



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»



Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ηλέκτρα – Γεωργία Η. Αποστολίδου

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007

Επιβλέπων: Ν. Μαμάσης

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»



Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΣΤΗΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ηλέκτρα – Γεωργία Η. Αποστολίδου

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2007

Επιβλέπων: Ν. Μαμάσης

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα, όσους εμφανώς ή αφανώς με βοήθησαν να ολοκληρώσω αυτή την εργασία.

Ειδικότερα θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή μου κ.Μαμάση Νικόλαο, για την υπομονή του, τις πρωτότυπες ιδέες, τις χρήσιμες συμβουλές, τη συνετή καθοδήγησή του και κυρίως την πολύτιμη συνεργασία του.

Σε προσωπικό επίπεδο, ευχαριστώ τον Fidel, που για άλλη μια φορά έκανε ό,τι μπορούσε..

Αποστολίδου Ηλέκτρα - Γεωργία
Σεπτέμβριος 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Ευχαριστίες (σελ. iii)
- Πίνακας Περιεχομένων (σελ. iv)
- Περίληψη (σελ. vi)
- Extended Abstract (viii)
 - Introduction (σελ. viii)
 - Posing the solar radiation Problem (σελ. viii)
 - Modeling technique (σελ. x)
 - Estimation of variables (σελ. x)
 - Solar radiation Distribution (σελ. x)
 - Applications of incoming potential solar radiation estimation procedure (σελ. x)
 - Calculation procedure (σελ. xi)
 - Results and Discussion (σελ. xv)
 - Summary and Conclusions (σελ. xix)
- 1. Εισαγωγή (σελ.1)
 - 1.1 Περιγραφή του προβλήματος (σελ.1)
 - 1.2 Γενικά (σελ.2)
- 2. Θεωρία (σελ.5)
 - 2.1 Η ηλιακή ακτινοβολία (σελ.5)
 - 2.2 Εκτίμηση των μεταβλητών (σελ.5)
 - 2.3 Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας (σελ.5)
 - 2.4 Η θέση του ήλιου στο Βόρειο Ημισφαίριο (σελ.8)
 - 2.5 Εφαρμογές της διαδικασίας εκτίμησης της εισερχόμενης ηλιακής δυναμικής ακτινοβολίας (σελ. 11)
- 3. Περιγραφή του μοντέλου (σελ. 18)
 - 3.1 Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση ArcGis (σελ. 18)
 - 3.2 Η τεχνική προσομοίωσης (σελ. 20)
 - 3.3 Εύρεση τύπου γωνίας πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας (σελ.23)
 - 3.4 Η υπολογιστική διαδικασία (σελ. 28)
 - 3.5 Χρήσιμες Πληροφορίες - Πιθανά προβλήματα (σελ. 32)
- 4. Αποτελέσματα (σελ. 33)
 - 4.1 Ωριαίες Τιμές (σελ. 33)
 - 4.2 Ημερήσιες Τιμές (σελ. 58)
 - 4.3 Μηνιαίες Τιμές (σελ.62)
 - 4.4 Ετήσιες Τιμές (σελ. 80)
- 5. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων (σελ. 83)
 - 5.1 Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική}}$ (σελ. 83)

- 5.2 Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρ. ισημερινού}}$ (σελ. 96)
- 5.3 Ετήσια εξέλιξη τιμών δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (σελ. 107)
- 5.4 Περιοχές με τις μέγιστες τιμές εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας (σελ. 110)
- 5.5 Ονοματολογία οικισμών και ηλιοφάνεια (σελ. 111)
- 6. Συμπεράσματα - Προτάσεις (σελ. 113)
- 7. Βιβλιογραφία - Αναφορές (σελ. 115)
- Παράρτημα: Γλωσσάριο (σελ. 117)

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης του αναγλύφου στην εισερχόμενη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναπτύχθηκε ένα μοντέλο υπολογισμού της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο εφαρμόστηκε στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Ελλάδας.

Η απλή προσομοίωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί τη γνώση της εισερχόμενης ακτινοβολίας και την εφαρμογή της σε κάθε σημείο της επιφάνειας της γης. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε φαντίο της Ελλάδας, για κάθε ώρα ενός μέσου ημερολογιακού έτους. Το υψόμετρο και το αζιμούθιο του ηλίου, η κλίση και η διεύθυνση κλίσης κάθε φαντίου και τα φαινόμενα σκίασης λόγω της γεωμορφολογίας λήφθηκαν υπόψη για τους υπολογισμούς. Οι ωριαίες εκτιμήσεις αθροίστηκαν σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση, έτσι ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση.

Αρχικά, ορίζεται το πρόβλημα εύρεσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και της επίδρασης της τοπογραφικής ποικιλομορφίας, εκτός των άλλων παραγόντων στις αναμενόμενες τιμές και παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιθανές εφαρμογές μιας τέτοιας διαδικασίας.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται μια λεπτομερής επισκόπηση των βασικών μεγεθών και μεταβλητών που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και των τρόπων μετάδοσής της. Επίσης εξετάζεται αναλυτικά η θέση του ήλιου στο βόρειο ημισφαίριο ανά εποχή και αναπτύσσονται πιθανές εφαρμογές της διαδικασίας εκτίμησης της εισερχόμενης ηλιακής δυνητικής ακτινοβολίας.

Ακολούθως, γίνεται περιγραφή του μοντέλου εκτίμησης της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση ArcGis και της τεχνικής προσομοίωσης. Επίσης, αναλύεται η εύρεση τύπου γωνίας πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας και αναπτύσσεται λεπτομερώς η υπολογιστική διαδικασία. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων ομαδοποιείται στις εξής κατηγορίες:

- Ωριαίες Τιμές
- Ημερήσιες Τιμές
- Μηνιαίες Τιμές
- Ετήσιες Τιμές

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει την εξαγωγή (α) του δείκτη της εκτιμημένης εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας προς την αναμενόμενη θεωρητικά, για επίπεδη επιφάνεια, όπως αυτή προκύπτει από τη βιβλιογραφία και (β) του δείκτη εκτιμημένης εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας προς την αναμενόμενη θεωρητικά στον ισημερινό, δηλαδή σε γεωγραφικό πλάτος 0° , για επίπεδη επιφάνεια που δε σκιάζεται από πουθενά. Επιπλέον, γίνεται στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, σκιαγραφείται η ετήσια εξέλιξη τιμών δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας ορισμένων χαρακτηριστικών περιοχών και προσδιορίζονται οι περιοχές με τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας. Τέλος αναφέρεται η συσχέτιση της ονοματολογίας κάποιων οικισμών με την ηλιοφάνεια.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι οι μεγαλύτερες τιμές δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνονται από τα νότια τμήματα των βουνών, με την προϋπόθεση ότι αυτή δεν παρεμποδίζεται από τοπογραφικούς παράγοντες, δηλαδή με την προϋπόθεση ότι οι περιοχές αυτές δε σκιάζονται. Επίσης το καλοκαίρι η επιρροή των παραγόντων που διαφοροποιούν την κατανομή της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (τοπογραφικοί παράγοντες, γεωγραφικό πλάτος κλπ.) μειώνεται, καθώς ο ήλιος βρίσκεται υψηλότερα από ότι τους χειμερινούς μήνες. Από τη στατιστική επεξεργασία και τη σύγκριση με τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας, προκύπτει ότι η προσέγγιση που έγινε στην εργασία αυτή, σε ετήσια βάση, είναι αρκετά επιτυχημένη.

Η εργασία αυτή ολοκληρώνεται με μια σύνοψη των κυριότερων συμπερασμάτων και τη διατύπωση ορισμένων προτάσεων στην κατεύθυνση της βελτίωσης της διαδικασίας εκτίμησης της εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας.

Extended Abstract

The effect of surrounding topography on receipt of solar radiation

by Apostolidou Ilektra - Georgia

INTRODUCTION

The sun, as energy source, is one of the main factors for life generation. Moreover, it is a valuable and renewable energy source, of great importance and various applications to natural functions and projects of multiple purposes.

The scope of this postgraduate thesis is the study of the effect of surrounding topography on receipt of solar radiation, by using Geographic Information Systems (GIS). Within the framework of this study, a model of calculating direct solar radiation has been developed, which has been applied to the Digital Terrain Model (DTM) of Greece.

POSING THE SOLAR RADIATION ESTIMATION PROBLEM

The estimation of potential solar radiation may have the disadvantage of not taking into account the atmospheric conditions (dispersion, reflection, transmission, scattering etc.), but nevertheless it can be useful for the programming and the execution of a variety of applications, related with different sciences.

The simple modeling of direct solar radiation requires the knowledge of the incoming radiation and its application at every point of the surface. The Geographic Information Systems (GIS) was used for the calculation of potential solar radiation at every pixel of Greece, for every hour of an average year. The altitude and the azimuth of the sun, the slope and the aspect of every pixel and the shadow effects due to topography were taken into account for the calculations. The hourly estimation were summed in daily, monthly and annual basis, in order to facilitate their comparison.

The production of the results according to the previously mentioned procedure ended to the collection of 4419 archives of maps with hourly data, 365 archives of maps with daily data, 12 archives of maps with monthly data and one map with annual data of potential solar radiation.

In continue, there results were taken upon statistical procession and there were produced diagrams of radiation distribution and radiation evolution within the year. In addition to this, some indexes were extracted, in order to compare the results with the theoretically expected values, as well as with some constant values of solar radiation.

The model that was developed is empirical and not strictly mathematical (the mathematic equations were used only for the calculation of the basic parameters, involved in the estimation of solar radiation and in continue the results were produced by using the Geographic Information Systems (GIS)). In the context of this study, there were made estimation for the potential incoming solar radiation. But a further extension, can include the estimation of incoming solar radiation to the ground, by using point measurements and the extraction of conversion co-efficients from potential to real solar radiation that strikes at every place, all the times of the year.

Another disadvantage of this study, is that the basis for the calculation was the digital elevation model (DTM), without taking into account the land uses of each place, for example, if there are trees, blocks of flats etc. Moreover, the purpose of each application and the reason why someone needs to know the values of direct solar radiation form the significance of this study. For example, if the settlement of photovoltaic systems is examined, due to the fact that the striking angle of solar radiation can change, independently from the slope of the pixel and receive another constant or even a continually changing value, the amount of potential radiation at this place is not of great importance. Nevertheless, it can be taken into account for a general approach of the project and an initial design, as it reveals the places that receive the minimum and the maximum amounts of direct solar radiation.

On the other hand, the results of this study are of great importance for sections like ecology and agriculture, or even for the distribution of land uses, either of the building or the natural environment, where the direct solar radiation plays an important role. Specifically, as a natural procedure, the direct solar radiation (even when we talk about potential values), constitutes a primary factor for the environmental evolution and regulates the development of the species and the ecosystem. Consequently, the knowledge of its geographic distribution can be useful for a great range of sciences.

MODELING TECHNIQUE

Estimation of variables

In this study, an appropriate and simple model was developed, which uses basic techniques of GIS. The basic principles were used for the identification of the parameters, which determine the magnitude of potential solar radiation.

Solar radiation Distribution

Solar radiation reaches the surface of the earth in 4 ways (Hughes Paul, 2000):

- ④ direct
- ④ reflected
- ④ diffuse
- ④ lunar

The clear sky radiation transmission path that is most significant for variations and will be modeled, is Direct Solar Radiation. However, in particularly cloudy environments, such modeling would be inappropriate as most radiation will then be diffuse or reflected.

Applications of incoming potential solar radiation estimation procedure

The data of incoming potential solar radiation can be used for (Mamassis, 2005):

- ④ the estimation of the true received radiation considering point measurements of solar radiation
- ④ the calculation of geographical distribution of evapotranspiration
- ④ modeling of the snow melting process at mountain basis
- ④ the location of sites of special interest concerning solar radiation (agriculture, land uses) and
- ④ the location of sites with specific ecologic characteristics.

Calculation procedure

The routine *solar angle* calculates the cosinus of the striking angle of solar radiation and constitutes subroutine of the routine *final solar*, which calculates the potential incoming solar radiation, as percentage of the solar constant ($I_0 \approx 1367 \text{ W/m}^2$).

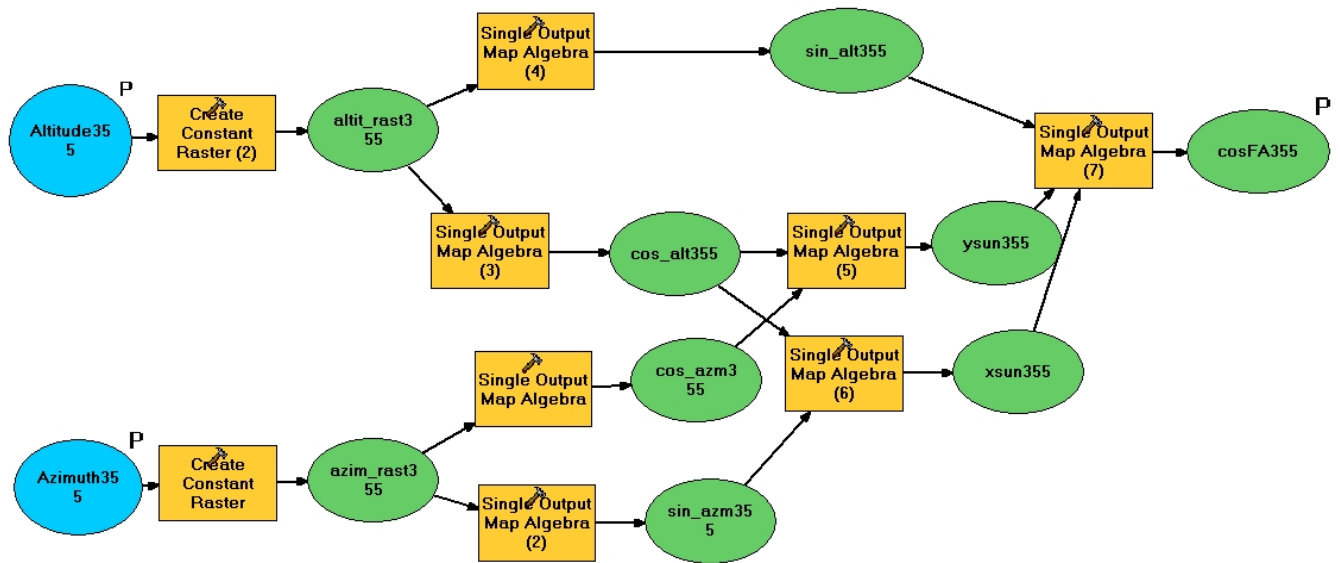
For the calculation, the digital elevation model of Greece was preferred with pixel analysis 500x500 meters, in order to achieve satisfactory analysis and logical computational load, at the same time. With the DTM as basis, a series of rasters was calculated and used as input data to the solar angle and the potential solar radiation calculation routines. These archives are the slope (slope routine of ArcGis), the aspect (aspect routine of ArcGis) and the sinus and the cosines of the above two rasters (sin and cos routine of ArcGis).

In continue, for every hour of an average year, the altitude and the azimuth of the sun are inserted and the model calculates their sinus and their cosines (sin and cos routine of ArcGis). Finally, by using the above data the solar angle subroutine calculates the cosinus of the solar angle, according to the following equation:

$$\cos f = \sin \text{Azm} \times \cos \text{Elv} \times \sin \text{Slp} \times \sin \text{Asp} + \cos \text{Azm} \times \cos \text{Elv} \times \sin \text{Slp} \times \cos \text{Asp} + \sin \text{Elv} \times \cos \text{Slp}$$

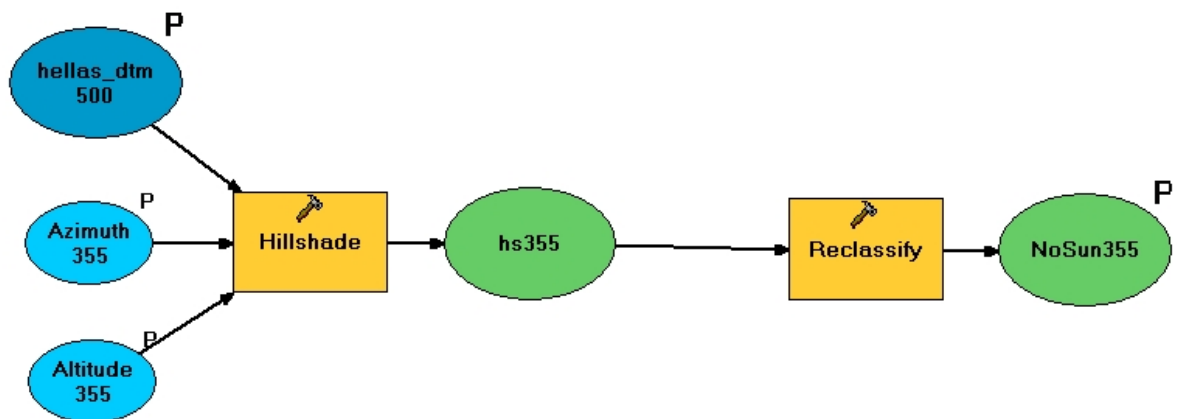
where:

- ☞ f = the striking solar angle
- ☞ Azm = the azimuth of the sun
- ☞ Elv = the altitude of the sun
- ☞ Slp = the slope of the surface
- ☞ Asp = the aspect of the surface



Picture 1: Solar Angle Routine.

The routine No Sun Areas was created, in order to take the shadow effects into account, and also constitutes subroutine of final solar routine. This routine uses the Hillshade routine of ArcGis. The azimuth and the altitude of the sun are the only needed data and for every hour of the year, they are the same which were used by solar angle routine. The values of Hillshade function range from 0 to 254, where 0 corresponds to the shadow and 254 to the perpendicular direction of solar radiation. After that, the Hillshade values are rearranged, by using the function Reclassify, and take the value 0, if they are from 0-10 and the value 1 if they are from 11-254. These values are used by final solar routine and they are multiplied by the result of solar angle routine, in order to give to the pixel the value 0 if it is shadowed, or else maintain its value.



Picture 2 : No Sun Areas Routine.

The latitude was taken into account, in order to achieve a more accurate calculation of incoming potential solar radiation. So the DTM of Greece was divided in seven (7) geographical zones, according to the latitude of the pixels. The grouping of the places with similar latitude and their integration in one value was necessary for the calculations in the ArcGis environment. Nevertheless, from the verification that was made, it was concluded that this simplification does not affect obviously the results, so the error can be ignored. The values of latitude that were adopted are in range from south to north the following: 35,5 - 36,5 - 37,5 - 38,5 - 39,5 - 40,5 - 41,5, in order to include all the values of latitude that appear in Greece and take a mean value for each zone (every zone is within the boundaries of one degree of latitude), in order to reduce the error. The azimuth and the altitude of the sun were calculated in an excel archive separately for every zone, since they are directly affected by the latitude. Consequently, for every hour the subroutines No Sun Areas and Solar angle are executed separately for each of the seven zones and are summed in the end, in order to have a unique raster for all Greece.

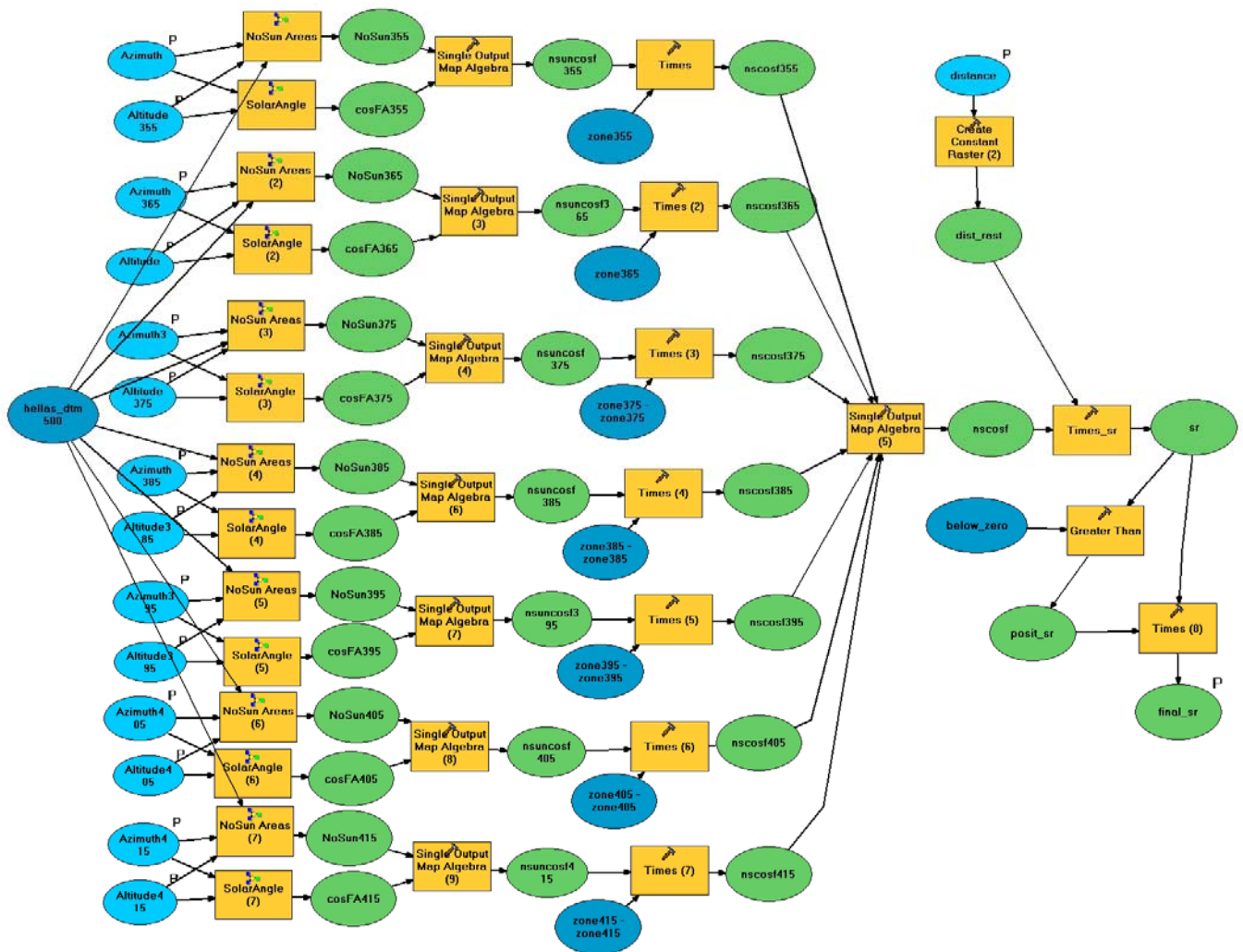
In continue, the above raster is multiplied by the distance between sun and earth at this time, as it was computed to the excel archive, in order to calculate the incoming potential solar radiation, as percentage of the solar constant. Finally, with a check the minus values (results of the solar angle subroutine, when minus angles are involved) are modified in zero values.

The distribution of hours of sunlight for every month, as it resulted from the calculations and the number of archives for every month are the following:

Month	Number of days	Number of rasters
January	1-31	310
February	32-59	294
March	60-90	368
April	91-120	391
May	121-151	434
June	152-181	431
July	182-212	434

August	213-243	431
September	244-273	362
October	274-304	345
November	305-334	307
December	335-365	310

The hourly archives were summed by using the Sum Day routine and there were calculated the 365 rasters with the daily values and after that the monthly values by summing the daily ones. Finally the incoming potential solar radiation was calculated for a whole average year and some indexes were extracted, in order to compare the results.



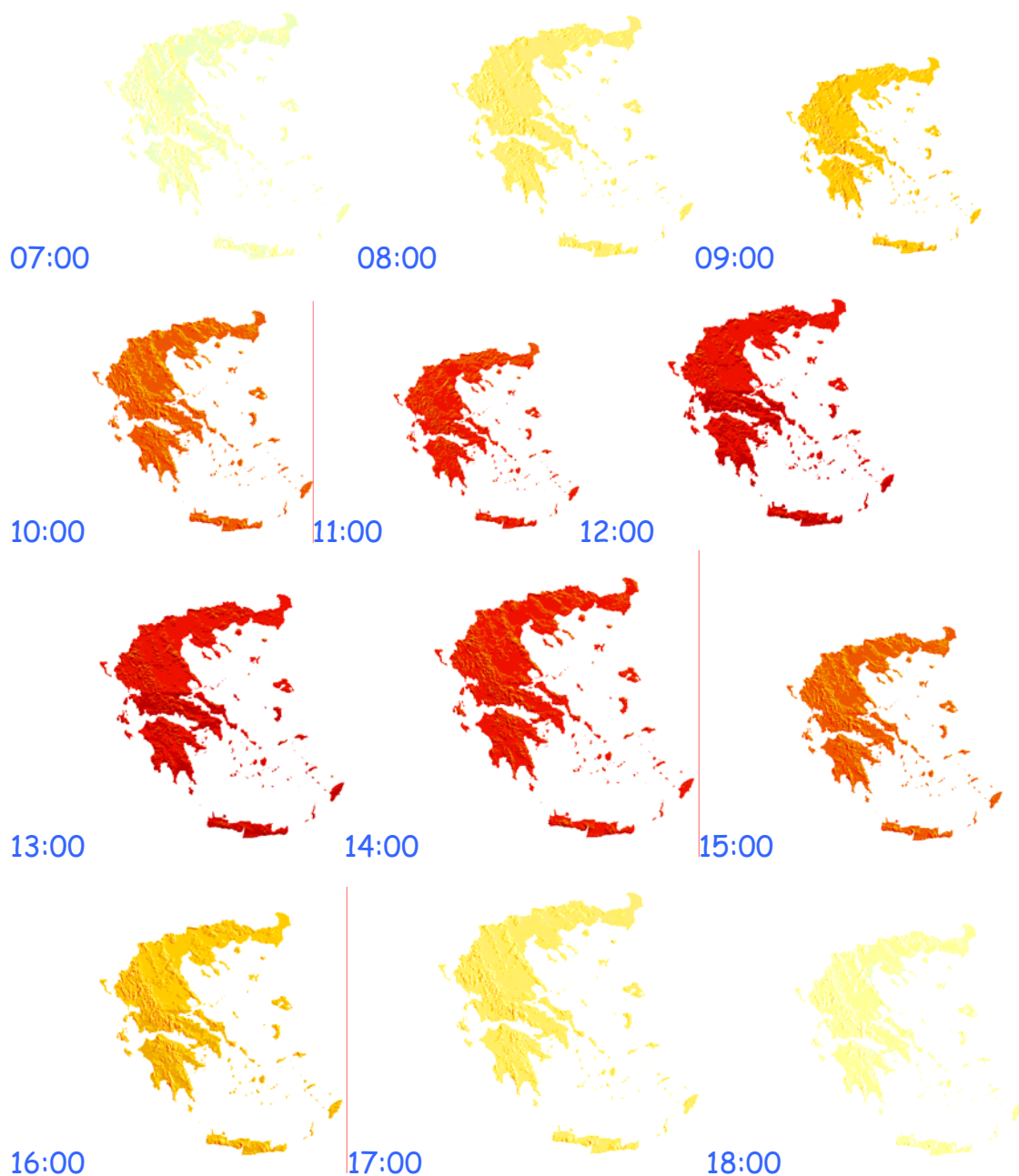
Picture 3 : Final Solar Routine.

RESULTS AND DISCUSSION

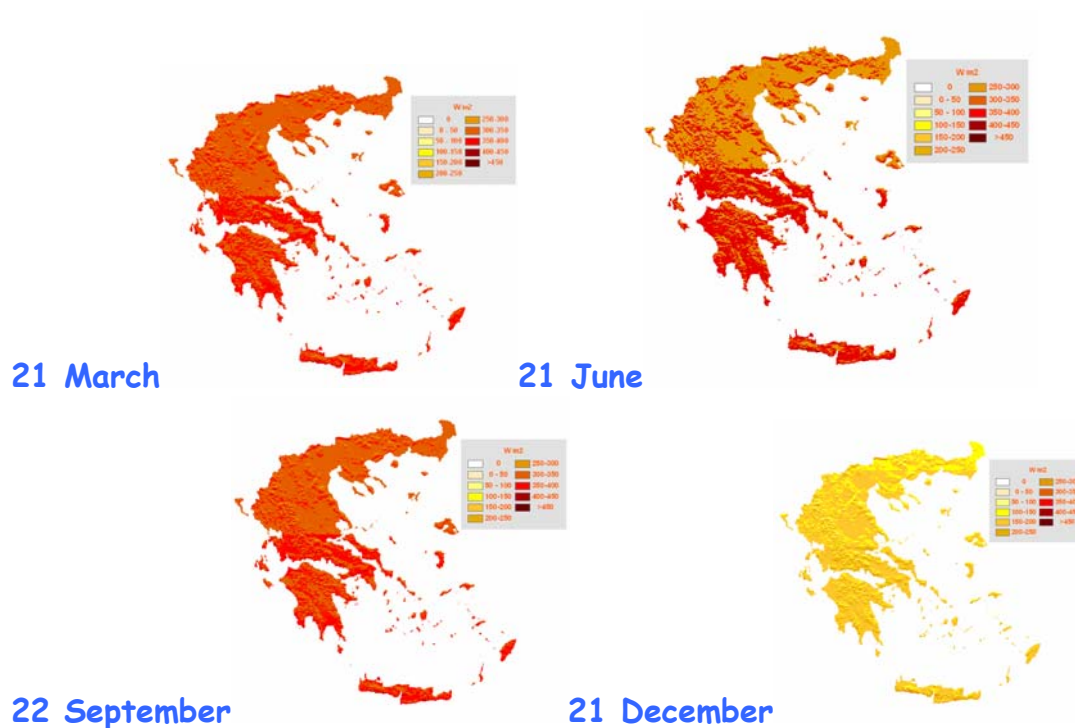
The production of the results according to the previously mentioned procedure ended to the collection of 4419 archives of maps with hourly data, 365 archives of maps with daily data, 12 archives of maps with monthly data and one map with annual data of potential solar radiation.

In the next pages there are shown some of the most remarkable results with the relative comments.

Hourly data - 21 March (Julian Day 80)



Daily data



The next classification shows the distribution of the radiation in classes for the monthly data:

Month	January		February		March		April	
Class (kWh/m ²)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)
<100	27639	5,58	3963	0,80	30	0,01	0	0,00
101-150	373568	69,88	82630	15,89	585	0,11	11	0,00
151-200	484825	22,47	470999	78,45	12036	2,31	82	0,01
201-250	494598	1,97	494606	4,77	351835	68,64	3794	0,75
251-300	495061	0,09	495064	0,09	493322	28,58	432828	86,66
301-350	495064	0,00	0	0,00	495064	0,00	495064	0,00
>350	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Month	May		June		July		August	
Class (kWh/m ²)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)
<100	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
101-150	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
151-200	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1201	0,24

201-250	16	0,00	3	0,00	8	0,00	178	-0,21
251-300	197	0,04	148	0,03	128	0,02	18770	3,76
301-350	105570	21,28	495064	99,97	495064	99,97	495064	96,21
>350	495064	78,68	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Month	September		October		November		December	
	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)	Number of pixels	Area (%)
<100	11	0,00	426	0,09	15250	3,08041	51094	10,32
101-150	108	0,02	8171	1,56	291526	55,8061	429798	76,50
151-200	2680	0,52	200332	38,82	482283	38,5318	488978	11,95
201-250	138333	27,40	482451	56,99	494612	2,49039	494770	1,17
251-300	493796	71,80	494914	2,52	495064	0,0913	495062	0,06
301-350	495064	0,26	495064	0,03	0	0	495064	0,00
>350	0	0,00	0	0,00	0	0	0	0,00

The next map shows the upper 5% and the lower 5% of the values of potential solar radiation in annual basis:

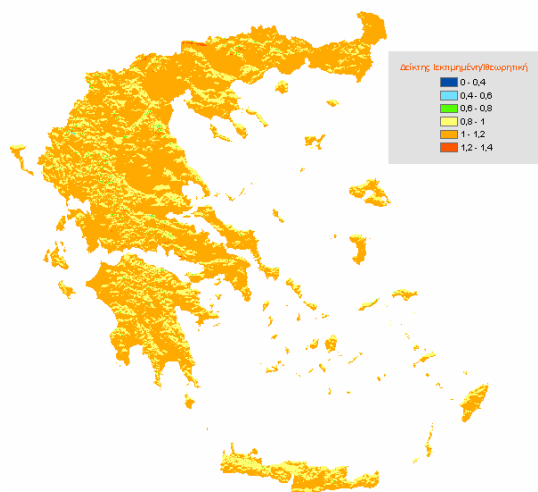


More maps, diagrams and indexes are included in chapters 4 and 5 of the study.

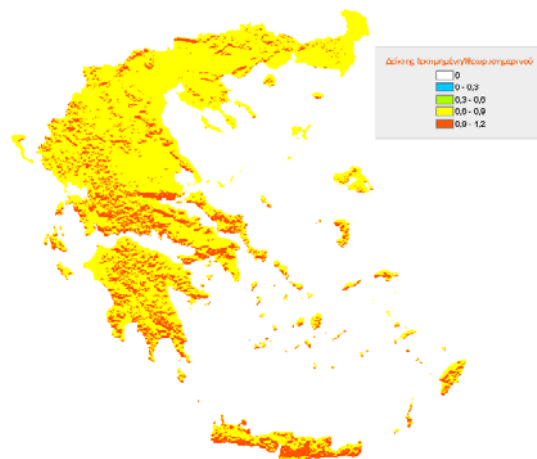
Two indexes were calculated, in order to compare the estimated with the theoretically expected values.

- The first is the fraction of the estimated to the theoretically incoming potential solar radiation for flat surface, as it is calculated in the bibliography. This index changes according to the latitude, so in this application there were calculated 7 values for each month, one for every geographical zone that the map of Greece was divided. From this index, it is possible to locate the most advantageous place of Greece in terms of potential solar radiation, for every zone of same latitude.
- The second index is the fraction of the estimated to the theoretically incoming potential solar radiation to the equator, latitude 0° , for a flat surface that is not shadowed. From this index profiles the difference of the estimated from one constant value, this of the equator. So it is an objective index, from which it is possible to locate the most advantageous place of Greece in terms of potential solar radiation.

The next maps show the annual distribution of these two indexes:



[Index 1](#)



[Index 2](#)

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Within the framework of this study, a model of calculating direct solar radiation has been developed, which has been applied to the Digital Terrain Model (DTM) of Greece, in order to study the effect of surrounding topography on receipt of solar radiation.

The most important conclusions from the research were the following:

- The microwave clear-sky solar radiation which strikes in different places varies according to the azimuth and the altitude of the sun, the slope and the aspect of the surface, as well as with the related position with the neighboring surfaces. Consequently, the GIS, which take into account, except from the latitude, all the above factors, are appropriate for its calculation.
- The estimation of potential solar radiation does not take into account the atmospheric conditions (dispersion, reflection, transmission, scattering etc.), but nevertheless it can be useful for the programming and the execution of a variety of applications, related with different sciences.
- Generally, the maximum values of potential solar radiation in Greece are received from the south parts of the mountains, in the condition that it is not limited by topographical factors, which means that they are not shadowed.
- During the summer the effect of the factors that are responsible for the variations in solar radiation distribution (topography, latitude etc.) is reduced, as the sun is placed higher than the winter. More specifically, the effect of these factors is more and more limited, as the sun goes higher in the celestial sphere.
- During the summer, the flat pixels receive more light, due to their perpendicular direction with the sun this particular period.
- The receipt of direct solar radiation is maximized when the striking solar angle is perpendicular (90°), in relation with the aspect and the slope of the pixel. So, the pixels that receive the maximum values of solar radiation are different for every different position of the sun.
- From the statistical analysis and the comparison with the theoretically expected values, it can be concluded that the approach of this post-graduate study, in annual basis, is quite successful.
- The results of this study are of great importance for sections like ecology and agriculture, or even for the distribution of land uses, either of the building or the natural environment, where the direct solar radiation plays an important role.

- Finally, from the elaboration of the results and the location of the places where the maximum and the minimum values are observed, it was found that the names of a wide range of villages are related with their extreme or reduced exposure to the sun.

Focusing on the estimation of direct solar radiation, we can propose some ideas for further development:

- In the context of this study, there were made estimation for the potential incoming solar radiation. But a further extension, can include the estimation of incoming solar radiation to the ground, by using point measurements and the extraction of conversion co-efficients from potential to real solar radiation that strikes at every place, all the times of the year.
- In this study, the basis for the calculations was the digital elevation model (DTM), without taking into account the land uses of each place, for example, if there are trees, blocks of flats etc. An improvement can incorporate the land uses from GIS (perhaps an average height of trees or residences) and in that way produce more realistic values for the direct solar radiation that reach every place.
- A last point is that the model that was developed is an empirical approach. Whereas in this study the mathematic equations were used only for the calculation of the basic parameters, involved in the estimation of solar radiation, someone could use strictly complex mathematical equations in order to produce the results.

1. Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή του προβλήματος

Ο ήλιος, ως πηγή ενέργειας, αποτελεί έναν από τους πρωταρχικούς παράγοντες για τη δημιουργία του φαινομένου της ζωής. Επιπλέον αποτελεί μια πολύτιμη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με μεγάλη σημασία και ποικίλες εφαρμογές σε φυσικές διεργασίες, αλλά και σε έργα πολλαπλής σκοπιμότητας.

Η εκτίμηση της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας δεν λαμβάνει υπόψη της τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας (διασπορά, διάχυση, νέφωση κλπ.), αλλά παρόλα αυτά μπορεί να φανεί χρήσιμη για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση μιας σειράς εφαρμογών, οι οποίες σχετίζονται με διάφορες επιστήμες.

Η απλή προσομοίωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί τη γνώση της εισερχόμενης ακτινοβολίας και την εφαρμογή της σε κάθε σημείο της επιφάνειας της γης. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε φατνίο της Ελλάδας, για κάθε ώρα ενός μέσου ημερολογιακού έτους. Το υπόμετρο και το αζιμούθιο του ηλίου, η κλίση και η διεύθυνση κλίσης κάθε φατνίου και τα φαινόμενα σκίασης λόγω της γεωμορφολογίας λήφθηκαν υπόψη για τους υπολογισμούς. Οι ωριαίες εκτιμήσεις αθροίστηκαν σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση, έτσι ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση.

Η παραγωγή των αποτελεσμάτων σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία κατέληξε στη συλλογή 4419 αρχείων χαρτών ωριαίων δεδομένων, 365 αρχείων χαρτών ημερήσιων δεδομένων, 12 αρχείων χαρτών μηνιαίων δεδομένων και ενός χάρτη με τις ετήσιες τιμές της εκτιμημένης εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

Στη συνέχεια έγινε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και παραγωγή διαγραμμάτων κατανομής της ακτινοβολίας και μεταβολής της μέσα στο έτος. Επίσης, έγινε η εξαγωγή κάποιων δεικτών σύγκρισης με τα θεωρητικά αναμενόμενα αποτελέσματα, καθώς και με κάποιες σταθερές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι εμπειρικό και όχι αυστηρά μαθηματικό. Χρησιμοποιούνται μαθηματικές σχέσεις μόνο για τον υπολογισμό των βασικών παραμέτρων που υπεισέρχονται στην εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας και στη συνέχεια, με χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και του μοντέλου υπολογισμού, παράγονται τα αποτελέσματα. Στα πλαίσια αυτής της

εργασίας έγιναν εκτιμήσεις για την εισερχόμενη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία. Όμως, μια περαιτέρω επέκτασή της θα μπορούσε να αφορά την εκτίμηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος, με τη χρήση σημειακών μετρήσεων και την εξαγωγή κάποιων συντελεστών αναγωγής από τη δυνητική στην πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει κάθε περιοχή όλες τις εποχές του έτους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, στην παρούσα εργασία, λήφθηκε ως βάση για τους υπολογισμούς των τοπογραφικών μεγεθών, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, αγνοώντας την χρήση γης της εκάστοτε περιοχής, δηλαδή το αν υπάρχουν δέντρα, πολυκατοικίες κλπ. Επίσης ανάλογα με τη σκοπιμότητα της μελέτης, δηλαδή για ποιο λόγο ενδιαφέρει το μελετητή η γνώση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε μια περιοχή η σημασία της διαδικασίας που ακολουθείται σε αυτήν την εργασία μπορεί να διαφοροποιηθεί. Για παράδειγμα, αν εξετάζεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, δεδομένου ότι η γωνία λήψης της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να μεταβληθεί, ανεξάρτητα από τη γωνία κλίσης του φατνίου (pixel) και να λάβει οποιαδήποτε ή ακόμα και μεταβαλλόμενη τιμή, η σημασία της δυνητικής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος είναι μικρή. Παρόλα αυτά, πρέπει να ληφθεί υπόψη για μια γενική προσέγγιση του θέματος και για έναν αρχικό σχεδιασμό, αφού αναδεικνύει της περιοχές που λαμβάνουν τις μέγιστες και τις ελάχιστες ποσότητες άμεσης ηλιακή ακτινοβολίας.

Από την άλλη πλευρά, τα αποτελέσματα αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, είναι εξαιρετικής σημασίας για τομείς, όπως η οικολογία και η γεωργία ή ακόμα και για τον καταμερισμό των χρήσεων γης τόσο του δομημένου, όσο και του αδόμητου περιβάλλοντος, όπου η άμεση δυνητική ακτινοβολία παίζει μεγάλο ρόλο. Ειδικότερα, ως ένας φυσικός μηχανισμός, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (ακόμα και όταν μιλάμε για δυνητικές τιμές), κατέχει πρωτεύουσα θέση στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα για τη ανάπτυξη των ειδών και των οικοσυστημάτων. Συνεπώς, η γνώση της γεωγραφικής κατανομής της μπορεί να χρησιμεύσει σε μεγάλο εύρος επιστημών.

1.2 Γενικά

Εξαιτίας της τοπογραφικής ποικιλομορφίας, η ολική εισροή άμεσης ακτινοβολίας σε μια λεκάνη απορροής θα πρέπει να εκτιμηθεί από μοντέλο καννάβου (Ranzi και Rosso, 1995). Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της συμβολής της μικροκυματικής ροής ακτινοβολίας στις

διαδικασίες τήξης του χιονιού και εξατμισοδιαπνοής στην κλίμακα της λεκάνης.

Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε ένα μοντέλο άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για να παραχθούν δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας για τη μελλοντική μοντελοποίηση της Ελλάδας. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους και τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την ποσοτικοποίηση του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει άμεσα στην επιφάνεια (Hughes Paul, 2000). Στην εργασία λήφθηκε υπόψη η εποχιακή μεταβολή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό της σκίασης και της γωνίας με την οποία η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στη γη.

Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν η ανάπτυξη μιας τεχνικής εκτίμησης της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε κάθε τμήμα τοπογραφικής επιφάνειας, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η μέγιστη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια συνεχή ενεργειακή εισροή στη γη, της τάξης των 170 δισεκατομμυρίων Megawatts. Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι η κινητήρια δύναμη για τα φυσικά, βιολογικά και βιομηχανικά συστήματα της γης (Fu and Rich, 1999). Η ενέργεια αυτή φτάνει σε μήκη κύματος 0,3-10 μm. Η πλειοψηφία της λαμβάνεται στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα (Gates 1965, όπως αναφέρεται στους Barbour et al. 1980), αλλά η ακτινοβολία με μήκος κύματος 0,4-0,7 μm είναι αυτή που απορροφάται από τη χλωροφύλλη και συνεπώς αυτά είναι τα ενεργά μήκη κύματος στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Barbour et al. 1980). Τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζουν άμεσα τον αέρα, το νερό, τη θερμοκρασία του εδάφους, την εξάτμιση, τη ροή ενέργειας στα οικοσυστήματα και την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων. Παραδοσιακά ο βόρειος προσανατολισμός χρησιμοποιούνταν ως υποκατάστατο για επιφάνειες με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία (Hughes Paul, 2000). Παρόλα αυτά στην εργασία αυτή ο προσανατολισμός θεωρήθηκε ως υπερβολικά χοντρικό μέτρο εκτίμησης της ηλιακής ακτινοβολίας και αναπτύχθηκε μια βελτιωμένη τεχνική.

Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας χρειάζονται για:

- Ⓒ την εκτίμηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος με τη χρήση σημειακών μετρήσεων
- Ⓒ την εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής
- Ⓒ την εκτίμηση της χιονοαπορροής

- τον εντοπισμό των σημείων με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς ηλιακής ενέργειας και
- τον εντοπισμό σημείων με ιδιαίτερα οικολογικά χαρακτηριστικά.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας και θα παρουσιαστεί στα επόμενα κεφάλαια είναι μια εμπειρική προσέγγιση. Ενώ στην παρούσα μελέτη οι μαθηματικές σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των βασικών τύπων που αφορούν τα μεγέθη της ηλιακής ακτινοβολίας, κάποιος θα μπορούσε να εξάγει αποτελέσματα χρησιμοποιώντας αυστηρώς και μόνο πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το ArcGis 9.1 της ESRI.

2. Θεωρία

2.1 Η ηλιακή ακτινοβολία

Παρατηρήσεις ετών έχουν δείξει ότι η ηλιακή ακτινοβολία δεν αλλάζει αισθητά από έτος σε έτος, αλλά μεταβάλλεται μόνο ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Ένα μέσο μέτρησης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας είναι η ηλιακή σταθερά, η οποία ορίζεται ως η συνολική ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όλων των μηκών κύματος, στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας της γης, η οποία λαμβάνεται από μια επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση του ήλιου και όταν η γη βρίσκεται στη μέση απόσταση της από τον ήλιο. Σε μια μέση απόσταση 150 εκατομμυρίων χιλιομέτρων από τον ήλιο, το εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας της γης λαμβάνει ακτινοβολία περίπου 1367 W/m^2 (World Meteorological Organisation). Η ποσότητα αυτή ποικίλει περίπου κατά $\pm 2\%$ λόγω των διακυμάνσεων των εκπομπών ακτινοβολίας από τον ίδιο τον ήλιο και περίπου κατά $\pm 3,5\%$, λόγω των εποχιακών διαφοροποιήσεων της απόστασης και του ηλιακού υψομέτρου (<http://www.squ1.com/solar/solar-radiation.html>).

Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας προσεγγίζει πολύ εκείνη του μελανού σώματος. Με την παραδοχή ότι ο ήλιος είναι εντελώς μαύρος, μπορεί κανείς με το νόμο του Boltzmann να υπολογίσει τη θερμοκρασία που πρέπει να έχει έτσι ώστε η ροή ενέργειας στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας να ισούται με την ηλιακή σταθερά.

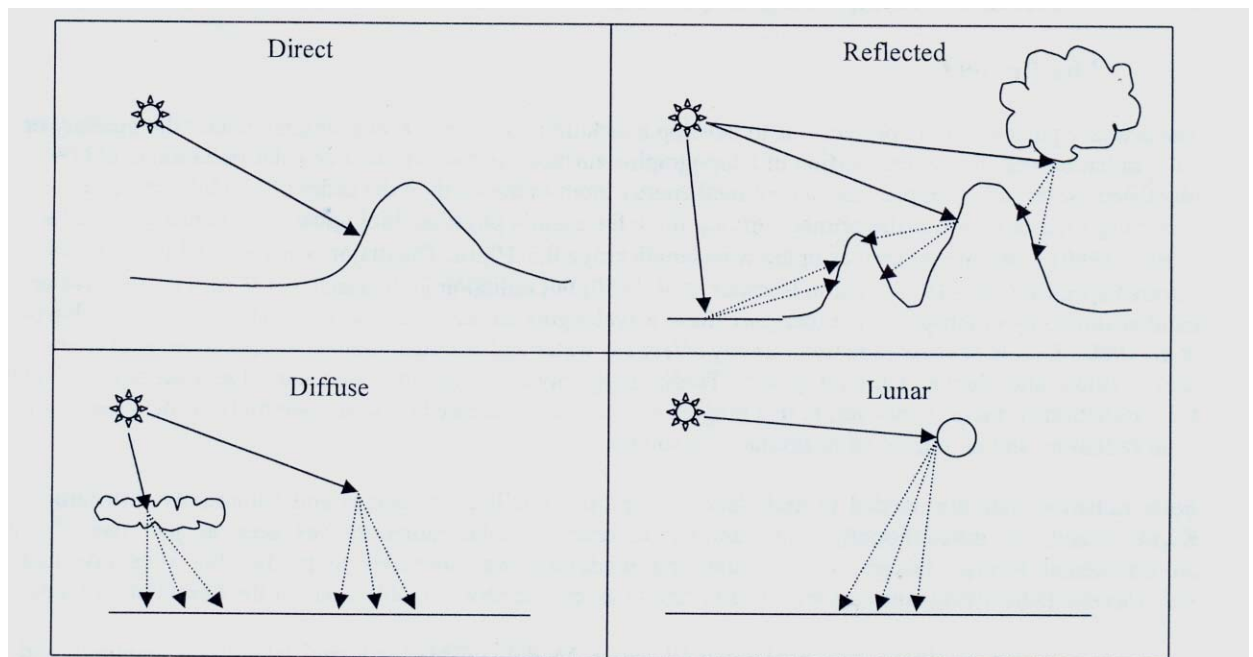
2.2 Εκτίμηση των μεταβλητών

Στην εργασία αναπτύχθηκε ένα κατάλληλο και απλό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιεί βασικές τεχνικές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Χρησιμοποιήθηκαν βασικές αρχές για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που καθορίζουν το μέγεθος της επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας.

2.3 Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της γης με έναν από τους παρακάτω τέσσερις τρόπους (Hughes Paul, 2000):

- ☉ άμεσα
- ☉ με ανάκλαση
- ☉ με διάχυση
- ☉ από τη σελήνη.



Εικόνα 2.1 : Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία φτάνει σε κάθε κομμάτι της γήινης επιφάνειας καθορίζεται από τη θέση της σελήνης, τη χρονική στιγμή του έτους, την ατμοσφαιρική διάχυση, τη νεφοκάλυψη, το σχήμα της γήινης επιφάνειας και την ανακλαστικότητα της επιφάνειας.

1. Άμεση ακτινοβολία

Άμεση είναι η ακτινοβολία η οποία μεταδίδεται σε ευθεία γραμμή από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης. Η μοντελοποίησή της απαιτεί γνώση της έντασης και της διεύθυνσης τις διάφορες ώρες της μέρας.

2. Ανακλώμενη ακτινοβολία

Η άμεση ακτινοβολία μπορεί στη συνέχεια να ανακλαστεί και να διασκορπιστεί κατά μήκος της επιφάνειας της γης ή πίσω στην ατμόσφαιρα. Η μοντελοποίηση της ανακλώμενης ακτινοβολίας θα απαιτούσε γνώση της ανακλαστικότητας και του σχήματος της επιφάνειας, και ένα μέσο μοντελοποίησης της εκάστοτε διασποράς. Η λευκαύγεια (albedo) είναι ένα μέτρο της ποσότητας της ακτινοβολίας που ανακλάται από μια επιφάνεια (Πίνακας 1). Όταν η λευκαύγεια είναι 1,0 όλη η ακτινοβολία ανακλάται και δεν υπάρχει καθόλου απορρόφηση. Όταν η λευκαύγεια είναι 0,0 δεν ανακλάται καθόλου ακτινοβολία, καθώς απορροφάται όλη η ποσότητα (Graves, 1998). Οι τιμές λευκαύγειας στον Πίνακα 1 δείχνουν ότι μια σημαντική ποσότητα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία προσπίπτει στην επιφάνεια του

εδάφους ανακλάται, ιδιαίτερα από το χιόνι και τα σύννεφα. Η ποσότητα της ανακλώμενης ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει σε άλλη επιφάνεια δεν είναι γνωστή.

Επιφάνεια	Albedo (Λευκαύγεια)
Φρέσκο χιόνι	0,8-0,95
Πεπαλαιωμένο/βρώμικο χιόνι	0,42-0,70
Πάγος	0,20-0,40
Θάλασσα (ήρεμη)	0,03-0,29
Άμμος	0,20-0,45
Χαμηλό γρασίδι(0,02m)	0,26
Ψηλό γρασίδι(1,0m)	0,16
Φυλλοβόλο Δάσος	0,15-0,20
Πευκόδασος	0,14
Άσφαλτος	0,05-0,20
Τσιμέντο	0,10-0,35
Σύννεφα*	0,40-0,80

Πίνακας 1: Τιμές λευκαύγειας διαφόρων επιφανειών (Yuri, 1998) * (Graves, 1998).

Σε αυτήν την εργασία η ανακλώμενη ακτινοβολία αγνοήθηκε λόγω ελλειπών δεδομένων και τεχνικών για τη μοντελοποίησή της.

3. Διάχυτη ακτινοβολία

Διάχυτη ακτινοβολία ονομάζεται το μέρος εκείνο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο διαχέεται από μικρά σωματίδια και μόρια αέρα σε τυχαίες διευθύνσεις, χωρίς μεταβολή στο μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας.

Η εκτίμηση της διάχυτης ακτινοβολίας λόγω των νεφών θα απαιτούσε τη μοντελοποίησή τους, το οποίο είναι αδύνατος να γίνει καθώς θα διαφοροποιούνταν από μέρα σε μέρα. Έχει υπολογιστεί ότι συνεισφέρει σε πολύ μικρό ποσοστό στην ενέργεια της ακτινοβολίας πάνω από το μέσο ορατό μέχρι το υπέρυθρο φάσμα, αλλά μπορεί να συνεισφέρει μέχρι και 40% στην ενέργεια της ακτινοβολίας από το μέσο ορατό μέχρι το υπεριώδες φάσμα

(Gates όπως αναφέρεται στους Barbour et al. 1980). Παρόλα τα παραπάνω, καθώς ο αρχικός σκοπός ήταν η μοντελοποίηση των ακραίων τιμών της ακτινοβολίας, οι μέγιστες τιμές θα παρατηρούνται τις ανέφελες μέρες και η ελάχιστη τιμή θα είναι μηδέν, οπότε τα σύννεφα δεν τις διαφοροποιούν. Έτσι θεωρείται ότι η διάχυτη ακτινοβολία λόγω των νεφών μπορεί να αγνοηθεί διότι δεν είναι καθοριστικός παράγοντας για την ενέργεια της ακτινοβολίας, και οι ακραίες τιμές της ακτινοβολίας που αναζητούνται δεν επηρεάζονται από τα σύννεφα και άλλους κλιματικούς παράγοντες.

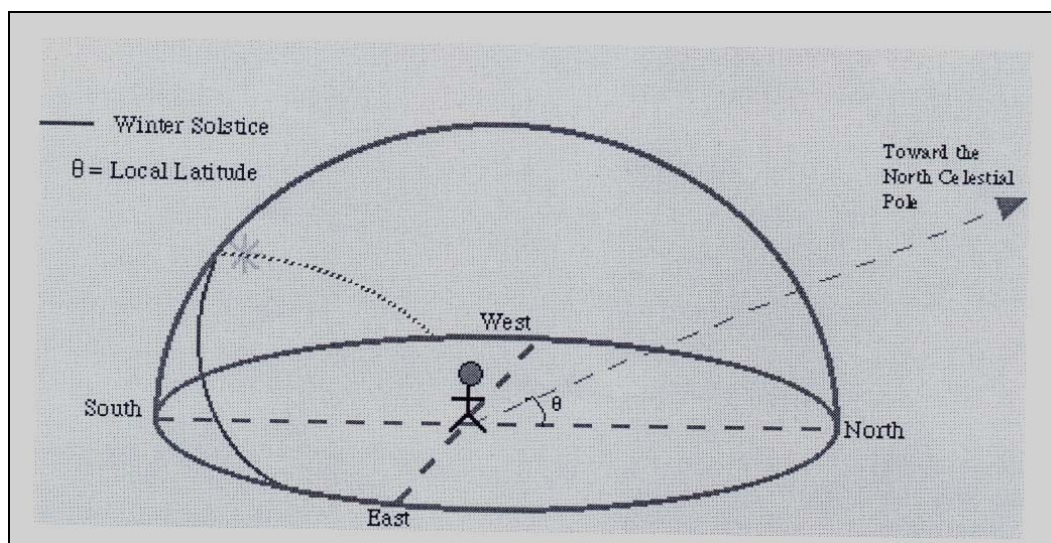
4. Σεληνιακή ακτινοβολία

Η σεληνιακή ακτινοβολία δε συνυπολογίζεται, καθώς δεν συνεισφέρει σε καμιά μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της μέρας.

Συμπέρασμα:

Ο τρόπος μετάδοσης που καθορίζει τις διαφοροποιήσεις, σε καθαρό ουρανό, δηλαδή με απουσία της ατμόσφαιρας, είναι η άμεση ακτινοβολία, η οποία και θα μοντελοποιηθεί. Εντούτοις, σε ιδιαίτερα νεφελώδη περιβάλλοντα, μια τέτοιου είδους μοντελοποίηση θα ήταν ακατάλληλη καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα της ακτινοβολίας θα αντανακλάται ή θα διαχέεται. Γενικά, μεγαλύτερα υψόμετρα λαμβάνουν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ηλιακή ακτίνα ταξιδεύει σε μικρότερη μάζα αέρα (Fu and Rich, 1999).

2.4 Η θέση του ήλιου στο Βόρειο Ημισφαίριο



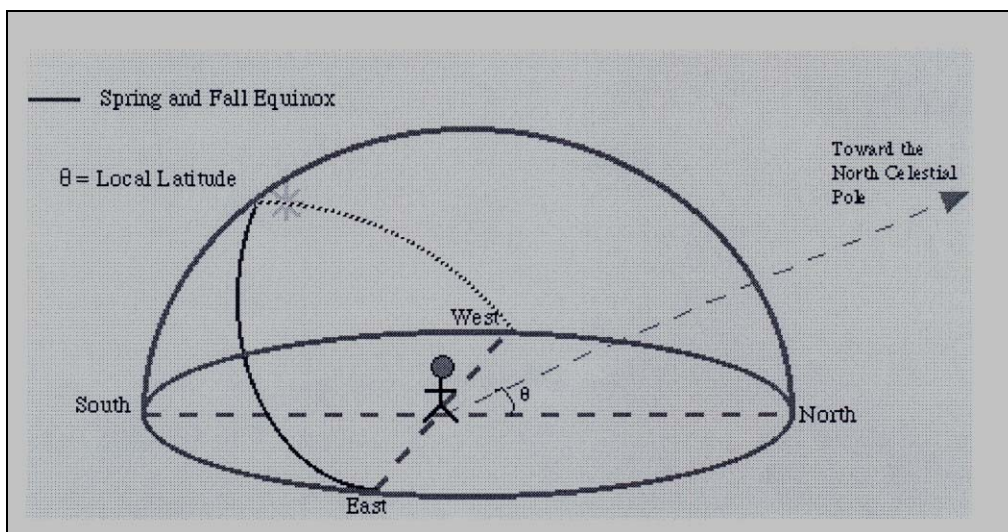
Εικόνα 2.2 : Χειμερινό ηλιοστάσιο

• Ο ήλιος στον ουρανό κατά τη διάρκεια του χειμώνα στο βόρειο ημισφαίριο

Το χειμώνα οι μέρες είναι μικρές και ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά στον ουρανό (<http://solar.physics.montana.edu>). Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η διαδρομή του ήλιου στον ουρανό τη μικρότερη μέρα του χρόνου, το χειμερινό ηλιοστάσιο. Αυτή είναι η μέρα κατά την οποία ο ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο στον ουρανό του βόρειου ημισφαιρίου.

Κατά τη διάρκεια των μικρών ημερών του χειμώνα ο ήλιος δεν ανατέλλει ακριβώς από την Ανατολή, αλλά νότια της Ανατολής και δύει νότια της Δύσης.

Κάθε μέρα μετά το χειμερινό ηλιοστάσιο, το οποίο συμβαίνει στις 21 Δεκεμβρίου, η διαδρομή του ήλιου ανεβαίνει λίγο υψηλότερα στον ουρανό του βόρειου ημισφαιρίου. Ο ήλιος επίσης ξεκινά να ανατέλλει πιο κοντά στην Ανατολή και να δύει πιο κοντά στη Δύση, μέχρι τη μέρα κατά την οποία ανατέλλει ακριβώς από την Ανατολή και να δύει ακριβώς στη Δύση. Αυτή η μέρα ονομάζεται ισημερία. Την άνοιξη υπάρχει η εαρινή ισημερία περίπου στις 21 Μαρτίου. Υπάρχει επίσης η φθινοπωρινή ισημερία την 21^η Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 2.3 : Εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία

• Ο ήλιος στον ουρανό κατά της εαρινής και της φθινοπωρινής ισημερίας στο βόρειο ημισφαίριο

Ο ήλιος διανύει τη διαδρομή την τροχιά του χαμηλότερα στον ουρανό κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (<http://solar.physics.montana.edu>). Μετά από αυτή την ημέρα ο ήλιος ακολουθεί όλο και υψηλότερη τροχιά στον ουρανό μέχρι την ημέρα κατά την οποία θα βρίσκεται στον ουρανό για ακριβώς 12 ώρες. Την

Μετά τη φθινοπωρινή ισημερία ο ήλιος θα συνεχίσει να ακολουθεί όλο και χαμηλότερη τροχιά και οι μέρες θα γίνονται όλο και μικρότερες μέχρι να φτάσει στη χαμηλότερη τροχιά του, δηλαδή στο χειμερινό ηλιοστάσιο.

2.5 Εφαρμογές της διαδικασίας εκτίμησης της εισερχόμενης ηλιακής δυνητικής ακτινοβολίας

Η εκτίμηση της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να μειονεκτεί στο γεγονός ότι δεν λαμβάνει υπόψη της τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας (διασπορά, διάχυση κλπ.), αλλά παρόλα αυτά μπορεί να φανεί χρήσιμη για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση μιας σειράς εφαρμογών, οι οποίες σχετίζονται με διάφορες επιστήμες.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας έγιναν εκτιμήσεις για την εισερχόμενη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία. Όμως, μια περαιτέρω επέκτασή της θα μπορούσε να αφορά την εκτίμηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος, με τη χρήση σημειακών μετρήσεων και την εξαγωγή κάποιων συντελεστών αναγωγής από τη δυνητική στην πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει κάθε περιοχή όλες τις εποχές του έτους. Τέτοιου είδους πληροφορίες θα ήταν πολύ χρήσιμες για της ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων, την εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, την εκτίμηση της χιονοαπορροής, τον εντοπισμό των σημείων με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς ηλιακής ενέργειας, τον εντοπισμό σημείων με ιδιαίτερα οικολογικά χαρακτηριστικά κ.ά.

Κάποια παραδείγματα αυτών των εφαρμογών περιγράφονται παρακάτω:

• **Φωτοβολταϊκά**

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας (<http://www.electrotech.gr/photovoltaics.htm>). Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο.

Η μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε μερικές αντιπροσωπευτικές περιοχές παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

Μήνας	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Αθήνα [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος [kwh/m ²]
Ιανουάριος	91.99	85.160	92.59	91.53
Φεβρουάριος	103.74	94.492	107.72	105.99
Μάρτιος	138.94	128.34	146.85	144.58
Απρίλιος	156.97	144.38	171.17	168.03
Μάιος	179.01	166.69	197.67	194.27
Ιούνιος	176.60	166.03	195.51	192.45
Ιούλιος	184.75	176.44	200.81	198.52
Αύγουστος	184.19	176.86	195.57	193.84
Σεπτέμβριος	166.22	157.38	173.61	171.81
Οκτώβριος	139.06	131.02	141.68	140.32
Νοέμβριος	107.64	95.92	111.38	109.30
Δεκέμβριος	88.51	80.42	89.71	88.40
Μέση ετήσια	143.13	133.59	152.02	149.92

Τα μεγάλα ποσοστά ηλιοφάνειας μας παρέχουν τη δυνατότητα για ευρεία χρήση φωτοβολταϊκών. Με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά έχουν λειτουργήσει με επιτυχία στο αφιλόξενο διάστημα με πολύ καλές επιδόσεις υπό εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες όπως:

- Υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές
- Υψηλά ποσοστά ακτινοβολίας
- Συνθήκες κενού

Σε εφαρμογές στη γη λειτουργούν με απόλυτη επιτυχία σε εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες :

- Ανέμων
- Χαλαζιού
- Αλμυρότητας
- Σκόνης
- Ατμοσφαιρικής μόλυνσης

Ωστόσο η πιο πλούσια χώρα της Ευρώπης σε ηλιοφάνεια κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύ, από φωτοβολταϊκά, στη χώρα μας έφθανε μόλις τα 2,37 μεγαβάτ το 2002, υστερώντας σημαντικά ακόμη και έναντι

χωρών του ευρωπαϊκού βορρά, όπως η Γερμανία (278 MW), η Ολλανδία (28,31 MW), η Αυστρία (10,04 MW), η Σουηδία (3,28 MW), αλλά και του μεσογειακού νότου, όπως η Ιταλία (22,75 MW), η Ισπανία (19,3 MW) και η Γαλλία (16,66 MW).

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συλλεκτών είναι τα ακόλουθα:

- Δεν έχουν κινούμενα μέρη και παράγουν ισχύ αθόρυβα.
- Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον με αέρια ή με άλλα κατάλοιπα, αφού δεν λαμβάνει χώρα κάποια χημική αντίδραση.
- Λόγω του σπονδυλωτού τρόπου κατασκευής τους τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να προσαρμοστούν σε όλες τις απαιτήσεις μεγέθους και ζήτησης ισχύος.
- Μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνοντας την αξιοπιστία των συστημάτων.
- Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο χωρίς την απαίτηση ειδικής εγκατάστασης.
- Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.
- Επειδή δεν χρειάζονται διαρκή παρακολούθηση, έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Δεν καταναλώνουν καύσιμο.
- Λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.
- Το ηλιακό κύτταρο δεν αλλοιώνεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας του και έχει επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής.

☀ Εξατμισοδιαπνοή

Εξατμοδιαπνοή (ή εξατμισοδιαπνοή - *evapotranspiration*) είναι το σύνολο των πραγματικών απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή της χλωρίδας (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ.167). Δυνητική εξατμοδιαπνοή (*potential evapotranspiration*) είναι η ποσότητα της εξατμοδιαπνοής που πραγματοποιείται από εδαφικές επιφάνειες, πλήρως και ομοιόμορφα καλυμμένες από αναπτυσσόμενη χλωρίδα, σε συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού.

Η εξάτμιση και η διαπνοή ενδιαφέρουν το μηχανικό για τις μελέτες εκτίμησης των υδατικών πόρων μιας περιοχής, για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών, για τις μελέτες διαχείρισης υδατικών πόρων, για τις μελέτες κατασκευής και λειτουργίας εγγειοβελτιωτικών έργων, για τις μελέτες ταμιευτήρων και φυσικών λιμνών και για άλλες μελέτες που

σχετίζονται με το περιβάλλον (π.χ. υγροβιότοποι, δάση) είτε άλλα ειδικά έργα (π.χ. αλυκές).

Η φυσική διεργασία της εξάτμισης τροφοδοτείται ενεργειακά από την ηλιακή ακτινοβολία (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ.170). Η ενεργειακή διαφορά της ηλιακής ακτινοβολίας (μικρού μήκους κύματος) και της γήινης υπέρυθρης (μεγάλου μήκους κύματος) ακτινοβολίας, παρέχει τη λανθάνουσα θερμότητα που χρειάζεται για την εξάτμιση του νερού, ενώ ένα άλλο μέρος αυτής της διαφοράς αποδίδεται ως αισθητή θερμότητα, μέσω των μηχανισμών αγωγής και κατακόρυφης μεταφοράς. Στους υπολογισμούς της εξάτμισης ενδιαφέρει άμεσα η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης και έμμεσα η ενέργεια που προσλαμβάνεται από τον ήλιο, καθώς και η καθαρή ενέτγεια που εγκαταλείπει την επιφάνεια της γης.

Η ενέργεια που προσλαμβάνεται από τον ήλιο εξαρτάται από τη ροή ηλιακής ενέργειας S_0 στο όριο της ατμόσφαιρας σε οριζόντιο (δηλαδή παράλληλο με την επιφάνεια της γης) επίπεδο (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ.171). Προφανώς η ροή S_0 σε ημερήσια βάση είναι ένα αστρονομικό μέγεθος, που εξαρτάται από την ημέρα που ενδιαφέρει και το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Αυτή είναι και η ενέργεια που εκτιμήθηκε σε αυτή την εργασία και με δεδομένο ότι συνδέεται με ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών θα μπορούσε να χρησιμεύσει για την εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

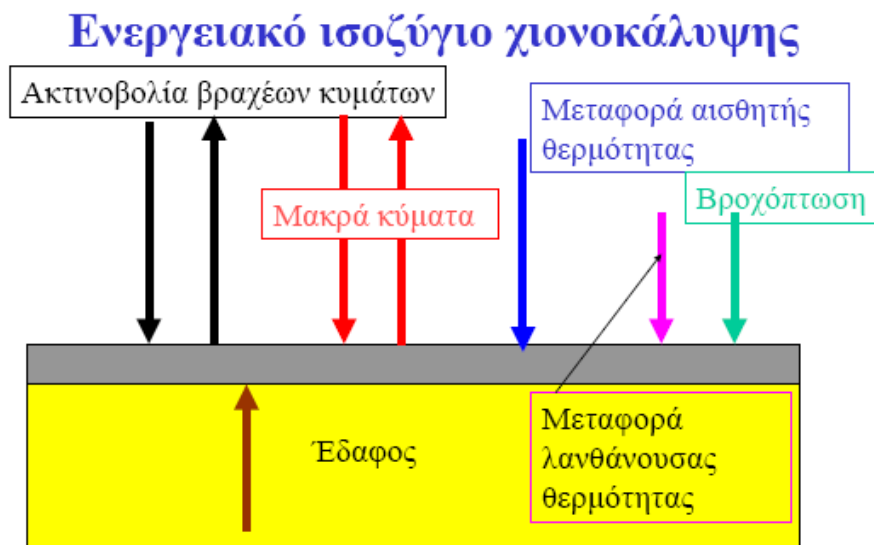
❁ Χιονοαπορροή

Παγκοσμίως, η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού προς τα υδατορεύματα αποτελεί σημαντική συνιστώσα της κίνησης του νερού (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html#snowmelt>). Σε κρύα κλίματα μεγάλο μέρος της ανοιξιάτικης απορροής και της παροχής των ποταμών προέρχεται από το λιώσιμο χιονιού και πάγου. Το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού προκαλεί πολλές φορές, εκτός από πλημμύρες, κατολισθήσεις και πτώσεις κατακερματισμένων βράχων.

Η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή αλλά και από χρόνο σε χρόνο. Η έλλειψη νερού αποθηκευμένου με τη μορφή χιονιού το χειμώνα μπορεί να λιγοστέψει το διαθέσιμο νερό για όλο τον υπόλοιπο χρόνο. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τη ποσότητα διαθέσιμου νερού στους κατάντη ταμιευτήρες, πράγμα που με τη σειρά του μπορεί να επηρεάσει το διαθέσιμο νερό για άρδευση και ύδρευση.

Οι πηγές θερμότητας για τη διαδικασία τήξης χιονιού είναι οι εξής (http://www.itia.ntua.gr/nikos/adv_hydrology/ask1-4_07.pdf) :

- η συμπύκνωση υδρατμών (water vapor condensation)
- η ακτινοβολία βραχέων και μακρών κυμάτων (radiation)
- η μεταγωγή (convection), δηλαδή η μεταφορά θερμότητας με μετακίνηση μαζών αέρα
- η βροχόπτωση και
- η αγωγή (conduction), δηλαδή η μεταφορά θερμότητας από μόριο σε μόριο με έδαφος και αέρα.



Πηγή: <http://www.itia.ntua.gr/getfile/542/1/1999AdvHydroSnow.pdf>

Η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων αφορά μήκη κύματος $< 4 \mu\text{m}$ κυρίως 0.5 ως 1.0 μm και προέρχεται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και τη διάχυτη ακτινοβολία (από αέρια και αερολύματα). Η καθαρή εισροή ενέργειας είναι:

$$K = K_i(1-a) \quad [\text{ET}^{-1}\text{L}^{-2}]$$

όπου K_i είναι η προσπίπτουσα ενέργεια και a η λευκαύγεια (<http://www.itia.ntua.gr/getfile/542/1/1999AdvHydroSnow.pdf>).

Η προσπίπτουσα ενέργεια είναι:

$$K_i = K_{\text{ET}}f_1f_2f_3$$

όπου K_{ET} η εξωγήινη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια και f_1 f_2 f_3 διορθωτικοί συντελεστές f_1 = κλίσης, f_2 = νέφωσης, f_3 = φυτοκάλυψης.

Η εξωγήινη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια είναι:

$$K_{\text{ET}} = K_{\text{ET}}(\varphi, \mathcal{J})$$

όπου φ = γεωγραφικό πλάτος, \mathcal{J} = αριθμός ημέρας.

Οι διορθωτικοί συντελεστές υπολογίζονται ως εξής:

- ✦ Κλίσης: $f_1 = f_1(\varphi, \beta, \gamma)$ με τη μέθοδο ισοδύναμου γεωγραφικού πλάτους.
- ✦ Νέφωσης: $f_2 = f_2(C)$ όπου C = νέφωση
π.χ. $f_2 = 0.355 + 0.68(1-C)$ [Croley, 1989]
- ✦ Φυτοκάλυψης: $f_3 = f_3(F)$ όπου F = φυτοκάλυψη
π.χ. $f_3 = \exp(-3.91F)$ για πεύκο [Dunne & Leopold, 1978]

Η εξωγήνη ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί εύκολα και με χαμηλό κόστος με τη μέθοδο που ακολουθήθηκε σε αυτή την εργασία.

• Εντοπισμός σημείων με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς ηλιακής ενέργειας

Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2020 η ηλιακή ενέργεια μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε περισσότερους από 1 δισεκατομμύριο ανθρώπους παγκοσμίως, ενώ θα ανοίξει περισσότερες από 2 εκατομμύρια θέσεις εργασίας, ετήσια αύξηση δηλαδή, της τάξης του 35% (<http://www.pr.ucy.ac.cy/newsletter/docs/koinotita15.pdf>). Αυτή είναι μια περιοχή που κάθε χώρα θα πρέπει να έχει άμεση ενεργό συμμετοχή.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε αυτήν την εργασία και οι δείκτες που υπολογίστηκαν για την εισερχόμενη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία, αποτελούν ένα καλό μέτρο προγραμματισμού και σχεδιασμού πιθανών ενεργειακών σεναρίων ή άλλων μορφών εκμετάλλευσης των περιοχών που υπερτερούν από άποψη ηλιοφάνειας.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η σημασία μιας τέτοιας μελέτης και για τον καταμερισμό των χρήσεων γης, όσον αφορά την ανάπτυξη του δομημένου περιβάλλοντος, αλλά ακόμη περισσότερο όσον αφορά τη γεωργία. Στην πρώτη περίπτωση η εύρεση του προσανατολισμού των κτιρίων προς των ήλιων και η πιθανή ενεργειακή αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση φυσικών και υλικών πόρων και ταυτοχρόνως στην αισθητική αναβάθμιση της περιοχής και την ψυχολογία των κατοίκων. Στη δεύτερη περίπτωση, στον αγροτικό τομέα, η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί γνώμονα επιλογής του είδους των καλλιεργειών, του απαιτούμενου νερού για άρδευση και της ανάπτυξης των φυτών, των σιτηρών και οποιασδήποτε άλλης καλλιέργειας. Επιπλέον, η ενεργειακή αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τους αγρότες συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του κόστους παραγωγής,

με μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον και συνεπώς οδηγεί στην αύξηση του εισοδήματός τους.

- **Εντοπισμός σημείων με ιδιαίτερα οικολογικά χαρακτηριστικά**

Η δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και η στήριξη των τροφικών αλυσίδων αποτελούν τη βάση κάθε οικοσυστήματος. Οι διάφοροι αυτότροφοι οργανισμοί (κυρίως υδρόβια φυτά και φυτοπλαγκτόν) δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα, ηλιακή ακτινοβολία και θρεπτικά στοιχεία και τα αποδίδουν ως οργανική ουσία (βιομάζα και βλάστηση, όσον αφορά τα φυτά) (<http://web.auth.gr/virtualschool/2.4/TheoryResearch/KarpadakisYgrotopoi.html>). Αυτή χρησιμοποιείται ποικιλοτρόπως (τροφή, καταφύγια, φωλεοποίηση, κλπ.) από τους ετερότροφους οργανισμούς (δηλαδή τα ζώα). Κατά συνέπεια, υπάρχουν περιοχές, που αποτελούν πόλους έλξης μεγάλου αριθμού ειδών πανίδας. Άλλα είδη μένουν μόνιμα σε αυτούς, άλλα τους επισκέπτονται για να βρουν τροφή, άλλα τους χρησιμοποιούν σαν τόπους ανάπαυσης κατά τα μεταναστευτικά τους ταξίδια ή χώρους φωλεοποίησης και αναπαραγωγής.

Ανάλογα με το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά τους, τα οικοσυστήματα είτε στηρίζουν μακριές τροφικές αλυσίδες που αποτελούν πολύπλοκα τροφικά πλέγματα, είτε δημιουργούν ιδιαίτερες συνθήκες ζωής που χρήζουν παρατήρησης και έρευνας. Σε κάθε περίπτωση η γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί κριτήριο για την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Συνεπώς οι τιμές της εισερχόμενης δυνητική ακτινοβολίας κατανεμημένες στο χρόνο και το χώρο αποτελούν πολύ σημαντικό στοιχείο για τον προσδιορισμό περιοχών με ιδιαίτερη οικολογική αξία.

3. Περιγραφή του μοντέλου

3.1 Εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση ArcGis

Η μικροκυματική ηλιακή ακτινοβολία καθαρού ουρανού (με απουσία της ατμόσφαιρας) πάνω σε διάφορες επιφάνειες ποικίλει ανάλογα με το αζιμούθιο και το υψόμετρο του ήλιου, την κλίση και τη διεύθυνση κλίσης της επιφάνειας, καθώς και της σχετικής θέσης της με τις γειτονικές επιφάνειες (Kumar και Skidmore). Ενώ η μέτρηση της ροής ενέργειας σε σχετικά επίπεδες επιφάνειες είναι άμεση, σε λοφώδεις περιοχές χρειάζεται ένα πυκνό δίκτυο σταθμών. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Ελλάδας για να υπολογίσει τη δυνητική άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη χώρα, αν και το μοντέλο μπορεί να τροποποιηθεί για να συμπεριλαμβάνει και τη διάχυτη ακτινοβολία, καθώς και παραμέτρους όπως η νεφοκάλυψη και το κατακρημνίσιμο νερό της ατμόσφαιρας. Η ικανότητα του μοντέλου να υπολογίζει την ακτινοβολία για μεγάλες περιόδους με έναν μη δαπανηρό τρόπο, το καθιστά κατάλληλο για την προσομοίωση της ακτινοβολίας της ίδιας ή για την εισαγωγή του σε υδρολογικά, κλιματολογικά και βιολογικά μοντέλα.

Η καταγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια περιοχή και η γενίκευση είναι σπάνια αποτελεσματικά, καθώς υπάρχει έντονη μεταβλητότητα από περιοχή σε περιοχή λόγω της μεταβαλλόμενης κλίσης και της διεύθυνσής της. Σε επίπεδες επιφάνειες και σε συνθήκες καθαρού ουρανού, τόσο η εισερχόμενη μικροκυματική ακτινοβολία, όσο και η ολική ακτινοβολία είναι περίπου οι ίδιες από σημείο σε σημείο μεγάλων περιοχών, οπότε μια μέτρηση μπορεί να ληφθεί ως αντιπροσωπευτική για όλη την περιοχή. Εντούτοις, σε λοφώδεις περιοχές, τέτοιου είδους σημειακές μετρήσεις, δεν αντιπροσωπεύουν επαρκώς την μικροκυματική ακτινοβολία για μεγάλες περιοχές, καθώς η φύση της λοφώδους επιφάνειας είναι τέτοια που ορίζει τοπικές καιρικές συνθήκες και έτσι σημειακά δείγματα είναι αντιπροσωπευτικά μόνο για την στενή περιοχή από την οποία συλλέχτηκαν. Είναι λοιπόν προφανές ότι για την επίτευξη λογικής ακρίβειας στη μέτρηση των εισροών σε λοφώδεις περιοχές, πρέπει κανείς είτε να χρησιμοποιήσει ένα πολύ πυκνό δίκτυο σταθμών συλλογής δεδομένων, είτε να χρησιμοποιήσει προσεγγίσεις, όπως η προσομοίωση της ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται σε μια περιοχή εξαρτάται από:

- ☉ το αζιμούθιο του ήλιου (σε μοίρες)
- ☉ το υψόμετρο του ήλιου (σε μοίρες)
- ☉ την απόσταση γης - ήλιου

- Ⓒ την ηλιακή απόκλιση
- Ⓒ την ηλιακή ροή ενέργειας στην ατμόσφαιρα
- Ⓒ την κλίση της επιφάνειας
- Ⓒ τη διεύθυνση της κλίσης της επιφάνειας
- Ⓒ τη σχετική θέση με τις γειτονικές περιοχές
- Ⓒ το υψόμετρο της περιοχής
- Ⓒ την αέρια μάζα*
- Ⓒ την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς και αέρια*.

**Δε λήφθηκαν υπόψη στους υπολογισμούς της παρούσας εργασίας, εφόσον υπολογίζεται η δυνητική ακτινοβολία, με την παραδοχή απουσίας της ατμόσφαιρας.*

Μεταβλητές όπως το αζιμούθιο και το υψόμετρο του ηλίου αλλάζουν συνεχώς κατά τη διάρκεια της μέρας και έτσι πρέπει να υπολογίζονται κάθε φορά που εκτιμάται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να υπολογίζεται στιγμιαία είναι η σκίαση από τοπογραφικά στοιχεία. Αντιθέτως η ηλιακή απόκλιση μπορεί να υπολογίζεται σε ημερήσια βάση, καθώς μεταβάλλεται βραδύτερα.

Η κλίση και η διεύθυνσή της μπορούν να υπολογιστούν εύκολα από το DEM (Digital Elevation Model - Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων). Τα επιπλέον δεδομένα που χρειάζονται για την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και η Ιουλιανή μέρα (εάν απαιτούνται υπολογισμοί για πάνω από μια μέρα χρειάζονται η μέρα έναρξης και η μέρα λήξης). Για την εκτίμηση της ολικής ακτινοβολίας για μια περίοδο (π.χ. μέρες, εβδομάδες ή μήνες), το διάστημα επανάληψης μεταξύ των στιγμιαίων υπολογισμών της ηλιακής ενέργειας πρέπει να καθορισθεί από τον χρήστη. Ενώ θα ήταν ιδεατό το διάστημα επανάληψης να είναι πολύ μικρό, έτσι ώστε να εξάγονται πιο ακριβή αποτελέσματα, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό λόγω περιορισμών, όπως το υπολογιστικό κόστος και η διαθεσιμότητα γρήγορου υπολογιστή. Το χρονικό διάστημα που επιλέγεται μπορεί να είναι μεγαλύτερο για επίπεδες επιφάνειες, αλλά πρέπει να είναι μικρότερο για λοφώδεις επιφάνειες, καθώς τα φαινόμενα σκίασης είναι πιο έντονα σε τέτοιες περιοχές. Η ροή ενέργειας μετριέται στο μέσο κάθε χρονικού διαστήματος, έτσι ώστε να μειωθεί η επιρροή των φαινομένων σκίασης.

Οι ατμοσφαιρικές μεταβλητές μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση καθιερωμένων σχέσεων και μεταβλητών.

Ο αλγόριθμος αυτός προορίζεται για εφαρμοσμένη χρήση σε τομείς όπως η δασολογία, η οικολογία, η βιολογία και η γεωργία, όπου η χωρική μεταβολή της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντική για την εξαγωγή διαφόρων τιμών. Παρόλο που το μέγεθος της μικροκυματικής ακτινοβολίας θα υποεκτιμηθεί αφού αγνοήθηκε η συνιστώσα της διάχυτης ακτινοβολίας, οι χωρικές τάσεις δε θα επηρεαστούν αφού η ροή ενέργειας διάχυτης ακτινοβολίας καθαρού ουρανού θα μεταβάλλεται ανάλογα με τη διεύθυνση της κλίσης με τον ίδιο τρόπο που μεταβάλλεται η ροή της άμεσης μικροκυματικής ακτινοβολίας. Η δυνατότητα εκτίμησης της ηλιακής ακτινοβολίας για μεγάλες περιόδους σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα καθιστά το μοντέλο κατάλληλο για πολλούς τομείς, όπως την ανάπτυξη των φυτών, τη χαρτογράφηση της βλάστησης, της μελέτες υδατικού ισοζυγίου, τη βιοποικιλότητα και τον προσδιορισμό των πιθανών περιοχών για την ανάπτυξη συγκεκριμένων ειδών χλωρίδας και πανίδας.

3.2 Η τεχνική προσομοίωσης

Η απλή προσομοίωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί τη γνώση της εισερχόμενης ακτινοβολίας και την εφαρμογή της σε κάθε σημείο της επιφάνειας της γης. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε φατνίο της Ελλάδας, για κάθε ώρα ενός μέσου ημερολογιακού έτους. Το υψόμετρο και το αζιμούθιο του ηλίου, η κλίση και η διεύθυνση κλίσης κάθε φατνίου και τα φαινόμενα σκίασης λόγω της γεωμορφολογίας λήφθηκαν υπόψη για τους υπολογισμούς. Οι ωριαίες εκτιμήσεις αθροίστηκαν σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση, έτσι ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση. Η διαδικασία αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της πραγματικής εισερχόμενης ακτινοβολίας, λαμβάνοντας υπόψη σημειακές μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το ArcGIS 9.1.

Ⓢ Εκτίμηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

Οι τιμές της ποσότητας και τις διεύθυνσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για ανέφελο ουρανό για την Ελλάδα υπολογίστηκαν με βάση το γεωγραφικό πλάτος κάθε περιοχής για κάθε ώρα της μέρας, για ένα μέσο ημερολογιακό έτος. Αρχικά υπολογίστηκε το υψόμετρο και το αζιμούθιο του ήλιου και στη συνέχεια η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, για κάθε ώρα ξεχωριστά. Η παραπάνω διαδικασία έγινε στο πρόγραμμα excel.

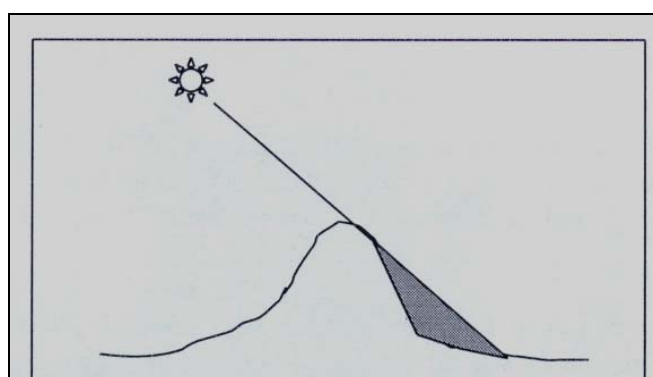
Ⓢ Εκτίμηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης

Αφού υπολογιστεί η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει άμεσα στη γη, απαιτείται μία τεχνική εφαρμογής της σε κάθε τμήμα της γήινης επιφάνειας ανάλογα με την τοπογραφία και το περιβάλλον του.

1. Τοπογραφικοί παράγοντες

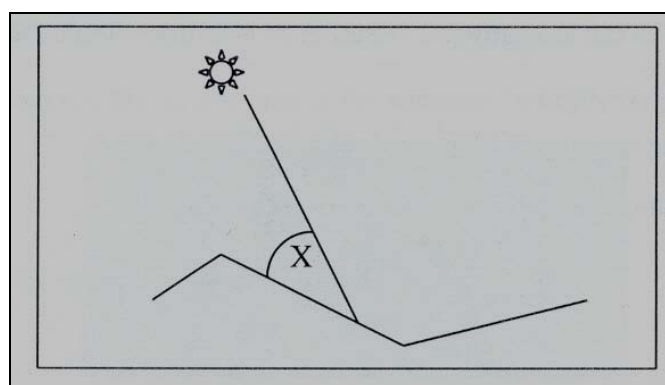
Η ηλιακή ακτινοβολία καθορίζεται από τοπογραφικούς παράγοντες (Dubayah 1994). Υπάρχουν δύο καθοριστικοί τοπογραφικοί παράγοντες για την άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια συγκεκριμένη περιοχή:

- Η σκίαση παρατηρείται όταν ένας λόφος εμποδίζει την πρόσπτωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1 : Σκίαση

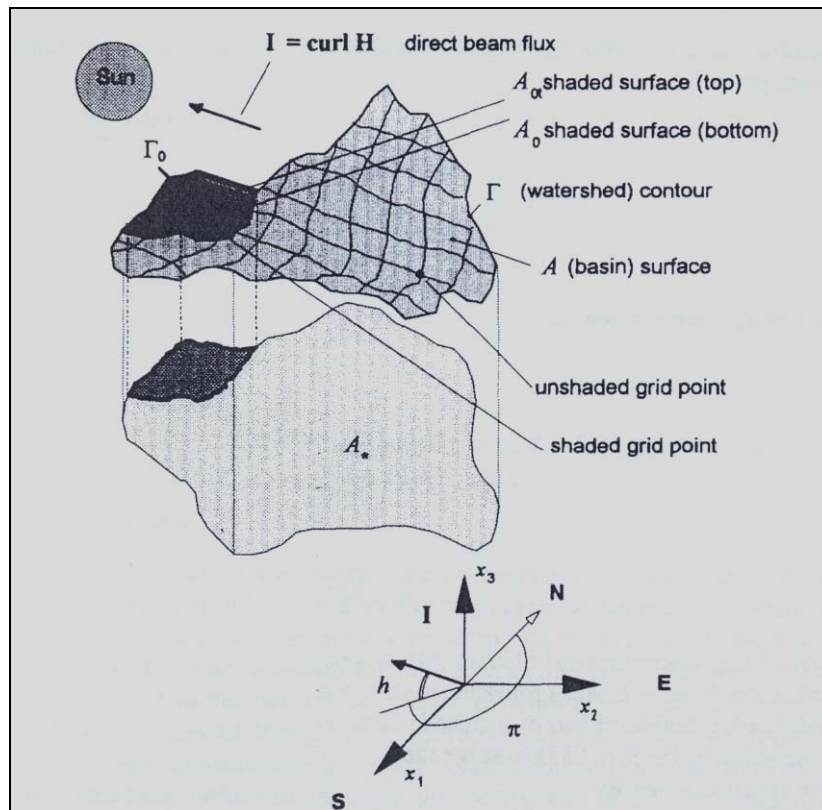
- Η γωνία πρόσπτωσης μειώνει την ποσότητα της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέγιστη ακτινοβολία παρατηρείται όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι κάθετη στην επιφάνεια. Κάθε μείωση είναι ανάλογη του ημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης (Εικ. 3.2).



Εικόνα 3.2 : Γωνία πρόσπτωσης

2. Εφαρμογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια

Οι παράγοντες της σκίασης (Εικ. 3.3) και της γωνίας πρόσπτωσης (Εικ. 3.4) χρησιμοποιούνται από τη λειτουργία Hillshade του ArcGIS του Environmental Systems Research Institute (ESRI). Το μόνο που χρειάζεται είναι η εισαγωγή του αζιμούθιου και του υψόμετρου του ηλίου. Οι τιμές της συνάρτησης Hillshade κυμαίνονται από 0-254, όπου το 0 αντιστοιχεί στη σκίαση και το 254 στην κάθετη διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το αζιμούθιο και το υψόμετρο για κάθε ώρα εφαρμόζονται στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ - DTM) με τη χρήση του Hillshade. Στη συνέχεια με χρήση της εντολής Reclassify οι τιμές του Hillshade από 0-10 παίρνουν τη τιμή 0 και όλες οι υπόλοιπες (11-254) την τιμή 1.



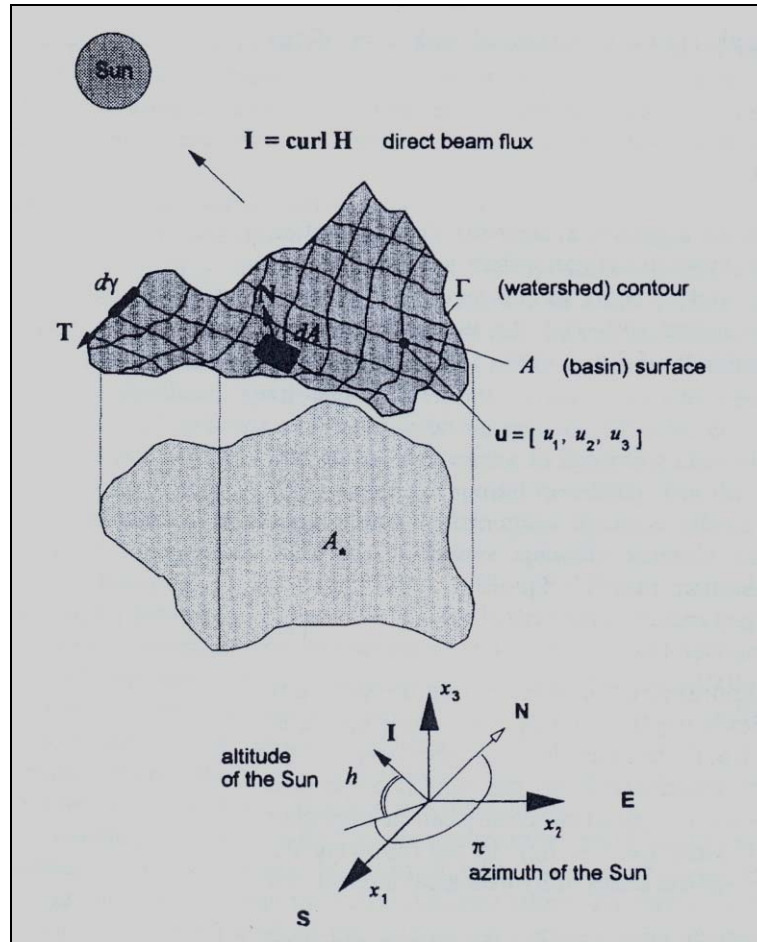
Εικόνα 3.3 : Σχηματική αναπαράσταση των φαινομένων σκίασης στην εισερχόμενη άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε μια λεκάνη απορροής (Ranzi και Rosso, 1995)

Για την εκτίμηση της γωνίας πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται μια ακολουθία εντολών που εφαρμόζουν τον εξής τύπο:

$$\cos f = \sin Azm \times \cos Elv \times \sin Slp \times \sin Asp + \cos Azm \times \cos Elv \times \sin Slp \times \cos Asp + \sin Elv \times \cos Slp$$

όπου:

- ☞ f = η γωνία πρόσπτωσης
- ☞ Azm = το αζιμούθιο του ηλίου
- ☞ Eln = το υψόμετρο του ηλίου
- ☞ Slp = η κλίση της επιφάνειας
- ☞ Asp = η διεύθυνση κλίσης της επιφάνειας



Εικόνα 3.4 : Σχηματική αναπαράσταση της εισερχόμενης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε μια λεκάνη απορροής (Ranzi και Rosso, 1995)

Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση γης - ήλιου τη συγκεκριμένη ώρα υπολογίζεται η δυνητική ηλιακή ακτινοβολία για τη συγκεκριμένη επιφάνεια ή σε περιπτώσεις σκίασης της δίνεται η τιμή 0.

3.3 Εύρεση τύπου γωνίας πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας

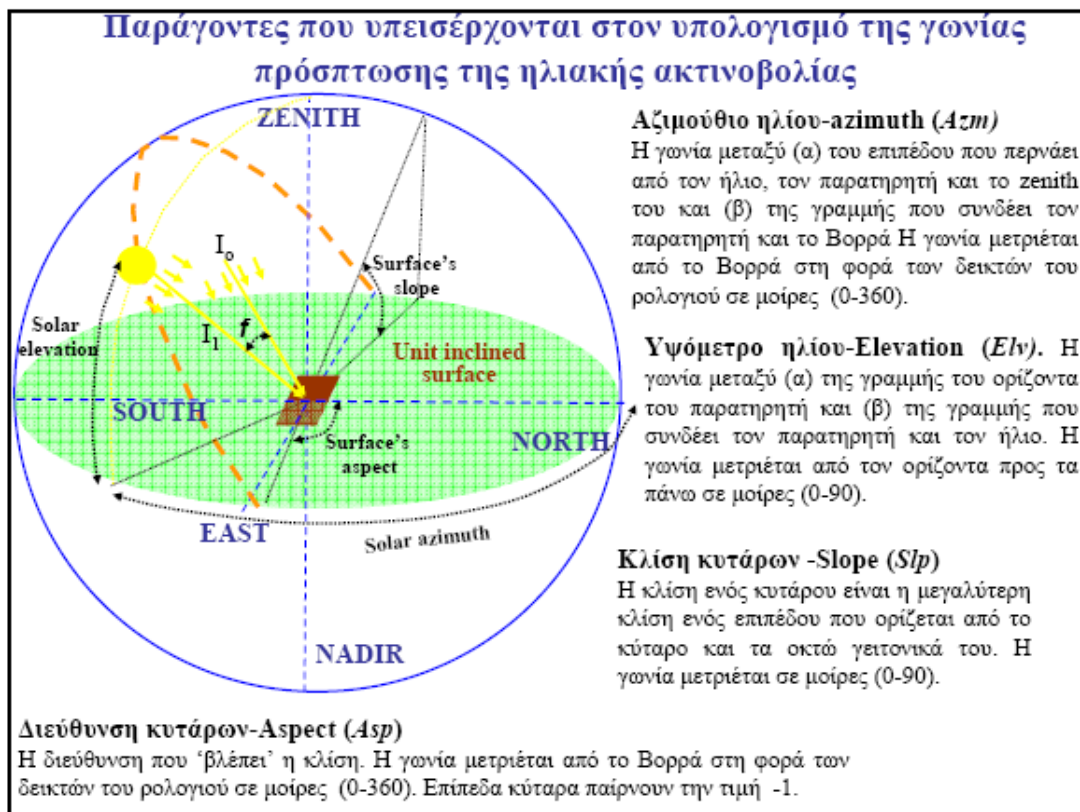
Για την εύρεση της γωνίας πρόσπτωσης λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω στοιχεία από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία:

1. Τύπος που αναπτύχθηκε στην εργασία

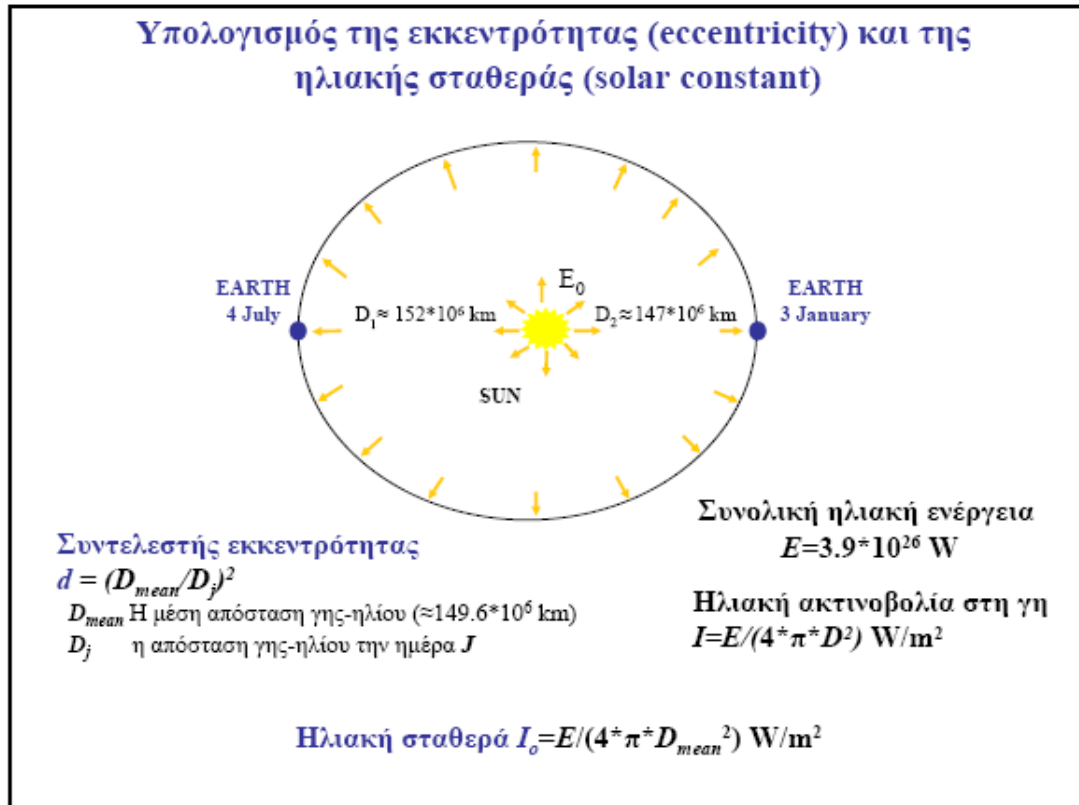
☉ $I = I_0 \times d \times \cos f$ [Δυνητική ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)]

όπου

- ☞ $I_0 \approx 1367 W/m^2 \approx E/(4\pi D^2)$ (W/m^2)
- ☞ $\cos f = \sin Azm \times \cos Elv \times \sin (Slp) \times \sin Asp + \cos Azm \times \cos Elv \times \sin (Slp) \times \cos Asp + \sin Elv \times \cos (Slp)$
- ☞ $d = 1 + 0.034 \times \cos(2 \times \pi \times J/365 - 0.05)$



Εικόνα 3.5 : Παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακή ακτινοβολίας (Matassis, 2005).



Εικόνα 3.6 : Υπολογισμός της εκκεντρότητας και της ηλιακής σταθεράς (Mamassis, 2005).

2. Τύπος από βιβλιογραφία

Ο Μπαλαράς (2006, σ.134) χρησιμοποιεί τους παρακάτω τύπος και ορισμούς γωνιών για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά φτάνει στην επιφάνεια της γης:

☉ Μέση απόσταση γης - ήλιου (D_{mean})
 $r_0 = 149.6 \times 10^6 \text{ km} = 1 \text{ AU (Astronomical Unit)}$

☉ Απόσταση γης - ήλιου (Συντελεστής Εκκεντρότητας)
 $d = E_0 = (r_0/r)^2 = 1 + 0.033 \cos(360D/365)$

όπου D η μέρα του χρόνου.

☉ Ηλιακή απόκλιση (δ)

Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα γης και ήλιου με το εκλειπτικό επίπεδο του ισημερινού.

$\Delta = (0,006918 - 0,399912 \times \cos \Gamma + 0,70257 \times \sin \Gamma - 0,006758 \times \sin \Gamma - 0,002697 \times \cos 3\Gamma + 0,00148 \times \cos 3\Gamma) \times (180/\pi)$

όπου $\Gamma = 2\pi(d-1)/365$ [rad]

$\delta = 0$: φθινοπωρινή ισημερία	
$\delta = +23,5$: θερινό ηλιοστάσιο	→ για το Β ημισφαίριο
$\delta = -23,5$: χειμερινό ηλιοστάσιο	

☉ Ηλιακή σταθερά

$$G_{sc} = I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$$

☉ Ηλιακή ακτινοβολία

☞ Άμεση (G_b): ελάχιστη ή καθόλου σκέδαση στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την απορρόφηση και τη διάχυση στην ατμόσφαιρα, το ύψος του ήλιου, το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο του τόπου, την κλίση της επιφάνειας, την απόσταση Γης - Ήλιου και την απόκλιση του ήλιου.

☞ Διάχυτη (G_d): αλλαγή διεύθυνσης από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα και ανάκλαση από την επιφάνεια της γης.

☞ Ολική = $G_b + G_d$

☉ Ηλιακός χρόνος

$$H_x = T_x \pm 4 (L_{στ} - L_T) + E_t$$

Όπου:

- ☞ T_x ο τοπικός χρόνος
- ☞ $L_{στ}$ ο μεσημβρινός για τη ζώνη χρόνου της περιοχής
- ☞ L_T ο τοπικός μεσημβρινός (γεωγραφικό μήκος)
- ☞ E_t η εξίσωση του χρόνου (πόσο διαφέρει η ελλειπτική από την κυκλική τροχιά) → $E_t = 9,87 \cdot \sin 2B - 7,53 \cdot \cos B - 1,5 \cdot \sin B$ (σε min)
- ☞ (+) για το δυτικό ημισφαίριο και (-) για το ανατολικό ημισφαίριο

☉ Γεωγραφικό μήκος Ελλάδας: $20^\circ \text{ A} - 20^\circ \text{ A}$ (2 ώρες από το Greenwich)

☉ Ωριαία γωνία (ω)

Γωνιακή μετατόπιση του ήλιου A ή Δ του τοπικού μεσημβρινού ((-) το πρωί, (+) το απόγευμα)

☉ Ζενιθιακή γωνία

Η γωνία του ήλιου με το ζενίθ.

$$\cos \theta_z = (\sin \delta \cdot \sin \varphi) + (\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega) = \sin a$$

Όπου:

- ☞ δ = ηλιακή απόκλιση
- ☞ φ = γεωγραφικό πλάτος
- ☞ ω = ωριαία γωνία

$$\alpha = \text{ηλιακό ύψος} = \text{solar elevation} = 90 - \theta_z$$

☉ Μέγιστο σφάλμα υπολογισμών = $0,5^\circ = 0,0006 \text{ rad}$ (λόγω $\Delta\delta$)

☉ Ηλιακό ύψος - solar elevation (α)

Το γωνιακό ύψος του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα του παρατηρητή.

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ)$$

χειμώνα \rightarrow μικρές τιμές

καλοκαίρι \rightarrow μεγάλες τιμές

(φαινομενικές μεταβολές λόγω διαφορών στην ηλιακή απόκλιση (δ))

☉ Αέρια μάζα (m)

Το πηλίκο του οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας διαμέσου του οποίου περνά η άμεση ακτινοβολία ως προς το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ.

$$m = 1/\sin\alpha$$

☉ Αζιμούθια γωνία ήλιου (γ_s) - solar azimuth

Η γωνία μεταξύ του επιπέδου του μεσημβρινού και του παρατηρητή (δηλαδή στον νότιο προσανατολισμό) και του επιπέδου της προβολής του ήλιου πάνω στην επιφάνεια της γης (προσανατολισμός θέσης ήλιου σε σχέση με τον παρατηρητή).

$$0^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ,$$

(-) ανατολικά, (+) δυτικά και (0) νότια

$$\gamma_s = C_1 C_2 [\sin^{-1}(\sin\omega \cdot \cos\delta / \sin\theta_z) + C_3 \cdot 180 (1 - C_1 C_2) / 2]$$

όπου:

☉ $C_1 = 1$ αν $|\omega| \geq \cos^{-1}(\tan\delta / \tan\varphi)$ και -1 αν $|\omega| < \cos^{-1}(\tan\delta / \tan\varphi)$

☉ $C_2 = 1$ αν $\varphi - \delta \geq 0$ και -1 αν $\varphi - \delta \leq 0$

☉ $C_3 = 1$ αν $|\omega| \geq \cos^{-1}(\tan\delta / \tan\varphi)$ και -1 αν $|\omega| < \cos^{-1}(\tan\delta / \tan\varphi)$

☉ Ωριαία γωνία δύσης (ω_{ss})

Η τιμή της ωριαίας γωνίας όταν ο ήλιος δύει.

$$\omega_{ss} = \cos^{-1}(-\tan\delta \cdot \tan\varphi)$$

☉ Ωριαία γωνία ανατολής (ω_{sr})

Η τιμή της ωριαίας γωνίας όταν ο ήλιος ανατέλλει.

$$\omega_{sr} = -\omega_{ss}$$

☉ Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας (N) μεταξύ ανατολής και δύσης του ηλίου.

$$N = 2 \omega_{ss} / 15$$

ⓐ Γωνία κλίσης (β) - slope

Η κλίση της επιφάνειας σε σχέση με το οριζόντιο.

ⓑ Αζιμούθιο - aspect ($0^\circ - 360^\circ$ από Β)

Προσανατολισμός της κλίσης, η γωνία μεταξύ της καθέτου στην επιφάνεια και του τοπικού μεσημβρινού (νότιος προσανατολισμός) πάνω στο οριζόντιο επίπεδο.

$$\begin{aligned} -180^\circ &\leq \gamma \leq 180^\circ, \\ \cos\gamma &= (\sin\alpha \cdot \sin\varphi - \sin\delta) / (\cos\alpha \cdot \cos\varphi) \\ \sin\gamma &= (\cos\delta \cdot \sin\omega) / (\cos\alpha) \end{aligned}$$

Ⓒ Γωνία πρόσπτωσης (θ) της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε μια κεκλιμένη επιφάνεια.

Είναι η γωνία μεταξύ της καθέτου στην επιφάνεια και της διεύθυνσης της ακτινοβολίας και καθορίζει την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

$$\cos\varphi = (\sin\beta \times \cos\alpha \times \sin\gamma \times \sin\gamma_s) + (\sin\beta \times \cos\gamma \times \cos\alpha \times \cos\gamma_s) + (\sin\alpha \times \cos\beta)$$

Ο παραπάνω τύπος είναι ο ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή για την εξαγωγή της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

3.4 Η υπολογιστική διαδικασία

Η ρουτίνα *solar angle* υπολογίζει το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και αποτελεί υπορουτίνα της ρουτίνας *final solar*, η οποία υπολογίζει τη δυνητική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε φαντίο ως ποσοστό της ηλιακής σταθεράς ($I_0 \approx 1367 \text{ W/m}^2$).

Για τους υπολογισμούς επιλέχτηκε ψηφιακό μοντέλο της Ελλάδας με ανάλυση φαντίου 500x500 μέτρα, έτσι ώστε να επιτευχθούν ταυτόχρονα ικανοποιητική ανάλυση και λογικός υπολογιστικός φόρτος. Με βάση αυτό υπολογίστηκαν μια σειρά αρχείων raster τα οποία χρησιμοποιούνται σαν δεδομένα στη ρουτίνα υπολογισμού της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και στη ρουτίνα υπολογισμού της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας. Τα αρχεία αυτά είναι η κλίση (ρουτίνα slope του ArcGis), η διεύθυνση κλίσης (ρουτίνα aspect του ArcGis) και το ημίτονο και το συνημίτονο των δύο παραπάνω raster (ρουτίνες sin και cos του ArcGis).

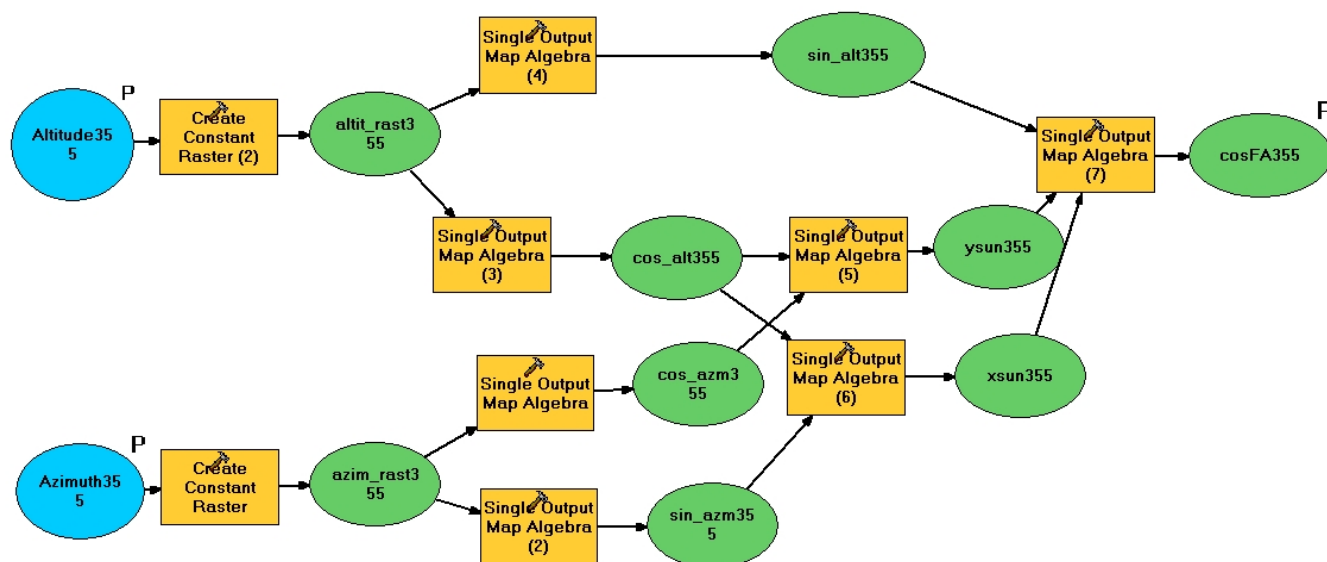
Στη συνέχεια για κάθε ώρα ενός μέσου ημερολογιακού έτους εισάγονται το υψόμετρο και το αζιμούθιο του ηλίου και υπολογίζονται το ημίτονο και το

συνημίτονο των παραπάνω τιμών (ρουτίνες *sin* και *cos* του *ArcGis*). Τέλος με βάση τα παραπάνω raster η υπορουτίνα *solar angle* (Εικ. 3.7) υπολογίζει το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\cos f = \sin Azm \times \cos Elv \times \sin Slp \times \sin Asp + \cos Azm \times \cos Elv \times \sin Slp \times \cos Asp + \sin Elv \times \cos Slp$$

όπου:

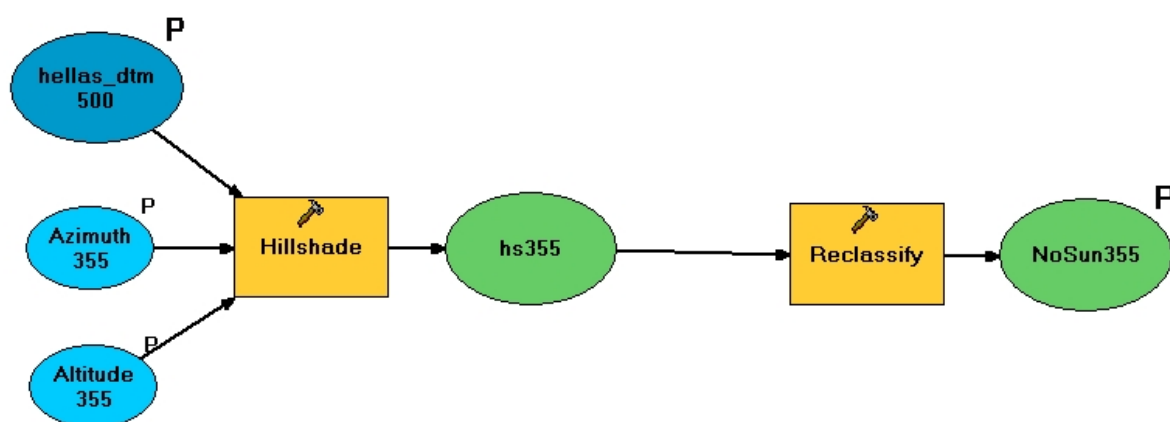
- ☛ f = η γωνία πρόσπτωσης
- ☛ Azm = το αζιμούθιο του ηλίου
- ☛ Elv = το υψόμετρο του ηλίου
- ☛ Slp = η κλίση της επιφάνειας
- ☛ Asp = η διεύθυνση κλίσης της επιφάνειας



Εικόνα 3.7 : Η ρουτίνα *Solar Angle*.

Για τον συνυπολογισμό των φαινομένων σκίασης δημιουργήθηκε η ρουτίνα *No Sun Areas* (Εικ. 3.8), η οποία αποτελεί επίσης υπορουτίνα της ρουτίνας *final solar*. Στη ρουτίνα αυτή χρησιμοποιείται η ρουτίνα *Hillshade* του *ArcGis*. Το μόνο που χρειάζεται είναι η εισαγωγή του αζιμούθιου και του υψόμετρου του ηλίου τα οποία για κάθε ώρα είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και στην υπορουτίνα *solar angle*. Οι τιμές της συνάρτησης *Hillshade* κυμαίνονται από 0-254, όπου το 0 αντιστοιχεί στη σκίαση και το 254 στην κάθετη διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια με χρήση της εντολής *Reclassify* οι τιμές του *Hillshade* από 0-10 παίρνουν τη τιμή 0 και όλες οι υπόλοιπες (11-254) την τιμή 1. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται από τη ρουτίνα *final solar* (Εικ. 3.9) και πολλαπλασιαζόμενες με το αποτέλεσμα της υπορουτίνας *solar*

angle έτσι ώστε να μηδενιστεί η τιμή της γωνίας πρόσπτωσης αν το συγκεκριμένο φατνίο σκιάζεται ή να διατηρήσει την τιμή του στην αντίθετη περίπτωση.



Εικόνα 3.8 : Η ρουτίνα No Sun Areas.

Για την επίτευξη ακριβέστερου υπολογισμού της εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας λήφθηκε υπόψη και η επίδραση του γεωγραφικού πλάτους. Έτσι το ψηφιακό μοντέλο της Ελλάδας χωρίστηκε σε επτά (7) γεωγραφικές ζώνες ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος των περιοχών. Η ομαδοποίηση των περιοχών με κοντινό γεωγραφικό πλάτος και η ενοποίησή τους σε μία τιμή ήταν απαραίτητη για την εκτέλεση των υπολογισμών στο περιβάλλον του ArcGis. Από τον έλεγχο όμως που έγινε κρίθηκε ότι η απλοποίηση αυτή δεν επηρεάζει εμφανώς τα αποτελέσματα, οπότε το σφάλμα είναι αμελητέο. Οι τιμές γεωγραφικού πλάτους που λήφθηκαν είναι κατά σειρά από νότο προς βορρά οι εξής: 35,5 - 36,5 - 37,5 - 38,5 - 39,5 - 40,5 - 41,5, έτσι ώστε να καλύπτουν τις τιμές γεωγραφικού πλάτους που εμφανίζονται σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας και να λαμβάνεται μια μέση τιμή για κάθε ζώνη (κάθε ζώνη οριοθετείται από την αλλαγή του γεωγραφικού πλάτους κατά μία μοίρα), έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα. Για κάθε ζώνη υπολογίστηκε στο αρχείο excel ξεχωριστά το αζιμούθιο και το υψόμετρο, αφού οι τιμές τους επηρεάζονται άμεσα από το γεωγραφικό πλάτος. Συνεπώς για κάθε ώρα οι υπορουτίνες No Sun Areas και Solar angle εκτελούνται ξεχωριστά για κάθε μία από τις επτά ζώνες και ενώνονται στο τέλος, για να προκύψει ένα ενιαίο raster αρχείο για όλη την Ελλάδα.

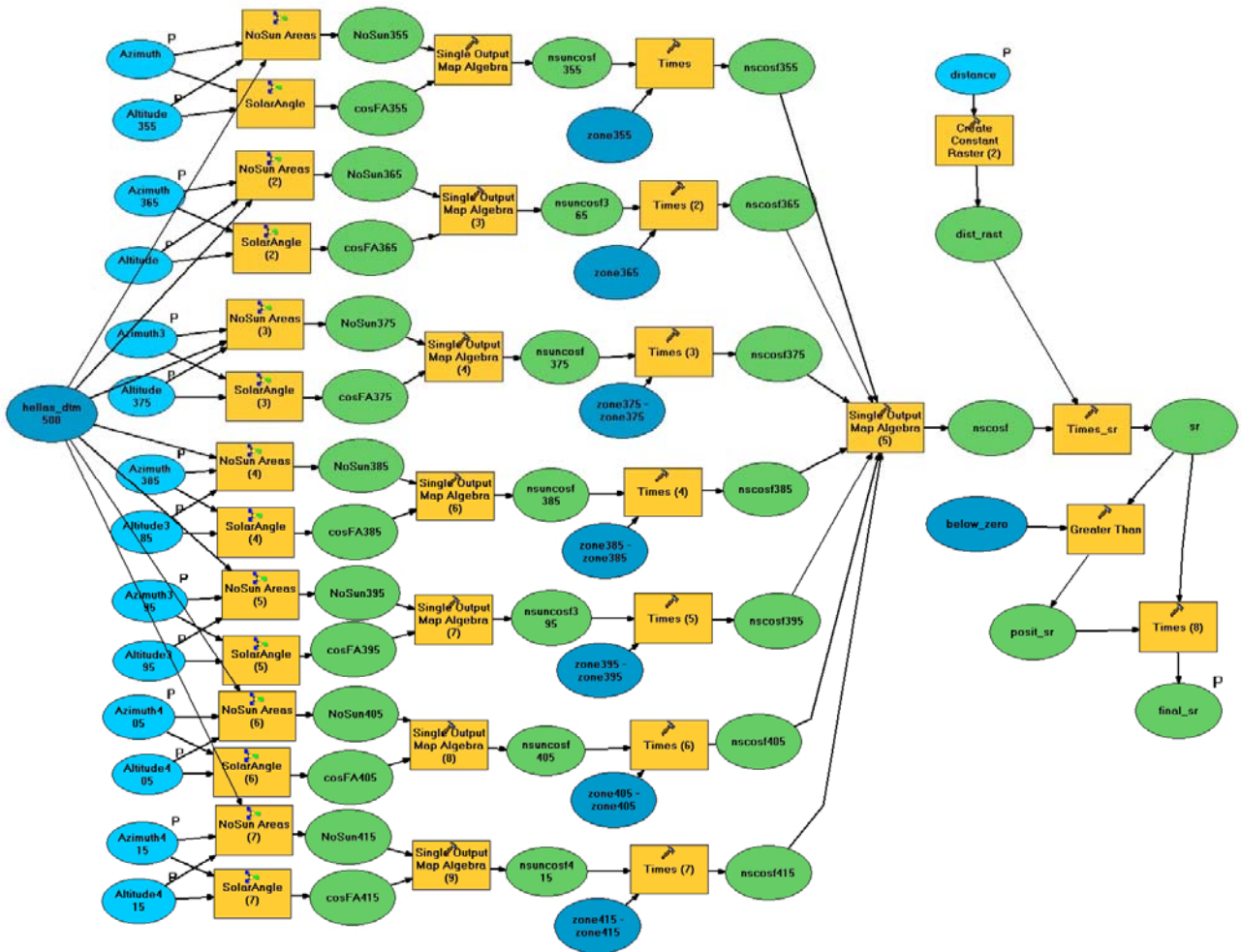
Στη συνέχεια το παραπάνω αρχείο πολλαπλασιάζεται με την απόσταση γης - ήλιου τη συγκεκριμένη ώρα, όπως αυτή υπολογίστηκε στο αρχείο excel, για να υπολογιστεί η εισερχόμενη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία, ως ποσοστό της ηλιακής σταθεράς. Τέλος με έναν έλεγχο αφαιρούνται οι αρνητικές τιμές που

μπορεί να προέκυψαν από την υπορουτίνα solar angle λόγω αρνητικών γωνιών και δίνεται σε αυτές η τιμή μηδέν.

Η κατανομή των ωρών ηλιοφάνειας για κάθε μήνα όπως προέκυψαν και αντιστοίχως ο αριθμός των raster αρχείων για κάθε μήνα είναι η εξής:

Μήνας	Αριθμός Ημερών	Αριθμός raster αρχείων
Ιανουάριος	1-31	310
Φεβρουάριος	32-59	294
Μάρτιος	60-90	368
Απρίλιος	91-120	391
Μάιος	121-151	434
Ιούνιος	152-181	431
Ιούλιος	182-212	434
Αύγουστος	213-243	431
Σεπτέμβριος	244-273	362
Οκτώβριος	274-304	345
Νοέμβριος	305-334	307
Δεκέμβριος	335-365	310

Τα ωριαία αρχεία προστέθηκαν με χρήση τις ρουτίνας Sum Day και έτσι υπολογίστηκαν τα αρχεία με τις ημερήσιες τιμές (365 rasters) και εν συνεχεία οι μηνιαίες τιμές με άθροιση των ημερησίων. Τέλος υπολογίστηκε η συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία για ένα ολόκληρο τυπικό ημερολογιακό έτος και έγινε η εξαγωγή κάποιων δεικτών για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η παραπάνω διαδικασία επεξηγείται καλύτερα στο κεφάλαιο 5, *Επεξεργασία των αποτελεσμάτων*, που ακολουθεί.



Εικόνα 3.9 : Η ρουτίνα Final Solar.

3.5 Χρήσιμες Πληροφορίες - Πιθανά προβλήματα

Κατά την εφαρμογή της ρουτίνας final solar στο ArcGIS μπορεί να δημιουργηθούν κάποια προβλήματα, τα οποία εμποδίζουν την ομαλή εκτέλεσή της. Σε τέτοια περίπτωση μπορούν να φανούν χρήσιμες οι παρακάτω οδηγίες:

- Το directory στο οποίο εκτελούνται οι παραπάνω ρουτίνες και στο οποίο αποθηκεύονται τα raster αρχεία που προκύπτουν επιλέχτηκε να είναι το C:\Documents and Settings\All Users\Documents\RADIATION το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί σε όλους τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.
- Εάν η επαναληπτική διαδικασία της ρουτίνας final solar στο αρχείο GIS δεν εκτελείται και εμφανίζεται το σφάλμα "Invalid Parameters. Cannot delete output..." πρέπει να γίνουν οι εξής ρυθμίσεις:
Tools → Options → Geoprocessing → Overwrite the output of geoprocessing operations

και επίσης σε όλα τα μπλε κουτιά στο edit του μοντέλου, με δεξί κλικ του ποντικιού θα πρέπει η ένδειξη *intermediate* να μην είναι επιλεγμένη.

- Για ταχύτερη εκτέλεση της επαναληπτικής διαδικασίας της ρουτίνας μπορεί να γίνει η ρύθμιση:
Tools → Options → General → αποεπιλογή: *make newly added layers visible be default*.
- Ο υπολογιστικός φόρτος προσεγγιστικά για υπολογιστή "Pentium(R) 4 CPU 3.00 GHz, RAM 1.00 GB" (στον οποίον έγινε η παραγωγή των αποτελεσμάτων), είναι περίπου 10 λεπτά για κάθε raster ωριαίας δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας. Οι αθροίσεις για τις ημερήσιες τιμές εκτελούνταν σε 20 περίπου δευτερόλεπτα. Οι παραπάνω εντολές εκτελούνταν με επαναληπτική διαδικασία μέσα από το παράθυρο Command Line του ArcGIS. Στη συνέχεια οι αθροίσεις για τις μηνιαίες και ετήσιες τιμές, καθώς και για τους δείκτες έγιναν χειροκίνητα με χρήση του παραθύρου raster calculator και εκτελούνταν σε 30 περίπου δευτερόλεπτα. Το μέγεθος κάθε raster αρχείου με ανάλυση 500x500 είναι περίπου 10 έως 12 MB.

4. Αποτελέσματα

Η παραγωγή των αποτελεσμάτων σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία κατέληξε στη συλλογή 4419 αρχείων χαρτών ωριαίων δεδομένων, 365 αρχείων χαρτών ημερήσιων δεδομένων, 12 αρχείων χαρτών μηνιαίων δεδομένων και ενός χάρτη με τις ετήσιες τιμές της εκτιμημένης εισερχόμενη ηλιακής ακτινοβολίας.

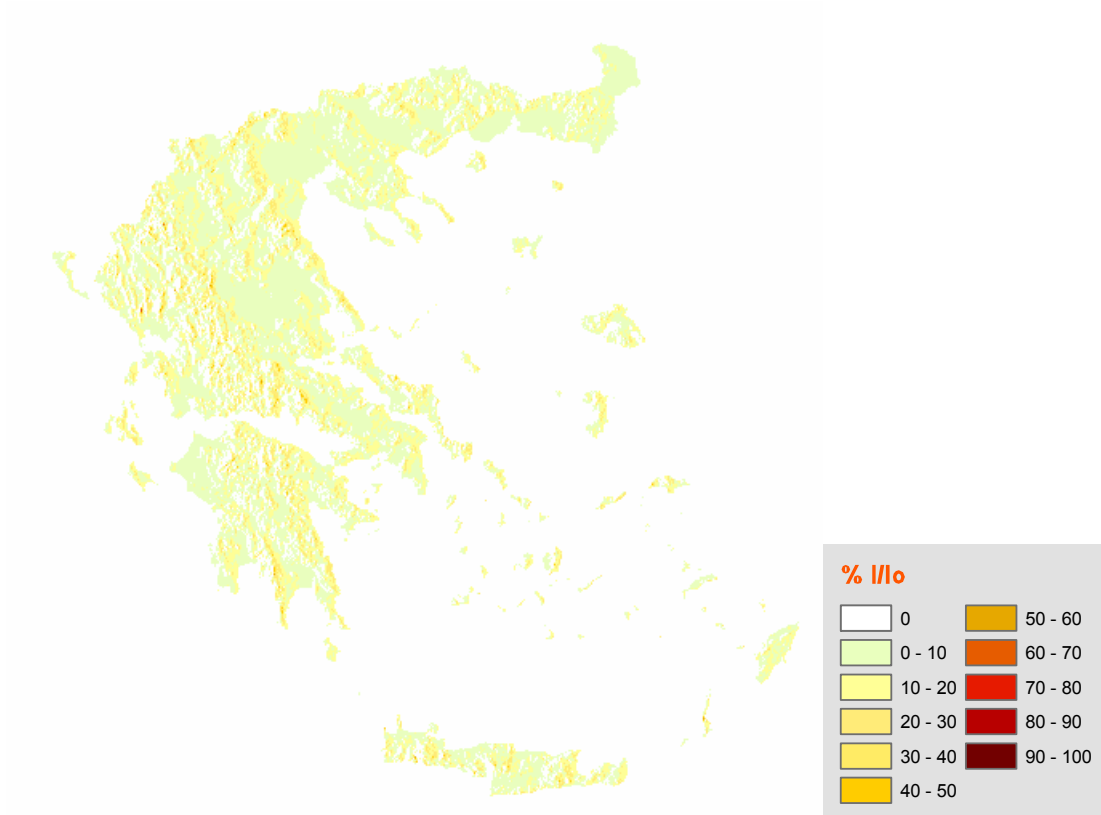
Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιοι από αυτούς τους χάρτες και συνάγονται τα κυριότερα συμπεράσματα, όπως προκύπτουν από την κατανομή των τιμών της ακτινοβολίας.

4.1 Ωριαίες Τιμές

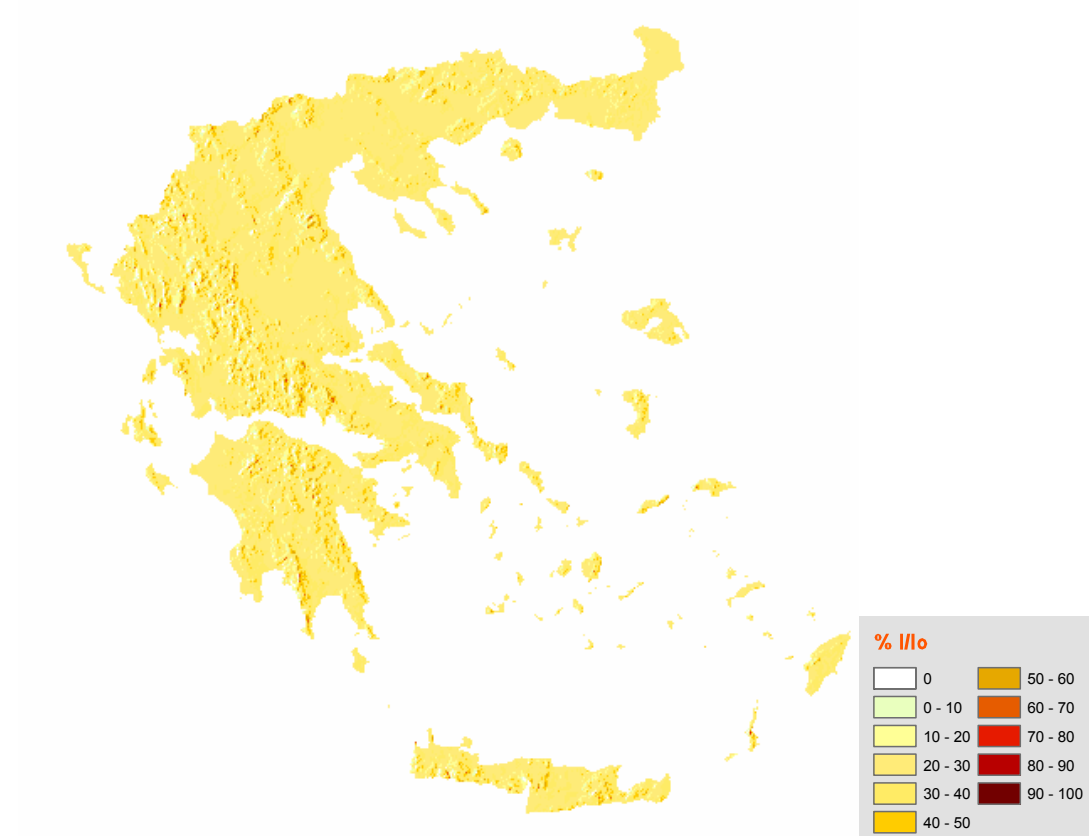
Από το σύνολο των αποτελεσμάτων των ωριαίων τιμών επιλέχτηκαν για παρουσίαση οι ώρες των δύο ισημεριών (21 Μαρτίου, και 22 Σεπτεμβρίου) και των δύο ηλιοστασιών (21 Ιουνίου και 21 Δεκεμβρίου), επειδή κατέχουν χαρακτηριστική θέση (μεταξύ των αλλαγών θέσης του ήλιου, ακραίες και μέσες τιμές) μέσα στο έτος, αλλά και επειδή είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες μέσα σε αυτό (μία σε κάθε εποχή).

21 Μαρτίου (Ιουλιανή μέρα 80)

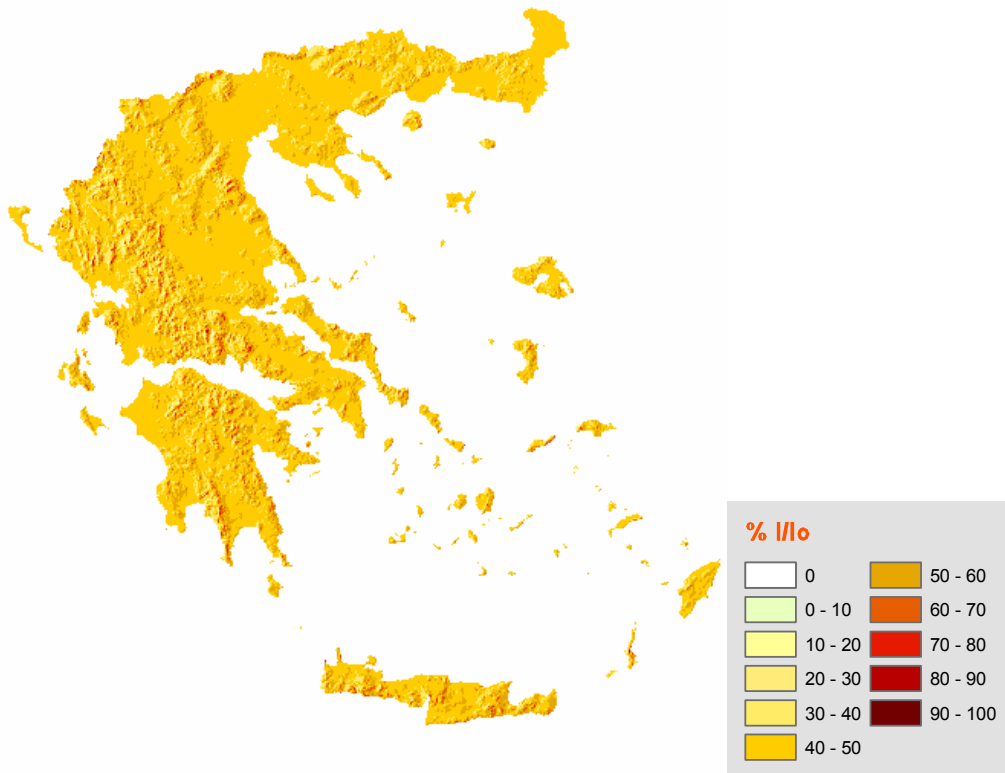
07:00 - Ιουλιανή μέρα 80



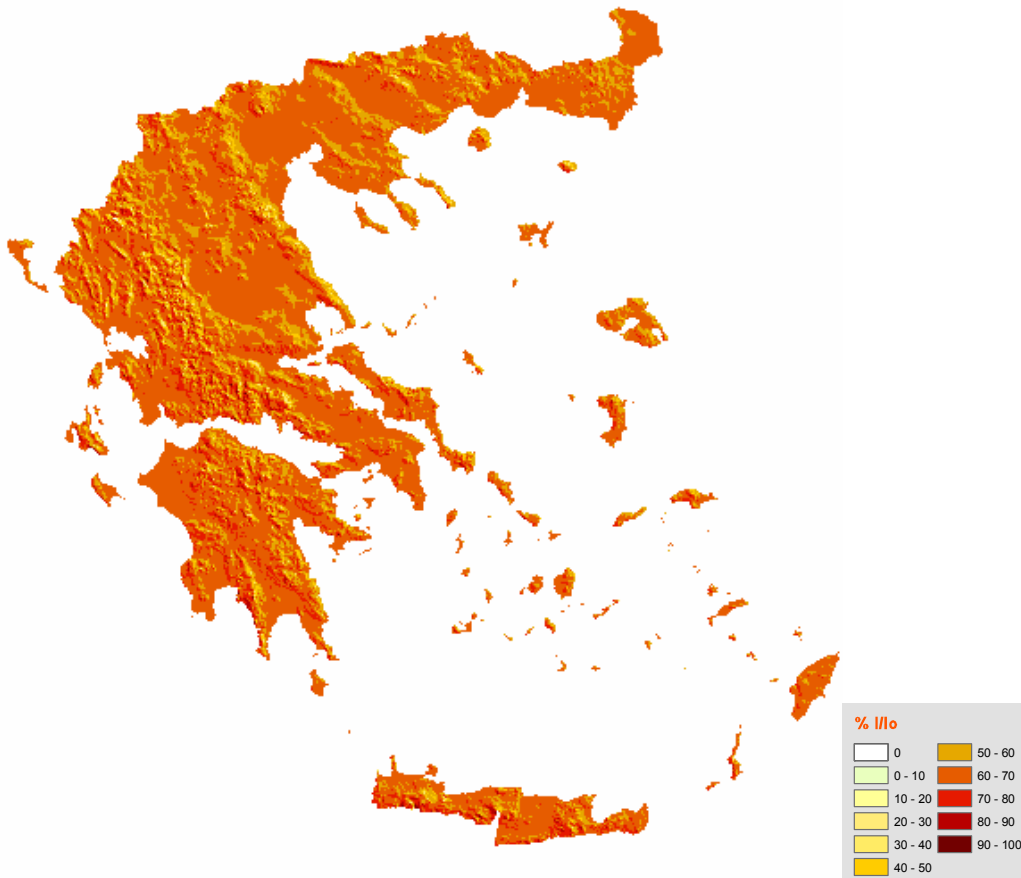
08:00 - Ιουλιανή μέρα 80



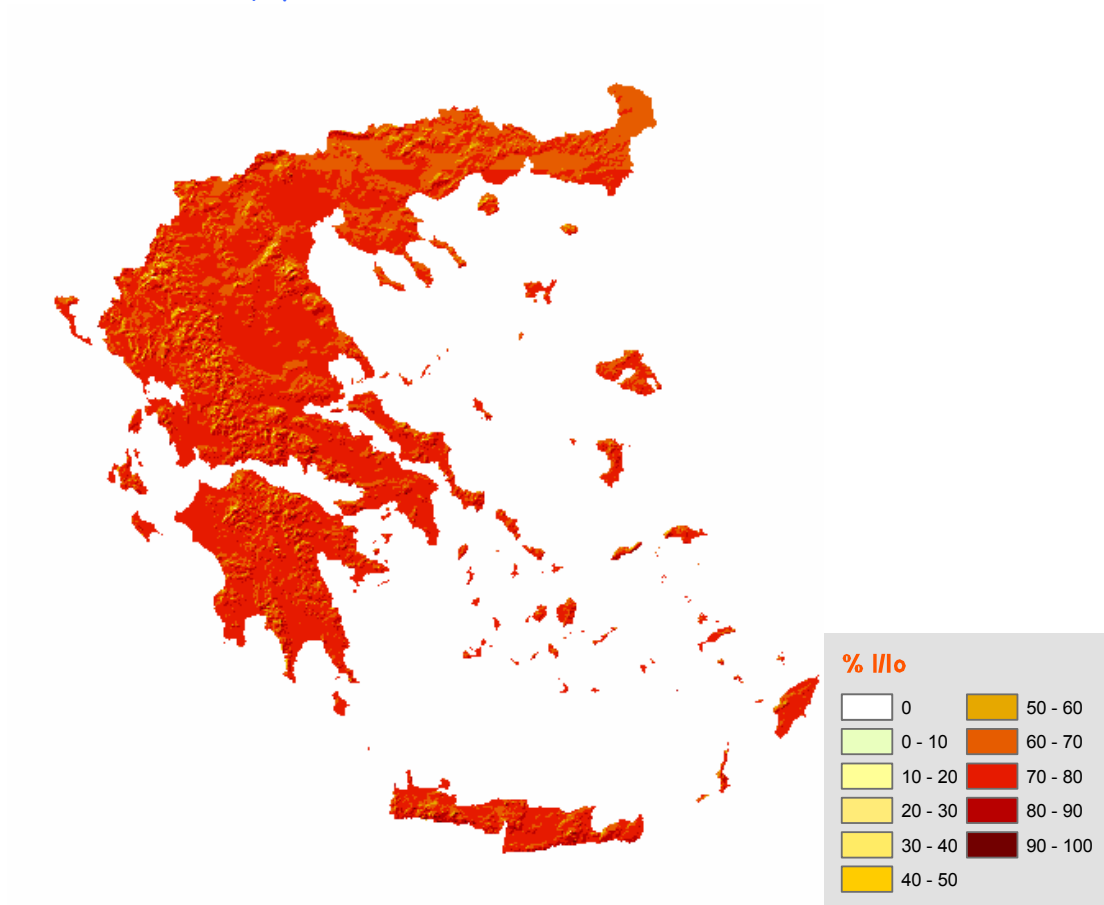
09:00 - Ιουλιανή μέρα 80



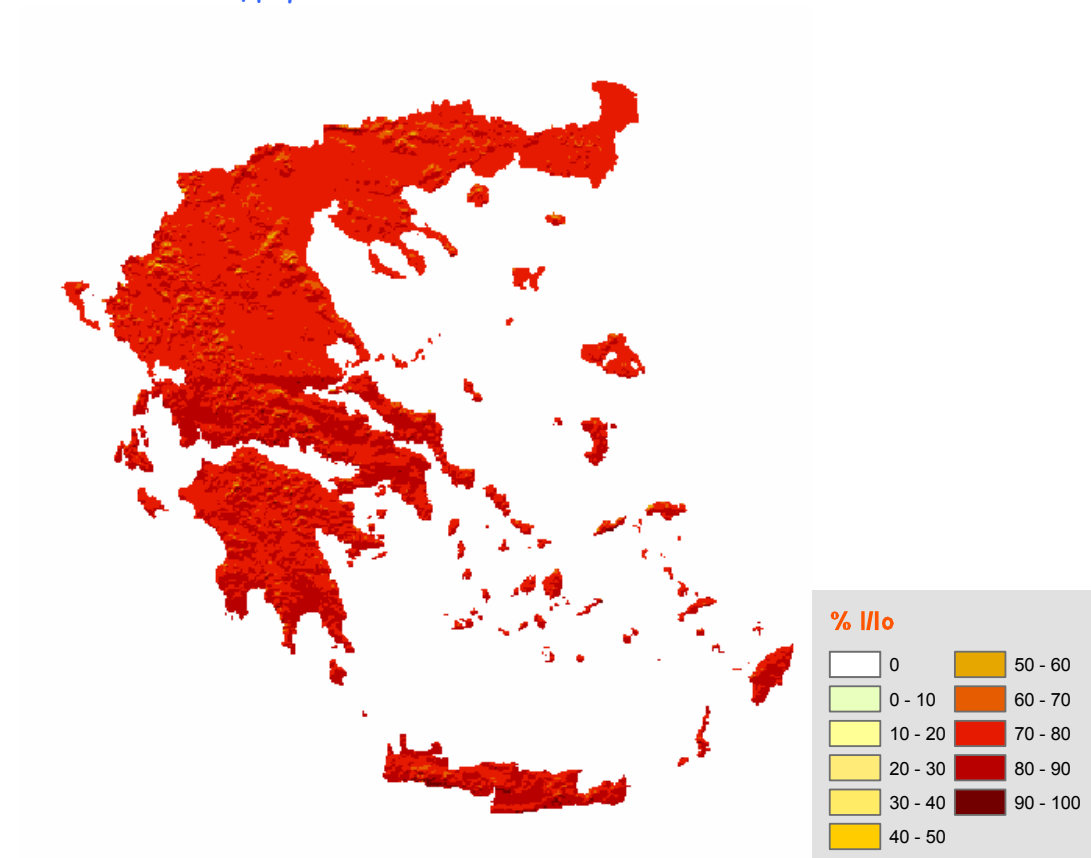
10:00 - Ιουλιανή μέρα 80



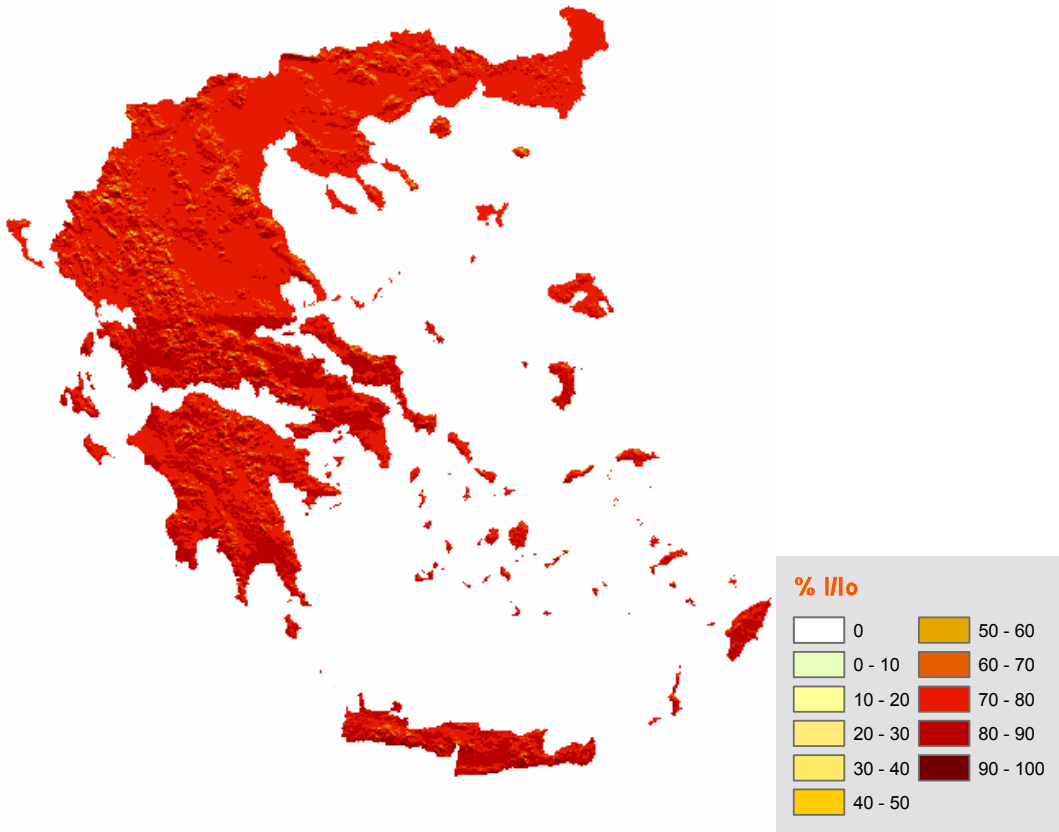
11:00 - Ιουλιανή μέρα 80



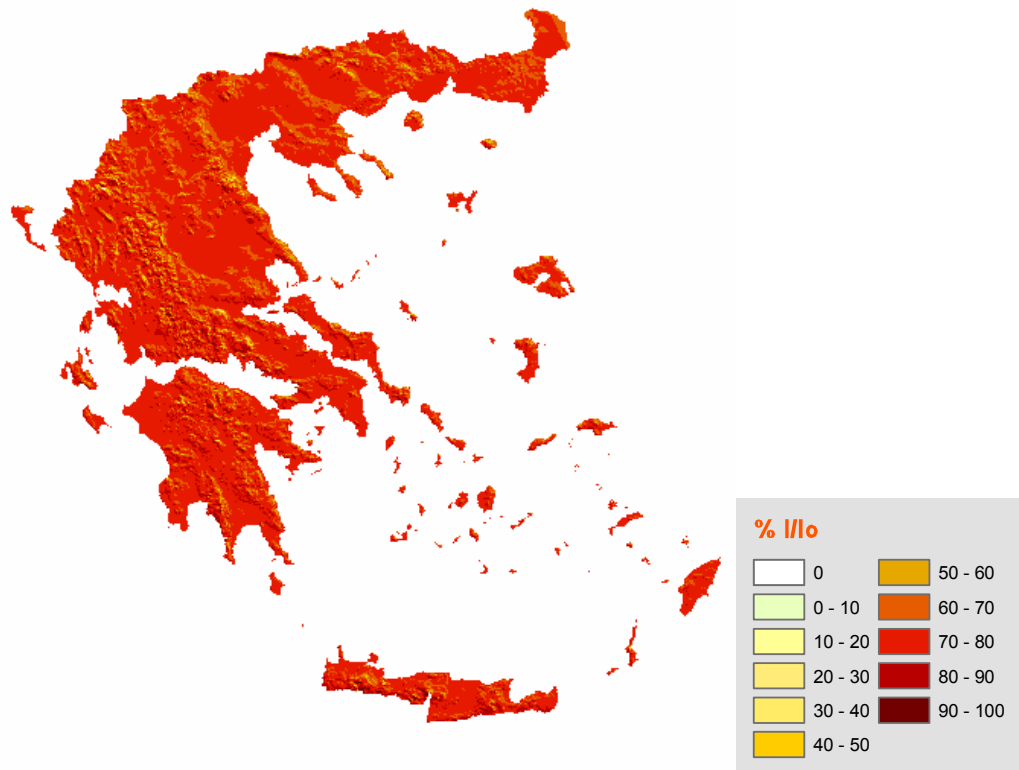
12:00 - Ιουλιανή μέρα 80



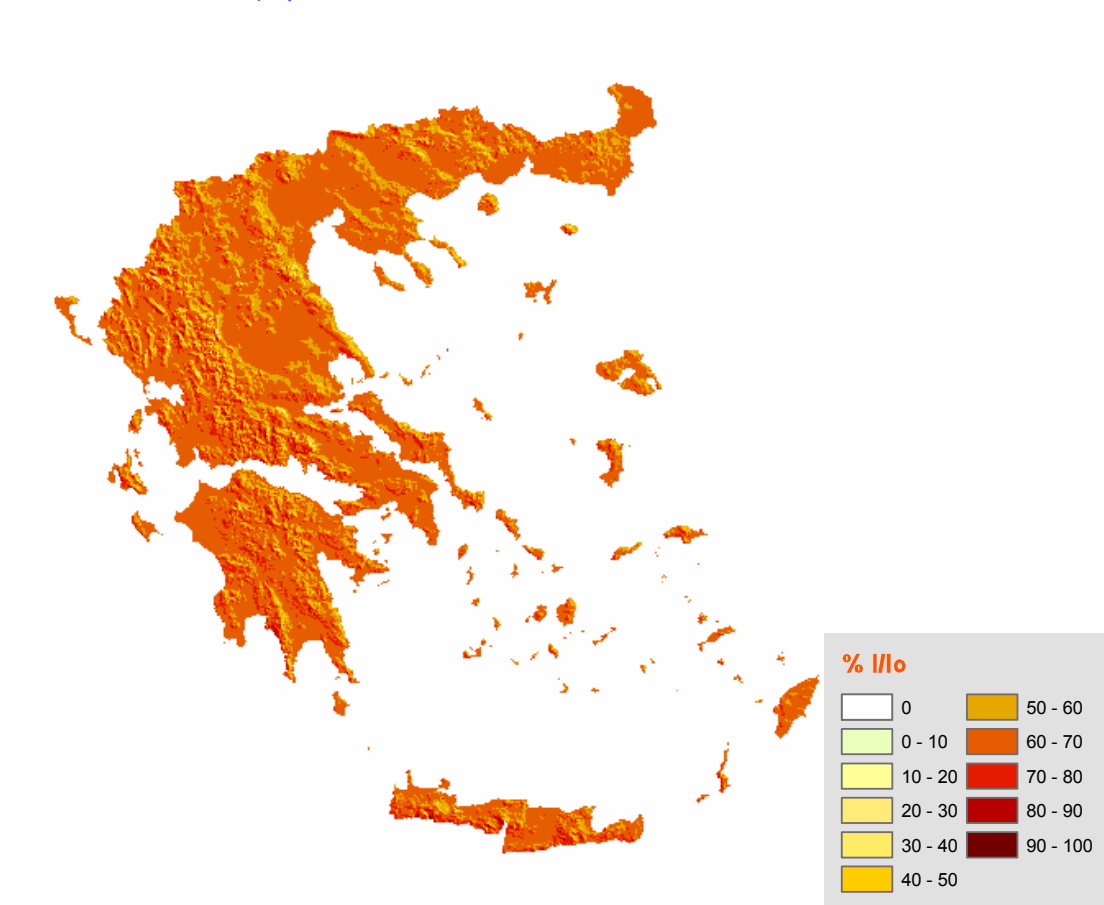
13:00 - Ιουλιανή μέρα 80



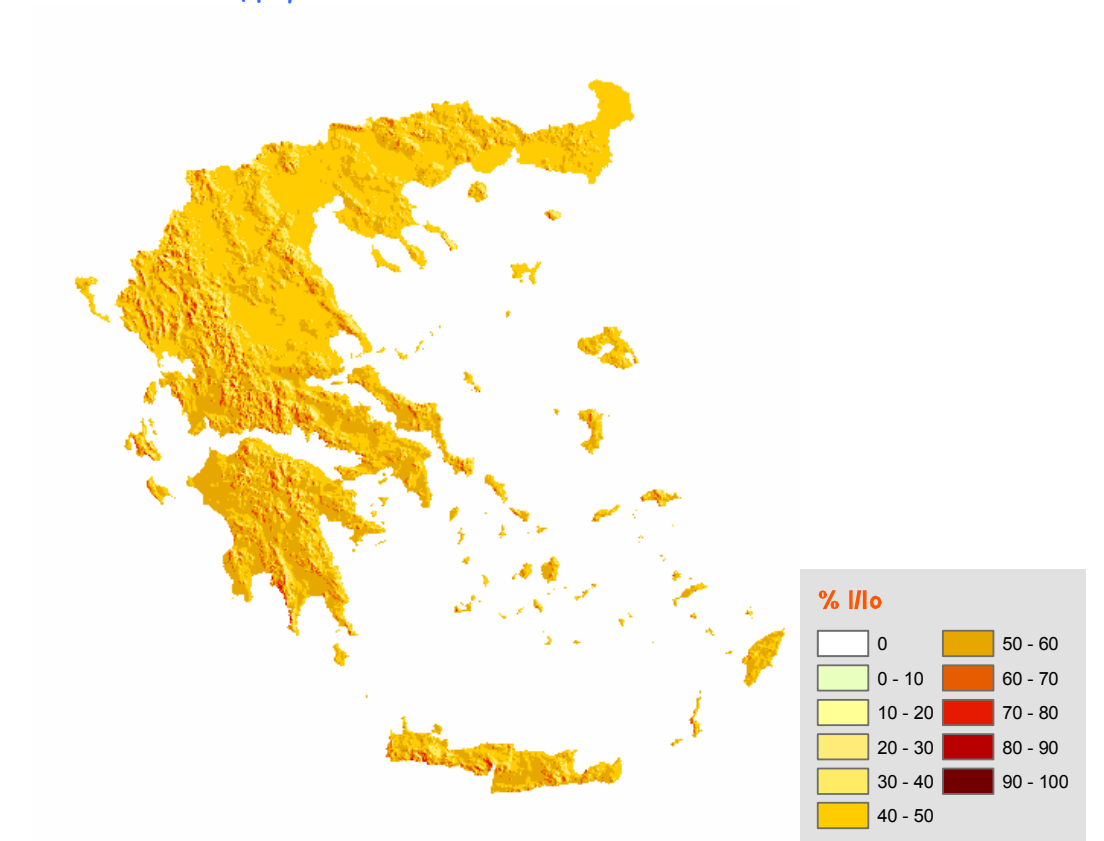
14:00 - Ιουλιανή μέρα 80



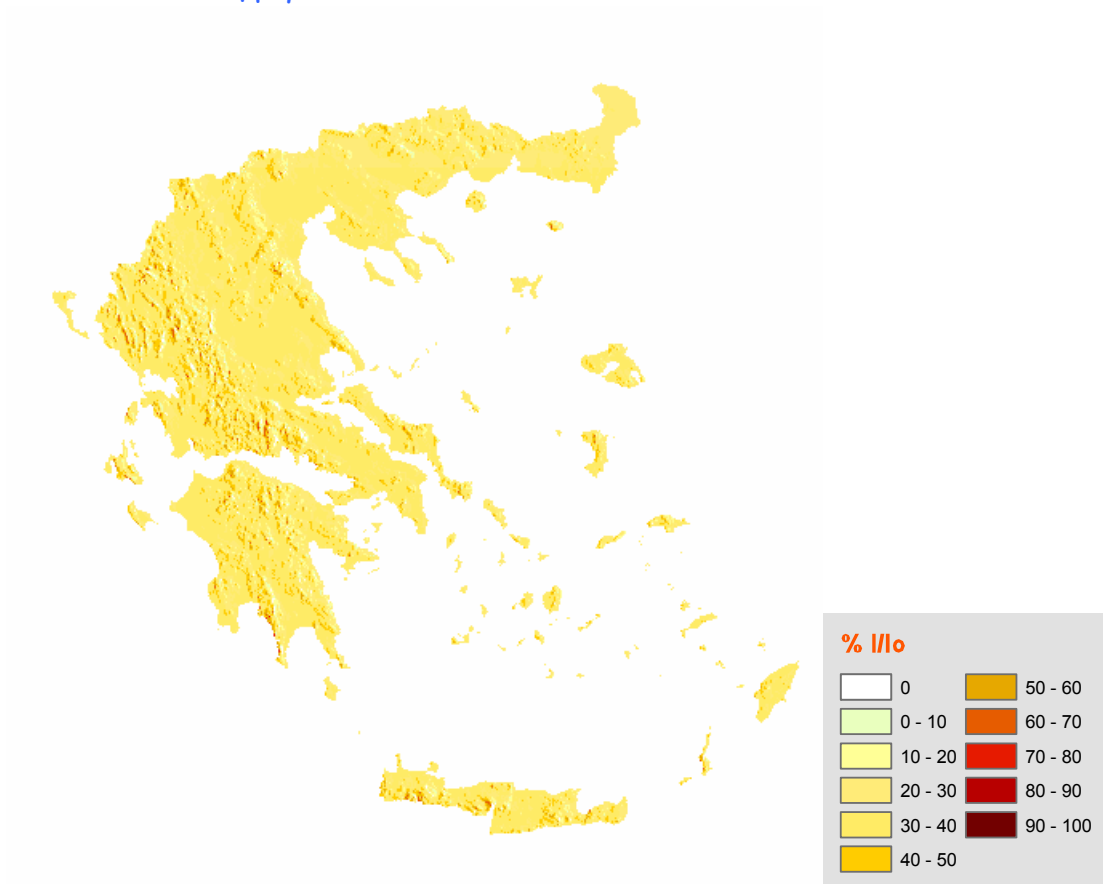
15:00 - Ιουλιανή μέρα 80



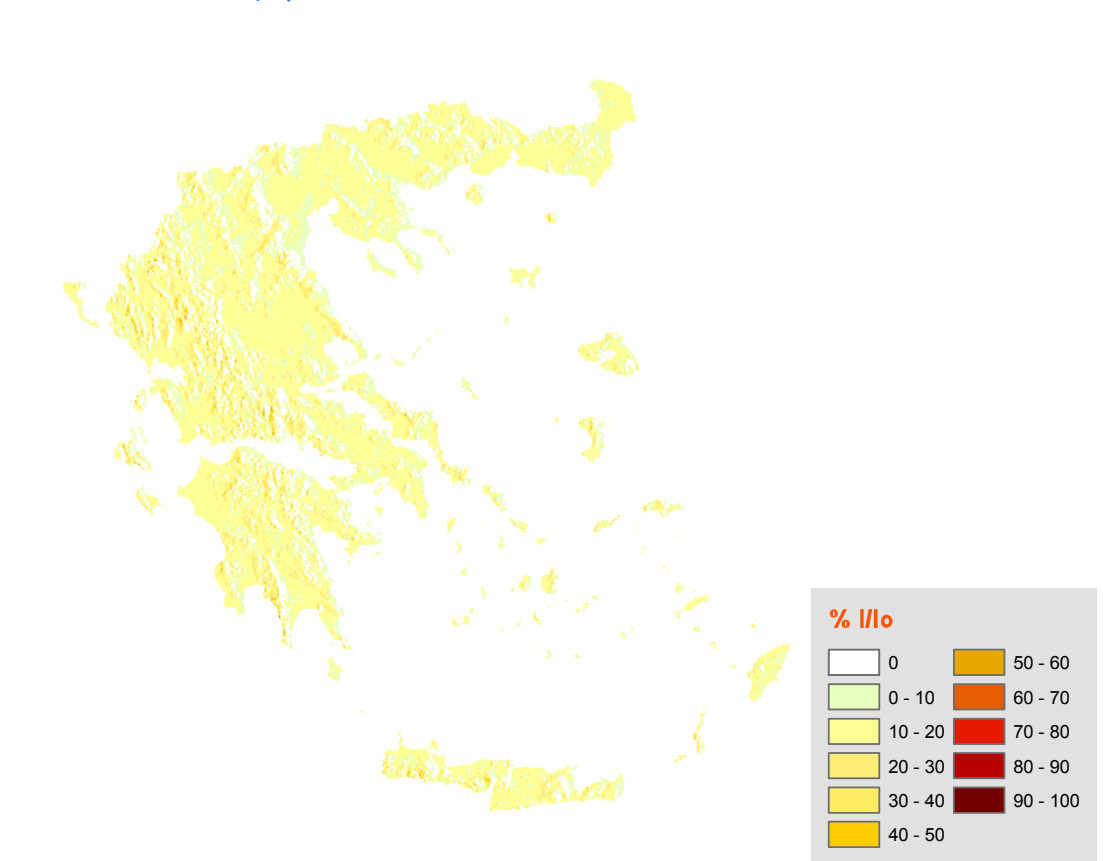
16:00 - Ιουλιανή μέρα 80



17:00 - Ιουλιανή μέρα 80

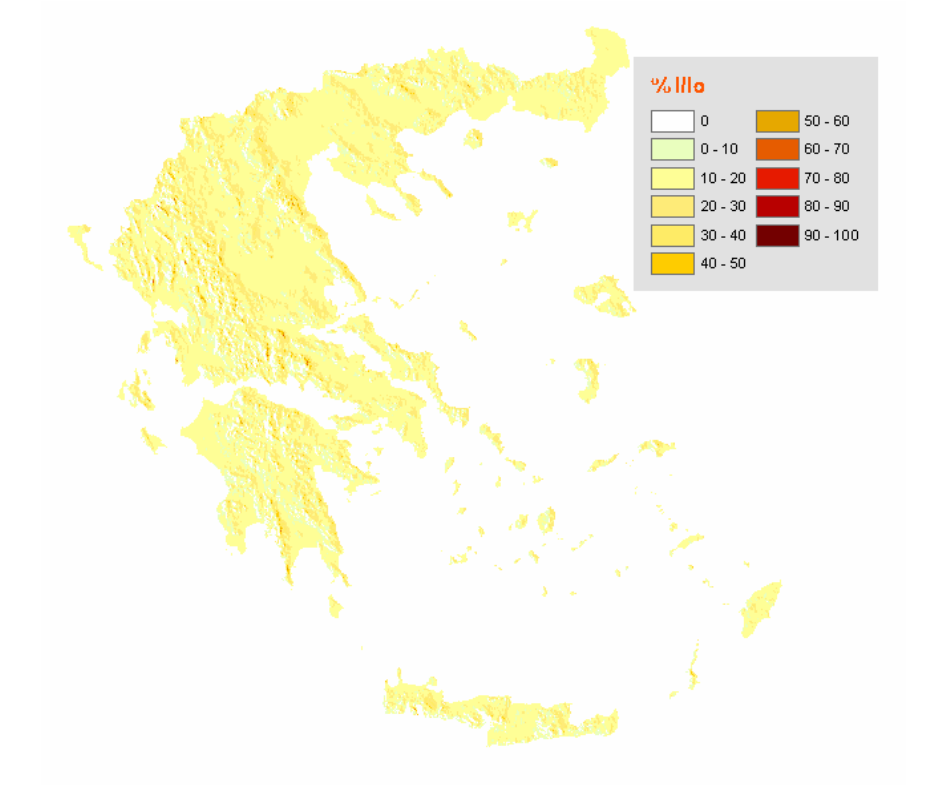


18:00 - Ιουλιανή μέρα 80

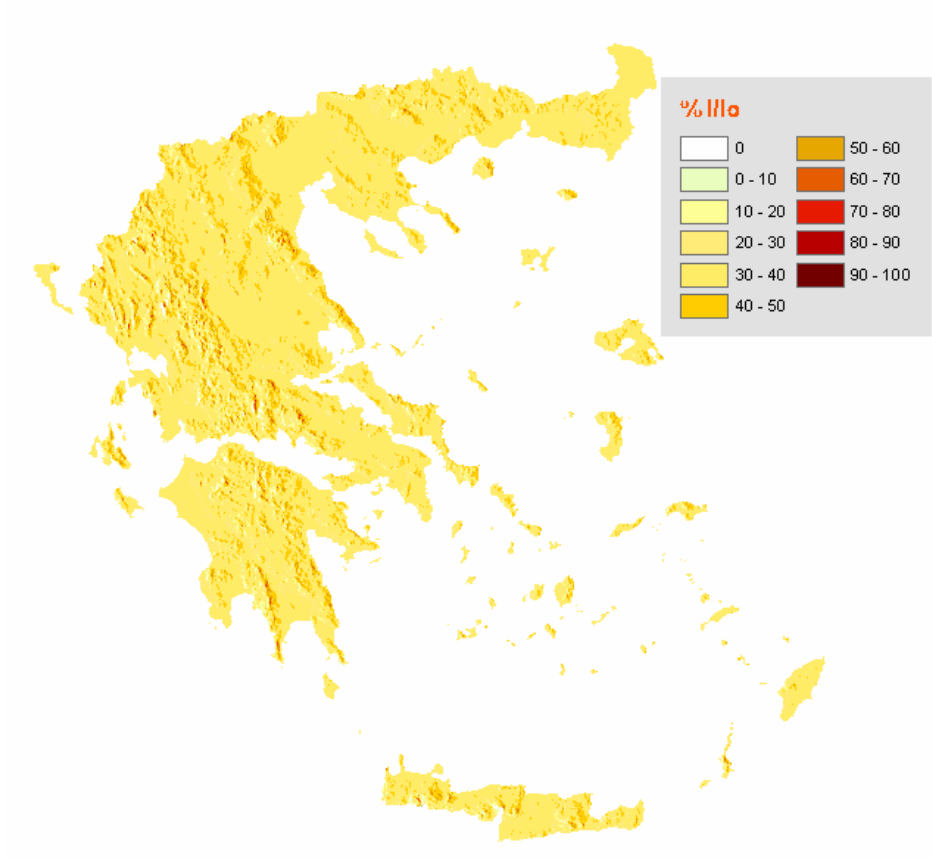


21 Ιουνίου (Ιουλιανή μέρα 173)

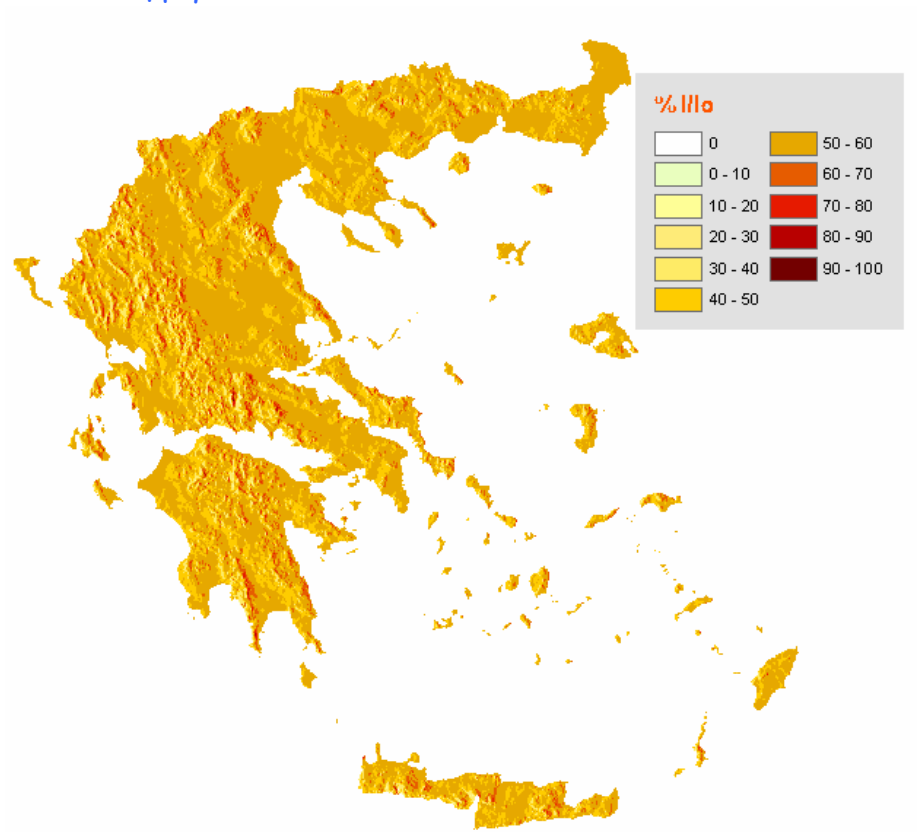
06:00 - Ιουλιανή μέρα 173



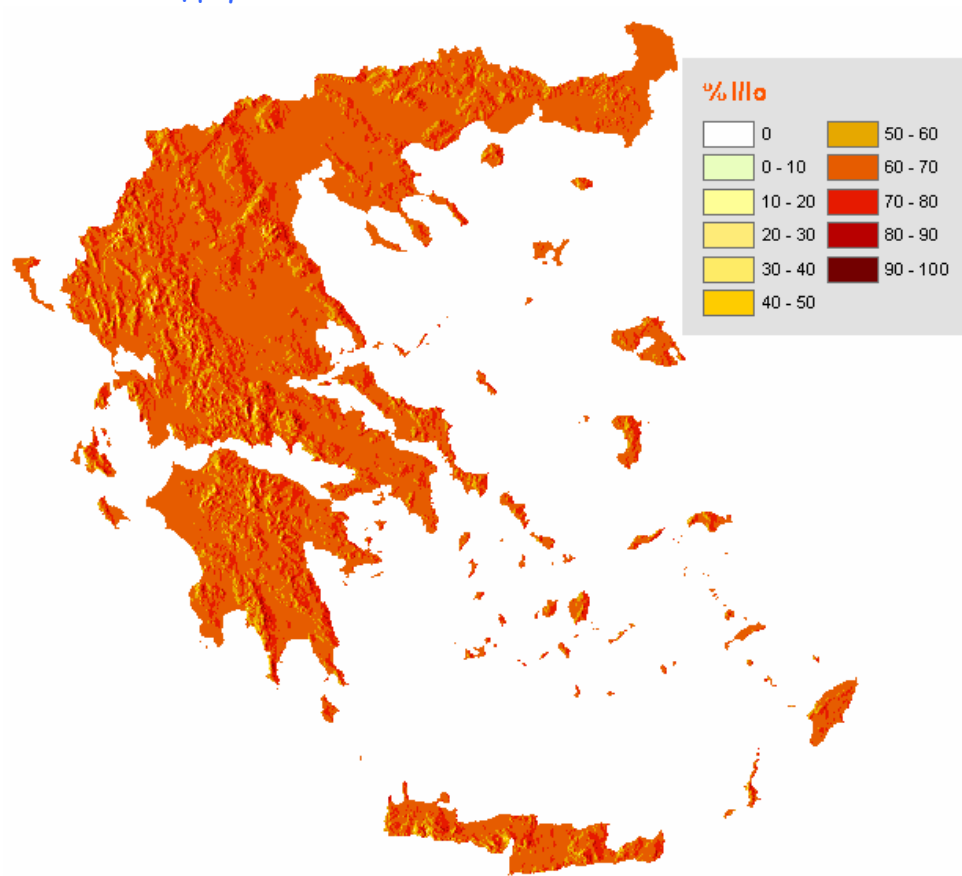
07:00 - Ιουλιανή μέρα 173



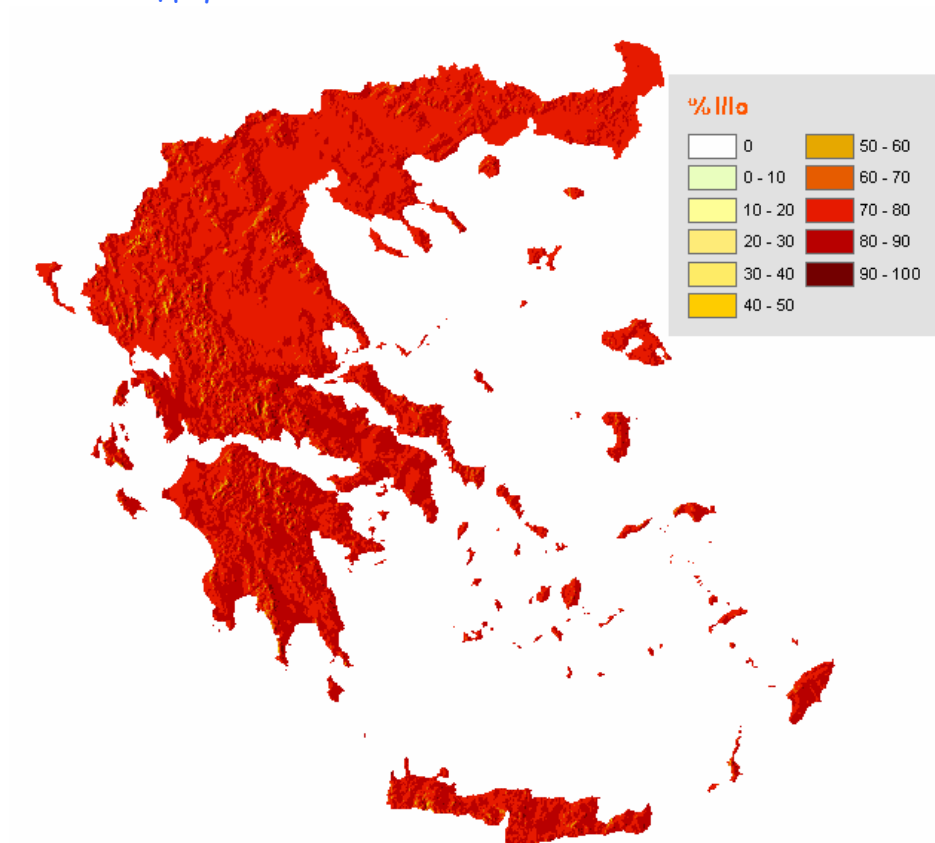
08:00 - Ιουλιανή μέρα 173



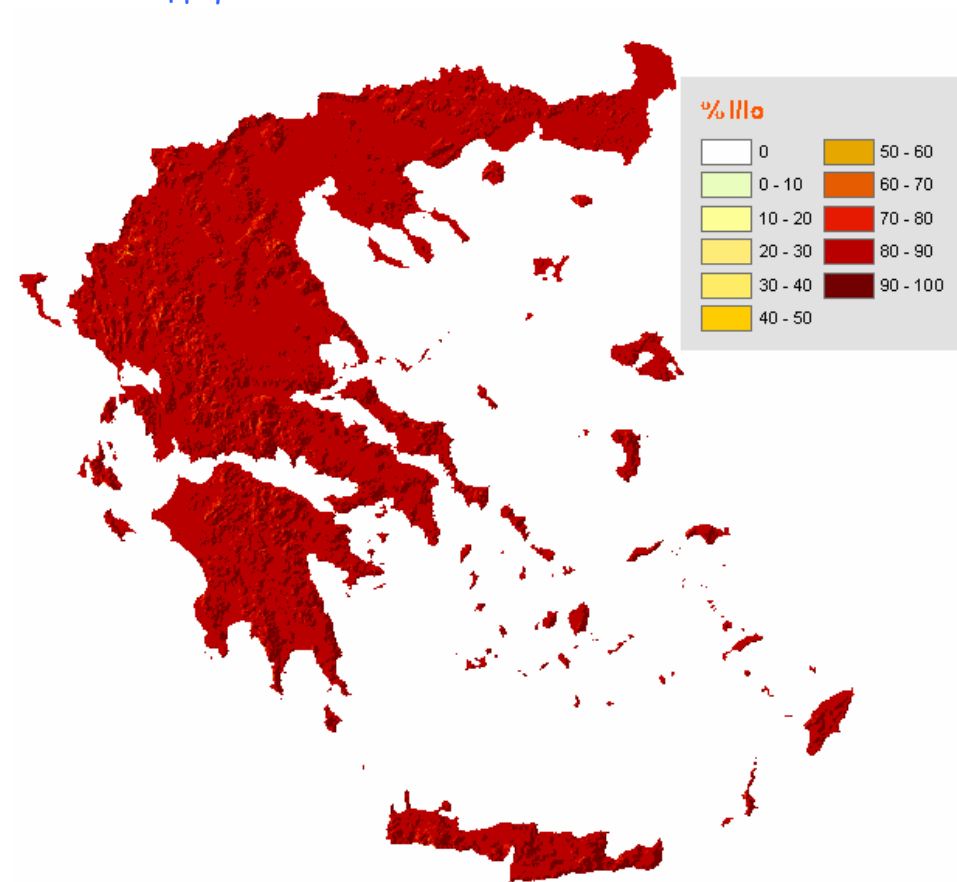
09:00 - Ιουλιανή μέρα 173



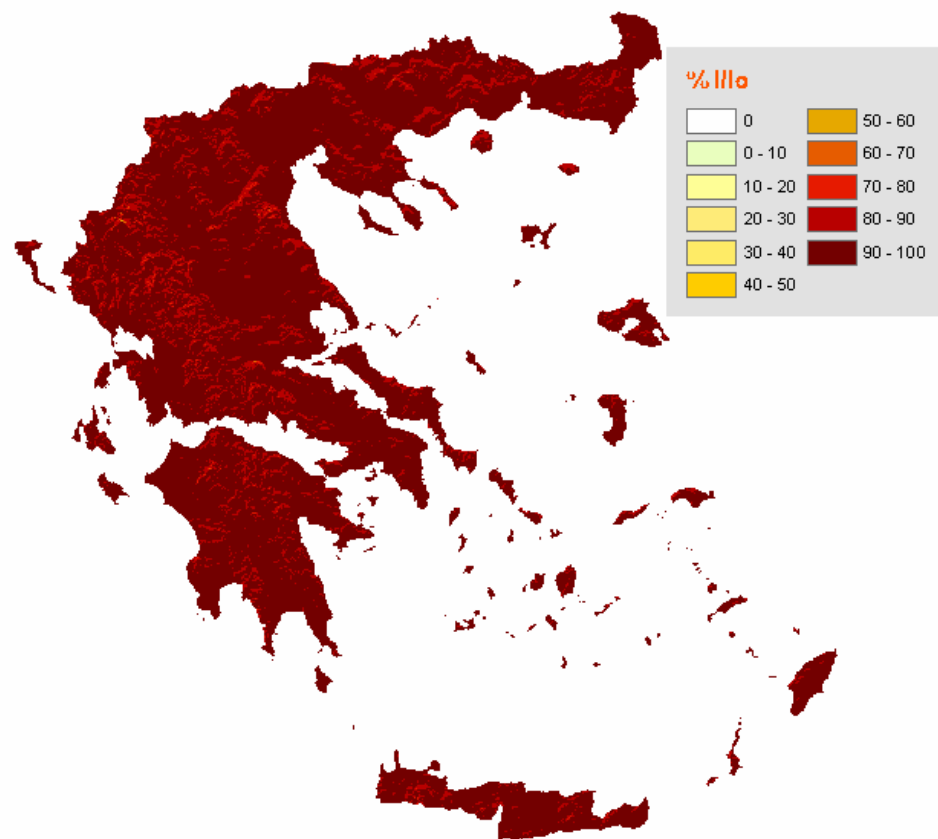
10:00 - Ιουλιανή μέρα 173



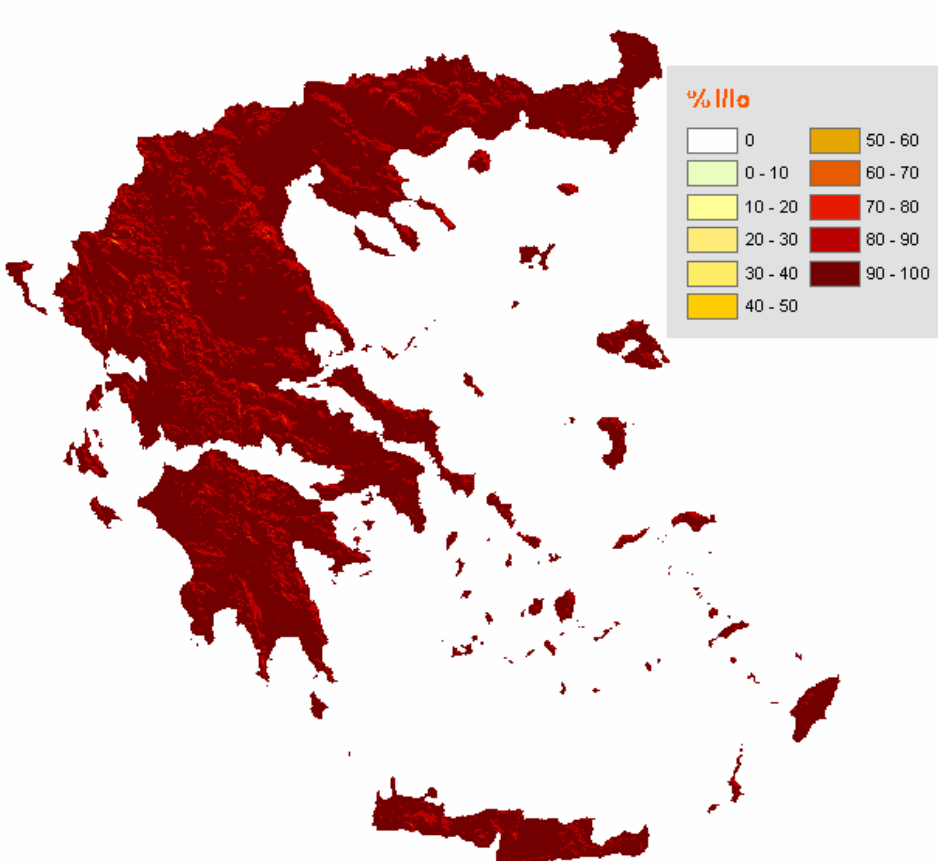
11:00 - Ιουλιανή μέρα 173



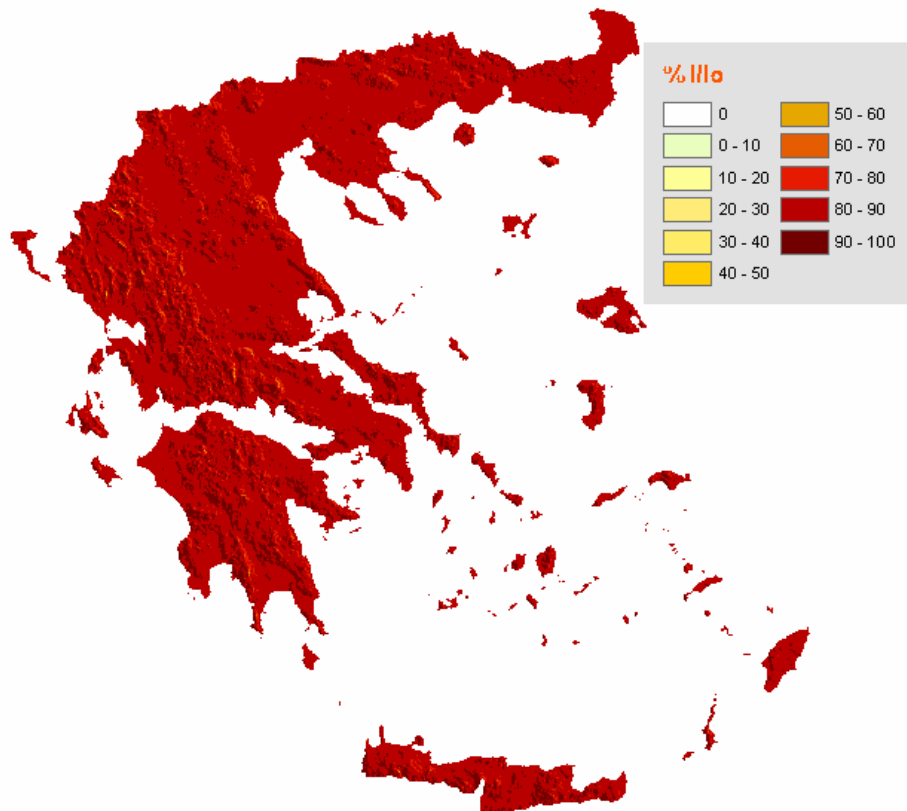
12:00 - Ιουλιανή μέρα 173



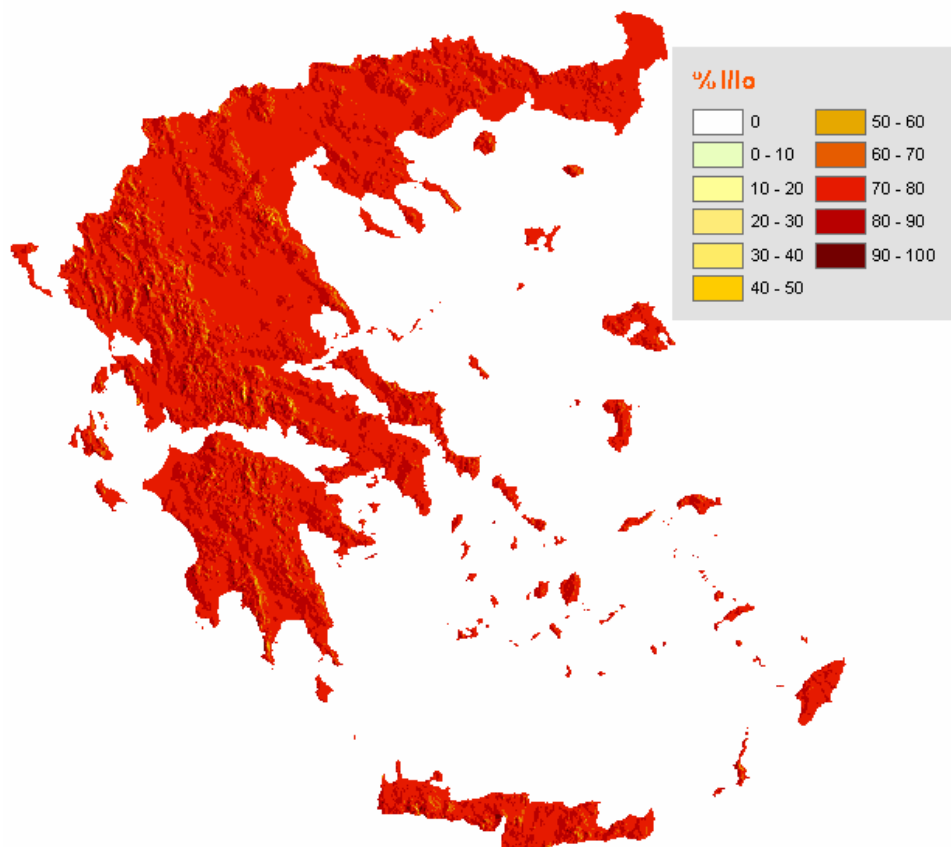
13:00 - Ιουλιανή μέρα 173



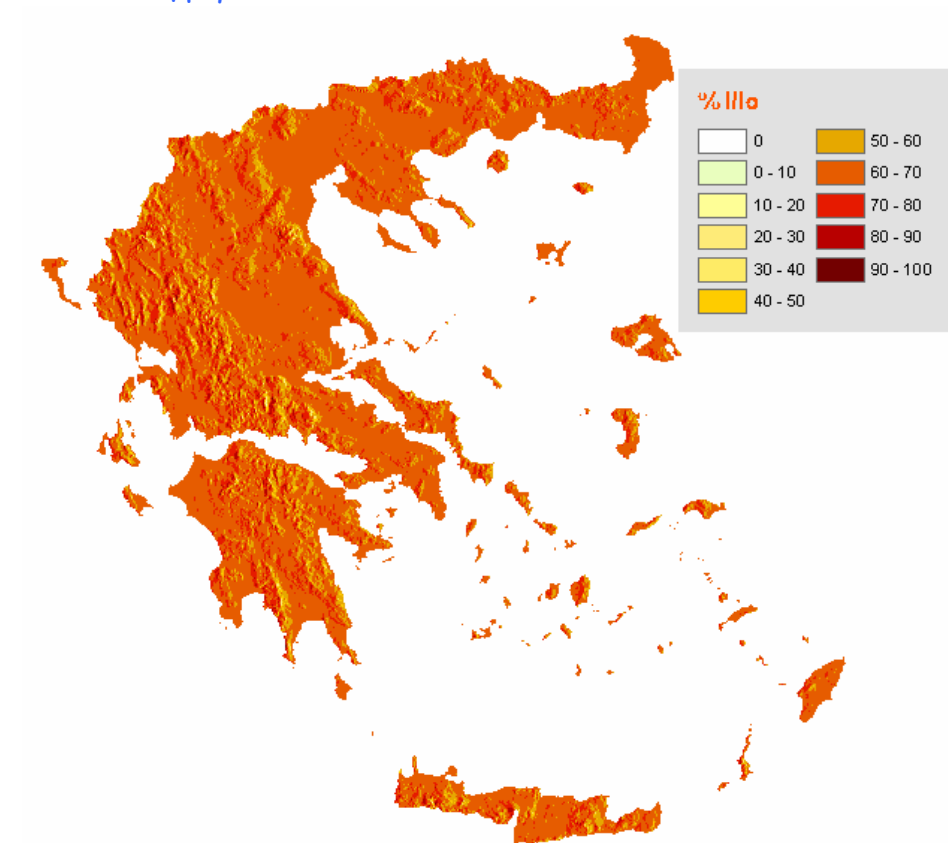
14:00 - Ιουλιανή μέρα 173



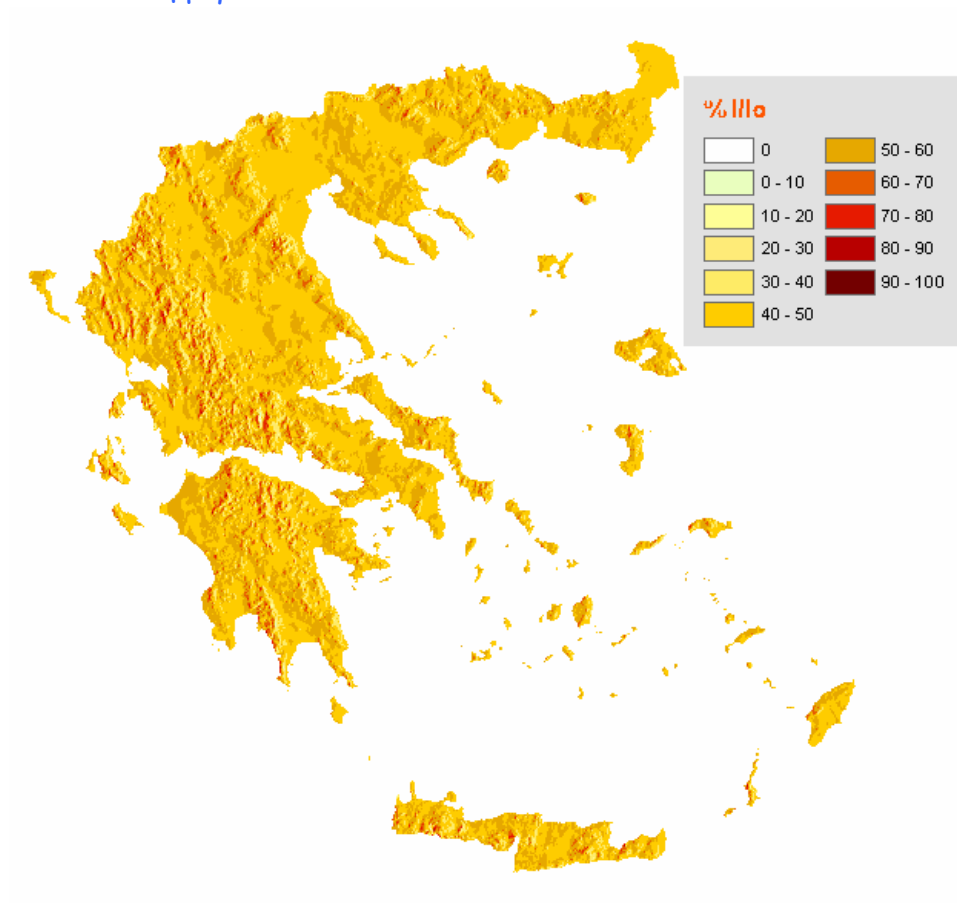
15:00 - Ιουλιανή μέρα 173



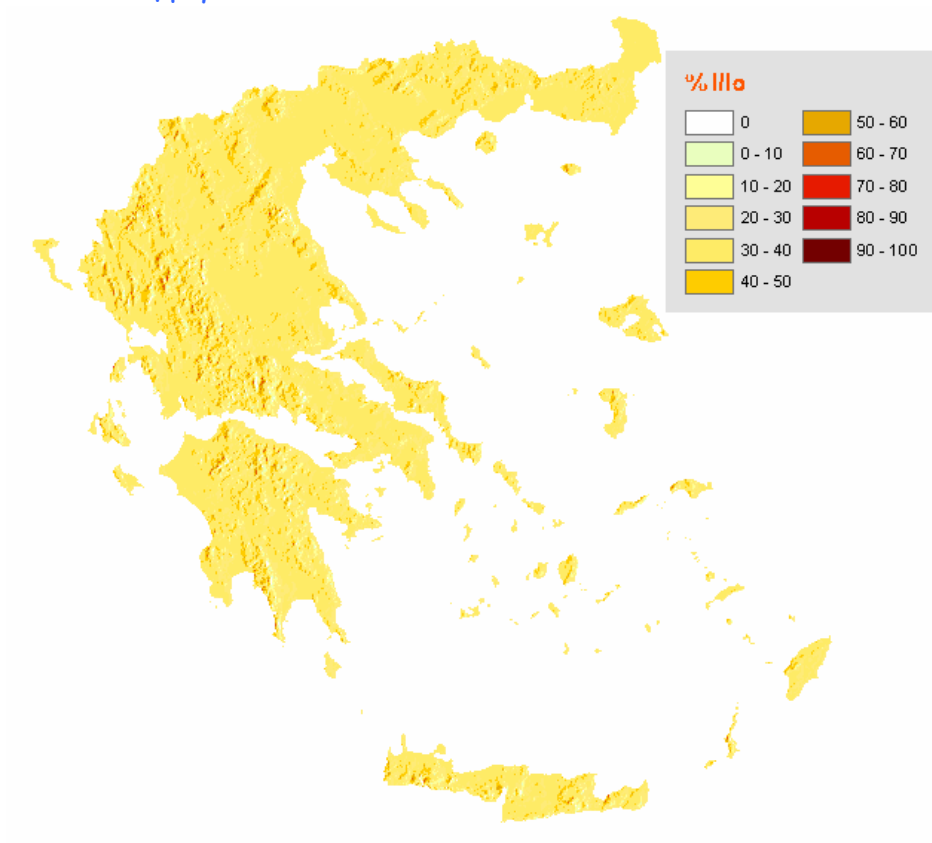
16:00 - Ιουλιανή μέρα 173



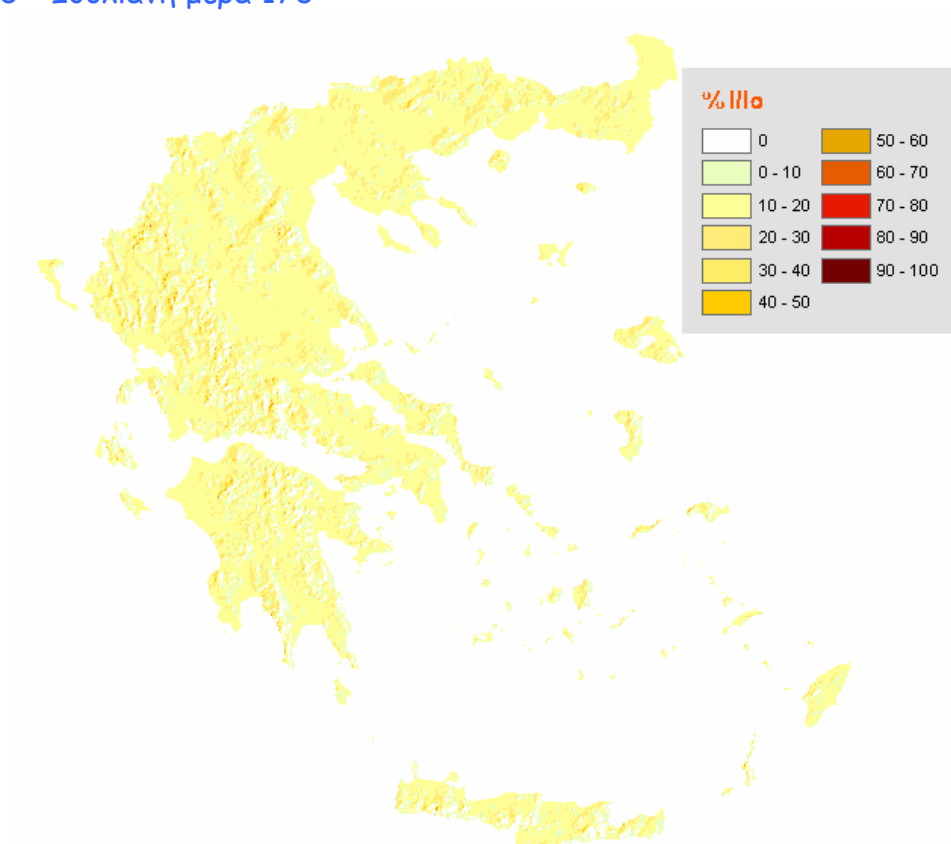
17:00 - Ιουλιανή μέρα 173



18:00 - Ιουλιανή μέρα 173

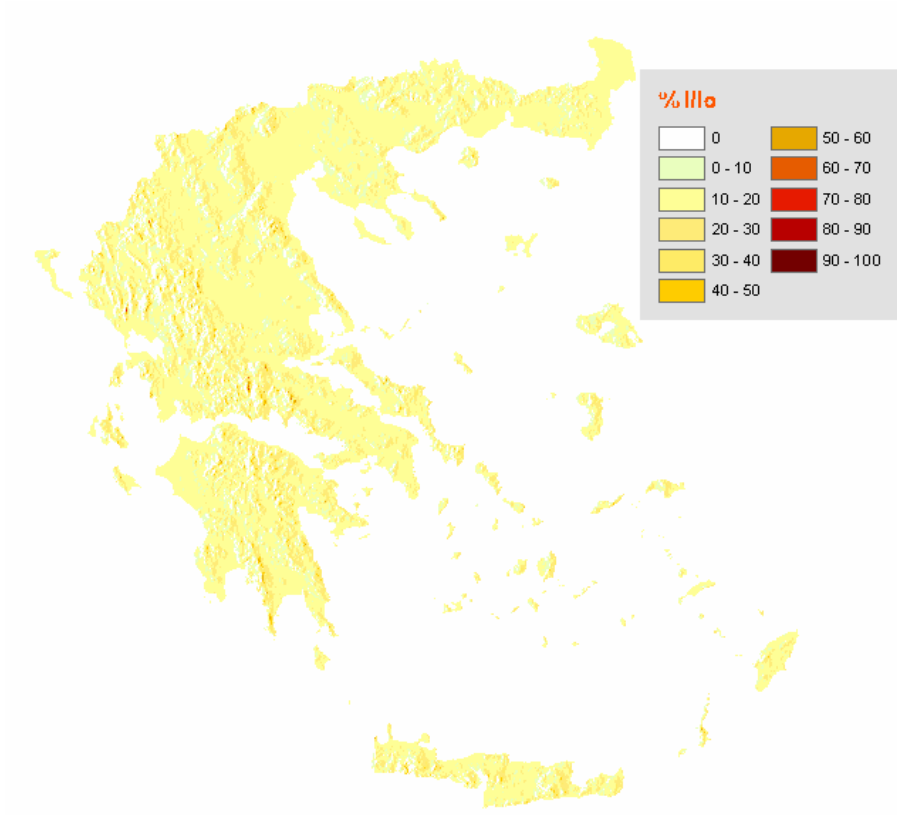


19:00 - Ιουλιανή μέρα 173

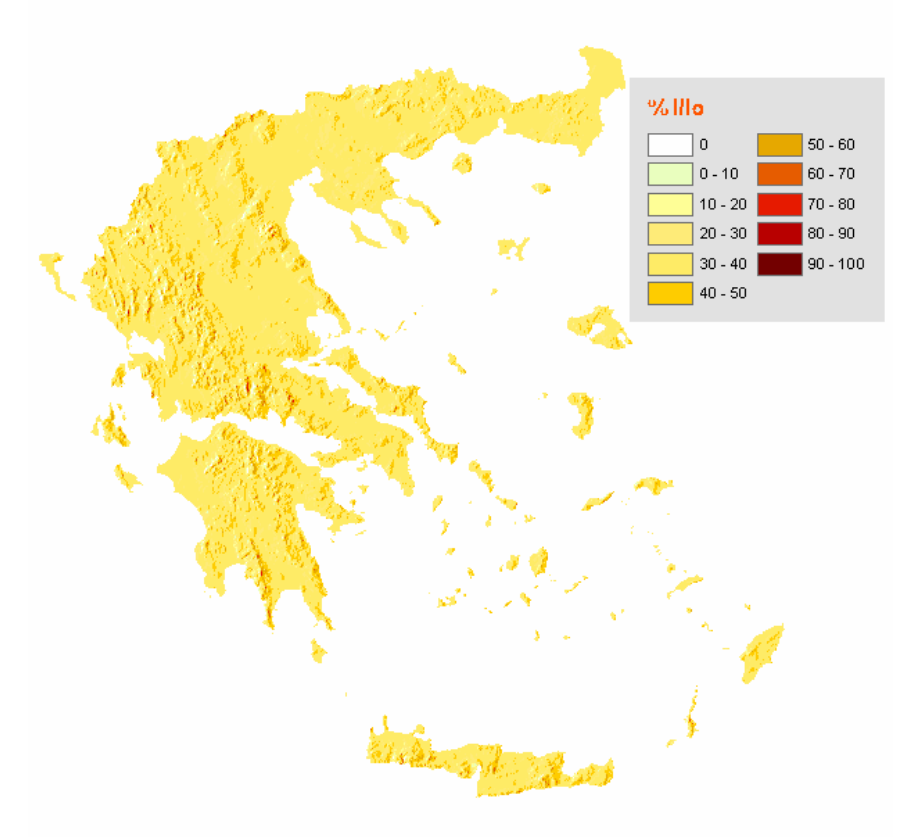


22 Σεπτεμβρίου (Ιουλιανή μέρα 265)

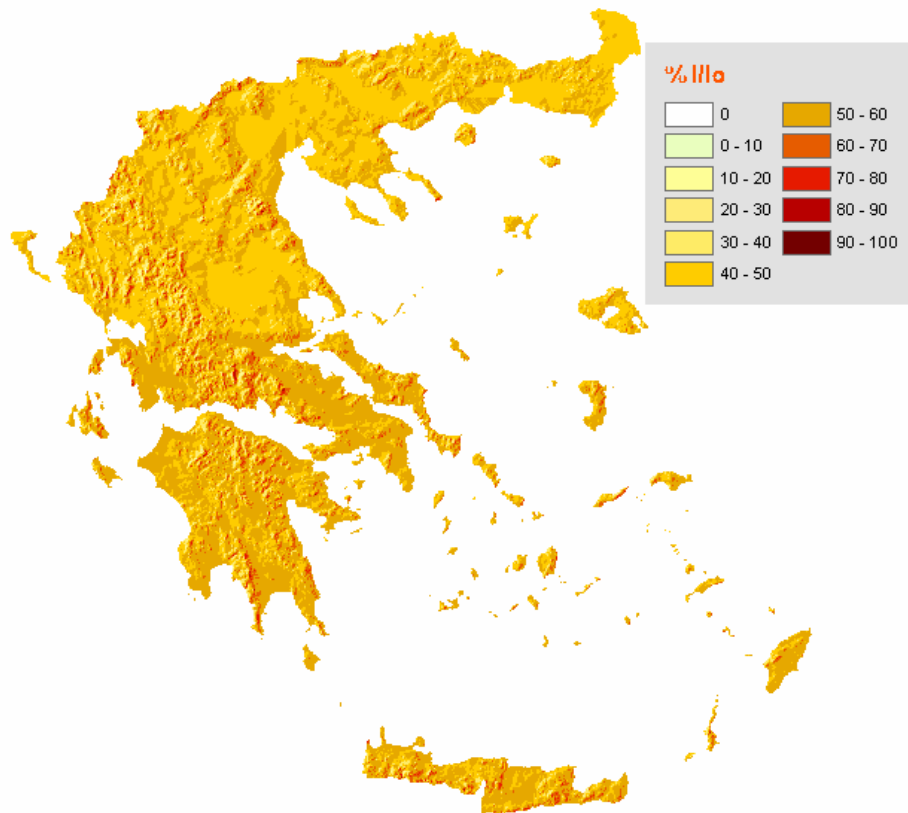
07:00 - Ιουλιανή μέρα 265



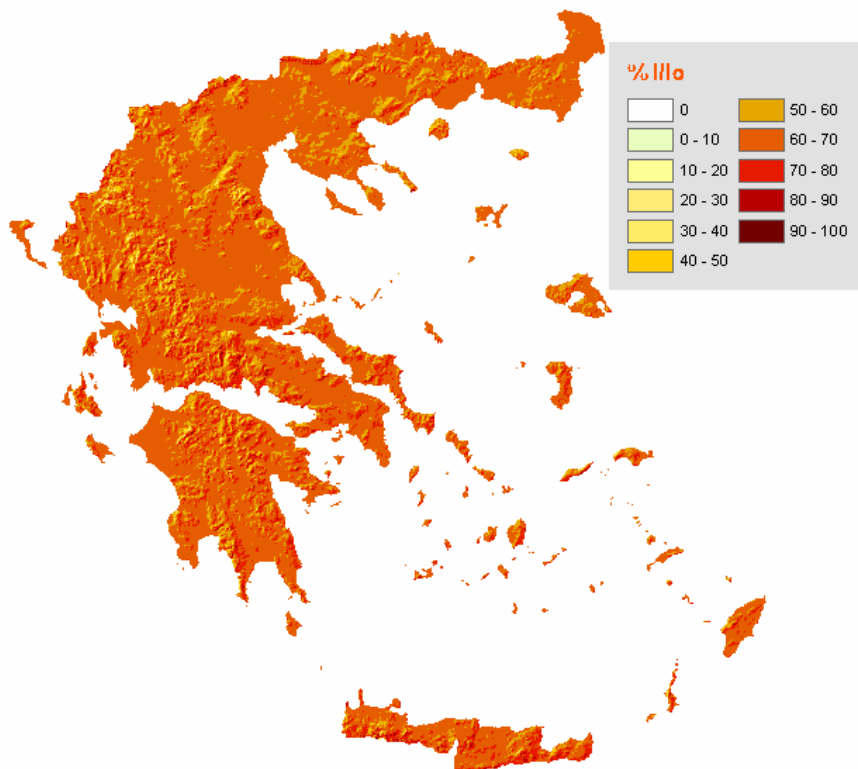
08:00 - Ιουλιανή μέρα 265



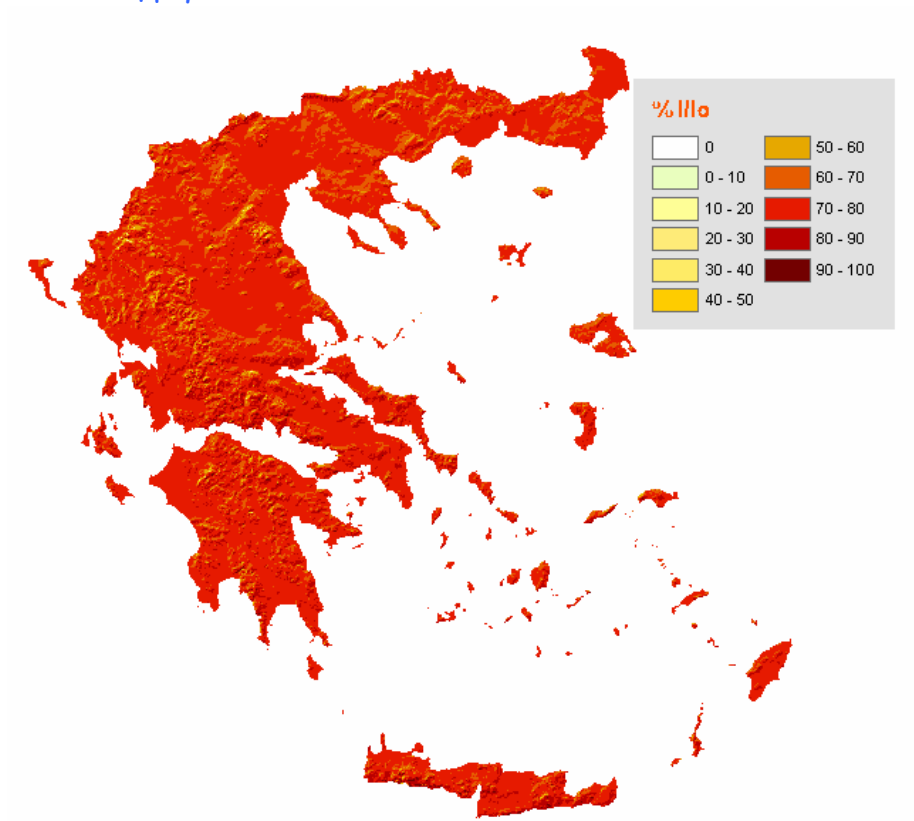
09:00 - Ιουλιανή μέρα 265



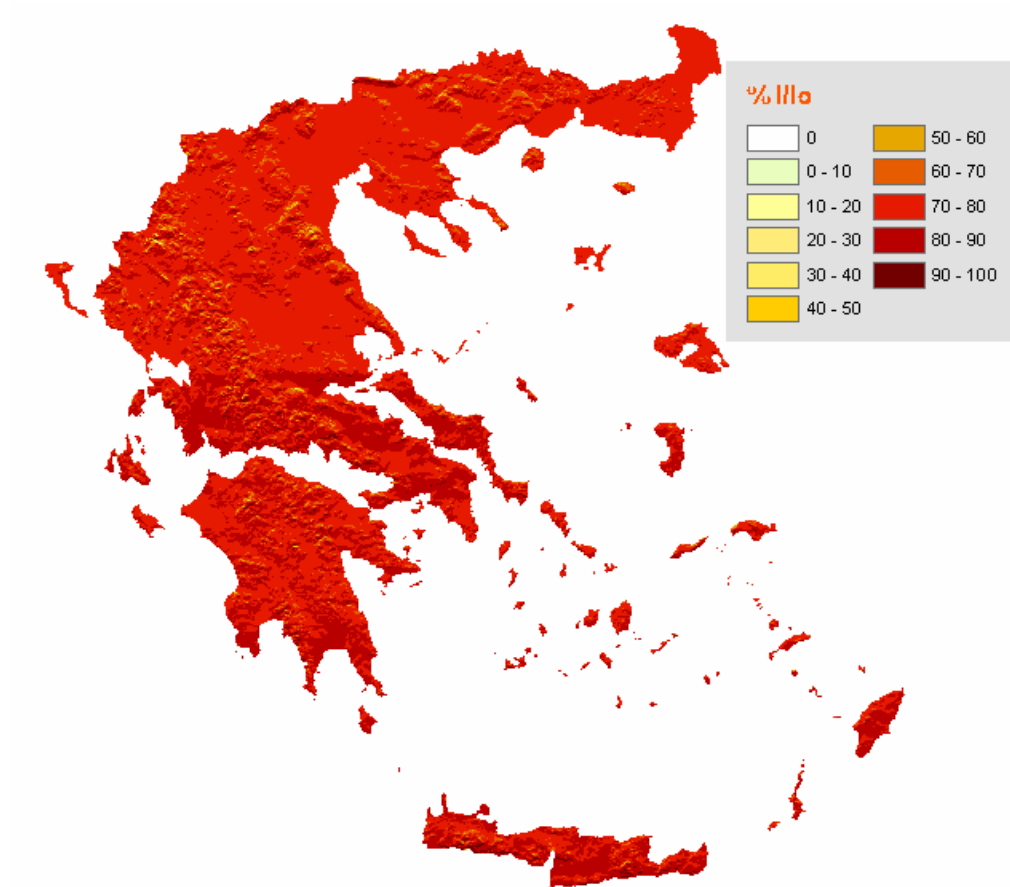
10:00 - Ιουλιανή μέρα 265



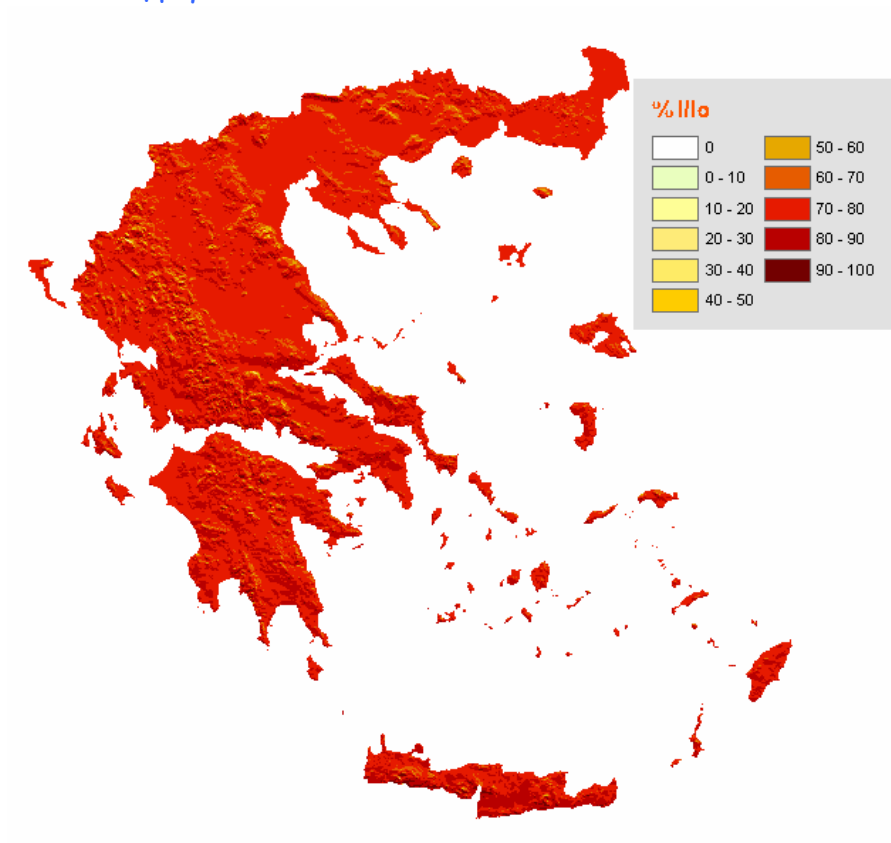
11:00 - Ιουλιανή μέρα 265



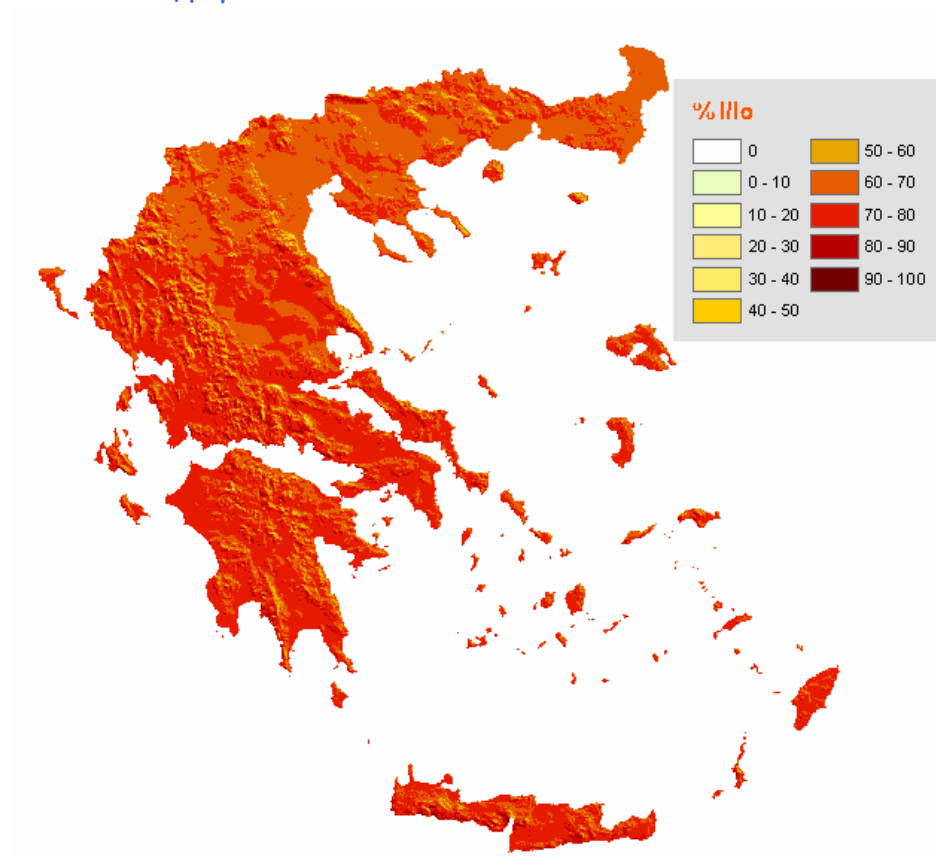
12:00 - Ιουλιανή μέρα 265



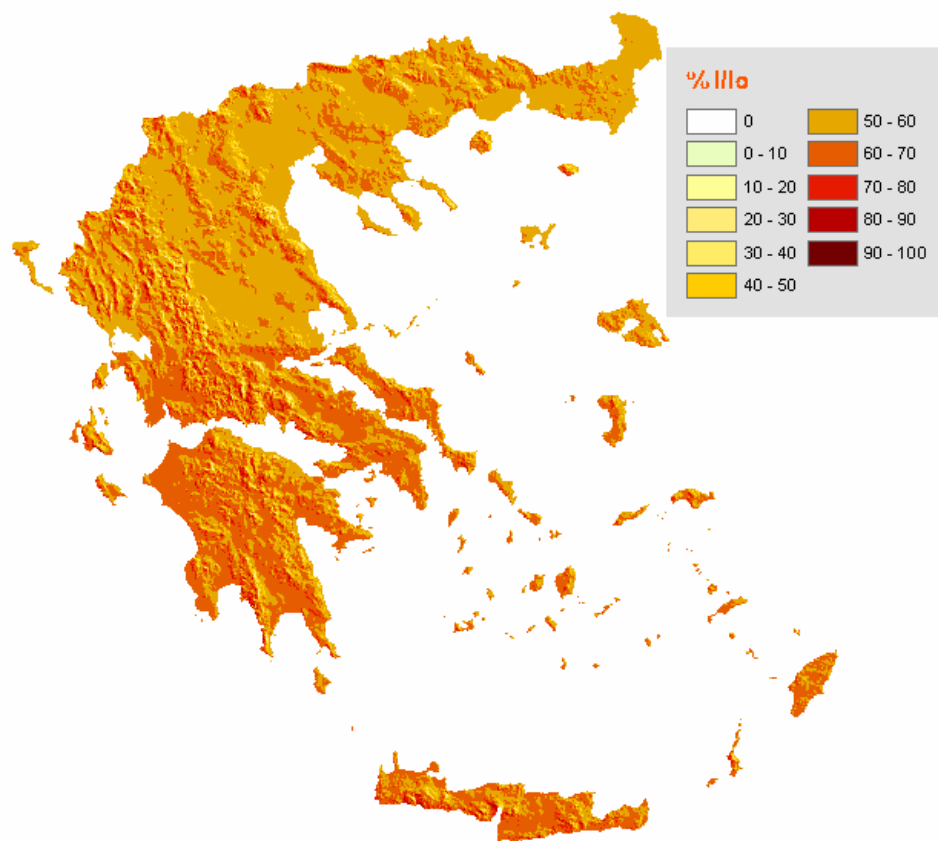
13:00 - Ιουλιανή μέρα 265



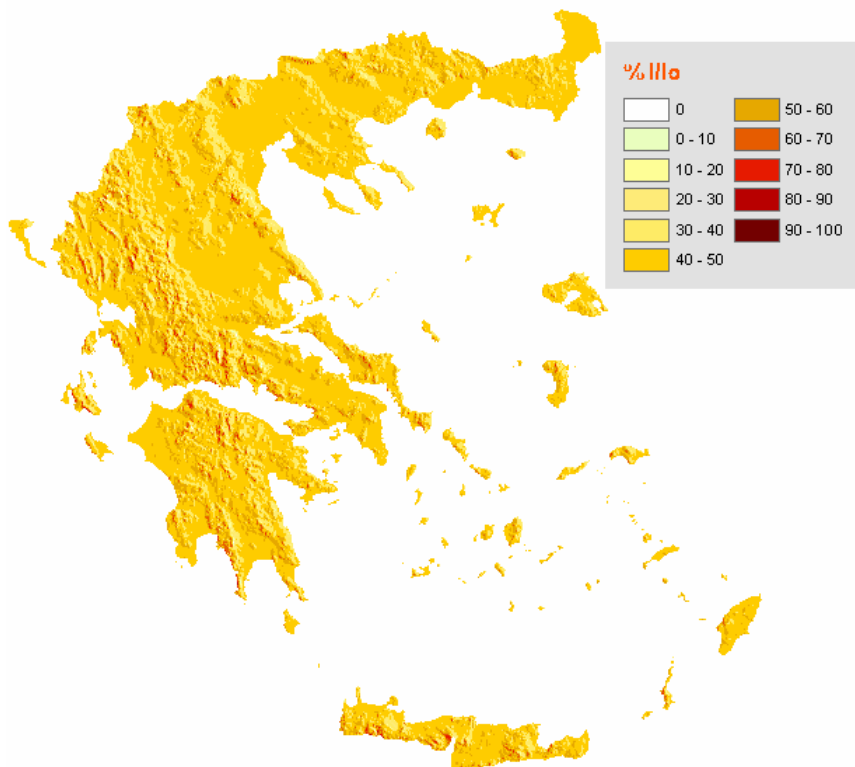
14:00 - Ιουλιανή μέρα 265



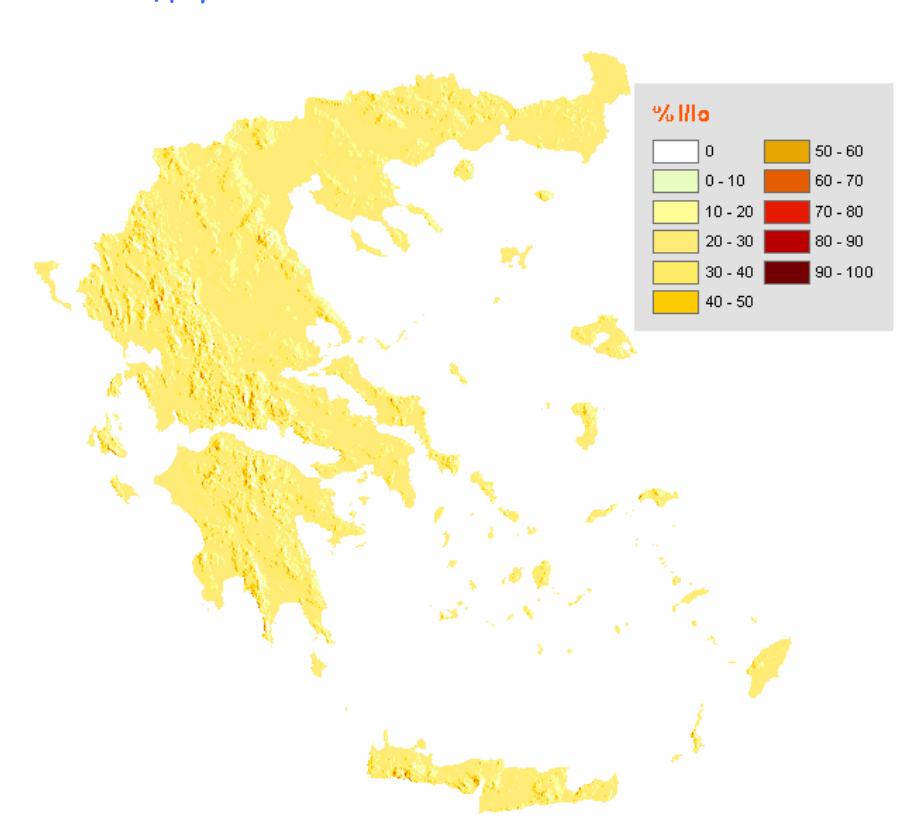
15:00 - Ιουλιανή μέρα 265



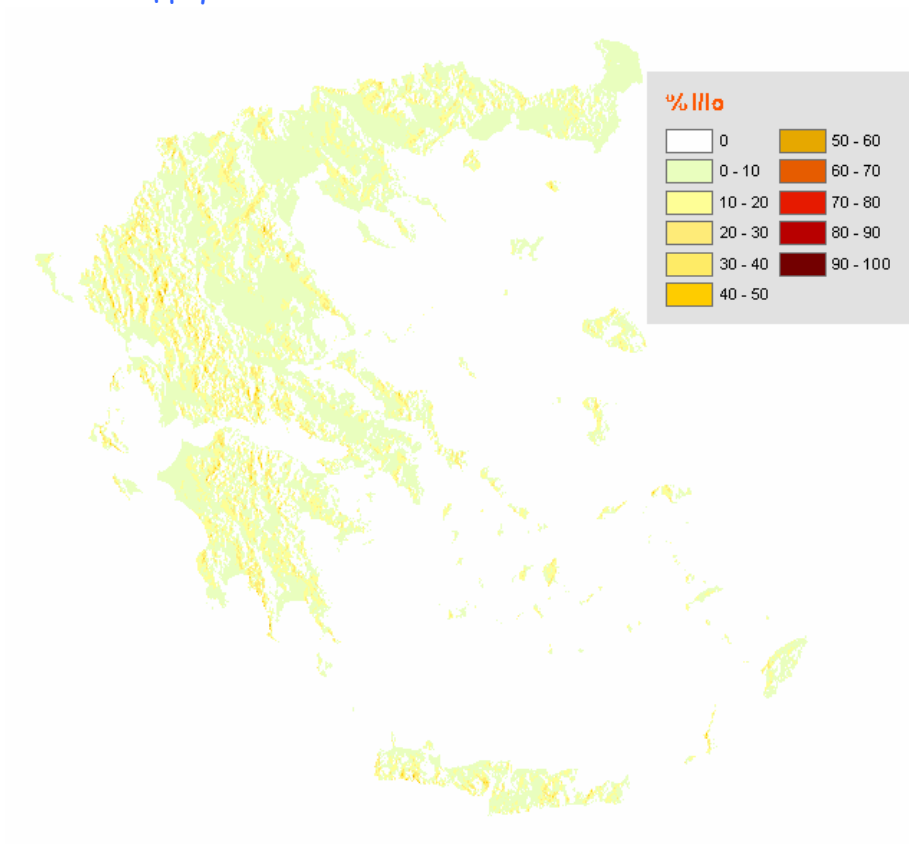
16:00 - Ιουλιανή μέρα 265



17:00 - Ιουλιανή μέρα 265

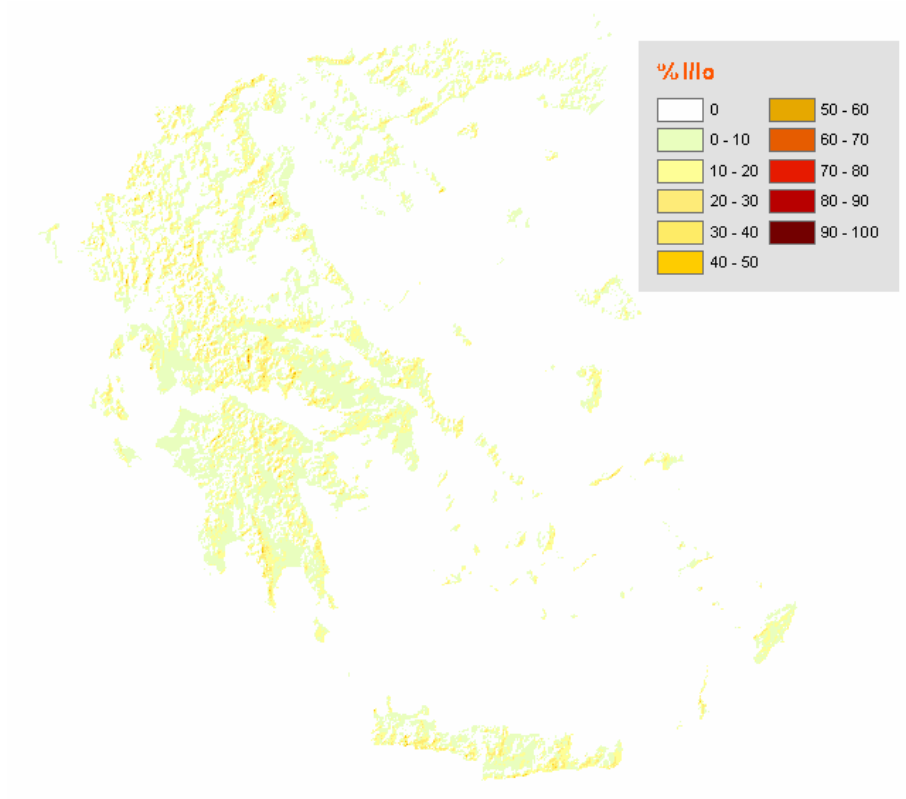


18:00 - Ιουλιανή μέρα 265

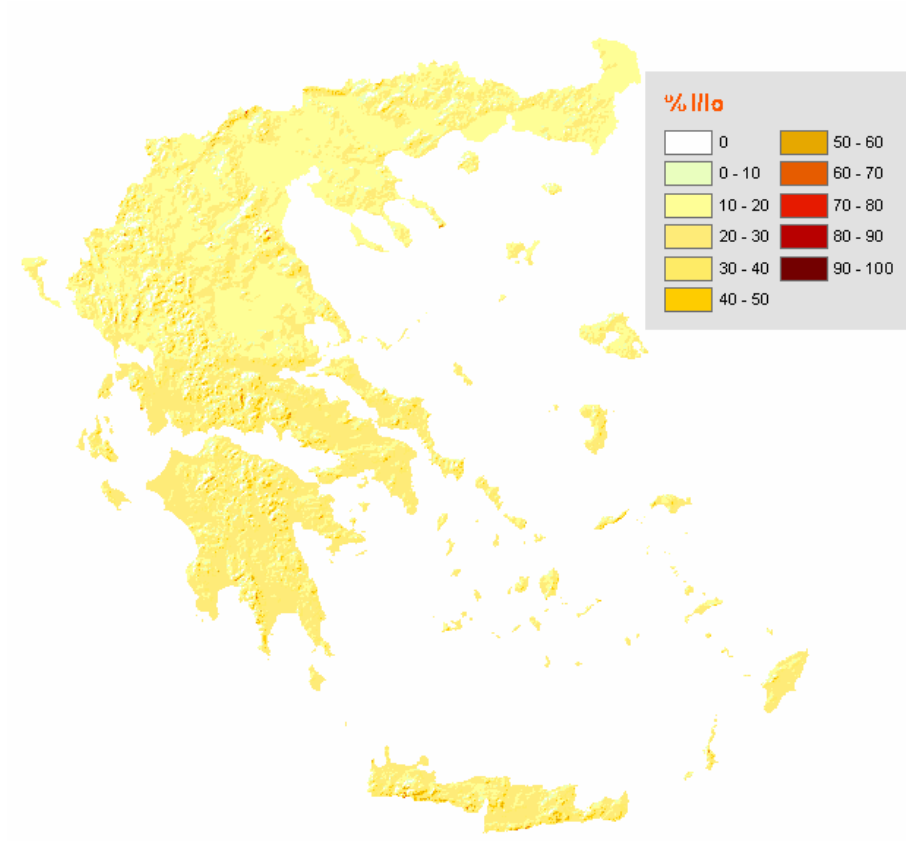


21 Δεκεμβρίου (Ιουλιανή μέρα 355)

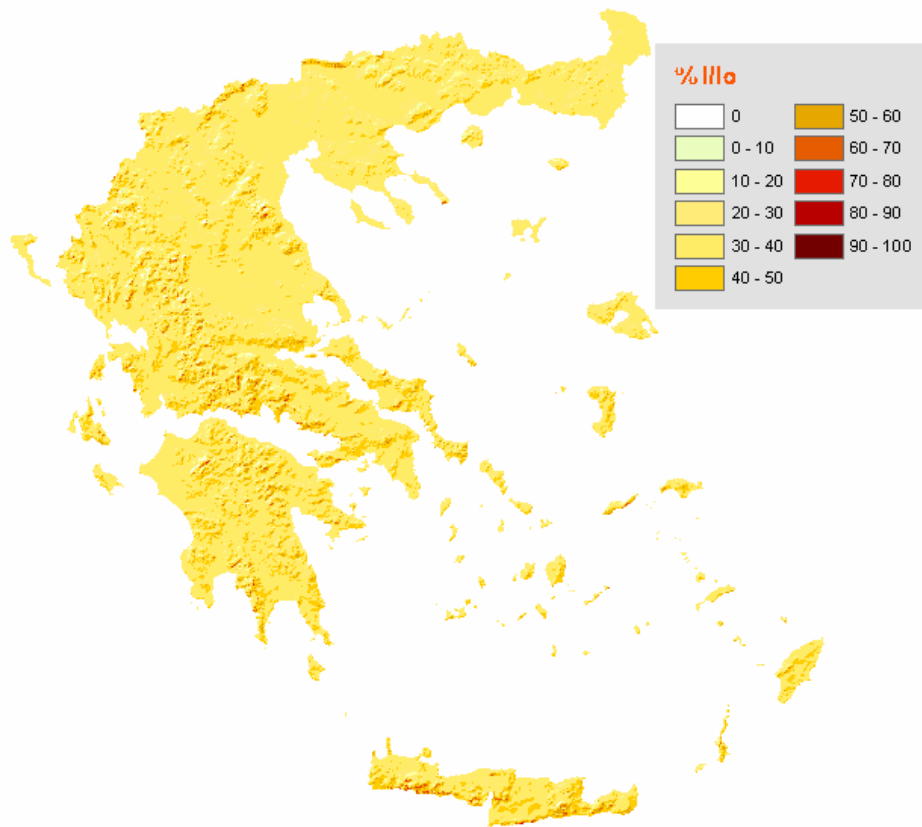
08:00 - Ιουλιανή μέρα 355



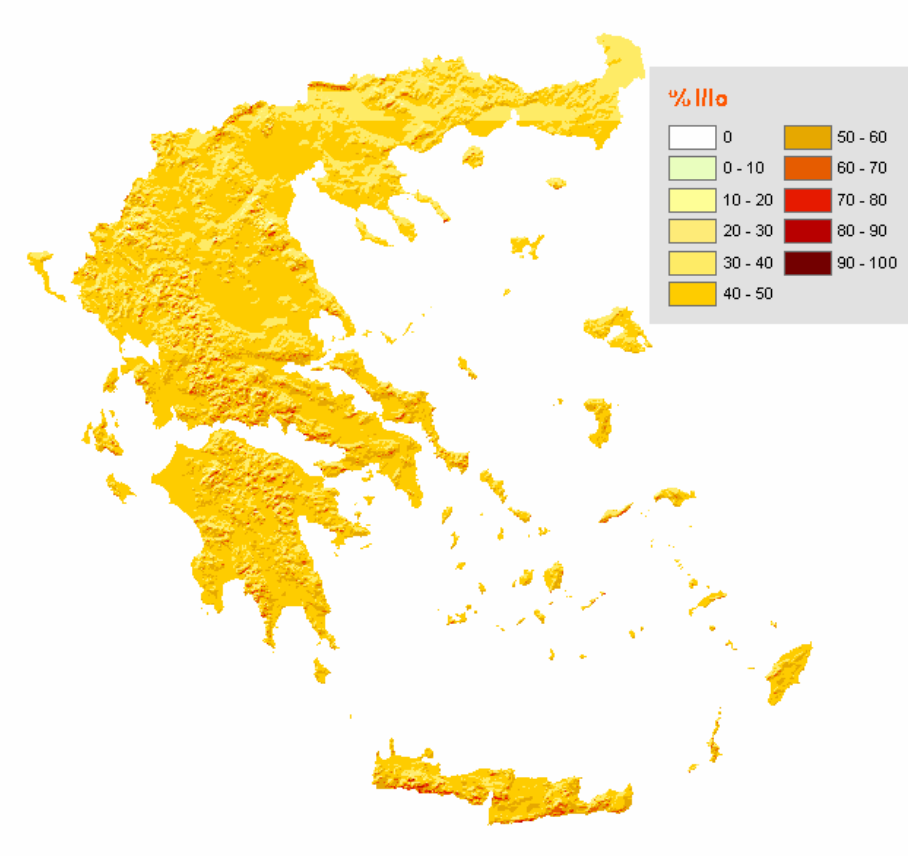
09:00 - Ιουλιανή μέρα 355



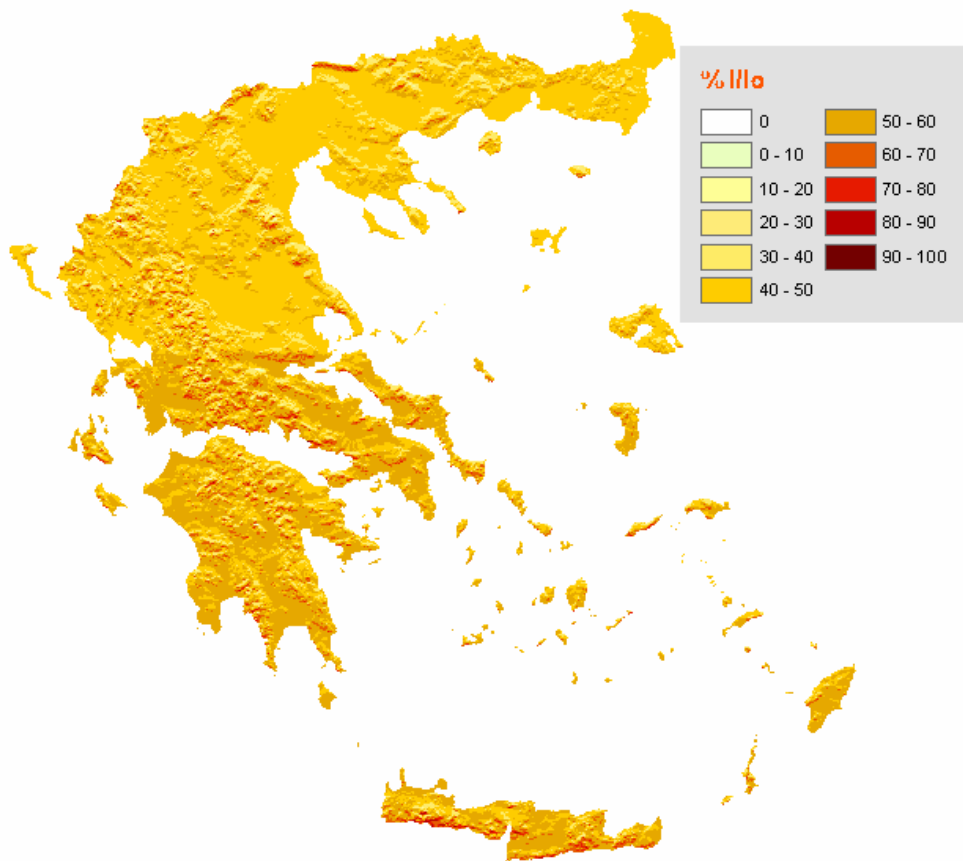
10:00 - Ιουλιανή μέρα 355



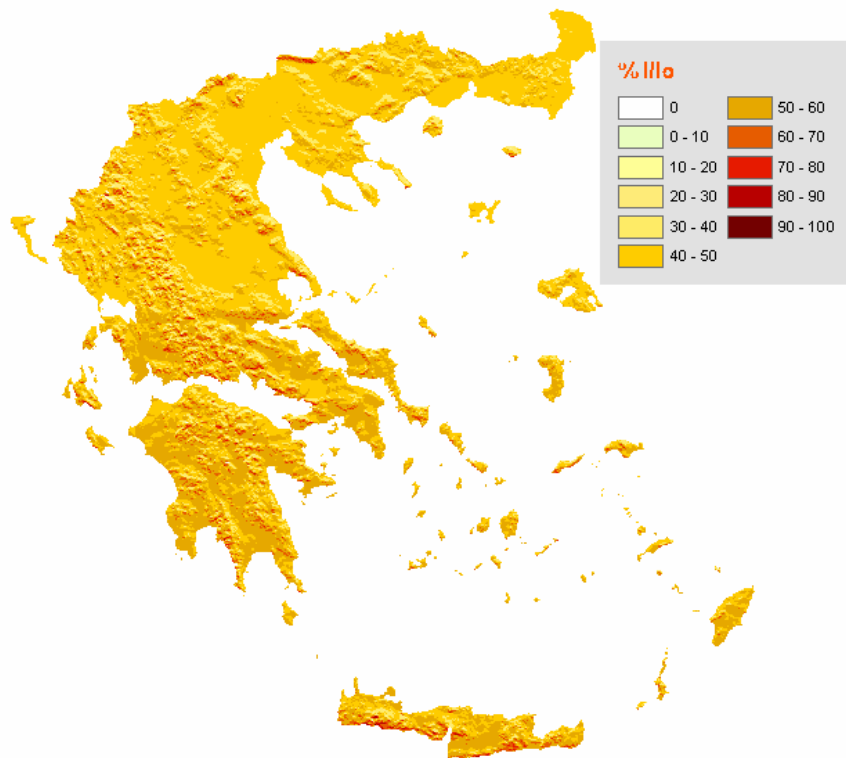
11:00 - Ιουλιανή μέρα 355



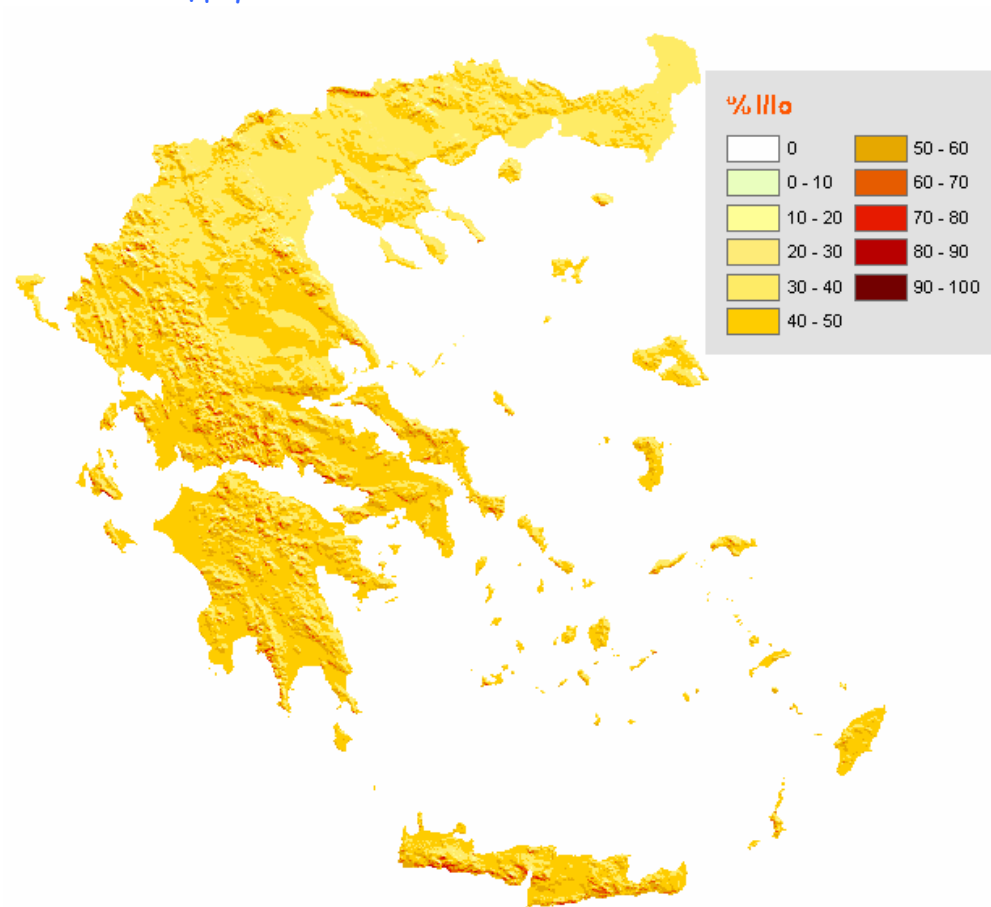
12:00 - Ιουλιανή μέρα 355



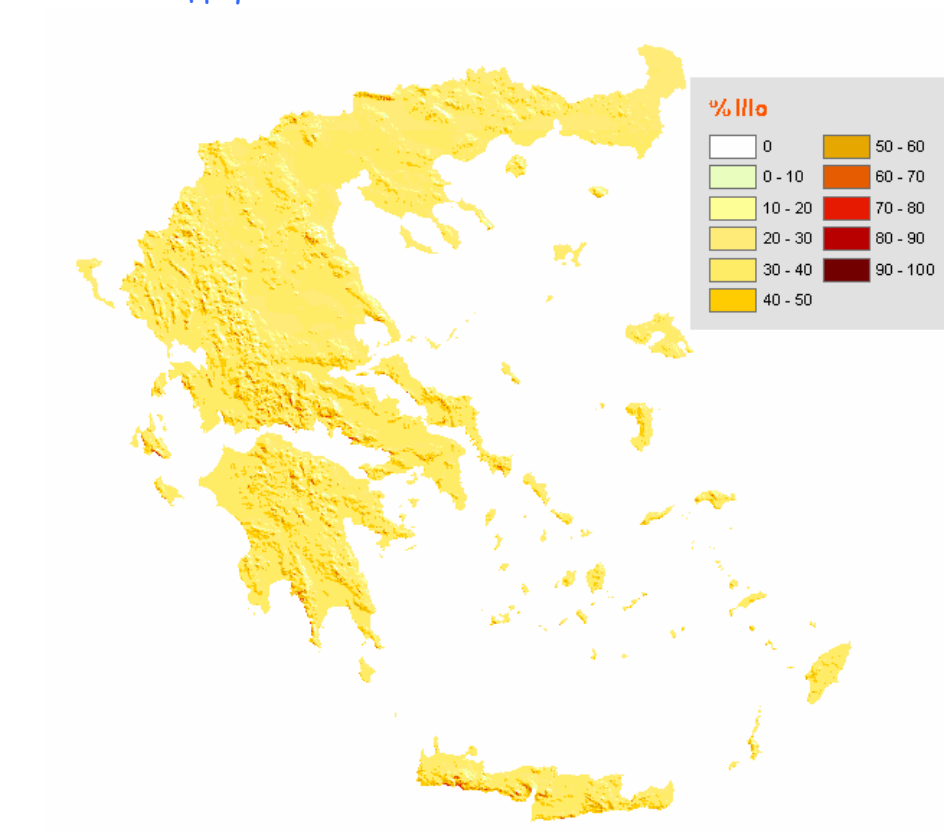
13:00 - Ιουλιανή μέρα 355



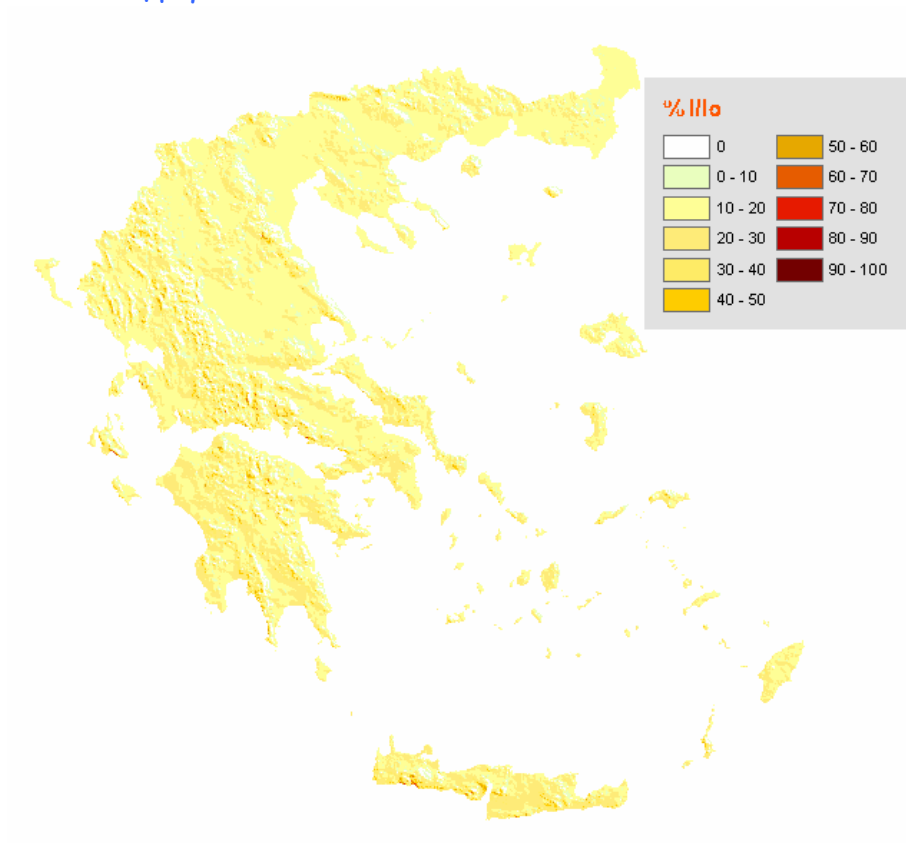
14:00 - Ιουλιανή μέρα 355



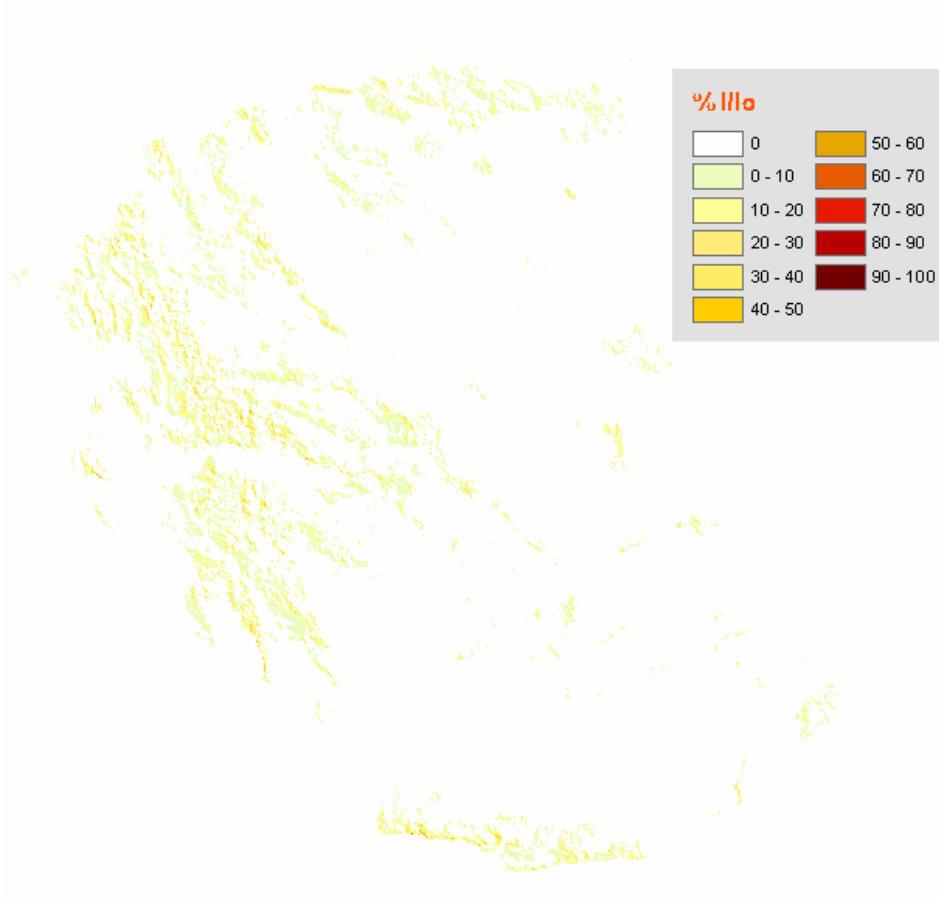
15:00 - Ιουλιανή μέρα 355



16:00 - Ιουλιανή μέρα 355



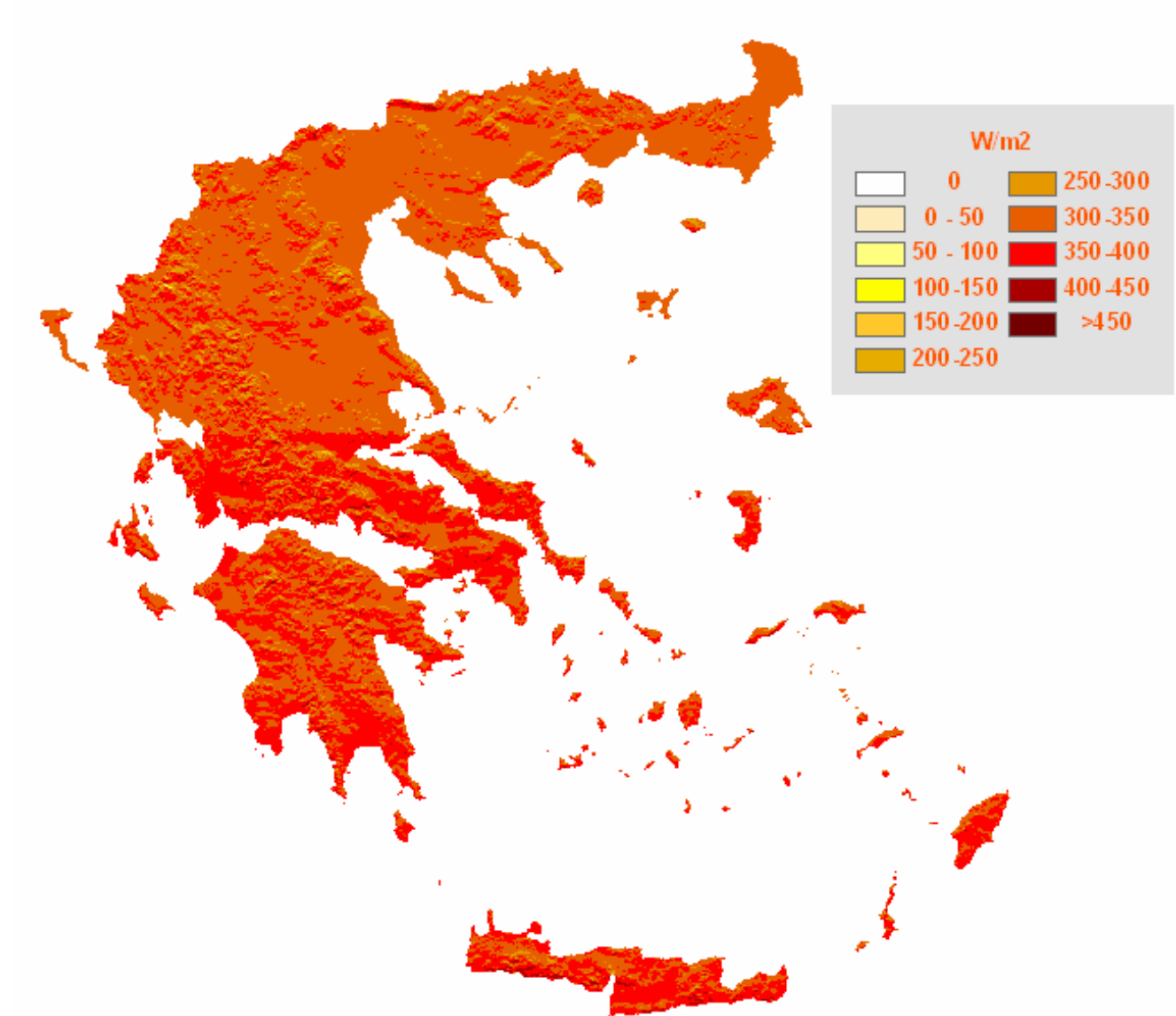
17:00 - Ιουλιανή μέρα 355



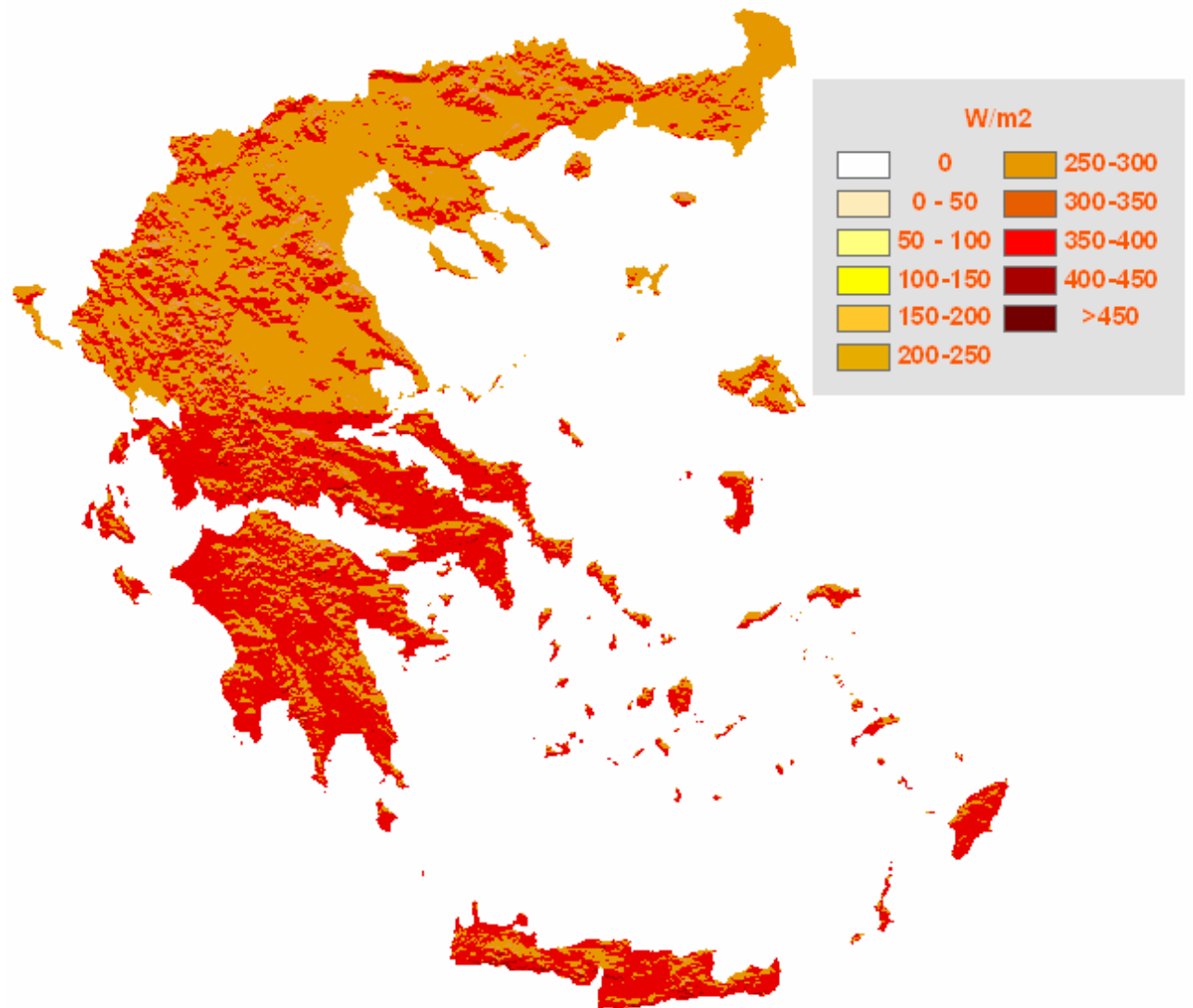
4.2 Ημερήσιες Τιμές

Θα παρουσιαστούν οι ημερήσιες τιμές των δύο ισημεριών και των δύο ηλιοστασίων.

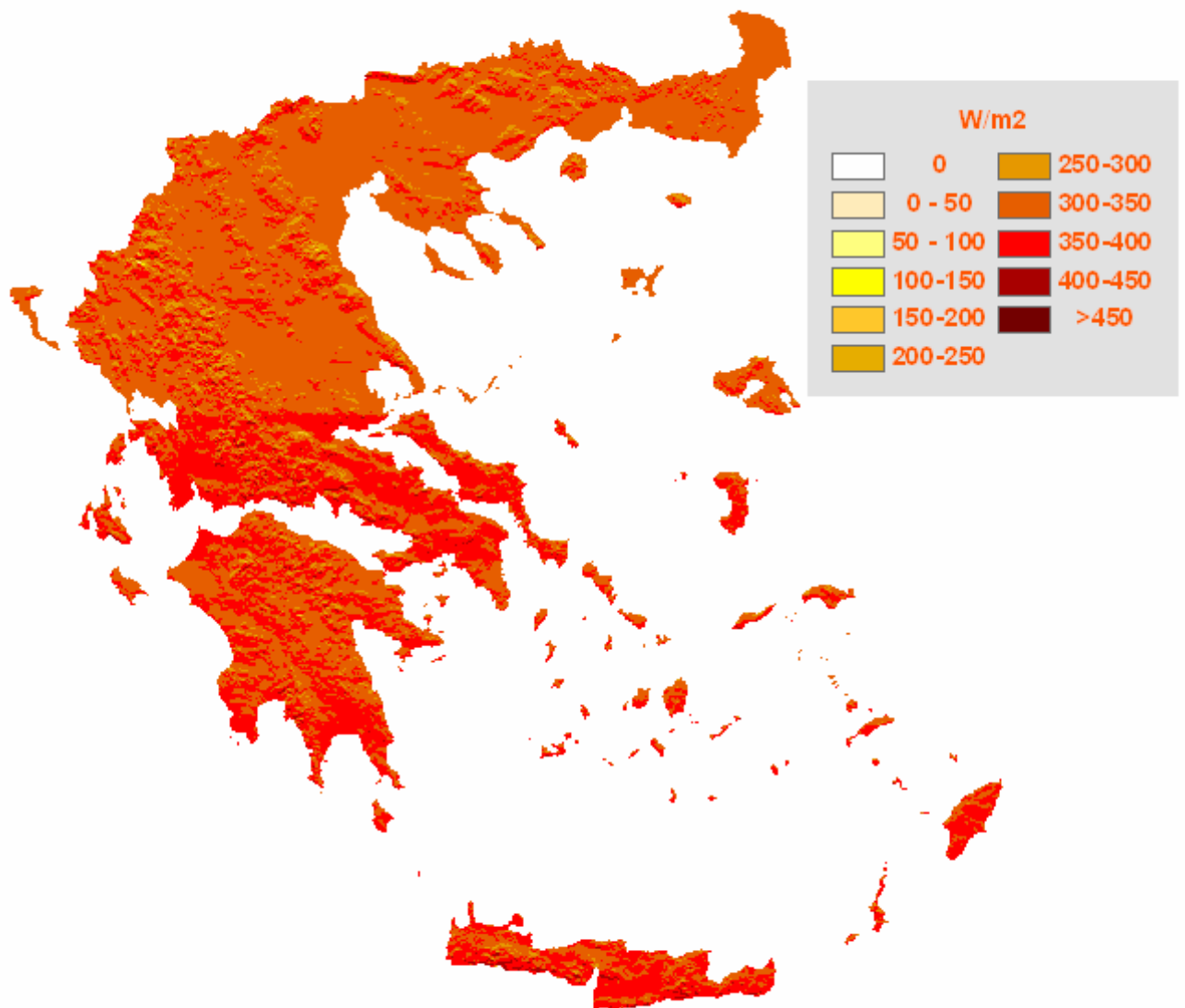
21 Μαρτίου (Ιουλιανή μέρα 80)



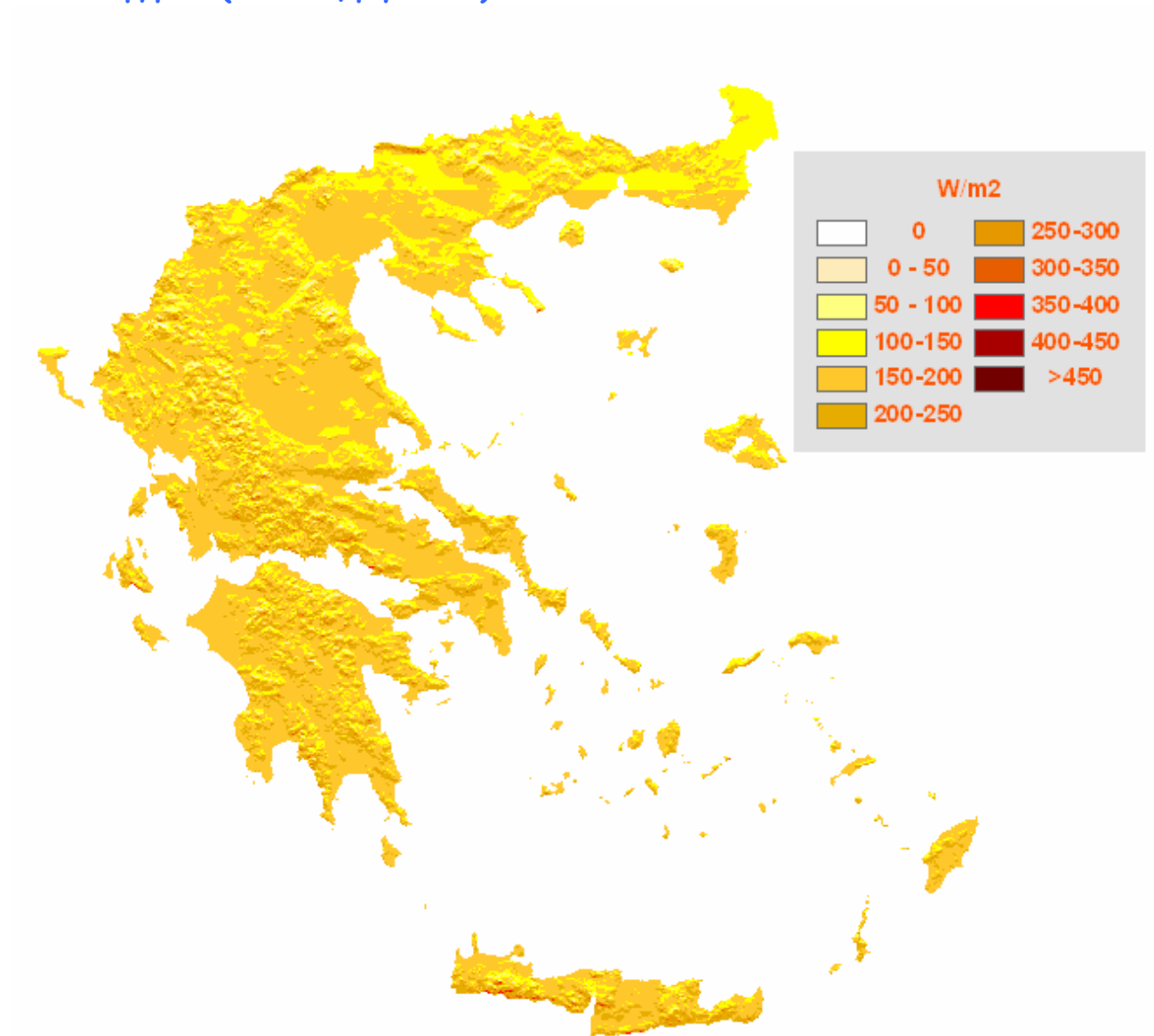
21 Ιουνίου (Ιουλιανή μέρα 173)



22 Σεπτεμβρίου (Ιουλιανή μέρα 265)



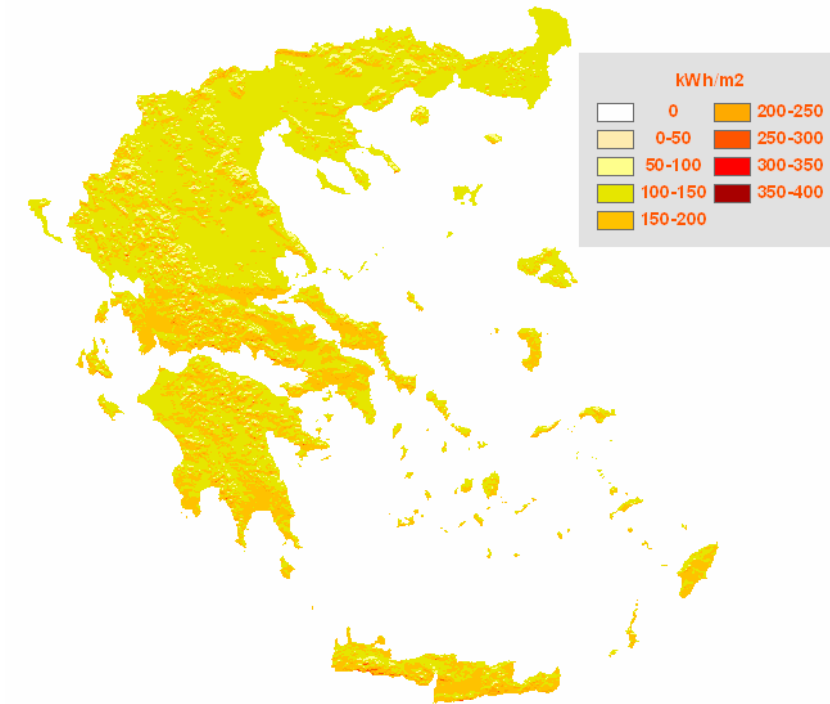
21 Δεκεμβρίου (Ιουλιανή μέρα 355)



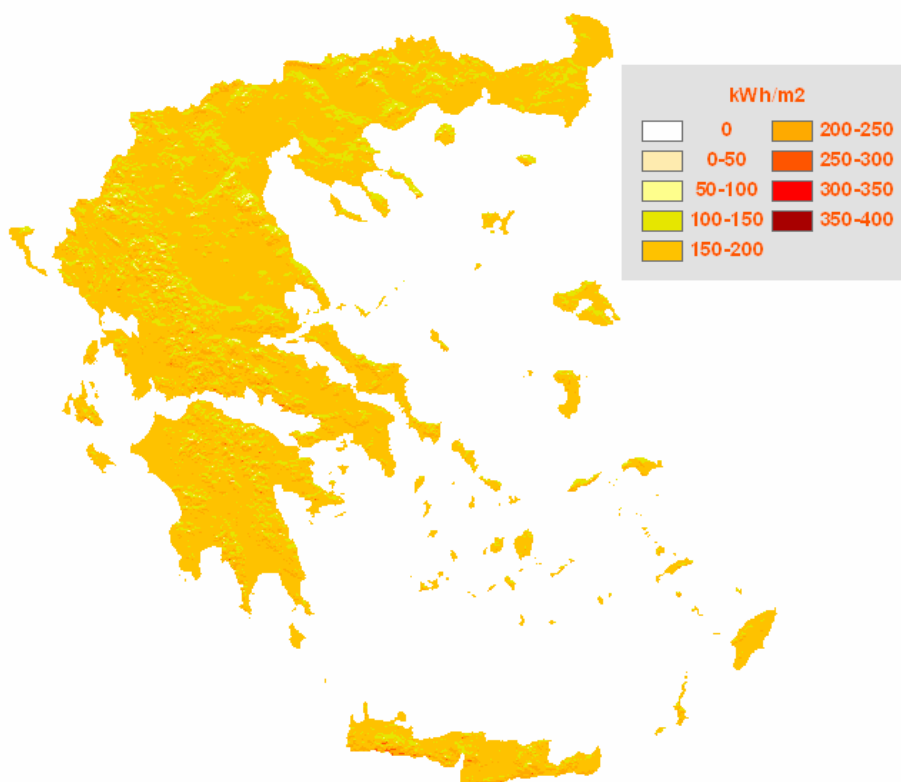
4.3 Μηνιαίες Τιμές

Θα παρουσιαστούν οι μηνιαίες τιμές για όλο το έτος.

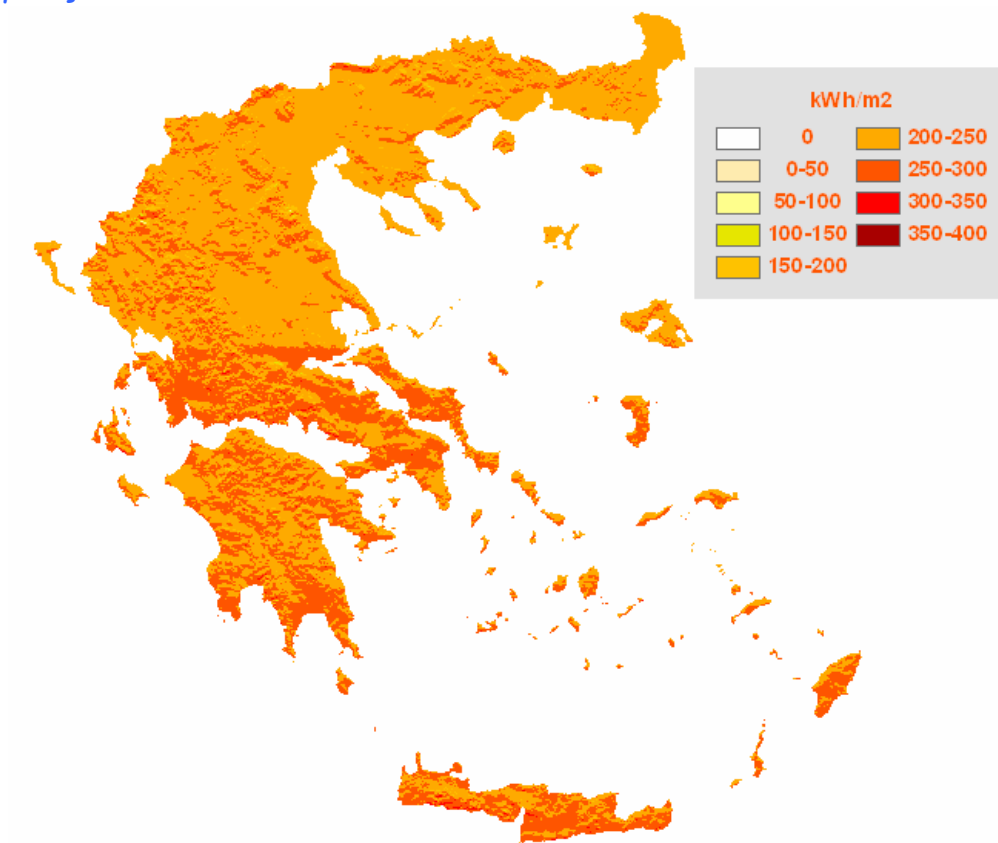
Ιανουάριος



Φεβρουάριος



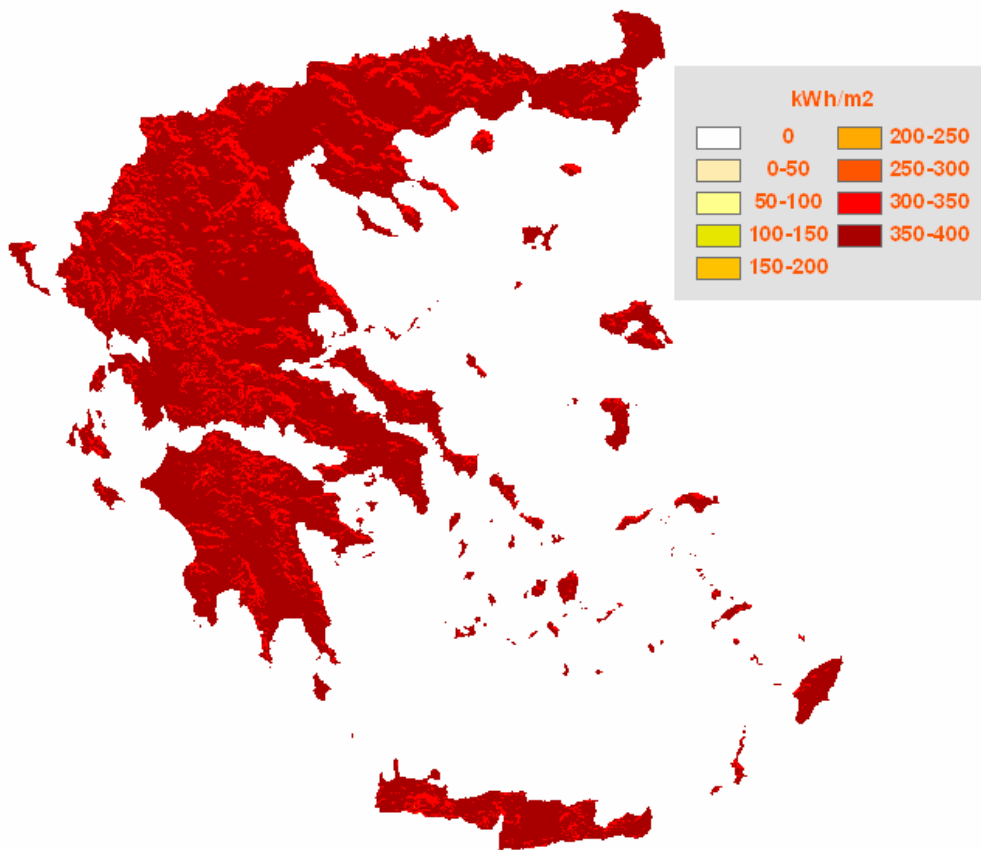
Μάρτιος



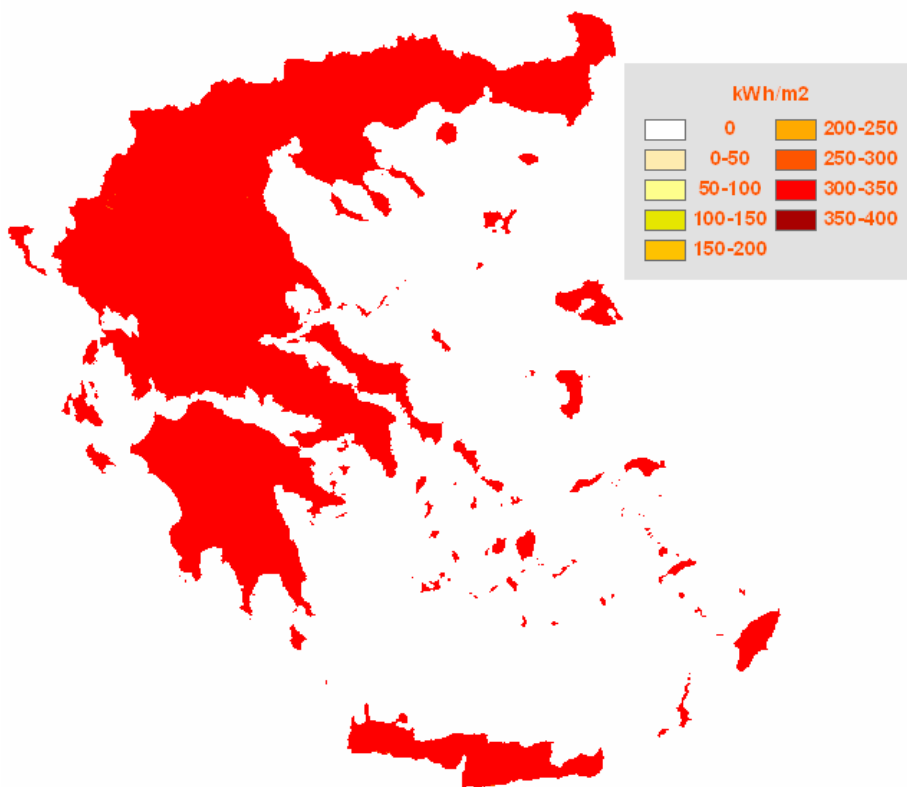
Απρίλιος



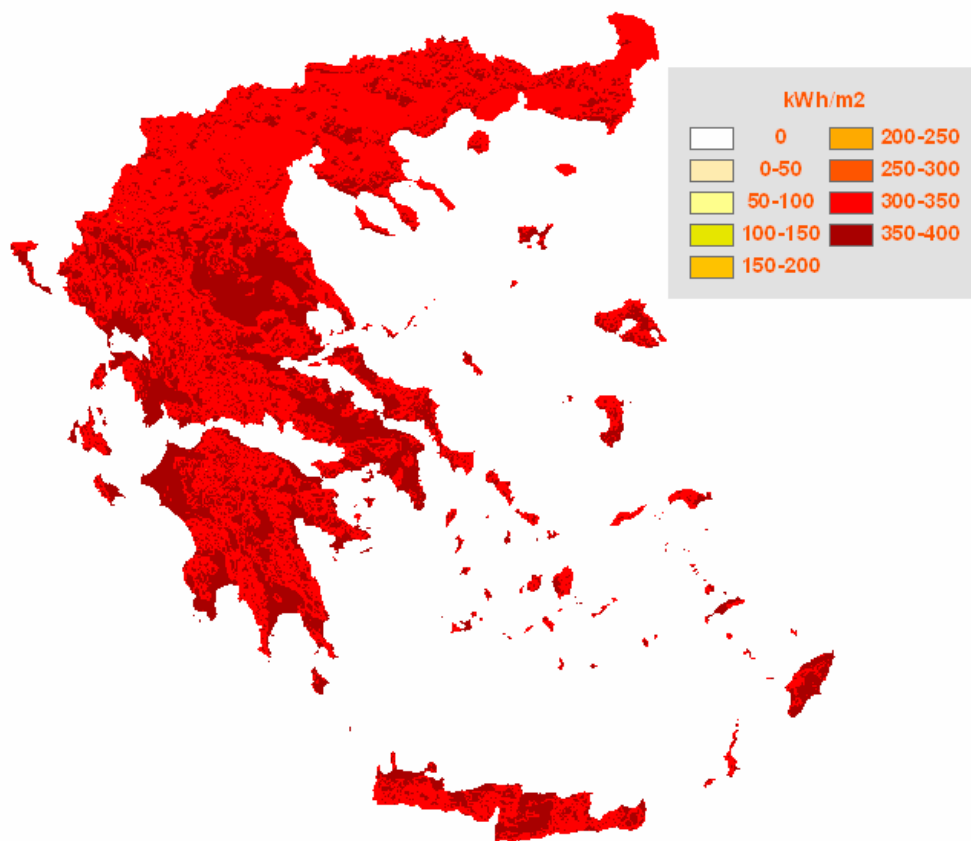
Μάιος



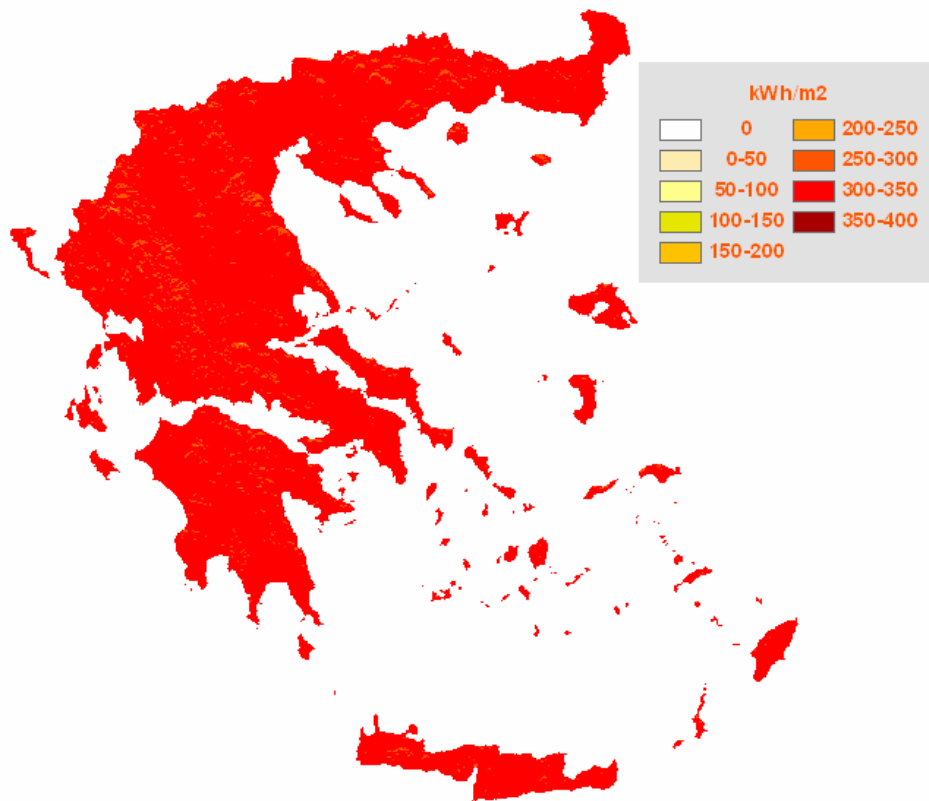
Ιούνιος



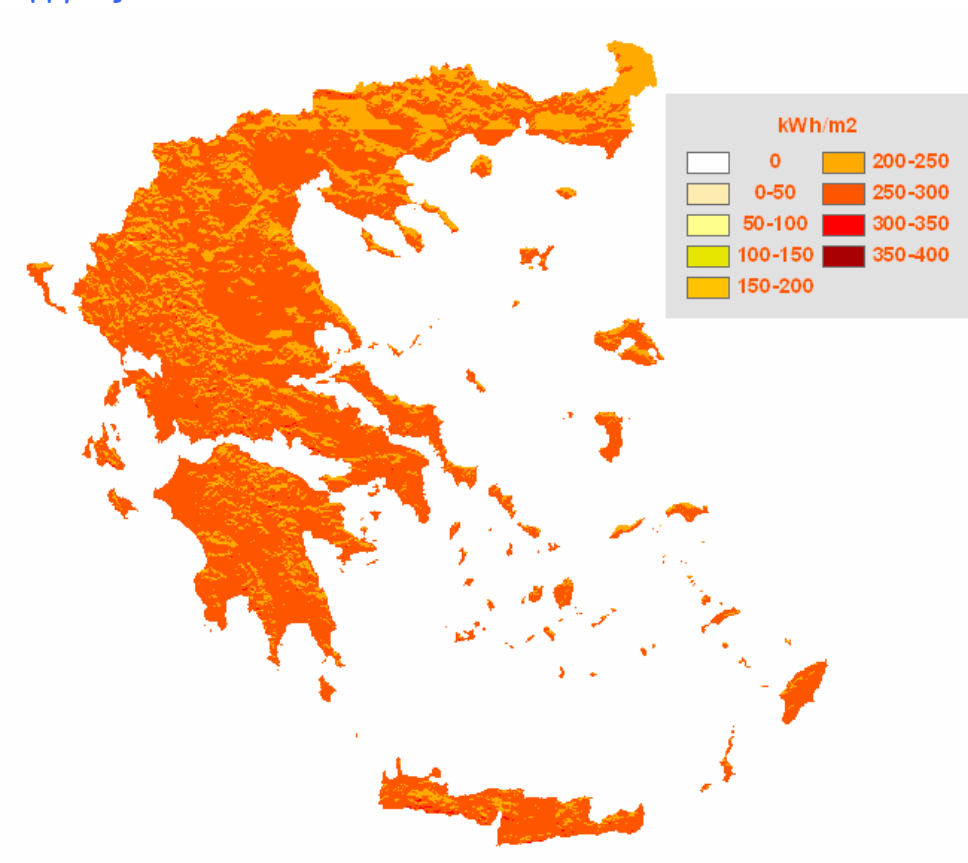
Ιούλιος



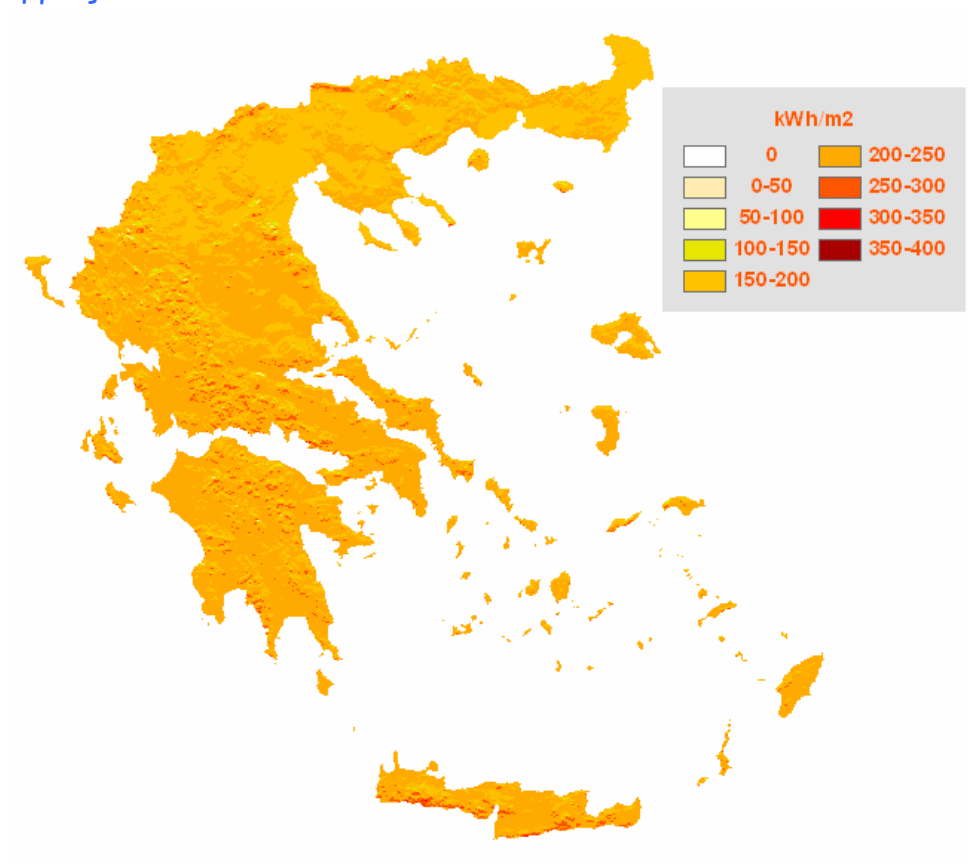
Αύγουστος



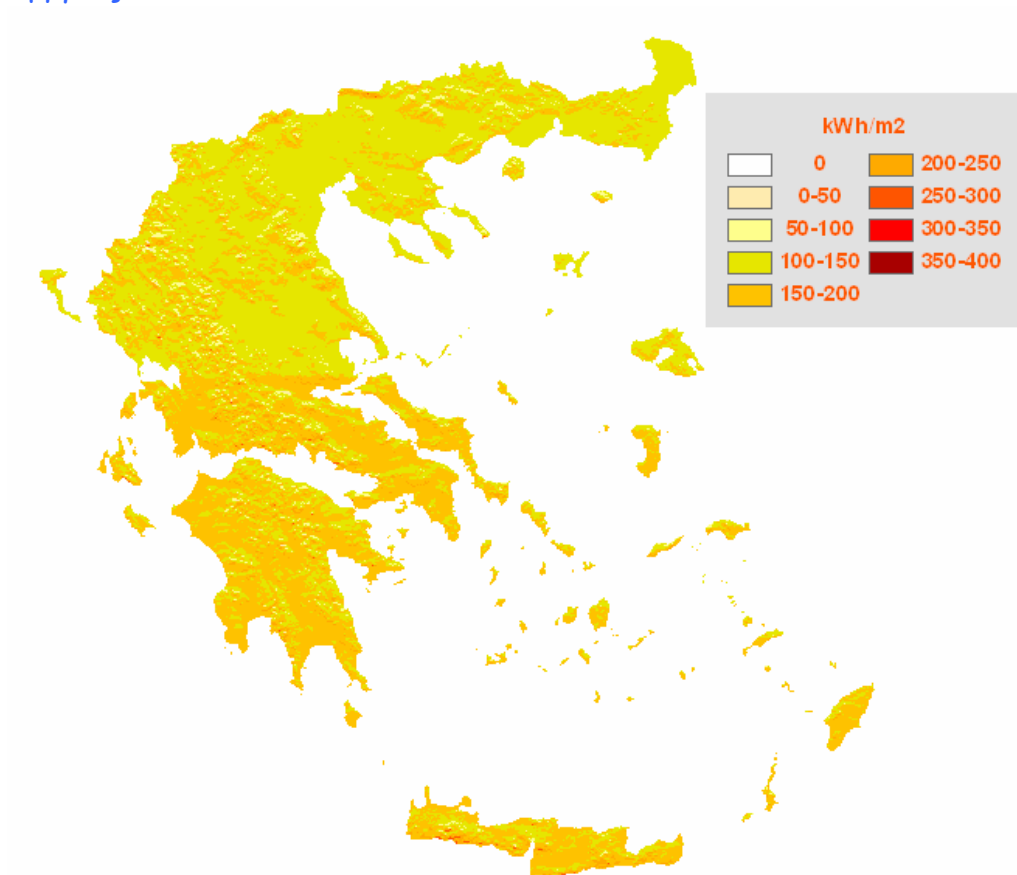
Σεπτέμβριος



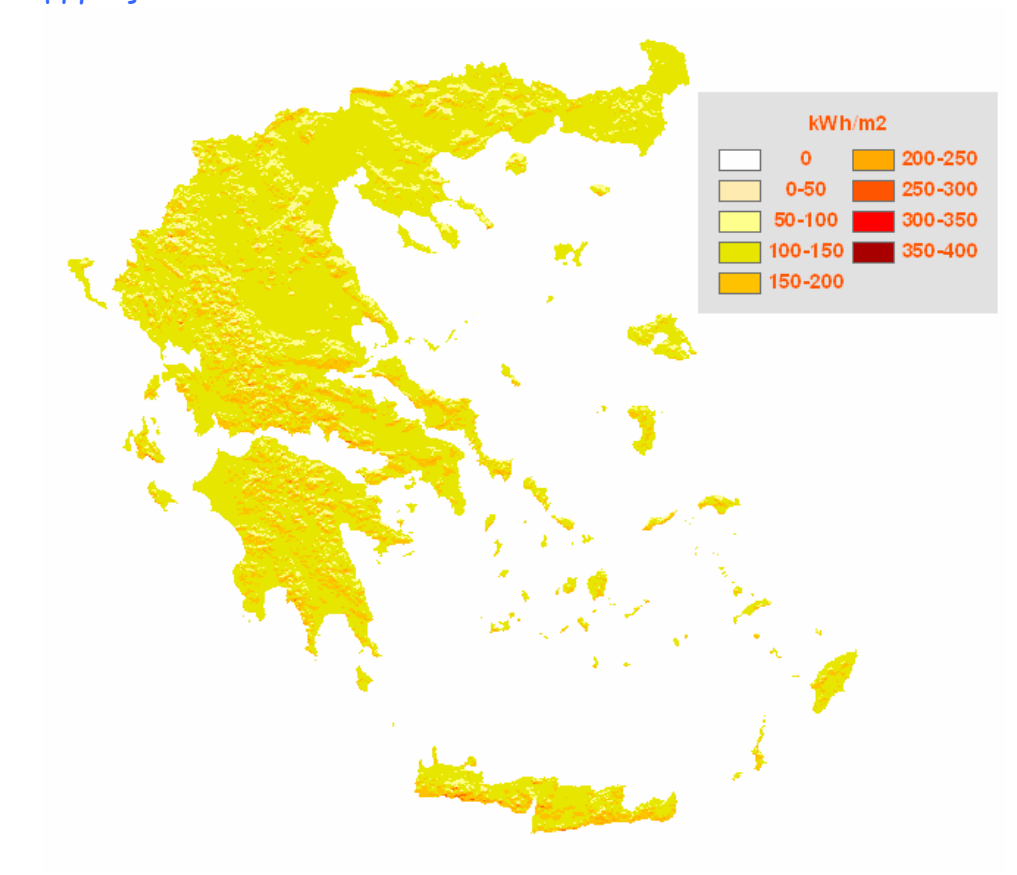
Οκτώβριος



Νοέμβριος



Δεκέμβριος



Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται η χωρική κατανομή των κλάσεων (το ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνει κάθε κλάση) της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε μήνα.

Μήνας	Ιανουάριος		Φεβρουάριος		Μάρτιος		Απρίλιος	
	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)
<100	27639	5,58	3963	0,80	30	0,01	0	0,00
101-150	373568	69,88	82630	15,89	585	0,11	11	0,00
151-200	484825	22,47	470999	78,45	12036	2,31	82	0,01
201-250	494598	1,97	494606	4,77	351835	68,64	3794	0,75
251-300	495061	0,09	495064	0,09	493322	28,58	432828	86,66
301-350	495064	0,00	0	0,00	495064	0,00	495064	0,00
>350	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00

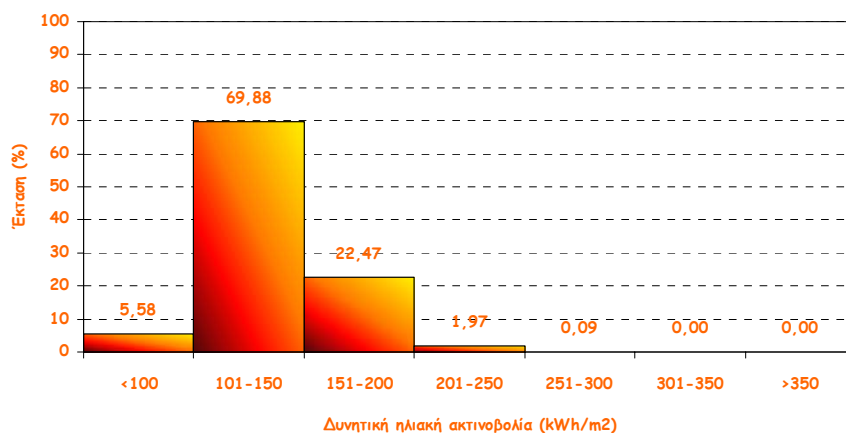
Μήνας	Μάιος		Ιούνιος		Ιούλιος		Αύγουστος	
	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)
<100	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
101-150	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
151-200	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1201	0,24
201-250	16	0,00	3	0,00	8	0,00	178	-0,21
251-300	197	0,04	148	0,03	128	0,02	18770	3,76
301-350	105570	21,28	495064	99,97	495064	99,97	495064	96,21
>350	495064	78,68	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Μήνας	Σεπτέμβριος		Οκτώβριος		Νοέμβριος		Δεκέμβριος	
	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)
<100	11	0,00	426	0,09	15250	3,08041	51094	10,32
101-150	108	0,02	8171	1,56	291526	55,8061	429798	76,50
151-200	2680	0,52	200332	38,82	482283	38,5318	488978	11,95
201-250	138333	27,40	482451	56,99	494612	2,49039	494770	1,17
251-300	493796	71,80	494914	2,52	495064	0,0913	495062	0,06
301-350	495064	0,26	495064	0,03	0	0	495064	0,00
>350	0	0,00	0	0,00	0	0	0	0,00

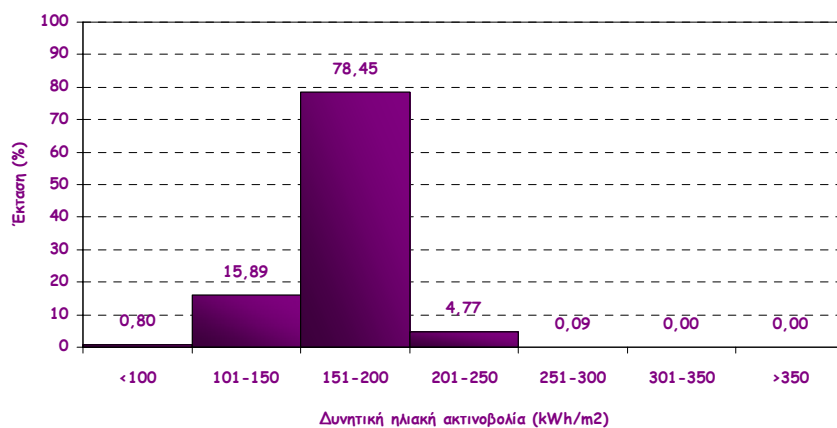
Οι παραπάνω τιμές αναπαρίστανται σχηματικά στα ακόλουθα διαγράμματα:

Χωρική κατανομή των κλάσεων των μηνιαίων τιμών δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας

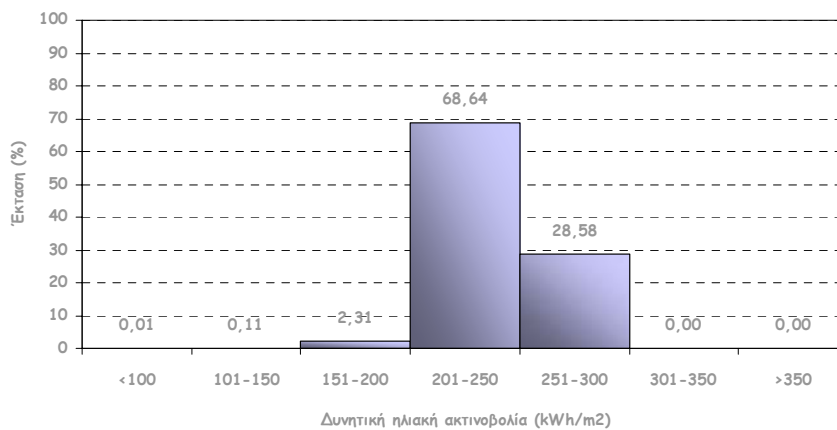
Ιανουάριος



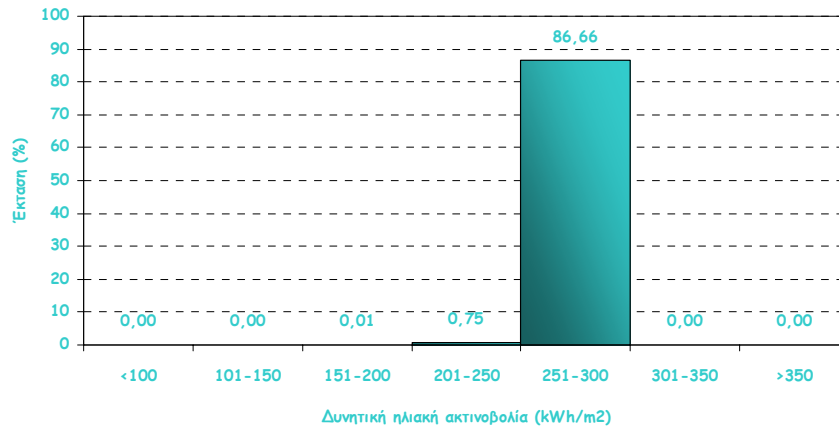
Φεβρουάριος



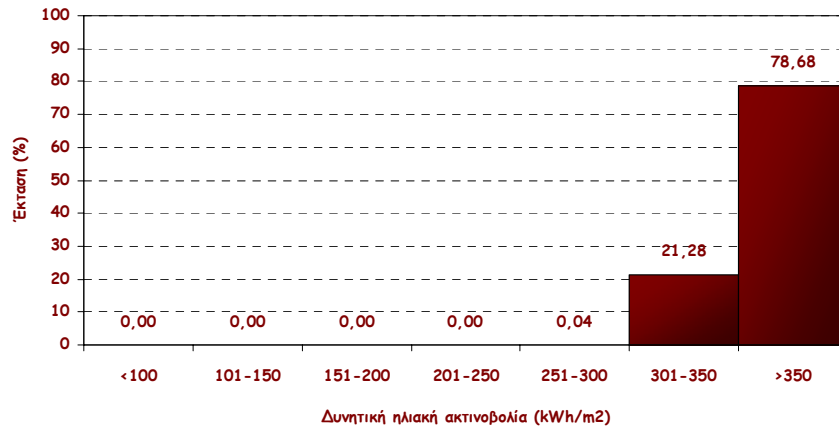
Μάρτιος



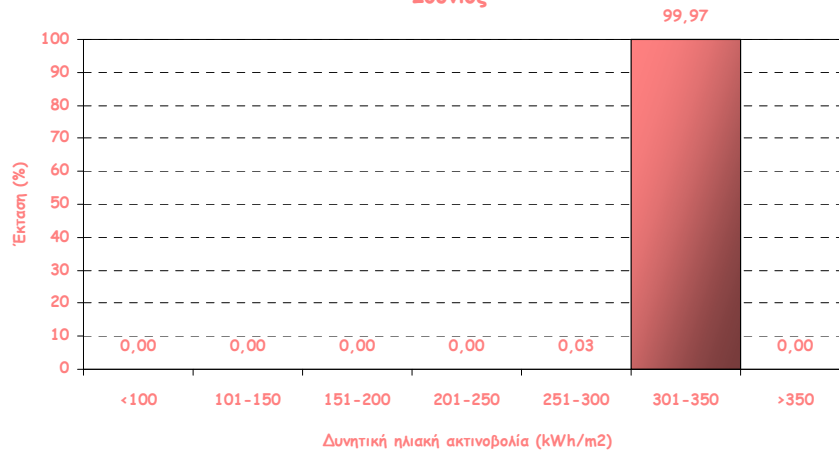
Απρίλιος

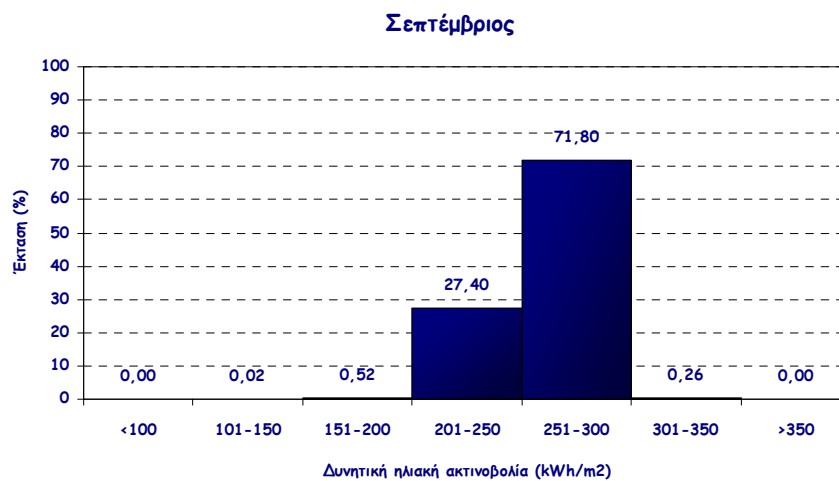
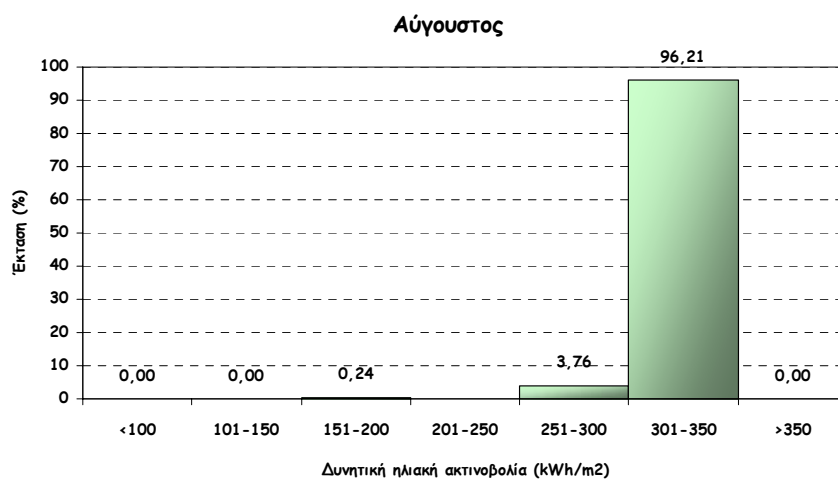
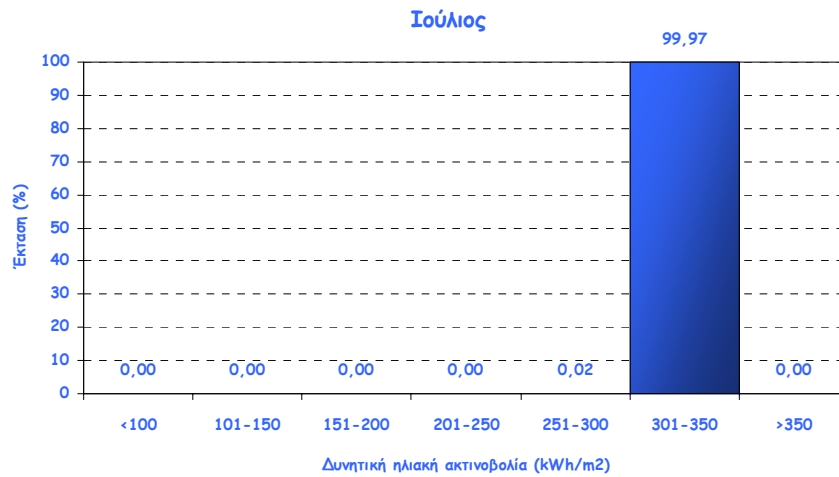


Μάιος

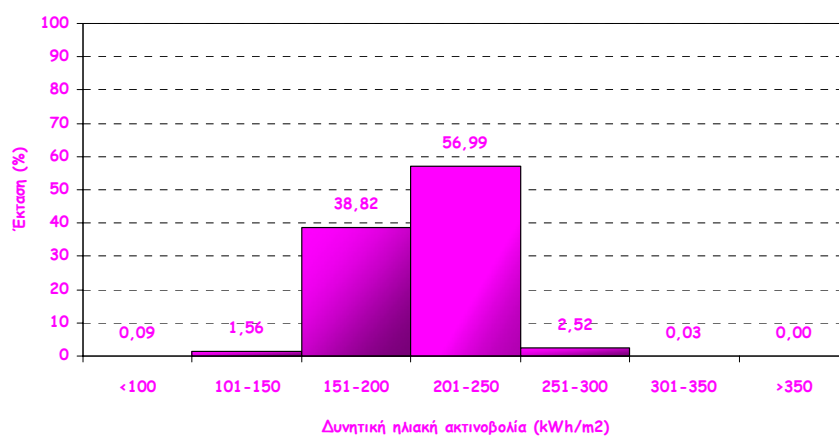


Ιούνιος

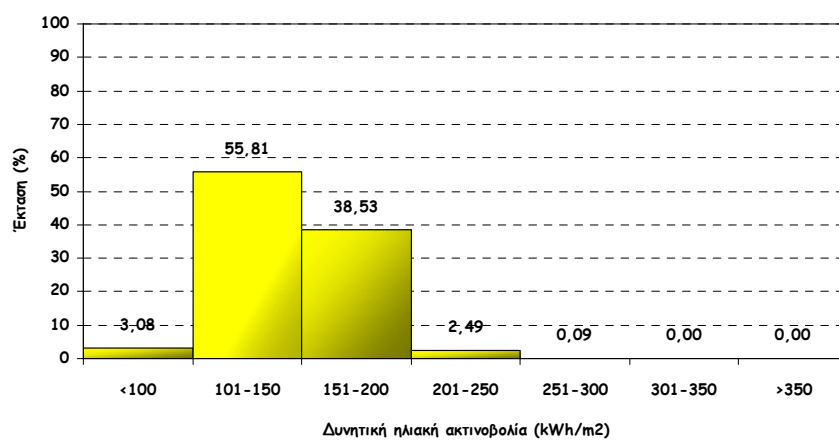




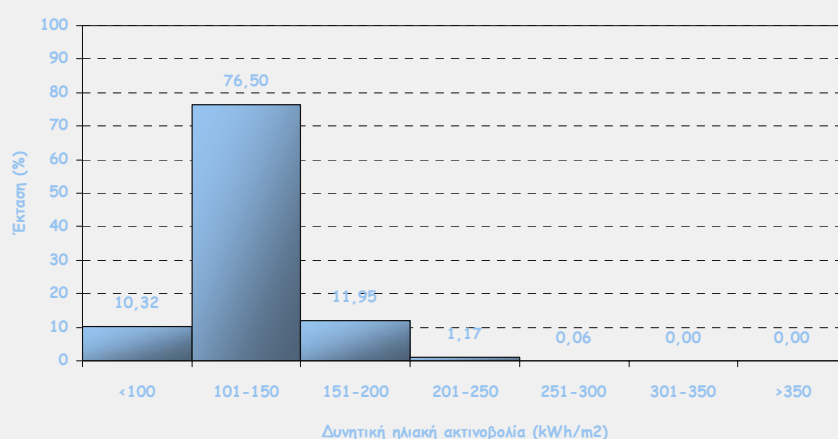
Οκτώβριος



Νοέμβριος

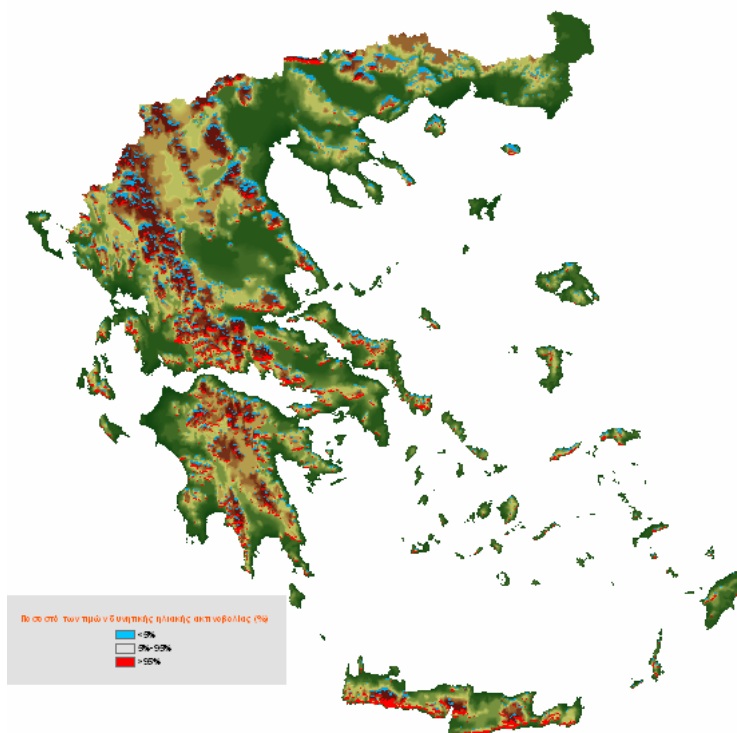


Δεκέμβριος

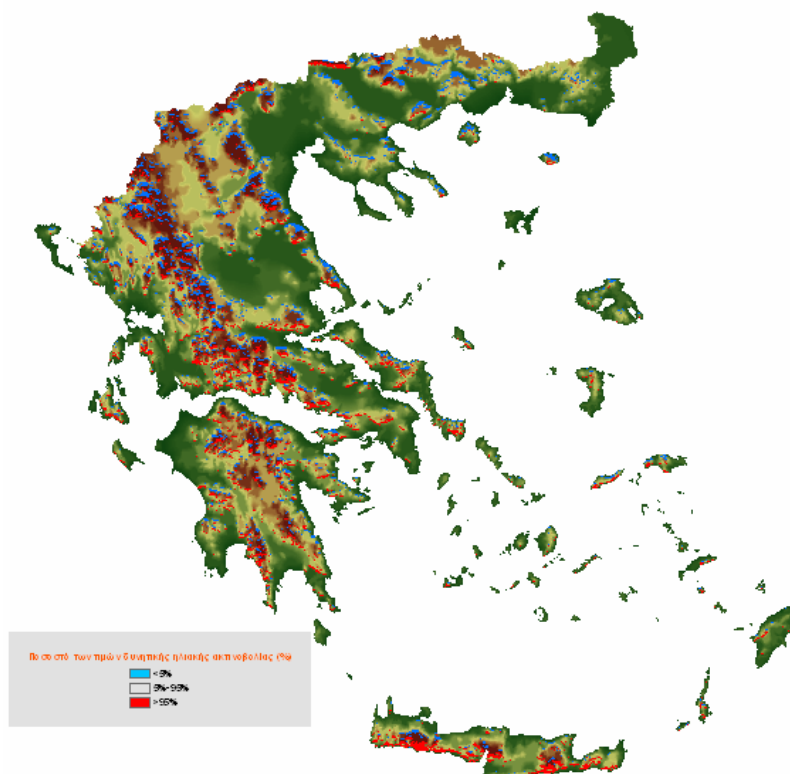


Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες που δείχνουν τις περιοχές που λαμβάνουν μηνιαίες τιμές δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας που βρίσκονται στο άνω και στο κάτω 5% του συνόλου των τιμών του δείγματος κάθε μήνα.

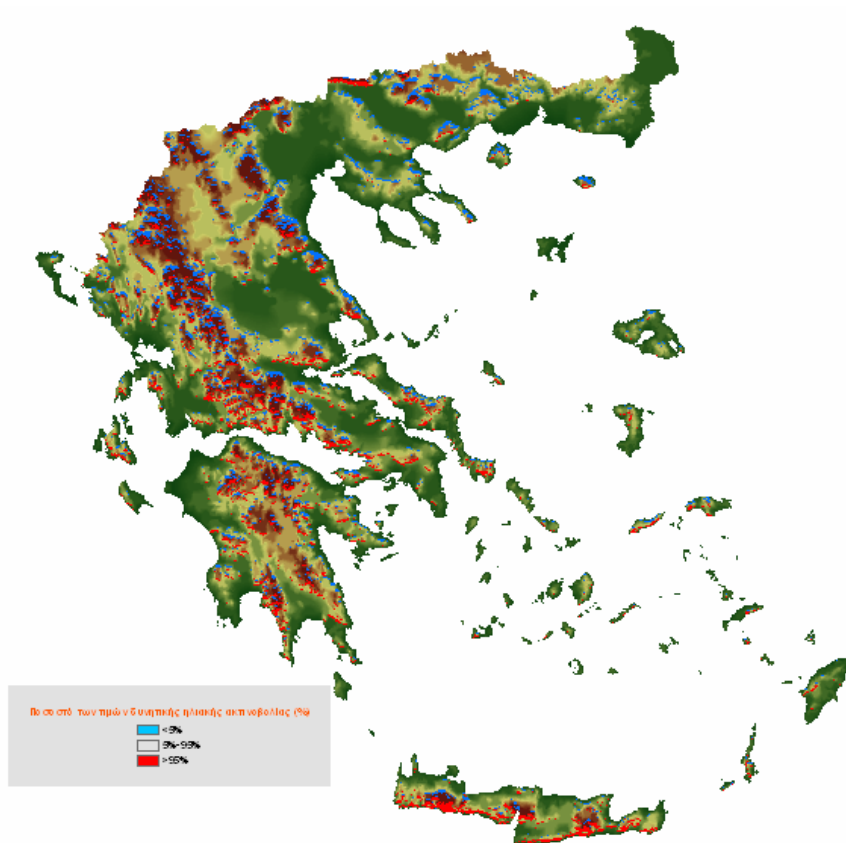
Ιανουάριος



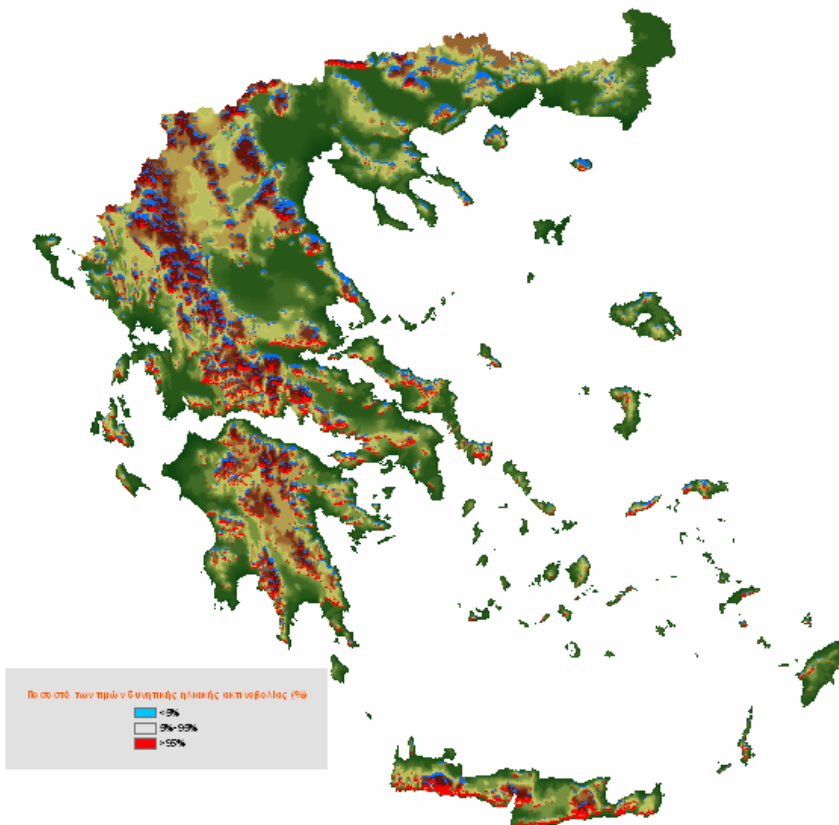
Φεβρουάριος



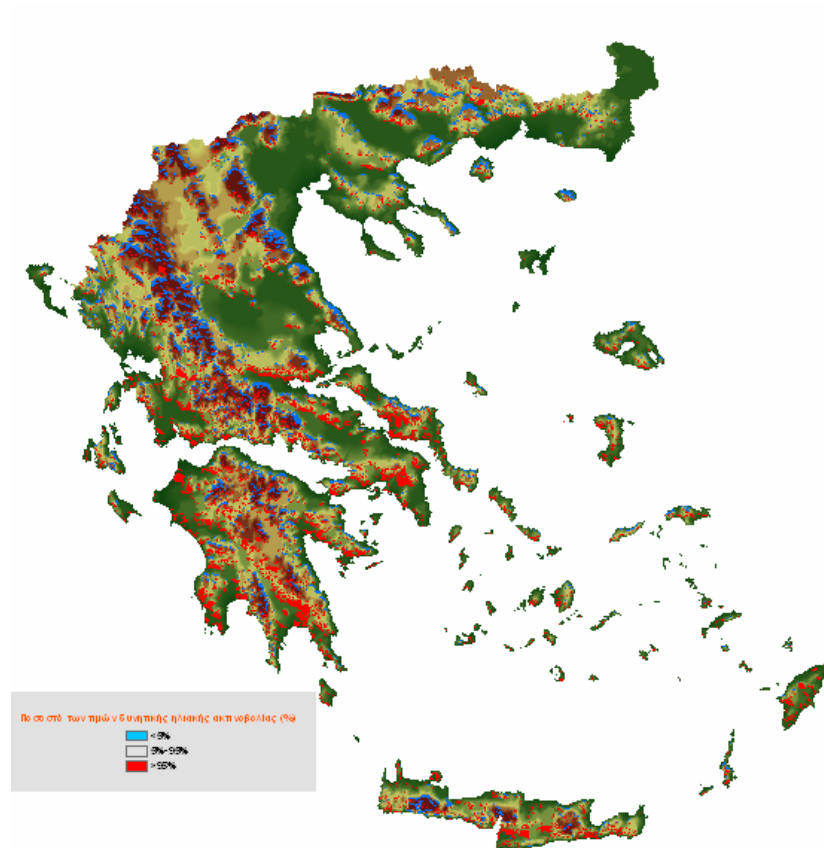
Μάρτιος



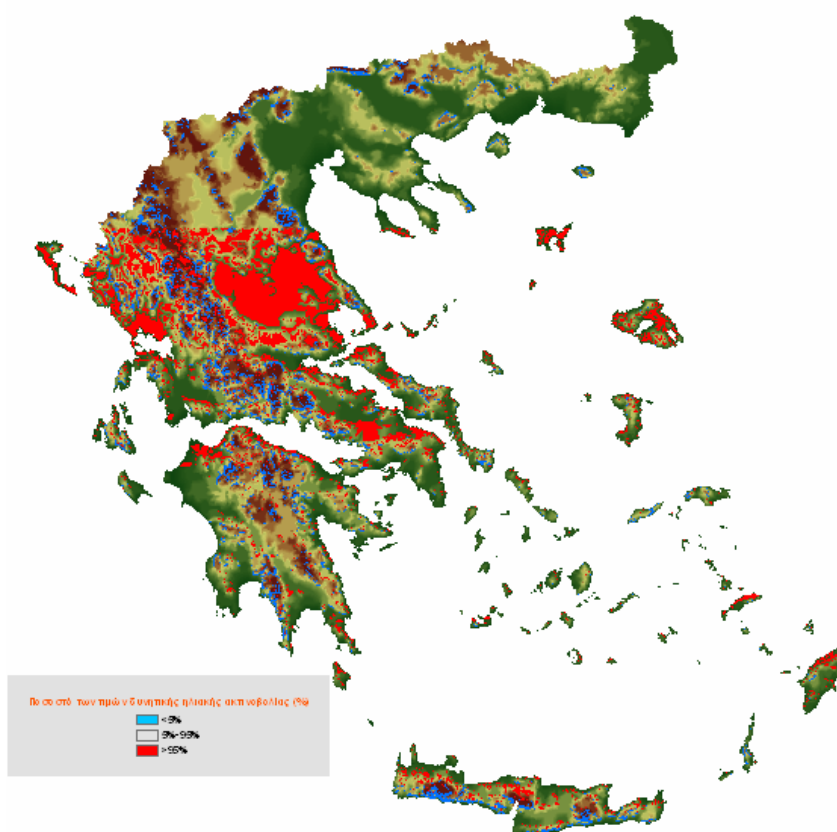
Απρίλιος



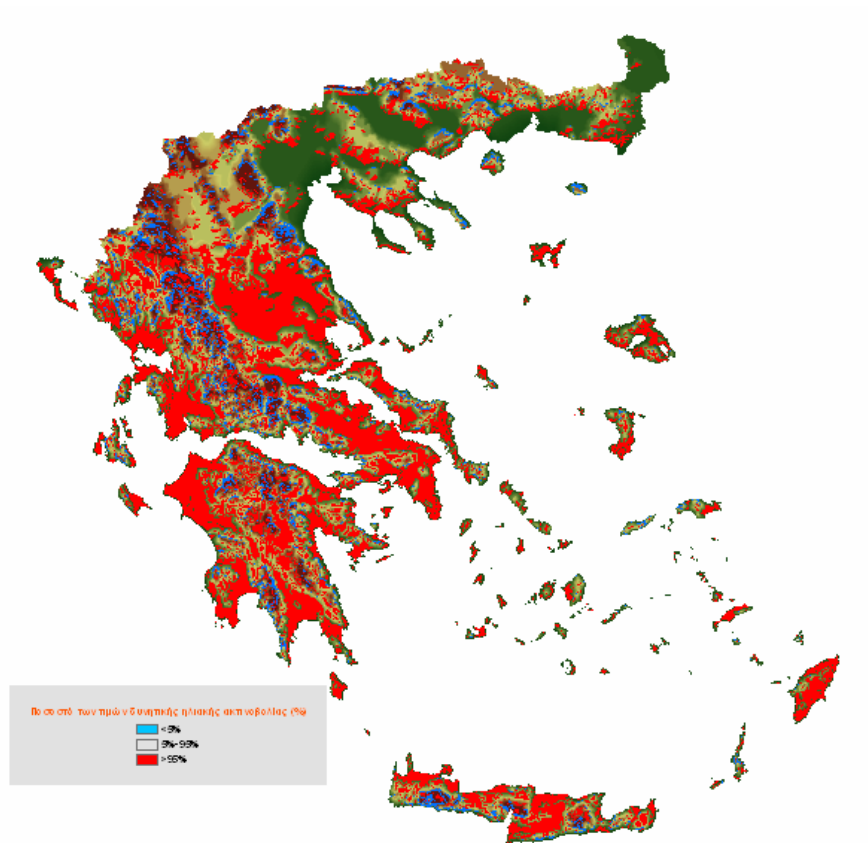
Μάιος



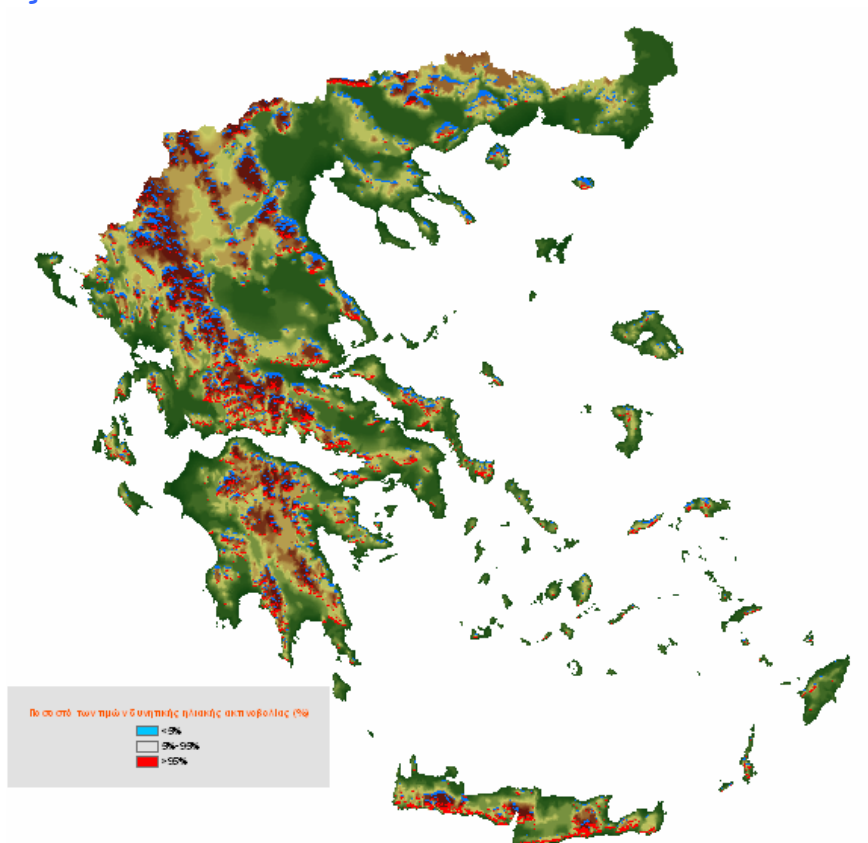
Ιούνιος



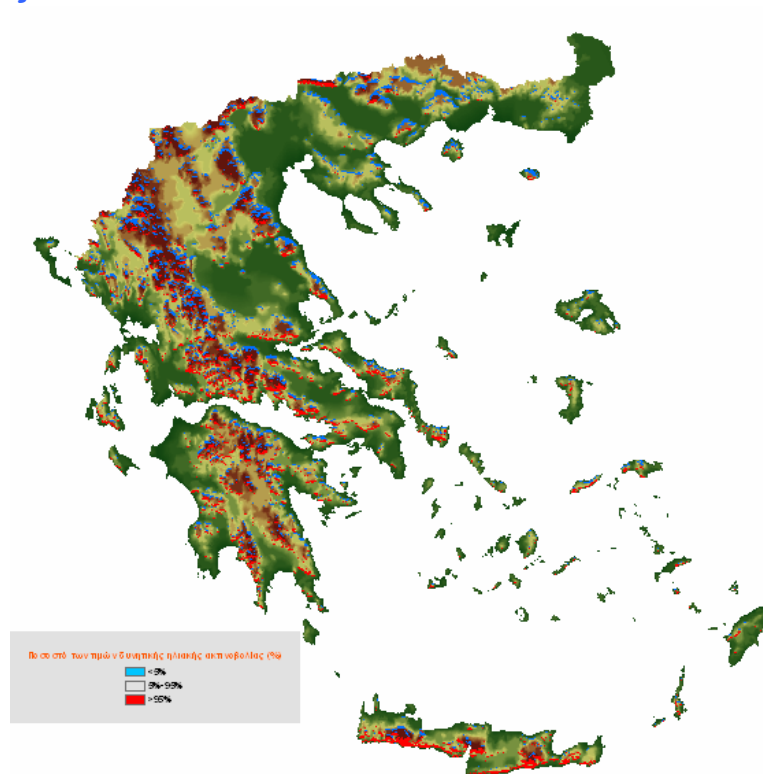
Ιούλιος



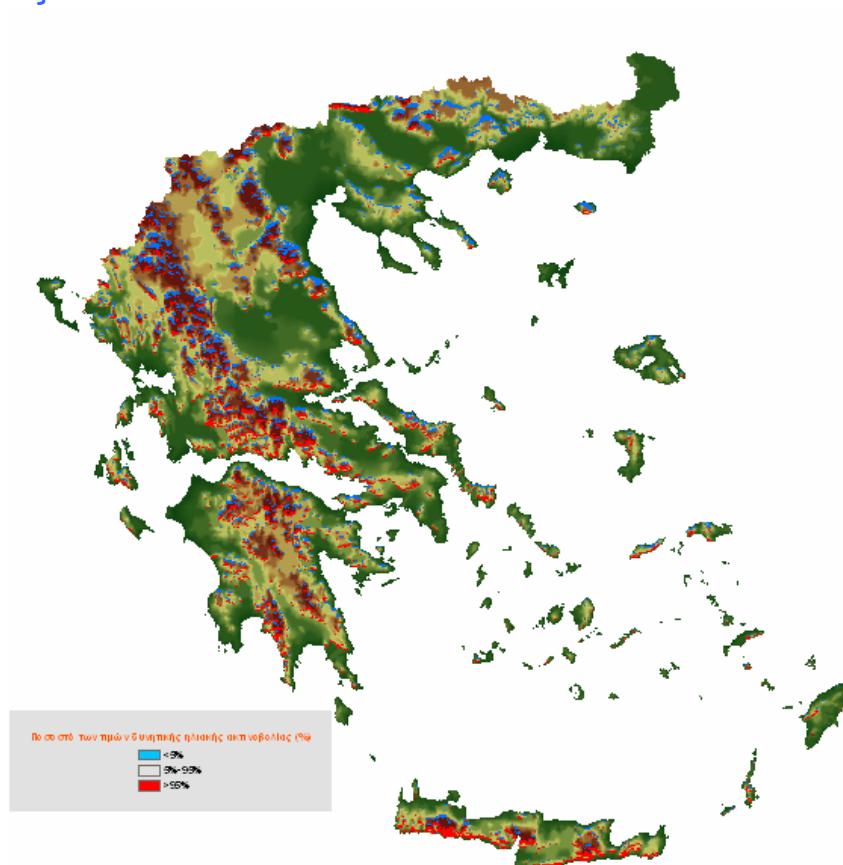
Αύγουστος



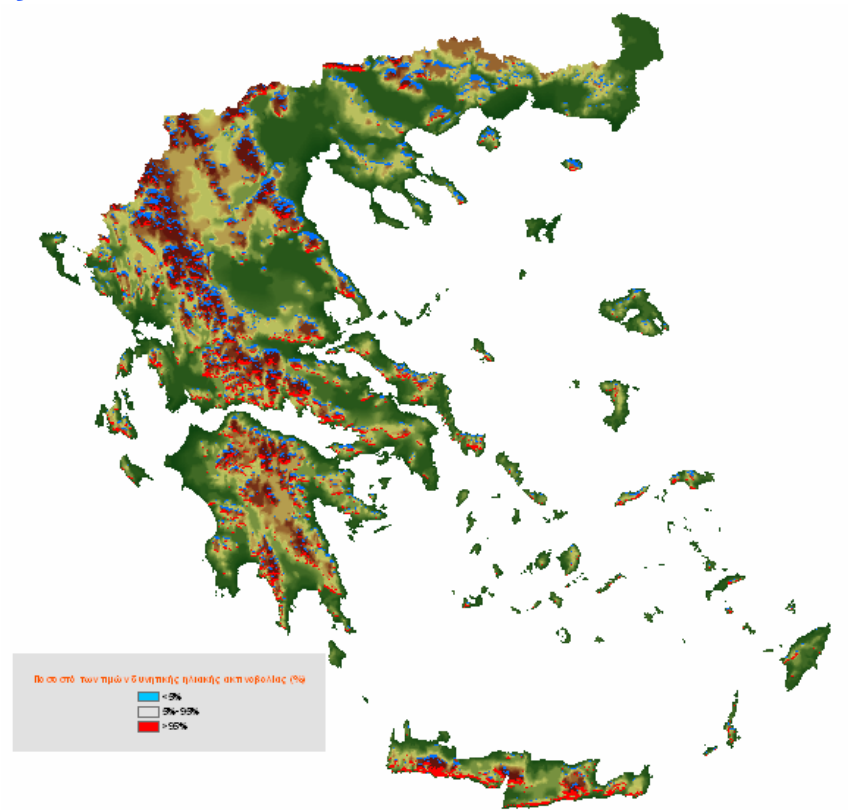
Σεπτέμβριος



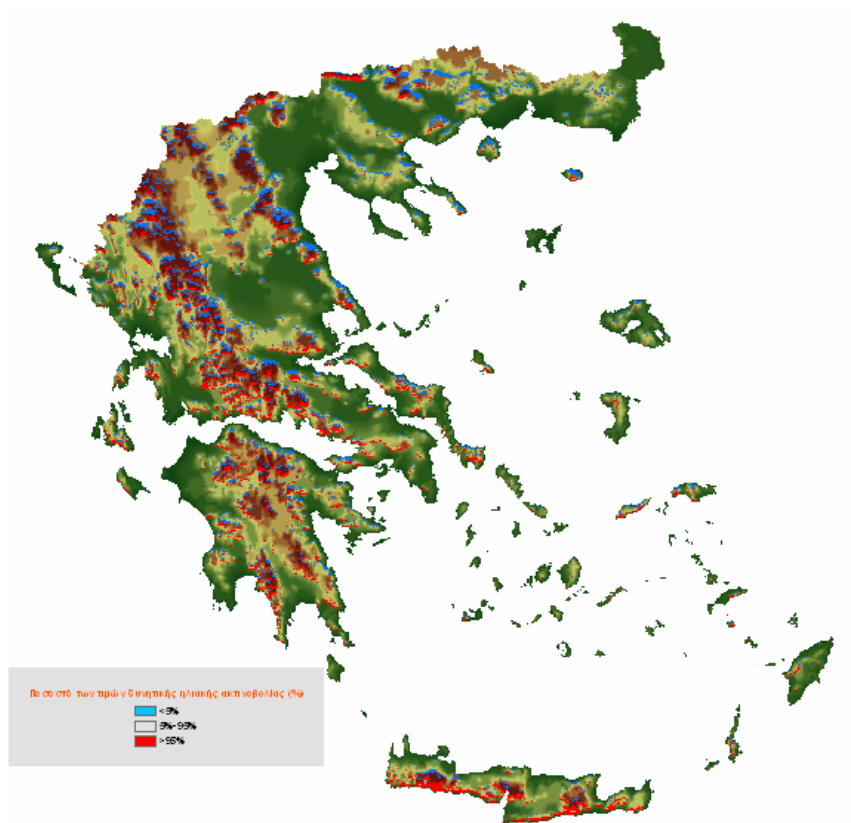
Οκτώβριος



Νοέμβριος



Δεκέμβριος



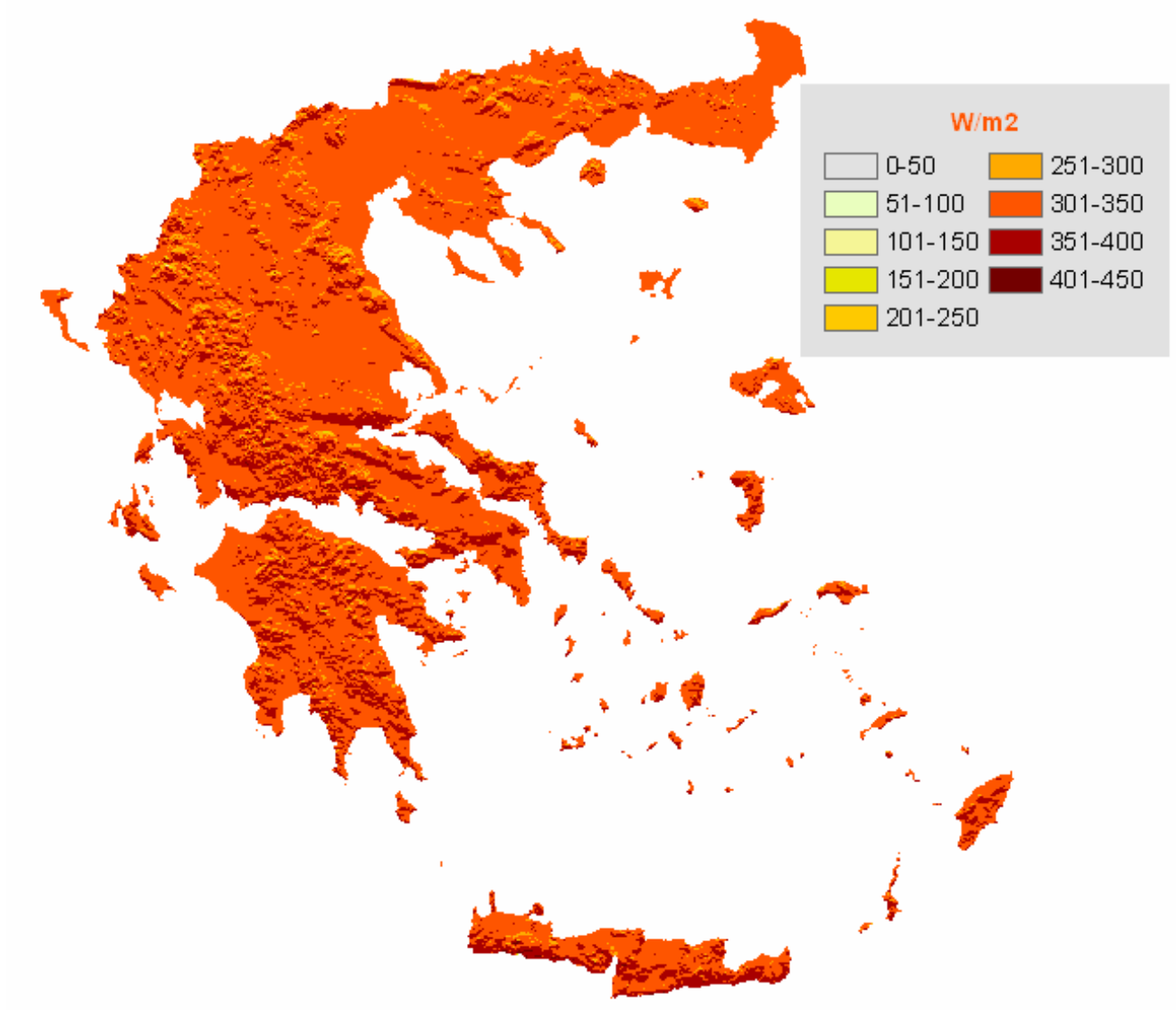
Από τους παραπάνω χάρτες γίνεται φανερή η διαφοροποίηση των περιοχών που λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας κάθε μήνα. Έτσι παρατηρείται ότι τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο που ο ήλιος βρίσκεται ψηλά, οι πεδιάδες της Θεσσαλίας και κάποια τμήματα της Πελοποννήσου, τα οποία τους υπόλοιπους μήνες δε ελάμβαναν σημαντικές ποσότητες ακτινοβολίας, βρίσκονται στο άνω 5%. Αντιθέτως, περιοχές όπως η Νότιος Κρήτη και το Όρος Κερκίνη στα Βόρεια του Νομού Κιλκίς, οι οποίες λαμβάνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας όλους τους υπόλοιπους μήνες, αλλά και σε ετήσια βάση, τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, βρίσκονται στο κάτω 5%. Αυτό συμβαίνει γιατί τους μήνες αυτούς φωτεινότερα αναδεικνύονται τα επίπεδα φατνία (pixel) λόγω της καθετότητάς τους με τη θέση του ήλιου εκείνη την περίοδο. Επίσης, επειδή τους θερινούς μήνες η διασπορά είναι μικρή, το γεγονός ότι βρίσκονται στο κάτω 5%, δεν επηρεάζει σημαντικά την ετήσια τιμή της ακτινοβολίας.

Σε ετήσια βάση, όπως φαίνεται παρακάτω, τα φατνία που «ευνοούνται» από τη θέση του ήλιου πάνω από την Ελλάδα, είναι εκείνα με νότιο προσανατολισμό, με την προϋπόθεση ότι δε σκιάζονται. Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση του Νομού Χανίων στην Κρήτη, όπου ενώ εκεί παρουσιάζονται τα φατνία με τις μέγιστες ετήσιες τιμές, αλλά και τους περισσότερους μήνες, τον Ιούνιο και τον Ιούλιο βρίσκονται στο κάτω 5% (μπλε χρώμα στο χάρτη) των εκτιμημένων τιμών για εκείνους τους μήνες. Πρόκειται, συγκεκριμένα, για τη περιοχή στα νότια των Λευκών Ορέων, όπου βρίσκεται το φαράγγι της Σαμαριάς και τα Σφακιά. Η περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα κρημνώδης, με πολύ απότομη κλίση. Συνεπώς όταν οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν σχεδόν ή εντελώς κάθετα, η ακτινοβολία που λαμβάνουν οι περιοχές αυτές είναι περιορισμένη παρά το γεγονός ότι ο Ιούλιος και ο Ιούνιος είναι οι μήνες που παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Γενικά, η λήψη άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μεγιστοποιείται, όταν βελτιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τον προσανατολισμό και την κλίση του φατνίου, με βέλτιστη την κάθετη (90°). Έτσι για κάθε διαφορετική θέση του ήλιου μεταβάλλονται τα φατνία που λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι σε κάθε περίπτωση μιλάμε για την κλίση του φυσικού εδάφους, ανεξάρτητα από την ύπαρξη δένδρων, τη φυτοκάλυψη, τη δόμηση ή την εκάστοτε χρήση γης.

4.4 Ετήσιες Τιμές

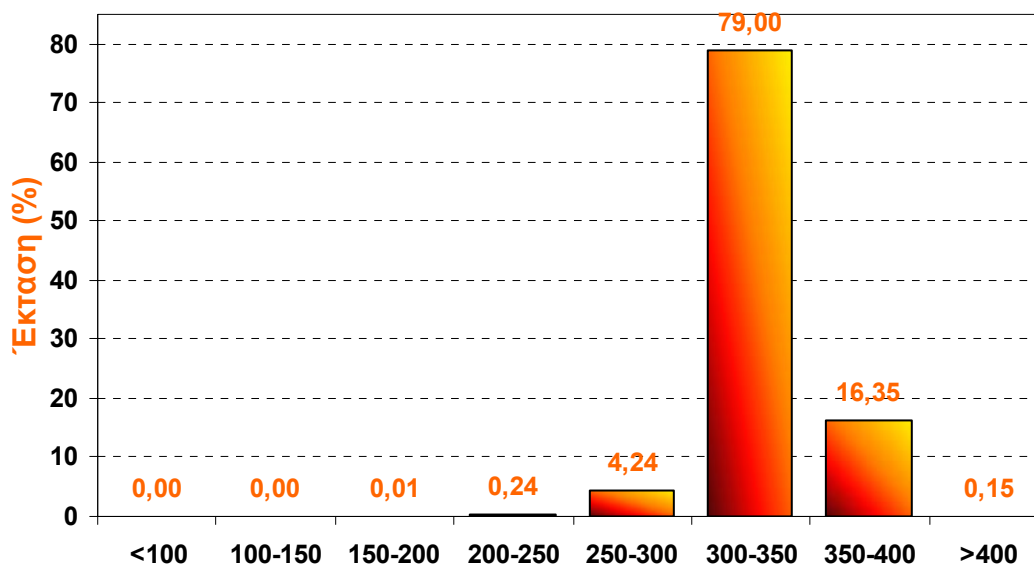
Οι ετήσιες τιμές φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η χωρική κατανομή των κλάσεων (το ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνει κάθε κλάση) της ετήσιας δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα.

Κλάση	Αριθμός pixel	Ποσοστό έκτασης (%)
<100	0	0,0000
100-150	11	0,0022
150-200	85	0,0149
200-250	1289	0,2432
250-300	22269	4,2378
300-350	413394	79,0049
350-400	494335	16,3496
>400	495064	0,1473

Χωρική κατανομή των κλάσεων της ετήσιας δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας



Δυνητική ηλιακή ακτινοβολία (W/m²)

Στον παρακάτω χάρτη φαίνονται οι περιοχές της Ελλάδας που λαμβάνουν την περισσότερη (άνω 5%) και εκείνες που λαμβάνουν τη λιγότερη (κάτω 5%) ηλιακή ακτινοβολία ετησίως.



5. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Για την ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων έγινε η εξαγωγή δύο δεικτών, οι οποίοι εφαρμόστηκαν στις μηνιαίες τιμές της εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας που υπολογίστηκαν, καθώς και στην ετήσια:

- Ο πρώτος δείκτης είναι ο λόγος της εκτιμημένης εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας προς την αναμενόμενη θεωρητικά για επίπεδη επιφάνεια, όπως αυτή προκύπτει από τη βιβλιογραφία. Η τιμή αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, οπότε στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίστηκαν επτά τιμές για κάθε μήνα, μία για κάθε ζώνη γεωγραφικού πλάτους από αυτές στις οποίες χωρίστηκε ο χάρτης της Ελλάδας. Από τον δείκτη αυτόν, μπορεί να προσδιοριστεί η ευνοϊκότερη περιοχή της Ελλάδας, από άποψη ηλιοφάνειας, για κάθε ζώνη ίδιου γεωγραφικού πλάτους.
- Ο δεύτερος δείκτης είναι ο λόγος της εκτιμημένης εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας προς την αναμενόμενη θεωρητικά στον ισημερινό, δηλαδή σε γεωγραφικό πλάτος 0° , για επίπεδη επιφάνεια που δε σκιάζεται από πουθενά. Με το δείκτη αυτό γίνεται μια ποσοτικοποίηση του πόσο διαφέρουν οι εκτιμημένες τιμές από μία σταθερή τιμή, αυτή του ισημερινού. Είναι δηλαδή ένας αντικειμενικός δείκτης, από τον οποίο μπορεί να προσδιοριστεί η ευνοϊκότερη περιοχή της Ελλάδας, από άποψη ηλιοφάνειας.

Οι τιμές της εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίστηκαν σε KWh, με σκοπό να γίνει απαλοιφή του χρόνου (λόγω διαφορετικών ωρών ηλιοφάνειας και ημερών κάθε μήνα) και να διευκολυνθεί έτσι η σύγκριση και η κατανόηση των αποτελεσμάτων.

5.1 Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική}}$

Η ενέργεια που προσλαμβάνεται από τον ήλιο εξαρτάται από τη ροή ηλιακής ενέργειας S_0 στο όριο της ατμόσφαιρας σε οριζόντιο (δηλαδή παράλληλο με την επιφάνεια της γης) επίπεδο (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ.171). Προφανώς η ροή S_0 σε ημερήσια βάση είναι ένα αστρονομικό μέγεθος, που εξαρτάται από την ημέρα που ενδιαφέρει και το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Ο τύπος υπολογισμού της είναι ο εξής:

$$S_0 = (I_s \cdot t_d \cdot d_r) (\omega_s \sin\varphi \sin\delta + \sin\omega_s \cos\varphi \cos\delta) / \pi$$

όπου:

- S_0 η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία σε $\text{KJ}/\text{m}^2/\text{day}$
- $t_d = 86400\text{s}$, η μέση διάρκεια ημέρας
- $I_s = 1367 \text{ W}/\text{m}^2$, η ηλιακή σταθερά - είναι η κάθετη ροή ηλιακής ενέργειας στο όριο της ατμόσφαιρας, για τη μέση απόσταση γης - ήλιου)
- $d_r = 1 + 0.034 \times \cos(2 \times \pi \times J/365 - 0.05)$, η εκκεντρότητα, όπου J ο αριθμός ημέρας, - είναι το τετράγωνο της μέσης απόστασης γης - ήλιου προς την απόσταση τη μέρα J
- $\omega_s = \arccos(-\tan\phi \tan\delta)$, η γωνία ώρας δύσης του ηλίου, όπου ϕ το γεωγραφικό πλάτος σε rad (για $|\phi| > 1,161 \text{ rad} = 66.5^\circ$, δεν ορίζεται - δε δύνει ο ήλιος) - αν πολλαπλασιαστεί επί $12/\pi$ δίνει την ώρα δύσης μετά το μεσημέρι
- ϕ το γεωγραφικό πλάτος
- $\delta = -0,409 * \cos(2 \times \pi \times J/365 + 0,16)$, η ηλιακή απόκλιση (ισχύει $|\delta| \leq 0,409 \text{ rad} = 23,4^\circ$) - είναι το γεωγραφικό πλάτος όπου οι ακτίνες πέφτουν κάθετα το μεσημέρι

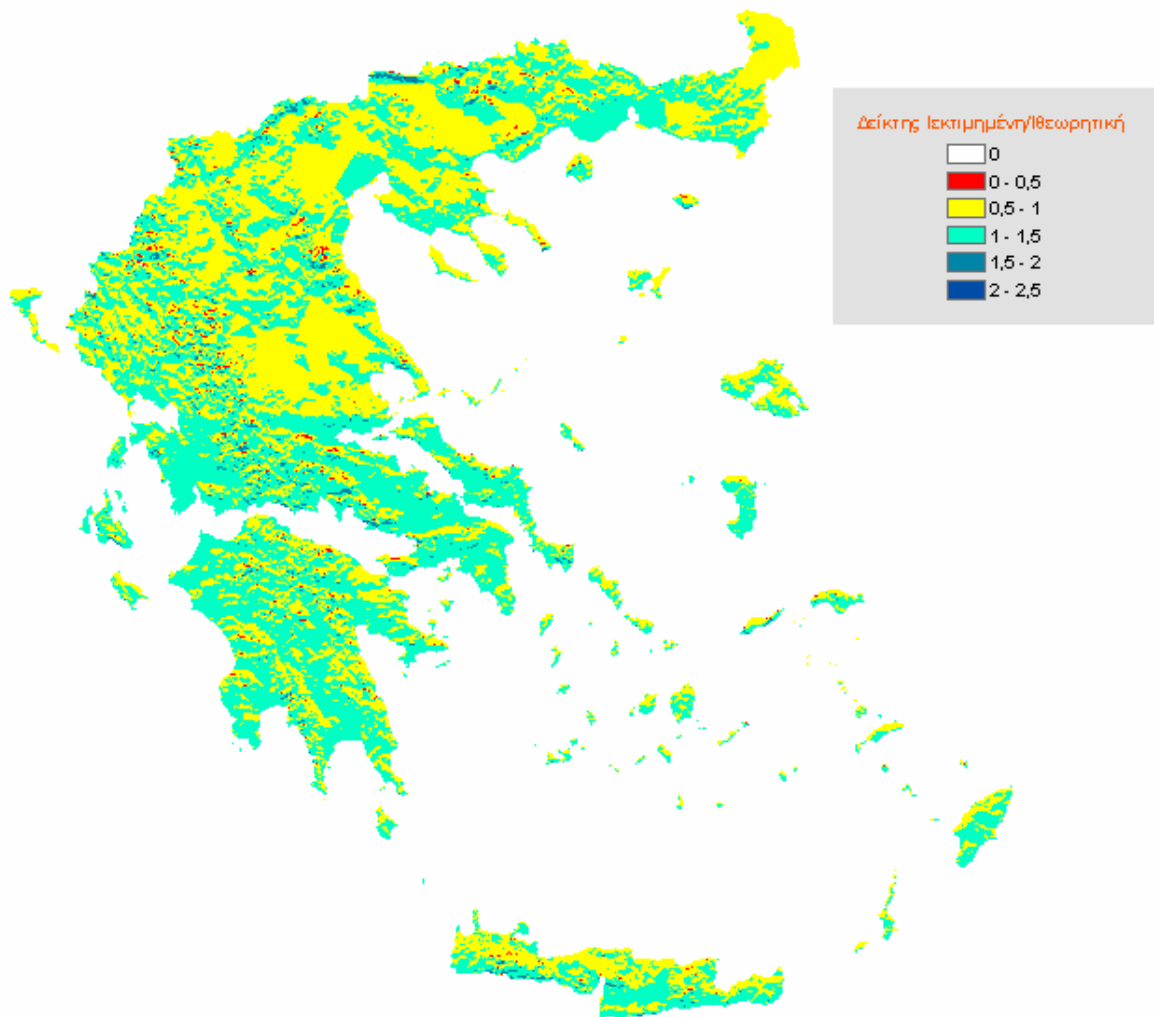
Οι υπολογισμοί με βάση τον παραπάνω τύπο γίνονται σε ημερήσια βάση, εισάγοντας τον κατάλληλο αριθμό ημέρας J (1 την 1^η Ιανουαρίου, 365 την 31^η Δεκεμβρίου). Για τον υπολογισμό των μηνιαίων τιμών εξάγονται οι μέσοι όροι των ημερών κάθε μήνα. Παρόμοιο είναι το αποτέλεσμα αν γίνει ο υπολογισμός με τον παραπάνω τύπο για μια αντιπροσωπευτική μέρα κάθε μήνα (περίπου στα μέσα του μήνα (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ.171). Για τις ζώνες γεωγραφικού πλάτους στις οποίες χωρίστηκε ο χάρτης της Ελλάδος, για τις ανάγκες της εργασίας και με βάση τον παραπάνω τύπο προέκυψαν οι παρακάτω τιμές για τις μηνιαίες τιμές της αναμενόμενης ηλιακής ακτινοβολίας:

ϕ		35,5	36,5	37,5	38,5	39,5	40,5	41,5
	days	S_0 (KWh/m^2)	S_0 (KWh/m^2)	S_0 (KWh/m^2)	S_0 (KWh/m^2)	S_0 (KWh/m^2)	S_0 (KWh/m^2)	S_0 (KWh/m^2)
ΙΑΝ	31	154,423	149,175	143,910	138,631	133,340	128,041	122,737
ΦΕΒ	28	176,200	171,882	167,522	163,123	158,685	154,211	149,703
ΜΑΡ	31	251,554	247,882	244,135	240,316	236,424	232,462	228,431
ΑΠΡ	30	296,591	294,652	292,628	290,521	288,331	286,060	283,707
ΜΑΙ	31	343,133	342,740	342,264	341,705	341,065	340,345	339,545
ΙΟΥΝ	30	345,974	346,406	346,765	347,050	347,264	347,407	347,482
ΙΟΥΛ	31	350,155	350,261	350,287	350,235	350,106	349,902	349,623
ΑΥΓ	31	320,923	319,667	318,325	316,898	315,387	313,792	312,115
ΣΕΠ	30	263,693	260,824	257,877	254,852	251,751	248,574	245,322
ΟΚΤ	31	214,384	210,029	205,617	201,148	196,624	192,048	187,419
ΝΟΕ	30	159,910	154,978	150,021	145,041	140,040	135,021	129,987
ΔΕΚ	31	142,601	137,282	131,955	126,624	121,292	115,962	110,639

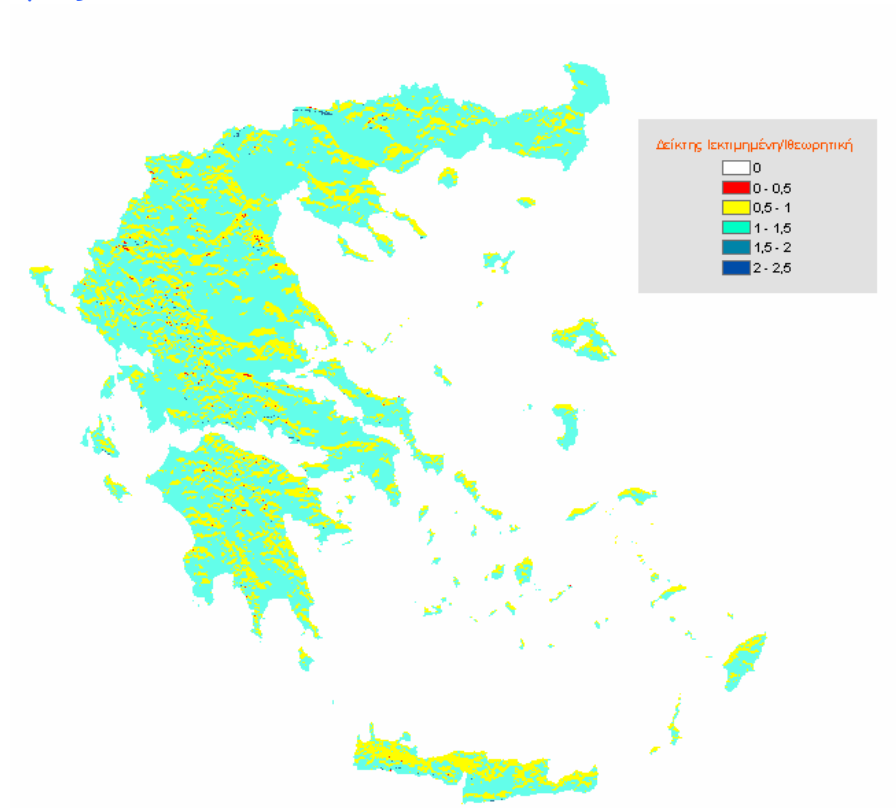
Για την εξαγωγή του δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}/I_{\text{θεωρητική}}}$ έγινε η μετατροπή των raster μηνιαίων αθροισμάτων από ποσοστά της ηλιακής σταθεράς σε KWh.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω επεξεργασίας για τους 12 μήνες του έτους και για όλο το έτος φαίνονται στους παρακάτω χάρτες:

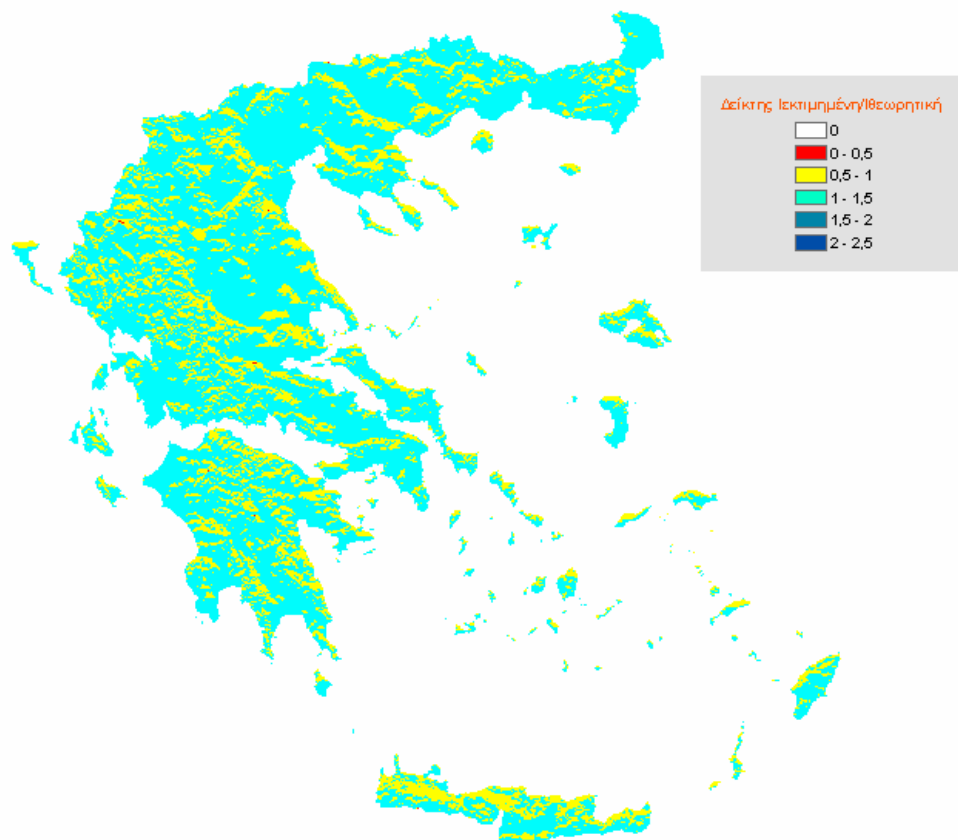
Ιανουάριος



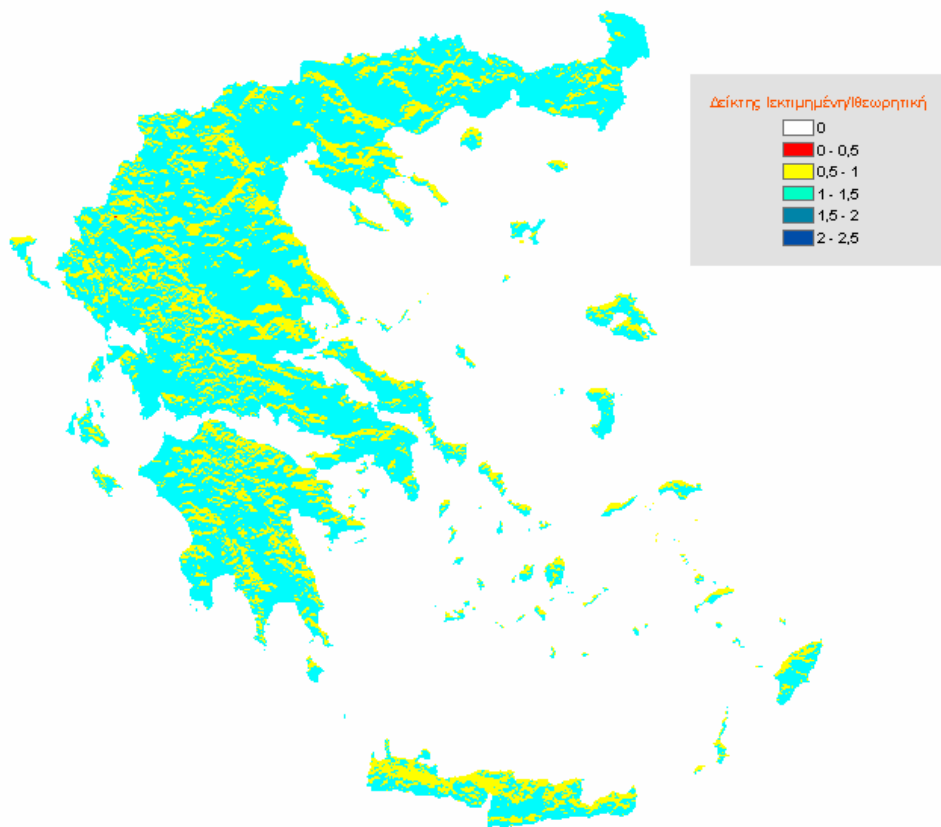
Φεβρουάριος



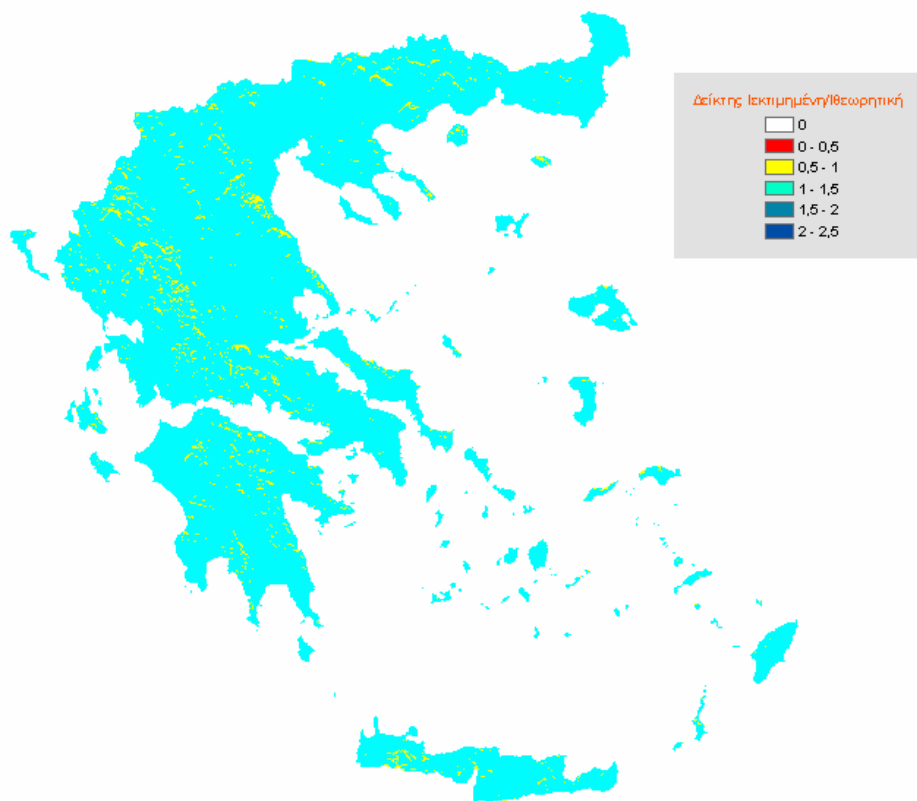
Μάρτιος



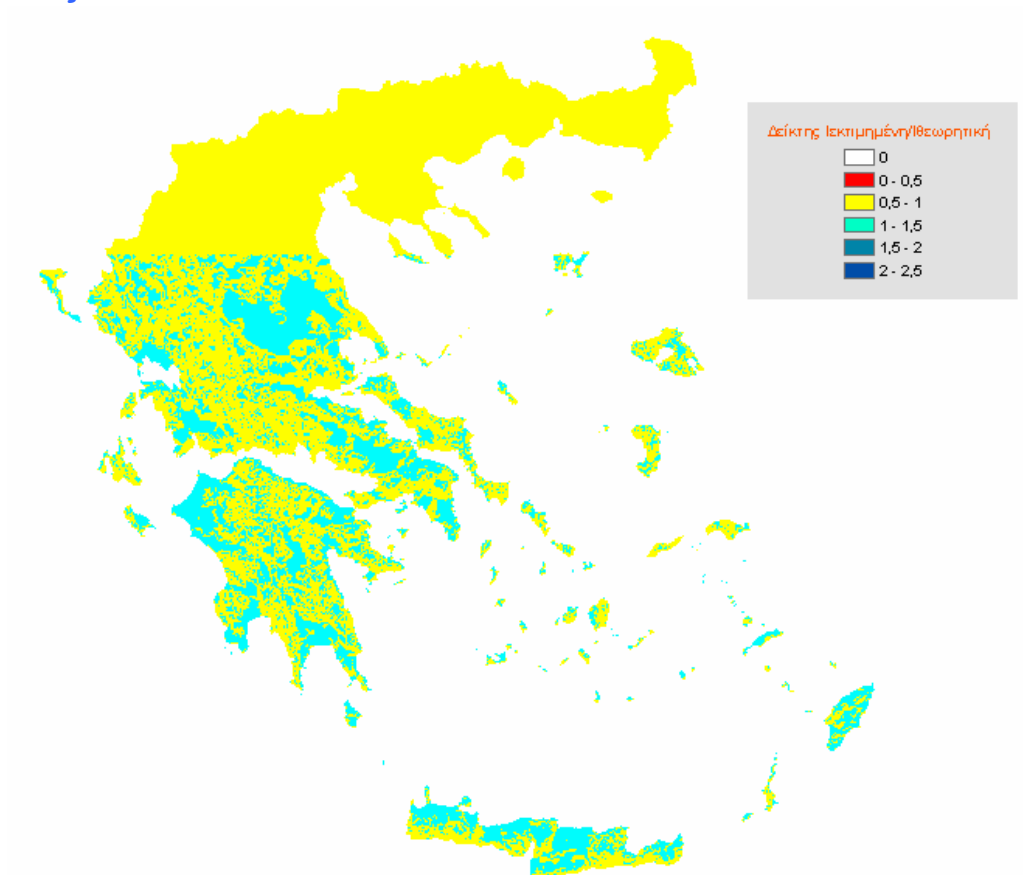
Απρίλιος



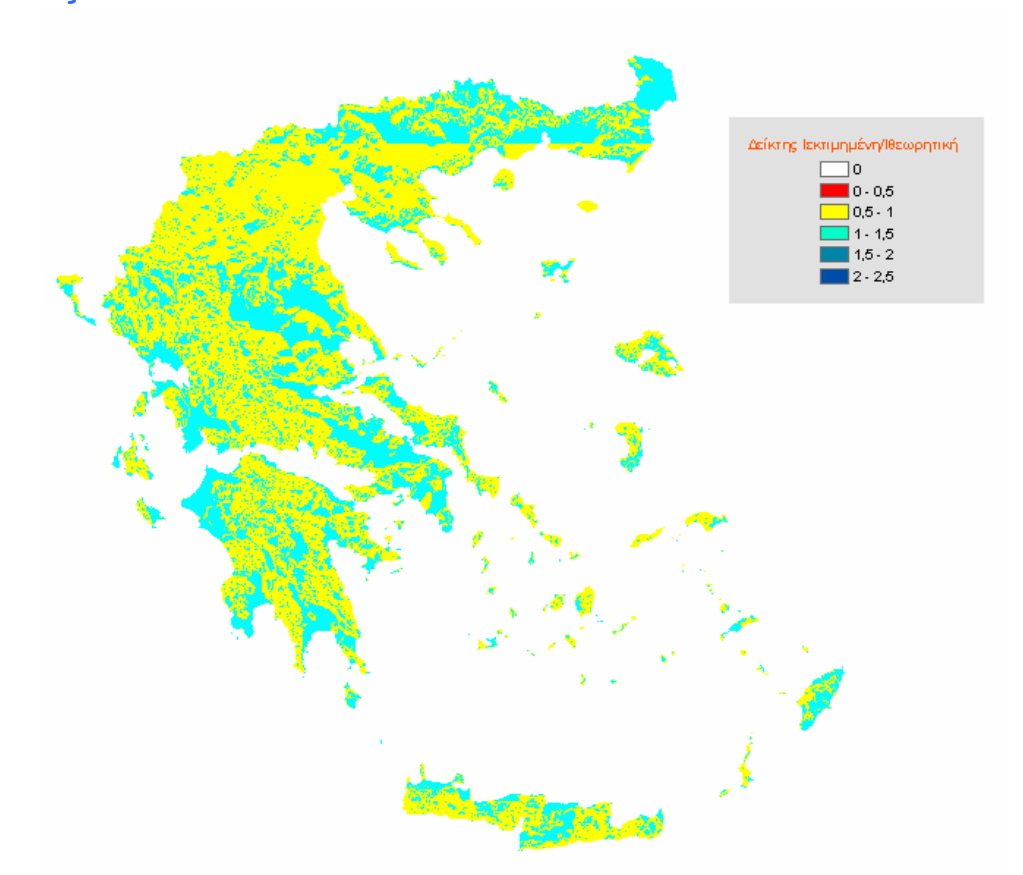
Μάιος



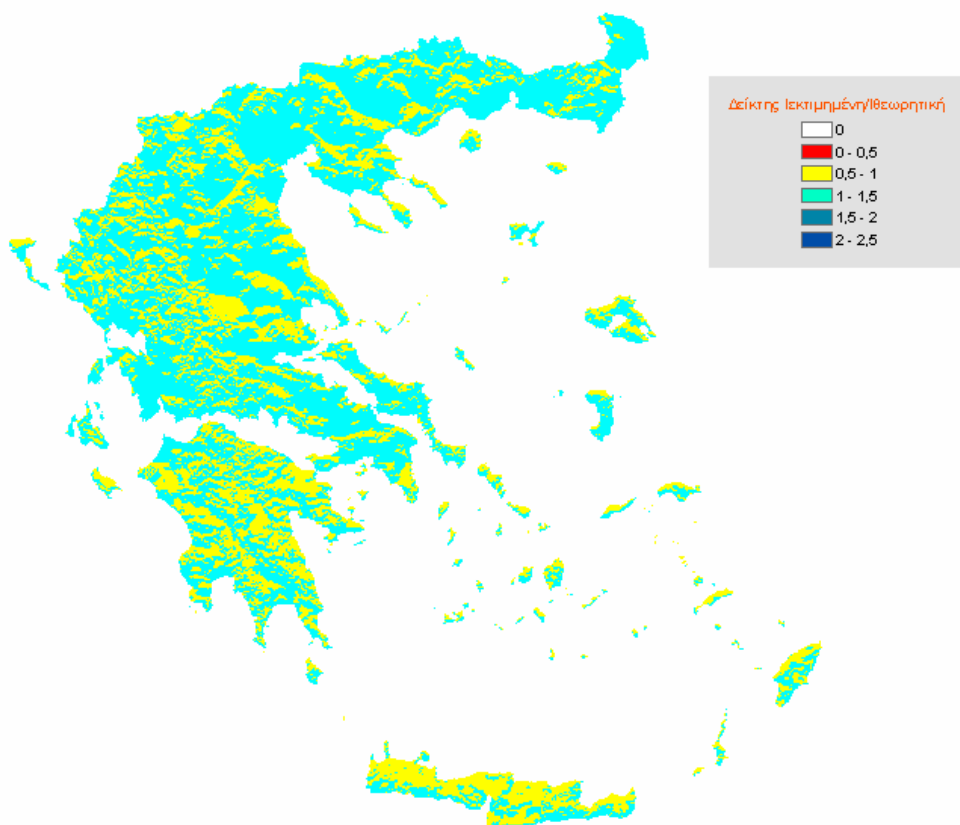
Ιούνιος



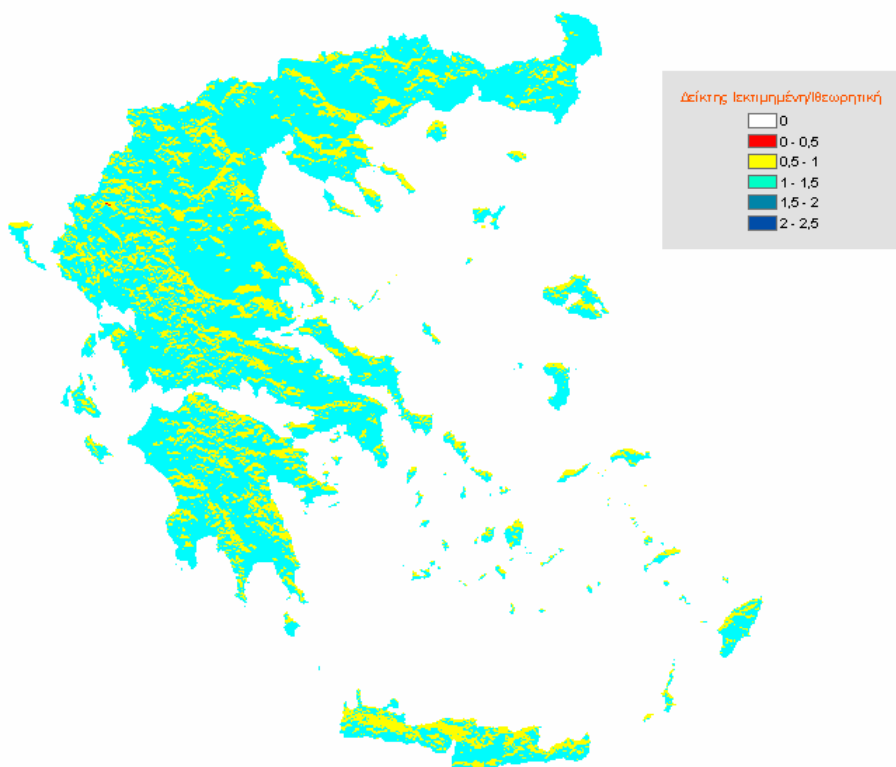
Ιούλιος



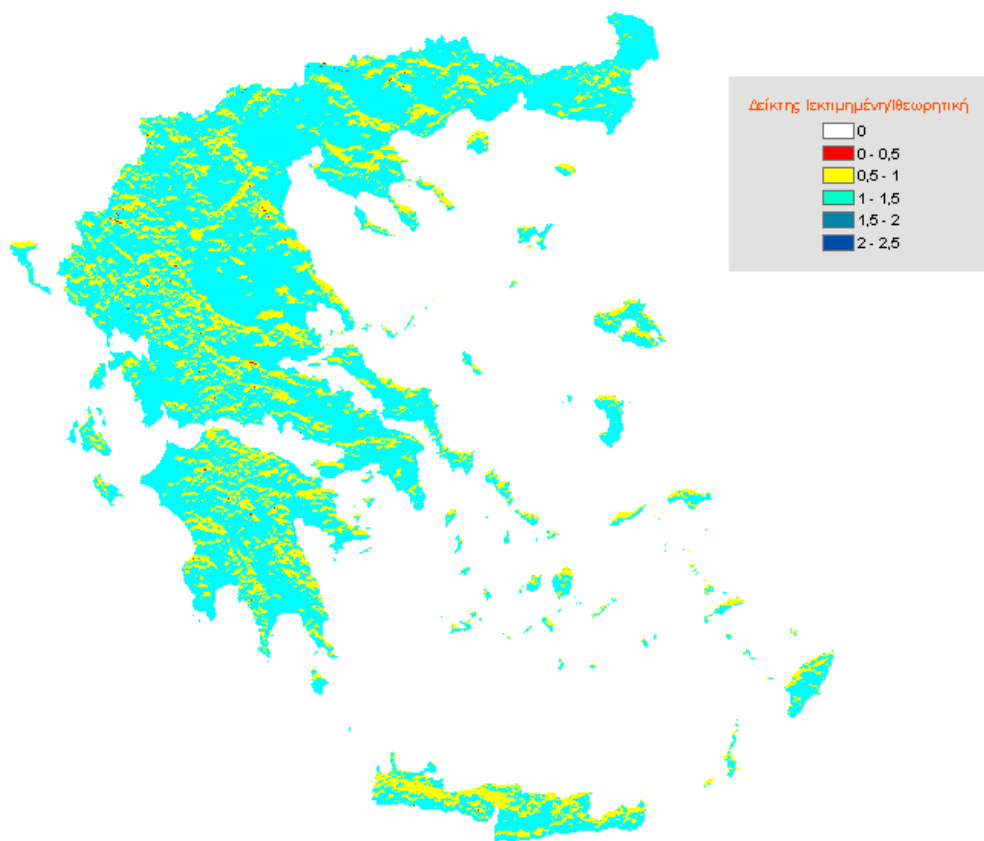
Αύγουστος



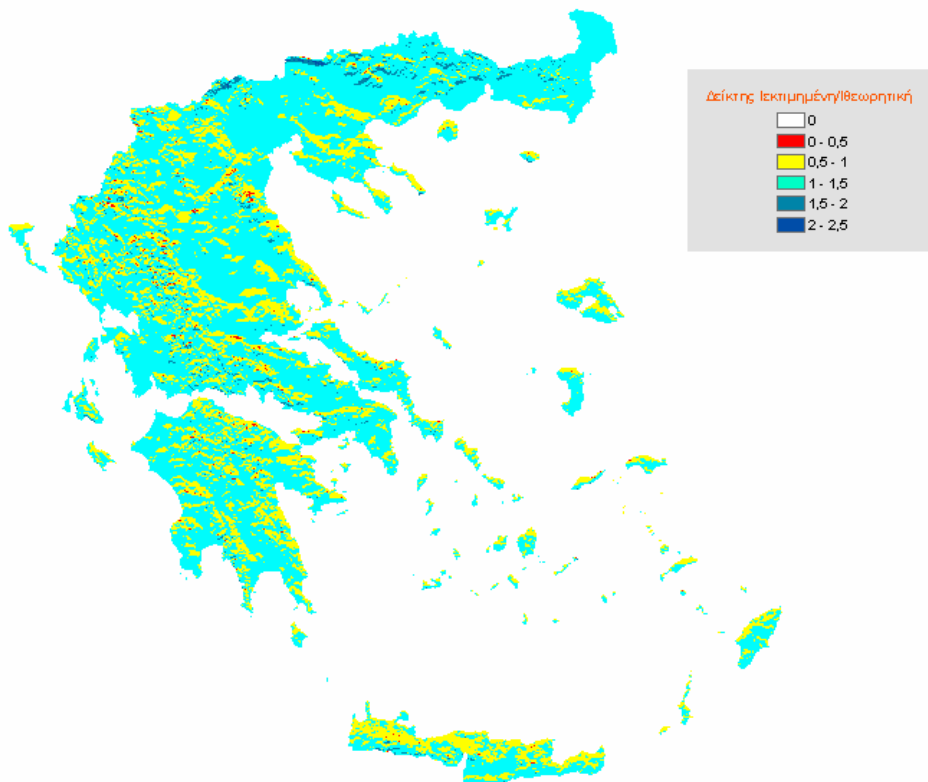
Σεπτέμβριος



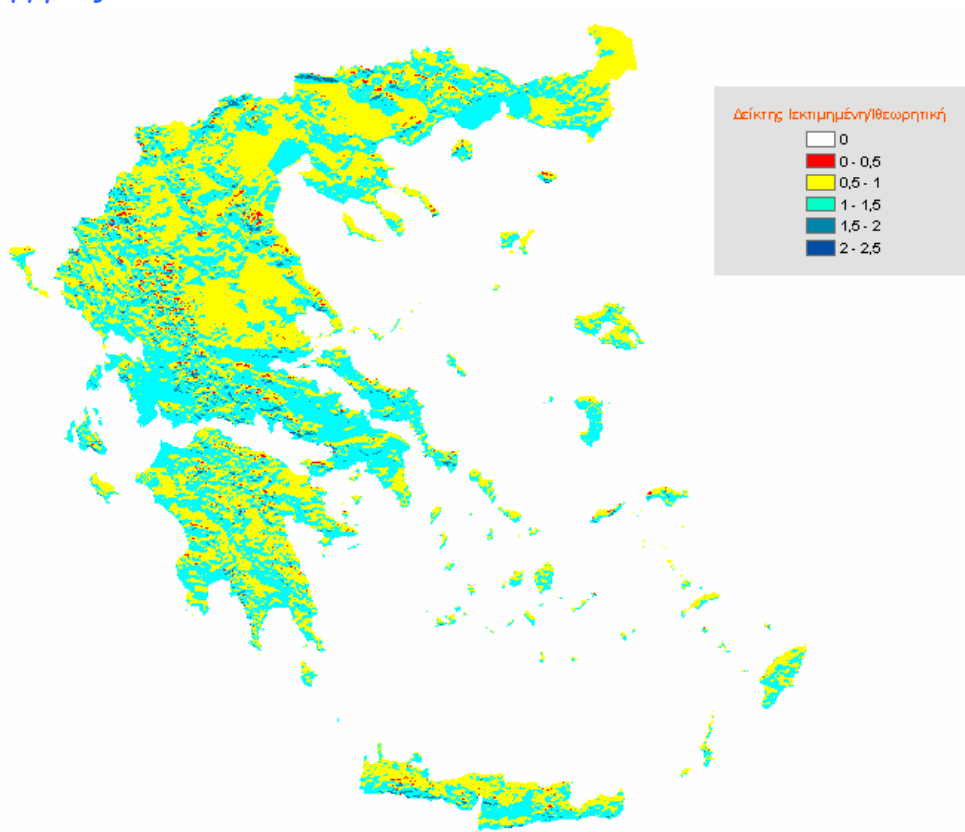
Οκτώβριος



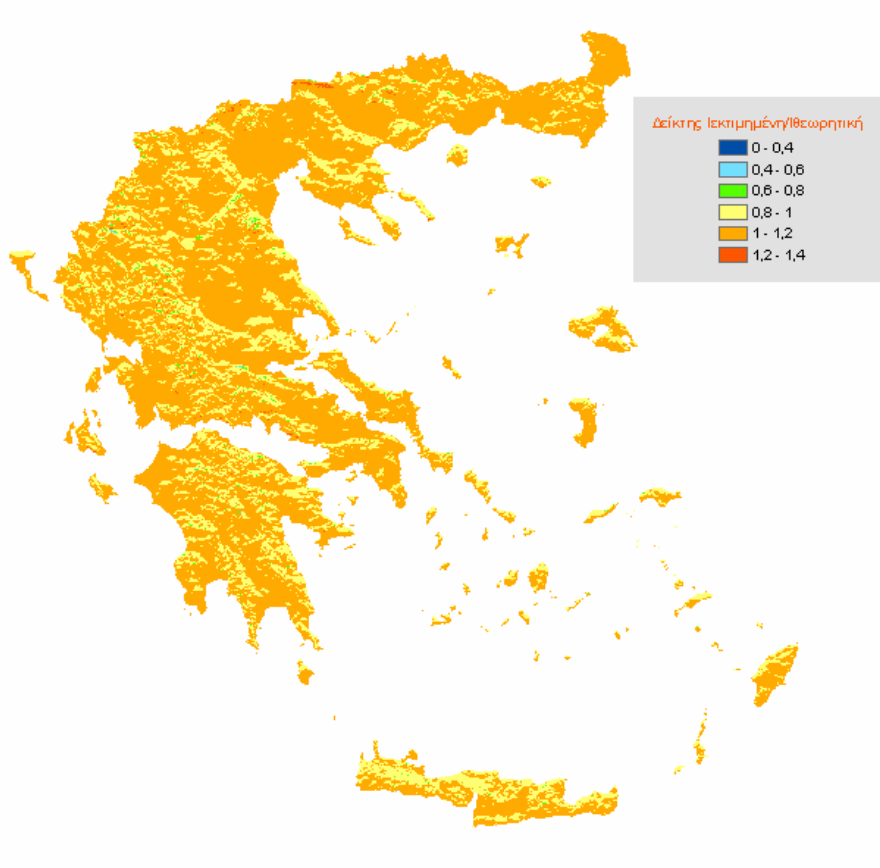
Νοέμβριος



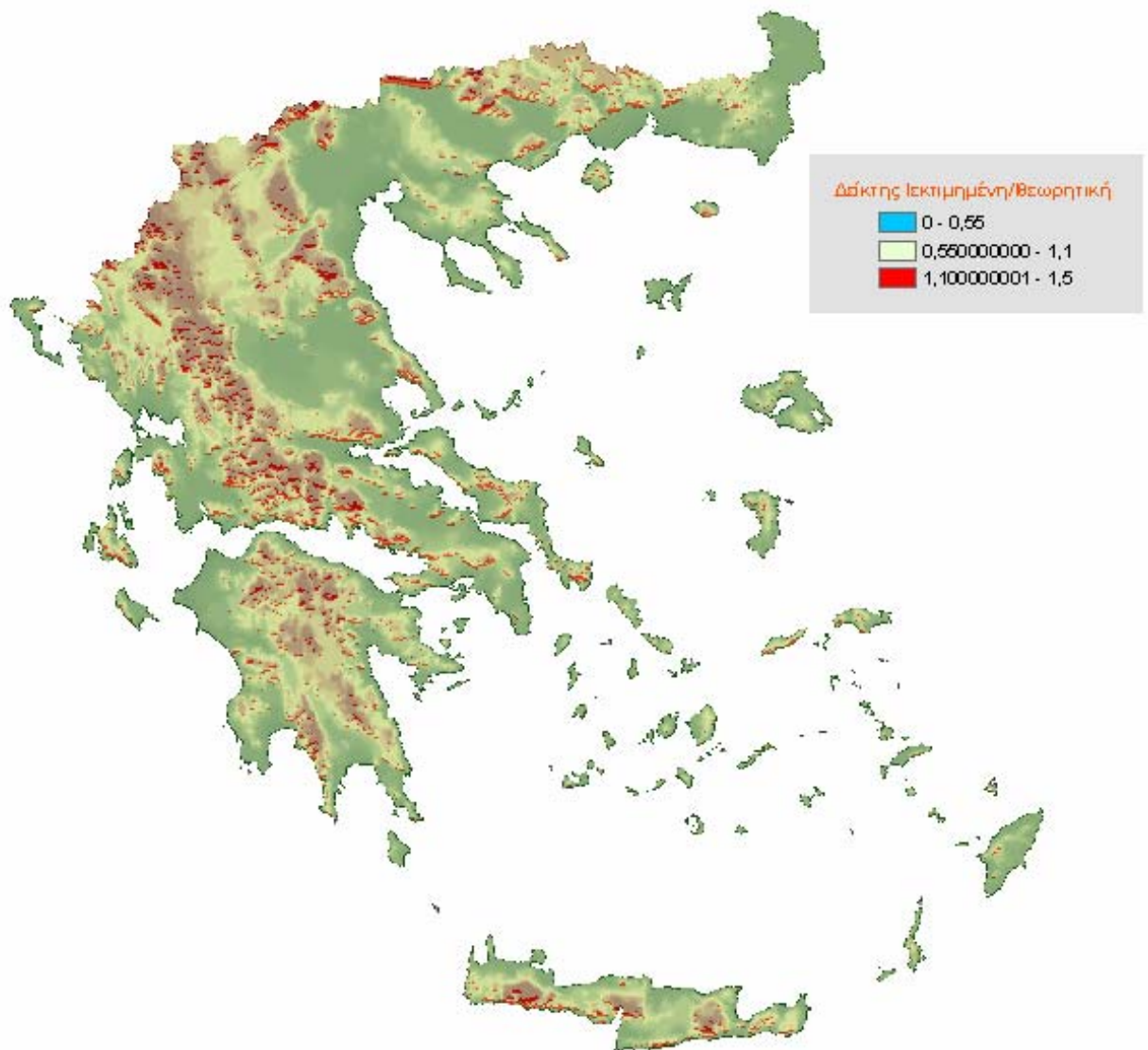
Δεκέμβριος



Έτος



Στον παρακάτω χάρτη με κόκκινο χρώμα διακρίνονται σαφέστερα οι πιο «ευνοημένες» από άποψη δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας περιοχές.

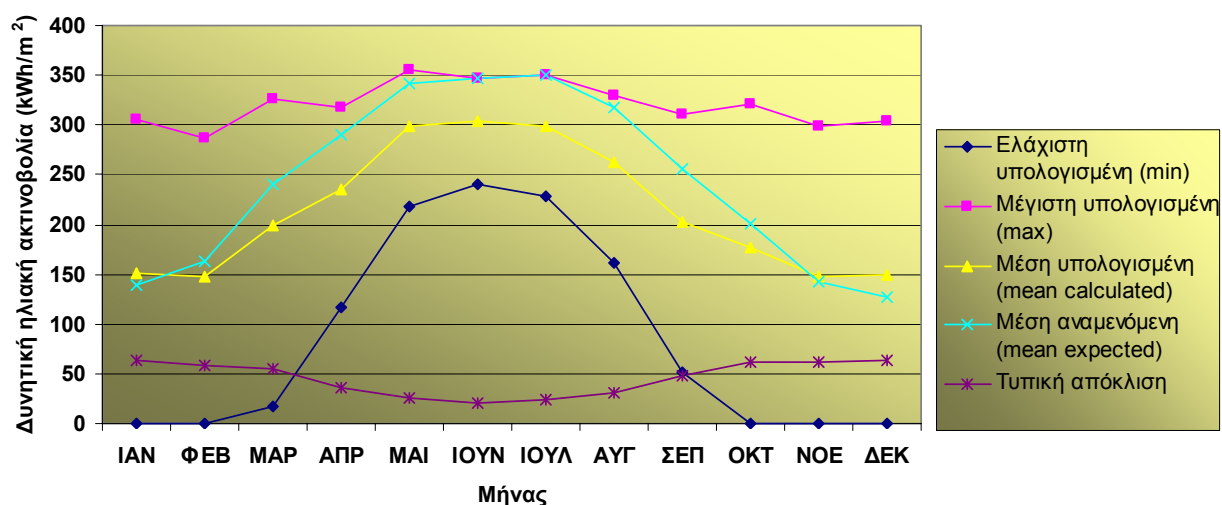


Στον παρακάτω πίνακα και στο αντίστοιχο γράφημα φαίνονται οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες υπολογισμένες τιμές, καθώς και η τυπική απόκλιση για κάθε μήνα και για όλο το έτος συγκεντρωτικά και οι μέσες αναμενόμενες τιμές με βάση τους θεωρητικούς τύπους, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τη εξαγωγή των παραπάνω δεικτών.

ΜΗΝΑΣ	ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (kWh)					
	Ελάχιστη υπολογισμένη (min)	Μέγιστη υπολογισμένη (max)	Μέση υπολογισμένη (mean calculated)	Μέση αναμενόμενη (mean expected)	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής διασποράς
ΙΑΝ	0	306	150	139	63,91	0,43
ΦΕΒ	0	287	148	163	58,77	0,40
ΜΑΡ	18	325	200	240	55,15	0,28
ΑΠΡ	116	317	235	290	36,60	0,16
ΜΑΙ	219	355	298	341	25,96	0,09
ΙΟΥΝ	241	347	303	347	19,84	0,07
ΙΟΥΛ	228	350	298	350	23,75	0,08
ΑΥΓ	161	329	262	317	30,78	0,12
ΣΕΠ	52	310	202	255	47,44	0,23
ΟΚΤ	0	321	176	201	61,93	0,35
ΝΟΕ	0	299	148	142	62,47	0,42
ΔΕΚ	0	303	149	127	63,08	0,42
ΕΤΟΣ	1048	3635	2663	2912	422,39	0,16

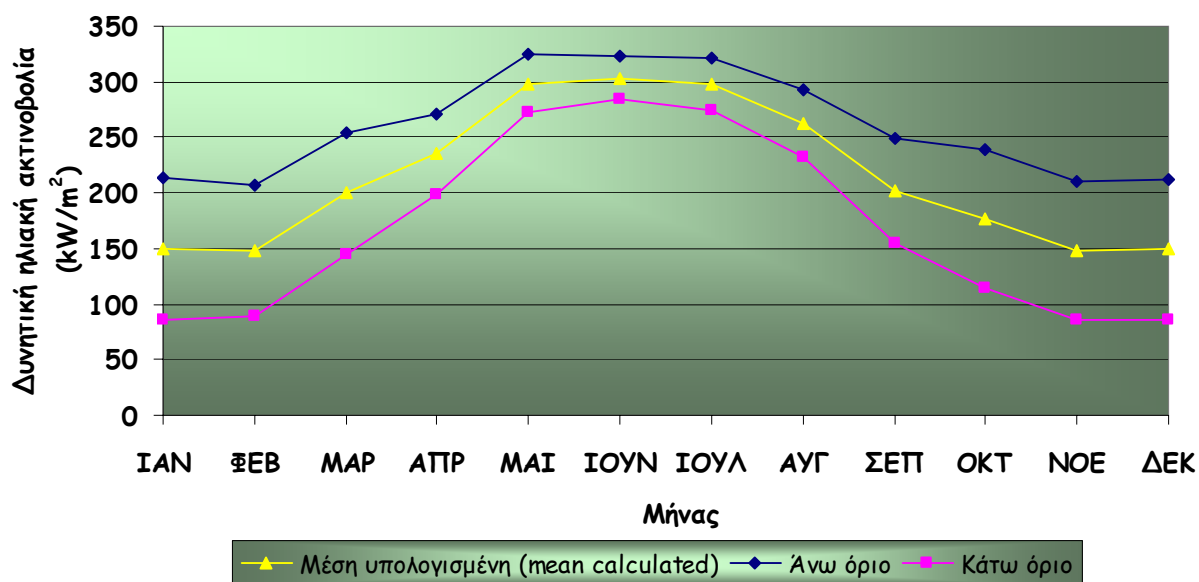
Από τον παραπάνω πίνακα, συγκρίνοντας τις μέσες εκτιμημένες και της μέσες θεωρητικά αναμενόμενες τιμές για τη δυνητική ηλιακή ακτινοβολίας, προκύπτει ότι η προσέγγιση που έχει γίνει με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και τη συνεκτίμηση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών κάθε περιοχής είναι ικανοποιητική, καθώς οι διαφορές που σημειώνονται είναι αρκετά μικρές.

Μεταβολή υπολογισμένων και αναμενόμενων τιμών



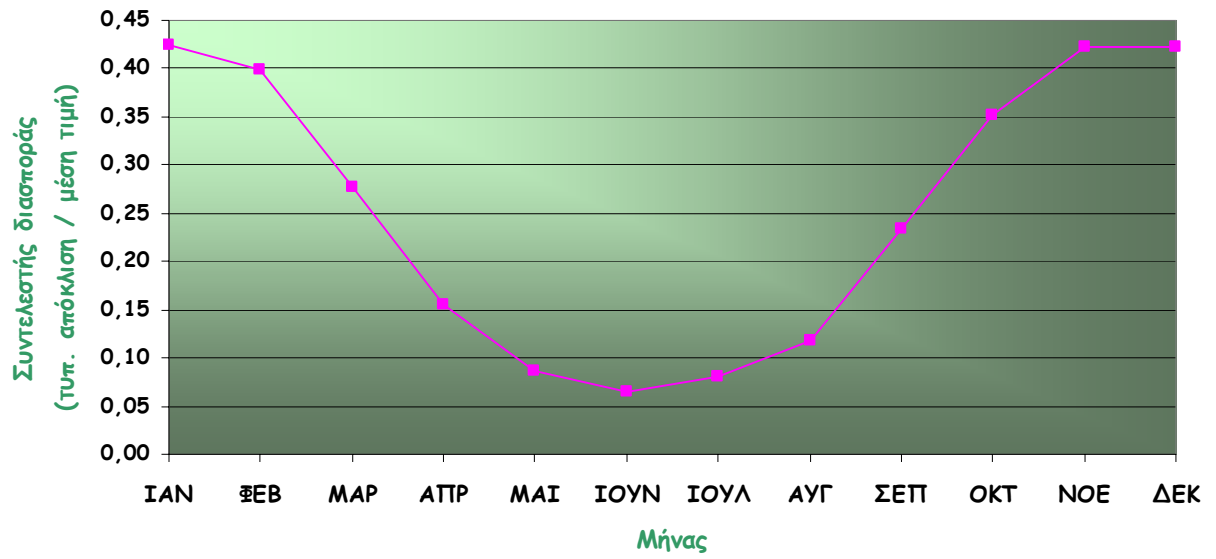
Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται το άνω και το κάτω όριο των υπολογισμένων τιμών, όπως αυτά διαμορφώνονται όταν στη μέση υπολογισμένη τιμή της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας προστεθεί ή αφαιρεθεί αντίστοιχα μία τυπική απόκλιση.

Διακύμανση τιμών απο τη μέση τιμή ανά μήνα

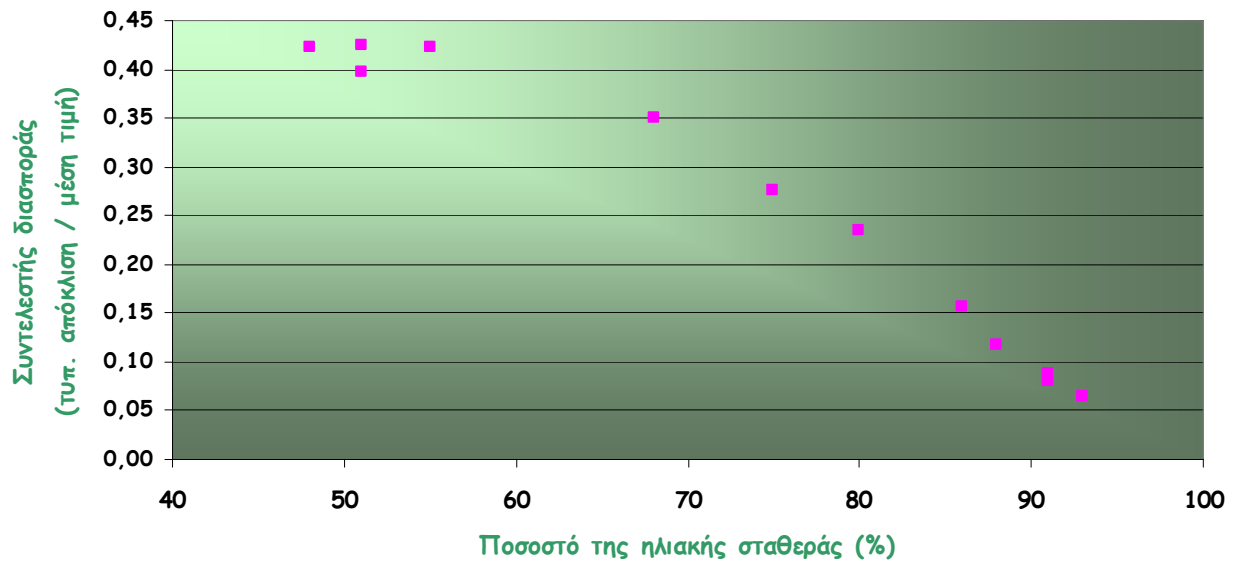


Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία των μηνιαίων τιμών δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας που υπολογίστηκαν, προκύπτει ότι ο συντελεστής διασποράς του δείγματος (όπου ο συντελεστής διασποράς ισούται με το λόγο της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή) μειώνεται το Μάιο και κατά τους θερινούς μήνες (κυρίως τον Ιούνιο και τον Ιούλιο) και αυξάνεται σταδιακά μέχρι τους χειμερινούς μήνες και λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή του (0,43) τον Ιανουάριο. Το ίδιο παρατηρείται αν συσχετίσουμε το συντελεστή διασποράς με τη μέση τιμή του γινομένου της γωνίας πρόσπτωσης επί τον συντελεστή εκκεντρότητας (δηλαδή του ποσοστού της ηλιακής σταθεράς) που έχει υπολογιστεί για τη δωδέκατη ώρα της 15^{ης} μέρας κάθε μήνα, αντί με τη μέση τιμή κάθε μήνα. Το γινόμενο αυτό δίνει ουσιαστικά της θέση του ήλιου σε σχέση με τον παρατηρητή, για κάθε ώρα του έτους. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όσο υψηλότερα ανεβαίνει ο ήλιος, τόσο περισσότερο μειώνεται ο συντελεστής διασποράς των τιμών της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή το δείγμα των τιμών που προκύπτει είναι πιο ομοιογενές με αποτέλεσμα η ποσότητα της δυνητική ηλιακής ακτινοβολίας δε μεταβάλλεται έντονα από περιοχή σε περιοχή, καθώς μειώνεται η επίδραση του αναγλύφου.

Διακύμανση συντελεστή διασποράς κατά τη διάρκεια του έτους



Μεταβολή του συντελεστή διασποράς σε σχέση με τη θέση του ήλιου



5.2 Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρ. ισημερινού}}$

Για τις ζώνες γεωγραφικού πλάτους στις οποίες χωρίστηκε ο χάρτης της Ελλάδος, για τις ανάγκες της εργασίας και με βάση τον παραπάνω τύπο προέκυψαν οι παρακάτω τιμές για τις μηνιαίες τιμές της αναμενόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στον ισημερινό:

Εξωγήινη ακτινοβολία στον ισημερινό ($\varphi=0$)		
	days	S_0 (KWh/m ²)
ΙΑΝ	31	312,0
ΦΕΒ	28	291,0
ΜΑΡ	31	326,2
ΑΠΡ	30	306,8
ΜΑΙ	31	299,9
ΙΟΥΝ	30	279,2
ΙΟΥΛ	31	291,7
ΑΥΓ	31	306,4
ΣΕΠ	30	309,2
ΟΚΤ	31	321,0
ΝΟΕ	30	303,0
ΔΕΚ	31	307,4

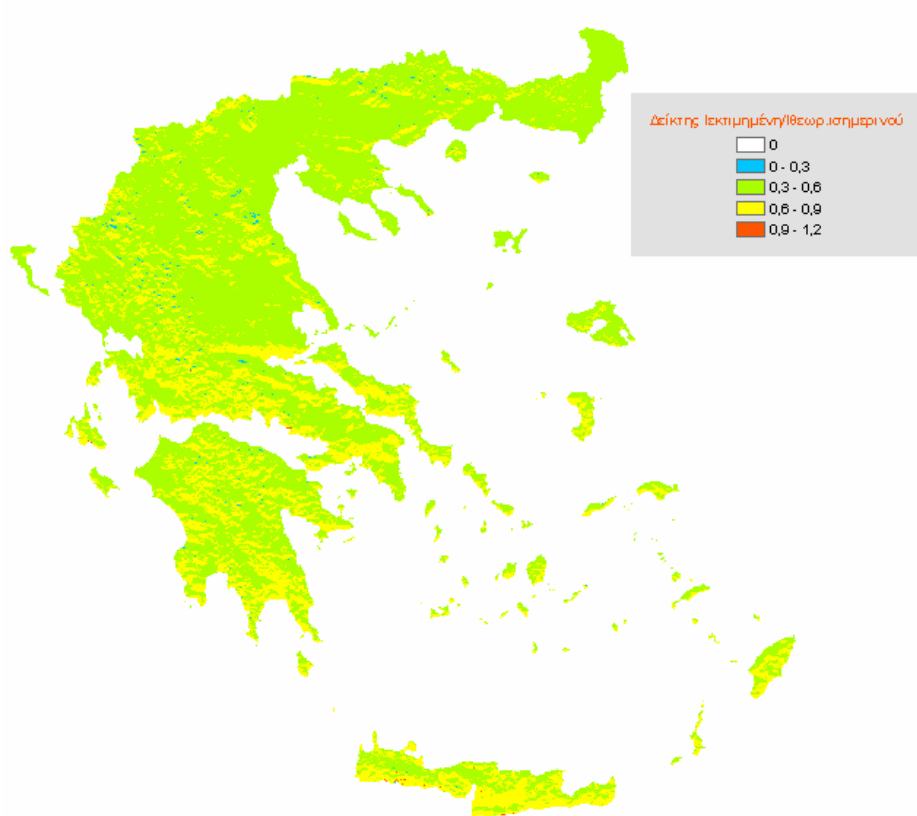
Για την εξαγωγή του δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρ. ισημερινού}}$ έγινε η μετατροπή των raster μηνιαίων αθροισμάτων από ποσοστά της ηλιακής σταθεράς σε KWh.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω επεξεργασίας για τους 12 μήνες του έτους και για όλο το έτος φαίνονται στους παρακάτω χάρτες:

Ιανουάριος



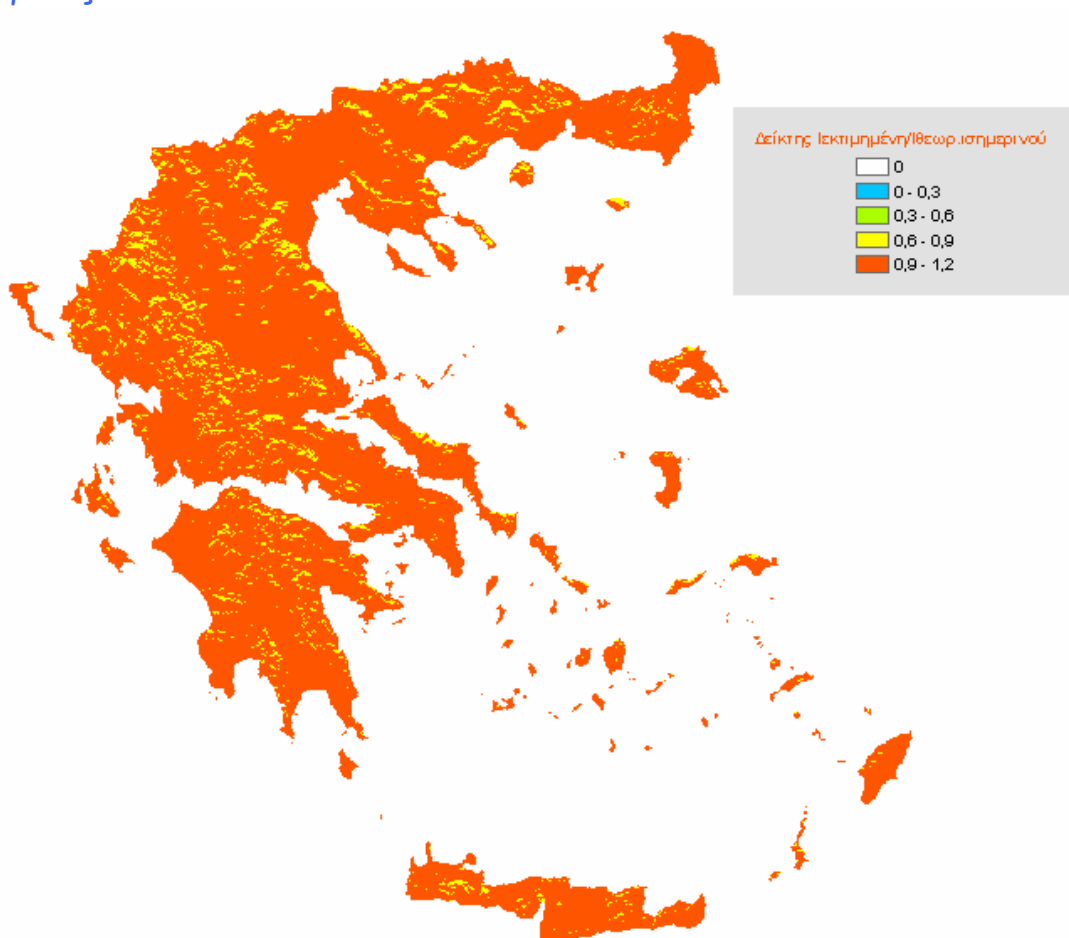
Φεβρουάριος



Μάρτιος



Απρίλιος



Μάιος



Ιούνιος



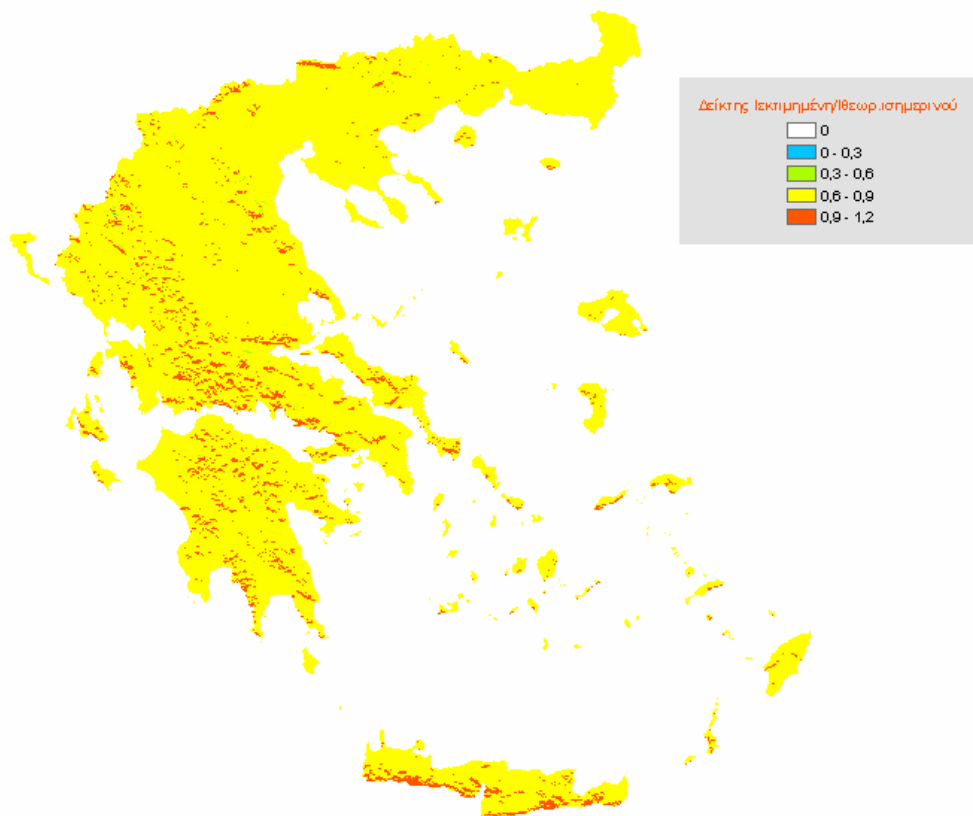
Ιούλιος



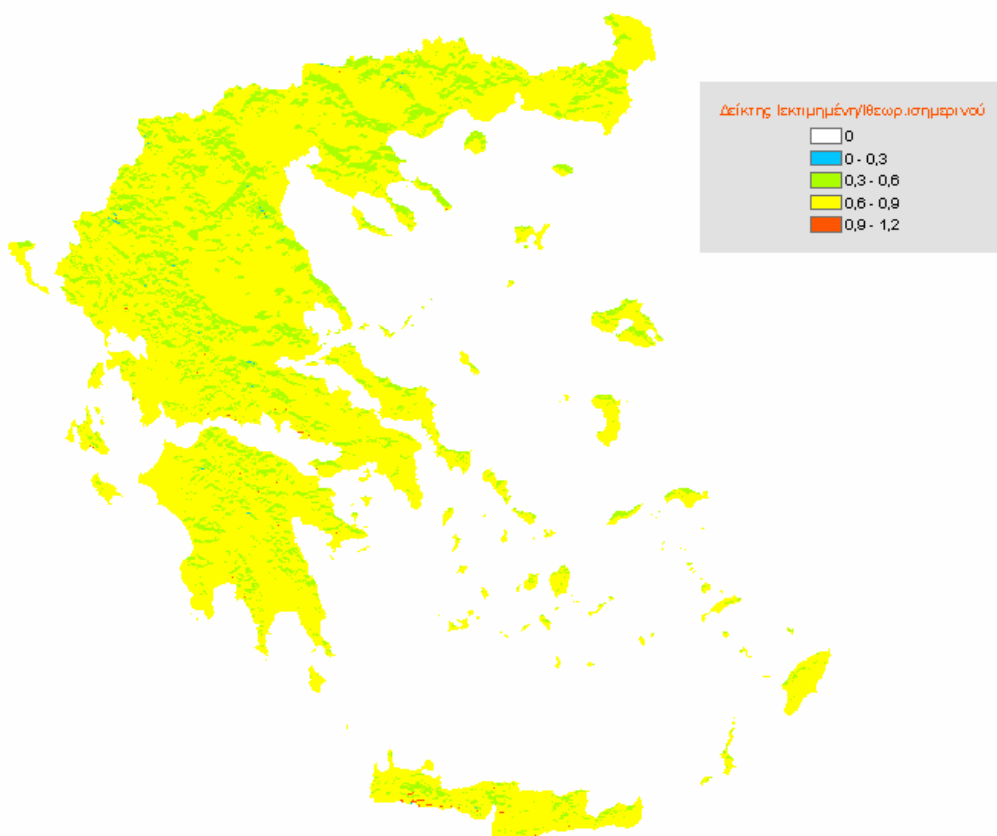
Αύγουστος



Σεπτέμβριος



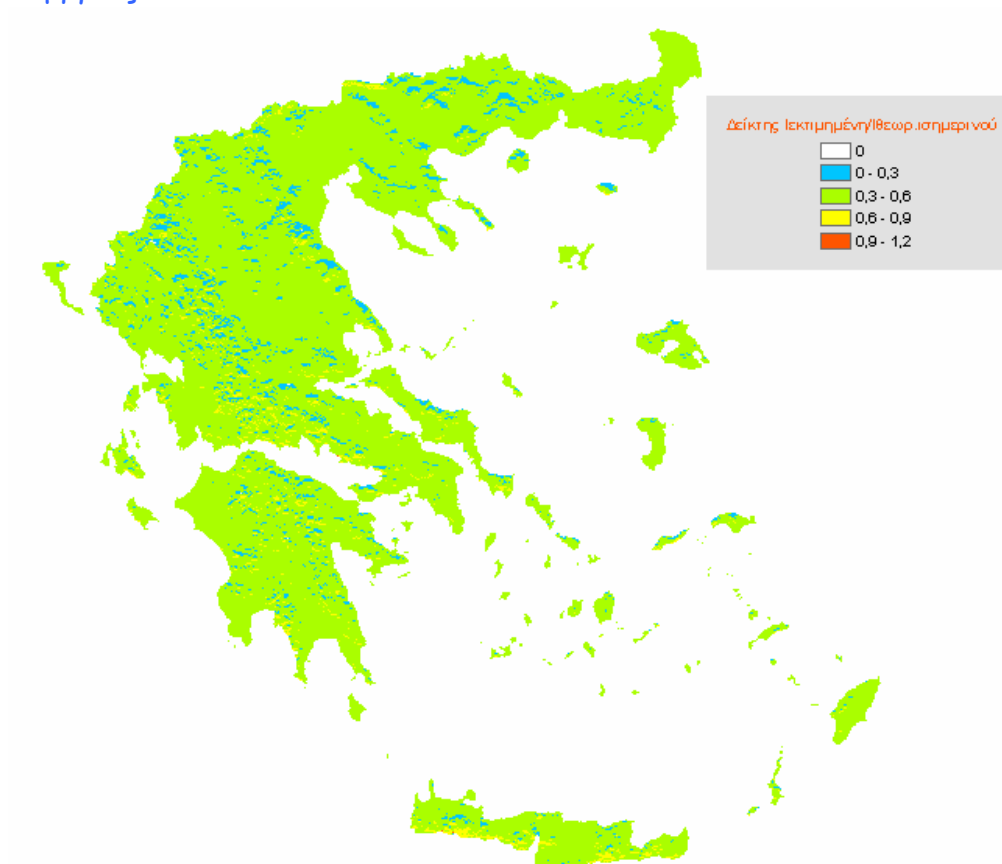
Οκτώβριος



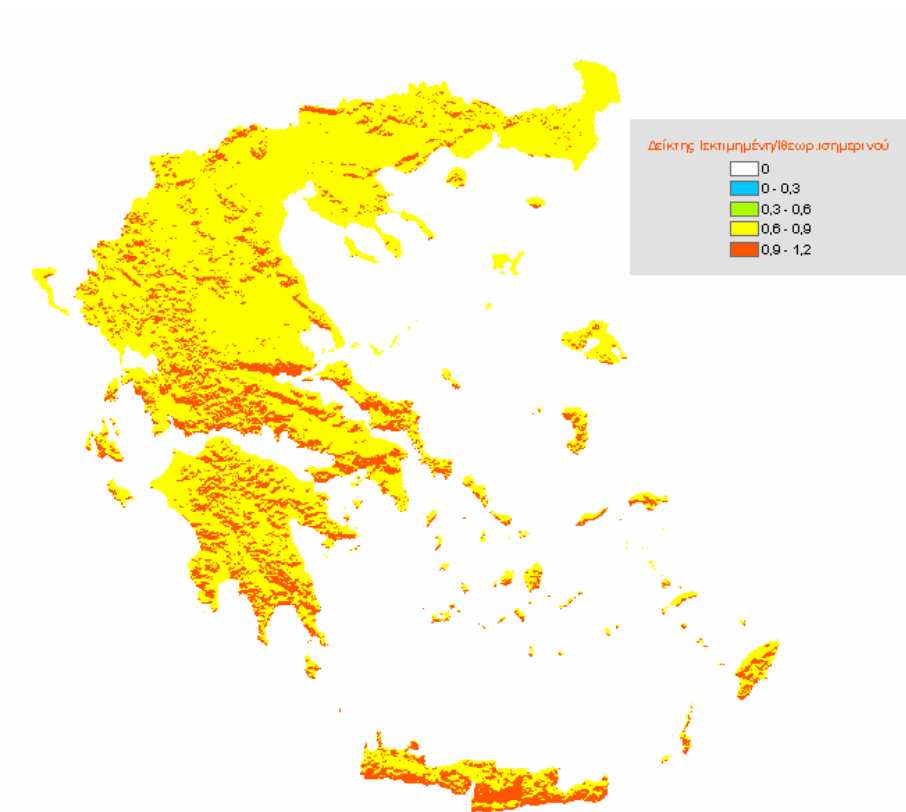
Νοέμβριος



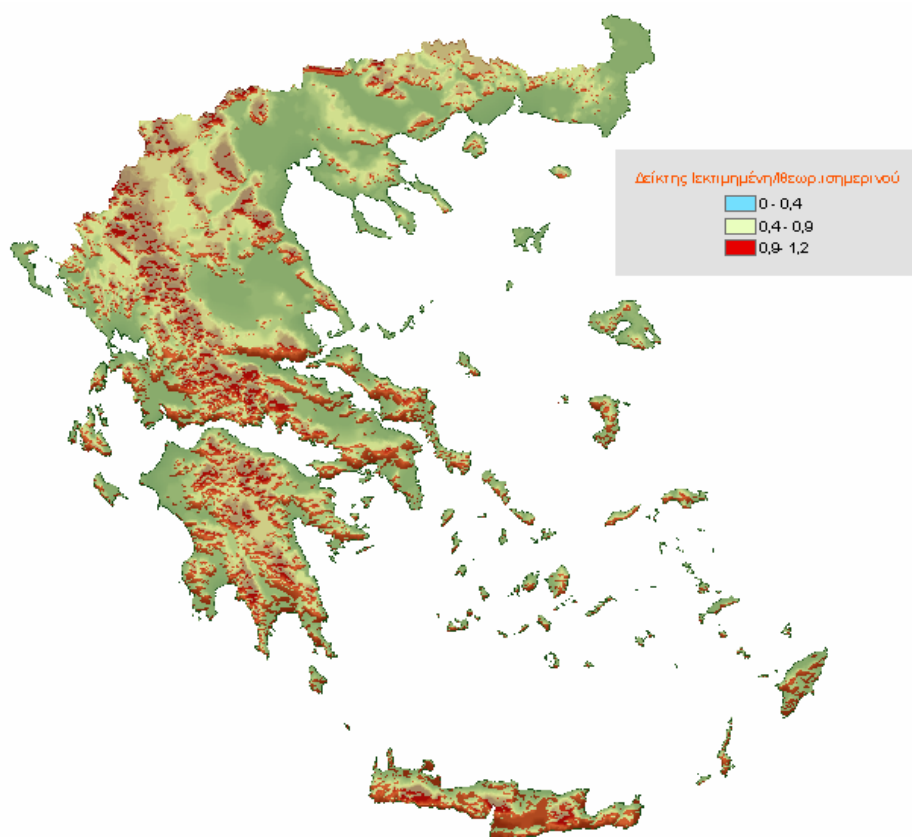
Δεκέμβριος



Έτος



Στον παρακάτω χάρτη με κόκκινο χρώμα διακρίνονται σαφέστερα οι πιο «ευνοημένες» από άποψη δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας περιοχές.



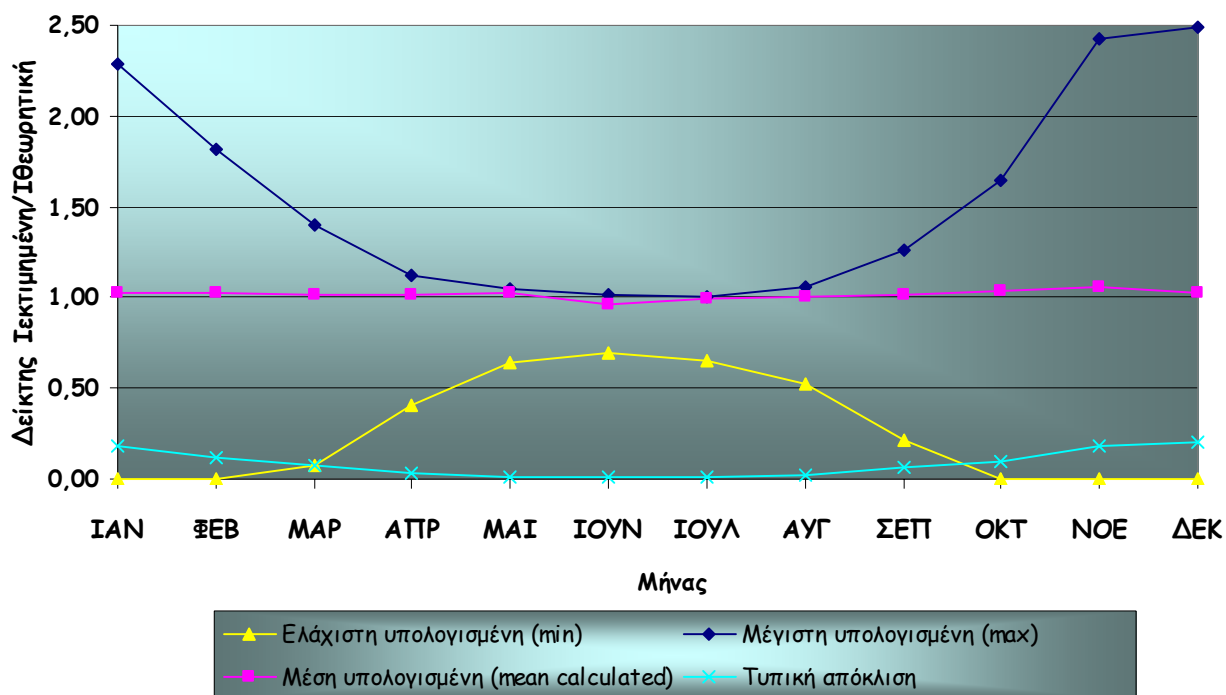
Στους πίνακες και στα διαγράμματα που ακολουθούν έχει γίνει στατιστική επεξεργασία των δύο παραπάνω δεικτών. Συγκεκριμένα σημειώνονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές για κάθε μήνα και για όλο το έτος, καθώς και η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής διασποράς.

Σημαντική είναι η παρατήρηση των μηδενικών τιμών που εμφανίζονται τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες (από Οκτώβριο μέχρι και Φεβρουάριο), που σημαίνει ότι υπάρχουν περιοχές (pixel), οι οποίες κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών δε λαμβάνουν καθόλου ακτινοβολία.

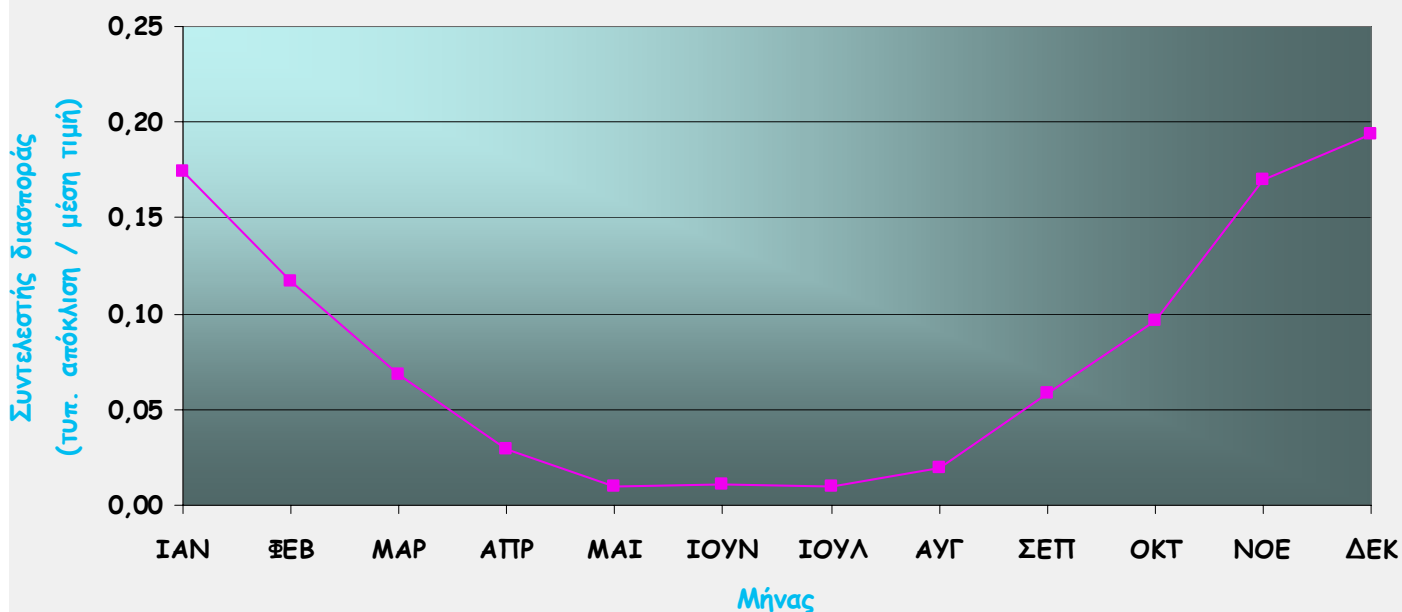
Αξιοσημείωτος είναι επίσης και ο πολύ χαμηλός συντελεστής διασποράς που σημειώνεται τους θερινούς μήνες, ο οποίος όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όσο υψηλότερα βρίσκεται ο ήλιος στην ουράνια σφαίρα, τόσο λιγότερες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στην κατανομή της δυναμικής ηλιακής ακτινοβολίας.

ΜΗΝΑΣ	Τιμή Δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική}}$				
	Ελάχιστη υπολογισμένη (min)	Μέγιστη υπολογισμένη (max)	Μέση υπολογισμένη (mean calculated)	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής διασποράς
ΙΑΝ	0,00	2,29	1,03	0,18	0,17
ΦΕΒ	0,00	1,82	1,03	0,12	0,12
ΜΑΡ	0,08	1,40	1,02	0,07	0,07
ΑΠΡ	0,41	1,12	1,01	0,03	0,03
ΜΑΙ	0,64	1,05	1,03	0,01	0,01
ΙΟΥΝ	0,69	1,01	0,96	0,01	0,01
ΙΟΥΛ	0,65	1,00	0,99	0,01	0,01
ΑΥΓ	0,52	1,06	1,00	0,02	0,02
ΣΕΠ	0,21	1,26	1,02	0,06	0,06
ΟΚΤ	0,00	1,64	1,04	0,10	0,10
ΝΟΕ	0,00	2,42	1,06	0,18	0,17
ΔΕΚ	0,00	2,49	1,03	0,20	0,19
ΕΤΟΣ	0,37	1,29	1,02	0,06	0,06

Μεταβολή δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική}}$ ανά μήνα

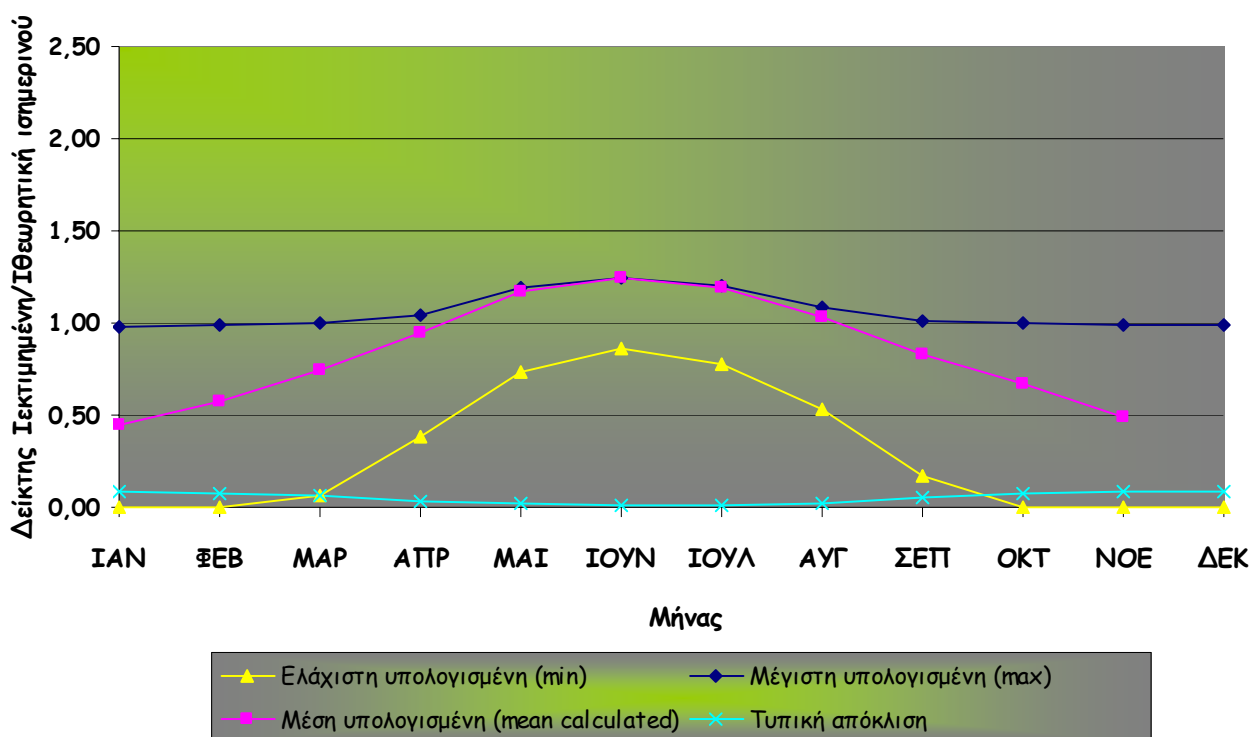


Διακύμανση συντελεστή διασποράς του δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική}}$ κατά τη διάρκεια του έτους

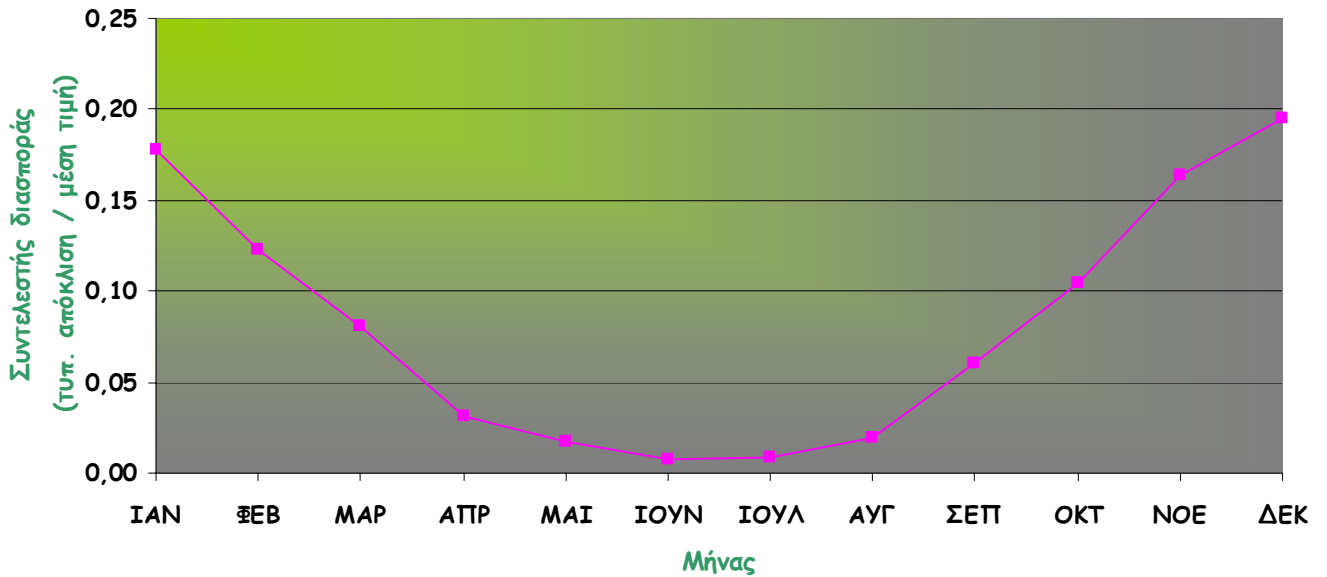


ΜΗΝΑΣ	Τιμή Δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική ισημερινού}}$				
	Ελάχιστη υπολογισμένη (min)	Μέγιστη υπολογισμένη (max)	Μέση υπολογισμένη (mean calculated)	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής διασποράς
ΙΑΝ	0,00	0,98	0,45	0,08	0,18
ΦΕΒ	0,00	0,99	0,57	0,07	0,12
ΜΑΡ	0,06	1,00	0,74	0,06	0,08
ΑΠΡ	0,38	1,04	0,95	0,03	0,03
ΜΑΙ	0,73	1,19	1,17	0,02	0,02
ΙΟΥΝ	0,86	1,25	1,24	0,01	0,01
ΙΟΥΛ	0,78	1,20	1,19	0,01	0,01
ΑΥΓ	0,53	1,08	1,03	0,02	0,02
ΣΕΠ	0,17	1,01	0,83	0,05	0,06
ΟΚΤ	0,00	1,00	0,67	0,07	0,10
ΝΟΕ	0,00	0,99	0,49	0,08	0,16
ΔΕΚ	0,00	0,99	0,41	0,08	0,20
ΕΤΟΣ	0,31	1,07	0,87	0,05	0,06

Μεταβολή δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική ισημερινού}}$ ανά μήνα



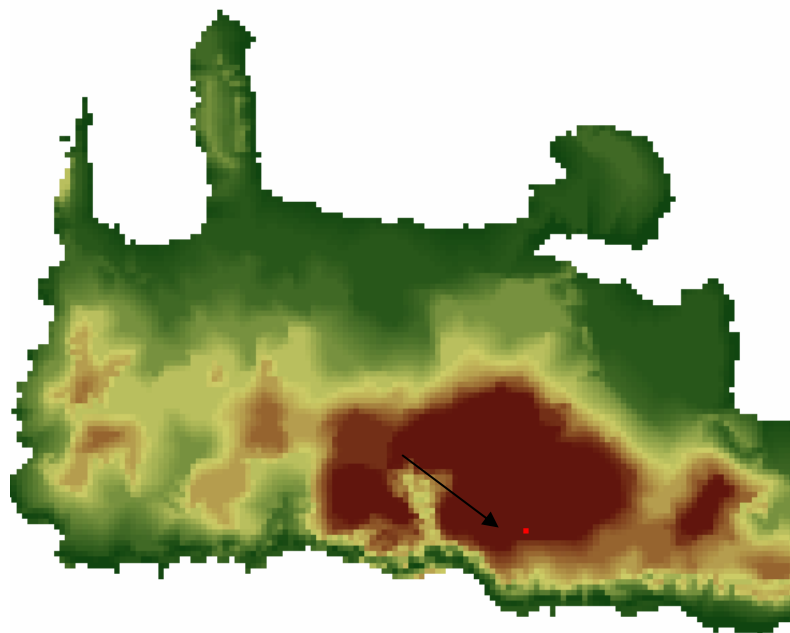
Διακύμανση συντελεστή διασποράς του δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική ισημερινού}}$ κατά τη διάρκεια του έτους



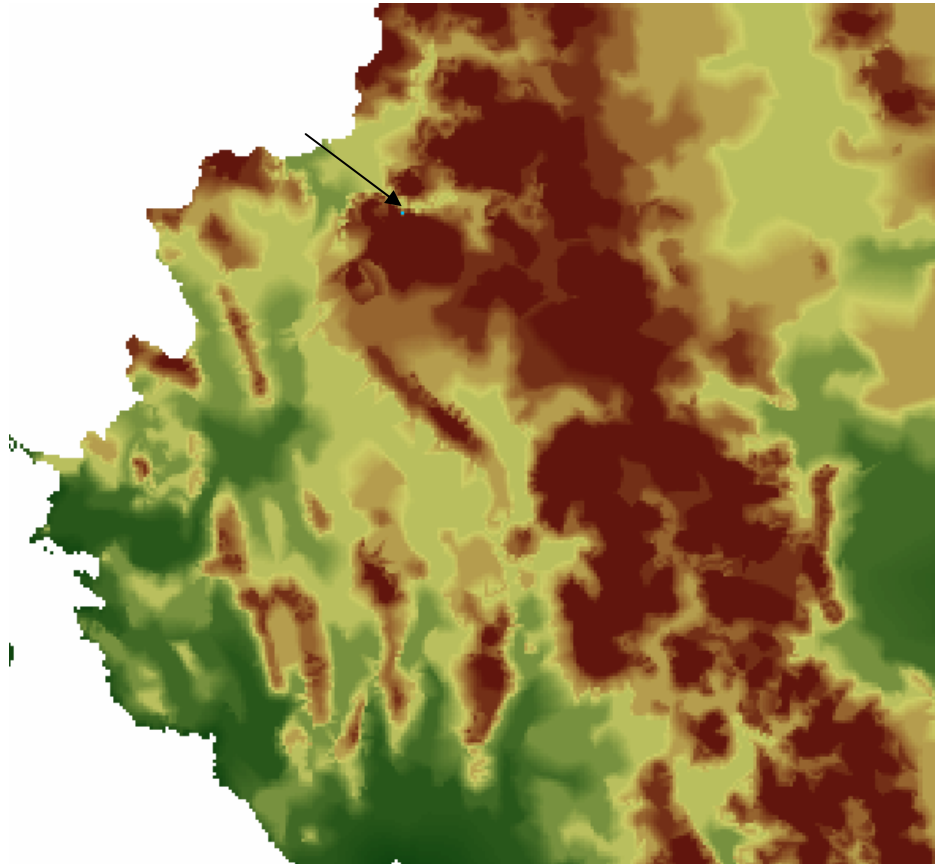
5.3 Ετήσια εξέλιξη τιμών δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας

Στους παρακάτω πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν σκιαγραφείται η εξέλιξη των τιμών της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας που υπολογίστηκαν για τρεις χαρακτηριστικές περιοχές:

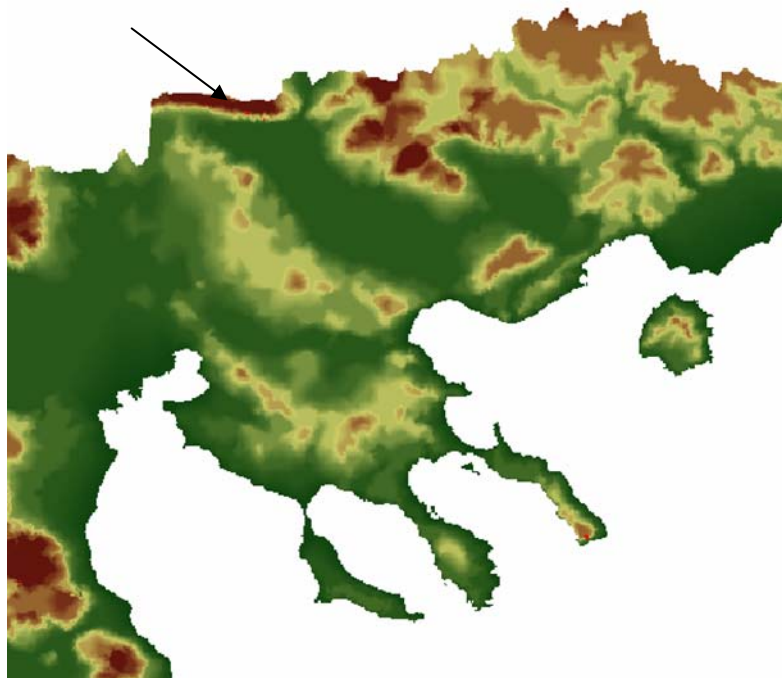
- το φατνίο (pixel) με τη μέγιστη ετήσια τιμή στη Νότιο Κρήτη που φαίνεται να λαμβάνει σημαντικές ποσότητες δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας



- το φατνίο (pixel) με την ελάχιστη ετήσια τιμή, το οποίο βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Πίνδου και

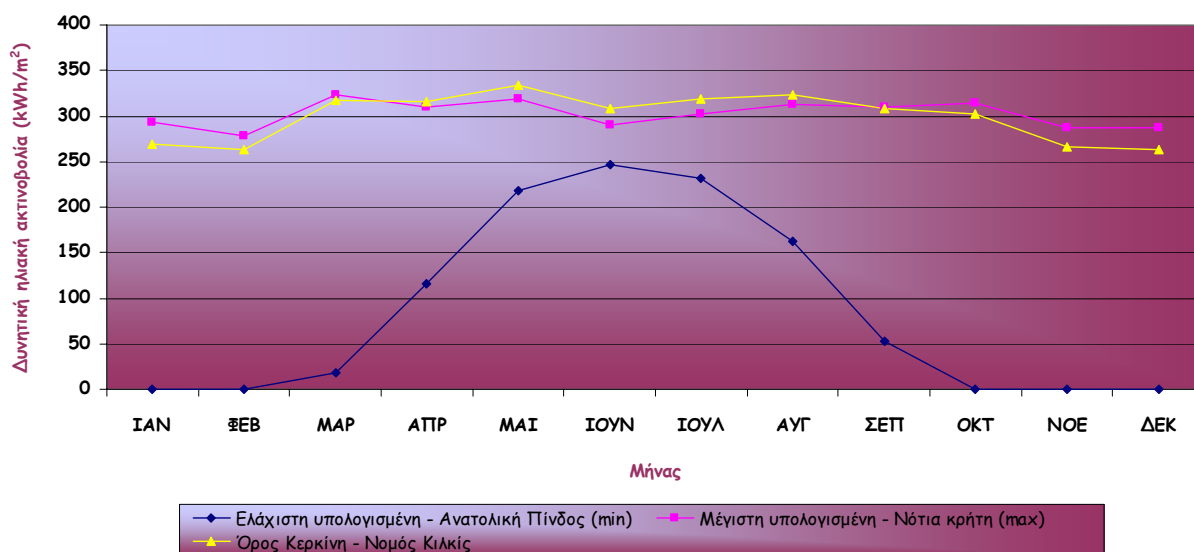


- ένα φατνίο (pixel) στο Όρος Κερκίνη στο βόρειο τμήμα του νομού Κιλκίς που φαίνεται να λαμβάνει σημαντικές ποσότητες δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες.



ΜΗΝΑΣ	ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (kWh/m ²)		
	Ελάχιστη υπολογισμένη - Ανατολική Πίνδος (min)	Μέγιστη υπολογισμένη - Νότια κρήτη (max)	Όρος Κερκίνη - Νομός Κιλκίς
ΙΑΝ	0	293	269
ΦΕΒ	0	279	264
ΜΑΡ	18	324	317
ΑΠΡ	116	310	316
ΜΑΙ	219	319	334
ΙΟΥΝ	246	290	308
ΙΟΥΛ	231	302	319
ΑΥΓ	163	313	323
ΣΕΠ	52	310	309
ΟΚΤ	0	314	302
ΝΟΕ	0	287	267
ΔΕΚ	0	287	262
ΕΤΟΣ	1050	3635	3595

Ετήσια εξέλιξη τιμών δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι ενώ το φατνίο στη νότιο Κρήτη λαμβάνει μεγαλύτερες ποσότητες άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε ετήσια βάση, κάποιους μήνες, συγκεκριμένα τους θερινούς, το φατνίο στο όρος Κερκίνη λαμβάνει μεγαλύτερες ποσότητες. Αυτό συμβαίνει γιατί έχει μικρότερη κλίση, οπότε τους μήνες που το υψόμετρο του ηλίου είναι μεγαλύτερο, η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από ότι στο μεγαλύτερο κλίσης φατνίο της Νοτίου Κρήτης.

Επίσης είναι προφανής η μικρότερη διασπορά των τιμών τους θερινού μήνες, όπου οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας συγκλίνουν περισσότερο, από τους χειμερινούς μήνες, όπου παρατηρούνται και φατνία με μηδενικές τιμές. Αυτό συμβαίνει επειδή όσο αυξάνεται το υψόμετρο του ηλίου, μειώνεται η επίδραση των τοπογραφικών παραγόντων και η κατανομή της ακτινοβολίας γίνεται πιο ομοιόμορφη.

5.4 Περιοχές με τις μέγιστες τιμές εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας

Όπως προκύπτει από τους παραπάνω χάρτες και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων οι περιοχές που παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας είναι οι εξής (κατά διαμέρισμα):

- Θράκη:
 - Νότια Σαμοθράκη (Νομός Έβρου)
- Μακεδονία:
 - Νότιο τμήμα του Όρους Κερκίνης (Νομοί Κιλκίς και Σερρών)
 - Νοτιοανατολικό τμήμα του Όρους Βόρας (Νομοί Φλώρινας και Πέλλας)
 - Νότιο τμήμα του Όρους Πάικο (Νομός Κιλκίς)
- Θεσσαλία:
 - Νότια τμήματα των ορέων Πιέρια, Όλυμπος και Όσσα (Νομοί Πιερίας και Λάρισας)
 - Νότιο τμήμα του Πηλίου (Νομός Μαγνησίας)
- Ήπειρος:
 - Τμήματα της Πίνδου με νότιο προσανατολισμό
- Ιόνια Νησιά:
 - Τμήματα της Δυτικής και Νοτιοδυτικής Κεφαλονιάς (Νομός Κεφαλληνίας)
 - Τμήμα της Νότιας Λευκάδας (Νομός Κεφαλληνίας)
- Νησιά Βορείου Αιγαίου:
 - Νοτιοδυτικό τμήμα Ικαρίας (Νομός Σάμου)
 - Νοτιοδυτικό τμήμα Σάμου (Νομός Σάμου)
- Δωδεκάνησα:
 - Νοτιοδυτικό τμήμα της Κως (Νομός Δωδεκανήσων)
 - Νότιο τμήμα του όρους Ατάβυρος στη Ρόδο (Νομός Δωδεκανήσων)
 - Τμήμα της νοτιοδυτικής Καρπάθου
- Κρήτη:

- ✦ Όλο το νότιο τμήμα της Κρήτης (με εξαίρεση το νοτιοδυτικό τμήμα του Νομού Ηρακλείου - Όρμος Μεσαρά) και κυρίως στα νότια τμήματα των ορέων Λευκά, Ίδη, Δίκτη, Ορνόν, Θρύπτης, Κακό, Αστερούσια και Κόφινας
- Κυκλάδες:
 - ✦ Νοτιοδυτικό τμήμα της Μήλου (Νομός Κυκλάδων)
 - ✦ Ανατολικά τμήματα της Αμοργού (Νομός Κυκλάδων)
 - ✦ Τμήματα της Νάξου (Νομός Κυκλάδων)
- Πελοπόννησος:
 - ✦ Νότια τμήματα των ορέων Χελμός, Ερύμανθος, Ταύγετος, Ζήρια, Αραχναίο, Πάρνων και Μαίναλο (Νομοί Αργολίδος, Κορινθίας, Αχαΐας και Αρκαδίας)
- Στερεά Ελλάδα:
 - ✦ Νότια τμήματα των ορέων Παναιτωλικό, Καλιακούδα, Λιδωρικίου, Βαρδούσια, Τυμφρηστός, Γκιώνα, Ναυπακτίας, Καλλίδρομο, Παρνασσός, Κνημίδα, Ελικώνας, Αράκυνθος, Οξυά, Χελιδόνι (Νομοί Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδος και Βοιωτίας)
 - ✦ Νότια τμήματα των ορέων Πάρνηθα, Κιθαιρώνας, Πατέρας και Πεντέλη (Νομός Αττικής)
 - ✦ Νότια τμήματα των ορέων Τελέθριο, Δίρφυ, Όλυμπο και Όχη (Νομός Ευβοίας)

Οι παραπάνω περιοχές αναφέρονται ενδεικτικά και κατά προσέγγιση. Η μελέτη του χάρτη και η χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών παρέχουν τη δυνατότητα λεπτομερούς εντοπισμού όλων των περιοχών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον λόγω των υψηλών ή χαμηλών τιμών εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και την εύρεση των ακριβών τιμών σε κάθε περιοχή της Ελλάδας, σε ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση καθώς και τον προσδιορισμό των δύο δεικτών που υπολογίστηκαν στην εργασία αυτή.

Γενικά παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνονται από τα νότια τμήματα των βουνών, με την προϋπόθεση ότι αυτή δεν παρεμποδίζεται από τοπογραφικούς παράγοντες, δηλαδή με την προϋπόθεση ότι οι περιοχές αυτές δε σκιάζονται.

5.5 Ονοματολογία οικισμών και ηλιοφάνεια

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τον εντοπισμό των περιοχών στις οποίες παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές ηλιοφάνειας, προέκυψε ότι τα ονόματα πολλών οικισμών πηγάζουν από την υπερβολική ή

την ελλειπή έκθεσή τους στον ήλιο. Τέτοια παραδείγματα απαντώνται σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Κάποια από αυτά αναφέρονται ενδεικτικά παρακάτω. Συγκεκριμένα αναφέρεται το όνομα, ο πληθυσμός και το υψόμετρο του οικισμού, ο νομός στον οποίο βρίσκεται, καθώς και η τιμή του δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική}}$ ισημερινού, όπως υπολογίστηκε παραπάνω σε ετήσια βάση. Με μια λεπτομερέστερη έρευνα, θα μπορούσαν να προκύψουν πολύ περισσότερα παραδείγματα. Παρόλα αυτά, είναι αξιοσημείωτο το πόσο μπορεί ένα φυσικό φαινόμενο να επηρεάσει την κοινωνική ζωή και τις παραδόσεις, αναδεικνύοντας έτσι τη σημασία της ηλιακής ακτινοβολίας στην ποιότητα και την εξέλιξη της επίγειας ζωής.

Κατάλογος συσχέτισης ονοματολογίας οικισμών και ηλιοφάνειας					
α/α	Όνομα Χωριού / Οικισμού	Νομός	Αριθμός Κατοίκων	Υψόμετρο (m)	Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}}/I_{\text{θεωρητική}}$ ισημερινού
1	Άνω Σκοτούσα	Λαρίσης	30	340	0,71
2	Αθέατον	Μαγνησίας (Σκόπελος)	21	150	0,75
3	Ανατολή	Λασιθίου	188	600	1,01
4	Ανατολή	Σερρών	167	140	1,03
5	Ανατολή	Φθιώτιδος	106	1200	1,00
6	Ανήλιον	Μαγνησίας	356	350	0,76
7	Ανήλιον	Ηλείας	302	130	0,75
8	Αυγή	Θεσσαλονίκης	523	640	1,01
9	Βαθύλακκος	Δράμας	69	510	0,77
10	Βαθχώριον	Δράμας	239	150	0,77
11	Βουτάς	Χανίων	53	280	0,77
12	Ηλιορράχη	Ιωαννίνων	66	920	0,97
13	Λαμπερό	Καρδίτσας	187	740	0,96
14	Προσήλια	Αιτωλοακαρνανίας (Τριχωνίδος)	42	550	0,98
15	Προσήλια	Αρκαδίας	145	220	1,03
16	Προσήλια	Άρτης	37	600	0,96
17	Προσήλιον	Βοιωτίας	92	120	1,03
18	Προσήλιον	Ιωαννίνων	159	900	1,02
19	Προσήλιον	Μεσσηνίας	171	360	1,05
20	Προσήλιον	Φωκίδος	73	840	1,05
21	Σκοτεινό	Ηρακλείου	108	140	0,75
22	Φωτεινό	Ιωαννίνων	27	520	1,02
23	Φωτημάριον	Κυκλάδων (Άνδρος)	7	160	0,96
24	Χαραυγή	Ιωαννίνων	154	540	0,97
25	Χαραυγή	Αχαΐας	139	300	0,97

6. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας συνοψίζονται στα εξής:

- Η μικροκυματική ηλιακή ακτινοβολία καθαρού ουρανού, δηλαδή με απουσία της ατμόσφαιρας, πάνω σε διάφορες επιφάνειες ποικίλει ανάλογα με το αζιμούθιο και το υψόμετρο του ηλίου, την κλίση και τη διεύθυνση κλίσης της επιφάνειας, καθώς και της σχετικής θέσης της με τις γειτονικές επιφάνειες. Συνεπώς, τα ΓΣΠ, τα οποία λαμβάνουν υπόψη εκτός από το γεωγραφικό πλάτος και τους παραπάνω παράγοντες είναι κατάλληλα για τον υπολογισμό της.
- Η εκτίμηση της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας παρότι δε λαμβάνει υπόψη της τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας (διασπορά, διάχυση, νέφωση κλπ.), είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση μιας σειράς εφαρμογών, οι οποίες σχετίζονται με διάφορες επιστήμες.
- Γενικά παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα, λαμβάνονται από τα νότια τμήματα των βουνών, με την προϋπόθεση ότι αυτή δεν παρεμποδίζεται από τοπογραφικούς παράγοντες, δηλαδή με την προϋπόθεση ότι οι περιοχές αυτές δε σκιάζονται.
- Το καλοκαίρι η επιρροή των παραγόντων που διαφοροποιούν την κατανομή της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (τοπογραφικοί παράγοντες, γεωγραφικό πλάτος κλπ.) μειώνεται, καθώς ο ήλιος βρίσκεται υψηλότερα από ότι τους χειμερινούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα, η επιρροή των παραγόντων αυτών μειώνεται σταδιακά όσο ο ήλιος ανεβαίνει ψηλότερα στην ουράνια σφαίρα.
- Κατά τους θερινούς μήνες, φωτεινότερα αναδεικνύονται τα επίπεδα φατνία (rixel) λόγω της καθετότητάς τους με τη θέση του ήλιου εκείνη την περίοδο.
- Η λήψη άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μεγιστοποιείται, όταν η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι κάθετη (90°) σε σχέση με τον προσανατολισμό και την κλίση του φατνίου. Έτσι για κάθε διαφορετική θέση του ήλιου μεταβάλλονται τα φατνία που λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές.
- Από τη στατιστική επεξεργασία και τη σύγκριση με τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας, προκύπτει ότι η προσέγγιση που έγινε στην εργασία αυτή, σε ετήσια βάση, είναι κατά μέσο όρο επιτυχής.
- Τα αποτελέσματα αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, είναι εξαιρετικής σημασίας για τομείς, όπως η οικολογία και η γεωργία ή ακόμα και για τον

καταμερισμό των χρήσεων γης τόσο του δομημένου, όσο και του αδόμητου περιβάλλοντος, όπου η άμεση δυνητική ακτινοβολία παίζει μεγάλο ρόλο.

- Τέλος, από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τον εντοπισμό των περιοχών στις οποίες παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές ηλιοφάνειας, προέκυψε ότι τα ονόματα πολλών οικισμών πηγάζουν από την υπερβολική ή την ελλειπή έκθεσή τους στον ήλιο.

Ειδικότερα, ως προς το μοντέλο εκτίμησης της εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας και για το οποίο οι αρχικές ενδείξεις είναι ιδιαίτερα θετικές, θα μπορούσαν να διατυπωθούν ορισμένες προτάσεις προς την κατεύθυνση της εξέλιξής του. Συγκεκριμένα:

- Στα πλαίσια αυτής της εργασίας έγιναν εκτιμήσεις για την εισερχόμενη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία. Όμως, μια περαιτέρω επέκτασή της θα μπορούσε να αφορά την εκτίμηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος, με τη χρήση σημειακών μετρήσεων και την εξαγωγή κάποιων συντελεστών αναγωγής από τη δυνητική στην πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει κάθε περιοχή όλες τις εποχές του έτους.
- Στην παρούσα εργασία λήφθηκε ως βάση για τους υπολογισμούς των τοπογραφικών μεγεθών, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, αγνοώντας την χρήση γης της εκάστοτε περιοχής, δηλαδή το αν υπάρχουν δέντρα, πολυκατοικίες κλπ. Μια βελτίωσή της θα μπορούσε να λαμβάνει υπόψη τις χρήσεις γης μέσα από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (για παράδειγμα ένα μέσο υψόμετρο δέντρων ή κτιρίων) και έτσι να παράγει πιο ρεαλιστικές τιμές για την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε κάθε περιοχή.
- Τέλος, το μοντέλο που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της εισερχόμενης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια εμπειρική προσέγγιση. Ενώ στην παρούσα μελέτη οι μαθηματικές σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των βασικών τύπων που αφορούν τα μεγέθη της ηλιακής ακτινοβολίας, θα μπορούσαν να εξαχθούν αποτελέσματα χρησιμοποιώντας αυστηρώς και μόνο πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις.

7. Βιβλιογραφία - Αναφορές

1. Barbour M.G., Burk J.H., Pitts W.D.; 1980, Terrestrial Plant Ecology, pp 300-305.
2. Dubayah R.C., 1994, Modelling a solar radiation topoclimatology for the Rio Grande River Basin, Journal of Vegetation Science 5, pp 627-640.
3. Fu P. & Rich P.M., Assessed 21 December 1999, Design and Implementation of the Solar Analyst: an ArcView Extension of Modelling Solar Radiation at Landscape Scales, <http://www.gemlab.ukans.edu/solaranalyst/>.
4. Graves C., 1998, Reflected Radiation, Accessed 15 August 2000, <http://quake.eas.slu.edu/People/CEGraves/Eas107/notes/node25.html>.
5. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html#snowmelt>
6. <http://web.auth.gr/virtualschool/2.4/TheoryResearch/KarpadakisYgrotopoi.html>
7. <http://www.bom.gov.au/sat/glossary.shtml>
8. <http://www.electrotech.gr/photovoltaics.htm>
9. <http://www.itia.ntua.gr/getfile/542/1/1999AdvHydroSnow.pdf>
10. http://www.itia.ntua.gr/nikos/adv_hydrology/ask1-4_07.pdf
11. <http://www.pr.ucy.ac.cy/newsletter/docs/koinotita15.pdf>
12. <http://www.squ1.com/solar/solar-radiation.html>
13. <http://www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/glossary>
14. Hughes Paul, Δεκέμβριος 2000, Direct Solar Radiation: A Modelling Technique, The 12th Annual Colloquium of the Spatial information Research Centre, University of Otago, New Zealand.
15. Kumar Lalit, Andrew K. Skidmore, Solar Radiation Modelling - Using Arc Info GIS, International Institute for aerospace Survey and Earth Sciences.
16. Mamassis N., October 2005, Calculation of Potential Solar Radiation from Geomorphologic Information, 7th Plinius Conference on Mediterranean Storms, 5-7 October 2005, Rethymnon, Greece, <http://www.itia.ntua.gr/nikos> .
17. Ranzi Roberto, Renzo Rosso, 1995, Distributed estimation of incoming direct solar radiation over drainage basin, Journal of Hydrology 166 (1995), 461-478.
18. Yuri M., 1998, Remote Sensing of Earth Radiation Budget, <http://marine.rutgers.edu/mrs/class/yuri/yuri.html> .

19. Κουτσογιάννης Δ., 1999, Θ. Ξανθόπουλος, Τεχνική Υδρολογία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 417 σελίδες, Έκδοση 3, Αθήνα.
20. Μπαλαράς Κ. Α., Α. Α. Αργυρίου και Φ. Ε. Καραγιάννης, 2006, Συμβατικές και Ήπιες Μορφές Ενέργειας, 479 σελίδες, Τ-Εκδοτική, Αθήνα.

Παράρτημα: Γλωσσάριο

(<http://www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/glossary>,
<http://www.bom.gov.au/sat/glossary.shtml>)

A

Αζιμούθιο και υψόμετρο (azimuth and elevation) - ένα γωνιακό σύστημα συντεταγμένων για τον προσδιορισμό των θέσεων στον ουρανό. Το αζιμούθιο μετριέται με τη φορά των δεικτών του ρολογιού από το βορρά ως το σημείο του ορίζοντα ακριβώς κάτω από το αντικείμενο. Το υψόμετρο μετριέται κάθετα από αυτό το σημείο του ορίζοντα μέχρι το αντικείμενο. Επειδή η γη περιστρέφεται, το αζιμούθιο και το υψόμετρο για τα αστέρια και τους πλανήτες αλλάζουν σταδιακά με το χρόνο και τη θέση του παρατηρητή πάνω στη γη.

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία (Direct solar irradiance) - είναι ένα μέτρο της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης, σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της ηλιακής ακτίνας και συνήθως μετριέται με πυρηλιόμετρα τοποθετημένα σε ηλιακούς ιχνηλάτες. Ο ιχνηλάτης εξασφαλίζει ότι η ηλιακή ακτίνα είναι προσανατολισμένη πάντα κάθετη προς το οπτικό πεδίο του οργάνου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το πυρηλιόμετρο έχει οπτικό πεδίο 5°. Για να συγκριθεί αυτή η μέτρηση με την ολική και τη διάχυτη ακτινοβολία είναι απαραίτητο να ληφθεί η οριζόντια συνιστώσα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας της άμεση ηλιακή ακτινοβολία με το συνημίτονο της ζενιθιακής γωνίας του ηλίου.

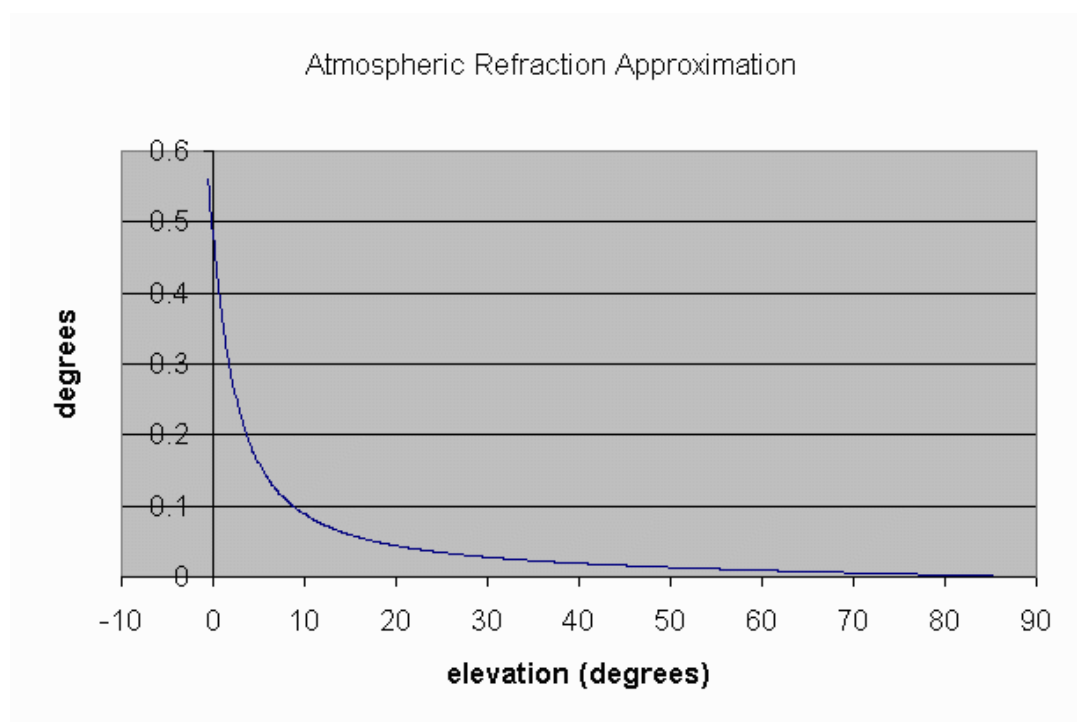
Απόθεμα ακτινοβολίας (radiation budget) - όρος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακού φωτός) που εισέρχεται στην επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια της μέρας, και της μακροκυματικής (υπέρυθρης) ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης προς το διάστημα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επειδή η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να δημιουργηθεί, ούτε να καταστραφεί, όλη η εισερχόμενη ακτινοβολία πρέπει να συμπεριληφθεί στην εξερχόμενη ακτινοβολία, εκτός κι αν αυξηθεί η θερμοκρασία της γης.

Απόκλιση (declination) - μαζί με την ορθή ανύψωση, είναι μέτρο της ουράνιας θέσης. Η απόκλιση είναι ανάλογη με το γεωγραφικό πλάτος στην επιφάνεια της γης και μετράει τη γωνιακή μετακίνηση βόρεια ή νότια από την

προβολή του ισημερινού της γης στην ουράνια σφαίρα στη θέση του ουράνιου σώματος.

Αστρονομική μονάδα (astronomical unit) (AU) - η μέση απόσταση γης - ήλιου. Περίπου 92.957. 210 μίλια.

Ατμοσφαιρική διάθλαση (atmospheric refraction) - καθώς το φως του ηλίου ή άλλου ουράνιου σώματος ταξιδεύει από το κενό του διαστήματος στην ατμόσφαιρα της γης, η τροχιά του φωτός κάμπτεται λόγω της διάθλασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πλανήτες και τα αστέρια κοντά στον ορίζοντα να φαίνονται υψηλότερα στον ουρανό από ότι πραγματικά είναι και εξηγεί το πώς ο ήλιος κατά τη δύση του μπορεί να είναι ορατός ακόμα και όταν έχει περάσει και πίσω από τον ορίζοντα.



Β

Γ

Γεωγραφικό μήκος (longitude) - γωνιακή μέτρηση της δυτικής - ανατολικής θέσης στην επιφάνεια της γης. Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται από τον πρώτο μεσημβρινό που περνάει από το Greenwich, Αγγλία. Η γραμμή παγκόσμιας ημερομηνίας (η γραμμή που διαχωρίζει το σήμερα από το αύριο) ορίζεται περίπου στο γεωγραφικό μήκος +/- 180° (το γεωγραφικό πλάτος

180° ανατολικό είναι το ίδιο με το γεωγραφικό πλάτος 180° δυτικά, γιατί σε κάθε κύκλο υπάρχουν 360°).

Γεωγραφικό πλάτος (latitude) - γωνιακή μέτρηση της βόρειας - νότιας θέσης στην επιφάνεια της γης. Το γεωγραφικό πλάτος κυμαίνεται από απ 90° νότια (στο νότιο πόλο), μέχρι 0° (κατά μήκος όλου του ισημερινού), και μέχρι 90° βόρεια (στο βόρειο πόλο). Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται συνήθως με θετική τιμή στο βόρειο ημισφαίριο και με αρνητική τιμή στο νότιο ημισφαίριο.

Δ

Διάθλαση (refraction) - καθώς το φως διέρχεται από ένα μέσο σε άλλο χαμηλότερης ή υψηλότερης πυκνότητας, για παράδειγμα από τον αέρα στο νερό ή από το κενό του διαστήματος στην ατμόσφαιρα της γης, η τροχιά του φωτός κάμπτεται ελαφρά. Αυτό κάνει τα πόδια μας να φαίνονται πιο κοντά μέσα σε μια πισίνα και μας επιτρέπει να βλέπουμε τον ήλιο όταν είναι ακόμη κάτω από τον ορίζοντα.

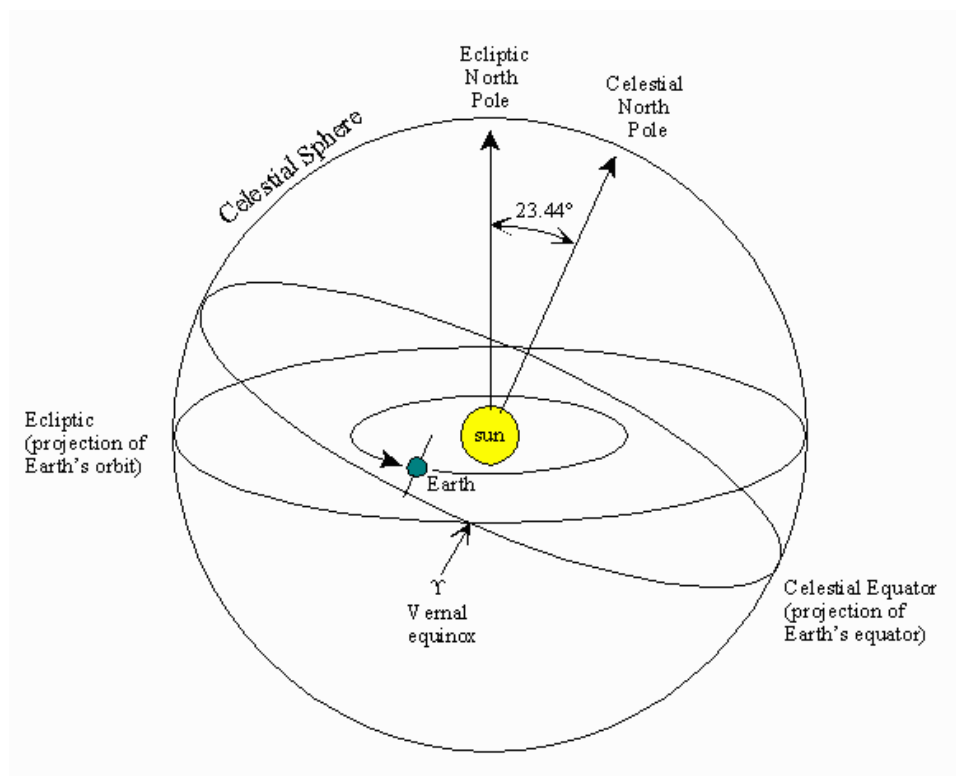
Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (Diffuse solar irradiance) - ένα μέτρο της ποσότητας της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας σε ένα οριζόντιο επίπεδο της επιφάνειας της γης, ως αποτέλεσμα της διάχυσης των ηλιακών ακτίνων λόγω ατμοσφαιρικών παραγόντων. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μετριέται με πυρανόμετρα. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να είναι πάντα μικρότερη ή ίση με την ολική ηλιακή ακτινοβολία που έχει μετρηθεί για την ίδια περίοδο. Η ολική και η διάχυτη ακτινοβολία θα ισούνται μεταξύ τους όταν η συμβολή της άμεσης ακτινοβολίας είναι μηδενική, όταν δηλαδή ο ήλιος κρύβεται από πολύ πυκνά σύννεφα ή όταν ο ήλιος βρίσκεται κάτω από τον ορίζοντα.

Διάχυτη ηλιακή έκθεση (Diffuse solar exposure) - το σύνολο της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια από όλα τα μέρη του ουρανού εκτός από την άμεση ηλιακή ενέργεια. Η ημερήσια διάχυτη ηλιακή έκθεση είναι το σύνολο της διάχυτης ηλιακής ενέργειας για μια ημέρα. Τυπικές τιμές για την ημερήσια διάχυτη ηλιακή έκθεση κυμαίνονται από 1 μέχρι 20 MJ/m² (megajoules per square metre). Οι τιμές είναι συνήθως χαμηλότερες σε συνθήκες καθαρού ουρανού και τις συννεφιασμένες ημέρες. Η διάχυτη έκθεση είναι πάντα μικρότερη ή ίση της ολικής έκθεσης για την ίδια περίοδο.

Ε

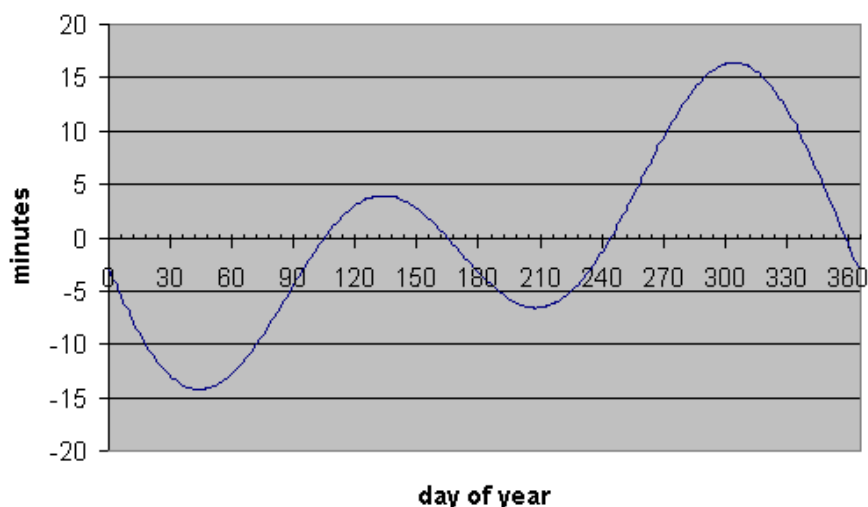
Εαρινή ισημερία (vernal equinox) - το σημείο στην ουράνια σφαίρα, στο οποίο το επίπεδο της τροχιάς της γης διαπερνά το επίπεδο του ισημερινού της γης, καθώς κινείται από το νότο προς το βορρά.

Εκλειπτικό επίπεδο (ecliptic plane) - το φανταστικό επίπεδο που ορίζεται από την προβολή της τροχιάς της γης (η διαδρομή που ακολουθεί η γη γύρω από τον ήλιο) στην ουράνια σφαίρα.



Εξίσωση του χρόνου (equation of time) - αστρονομικός όρος που αναφέρεται στις αλλαγές της ώρας του ηλιακού μεσημεριού για μια συγκεκριμένη περιοχή κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η εκλειπτική τροχιά της γης και ο νόμος του Kepler για ίσες περιοχές σε ίσους χρόνους είναι οι αιτίες αυτού του φαινομένου.

Equation of Time



Έτος (year) - ο συνολικός χρόνος που θέλει η γη για να διαγράψει μια πλήρη τροχιά γύρω από τον ήλιο. Ένας χρόνος ορίζεται σαν 365.242196 μέρες. Επειδή ο χρόνος δε διαιρείται ακριβώς σε μέρες, το ημερολόγιό μας περιέχει διορθώσεις με τη μορφή των δίσεκτων ετών.

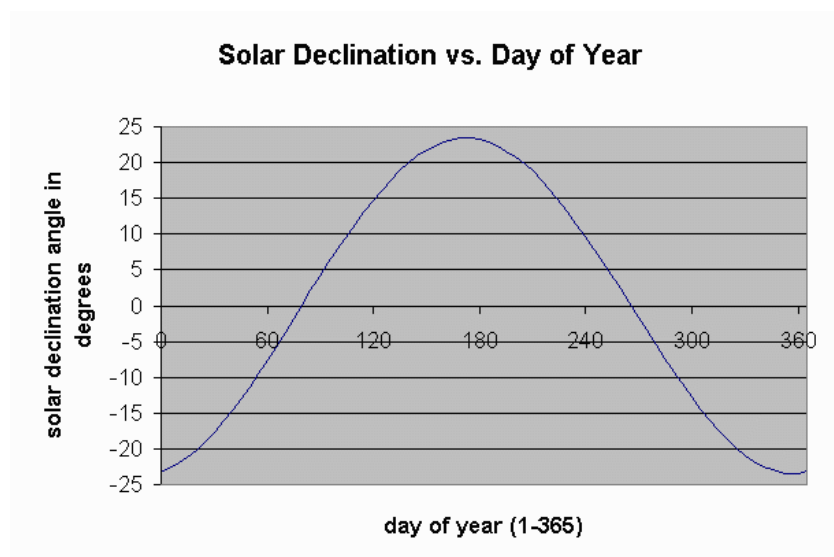
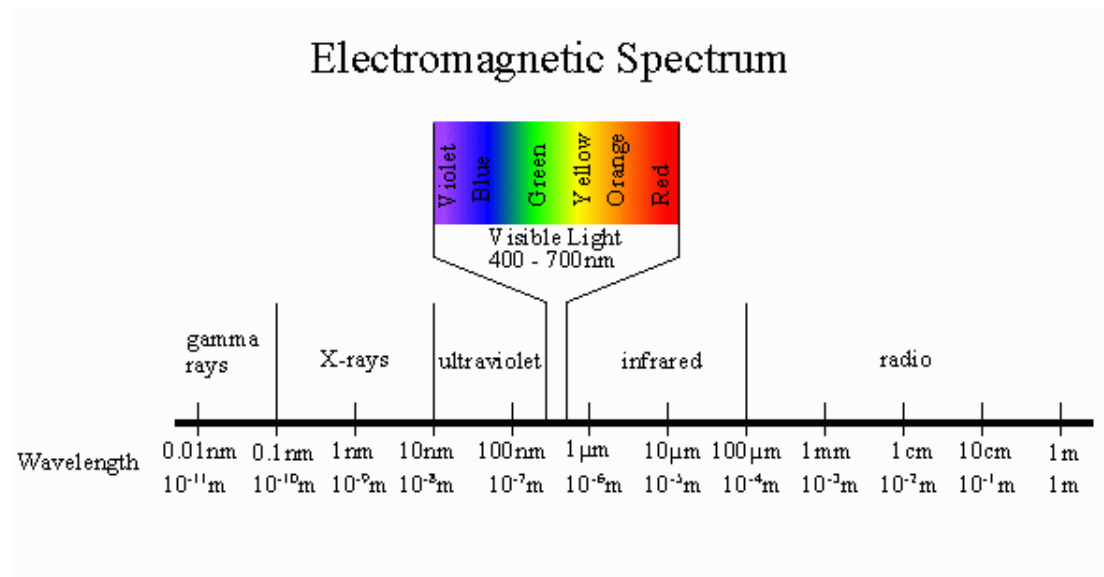
Z

Ζενιθιακή γωνία (zenith angle) - γωνιακή μέτρηση από ευθεία πάνω (το ζενίθ) μέχρι ένα σημείο στον ουρανό. Η ζενιθιακή γωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με το αζιμούθιο για να οριστεί η θέση ενός άστρου ή άλλου ουράνιου σώματος. Η ζενιθιακή γωνία είναι η συμπληρωματική γωνία του υψόμετρου (υψόμετρο = 90° - ζενιθιακή γωνία). Το συνημίτονο της ζενιθιακής γωνίας του ηλίου χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της κάθετης συνιστώσας της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια.

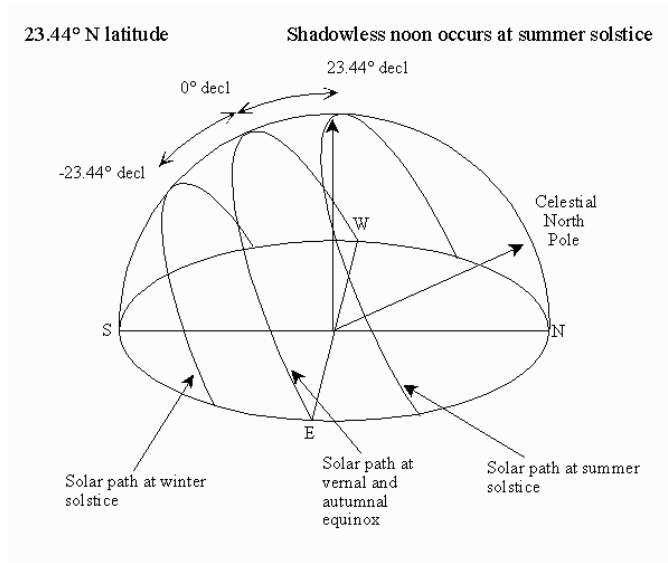
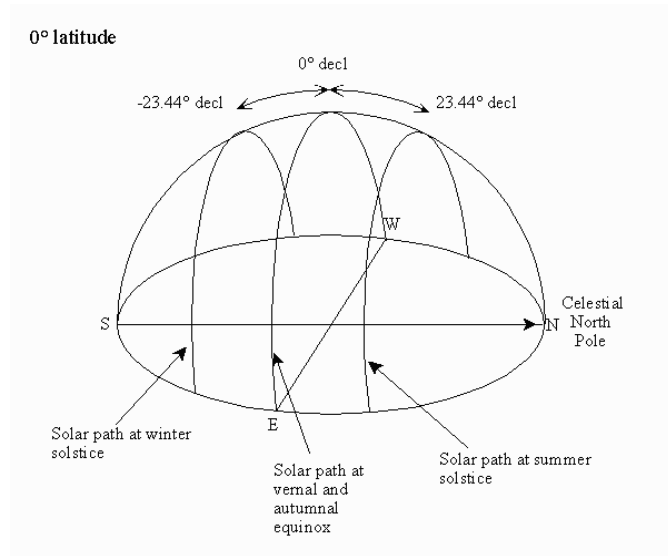
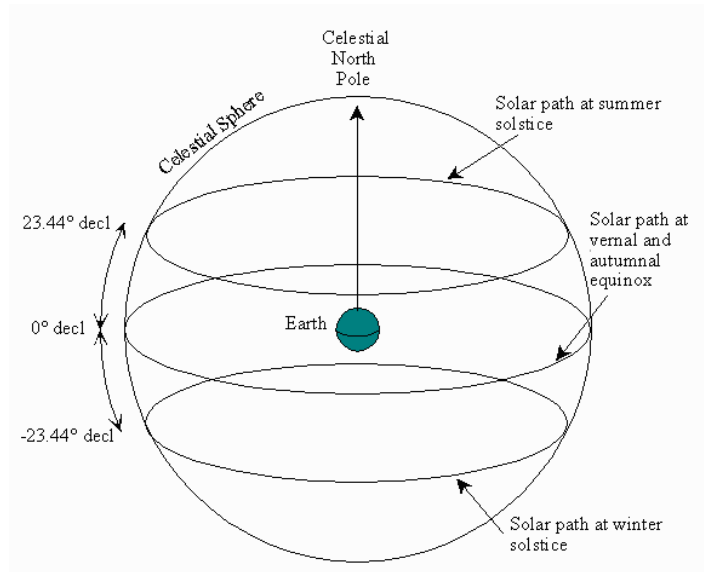
Ζώνη ώρας (time zone) - περιοχές οριζόμενες από το γεωγραφικό μήκος στη γη και έχουν την ίδια ώρα. Μια ζώνη ώρας συνήθως εκτείνεται σε 15° γεωγραφικού μήκους και ορίζεται από τη διαφορά σε ώρες από την παγκόσμια ώρα. Για παράδειγμα, η Mountain Standard Time (MST) στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι 7 ώρες πίσω από την παγκόσμια ώρα (MST = UTC - 7).

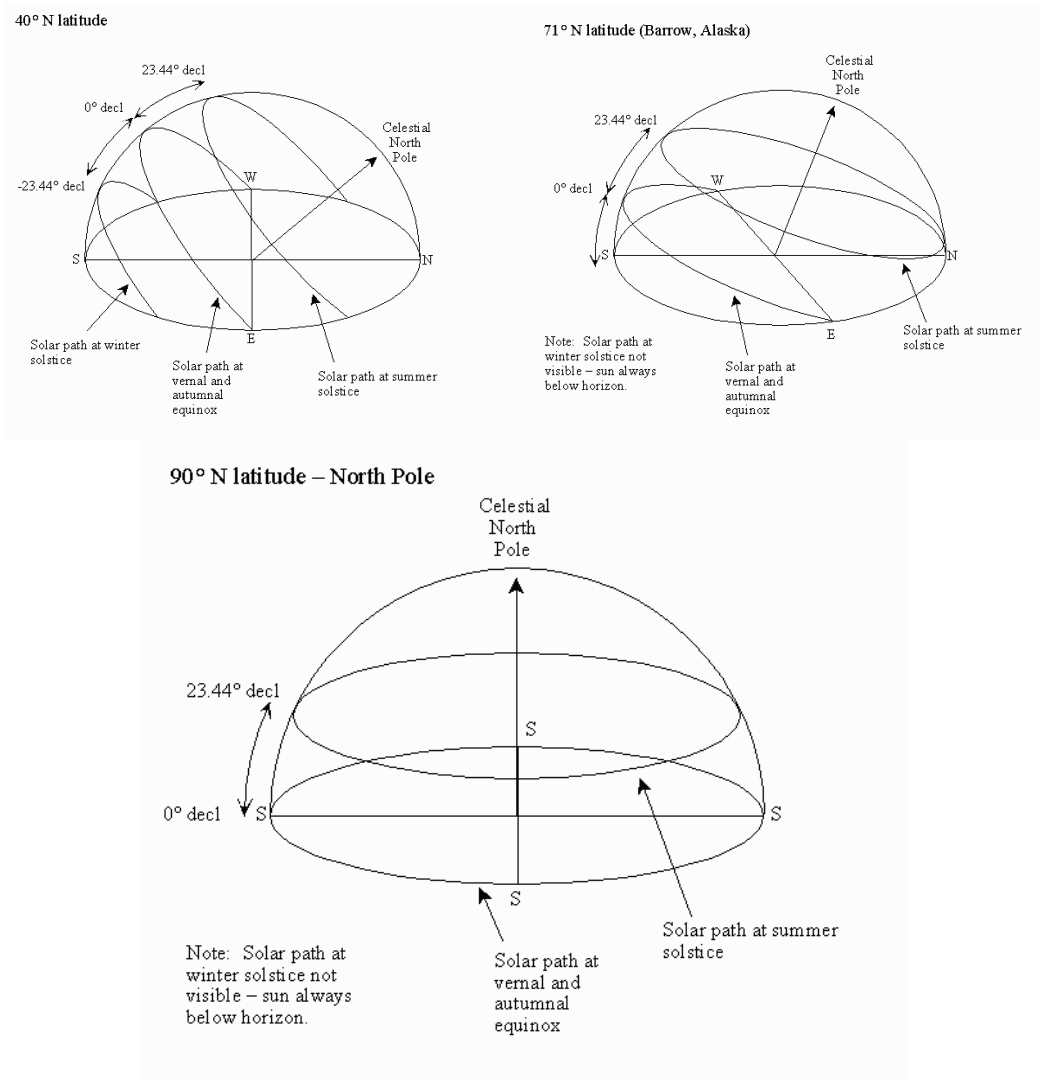
H

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (electromagnetic spectrum) - η επιστημονική ονομασία για όλο το εύρος της κυματικής ακτινοβολίας, από τις κοσμικές ακτίνες μέσω υπεριώδους, το ορατό φως, το υπέρυθρο μέχρι τα ραδιοκύματα και παραπέρα.



Ηλιακή απόκλιση (solar declination) - η απόκλιση του ηλίου. Η ηλιακή απόκλιση κυμαίνεται από -23.44° στο (βόρειο ημισφαίριο) χειμερινό ηλιοστάσιο, μέχρι 0° την εαρινή ισημερία, και μέχρι $+23.44^\circ$ το θερινό ηλιοστάσιο. Η διαφοροποίηση στην ηλιακή απόκλιση είναι η αστρονομική περιγραφή του ηλίου που πηγαίνει νότια (στο βόρειο ημισφαίριο) το χειμώνα.





Ηλιακό μεσημέρι (solar noon) - ορίζεται για μια δεδομένη μέρα για ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό μήκος, σαν την ώρα κατά την οποία ο ήλιος διαπερνά το μεσημβρινό της περιοχής του παρατηρητή. Το ηλιακό μεσημέρι μια σκιά που προκαλείται από έναν κάθετο πόλο θα δείχνει είτε ακριβώς βόρεια, είτε ακριβώς νότια, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή και την εποχή του χρόνου.

Ηλιακός χρόνος (solar time) - ορίζεται ως ο χρόνος που διανύεται από το πιο πρόσφατο μεσημβρινό πέρασμα του ήλιου. Το σύστημα βασίζεται στην περιστροφή της γης σε σχέση με τον ήλιο. Μια μέση ηλιακή μέρα ορίζεται ως η ώρα μεταξύ ενός ηλιακού μεσημεριού και του επόμενου, κατά μέσο όρο του έτους.

Ηλιοστάσιο (solstice) - η ώρα του χρόνου όταν η ηλιακή απόκλιση φτάνει στη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή. Στο βόρειο ημισφαίριο, το θερινό ηλιοστάσιο

είναι στις 21 Ιουνίου και το χειμερινό ηλιοστάσιο στις 21 Δεκεμβρίου. Η ακριβής ώρα των ηλιοστασίων αλλάζει από χρόνο σε χρόνο

Θ

Ι

Ιουλιανό ημερολόγιο (Julian Calendar) - το ημερολόγιο που καθιερώθηκε από τον Ιούλιο Καίσαρα το 46 π.Χ. , και ορίζει τις 365 μέρες του έτους, εκτός από τα δίσεκτα έτη, τα οποία έχουν 366 μέρες και συμβαίνουν κάθε 4 χρόνια. Αυτό το ημερολόγιο αναμορφώθηκε από τον Πάπα XIII στο Γρηγοριανό ημερολόγιο, το οποίο βελτίωσε περισσότερο τα δίσεκτα έτη και διόρθωσε το σφάλμα των προηγούμενων ετών παραλείποντας 10 μέρες τον Οκτώβριο του 1542.

Ιουλιανή μέρα (Julian day) - αστρονομική περίοδος που χρησιμοποιείται στους αστρονομικούς κύκλους και ορίζεται από τον αριθμό των ημερών από την 1^η Ιανουαρίου, 4713 πριν από την κοινή εποχή, με την πρώτη μέρα να ορίζεται ως Ιουλιανή μέρα μηδέν. Η Ιουλιανή μέρα αρχίζει το μεσημέρι της παγκόσμιας ώρας. Μερικοί επιστήμονες χρησιμοποιούν τον όρο Ιουλιανή μέρα για να προσδιορίσουν τον αριθμό της ημέρας του τρέχοντος έτους, όπου η 1^η Ιανουαρίου ορίζεται ως Ιουλιανή μέρα 001.

Ισημερία (equinox) - η στιγμή κατά την οποία η τροχιά του ήλιου διαπερνά το επίπεδο του ισημερινού της γης ή αλλιώς, όταν η ηλιακή απόκλιση είναι 0°. Στο βόρειο ημισφαίριο, η εαρινή ισημερία, η οποία συμβαίνει γύρω στις 21 Μαρτίου, σηματοδοτεί την έναρξη της άνοιξης. Η φθινοπωρινή ισημερία, περίπου στις 22 Σεπτεμβρίου, σηματοδοτεί την έναρξη του φθινοπώρου.

Κ

Λ

Μ

Μακροκυματική ακτινοβολία (long wave radiation) - άλλη ονομασία για την υπέρυθρη ακτινοβολία. Βρίσκεται μεταξύ των μηκών κύματος 4 και 100 στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Μεσημβρινός (meridian) - μια φανταστική γραμμή γεωγραφικού μήκους, η οποία εκτείνεται στην επιφάνεια της γης από το βόρειο μέχρι το νότιο πόλο.

Μετρημένες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας (Solar radiation quantities measured) - Η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από την επιφάνεια της γης μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικές συνιστώσες: την άμεση ηλιακή ενέργεια και τη διάχυτη ηλιακή ενέργεια. Η άμεση ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της γης με τις ακτίνες του ηλίου. Η ακτίνα του ηλίου είναι αρκετά έντονη και για αυτό το λόγο περιγράφεται ως ακτινοβολία που προκαλεί σκίαση.

Η διάχυτη ηλιακή ενέργεια είναι αποτέλεσμα της ατμόσφαιρας, η οποία εξασθενεί ή μειώνει την ένταση της ηλιακής ακτίνας. Μέρος της ενέργειας που αφαιρείται από την ακτίνα ανακατευθύνεται ή διασκορπίζεται στο έδαφος - η ποσότητα της ενέργειας αυτής που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια ανά δευτερόλεπτο ονομάζεται διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

Η εναπομένουσα ενέργεια από την ακτίνα είτε διασκορπίζεται πίσω στο διάστημα, είτε απορροφάτε από την ατμόσφαιρα. Η απορρόφηση συμβαίνει μόνο σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, για παράδειγμα, η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία (UVB) απορροφάται από το στρατοσφαιρικό όζον. Η διάχυση συμβαίνει σε όλα τα μήκη κύματος και για αυτό το λόγο ο μηχανισμός με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια διασκορπίζεται από τα σταγονίδια νερού και τα μόρια πάγου δημιουργεί τις εντυπωσιακές δορυφορικές εικόνες των σύννεφων. Ο συνδυασμός των δύο ειδών ηλιακής ενέργειας που προσπίπτουν σε ένα οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης αναφέρεται ως ολική ηλιακή ενέργεια και οι τρεις ποσότητες μαζί (ιδιαίτερα η ένταση ή η ακτινοβολία τους) συνδέονται μαθηματικά με την ακόλουθη σχέση:

$$E_g = E_d + E_b \cos z$$

όπου: E_g = ολική ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια, E_d = διάχυτη ακτινοβολία, E_b = άμεση ακτινοβολία σε μια επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση της ακτίνας, z = ζενιθιακή γωνία του ήλιου.

Αν μετρηθούν οι τρεις συνιστώσες ξεχωριστά, μπορεί να γίνει έλεγχος από την παραπάνω σχέση συγκρίνοντας τη μετρημένη ποσότητα με αυτή που προκύπτει από τον υπολογισμό με τις άλλες δύο.

Μήκος κύματος (wavelength) - το μήκος μεταξύ δύο αιχμών ή ελάχιστων ενός κύματος. Στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία το μήκος κύματος ορίζει

το χρώμα του φωτός, αν αυτό είναι ορατό ή τον τύπο της ακτινοβολίας (υπέρουθρη, υπεριώδης κλπ.), αν είναι έξω από την ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μαθηματικά, το μήκος κύματος πολλαπλασιασμένο με τη συχνότητα της ακτινοβολίας (μετρημένη σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή σε Hertz) ισούται με την ταχύτητα του φωτός.

Μονάδες μέτρησης ακτινοβολίας (Radiation units) - Οι ποσότητες ακτινοβολίας συνήθως εκφράζονται σε όρους είτε ακτινοβολίας, είτε έκθεσης στην ακτινοβολία. Η ακτινοβολία είναι ένα μέτρο της ποσότητας της ενέργειας που λαμβάνεται ανά μονάδα επιφάνειας και έχει μονάδες Watts ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m^2), όπου 1 Watt (W) ισούται με 1 Joule (J) ανά δευτερόλεπτο. Η έκθεση στην ακτινοβολία είναι το χρονικό άθροισμα της ακτινοβολίας. Έτσι 2 λεπτό έκθεσης στην ακτινοβολία είναι ένα μέτρο της ενέργειας που ελήφθη ανά τετραγωνικό μέτρο για την περίοδο ενός λεπτού. Συνεπώς ενός λεπτού έκθεση στην ακτινοβολία = μέση ακτινοβολία (W/m^2) \times 60(s), και έχει μονάδες joule(s) ανά τετραγωνικό μέτρο (J/m^2). Έκθεση στην ακτινοβολία μισής ώρας θα είναι το άθροισμα 30 μονόμεπτων (ή 1800 ενός δευτερολέπτου) εκθέσεων στην ακτινοβολία. Για παράδειγμα: μέση ακτινοβολία $500 W/m^2$ για ένα λεπτό έχει ως αποτέλεσμα έκθεση στην ακτινοβολία $30,000 J/m^2$ ή $30 kJ/m^2$. Αν η ακτινοβολία αθροισθεί στο χρόνο προκύπτει μια τιμή ακτινοβολίας (D) και δίνεται σε Wh/m^2 ($1Wh = 3600J$).

N

Ξ

O

Ολική ηλιακή ακτινοβολία (Global solar irradiance) - ένα μέτρο της ποσότητας της συνολικής εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας (άμεσης και διάχυτης) σε ένα οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης. Ένας πυρανομετρικός αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση αυτής της ποσότητας, με περιορισμένη ακρίβεια. Πιο ακριβής μέτρηση επιτυγχάνεται με το άθροισμα της διάχυτης και της οριζόντιας συνιστώσας της άμεσης ακτινοβολίας.

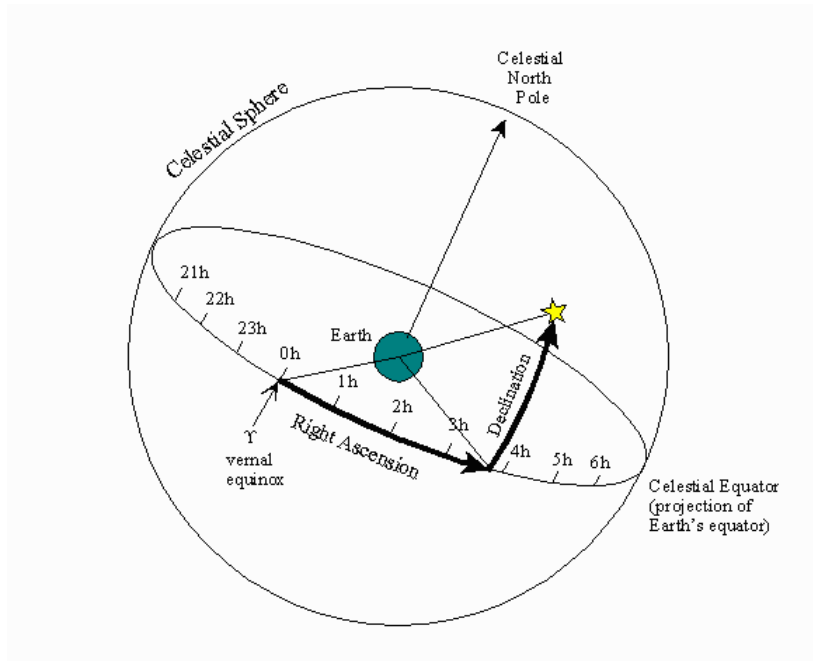
Ολική ηλιακή έκθεση (Global solar exposure) - το σύνολο της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Η ημερήσια ολική ηλιακή έκθεση είναι το σύνολο της ηλιακής ενέργειας για μια ημέρα. Τυπικές

τιμές για την ημερήσια ολική ηλιακή έκθεση κυμαίνονται από 1 μέχρι 35 MJ/m² (megajoules per square metre). Οι τιμές είναι συνήθως υψηλότερες σε συνθήκες καθαρού ουρανού κατά το καλοκαίρι και χαμηλότερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα ή τις πολύ συννεφιασμένες ημέρες.

Ορατό φως (visible light) - η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είναι ορατή από το ανθρώπινο μάτι. Περιλαμβάνει τα μήκη κύματος από 390 έως 780 νανόμετρα. Το ορατό φως περιέχει όλα τα χρώματα που εμφανίζονται στο ουράνιο τόξο: ιώδες, λουλακί, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο. Είναι επίσης γνωστό ως μικροκυματική ακτινοβολία, γιατί έχει μήκη κύματος μικρότερα από τη μακροκυματική (υπέρυθρη) ακτινοβολία.

Ορθή ανύψωση (right ascension) - μαζί με την απόκλιση ένα μέσο προσδιορισμού της θέσης των αντικειμένων στο διάστημα, αναφερόμενο σε ένα δεδομένο σημείο. Παρομοίως με το γωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται για τον ορισμό του γεωγραφικού μήκους και του γεωγραφικού πλάτους στην επιφάνεια της γης, η ορθή ανύψωση είναι ανάλογη με το γεωγραφικό μήκος, και ορίζει τη γωνιακή απόσταση από το μεσημβρινό της εαρινής ισημερίας.

Ουράνια σφαίρα (celestial sphere) - μια φανταστική σφαιρική «κινούμενη οθόνη» πάνω στην οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι προβάλλονται όλα τα αστέρια, οι πλανήτες και τα άλλα σώματα του διαστήματος. Οι συντεταγμένες στην ουράνια σφαίρα ορίζονται σε μοίρες απόκλισης και ορθής ανύψωσης, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και μήκος στην επιφάνεια της γης.



Π

Παγκόσμια ώρα (Universal Coordinated Time) - η παγκόσμια ώρα βασίζεται στην ατομική ωρολογιακή ώρα, με προστιθέμενα δευτερόλεπτα όταν χρειάζεται για να ταιριάζει με το χρόνο κίνησης της γης.

Πρώτος μεσημβρινός (prime meridian) - η φανταστική γραμμή γεωγραφικού μήκους, η οποία εκτείνεται από το βόρειο μέχρι το νότιο πόλο μέσω του *Greenwich*, Αγγλία. Ο πρώτος μεσημβρινός ορίζεται σαν γεωγραφικό μήκος 0° και είναι το σημείο για το οποίο ορίζεται η παγκόσμια ώρα.

Ρ

Σ

Τ

Υ

Υπεριώδης (ultraviolet) - η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που βρίσκεται πίσω από ορατό και ακριβώς μετά το ιώδες. Στην επιστημονική κοινότητα ορίζεται ως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 200 και 390 νανόμετρα.

Ϟ

Φαινομενική ανατολή/δύση (apparent sunrise/sunset) - Λόγω της ατμοσφαιρικής διάθλασης η ανατολή συμβαίνει λίγο πριν ο ήλιος περάσει πάνω από τον ορίζοντα. Το φως του ηλίου κάμπτεται ή διαθλάται καθώς εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης. Αυτό το φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα η φαινομενική ανατολή να συμβαίνει νωρίτερα από την πραγματική ανατολή. Παρομοίως, η φαινομενική δύση συμβαίνει λίγο πιο αργά από την πραγματική δύση. Εξαιτίας αλλαγών στην ατμοσφαιρική πίεση, τη σχετική υγρασία και άλλες μεταβλητές, δεν μπορούν να προβλεφθούν οι ακριβείς επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής διάθλασης στην ώρα ανατολής και δύσης του ηλίου. Αυτό το σφάλμα αυξάνει στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη (κοντά στους πόλους).

Χ

Ψ

Ω

Ώρες ηλιοφάνειας (Sunshine duration) - το σύνολο όλων των περιόδων κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τις οποίες η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ξεπερνά τα 120 W/m^2 .
