εισαχθούν δεδομένα σχετικά με το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης και να γίνουν αρκετοί υπολογισμοί που αφορούν το ανάγλυφο (κλίση, προσανατολισμός κλίσης, σκίαση, ορατότητα). Μπορούν επίσης, να προσφέρουν το ιδανικό προγραμματιστικό περιβάλλον για την επεξεργασία μοντέλων σχετικά με το ηλιακό δυναμικό προς εισαγωγή ή εξαγωγή (Dubayah and Rich, 1995). Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα να υπολογίσουν το ηλιακό δυναμικό σε κάθε σημείο μίας έκτασης (Fu and Rich, 1999).

2.6 Κριτήρια Χωροθέτησης Φ/Β πάρκου

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα χωροθέτησης ενός Φ/Β πάρκου είναι το κόστος του αρχικού κεφαλαίου και λόγω αυτού, είναι πολύ σημαντικός ο προγραμματισμός και η μελέτη του τόπου εγκατάστασής τους (Suri and Hofierka, 2004). Παρόμοια έρευνα και χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης Φ/Β συστήματος έχει πραγματοποιηθεί για τις χώρες: Βουλγαρία, Τσέχικη Δημοκρατία, Εσθονία, Ουγγαρία, Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία, Ρουμανία, Σλοβακία και Σλοβενία. Ο χάρτης καταλληλότητας κατασκευάστηκε από ψηφιδωτούς χάρτες (raster maps), όπου απεικόνιζαν τους δώδεκα μηνιαίους μέσους όρους και ένα ετήσιο μέσο όρο ο οποίος προέκυψε από τα αθροίσματα του ηλιακού δυναμικού για κάθε μέρα (Suri et al., 2002).

Πριν τη χωροθέτηση, υπάρχουν κάποια στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη, όπως οι περιοχές προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος (Μαυρίδης και Καλότυχου, 2013). Με βάση το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) (ΥΠΕΚΑ, 2015γ), απόφαση επ' αριθμό 49828, άρθρο 17, παράγραφος 2, ζώνες αποκλεισμού για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας είναι περιοχές Natura και φυσικού κάλλους, πυρήνες εθνικών δρυμών, δάση, γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας και χρήσεις γης στις οποίες δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση. Επίσης, με βάση το άρθρο 6, παράγραφος 2, αποκλείονται και οι περιοχές με μνημεία, αρχαιολογικούς χώρους προστασίας Α, όρια υδροτόπων διεθνούς σημασίας, ακτές κολύμβησης, λατομία και επιφανειακές ζώνες εκμετάλλευσης μεταλλευμάτων και εξορυκτικές ζώνες. Θεμιτό είναι, να υπάρχει όσο λιγότερη οπτική όχληση γίνεται από το σημείο χωροθέτησης όπως και η χωροθέτηση του Φ/Β πάρκου να βρίσκεται σε άγονη έκταση ή έκταση που δεν είναι υψηλής παραγωγικότητας.

Η σκίαση από το ανάγλυφο της Γης, είναι επίσης πολύ σημαντικό για τη χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, η οποία μπορεί να υπολογιστεί εύκολα με την εντολή Hillshade του ArcGIS, χρησιμοποιώντας ένα επίπεδο με τα υψόμετρα της περιοχής, την αζιμούθια γωνία και το ύψος του ήλιου (η γωνία της θέσης του ήλιου ανάμεσα σε ένα οριζόντιο επίπεδο και το ζενίθ) (Kumar, 1997).

3. Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται η ακολουθούμενη μεθοδολογία σε συνδυασμό με τα δεδομένα και τα λογισμικά που εφαρμόζονται. Επίσης, αναφέρεται η φύση και η πηγή των δεδομένων, δηλαδή μονάδες μέτρησης, έτος αναφοράς, χώρος αναφοράς, χωρική ανάλυση και πιθανόν άλλες ιδιότητες που μπορούν να έχουν τα δεδομένα. Επιπλέον, παρουσιάζεται η προσαρμογή των δεδομένων που πραγματοποιήθηκε με σκοπό την πιο διαχειρίσιμη εκτέλεση του κώδικα που κατασκευάστηκε. Τέλος, αναλύεται η αξιολόγηση των κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου, όπως και η εφαρμογή τους μέσω των ΣΓΠ.

3.1 Λογισμικά

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ArcGIS (ArcMap) 10.2.2 της ESRI και η Matlab R2015a (8.5.0.197613) 64-bit. Το GIS χρησιμοποιήθηκε για την τροποποίηση των δεδομένων της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και των χωρικών δεδομένων, για την οποιαδήποτε χωρική ανάλυση χρειάστηκε όπως και για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Η Matlab χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συνολικού ηλιακού δυναμικού, βάση σχετικής μεθοδολογίας, με την ανάπτυξη κώδικα.

3.2 Πρωτογενή δεδομένα εισερχόμενης Ηλιακής Ακτινοβολίας

Τα δεδομένα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας προέρχονται από προσομοιώσεις του ατμοσφαιρικού μοντέλου POSEIDON με τη χρήση πραγματικών μετρήσεων (Papadopoulos and Katsafados, 2009), το οποίο έχει εγκατασταθεί στο Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ). Τα δεδομένα προέρχονται από συνεχείς ολοκληρώσεις του μοντέλου για 15 έτη (1995 – 2009) καλύπτοντας την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου σε οριζόντια διακριτοποίηση 10×10 km. Το μοντέλο POSEIDON υπολογίζει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα στις συνοπτικές ώρες (00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC) σε μονάδες W/m² και κωδικοποίηση ASCII για επεξεργασία τους στα ΣΓΠ και τη Matlab.

3.3 Χωρικά Δεδομένα

Τα χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι ο υψομετρικός χάρτης της Ελλάδας (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους), η ακτογραμμή στο χώρο της Ελλάδας, οι εκτάσεις των εθνικών δρυμών, εκτάσεις χερσαίων και υδάτινων περιοχών που προστατεύονται από διεθνές συμβάσεις, καταφύγια άγριας ζωής, τα όρια της Ελλάδας, οι λίμνες, εκτάσεις λοιπών περιοχών περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος (πχ. φυτώρια), εκτάσεις Natura (βάσει το 2011), οι οικισμοί της Ελλάδας όπως χρησιμοποιούνται από την ΕΛ.ΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή) για λόγους απογραφής, οδικό δίκτυο με κεντρικούς και μη δρόμους, υδρογραφικό δίκτυο, κάλυψη γης Corine (βάσει το 2000) και οι ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σταθμών. Η πηγές και η ψηφιακή φύση των δεδομένων αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

3.3.1 Οι Πηγές των Χωρικών Δεδομένων

Τα χωρικά δεδομένα τα οποία βρέθηκαν στο διαδίκτυο και χρησιμοποιήθηκαν είναι αρκετά και διαφόρων ειδών. Οι πηγές των χωρικών δεδομένων και οι ιστοσελίδες από τις οποίες βρέθηκαν εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1. Χωρικά Δεδομένα – Πηγές - Ιστοσελίδες

Χωρικά Δεδομένα	Πηγή	Ιστοσελίδα
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)	ASTER GDEM	http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp
Ακτογραμμή	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Εθνικοί Δρυμοί	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Περιοχές προστασίας από Διεθνές Συνθήκες	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Καταφύγια άγριας ζωής	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Όρια Ελλάδας	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Λίμνες	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Λοιπές περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Natura	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Οικισμοί	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Οδικό δίκτυο	MapCruzin.com	http://www.mapcruzin.com/
Υδρογραφικό δίκτυο	GEODATA.gov.gr	http://geodata.gov.gr/dataset
Χρήσεις γης Corine	European Environment Agency	http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/

3.3.2 Η Φύση των Χωρικών Δεδομένων

Για όλα τα χωρικά δεδομένα χρησιμοποιείται ως σύστημα αναφοράς το D_WGS_1984. Το είδος των δεδομένων, αν είναι ψηφιδωτά (raster) ή αν είναι συνεχών τιμών (vector), η χωρική ανάλυση και το είδος των δεδομένων των raster και τα χαρακτηριστικά (feature) των vector εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.2. Χωρικά Δεδομένα – Κατηγορία και Είδος Δεδομένων

Χωρικά Δεδομένα	Κατηγορία Δεδομένων - Ανάλυση	Είδος Δεδομένων
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)	Raster (~25m)	Ύψος εδάφους σε m
Ακτογραμμή	Vector	Γραμμικά
Εθνικοί Δρυμοί	Vector	Πολυγωνικά
Περιοχές προστασίας από Διεθνές Συνθήκες	Vector	Πολυγωνικά
Καταφύγια άγριας ζωής	Vector	Πολυγωνικά
Όρια Ελλάδας	Vector	Πολυγωνικά
Λίμνες	Vector	Πολυγωνικά
Λοιπές περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος	Vector	Πολυγωνικά
Natura	Vector	Πολυγωνικά
Οικισμοί	Vector	Σημειακά
Οδικό δίκτυο	Vector	Γραμμικά
Υδρογραφικό δίκτυο	Vector	Γραμμικά
Χρήσεις γης Corine	Raster (100m)	Κατηγορίες Χρήσεις Γης
Φ/Β Εγκαταστάσεις	Vector	Πολυγωνικά

3.4 Μεθοδολογία Ηλιακού Δυναμικού

Το ηλιακό δυναμικό υπολογίζεται από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία επί το συντελεστή $\frac{\cos i}{\cos z}$ ο οποίος σχετίζεται με το ανάγλυφο της επιφάνειας της Γης και τη θέση του ηλίου, με βάση το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται η περιοχή μελέτης. Η μονάδα μέτρησής του είναι W/m^2 και ουσιαστικά υπολογίζει τα Watt ανά

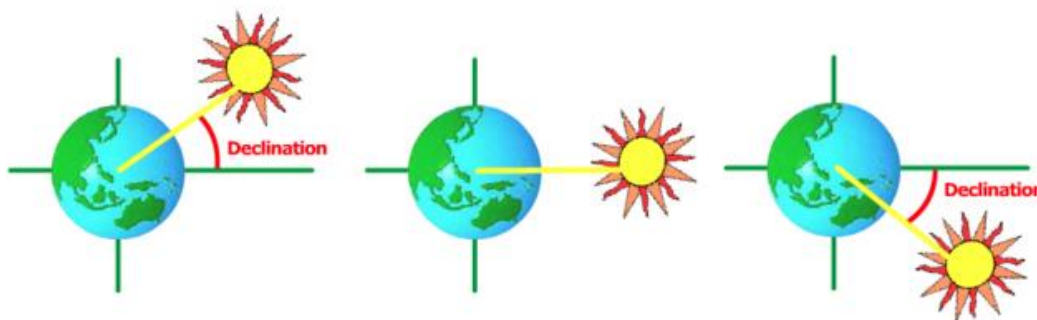
τετραγωνικό μέτρο στιγμιαία. Ο τύπος υπολογισμού του ηλιακού δυναμικού $SI \downarrow^{sl}$ είναι:

$$SI \downarrow^{sl} = SI \downarrow \cdot \frac{\cos i}{\cos z} \quad (3.1)$$

όπου $SI \downarrow$ η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, γωνία i η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα ακτινοβολία με το ανάγλυφο της Γης και γωνία z η ζενίθια γωνία (η συμπληρωματική γωνία του ύψους του ηλίου).

3.4.1 Απόκλιση Ηλίου (ds)

Η απόκλιση του ηλίου σχετίζεται με τη θέση του ηλίου σε σχέση με τη Γη, όπου ουσιαστικά είναι η γωνιαία απόσταση του ηλίου βόρεια (στο βόρειο ημισφαίριο) από τον ισημερινό της Γης. Η περιστροφή της Γης γύρω από τον ήλιο έχει μία κλίση, η οποία χαρακτηρίζεται από την κλίση που σχηματίζει ο ισημερινός της Γης με το επίπεδο της τροχιάς της Γης γύρω από τον ήλιο, και είναι 23,45 μοίρες.



Σχήμα 3.1. Απόκλιση Ηλίου (Πηγή: pveducation 2016)

Καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο η απόκλιση κυμαίνεται από -23,45 στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο, 3^η εικόνα στο Σχήμα 3.1), σε 0 στις ισημερίες 22 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου (2^η εικόνα στο Σχήμα 3.1), μέχρι 23,45 μοίρες στις 22 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο, 1^η εικόνα στο Σχήμα 3.1) (solar basics, 2016). Ο τύπος υπολογισμού της απόκλισης του ηλίου είναι:

$$ds = 23,45^\circ \sin\left(\frac{360}{365}(284 + dc)\right) \quad (3.2)$$

όπου dc είναι ο αριθμός της ημέρα περιλαμβάνοντας και την ώρα $dc = d - 1 + h/24$ όπου d είναι ο αριθμός της ημέρας (π.χ. 1 Ιανουαρίου $d=1$ ή 22 Μαρτίου $d=81$) και h η ώρα. Το αποτέλεσμα είναι σε μοίρες.

3.4.2 Ωριαία Γωνία (hr)

Η ωριαία γωνία είναι η θέση του ηλίου στον ουρανό της Γης σε μοίρες. Η ωριαία γωνία παίρνει την τιμή 0° κατά το τοπικό μεσημέρι, αρνητικές τιμές τις πρωινές ώρες και θετικές τιμές τις απογευματινές ώρες. Αρχικά, χρειάζεται να υπολογιστεί η διαφορά της τοπικής ώρας από την ώρα Greenwich (Local Standard Time Meridian, LSTM), αλλά επειδή στη συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί με GMT+0 η διαφορά είναι μηδενική και άρα δεν υπολογίζεται (pveducation, 2016). Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η εξομοίωση της ώρας (Equation of Time, EoT), η οποία είναι εμπειρική και διορθώνει την εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης και την κλίση του άξονα της Γης, και ο τύπος υπολογισμού της είναι:

$$\text{EoT} = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad (3.3)$$

όπου

$$B = \frac{360}{365}(d - 81) \quad (3.4)$$

Ύστερα, γίνεται διόρθωση με βάση το γεωγραφικό μήκος (Time Correction Factor, TC), όπου ο τύπος με LSTM = 0 είναι:

$$\text{TC} = 4 \cdot \text{Longitude} + \text{EoT} \quad (3.5)$$

Μετά, υπολογίζεται η ηλιακή ώρα (Local Solar Time, LST) με τον τύπο:

$$\text{LST} = \text{LT} + \frac{\text{TC}}{60} \quad (3.6)$$

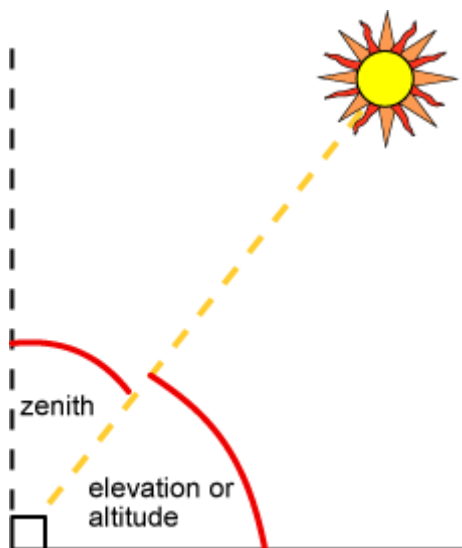
Τελικά, υπολογίζεται η ωριαία γωνία (Hour Angle, hr) βάση ότι η Γη περιστρέφεται 15° την ώρα, και ο τύπος της είναι:

$$\text{hr} = 15^\circ(\text{LST} - 12) \quad (3.7)$$

και το αποτέλεσμα είναι σε μοίρες.

3.4.3 Συνημίτονο Ζενίθιας Γωνίας $\cos(z)$

Η ζενίθια γωνία είναι η γωνία που σχηματίζει η θέση του ηλίου με την νοητή κατακόρυφο από το κέντρο της Γης, το ζενίθ. Η ζενίθια γωνία είναι συμπληρωματική της γωνίας του ύψους του ηλίου, όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 3.2, που είναι η γωνία που σχηματίζει η θέση του ηλίου με το οριζόντιο επίπεδο της Γης.



Σχήμα 3.2. Ζενίθια γωνία και γωνία ύψους του ηλίου (Πηγή: pveducation 2016)

Ο τύπος υπολογισμού του συνεμήτονου της ζενίθιας γωνία είναι:

$$\cos z = \cos \varphi \cdot \cos ds \cdot \cos hr + \sin ds \cdot \sin \varphi \quad (3.8)$$

Η ζενίθια γωνία παίρνει τιμή 0° όταν ο ήλιος είναι κατακόρυφα και τις τιμές $\pm 90^\circ$ κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου.

3.4.4 Αζιμούθια Γωνία (β)

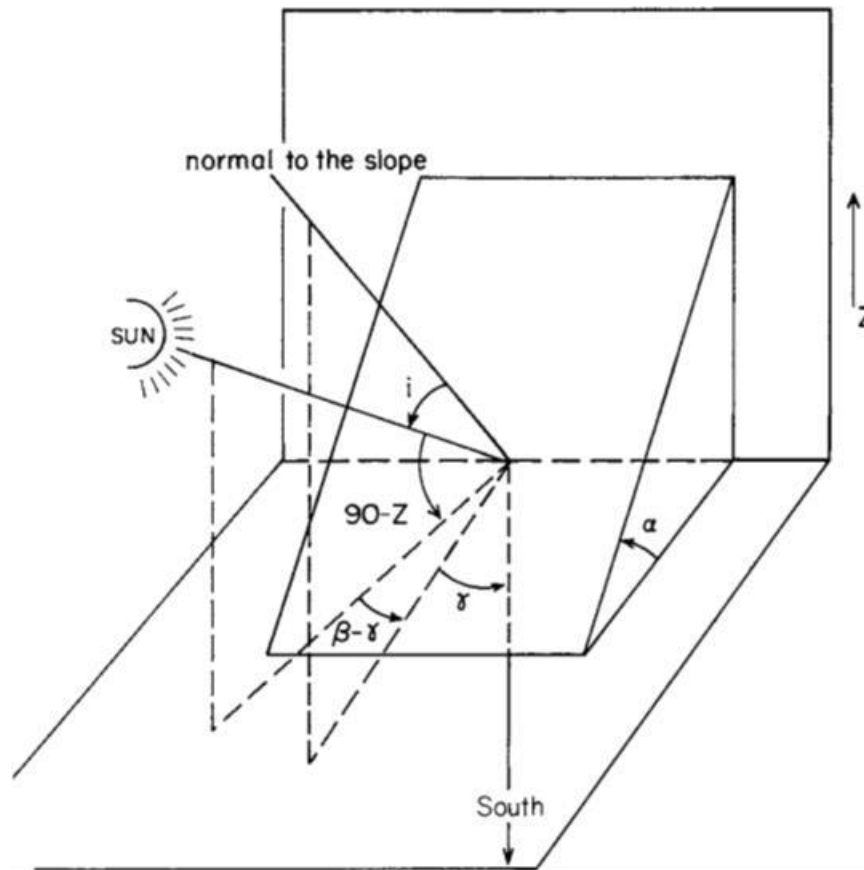
Η αζιμούθια γωνία είναι σαν μία πυξίδα που δείχνει την κατεύθυνση από την οποία έρχεται το φως του ήλιου. Στο βόρειο ημισφαίριο κατά το καταμεσήμερο, ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς στο νότο με γωνία 0° . Στις ισημερίες ο ήλιος ανατέλλει ακριβώς στην ανατολή -90° και δύει ακριβώς στη δύση 90° (pveducation, 2016). Ο τύπος υπολογισμού της εφαπτομένης της αζιμούθιας γωνίας είναι (azimuth, 2016):

$$\tan \beta = \frac{\sin hr}{\cos hr \cdot \sin \varphi - \tan ds \cdot \cos \varphi} \quad (3.9)$$

και ουσιαστικά εξαρτάται και διαφέρει με βάση το γεωγραφικό πλάτος (ϕ), την απόκλιση του ηλίου (ds) και την ωριαία γωνία (hr).

3.4.5 Συνημίτονο γωνίας i ($\cos i$)

Η γωνία i υπολογίζεται με βάση το ανάγλυφο της Γης και τη θέση του ηλίου, η οποία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.3. Υπολογισμός γωνίας i (Πηγή: Pielke 2002)

Για να υπολογιστεί η γωνία i , βάσει το Σχήμα 3.3, πρέπει να υπολογιστεί η διαφορά της γωνίας του προσανατολισμού της κλίσης (γ) από το αζιμούθιο (β), η ζενίθια γωνία (z) και η κλίση (α). Ουσιαστικά, η γωνία i είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτινοβολία και το ανάγλυφο της Γης. Ο τύπος υπολογισμού της είναι (Pielke, 2002):

$$\cos i = \cos \alpha \cdot \cos z + \sin \alpha \cdot \sin z \cdot \cos(\beta - \gamma) \quad (3.10)$$

όπου το α είναι η κλίση του εδάφους και μετρείται σε μοίρες και το γ είναι ο

προσανατολισμός της κλίσης. Επειδή η αζιμούθια γωνία β έχει 0 μοίρες στο νότο και ο προσανατολισμός της κλίσης γ έχει 180 μοίρες, ο τύπος υπολογισμού αλλάζει σε:

$$\cos i = \cos \alpha \cdot \cos z + \sin \alpha \cdot \sin z \cdot \cos(\beta - (\gamma - 180^\circ)) \quad (3.11)$$

ώστε ο προσανατολισμός να αλλάξει με σημείο αναφοράς το νότο.

3.5 Προετοιμασία Δεδομένων για τον υπολογισμό Ηλιακού Δυναμικού

Για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού συνολικά οι βασικές μεταβλητές που χρειάζονται είναι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, η κλίση του εδάφους, ο προσανατολισμός της κλίσης, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Οι μεταβλητές αυτές χρησιμοποιούνται στη μορφή πλέγματος μέσα στα ΣΓΠ και στη μορφή πίνακα μέσα στη Matlab, εκτός από το γεωγραφικό μήκος, του οποίου χρησιμοποιείται η μέση τιμή. Τα δεδομένα αυτά χρειάζονται προεπεξεργασία πριν τη χρήση τους, όπως για παράδειγμα η κλίση και ο προσανατολισμός της κλίσης παράγονται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).

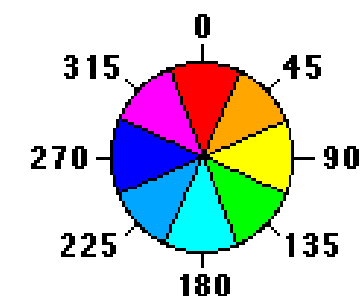
3.5.1 Τροποποίηση δεδομένων DEM

Επειδή τα υψομετρικά δεδομένα DEM παρέχονται από την ASTER GDEM σε τετράγωνα μίας επί μία μοίρας, πραγματοποιήθηκε η ένωσή τους μέσω GIS με το εργαλείο Mosaic to New Raster σε 8 διαφορετικές λωρίδες κατά το γεωγραφικό πλάτος ανά μία μοίρα (με ελάχιστο γεωγραφικό πλάτος τις 34° και μέγιστο 42°). Η ένωση δεν έγινε σε ένα ενιαίο επίπεδο διότι το παραγόμενο σχήμα δε θα ήταν τετράγωνο ή ορθογώνιο που αρμόζει σε ένα πίνακα, με αποτέλεσμα κατά τη μεταφορά του σε αρχείο ASCII και ύστερα στη Matlab ο πίνακας που θα δημιουργούταν να έχει κενά ή μηδενικά κελιά, οδηγώντας έτσι σε αχρείαστους υπολογισμούς και επιβάρυνση της εκτέλεσης του κώδικα. Επίσης, η χωρική ανάλυση μειώθηκε σε 250 m από ~25m με σκοπό τη σημαντική βελτίωση της ταχύτητας εκτέλεσης του κώδικα.

3.5.2 Υπολογισμός κλίσης και προσανατολισμού κλίσης

Μέσω του GIS και της χρήσης του εργαλείου Aspect στα αρχεία DEM, δημιουργήθηκαν 8 επίπεδα (ένα για κάθε λωρίδα) με τον προσανατολισμό της κλίσης

του εδάφους. Ο προσανατολισμός της κλίσης αφορά το προς τα πού κοιτάζει στον ορίζοντα μία κεκλιμένη επιφάνεια,



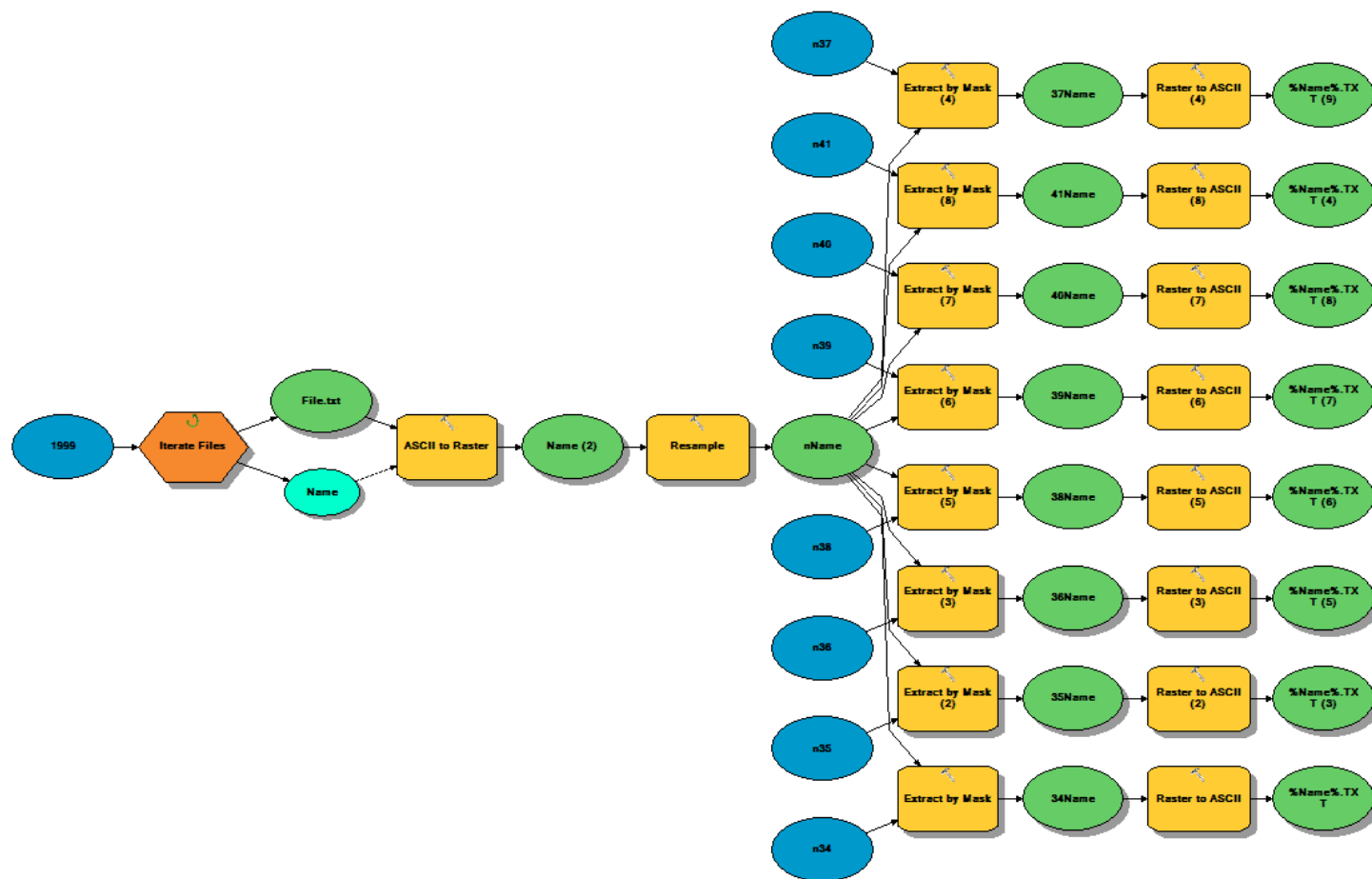
Σχήμα 3.4. Προσανατολισμός κλίσης (Πηγή: ArcGIS)

με τον βορά να είναι 0° , η ανατολή 90° , ο νότος 180° , η δύση 270° και οι επίπεδες επιφάνειες να παίρνουν την τιμή -1. Επίσης, εξάγονται τα ποσοστά κάλυψης της γης ανά προσανατολισμό κλίσης με τη βοήθεια του εργαλείου reclassify, ταξινομώντας τον προσανατολισμό κλίσης σε κατηγορίες (επίπεδο, βόρεια, βορειοανατολικά, ανατολικά, νοτιοανατολικά, νότια, νοτιοδυτικά, δυτικά, βορειοδυτικά). Ανάλογα για τις 8 λωρίδες υπολογίστηκε η κλίση του εδάφους σε μοίρες με τη χρήση του εργαλείου Slope. Επειδή το εργαλείο Slope απαιτεί ένα συντελεστή διόρθωσης z-factor, ο οποίος μετατρέπει τις μοίρες (decimal degrees) σε μέτρα με βάση το ελλειπτικό σχήμα της Γης και ουσιαστικά ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, βρέθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά z-factors ανάλογα με το μέσο γεωγραφικό πλάτος κάθε λωρίδας. Αντίστοιχα με τον προσανατολισμό κλίσης, εξάχθηκαν τα ποσοστά κάλυψης γης ανά κλάσεις κλίσης, όπου οι κλάσεις ανά μοίρες είναι: 0 – 2, 2 – 5, 5 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 50, 50+. Τέλος, τα επίπεδα της κλίσης και του προσανατολισμού της κλίσης εξάχθηκαν σε αρχεία ASCII με τη χρήση του εργαλείου Raster to ASCII.

3.5.3 Τροποποίηση δεδομένων εισερχόμενης Ηλιακής Ακτινοβολίας μέσω ΣΓΠ

Επειδή τα δεδομένα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκονται σε διαφορετική χωρική ανάλυση από αυτή των χωρικών δεδομένων, εισήχθηκαν στο GIS όπου η ανάλυση μετατράπηκε από 10km σε αυτή των 250m. Προτού πραγματοποιηθεί όμως οποιαδήποτε επεξεργασία, υπολογίστηκε η μέση συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία του 2005 (ως δείγμα) με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης με τα τελικά αποτελέσματα. Για τον υπολογισμό αυτό

προστέθηκαν όλα τα δεδομένα του 2005 όπου πολλαπλασιάστηκαν με 6 (εφόσον ήταν ανά 6ωρο) και διαιρέθηκαν με 1000 ώστε το αποτέλεσμα να είναι σε kWh/m². Συνεχίζοντας, η μετατροπή της ανάλυσης έγινε χρησιμοποιώντας διγραμμική παλινδρόμηση (bilinear interpolation) και τα δεδομένα τις εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας κόπηκαν σε λωρίδες που να αντιστοιχούν σε αυτές των χωρικών. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο στο model builder που έχει την παρακάτω ροή:



Σχήμα 3.5. GIS μοντέλο μετατροπής δεδομένων εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας

Αρχικά, ορίζεται από το χρήστη ο φάκελος από τον οποίο θα φορτώνονται τα αρχεία της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανά 6 ώρες, για κάθε μέρα, για κάθε μήνα, για ένα χρόνο (για παράδειγμα στο Σχήμα 3.5 έχει οριστεί ο φάκελος που περιέχει τα δεδομένα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας για το 1999). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται αναλογικά για κάθε χρόνο. Στη συνέχεια, μετατρέπονται τα αρχεία από ASCII σε raster με το εργαλείο ASCII to Raster. Έπειτα, με το εργαλείο Resample ορίζεται η καινούρια ανάλυση (250m) και με ποια μέθοδο θα πραγματοποιηθεί η αλλαγή ανάλυσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση με διγραμμική παλινδρόμηση (bilinear interpolation), και μετά το κάθε επίπεδο κόβεται στις 8 λωρίδες με το Extract by Mask ανά μία μοίρα γεωγραφικού πλάτους. Η κοπή δεν πραγματοποιήθηκε μέσω του Environment του εργαλείου Resample διότι υπήρχαν σφάλματα στα όρια (extent) του παραγόμενου χάρτη με αυτή τη μέθοδο. Τέλος, τα αρχεία εξάγονται σε ASCII ώστε να εισαχθούν ύστερα στη Matlab με το εργαλείο Raster to ASCII. Όλα τα υπολογιζόμενα αρχεία πέρα από τα τελικά σώζονταν στη RAM του υπολογιστή (in_memory\Name) για γρηγορότερη εκτέλεση του μοντέλου.

3.5.4 Τροποποίηση δεδομένων μέσω Matlab

Όλα τα δεδομένα σε μορφή ASCII που διεξάχθηκαν από το GIS είναι συνολικά 175.328 αρχεία με συνολικό όγκο 657 Gigabyte. Πριν την επεξεργασία των ΣΓΠ τα δεδομένα ήταν σε 21.916 αρχεία συνολικά με 1 Gigabyte συνολικό όγκο, ενώ ανά έτος υπήρχαν 1.460 αρχεία με συνολικό όγκο 68 Megabyte. Τα επεξεργασμένα δεδομένα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των ΣΓΠ, έχουν ως υποδιαστολή δεκαδικών ψηφίων το κόμμα, ενώ η Matlab διαβάζει ως υποδιαστολή την τελεία. Έτσι δημιουργήθηκε κώδικας για την μετατροπή αυτή. Με μία επαναληπτική διαδικασία διαβάζονται όλα τα αρχεία με την εντολή fileread, μετατρέπονται όλα τα κόμματα σε τελείες με την εντολή stirrep, δημιουργείται ένα θεωρητικά καινούριο αρχείο με την εντολή fopen που έχει όμως το ίδιο όνομα με αυτό που διαβάζεται ώστε να αντικατασταθεί, γράφονται τα δεδομένα που έχουν πλέον για υποδιαστολή τελεία με την εντολή fwrite και με την εντολή fclose κλείνει η διαδικασία της αντικατάστασης του αρχείου.

3.6 Κατασκευή κώδικα στη Matlab για τον υπολογισμό του Ηλιακού Δυναμικού

Πριν την κατασκευή του τελικού κώδικα πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές και έλεγχοι. Ο κώδικας που κατασκευάστηκε προσαρμόστηκε και εκτελέστηκε ανάλογα για κάθε έτος και λωρίδα. Αρχικά, φορτώνονται τα αρχεία της κλίσης και του προσανατολισμού της κλίσης με την εντολή `dlmread`, όπου ορίζεται να μη διαβαστούν οι 6 πρώτες γραμμές, διότι περιέχουν πληροφορίες για το αρχείο ASCII και όχι τιμές που αντιστοιχούν σε κλίση ή προσανατολισμό κλίσης. Οι πληροφορίες αυτές αναφέρονται στο μέγεθος της κάθε ψηφίδας, στο ελάχιστο γεωγραφικό πλάτος και μήκος του αρχείου όπως και των αριθμό στηλών και γραμμών που έχει ο πίνακας. Έπειτα αυτές χρησιμοποιούνται μέσα στον κώδικα για να οριστούν οι πίνακες που χρησιμοποιούνται, αλλά και να οριστούν κάποιες επαναληπτικές (`for`) διαδικασίες. Μία από αυτές είναι η δημιουργία ενός πίνακα που να περιέχει το γεωγραφικό πλάτος της λωρίδας που υπολογίζεται, όπου κάθε γραμμή έχει διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος κατά το μέγεθος μίας ψηφίδας. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το μέσο γεωγραφικό μήκος της λωρίδας και δημιουργούνται πίνακες `sum_sol`, ένας για κάθε μήνα, με μηδενικά οι οποίοι θα μετράνε το άθροισμα των υπολογιζόμενων, για κάθε 6 ώρες, ηλιακών δυναμικών σε κάθε επανάληψη για κάθε μήνα. Ύστερα, φτιάχνεται η βασική επανάληψη του κώδικα, που επαναλαμβάνει το κεντρικό μέρος του κώδικα για κάθε μέρα ενός χρόνου ανά 6 ώρες. Σε κάθε επανάληψη φορτώνεται και το ανάλογο αρχείο εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την εντολή `dlmread`, παραλείποντας πάλι τις 6 πρώτες γραμμές.

Στο κεντρικό μέρος του κώδικα εισάγεται όλη η μεθοδολογία που προαναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού, μαζί όμως με μερικές συνθήκες (`if`) για την βελτιστοποίηση του κώδικα ή για την αποφυγή λαθών σε ακραίες περιπτώσεις. Αρχικά, η πρώτη συνθήκη που χρησιμοποιείται είναι για τον έλεγχο αν στη λωρίδα που υπολογίζεται, ο ήλιος «βλέπει» την περιοχή μελέτης. Αν έστω ένα κελί από τον ανάλογο πίνακα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι μηδενικό, αυτό συνεπάγεται ότι η περιοχή μελέτης δέχεται ήλιο και άρα πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για τον συντελεστή $\cos i / \cos z$. Σε περίπτωση που όλα τα κελιά είναι μηδενικά, τότε ο συντελεστής δεν υπολογίζεται και δημιουργείται ένας πίνακας με ηλιακό δυναμικό 0. Η επόμενη συνθήκη που χρησιμοποιείται σχετίζεται με τη γωνία του αζιμούθιου. Κατά το πρωί η γωνία πρέπει

να είναι αρνητική και κατά το απόγευμα θετική, αλλά εφόσον ο υπολογισμός της γίνεται με το atan (το αντίστροφο της εφαπτομένης), αν η γωνία του αζιμούθιου είναι μικρότερη από -90° δεν θα συνεχίσει να μειώνεται περεταίρω από το -90° αλλά θα συνεχίσει να μειώνεται από το 90° . Αντίθετα αν η γωνία είναι μεγαλύτερη από 90° δεν θα συνεχίσει να αυξάνεται περεταίρω από το 90° αλλά θα συνεχίσει αυξάνεται από το -90° . Στην πρώτη περίπτωση θα έπρεπε να γίνει $\beta = \beta - 180^\circ$ και στη δεύτερη $\beta = \beta + 180^\circ$, αλλά επειδή στη συνέχεια η γωνία β χρησιμοποιείται μέσα σε συνημίτονο και $\cos(\beta - 180^\circ) = \cos(\beta + 180^\circ)$, το β διορθώνεται ως $\beta = \beta - 180^\circ$ στις περιπτώσεις όπου πρέπει η αζιμούθια γωνία να είναι μεγαλύτερη από 90° ή μικρότερη από -90° . Σε περιπτώσεις που ο ήλιος «βλέπει» την περιοχή μελέτης αλλά υπάρχουν πλαγιές που λόγω μεγάλης κλίσης δεν τις «βλέπει» ο ήλιος, ο υπολογιζόμενος συντελεστής $\cos i$ είναι αρνητικός. Σε αυτή την περίπτωση η συνθήκη αλλάζει το συντελεστή σε 0, δηλαδή μηδενικό ηλιακό δυναμικό στην αντίστοιχη ψηφίδα. Ολοκληρώνοντας, χρησιμοποιείται μία συνθήκη περιορισμού του συντελεστή $\cos i / \cos z$ σε ακραίες περιπτώσεις. Οι ακραίες περιπτώσεις είναι οι ώρες κοντά στην ανατολή και δύση του ήλιου, όπου το $\cos z$ τείνει στο 0. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο συντελεστής $\cos i / \cos z$ τείνει προς το άπειρο και παίρνει αφύσικα μεγάλες τιμές.

Στο τέλος κάθε επανάληψης (για κάθε 6 ώρες για κάθε μέρα) ο υπολογισμένος συντελεστής $\cos i / \cos z$ πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, όπου ουσιαστικά υπολογίζει το στιγμιαίο ηλιακό δυναμικό για την υπολογιζόμενη ώρα. Επίσης, σε κάθε επανάληψη το υπολογισμένο ηλιακό δυναμικό προστίθεται στον, ανάλογα με κάθε μήνα, πίνακα `sum_sol`, ώστε να υπολογιστεί το άθροισμα των υπολογισμένων ηλιακών δυναμικών για κάθε μήνα αλλά και ετήσια. Αφού τελειώσουν οι επαναλήψεις για όλο το χρόνο, το κάθε άθροισμα `sum_sol` πολλαπλασιάζεται με 6 για κάθε εξάωρο και διαιρείται με 1000, ώστε ο κάθε τελικός πίνακας να είναι σε kWh/m^2 και να περιέχει το συνολικό ηλιακό δυναμικό της ανάλογης περιόδου. Τα αρχεία αυτά αποθηκεύονται σε μορφή ASCII με την εντολή `dldmwrite` ώστε στη συνέχεια να υπολογιστεί ο μέσος όρος των 15 ετών για κάθε μήνα. Τέλος, τα αποτελέσματα του μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού κάθε μήνα και του συνολικού ηλιακού δυναμικού κάθε έτους, εφόσον έχουν αποθηκευτεί σε μορφή ASCII με την εντολή `dldmwrite`, εισάγονται στο GIS.

3.7 Εισαγωγή υπολογισμένου Ηλιακού Δυναμικού στα ΣΓΠ

Για την εισαγωγή των δεδομένων του υπολογισμένου συνολικού ηλιακού δυναμικού από τη μορφή ASCII στο GIS αρχικά προστέθηκαν στην αρχή κάθε αρχείου οι πληροφορίες που αναφέρουν το μέγεθος της ψηφίδας, το μικρότερο γεωγραφικό πλάτος και μήκος και τον αριθμό στηλών και γραμμών. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε μοντέλο με το model builder:



Σχήμα 3.6. GIS μοντέλο μετατροπής τελικών δεδομένων ηλιακού δυναμικού

το οποίο αρχικά μετατρέπει τις λωρίδες του μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού ενός μήνα ή του συνόλου ενός έτους, ανάλογα (στο Σχήμα 3.6 το σύνολο του 2005), από ASCII σε raster με το εργαλείο ASCII to Raster, μετά με το εργαλείο Mosaic to New Raster ενώθηκαν οι λωρίδες σε ένα ενιαίο επίπεδο και με το εργαλείο Extract by Mask το επίπεδο αυτό κόπηκε στα όρια της Ελλάδας. Ύστερα, υπολογίζεται το μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό των 15 ετών και το μέσο ημερήσιο των 15 ετών για κάθε μήνα. Επίσης, υπολογίζεται το μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό των 15 ετών ανά εποχές: χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο. Επιπλέον, εξάγονται τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν κάθε υπολογισμένο επίπεδο ηλιακού δυναμικού και πραγματοποιείται έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας t-student όσον αφορά τις διαχρονικές μεταβολές, μέσω Matlab με την εντολή ztest. Όσο η παραγόμενη τιμή p-value του έλεγχου στατιστικής σημαντικότητας τείνει στο 0 η μεταβολή των δεδομένων είναι στατιστικά σημαντική, ενώ όσο τείνει στο 1 η μεταβολή είναι στατιστικά μη σημαντική. Τέλος, πραγματοποιείται η απεικόνιση των επιπέδων ηλιακών δυναμικών που υπολογίστηκαν προηγουμένως με τη χρήση παλέτας που έχει αποχρώσεις του μπλε για τις χαμηλές τιμές και αποχρώσεις του κόκκινου για τις υψηλές.

3.8 Κατασκευή χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης Φ/Β Πάρκου

Για την κατασκευή χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου, χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήρια χωρικά δεδομένα βασισμένα στους περιορισμούς του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) (ΥΠΕΚΑ, 2015γ) και σε παράγοντες που σχετίζονται με τη βέλτιστη τοποθεσία που θα μπορούσε να χωροθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Αρχικά πραγματοποιήθηκε πολυκριτηριακή ανάλυση των χωρικών δεδομένων όπου στη συνέχεια εισήχθηκαν στα ΣΓΠ ώστε να εφαρμοστούν τα κριτήρια και να γίνει χωρική ανάλυση.

3.8.1 Πολυκριτηριακή Ανάλυση

Η πολυκριτηριακή ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το σκεπτικό αν μία έκταση είναι κατάλληλη ή όχι για να χωροθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Με βάση το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) (ΥΠΕΚΑ, 2015γ) οι ακατάλληλες περιοχές ανάλογα με τα χωρικά δεδομένα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.3. Περιορισμοί ΕΠΧΣΣΑ – Χωρικά Δεδομένα

Περιορισμοί ΕΠΧΣΣΑ	Χωρικά Δεδομένα	Είδος Αποκλεισμού
Περιοχές απόλυτης προστασίας φύσης	Λοιπές περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος	Η έκταση των περιοχών αυτών
Πυρήνες εθνικών δρυμών	Εθνικοί δρυμοί	Η έκταση των περιοχών αυτών
Περιοχές Natura	Natura	Η έκταση των περιοχών αυτών
Δάση και γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας	Χρήσεις γης Corine	Η έκταση των περιοχών αυτών
Χρήσεις γης που δεν επιτρέπονται	Χρήσεις γης Corine	Η έκταση των περιοχών αυτών
Πολυσύχναστοι χώροι	Οικισμοί	Απόσταση από το κέντρο οικισμών έως 750m (εκτός από μικρά χωριά)
Μνημεία και αρχαιολογικοί χώροι προστασίας Α	(Δεν βρέθηκαν δεδομένα)	-
Όρια υδροτόπων διεθνούς σημασίας	Περιοχές προστασίας από Διεθνές Συνθήκες	Η έκταση των περιοχών αυτών
Ακτές κολύμβησης	Ακτογραμμή	Απόσταση από την ακτογραμμή έως 150m
Λατομία και επιφανειακές μεταλλευτικές – εξορυκτικές ζώνες	Χρήσεις γης Corine	Η έκταση των περιοχών αυτών

Χρησιμοποιήθηκαν όμως και μερικοί επιπλέον περιορισμοί με σκοπό τη βελτιστοποίηση του χάρτη καταλληλότητας. Τα επιπλέον αυτά κριτήρια σχετίζονται με το ανάγλυφο της γης αλλά και με φυσικογεωγραφικούς παράγοντες και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.4. Φυσικογεωγραφικοί περιορισμοί – Χωρικά Δεδομένα

Επιπλέον Περιορισμοί	Χωρικά Δεδομένα	Είδος Αποκλεισμού
Εκτάσεις με μεγάλη κλίση	Κλίση	Περιοχές με κλίση μεγαλύτερη από 7°
Καταφύγια άγριας ζωής	Καταφύγια άγριας ζωής	Η έκταση των περιοχών αυτών
Λίμνες	Λίμνες	Η έκταση των περιοχών αυτών
Υδρογραφικό δίκτυο και παραποτάμιες περιοχές	Υδρογραφικό δίκτυο	Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο έως 10m
Απόσταση από κεντρικούς οδούς	Οδικό δίκτυο	Απόσταση από τους κεντρικούς οδούς έως 50m

Πέρα από τους περιορισμούς που ορίζει το ΕΠΧΣΣΑ για λόγους περιβαλλοντικής προστασίας ή αποφυγής ακατάλληλων εκτάσεων, τα επιπλέον κριτήρια επιλέχθηκαν με σκοπό την απόκλιση περιοχών που θα θεωρούνταν ακατάλληλες για χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Όπως, εκτάσεις με κλίση μεγαλύτερη από 7° (12%) όπου η εγκατάσταση θα ήταν δύσκολη, καταφύγια άγριας ζωής τα οποία είναι σημαντικά για την πανίδα της Ελλάδος, προφανώς λίμνες που βρίσκονται στην ηπειρωτική Ελλάδα, υδρογραφικό δίκτυο και οι εκτάσεις δίπλα σε αυτό, εφόσον το έδαφος θα ήταν πιθανώς υγρό και ασταθές για την εγκατάσταση ενός Φ/Β σταθμού, εκτάσεις με απόσταση έως 50m από κεντρικούς οδούς με σκοπό την αποφυγή οπτικής όχλησης από πιθανή ανάκλαση από τα Φ/Β συστήματα και εκτάσεις που υπάρχουν ήδη εγκατεστημένοι Φ/Β σταθμοί. Οι περιορισμοί που προαναφέρθηκαν, δημιουργούνται μέσω των ΣΓΠ σε ανάλογα θεματικά επίπεδα ώστε να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του χάρτη καταλληλότητας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αναφέρεται παρακάτω.

3.8.2 Μεθοδολογία Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

Τα χωρικά δεδομένα τα οποία εισάγονται στο ArcGIS έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και έτσι ανάλογα ακολουθούνται διαφορετικά βήματα. Αρχικά, όλα τα επίπεδα γεωαναφέρονται με τα εργαλεία Project, Define Projection ή Project Raster αναλόγως, ώστε να έχουν κοινό σύστημα αναφοράς D_WGS_1984. Ύστερα, πραγματοποιείται η επεξεργασία των vector επιπέδων η οποία είναι πιο απλή. Με το εργαλείο buffer δημιουργούνται ζώνες γύρω από τα επίπεδα της ακτογραμμής, του υδρογραφικού δικτύου, του οδικού δικτύου και των οικισμών με βάση την απόσταση που έχει οριστεί στην πολυκριτηριακή ανάλυση. Μόνο που στο επίπεδο με τους οικισμούς επιλέγονται όλοι οι οικισμοί εκτός από χωριά με μικρό πληθυσμό και στο επίπεδο με το οδικό δίκτυο επιλέγονται μόνο οι κεντρικοί οδοί όπως η Αττική οδός. Στη συνέχεια, με το εργαλείο Erase διαγράφεται η κάθε έκταση αποκλεισμού (vector) από το επίπεδο με την συνολική έκταση της Ελλάδας (όρια Ελλάδας), αφήνοντας μία «μάσκα» με τις κατάλληλες εκτάσεις. Μετά, το επίπεδο με την κλίση αναταξινομείται με το εργαλείο reclassify σε εκτάσεις με κλίση λιγότερη από 7° και σε εκτάσεις με

κλίση περισσότερη από 7°. Οι ακατάλληλες εκτάσεις με κλίση μεγαλύτερη από 7° παίρνουν την τιμή 0 ενώ οι κατάλληλες εκτάσεις παίρνουν την τιμή 1. Ανάλογα, το επίπεδο με τις χρήσεις γης (Corine 2000) αναταξινομείται με το εργαλείο reclassify σε κατάλληλες και ακατάλληλες εκτάσεις ανάλογα με την κατηγορία χρήσης γης. Η κατηγοριοποίηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, όπου με 0 κατηγοριοποιούνται οι ακατάλληλες εκτάσεις και με 1 οι κατάλληλες.

Πίνακας 3.5. Κατηγοριοποίηση Χρήσεις γης (Corine 2000) βάσει καταλληλότητας

Κωδικός	Χρήσεις γης	Ακατάλληλο (0) ή κατάλληλο (1)
111	Continuous urban fabric	0
112	Discontinuous urban fabric	1
121	Industrial or commercial units	0
122	Road and rail networks and associated land	0
123	Port areas	0
124	Airports	0
131	Mineral extraction sites	0
132	Dump sites	1
133	Construction sites	0
141	Green urban areas	0
142	Sport and leisure facilities	0
211	Non-irrigated arable land	1
212	Permanently irrigated land	0
213	Rice fields	1
221	Vineyards	1
222	Fruit trees and berry plantations	1
223	Olive groves	1
231	Pastures	1
241	Annual crops associated with permanent crops	0
242	Complex cultivation patterns	1
243	Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation	0

244	Agro-forestry areas	1
311	Broad-leaved forest	0
312	Coniferous forest	0
313	Mixed forest	0
321	Natural grasslands	1
322	Moors and heathland	1
323	Sclerophyllous vegetation	1
324	Transitional woodland-shrub	1
331	Beaches - dunes - sands	0
332	Bare rocks	1
333	Sparsely vegetated areas	1
334	Burnt areas	1
335	Glaciers and perpetual snow	0
411	Inland marshes	0
412	Peat bogs	0
421	Salt marshes	0
422	Salines	0
423	Intertidal flats	0
511	Water courses	0
512	Water bodies	0
522	Coastal lagoons	0
523	Estuaries	0

Στο επόμενο βήμα, το επίπεδο με το μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό πολλαπλασιάζεται με το εργαλείο Raster Calculator ώστε οι ψηφίδες που είναι ακατάλληλες με βάση την κλίση και τις χρήσεις γης να πάρουν την τιμή 0. Από την στιγμή που η ελάχιστη τιμή ψηφίδας είναι μεγαλύτερη από 0, αυτός ο υπολογισμός δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα. Οι ακατάλληλες περιοχές με τιμή μηδέν δεν απεικονίζονται, χρησιμοποιώντας κενό χρώμα (no color) για την θεωρητική τους απεικόνιση. Έπειτα, με το εργαλείο extract by mask κρατούνται μόνο οι κατάλληλες εκτάσεις που έχουν παραχθεί από τα vector δεδομένα, από το επίπεδο στο οποίο έχουν μηδενιστεί οι ακατάλληλες εκτάσεις με βάση την κλίση και τις χρήσεις γης. Ο

παραγόμενος χάρτης είναι και ο χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου, όπου περιέχει τη διαβάθμιση του μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού για τις κατάλληλες περιοχές μόνο. Η παλέτα απεικόνισης του ηλιακού δυναμικού στον χάρτη καταλληλότητας είναι ίδια με αυτή του χάρτη του μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού, δηλαδή οι χαμηλές τιμές ηλιακού δυναμικού έχουν αποχρώσεις του μπλε και οι υψηλές τιμές αποχρώσεις του κόκκινου.

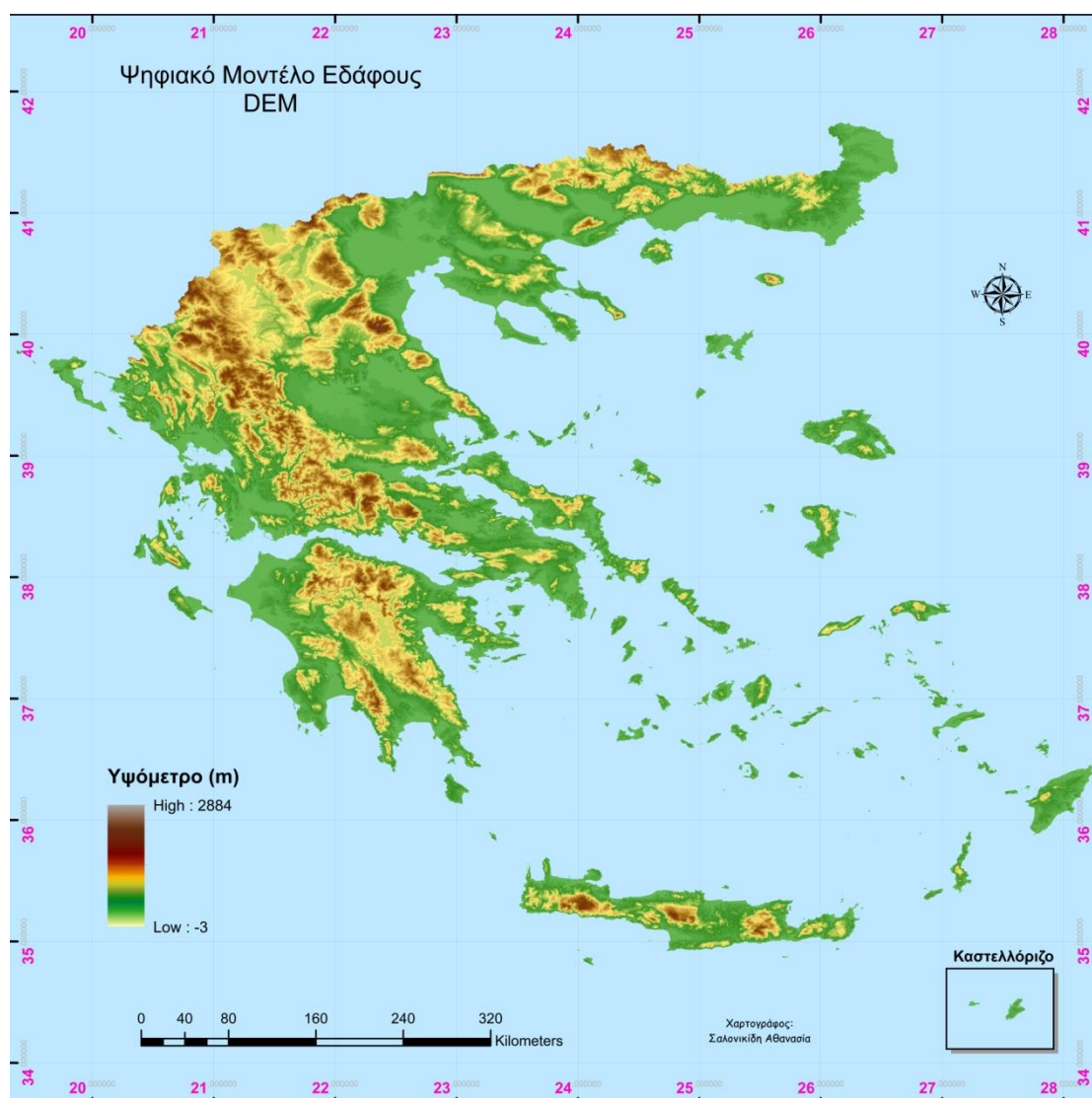
Υπολογίστηκε επιπλέον, με βάση το ανάγλυφο του χώρου της Ελλάδος (DEM) και τους οικισμούς (εκτός από χωριά με μικρό πληθυσμό), χάρτης ορατότητας μίας έκτασης από τους οικισμούς με το εργαλείο viewshed. Ο χάρτης αυτός, όμως, δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω πολυπλοκότητας κατηγοριοποίησής του στην πολυκριτηριακή ανάλυση.

4. Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Σχολιασμός

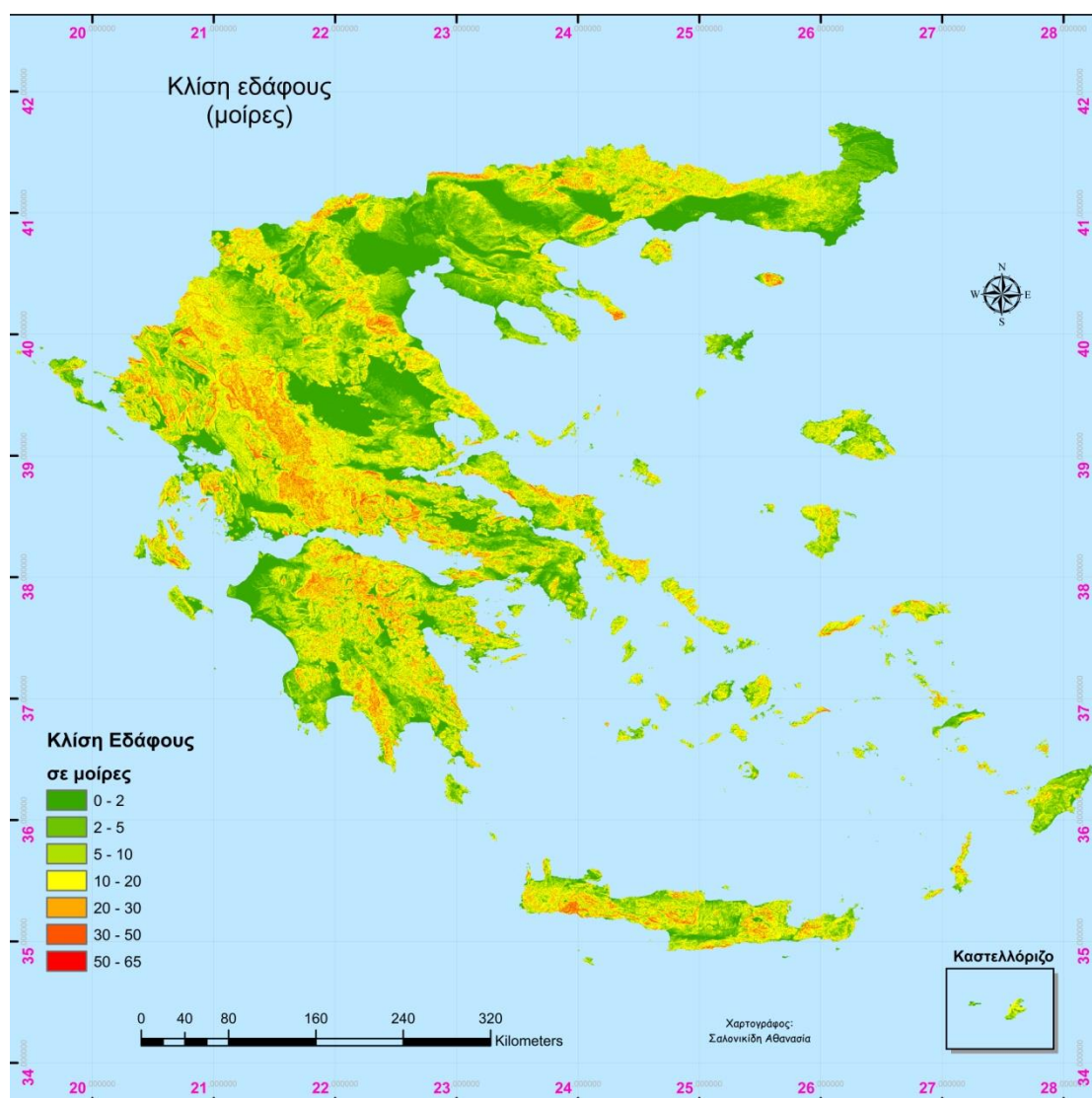
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας όπως και τα δεδομένα που παρήχθησαν στην πορεία κατασκευής των αποτελεσμάτων και πραγματοποιείται ο σχολιασμός τους. Αρχικά, εμφανίζονται τα δεδομένα που παρήχθησαν για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων και αναλύονται συνοπτικά τα στατιστικά τους. Επίσης, αναλύονται και τα στατιστικά στοιχεία των αποτελεσμάτων του συνολικού ηλιακού δυναμικού για κάθε έτος ξεχωριστά, από το 1995 έως το 2009, όπως και του μέσου ημερήσιου ηλιακού δυναμικού κάθε μήνα. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο χάρτης μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού, οι χάρτες με το μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό, ανά μήνα και ανά εποχή, με βάση τα 15 έτη και πραγματοποιείται ο σχολιασμός τους. Τέλος, εμφανίζεται ο χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου.

4.1 Χάρτες Ανάγλυφου, Κλίσης και Προσανατολισμού Κλίσης

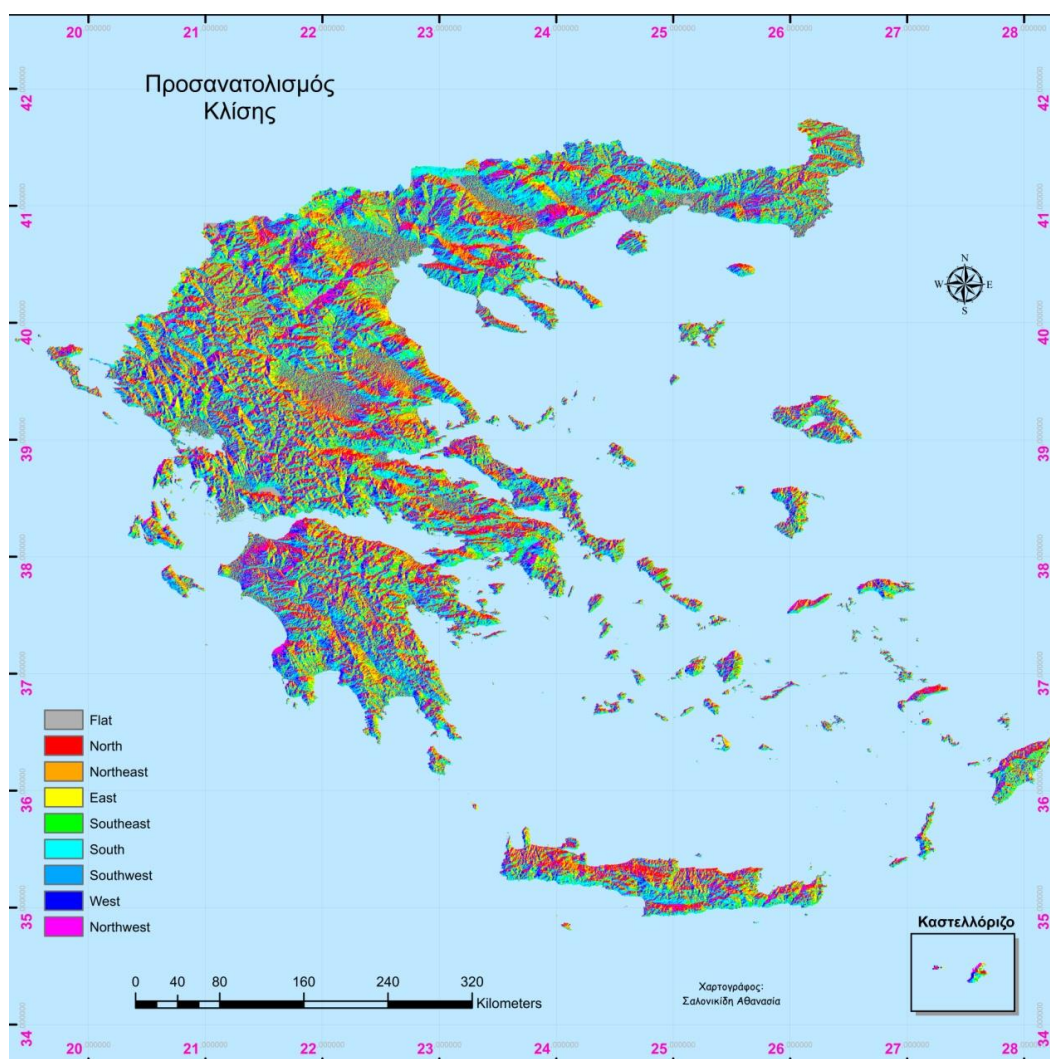
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι χάρτες του ανάγλυφου (1), της κλίσης (2) και του προσανατολισμού κλίσης (3). Ο χάρτης με το ανάγλυφο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των χαρτών 4.1 και 4.2. Οι χάρτες 4.1 και 4.2, προτού κοπούν στα όρια της Ελλάδας, χρησιμοποιήθηκαν σε 8 λωρίδες μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Matlab για να υπολογιστεί το ηλιακό δυναμικό. Ο χάρτης κλίσης χρησιμοποιήθηκε και ως περιορισμός για την κατασκευή του χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου. Επίσης, εμφανίζονται τα ποσοστά κάλυψης ανά κατηγορία και στους δύο χάρτες. Οι χάρτες 4.1, 4.2 και 4.3 φαίνονται παρακάτω.



Χάρτης 4.1. Υψομετρικός χάρτης Ελλάδος



Χάρτης 4.2. Κλίση εδάφους σε μοίρες



Χάρτης 4.3. Προσανατολισμός κλίσης ανά κατηγορίες

Όσον αφορά τα ποσοστά κάλυψης ανά κατηγορία κλίσης, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1. Ποσοστά κάλυψης ανά κατηγορίες κλίσης

Κατηγορίες κλίσης (σε μοίρες)	Ποσοστό κάλυψης
0 – 2	19,54%
2 – 5	18,51%
5 – 10	23,39%
10 – 20	27,26%
20 – 30	9,36%
30 – 50	1,93%
50+	0,01%

Ένα μεγάλο ποσοστό, περίπου 50% της έκτασης της Ελλάδας, έχει κλίση 5 - 20°. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο σχετικά ανώμαλο ανάγλυφό της. Ένα εξίσου μεγάλο ποσοστό (περίπου 40%) έχει κλίση 0 - 5°, το οποίο μπορεί να ερμηνευτεί από το ότι το ανάγλυφο της Ελλάδας είναι αρκετά πολύμορφο. Εφόσον ορίστηκε ως κριτήριο καταλληλότητας οι εκτάσεις με κλίση λιγότερη από 7°, θεωρούνται αρχικά κατάλληλες εκτάσεις, με βάση την κλίση, περίπου το 50% του χώρου της Ελλάδος.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα ποσοστά κάλυψης του προσανατολισμού της κλίσης ανά κατηγορία στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.2. Ποσοστά κάλυψης ανά κατηγορίες προσανατολισμού κλίσης

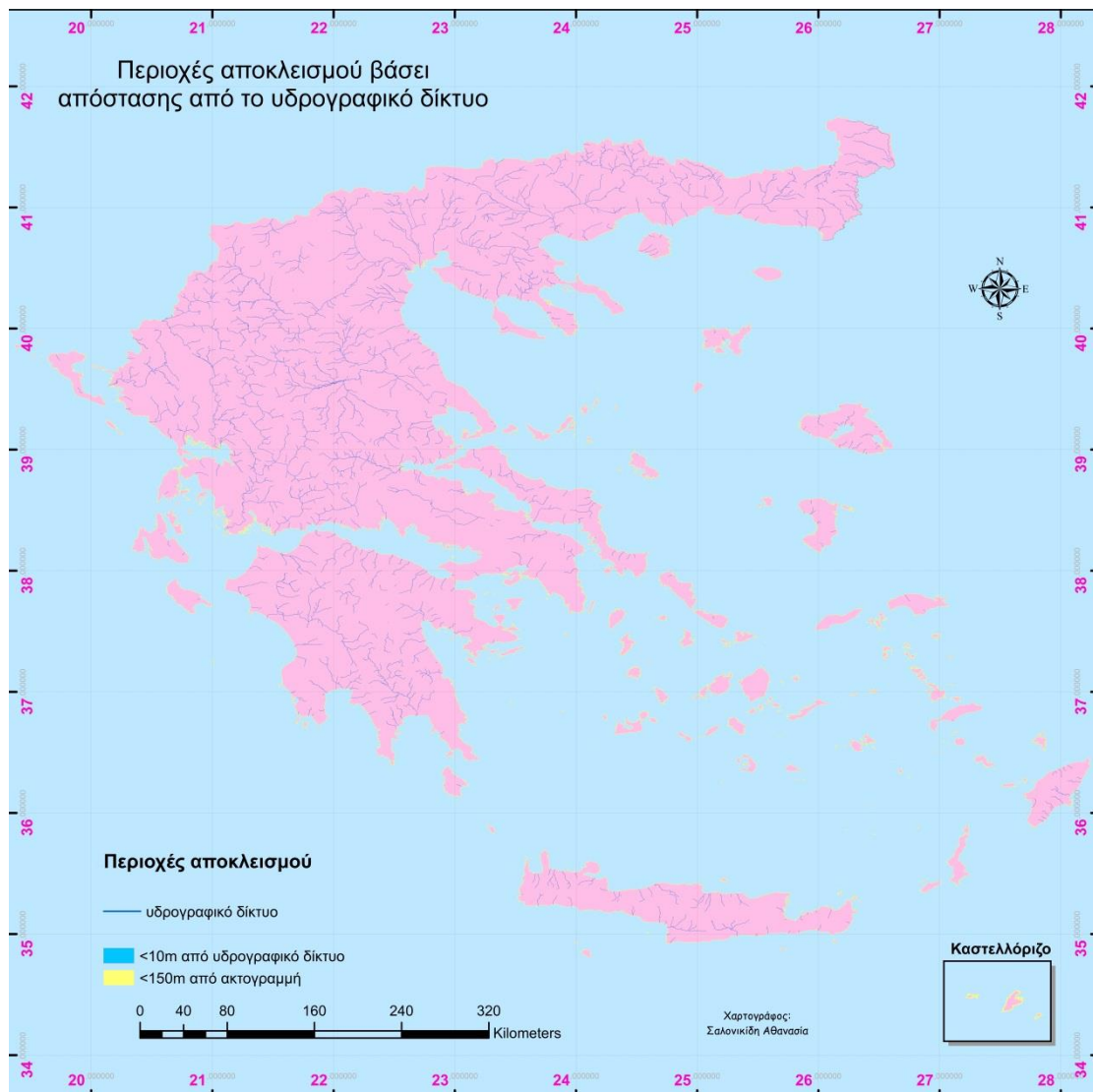
Κατηγορίες προσανατολισμού	Ποσοστό κάλυψης
Επίπεδο	0,66%
Βόρεια	25,55%
Ανατολικά	22,44%
Νότια	30,25%
Δυτικά	21,1%

Οι περισσότερες πλαγιές έχουν νότια κλίση, με αποτέλεσμα να ενισχύεται το ηλιακό δυναμικό σε αυτές. Από την άλλη πλευρά, οι βόρειες πλαγιές αποτελούν το ένα τέταρτο περίπου της συνολικής έκτασης της ηπειρωτικής Ελλάδας, στις οποίες μειώνεται το ηλιακό δυναμικό. Οι επίπεδες εκτάσεις της ηπειρωτικής Ελλάδας αποτελούν μόνο το 0,66%, στις οποίες το ηλιακό δυναμικό είναι ίσο με την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία από την στιγμή που ο συντελεστής $\cos i / \cos z$ είναι ίσος με 1.

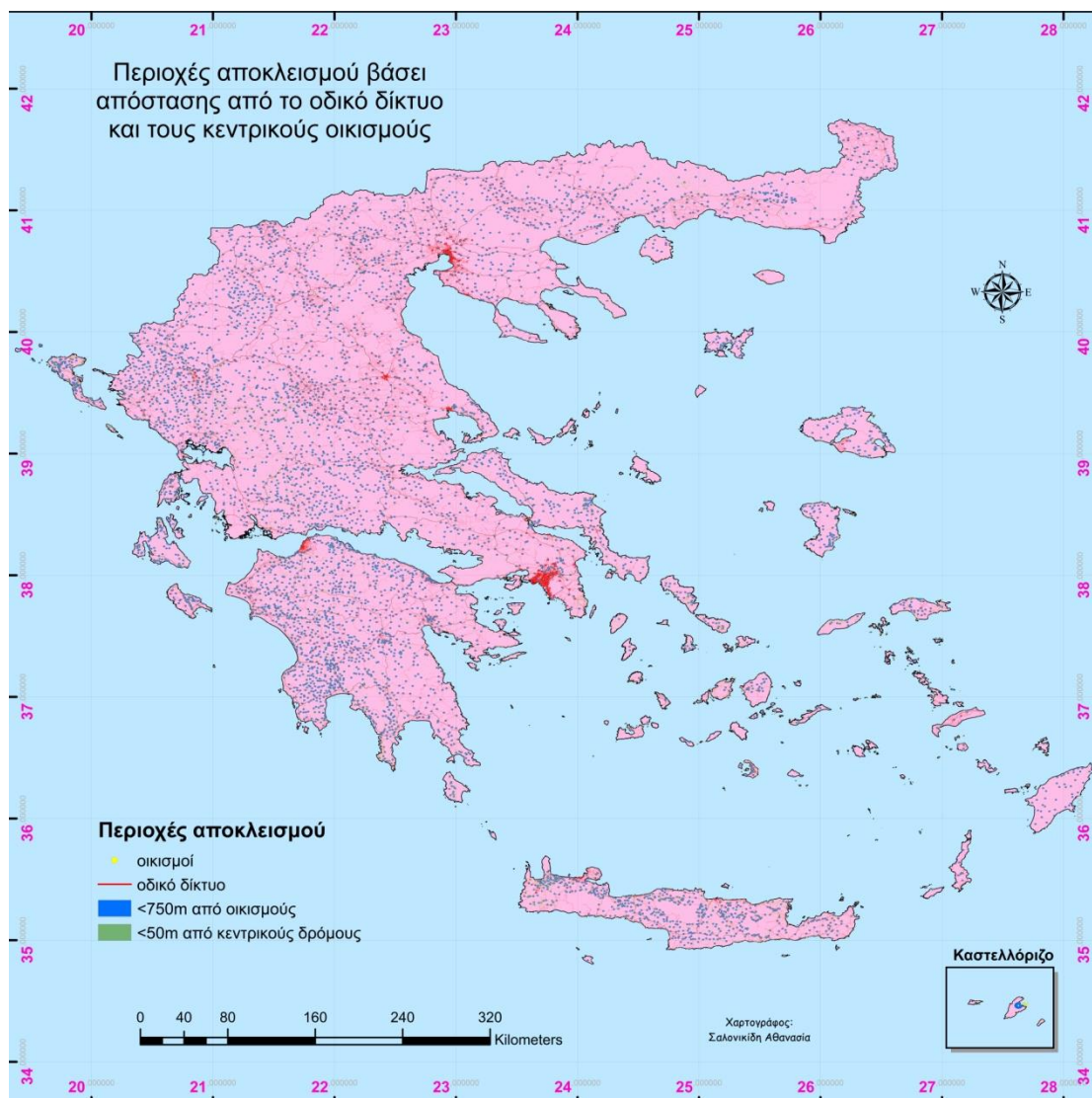
4.2 Δεδομένα Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα δεδομένα που παρήχθησαν στην πορεία κατασκευής του χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου στους χάρτες 4.4 – 4.9 όπως και ο χάρτης ορατότητας (4.10), ο οποίος όμως δεν χρησιμοποιήθηκε, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Τα δεδομένα αυτά

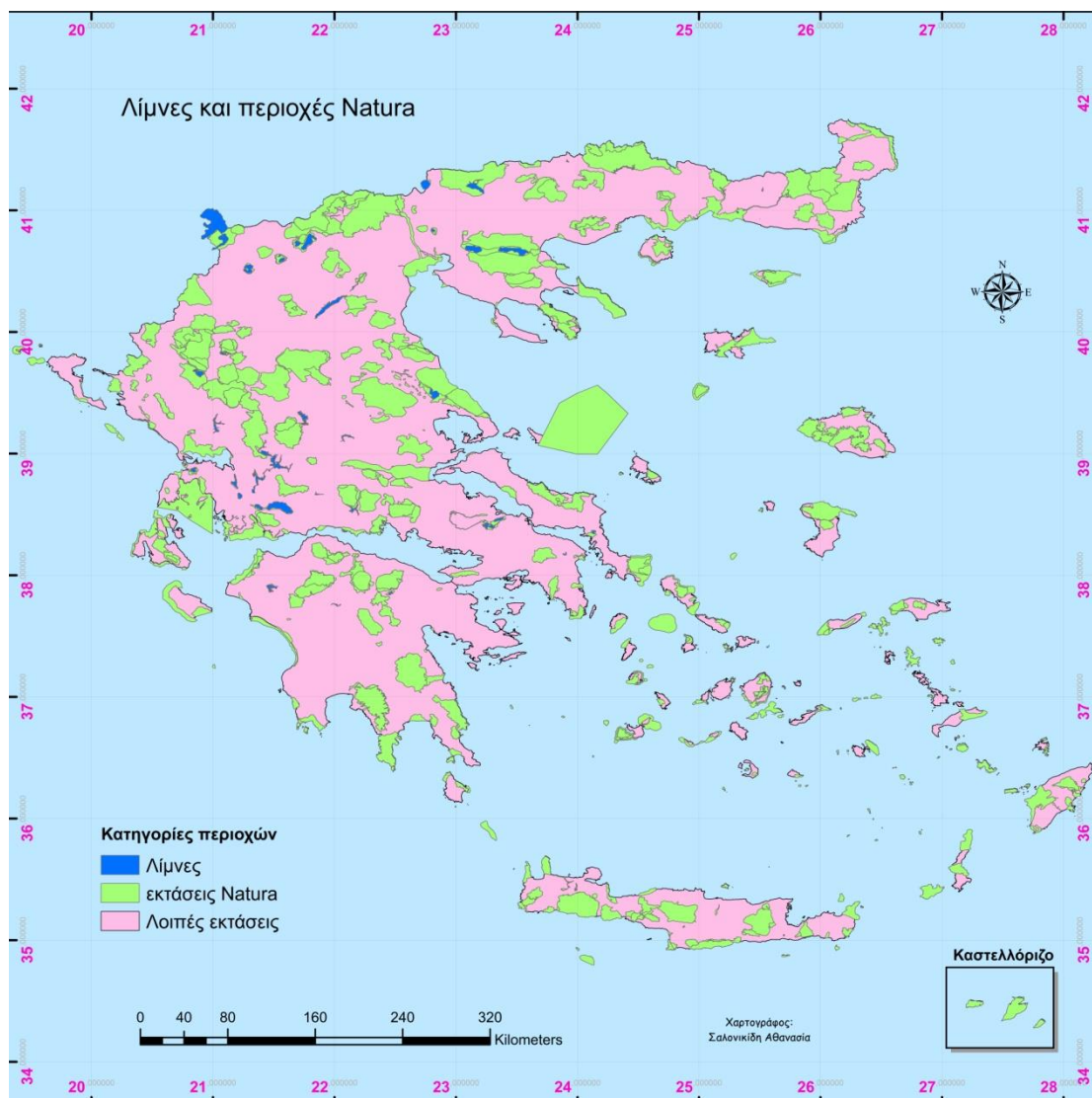
χρησιμοποιήθηκαν ως φίλτρα και το καθένα αντιστοιχούσε σε κάποιον περιορισμό. Οι χάρτες αυτοί φαίνονται παρακάτω.



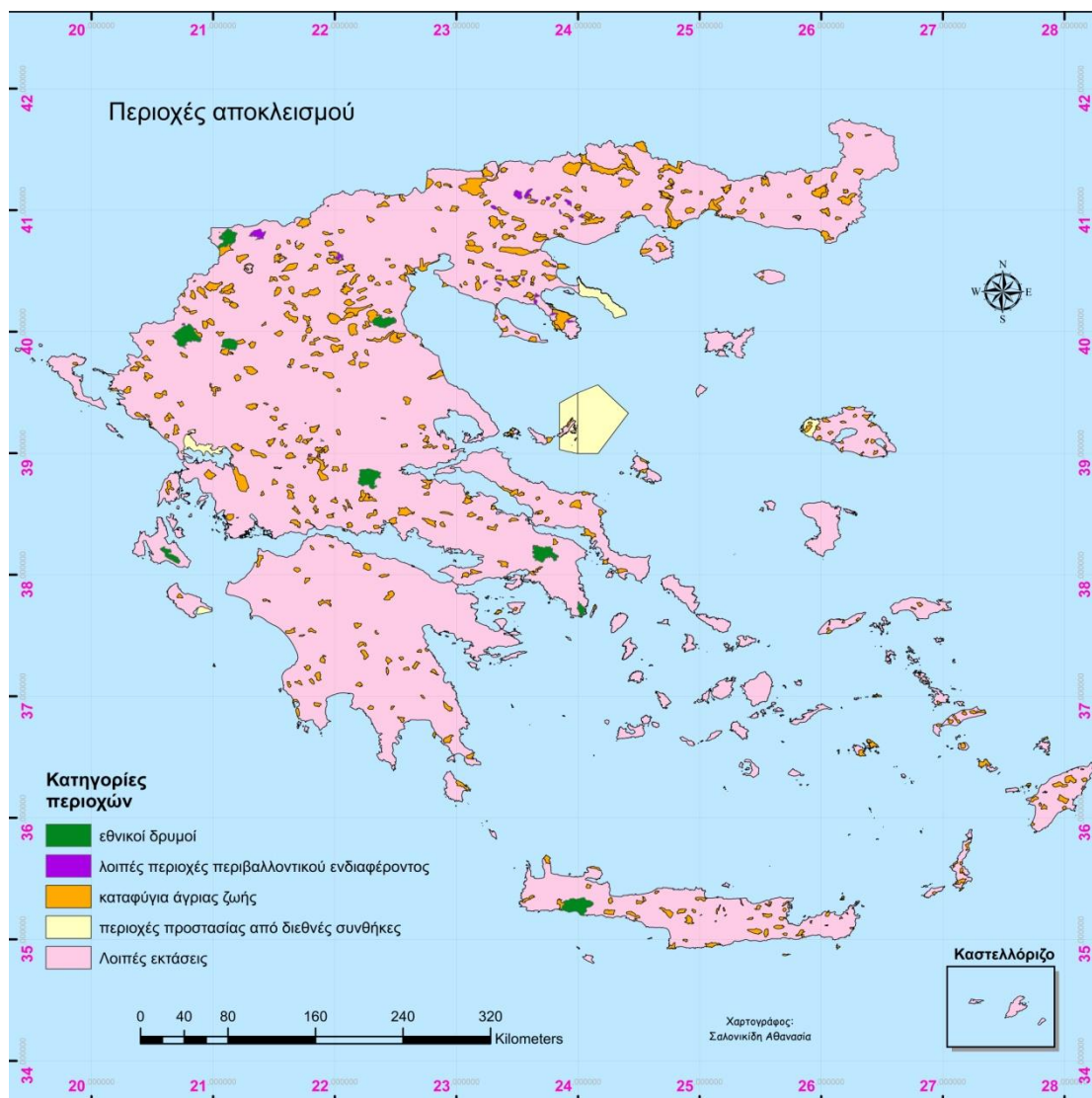
Χάρτης 4.4. Περιοχές αποκλεισμού βάσει απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο



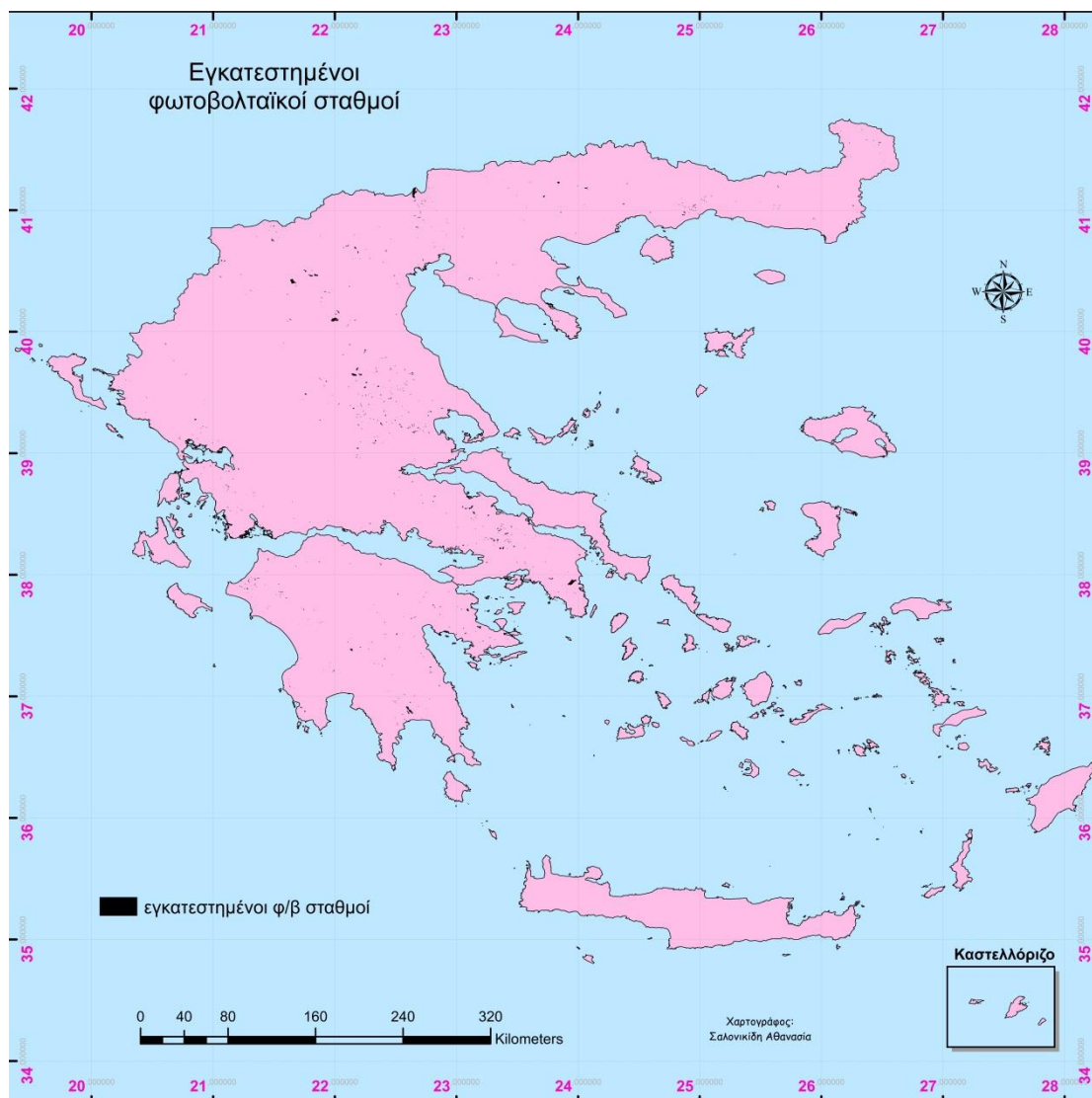
Χάρτης 4.5. Περιοχές αποκλεισμού βάσει απόστασης από το οδικό δίκτυο και τους κεντρικούς οικισμούς



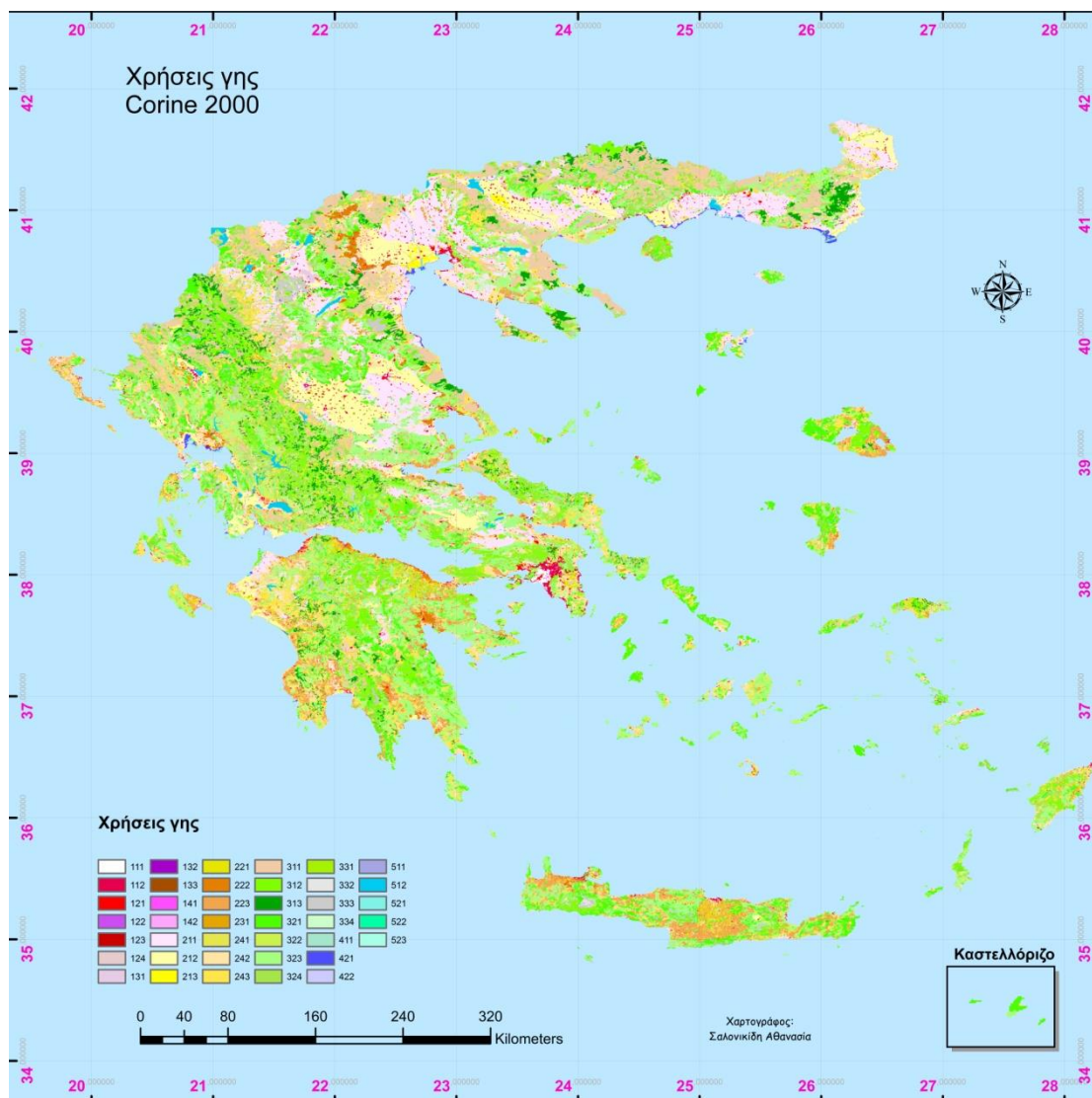
Χάρτης 4.6. Λίμνες και περιοχές Natura



Χάρτης 4.7. Περιοχές αποκλεισμού βάσει διαφόρων περιβαλλοντικών κριτηρίων

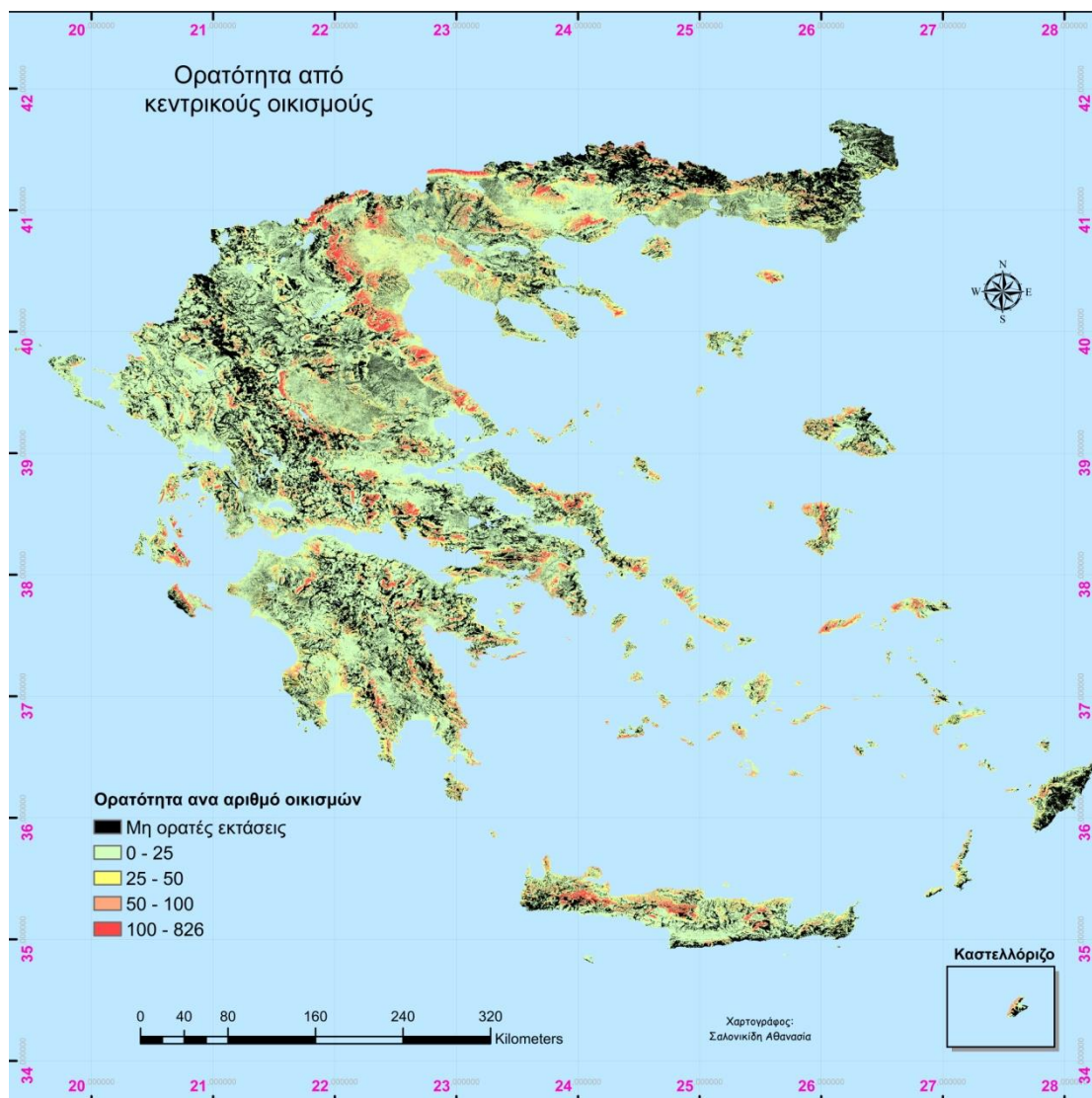


Χάρτης 4.8. Εγκατεστημένοι φωτοβολταϊκοί σταθμοί



Χάρτης 4.9. Κατηγορίες χρήσεις γης (Corine 2000).

Κατάλληλες κατηγορίες για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου: 112, 132, 211, 213, 221, 222, 223, 231, 242, 244, 321, 322, 323, 324, 332, 333, 334



Χάρτης 4.10. Ορατότητα από κεντρικούς οικισμούς

Στο χάρτη 4.4 φαίνονται οι εκτάσεις που έχουν αποκλειστεί με βάση την απόσταση από την ακτογραμμή και το υδρογραφικό δίκτυο. Στο χάρτη 4.5 φαίνονται οι εκτάσεις που έχουν αποκλειστεί με βάση την απόσταση από κεντρικές οδούς όπως και από κεντρικούς οικισμούς (όχι χωριά μικρού πληθυσμού). Στο χάρτη 4.6 φαίνονται οι εκτάσεις που είναι λίμνες ή περιοχές Natura (βάσει του 2011). Στο χάρτη 4.7 φαίνονται οι εκτάσεις που έχουν αποκλειστεί λόγω εθνικών δρυμών, προστασίας από διεθνές συνθήκες, καταφύγια άγριας ζωής και λοιπές περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος. Στο χάρτη 4.8 φαίνονται οι εκτάσεις στις οποίες υπάρχουν εγκατεστημένοι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Στο χάρτη 4.9 φαίνονται οι χρήσεις γης βάσει Corine 2000 ανά κατηγορία. Τέλος, στο χάρτη 4.10 φαίνονται οι εκτάσεις βάσει ορατότητας από κεντρικούς οικισμούς.

4.3 Διαχρονική Μεταβολή Ηλιακού Δυναμικού

Στην ενότητα αυτή πραγματοποιείται μία σύντομη επισκόπηση της χρονικής μεταβολής των στατιστικών του συνολικού ηλιακού δυναμικού σε kWh/m² στο διάστημα 1995 με 2009 και του μέσου ημερήσιου ηλιακού δυναμικού ανά μήνα. Τα στατιστικά που αναλύονται είναι η ελάχιστη τιμή, η μέγιστη τιμή, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση ανά έτος. Η χρονική μεταβολή του συνολικού ηλιακού δυναμικού ανά έτος, η οποία θεωρείται και ως κλιματική ανάλυση, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.3. Στατιστικά ετήσιας μεταβολής συνολικού ηλιακού δυναμικού (kWh/m²)

Έτος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
1995	288,61	2033,6	1503,65	181,4
1996	292,14	2031	1476,39	180,79
1997	297,64	2045,6	1514,11	181,77
1998	295,45	2025,3	1511,39	180,07
1999	297,14	2057,1	1515,56	184,76
2000	296,85	2064,4	1549,71	181,64
2001	296,42	2043,1	1513,49	179,78
2002	296,25	2057,6	1481,09	183,88
2003	294,86	2037	1504,09	174,6
2004	295,07	2046,1	1504,12	183,52
2005	296,84	2037,1	1495,23	180,56
2006	300,51	2053,3	1497,49	183,59
2007	296,45	2047,4	1516,09	181,3
2008	298,67	2057,3	1518,65	183,33
2009	294,85	2029,3	1470,73	180,81

Παρατηρείται ότι με τη πάροδο των χρόνων το ηλιακό δυναμικό δεν αλλάζει ιδιαίτερος. Οι μέγιστες τιμές μειώνονται και αυξάνονται σχεδόν εναλλάξ σε κάθε χρόνο, όπως και οι ελάχιστες τιμές. Η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή και μέσος όρος παρουσιάζονται το 2000, με μικρή όμως διαφορά από τα άλλα έτη. Η μικρότερη ελάχιστη τιμή παρουσιάζεται το 1995, ενώ ο μικρότερος μέσος όρος το 2009. Οι μέσοι όροι που παρουσιάζονται είναι σχετικά σταθεροί με την πάροδο των χρόνων,

αν και θα μπορούσε να σημειωθεί μία ελάχιστη μείωση με τους πιο χαμηλούς μέσους όρους να τους έχουν τα έτη 1996, 2002, 2009. Οι τυπικές αποκλίσεις είναι ανάλογα και αυτές σχετικά σταθερές, με τη μικρότερη τυπική απόκλιση να εμφανίζεται το 2003, κάνοντάς το πιο σταθερό έτος αναλογικά με τα άλλα που μελετούνται, και η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση να εμφανίζεται το 1999, κάνοντάς το ένα σχετικά πιο ασταθές έτος όσον αφορά το συνολικό ηλιακό δυναμικό.

Η σχετική σταθερότητα του ηλιακού δυναμικού με την πάροδο των χρόνων μπορεί να οφείλεται στο ότι στο ηλιακό δυναμικό που έχει υπολογισθεί, δεν έχουν περιληφθεί οι κλιματικές αλλαγές του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ ή η ηλιακή δραστηριότητα, αλλά μόνο οι ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Με βάση τον έλεγχο t-student στο αν οι διαχρονικές μεταβολές του ηλιακού δυναμικού είναι στατιστικά σημαντικές, το p-value παίρνει την τιμή 1 και άρα οι όποιες μεταβολές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Στη συνέχεια, η μεταβολή του μέσου ημερήσιου ηλιακού δυναμικού ανά μήνα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.4. Στατιστικά μεταβολής μέσου ημερήσιου ηλιακού δυναμικού ανά μήνα (kWh/m²)

Μήνας	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
Ιανουάριος	0	2,9	1,82	0,5
Φεβρουάριος	0	3,94	2,56	0,56
Μάρτιος	0,03	5,52	3,8	0,59
Απρίλιος	0,97	6,89	5,04	0,57
Μάιος	1,87	7,68	6,04	0,52
Ιούνιος	2,55	8,05	6,58	0,48
Ιούλιος	2,33	7,88	6,47	0,46
Αύγουστος	1,47	7,47	5,81	0,53
Σεπτέμβριος	0,31	6,57	4,54	0,62
Οκτώβριος	0	4,98	3,19	0,61
Νοέμβριος	0	3,45	2	0,5
Δεκέμβριος	0	2,57	1,5	0,44

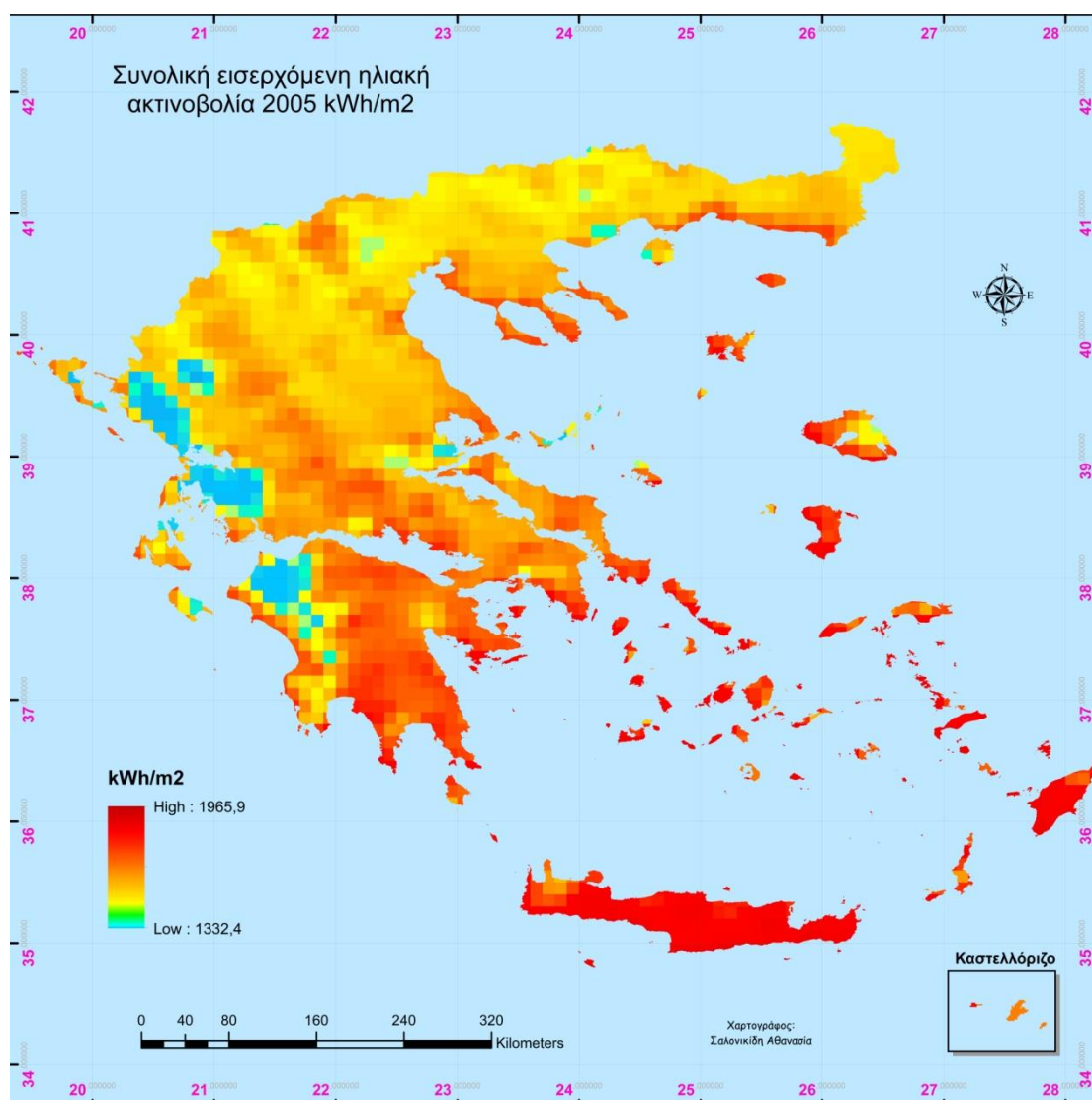
Παρατηρείται ότι τα στατιστικά των μηνών ακολουθούν την αναμενόμενη μεταβολή, δηλαδή όσο πλησιάζει το θερινό ηλιοστάσιο κατά τον Ιούνιο, οι τιμές του ηλιακού δυναμικού αυξάνονται, και όσο πλησιάζει το χειμερινό ηλιοστάσιο, οι τιμές του ηλιακού δυναμικού μειώνονται. Μπορεί να σημειωθεί ότι κατά τις αρχές των μεταβατικών εποχών, άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος) και φθινόπωρο (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος), υπάρχει μία μεγαλύτερη τυπική απόκλιση από τους υπόλοιπους μήνες. Αυτό μπορεί να ερμηνεύσει το ότι υπάρχει μεγαλύτερη διακύμανση του ηλιακού δυναμικού μέσα στο χώρο της Ελλάδος από ότι τους άλλους μήνες.

4.4 Χάρτες Ηλιακού Δυναμικού και εισερχόμενης Ηλιακής Ακτινοβολίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι χάρτες ηλιακού δυναμικού, ο μέσος όρος του συνόλου των 15 ετών μελέτης, ο μέσος όρος του ημερησίου ανά μήνες και ανά εποχές. Οι χάρτες έχουν ως χώρο αναφοράς ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο και ως μονάδα μέτρησης του ηλιακού δυναμικού τις kWh/m². Με αποχρώσεις του μπλε απεικονίζονται οι εκτάσεις με χαμηλό ηλιακό δυναμικό, ενώ με αποχρώσεις του κόκκινου οι εκτάσεις με υψηλό ηλιακό δυναμικό. Επίσης, απεικονίζεται και η μέση συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία για το 2005, ως μέτρο σύγκρισης της διαφοράς από τον χάρτη μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού.

4.4.1 Συνολική εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία 2005

Η συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία του 2005 είναι ουσιαστικά υπολογισμένη με βάση την ατμόσφαιρα και όχι το ανάγλυφο. Λόγω αυτού δεν υπάρχει ενίσχυση ή μείωση του ηλιακού δυναμικού με βάση το ανάγλυφο και η επιφάνεια του εδάφους ουσιαστικά θεωρείται επίπεδη. Η χωρική ανάλυση του χάρτη είναι 10 km και φαίνεται παρακάτω.



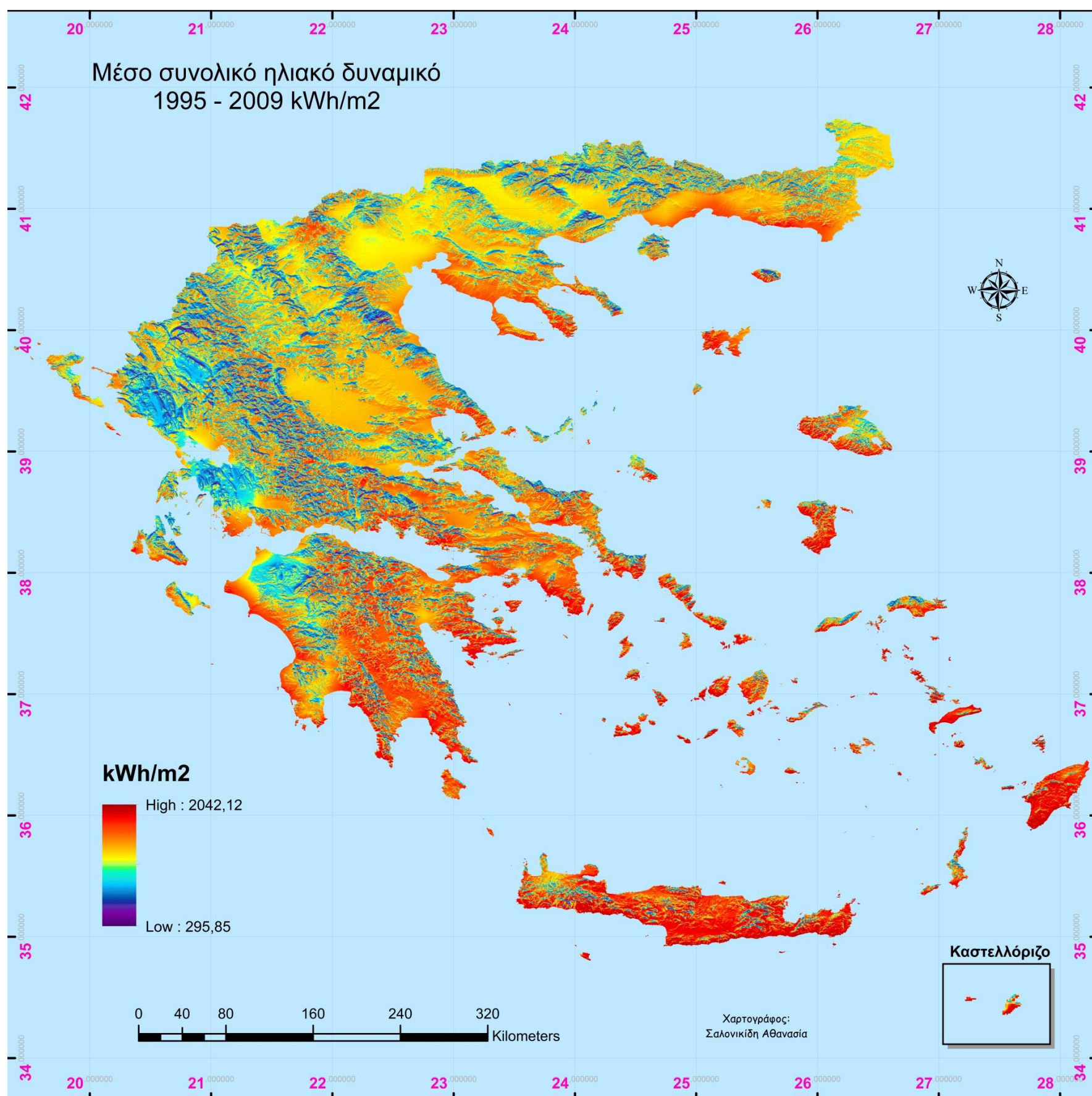
Χάρτης 4.11. Συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία 2005 (kWh/m^2)

Η μέγιστη τιμή είναι $1965,9 \text{ kWh/m}^2$ και η ελάχιστη $1332,4 \text{ kWh/m}^2$. Η χωρική ανάλυση είναι χαμηλής ευκρίνειας και οι ψηφίδες μπορούν να φανούν χωρίς μεγέθυνση του χάρτη. Επίσης, δεν περιλαμβάνεται το ανάγλυφο της επιφάνειας. Είναι όμως εμφανές ότι υπάρχει μεταβολή της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος. Επιπλέον, εμφανής είναι η διαφορά εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας δυτικά της οροσειράς της Πίνδου που πιθανώς να οφείλεται σε νεφοκάλυψη.

4.4.2 Μέσο συνολικό Ηλιακό Δυναμικό

Το μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό έχει υπολογιστεί από το μέσο όρο των 15 ετών, όπου το κάθε έτος αποτελούσε το συνολικό ηλιακό δυναμικό αθροιστικά του έτους

αυτού. Το μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό εκφράζεται σε kWh/m² και η κατανομή του στον ελλαδικό χώρο φαίνεται στον παρακάτω χάρτη.



Χάρτης 4.12. Μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό 1995 – 2009 (kWh/m²)

Παρατηρείται πως όσο το γεωγραφικό πλάτος είναι μικρότερο (δηλαδή όσο πιο νότια) και οι περιοχές πλησιάζουν στον ισημερινό, τόσο το ηλιακό δυναμικό παίρνει μεγαλύτερες τιμές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι περιοχές στον ισημερινό δέχονται το περισσότερο ηλιακό δυναμικό εφόσον βρίσκονται πιο κοντά στον ήλιο από οποιαδήποτε άλλη περιοχή πάνω στη Γη. Όσον αφορά τις πλαγιές με βάση τον προσανατολισμό τους, οι νότιες πλαγιές δέχονται το περισσότερο ηλιακό δυναμικό, γεγονός που οφείλεται στο ότι η Ελλάδα βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο της Γης και αναλογικά ο ήλιος «βλέπει» την Ελλάδα από το νότο. Αντίστοιχα, οι βόρειες πλαγιές δέχονται λιγότερο ηλιακό δυναμικό. Επιπλέον, παρατηρήθηκε πως μία πλαγιά με κλίση της τάξεως των 18° μοιρών παρουσιάζει να δέχεται περισσότερο ηλιακό δυναμικό από άλλες.

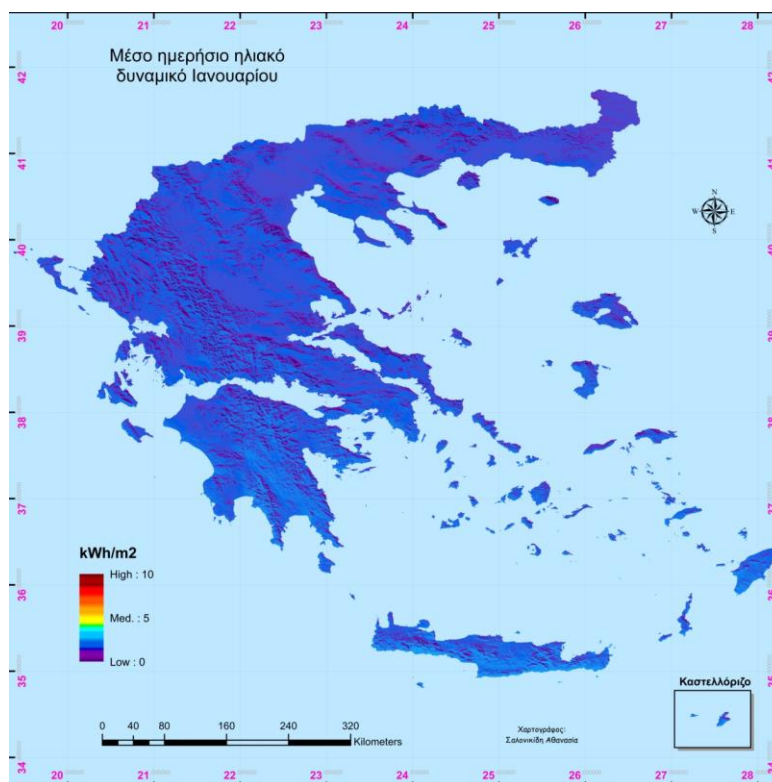
Το μέγιστο, κατά μέσο όρο, ηλιακό δυναμικό που παρουσιάζει η ηπειρωτική Ελλάδα είναι 2042 kWh/m^2 , ενώ το ελάχιστο 296 kWh/m^2 . Κατά μέσο όρο ο ελλαδικός χώρος δέχεται 1505 kWh/m^2 ετησίως, όπου η τυπική απόκλιση είναι της τάξεως των 181 kWh/m^2 . Με βάση και το χάρτη 4.11 της μέσης συνολικής εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, το μέγιστο του χάρτη 4.12 είναι μεγαλύτερο από του χάρτη 4.11 και το ελάχιστο είναι μικρότερο. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι λόγω της ενίσχυσης και μείωσης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με βάση το ανάγλυφο, η διακύμανση του ηλιακού δυναμικού θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη από αυτή της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό που κάνει ουσιαστικά τη διαφορά, είναι ότι μέσα από όλη τη μεθοδολογία που έχει ακολουθηθεί, έχει εισαχθεί η επιρροή του ανάγλυφου στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία υπολογίζεται σε επίπεδη επιφάνεια, και έχει ως αποτέλεσμα το ηλιακό δυναμικό. Επιπλέον, ο χάρτης 4.12 στον οποίο έχει εισαχθεί το ανάγλυφο και έχει αρκετά μεγαλύτερη χωρική ανάλυση (40 φορές μεγαλύτερη) από το χάρτη 4.11, η χωρική του διακύμανση και ανομοιογένεια γειτονικών ψηφιδών είναι αρκετά μεγαλύτερη

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τη χωρική κατανομή του ηλιακού δυναμικού, η Κρήτη, η Ρόδος αλλά και τα Δωδεκάνησα, ως από τα πιο νότια σημεία της Ελλάδας, δέχονται μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακού δυναμικού από άλλες περιοχές, φτάνοντας και τις 2000 kWh/m^2 τον χρόνο. Αντίθετα, δυτικά από την οροσειρά της Πίνδου, ειδικά σε πλαγιές με μεγάλη κλίση ($>30^\circ$), παρουσιάζονται σχετικά χαμηλά επίπεδα

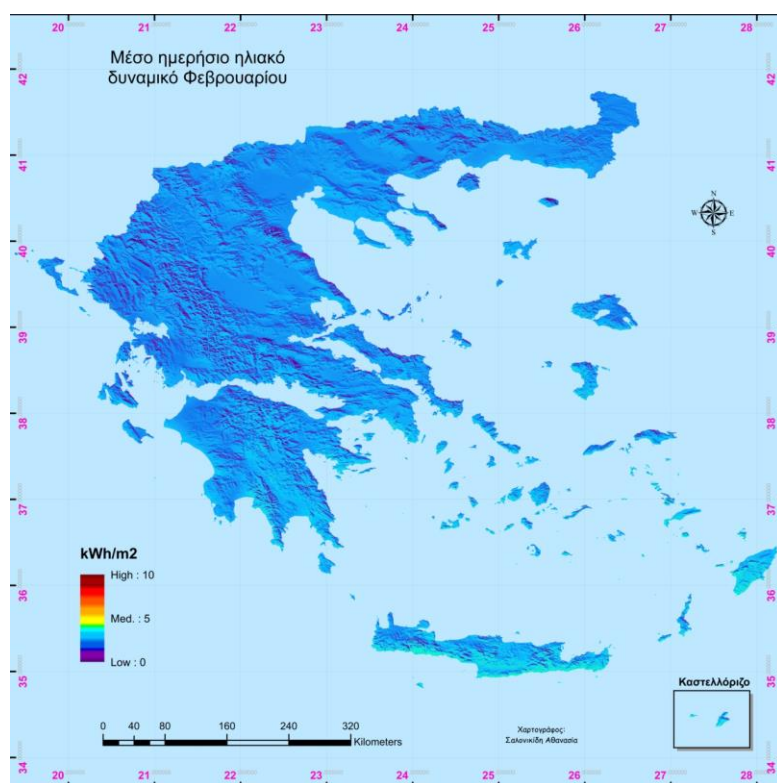
ηλιακού δυναμικού με περίπου 700 kWh/m^2 τον χρόνο, γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στην αυξημένη νεφοκάλυψη που υπάρχει στις περιοχές αυτές. Τέλος, γενικά παρατηρείται πως όλες οι νότιες άκρες της ηπειρωτικής Ελλάδας έχουν σχετικά υψηλό ηλιακό δυναμικό, γεγονός που οφείλεται στο ότι οι νότιες άκρες έχουν και κατά κόρον νότιο προσανατολισμό κλίσης.

4.4.3 Μέσο ημερήσιο Ηλιακό Δυναμικό ανά μήνες

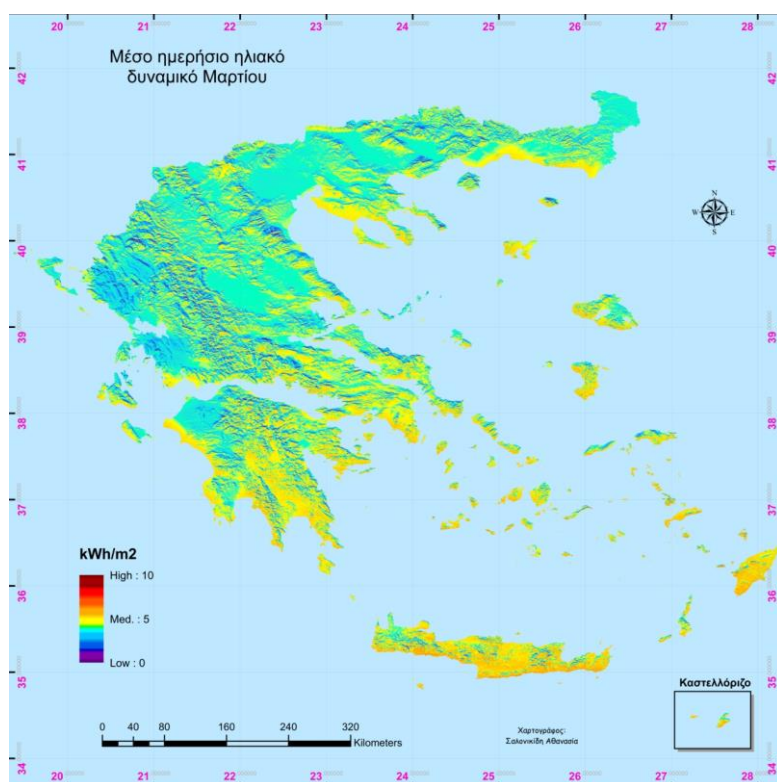
Το μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό για κάθε μήνα έχει υπολογιστεί από το μέσο όρο των 15 ετών του κάθε μήνα αντίστοιχα, όπου ο αθροιστικός μέσος όρος των 15 ετών κάθε μήνα έχει διαιρεθεί με τις ημέρες που περιέχει κάθε μήνας ανάλογα, ώστε το αποτέλεσμα να είναι σε ημερήσια βάση. Το μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό κάθε μήνα εκφράζεται σε kWh/m^2 και η κατανομή τους στον ελλαδικό χώρο φαίνεται στους παρακάτω χάρτες.



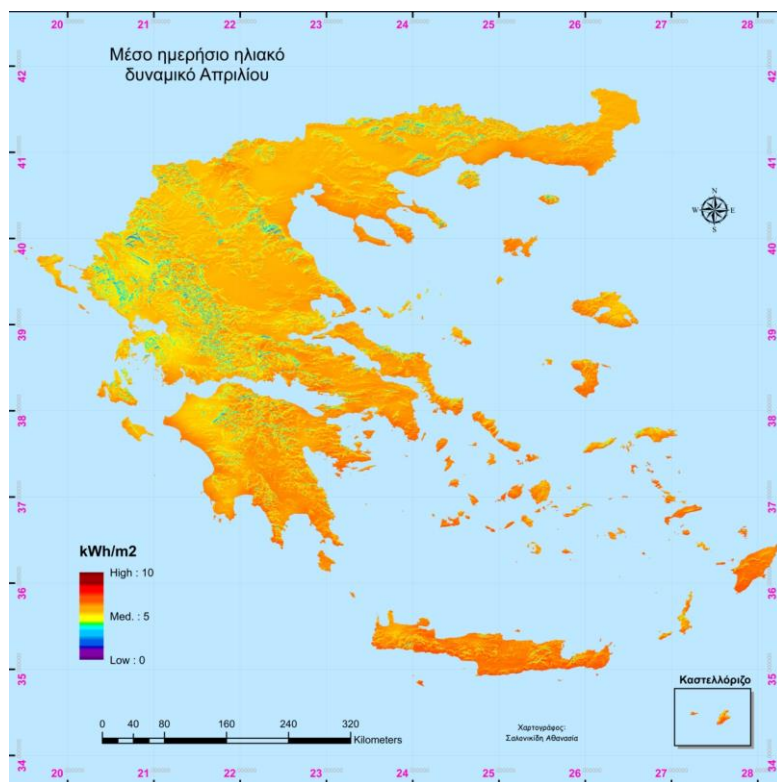
Χάρτης 4.13. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Ιανουαρίου (kWh/m^2)



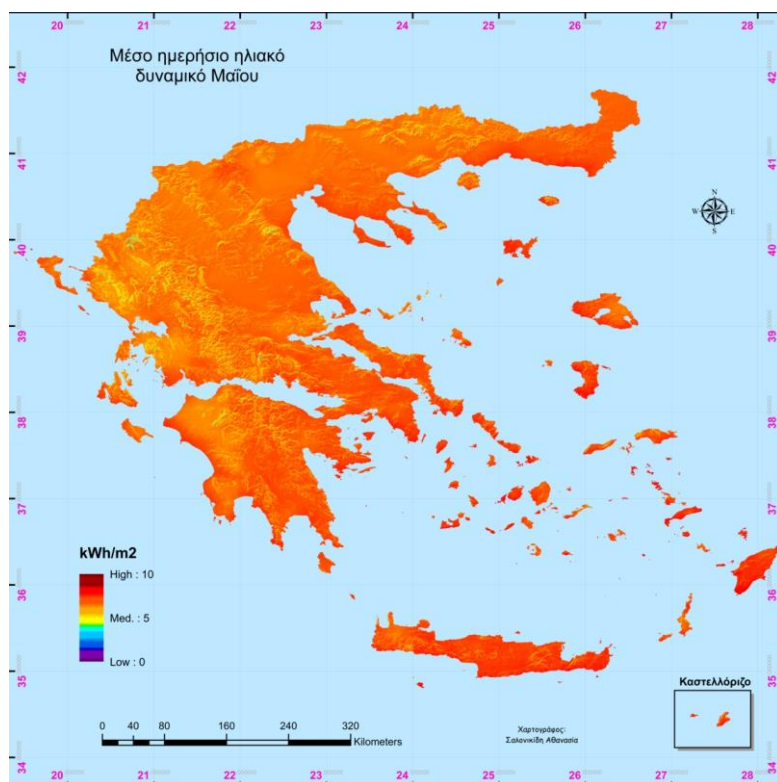
Χάρτης 4.14. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Φεβρουαρίου (kWh/m²)



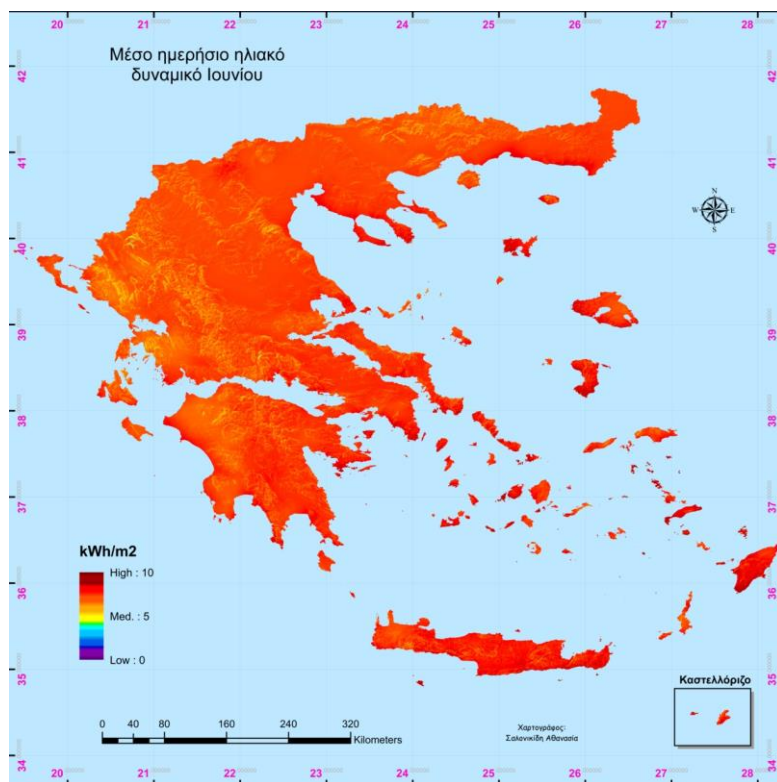
Χάρτης 4.15. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Μαρτίου (kWh/m²)



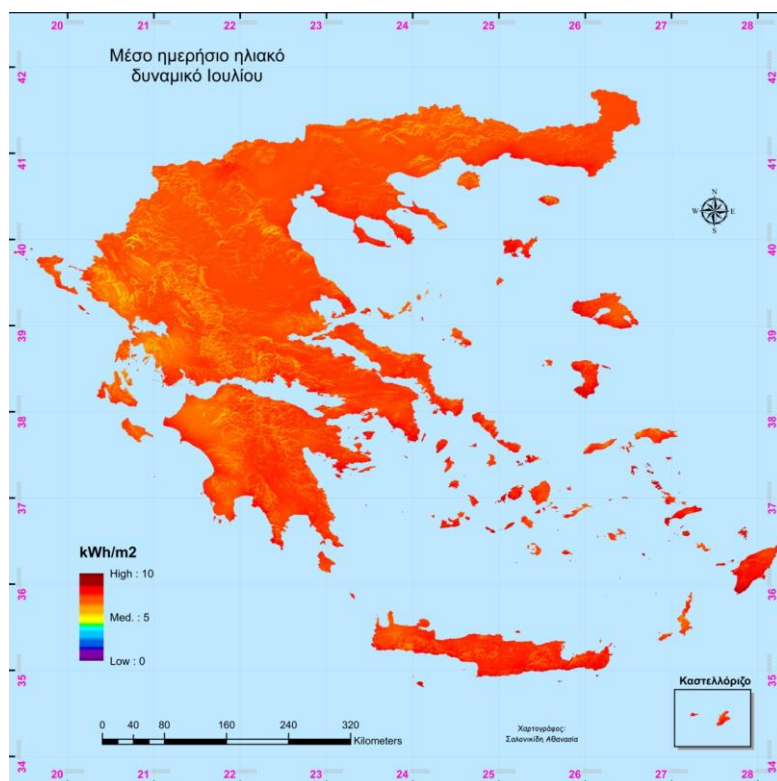
Χάρτης 4.16. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Απριλίου (kWh/m²)



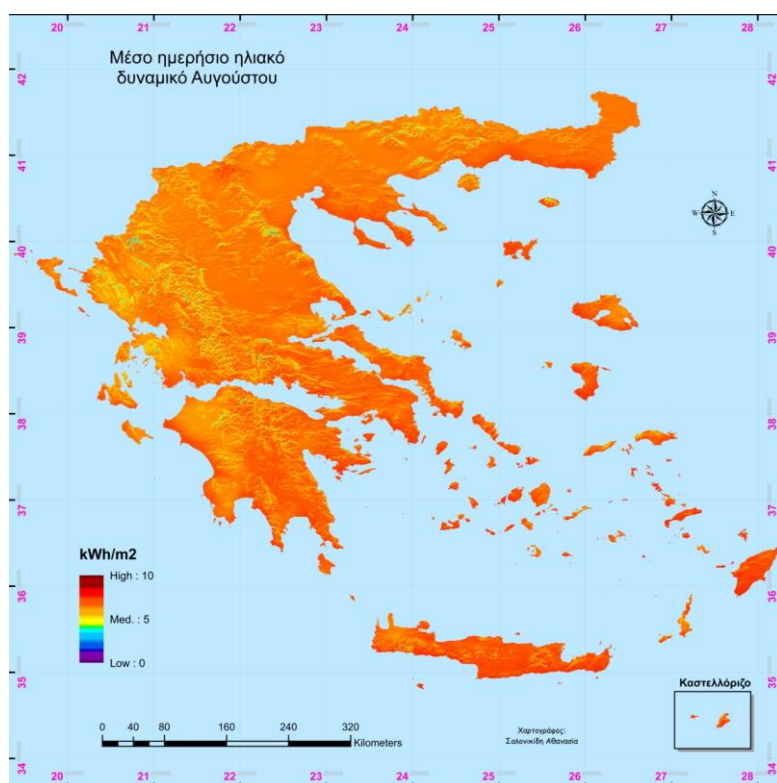
Χάρτης 4.17. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Μαΐου (kWh/m²)



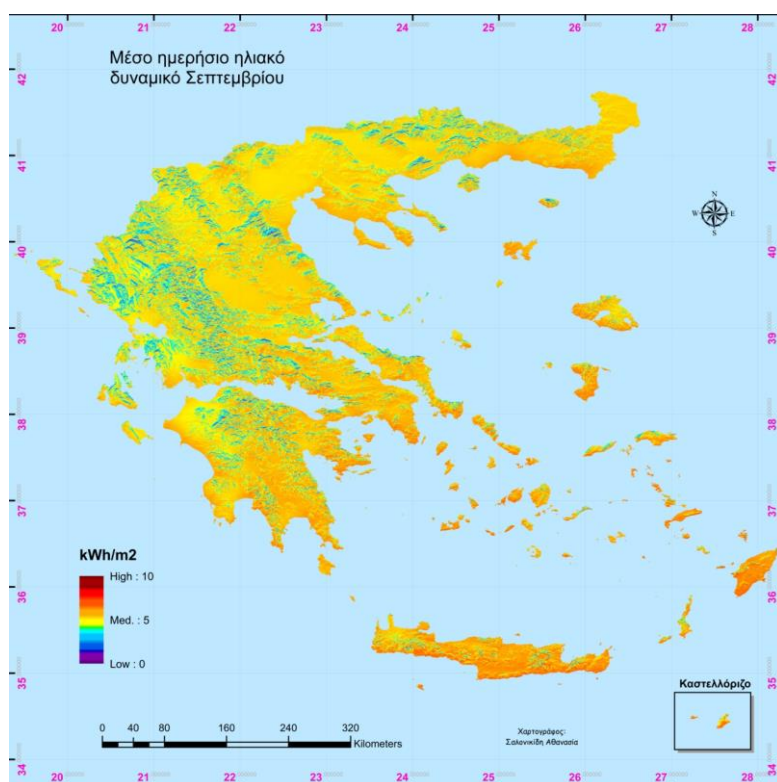
Χάρτης 4.18. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Ιουνίου (kWh/m^2)



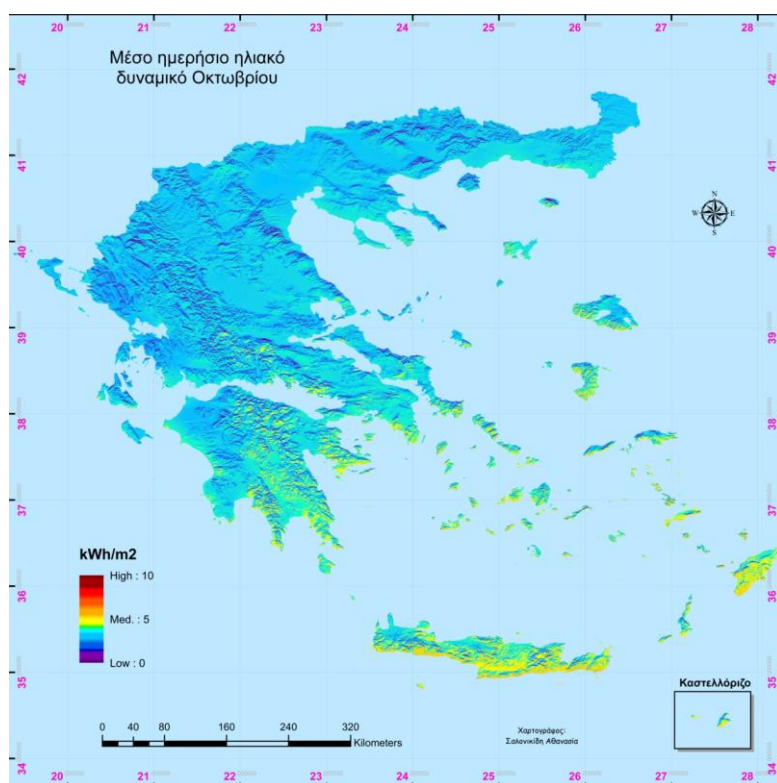
Χάρτης 4.19. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Ιουλίου (kWh/m^2)



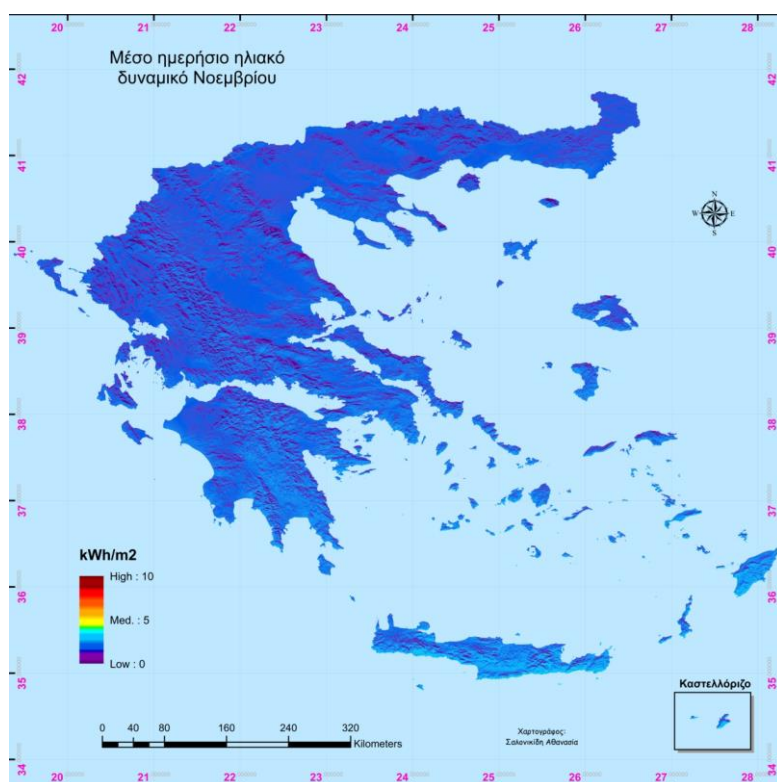
Χάρτης 4.20. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Αυγούστου (kWh/m²)



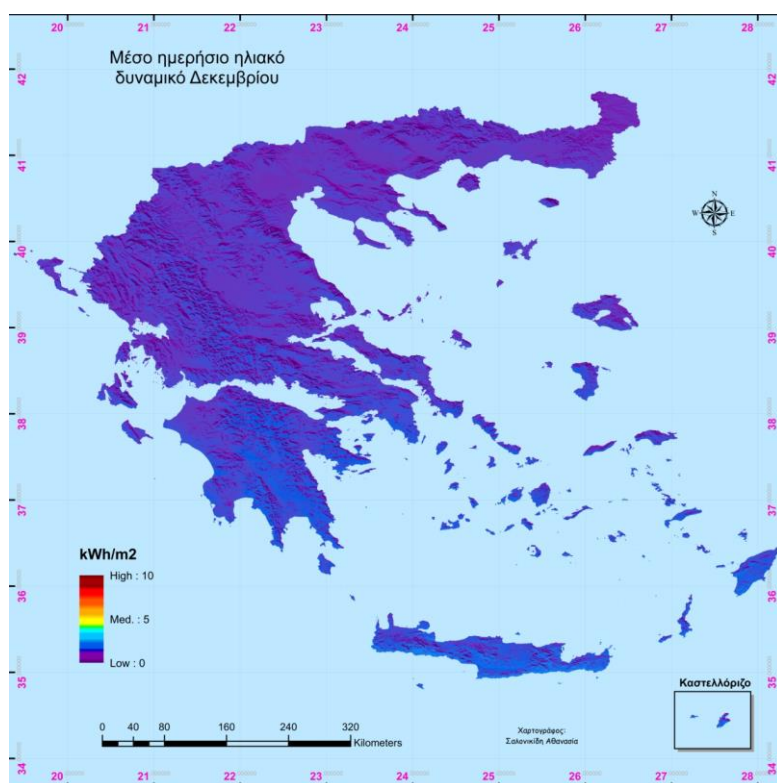
Χάρτης 4.21. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Σεπτεμβρίου (kWh/m²)



Χάρτης 4.22. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Οκτωβρίου (kWh/m^2)



Χάρτης 4.23. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Νοεμβρίου (kWh/m^2)



Χάρτης 4.24. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό Δεκεμβρίου (kWh/m^2)

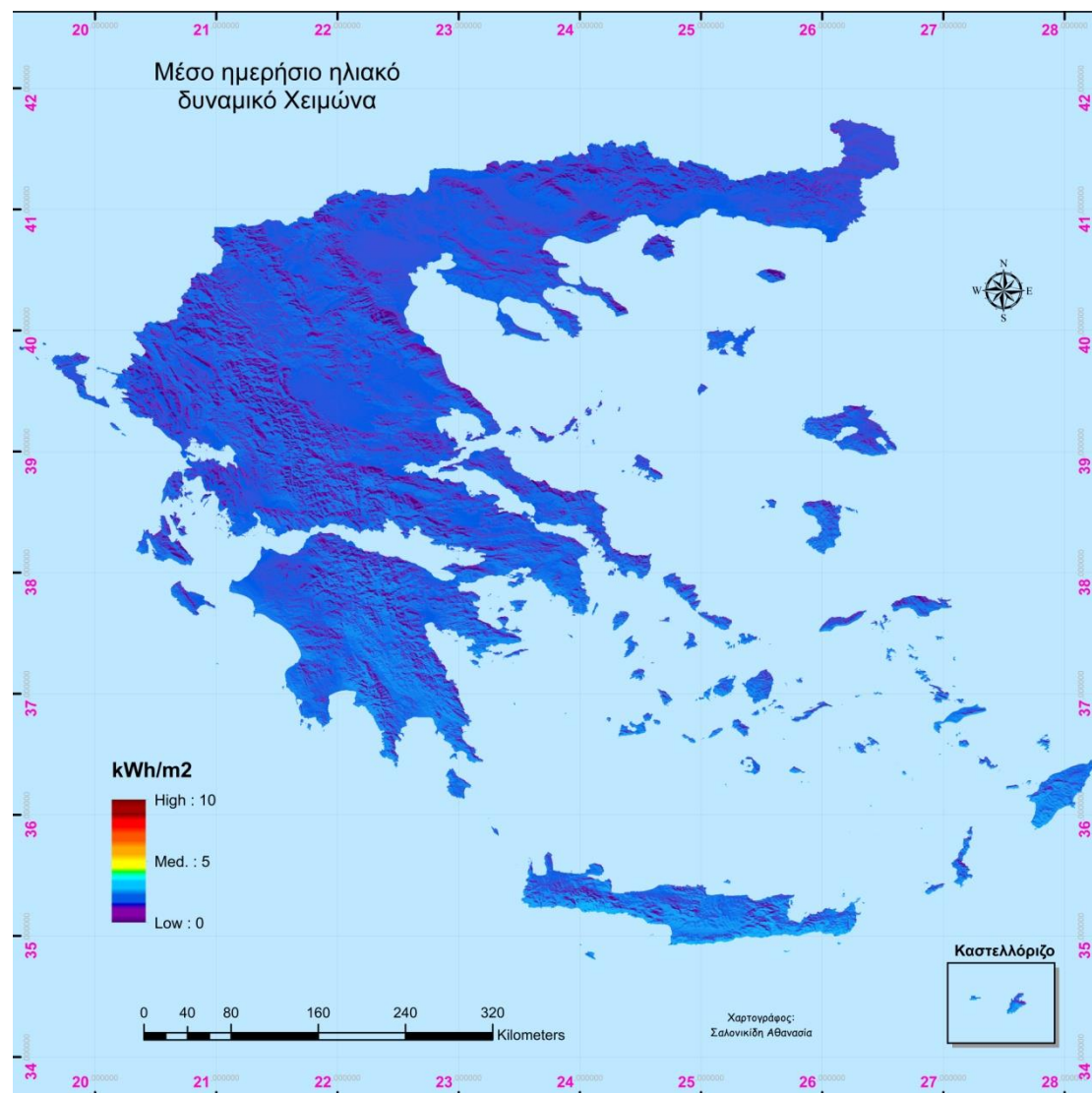
Όσον αφορά την ταξινόμηση του ηλιακού δυναμικού μέσα στο χώρο, ισχύει η ίδια λογική όπως και στο χάρτη 4.12. Όσο μικρότερο είναι το γεωγραφικό πλάτος και ο προσανατολισμός της κλίσης είναι νότιος, τόσο το ηλιακό δυναμικό είναι αυξημένο. Σχετικά με την κατανομή του ηλιακού δυναμικού μέσα στους μήνες, η διακύμανση είναι αναμενόμενη. Ο Δεκέμβριος παρουσιάζει το χαμηλότερο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό και ο Ιούνιος, με μικρή διαφορά από τον Ιούλιο, παρουσιάζει το μεγαλύτερο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό. Αυτό μπορεί να ισχύει και με τη λογική ότι το Δεκέμβριο είναι το χειμερινό ηλιοστάσιο και υπάρχει η μικρότερη διάρκεια μέρας, ενώ τον Ιούνιο είναι το θερινό ηλιοστάσιο και υπάρχει η μεγαλύτερη διάρκεια μέρας. Οι υπόλοιποι μήνες όσο πιο κοντά είναι στο Δεκέμβριο τόσο πιο χαμηλό ηλιακό δυναμικό έχουν και όσο πιο κοντά στον Ιούνιο τόσο πιο υψηλό.

Σε μερικούς μήνες παρατηρείται ελάχιστο ηλιακό δυναμικό 0, το οποίο ερμηνεύεται ως ότι υπάρχουν βόρειες απότομες πλαγιές οι οποίες δεν έχουν καθόλου ηλιακό δυναμικό κατά όλη τη διάρκεια του μήνα αυτού. Αυτό οφείλεται στη θέση του ήλιου τους μήνες αυτούς, στον προσανατολισμό της κλίσης και την κλίση. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και

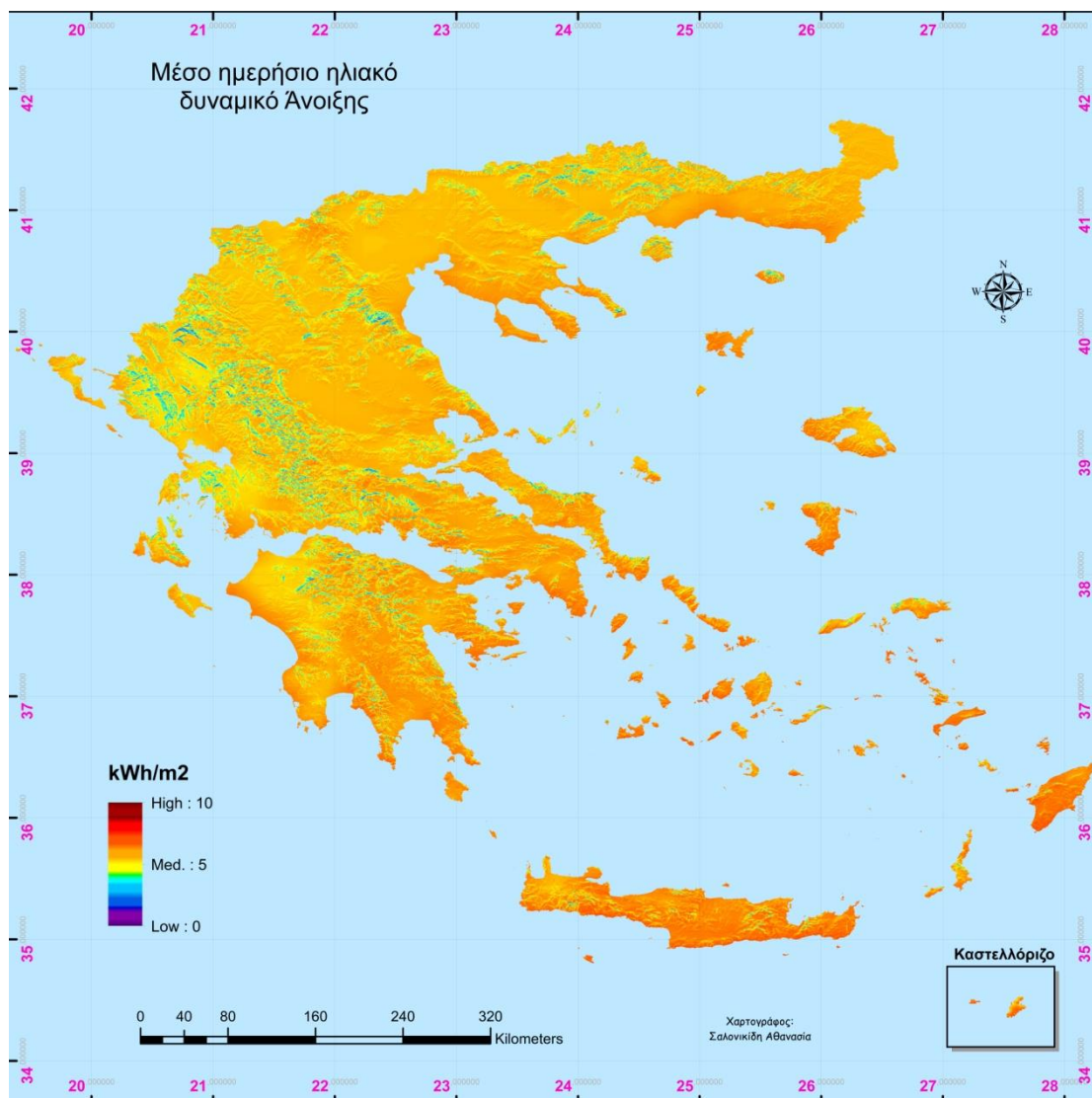
Δεκέμβριο, στους μήνες που ουσιαστικά είναι πιο κοντά στο χειμερινό ηλιοστάσιο και ο ήλιος βρίσκεται πιο χαμηλά στον ορίζοντα από ότι σε άλλους μήνες.

4.4.4 Μέσο ημερήσιο Ηλιακό Δυναμικό ανά εποχές

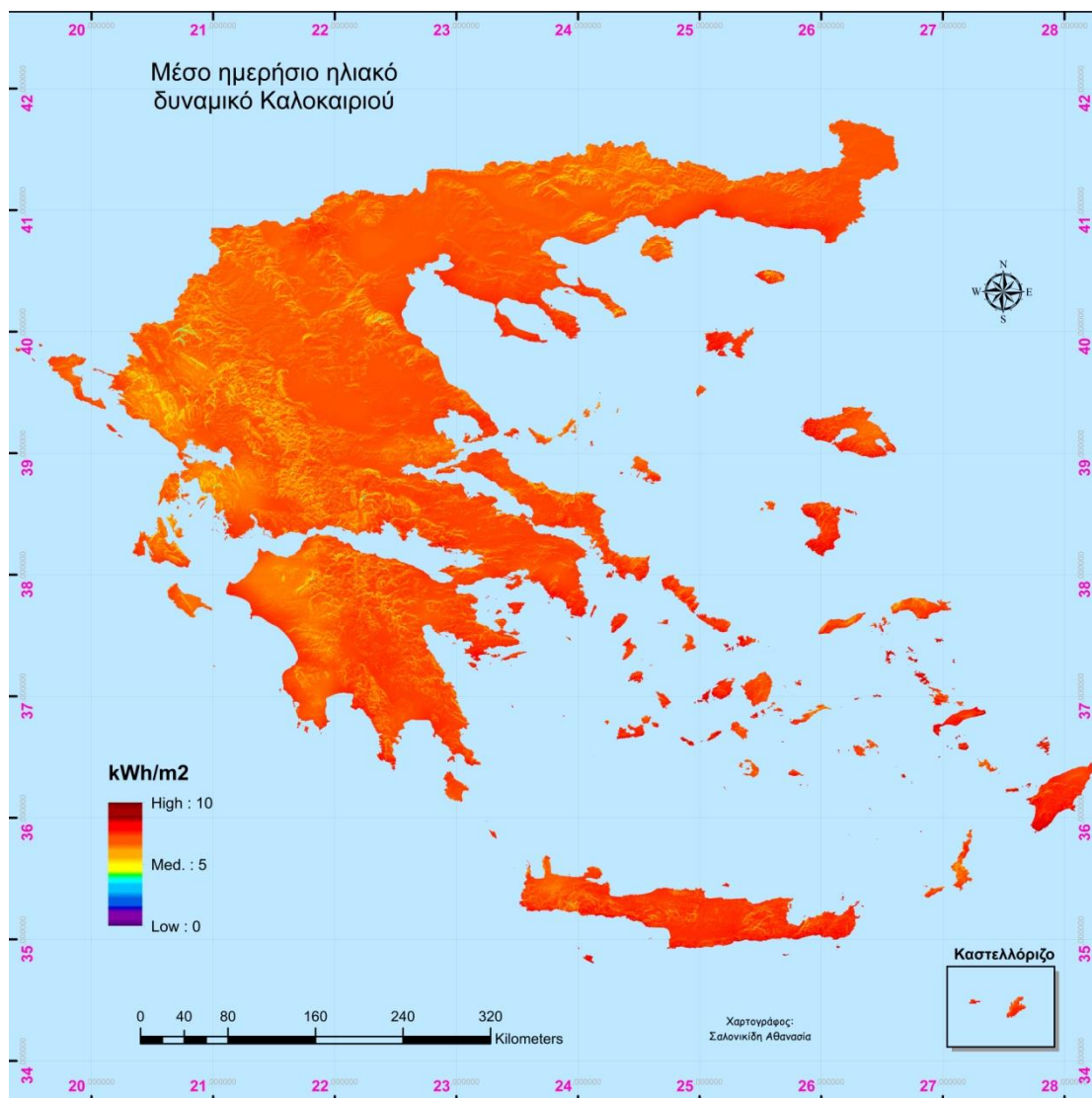
Το μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό για κάθε εποχή έχει υπολογιστεί από το μέσο όρο των 15 ετών του αθροίσματος των ανάλογων μηνών, όπου ο αθροιστικός μέσος όρος των 15 ετών κάθε εποχή έχει διαιρεθεί με τις ημέρες που περιέχει η κάθε εποχή, ώστε το αποτέλεσμα να είναι σε ημερήσια βάση. Το μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό κάθε εποχής εκφράζεται σε kWh/m^2 και η κατανομή τους στον ελλαδικό χώρο φαίνεται στους παρακάτω χάρτες.



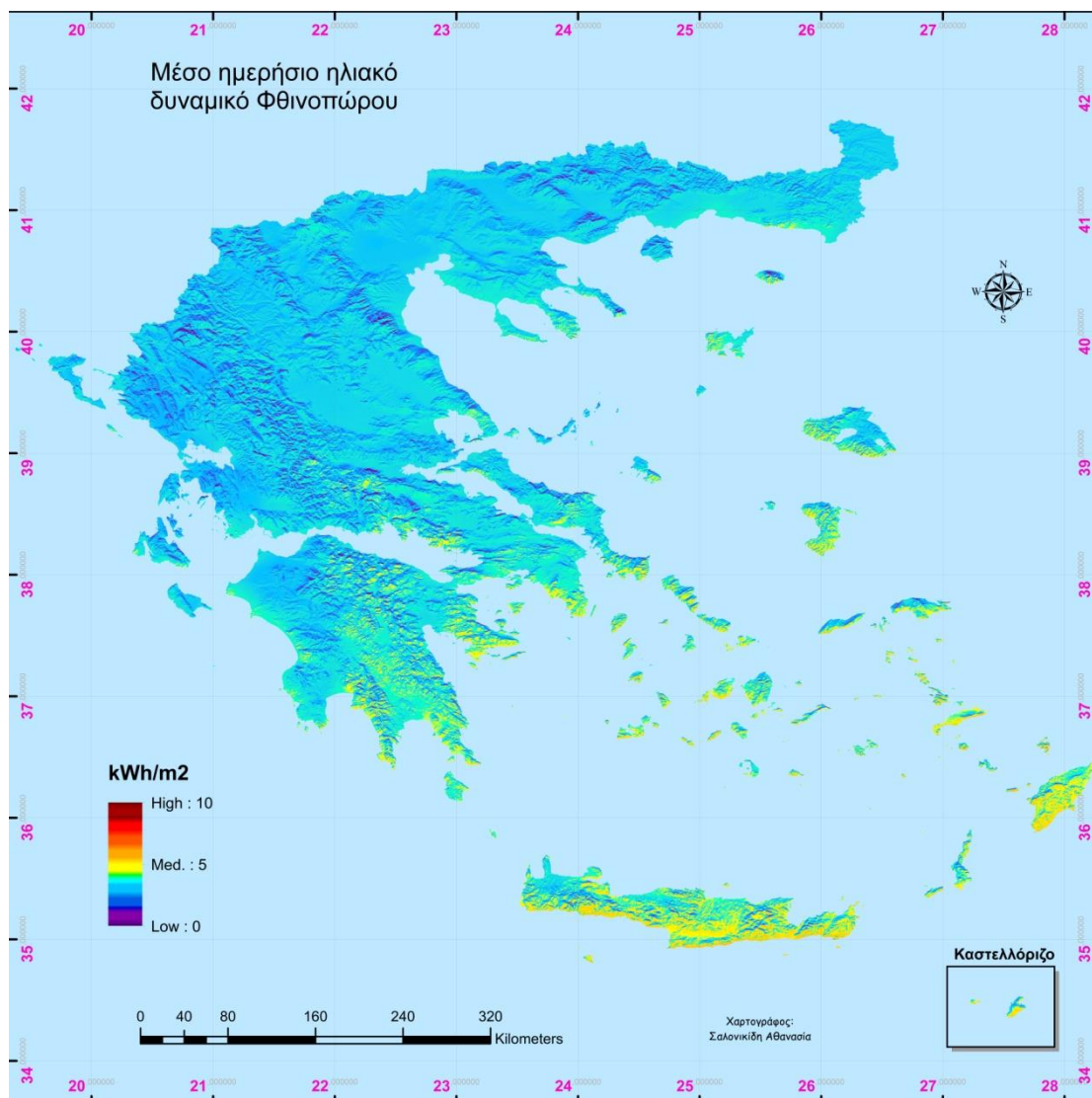
Χάρτης 4.25. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό χειμώνα (kWh/m^2)



Χάρτης 4.26. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό άνοιξης (kWh/m²)



Χάρτης 4.27. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό καλοκαιριού (kWh/m²)



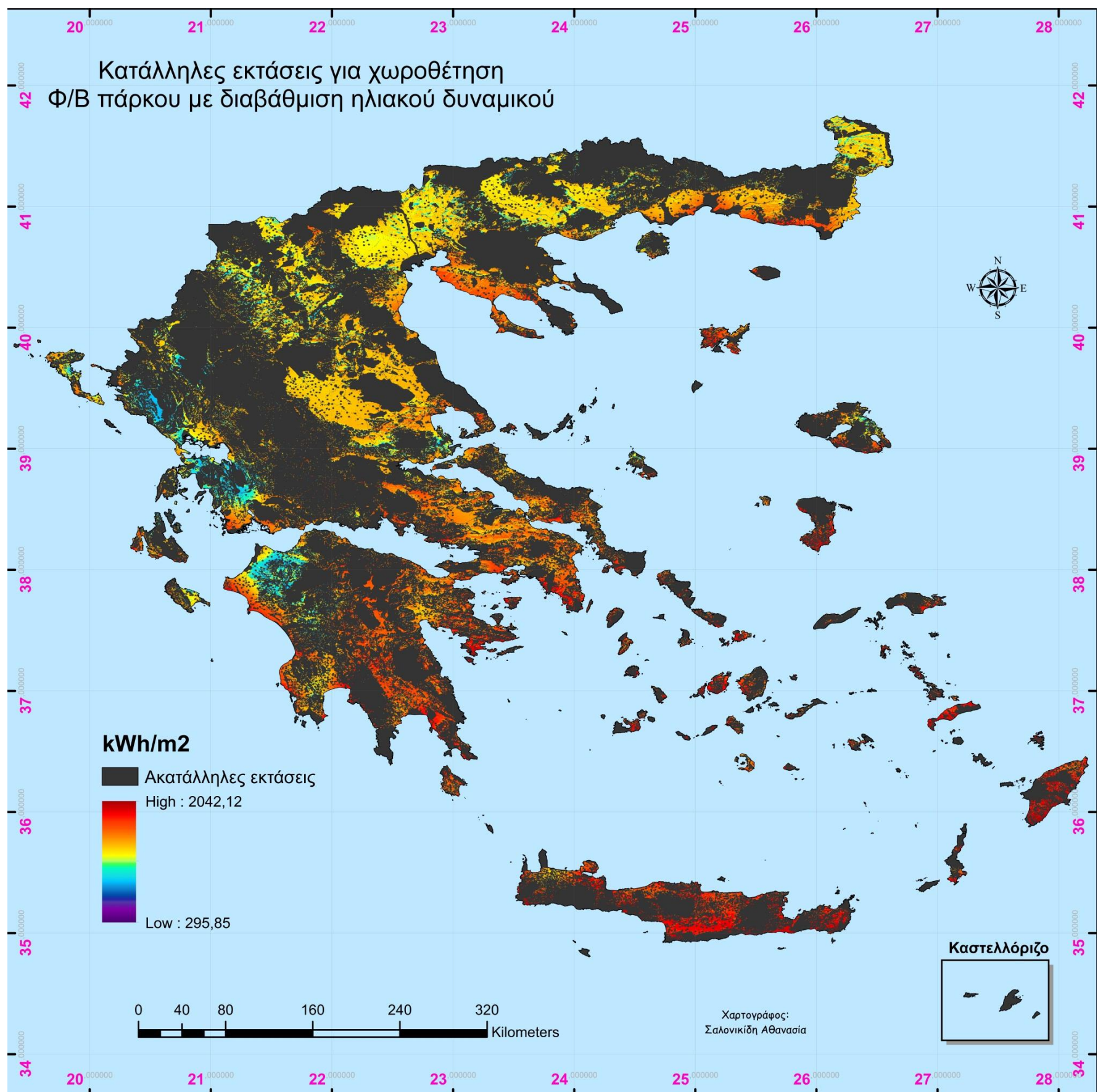
Χάρτης 4.28. Μέσο ημερήσιο ηλιακό δυναμικό φθινοπώρου (kWh/m^2)

Όσον αφορά την ταξινόμηση του ηλιακού δυναμικού μέσα στο χώρο, ισχύει η ίδια λογική όπως και στο χάρτη 4.12. Όσο μικρότερο γεωγραφικό πλάτος και ο προσανατολισμός της κλίσης είναι νότιος, τόσο το ηλιακό δυναμικό είναι αυξημένο. Σχετικά με την κατανομή του ηλιακού δυναμικού μέσα στις εποχές, κατά το καλοκαίρι υπάρχει το μεγαλύτερο ηλιακό δυναμικό, μετά κατατάσσεται η άνοιξη, μετά το φθινόπωρο και τέλος ο χειμώνας.

Τον χειμώνα παρουσιάζεται ελάχιστο 0 το οποίο συνεπάγεται ότι υπάρχουν απότομες βόρειες πλαγιές οι οποίες δεν έχουν καθόλου ηλιακό δυναμικό καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα.

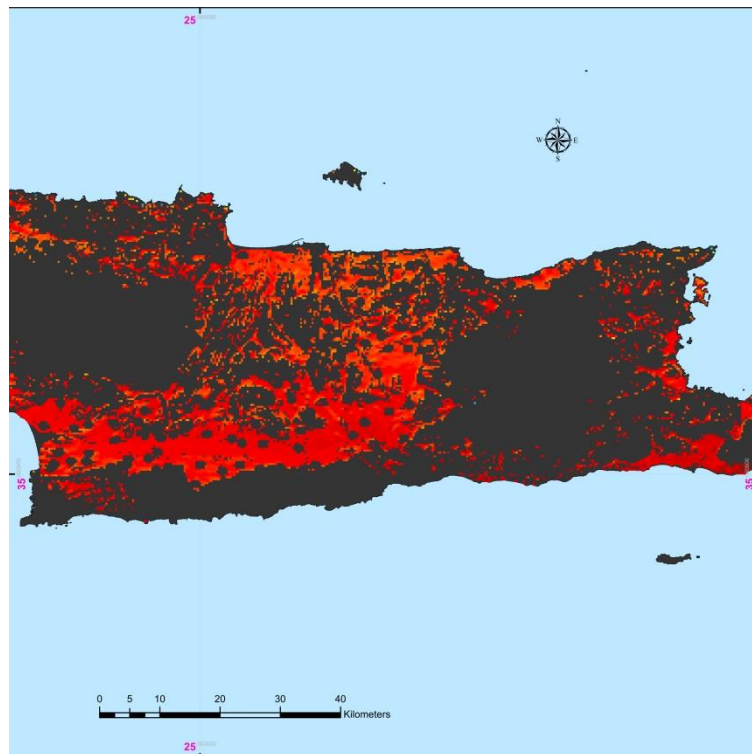
4.5 Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης Φ/Β πάρκου

Ο χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου αναδεικνύει τις εκτάσεις που είναι κατάλληλες, με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση που προηγήθηκε, για να χωροθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Στις κατάλληλες εκτάσεις εμφανίζεται η διαβάθμιση του μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού. Η χωρική κατανομή των ακατάλληλων και μη περιοχών φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.

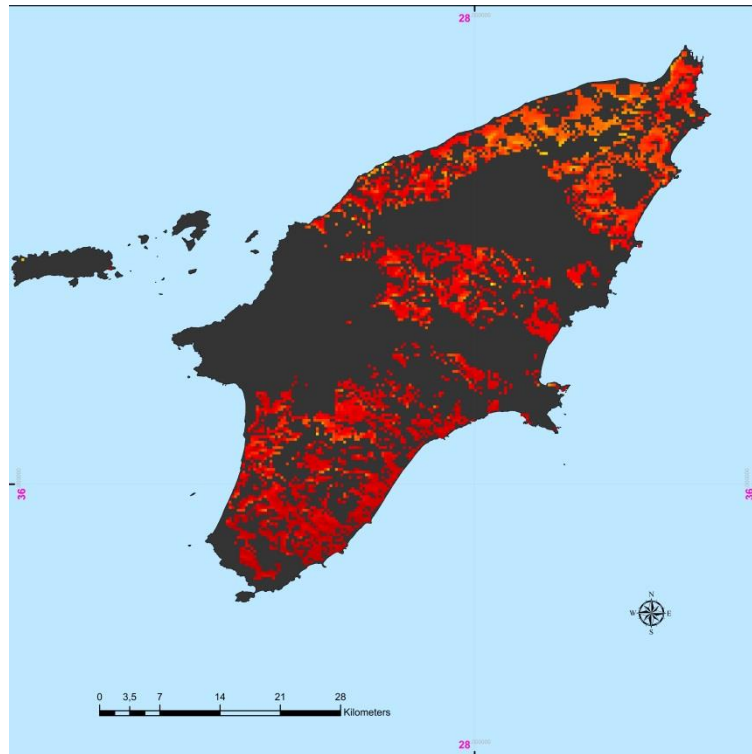


Χάρτης 4.29. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m²)

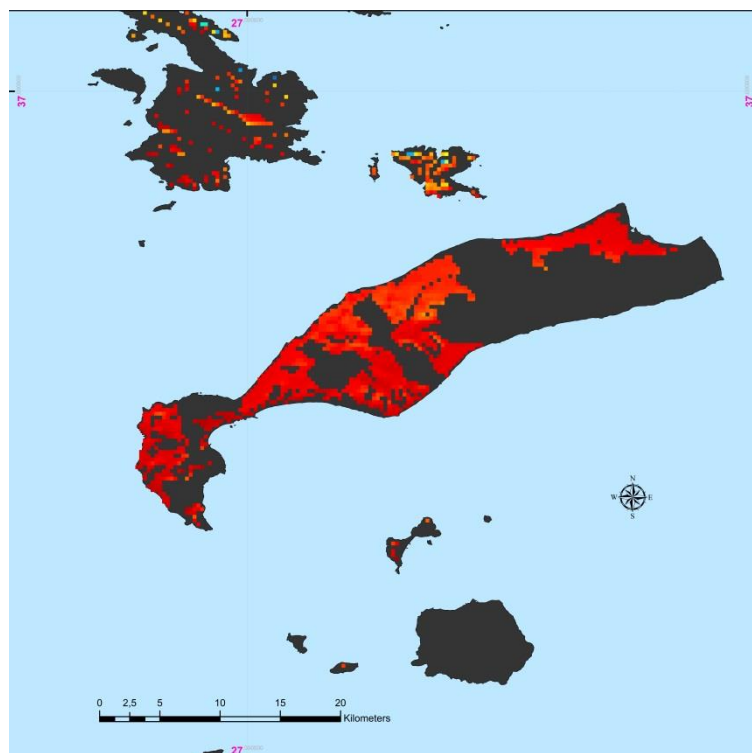
Αρκετές περιοχές (περίπου 50%) έχουν αποκλειστεί μόνο από το κριτήριο της κλίσης, όπως βουνά και απότομες πλαγιές. Οι κατάλληλες εκτάσεις που μένουν, παρατηρούνται πως βρίσκονται σε όλη την έκταση της Ελλάδος. Στις εκτάσεις αυτές, έχει διατηρηθεί η διαβάθμιση του μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού. Σκοπός αυτού είναι η εύρεση εκτάσεων με υψηλό ηλιακό δυναμικό οι οποίες να είναι κατάλληλες με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση. Μερικές τέτοιες εκτάσεις φαίνονται στους παρακάτω χάρτες.



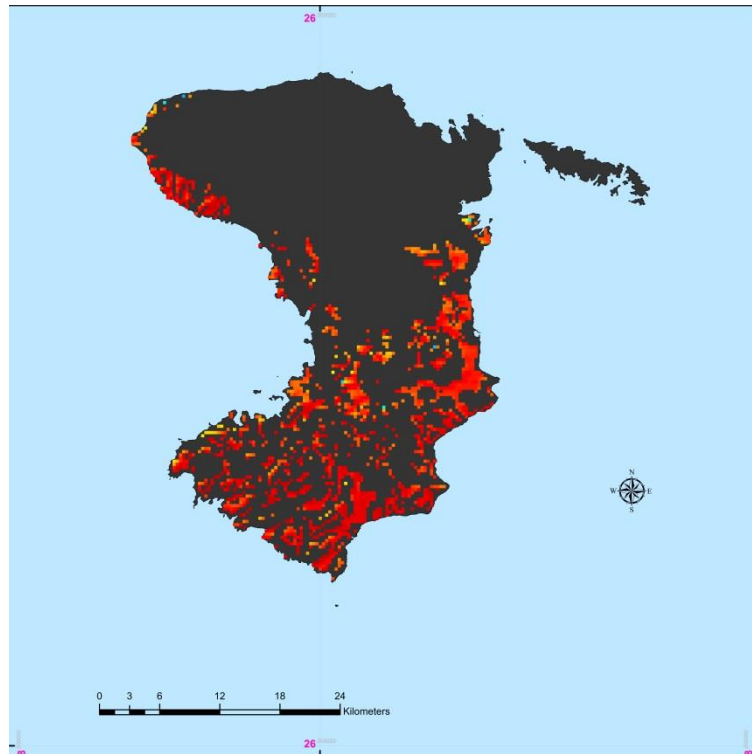
Χάρτης 4.30. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m^2), Ηράκλειο, Λασίθι



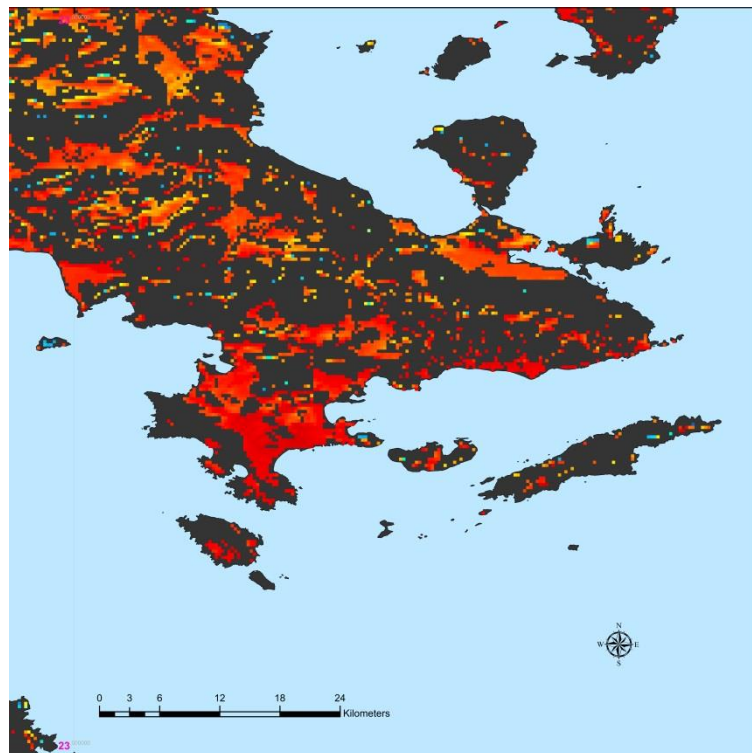
Χάρτης 4.31. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m^2), Ρόδος



Χάρτης 4.32. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m^2), Κως



Χάρτης 4.33. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m^2), Χίος



Χάρτης 4.34. Κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με διαβάθμιση ηλιακού δυναμικού (kWh/m^2), Κρανίδι

Στους χάρτες 4.30 – 4.34, υπάρχουν ενιαίες εκτάσεις με υψηλό ηλιακό δυναμικό οι οποίες είναι και κατάλληλες με την πολυκριτηριακή ανάλυση. Οι εκτάσεις αυτές

βρίσκονται στο νότιο Ηράκλειο και στο νότιο Λασιθί (χάρτης 4.30), στη νότια Ρόδο (χάρτης 4.31), στην κεντρική και δυτική Κω (χάρτης 4.32), στις νότιες περιοχές της Χίου (χάρτης 4.33) και στο Κρανίδι που βρίσκεται στις νότιες εκτάσεις του χάρτη 4.34.

5. Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, τα οποία παρήχθησαν από την ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Τα συμπεράσματα διεξάγονται με βάση την κατανομή του ηλιακού δυναμικού στον ελλαδικό χώρο, τη διακύμανση του μέσου συνολικού ηλιακού δυναμικού μέσα στην χρονική περίοδο 1995 – 2009 και τον χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου στην Ελλάδα. Επίσης, τα συμπεράσματα που αφορούν το ηλιακό δυναμικό θεωρούνται σε επίπεδο κλίματος, εφόσον μελετούνται μέσα σε περίοδο 15 χρόνων. Επιπλέον, το υπολογισμένο μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό έχει αρκετά ρεαλιστικές τιμές εφόσον ο υπολογισμός του προέρχεται από πραγματικές μετρήσεις της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

Το συνολικό ηλιακό δυναμικό μέσα στη διάρκεια του χρόνου παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις και μπορεί να θεωρηθεί σταθερό. Κατά μέσο όρο ο Ελλαδικός χώρος, στην ηπειρωτική του έκταση δέχεται 1505 kWh/m^2 . Είναι εμφανές ότι οι νότιες πλαγιές δέχονται περισσότερο ηλιακό δυναμικό από τις βόρειες και όσο η κλίση του εδάφους είναι κοντά στις 18° μοίρες τόσο το ηλιακό δυναμικό είναι μεγαλύτερο. Επίσης, όσο μικρότερο το γεωγραφικό πλάτος (όσο πιο νότια) τόσο το ηλιακό δυναμικό αυξάνεται, εφόσον η απόσταση από τον ήλιο αυξάνεται και η τοποθεσία μελέτης πλησιάζει τον ισημερινό.

Αν μία πλαγιά έχει μεγάλη κλίση και βόρειο προσανατολισμό, υπάρχει το ενδεχόμενο να μη λαμβάνει ηλιακό δυναμικό για τη διάρκεια του Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου, Οκτωβρίου, Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου. Αυτό μπορεί να βασιστεί και στο ότι κατά τον Δεκέμβριο είναι το χειμερινό ηλιοστάσιο και υπάρχει το λιγότερο ηλιακό δυναμικό σε σύγκριση με τους άλλους μήνες.

Η διακύμανση του ηλιακού δυναμικού ανάμεσα στους μήνες είναι λογική. Όσο πιο κοντά είναι ένας μήνας στο χειμερινό ηλιοστάσιο τόσο μικρότερο ηλιακό δυναμικό έχει και όσο πιο κοντά στο θερινό ηλιοστάσιο τόσο περισσότερο.

Με τη χρήση των ΣΓΠ πραγματοποιήθηκε παραγωγή δεδομένων με σχετικά υψηλή χωρική ανάλυση (250m). Επίσης, προστέθηκε η πληροφορία του ανάγλυφου στα δεδομένα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα την υλοποίηση ενός χάρτη με μεγαλύτερη χωρική διακύμανση και λεπτομέρεια. Η γλώσσα

προγραμματισμού Matlab υποστήριξε τα ΣΓΠ στον υπολογιστικό τομέα, έχοντας ένα πιο εύκολα ελεγχόμενο αποτέλεσμα. Όπως παρόμοια οι Rich and Dubayah (1995) είχαν αναπτύξει το μοντέλο SOLARFLUX το οποίο είναι βασισμένο σε ΣΓΠ.

Σχετικά με τον χάρτη καταλληλότητας χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου, οι κατάλληλες περιοχές είναι σχετικά αρκετές και υπάρχουν εκτάσεις με υψηλό μέσο συνολικό ηλιακό δυναμικό. Οι εκτάσεις αυτές βρίσκονται στην Κρήτη, στη Ρόδο, σε μερικές εκτάσεις της Πελοποννήσου, στις νότιες περιοχές της Αττικής και στα Δωδεκάνησα. Ο χάρτης καταλληλότητας και η πολυκριτηριακή ανάλυση παρήχθησαν με αντίστοιχο σκεπτικό με τον Κοντογιάννη (2013), τους Χατζόπουλος κ.α. (2007) και τους Βαλτοπούλου κ.α. (2013). Συγκριτικά, η Λέσβος στην παρούσα εργασία έχει περισσότερες αποκλεισμένες περιοχές αλλά αντίστοιχες με αυτές του χάρτη με τις ζώνες αποκλεισμού των Χατζόπουλος κ.α. (2007). Αυτό συμβαίνει επειδή στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί παραπάνω κριτήρια αποκλεισμού από αυτά που θέτει η σχετική νομοθεσία. Σχετικά με την Άρτα (Κοντογιάννης, 2013) η διαφορά βρίσκεται στις νότιες εκτάσεις της όπου στην παρούσα εργασία θεωρούνται κατάλληλες. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι με βάση τον Κοντογιάννη (2013) και δεδομένα Natura 2000, οι νότιες εκτάσεις τις Άρτας θεωρούνται ακατάλληλες, ενώ με βάση τις εκτάσεις Natura 2011, θεωρούνται κατάλληλες. Τέλος, σχετικά με το Πεντελικό όρος (Βαλτοπούλου κ.α., 2013) οι κατάλληλες εκτάσεις της παρούσας εργασίας είναι αρκετά περισσότερες από αυτές που αναδεικνύονται ως θέσης επιλογής. Αυτό μπορεί να συμβαίνει, διότι ο τελικός χάρτης του Πεντελικού όρους περιέχει τις θέσεις που έχουν επιλεγεί από κατάλληλες εκτάσεις για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου 100 KW, χρησιμοποιώντας και ως παραπάνω κριτήριο το εμβαδό του πάρκου.

Το ηλιακό δυναμικό λαμβάνει υπόψη το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης και είναι το βασικότερο κριτήριο για να τη χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, μαζί με το αν οι ανάλογες εκτάσεις είναι κατάλληλες με βάση το ΕΠΧΣΣΑ. Η Ελλάδα έχει μεγάλο ηλιακό δυναμικό σε σύγκριση με τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες και θα μπορούσε να λύσει το πρόβλημα ηλεκτροδότησης της χώρας με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο 0,1% έκτασης της χώρας, δηλαδή 132 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Suri et al., 2007). Επίσης, θα μπορούσε να επιτευχθούν οι στόχοι 20-20-

20 που έθεσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιανουάριο του 2008 (ΥΠΕΚΑ, 2015α) με την εγκατάσταση αρκετών φωτοβολταϊκών πάρκων.

6. Δυσκολίες και μελλοντικοί στόχοι

Δυσκολίες παρουσιάστηκαν στην κατασκευή του κώδικα, καθόσον και ο προγραμματισμός είναι ένας τομέας όπου απρόβλεπτα λάθη μπορούν να προκύψουν. Μετά όμως από πολλές δοκιμές, λάθη και διορθώσεις, ένας λειτουργικός και πιστός στη μεθοδολογία κώδικας κατασκευάστηκε. Γενικότερα ο ακριβής υπολογισμός ενός φυσικού φαινομένου είναι δύσκολος έως και αδύνατος.

Πρόβλημα υπήρχε και με τη συλλογή των χωρικών δεδομένων, συγκεκριμένα χωρικών δεδομένων που αφορούν τους αρχαιολογικούς χώρους και σημαντικά αρχαιολογικά μνημεία. Μετά από επικοινωνία με το Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού – Γενική Διεύθυνση Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς – Διεύθυνση Διαχείρισης Εθνικού Αρχείου Μνημείων, Τεκμηρίωσης και Προστασίας Πολιτιστικών Αγαθών – Τμήμα Διαχείρισης Εθνικού Αρχείου Μνημείων και Αρχαιολογικού Κτηματολογίου, έγινε ενημέρωση ότι το έργο «Αρχαιολογικό Κτηματολόγιο» που είναι ενταγμένο στο ΕΣΠΑ, στο πλαίσιο του οποίου πραγματοποιείται η καταχώριση δεδομένων για αρχαιολογικούς χώρους και τα ακίνητα μνημεία της Ελλάδας σε Ολοκληρωμένο Πληροφορικό Σύστημα, βρίσκεται σε εξέλιξη και οι εργασίες τοπογράφησης και ψηφιοποίησης συνεχίζονται. Έχει γίνει μεν μεγάλη πρόοδος και τα δεδομένα για την Αττική και τη Βοιωτία είναι έτοιμα, αλλά όχι για όλη την Ελλάδα.

Ένας από τους μελλοντικούς στόχους θα ήταν ο υπολογισμός του ηλιακού δυναμικού σε μεγαλύτερη χωρική ανάλυση. Εφόσον υπάρχουν δεδομένα για το ανάγλυφο του εδάφους (ψηφιακό μοντέλο εδάφους) με χωρική ανάλυση σχεδόν 25m, θα μπορούσε να υπολογισθεί το ηλιακό δυναμικό σε αυτή την υψηλή ανάλυση. Ο κύριος λόγος για τον οποίο δεν πραγματοποιήθηκε αυτό ήταν η έλλειψη χρόνου, καθώς οι υπολογισμοί σε τέτοια υψηλή ανάλυση θα χρειαζόταν υπολογιστικές ώρες μηνών.

Ένας ακόμη στόχος θα ήταν η εισαγωγή της σκίασης που δημιουργεί ο ήλιος σε σχέση με το ανάγλυφο, μέσα στους υπολογισμούς του μοντέλου μέσω της Matlab. Το ανάγλυφο μπορεί να είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που αυξάνει ή μειώνει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, αλλά η πιθανή σκίαση που δημιουργείται από ένα βουνό παίζει ρόλο στο υπολογιζόμενο ηλιακό δυναμικό.

Τέλος, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο χάρτης 10, της ορατότητας από τους κεντρικούς οικισμούς, στην πολυκριτηριακή ανάλυση. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκε ήταν πως το εργαλείο viewshed υπολογίζει τις εκτάσεις που είναι ορατές, με βάση το ανάγλυφο, από τους οικισμούς, ακόμη και αν οι εκτάσεις αυτές δεν είναι ορατές στο ανθρώπινο μάτι λόγω απόστασης. Με αυτό το σκεπτικό, θα έπρεπε να φιλτραριστεί με βάση την απόσταση που μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι σε συνδυασμό με την απόσταση από τους οικισμούς αυτούς. Και τέλος, θα έπρεπε να επιλεγεί ένα επιτρεπτό όριο αριθμού οικισμών που μπορούν να δουν τις ανάλογες εκτάσεις, αν δεν απορριπτόταν όλες που είχαν έστω και ένα οικισμό στο πεδίο ορατότητας.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1 Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

Βαλτοπούλου Ε., Παπακωνσταντίνου Δ. και Κασσιός Κ., 2013, Επιμέλεια: Καλογήρου Σ., *Μελέτη Χωροθέτησης Φωτοβολταϊκού πάρκου 100 kw στο Πεντελικό όρος με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών*, 1^ο Συνέδριο Χωρικής Ανάλυσης: Πρακτικά, Αθήνα

Βόκας Γ. Α. και Πρωτογερόπουλος Χ., 2005, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα στην Ελλάδα: Παρούσα Κατάσταση και Προοπτικές*, 10^ο Εθνικό Συνέδριο «Ενέργεια και Ανάπτυξη 2005» - Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο-Επιτροπή Βιομηχανίας, Έρευνας και Ενέργειας, *ΣΧΕΔΙΟ ΕΚΘΕΣΗΣ σχετικά με το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας της ΕΕ και προτάσεις για συγκεκριμένες δράσεις*, Απρίλιος 2005

Καγκαράκης Κ., 1995, *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία

Κοντογιάννης Α., 2013, *Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών Πάρκων με τη χρήση Γεωπληροφοριακών Συστημάτων: Εφαρμογή Νομός Άρτας*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μαυρίδης Α. και Καλότυχου Κ., 2013, *Συμβολή των GIS στη Χωροθέτηση των ΑΠΕ με Ταυτόχρονη Προσέγγιση Ζητημάτων Διαχείρισης του Φυσικού Περιβάλλοντος*, 1^ο Συνέδριο Χωρικής Ανάλυσης: Πρακτικά, Αθήνα

Παιδακάκης Α., 2007, *Μεθοδολογία Προώθησης των ΑΠΕ στις Νέες Συνθήκες της Ενεργειακής Αγοράς*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

7.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Allen R.G., Trezza R. and Tasumi M., 2006 “Analytical integrated functions for daily solar radiation on slopes”, *Agricultural and Forest Meteorology* 139, 55 - 73

Brown D. G., 1991, “Topoclimatic models of an alpine environment using digital elevation midels in a GIS”, *Proceedings of the GIS/LIS '91 Conference (ASPRS/ACSM/URISA/AAG: Washington, vol. 2*, 835 - 844

Collier U., 2002, "European Union Energy policy in a changing climate", In: Lenschow A (Eds.), Environmental Policy Integration, Greening Sectoral Policies in Europe, Earthscan, London, p. 175 – 192

Davis F., Dubayah R., Dozier J. and Hall F., 1989, "Covariance of greenness and terrain variables over the Konza Prairie", Proceedings IGRASS '89, Vancouver, 1322 – 1325

Donatelli M., Carlini L. and Bellocchi G., 2006, "A software component for estimating solar radiation", Environmental Modelling & Software 21, 411 - 416

Dubayah R. and Van Katwuk V., 1992, "The topographic distribution of annual incoming solar radiation in the Rio Grand River basin", Geophysical Research Letters, 19, 2231 – 2234

Dubayah R., Dozier J. and Davis F. W., 1989, "The distribution of clear-sky radiation over varying terrain", Proceedings IGRASS '89, Vancouver, 855 - 888

Dubayah R. and Rich P. M., 1995, "Topographic solar radiation models for GIS", Int. J. Geographical Information Systems, vol. 9, no. 4, 405 – 419

Dubayah R. and Rich P. M., 1996, "GIS-based solar radiation modeling", In: Goodchild M.F., Steyaert L.T., Parks B.O., Johnston C., Maidment D., Crane M., Glendinnings S. (eds), GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues, GIS World Books, Fort Collins, CO., 129 – 134

EC, 1995, "Externalities of Energy' Externe Project, DG XII, JOULE, Report No EUR 16520 EN

EN, 1997, "Energy for the future: Renewable Sources of Energy, White Paper, European Commission, DG XVII

ETSU, 1996, "The environmental implications of renewables", Interim report for the UK Department of Trade and Industry, DTI, UK

Frantzeskaki N., Gekas V. and Tsoutsos T., 2002, "Environmental implications from the use of solar systems. Examples of the potential impact mitigation in a sustainable perspective", 7th National Conference for Solar Energy Sources, Patras, 6 – 8

Fu O. and Rich P. M., 1999, "Design and implementation of the Solar Analyst: an Arc View extension for modeling solar radiation at landscape scales", Proceeding of the Nineteenth Annual ESRI User Conference

Gates D. M., 1980, "Biophysical Ecology", New York: Springer – Verlag

Geiger R. J., 1965, "The Climate Near the Ground", Cambridge: MA, Harvard University Press

Gekas V., Frantzeskaki N. and Tsoutsos T., 2002, "Environmental impact assessment of solar energy systems. Results from a life cycle analysis", Protection and Restoration of the Environment VI, Skiathos, 1 – 5 July

Hetrick W.A., Rich P.M., Barnes F.J. and Weiss S.B., 1993a, "GIS-based solar radiation flux models", American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, vol. 3, GIS Photogrammetry and Modeling, 132 – 143

Hetrick W.A., Rich P.M., Barnes F.J. and Weiss S.B., 1993b, "Modeling insolation on complex surfaces", Thirteen Annual ESRI User Conference, vol. 2, 447 - 458

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, 11 – 13

Holland P. G. and Steyn D. G., 1975, "Vegetational responses to latitudinal variations in slope angle and aspect", Journal of Biogeography, 2, 179 - 183

Hulme M., Conway D., Jones P.D., Jiang T., Barrow E.M. and Turney C., 1995, "A 1961 – 1990 climatology for Europe for climate change modelling and impact applications", International Journal of Climatology 15, 1333 - 1364

Hutchinson M.F., Booth T.H., McMahon L.P. and Nin H.A., 1984, "Estimating monthly mean values of daily total solar radiation for Australia", Solar Energy 32, 277 – 290

Iqbal M., 1983, "An Introduction to Solar Radiation", Academic Press, New York, vol. xviii, p. 390

- Katsafados P., Kalogirou S., Papadopoulos A. and Korres G., 2012, "Mapping long-term atmospheric variables over Greece", *Journal of Maps* 8 (2), pp. 181 – 184
- Kirkpatrick J. B. and Nunez M., 1980, "Vegetation-radiation relationships in mountainous terrain: eucalypt-dominated vegetation in Ridson Hills", Tasmania, *Journal of Biogeography*, 7, 197 – 208
- Kumar L., Skidmore A.K. and Knowles E., 1997, "Modeling topographic variation in solar radiation in a GIS environment", *International Journal of Geographic Information Science*, 11: 475 – 497
- Lloyd W. and Swift Jr., 1976, "Algorithm for Solar Radiation on Mountain Slopes", *Water Resources Research*, vol. 12, no 1, North Carolina, Franklin
- Louche A., Peri G. and Iqbal M., 1986, "An analysis of Linke turbidity factor", *Solar Energy* 37, 393 - 6
- Marquez R., Coimbra C.F.M., 2011, "Forecasting of global and direct solar irradiance using stochastic learning methods, ground experiments and the NWS database", *Solar Energy* 85, 746 – 756
- Mellit A. and Pavan A.M., 2010, "A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy", *Solar Energy* 84, 807 – 821
- Page J.K. (ed), 1986, "Prediction of Solar Radiation on Inclined Surfaces", Dordrecht, D. Reidel Publishing Co.
- Papadopoulos A., Kallos G., Katsafados P. and Nickovic S., 2002, "The Poseidon weather forecasting system: An overview", *The Global Atmosphere and Ocean Systems*, 8 (2 – 3), 219 – 237
- Papadopoulos A. and Katsafados P., 2009, "Verification of operational weather forecasts from the POSEIDON system across the Easter Mediterranean", *Natural Hazards and Earth System Science*, 9, 4, pp. 1299 – 1306

Pielke R.A., 2002, (ed) Dmowska R., Holton J.R. and Rossby H.T., *Mesoscale Meteorological Modeling*, Second Edition, volume 78 in the International Geophysics Series, Fort Collins, Colorado: Academic Press (A division of Harcourt, Inc.)

Rich, P.M., 1989, "A manual for analysis of hemispherical canopy photography", Los Alamos National Laboratory Report, LA-11733-M

Rich P.M., 1990, "Characterizing plant canopies with hemispherical photography", In: Goel N.S., Norman J.M. (eds), *Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions*, Remote Sensing Reviews, 5: 13 - 29

Rich P.M., Hetrick W.A. and Saving S.C., 1995, "Modeling Topographic Influences on Solar Radiation: a manual for the Solarflux model", Los Alamos National Laboratory Report LA-12989-M

Sorensen B., 2001, "GIS management of solar resource data", *Solar Energy Materials & Solar Cells* 67, 503 - 509

Suri M., Dunlop E.D. and Jones A.R., 2002, "GIS-based inventory of the potential photovoltaic output in Central and Eastern Europe", In *Proceedings of the Photovoltaic in Europe: From PV Technology to Energy Solutions Conference and Exhibition*, Rome

Suri M. and Hofierka J., 2004, "A New GIS-based Solar Radiation Model and Its Application to Photovoltaic Assessments", Blackwell Publishing Ltd., *Transactions in GIS* 8 (2), 175 – 190

Suri M., Huld T.A., Dunlop E.D. and Ossenbrink H.A., 2007, "Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries", *Solar Energy* 81, 1295 - 1305

Tarpley J.D., 1979, "Estimating Incident Solar Radiation at the Surface from Geostationary Satellite Data", *Journal of Applied Meteorology*, vol. 18, 1172 - 1181

Tian Y.Q., Davies-Colley R.J., Gong P. and Thorrold B.W., 2001, "Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect", *Agricultural and Forest Meteorology*, 109, 67 – 74

Tobiska W.K., Woods T., Eparvier F., Viereck R., Floyd L., Bouwer D., Rottman G. and White O.R., 2000, “The SOLAR2000 empirical solar irradiance model and forecast tool”, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 62, 1233 – 1250

Tsoutsos T., 2001, “Marketing solar thermal technologies: strategies in Europe, experience in Greece”, Renewable Energy 26 (1), 33 - 46

Tsoutsos T., Frantzeskaki N. and Gekas V., 2005, “Environmental impacts from the solar energy technologies”, Energy Policy 33, 289 - 296

Waldau A.J., 2007, “Photovoltaics and renewable energies in Europe”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 1414 - 1437

Zelenka A., Czeplak G., D’ Agostino V., Josefson W., Maxwell E. and Perez R., 1992, “Techniques for supplementing solar radiation network data”, Technical Report, International Energy Agency, # IEA-SHCP-9D-1, Swiss Meteorological Institute, Switzerland

7.3 Βιβλιογραφία Διαδικτύου

IENE 2004, Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολική Ευρώπης, «Προτάσεις για την ανάπτυξη εφαρμογών ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα», Δεκέμβριος 2004. Ιστοσελίδα www.iene.gr

ΚΑΠΕ 2015, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας. Εύρεση στις 14 Δεκεμβρίου 2015 στην ιστοσελίδα http://www.cres.gr/kape/datainfo/plaisio/national_ape_ape_genika.htm

ΥΠΕΚΑ 2015α, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Εύρεση στις 14 Δεκεμβρίου 2015 στην ιστοσελίδα <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446>

ΥΠΕΚΑ 2015β, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Εύρεση στις 18 Δεκεμβρίου 2015 στην ιστοσελίδα <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ysYxrE3Ia94%3D&tabid=285>

ΥΠΕΚΑ 2015γ, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Εύρεση στις 19 Δεκεμβρίου 2015 στην ιστοσελίδα <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=zkmN5DrZKKo%3d&tabid=513>

Χατζόπουλος Ι.Ν., Παπαπαναγιώτου Ε., Βαρνάβα Σ., Γεωργίου Α., Πολύζου Ε., 2007, *Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκού Πάρκου στο νησί της Λέσβου, με τη χρήση Σ.Γ.Π.* Εύρεση στις 19 Δεκεμβρίου 2015 στην ιστοσελίδα http://www2.env.aegean.gr/labs/Remote_sensing/projects/Solar_Parks/Solar_Parks.htm

azimuth 2016, Physics and Astronomy. Εύρεση στις 11 Ιανουαρίου 2016 στην ιστοσελίδα <http://www.j-giesen.de/SunCompass/azimuth/index.html>

Noor 2016, Morocco inaugurates 160 MW solar CSP plant as first phase of Noor complex, pv magazine. Εύρεση στις 10 Φεβρουαρίου 2016 στην ιστοσελίδα http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/morocco-inaugurates-160-mw-solar-csp-plant-as-first-phase-of-noor-complex_100023072/#axzz3zaaKk8KH

pveducation 2016, Photovoltaic Education Network. Εύρεση στις 11 Ιανουαρίου 2016 στην ιστοσελίδα <http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight>

solar basics 2016, University of Southern California (USC). Εύρεση στις 11 Ιανουαρίου 2016 στην ιστοσελίδα <http://www.usc.edu/dept-00/dept/architecture/mbs/tools/thermal/solarbasic.html>

sunrise calc 2016, ITACA. Εύρεση στις 12 Ιανουαρίου 2016 στην ιστοσελίδα <http://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-3-calculating-solar-angles/>