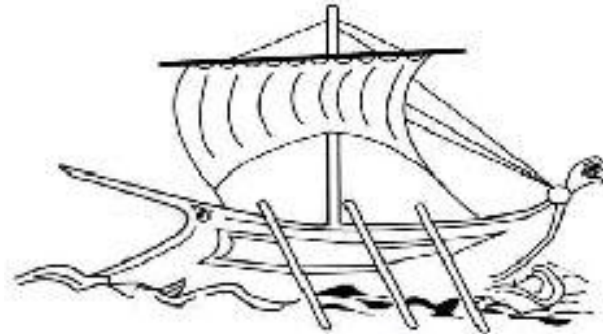


Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

Πτυχιακή Εργασία

**«Συλλογή και αξιολόγηση διαθέσιμων μετρήσεων
ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα»**

Υπεύθυνη Φοιτήτρια:

- **Φίκα Μαρία Α.Μ. 38864**

Υπεύθυνος Καθηγητής:

- **Καβαδιάς Κοσμάς**

Αθήνα, 2016

Περιεχόμενα:

Περίληψη.....	2
Summary.....	3
1.Ηλιακή ακτινοβολία	
1.1 Ο ήλιος.....	4
1.1.2 Τα χαρακτηριστικά του ήλιου.....	5
1.1.3 Σύσταση του ήλιου.....	7
1.1.4 Δομή του ήλιου.....	7
1.2 Ηλιακή ενέργεια και ακτινοβολία.....	9
1.3 Βασικές έννοιες της ηλιακής ακτινοβολίας.....	10
1.4 Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας.....	10
2.Όργανα μέτρησης	
2.1 Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας.....	12
2.2 Τυποποίηση οργάνων – ISO 9060.....	14
2.3 Κατασκευή οργάνων και διάθεσή τους στην αγορά.....	15
2.4 Πυρανόμετρο SMP 10.....	16
3.Μεθοδολογία	
3.1 Αναζήτηση μετεωρολογικών στοιχείων.....	18
3.2 Ημερήσια διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας.....	25
3.3 Διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας για μια εβδομάδα.....	27
3.4 Μηνιαία διακύμανση ηλιακής ενέργειας.....	30
4.Χωρική κατανομή ηλιακής ενέργειας	
4.1 Εισαγωγή.....	34
4.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S).....	34
4.3 ArcMap.....	35
4.4 Εργαλεία Γεωστατικής Ανάλυσης (Geostatistical Analyst Tools).....	35
4.5 Παρεμβολή (Interpolation).....	36
4.5.1 Inverse Distance Weighted (IDW).....	37
4.5.2 Empirical Bayesian Kriking (EBK).....	41
4.5.3 Global Polynomial Interpolation (GPI).....	45
4.5.4 Local Polynomial Interpolation (LPI).....	49
5.Σχόλια-Συμπεράσματα.....	53
Βιβλιογραφία.....	56

Περίληψη

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η συλλογή μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας από μετεωρολογικούς σταθμούς σε όλη την Ελλάδα και η μετέπειτα επεξεργασία και χρήση τους για την δημιουργία ηλιακών χαρτών οι οποίοι θα απεικονίζουν την ένταση της ακτινοβολίας και πως αυτή κατανέμεται σε όλη την Ελλάδα.

Η συλλογή των μετρήσεων που χρησιμοποιούμε έγινε τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο 2015. Οι μετρήσεις λαμβάνονται ανά 5', 10' και 30' καθημερινά από τις 6:20π.μ - 21:00μ.μ, δηλαδή κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου και έχουμε ηλιακή ακτινοβολία. Αφού ολοκληρώνεται η συλλογή των μετρήσεων, τις τοποθετούμε σε πίνακες excel ανά μήνα και ξεκινάει η επεξεργασία. Υπολογίζουμε για κάθε ημέρα του μήνα τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε σταθμό και τη μηνιαία ηλιακή ενέργεια σε κάθε σταθμό. Δημιουργούμε τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις για να δούμε και γραφικά την σχέση ώρας-ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) και για να παρατηρούμε τυχών ανομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή σφάλματα.

Τέλος, εισάγουμε τις μηνιαίες τιμές της ηλιακής ενέργειας στο πρόγραμμα ArcMap του ArcGIS. Το ArcGIS είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, να αποθηκεύσει, να προσαρμόσει, να αναλύσει και να παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες. Στο ArcMap χρησιμοποιούμε τις γεωγραφικές πληροφορίες των μετεωρολογικών σταθμών και τις μετρήσεις που λάβαμε ώστε να δημιουργήσουμε τους ηλιακούς χάρτες οι οποίοι μας δείχνουν την κατανομή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε όλη την Ελλάδα βάσει των μετρήσεών αυτών.

Summary

The purpose of this bachelor thesis called: collection and evaluation of solar radiation measurements in Greece, is to collect solar radiation measurements from weather stations all over Greece and afterwards elaborate and use them to create solar maps that will reflect the intensity of radiation and how it is distributed all over Greece.

The collection of measurements took place in July and August 2015. We have 5', 10' and 30' measurements everyday from 6:20 am to 21:00 pm. The measurements are taken during the day where we have solar radiation. As soon as the collection of measurements is completed we place them in excel tables per month and begin the processing. For every station we calculate the total everyday solar radiation and the monthly solar energy. We create the corresponding plots to see graphically how hour-solar radiation (W/m^2) are connected and also, notice if there are any errors.

Finally, we insert the monthly solar energy values in ArcMap program, which is a subroutine of ArcGIS. ArcGIS is a digital system capable to involve, save, adapt, analyze and present geographically correlated information. In ArcMap we use the geographical information of the meteorological stations and measurements we collected to create solar maps that show us the distribution and intensity of solar radiation all over Greece.

1. Ηλιακή ακτινοβολία

1.1 Ο ήλιος

Ο ήλιος γεννήθηκε από μια έκρηξη Super Nova, η οποία έκανε τα σωματίδια του ηλίου (He) και του υδρογόνου (H) να αυξήσουν την θερμοκρασία τους. Καθώς το νεφέλωμα κατέρρευσε λόγω της βαρύτητάς του, άρχισε να γυρίζει γρηγορότερα, να πλαταίνει και να παίρνει δισκοειδές σχήμα^[1]. Το μεγαλύτερο μέρος των υλικών του συγκεντρώθηκε κοντά στο κέντρο του και δημιούργησε τον ήλιο ο οποίος είναι αστέρας του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Έχει διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα (109 φορές περισσότερο από τη γη), και η μάζα του (2×10^{30} κιλά) αποτελεί το 99.86% της μάζας του ηλιακού συστήματος. Η φωτεινότητά του είναι τέτοια, ώστε κατά την διάρκεια της ημέρας να μην επιτρέπει, λόγω της έντονης διάχυσης του φωτός, σε άλλα ουράνια σώματα να εμφανίζονται (με εξαίρεση τη Σελήνη και σπανιότερα την Αφροδίτη). Είναι το κοντινότερο άστρο στη γη, σε απόσταση 149,6 εκατομμυρίων χιλιομέτρων. Στην πραγματικότητα είναι ένας κίτρινος αστέρας νάνος που βρίσκεται στην κύρια ακολουθία, με φασματικό τύπο G2V. Ο φασματικός τύπος G2 υποδεικνύει ότι η επιφανειακή του θερμοκρασία είναι περίπου 5.800 βαθμοί Κέλβιν. Ακολουθεί μία τροχιά μέσα στον γαλαξία σε μία απόσταση 25.000 με 28.000 έτη φωτός από το κέντρο του, ολοκληρώνοντας μία περιφορά σε περίπου 226 εκατομμύρια έτη^[2].

1.1.1 Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας

Η ακτινοβόλος ενέργεια του ήλιου προέρχεται από πυρηνικές διεργασίες τήξης κατά τις οποίες ο ήλιος χάνει περίπου 4.3 εκατομμύρια τόνους από τη μάζα του κάθε ένα δευτερόλεπτο. Αυτή η μάζα μετατρέπεται σε ακτινοβόλου ενέργεια. Κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του ήλιου εκπέμπει ακτινοβόλο ισχύ περίπου 63.1 MW, πράγμα που σημαίνει πως ακριβώς από το 1/5 Km² της επιφάνειας του ήλιου το ποσόν ενέργειας που εκπέμπεται είναι ίσο με το απαιτούμενο παγκόσμιο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών της γης.

Όμως μόνο ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας αυτής φτάνει στην επιφάνεια της γης. Γενικά η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από τον ήλιο. Επειδή η απόσταση της γης από τον ήλιο μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια ενός έτους, η ηλιακή ακτινοβολία εκτός γήινης ατμόσφαιρας επίσης μεταβάλλεται μεταξύ 1325 W/m² και 1420 W/m². Η μέση ετήσια τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι γνωστή σαν ηλιακή σταθερά και ισούται με 1367±2 W/m².

Στον πλανήτη Άρη που απέχει πολύ μεγαλύτερη απόσταση από τον ήλιο από ότι η γη, η ηλιακή ακτινοβολία είναι περίπου 600 W/m², παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των δορυφόρων που έχουν σκοπό να

πλησιάζουν προς αυτό τον πλανήτη και οι οποίοι χρησιμοποιούν φωτοβολταικά συστήματα για την παραγωγή της κατάλληλης ενέργειας για την κίνηση αυτού. Μόνο μια επιφάνεια που είναι κάθετη στις ηλιακές ακτίνες θα καταγράφει τα πιο πάνω επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας. Έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα, που δεν θα υπάρχει η επίδρασή στην ηλιακή ακτινοβολία, η ηλιακή ακτινοβολία έχει μόνο μια συνιστώσα, την άμεση συνιστώσα, δηλαδή οι ακτίνες της ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι πρακτικά παράλληλες. Κάτω από τέτοιες συνθήκες μια επιφάνεια που είναι προσανατολισμένη παράλληλα με της ηλιακές ακτίνες του ήλιου δεν θα δέχεται τις ηλιακές ακτίνες και συνεπώς και την ηλιακή ενέργεια^[3].

1.1.2 Τα χαρακτηριστικά του ήλιου

Ο ήλιος είναι ένας αστέρας της κύριας ακολουθίας με φασματικό τύπο G2 V, έχει δηλαδή μεγαλύτερη μάζα και θερμοκρασία από ένα μέσο αστέρι αλλά σημαντικά μικρότερη από έναν μπλε γίγαντα. Ο χρόνος ζωής ενός αστέρα G2 της κύριας ακολουθίας είναι περίπου 10 δισεκατομμύρια έτη, η ηλικία του ήλιου εκτιμάται στα 5 δισεκατομμύρια. Γύρω του έχουν τις τροχιές τους οι 8 πλανήτες με τους δορυφόρους τους, καθώς και αστεροειδείς και κομήτες: όλα τα σώματα συναποτελούν το ηλιακό σύστημα.

Ο ήλιος είναι σχεδόν σφαιρικός με πεπλάτυνση μόλις 10 χιλιομέτρων. Η πλήρης σφαιρικότητά του εξηγείται από τη βραδεία του περιστροφή. Ο χρόνος όμως αυτός δεν είναι σταθερός σε όλα τα σημεία της επιφάνειάς του. Καθώς ο ήλιος αποτελείται από πλάσμα και δεν είναι στερεός, περιστρέφεται γρηγορότερα στον ισημερινό από ότι στους πόλους του. Αυτή η συμπεριφορά είναι γνωστή ως διαφορική περιστροφή, και προκαλείται με συναγωγή στον ήλιο και την κίνηση μάζας, που οφείλεται στις απότομες διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας από μέσα προς τα έξω από τον πυρήνα. Αυτή η μάζα μεταφέρει ένα μέρος της αριστερόστροφης στροφορμής του ήλιου, όπως φαίνεται από τον βόρειο πόλο της εκλειπτικής, με αποτέλεσμα την ανακατανομή της γωνιακής ταχύτητας. Από την οπτική και τη φασματοσκοπική εξέταση προκύπτει ότι η ηλιακή σφαίρα περιστρέφεται στον άξονά της από δυτικά προς ανατολικά και η περίοδος αυτής της πραγματικής περιστροφής είναι περίπου 25,6 ημέρες στον ισημερινό και 33,5 ημέρες στους πόλους. Ωστόσο, λόγω του συνεχούς μεταβαλλόμενου σημείου θέασης από τη γη καθώς περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο, η φαινομενική περιστροφή του αστέρα στον ισημερινό του είναι περίπου 28 ημέρες. Η φυγόκεντρος επίδραση αυτής της αργής περιστροφής είναι 18 εκατομμύρια φορές πιο αδύναμη από την επιφάνεια βαρύτητα στον ισημερινό του ήλιου. Η παλιρροιακή επίδραση των πλανητών είναι ακόμη πιο αδύναμη, και δεν επηρεάζει σημαντικά το σχήμα του.

Είναι πλούσιος σε βαριά στοιχεία. Η διαμόρφωση του ήλιου μπορεί να έχει προκληθεί από κρουστικά κύματα από έναν ή περισσότερους κοντινούς υπερκαινοφανείς αστέρες. Αυτό προτείνεται από μια μεγάλη αφθονία που υπάρχει σε βαρέα στοιχεία στο ηλιακό σύστημα, όπως ο χρυσός και το ουράνιο. Τα στοιχεία αυτά θα μπορούσαν να έχουν παραχθεί από ενδοεργονικές πυρηνικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια ενός υπερκαινοφανή, ή από μεταστοιχείωση με απορρόφηση νετρονίων μέσα σε ένα τεράστιο δευτέρης γενιάς αστέρα.

Μέγεθος και απόσταση

Φαινόμενη διάμετρος του ήλιου είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την αναφορά του μεγέθους του. Η φαινόμενη διάμετρος μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους: Στις 3 Ιανουαρίου λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή, ίση προς 32' 36'',2 ενώ στις 4 Ιουλίου περιορίζεται στην ελάχιστη τιμή των 31' 32''.

Αυτή η μεταβολή της φαινόμενης διαμέτρου αποδεικνύει ότι η γη δεν περιφέρεται γύρω τον ήλιο σε κυκλική τροχιά αλλά σε ελλειπτική με τρόπο τέτοιο ώστε την 1η Ιανουαρίου η απόσταση γης-ήλιου να λαμβάνει την ελάχιστη τιμή των 147.100.000 km και στις 2 Ιουλίου τη μέγιστη τιμή των 152.100.000 km.

Λαμπρότητα

Μετρήσεις λαμπρότητας του ήλιου έδειξαν ότι αυτός είναι 12×10^{10} φορές λαμπρότερος από αστέρα α' μεγέθους και κατά 23×10^7 φορές λαμπρότερος του φωτός όλων των αστερων μαζί. Γι αυτό άλλωστε κατά την ημέρα τους αποκρύπτει. Τέλος σε σχέση με την Πανσέληνο είναι κατά 56×10^4 φορές λαμπρότερος εκείνης. Ο ήλιος φαίνεται τόσο λαμπρός ακριβώς λόγω της μικρής σχετικά απόστασής του από τη γη, σε σχέση πάντα με τους άλλους αστέρες. Όταν τον παρατηρούμε με τηλεσκόπιο δεν φαίνεται ομοιόμορφα φωτεινός σε όλη την έκταση του δίσκου του, αλλά λαμπρότερος στο κέντρο του και αμυδρότερος στην περιφέρεια του δίσκου. Αυτό μαρτυρεί ότι η ηλιακή σφαίρα περιβάλλεται από ατμόσφαιρα που απορροφά το φως του.

Θερμοκρασία του ήλιου

Η θερμοκρασία στο εσωτερικό υπολογίζεται από $8 \times 10^6 K$ έως $40 \times 10^6 K$ και η πυκνότητα υπολογίζεται να είναι περίπου 100 φορές αυτή του νερού. Αν παρομοιάζαμε τον ήλιο με μέλαν σώμα, θα είχε θερμοκρασία 5777 K και θα ήταν μία πηγή ακτινοβολίας με σχετικά συνεχές φάσμα.

1.1.3 Σύσταση του ήλιου

Ο ήλιος αποτελείται κατά 74% από υδρογόνο, κατά 25% από ήλιο και 1% από άλλα στοιχεία. Το υδρογόνο αποτελεί το κύριο καύσιμο για τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που παράγουν την ενέργεια που ακτινοβολεί, ενώ το ήλιο προέρχεται κυρίως από τα προϊόντα της πυρηνικής σύντηξης του υδρογόνου. Η επιφάνειά του δεν είναι σαφής όπως στους γήινους πλανήτες. Η πυκνότητα των αερίων μειώνεται σε συνάρτηση με την ακτίνα του ήλιου με ένα νόμο αντιστρόφου τετραγώνου. Η ακτίνα του μετριέται από το κέντρο του άστρου έως τη φωτόσφαιρα, έξω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη. Τα άτομα έχουν χάσει τα ηλεκτρόνια τους στο εσωτερικό του λόγω πολύ υψηλής θερμοκρασίας, βρίσκονται δηλαδή ιονισμένα και η κατάσταση της ύλης καλείται πλάσμα. Αυτό έχει ως συνέπεια τα άτομα υπερθερμασμένα να κινούνται με μεγάλες ταχύτητες, να συγκρούονται μεταξύ τους σφοδρά έτσι ώστε δύο άτομα υδρογόνου που ενώνονται να κολλάνε κατά τη σύγκρουση. Αν ακολουθήσουν άλλες δύο συγκρούσεις τότε προστίθενται άλλα δύο άτομα υδρογόνου στο σύνολο φτιάχνοντας έτσι ένα σταθερό άτομο ηλίου. Τα τέσσερα μεμονωμένα άτομα υδρογόνου ζυγίζουν περισσότερο, πριν τη συγχώνευση, από ένα άτομο ηλίου που δημιουργήθηκε με τη συγχώνευση. Η υπόλοιπη μάζα μετατράπηκε σε ενέργεια.

1.1.4 Δομή του ήλιου

Πυρήνας του ήλιου

Ο πυρήνας βρίσκεται στο κέντρο της ηλιακής σφαίρας και έχει διάμετρο περίπου 175.000 km. Υπολογίζεται ότι στην περιοχή του κέντρου του η πυκνότητα της ηλιακής ύλης είναι 70 με 150 φορές μεγαλύτερη του ύδατος ενώ η πίεση φθάνει τις 2×10^{11} atm. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, τα άτομα των στοιχείων βρίσκονται σε ιονισμένη κατάσταση και είναι τόσο συμπιεσμένα, ώστε η ύλη του ηλιακού πυρήνα αν και αεριώδης είναι περισσότερο συνεκτική και από τα στερεά, με αποτέλεσμα η ακτινοβολία των εσωτερικών στρωμάτων του πυρήνα να προκαλεί πίεση στα υπερκείμενα στρώματα. Κατά τη διάρκεια του μεγαλύτερου μέρους της ζωής του ήλιου, η ενέργεια παράγεται από την πυρηνική σύντηξη μέσω μιας σειράς βημάτων που ονομάζεται p-p αλυσίδα (πρωτονίων-πρωτονίων). Αυτή η διαδικασία μετατρέπει το υδρογόνο σε ήλιο.

Ο πυρήνας είναι η μόνη περιοχή στον ήλιο που παράγει σημαντική ποσότητα της θερμικής ενέργειας μέσω της σύντηξης: μέσα στο 24% της ακτίνας του ήλιου, παράγεται το 99% της ισχύος, και στο 30% της ακτίνας, η σύντηξη έχει σταματήσει σχεδόν πλήρως. Το υπόλοιπο του άστρου θερμαίνεται από την ενέργεια που μεταφέρεται προς τα έξω από τον πυρήνα και τα έξω στρώματα. Η ενέργεια που παράγεται από τη σύντηξη του πυρήνα πρέπει στη συνέχεια να ταξιδεύσει μέσω πολλών διαδοχικών στρωμάτων στην ηλιακή φωτόσφαιρα πριν διαφύγει στο

διάστημα. Η παραγωγή ενέργειας από σύντηξη στον πυρήνα θεωρητικά μοντέλα εκτιμούν ότι είναι περίπου $276,5 \text{ watts/m}^3$. Η τεράστια ισχύς του ήλιου δεν οφείλεται στην υψηλή ισχύ της κατ'όγκο, αλλά, αντίθετα, λόγω του μεγάλου μεγέθους του.

Ζώνη ακτινοβολίας

Από περίπου 0,25 σε περίπου 0,7 ηλιακές ακτίνες, το ηλιακό υλικό είναι καυτό και πυκνό αρκετά ώστε η θερμική ακτινοβολία να είναι επαρκής για να μεταφέρει την έντονη θερμότητα του πυρήνα προς τα έξω. Η ζώνη αυτή είναι χωρίς θερμική συναγωγή. Ενώ το υλικό γίνεται ψυχρότερο από 7 σε περίπου 2 εκατομμύρια βαθμούς Κέλβιν με την αύξηση του υψομέτρου, αυτή η διαβάθμιση θερμοκρασίας είναι μικρότερη από την αξία της αδιαβατικής θερμοβαθμίδας και ως εκ τούτου δεν μπορεί να οδηγήσει σε συναγωγή. Η πυκνότητα πέφτει εκατό φορές από τη βάση προς την κορυφή της ζώνης της ακτινοβολίας. Η ζώνη ακτινοβολίας και τη συναγωγή σχηματίζουν ένα στρώμα-μετάβαση, το tachocline (από τις λέξεις ταχύτητα και κλίση). Αυτό είναι μια περιοχή όπου η απότομη αλλαγή καθεστώτος μεταξύ της ακτινοβόλουσας ζώνης με ενιαία περιστροφή και η της ζώνης συναγωγής θερμότητας με διαφορική περιστροφή καταλήγει σε ένα μεγάλο ψαλίδι, μια κατάσταση όπου διαδοχικά οριζόντια στρώματα περνούν το ένα το άλλο. Οι κινήσεις του υγρού που βρέθηκαν στη ζώνη συναγωγής παραπάνω, σιγά-σιγά εξαφανίζονται από την κορυφή του αυτού του στρώματος προς τα κάτω, ταιριάζοντας με τα ήρεμα χαρακτηριστικά της ακτινοβόλουσας ζώνης στο κάτω μέρος. Προς το παρόν, αυτό είναι η υπόθεση ότι ένα μαγνητικό δυναμό σε αυτό το στρώμα δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο του ήλιου.

Ζώνη μεταφοράς

Στο εξωτερικό στρώμα του ήλιου, από την επιφάνειά του μέχρι περίπου τα 200.000 km το ηλιακό πλάσμα δεν είναι αρκετά πυκνό ή αρκετά θερμό ώστε να μεταφερθεί η θερμική ενέργεια από το εσωτερικό προς τα έξω με την ακτινοβολία. Με αποτέλεσμα, η θερμική συναγωγή λαμβάνει χώρα με θερμικές στήλες που μεταφέρουν καυτό υλικό στην επιφάνειά του. Μόλις το υλικό ψυχθεί στην επιφάνεια, κατεβαίνει προς τα κάτω στη βάση της ζώνης συναγωγής, για να λάβει περισσότερη θερμότητα από την κορυφή της ζώνης ακτινοβολίας. Κατά την ορατή επιφάνεια του ήλιου, η θερμοκρασία έχει πέσει σε 5.700 K και η πυκνότητα σε $0,2 \text{ g/m}^3$. Οι θερμικές στήλες στη ζώνη συναγωγής θερμότητας δημιουργούν ένα αποτύπωμα στην επιφάνειά του. Η πολυτάραχη συναγωγή αυτού του εξωτερικού τμήματος του ηλιακού εσωτερικού παράγει βόρειους και νότιους μαγνητικούς πόλους σε όλη την επιφάνεια του ήλιου.

Φωτόσφαιρα

Πάνω ακριβώς από τον ηλιακό πυρήνα υπάρχει στοιβάδα πάχους 400 km η οποία και φθάνει μέχρι την επιφάνεια. Η στοιβάδα αυτή από την οποία και προέρχεται όλη η ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια, δηλαδή η θερμότητα και το φως ονομάστηκε φωτόσφαιρα. Πάνω από τη φωτόσφαιρα το ορατό φως του ήλιου είναι ελεύθερο να διαδοθεί στο διάστημα, και η ενέργεια του ξεφεύγει εντελώς από τον ήλιο. Η αλλαγή της αδιαφάνειας οφείλεται στη μείωση του ποσού των ιόντων υδρογόνου, τα οποία απορροφούν το ορατό φως εύκολα. Αντίστροφα, το ορατό φως που βλέπουμε παράγεται ως ηλεκτρόνια που αντιδρούν με άτομα του υδρογόνου. Η φωτόσφαιρα έχει πάχος μερικά km και είναι λιγότερο αδιαφανής από τον αέρα πάνω στη γη. Το φως του ήλιου έχει περίπου φάσμα μέλανος σώματος, το οποίο δείχνει ότι η θερμοκρασία του είναι περίπου 6.000 K. Η φωτόσφαιρα έχει μια πυκνότητα σωματιδίων γύρω $10^{23}/m^3$.

Ατμόσφαιρα ήλιου

Πάνω από τη φωτόσφαιρα υπάρχει ηλιακή ύλη και μάλιστα σε στρώμα μεγάλου πάχους. Αυτό ονομάζεται ατμόσφαιρα του ήλιου. Η ατμόσφαιρα του ήλιου δεν είναι ορατή, διότι η θερμοκρασία της και κατ'επέκταση η λαμπρότητά της είναι μικρότερη από της φωτόσφαιρας, και τόσο που να αποκρύπτεται από το έντονο διάχυτο φως της ημέρας, όπως ακριβώς αποκρύπτονται και οι αστέρες. Γίνεται όμως ορατή στις ολικές εκλείψεις του ήλιου ως λαμπρός φωτοστέφανος που περιβάλλει τον δίσκο του. Η ηλιακή ατμόσφαιρα διακρίνεται σε δύο επιμέρους στοιβάδες. Η πρώτη εξ αυτών που βρίσκεται αμέσως πάνω από τη φωτόσφαιρα καλείται χρωμόσφαιρα. Το ύψος της φθάνει περί τα 15.000 km, η δε θερμοκρασία της ανέρχεται στους 100.000 K. Πάνω από την χρωμόσφαιρα βρίσκεται το ηλιακό στέμμα του οποίου τα όρια φθάνουν σε απόσταση πέντε ηλιακών ακτινών. Η θερμοκρασία του στέμματος ανέρχεται περίπου στους $1,5 \times 10^6$ βαθμούς^[2].

1.2 Ηλιακή ενέργεια και ακτινοβολία

Ως ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής

ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου^[4]. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ορατή και ημιορατή ακτινοβολία εκπεμπόμενη από τον ήλιο. Οι διάφορες περιοχές περιγράφονται από την εμβέλεια του μήκους κύματός τους στο ευρύ φάσμα από 0.20 μm έως 100.00 μm. Περίπου το 99% της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης περιέχεται στη περιοχή από 0.3 μm έως 3.00 μm. Ακολουθεί μια λίστα των συστατικών της ηλιακής ακτινοβολίας και η κατά προσέγγιση εμβέλεια του μήκους κύματός τους:

- Υπεριώδης: 0.20 μm - 0.39 μm
- Ορατή: 0.39 μm – 0.78 μm
- Ημι-ορατή: 0.78 μm – 4.00 μm
- Υπέρυθρη: 4.00 μm – 100.00 μm^[5]

1.3 Βασικές έννοιες της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διακρίνεται σε άμεση, διάχυτη, και ολική η οποία είναι το άθροισμα των άλλων δύο. Η στιγμιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μετριέται σε W/m^2 .

Άμεση ακτινοβολία: ορίζουμε την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης με ελάχιστη ή χωρίς σκέδαση στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ακτινοβολία: ορίζουμε την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνσή της από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα, και από ανάκλαση στην επιφάνεια της γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ύψος του ήλιου, το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια (δηλαδή το συντελεστή ανάκλασης της επιφάνειας) του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, των σωματιδίων και των αερίων στην ατμόσφαιρα.

Ολική ακτινοβολία: ορίζουμε το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης^[6].

1.4 Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια πηγή ενέργειας για τη γη εδώ και πολλά χρόνια. Θα μπορούσε να πει κανείς πως είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας αφού ο ήλιος υφίσταται για 5 δισεκατομμύρια χρόνια και θα υφίσταται για τουλάχιστον άλλα τόσα. Για μια χώρα σαν την Ελλάδα, με ηλιοφάνεια τις περισσότερες ημέρες του χρόνου ο ήλιος φαντάζει η καλύτερη Α.Π.Ε. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας χωρίζεται σε 3 κατηγορίες: βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα και φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα, στα κτήρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των χώρων τον χειμώνα καθώς και για παροχή

φυσικού φωτισμού. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την προσφέρει στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες: οι ηλιακοί τοίχοι, που έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου, είτε μέσω θυρίδων στον εσωτερικό χώρο. Τα θερμοκήπια, που είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο. Τα ηλιακά αίθρια, που είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια. Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες. Τέλος έχουμε το φωτοβολταϊκό σύστημα που ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται επίσης για: ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών. Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού. Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ. Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού. Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ. Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ[7].

2. Όργανα μέτρησης

2.1 Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας

Ο πιο άμεσος και αποτελεσματικός τρόπος μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι με την χρήση ηλιακών οργάνων. Η συλλογή δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται πιο εύκολη με την επιλογή του κατάλληλου, ανάμεσα σε μια γκάμα οργάνων που απευθύνονται από αρχάριους χρήστες έως επαγγελματική χρήση (μετεωρολογικοί σταθμοί κλπ.)

Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα όργανα είναι τα ακόλουθα.

Το **Πυρηλιόμετρο**, το οποίο μετράει την ένταση της άμεσης ακτινοβολίας σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της γης-ήλιου, δηλαδή μετράει το G_{bn} . Το κύριο χαρακτηριστικό του οργάνου είναι ένας σωλήνας με άνοιγμα στη μια πλευρά του (άνοιγμα περίπου 5 μοιρών, όσο χρειάζεται για να περιορίσει το οπτικό πεδίο στον ηλιακό δίσκο) επιτρέποντας μόνο στην άμεση ακτινοβολία να φθάνει στον αισθητήρα ο οποίος βρίσκεται στη βάση, στο άλλο άκρο του σωλήνα.

Το άνοιγμα του σωλήνα σφραγίζεται με ένα προστατευτικό διαφανές κάλυμμα. Το όργανο τοποθετείται σε μια βάση η οποία περιλαμβάνει ένα μηχανισμό που κινεί το όργανο ώστε συνεχώς να στοχεύει προς τον ήλιο. Ο σωλήνας είναι εσωτερικά βαμμένος μαύρος έτσι ώστε να απορροφάται η τυχόν διάχυτη ακτινοβολία που μπορεί να εισέλθει από το άνοιγμα πριν φθάσει στο αισθητήριο του οργάνου στη βάση του σωλήνα.

Ο αισθητήρας είναι μια θερμοστήλη που αποτελείται από πολλαπλές επαφές (συνδέσεις) από κράματα χαλκού-νικελίου και μαγγανίνη. Όταν οι επαφές είναι σε διαφορετικές θερμοκρασίες, δηλαδή θερμές επαφές εξ' αιτίας της απορρόφησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας από τις μεταλλικές επιφάνειες του αισθητήρα και ψυχρές επιφάνειες που βρίσκονται απομονωμένες, αναπτύσσεται μια ηλεκτρομαγνητική δύναμη που είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς και εξαρτάται από το είδος του μετάλλου. Η έξοδος του οργάνου είναι διαφορά δυναμικού της τάξης των mV, έτσι ώστε αφού το όργανο έχει κατάλληλα βαθμονομηθεί, το ηλεκτρικό σήμα του οργάνου μπορεί να μετατραπεί σε ένταση της μετρούμενης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι οργάνων που κυκλοφορούν στην αγορά είναι το πυρηλιόμετρο Erpley κάθετης πρόσπτωσης, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως στη βόρεια Αμερική και το ακτινόμετρο Kipp και Zonen, που χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη, Αφρική και Ασία.

Το **Πυρανόμετρο** είναι το όργανο που μετράει την ολική (άμεση και διάχυτη) και διάχυτη (με μικρές παρεμβάσεις) ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια.

Ανάλογα με την τοποθέτηση του οργάνου (κλίση και προσανατολισμό) γίνεται και η αντίστοιχη μέτρηση της ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο συγκεκριμένο πεδίο.

Ένα πυρανόμετρο με σύστημα σκίασης (στεφάνη ή δίσκο) χρησιμοποιείται επίσης για τη μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας από τον ουρανό, αφού με τη σκίαση του αισθητήρα αποκόπτεται η άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Ανάλογα με την τοποθέτηση του πυρανομέτρου (κλίση και προσανατολισμό) γίνεται και η αντίστοιχη μέτρηση της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο συγκεκριμένο επίπεδο. Η στεφάνη πρέπει περιοδικά να ρυθμίζεται αφού αλλάζει το ηλιακό ύψος.

Ο αισθητήρας του πυρανομέτρου έχει οπτικό πεδίο 180°. Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων είναι παρόμοια με αυτή του πυρηλιόμετρου, μόνο που στην περίπτωση του πυρανόμετρου το όργανο καταγράφει την ένταση της ολικής ή διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον αισθητήρα του οργάνου.

Η επιφάνεια του αισθητήρα καλύπτεται με δυο ομόκεντρους διαφανείς θόλους, για να προστατεύεται από τις εξωτερικές συνθήκες (π.χ. άνεμο) και να μην επηρεάζεται η θερμική του απόκριση. Μεταξύ δυο θόλων υπάρχει κενό έτσι ώστε να μειώνονται ακόμη περισσότερο οι θερμικές απώλειες του αισθητήρα.

Υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές πυρανόμετρων. Τα πιο διαδεδομένα είναι τα φασματικά πυρανόμετρα ακριβείας που κατασκευάζονται από τα εργαστήρια Erppley στις Η.Π.Α. τα Kirr και Zonen που κατασκευάζονται στην Ολλανδία και του χαμηλότερου κόστους Li-Cor φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα (αισθητήρας από φωτοβολταϊκό στοιχείο) τα οποία έχουν πιο άμεση απόκριση σε μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά μικρότερη ακρίβεια στις μετρήσεις^[6].

Το **Ακτινόμετρο** είναι όργανο που προσδιορίζει την άμεση, την διάχυτη και την ολική ακτινοβολία του ήλιου. Τα κύρια μέρη των ακτινομέτρων είναι ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος, το οποίο αποτελεί και τον αισθητήρα του οργάνου, και ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο με το οποίο συνδέεται αυτό το ζεύγος. Το ακτινόμετρο που μετρά την άμεση ακτινοβολία επειδή σκοπεύει τον ήλιο ονομάζεται και πυρηλιόμετρο. Για τη μέτρηση της ολικής ακτινοβολίας του ήλιου χρησιμοποιείται ακτινόμετρο του οποίου το θερμοηλεκτρικό στοιχείο είναι επίπεδο και οριζόντια (προς το έδαφος) και φέρεται εντός γυάλινης σφαίρας (για την προστασία από ανέμους)^[8].

2.2 Τυποποίηση οργάνων – ISO 9060

Ο ISO (International Organization for Standardization, Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης στην Ελλάδα) είναι μια παγκόσμια ομοσπονδία των εθνικών φορέων τυποποίησης. Το έργο για την προετοιμασία των διεθνών προτύπων κανονικά διεξάγεται απ τις τεχνικές επιτροπές της ISO. Κάθε οργανισμός-μέλος που ενδιαφέρεται για ένα θέμα που έχει καθιερώσει η τεχνική επιτροπή έχει το δικαίωμα να εκπροσωπείται στην επιτροπή. Διεθνής οργανισμοί κυβερνητικοί και μη σε συνεργασία με τον ISO λαμβάνουν επίσης μέρος στη δουλειά του. Ο ISO συνεργάζεται στενά με την Διεθνή Ηλεκτρονική Επιτροπή (I.E.C.) για όλα τα θέματα της ηλεκτρονική τυποποίησης. Για να δημοσιευτεί ένα πρότυπο ως διεθνές απαιτεί έγκριση ψήφου από τουλάχιστον το 75% των μελών-φορέων.

Το διεθνές πρότυπο **ISO 9060** δημιουργήθηκε από την τεχνική επιτροπή ISO/T.C. 180 και αφορά την ηλιακή ενέργεια. Το διεθνές αυτό πρότυπο είναι το ένα, από μια σειρά προτύπων που καθορίζουν μεθόδους και μέσα για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας υποστηρίζοντας την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Ακριβή δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται στη Μετεωρολογία οπότε είναι απαραίτητη η ανάπτυξη συσκευών ηλιακής ενέργειας, ιδίως για τον έλεγχο της απόδοσης, συσκευές προσομοίωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και για την αξιολόγηση των πόρων. Οι προδιαγραφές και η κατάταξη των οργάνων αυτών είναι αναγκαίες για να καταστεί δυνατή η σύγκριση των δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας σε παγκόσμια βάση. Οι προδιαγραφές και η κατάταξη των ηλιακών οργάνων που προβλέπονται στο παρόν διεθνές πρότυπο βασίζονται σε μια ορολογία και μεθοδολογία παρόμοιες αυτής που χρησιμοποιείται στον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (W.M.O.). Ωστόσο τόσο οι προδιαγραφές όσο και η κατάταξη αποκλίνουν από τα έγγραφα του Π.Μ.Ο (W.M.O.) προκειμένου να καλυφθούν οι ειδικές απαιτήσεις για την χρήση των συσκευών της ηλιακής ενέργειας. Ειδικότερα αυτό το διεθνές πρότυπο καθορίζει τους κανονισμούς που απαιτούνται για την εκτέλεση της κατάταξης.

Το διεθνές αυτό πρότυπο καθιερώνει μια κατάταξη και προδιαγραφές των οργάνων για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής και άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε φασματικό εύρος από 0,3μm έως 3μm. Τα όργανα για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής και άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας κατατάσσονται σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από δοκιμές απόδοσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Τα πρωταρχικά πρότυπα, δηλαδή για όργανα που μετρούν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, κατατάσσονται βάση του σχεδιασμού των οργάνων και οι προδιαγραφές τους είναι βάση της επανάληψης των μετρήσεων σε δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί σε εξωτερικές συνθήκες^[9].

2.3 Κατασκευή οργάνων και διάθεσή τους στη αγορά

Η κατασκευή οργάνων μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται αποκλειστικά στο εξωτερικό. Τα πιο διαδεδομένα όργανα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας είναι αυτά των εταιριών Erppley και Kirpp & Zonen. Με πολύ εξελιγμένα όργανα και πολυετή εμπειρία θεωρούνται από τις καλύτερες εταιρίες στην κατασκευή ηλιακών οργάνων.

Η Erppley Laboratory Inc. εδρεύει στις Η.Π.Α. στο Newport Rhode Island το οποίο βρίσκεται δίπλα στο Connecticut και δημιουργεί όργανα για μετρήσεις ακριβείας από το 1917. Το τμήμα μετεωρολογίας φτιάχνει πυρανόμετρα, πυρηλιόμετρα, και πυργιόμετρα που μετρούν την ηλιακή και γήινη ακτινοβολία. Πολλές μετεωρολογικές υπηρεσίες χρησιμοποιούν τα όργανα της Erppley ως πρότυπα για ραδιομετρικές μετρήσεις. Το '30 με '40 η Erppley άρχισε να προμηθεύει όργανα για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας και κατά τη δεκαετία του '60 το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πυρανόμετρο για τη μέτρηση της (παγκόσμιας) ηλιακής ακτινοβολίας ήταν το Erppley 180° "light blub" πυρανόμετρο. Κατά τα τέλη του '60 με αρχές '70 η Erppley ξεκίνησε να παράγει βελτιωμένα ηλιακά όργανα βασισμένα στο wire wound thermopiles που χρησιμοποιείται έως και σήμερα. Τη δεκαετία του '80 η Erppley συμπεριελήφθη σε πολλές αποστολές δορυφόρων, με σκοπό να καθορίσει την ηλιακή σταθερά έξω από την ατμόσφαιρα της γης το οποίο στη συνέχεια οδήγησε στο να αναπτυχτεί η AHF Cavity Radiometer System, πρωτεύον σύστημα που είναι το κορυφαίο μέσο για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σήμερα το Standard Cell Division πλέον δεν υπάρχει αφού διαλύθηκε στις αρχές του '90 λόγω του χαμηλού μεριδίου αγοράς και τους κανονισμούς της κυβέρνησης αλλά η Erppley συνεχίζει να είναι ένας παγκόσμιος ηγέτης στη κατασκευή, βαθμονόμηση και στις πωλήσεις οργάνων ηλιακής μέτρησης. Η Erppley εφοδιάζει με τα προϊόντα της την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία στις Η.Π.Α. και σε χώρες σε όλο τον κόσμο με σκοπούς : τη συλλογή δεδομένων για τον καθορισμό μακροπρόθεσμων μετεωρολογικών αλλαγών, παρέχει μετεωρολογικά όργανα για δορυφόρους και επιστημονικές μελέτες. Πελάτες της Erppley είναι: η Υπηρεσία (Υπουργείο) Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA), το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. (U.S.DOE) και το εθνικό εργαστήριο Α.Π.Ε (NREL). Ακόμη, συνεργάζεται με κολλέγια και πανεπιστήμια που έχουν προγράμματα που αφορούν τον καιρό άλλα και τις ατμοσφαιρικές επιστήμες^[10].

Μια επίσης μεγάλη εταιρία είναι η Kirpp & Zonen. Τα κεντρικά της γραφεία είναι στο Delft (ανάμεσα στη Χάγη και το Ρότερνταμ) της Ολλανδίας ενώ έχει γραφεία πωλήσεων στη Γαλλία, στις Η.Π.Α., και τη Σιγκαπούρη. Παράγει κορυφαία εργαλεία για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας και των ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων στη Μετεωρολογία, Κλιματολογία, Υδρολογία, Βιομηχανία, Α.Π.Ε., Γεωργία και στη

Δημόσια Υγεία. Ειδικεύεται στη μέτρηση της ηλιακής και ουράνιας ακτινοβολίας από την υπεριώδη έως και την υπέρυθρη ακτινοβολία. Προσφέρει μια πλήρη γκάμα οργάνων υψηλής ποιότητας και αξεσουάρ από οικονομικά αλλά αξιόπιστα προϊόντα μέχρι προϊόντα με την καλύτερη διαθέσιμη απόδοση. Π.χ. Τα πυρανόμετρα τους χρησιμοποιούνται σε μετεωρολογικά δίκτυα σε όλον τον κόσμο. Επιπλέον η εμπειρία τους αλλά και οι στενοί δεσμοί τους με την επιστημονική κοινότητα έχουν οδηγήσει σε λύσεις για τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων όπως το ατμοσφαιρικό όζον, UV φάσματα και την εξατμισοδιαπνοή. Η αποστολή τους είναι να ικανοποιήσουν τη θεμελιώδη ανάγκη για την παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, την κλασική μετεωρολογία, τη γεωργία, τις Α.Π.Ε. και τον διαθέσιμο προϋπολογισμό του νερού. Το διεθνές δίκτυο διανομής τους παρέχει πωλήσεις και εξυπηρέτηση σε πάνω από 40 χώρες^[11].

2.4 Πυρανόμετρο SMP10

Διασύνδεση

Το πυρανόμετρο SMP10 πληροί τις προδιαγραφές Δευτεροβάθμιου Προτύπου βάση του προτύπου ISO 9060:1990. Έχει την καλύτερη σχέση ποιότητας-τιμής-απόδοσης στην αγορά και είναι εξοπλισμένο με ένα έξυπνο περιβάλλον εργασίας.

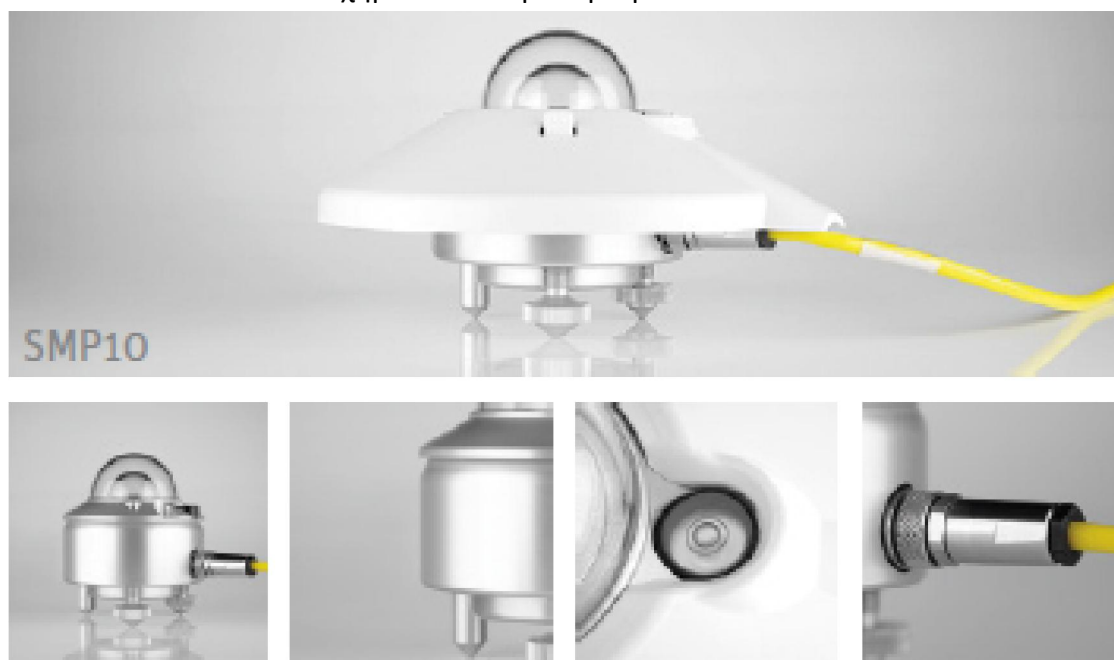
Υπάρχουν δυο εκδοχές, η μια έχει αναλογική έξοδο από 0-1 V ενώ η άλλη 0-4 mA. Και οι δυο έχουν μια διεπαφή RS-485 δυο αγωγών που ακολουθούντο πρωτόκολλο Modbus (ένα πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας για τη χρήση προγραμματισμένων λογικών ελεγκτών PLCs) . Όλες οι έξοδοι προστατεύονται από βραχυκυκλώματα και από αναστροφή της πολικότητας. Οι αναλογικές έξοδοι επιτρέπουν την εύκολη σύνδεση με σχεδόν οποιονδήποτε καταγραφέα δεδομένων. Ο χρήστης έχει διαθέσιμα τα δεδομένα και τις μετρήσεις αλλά έχει και πρόσβαση στις ρυθμίσεις του οργάνου, το ιστορικό βαθμονόμησης καθώς και στις πληροφορίες για την κατάσταση του οργάνου. Ένα βαθμονομημένο όργανο διατηρεί την ίδια εμβέλεια μετρήσεων στο αναλογικό αλλά και στο ψηφιακό σύστημα. Το πυρανόμετρο SMP10 μπορεί να λειτουργεί με 5V έως 30V DC και να έχει αντίστροφη πολικότητα και προστασία από υπέρ-τάση του ηλεκτρικού ρεύματος. Οι προδιαγραφές του SMP 10 βρίσκονται στον πίνακα I.

Συναρμολόγηση ενός συστήματος

Οι δυνατότητες του πυρανόμετρου μπορούν να επεκταθούν μέσα από μια ευρεία γκάμα συμβατών προϊόντων και αξεσουάρ συμπεριλαμβανομένων: βάση, μονάδα εξαερισμού, ρυθμιζόμενη κλίση, κιτ τοποθέτησης δακτυλίου, ιχνηλάτης και καταγραφέας δεδομένων.

Στο Σχήμα 1 που ακολουθεί απεικονίζεται το πυρανόμετρο SMP10 καθώς και κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Σχήμα 1: Το πυρανόμετρο SMP10



Πίνακας Ι: Προδιαγραφές του πυρανόμετρου SMP10

Προδιαγραφές	
Ταξινόμηση βάση ISO 9060:1990	Δευτεροβάθμιο Πρότυπο
Φασματική περιοχή	285nm έως 2800nm
Αναλογική Έξοδος (V- έκδοση, τάση)	0V έως 1V
Φάσμα Αναλογικής Εξόδου	-200 W/m^2 έως 2000 W/m^2
Αναλογική Έξοδος (A- έκδοση, ρεύμα)	4 A έως 20 A
Φάσμα Αναλογικής Εξόδου	0 W/m^2 έως 1600 W/m^2
Σειριακή Έξοδος	RS – 485 Modbus
Φάσμα Σειριακής Εξόδου	-400 W/m^2 έως 4000 W/m^2
Χρόνος Απόκρισης (63%)	<0.7s
Χρόνος Απόκρισης (95%)	<2s
Μηδενικό offset (αντιστάθμισμα)	
α)Θερμική ακτινοβολία (στα 200 W/m^2)	<7 W/m^2
β)μεταβολή της θερμοκρασίας (5K/h)	<2 W/m^2
Μη σταθερότητα (αλλαγή / έτος)	<0.5 %
Μη γραμμικότητα (100 έως 1000 W/m^2)	<0.2 %
Κατευθυντήρα ανταπόκριση (έως 80° με δέσμη 1000 W/m^2)	<10 W/m^2
Φασματική επιλεκτικότητα(350nm έως 1500nm)	<3 %
Απόκριση θερμοκρασίας	<1 % (-20°C έως 50°C)

	<2 % (-40°C έως 70°C)
Απόκριση Κλίσης (0° έως 90° στα 1000 W/m ²)	<0.2 %
Οπτικό πεδίο	180°
Ακρίβεια	<0.1°
Τάση Τροφοδοσίας	5V έως 30V DC
Κατανάλωση Ενέργειας (στα 12V DC)	- V Version : 55 mW - A Version : 100 mW
Τύπος Ανιχνευτή	Thermopile
Λογισμικό, windows	Έξυπνος αισθητήρας, λογισμικό explorer, για τη διαμόρφωση, δοκιμή και καταγραφή δεδομένων
Εύρος Θερμοκρασίας Λειτουργίας	-40°C έως 80°C
Εύρος Θερμοκρασίας Αποθήκευσης	-40°C έως 80°C
Εύρος Υγρασίας	0 % έως 100 % χωρίς συμπύκνωση
Βαθμός Στεγανότητας	67
Προτεινόμενες Εφαρμογές	Υψηλή απόδοση για πάνελ φωτοβολταϊκών και για δοκιμή θερμικών συλλεκτών, έρευνα για την ηλιακή ενέργεια, για ηλιακή αναζήτηση, για δοκιμή υλικών, σε προηγμένα μετεωρολογικά και κλιματικά δίκτυα ^[12] .

3. Μεθοδολογία

3.1 Αναζήτηση μετεωρολογικών στοιχείων

Βασική προϋπόθεση για να ξεκινήσει η εργασία και να είμαστε σίγουροι πως θα ολοκληρωθεί ήταν να βρεθούν μετεωρολογικοί σταθμοί οι οποίοι παρέχουν τα μετεωρολογικά τους δεδομένα ελεύθερα στο διαδίκτυο. Έτσι ξεκίνησε η αναζήτηση μετεωρολογικών σταθμών σε όλη την Ελλάδα. Όταν τελείωσε η αναζήτηση, και κατέληξα στους σταθμούς που θα χρησιμοποιήσω τους συγκέντρωσα σε έναν πίνακα που απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Έπειτα ορίσαμε την περίοδο που θα γινόταν η συλλογή των μετρήσεων. Η συλλογή των μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας έγινε τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο 2015 κατά τη διάρκεια της ημέρας από τις 6:20 έως τις 21:00. Μόλις ολοκληρώθηκε η συλλογή, οι μετρήσεις τοποθετήθηκαν ανά σταθμό και μήνα σε υπολογιστικά φύλλα excel. Το Σχήμα 2 δείχνει τη μορφή των πινάκων για Ιούλιο και Αύγουστο. Στο Σχήμα 3 φαίνεται η μορφή που παρέχονται τα μετεωρολογικά στοιχεία στην ιστοσελίδα του κάθε μετεωρολογικού σταθμού και στο Σχήμα 4 βλέπουμε πως ταξινομούνται σε πίνακα. Η απεικόνιση και η ταξινόμηση γίνονται με τον ίδιο τρόπο σε όλους τους σταθμούς.

Σχήμα 1: Μετεωρολογικοί σταθμοί σε όλη την Ελλάδα οι οποίοι παρέχουν ελεύθερα τα δεδομένα τους στο διαδίκτυο

Σταθμός	Ιδιοκτησία	Γ. Πλάτος	Γ. Μήκος	Υψόμετρο	Καταγραφή Μετρήσεων	Μετρούμενο Μέγεθος
Αγρίνιο	Ε.Α.Α	38,36	21,24	72m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Αλεξανδρούπολη	Ε.Α.Α	40,54	25,54	47 m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Αμύνταιο	Ε.Α.Α	40,36	21,42	654 m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Άνδρος	Λεωνίδα Αντ. Πιάγκος σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	37,54	24,42	16m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Εκάλη/Καστρί Αττικής	Κωνσταντίνος Μπάκαλος σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	38,05	23,49	357m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Ηγουμενίσα, Μαυρούδι	Ε.Α.Α	39,32	20,16	77m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Θεολόγος Φθιώτιδας	Γιώργος Λεβογιάννης συνεργασία με Ε.Α.Α.	38,24	23	30m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Ιεράπετρα	Ε.Α.Α	35	25,42	15m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Κάτω Βλασία Αχαΐα	Γιώργος Σακελλαρόπουλος σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	38	21,55	773m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Κατάκολο Ηλείας	Λιμενικό Ταμείο Κατακόλου σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	37,38	21,19	2m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Κικλίσ	Ε.Α.Α	41	22,3	290m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Κομπότι Άρτας	ΤΕΙ Ηπείρου, ΣΤΕΓ - Τμήμα Ανθοκομίας - Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Εργαστήριο "Αρδεύσεις-Στραγγίσεις"	39,1	21,08	75m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Ταξιάρχης Λέσβος	Πανεπιστήμιο Αιγαίου σε συνεργασία με Ι.Ν. Παμμεγίστων Ταξιαρχών και το Ε.Α.Α.	39,12	26,12	140m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Μαρκόπουλο Αττική	Βασίλης Υφαντής σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	37,54	23,54	104m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Νέος Μαρμαράς Χαλκιδική	Πανεπιστήμιο Αιγαίου σε συνεργασία με το Δασαρχείο Πολυγύρου και με το Ε.Α.Α	40,05	23,46	5m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Μέτσοβο	Ε.Μ.Π.- ΔΠΜΣ "Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών" Σε συνεργασία με το ΕΑΑ	39,48	21,12	1240m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Μόλυβος Λέσβος	Περιφέρεια Β. Αιγαίου σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Αιγαίου και το Ε.Α.Α.			290m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Μονεμβασιά	Ε.Α.Α.	36,42	23	4m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Φράγμα Μόρνου	Ε.Α.Α.	38,3	22,06	445m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Νευροκόπι	Ε.Α.Α.	41,18	23,54	585m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Ρόδος	Σεραφείμ Χριστοδούλου σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	36,24	28,12	95m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Σαμαριά(Φαράγγι)	Φ.Ε.Δ.Δ.Σ σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	35,18	24	349m	30'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Σητεία Κρήτη	Ε.Α.Α.	35,12	26,06	30m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Σφακιά Κρήτη	Φ.Ε.Δ.Δ.Σ. σε συνεργασία με Ε.Α.Α.	35,06	23	770m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Βλαχερνά Άρτα	ΤΕΙ Ηπείρου	39,12	20,54	50m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Λάρισα	Ιδιωτικός Σταθμός	39,38	22,25	81m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Κλειδί Βοιωτία	Ε.Α.Α.	38,3	24	221m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Καλαμάτα	Meteoclub	37,02	22,06	38m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Έξω Αγιά - Πάτρα	Ιδιωτικός Σταθμός	38,16	21,45	32m	5'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Παλαιό Φάληρο Αττική	Ιδιωτικός Σταθμός	37,55	23,42	60 m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Αγιά Λάρισα	Ε.Α.Α.	39,42	22,48	167m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Καττάβια Ρόδου	Ε.Α.Α.	35,57	27,46	55m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Φινοκαλιά Κρήτης	Ε.Α.Α.	35,18	25,42	250m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)
Τσίτολη	Ε.Α.Α	37,30	22,25	650m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)

Σχήμα 2: Παράδειγμα υπολογιστικών φύλλων excel για κάθε σταθμό για τους μήνες Ιούλιο -Αύγουστο

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Σταθμός	Ιδιοκτησία	Γ. Πλάτος	Γ. Μήκος	Υψόμετρο	Καταγραφή Μετρήσεων	Μετρούμενο Μέγεθος	Ημερομηνία	ΩΡΑ 6:20	ΩΡΑ 6:30	ΩΡΑ 6:40	ΩΡΑ 6:50	ΩΡΑ 7:00	ΩΡΑ 7:10	ΩΡΑ 7:20
Αγρίνιο	Ε.Α.Α	38,36	21,24	72m	10'	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)	1/7/2015	2	8	14	20	39	61	85
							2/7/2015	3	9	13	18	40	63	87
							3/7/2015	2	9	13	18	38	60	83
							4/7/2015	1	6	12	19	22	28	43
							5/7/2015	2	8	12	18	36	58	80
							6/7/2015	1	8	13	19	34	55	78
							7/7/2015	1	8	16	22	32	55	77
							8/7/2015	2	8	13	20	33	54	75
							9/7/2015	2	9	15	21	36	58	75
							10/7/2015	0	7	13	20	32	49	68
							11/7/2015	0	7	12	19	31	49	70
							12/7/2015	0	7	13	19	31	50	68
							13/7/2015	0	5	11	17	28	49	70
							14/7/2015	0	4	11	17	26	44	62
							15/7/2015	0	4	10	16	26	44	62
							16/7/2015	0	4	10	15	24	44	64
							17/7/2015	0	3	9	15	24	44	62
							18/7/2015	0	3	9	14	22	42	62
							19/7/2015	0	3	9	13	20	44	67
							20/7/2015	0	2	9	14	21	41	60
							21/7/2015	0	2	9	15	23	39	56
							22/7/2015	0	1	8	14	23	37	54
							23/7/2015	0	1	7	11	16	37	59
							24/7/2015	0	0	7	11	17	33	53
							25/7/2015	0	0	6	12	18	32	49
							26/7/2015	0	0	5	11	18	32	49

- Η πρώτη στήλη αναφέρεται στην τοποθεσία του σταθμού. Σε ποια πόλη, επαρχία, χωριό βρίσκεται.
- Η δεύτερη στήλη αναφέρεται στη ιδιοκτησία του σταθμού. Σε ποιόν ανήκει και ποιος τον διαχειρίζεται.
- Στην τρίτη και τέταρτη στήλη έχουμε το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του σταθμού τα οποία δίνονται σε: ...dig ...min. Στην πορεία τα τροποποιούμε σε μοίρες (°) χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα υπολογισμού που παρέχει ελεύθερα στο διαδίκτυο η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού^[13], για να μπορεί να τα διαβάσει το πρόγραμμα και να τοποθετήσει τους σταθμούς στο χάρτη με βάση τις συντεταγμένες x και y.
- Στην πέμπτη στήλη καταγράφουμε το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται ο σταθμός.
- Η έκτη στήλη αναφέρεται στον χρόνο λήψης μετρήσεων, δηλαδή ανά πόσα λεπτά λαμβάνουμε μετρήσεις.
- Στην έβδομη στήλη αναφερόμαστε στο μέγεθος το οποίο καταγράφουμε.
- Η όγδοη στήλη αναφέρεται στην ημερομηνία που γίνεται η καταγραφή.
- Από την ένατη στήλη και μετά ξεκινάνε οι μετρήσεις ξεκινώντας από την πρώτη πρωινή μέτρηση(6:00 ή 6:20 ανάλογα την τοποθεσία του σταθμού), και τελειώνοντας με την τελευταία στις 21:00 το βράδυ.

Σχήμα 3: Μορφή ιστοσελίδας που παρέχει καθημερινά μετεωρολογικά δεδομένα. (Αγρίνιο)




Powered by NIMBUS® v1.27
A Weather Server Developed by
LEONIDAS A. PIAGKOS

[Δίκτυο Σταθμών Ε.Α.Α.](#)
[N.O.A.'s Network](#)

Current Weather in Agrinio
as per 15:21, 03/03/16

Temperature Θερμοκρασία	13.7 °C
Humidity Υγρασία	74 %
Dewpoint Σημείο Δρόσου	9.2 °C
Wind Ανεμος	4.8 Km/h at SbE (169°)
Barometer Βαρόμετρο	1004.5 hPa Falling Slowly
Today's Rain Σημερινός Υετός	0.2 mm
Rain Rate Ραγδαιότητα	0.0 mm/h
Storm Total Τρέχουσα κακοκαιρία	0.0 mm
Monthly Rain Μηνιαίος Υετός	15.8 mm
Yearly Rain Ετήσιος Υετός	235.6 mm
Wind Chill Αίσθηση ψύχους	13.7 °C
UV Level Υπέριβρη Ακτινοβ.	0.0 index
Heat Index Δείκτης δυσφορίας	13.7°C
Solar Radiation Ηλιακή Ακτινοβολία	220 W/m ²
Sunrise Ανατολή	07:04
Sunset Δύση	18:30

Today's Highs/Lows - Μέγιστες/Ελάχιστες

High Temperature	15.9 °C at 13:49
Low Temperature	8.5 °C at 05:57
High Humidity	96 % at 01:24
Low Humidity	57 % at 13:51
High Dew Point	10.6 °C at 10:06
Low Dew Point	7.2 °C at 00:00
High Barometer	1008.6 hPa at 00:00
Low Barometer	1004.5 hPa at 15:20
High Wind Gust	41.8 Km/h at 14:18
High Rain Rate	0.2 mm/h at 15:00
Low Wind Chill	8.3 °C at 05:56
High Heat Index	15.6 °C at 13:48
High Solar Radiation	758 W/m ² at 13:45
High UV Level	0.0 index at n/a

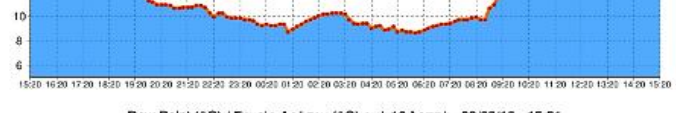
Μετεωρολογικός σταθμός **Αγρινίου** Υψόμε: 72μ.
 Ιδιοκτησία: ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 Φιλοξενία: Πανεπιστήμιο Δυτικής Ελλάδας,
 Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
 Επίβλεψη: Π. Μιχαλακάκου, Ε. Βαρδουλάκης

Low Dewpoint -6.7°C High Wind Speed 74.0 Km/h High Barometer 1034.1 hPa

Weather station of **Agrinio** Elevation: 72m
 Provided by NATIONAL OBSERVATORY OF ATHENS
 Hosted by University of Western Greece,
 Department of Environmental and Natural Resources Management
 Supervised by P. Mihalakakou, E. Vardoulakis

DAVIS VANTAGE PRO2 WIRED FAN-ASPIRATED
 Davis Instruments







Historical Reports
Ιστορικά Στοιχεία

METEO SEARCH
ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Climatological Reports - Κλιματολογικά Στοιχεία

Last 2 Days 2-ήμερη Κατονομαγή	Current Month Τρέχων Μήνας	Previous Month Προηγούμενος Μήνας	Current Year Τρέχον Έτος	Previous Year Προηγούμενο Έτος
-----------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Σχήμα 4: Πίνακας που παρέχει ο κάθε σταθμός, όπου ταξινομούνται τα μετεωρολογικά στοιχεία με ημερομηνία, ώρα, και μεγέθη

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	Bar	Rain Rate	Solar Rate	Solar Rad.	Hi Solar Rad.
01/03/16	15:30	17.8	18.1	17.5	48	6.6	9.7	SSW	1.61	19.3	S	17.8	17.8	16.0	1015.7	0.0	0.0	406	415
01/03/16	15:40	17.7	17.8	17.7	44	5.3	11.3	SSW	1.88	19.3	S	17.7	17.7	15.4	1015.7	0.0	0.0	390	397
01/03/16	15:50	17.7	17.9	17.6	49	6.9	8.0	SSW	1.34	17.7	S	17.7	17.7	16.3	1015.7	0.0	0.0	365	380
01/03/16	16:00	18.2	18.2	17.7	48	7.0	6.4	N	1.07	12.9	SSW	18.2	18.2	17.1	1015.7	0.0	0.0	340	352
01/03/16	16:10	18.1	18.5	17.9	48	6.9	3.2	SSW	0.54	11.3	N	18.1	18.1	17.5	1015.8	0.0	0.0	140	341
01/03/16	16:20	17.9	18.2	17.9	47	6.5	4.8	N	0.80	16.1	SW	17.9	17.9	17.0	1015.7	0.0	0.0	233	330
01/03/16	16:30	17.7	17.9	17.7	51	7.4	3.2	WSW	0.54	9.7	SSW	17.7	17.7	17.2	1015.8	0.0	0.0	96	188
01/03/16	16:40	17.6	17.7	17.5	54	8.2	3.2	SW	0.54	9.7	N	17.6	17.6	17.2	1015.7	0.0	0.0	158	271
01/03/16	16:50	17.3	17.6	17.3	56	8.5	4.8	N	0.80	14.5	N	17.3	17.3	16.7	1015.8	0.0	0.0	160	250
01/03/16	17:00	17.0	17.3	16.8	57	8.4	6.4	SSW	1.07	16.1	SW	17.0	17.0	16.0	1015.8	0.0	0.0	193	227
01/03/16	17:10	17.0	17.1	16.9	61	9.4	6.4	SSW	1.07	16.1	N	17.0	17.0	16.2	1015.8	0.0	0.0	173	183
01/03/16	17:20	17.4	17.4	17.0	56	8.6	3.2	SW	0.54	11.3	N	17.4	17.4	17.1	1015.8	0.0	0.0	139	155
01/03/16	17:30	17.3	17.4	17.3	56	8.5	3.2	W	0.54	9.7	WSW	17.3	17.3	17.0	1015.8	0.0	0.0	115	128
01/03/16	17:40	17.0	17.3	17.0	58	8.7	3.2	W	0.54	9.7	WSW	17.0	17.0	16.6	1015.9	0.0	0.0	88	98
01/03/16	17:50	16.5	16.9	16.5	62	9.2	3.2	W	0.54	9.7	N	16.5	16.5	16.2	1015.9	0.0	0.0	63	74
01/03/16	18:00	16.2	16.5	16.2	64	9.3	3.2	W	0.54	9.7	N	16.2	16.2	15.9	1016.0	0.0	0.0	46	51

Μόλις τελείωσε η τοποθέτηση των μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας για τους δύο μήνες σε υπολογιστικά φύλλα excel, ξεκίνησε και η επεξεργασία. Αρχικά φτιάξαμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα που αφορά την πληρότητα κάθε σταθμού. Το κάνουμε αυτό, διότι κάποιες φορές υπήρχαν σταθμοί οι οποίοι (πιθανώς λόγω βλάβης) δεν έδιναν μετρήσεις για κάποια ημέρα ή μέρες. Για να έχουμε λοιπόν μια πρώτη εικόνα φτιάξαμε έναν πίνακα πληρότητας. Στον Πίνακα Ι φαίνεται η πληρότητα των μετρήσεων για Ιούλιο-Αύγουστο. Αφού έγινε η καταγραφή της πληρότητας, τοποθετήθηκαν και οι σταθμοί στον χάρτη της Ελλάδας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 για να έχουμε μια πρώτη απεικόνιση πριν ξεκινήσει η επεξεργασία.

Πίνακας Ι: Πληρότητα μετρήσεων μετεωρολογικών σταθμών για Ιούλιο-Αύγουστο

Σταθμός	Πληρότητα Μετρήσεων Ιουλίου	Πληρότητα Μετρήσεων Αυγούστου
Αγρίνιο	2759/2759	2225/2759
Αλεξ/πολη	2759/2759	2759/2759
Αμύνταιο	2759/2759	2759/2759
Άνδρος	2759/2759	2759/2759
Εκάλη	2403/2759	2506/2759
Ηγουμενίτσα	2759/2759	2759/2759
Θεολόγος	2759/2759	2610/2759
Ιεράπετρα	2759/2759	2821/2821
Κάτω Βλασία	2759/2759	2821/2821
Κατάκολο	2821/2821	2821/2821
Κιλκίς	2759/2759	2821/2821
Κομπότι	2283/2759	2821/2821
Ταξιάρχης	2548/2821	-
Μαρκόπουλο	2759/2759	2821/2821
Ν.Μαρμαρας	2122/2759	-
Μέτσοβο	2670/2759	1466/2759
Μόλυβος	1592/2821	-
Μονεμβασιά	2759/2759	2759/2759

Φράγμα Μόρνου	2759/2759	-
Νευροκόπι	2759/2759	2759/2759
Ρόδος	2821/2821	2730/2821
Σαμαριά	870/930	420/930
Σητεία	2759/2759	2759/2759
Σφακιά	2403/2759	-
Βλάχερνα	2212/2759	2423/2759
Λάρισα	2821/2821	2759/2759
Κλειδί	2759/2759	2759/2759
Έξω Αγιά	5487/5487	4425/5487
Παλαιό Φάληρο	2759/2759	2759/2759
Αγιά Λάρισα	2759/2759	2759/2759
Φινοκαλιά	2631/2759	2759/2759
Τρίπολη	2759/2759	2759/2759
Καλαμάτα	890/2759	-
Καταβιά	1471/2821	-

Σχήμα 4: Χάρτης της Ελλάδος με τους μετεωρολογικούς σταθμούς καταγραφής ηλιακής ακτινοβολίας



Έπειτα, για κάθε ημέρα του μήνα γίνεται ο υπολογισμός της ημερήσιας συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή βρίσκουμε το άθροισμα όλων των μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας από την πρώτη μέτρηση έως και την τελευταία :

$$SUM = Τιμή_1 + \dots + Τιμή_n = \dots \text{ W/m}^2.$$

(1...n: οι καθημερινές μετρήσεις που παίρνουμε από τον κάθε σταθμό)

Έπειτα για κάθε ημέρα του μήνα βρίσκουμε τη μέση ηλιακή ενέργεια:

- Για μήνα με πλήρεις μετρήσεις:

$$\text{Mean S.R} = \left(\frac{SUM * Time}{60'} \right) / 1000 = kWh/m^2$$

Time: ανά πόσα λεπτά λαμβάνουμε μετρήσεις

- Για μήνα με ελλείψεις μετρήσεις:

$$\text{Mean S.R} * = \frac{M.O. \text{ Υπαρχόντων μετρήσεων} * 465h}{1000} = kWh/m^2$$

- 465 h είναι οι συνολικές ώρες που καταγράφουμε την ηλιακή ακτινοβολία μηνιαία. (ημερησίως: 15 h)

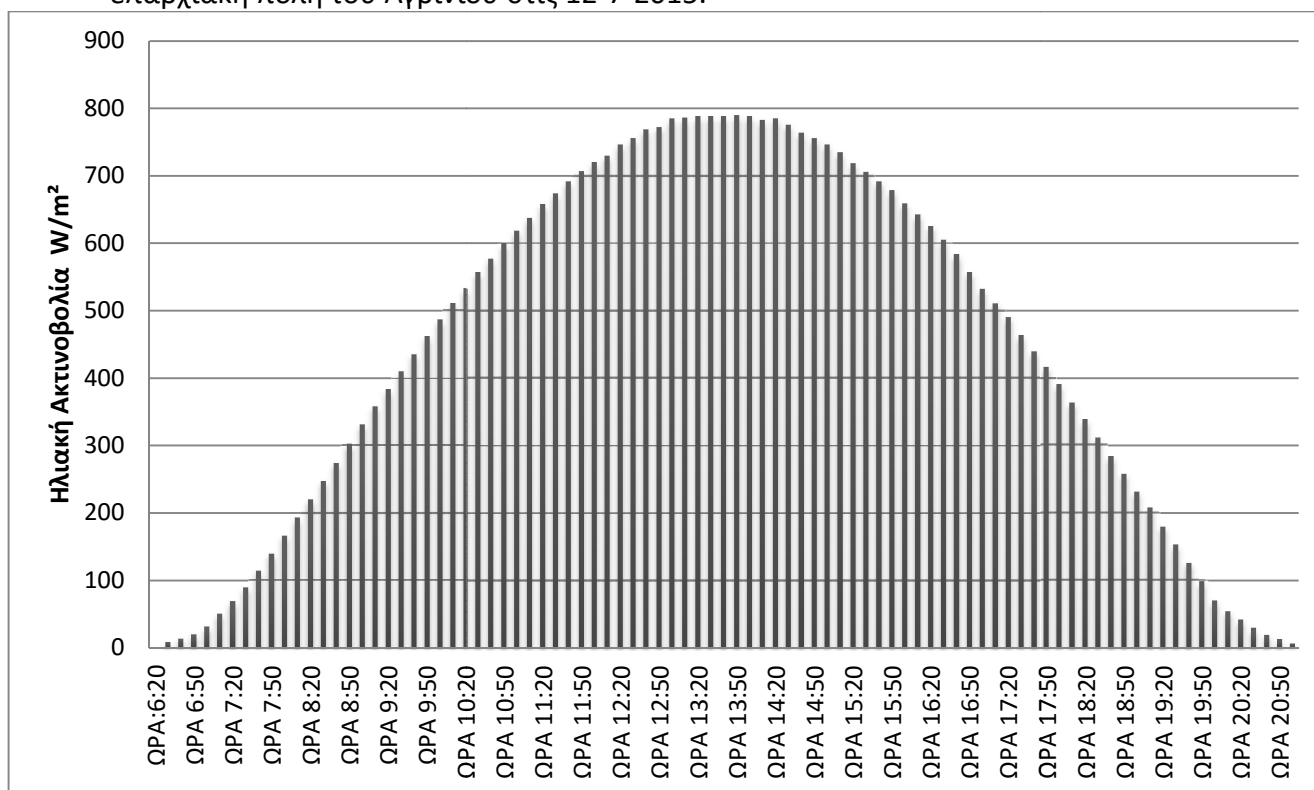
Το κάνουμε αυτό ώστε να προσεγγίσουμε την πραγματική τιμή που θα είχαμε αν ο μήνας ήταν πλήρης μετρήσεων με τη χρήση του μ.ο. των υπαρχόντων μετρήσεων.

Και αφού βρίσκουμε την ημερήσια μέση ηλιακή ενέργεια για να βρούμε την μηνιαία μέση ηλιακή ενέργεια έχουμε:

$$\text{Mean S.R}_1 + \dots + \text{Mean S.R}_{31} = kWh/m^2$$

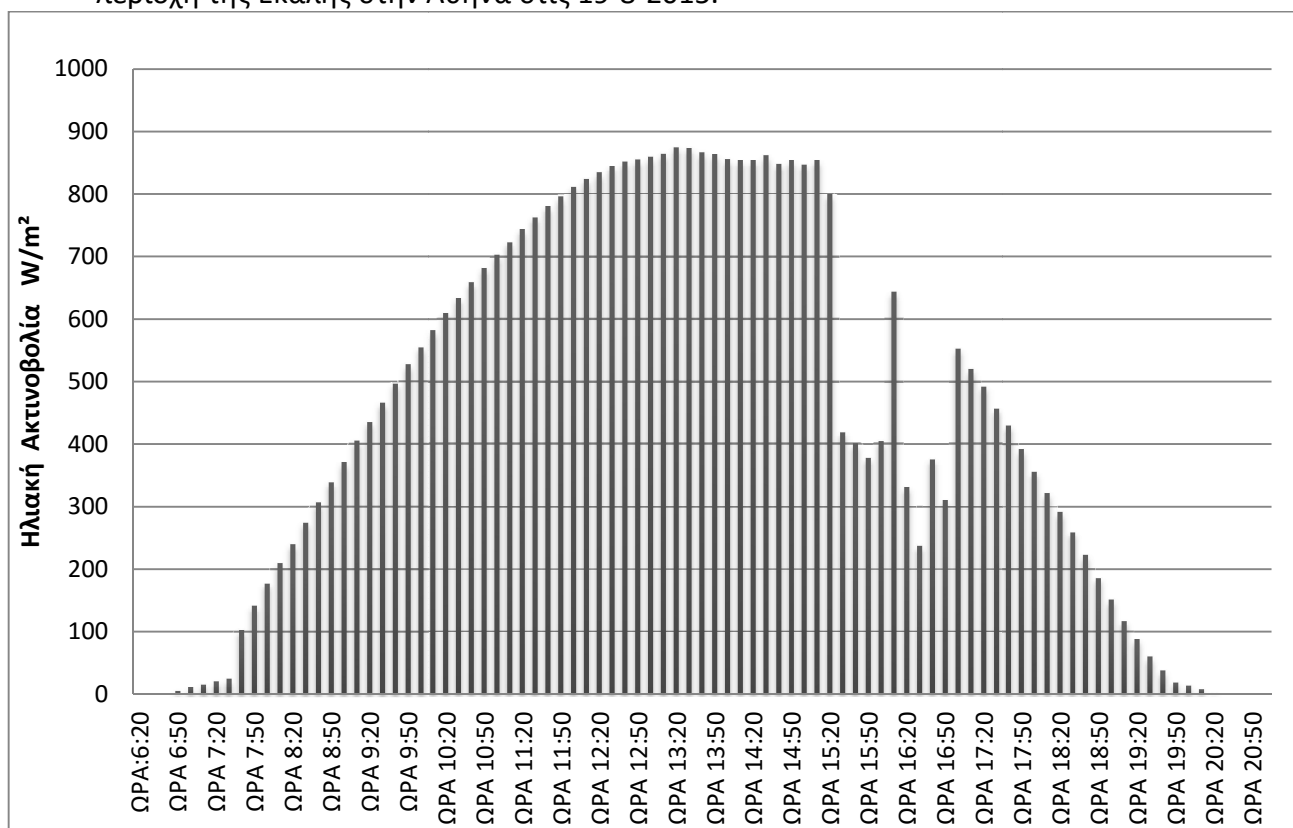
3.2 Ημερήσια διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας

Σχήμα 1: Διάγραμμα της ημερήσιας διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας για την επαρχιακή πόλη του Αγρινίου στις 12-7-2015.



Το διάγραμμα του Σχήματος 1 μας δείχνει πως κυμαίνεται η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε μια ημέρα στην επαρχιακή πόλη του Αγρινίου. Βλέπουμε πως η μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ίση με 790 W/m^2 στις 13:50 μμ. Η πρώτη τιμή λαμβάνεται στις 06:10 πμ και ανά $10'$ η μέτρηση ανεβαίνει μέχρι τις 13:50 μμ που έχουμε τη μέγιστη τιμή. Μετά οι τιμές σταδιακά πέφτουν μέχρι τις 21:00 μμ όπου λαμβάνουμε και την τελευταία μέτρηση της ημέρας. Παρατηρούμε πως το διάγραμμά μας παρουσιάζει μια κανονική κατανομή. Εμφανή σφάλματα στις μετρήσεις μας δεν διακρίνουμε, αν είχαμε αυτό θα είχα άμεση επίπτωση στο διάγραμμά μας. Από την μορφή του διαγράμματος καταλαβαίνουμε πως έχουμε μια ηλιόλουστη ημέρα χωρίς να υπάρχουν παρεμβολές στην ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια του οργάνου.

Σχήμα 2: Διάγραμμα της ημερήσιας διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή της Εκάλης στην Αθήνα στις 19-8-2015.

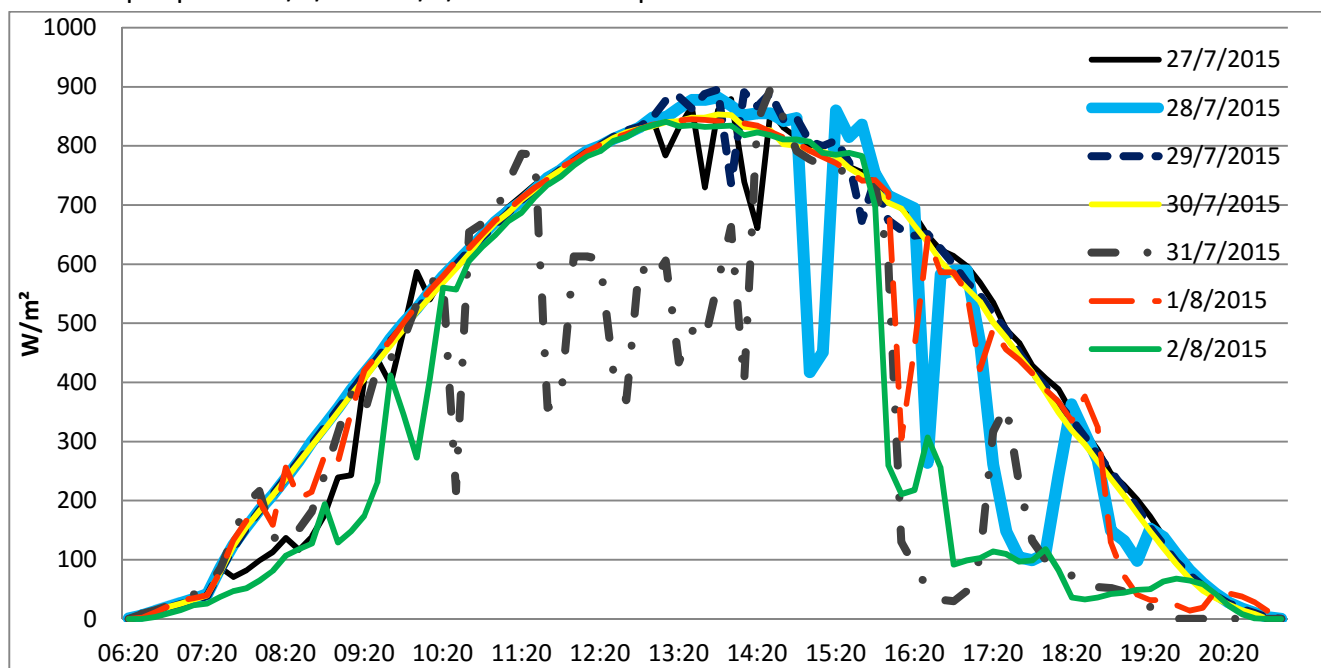


Στο διάγραμμα του Σχήματος 2 βλέπουμε την κατανομή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή της Εκάλης στην Αθήνα. Παρατηρούμε πως η μέγιστη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας είναι ίση με 875 W/m^2 στις 13:20 μμ. Βλέπουμε πως το διάγραμμά μας μέχρι τις 15:00 μμ παρουσιάζει μια κανονική κατανομή όμως ξαφνικά η τιμή πέφτει απότομα από τα 800 W/m^2 στις 15:20 μμ, στα 419 W/m^2 στις 15:30 μμ και έως τις 16:50 μμ οι τιμές παραμένουν χαμηλές εκτός από τις 16:10 μμ όπου έχουμε μια αύξηση της ακτινοβολίας στα 644 W/m^2 η οποία όμως κρατάει μόνο για λίγα λεπτά. Παρατηρώντας αυτήν την απότομη πτώση και διατήρηση της τιμής της ακτινοβολίας σε χαμηλά επίπεδα για περίπου 1 ώρα και 20' συμπεραίνουμε πως υπήρχε κάποια παρεμβολή στην ακτινοβολία που φτάνει στον συλλέκτη του οργάνου. Η παρεμβολή αυτή μπορεί να οφείλεται σε προσωρινή (διότι μετά οι τιμές επανέρχονται σε φυσιολογικά επίπεδα) αλλαγή του καιρού όπου σύννεφα μπήκαν μπροστά στον ήλιο με αποτέλεσμα η ακτινοβολία που φτάνει στο όργανο να είναι μειωμένης έντασης.

3.3 Διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας για μια εβδομάδα

Για να μελετηθεί πώς κυμαίνεται σε μια εβδομάδα η ηλιακή ακτινοβολία έγινε επιλογή ενός σταθμού της βόρειας Ελλάδας και ενός της νότιας Ελλάδας. Από τη βόρεια Ελλάδα επιλέχθηκε ο σταθμός του Νευροκοπίου και μελετήθηκε η ηλιακή ακτινοβολία για την εβδομάδα 27/7/2015-2/8/2015.

Σχήμα 1: Διάγραμμα εβδομαδιαίας διακύμανσης ηλιακής ακτινοβολίας για την εβδομάδα 27/7/2015-2/8/2015 στο Νευροκόπι.

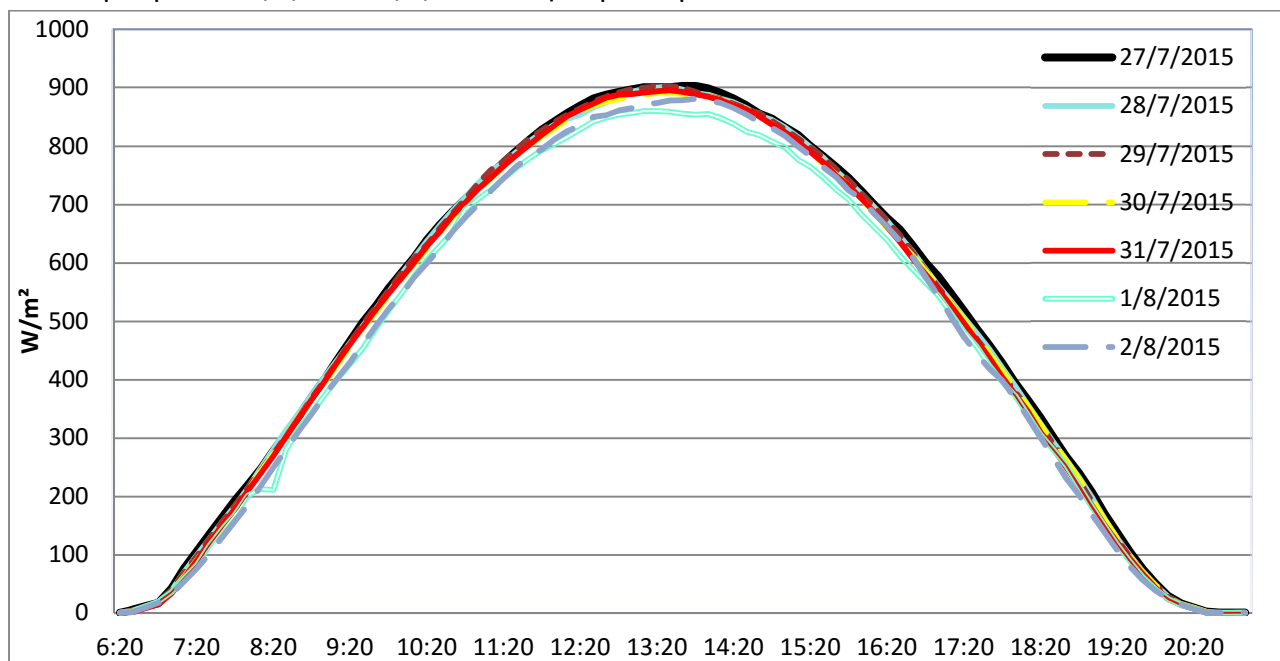


Στις 27/7 το διάγραμμά μας παρουσιάζει μια ανωμαλία τις πρωινές ώρες από τις 7:20π.μ περίπου έως τις 10:20π.μ, συνεχίζει φυσιολογικά έως τη 13:00μ.μ όπου ξεκινά να έχει μικρές αυξομειώσεις έως τις 14:50μ.μ περίπου. Έπειτα ομαλοποιείται. Η υψηλότερη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας καταγράφεται στις 14:00μ.μ και είναι 879 W/m^2 . Στις 28/7 έχουμε μια ομαλή πορεία του διαγράμματος έως τις 14:40μ.μ όπου συναντάμε μια απότομη πτώση από τα 842 W/m^2 στα 417 W/m^2 στις 15:00μ.μ. Στις 15:20μ.μ η τιμή της ακτινοβολίας επανέρχεται στα 860 W/m^2 όμως εμφανίζει πάλι μια καθοδική πορεία έως τις 16:20μ.μ όπου η τιμή είναι 264 W/m^2 . Στις 16:50μ.μ επανέρχεται σε φυσιολογικά επίπεδα με τιμή 589 W/m^2 η οποία διατηρείται έως τις 17:00μ.μ όπου πάλι υπάρχει μια πτώση που φτάνει στα 104 W/m^2 στις 17:40μ.μ. Τέλος έχουμε μια τελευταία αύξηση στα 363 W/m^2 η οποία καταγράφεται στις 18:20μ.μ. Η υψηλότερη τιμή καταγράφεται στις 13:50μ.μ και είναι 882 W/m^2 . Στις 29/7 το διάγραμμά μας έχει μια ομαλή πορεία όλη την ημέρα, η μόνη ανωμαλία που παρατηρείται είναι η πτώση από τα 895 W/m^2 στα 736 W/m^2 η οποία καταγράφεται στο δεκάλεπτο 13:50μ.μ-14:00μ.μ και πολύ μικρές αυξομειώσεις για μερικά δεκάλεπτα. Η υψηλότερη τιμή καταγράφεται στις 13:50μ.μ και είναι 895 W/m^2 . Στις 30/7 το διάγραμμα έχει μια φυσιολογική πορεία. Η

υψηλότερη τιμή καταγράφεται στις 13:50μ.μ και είναι 853 W/m^2 . Για τις 31/7 το διάγραμμα παρουσιάζει ανωμαλίες σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η πρώτη ανωμαλία παρατηρείται στις 8:00π.μ όπου ενώ η τιμή είναι στα 216 W/m^2 μέχρι τις 8:20π.μ έχει πέσει στα 129 W/m^2 . Έως τις 10:20π.μ η τιμές είναι ανοδικές και φτάνουμε στα 576 W/m^2 όμως πάλι έχουμε μια απότομη πτώση στις 10:30π.μ και η ακτινοβολία πέφτει στα 216 W/m^2 . Μέχρι τις 11:30π.μ η τιμές είναι ανοδικές και φτάνουμε στα 786 W/m^2 . Μέχρι τις 14:30μ.μ έχουμε απότομες αυξομειώσεις. Η τιμή 786 W/m^2 που έχουμε στις 11:30π.μ πέφτει απότομα και γίνεται 357 W/m^2 στις 11:40π.μ . Ανεβαίνει στα 613 W/m^2 στις 12:00μ.μ και πέφτει πάλι στα 370 W/m^2 στις 12:40μ.μ. Αυξομειώνεται κατά τον ίδιο τρόπο μέχρι τις 14:10μ.μ όπου βρίσκεται στα 398 W/m^2 και μέχρι τις 14:30μ.μ έχει ανέβει στα 896 W/m^2 . Έπειτα έχει μια καθοδική πορεία έως τις 16:50μ.μ όπου φτάνει τα 30 W/m^2 . Στις 17:30μ.μ φτάνει στα 361 W/m^2 και μετά κλείνει ομαλά μέχρι την τελευταία μέτρηση. Η υψηλότερη τιμή καταγράφεται στις 14:30μ.μ και είναι 896 W/m^2 . Την 1/8 παρατηρούμε μικρές αυξομειώσεις κατά τις πρωινές οι οποίες διαρκούν λίγο. Έχουμε μια απότομη πτώση από τα 720 W/m^2 στις 16:00μ.μ στα 305 W/m^2 στις 16:10μ.μ και πιο αργά το απόγευμα στις 18:30μ.μ όπου από τα 376 W/m^2 η τιμή πέφτει στα 41 W/m^2 στις 19:10μ.μ. Η υψηλότερη τιμή καταγράφεται στις 13:30μ.μ στα 845 W/m^2 . Τέλος στις 2/8 το διάγραμμα παρουσιάζει αρκετές απότομες εναλλαγές στις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τις πρωινές ώρες παρατηρούνται μικρές αυξομειώσεις των τιμών οι οποίες ομαλοποιούνται μετά τις 10:20π.μ. Στις 15:40μ.μ παρατηρούμε μια απότομη πτώση από τα 783 W/m^2 στα 211 W/m^2 στις 16:10μ.μ και διατήρηση των τιμών έως το βράδυ σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Η υψηλότερη τιμή καταγράφεται στις 13:10μ.μ και είναι 841 W/m^2 . Ο λόγος που έχουμε τέτοιες αυξομειώσεις στα διαγράμματα είναι οι νεφώσεις. Αν και μιλάμε για καλοκαιρινές ημέρες λόγω του ότι βρισκόμαστε σε ένα πολύ βόρειο σημείο της χώρας έχουμε καθημερινά πολλές πιθανότητες να εμφανιστούν νεφώσεις οι οποίες είναι άλλοτε παροδικές και άλλες φορές διαρκούν όλη μέρα.

Από τη νότια Ελλάδα επιλέχθηκε ο σταθμός της Ιεράπετρας και μελετήθηκε η ηλιακή ακτινοβολία για την εβδομάδα 27/7/2015-2/8/2015.

Σχήμα 2: Διάγραμμα εβδομαδιαίας διακύμανσης ηλιακής ακτινοβολίας για την εβδομάδα 27/7/2015-2/8/2015 στην Ιεράπετρα.

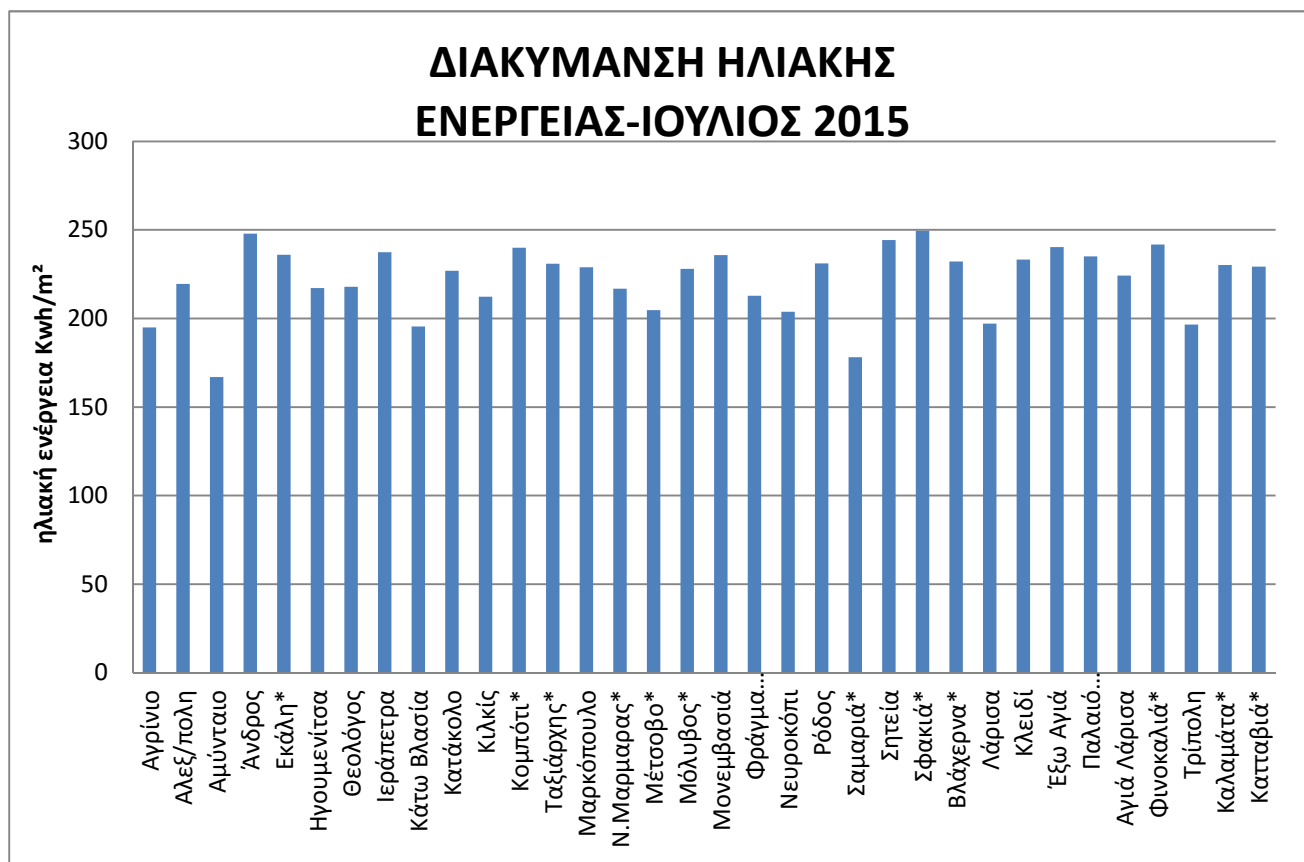


Στην Ιεράπετρα την εβδομάδα 27/7-2/8 τα διαγράμματα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι φυσιολογικά όπως φαίνεται και στο γράφημα του Σχήματος 2. Κανένα διάγραμμα δεν παρουσιάζει κάποια ανωμαλία ή κάτι το οποίο πρέπει να σχολιασθεί. Οι μέγιστες τιμές που καταγράφηκαν είναι: Στις 27/7, 903 W/m² στις 13:40μ.μ. Στις 28/7, 902 W/m² στις 13:30μ.μ. Στις 29/7, 903 W/m² στις 13:20μ.μ. Στις 30/7, 891 W/m² στις 13:20μ.μ. Στις 31/7, 896 W/m² στις 13:30μ.μ. Την 1/8, 860 W/m² στις 13:10μ.μ. Στις 2/8, 881 W/m² στις 13:50μ.μ.

Κάνοντας την μελέτη για τα δύο αυτά μέρη παρατηρώ πως στις βόρειες περιοχές της Ελλάδας κατά την περίοδο του καλοκαιριού η ηλιοφάνεια δεν είναι κάτι δεδομένο. Υπάρχουν ημέρες με νεφώσεις, οι οποίες άλλοτε είναι παροδικές και άλλες φορές διαρκούν για μεγάλο διάστημα, με αποτέλεσμα η ηλιακή ακτινοβολία να φτάνει μειωμένης έντασης. Αντίθετα για τις περιοχές που βρίσκονται στην νότια Ελλάδα παρατηρώ πως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζονται σπάνια νεφώσεις, οπότε καθημερινά η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στο έδαφος πλήρους έντασης.

3.4 Μηνιαία διακύμανση ηλιακής ενέργειας

Σχήμα 1: Διάγραμμα της μηνιαίας διακύμανσης της ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Ιούλιο 2015. Μετρήσεις από περιοχές σε όλη την Ελλάδα



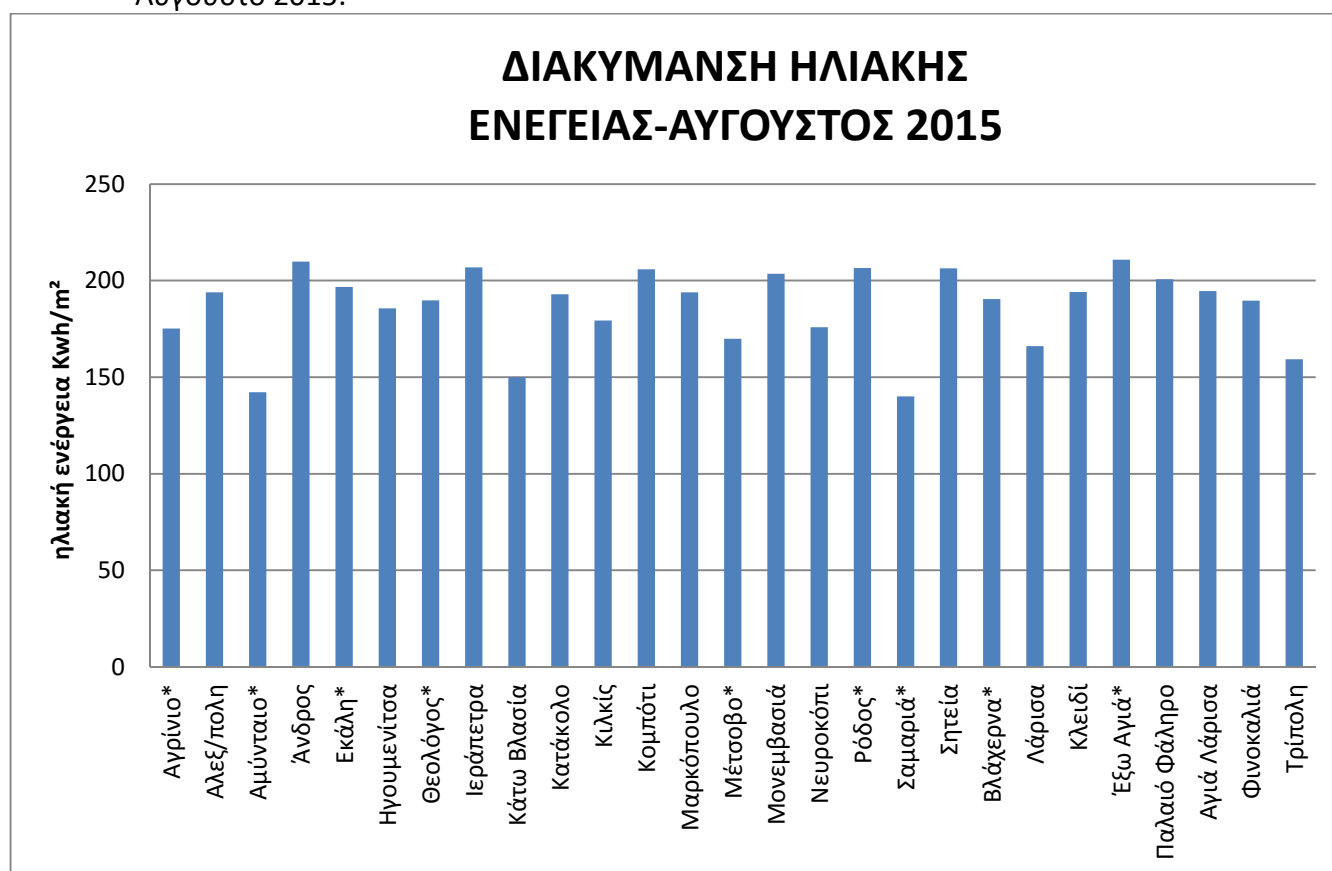
Στο γράφημα του σχήματος 1 φαίνεται η ηλιακή ενέργεια και πως αυτή κατανέμεται σε 34 σταθμούς σε όλη την Ελλάδα για τον μήνα Ιούλιο. Παρατηρούμε πως έχουμε την υψηλότερη τιμή στα Σφακιά με $249,55 \text{ kWh/m}^2$ ενώ η χαμηλότερη παρατηρείται στο Αμύνταιο με $166,98 \text{ kWh/m}^2$. Οι 5 σταθμοί (Αλεξανδρούπολη, Νευροκόπι, Ν. Μαρμαράς, Κιλκίς, Αμύνταιο) που βρίσκονται σε περιοχές της βόρειας Ελλάδας παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται: $166,98 \text{ kWh/m}^2$ - $219,53 \text{ kWh/m}^2$. Παρατηρείται πως το Αμύνταιο έχει τη χαμηλότερη τιμή: $166,98 \text{ kWh/m}^2$ η οποία απέχει αρκετά από τις τιμές των άλλων σταθμών που κυμαίνονται: $212,22 \text{ kWh/m}^2$ - $219,53 \text{ kWh/m}^2$. Προχωρώντας πιο κάτω στο χάρτη στους 17 σταθμούς που βρίσκονται στην κεντρική Ελλάδα αλλά και σε 2 σταθμούς στη περιοχή των Δωδεκανήσων (Ηγουμενίτσα, Λάρισα, Αγιά Λάρισας, Βλάχερνα, Κομπότι, Μέτσοβο, Αγρίνιο, Φράγμα Μόρνου, Έξω Αγιά, Θεολόγος, Κλειδί, Εκάλη, Μαρκόπουλο, Παλαιό Φάληρο, Άνδρος, Κάτω Βλασία, Κατάκολο, Ταξιάρχης, Μόλυβος) οι τιμές της ηλιακής ενέργειας κυμαίνονται: $194,87 \text{ kWh/m}^2$ - $247,95 \text{ kWh/m}^2$. Εδώ παρατηρείται πως οι σταθμοί που έχουν τις χαμηλότερες τιμές οι οποίες απέχουν από τις υπόλοιπες είναι: Αγρίνιο $194,87 \text{ kWh/m}^2$, Κάτω Βλασία $195,43 \text{ kWh/m}^2$, Λάρισα $197,1 \text{ kWh/m}^2$, Μέτσοβο $204,75 \text{ kWh/m}^2$. Τέλος οι 10 σταθμοί που βρίσκονται σε νότιες περιοχές της Ελλάδας (Τρίπολη, Καλαμάτα, Μονεμβασιά, Ρόδος, Κατταβιά, Σαμαριά, Σφακιά, Φινοκαλιά, Σητεία, Ιεράπετρα) δίνουν τιμές που κυμαίνονται: $178,11 \text{ kWh/m}^2$ - $249,55 \text{ kWh/m}^2$. Εδώ οι σταθμοί με τις χαμηλότερες τιμές είναι:

Σαμαριά 178,11 kWh/m², Τρίπολη 196,62 kWh/m² ενώ οι τιμές των υπόλοιπων 8 σταθμών κυμαίνονται: 229,22 kWh/m²-249,55 kWh/m². Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω όπου έχουμε τιμές οι οποίες είναι πιο χαμηλές και διαφοροποιούνται αρκετά από τις υπόλοιπες, οφείλεται στα επίπεδα νέφωσης τα οποία είναι υψηλότερα σε σχέση με τους άλλους σταθμούς αλλά και στην πληρότητα των μετρήσεων καθότι δεν έχουν όλοι οι σταθμοί πλήρεις μετρήσεις. Στον πίνακα I που ακολουθεί αναγράφονται οι 34 σταθμοί του Ιουλίου, οι συντεταγμένες τους και οι τιμές της ηλιακής ενέργειας.

Πίνακας I:

Σταθμός	ID	X	Y	Mean S.R _{July} (Kwh/m ²)
Αγρίνιο	1	273431,91	4275308,58	194,87
Αλεξ/πολη	2	659890,77	4529108,27	219,53
Αμύνταιο	3	305243,55	4496611,54	166,98
Άνδρος	4	561393,36	4194663,24	247,95
Εκάλη	5	484310,45	4215497,29	236,02
Ηγουμενίτσα	6	178970,79	4382336,44	217,19
Θεολόγος	7	421263,57	4250293,43	217,95
Ιεράπετρα	8	654987,26	3874074,5	237,39
Κάτω Βλασία	9	317782,73	4208635,67	195,43
Κατάκολο	10	263543,21	4169330,04	226,96
Κιλκίς	11	373695,24	4539555,03	212,22
Κομπότι	12	249065,39	4331591,29	239,94
Ταξιάρχης	13	689826,19	4340990,03	230,83
Μαρκόπουλο	14	491059,51	4194437,02	228,98
Ν.Μαρμαρας	15	481168,56	4437853,2	216,81
Μέτσοβο	16	260129,26	4409024,03	204,75
Μόλυβος	17	688022,15	4359723,25	228,1
Μονεμβασιά	18	410525,41	4061770,91	235,74
Φράγμα Μόρνου	19	334167,45	4262716,56	212,92
Νευροκόπι	20	491479,23	4571780,34	203,79
Ρόδος	21	876568,31	4036229,05	231,16
Σαμαριά	22	499851,2	3906024,05	178,11
Σητεία	23	691027,24	3896953,86	244,2
Σφακιά	24	504059,61	3898142,28	249,55
Βλάχερνα	25	232145,99	4343263,82	232,22
Λάρισα	26	363974,13	4387973,23	197,11
Κλειδί	27	455966,67	4234125,9	233,28
Έξω Αγιά	28	303218,94	4238029,05	240,24
Παλαιό Φάληρο	29	474315,37	4197338,34	235,03
Αγιά Λάρισα	30	396970,66	4394862,73	224,27
Φινοκαλιά	31	654418,73	3907349,25	241,78
Τρίπολη	32	310010,8	4152277,11	196,62
Καλαμάτα	33	332155,82	4100437,78	230,18
Κατταβιά	34	839604,77	3985169,41	229,22

Σχήμα 2: Διάγραμμα της μηνιαίας διακύμανσης της ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Αύγουστο 2015.



Στο γράφημα του σχήματος 2 φαίνεται η ηλιακή ενέργεια και πως αυτή κατανέμεται σε 27 σταθμούς σε όλη την Ελλάδα για τον μήνα Αύγουστο. Οι σταθμοί μειώθηκαν από 34 σε 27 καθότι κάποιοι σταθμοί του Ιουλίου τον Αύγουστο δεν έδωσαν μετρήσεις. Παρατηρούμε πως έχουμε την υψηλότερη τιμή στην Έξω Αγιά με 210,92 kWh/m² ενώ η χαμηλότερη παρατηρείται στη Σαμαριά με 140 kWh/m². Οι 4 σταθμοί (Αλεξανδρούπολη, Νευροκόπι, Κιλκίς, Αμύνταιο) που βρίσκονται σε περιοχές της βόρειας Ελλάδας παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται: 142,18 kWh/m²-193,92 kWh/m². Παρατηρείται πως το Αμύνταιο, όπως συνέβη και το Ιούλιο, έχει τη χαμηλότερη τιμή: 142,18 kWh/m² η οποία απέχει αρκετά από τις τιμές των άλλων σταθμών που κυμαίνονται: 175,9 kWh/m²-193,92 kWh/m². Προχωρώντας πιο κάτω στο χάρτη στους 16 σταθμούς που βρίσκονται στην κεντρική Ελλάδα (Ηγουμενίτσα, Λάρισα, Αγιά Λάρισας, Βλάχερνα, Κομπότι, Μέτσοβο, Αγρίνιο, Έξω Αγιά, Θεολόγος, Κλειδί, Εκάλη, Μαρκόπουλο, Παλαιό Φάληρο, Άνδρος, Κάτω Βλασία, Κατάκολο) οι τιμές της ηλιακής ενέργειας κυμαίνονται: 149,95 kWh/m²-210,92 kWh/m². Εδώ παρατηρείται πως οι σταθμοί που έχουν τις χαμηλότερες τιμές οι οποίες απέχουν από τις υπόλοιπες είναι: Κάτω Βλασία 149,95 kWh/m², Μέτσοβο 160,83 kWh/m², Λάρισα 166,12 kWh/m². Τέλος οι 7 σταθμοί που βρίσκονται σε νότιες περιοχές της Ελλάδας (Τρίπολη, Μονεμβασιά, Ρόδος, Σαμαριά, Φινοκαλιά, Σητεία, Ιεράπετρα) δίνουν τιμές που κυμαίνονται: 140 kWh/m²-206,78 kWh/m². Εδώ οι σταθμοί με τις χαμηλότερες τιμές, όπως και τον Ιούλιο είναι: Σαμαριά 140 kWh/m², Τρίπολη 159,23 kWh/m² ενώ οι τιμές των υπόλοιπων 5 σταθμών κυμαίνονται: 189,63 kWh/m²-206,78 kWh/m². Όπως και τον

Ιούλιο έτσι και τον Αύγουστο οι τιμές οι οποίες είναι πιο χαμηλές και διαφοροποιούνται αρκετά από τις υπόλοιπες, οφείλεται στα επίπεδα νέφωσης τα οποία είναι υψηλότερα σε σχέση με τους άλλους σταθμούς αλλά και στην πληρότητα των μετρήσεων καθότι δεν έχουν όλοι οι σταθμοί πλήρεις μετρήσεις. Στον πίνακα II που ακολουθεί αναγράφονται οι 27 σταθμοί του Ιουλίου, οι συντεταγμένες τους και οι τιμές της ηλιακής ενέργειας.

Πίνακας II:

Σταθμός	ID	X	Y	Mean S.R _{August} (Kwh/m ²)
Αγρίνιο	1	273431,9	4275308,58	175,26
Αλεξ/πολη	2	659890,8	4529108,27	193,92
Αμύνταιο	3	305243,6	4496611,54	142,18
Άνδρος	4	561393,4	4194663,24	209,85
Εκάλη	5	484310,5	4215497,29	196,82
Ηγουμενίτσα	6	178970,8	4382336,44	185,7
Θεολόγος	7	421263,6	4250293,43	189,78
Ιεράπετρα	8	654987,3	3874074,5	206,78
Κάτω Βλασία	9	317782,7	4208635,67	149,95
Κατάκολο	10	263543,2	4169330,04	192,92
Κιλκίς	11	373695,2	4539555,03	179,3
Κομπότι	12	249065,4	4331591,29	205,89
Μαρκόπουλο	13	491059,5	4194437,02	193,85
Μέτσοβο	14	260129,3	4409024,03	169,83
Μονεμβασιά	15	410525,4	4061770,91	203,55
Νευροκόπι	16	491479,2	4571780,34	175,9
Ρόδος	17	876568,3	4036229,05	206,52
Σαμαριά	18	499851,2	3906024,05	140
Σητεία	19	691027,2	3896953,86	206,39
Βλάχερνα	20	232146	4343263,82	190,38
Λάρισα	21	363974,1	4387973,23	166,12
Κλειδί	22	455966,7	4234125,9	194,13
Έξω Αγιά	23	303218,9	4238029,05	210,92
Παλαιό Φάληρο	24	474315,4	4197338,34	200,71
Αγιά Λάρισα	25	396970,7	4394862,73	194,56
Φινοκαλιά	26	654418,7	3907349,25	189,63
Τρίπολη	27	310010,8	4152277,11	159,23

4. Χωρική κατανομή ηλιακής ενέργειας

4.1 Εισαγωγή

Στόχος της συλλογής μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας είναι να απεικονίσουμε σε ηλιακούς χάρτες την ένταση της ακτινοβολίας και να δείξουμε πώς κατανέμεται σε όλη την Ελλάδα για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο 2015.

Η απεικόνιση γίνεται με τους ηλιακούς χάρτες οι οποίοι φτιάχνονται με το πρόγραμμα ArcMap το οποίο χρησιμοποιεί τα δεδομένα που θα του εισάγουμε και μέσω της χωρικής παρεμβολής δημιουργεί τον χάρτη.

4.2 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S.)

Το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), γνωστό ευρέως και ως G.I.S. Geographic Information Systems, είναι σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, να αποθηκεύσει, να προσαρμόσει, να αναλύσει και να παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες. Σε μια πιο γενική μορφή, ένα ΣΓΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο). Τα συστήματα GIS, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΣΓΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΠΣ) είναι πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν την δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο. Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά. Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία (η οποία δεν έχει από μόνη της χωρική υπόσταση)

4.3 ArcMap

Το ArcMap είναι ένα πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για προβολή, επεξεργασία, δημιουργία και ανάλυση γεω-χωρικών δεδομένων. Επιτρέπει στον χρήστη να διερευνεί δεδομένα ενός συνόλου δεδομένων, να συμβολίζει τα χαρακτηριστικά αναλόγως και να δημιουργεί χάρτες. Αυτό γίνεται μέσα από δύο διακριτές ενότητες του προγράμματος: το πλαίσιο δεδομένων και τον πίνακα περιεχομένων. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και να χειριστεί σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνουν μια ποικιλία πληροφοριών. Το λογισμικό παρέχει τη ικανότητα να ανεβάσει ο χρήστης και άλλες μορφές που εφαρμόζονται σε κάθε λειτουργία χαρτογράφησης.

Πλαίσιο δεδομένων (data frame)

Είναι το τμήμα του ArcMap που τα δεδομένα είναι χωρικά εφαρμοζόμενα από τον πίνακα περιεχομένων. Τα δεδομένα εισέρχονται σε μορφή χαρακτηριστικών, πλέγματα και επίπεδα (στρώματα). Καθώς εργάζεται ο χρήστης στον χωρικό τομέα των δεδομένων, μονάδες εδάφους (μίλια, χιλιόμετρα, πόδια, μέτρα κλπ) χρησιμοποιούνται και παρουσιάζονται στο σύστημα συντεταγμένων που ορίζεται. Εδώ είναι που οι απόψεις μπορούν να αλλάξουν μεταξύ διάταξης και προβολής δεδομένων. Τα δεδομένα ταξινομούνται σύμφωνα με τη σειρά στον πίνακα περιεχομένων. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει πολλαπλά πλαίσια δεδομένων σε έναν πίνακα περιεχομένων. Το συγκεκριμένο πλαίσιο δεδομένων που χρησιμοποιείται την τρέχουσα στιγμή θα δείχνει μόνο ένα πλαίσιο δεδομένων τη φορά.

Πίνακας περιεχομένων (table of contents)

Ο πίνακας των περιεχομένων είναι ο τρόπος με τον οποίο το ArcMap παρουσιάζει τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα να τοποθετηθούν στο πλαίσιο δεδομένων και πως συμβολίζεται κάθε επίπεδο. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να οργανώνονται τα επίπεδα είναι από πάνω προς τα κάτω. Με τα στοιχεία ενός βασικού χάρτη, όπως είναι ένας χάρτης δρόμου αν είναι τοποθετημένα στο κάτω μέρος μπορούν να μεταφερθούν πιο πάνω ώστε να φαίνεται για ποιο λόγο έχει σχεδιαστεί ο χάρτης.

4.4 Εργαλεία Γεωστατικής Ανάλυσης (Geostatistical Analyst Tools)

Η γεωστατική ανάλυση παρέχει ένα δυναμικό περιβάλλον το οποίο βοηθάει στην επίλυση χωρικών προβλημάτων βελτιώνοντας μεταβλητές, αξιολογεί περιβαλλοντικούς κινδύνους, προβλέπει την ύπαρξη γεωφυσικών στοιχείων. Παρέχει επίσης μια μεγάλη ποικιλία εργαλείων για τη διερεύνηση χωρικών δεδομένων, αναγνώριση τυχών ανωμαλιών στα δεδομένα, αξιολόγηση των σφαλμάτων σε μοντέλα πρόβλεψης επιφανειών, στατιστική εκτίμηση και βέλτιστη

δημιουργία επιφάνειας. Η γεωστατική ανάλυση προσφέρει στον χρήστη, ο οποίος θα εισάγει χωρικά δεδομένα, την ελευθερία να ερευνήσει, να δημιουργήσει και να απεικονίσει επιφάνειες χρησιμοποιώντας πολύπαιρες στατιστικές μεθόδους. Η γεωστατική ανάλυση μπορεί να προσδιορίσει την πιθανότητα που υπάρχει να εμφανιστούν κάποιες συγκεκριμένες μεταβλητές σε μια περιοχή καθώς και να αναγνωρίσει κάθε πιθανή τοποθεσία που μπορεί να εμφανισθούν. Παρέχει ένα πλήθος ισχυρών μεθόδων παρεμβολής με προηγμένα εργαλεία ανάλυσης για τη δημιουργία βέλτιστων επιφανειών παρεμβολής από διακριτές μετρήσεις χωρικών δεδομένων.

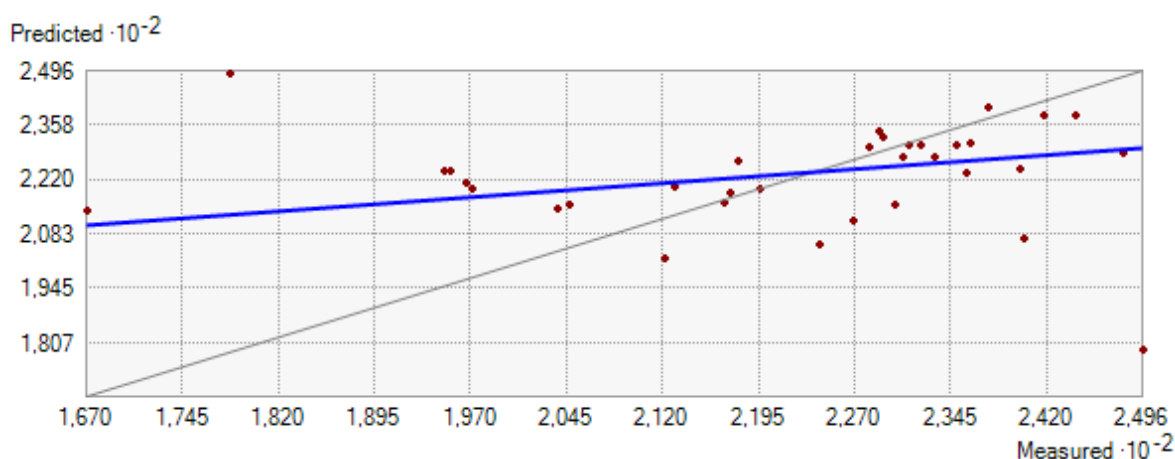
4.5 Παρεμβολή (Interpolation)

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες τεχνικών παρεμβολής: η γεωστατική και η ντετερμινιστική. Οι τεχνικές της γεωστατικής παρεμβολής χρησιμοποιούν τις στατιστικές ιδιότητες των μετρούμενων σημείων. Ποσοτικοποιούν τη χωρική αυτοσυσχέτιση μεταξύ των μετρούμενων σημείων και ευθύνονται για τη χωροταξική διαμόρφωση των σημείων δειγματοληψίας γύρω από τη τοποθεσία πρόβλεψης. Χρησιμοποιώντας γεωστατικές τεχνικές ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει επιφάνειες που έχουν ενσωματωμένες τις στατιστικές ιδιότητες των μετρούμενων δεδομένων. Αυτό συμβαίνει διότι η γεωστατική βασίζεται στα στατιστικά στοιχεία και έτσι οι τεχνικές αυτές παράγουν όχι μόνο επιφάνειες πρόβλεψης αλλά και επιφάνειες αβεβαιότητας δίνοντας μια εικόνα για το κατά πόσο καλές είναι οι προβλέψεις μας. Οι τεχνικές της ντετερμινιστικής παρεμβολής δημιουργούν επιφάνειες από μετρούμενα σημεία με βάση είτε την έκταση της ομοιότητας ή το βαθμό της εξομάλυνσης. Οι ντετερμινιστικές τεχνικές μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες, την παγκόσμια και την τοπική. Οι παγκόσμιες τεχνικές υπολογίζουν τις τιμές πρόβλεψης χρησιμοποιώντας ολόκληρο το σύνολο των δεδομένων ενώ οι τοπικές τεχνικές υπολογίζουν τις τιμές πρόβλεψης από τις μετρούμενες τιμές εντός μιας περιοχής. Δηλαδή η μέθοδος χωρίζει την ευρύτερη περιοχή μελέτης σε πιο μικρές περιοχές^[14].

4.5.1 Inverse Distance Weighted (IDW)

Η παρεμβολή IDW εφαρμόζει ρητά την παραδοχή ότι τα πράγματα τα οποία είναι κοντά το ένα στο άλλο είναι πιο όμοια από εκείνα που βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο. Για να προβλέψει μια μεταβλητή για κάθε μη μετρούμενη τοποθεσία η IDW θα χρησιμοποιήσει τις μεταβλητές οι οποίες περιβάλλουν την τοποθεσία πρόβλεψης. Οι μετρούμενες μεταβλητές που βρίσκονται πιο κοντά στην τοποθεσία πρόβλεψης θα έχουν περισσότερη επιρροή στις μεταβλητές πρόβλεψης από εκείνες που βρίσκονται πιο μακριά. Κατ' αυτό τον τρόπο η IDW υποθέτει πως κάθε μετρούμενο σημείο έχει έναν τοπικό επηρεασμό ο οποίος ελαττώνεται με την απόσταση. Υπολογίζει πολύ τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στην τοποθεσία πρόβλεψης από εκείνα που βρίσκονται μακριά εξου και το όνομά της IDW^[14].

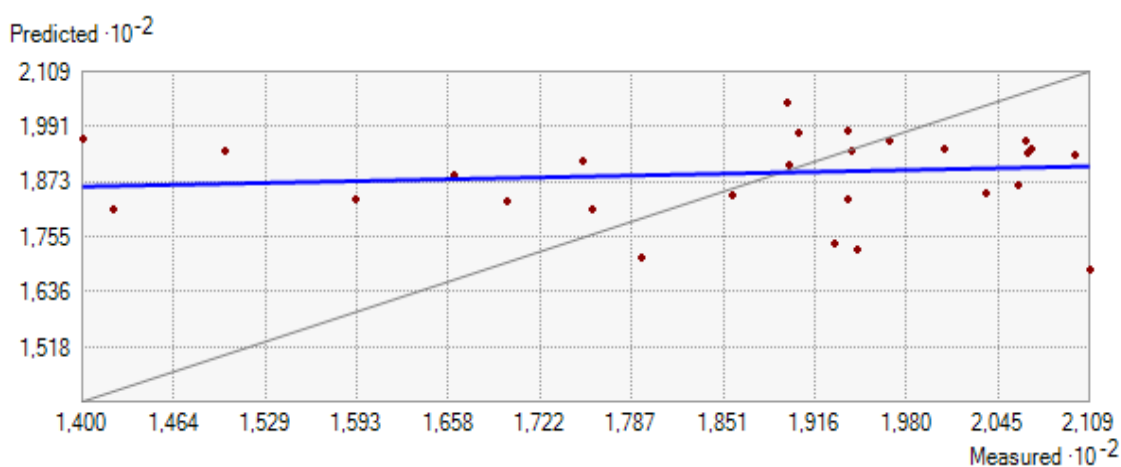
Σχήμα 1: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-IDW (Ιούλιος)



Στο διάγραμμα του Σχήματος 1 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος IDW για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015. Η γκρι ευθεία είναι η $y=ax$ που περνά από την αρχή των αξόνων και ιδανικά οι τιμές μας θα έπρεπε να είναι διασκορπισμένες γύρω από αυτήν την ευθεία. Αυτό θα συνέβαινε εάν η κλίση μας ήταν ίση με 1. Στις μεθόδους παρεμβολής όμως που χρησιμοποιούμε η κλίση είναι μικρότερη από 1, οπότε ποτέ η $y=ax$ δεν θα ταυτιστεί με την ευθεία (μπλε) που θα φτιάξει η μέθοδος με βάση τα σημεία που έχουν δοθεί. Οπότε σε κάθε διάγραμμα θα υπάρχει πάντα η ευθεία $y=ax$ και η μπλε ευθεία. Ακόμη και στην περίπτωση που οι μετρούμενες τιμές δεν απέχουν από τις προβλεπόμενες, οι ευθείες θα είναι 2 και θα διαφέρουν ως προς την κλίση τους έστω και λίγο. Παρατηρώντας λοιπόν το διάγραμμα του Σχήματος 1 βλέπουμε πως η IDW έχει δημιουργήσει την ευθεία $y=0,24x+170,80$ η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές που έχουν δοθεί. Η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος IDW για τους 34

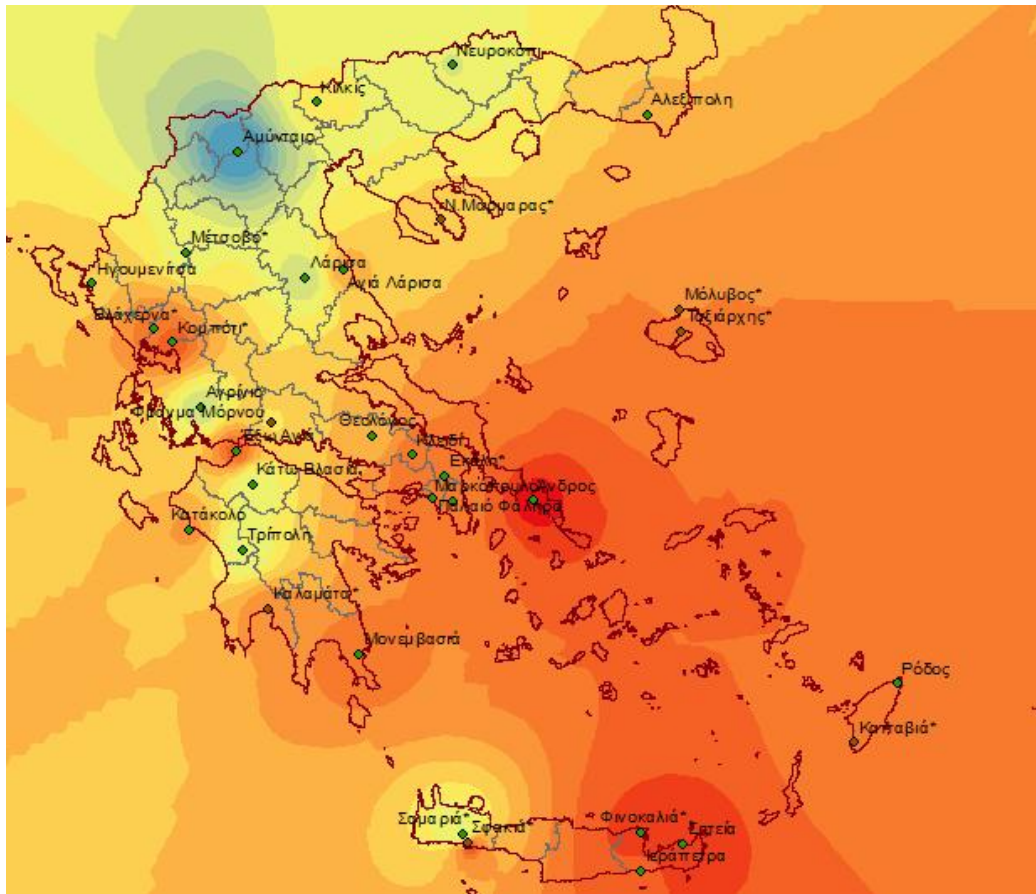
σταθμούς. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 6 και είναι οι ακόλουθοι: Άνδρος -18 kWh/m^2 , Λάρισα με διαφορά 22 kWh/m^2 , Τρίπολη με διαφορά 24 kWh/m^2 , Κάτω Βλασία με διαφορά 28 kWh/m^2 , Αγρίνιο με διαφορά 29 kWh/m^2 , Αμύνταιο με διαφορά 47 kWh/m^2 και η Σαμαριά με διαφορά 71 kWh/m^2 . Παρατηρούμε πως κάποιες τιμές είναι αρνητικές. Σε αυτήν την περίπτωση η μέθοδος εκτιμά πως η μετρούμενη τιμή θα έπρεπε να είναι χαμηλότερη. Στο Σχήμα 1a απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Inverse Distance Weighted Interpolation.

Σχήμα 2: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-IDW (Αύγουστος)



Στο διάγραμμα του Σχήματος 2 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος IDW για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015. Η ευθεία που έχει δημιουργήσει η IDW η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές είναι η $y=0,06x+177,78$. Η διαφορά στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος IDW. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 9 και είναι οι ακόλουθοι: Μονεμβασιά -18 kWh/m^2 , Κομπότι με διαφορά -19 kWh/m^2 , Αγιά Λάρισας με διαφορά -21 kWh/m^2 , Λάρισα με διαφορά 22 kWh/m^2 , Τρίπολη με διαφορά 24 kWh/m^2 , Αμύνταιο με διαφορά 39 kWh/m^2 , Έξω Αγιά με διαφορά -42 kWh/m^2 , Κάτω Βλασία με διαφορά 44 kWh/m^2 , Σαμαριά με διαφορά 56 kWh/m^2 . Στο Σχήμα 1b απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Inverse Distance Weighted Interpolation

Σχήμα 1a: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Ιούλιο 2015 με τη μέθοδο Inverse Distance Weighted Interpolation



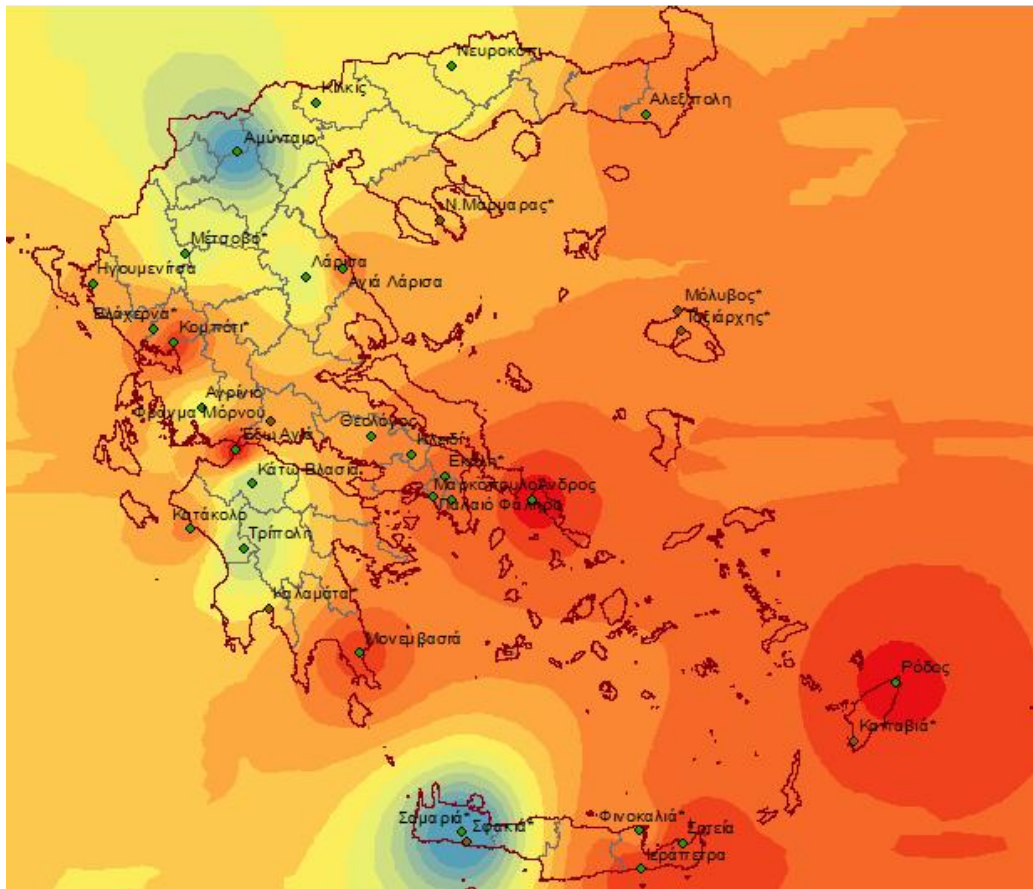
Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (IDW)-Ιούλιος 2015 (kWh/m²)

- 169 – 174
- 174 – 179
- 179 – 184
- 184 – 189
- 189 – 194
- 194 – 199
- 199 – 204
- 204 – 209
- 209 – 214
- 214 – 219
- 219 – 224
- 224 – 229
- 229 – 234
- 234 – 239
- 239 – 244
- 244 – 249

Σχήμα 1b: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Αύγουστο 2015 με τη μέθοδο Inverse Distance Weighted Interpolation



Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

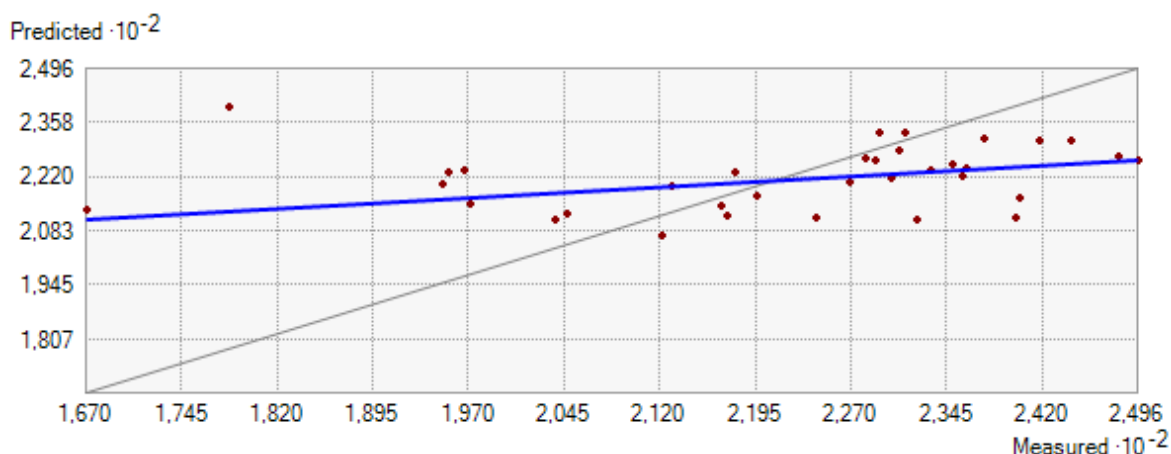
Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (IDW)-Αύγουστος 2015 (kWh/m²)

- 140 – 145
- 145 – 150
- 150 – 155
- 155 – 160
- 160 – 165
- 165 – 170
- 170 – 175
- 175 – 180
- 180 – 185
- 185 – 190
- 190 – 195
- 195 – 200
- 200 – 205
- 205 – 210

4.5.2 Empirical Bayesian Kriging (EBK)

Η EBK είναι μια γεωστατική μέθοδος παρεμβολής η οποία αυτοματοποιεί τις πιο δύσκολες πτυχές της δημιουργίας ενός έγκυρου μοντέλου Kriging. Άλλες μέθοδοι Kriging στη γεωστατική ανάλυση απαιτούν να ρυθμίσει ο χρήστης χειροκίνητα τις παραμέτρους ώστε να λάβει ακριβή αποτελέσματα, η EBK όμως υπολογίζει αυτόματα τις παραμέτρους αυτές μέσω μιας διαδικασίας υποσυνόλων και προσομοιώσεων. Διαφέρει επίσης από άλλες μεθόδους Kriging διότι λαμβάνει υπόψη το σφάλμα που εισάγεται από την εκτίμηση της ημιμεταβλητότητας. Άλλες μέθοδοι Kriging υπολογίζουν την ημιμεταβλητότητα χρησιμοποιώντας γνωστές τοποθεσίες δεδομένων και την χρησιμοποιούν ώστε να κάνουν προβλέψεις σε άγνωστες τοποθεσίες. Αυτή η διαδικασία έμμεσα υποθέτει πως η εκτιμώμενη ημιμεταβλητότητα είναι η πραγματική, για την περιοχή της παρεμβολής. Μην υπολογίζοντας την αβεβαιότητα της ημιμεταβλητότητας στην εκτίμηση της άποψης οι άλλες μέθοδοι Kriging υποτιμούν τα τυπικά σφάλματα της πρόβλεψης^[14].

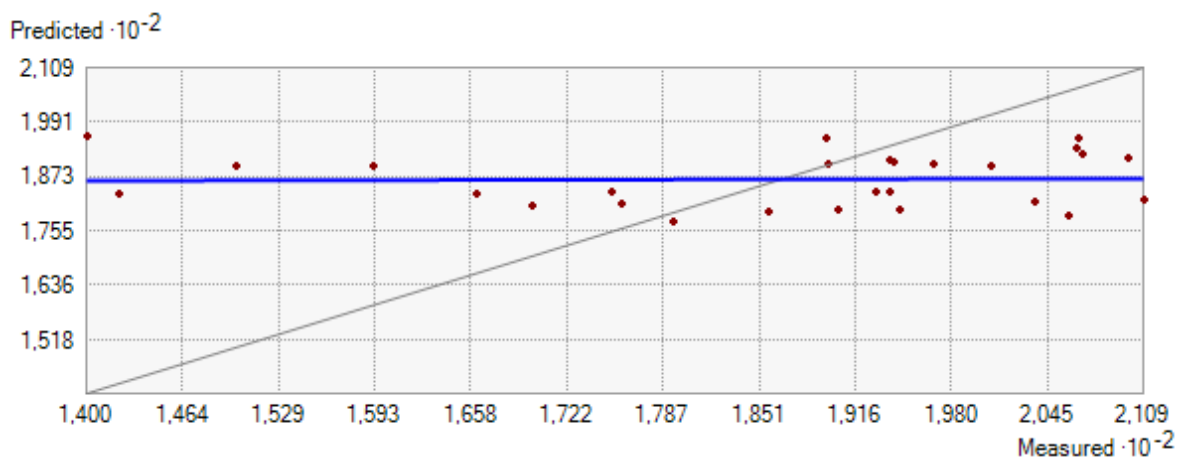
Σχήμα 1: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-EBK (Ιούλιος)



Στο διάγραμμα του Σχήματος 1 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος EBK για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015. Η ευθεία που έχει δημιουργήσει η EBK η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές είναι η $y=0,15x+187,07$. Όπως και στην μέθοδο IDW έτσι και εδώ η διαφορά στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος EBK. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 9 και είναι οι ακόλουθοι: Λάρισα με διαφορά 19 kWh/m², Άνδρος με διαφορά -21 kWh/m², Αγρίνιο με διαφορά 23 kWh/m², Έξω Αγιά με διαφορά -24 kWh/m², Κάτω Βλασία με διαφορά 25 kWh/m², Τρίπολη με διαφορά 26 kWh/m², Σφακιά με διαφορά -27 kWh/m², Σαμαριά με διαφορά 56 kWh/m², Αμύνταιο με διαφορά 48 kWh/m². Στο

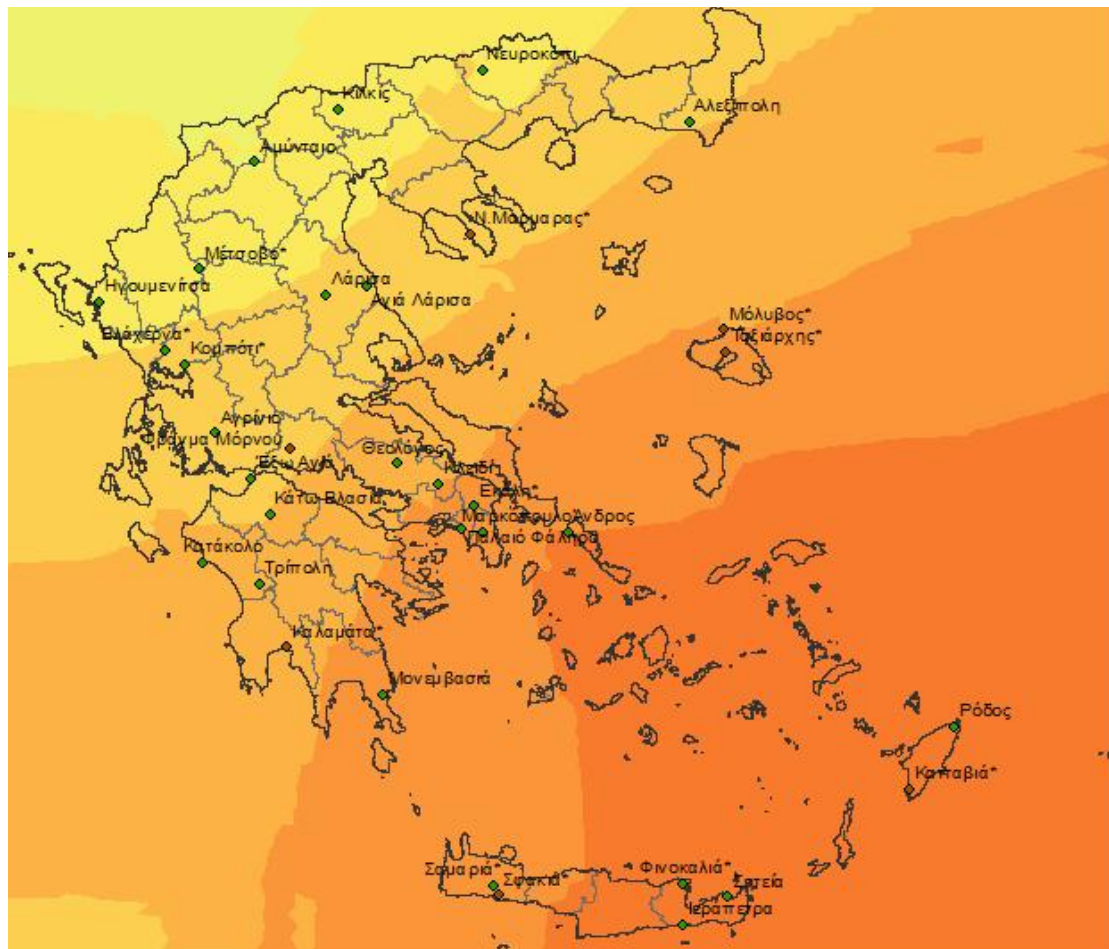
Σχήμα 2a απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Empirical Bayesian Kriking (EBK).

Σχήμα 2: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-EBK (Αύγουστος)



Στο διάγραμμα του Σχήματος 2 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος EBK για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015. Η ευθεία που έχει δημιουργήσει η EBK η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές είναι η $y=0,03x+180,55$. Όπως και πριν η διαφορά στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος EBK. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 8 και είναι οι ακόλουθοι: Λάρισα με διαφορά 18 kWh/m², Άνδρος με διαφορά -19 kWh/m², Κομπότι με διαφορά -25 kWh/m², Τρίπολη με διαφορά 27 kWh/m², Έξω Αγιά με διαφορά -28 kWh/m², Κάτω Βλασία με διαφορά 37 kWh/m², Αμύνταιο με διαφορά 41 kWh/m², Σαμαριά με διαφορά 53 kWh/m². Στο Σχήμα 2b απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Empirical Bayesian Kriking (EBK).

Σχήμα 2α: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Ιούλιο 2015 με τη μέθοδο Empirical Bayesian Kriging Interpolation



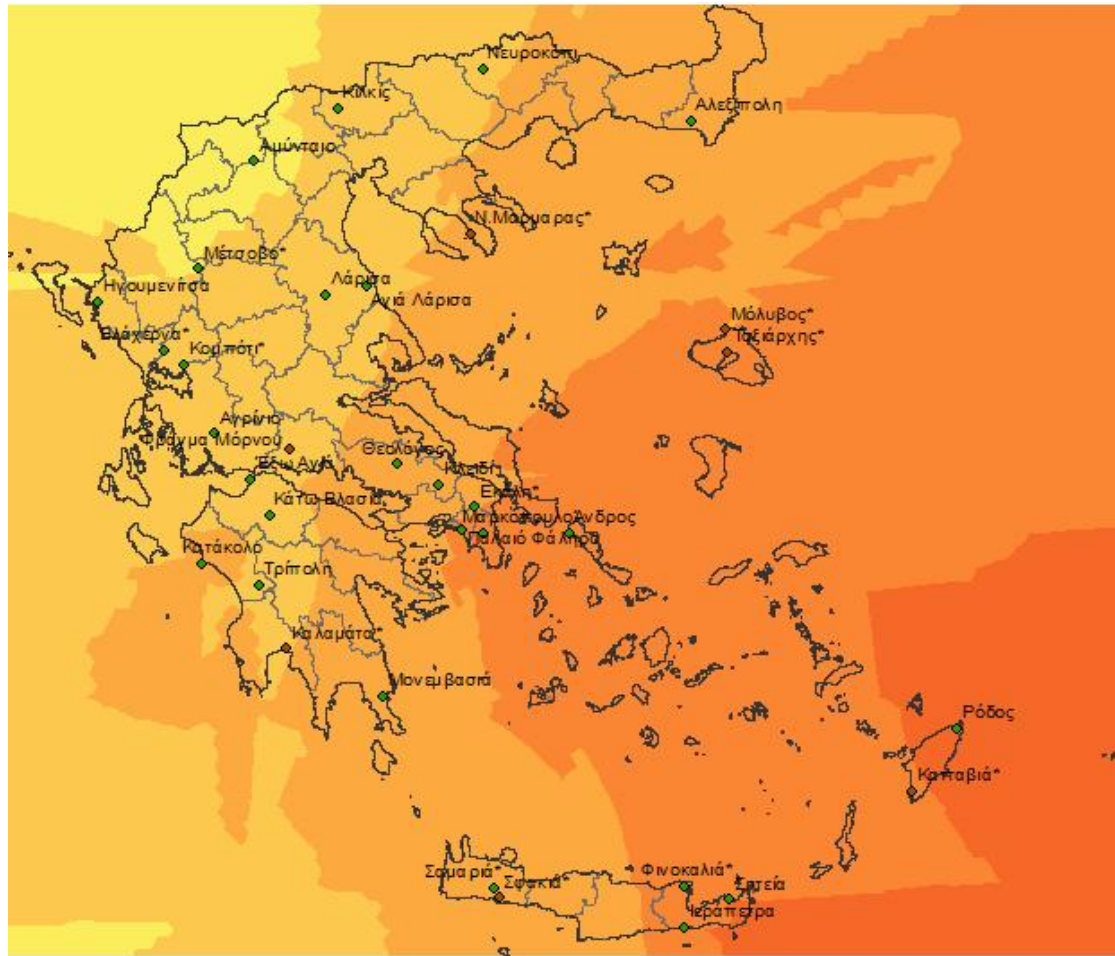
Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (EBK)-Ιούλιος 2015 (kWh/m²)

- 169 – 174
- 174 – 179
- 179 – 184
- 184 – 189
- 189 – 194
- 194 – 199
- 199 – 204
- 204 – 209
- 209 – 214
- 214 – 219
- 219 – 224
- 224 – 229
- 229 – 234
- 234 – 239
- 239 – 244
- 244 – 249

Σχήμα 2b: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Αύγουστο 2015 με τη μέθοδο Empirical Bayesian Kriking Interpolation



Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

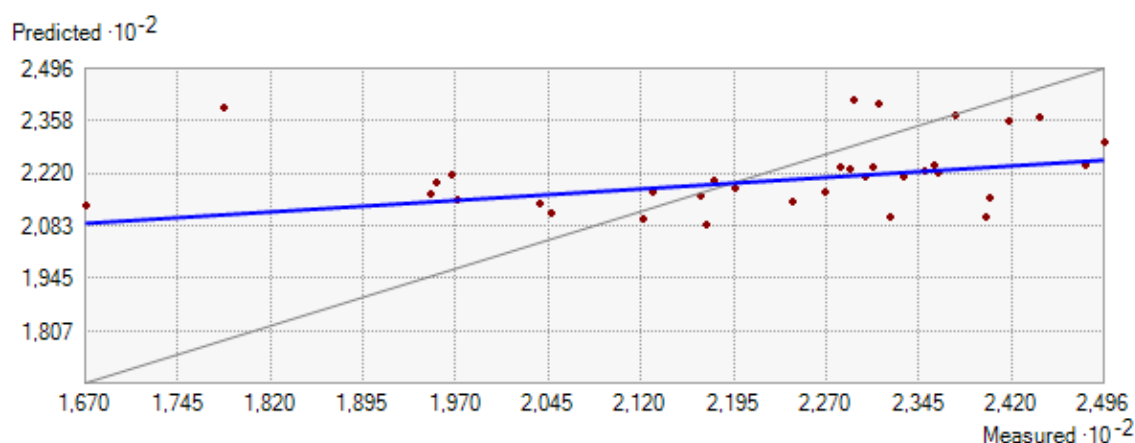
Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (EBK)-Αύγουστος 2015 (kWh/m²)

- 140 – 145
- 145 – 150
- 150 – 155
- 155 – 160
- 160 – 165
- 165 – 170
- 170 – 175
- 175 – 180
- 180 – 185
- 185 – 190
- 190 – 195
- 195 – 200
- 200 – 205
- 205 – 210

4.5.3 Global Polynomial Interpolation (GPI)

Η GPI προσαρμόζεται σε μια λεία επιφάνεια η οποία ορίζεται από μια μαθηματική συνάρτηση (ένα πολυώνυμο) στα σημεία εισόδου του δείγματος. Η πολυωνυμική επιφάνεια αλλάζει σταδιακά και συλλαμβάνει την τραχεία κλίμακα των δεδομένων. Ενωσιολογικά η GPI δημιουργεί μια αργά μεταβαλλόμενη επιφάνεια χρησιμοποιώντας πολυώνυμο χαμηλής τάξης για να περιγράψει ενδεχομένως μια φυσική διαδικασία. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι όσο πιο περίπλοκη είναι η πολυωνυμική συνάρτηση τόσο πιο δύσκολο είναι της αποδώσουμε φυσική έννοια. Επιπλέον, οι υπολογισμένες επιφάνειες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε ακραίες τιμές (εξαιρετικά υψηλές και πολύ χαμηλές τιμές) ιδιαίτερα στα άκρα. Μια πρώτης τάξης παρεμβολή με τη μέθοδο GPI ταιριάζει σε ένα μόνο επίπεδο δεδομένων. Μια δευτέρας τάξης ταιριάζει σε μια επιφάνεια η οποία παρουσιάζει κλίση σε ένα σημείο επιτρέποντας οι επιφάνειες να αναπαριστούν κοιλάδες. Μια τρίτης τάξης επιτρέπει κλίση σε δύο σημεία κ.ο.κ ^[14].

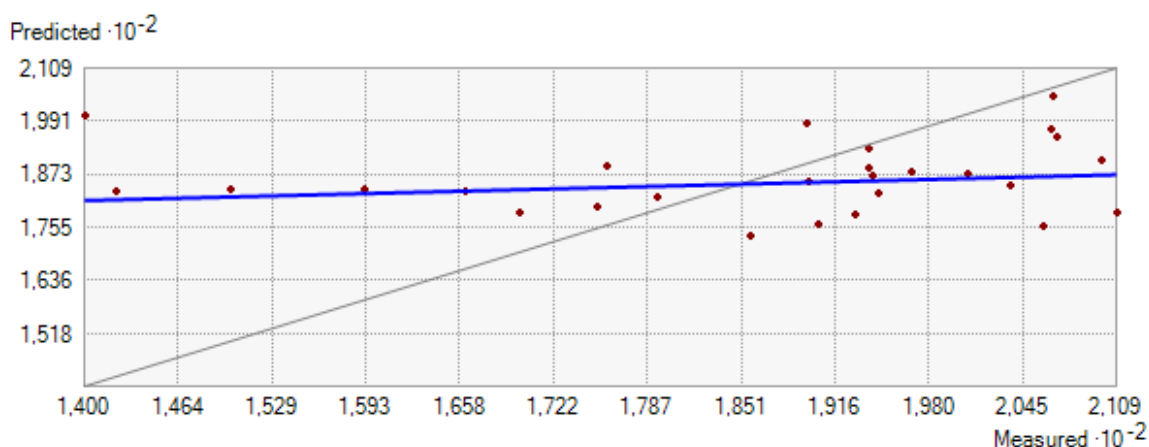
Σχήμα 1: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-GPI (Ιούλιος)



Στο διάγραμμα του Σχήματος 1 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος GPI για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015. Η ευθεία που έχει δημιουργήσει η GPI η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές είναι η $y=0,20x+175,32$. Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους έτσι και εδώ η διαφορά στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος GPI. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 11 και είναι οι ακόλουθοι: Λάρισα με διαφορά 18 kWh/m^2 , Σφακιά με διαφορά -19 kWh/m^2 , Αγρίνιο με διαφορά 21 kWh/m^2 , Βλάχερνα με διαφορά -21 kWh/m^2 , Άνδρος με διαφορά -23 kWh/m^2 , Κάτω Βλασία με διαφορά 24 kWh/m^2 , Έξω Αγιά με διαφορά -24 kWh/m^2 , Τρίπολη με διαφορά 25 kWh/m^2 , Κομπότι με διαφορά -28 kWh/m^2 , Αμύνταιο με διαφορά 46 kWh/m^2 και Σαμαριά με διαφορά 61 kWh/m^2 . Στο

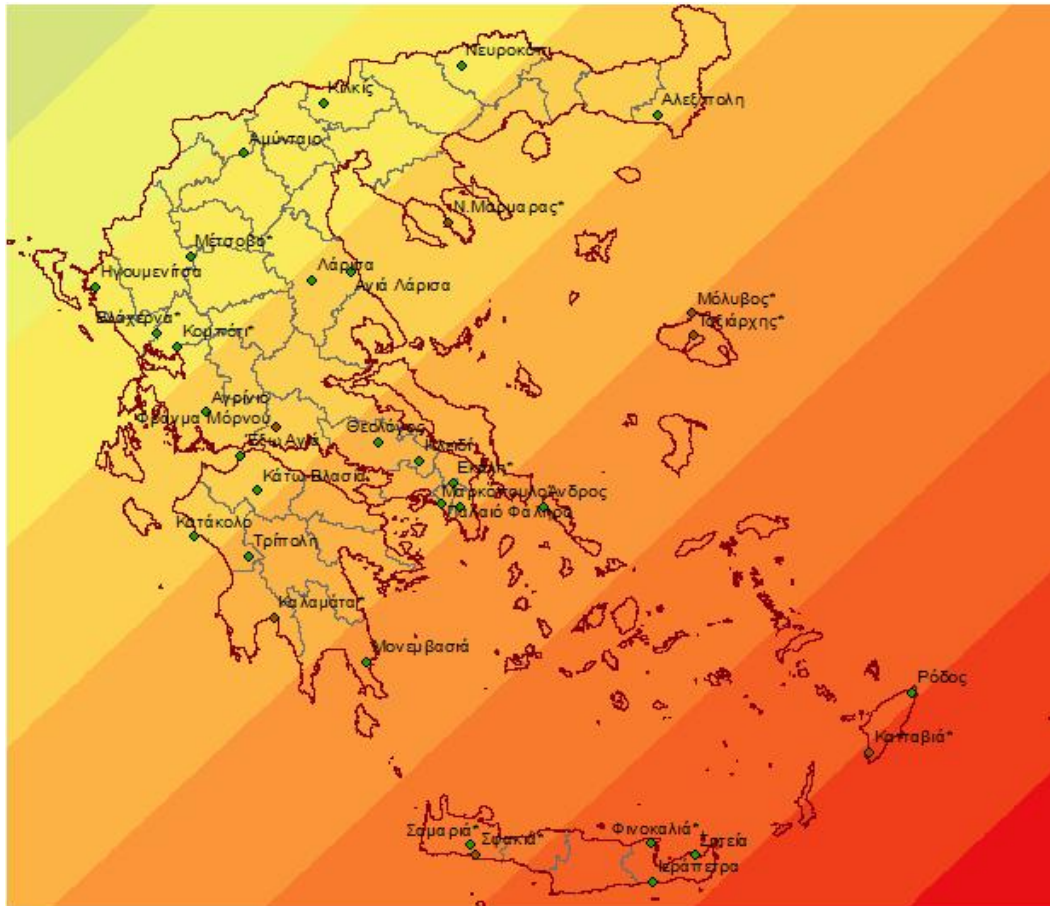
Σχήμα 3a απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Global Polynomial Interpolation (GPI).

Σχήμα 2: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-GPI (Αύγουστος)



Στο διάγραμμα του Σχήματος 2 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος GPI για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015. Η ευθεία που έχει δημιουργήσει η GPI η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές είναι η $y=0,08x+170,06$. Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους η διαφορά στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 8 σταθμοί και είναι οι ακόλουθοι: Μονεμβασιά -18 kWh/m^2 , Άνδρος -19 kWh/m^2 , Τρίπολη 24 kWh/m^2 , Κομπότι -30 kWh/m^2 , Έξω Αγιά -31 kWh/m^2 , Κάτω Βλασία 34 kWh/m^2 , Αμύνταιο 41 kWh/m^2 , Σαμαριά 60 kWh/m^2 . Στο Σχήμα 3b απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Global Polynomial Interpolation (GPI).

Σχήμα 3α: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Ιούλιο 2015 με τη μέθοδο Global Polynomial Interpolation



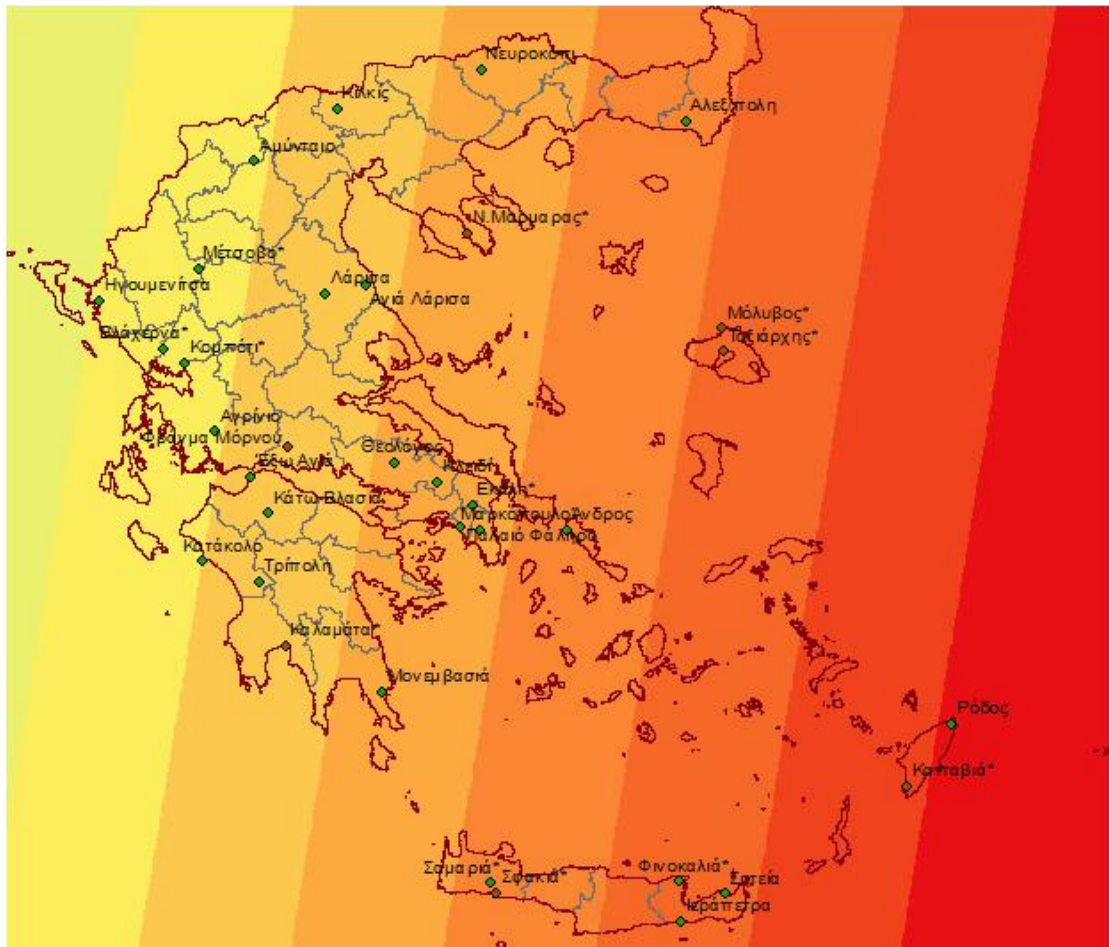
Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (GPI)-Ιούλιος 2015 (kWh/m²)

- 169 – 174
- 174 – 179
- 179 – 184
- 184 – 189
- 189 – 194
- 194 – 199
- 199 – 204
- 204 – 209
- 209 – 214
- 214 – 219
- 219 – 224
- 224 – 229
- 229 – 234
- 234 – 239
- 239 – 244
- 244 – 249

Σχήμα 3b: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Αύγουστο 2015 με τη μέθοδο Global Polynomial Interpolation



Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

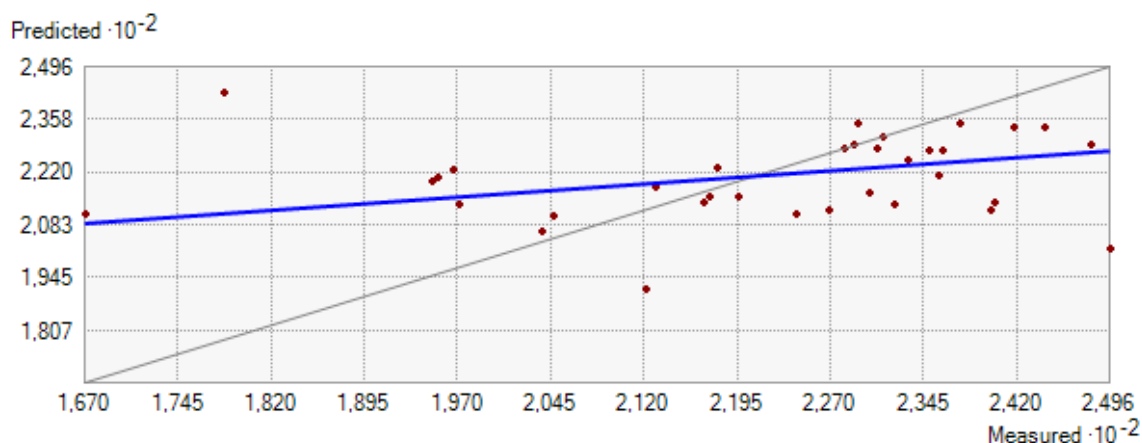
Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (GPI)-Αύγουστος 2015 (kWh/m²)

- 140 – 145
- 145 – 150
- 150 – 155
- 155 – 160
- 160 – 165
- 165 – 170
- 170 – 175
- 175 – 180
- 180 – 185
- 185 – 190
- 190 – 195
- 195 – 200
- 200 – 205
- 205 – 210

4.5.4 Local Polynomial Interpolation (LPI)

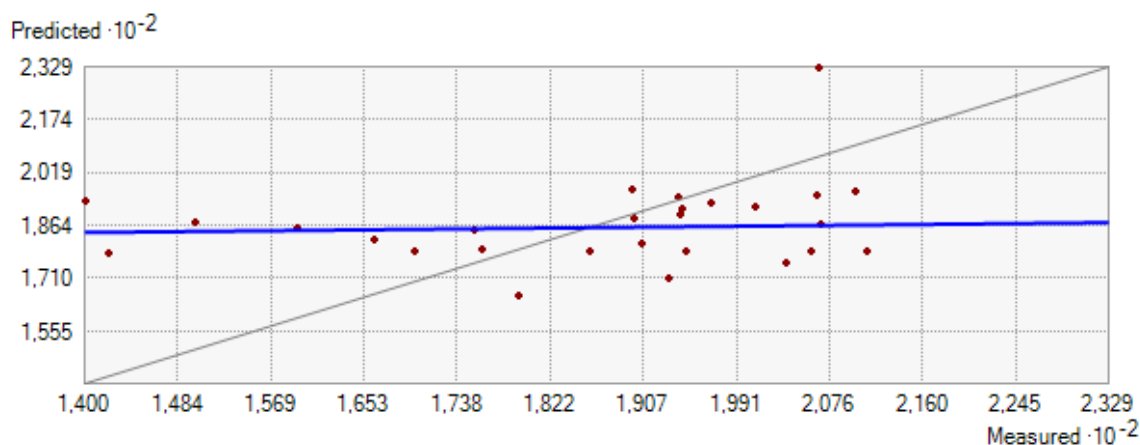
Ενώ η GPI προσαρμόζει ένα πολυώνυμο σε μια ολόκληρη επιφάνεια η LPI προσαρμόζει πολλά πολυώνυμα όπου καθένα ειδικεύεται να επικαλύπτει γειτονικές περιοχές. Η αναζήτηση των περιοχών μπορεί να οριστεί με βάση το μέγεθος, τον αριθμό των περιοχών και τη διαμόρφωση του τομέα. Η LPI σε αντίθεση με την GPI ταιριάζει σε όλες τις τάξεις των πολυωνύμων διότι χρησιμοποιεί σημεία μόνο εντός της καθορισμένης περιοχής. Οι περιοχές καλύπτονται και η τιμή που χρησιμοποιείται για κάθε πρόβλεψη είναι η τιμή του πολυωνύμου στο κέντρο της περιοχής^[14].

Σχήμα 1: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-LPI (Ιούλιος)



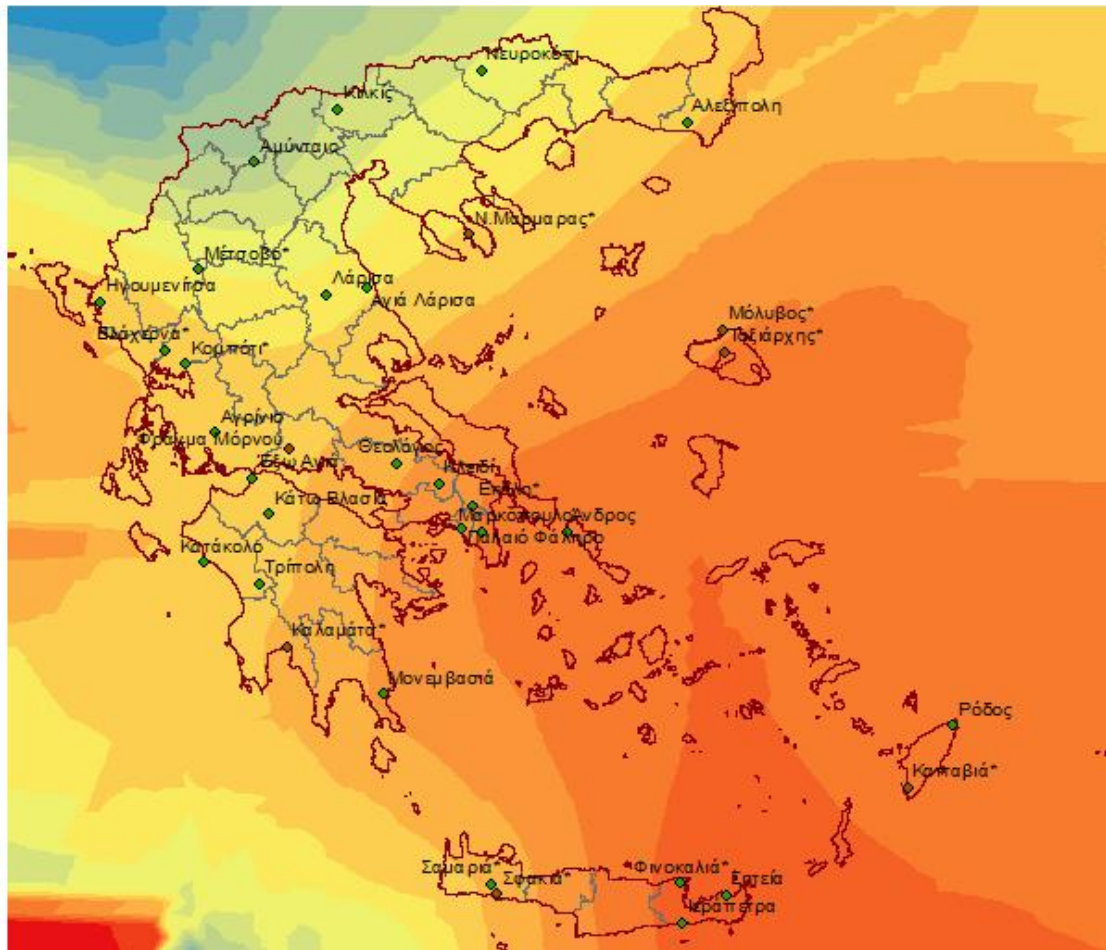
Στο διάγραμμα του Σχήματος 1 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος LPI για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015. Η ευθεία που έχει δημιουργήσει η LPI η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές είναι η $y=0,23x+170,29$. Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους έτσι και εδώ η διαφορά στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος LPI. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 11 και είναι οι ακόλουθοι: Άνδρος -18 kWh/m^2 , Βλάχερνα -18 kWh/m^2 , Κιλκίς -20 kWh/m^2 , Αγρίνιο 25 kWh/m^2 , Κάτω Βλασία 25 kWh/m^2 , Έξω Αγιά -26 kWh/m^2 , Τρίπολη 26 kWh/m^2 , Κομπότι -27 kWh/m^2 , Αμύνταιο 44 kWh/m^2 , Σφακιά -47 kWh/m^2 και Σαμαριά 64 kWh/m^2 . Στο σχήμα Σα απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 34 σταθμούς τον Ιούλιο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Local Polynomial Interpolation (LPI).

Σχήμα 2: διάγραμμα διασποράς των προβλεπόμενων σημείων σε σχέση με τις πραγματικές τιμές-LPI (Αύγουστος)



Στο διάγραμμα του Σχήματος 2 βλέπουμε τη διασπορά των μετρούμενων τιμών σε σχέση με τις προβλεπόμενες που δίνει η μέθοδος LPI για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015. Η ευθεία που έχει δημιουργήσει η LPI η οποία περνά ανάμεσα από τις τιμές είναι η $y=0,03x+179,93$. Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους η διαφορά στις 2 ευθείες οφείλεται στη μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιες μετρούμενες τιμές και στην αντίστοιχη τιμή πρόβλεψης που δίνει η μέθοδος. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά είναι 10 και είναι οι ακόλουθοι: Ιεράπετρα -19 kWh/m^2 , Κατάκολο -21 kWh/m^2 , Κομπότι -26 kWh/m^2 , Ρόδος 26 kWh/m^2 , Τρίπολη 26 kWh/m^2 , Μονεμβασιά -27 kWh/m^2 , Έξω Αγιά -31 kWh/m^2 , Αμύνταιο 36 kWh/m^2 , Κάτω Βλασία 37 kWh/m^2 και Σαμαριά 53 kWh/m^2 . Στο Σχήμα 4b απεικονίζεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας για 27 σταθμούς τον Αύγουστο 2015 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Local Polynomial Interpolation (LPI).

Σχήμα 4a: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Ιούλιο 2015 με τη μέθοδο Local Polynomial Interpolation



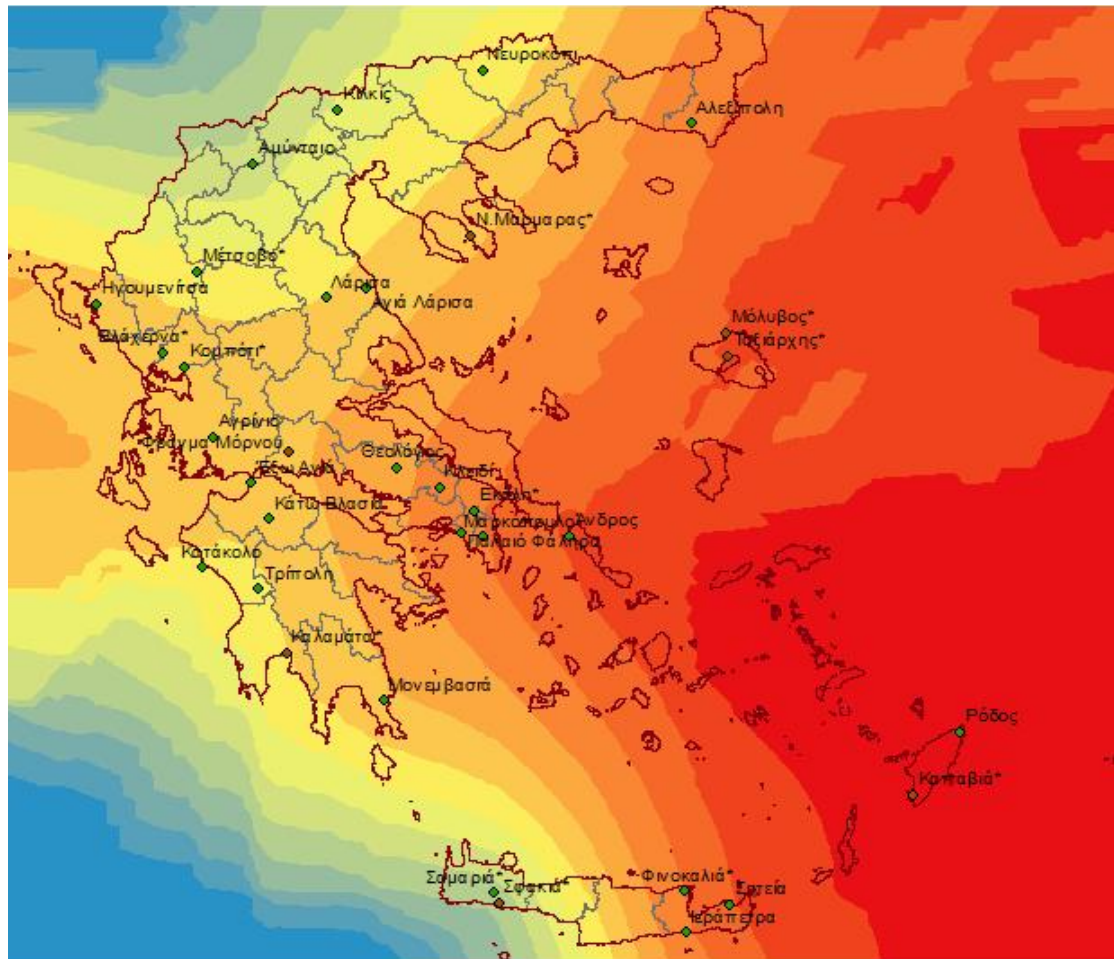
Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (LPI)-Ιούλιος 2015 (kWh/m²)

- 169 – 174
- 174 – 179
- 179 – 184
- 184 – 189
- 189 – 194
- 194 – 199
- 199 – 204
- 204 – 209
- 209 – 214
- 214 – 219
- 219 – 224
- 224 – 229
- 229 – 234
- 234 – 239
- 239 – 244
- 244 – 249

Σχήμα 4b: κατανομή ηλιακής ενέργειας για τον μήνα Αύγουστο 2015 με τη μέθοδο Local Polynomial Interpolation



Υπόμνημα:

Κλίμακα: 1:5.500.000 Km

Απεικόνιση κατανομής ηλιακής ενέργειας (LPI)-Αύγουστος 2015 (kWh/m²)

- 140 – 145
- 145 – 150
- 150 – 155
- 155 – 160
- 160 – 165
- 165 – 170
- 170 – 175
- 175 – 180
- 180 – 185
- 185 – 190
- 190 – 195
- 195 – 200
- 200 – 205
- 205 – 210

5. Σχόλια-Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκε η ηλιακή ενέργεια σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιώντας 4 μεθόδους παρεμβολών του προγράμματος ArcMap. Πιο συγκεκριμένα μελετήσαμε τη μηνιαία πορεία της ηλιακής ενέργειας και πως αυτή κυμαίνεται σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο 2015. Αφού ολοκληρώσαμε και τις 4 μεθόδους και δημιουργήσαμε τους αντίστοιχους ηλιακούς χάρτες τις συγκρίναμε ώστε να δούμε ποια ήταν η πιο αντιπροσωπευτική για το δικό μας μοντέλο με βάση τα δεδομένα που εισάγαμε. Πρώτα όμως, έγινε μια επεξεργασία των μηνιαίων τιμών ηλιακής ενέργειας ώστε πριν ακόμη εισαχθούν στο πρόγραμμα να έχουμε μια εικόνα για το που κυμαίνονται, αλλά και ποιες τιμές ενδέχεται να μας δημιουργήσουν πρόβλημα λόγω σφαλμάτων.

Για τον Ιούλιο, παρατηρούμε πως έχουμε τη χαμηλότερη τιμή στο Αμύνταιο με $166,98 \text{ kWh/m}^2$ και την υψηλότερη στα Σφακιά με $249,55 \text{ kWh/m}^2$. Με μια πρώτη ματιά θα έλεγε κανείς πως οι τιμές δεν φαίνονται λανθασμένες και αυτό διότι το Αμύνταιο βρίσκεται στη βόρεια Ελλάδα ενώ τα Σφακιά βρίσκονται στη νότια Κρήτη, όποτε η διαφορά είναι λογική. Παρατηρώντας όμως και τις υπόλοιπες τιμές και πιο συγκεκριμένα αυτές των γύρω σταθμών παρατηρούμε διαφορές. Παρατηρούμε λοιπόν πως οι σταθμοί που βρίσκονται γύρω από το Αμύνταιο στη βόρεια Ελλάδα έχουν υψηλότερες τιμές που κυμαίνονται: $212,22 \text{ kWh/m}^2$ - $219,53 \text{ kWh/m}^2$ με αποτέλεσμα να συμπεραίνουμε πως η τιμή στο Αμύνταιο είναι πιο χαμηλή από ότι θα έπρεπε. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η τιμή δεν είναι 100% αντιπροσωπευτική αλλά πιθανώς λόγω σφαλμάτων έχει διαμορφωθεί ως έχει. Περιμένουμε λοιπόν η χαμηλή αυτή τιμή να παρατηρηθεί από τις μεθόδους παρεμβολής και πιθανώς να επηρεάσει τα αντίστοιχα διαγράμματα και τον ηλιακό χάρτη. Αντίστοιχα η τιμή στα Σφακιά είναι μεν υψηλή όμως συνοδεύεται και από εξίσου υψηλές τιμές που κυμαίνονται γύρω στα 240 kWh/m^2 που έχουν οι γύρω σταθμοί οπότε και τη θεωρούμε φυσιολογική, δεν μπορούμε ακόμη να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα για το εάν η τιμή θα έπρεπε να διαφέρει.

Για τον Αύγουστο, παρατηρούμε πως έχουμε τη χαμηλότερη τιμή στη Σαμαριά με 140 kWh/m^2 και την υψηλότερη στην Έξω Αγιά με $210,92 \text{ kWh/m}^2$. Όπως παρατηρείται η τιμή στη Σαμαριά είναι πολύ χαμηλή κάτι που δεν είναι λογικό μιας και βρίσκεται στην Κρήτη και μιλάμε για καλοκαιρινό μήνα. Αυτό συμβαίνει καθότι είναι ένας σταθμός όπου οι μετρήσεις δεν έχουν πληρότητα 100% οπότε γνωρίζουμε εξ αρχής πως το σφάλμα αυτό επηρεάζει την τελική τιμή ηλιακής ενέργειας και γι αυτό βρίσκεται σε τόσο χαμηλά επίπεδα. Περιμένουμε λοιπόν πως αυτό θα εντοπιστεί από τις μεθόδους παρεμβολής που θα χρησιμοποιήσουμε και περιμένουμε να επηρεάσει τα αντίστοιχα διαγράμματα και τους χάρτες. Αντιθέτως

η τιμή της Έξω Αγιάς θα έλεγε κανείς πως είναι λογική καθότι και οι σταθμοί γύρω της έχουν τιμές που κυμαίνονται σε κοντινά επίπεδα. Δεν μπορούμε λοιπόν να είμαστε σίγουροι για το κατά πόσο η τιμή δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα αλλά λέμε πως η τιμή είναι φυσιολογική με βάση τα δεδομένα μας.

Ξεκινάμε την επεξεργασία στο πρόγραμμα ArcMap επιλέγοντας 4 μεθόδους παρεμβολής όπου σε κάθε μέθοδο εισάγουμε τις μηνιαίες τιμές ηλιακής ενέργειας Ιουλίου και Αυγούστου και δημιουργούμε έτσι τους αντίστοιχους ηλιακούς χάρτες. Αφού ολοκληρώσουμε τις 4 μεθόδους τις συγκρίνουμε ώστε να δούμε ποια ήταν η πιο κατάλληλη για μας. Ξεκινώντας λοιπόν από την IDW παρατηρούμε πως για τον Ιούλιο οι τιμές που εκτιμά η μέθοδος πως έχουν μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 6 από τις συνολικά 34. Στο διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,24x+170,80$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 2.100×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.670×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,30 \text{ kWh/m}^2$. Για τον Αύγουστο οι τιμές με μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 9 από τις συνολικά 27. Στο διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,06x+177,78$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 1.852×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.400×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,52 \text{ kWh/m}^2$. Προχωρώντας στην EBK παρατηρούμε πως για τον Ιούλιο οι τιμές που εκτιμά η μέθοδος πως έχουν μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 9 από τις συνολικά 34. Στο διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,15x+187,07$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 2.110×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.670×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,4 \text{ kWh/m}^2$. Για τον Αύγουστο οι τιμές με μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 8 από τις συνολικά 27. Στο διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,03x+180,55$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 1.852×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.400×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,52 \text{ kWh/m}^2$. Συνεχίζοντας στην GPI παρατηρούμε πως για τον Ιούλιο οι τιμές που εκτιμά η μέθοδος πως έχουν μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 11 από τις συνολικά 34. Στο διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,20x+175,32$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 2.083×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.670×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,13 \text{ kWh/m}^2$. Για τον Αύγουστο οι τιμές με μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 8 από τις συνολικά 27. Στο διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,08x+170,06$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 1.814×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.400×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,14 \text{ kWh/m}^2$. Τέλος στη LPI παρατηρούμε πως για τον Ιούλιο οι τιμές που εκτιμά η μέθοδος πως έχουν μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 11 από τις συνολικά 34. Στο διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,23x+170,29$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 2.083×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.670×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,13 \text{ kWh/m}^2$. Για τον Αύγουστο οι τιμές με μεγάλη διαφορά η μετρούμενη από την προβλεπόμενη είναι 10 από τις συνολικά 27. Στο

διάγραμμα διασποράς η ευθεία $y=0,03x+179,83$ που περνά από τα σημεία ξεκινά από την τιμή 1.842×10^{-2} ενώ η $y=ax$ ξεκινά από την τιμή 1.400×10^{-2} , έχουμε λοιπόν μια διαφορά $4,42 \text{ kWh/m}^2$.

Συγκρίνοντας τις 4 μεθόδους παρεμβολής που επιλέξαμε υπάρχουν αρκετά να σχολιάσουμε. Αρχικά έχουμε να πούμε πως όλες οι μέθοδοι εντόπισαν σφάλματα σε κάποιες τιμές που σημαίνει πως υπήρχαν σφάλματα ακόμη και εάν αυτό δεν ήταν εμφανές εκ πρώτης άποψης. Επίσης κάποιοι σταθμοί που είχαμε υποθέσει πως θα εμφανίσουν σφάλμα όντως εμφάνισαν, και κάποιοι από αυτούς εμφάνισαν και στις 4 μεθόδους, οπότε οι υποθέσεις που κάναμε βγήκαν σωστές. Ξεκινώντας με την IDW αρχικά παρατηρούμε πως είναι η μέθοδος με τη μικρότερη διαφορά σταθμών των οποίων απέχει η μετρούμενη τιμή από την προβλεπόμενη για Ιούλιο και Αύγουστο. Όσο αναφορά στα διαγράμματα διασποράς η διαφορά τον Ιούλιο είναι $4,30 \text{ kWh/m}^2$ και τον Αύγουστο $4,52 \text{ kWh/m}^2$. Συνεχίζοντας στην EBK παρατηρούμε πως υπάρχει μια μικρή αύξηση στους σταθμούς με διαφορά σε σχέση με την IDW. Στα διαγράμματα διασποράς η διαφορά τον Ιούλιο είναι $4,40 \text{ kWh/m}^2$ και τον Αύγουστο $4,52 \text{ kWh/m}^2$, δεν εμφανίζεται κάποια μεγάλη μεταβολή σε σχέση με πριν παρά μόνο μια μικρή αύξηση τον Ιούλιο. Στην GPI παρατηρούμε πως υπάρχει επίσης μια μικρή αύξηση στους σταθμούς με διαφορά σε σχέση με τις προηγούμενες 2 μεθόδους. Στα διαγράμματα διασποράς η διαφορά τον Ιούλιο είναι $4,13 \text{ kWh/m}^2$ και τον Αύγουστο $4,14 \text{ kWh/m}^2$, παρατηρούμε δηλαδή μια μείωση σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους. Τέλος, στην LPI παρατηρούμε πως έχουμε τους περισσότερους σταθμούς όπου απέχει η μετρούμενη τιμή από την προβλεπόμενη για Ιούλιο και Αύγουστο. Όμως στα διαγράμματα διασποράς δεν έχουμε μεγάλες διαφορές σε σχέση με την GPI παρά μόνο μια μικρή αύξηση τον Αύγουστο η διαφορά τον Ιούλιο είναι $4,13 \text{ kWh/m}^2$ και τον Αύγουστο $4,42 \text{ kWh/m}^2$.

Καταλήγοντας λοιπόν στην τελική επιλογή της μεθόδου που ήταν πιο αντιπροσωπευτική για εμάς, παρατηρώντας τα διαγράμματα και τις τιμές βλέπουμε πως οι διαφορές δεν είναι τόσο μεγάλες αλλά τα διαγράμματα, κυρίως του Αυγούστου, είναι όλα πολύ κοντινά μεταξύ τους. Εάν μπορούμε λοιπόν να ξεχωρίσουμε μια μέθοδο λίγο περισσότερο από τις υπόλοιπες τότε αυτή είναι η LPI, διότι παρουσιάζει χαμηλές διαφορές στα διαγράμματα διασποράς, η ηλιακή ενέργεια κυμαίνεται ομαλά στην απεικόνιση των χαρτών και τείνει να βελτιώσει τις περισσότερες τιμές.

Βιβλιογραφία

- [1] http://49lyk-athin.att.sch.gr/DOMH_HLIOY.htm
- [2] <https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιος>
- [3] Κωνσταντίνος Π. Ίακωβίδης Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέας Φυσικής Περιβάλλοντος-Μετεωρολογίας Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2009, Εισαγωγή στη Φυσική Μετεωρολογία: Ηλιακή και Γήινη Ακτινοβολία-Δράσεις στη Βιόσφαιρα Θερμοδυναμική Της Ατμόσφαιρας, Αθήνα.
- [4] https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια
- [5] <http://www.eppleylab.com/solar.htm>
- [6] Κωνσταντίνος Α. Μπαλαράς, Αθανάσιος Α. Αργυρίου, Φώτης Ε. Καραγιάννης (2006). Συμβατικές & Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Αθήνα.
- [7] http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis.htm
- [8] <https://el.wikipedia.org/wiki/Ακτινόμετρο>
- [9] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9060:ed-1:v1:en>
- [10] <http://www.eppleylab.com/history.htm>
- [11] <http://www.kippzonen.com/About>
- [12] <http://www.kippzonen.com/Product/281/SMP10-Pyranometer#.Vx4UH49OLIU>
- [13] <http://web.gys.gr/GeoSearch/>
- [14] ArcGIS 10.2.2 Help