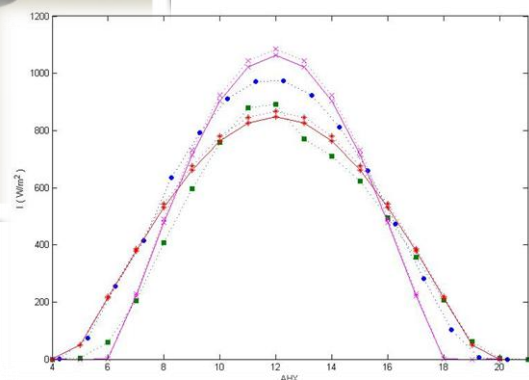


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ  
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ  
ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ  $K_T$  ΣΕ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΙ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΑΣΗ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (Α.Μ. 5610)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : Δρ. ΕΛΕΝΗ ΚΑΠΛΑΝΗ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο εργαστήριο ΑΠΕ του τμήματος Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην μελέτη της προσπίπτουσας στην Γη ηλιακής ακτινοβολίας και του συντελεστή αιθριότητας.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η μοντελοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και του συντελεστή αιθριότητας για τον προσδιορισμό των μεγεθών αυτών σε ημερήσια και μηνιαία βάση και την εφαρμογή μοντέλου πρόβλεψης της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ολικής ακτινοβολίας. Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων έγινε στο περιβάλλον του λογισμικού MATLAB. Επίσης, γίνεται επαλήθευση των μοντέλων με ανάλυση δεδομένων πολλών ετών για την Πάτρα από την διεθνή βάση δεδομένων SoDa.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Καπλάνη Ελένη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε για την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Επίσης, τον καθηγητή κ. Σωκράτη Καπλάνη για τις χρήσιμες υποδείξεις του.

Νικόλαος Παναγόπουλος

Πάτρα, 13 Ιουνίου 2013

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται ανάλυση πρωτογενών δεδομένων έντασης ηλιακής ακτινοβολίας με σκοπό την μελέτη των διακυμάνσεων της καθώς και των συνιστωσών της και την εφαρμογή διαθέσιμων μοντέλων της διεθνούς βιβλιογραφίας για τον προσδιορισμό της ημερήσιας ακτινοβολίας και του συντελεστή αιθριότητας. Με την βοήθεια μοντέλων γίνεται επίσης προσπάθεια πρόβλεψης της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας πρόβλεψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εφαρμογών όπως : διαστασιολόγηση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, δυναμική διαχείριση των φορτίων ενός “έξυπνου” συστήματος ή εγκατάστασης, υπολογισμός της ενεργειακής συμπεριφοράς φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συλλεκτών, μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις καλλιέργειες κ.α.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο από τα επτά κεφάλαια της εργασίας περιγράφονται τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στον ήλιο και τα οποία είναι υπεύθυνα για την έκλυση ενέργειας ακτινοβολίας. Επίσης γίνεται ορισμός των βασικών μεγεθών που την περιγράφουν, δηλαδή η ένταση ολικής, άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας, η ακτινοβολία στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας και ο συντελεστής αιθριότητας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ορίζονται τα απαραίτητα τριγωνομετρικά μεγέθη που πρέπει να λάβει κανείς υπ όψιν σε μια μελέτη της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, όπως οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής που μελετάται, ο αληθής ηλιακός χρόνος και οι γωνίες που σχηματίζονται σε σχέση με τον ήλιο και το επίπεδο παρατήρησης. Δίδονται παράλληλα οι αλγοριθμικές συναρτήσεις που υλοποιήθηκαν στο περιβάλλον του MATLAB για τους υπολογισμούς αυτούς.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας, των οργάνων που αυτός διαθέτει καθώς και περιγραφή της λειτουργίας των οργάνων μέτρησης της ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και της συσκευής ηλεκτρονικής καταχώρησης των μετρήσεων αυτών.

Στην συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η μορφή των δεδομένων που συλλέχθηκαν και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον έλεγχο και την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή των μεγεθών της ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, της ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας και του συντελεστή αιθριότητας σε ωριαία, ημερήσια και μηνιαία βάση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μοντελοποίηση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και του συντελεστή αιθριότητας με την προσαρμογή συναρτήσεων που έχουν προταθεί στην διεθνή βιβλιογραφία στα δεδομένα που υπέστησαν επεξεργασία.

Το ίδιο γίνεται και σε δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας πολλών ετών του διαδικτύου από την διεθνή βάση δεδομένων της SoDa.

Έχοντας υπολογίσει της παραμέτρους του μοντέλου που αφορούν την πόλη της Πάτρας, στο έκτο κεφάλαιο γίνεται προσδιορισμός της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ακτινοβολίας για κάθε ώρα των αντιπροσωπευτικών ημερών του έτους. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συγκρίνονται με αυτά που προέρχονται από τις μετρήσεις του εργαστηρίου και της βάσης δεδομένων SoDa.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση που έγινε συνολικά, στην παρούσα πτυχιακή.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	3
1.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΓΗΣ, ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΣΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	4
1.3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	5
1.4 ΟΛΙΚΗ, ΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	6
1.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	7
1.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ .....	11

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ .....	15
2.2 ΑΛΗΘΗΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΑΗΧ) .....	15
2.3 ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	17

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΠΕ – ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

3.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ.....	21
3.2 ΟΡΓΑΝΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	22
3.2.1 Πυρανόμετρο .....	22
3.2.2 Καταχωρητής (Data logger).....	28
3.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	29

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

4.1 ΜΟΡΦΗ ΑΡΧΕΙΟΥ .....	30
4.2 ΠΡΟ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	31
4.2.1 Έλεγχος .....	31
4.2.2 Μορφοποίηση ως προς Ανατολή – Δύση ηλίου .....	32
4.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΩΡΙΑΙΑ.....	33
4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΡΙΑΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ .....	35
4.4.1 Σχόλια .....	52
4.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ .....	54

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΟΛΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ**

5.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	57
5.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΠΕ .....	58
5.2.1 Μοντελοποίηση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας( $H$ ) .....	59
5.2.2 Μοντελοποίηση του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ ) .....	64
5.3 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ SoDa.....	69
5.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SoDa .....	71
5.4.1 Μοντελοποίηση δεδομένων ημερήσιας ακτινοβολίας .....	71
5.4.2 Υπολογισμός και μοντελοποίηση του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας.....	73
5.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	75

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

6.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	77
6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	78
6.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	80
6.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....	82
6.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	84
6.5.1 Πρόβλεψη από μοντελοποίηση δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας .....	85
6.5.2 Πρόβλεψη από μοντελοποίηση των δεδομένων της βάσης δεδομένων SoDa ...	87
6.5.3 Σχόλια .....	89

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....**

90

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....**

92

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα μεγάλο ζήτημα που αφορά την ανθρωπότητα, τουλάχιστον εδώ και δυο χιλιετίες, είναι η παραγωγή ενέργειας από διάφορες μορφές όπως θερμική, μηχανική και άλλες. Από την κατασκευή της πρώτης ατμομηχανής από τον Ήρωνα (Ήρων ο Αλεξανδρινός 1<sup>ος</sup> – 2<sup>ος</sup> αι. ΜΧ) μέχρι σήμερα, ο άνθρωπος έχει καταφέρει να δημιουργήσει μηχανές και συσκευές οι οποίες θα καλύψουν τις ανάγκες του για μετακίνηση, μηχανική δύναμη, θέρμανση και φωτισμό. Με την τεχνολογία να εξελίσσεται και τον τρόπο ζωή μας να αλλάζει, η ζήτηση για ενέργεια συνεχώς αυξάνεται.

Ένα νέο μέσο μεταφοράς ενέργειας παρατηρήθηκε στα μέσα περίπου του 19 αιώνα από τον Γερμανό Γεώργιο Ωμ (Georg Ohm 1789 – 1854 ) το ηλεκτρικό ρεύμα. Η εύρεση μεθόδων μεταφοράς και αποθήκευσης του, το έκαναν στα χρόνια που ακολούθησαν το πιο διαδομένο μέσο μεταφοράς ισχύος.

Στην εποχή που βρισκόμαστε, η παραγωγή προϊόντων, οι μεταφορές και ο τρόπος ζωής των κατοίκων των ανεπτυγμένων χωρών βασίζεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με την Διεθνή Αρχή Ενέργειας (International Energy Agency, IEA) οι απαιτήσεις του πλανήτη για ηλεκτρική ενέργεια αυξήθηκαν κατά 90% περίπου κατά την περίοδο 1970 – 2010 (IEA 2013) . Ενέργεια η οποία στο μεγαλύτερο βαθμό της εξαρτάται από την εξόρυξη πρώτων υλών και την επεξεργασία αυτών ώστε να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμη ύλη. Φυσικό επακόλουθο της διαδικασίας αυτής είναι η εξάντληση των φυσικών αποθεμάτων και η ρύπανση της Γης. Στην Ελλάδα, περίπου το 65% της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος βασίζεται στην εκμετάλλευση πρώτων υλών όπως ο λιγνίτης και το πετρέλαιο και κατά 25,9% στην εκμετάλλευση του φυσικού αερίου σύμφωνα με την ρυθμιστική αρχή ενέργειας (ΡΑΕ 2008). Με αυξανόμενες τις ενεργειακές απαιτήσεις ένα επίσης σημαντικό θέμα που προκύπτει, το οποίο και αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για το μέλλον της ανθρωπότητας, είναι η βιωσιμότητα του φυσικού περιβάλλοντος.

Απάντηση σε αυτά τα προβλήματα μπορούν να αποτελέσουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ΑΠΕ, δηλαδή πηγές ενέργειας οι οποίες βασίζονται στην φυσική ροή ενέργειας στον πλανήτη. Μερικές από αυτές είναι : η ενέργεια του νερού, η ηλιακή ενέργεια, η αιολική και η βιομάζα. Τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα αυτών είναι τα ανεξάντλητα αποθέματα τους και η ελάχιστη ή μηδενική εκπομπή ρύπων κατά την μετατροπή τους σε άλλες μορφές ενέργειας όπως το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ανάπτυξη των μεθόδων αξιοποίησης των ΑΠΕ απασχολεί τουλάχιστον την τελευταία τριακονταετία ένα μεγάλο μέρος της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας. Περίπου στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα λόγω των πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής αλλά και της ανάπτυξης της βιομηχανίας που βασιζόταν στον ηλεκτρισμό, ανακινήθηκε το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές

ενέργειας. Μερικές δεκαετίες αργότερα και με την κατασκευή των πρώτων αιολικών πάρκων και την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για την θέρμανση νερού στις οικίες είχε ξεκινήσει παγκόσμια η προσπάθεια για την αξιοποίηση τους. Πλέον, για ολοένα περισσότερες χώρες η αξιοποίηση των ΑΠΕ αποτελεί μέρος της εθνικής τους στρατηγικής (επιτροπή Ε.Ε., green paper 2013). Όσον αφορά την χώρα μας, μια από τις σημαντικότερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί είναι ο ήλιος. Λόγω του κλίματος που επικρατεί, η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά ηλιοφάνειας κατά την διάρκεια του έτους και η αξιοποίηση της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο αποτελεί μια από τις λύσεις στο πρόβλημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της θέρμανσης. Συνεπώς, πολύ σημαντική είναι η μελέτη της προσπίπτουσας στην Γη ηλιακής ακτινοβολίας και ο προσδιορισμός της εντάσεως της κατά την διάρκεια του έτους αλλά και στις διαφορετικές περιοχές της χώρας.

Είναι χρήσιμο για τον σχεδιασμό εφαρμογών που αφορούν την αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας να υπάρξει μια μαθηματική προσέγγιση στις διακυμάνσεις της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του έτους. Λόγω όμως των παραγόντων που την επηρεάζουν όπως το κλίμα, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα εξάτμισης του νερού και η συμπύκνωση των υδρατμών, είναι αδύνατο να υπάρξει μια μαθηματική σχέση που να περιγράφει απόλυτα αυτές τις διακυμάνσεις για αυτό οι μέθοδοι που ακολουθούνται είναι στοχαστικές και βασίζονται σε μοντέλα πρόβλεψης τα οποία προσαρμόζονται στις συνθήκες κάθε μελέτης. Η ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων μπορεί να βοηθήσει στον σχεδιασμό αυτόνομων συστημάτων, ενεργειακά “έξυπνων” εγκαταστάσεων και τον προσδιορισμό του οφέλους μιας εγκατάστασης.

# 1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

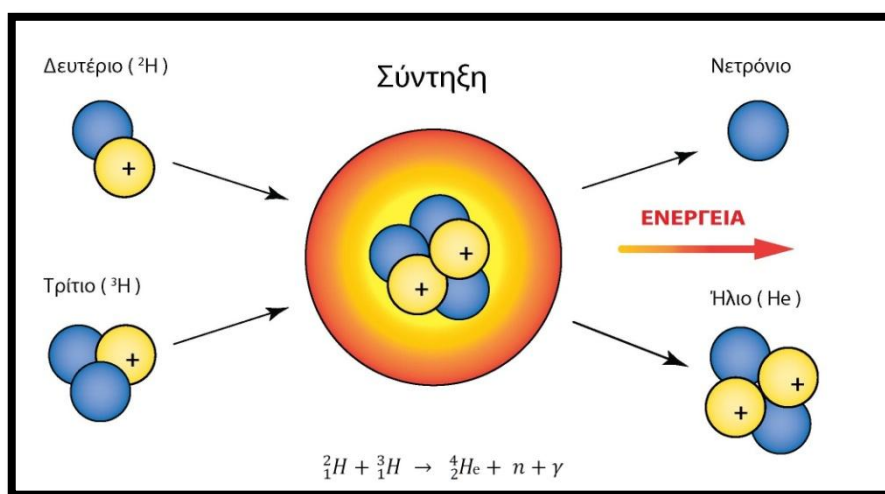
## 1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια εννοείται η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο. Ο Ήλιος, το μοναδικό άστρο του ηλιακού μας συστήματος γύρω από το οποίο κινούνται οι πλανήτες, είναι ουσιαστικά μια σφαίρα αερίων με κυρίαρχα τα αέρια υδρογόνο (σε ποσοστό περίπου 70%) και ήλιο (σε ποσοστό περίπου 28%) ενώ το υπόλοιπο 2% καταλαμβάνουν άλλα στοιχεία (NASA, 2013).

Το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα στον ήλιο και το οποίο είναι υπεύθυνο για την εκπομπή τεράστιων ποσών ενέργειας είναι η πυρηνική σύντηξη.

Πυρηνική σύντηξη ονομάζεται η διαδικασία συνένωσης δύο στοιχείων με μικρό ατομικό αριθμό, δηλαδή “ελαφρών” πυρήνων που αποτελούνται από ένα πρωτόνιο και ένα ή δυο νετρόνια, με αποτέλεσμα την δημιουργία στοιχείων “βαρέων” πυρήνων, όπως στοιχεία με 2 πρωτόνια και 2 νετρόνια. Η διαδικασία της σύντηξης λαμβάνει χώρα σε συνθήκες πολύ υψηλών θερμοκρασιών της τάξεως των  $10^7$  βαθμών κελσίου και πίεση 2 με 3 ατμοσφαιρών. Κατά την διαδικασία μιας αντίδρασης σύντηξης πυρήνων στον ήλιο, δυο ισότοπα υδρογόνου (συνήθως δευτέριο και τρίτιο) συγκρούονται με τεράστια ταχύτητα και συντήκονται (συγκολλούνται) με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός νέου στοιχείου (μεταστοιχείωση) , του ηλίου, με μεγαλύτερο πυρήνα (Σχ. 1.1). Με την σύγκρουση αυτή απελευθερώνονται τεράστια ποσά ενέργειας λόγω του ότι κατά την συνένωση των ατόμων “ελαφρών” πυρήνων δημιουργείται ενεργειακό έλλειμμα σε σχέση με το στοιχείο “βαρέως” πυρήνα που δημιουργήθηκε. Η ενέργεια που απομένει εκλύεται υπό την μορφή κινητικής ενέργειας στα παραπροϊόντα της αντίδρασης (νετρόνια, νετρίνα, ποζιτρόνια), ακτινοβολίας  $\gamma$  και θερμότητας (Shultis and Faw, 2002).

Έχει υπολογιστεί πως κάθε δευτερόλεπτο, μέσω της διαδικασίας της σύντηξης, περίπου 655 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου από τη μάζα του ήλιου μετατρέπονται σε 650 εκατομμύρια τόνους ηλίου που συνεχίζουν να αποτελούν την μάζα του Ήλιου. Από τη διαφορά αυτή περίπου 5 εκατομμύρια τόνοι μετατρέπονται σε ενέργεια.



Σχήμα 1.1 : Πυρηνική σύντηξη πυρήνων δευτέρου και τρίτιου

Η ενέργεια που απελευθερώνεται υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης ενέργειας – μάζας του Α.Εinstein (Εξ. 1.1) :

$$E = m \cdot c^2 \quad (1.1)$$

όπου:  $E$  = ενέργεια

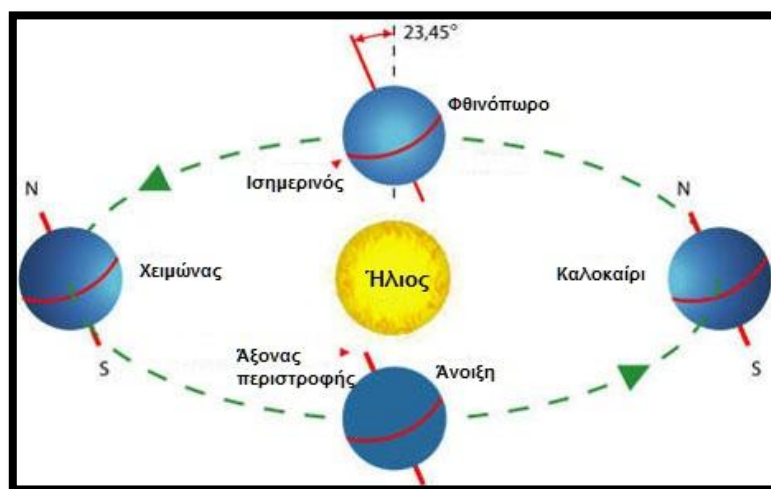
$m$  = μάζα

$c$  = η ταχύτητα του φωτός στο κενό:  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Με βάση τον παραπάνω τύπο μπορούμε να υπολογίσουμε ότι η συνολική ισχύς που εκπέμπεται από την επιφάνεια του ήλιου αντιστοιχεί σε περίπου  $4.1 \times 10^{26} \text{ W}$  για θερμοκρασία περίπου 6000K (NASA 1995).

## 1.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΓΗΣ, ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΣΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τα ποσά ακτινοβολίας που φθάνουν στον πλανήτη μας από τον ήλιο είναι η γεωμετρία της Γης καθώς και η θέση της στο ηλιακό σύστημα. Όπως είναι γνωστό, το σχήμα της Γης είναι κατά προσέγγιση σφαιρικό με ελαφρώς μεγαλύτερη την ακτίνα ισημερινού από την ακτίνα γεωγραφικού πόλου και κλίση  $23.45^\circ$  ως προς τον νοητό κάθετο άξονα. Απέχει περίπου 1 αστρονομική μονάδα από τον ήλιο ( $1AU \approx 150 \times 10^6 \text{ km}$ ), σύμφωνα με την NASA (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος, ΗΠΑ) και εκτελεί δυο βασικές κινήσεις, μια περιστροφική γύρω από τον άξονα της και μια ελλειπτική περιφορά γύρω από τον ήλιο. Για να ολοκληρώσει μια περιστροφή της γύρω από τον άξονα της χρειάζεται 24 ώρες ενώ χρειάζεται 365 ημέρες για να ολοκληρώσει μια περιφορά γύρω από τον ήλιο. Η κλίση της Γης είναι υπεύθυνη για την εναλλαγή των εποχών αλλά και για την διαφορά εποχών μεταξύ βόρειου και νότιου ημισφαιρίου.



Σχήμα 1.2 : Τροχιά Γης στο ηλιακό σύστημα

Το σχήμα της Γης καθώς και η κίνηση της γύρω από τον ήλιο είναι σημαντική, διότι από αυτό εξαρτάται το κλίμα κάθε περιοχής καθώς και οι μεταβολές στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

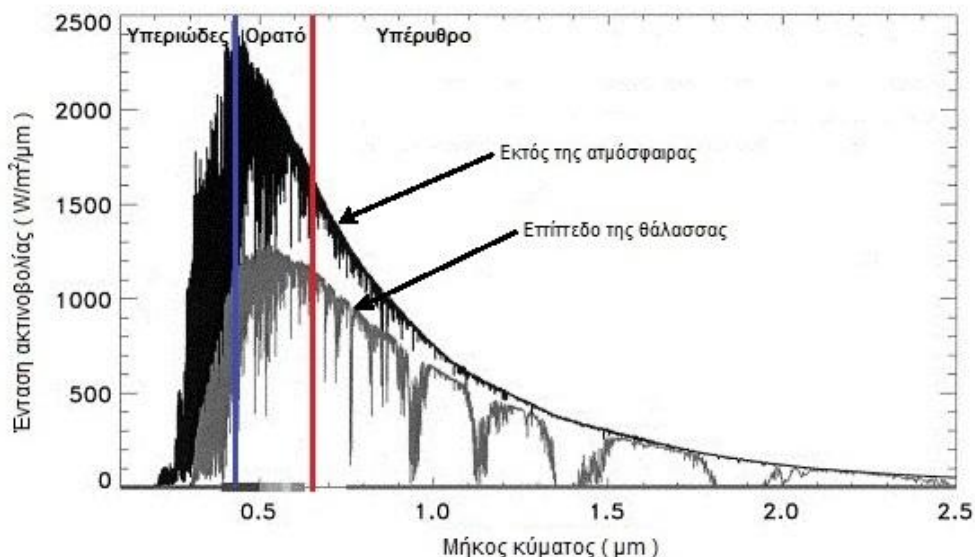
### 1.3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Από την συνολική εκλυόμενη ενέργεια που ελευθερώνεται από τον ήλιο ένα μέρος αυτής κατευθύνεται προς την Γή υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή είναι σωματιδιακής μορφής, δηλαδή αποτελείται από φωτόνια με κυματική μορφή. Η μονάδα μέτρησης της ισχύος ακτινοβολίας στο S.I. είναι το Watt (  $W$  ). Μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας ανήκει στο υπεριώδες, στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα (βλ. γράφημα 1.1). Κύρια χαρακτηριστικά αυτής είναι πως α) για την διάδοση της δεν απαιτείται η παρουσία κάποιο μέσου και β) διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός.

Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται το πόσο ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα σώμα ανά μονάδα επιφάνειας. Η ένταση ακτινοβολίας συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα  $I$  που προέρχεται από την αγγλική λέξη "irradiance" (=ακτινοβολία). Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μετράται σε σχέση με το οριζόντιο ή κεκλιμένο επίπεδο (horizontal, inclined plane). Το επίπεδο αναφοράς στην παρούσα ανάλυση είναι πάντα το οριζόντιο εκτός και αν αναφερθεί κάτι διαφορετικό.

Μονάδα μέτρησης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο S.I. είναι το  $(W/m^2)$

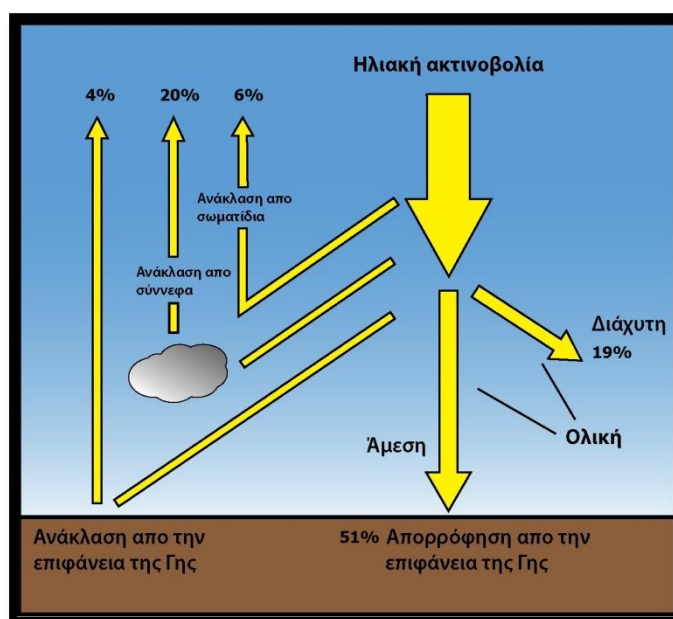
Ένα ακόμη μέγεθος που αφορά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι η ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή το ποσό ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια στην μονάδα του χρόνου. Οι μονάδες μέτρησης της στο SI είναι :  $(Wh/m^2)$ .



Γράφημα 1.1 : Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας ( G. de Toma et al, 2004. )

#### 1.4 ΟΛΙΚΗ, ΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μέρος της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει η Γη από τον ήλιο απορροφάται, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται. Από την συνολική ηλιακή ακτινοβολία που θα φθάσει στην Γη περίπου το 1/3 αυτής θα ανακλαστεί πίσω στο διάστημα καθώς θα διαβεί τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας (Pidwirny M., 2006). Το μέρος της ακτινοβολίας που θα ανακλαστεί και απορροφηθεί από την ατμόσφαιρα εξαρτάται από την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διάφορα μικροσωματίδια σκόνης, τα σωματίδια νερού (ομίχλη, σύννεφα) καθώς και τα διάφορα αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και μεταβάλλουν την πυκνότητα των στρωμάτων της.



**Σχήμα 1.3 :** Σκέδαση, ανάκλαση και απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας (Pidwirny, 2006)

Καθώς οι ηλιακές ακτίνες αλληλεπιδρούν με τα διάφορα μικροσωματίδια, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται ή σκεδάζεται από αυτά με αποτέλεσμα να αλλάζει η ταχύτητα και το μήκος κύματος της. Αυτό ορίζεται ως σκέδαση ακτινοβολίας. Οι αλλαγές στα μήκη κύματος των ηλιακών ακτινών είναι υπεύθυνες για τις αλλαγές στο χρώμα του ουράνιου θόλου. Το μέρος της ακτινοβολίας που σκεδάζεται αποτελεί την διάχυτη ακτινοβολία ενώ η απομένουσα ακτινοβολία που θα φθάσει ανεμπόδιστη στην επιφάνεια της Γής ονομάζεται άμεση, η οποία επίσης σε ένα ποσοστό θα απορροφηθεί και θα μετατραπεί σε θερμότητα ενώ το υπόλοιπο θα ανακλαστεί από την επιφάνεια της Γής πίσω στην ατμόσφαιρα και στο διάστημα. Η ολική ακτινοβολία ορίζεται ως το άθροισμα των παραπάνω δυο συνιστωσών, άμεσης και διάχυτης.

Η ένταση της ωριαίας ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια στο οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται ως εξής :



$$I(h; n)$$

όπου :  $I$  = η ένταση της ολικής ακτινοβολίας  
 $h$  = η ώρα για την οποία αντιστοιχεί η παραπάνω τιμή του  $I$   
 $n$  = ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους στον οποίο αντιστοιχεί η παραπάνω ώρα

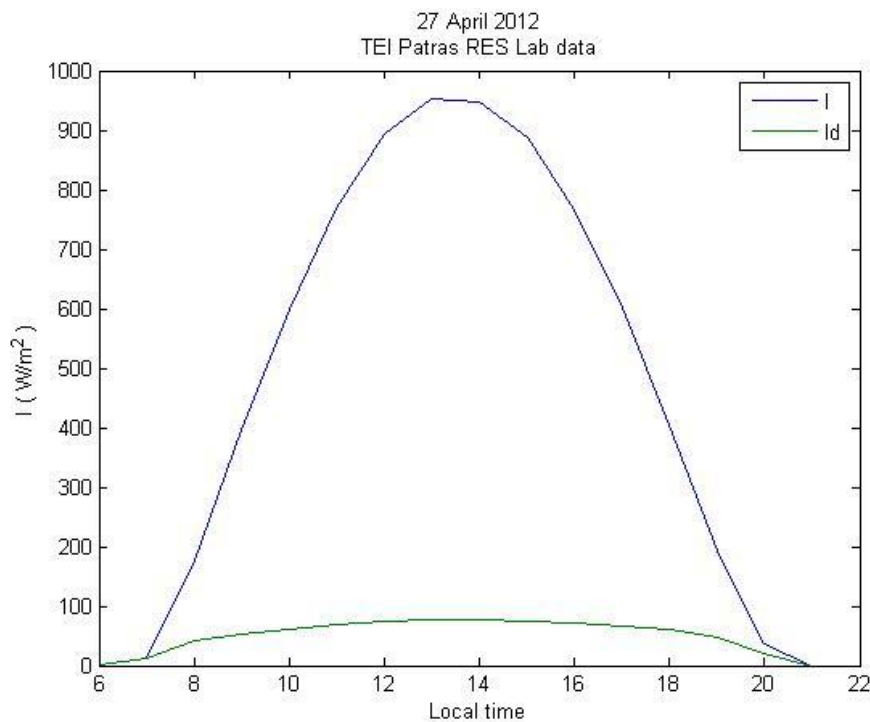
Η ένταση της άμεσης ακτινοβολίας ως :

$$I_b(h; n)$$

Και αντίστοιχα η ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο ως:

$$I_d(h; n)$$

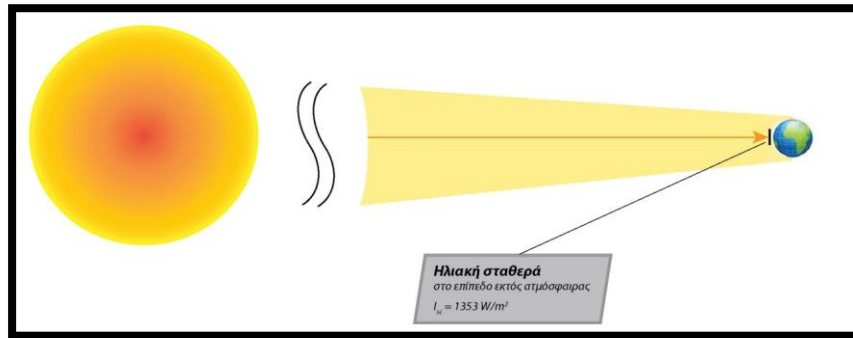
Στο γράφημα 1.2 παρουσιάζονται οι ωριαίες μεταβολές έντασης ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας για τις 27 Απριλίου 2012 στην Πάτρα, όπως μετρήθηκαν από τα όργανα του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας.



**Γράφημα 1.2** : Μεταβολή της ωριαίας έντασης ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας συναρτήσει του τοπικού ωρολογιακού χρόνου (ΤΩΧ)

## 1.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Επίσης σημαντική για τους υπολογισμούς μας είναι και η ακτινοβολία που φθάνει από τον ήλιο στα πρώτα στρώματα της ατμόσφαιρας, προτού όμως αυτή σκεδαστεί. Εξαρτάται από την απόσταση Γης – Ήλιου και μπορεί να θεωρηθεί σταθερή για μια συγκεκριμένη απόσταση. Η ακτινοβολία προσδιορίζεται μέσω της ηλιακής σταθεράς ( $I_{sc}$ ) η οποία εκφράζει την ποσότητα της ενέργειας που δέχεται από τον ήλιο μια επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του, ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου, έξω από το όριο της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 1.4 : Ηλιακή σταθερά

Έχει βρεθεί πως η ηλιακή σταθερά για απόσταση μιας αστρονομικής μονάδας, ισούται με (NASA, 1976) :

$$I_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$$

Εξαιτίας όμως της ελλειπτικής κίνησης που εκτελεί γύρω από τον ήλιο, η ακτινοβολία στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας αλλάζει κατά την διάρκεια του έτους. Η σχέση που δίνει την τιμή της ηλιακής σταθεράς κατά την διάρκεια του έτους είναι η (Σ.Κατλάνης, 2004):

$$I_{on} = I_{sc} \cdot \left( 1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.2)$$

όπου :  $n$  = ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την τιμή του  $I_{sc}$

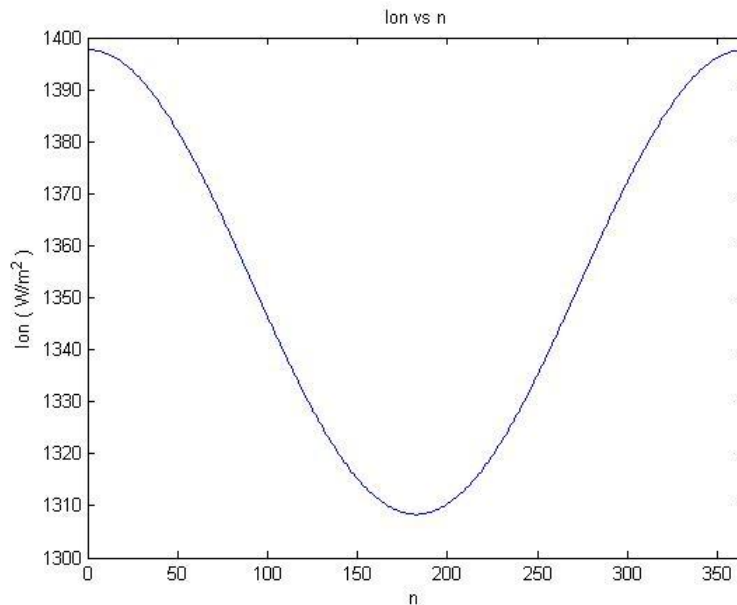
Η συνάρτηση που υλοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ( $n$ ), διαμορφώνεται ως εξής :

```
function [ n ] = fn( year, month, day )  
  
if (month==1)  
    n=day;  
else  
    n=sum(eomday( year, 1:month-1 )) + day;  
end  
  
end
```

και η αντίστοιχη συνάρτηση για τον υπολογισμό του ( $I_{on}$ ) :

```
function [ Ion ] = fIon( n )  
Isc=1353; %in watts/m2  
Ion=Isc*(1+0.033*cosd((360*n)/365));  
end
```

Στο γράφημα που ακολουθεί (Γρ. 1.3) δίδεται η μεταβολή της ηλιακής σταθεράς ( $I_{on}$ ), κατά την διάρκεια του έτους όπως υπολογίστηκε με την ανωτέρα συνάρτηση.



**Γράφημα 1.3 :** Μεταβολή της ηλιακής σταθεράς ( $I_{on}$ ) ανά ημέρα για ολόκληρο το έτος

Μέσω της ηλιακής σταθεράς μπορούμε στην συνέχεια να υπολογίσουμε την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται ένα οριζόντιο επίπεδο κάθετο στις ακτίνες του ήλιου έξω από το όριο της ατμόσφαιρας σε σχέση με τις γεωγραφικές συντεταγμένες του και την θέση του ήλιου. Η ένταση της ακτινοβολίας αυτής συμβολίζεται με ( $I_{ext}$ ) (extraterrestrial) και υπολογίζεται βάσει της σχέσης (Σ.Καπλάνης, 2004):

$$I_{ext} = I_{on} \cdot (\sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega) \quad (1.3)$$

όπου :  $I_{on}$  = η τιμή της ηλιακής σταθεράς για την ημέρα

$\varphi$  = το γεωγραφικό πλάτος

$\delta$  = η απόκλιση ηλίου

$\omega$  = η ωριαία γωνία του ήλιου

Τα παραπάνω μεγέθη επεξηγούνται και αναλύονται περαιτέρω στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο.

Η παραπάνω σχέση (1.3) μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα για τον υπολογισμό της ενέργειας ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας κατά το διάστημα μεταξύ δυο χρονικών στιγμών οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ωριαία γωνία ηλίου  $\omega$ . Η νέα σχέση (1.4) θα είναι η :

$$\int_{h_1}^{h_2} I_{ext} dh = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} \cdot I_{on} \cdot \left[ \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta \right] \quad (1.4)$$

Η αλγοριθμική συνάρτηση που δημιουργήθηκε για την χρήση του παραπάνω τύπου είναι η "Iext" :

```
function [ Iext ] = Iext( TWX1,TWX2,month,day,Lloc,phi )
%Function Iext calculates extraterrestrial solar irradiance based on the
%omega angles.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Variables :
%   TWX1 : Starting time of calculation (TWX time)
%   TWX2 : Ending time of calculation (TWX time)

n=fn(month,day);
delta=fdelta(n);
AHX1=fAHX(TWX1,n,Lloc,30);
AHX2=fAHX(TWX2,n,Lloc,30);
omega1=fomega(AHX1);
omega2=fomega(AHX2);

%Negative Iext values checking ( must be: omegasr <= omega <= omegass )
%Integrating positive and minus values will give a wrong result.
[~,omegasr,~,omegass]=sunrise(month,day,Lloc,phi);

if (omega1<omegasr)
    omega1=omegasr;
elseif (omega1>omegass)
    omega1=omegass;
end

if (omega2<omegasr)
    omega2=omegasr;
elseif (omega2>omegass)
    omega2=omegass;
end

Iext=(12*3600*1353/pi) * (1+0.033*sind(360*n/365)) * ...
    (cosd(phi)*cosd(delta) * (sind(omega2)-sind(omega1)) + ...
    (pi*(omega2-omega1)/180) * sind(phi) * sind(delta));

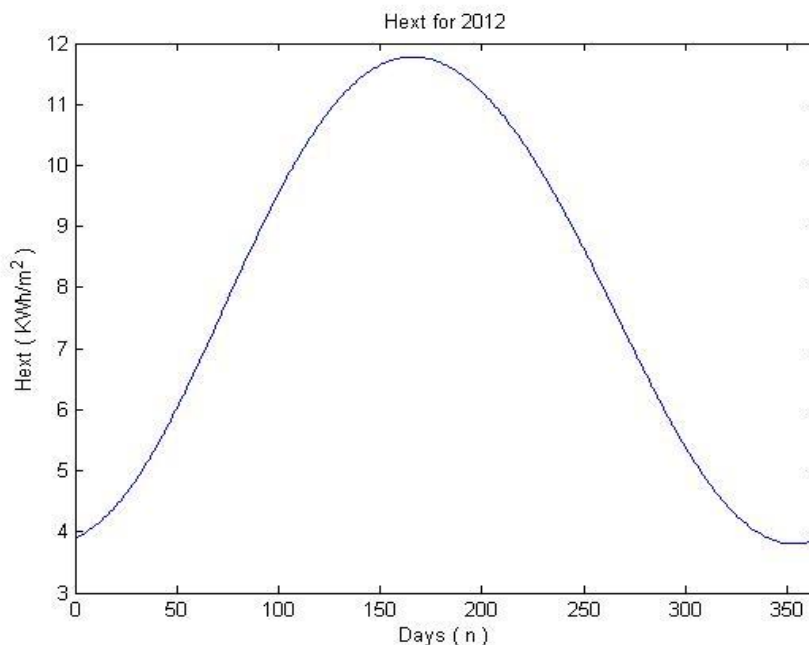
Iext=Iext/3600;           %conversion to Watts/m^2

end
```

Με ολοκλήρωση της σχέσης 1.4 για τις ώρες μιας ημέρας από την ανατολή μέχρι την δύση του ηλίου, έχουμε την ημερήσια ακτινοβολία στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας η οποία συμβολίζεται ως :

$$H_{ext}(n)$$

Στο παρακάτω γράφημα (1.4) δίνεται η μεταβολή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας για την Πάτρα, για ολόκληρο το έτος 2012 όπως αυτή υπολογίσθηκε χρησιμοποιώντας την παραπάνω συνάρτηση “Iext”.



**Γράφημα 1.4 :** Μεταβολή της ημερήσιας ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας ανά ημέρα για ολόκληρο το έτος 2012

Στο γράφημα αυτό δίδεται η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας λόγω της ελλειπτικής τροχιάς που εκτελεί η Γη γύρω από τον ήλιο κατά την διάρκεια του έτους και της κλίσης της Γης σε σχέση με τον νοητό κάθετο άξονα που διέρχεται από τους πόλους. Είναι εμφανής η μεγάλη μείωση του ρυθμού μεταβολής κατά τις ημέρες γύρω από το θερινό ( περίπου 21<sup>η</sup> Ιουνίου ή  $n = 172$  ) και χειμερινό ηλιοστάσιο ( περίπου 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου ή  $n = 356$  ).

## 1.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ

Περίπου στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα αρκετούς επιστήμονες προβληματίσε ο συσχετισμός της ολικής, άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας με την ακτινοβολία εκτός της ατμόσφαιρας. Τον συσχετισμό αυτόν ενσωματώνει ο συντελεστής αιθριότητας αφού γνωρίζοντας κανείς την τιμή της άμεσης ακτινοβολίας και τον συντελεστή αιθριότητας, μπορεί να υπολογίσει την ολική και διάχυτη ακτινοβολία. Επίσης, ο συντελεστής αιθριότητας θέτει για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ως επίπεδο αναφοράς την

ακτινοβολία στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας. Πρώτοι οι Liu – Jordan, περίπου το 1960, όρισαν τον συντελεστή αιθριότητας ως τον λόγο της ολικής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο προς την ακτινοβολία στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας, δηλαδή :

$$K_t = \frac{I}{I_{ext}} \quad (1.5)$$

όπου :  $K_t$  = δείκτης αιθριότητας

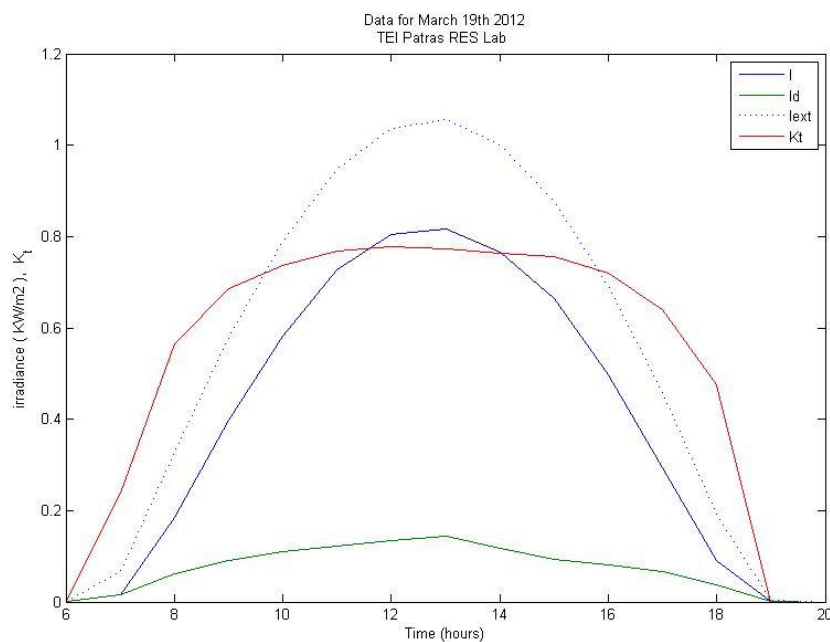
$I$  = ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο

$I_{ext}$  = ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας

Άρα, μπορούμε να ορίσουμε τον ωριαίο δείκτη αιθριότητας ως εξής:

$$K_t(h; n) = \frac{I(h; n)}{I_{ext}(h; n)} \quad (1.6)$$

Στο παρακάτω γράφημα (Γρ. 1.5) παρουσιάζεται η μεταβολή του ωριαίου δείκτη αιθριότητας ( $K_t$ ) συναρτήσεως του χρόνου κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Στο ίδιο γράφημα γίνεται επίσης παρουσίαση των αντίστοιχων μεταβολών της ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και της ολικής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται αφορούν την 19<sup>η</sup> Μαρτίου 2012 με μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας.



**Γράφημα 1.5 :** Μεταβολές των ωριαίων τιμών των μεγεθών ( $I, I_d, I_{ext}$  και  $K_t$ ) συναρτήσεως του τοπικού ωρολογιακού χρόνου

Αθροίζοντας τις ωριαίες τιμές της ολικής ακτινοβολίας για την διάρκεια μιας ημέρας ( $n$ ) και διαιρώντας προς το άθροισμα των τιμών της ολικής ακτινοβολίας στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας για αυτήν την ημέρα, έχουμε τον ημερήσιο δείκτη αιθριότητας :

$$K_T(n) = \frac{\sum_{h_{sr}}^{h_{ss}} I(h;n) \cdot \Delta h}{\sum_{h_{sr}}^{h_{ss}} I_{ext}(h;n) \cdot \Delta h} = \frac{H(n)}{H_{ext}(n)} \quad (1.7)$$

όπου :  $H(n)$  = η ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο από την ανατολή ( $h_{sr}$ ) έως την δύση ( $h_{ss}$ ) του ήλιου

$H_{ext}(n)$  = η ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας από την ανατολή ( $h_{sr}$ ) έως την δύση ( $h_{ss}$ ) του ήλιου

Ο μηνιαίος δείκτης αιθριότητας ορίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος των ημερήσιων τιμών ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( $H(mo)$ ) προς το άθροισμα των ημερήσιων τιμών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας ( $H_{ext}(mo)$ ) (Εξ. 1.8). Αν και αυτός ο τρόπος υπολογισμού είναι ο πιο ακριβής και έγκυρος, το μειονέκτημα είναι πως απαιτούνται οι τιμές της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας όλων των ημερών του μήνα.

$$K_T(mo) = \frac{\sum H(n)}{\sum H_{ext}(n)} = \frac{H(mo)}{H_{ext}(mo)} \quad (1.8)$$

όπου :  $K_T(mo)$  = μηνιαίος δείκτης αιθριότητας

$H(mo)$  = το άθροισμα της ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο όλων των ημερών του μήνα

$H_{ext}(mo)$  = το άθροισμα της ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας όλων των ημερών του μήνα

Ο μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας δεν πρέπει να συγχέεται με τον μέσο όρο των τιμών του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας, δηλαδή :

$$K_T(mo) \neq \frac{\sum K_T(n)}{\nu} \quad (1.9)$$

Λόγω όμως του ότι δεν υπάρχουν πάντα διαθέσιμα τα δεδομένα ενός ολόκληρου μήνα, για τον προσδιορισμό του μηνιαίου δείκτη αιθριότητας έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι οι οποίες απαιτούν λιγότερες μετρήσεις. Επικρατέστερη είναι η επιλογή μιας αντιπροσωπευτικής ημέρας για τον κάθε μήνα της οποίας οι τιμές έντασης ακτινοβολίας

πλησιάζουν πολύ κοντά στον μέσο όρο του μήνα. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι αντιπροσωπευτικές ημέρες κάθε μήνα για την Ελλάδα (Duffie and Beckman, 1991):

**Πίνακας 1.1 :** Αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα

Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ημέρα	17	15	16	15	15	11	17	16	16	16	15	11

Πολλές φορές όμως παρατηρούνται απότομες διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα, εξαιτίας καιρικών φαινομένων που δεν μπορούν να προβλεφθούν. Για αυτόν τον λόγο ο συντελεστής αιθριότητας μπορεί να υπολογιστεί και βάση του μέσου όρου των τιμών ακτινοβολίας μιας  $(\bar{n} \pm 1)$  ή δυο  $(\bar{n} \pm 2)$  ημερών γύρω από την αντιπροσωπευτική ημέρα ώστε να εξομαλυνθούν οι απότομες μεταβολές που οφείλονται σε τυχαία και μη επαναλαμβανόμενα φαινόμενα.

Ο τύπος για τον προσδιορισμό του μηνιαίου δείκτη  $K_T$  με βάση την αντιπροσωπευτική ημέρα  $(\bar{n})$  κάθε μήνα διαμορφώνεται ως εξής :

$$K_T(mo) = K_T(\bar{n}) = \frac{H(\bar{n})}{H_{ext}(\bar{n})} \quad (1.10)$$

όπου :  $K_T(mo)$  = μηνιαίος δείκτης αιθριότητας

$K_T(\bar{n})$  = ο δείκτης αιθριότητας της μέσης/αντιπροσωπευτικής ημέρας του μήνα

$H(\bar{n})$  = η ημερήσια ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα

$H_{ext}(\bar{n})$  = η ημερήσια ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα

Στην περίπτωση που υπάρχουν δεδομένα πολλών ετών, για εξομάλυνση των διακυμάνσεων υπολογίζεται η μέση τιμή του μηνιαίου συντελεστή αιθριότητας :

$$\overline{K_T}(mo) = \frac{\overline{H}(mo)}{H_{ext}(mo)} \quad \text{ή} \quad \overline{K_T}(mo) = \frac{\overline{H}(\bar{n})}{H_{ext}(\bar{n})} \quad (1.11)$$

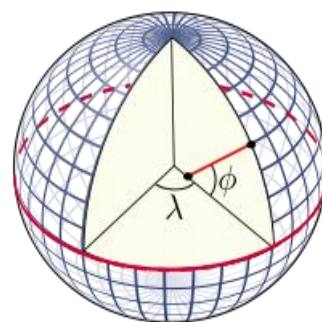


## 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των τριγωνομετρικών σχέσεων που αφορούν την πρόπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης. Παράλληλα θα δοθούν οι συναρτήσεις (functions) που υλοποιήθηκαν ώστε οι υπολογισμοί αυτοί να γίνουν ηλεκτρονικά.

### 2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ

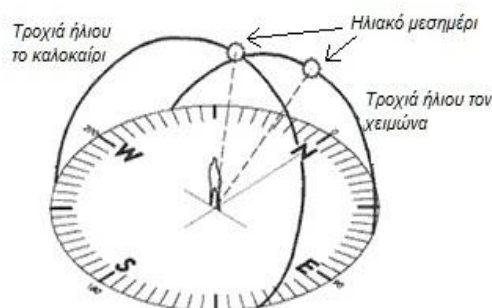
Απαραίτητα μεγέθη για τον προσδιορισμό της θέσης κάποιου σημείου στην γη είναι το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου. Τα δυο αυτά μεγέθη χρησιμοποιούνται για την εύρεση διαφόρων τοποθεσιών επάνω στον πλανήτη καθώς και για την ναυσιπλοΐα πλοίων και αεροσκαφών. Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται ως η γωνιακή απόσταση ενός σημείου από τον ισημερινό και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα ( $\varphi$ ), ενώ το μήκος ως η γωνιακή απόσταση ενός σημείου από τον μεσημβρινό και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα ( $\lambda$ ) ή το λατινικό γράμμα ( $L$ ). Για το εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας απ' όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις, τα μεγέθη αυτά ισούται με :  $L = 21.749^\circ$  και  $\varphi = 38.218^\circ$  (χάρτες Google, 2013).



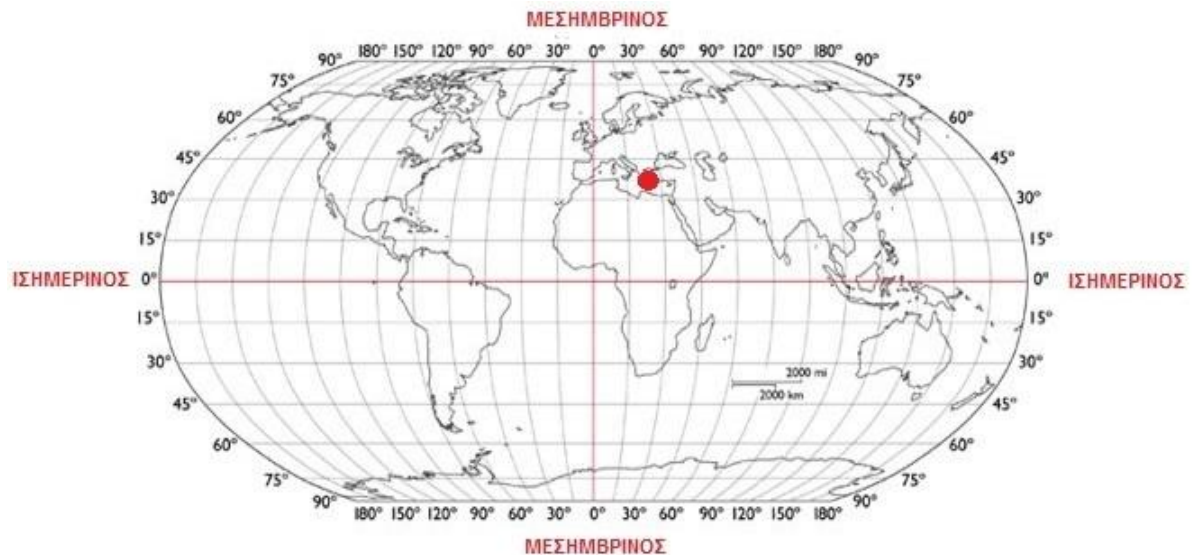
Σχήμα 2.1 : Γεωγραφικό μήκος και πλάτος

### 2.2 ΑΛΗΘΗΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ( ΑΗΧ )

Αληθής ηλιακός χρόνος ονομάζεται ο χρόνος με τον οποίο γίνεται ο προσδιορισμός της θέσης του ήλιου στον ουράνιο θόλο βάσει της γωνιακής μετακίνησης του. Για παράδειγμα ως 12.00 ώρα αληθή ηλιακού χρόνου, δηλαδή ηλιακό μεσημέρι, ορίζεται η χρονική στιγμή εκείνη κατά την οποία ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του στον ουρανό. Με 2 διαδοχικά περάσματα του ήλιου από το ηλιακό μεσημέρι ολοκληρώνεται μια ηλιακή ημέρα. Ο αληθής ηλιακός χρόνος δεν συμπίπτει με τον τοπικό ωρολογιακό χρόνο (ΤΩΧ) ο οποίος παραμένει σταθερός για όλους τους τόπους μιας χώρας. Συνδέεται όμως με αυτόν γραμμικά και διαφέρει από αυτόν με μια χρονική μετατόπιση. Για τους απαραίτητους υπολογισμούς που αφορούν εφαρμογές ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιείται ο ΑΗΧ.



Σχήμα 2.2 : Ημερήσια τροχιά του ήλιου



**Σχήμα 2.3 :** Θέση της Ελλάδας σε σχέση με τις γεωγραφικές ατράκτους

Η μονάδα μέτρησης του ΑΗΧ στο S.I. είναι το δευτερόλεπτο ( s ).

Ο υπολογισμός του ΑΗΧ μπορεί να γίνει βάσει του ΤΩΧ με δύο βασικές διορθώσεις, (Σ.Καπλάνης, 2004) :

1. Διόρθωση βάσει του γεωγραφικού μήκους του μεσημβρινού του τόπου (  $L_{loc}$  ) όπου γίνονται οι μετρήσεις και το γεωγραφικό μήκος της ατράκτου στην οποία βρίσκεται η χώρα (  $L_{st}$  ). Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.3 η Ελλάδα βρίσκεται στην δεύτερη άτρακτο, δηλαδή  $L_{st} = 30^\circ$ .

Επίσης, για την περιστροφή της Γης κατά  $360^\circ$  απαιτούνται 24 ώρες, οπότε για στροφή κατά  $15^\circ$ , δηλαδή γωνιακή μετατόπιση μιας ατράκτου, απαιτούνται :

$$\frac{360^\circ}{15^\circ} = \frac{24hrs}{x} \rightarrow x = 24hrs \cdot \frac{15}{360} = 1hr \text{ ή } 15^\circ/hr$$

Άρα, για μετατόπιση κατά μια μοίρα :

$$\frac{15^\circ}{1^\circ} = \frac{1h}{y} = \frac{60min}{y} \rightarrow y = 4 \text{ min/μοίρα}$$

2. Η δεύτερη διόρθωση πρέπει να γίνει εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της Γης γύρω από τον ήλιο. Η διόρθωση δίδεται από την εξίσωση του χρόνου,  $E$  :

$$E = 0.0172 + 0.3278 \cdot \cos B - 7.3456 \cdot \sin B - 3.3468 \cdot \cos 2B - 9.3544 \cdot \sin 2B \quad (2.1)$$

$$\text{όπου : } B = \frac{360 \cdot (n-1)}{365} \quad (2.2)$$

$n$  = αύξων αριθμός της ημέρας για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε το  $E$ . Για παράδειγμα, ως  $n = 1$  θα ορίζαμε την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου

Τελικά, βάσει των παραπάνω διορθώσεων, ο αληθής ηλιακός χρόνος μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια του τοπικού ωρολογιακού χρόνου ως εξής :

$$AHX = T\Omega X - \frac{4min}{\muοίρα} \cdot (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2.3)$$

Η συνάρτηση που υλοποιήθηκε για τον υπολογισμό του AHX είναι η “fAHX” :

```
function [ AHX ] = fAHX( TWX,n,Lloc,Lst,output )
%fAHX function converts time from TWX to AHX
%enter Lloc,Lst in degrees, enter TWX in decimal ie. 8:30 = 8.5

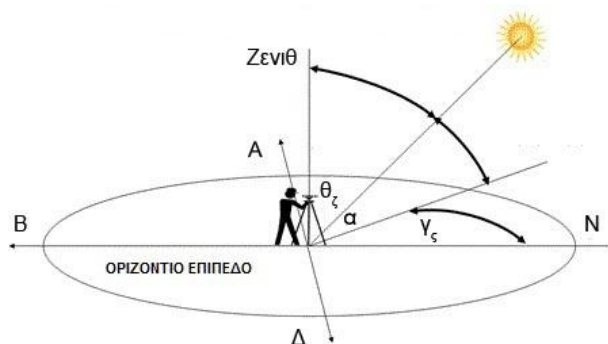
    if (n>83 && n<303)           %daylight savings check
        TWX=TWX-1;
    end

B=360*(n-1)/365;
E=0.0172+0.3278*cosd(B)-7.3456*sind(B)-3.3468*(cosd(2*B))-
9.3544*(sind(2*B));
E=E/60;                           %conversion to decimal minutes
AHX=TWX-0.06667*(Lst-Lloc)+E;

end
```

### 2.3 ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Έχοντας γνωστό ότι η Γη δεν παραμένει σταθερή αλλά κινείται, είναι απαραίτητο να ορίσουμε κάποιες γωνίες και τριγωνομετρικές σχέσεις που περιγράφουν την διαδρομή του Ήλιου στον ουράνιο θόλο κατά την διάρκεια του έτους. Τα τριγωνομετρικά μεγέθη αυτά φαίνονται στο σχήμα 2.4.

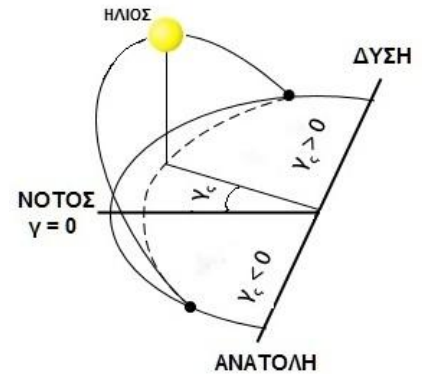


**Σχήμα 2.4 :** Γωνίες που σχηματίζονται μεταξύ της θέσης του ήλιου και το οριζόντιο επίπεδο

Υψος ηλίου (  $\alpha$  ): Ως ύψος ηλίου ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ηλίου και του οριζόντιου επιπέδου στο σημείο παρατήρησης.

Ζενίθια γωνία (  $\vartheta_z$  ): Η συμπληρωματική γωνία της (  $\alpha$  ), δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ήλιου και του κάθετου άξονα, στο οριζόντιο επίπεδο, στο σημείο παρατήρησης.

Αζιμουθιακή γωνία ηλίου (  $\gamma_s$  ): Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο της θέσης του ήλιου και της διεύθυνσης βορρά νότου. Για παράδειγμα, όταν ο ήλιος περνά ακριβώς από τον Νότο στο οριζόντα, η γωνία αυτή ισούται με 0. Η αζιμουθιακή γωνία ηλίου παίρνει αρνητικές τιμές καθώς ο ήλιος ανατέλλει (ΑΗΧ < 12.00) και θετικές τιμές όταν δύει (ΑΗΧ > 12.00) .



**Σχήμα 2.5** : Αζιμουθιακή γωνία ηλίου

Απόκλιση ηλίου (  $\delta$  ): Ως απόκλιση ηλίου ορίζεται η γωνιακή θέση του ήλιου σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο. Η γωνία αυτή μεταβάλλεται καθημερινά και προσδιορίζεται από την εξίσωση του Cooper :

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin\left(360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2.4)$$

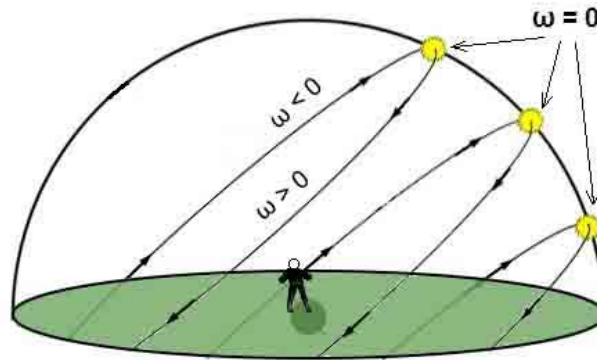
Η συνάρτηση που δημιουργήθηκε για να εφαρμόσει αυτόν τον τύπο είναι η "fdelta":

```
function [ delta ] = fdelta( n )
%output in degrees

delta=23.45*sind(360*(284+n)/365);

end
```

Ωριαία γωνία (  $\omega$  ) : Είναι η γωνία που σχηματίζει ο ήλιος κινούμενος στην ημερήσια τροχιά του. Η γωνία αυτή μετράται με αρχή την ηλιακή μεσημβρία, δηλαδή από το ηλιακό μεσημέρι. Σε κάθε χρονική στιγμή μιας ημέρας αντιστοιχεί και μια τιμή της γωνίας  $\omega$ . Η τιμή αυτή είναι αρνητική όταν ο ήλιος ανατέλλει ( $AHX < 12.00$ ), ίση με 0 κατά το ηλιακό μεσημέρι και θετική όταν ο ήλιος δύει ( $AHX > 12.00$ ).



Σχήμα 2.6 : Ωριαία γωνία ηλίου

Η συνάρτηση που δημιουργήθηκε για τον υπολογισμό της ωριαίας γωνίας ηλίου είναι η “fomega” :

```
function [ omega ] = fomega( AHX )
%enter AHX in decimal, output ω is in degrees

omega=(AHX-12) *15;
end
```

Ωριαία γωνία Ανατολής – Δύσης (  $\omega_{sr}, \omega_{ss}$  ) : Είναι η τιμή της ωριαίας γωνίας (  $\omega$  ) κατά την Ανατολή και Δύση του ηλίου. Η ωριαία γωνία Ανατολής χαρακτηρίζεται με τον δείκτη (  $sr$  ) από την αγγλική λέξη sunrise (=ανατολή) και η ωριαία γωνία Δύσης με τον δείκτη (  $ss$  ) από την αγγλική λέξη sunset (=δύση). Οι δυο αυτές γωνίες έχουν διαφορετικό πρόσημο, με την ωριαία γωνία Ανατολής να είναι αρνητική, αλλά είναι ίσες κατά απόλυτη τιμή. Υπολογίζονται δε με τον εξής τύπο :

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (2.5)$$

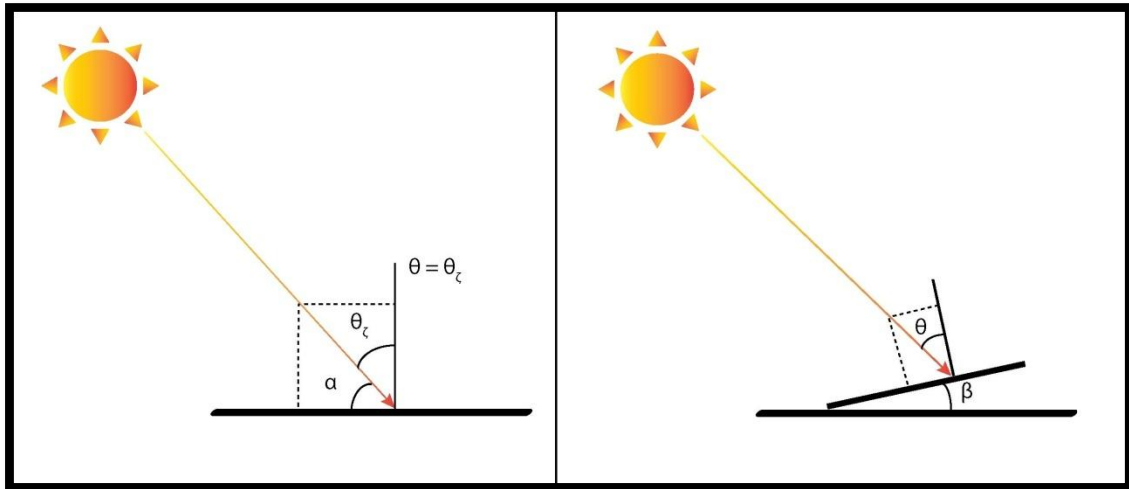
Και η αντίστοιχη συνάρτηση που υλοποιήθηκε είναι η “fomegas”:

```
function [ omegas ] = fomegas( phi,delta )
%enter phi,delta in degrees output is in degrees

omegas=(-tand(phi) *tand(delta));
omegas=acosd(omegas);

end
```

Γωνία πρόσπτωσης (  $\vartheta$  ) : Γωνία πρόσπτωσης ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ηλίου και του κάθετου άξονα στο επίπεδο αναφοράς. Σύμφωνα με το σχήμα 2.7, η γωνία πρόσπτωσης (  $\vartheta$  ) ταυτίζεται με την ζενίθια γωνία (  $\vartheta_z$  ) όταν το επίπεδο αναφοράς είναι το οριζόντιο.



Σχήμα 2.7 : Γωνία πρόσπτωσης

Η γωνία πρόσπτωσης (  $\vartheta$  ) συνδέεται με τα υπόλοιπα τριγωνομετρικά μεγέθη που ορίστηκαν παραπάνω με την εξής σχέση :

$$\begin{aligned}
 \cos\theta &= \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \\
 &+ \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega \\
 &+ \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega \\
 &+ \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

όπου :  $\beta$  = η κλίση της επιφάνειας  
 $\gamma$  = η αζιμουθιακή γωνία της επιφάνειας

Η συνάρτηση που δημιουργήθηκε για την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης (Εξ. 2.6) είναι η "ftheta" και έχει ως εξής :

```

function [ thetaAngle ] = ftheta( delta,beta,phi,omega,gamma )
%enter all angles in degrees, output is in degrees

thetaAngle=sind(delta)*sind(phi)*cosd(beta)-...
            sind(delta)*cosd(phi)*sind(beta)*cosd(gamma)+...
            cosd(delta)*cosd(phi)*cosd(beta)*cosd(omega)+...
            cosd(delta)*sind(phi)*sind(beta)*cosd(gamma)*cosd(omega)+...
            cosd(delta)*sind(beta)*sind(gamma)*sind(omega);

thetaAngle=acosd(thetaAngle);

end
    
```



### 3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΠΕ, ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση του μετεωρολογικού σταθμού από όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις καθώς και των οργάνων μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας και του συστήματος καταγραφής και συλλογής των δεδομένων.

#### 3.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

Το ΤΕΙ Πατρών βρίσκεται νότια του κέντρου της πόλης της Πάτρας και απέχει από αυτό περίπου 3 χιλιόμετρα. Πιο συγκεκριμένα, το εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας έχει τις εξής γεωγραφικές συντεταγμένες :

Γεωγραφικό μήκος :  $L_{loc} = 21.749^{\circ}$

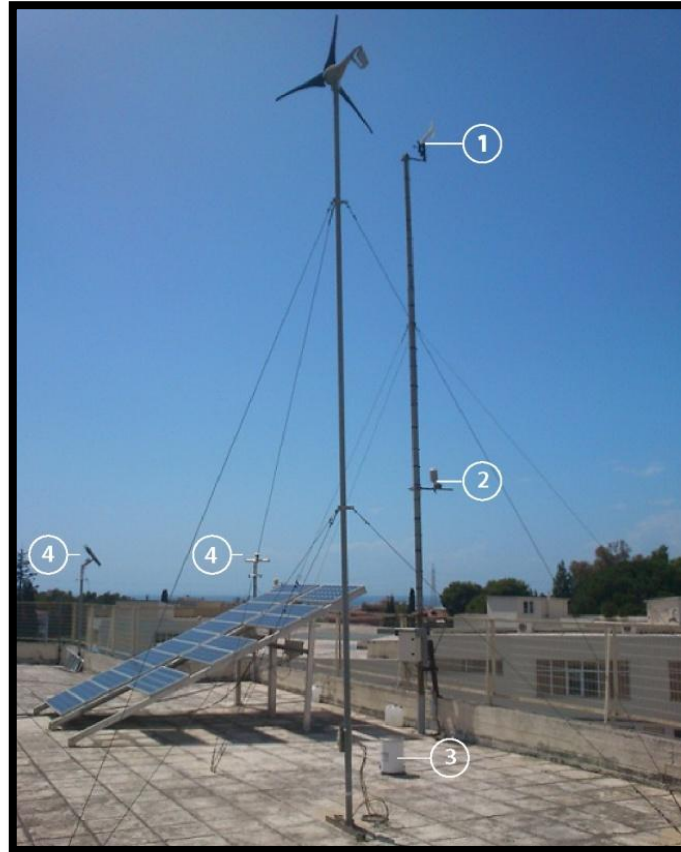
Γεωγραφικό πλάτος :  $\varphi = 38.218^{\circ}$



**Εικόνα 3.1 :** Φωτογραφία του ΤΕΙ Πάτρας από δορυφόρο με σημειωμένη την θέση του εργαστηρίου ΑΠΕ από όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις (χάρτες Google, 2013)

Ο μετεωρολογικός σταθμός του εργαστηρίου ΑΠΕ περιλαμβάνει τα εξής όργανα :

1. ανεμόμετρο τύπου “RM Young 05153” για την μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης ανέμου
2. θερμόμετρο – υγρασιόμετρο τύπου “Rotronic MP101A”
3. Βροχόμετρο τύπου “Casella”
4. Πυρανόμετρα τύπου “Kipp & Zonen CM11 και CM6B”



**Εικόνα 3.2 :** Μετεωρολογικός σταθμός του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας

## 3.2 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

### 3.2.1 Πυρανόμετρο

Η προσπάθεια κατασκευής ενός οργάνου για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας ξεκίνησε περίπου στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, με σημαντικότερη την προσπάθεια του Σουηδού φυσικού Κ. Άνγκστρομ ο οποίος κατάφερε το 1893 να κατασκευάσει το “πυρηλιόμετρο” για την μέτρηση της έντασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Με βάση την συσκευή αυτή οι Άμποτ και Άλντριχ, καθηγητές στο πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον, κατάφεραν μερικά χρόνια αργότερα να κατασκευάσουν το πρώτο πυρανόμετρο. Μετά από αρκετές βελτιώσεις στο πρωτότυπο, η τελική



κατασκευή τους διατέθηκε προς πώληση σε ερευνητές με κόστος περίπου 150 δολάρια (15.000 σημερινά δολάρια). Με πολύ υψηλό το κόστος αλλά και τους περιορισμούς της τότε συσκευής, αφού η ανθρώπινη παρέμβαση ήταν απαραίτητη για την ρύθμιση σε κάθε μέτρηση, η συνεχής λήψη μετρήσεων ήταν αδύνατη. Οι αλλεπάλληλες όμως βελτιώσεις στην αρχική συσκευή και οι τεχνολογικά προηγμένες μέθοδοι κατασκευής της εποχής μας, κατέστησαν το πυρανόμετρο το πιο αξιόπιστο και ακριβές όργανο για την μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η λέξη πυρανόμετρο προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις πυρ(φωτιά), άνω(ψηλά) και μέτρο.

Χρησιμοποιείται κυρίως για μετρήσεις ολικής ακτινοβολίας ενώ με προσθήκη κατάλληλου εξαρτήματος, του δακτυλίου σκίασης το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω, μπορεί να λάβει μετρήσεις διάχυτης ακτινοβολίας. Τα πυρανόμετρα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με το αισθητήριο μέσο, τα πυρανόμετρα θερμοσηλών και τα πυρανόμετρα ηλιακών κυψελών. Η επιλογή του τύπου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την ακρίβεια που απαιτείται.

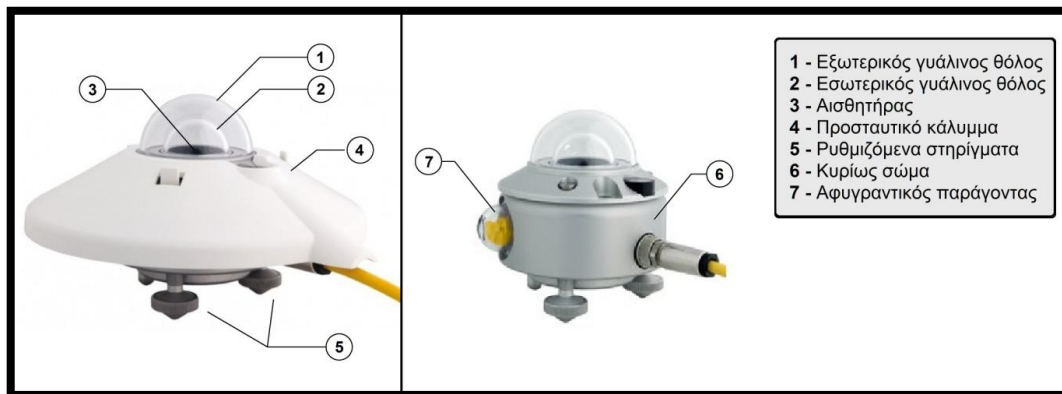


**Εικόνα 3.3 :** Πυρανόμετρο μετεωρολογικού σταθμού εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Πάτρας για την μέτρηση της έντασης της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

### Κατασκευή

Τα κυρίως μέρη ενός πυρανόμετρου είναι το μεταλλικό σώμα με το κωνοειδές κάλυμμα που το σκιάζει από την ακτινοβολία και το αισθητήριο μέσο με 2 ομόκεντρες ημισφαιρικές γυάλινες επιφάνειες που το καλύπτουν. Ο ρόλος των γυάλινων επιφανειών είναι η προστασία του αισθητήρα από την επίδραση των εξωτερικών συνθηκών όπως υγρασία, σκόνη και η μετάδοση θερμότητας από τον αέρα στον αισθητήρα μέσω συναγωγής, ενώ η γεωμετρία τους επιτρέπει την μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας κατά 180 μοίρες. Επίσης αρκετά πυρανόμετρα περιλαμβάνουν μια ειδική θήκη η οποία

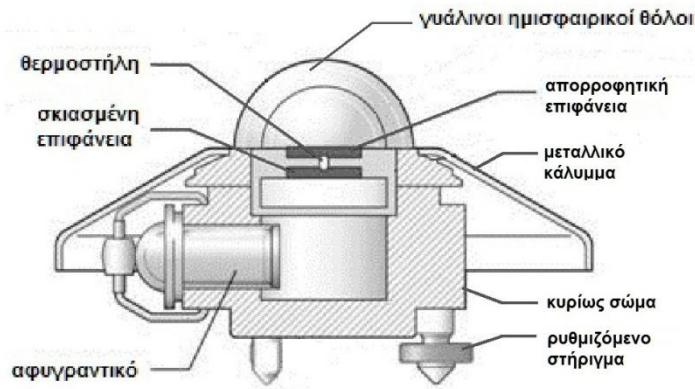
επιτρέπει την προσθήκη αφυγραντικού παράγοντα ο οποίος απορροφά την υγρασία που εισχωρεί εντός του οργάνου.



Εικόνα 3.4 : Κύρια μέρη πυρανόμετρου θερμοστήλης ( Kirp & Zonen, 2013 )

### Αρχή λειτουργίας

- *Πυρανόμετρο θερμοστήλης* : Αυτός ο τύπος πυρανομέτρου έχει το υψηλότερο κόστος και παρέχει τις πιο ακριβείς μετρήσεις ενώ μπορεί να καταγράψει τιμές έντασης από ολόκληρο το ηλιακό φάσμα. Χρησιμοποιείται κυρίως σε ερευνητικές και εργαστηριακές εφαρμογές. Το αισθητήριο μέσο είναι ένα μια θερμοστήλη, δηλαδή ένα σύμπλεγμα από θερμοζεύγη, αισθητήρια όργανα τα οποία μεταβάλλουν την τάση εξόδου τους ανάλογα με την διαφορά θερμοκρασίας των άκρων τους. Η θερμοστήλη βρίσκεται προσκολλημένη ανάμεσα σε δυο μεταλλικές επιφάνειες. Η μια από αυτές είναι επιχρισμένη με μαύρη απορροφητική επίστρωση και είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία ενώ η δεύτερη βρίσκεται σκιασμένη (εικ. 3.5). Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τον διαφανή ημισφαιρικό θόλο απορροφάται από την άνω απορροφητική μεταλλική επίστρωση θερμαίνοντας την και προκαλώντας μεταβολή στην τάση της θερμοστήλης η οποία είναι ανάλογη με την διαφορά θερμοκρασίας των δυο μεταλλικών επιφανειών. Αντιστοιχίζοντας την διαφορά δυναμικού στα άκρα της θερμοστήλης σε διαφορά θερμοκρασίας, υπολογίζεται η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην εκτεθειμένη επιφάνεια. Για κάθε πυρανόμετρο δίδεται από τον κατασκευαστή του ένας αριθμητικός συντελεστής για την μετατροπή της διαφοράς δυναμικού ( τάσης ) σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και ο οποίος προκύπτει από την βαθμονόμηση του οργάνου στο τελευταίο στάδιο της παραγωγής.



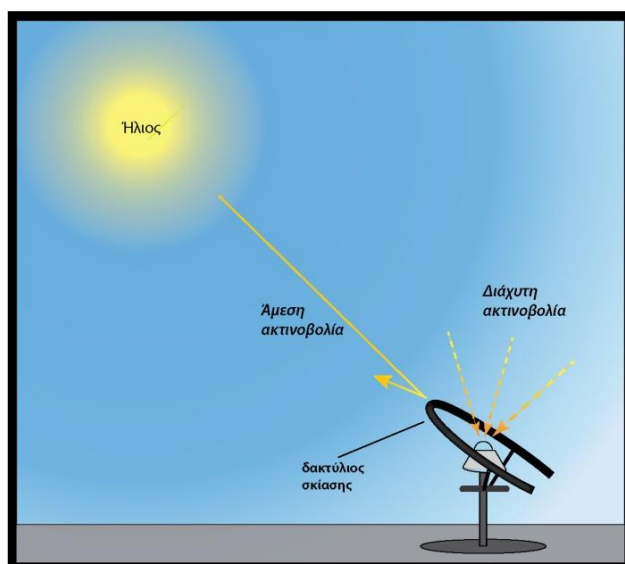
Εικόνα 3.5 : Εσωτερικά μέρη πυρανόμετρου θερμοστήλης

- Πυρανόμετρο πυριτίου* : Η διαφορά αυτού του τύπου πυρανόμετρου από το πυρανόμετρο θερμοστήλης είναι πως το αισθητήριο όργανο σε αυτή την περίπτωση είναι ένα στοιχείο πυριτίου. Ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό, μεταβάλλεται και η ένταση του ρεύματος εξόδου. Λόγω όμως του ότι το πυρίτιο μπορεί να απορροφήσει ακτινοβολία συγκεκριμένου εύρους του ηλιακού φάσματος, η χρήση πυρανομέτρων πυριτίου περιορίζεται σε εφαρμογές που αφορούν φωτοβολταϊκά συστήματα και σε γεωργικές εφαρμογές, για την μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις καλλιέργειες.



Εικόνα 3.6 : Πυρανόμετρο πυριτίου  
( Kipp & Zonen 2013 )

Εκτός από την μέτρηση ολικής ακτινοβολίας, ένα πυρανόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μέτρηση διάχυτης ακτινοβολίας με την προσθήκη κατάλληλου εξαρτήματος. Το εξάρτημα αυτό ονομάζεται δακτύλιος σκίασης (shadow ring) και ο ρόλος του είναι να σκιάζει τον θόλο του οργάνου με σκοπό να γίνεται λήψη μετρήσεων διάχυτης ακτινοβολίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.7 :



**Εικόνα 3.7 :** Λειτουργία δακτυλίου σκίασης

Η θέση του δακτυλίου σκίασης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αποτρέπεται η άμεση ακτινοβολία από το να φτάσει στο όργανο. Η ρύθμιση της κλίσης του γίνεται χειροκίνητα ανάλογα με την τροχιά του ήλιου (μεταβολή του ύψους ηλίου). Λόγω των ρυθμίσεων αυτών, μπορεί να υπεισέρθουν τυχαία σφάλματα που προέρχονται από τον χειριστή. Επιπλέον, λόγω του ότι ο δακτύλιος σκίασης αποτρέπει και ένα μικρό ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας από το να φτάσει στο όργανο, οι τελικές μετρήσεις διορθώνονται με την χρήση συντελεστών οι οποίοι δίδονται από την κατασκευάστρια εταιρία του δακτυλίου (βλ. εγχειρίδιο χρήσης δακτυλίου σκίασης CM121, Kirp & Zonen).



**Εικόνα 3.8 και 3.9 :** Πυρανόμετρο του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας με δακτύλιο σκίασης για την μέτρηση της έντασης της διάχυτης ακτινοβολίας. Στην εικόνα δεξιά φαίνεται η σκίαση που δημιουργείται στον γυάλινο θόλο του οργάνου από τον δακτύλιο

### Κλάσεις πυρανομέτρων

Τα πυρανόμετρα ανάλογα με την αξιοπιστία και την ακρίβεια τους χωρίζονται σε κατηγορίες ή αλλιώς, κλάσεις. Αυτές οι κατηγορίες έχουν θεσπιστεί από τον Διεθνή Μετεωρολογικό Οργανισμό, ΔΜΟ (ή WMO, World Meteorological Organisation) και καθορίζονται σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο ISO-9060:1990(E). Οι κατηγορίες αυτές είναι τρεις και έχουν ως εξής (πιν. 3.1) :

**Πίνακας 3.1 :** Κλάσεις πυρανομέτρων (ICT International, 2013)

Κατηγοριοποίηση ISO Χαρακτηρισμός ΔΜΟ	δευτερεύων πρότυπο	πρώτης κλάσης	δεύτερης κλάσης
	Υψηλή ποιότητα	καλή ποιότητα	μέτρια ποιότητα
Χρόνος απόκρισης (95% τελικής τιμής)	< 15s	< 30s	< 60s
Διακριτότητα (μικρότερη μετρήσιμη μεταβολή)	$\pm 1 \text{ W/m}^2$	$\pm 5 \text{ W/m}^2$	$\pm 10 \text{ W/m}^2$
Αστάθεια (μέγιστη μεταβολή ακρίβειας ανά έτος)	$\pm 0.8\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 3\%$
Σφάλμα λόγω θερμοκρασίας (για μεταβολές θερμοκρασίας κατά 50 °C)	$\pm 2\%$	$\pm 4\%$	$\pm 8\%$
Μέγιστη αβεβαιότητα, 95% μετρήσεων	3%	8%	20%

### Πυρανόμετρα μετεωρολογικού σταθμού εργαστηρίου ΑΠΕ, ΤΕΙ Πάτρας

Για την μέτρηση των εντάσεων άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας ο μετεωρολογικός σταθμός του εργαστηρίου ΑΠΕ είναι εξοπλισμένος με δύο πυρανόμετρα τύπου “Kipp & Zonen CM 6B και CM 11”. Το πυρανόμετρο “CM 11” χρησιμοποιείται για την μέτρηση της έντασης της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ενώ το πυρανόμετρο “CM 6B” φέρει δακτύλιο σκίασης για την μέτρηση της έντασης της διάχυτης ακτινοβολίας (βλ. εικ. 3.8). Ο έλεγχος του δακτυλίου σκίασης γίνεται σε καθημερινή βάση.

**Πίνακας 3.2 :** Στοιχεία πυρανομέτρων εργαστηρίου ( Campbell Scientific, 2001 )

Εταιρεία παραγωγής Μοντέλο	Kipp & Zonen CM 6B	Kipp & Zonen CM 11
Κατηγοριοποίηση κατά ISO 9060:1990(E)	πρώτης κλάσης	δευτερεύων πρότυπο
Χρόνος απόκρισης (95%)	< 18 s	< 12 s
Διακριτότητα	5 έως 20 $\mu\text{V/W/m}^2$	7 έως 14 $\mu\text{V/W/m}^2$
Αστάθεια (μέγιστη μεταβολή ακρίβειας ανά έτος)	< 1%	< 0.5%
Σφάλμα λόγω θερμοκρασίας (-10 °C έως +40 °C)	< 2%	< 1%
Μέγιστη μετρήσιμη ένταση ακτινοβολίας	2000 $\text{W/m}^2$	4000 $\text{W/m}^2$
Εύρος φάσματος	305 έως 2800 nm	305 έως 2800 nm
Αναμενόμενη αβεβαιότητα ημερήσιων μετρήσεων	< 5%	< 3%



### 3.2.2 Καταχωρητής ( Data logger )

Για την συνεχή καταγραφή δεδομένων είναι απαραίτητη η χρήση μιας καταγραφικής συσκευής η οποία συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και τα αποθηκεύει προσωρινά. Ο καταχωρητής του εργαστηρίου είναι ο τύπου “Campbell CR1000” της φωτογραφίας (εικ. 3.10).



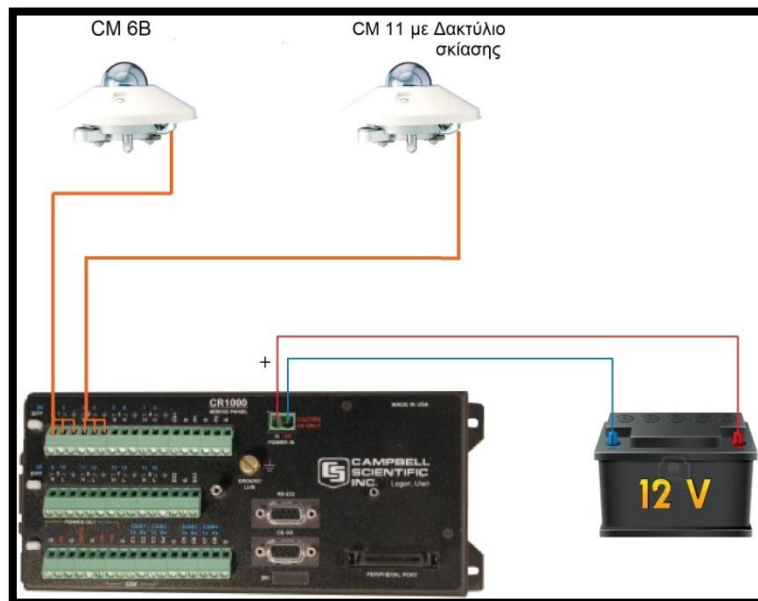
**Εικόνα 3.10 :** Καταχωρητής ( data logger ) εργαστηρίου ΑΠΕ, ΤΕΙ Πάτρας

Στην συσκευή αυτή μπορούν να συνδεθούν μέχρι και 16 διαφορετικά αισθητήρια όργανα. Ως είσοδος λαμβάνεται μια διαφορά τάσης από κάθε όργανο μέτρησης η οποία μετατρέπεται σε φυσικό μέγεθος σύμφωνα με τον συντελεστή ευαισθησίας κάθε οργάνου ο οποίος εισάγεται κατά τον προγραμματισμό της συσκευής μέσω υπολογιστή. Η συσκευή καταγραφής μπορεί στην συνέχεια να αποσυνδεθεί από τον υπολογιστή λειτουργώντας αυτόνομα. Με χρήση του εσωτερικού της μικροεπεξεργαστή και σύμφωνα με το πρόγραμμα που εκτελείται, αντιστοιχίζει αυτόματα την έξοδο κάθε οργάνου (διαφορά τάσης) σε φυσικό μέγεθος (πχ. ένταση ακτινοβολίας). Στην συνέχεια γίνεται ολοκλήρωση των μετρήσεων ανά λεπτό και τα δεδομένα αποθηκεύονται προσωρινά στην μνήμη της συσκευής. Η συλλογή των δεδομένων από την μνήμη του καταχωρητή γίνεται με κατάλληλο λογισμικό σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και

καταγράφονται σε αρχείο κειμένου (κατάληξη “.txt”, βλ. Κεφ. 4). Για να λειτουργήσει ο καταχωρητής απαιτείται τροφοδοσία 12V συνεχούς ρεύματος.

### 3.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, για την συλλογή μετρήσεων έντασης ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται δυο πυρανόμετρα, τύπου “Kipp&Zonen CM 6B και CM 11” συνδεδεμένα σε κατάλληλα προγραμματισμένο καταχωρητή (data logger) τύπου “Campbell CR1000”. Η τροφοδοσία της γίνεται μέσω μπαταρίας 12 Volt. την Για την καταγραφή μετρήσεων δεν απαιτείται κάποια παρέμβαση παρά μόνο η μεταφορά των καταγραφών σε υπολογιστή ανά τακτά χρονικά διαστήματα με την χρήση ειδικού λογισμικού για να αποφευχθεί η πλήρωση της μνήμης της συσκευής. Στην παρακάτω εικόνα (3.11) φαίνεται ένα σκαρίφημα της διάταξης του εργαστηρίου με τα όργανα μέτρησης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.



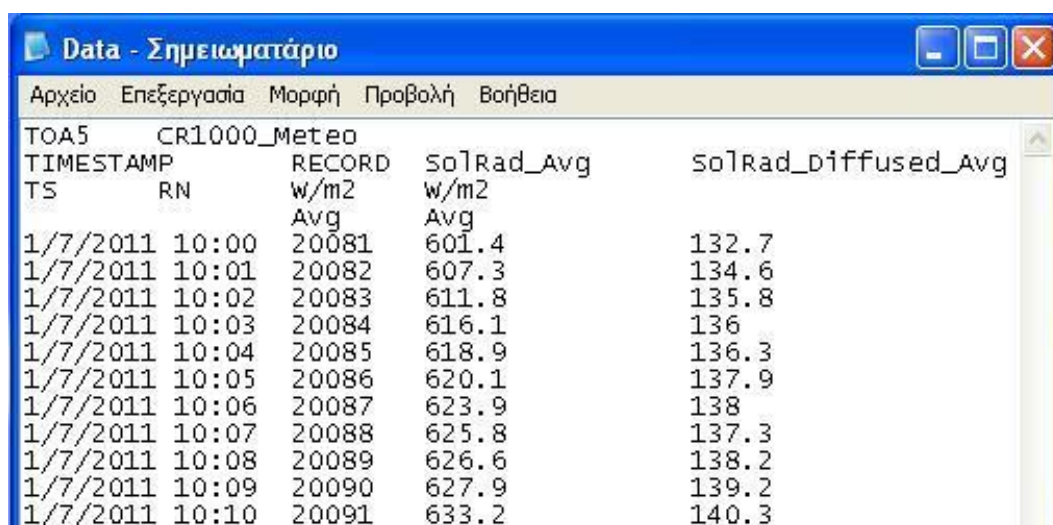
**Εικόνα 3.11 :** Σκαρίφημα εγκατάστασης του εργαστηρίου για την μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

## 4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των δεδομένων που ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου ΑΠΕ για μια περίοδο 12 μηνών, από τον Ιούλιο του 2011 μέχρι τον Ιούνιο του 2012. Συνολικά κατεγράφησαν 527,040 μετρήσεις έντασης ηλιακής ακτινοβολίας από το κάθε πυρανόμετρο του σταθμού. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι διαδικασίες ελέγχου του αρχείου καταγραφής και επεξεργασίας των μετρήσεων και των αλγοριθμικών συναρτήσεων που αναπτύχθηκαν για τους σκοπούς της πτυχιακής αυτής.

### 4.1 ΜΟΡΦΗ ΑΡΧΕΙΟΥ

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από την συσκευή καταγραφής (datalogger) διαχειρίζονται από βοηθητικό λογισμικό (Loggernet, Cambell Scientific) το οποίο υπάρχει εγκατεστημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τον οποίο επικοινωνεί. Το λογισμικό αυτό συλλέγει τα δεδομένα της συσκευής ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε αρχείο κειμένου (κατάληξη “.txt”). Η διάταξη του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου περιλαμβάνει 2 πυρανόμετρα, από τα οποία όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο καταγράφονται μετρήσεις έντασης ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας ανά λεπτό. Το αρχείο καταγραφής έχει την εξής μορφή (εικ. 4.1) :



TOA5	CR1000_Meteo			
TIMESTAMP	RECORD	SolRad_Avg	SolRad_Diffused_Avg	
TS	RN	w/m2	w/m2	
		Avg	Avg	
1/7/2011 10:00	20081	601.4	132.7	
1/7/2011 10:01	20082	607.3	134.6	
1/7/2011 10:02	20083	611.8	135.8	
1/7/2011 10:03	20084	616.1	136	
1/7/2011 10:04	20085	618.9	136.3	
1/7/2011 10:05	20086	620.1	137.9	
1/7/2011 10:06	20087	623.9	138	
1/7/2011 10:07	20088	625.8	137.3	
1/7/2011 10:08	20089	626.6	138.2	
1/7/2011 10:09	20090	627.9	139.2	
1/7/2011 10:10	20091	633.2	140.3	

Εικόνα 4.1 : Δείγμα αρχείου καταγραφής

Η κάθε στήλη του αρχείου, ξεκινώντας από αριστερά, αντιστοιχεί σε :

1. Ημερομηνία και ώρα μέτρησης ( TS, Timestamp )
2. Αύξων αριθμός μέτρησης ( RN, Record Number )
3. Ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( SolRad\_Avg,  $I$  σε (  $W/m^2$  ) )
4. Ένταση διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας ( SolRad\_Diffused\_Avg,  $I_d$  σε (  $W/m^2$  ) )



Στην παραπάνω εικόνα δίδονται ενδεικτικά οι μετρήσεις για ένα χρονικό διάστημα 10 λεπτών. Είναι προφανές πως για την επεξεργασία μετρήσεων ανά λεπτό για διαστήματα μηνών απαιτείται η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, αν αναλογιστεί κανείς πως μια ημέρα περιλαμβάνει :  $24hr \times 60min = 1440 \text{ λεπτά}$ . Οι υπολογισμοί έγιναν με αλγορίθμους που αναπτύχθηκαν για τους σκοπούς της πτυχιακής αυτής σε γλώσσα λογισμικού Matlab το οποίο υπάρχει εγκατεστημένο στο υπολογιστικό κέντρο του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας.

## 4.2 ΠΡΟ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 4.2.1 Έλεγχος

Το πρώτο βήμα πριν από την επεξεργασία είναι ο έλεγχος των δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι πρωτογενή. Λόγω του ότι η παρούσα εργασία αφορά την ανάλυση δεδομένων περιόδου ενός έτους σε διαστήματα λεπτών, προκύπτει ένας πολύ μεγάλος όγκος δεδομένων και αρχικά θα πρέπει να ελεγχθεί ότι το αρχείο περιλαμβάνει τον αναμενόμενο αριθμό των καταγραφών (ή γραμμών), δηλαδή :

$$365\text{ημέρες} \times 24\text{ώρες} \times 60\text{λεπτά} = 525,600 \text{ καταγραφές} \quad (4.1)$$

Ο έλεγχος αυτός γίνεται με την συνάρτηση “checkDataTable” :

```
function [] = checkDataTable( tableName )
%Function checks for errors by comparing RecordNumbers (RN)
%and will print the lines with errors or return a message if no errors
%are found.

errors=0;
[lines,~]=size(tableName);
    for i=2:lines;
        if (tableName(i,1)<=tableName(i-1,1))
            errors=1;
            disp(['ERROR FOUND LINE:',num2str(i), '
                RN:',num2str(tableName(i,1))])
        end
    end
    if (errors == 0)
        disp('NO ERRORS FOUND')
    end

end
```

Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως είσοδο ολόκληρο το αρχείο δεδομένων και το ελέγχει βάσει του αύξοντα αριθμού κάθε εγγραφής τυπώνοντας στην οθόνη τον αύξων αριθμό (RN) της εγγραφής όπου εντοπίστηκε κάποιο λάθος. Στα λάθη αυτά περιλαμβάνονται διπλές εγγραφές της ίδιας μέτρησης και ωριαίες μετακινήσεις μετρήσεων που

συμβαίνουν κατά την αλλαγή ώρας ή τυχαία από την συσκευή καταγραφής. Αφού γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις το αρχείο ελέγχεται ξανά και εφόσον δεν υπάρχουν σφάλματα, εμφανίζεται στην οθόνη κατάλληλο μήνυμα. Τέλος, γίνεται επαλήθευση συγκρίνοντας των αριθμό γραμμών – εγγραφών του αρχείου με τον αναμενόμενο (σχέση 4.1).

#### 4.2.2 Μορφοποίηση ως προς Ανατολή – Δύση ηλίου

Εφόσον ολοκληρωθεί ο έλεγχος του αρχείου δεδομένων, γίνεται απόρριψη των μετρήσεων που αφορούν χρονικές περιόδους όπου δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή των ωρών κάθε ημέρας πριν από την ανατολή και μετά την δύση του ήλιου. Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να ορίσουμε τον τύπο υπολογισμού του χρόνου ανατολής και δύσης του ήλιου. Ο υπολογισμός γίνεται βάσει της ωριαίας γωνίας ανατολής – δύσης (  $\omega_{sr}, \omega_{ss}$  αντίστοιχα ) και εξαρτάται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.2, κατά το πέρασ μιας ώρας η Γη έχει περιστραφεί κατά  $15^\circ$ . Γνωρίζοντας ότι η ωριαία γωνία ηλίου ισούται με  $0^\circ$  στο ηλιακό μεσημέρι (12 ΑΗΧ) μπορούμε να προσδιορίσουμε χρονικά την ανατολή και δύση του ηλίου ως εξής :

$$AHX = \frac{\omega_s}{15^\circ/h} + 12h \quad (4.2)$$

Η συνάρτηση που υλοποιήθηκε για να κάνει χρήση της παραπάνω σχέσης είναι η “sunrise” :

```
function [ riset,omegasr,sett,omegass ] = sunrise(
month,day,Lloc,phi,output )
%Sunrise function calculates sunrise and sunset local time.

n=fn(month,day);
delta=fdelta(n);

omegas=fomegas(phi,delta);

omegasr=omegas*(-1);
omegass=omegas;

AHXr=omegasr/15+12;
AHXs=omegass/15+12;

riset=fTWX(AHXr,n,Lloc,30);
sett=fTWX(AHXs,n,Lloc,30);

end
```

Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο τον αύξοντα αριθμό του μήνα (month) και της ημέρας ( n ) για την οποία γίνεται ο υπολογισμός, και το γεωγραφικό πλάτος (  $\varphi$  ) και μήκος

(  $L_{loc}$  ) της περιοχής. Καλεί στην συνέχεια την συνάρτηση “fomegas” και αφού αντιστοιχήσει τις τιμές της ωριαίας γωνίας (  $\omega_s$  ) σε ωριαίες γωνίες ανατολής (  $\omega_{sr}$  ) – δύσης (  $\omega_{ss}$  ), υπολογίζει τον αληθή ηλιακό χρόνο για αυτές τις γωνίες. Τέλος, μετατρέπει μέσω της συνάρτησης “fTWX” τον αληθή ηλιακό χρόνο ανατολής και δύσης (ΑΗΧ) σε τοπικό ωρολογιακό χρόνο (ΤΩΧ) αφού οι μετρήσεις ελήφθησαν σε σχέση με την τοπική ώρα.

Στην συνέχεια, μέσω μιας αλγοριθμικής επανάληψης (loop) εκτελείται η παραπάνω συνάρτηση “sunrise” και ελέγχεται η πρώτη στήλη του αρχείου δεδομένων, δηλαδή η ώρα κάθε μέτρησης, απορρίπτοντας τις μετρήσεις πριν την ανατολή και μετά την δύση του ήλιου.

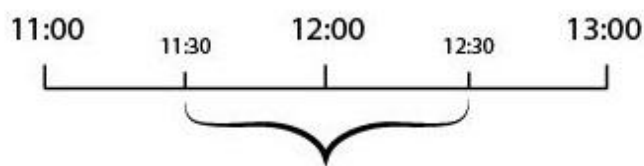
#### 4.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΩΡΙΑΙΑ

Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα των προηγμένων συσκευών του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου ΑΠΕ είναι η δυνατότητα δημιουργίας μιας πολύ μεγάλης βάσης δεδομένων όπως αυτήν που εκμεταλλεύεται η παρούσα πτυχιακή εργασία. Η δυνατότητα λήψης και αποθήκευσης μετρήσεων ανά λεπτό αυξάνει την αξιοπιστία της ανάλυσης με την καταγραφή μεγαλύτερου αριθμού δεδομένων.

Η μετατροπή των δεδομένων σε ωριαία θα γίνει βρίσκοντας τον μέσο όρο των μετρήσεων έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας των λεπτών κατά την διάρκεια κάθε ώρας (  $I(\text{min})$  ). Παρατηρήθηκε σε δοκιμές που έγιναν σε πρώτο στάδιο πως κάθε ώρα περιγράφεται καλύτερα από το μισάωρο διάστημα πριν από αυτήν και το μισάωρο διάστημα μετά, δηλαδή :

$$I(h; n) = \frac{\sum_{h-30'}^{h+30'} I(\text{min})}{60} \quad (4.3)$$

Για παράδειγμα, η ένταση της ολικής ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στις 12 το μεσημέρι θα ισούται με :



$$I(12) = \frac{\sum_{11:30}^{12:30} I(\text{min})}{60}$$

Η παρακάτω συνάρτηση “hourAvg” δημιουργήθηκε για να υπολογίζει τις ωριαίες τιμές έντασης ακτινοβολίας σύμφωνα με την σχέση 4.3. Στην επόμενη ενότητα θα ενσωματωθεί σε αλγόριθμο για τον υπολογισμό του ωριαίου, ημερήσιου και μηνιαίου συντελεστή αιθριότητας.

```

function [HourAvgTable]=hourAvg(table,column,startRN,endRN)
%returns a 24x31 table if one month is given. Calculating using method
-30+30.

hourCounter=0;
dayCounter=0;
startLine=0;
endLine=0;
j=1;           %Column counter
y=1;           %Line counter
sum=0;
i=0;

while (startLine==0 || endLine==0)    %find line of startRN and endRN
    i=i+1;
    if (table(i,1)==startRN)
        startLine=i;

        else if (table(i,1)==endRN)
            endLine=i;
        end
    end
end

startLine=startLine+30;

for i=startLine:endLine;
sum=sum+table(i,column);
hourCounter=hourCounter+1;
dayCounter=dayCounter+1;
    if (dayCounter==1441)    %in 24hrs=1440min change column(j)
        j=j+1;
        y=1;
        dayCounter=1;
    end
    if (hourCounter==60)    %in 60min calculate hour average, change line
        HourAvgTable(y,j)=sum/60;
        y=y+1;
        hourCounter=0;
        sum=0;
    end
end
end
end

```

Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο δεδομένα σε πίνακα της μορφής του αρχείου καταγραφών (εικ. 4.1) και υπολογίζει τις τιμές έντασης ακτινοβολίας (ολικής και διάχυτης) για κάθε ώρα βρίσκοντας τον μέσο όρο των τιμών έντασης ακτινοβολίας του χρονικού διαστήματος 30 λεπτών πριν και 30 λεπτών μετά την ολοκλήρωση κάθε ώρας (Εξ. 4.3). Εξάγει τους υπολογισμούς σε κατάλληλα διαμορφωμένο πίνακα ώστε να χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για περαιτέρω επεξεργασία.

#### 4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΡΙΑΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ

Ο υπολογισμός του συντελεστή αιθριότητας  $K_t$  γίνεται μέσω ενός αλγορίθμου ο οποίος κάνει χρήση όλων των συναρτήσεων που ορίστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Ο αλγόριθμος ονομάζεται "KtCalc". Αποτελείται από 3 μέρη στα οποία υπολογίζονται σταδιακά οι ωριαίες, ημερήσιες και μηνιαίες τιμές των εντάσεων ακτινοβολίας και των αντίστοιχων τιμών του συντελεστή αιθριότητας. Το πρόγραμμα μπορεί να εξάγει αποτελέσματα ανά μήνα. Στην συνέχεια της ενότητας γίνεται ανάλυση της λειτουργίας του κώδικα και της μεθόδου υπολογισμού.

```
fprintf('This script calculates hourly, daily and monthly Kt values \n')

month=input('Enter month to calculate(num):');
startRN=input('StartRN:');
Lloc=input('Enter Lloc:');
phi=input('Enter phi:');

days=eomday(2012,month);

endRN=startRN + days*24*60 - 1;

m1=+30/60;
m2=+90/60;

%Calculating hourly values of solar radiation intensity
Iavg=hourAvg(data,8,startRN,endRN);
Idavg=hourAvg(data,9,startRN,endRN);

%Starting and ending hour of calculations each day.
[sunriseTime,~,sunsetTime,~]=sunrise(month,1,Lloc,phi);

%startHour - 2) because first timespace is startHr + 30 to startHr + 89
startHr=floor(sunriseTime)-2;
endHr=floor(sunsetTime)+1;

%Table1(1,1)= Month
%Table1(1,2)= Day
%Table1(1,3)= TWX
%Table1(1,4)= AHX
%Table1(1,5)= Iext
%Table1(1,6)= I
%Table1(1,7)= Idif
%Table1(1,8)= Kt(hour)

%Calculations of Table1 from here on

z=1; %z=line of table
for i=1:days

    n=fn(month,i);
    [sunriseTime,~,sunsetTime,~]=sunrise(month,i,Lloc,phi);

    %j = hour of calculation (in TWX).
    for j=startHr:endHr
        Table1(z,1)=month;
```

```

    Table1(z,2)=i;
    Table1(z,3)=dec2norm(j+1);
    %dec2norm = function for converting time from decimal format
    to normal : 13.5 -> 13:30

    Table1(z,4)=fAHX(j+1,n,Lloc,30,'normal');
    Table1(z,5)=Iext(j+m1,j+m2,month,i,Lloc,phi);
    Table1(z,6)=Iavg(j+1,i);
    Table1(z,7)=Idavg(j+1,i);
    Table1(z,8)=Table1(z,6)/Table1(z,5);

    %For 'NaN' and 'inf' values of Kt, the value will be zeroed.
    if ( isnan(Table1(z,8)) || isinf(Table1(z,8)) )
        Table1(z,8)=0;
    end

    %The timespace around sunrise/sunset will have a Kt
    %value of zero. The first timespace must start at least 20
    %minutes after sunrise and the last 20 minutes before
    %sunset.
    if ( j+m1+40/60 <= sunriseTime || j+m1+40/60 >= sunsetTime )
        Table1(z,8)=0;
    end

    z=z+1;
end

%Adding NaN at the end of each day
Table1(z,1:8)=NaN;
z=z+1;
end

%Table2 (1,1)='Month'
%Table2 (1,2)='Day'
%Table2 (1,3)='Hext'
%Table2 (1,4)='H'
%Table2 (1,5)='Hd'
%Table2 (1,6)='Kt(day) '

for i=1:days
    n=fn(month,i);
    Table2(i,1)=month;
    Table2(i,2)=i;

    Table2(i,3)=0;
    for j=startHr:endHr
        Table2(i,3)=Table2(i,3)+Iext(j+m1,j+m2,month,i,Lloc,phi);
    end

    Table2(i,4)=sum(Iavg(:,i));
    Table2(i,5)=sum(Idavg(:,i));
    Table2(i,6)=Table2(i,4)/Table2(i,3);
end

%Table3 (1,1)='Month'
%Table3 (1,2)='Hext(month) '
%Table3 (1,3)='H(month) '
%Table3 (1,4)='Hd(month) '
%Table3 (1,5)='Kt(month) '

```

```

Table3(1,1)=month;
Table3(1,2)=sum(Table2(:,3));
Table3(1,3)=sum(Table2(:,4));
Table3(1,4)=sum(Table2(:,5));
Table3(1,5)=Table3(1,3)/Table3(1,2);

```

Κατά την εκτέλεση του το πρόγραμμα ζητά από τον χρήστη να εισάγει τα εξής στοιχεία : α) τον αριθμό του μήνα τον οποίο αφορούν τα δεδομένα, β) τον αύξοντα αριθμό ( RN ) της πρώτης μέτρησης του μήνα και γ) τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής όπου έγιναν οι υπολογισμοί. Κατόπιν τα δεδομένα μετατρέπονται σε ωριαία με την χρήση του υποπρογράμματος “hourAvg” και ξεκινά ο υπολογισμός του ωριαίου συντελεστή αιθριότητας εντός βρόγχου επανάληψης για ολόκληρο τον μήνα. Για ευκολότερη ανάγνωση το πρόγραμμα εισάγει στον πίνακα μια κενή σειρά (NaN) στο τέλος κάθε ημέρας. Τα αποτελέσματα από το πρώτο τμήμα του προγράμματος αποθηκεύονται όπως φαίνεται παρακάτω (πίν. 4.1). Ο πίνακας αυτός αποτελεί ένα μικρό μέρος του πραγματικού πίνακα των ωριαίων υπολογισμών για τον μήνα Ιούλιο, ο οποίος δεν δίδεται ολόκληρος λόγω μεγέθους.

**Πίνακας 4.1 :** Δείγμα αποτελεσμάτων υπολογισμών ωριαίων δεδομένων

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΙΟΥΛΙΟΥ 2011  
για  $Lloc = 21.749^\circ$   
 $\varphi = 38.218^\circ$

A/A Μήνα	Ημέρα	TΩX	AHX	$I_{ext}$ ( $W/m^2$ )	$I$ ( $W/m^2$ )	$I_d$ ( $W/m^2$ )	$K_t$
7	1	6	4.23	4.2	1.5	1.8	0.000
7	1	7	5.23	169.7	64.2	33.3	0.378
7	1	8	6.23	419.9	234.1	68.8	0.557
7	1	9	7.23	663.6	382.4	99.0	0.576
7	1	10	8.23	884.0	601.7	137.5	0.681
7	1	11	9.23	1066.3	755.1	153.9	0.708
7	1	12	10.23	1197.9	880.3	154.4	0.735
7	1	13	11.23	1269.9	954.2	161.1	0.751
7	1	14	12.23	1277.4	964.8	139.7	0.755
7	1	15	13.23	1219.8	914.4	136.2	0.750
7	1	16	14.23	1101.2	811.5	116.3	0.737
7	1	17	15.23	929.6	671.3	103.1	0.722
7	1	18	16.23	716.6	492.1	88.0	0.687
7	1	19	17.23	476.9	288.8	76.2	0.606
7	1	20	18.23	226.6	110.3	49.2	0.487
7	1	21	19.23	21.1	8.0	7.3	0.000
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
7	2	6	4.23	3.9	1.4	1.6	0.000
7	2	7	5.23	167.8	65.6	31.1	0.391
7	2	8	6.23	418.0	241.7	58.3	0.578
7	2	9	7.23	661.7	403.6	74.3	0.610
7	2	10	8.23	882.2	623.4	92.1	0.707
7	2	11	9.23	1064.6	787.6	96.9	0.740
7	2	12	10.23	1196.4	908.9	99.7	0.760
7	2	13	11.23	1268.6	973.4	100.5	0.767
7	2	14	12.23	1276.3	976.4	115.6	0.765
7	2	15	13.23	1219.0	926.6	110.1	0.760
7	2	16	14.23	1100.5	824.0	102.8	0.749

Στο επόμενο τμήμα του το πρόγραμμα υπολογίζει τις ημερήσιες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας ( $H_{ext}$ ), της ολικής ( $H$ ) και διάχυτης ακτινοβολίας ( $H_d$ ) και του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) όπως ορίστηκαν στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.7). Τα αποτελέσματα εξάγονται σε δεύτερο πίνακα και για τον Ιούλιο 2011 είναι τα εξής (πιν. 4.2) :

**Πίνακας 4.2 :** Αποτελέσματα υπολογισμών ημερήσιων δεδομένων  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΙΟΥΛΙΟΥ 2011

A/A Μήνα	Ημέρα	$H_{ext}$ ( $Wh/m^2$ )	$H$ ( $Wh/m^2$ )	$H_d$ ( $Wh/m^2$ )	$K_T$
7	1	11645	8135	1526	0.699
7	2	11628	8324	1184	0.716
7	3	11610	8065	1738	0.695
7	4	11592	8452	1149	0.729
7	5	11572	8237	1396	0.712
7	6	11552	8000	2148	0.693
7	7	11531	8179	1236	0.709
7	8	11508	8140	1336	0.707
7	9	11485	8302	1304	0.723
7	10	11461	8377	1184	0.731
7	11	11436	8150	1369	0.713
7	12	11410	8000	1525	0.701
7	13	11383	7840	1738	0.689
7	14	11355	7771	1885	0.684
7	15	11326	7642	2050	0.675
7	16	11296	7604	2038	0.673
7	17	11266	7952	1436	0.706
7	18	11234	8202	1090	0.730
7	19	11202	8144	1020	0.727
7	20	11169	7327	2508	0.656
7	21	11135	7853	1444	0.705
7	22	11100	8167	1049	0.736
7	23	11064	7697	1885	0.696
7	24	11027	7783	1431	0.706
7	25	10990	7951	1326	0.723
7	26	10951	5824	2400	0.532
7	27	10912	8089	1040	0.741
7	28	10872	8061	1169	0.741
7	29	10831	7764	1592	0.717
7	30	10789	7923	1626	0.734
7	31	10747	7820	1866	0.728

Τέλος, υπολογίζονται οι μηνιαίες τιμές ενέργειας της ακτινοβολίας και του συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) από τις ημερήσιες τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας όλου του μήνα αθροιστικά (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.8) :



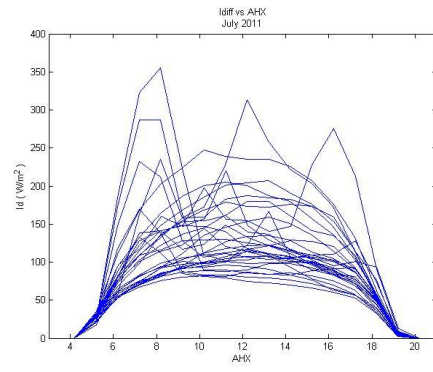
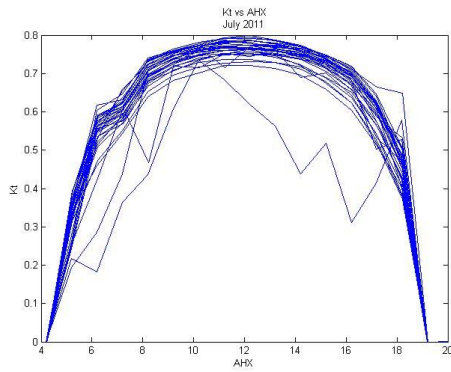
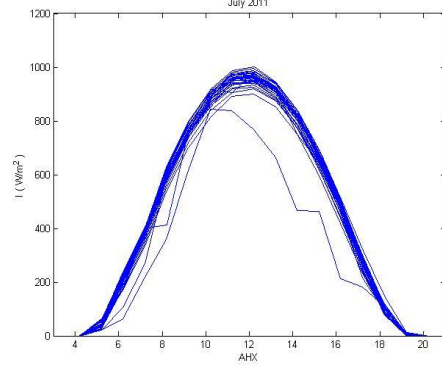
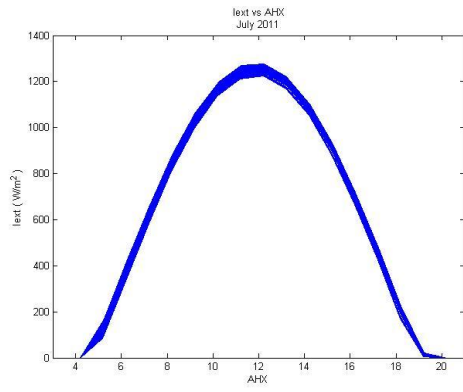
**Πίνακας 4.3:** Αποτελέσματα υπολογισμών μηνιαίων δεδομένων

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΙΟΥΛΙΟΥ 2011

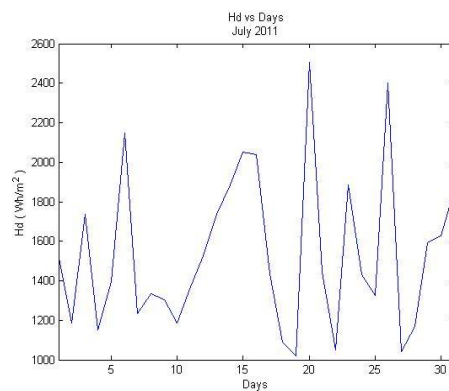
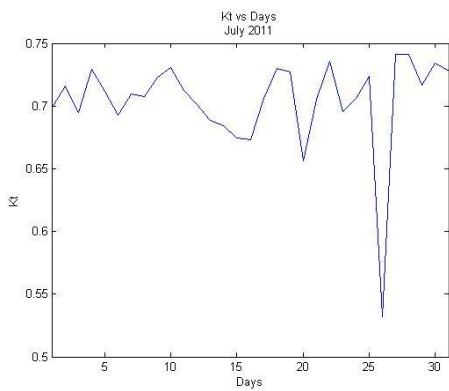
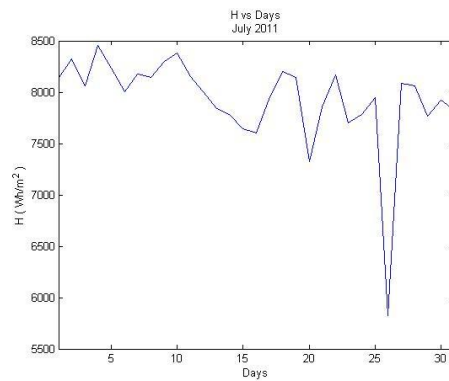
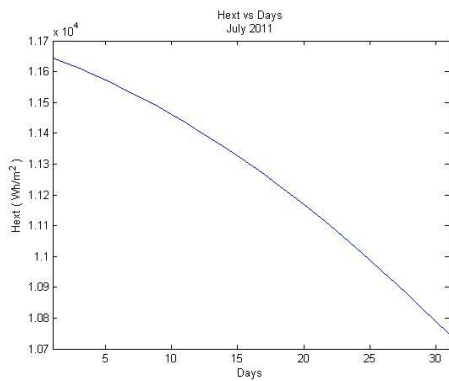
A/A Μήνα	$H_{ext}$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$H$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$H_d$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$K_T$
7	3.49E+05	2.46E+05	4.77E+04	0.704

Η παραπάνω τιμή του  $K_T$  για τον Ιούλιο στην Πάτρα προσδιορίστηκε με βάση δεδομένα ενός έτους του εργαστηρίου ΑΠΕ και βρέθηκε ίση με 0.704 . Σε επόμενο κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθεί και η βάση δεδομένων Soda που περιλαμβάνει δεδομένα 21 ετών και η τιμή που εξάγεται από τα δεδομένα ισοπύται με  $K_T = 0.5937$  . Είναι προφανές ότι χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή των δεδομένων πολλών ετών, η τιμή είναι περισσότερο αξιόπιστη καθώς απορροφούνται οι διακυμάνσεις (βλ. Γρ. 5.17).

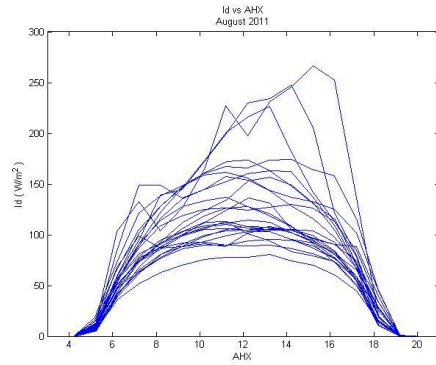
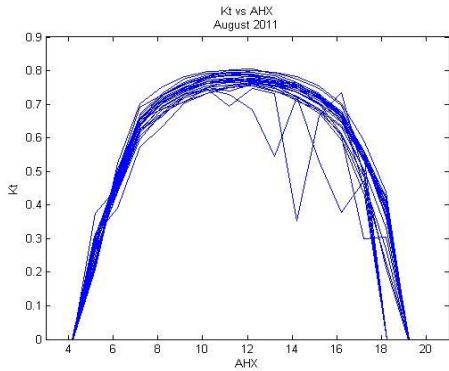
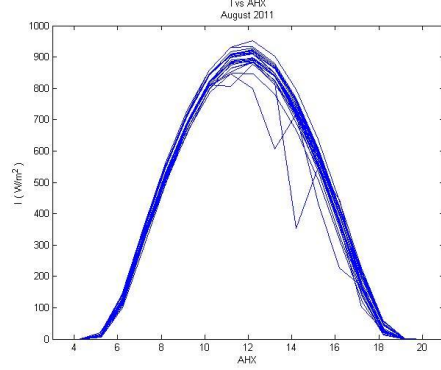
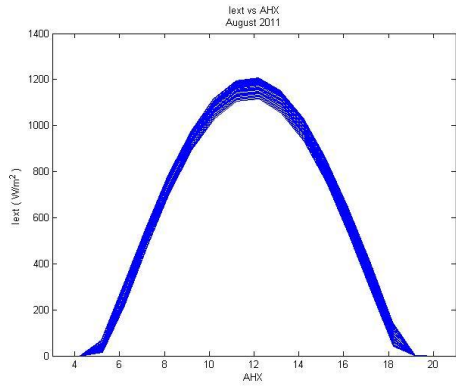
Μπορεί στην συνέχεια να γίνει, βάσει των παραπάνω υπολογισμών, γραφική απεικόνιση των μεταβολών της έντασης της ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, της ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας και του συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) για τον μήνα αυτό ανά ώρα και ανά ημέρα. Στις γραφικές παραστάσεις αυτές παρουσιάζονται οι μεταβολές των υπολογισθέντων μεγεθών σε σχέση με τον αληθή ηλιακό χρόνο (βλ. Κεφ. 2, εν. 2.1). Κάθε γραμμή αφορά μια ημέρα από την ανατολή του ήλιου μέχρι την δύση του σύμφωνα με τον πίνακα 4.1. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μεταβολές της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτη αιθριότητας. Η γραφική απεικόνιση των μεταβολών έχει μεγάλη αξία τόσο για την μελέτη των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, όσο και από μετεωρολογικής απόψεως. Λόγου χάριν, παρατηρώντας κανείς τις μεταβολές του δείκτη αιθριότητας και του ποσού της ημερήσιας ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας για κάποια ημέρα, μπορεί να σχηματίσει μια εικόνα των καιρικών φαινομένων που επικρατούσαν την ημέρα εκείνη (πχ. μεγάλες τιμές της διάχυτης ακτινοβολίας σημαίνει ομιχλώδης ατμόσφαιρα, μικρές τιμές άμεσης και μικρές τιμές διάχυτης ακτινοβολίας πυκνή συννεφιά). Τα αποτελέσματα σχολιάζονται σε παρακάτω υποενότητα (4.4.1).



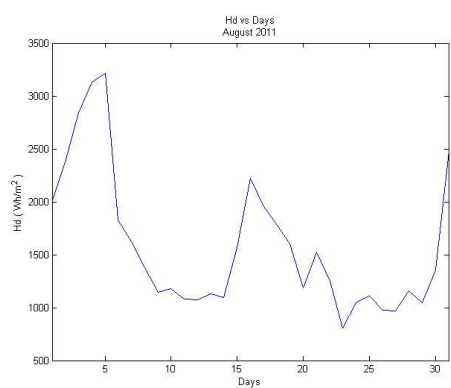
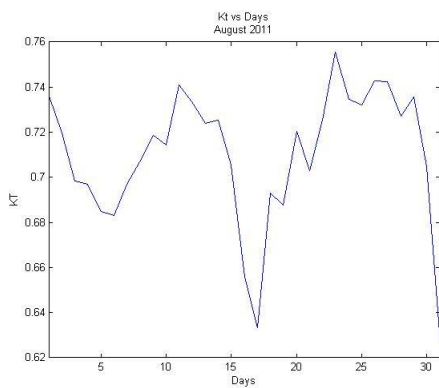
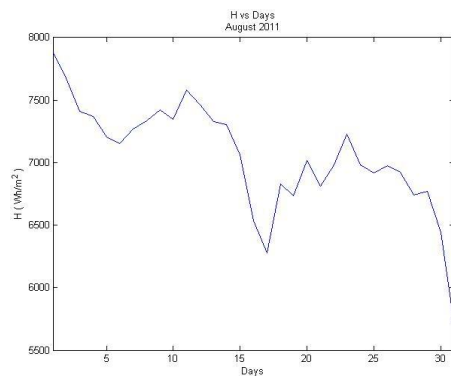
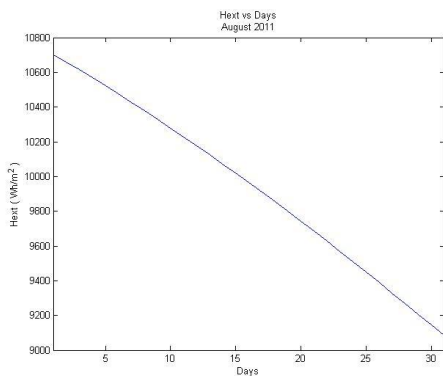
Γράφημα 4.1 : Ωριαίες μεταβολές Ιουλίου 2011  $a) I_{ext}$ ,  $b) I$ ,  $c) K_t$ ,  $d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



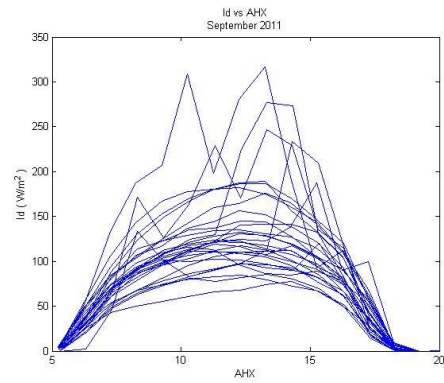
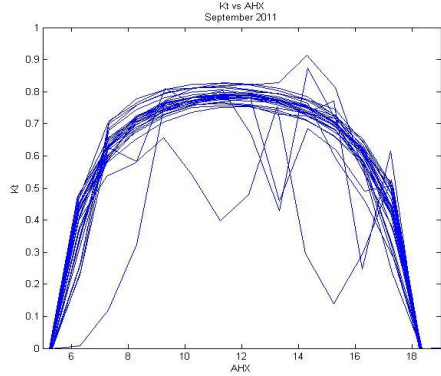
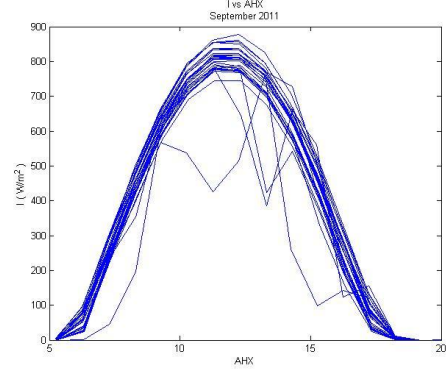
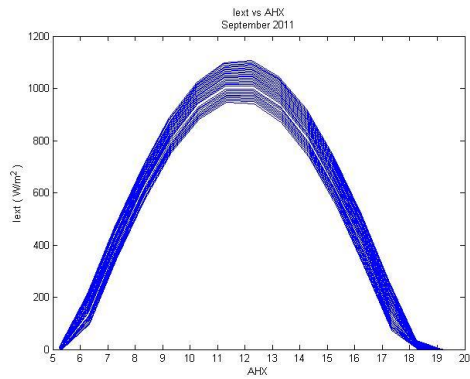
Γράφημα 4.2 : Ημερήσιες μεταβολές Ιουλίου 2011  $a) H_{ext}$ ,  $b) H$ ,  $c) K_T$ ,  $d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



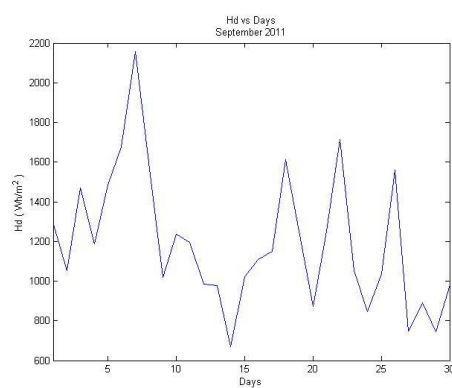
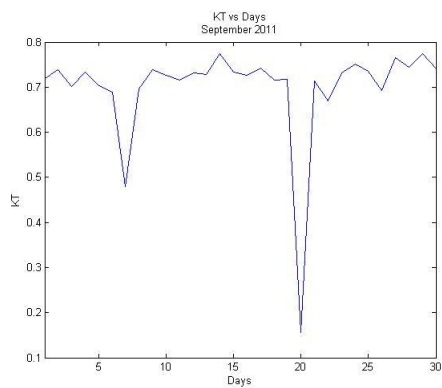
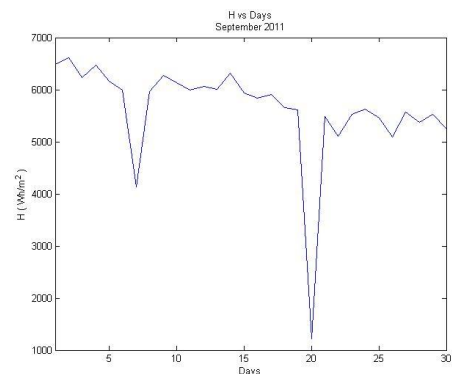
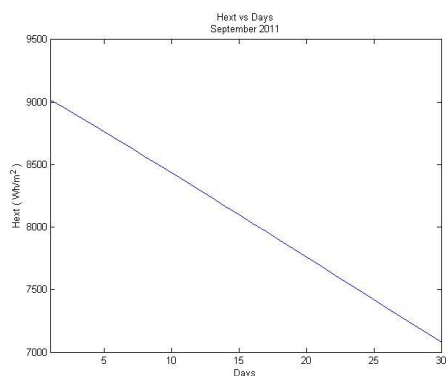
Γράφημα 4.3 : Ωριαίες μεταβολές Αυγούστου 2011  $a) I_{ext}$ ,  $b) I$ ,  $c) K_t$ ,  $d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



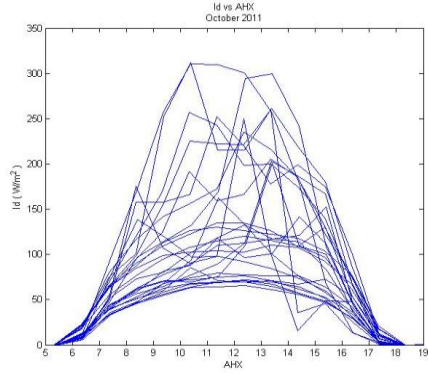
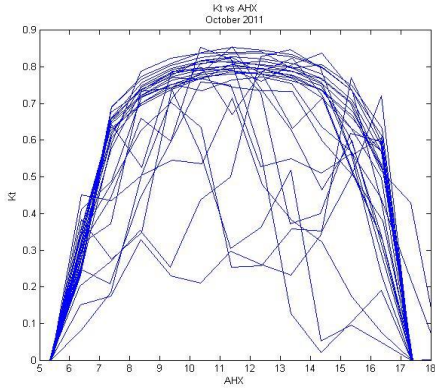
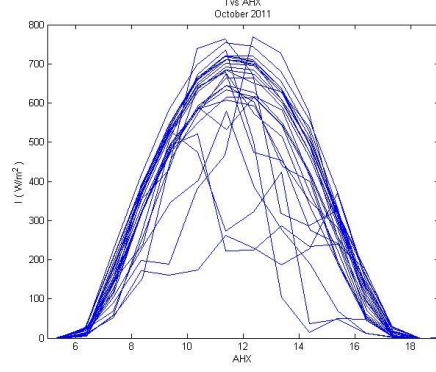
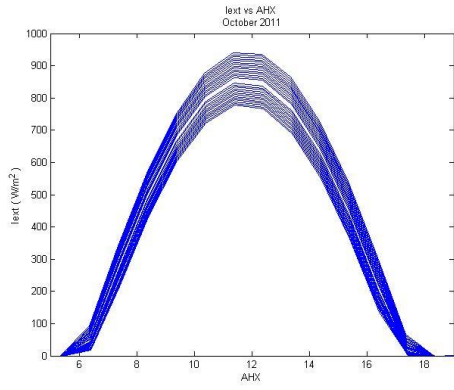
Γράφημα 4.4 : Ημερήσιες μεταβολές Αυγούστου 2011  $a) H_{ext}$ ,  $b) H$ ,  $c) K_T$ ,  $d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



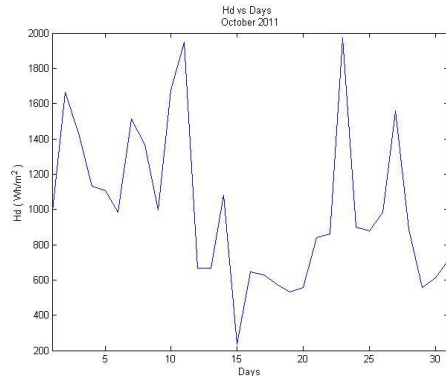
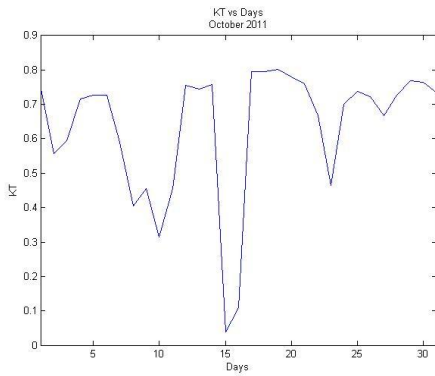
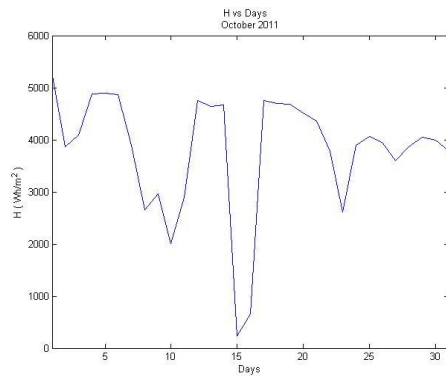
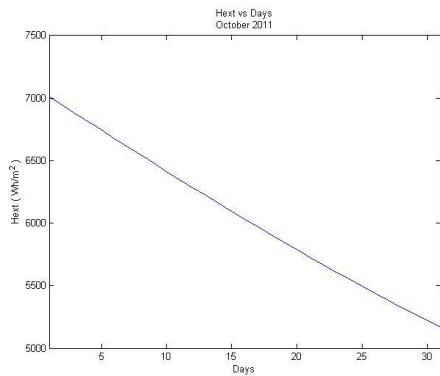
Γράφημα 4.5 : Ωριαίες μεταβολές Σεπτεμβρίου 2011  $a) I_{ext}$ ,  $b) I$ ,  $c) K_t$ ,  $d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



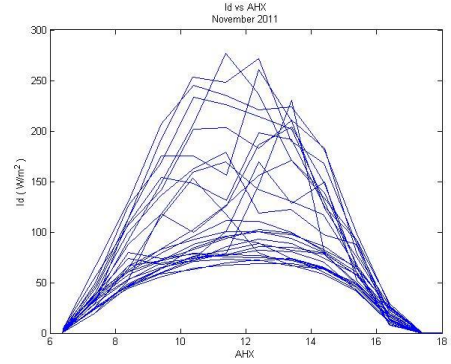
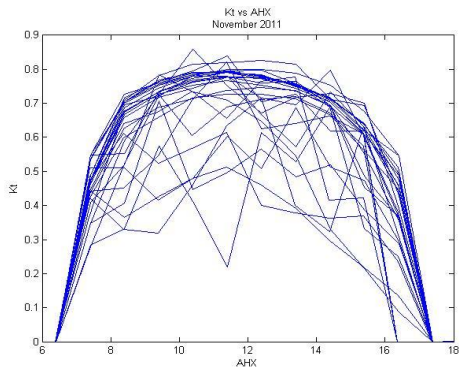
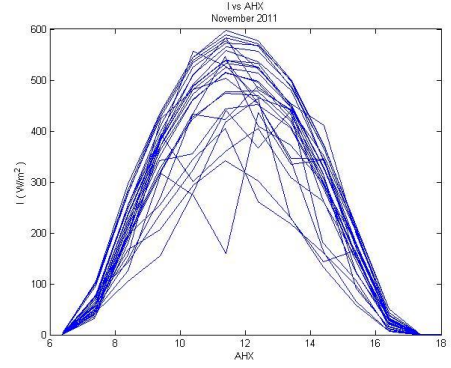
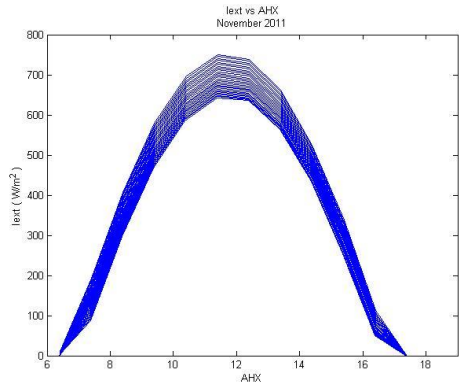
Γράφημα 4.6 : Ημερήσιες μεταβολές Σεπτεμβρίου 2011  $a) H_{ext}$ ,  $b) H$ ,  $c) K_T$ ,  $d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



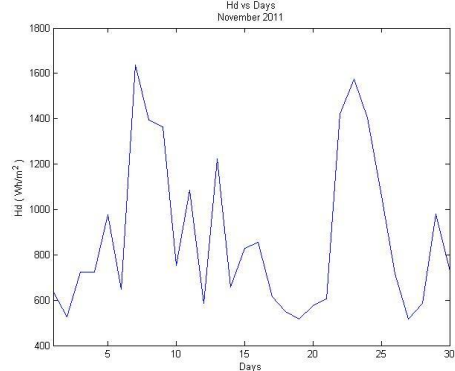
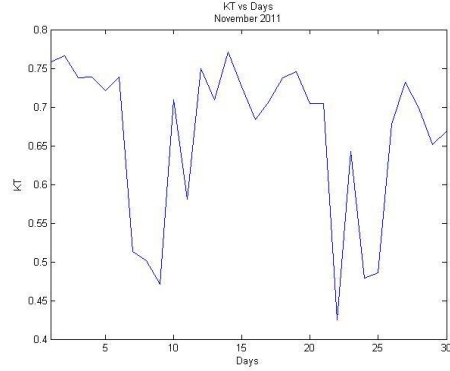
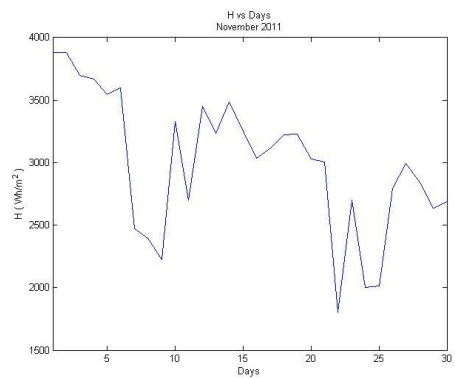
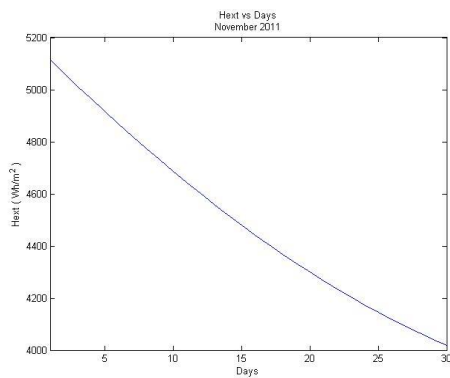
Γράφημα 4.7 : Ωριαίες μεταβολές Οκτωβρίου 2011  $a) I_{ext}, b) I, c) K_t, d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



Γράφημα 4.8 : Ημερήσιες μεταβολές Οκτωβρίου 2011  $a) H_{ext}, b) H, c) K_T, d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

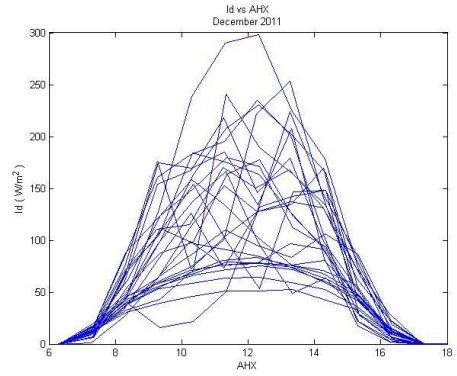
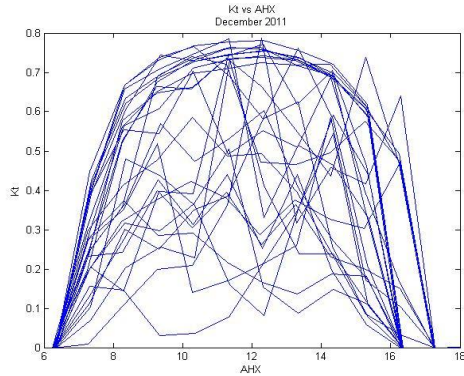
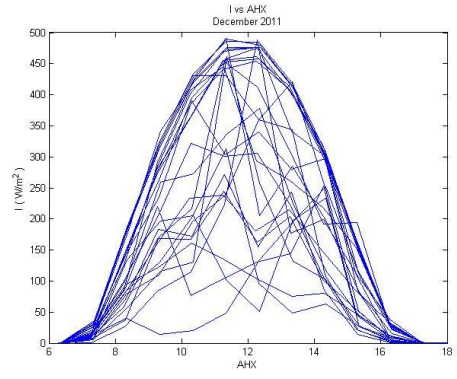
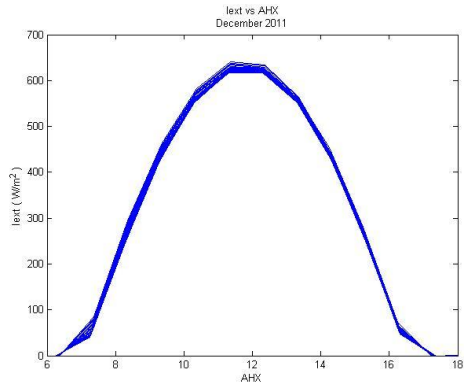


Γράφημα 4.9 : Ορειαίες μεταβολές Νοεμβρίου 2011  $a) I_{ext}, b) I, c) K_t, d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

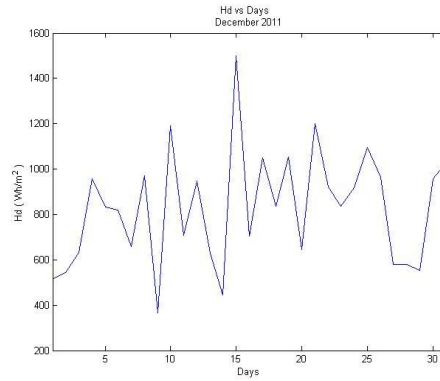
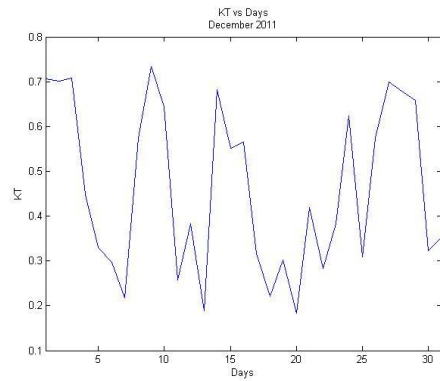
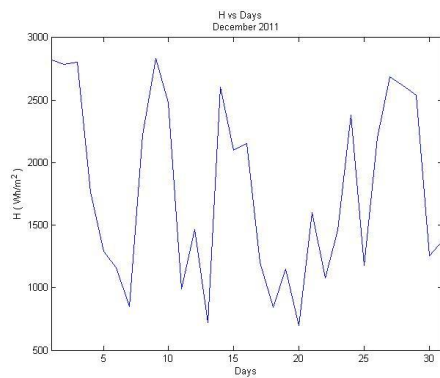
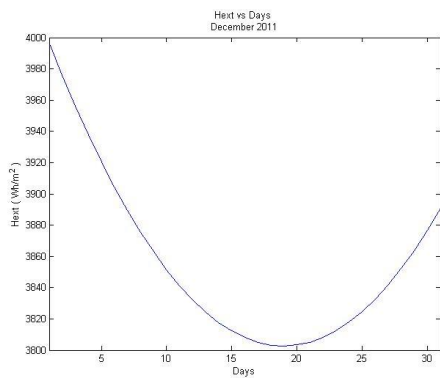


Γράφημα 4.10 : Ημερήσιες μεταβολές Νοεμβρίου 2011  $a) H_{ext}, b) H, c) K_T, d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

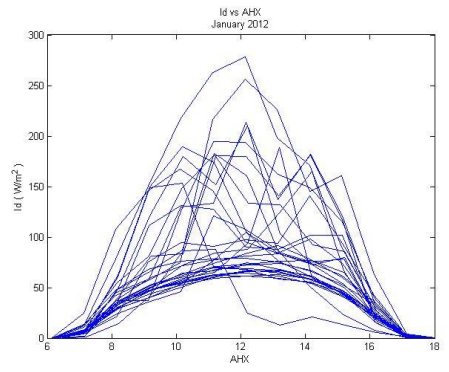
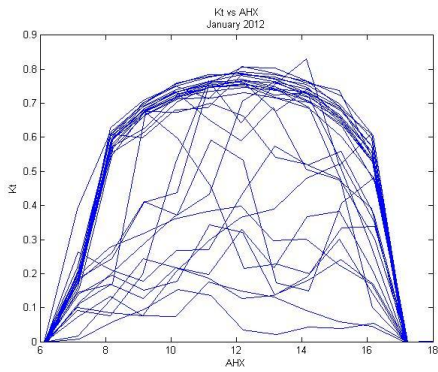
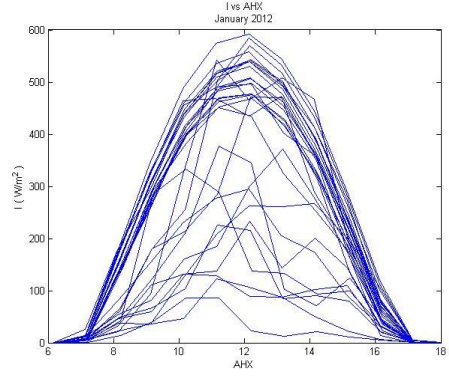
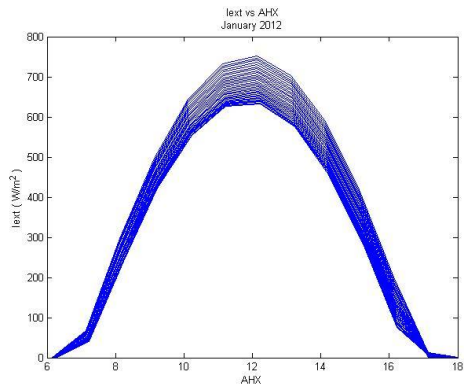




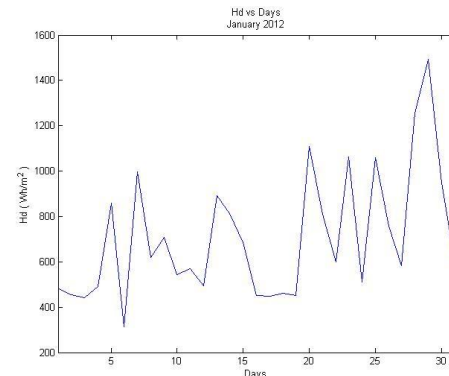
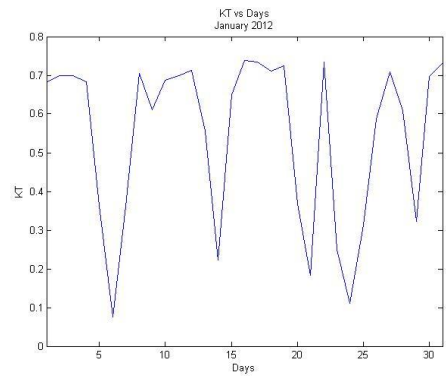
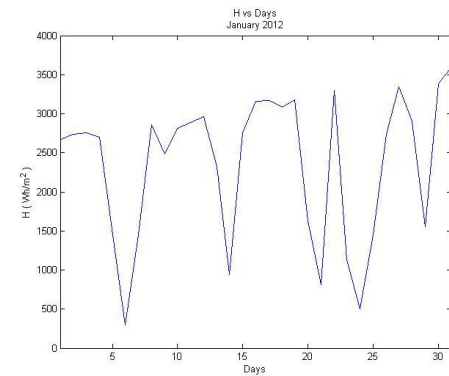
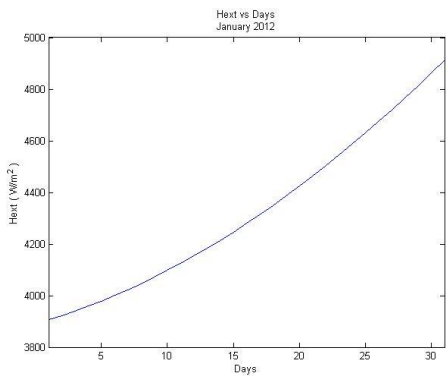
Γράφημα 4.11 : Ωριαίες μεταβολές Δεκεμβρίου 2011  $a) I_{ext}, b) I, c) K_t, d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



Γράφημα 4.12 : Ημερήσιες μεταβολές Δεκεμβρίου 2011  $a) H_{ext}, b) H, c) K_T, d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

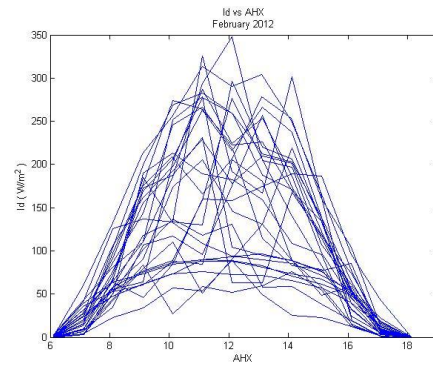
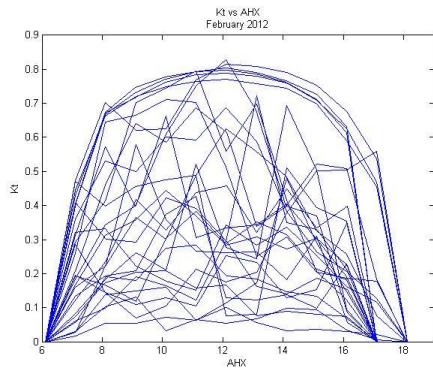
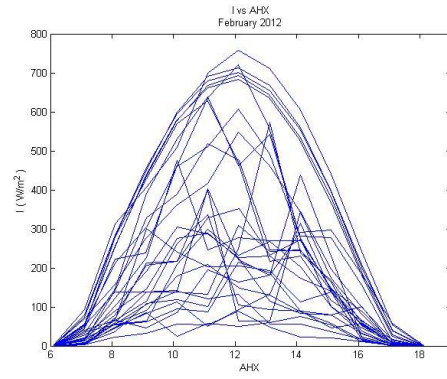
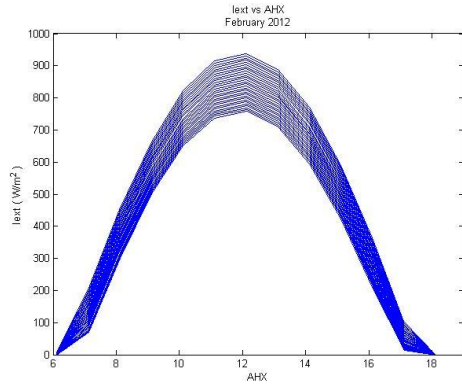


Γράφημα 4.13 : Ωριαίες μεταβολές Ιανουαρίου 2012  $a) I_{ext}, b) I, c) K_t, d) I_d \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

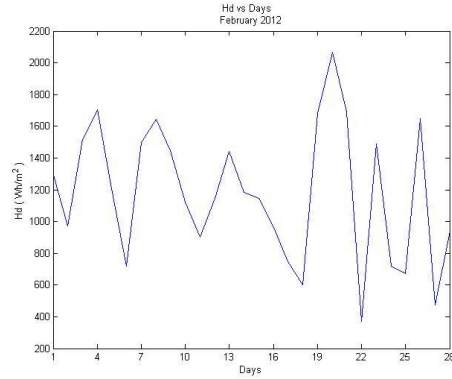
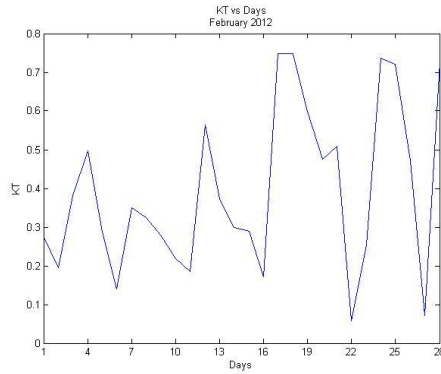
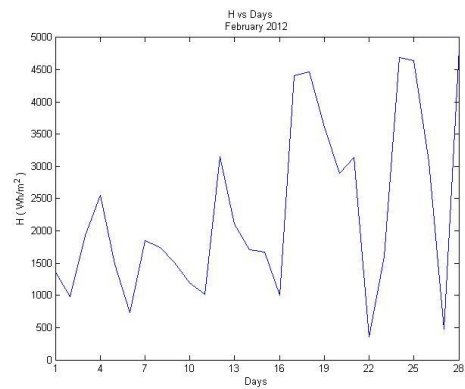
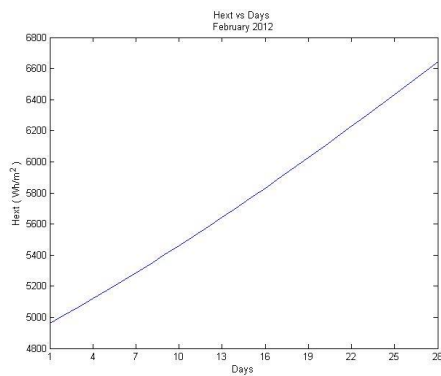


Γράφημα 4.14 : Ημερήσιες μεταβολές Ιανουαρίου 2012  $a) H_{ext}, b) H, c) K_T, d) H_d \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

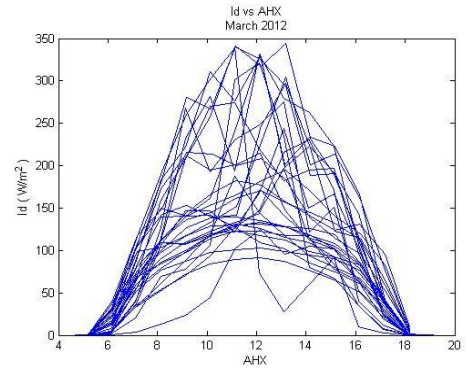
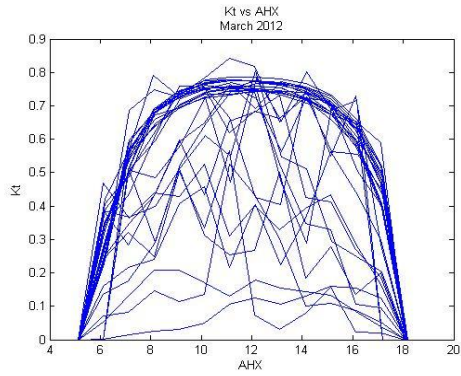
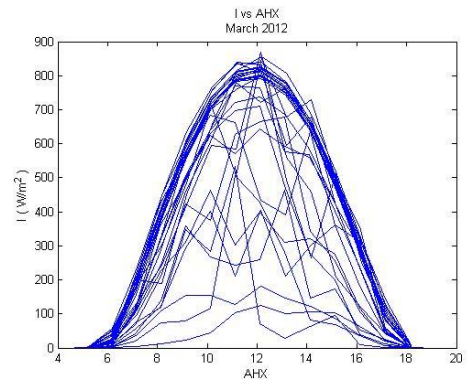
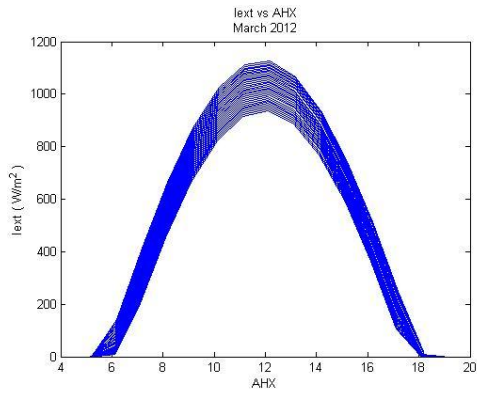




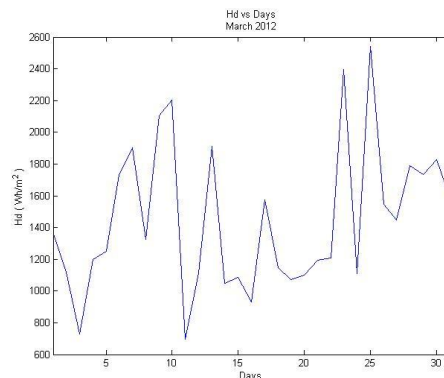
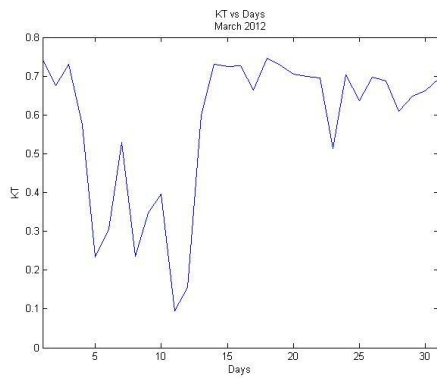
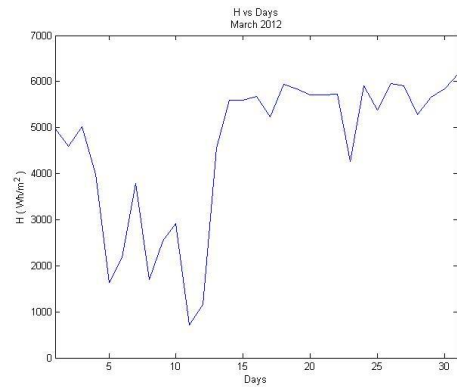
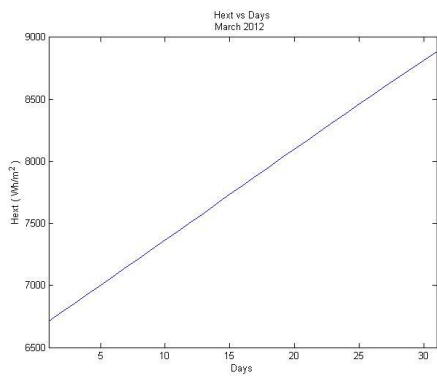
Γράφημα 4.15 : Οριαίες μεταβολές Φεβρουαρίου 2012  $a) I_{ext}, b) I, c) K_t, d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



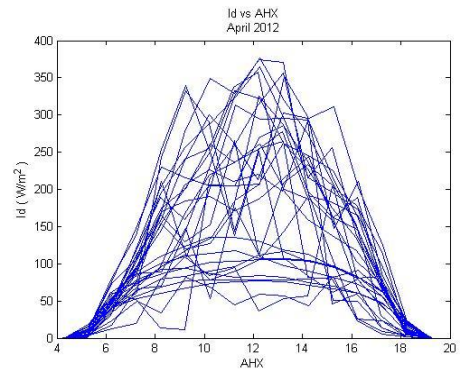
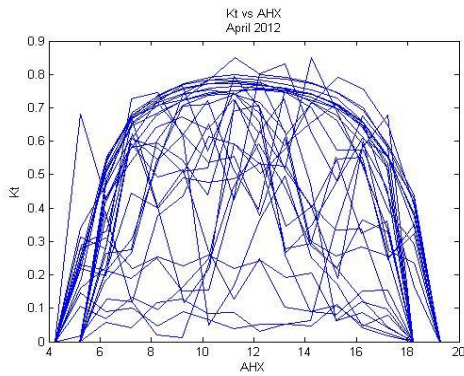
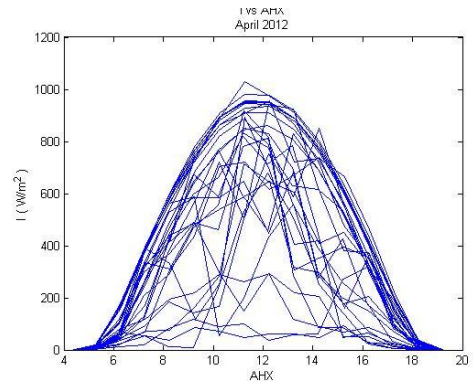
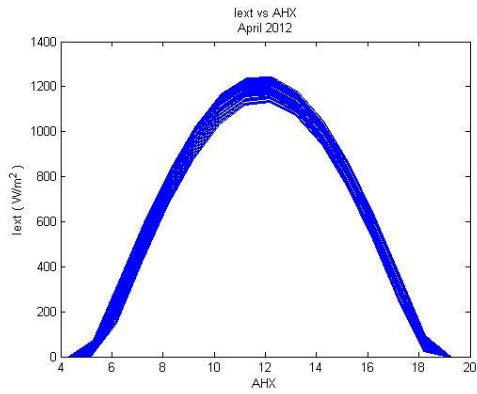
Γράφημα 4.16 : Ημερήσιες μεταβολές Φεβρουαρίου 2012  $a) H_{ext}, b) H, c) K_T, d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



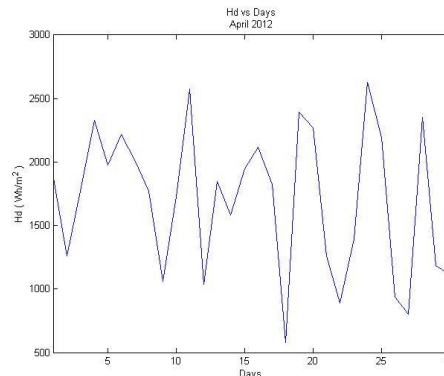
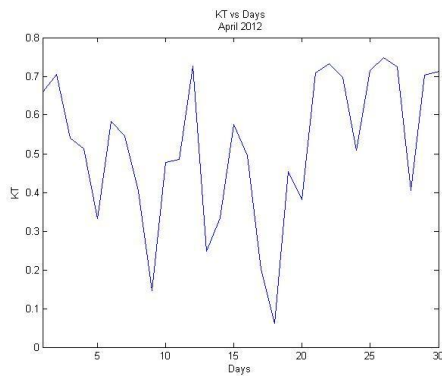
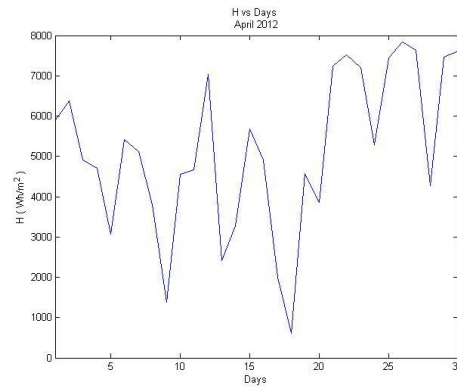
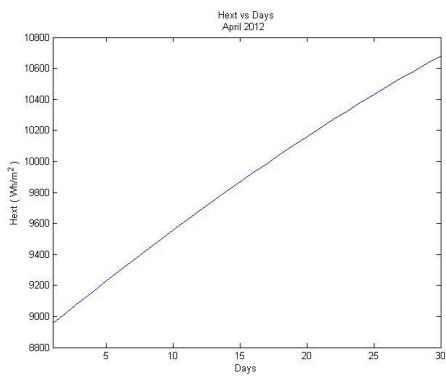
Γράφημα 4.17 : Ωριαίες μεταβολές Μαρτίου 2012  $a) I_{ext}$ ,  $b) I$ ,  $c) K_t$ ,  $d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



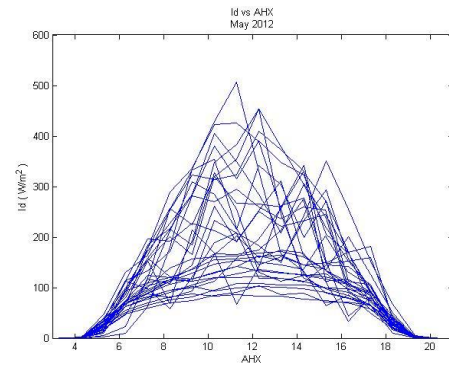
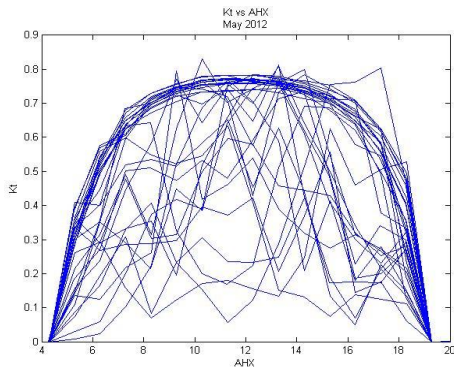
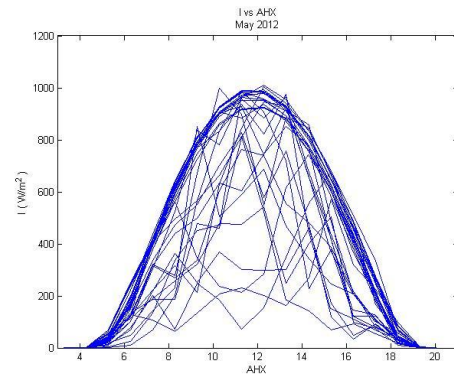
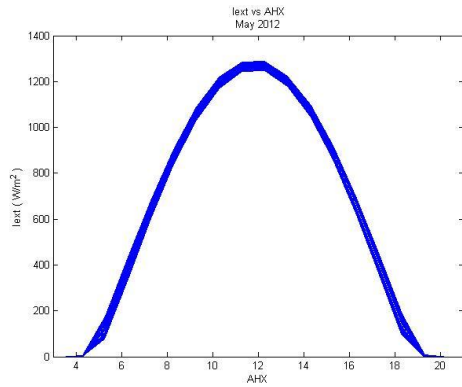
Γράφημα 4.18 : Ημερήσιες μεταβολές Μαρτίου 2012  $a) H_{ext}$ ,  $b) H$ ,  $c) K_T$ ,  $d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



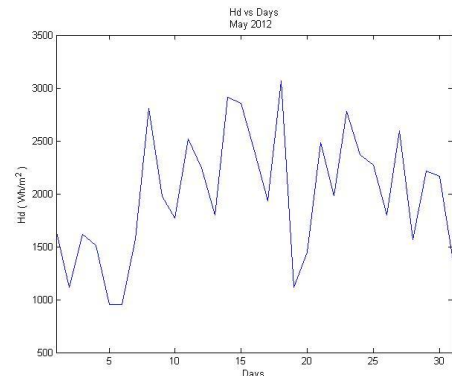
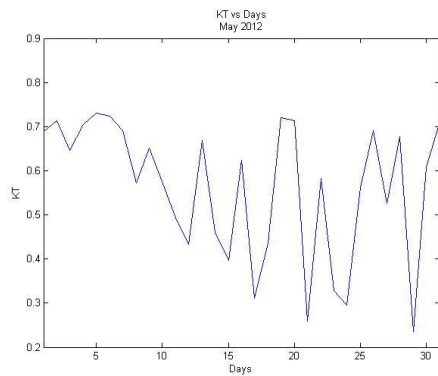
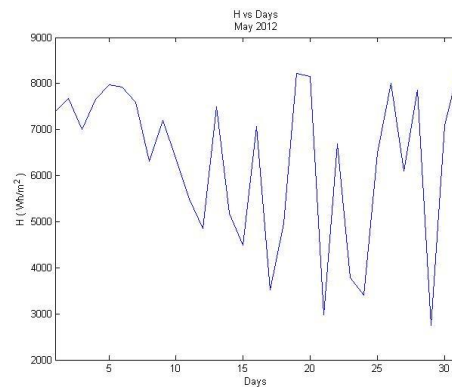
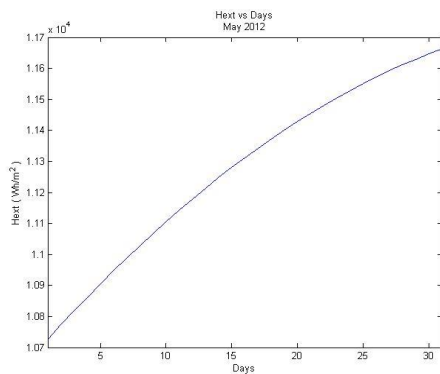
Γράφημα 4.19 : Ωριαίες μεταβολές Απριλίου 2012  $a) I_{ext}$ ,  $b) I$ ,  $c) K_t$ ,  $d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



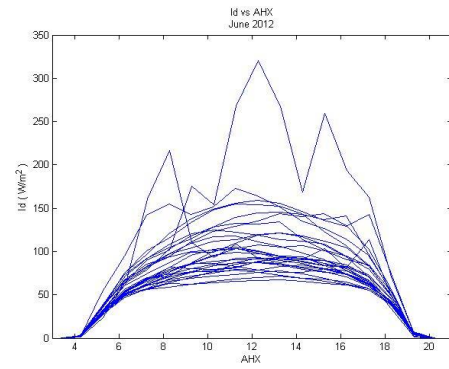
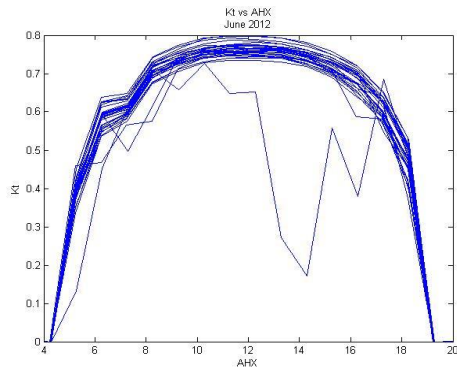
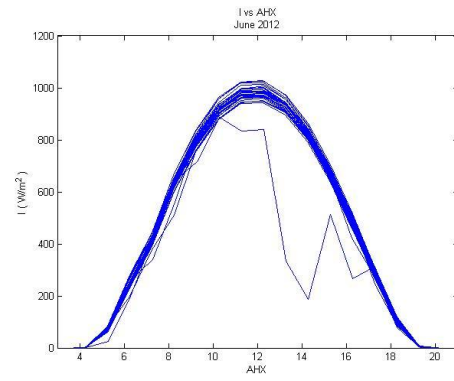
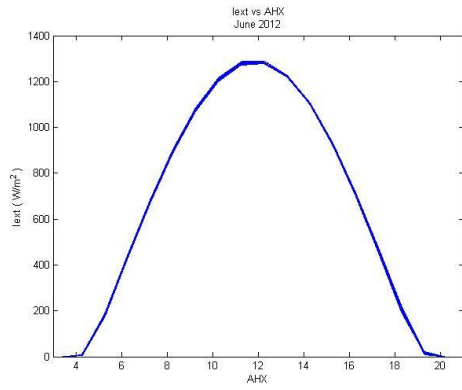
Γράφημα 4.20 : Ημερήσιες μεταβολές Απριλίου 2012  $a) H_{ext}$ ,  $b) H$ ,  $c) K_T$ ,  $d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



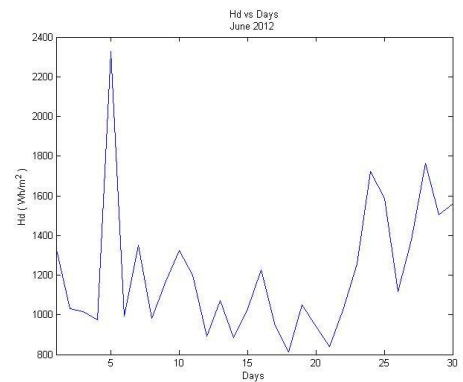
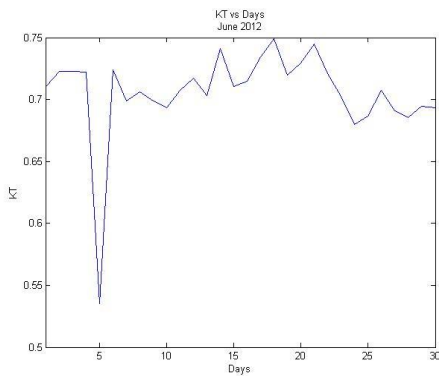
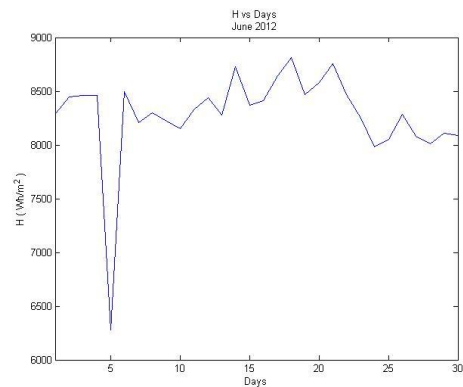
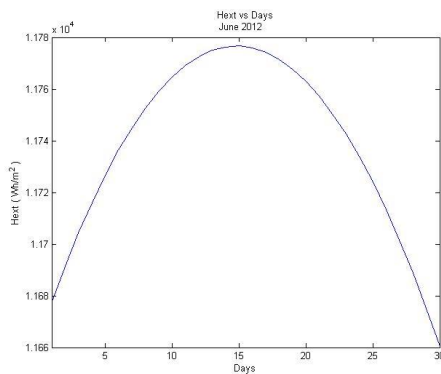
Γράφημα 4.21 : Ωριαίες μεταβολές Μαΐου 2012  $a) I_{ext}, b) I, c) K_t, d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



Γράφημα 4.22 : Ημερήσιες μεταβολές Μαΐου 2012  $a) H_{ext}, b) H, c) K_T, d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



Γράφημα 4.23 : Ωριαίες μεταβολές Ιουνίου 2012  $a) I_{ext}, b) I, c) K_t, d) I_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



Γράφημα 4.24 : Ημερήσιες μεταβολές Ιουνίου 2012  $a) H_{ext}, b) H, c) K_T, d) H_d$   $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$



#### 4.4.1 Σχόλια

Από τα γραφήματα της μεταβολής της ωριαίας έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ( $I(h)$ ) αλλά και του συντελεστή αιθριότητας ( $K_t(h)$ ), για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο (Γρ. 4.23, Γρ. 4.1 – 4.4) παρατηρούνται μικρές διακυμάνσεις των μεγεθών ωριαίας έντασης ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας. Στην πλειοψηφία των ημερών ο ωριαίος συντελεστής αιθριότητας έχει υψηλές τιμές ( $0.7 \leq K_T \leq 0.8$ ) το οποίο φανερώνει πολύ καλές καιρικές συνθήκες. Επίσης παρατηρείται, ότι μετά το θερινό ηλιοστάσιο στις 21 Ιουνίου (Γρ. 4.24,α) περίπου, τα ημερήσια ποσά ενέργειας ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας μειώνονται συνεχώς καθώς εξαιτίας της κλίσης του άξονα της Γης, ο ήλιος στο βόρειο ημισφαίριο έχει μικρότερο ύψος ( $\alpha$ ) στην ημερήσια τροχιά του. ( βλ. Κεφ. 1, εν. 1.2).

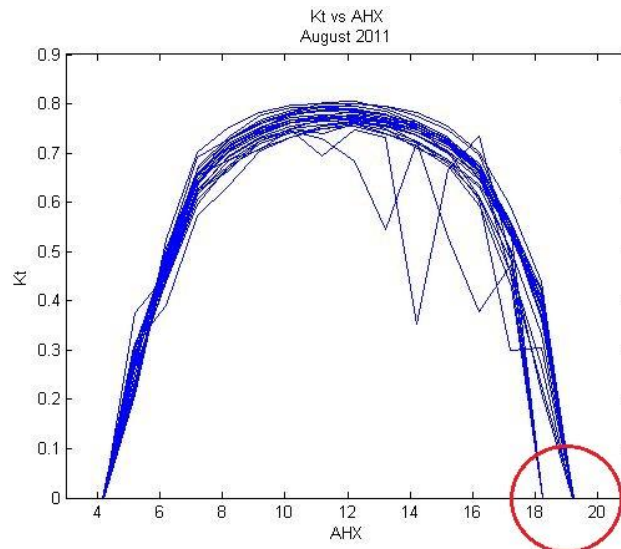
Καθώς προχωρούν οι μήνες τα καιρικά φαινόμενα γίνονται πιο έντονα και μεγαλύτερης διάρκειας. Τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο (Γρ. 4.7 – 4.10) υπάρχει αύξηση της συχνότητας εμφάνισης αυξομειώσεων της έντασης ολικής ηλιακής ακτινοβολίας κάτι που οφείλεται στην συχνότερη εμφάνιση κακών καιρικών συνθηκών. Οι μικρές τιμές ( $0.1 \leq K_T \leq 0.3$ ) του δείκτη αιθριότητας αλλά και οι πολύ μεγάλες διακυμάνσεις που παρατηρούνται σε ολόένα και περισσότερες ημέρες οφείλονται στην μετάβαση προς τον χειμώνα και στα έντονα καιρικά φαινόμενα της εποχής.

Κατά τους χειμερινούς μήνες, δηλαδή τον Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο (Γρ. 4.11 – 4.16) παρατηρείται μια αύξηση της εμφάνισης μεγάλων διακυμάνσεων στις τιμές της έντασης ακτινοβολίας ( $I(h)$ ) και του συντελεστή αιθριότητας ( $K_t(h)$ ) σε μεγάλο αριθμό ημερών. Μια σαφέστερη εικόνα των μεταβολών κάθε μήνα μπορεί να δοθεί από τα γραφήματα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ( $H(n)$ ) και του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T(n)$ ). Από τα γραφήματα για τον μήνα Δεκέμβριο (Γρ. 4.12) παρατηρούνται μικρές τιμές ημερήσιας ολικής και διάχυτης ενέργειας ακτινοβολίας σε μεγάλο αριθμό ημερών ενδεχομένως λόγω πυκνής συννεφιάς. Μετά το χειμερινό ηλιοστάσιο την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου παρατηρείται συνεχής αύξηση της ημερήσιας ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας ( $H_{ext}(n)$ ). Η εμφάνιση άσχημων καιρικών φαινομένων ελαττώνεται σταδιακά καθώς ο χειμώνας φτάνει στο τέλος του.

Κατά την διάρκεια των μηνών της άνοιξης (Γρ. 4.17 – 4.22) παρατηρούνται μικρότερες διακυμάνσεις του συντελεστή αιθριότητας όπως είναι αναμενόμενο. Ωστόσο λόγω του ότι η άνοιξη έπεται του χειμώνα, τα άσχημα καιρικά φαινόμενα συνεχίζουν να υφίσταται και κατά την διάρκεια των μηνών αυτών.

## Παρατηρήσεις

Όπως φαίνεται στα γραφήματα του ωριαίου συντελεστή αιθριότητας ( $K_t$ ) σε κάποιες περιπτώσεις η τιμή του συντελεστή κατά την ανατολή ή δύση μηδενίζεται σε διαφορετικό ωριαίο διάστημα (διαφορετική τιμή ΑΗΧ) όπως για παράδειγμα τον Αύγουστο (Γρ. 4.25) :



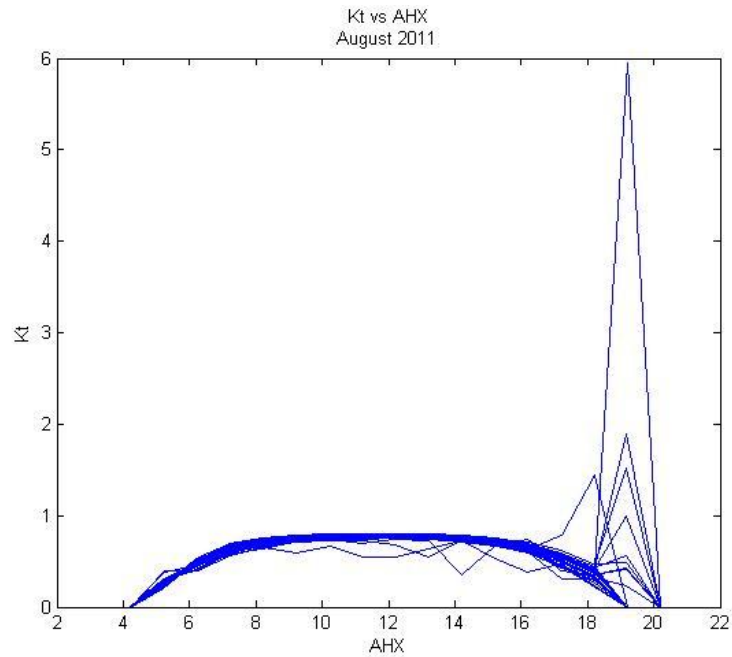
**Γράφημα 4.25 :** Μηδενικές τιμές του ωριαίου δείκτη αιθριότητας σε διαφορετικό χρονικό διάστημα

Αυτό συμβαίνει, διότι η χρονική στιγμή δύσης του ήλιου μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του μήνα. Στην προκειμένη περίπτωση, τον Αύγουστο, η δύση του ηλίου συμβαίνει νωρίτερα κάθε ημέρα. Λόγου χάριν αν ο ήλιος έδυε την 1<sup>η</sup> του μήνα στις 19:40 οι μηδενικές τιμές ακτινοβολίας ανήκουν στις 20:00, ενώ στις 30 του μήνα αν έδυε στις 19:29 ανήκουν στο ωριαίο διάστημα 19:00 (λόγω του τρόπου υπολογισμού όπως εξηγείται στην ενότητα 4.3).

## Παραδοχές

- Μηδενισμός  $K_t$  κατά την ανατολή και δύση του ήλιου

Κατά τα πρώτα λεπτά ανατολής και δύσης, λόγω του μικρού ύψους ηλίου ( $\alpha$ ) τα ποσά ακτινοβολίας που φθάνουν στη Γη είναι πολύ μικρά ( τάξεως  $1 - 2 \text{ W/m}^2$  ), με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να γίνουν ακριβείς μετρήσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο συντελεστής αιθριότητας κατά τα πρώτα λεπτά ανατολής ή δύσης να τείνει στο άπειρο ή να έχει τιμές πολύ μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες. Αυτό συμβαίνει διότι η ένταση της ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας είναι μηδενική, ενώ λόγω διάθλασης τα όργανα λαμβάνουν τιμές ηλιακής ακτινοβολίας πριν να ανατείλει ή αφού δύσει ο ήλιος.



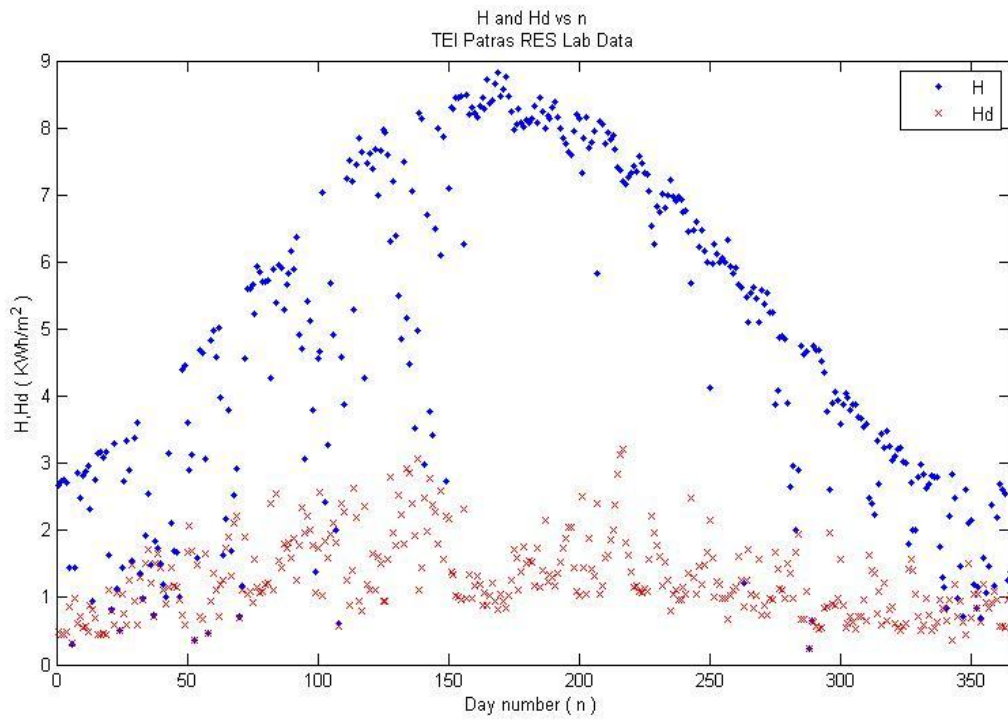
**Γράφημα 4.26 :** Εμφάνιση προβληματικών τιμών του ωριαίου συντελεστή αιθριότητας κατά την δύση του ήλιου

Η διόρθωση έγινε μηδενίζοντας τον δείκτη αιθριότητας κατά την ανατολή και δύση. Ο μηδενισμός του  $K_z$  είναι θεωρητικά αποδεκτός αφού ισχύει εξ ορισμού πως κατά τα πρώτα λεπτά ανατολής και δύσης κάθε ημέρας η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας είναι εξαιρετικά μικρή και θεωρείται αμελητέα.

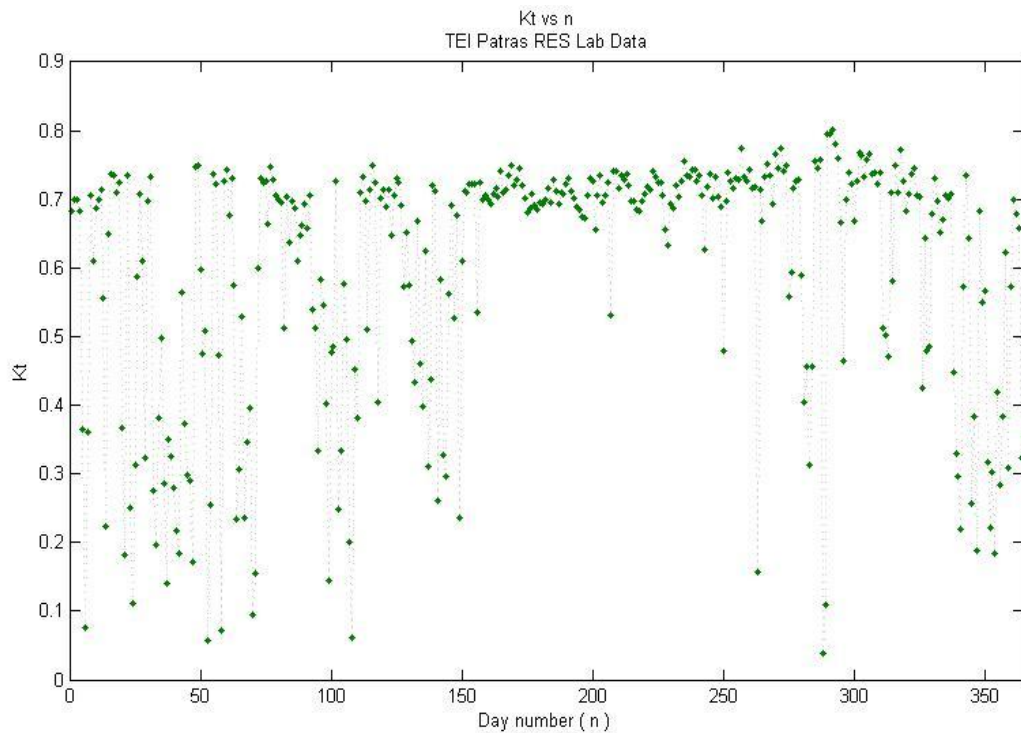
#### 4.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι γραφικές παραστάσεις των μεγεθών που αναλύθηκαν στο προηγούμενο μέρος του κεφαλαίου, δηλαδή για ολόκληρο το διάστημα των 12 μηνών που μελετώνται (Ιούλιος 2011 – Ιούνιος 2012). Οι γραφικές παραστάσεις αυτές δίνουν μια γενική εικόνα του μεγέθους των μεταβολών της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας όπως μετρήθηκε από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας. Όπως διαπιστώνεται, τον χειμώνα και την άνοιξη καταγράφονται πιο έντονες διακυμάνσεις στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας και μεγαλύτερη διασπορά των τιμών, σε αντίθεση με το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

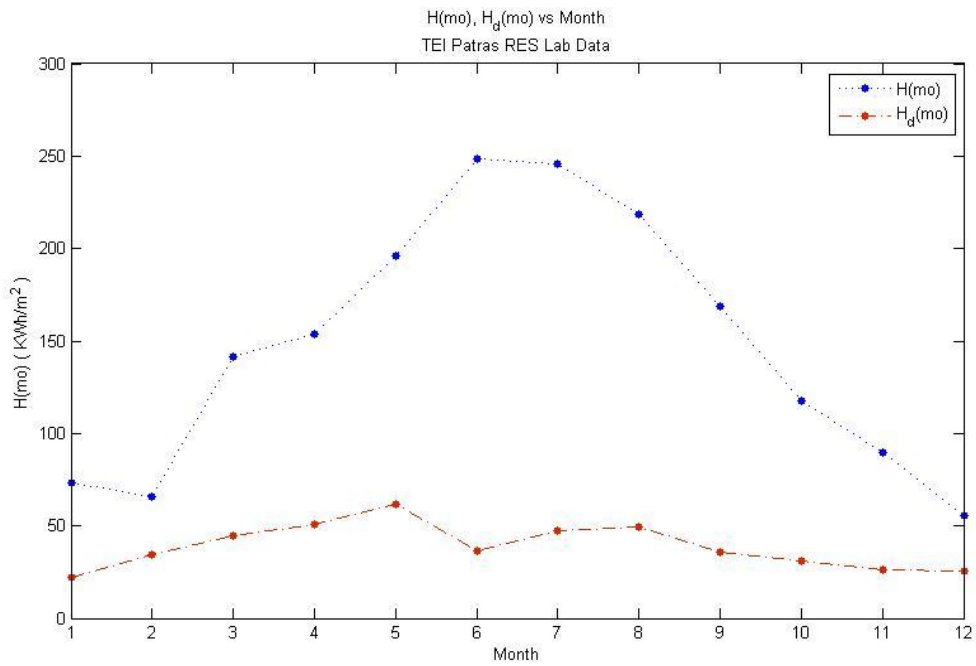




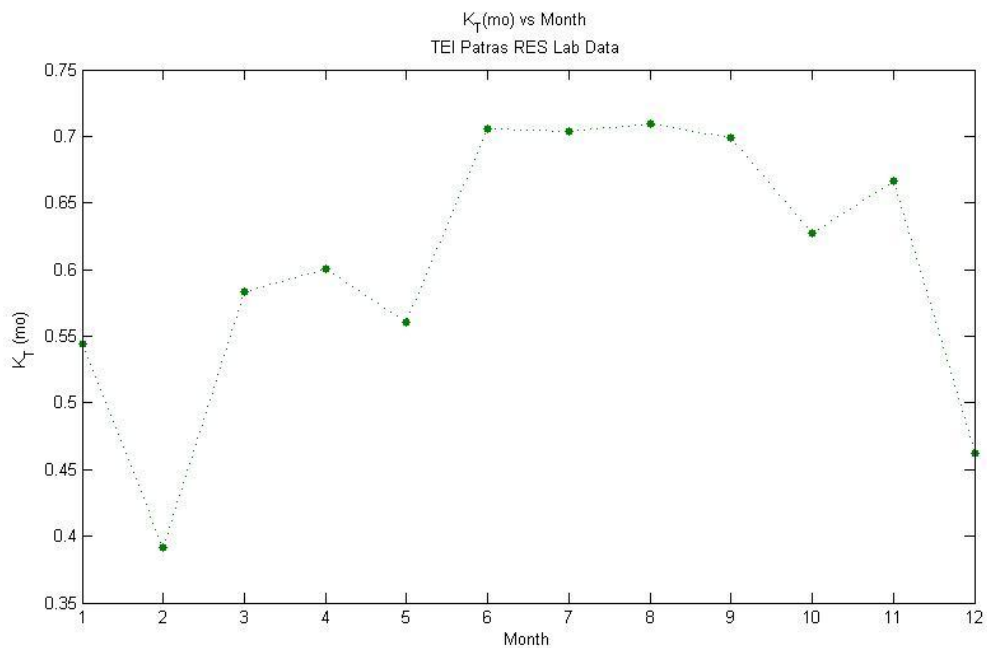
**Γράφημα 4.27 :** Γραφική παράσταση των τιμών ημερήσιας ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο κατά την διάρκεια του έτους



**Γράφημα 4.28 :** Διακυμάνσεις του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T(n)$ ) κατά την διάρκεια του έτους



**Γράφημα 4.29 :** Γραφική παράσταση των τιμών μηνιαίας ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο



**Γράφημα 4.30 :** Μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας (  $K_T(mo)$  )

Ο μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση 1.8 (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6). Επίσης φαίνονται οι μεγάλες μηνιαίες διακυμάνσεις λόγω του μικρού δείγματος τιμών.

## 5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΟΛΙΚΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΙΘΡΙΟΤΗΤΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η μαθηματική περιγραφή, δηλαδή το μοντέλο, της μεταβολής της ημερήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( $H$ ) στο οριζόντιο επίπεδο καθώς και του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ). Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας για μια περίοδο ενός έτους. Τέλος, γίνεται εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα πολλών ετών από τη βάση δεδομένων SoDa.

### 5.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το μοντέλο που θα εφαρμοστεί στα διαθέσιμα δεδομένα είναι του Σ.Καπλάνη όπως αυτό παρουσιάζεται στην δημοσίευση του (2006). Το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε ημερήσιες και μηνιαίες τιμές των δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και του συντελεστή αιθριότητας.

Σύμφωνα με το μοντέλο, ο προσδιορισμός της ημερήσιας ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο γίνεται με τον τύπο :

$$H(n) = C_1 + C_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot n + C_3\right) \quad (5.1)$$

Οι παράμετροι ( $C_1$ ,  $C_2$  και  $C_3$ ) εξαρτώνται από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής (γεωγραφικό μήκος και πλάτος, βλ. Κεφ. 2, εν. 2.1).

Μπορούν να προσδιοριστούν δε, με προσαρμογή (curve fitting) της εξίσωσης (5.1) στα δεδομένα της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ( $H$ ) στο οριζόντιο επίπεδο και του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) και να χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για την πρόβλεψη της μέσης αναμενόμενης ωριαίας ακτινοβολίας (βλ. Κεφ. 6).

Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί στο κεφάλαιο 5 είναι η εξής :

- προσδιορισμός των παραμέτρων ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ) του μοντέλου μέσω προσαρμογής της συνάρτησης (curve fitting) που δίδεται από την εξίσωση 5.1, στα δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ( $H$ ) που ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας ( βλ. Κεφ. 4). Η προσαρμογή της εξίσωσης της μορφής αυτής θα γίνει στα δεδομένα για το  $H$  και  $K_T$  αντίστοιχα για :

- 1) όλες τις ημέρες του έτους
- 2) αντιπροσωπευτική ημέρα ( $\bar{n}$ ) κάθε μήνα του έτους

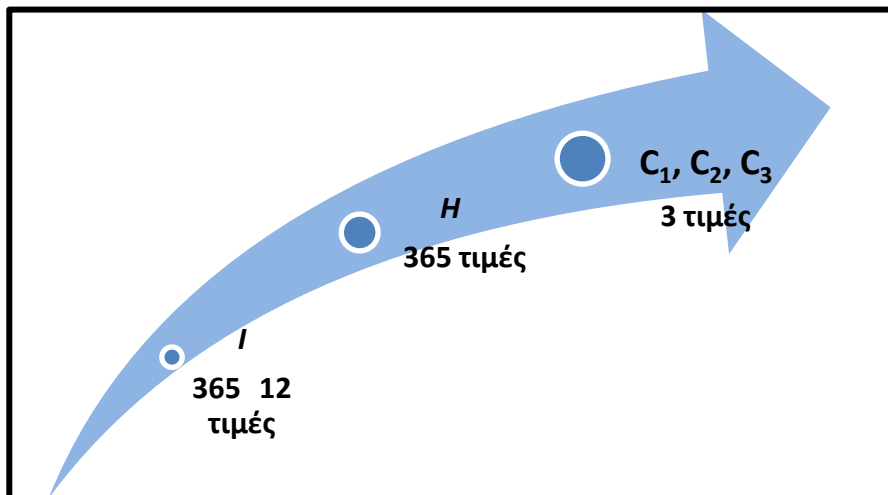
- 3) την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα και γύρω από αυτήν κατά μια ημέρα ( $\bar{n} \pm 1$ )
- 4) την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα και γύρω από αυτήν κατά δυο ημέρες ( $\bar{n} \pm 2$ )

➤ Προσαρμογή της εξίσωσης στα δεδομένα 21 ετών της βάσης SoDa :

- 1) μέσο όρο κάθε ημέρας για όλα τα έτη ( $\bar{H}(n), \bar{K}_T(n)$ )
- 2) μέσο όρο της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα όλων των ετών ( $\bar{H}(\bar{n}), \bar{K}_T(\bar{n})$ )

➤ παρουσίαση και σύγκριση των τιμών των παραμέτρων ( $C_1, C_2, C_3$ ) που προέκυψαν

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τις ωριαίες τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ( $I(h, n)$ ) για τον υπολογισμό της ημερήσιας ακτινοβολίας ( $H(n)$ ) με σκοπό τον προσδιορισμό των παραμέτρων ( $C_1, C_2, C_3$ ) της συνάρτησης που περιγράφει το  $H$ .



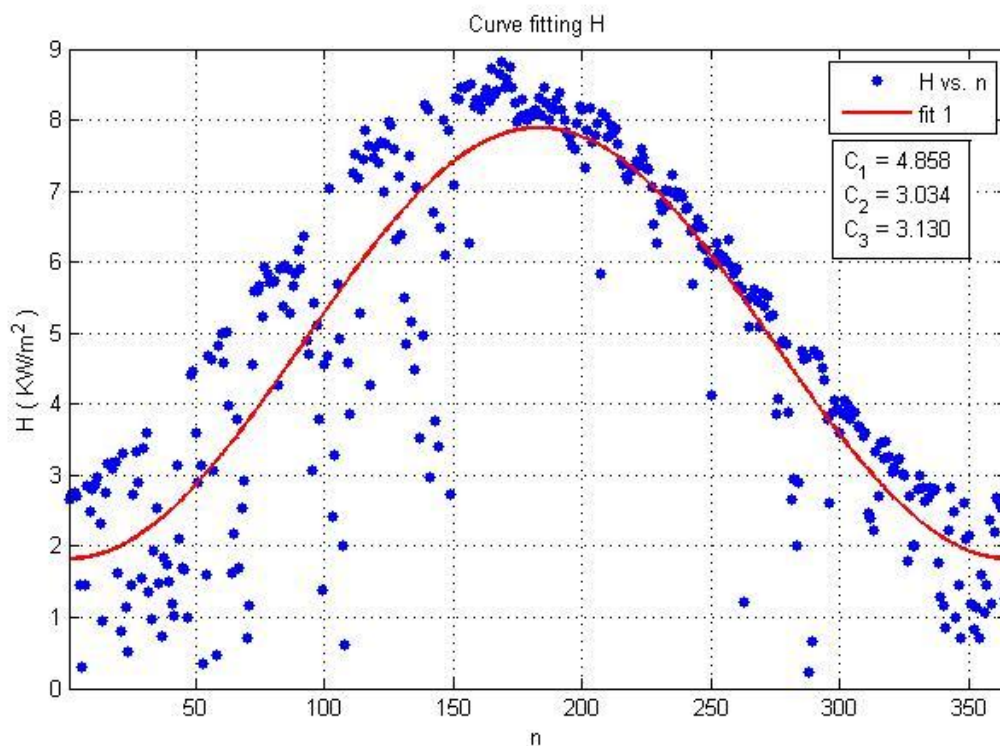
Σχήμα 5.1 : Προσέγγιση κάτω προς επάνω ( bottom – up )

## 5.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΠΕ ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει προσαρμογή της συνάρτησης (Εξ. 5.1) στα δεδομένα της ημερήσιας ακτινοβολίας ( $H$ ) όπως υπολογίστηκε βάσει των μετρήσεων ωριαίας έντασης ακτινοβολίας του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας, όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 4 μέσω αλγοριθμικών συναρτήσεων που υλοποιήθηκαν για τις ανάγκες της εργασίας αυτής.

### 5.2.1 Μοντελοποίηση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ( $H$ )

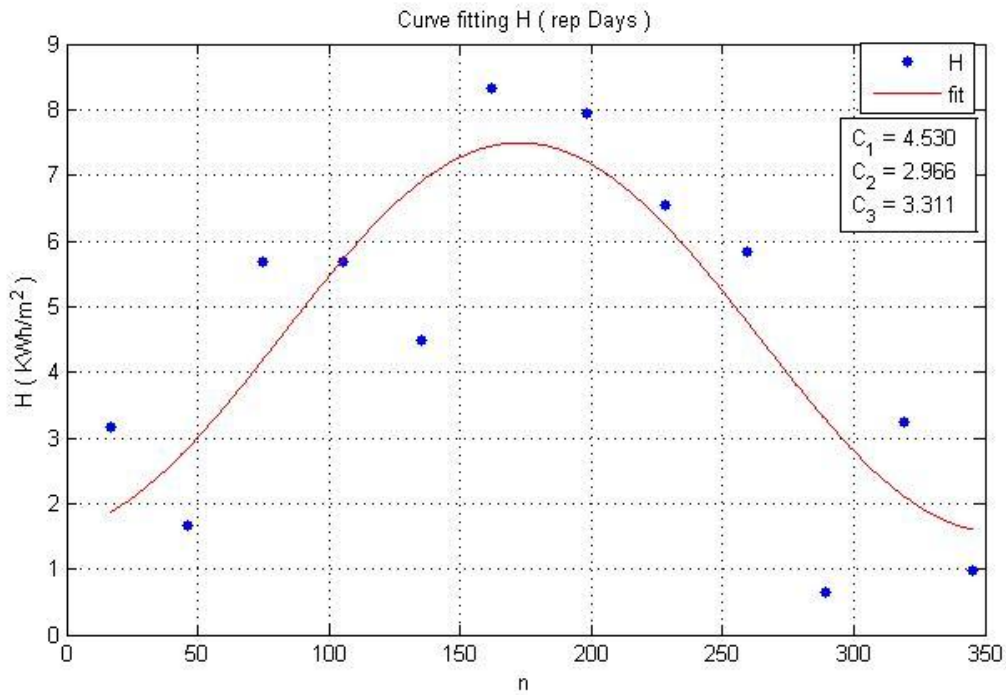
Παρακάτω παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις και οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου (Εξ. 5.1) από εφαρμογή της εξίσωσης στα δεδομένα ημερήσιας ενέργειας ακτινοβολίας (  $H$  ). Χρησιμοποιήθηκε το “curve fitting tool” του περιβάλλοντος του λογισμικού “MATLAB”.



Γράφημα 5.1 : Εφαρμογή μοντέλου στα δεδομένα (  $H$  ) όλων των ημερών

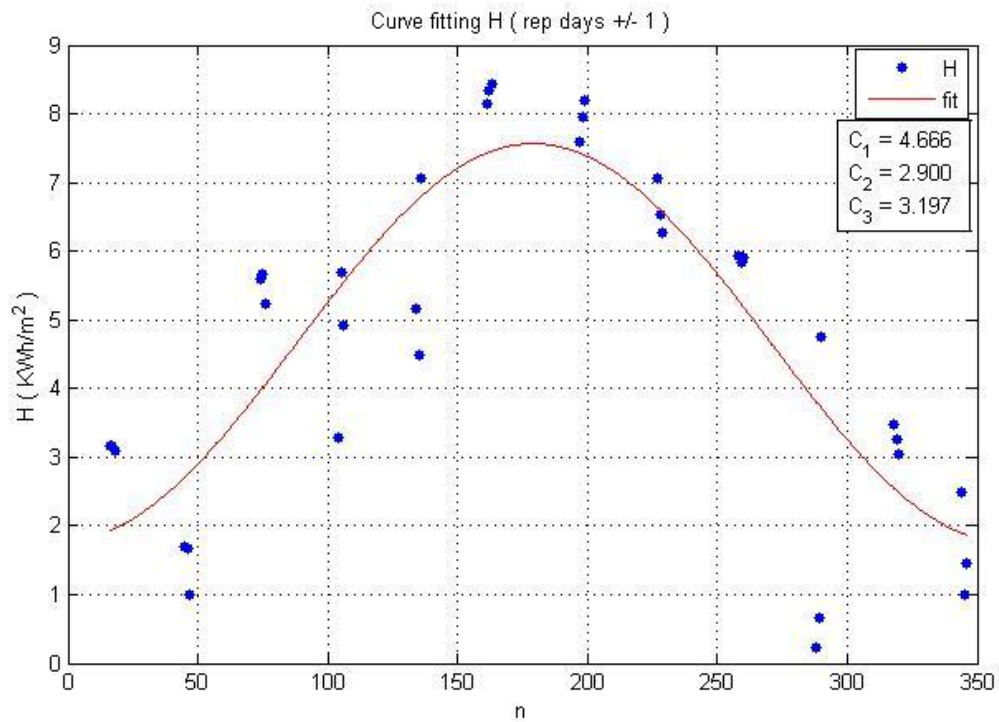
Στο παραπάνω γράφημα, λόγω της διασποράς των τιμών του (  $H$  ) κυρίως κατά του μήνες του χειμώνα και της άνοιξης (  $330 \leq n \leq 365$  και  $0 \leq n \leq 150$  ) ο συντελεστής συσχέτισης της προσαρμοσμένης καμπύλης είναι μικρός,  $R^2 = 0.77$ .

Στην συνέχεια, για να εξεταστεί το ενδεχόμενο όπου είναι μικρός ο αριθμός των διαθέσιμων δεδομένων για ένα έτος, θα γίνει προσαρμογή της εξίσωσης στα δεδομένα των αντιπροσωπευτικών ημερών των μηνών αυτών και των ημερών γύρω από αυτές (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6). Τέλος, θα γίνει σύγκριση των τιμών των παραμέτρων που προέκυψαν από την κάθε εφαρμογή.

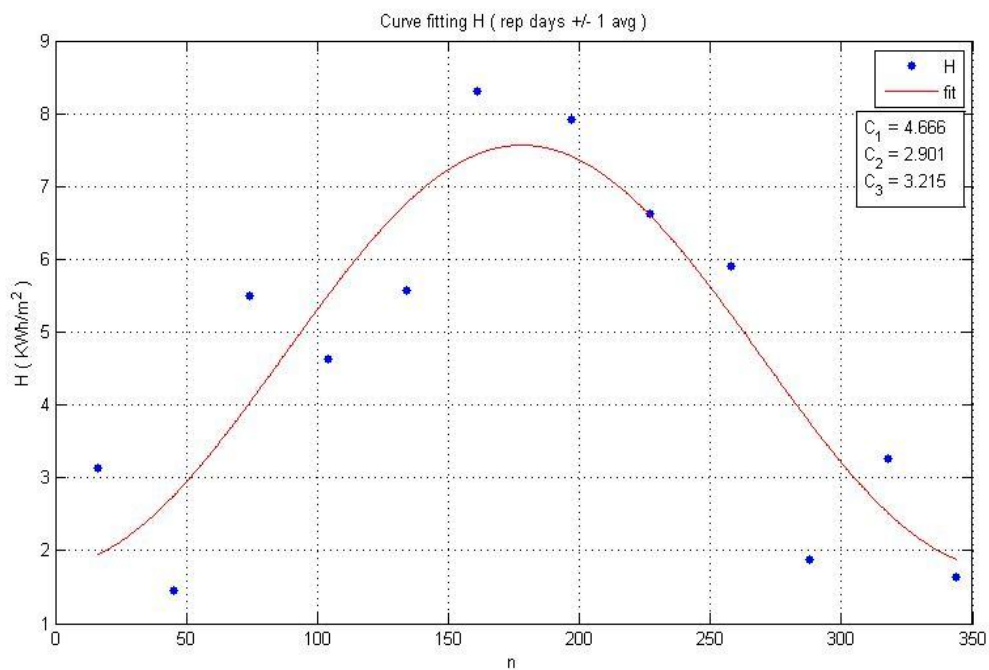


**Γράφημα 5.2 :** Εφαρμογή μοντέλου στα δεδομένα ( $H$ ) των αντιπροσωπευτικών ημερών

Στο γράφημα 5.2 γίνεται προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα ημερήσιας ακτινοβολίας της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, πίν. 1.1) βάσει των υπολογισμών που έγιναν, για τους σκοπούς της πτυχιακής αυτής. Όπως φαίνεται, υπάρχουν αρκετές διακυμάνσεις στις τιμές αυτές και για αυτόν τον λόγο θα επιχειρηθεί εξομάλυνση τους, αυξάνοντας των αριθμό των τιμών του δείγματος, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των ημερών γύρω από αυτές κατά μια και δυο ημέρες ( $H(\bar{n} \pm 1)$  και  $H(\bar{n} \pm 2)$ ) (βλ. Γρ. 5.3, 5.5). Επίσης, η εξίσωση του μοντέλου θα εφαρμοστεί και στις μέσες τιμές των δεδομένων αυτών ( $\bar{H}(\bar{n} \pm 1)$  και  $\bar{H}(\bar{n} \pm 2)$ ) (βλ. Γρ. 5.4, Γρ. 5.6).

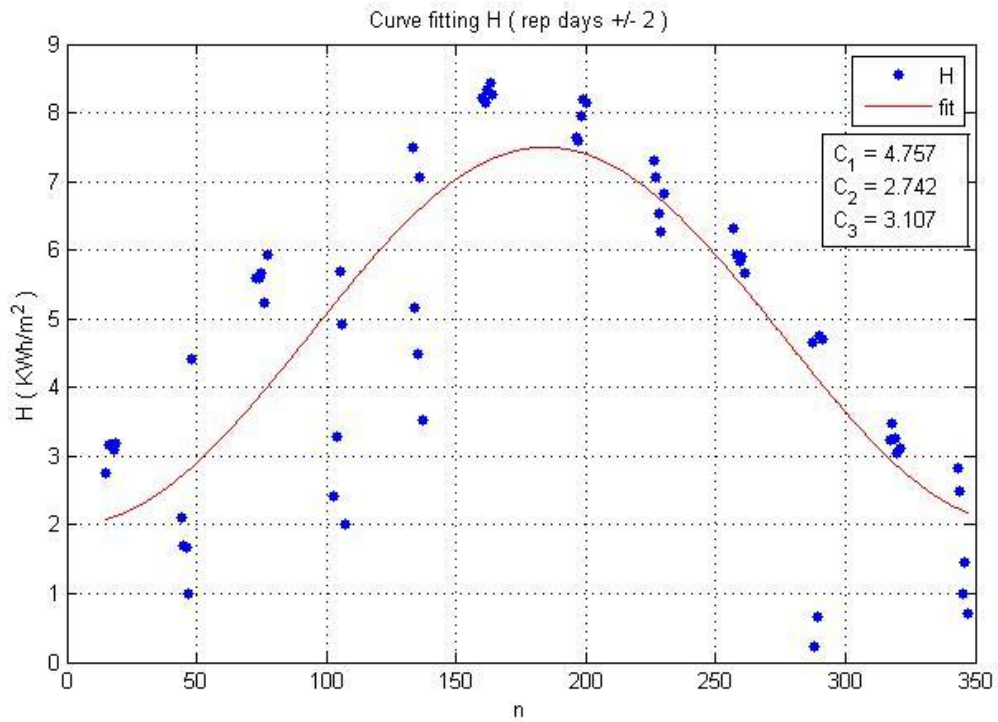


**Γράφημα 5.3 :** Προσαρμογή εξίσωσης στα δεδομένα ( $H$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και μιας ημέρας γύρω από αυτή ( $H(\bar{n} \pm 1)$ )

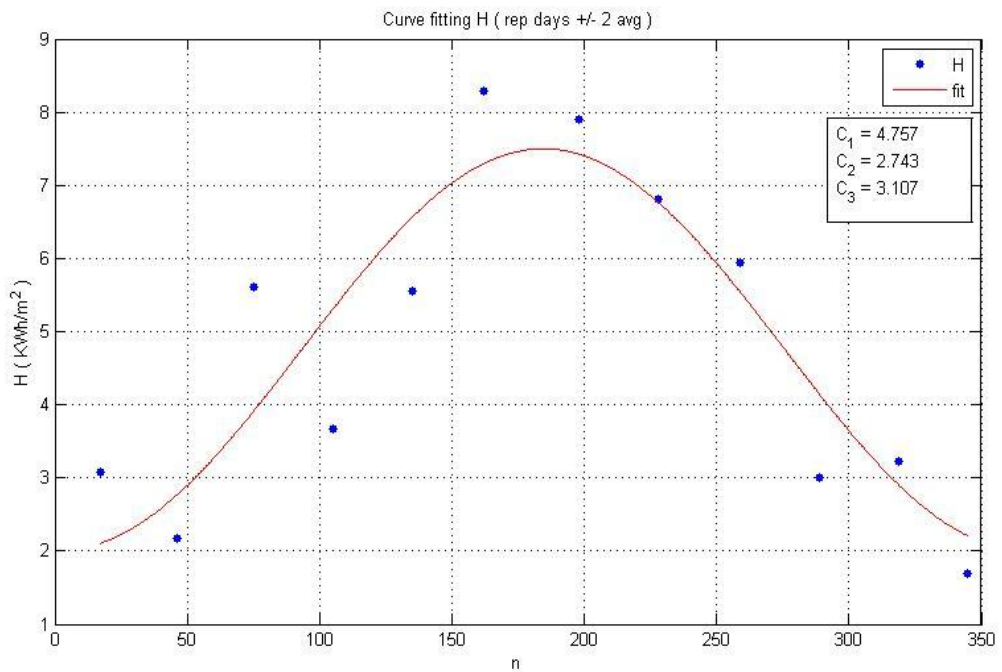


**Γράφημα 5.4** Προσαρμογή εξίσωσης στις μέσες τιμές των δεδομένων ( $H$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και μιας ημέρας γύρω από αυτές ( $\bar{H}(\bar{n} \pm 1)$ )





**Γράφημα 5.5 :** Προσαρμογή εξίσωσης στα δεδομένα ( $H$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και δυο ημερών γύρω από αυτή ( $H(\bar{n} \pm 2)$ )



**Γράφημα 5.6 :** Εφαρμογή μοντέλου στις μέσες τιμές των δεδομένων ( $H$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και δυο ημερών γύρω από αυτή ( $H(\bar{n} \pm 2)$ )



Στον παρακάτω πίνακα (5.1) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των παραμέτρων όπως υπολογίστηκαν από το “curve fitting tool” του “Matlab” για τα παραπάνω γραφήματα.

**Πίνακας 5.1 :** Τιμές παραμέτρων από προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα ημερήσιας ενέργειας ακτινοβολίας ( $H$ )

Δεδομένα	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$H(365 \text{ τιμές})$	4.858	3.034	3.130
$H(\bar{n})$ ( 12 τιμές )	4.530	2.966	3.311
$H(\bar{n} \pm 1)$ ( 36 τιμές )	4.666	2.900	3.197
$\bar{H}(\bar{n} \pm 1)$ ( 12 τιμές )	4.666	2.901	3.215
$H(\bar{n} \pm 2)$ ( 60 τιμές )	4.757	2.742	3.107
$\bar{H}(\bar{n} \pm 2)$ ( 12 τιμές )	4.757	2.743	3.107

Όπως φαίνεται η διασπορά των τιμών της κάθε παραμέτρου είναι μικρή. Αυτό σημαίνει ότι ο προσδιορισμός των παραμέτρων του μοντέλου μπορεί να γίνει ακόμα και από μια τιμή για κάθε μήνα (αντιπροσωπευτική ημέρα, βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, πιν. 1.1). Εκτενέστερη σύγκριση των τιμών που προκύπτουν θα γίνει στην τελευταία ενότητα αυτού του κεφαλαίου (εν. 5.5).

### 5.2.2 Μοντελοποίηση του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ )

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου στα δεδομένα του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ ) ο οποίος υπολογίστηκε με την χρήση του προγράμματος (script) “Kt Calc” (βλ. Κεφ. 4, εν. 4.4) που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της πτυχιακής αυτής. Ομοίως με την προηγούμενη ενότητα (εν. 5.2) για μια καλύτερη εκτίμηση των αποτελεσμάτων θα γίνει προσαρμογή εξίσωσης της ίδιας μορφής (Εξ. 5.2): α) στα δεδομένα όλων των ημερών του έτους, β) στα δεδομένα των αντιπροσωπευτικών ημερών των μηνών και των ημερών γύρω από αυτές, γ) στους μέσους όρους των δεδομένων των ημερών γύρω από την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα, δ) στις τιμές του  $K_T$  που δίδονται από τις τιμές του  $H$  που προκύπτουν από την προσαρμοσμένη συνάρτηση της εξίσωσης 5.1 για την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα και ε) στα δεδομένα του μηνιαίου συντελεστή αιθριότητας (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.8).

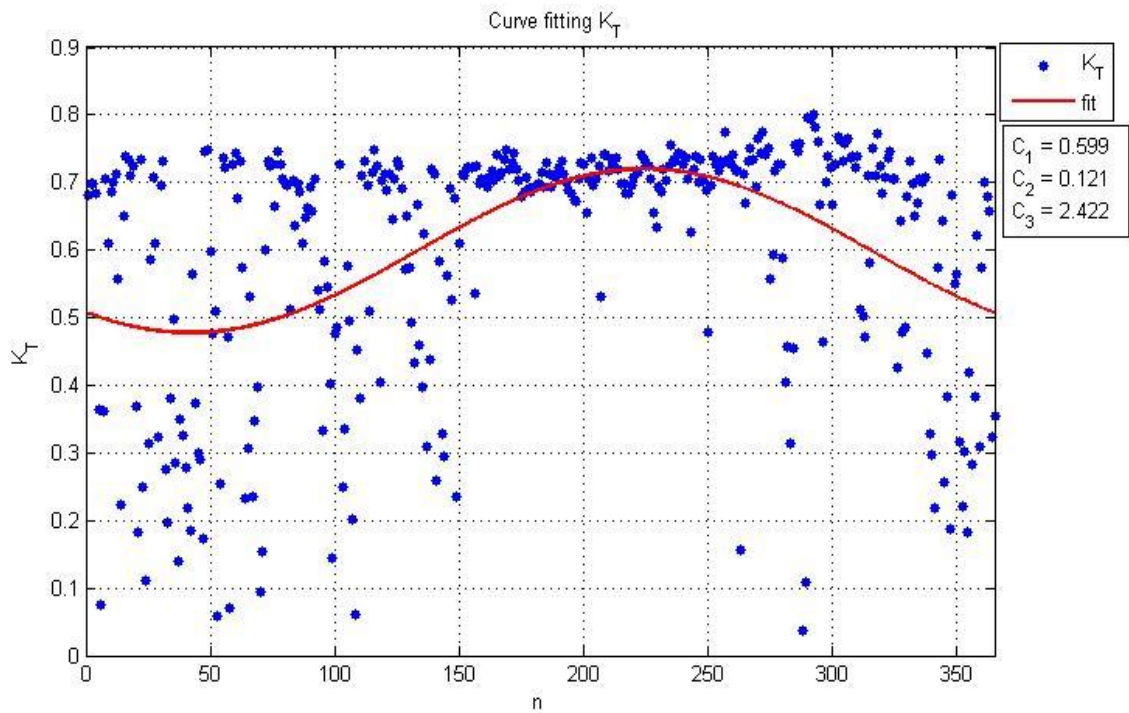
Για την προσαρμογή της στα δεδομένα του συντελεστή αιθριότητας, η εξίσωση του μοντέλου (Εξ. 5.1) μετασχηματίζεται ως εξής :

$$K_T(n) = C'_1 + C'_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot n + C'_3\right) \quad (5.2)$$

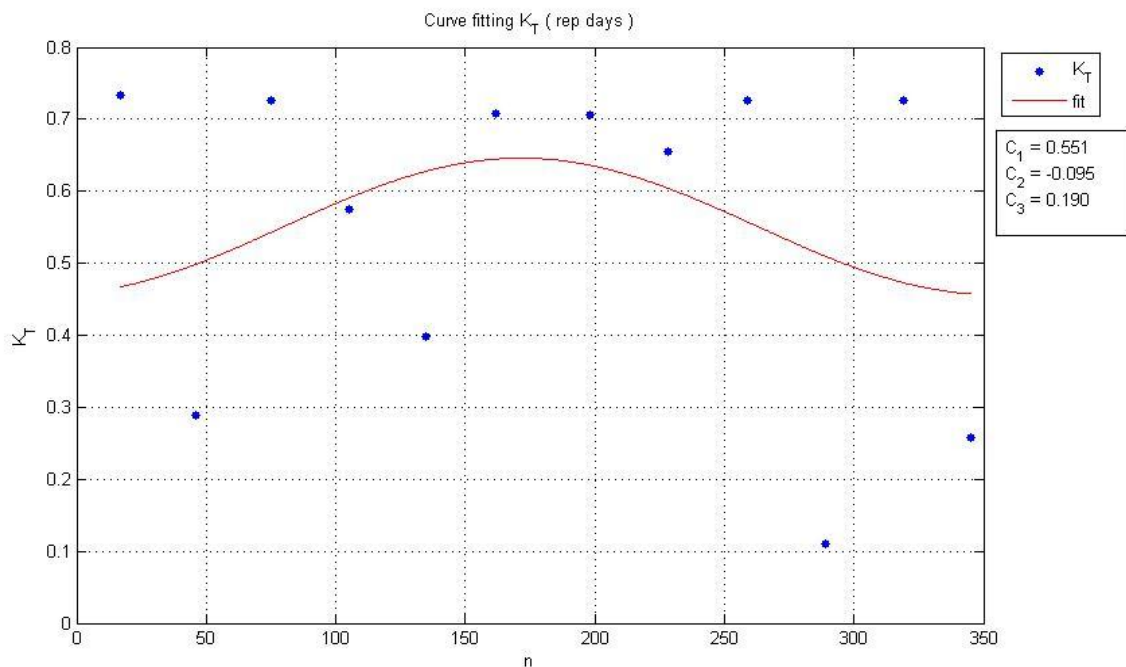
Στην γραφική παράσταση της προσαρμοσμένης εξίσωσης 5.2 στα δεδομένα του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας (Γρ. 5.7) παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις των τιμών κατά τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες και καθώς τα δεδομένα αφορούν μόνο ένα έτος, η προσαρμογή της καμπύλης δεν είναι καλή στα δεδομένα αυτών των μηνών.

Ομοίως με την προηγούμενη ενότητα (εν. 5.2) θα επιχειρηθεί εξομάλυνση των μεταβολών με εφαρμογή της εξίσωσης στις μέσες τιμές των δεδομένων γύρω από την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.10). Επίσης, το μοντέλο θα εφαρμοστεί και στις τιμές του μηνιαίου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T(mo)$ ) βάσει της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας προς την μηνιαία ακτινοβολία στο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.8). Από το γράφημα αυτό (Γρ. 5.13) φαίνεται ότι η προσαρμογή της καμπύλης είναι ικανοποιητική, με συντελεστή συσχετισμού  $R^2 = 0.71$ . Επίσης, η προσαρμογή της καμπύλης στα δεδομένα του συντελεστή αιθριότητας που προκύπτουν από τιμές του  $H$  της προσαρμοσμένης καμπύλης (Εξ. 5.1) για την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα όπως αναμένεται είναι πολύ καλή με συντελεστή συσχετισμού  $R^2 = 0.96$ .

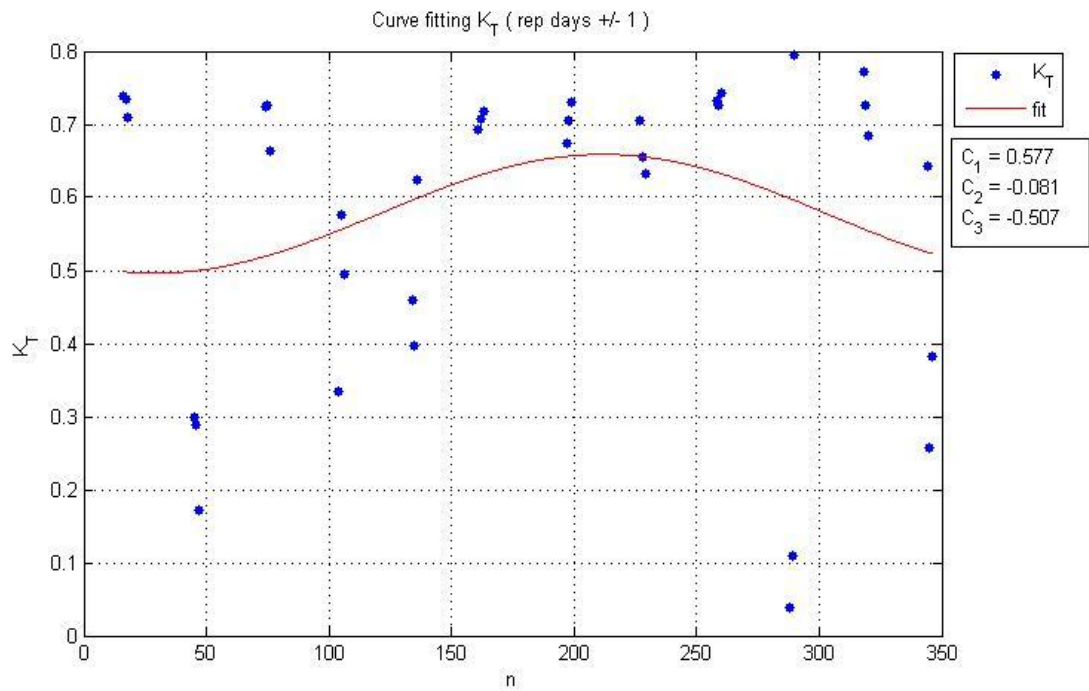
Παρ ότι η προσαρμογή της εξίσωσης 5.2 στα δεδομένα  $K_T(n), K_T(\bar{n}), K_T(\bar{n} \pm 1), K_T(\bar{n} \pm 2)$  δεν ήταν πολύ καλή (βλ. Γρ. 5.7 – 5.12), όπως παρουσιάζεται στην υποενότητα 5.3.2 η προσαρμογή της στα δεδομένα πολλών ετών (21 έτη) της βάσης δεδομένων SoDa είναι πολύ καλή με υψηλό συντελεστή συσχετισμού.



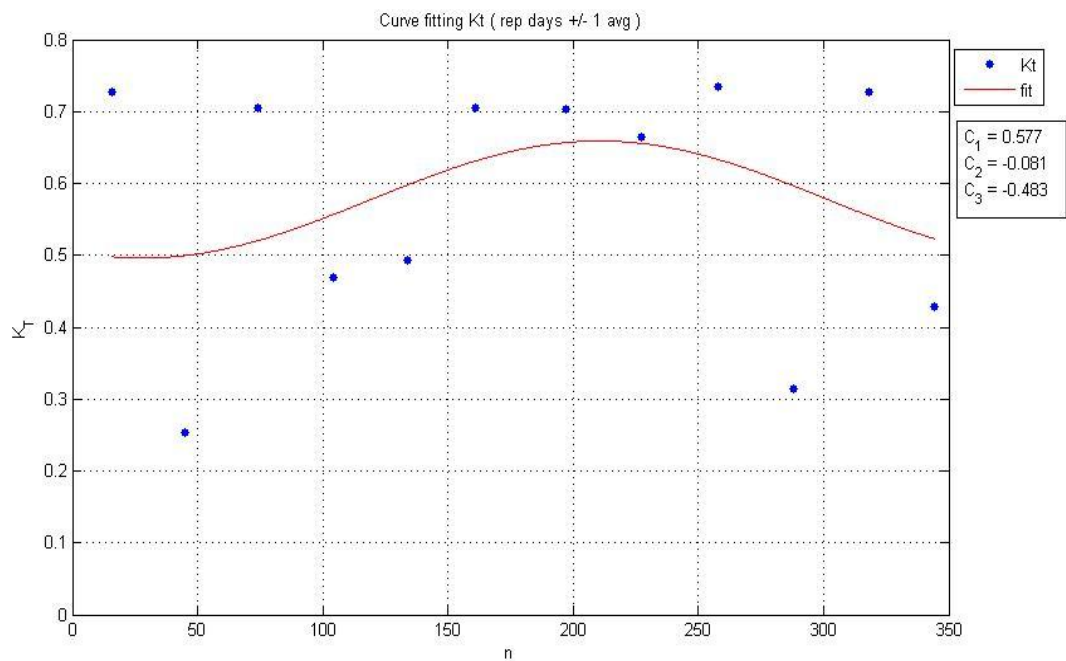
**Γράφημα 5.7 :** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) όλων των ημερών του έτους



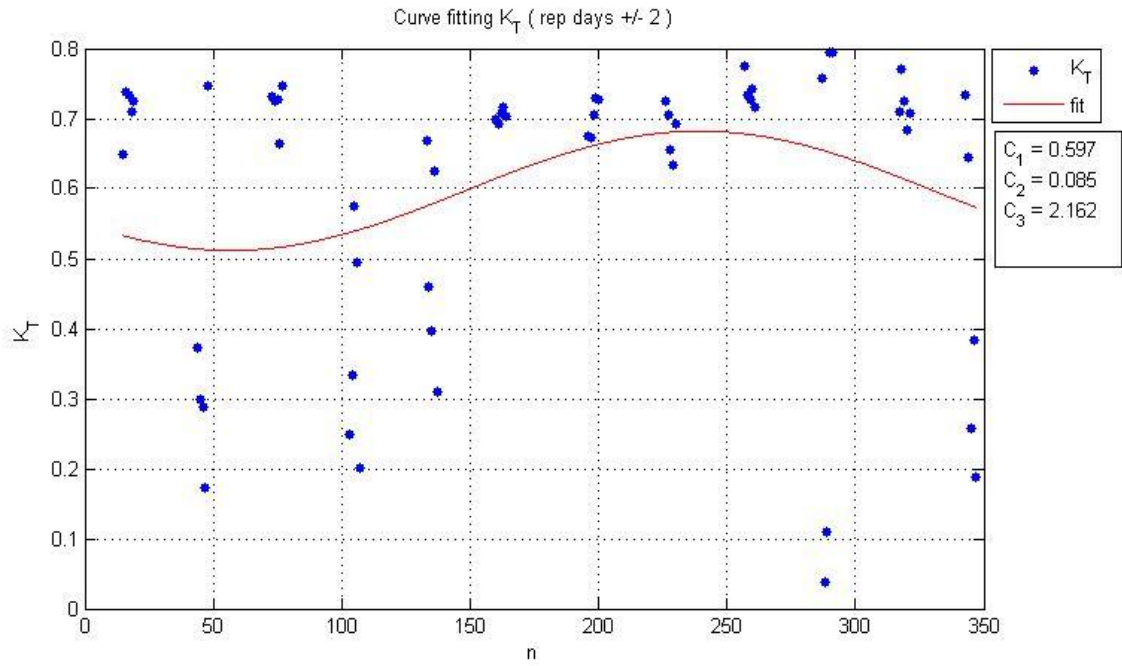
**Γράφημα 5.8 :** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα ( $K_T(\bar{n})$ )



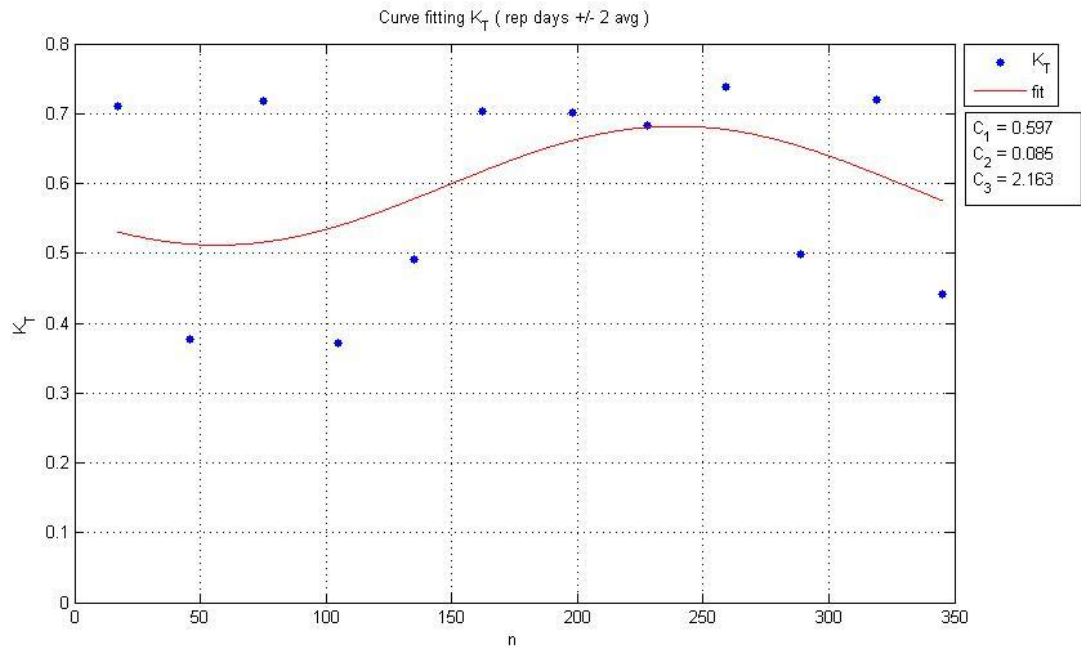
**Γράφημα 5.9 :** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και μιας ημέρας γύρω από αυτή ( $K_T(\bar{n} \pm 1)$ )



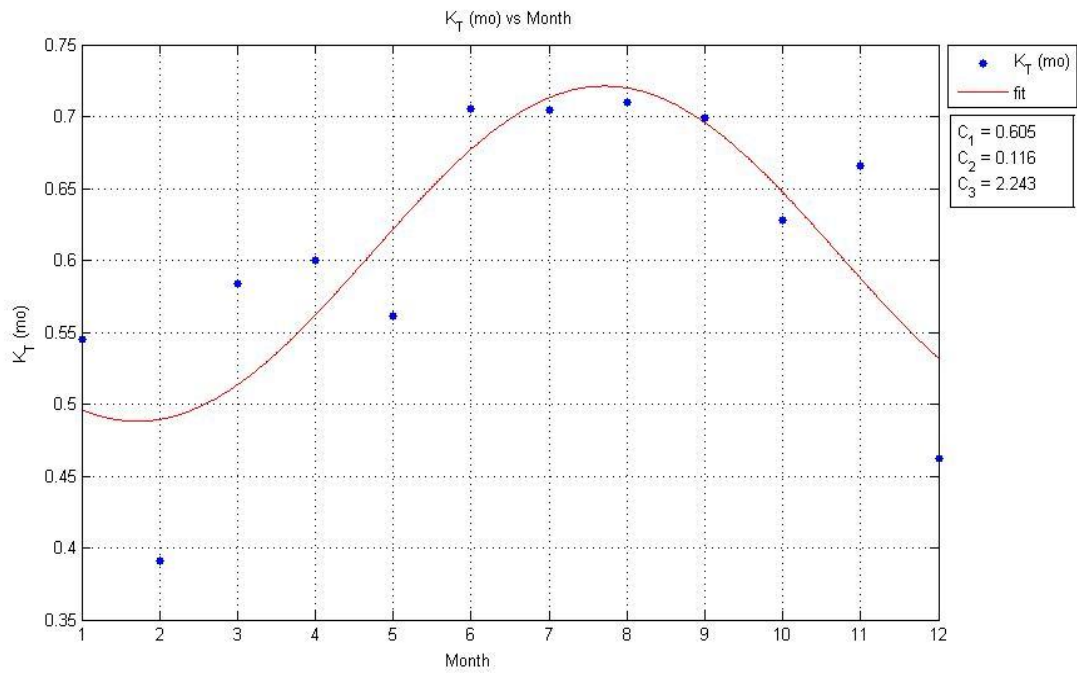
**Γράφημα 5.10 :** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις μέσες τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και μιας ημέρας γύρω από αυτή ( $\overline{K_T}(\bar{n} \pm 1)$ )



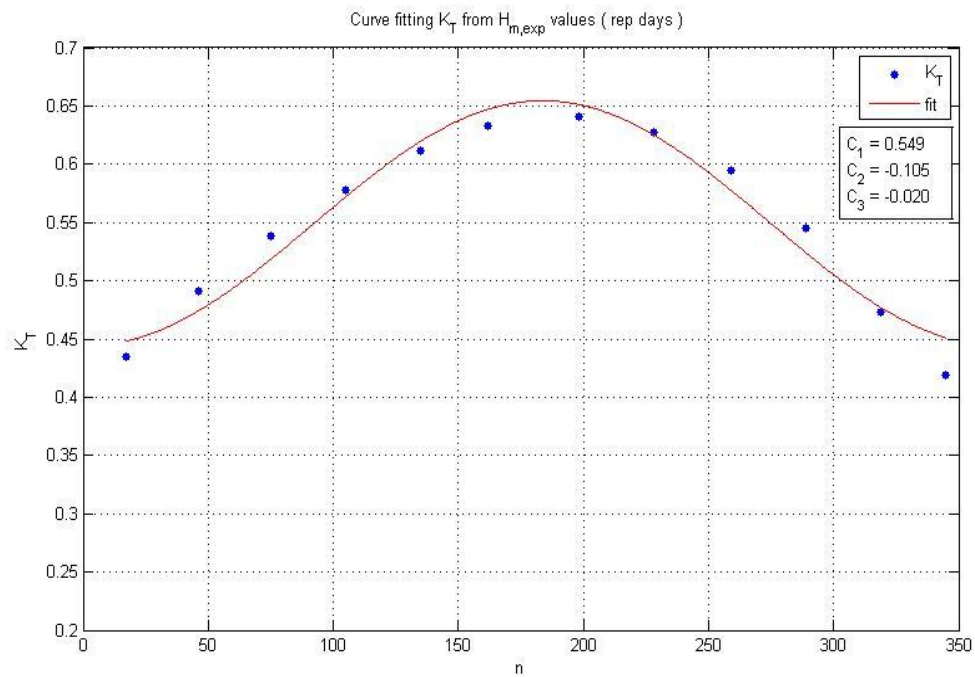
**Γράφημα 5.11 :** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και δυο ημερών γύρω από αυτή ( $K_T(\bar{n} \pm 2)$ )



**Γράφημα 5.12 :** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις μέσες τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα και δυο ημερών γύρω από αυτή ( $\overline{K_T}(\bar{n} \pm 1)$ )



**Γράφημα 5.13 :** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις τιμές του μηνιαίου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T(mo)$ )



**Γράφημα 5.14** Προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) που προκύπτει από την προσαρμοσμένη καμπύλη του ( $H$ ) της αντιπροσωπευτικής ημέρας του κάθε μήνα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των παραμέτρων όπως υπολογίστηκαν από το “curve fitting tool” του “Matlab” για τα παραπάνω γραφήματα.

**Πίνακας 5.2** Τιμές παραμέτρων από προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ )

Δεδομένα	$C_1'$	$C_2'$	$C_3'$
$K_T$ (365 τιμές)	0.599	0.121	2.422
$K_T(\bar{n})$ ( 12 τιμές )	0.551	-0.095	0.190
$K_T(\bar{n} \pm 1)$ ( 36 τιμές )	0.577	-0.081	-0.507
$\overline{K_T}(\bar{n} \pm 1)$ ( 12 τιμές )	0.577	-0.081	-0.483
$K_T(\bar{n} \pm 2)$ ( 60 τιμές )	0.597	0.085	2.162
$\overline{K_T}(\bar{n} \pm 2)$ ( 12 τιμές )	0.597	0.085	2.163
$K_T(mo)$ ( 12 τιμές )	0.605	0.116	2.243
$K_T(\bar{n}) (H_{m,exp})$	0.549	-0.105	-0.020

### 5.3 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ SoDa

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου στα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας μιας σειράς 21 ετών από την διεθνή βάση δεδομένων του διαδικτύου (SoDa, 2012). Αφορούν ημερήσια δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας για μια περίοδο 21 ετών από τον Ιανουάριο του 1985 έως τον Δεκέμβριο του 2005 για την Πάτρα με συνολικά 7558 καταγεγραμμένες ημέρες. Στην εργασία αυτή από εδώ και στο εξής η βάση δεδομένων αυτή θα αναφέρεται ως “SoDa”. Η εφαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.1) του μοντέλου στα δεδομένα πολλών ετών θα βοηθήσει στον εγκυρότερο προσδιορισμό των παραμέτρων της εξίσωσης ( $C_1, C_2, C_3$ ).

#### Δείγμα αρχείου της βάσης δεδομένων SoDa

Στην παρακάτω εικόνα δίδεται ένα δείγμα του αρχείου ημερήσιων δεδομένων της βάσης SoDa για μια περίοδο 16 ημερών κατά τον μήνα Ιανουάριο του έτους 1985.

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια		
Year	Month	Day	Irradiance	Top of Atmosphere	Irradiation	
1985	1	1	90	175	2160	
1985	1	2	63	176	1512	
1985	1	3	40	177	960	
1985	1	4	39	177	936	
1985	1	5	26	178	624	
1985	1	6	67	179	1608	
1985	1	7	49	180	1176	
1985	1	8	35	181	840	
1985	1	9	74	182	1776	
1985	1	10	51	183	1224	
1985	1	11	91	185	2184	
1985	1	12	92	186	2208	
1985	1	13	19	187	456	
1985	1	14	34	188	816	
1985	1	15	100	190	2400	
1985	1	16	101	191	2424	

Εικόνα 5.2 : Δείγμα αρχείου δεδομένων της βάσης SoDa για την Πάτρα

Αρχίζοντας από αριστερά κάθε στήλη του αρχείου αντιστοιχεί σε :

1. έτος στο οποίο αντιστοιχεί η καταγραφή της σειράς αυτής ( Year )
2. μήνας της καταγραφής ( Month )
3. ημέρα της καταγραφής ( Day,  $n$  )
4. μέση ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( Irradiance,  $\bar{I}$  σε  $(W/m^2)$  )
5. μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας ( Top of Atmosphere,  $\bar{I}_{ext}$  σε  $(W/m^2)$  )
6. ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ( Irradiation,  $H(n)$  σε  $(Wh/m^2)$  )

Πριν από την χρήση των δεδομένων, θα γίνει έλεγχος του αρχείου για ασυνέχεια στα δεδομένα ή διπλές εγγραφές. Ο έλεγχος με την χρήση της παρακάτω συνάρτησης “checkDataFile” η οποία υλοποιήθηκε για αυτόν τον σκοπό. Όπως αναφέρεται στα σχόλια εντός του αρχείου, για κενή μέτρηση εμφανίζεται σαν τιμή ο αριθμός “-999”. Η συνάρτηση είναι κατάλληλα διαμορφωμένη για να λαμβάνει υπ όψιν και αυτό το ενδεχόμενο.

```
function [] = checkDataFile ( tableName )
%Function checks for errors by comparing first second and third column
%of table and will print the lines with errors or return a message if
%no errors are found.

errors=0;
[lines,~]=size(tableName);
for i=2:lines;
    if (tableName(i,1)==tableName(i-1,1) ||
        tableName(i,2)==tableName(i-1,2) ||...
        tableName(i,3)==tableName(i-1,3) ||
        tableName(i,4)== -999 || tableName(i,5)== -999 || ...
        tableName(i,6)== -999 )
```



```

errors=1;
disp(['ERROR FOUND LINE:',num2str(i)])
end
end
if (errors==0)
disp('NO ERRORS FOUND')
end
end
end

```

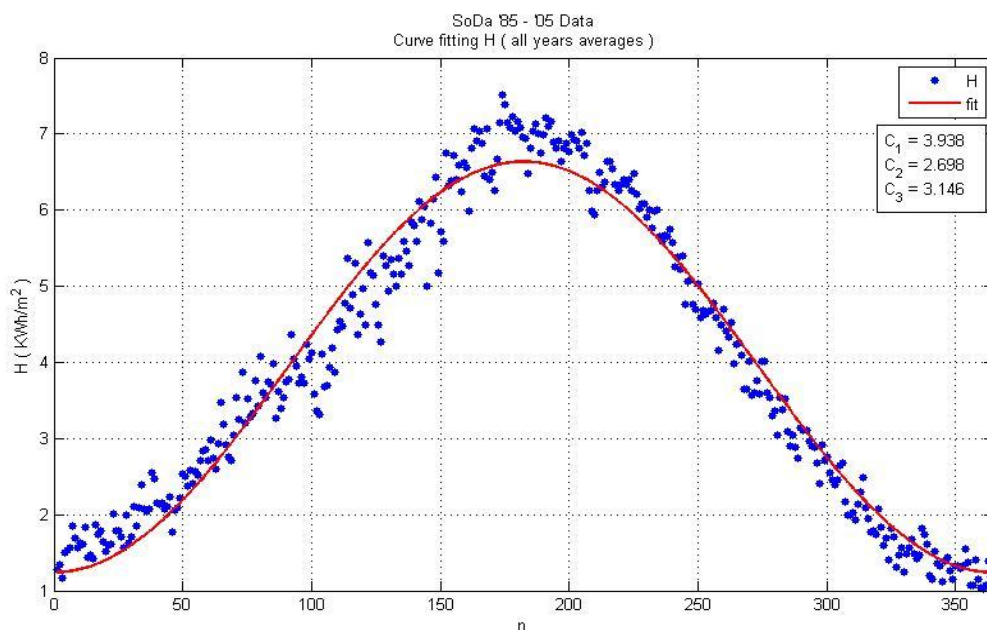
Η συνάρτηση εμφανίζει κατάλληλο μήνυμα στην οθόνη καθώς και την γραμμή του αρχείου όπου έχει εντοπιστεί κάποιο λάθος. Αφού γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις, το αρχείο σώζεται και είναι έτοιμο για επεξεργασία.

#### 5.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SoDa

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου στα δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας της βάσης δεδομένων SoDa στις μέσες τιμές δεδομένων των ημερών όλων των ετών ( $\bar{H}(n)$ ) και τις μέσες τιμές των δεδομένων των αντιπροσωπευτικών ημερών των μηνών κάθε έτους ( $\bar{H}(\bar{n})$ ) ομοίως με την διαδικασία που ακολουθήθηκε για τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας (βλ. εν. 5.2).

##### 5.4.1 Μοντελοποίηση δεδομένων ημερήσιας ακτινοβολίας ( $H$ )

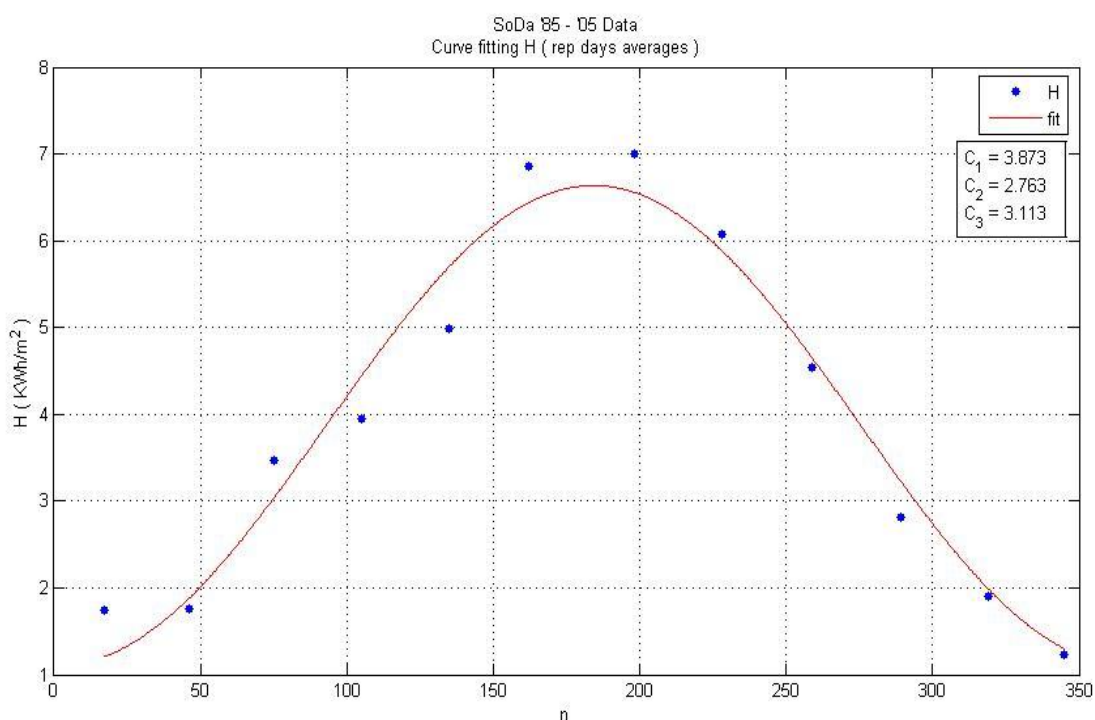
Και εδώ θα χρησιμοποιηθεί το “curve fitting tool” στο περιβάλλον του “MATLAB”.



**Γράφημα 5.15 :** Προσαρμογή της εξίσωσης στις μέσες τιμές των δεδομένων όλων των ημερών όλων των ετών της βάσεως δεδομένων SoDa ( $\bar{H}(n)$ )

Στο γράφημα 5.15 παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας κατά μέση τιμή, κάθε ημέρας όλων των ετών από 1985 έως το 2005. Όπως φαίνεται οι διακυμάνσεις είναι αρκετά πιο μικρές σε σχέση αυτές που παρατηρούνται στο γράφημα 5.1 για τα δεδομένα ενός έτους από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας. Ως αποτέλεσμα, ο συντελεστής συσχέτισης είναι υψηλότερος  $R^2 = 0.96$ .

Στην επόμενη γραφική παράσταση (Γρ. 5.16) το μοντέλο προσαρμόζεται στις μέσες τιμές ημερήσιας ακτινοβολίας της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα για όλα τα έτη (βλ. Κεφ. 1 , εν. 1.6 Εξ. 1.11). Οι τιμές των παραμέτρων ( $C_1, C_2, C_3$ ) παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3.



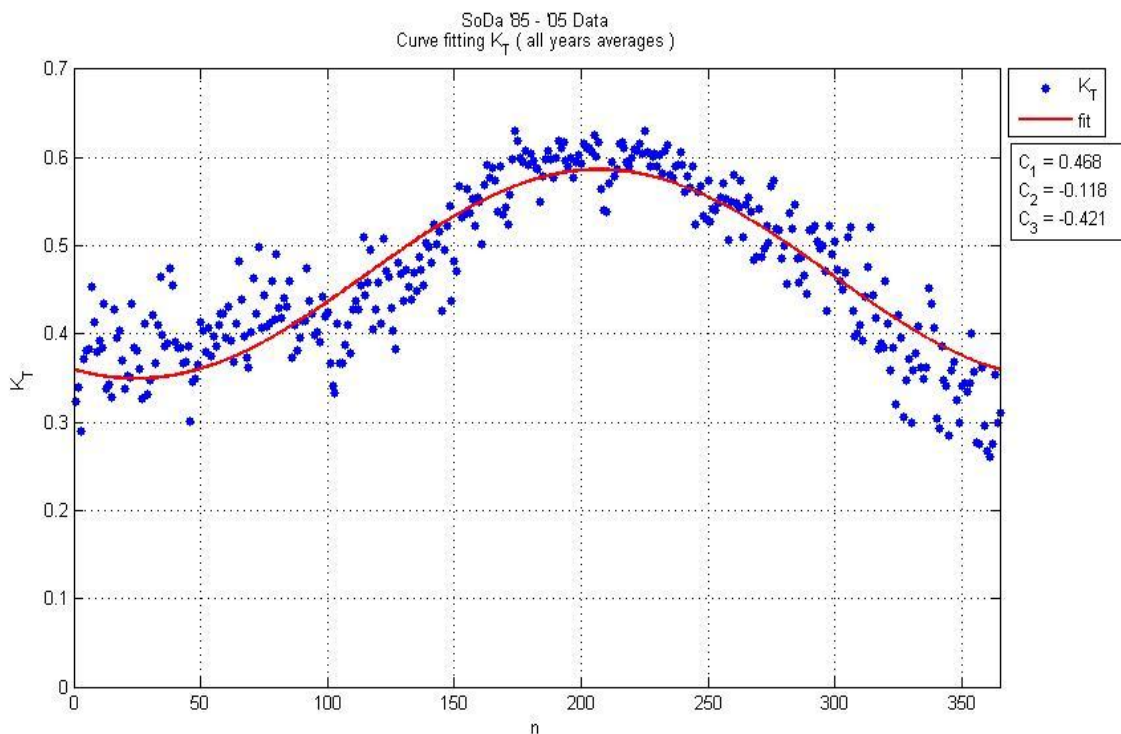
**Γράφημα 5.16 :** Προσαρμογή της εξίσωσης στις μέσες τιμές των δεδομένων της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα όλων των ετών ( $\bar{H}(\bar{n})$ )

**Πίνακας 5.3 :** Τιμές παραμέτρων από προσαρμογή του μοντέλου στις τιμές της ημερήσιας ακτινοβολίας ( $H$ ) της βάσης δεδομένων SoDa

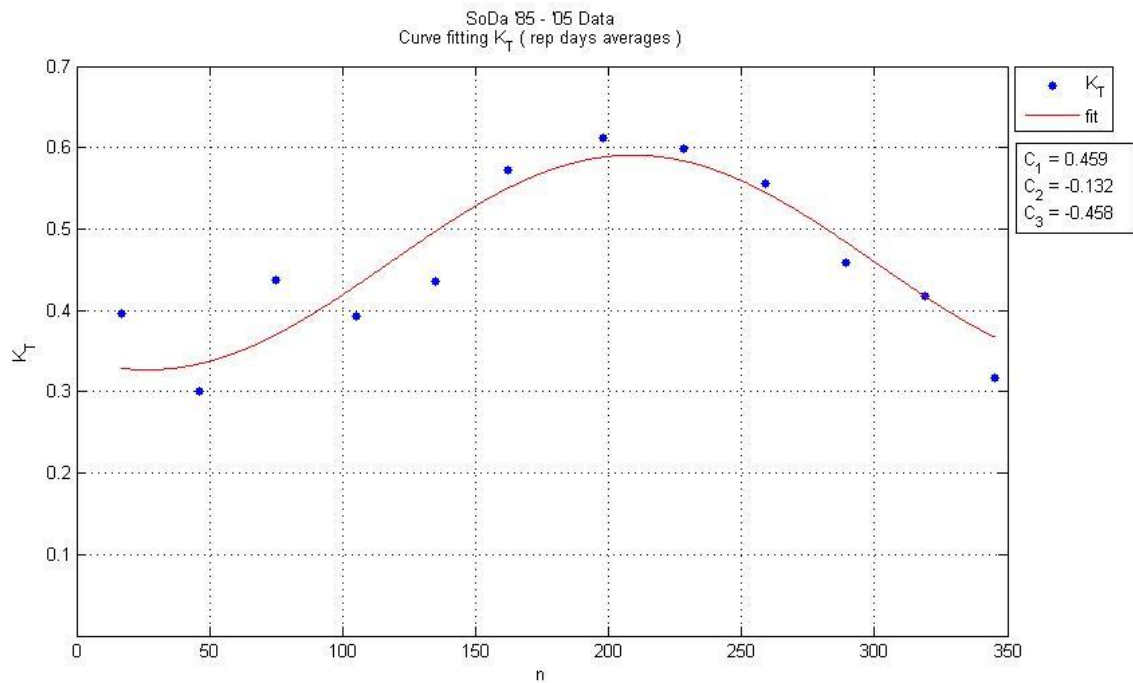
Δεδομένα	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$\bar{H}$ (365 τιμές)	3.938	2.698	3.146
$\bar{H}(\bar{n})$	3.873	2.763	3.113

#### 5.4.2 Υπολογισμός και μοντελοποίηση του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ )

Στην παρούσα ενότητα γίνεται προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας από τα δεδομένα της βάσης SoDa. Όπως έχει προαναφερθεί, ο ημερήσιος δείκτης αιθριότητας ισούται με τον λόγο της ημερήσιας ενέργειας της προσπίπτουσας στην Γη ακτινοβολίας σε σχέση με την ημερήσια ενέργεια της ακτινοβολίας στο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6). Ο υπολογισμός του έγινε με την χρήση κατάλληλων εντολών στο περιβάλλον του "MATLAB" με χρήση της συνάρτησης "lscv" (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.5) για τον υπολογισμό της ημερήσιας ακτινοβολίας στο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας της κάθε ημέρας. Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν γίνεται προσαρμογή της εξίσωσης στα δεδομένα που υπολογίστηκαν για του σκοπούς της πτυχιακής αυτής. Στο παρακάτω γράφημα (5.17) το μοντέλο εφαρμόζεται στις μέσες τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.8) της κάθε ημέρας όλων των ετών ( $\overline{K_T}(n)$ ). Όπως φαίνεται (Γρ. 5.17), η προσαρμογή της εξίσωσης 5.2 στα δεδομένα  $\overline{K_T}(n)$  είναι καλή, με συντελεστή συσχετισμού  $R^2 = 0.79$ .



**Γράφημα 5.17** : Προσαρμογή της εξίσωσης στις μέσες τιμές των δεδομένων του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας όλων των ετών της βάσεως δεδομένων SoDa ( $\overline{K_T}(n)$ )



**Γράφημα 5.18 :** Προσαρμογή της εξίσωσης στις μέσες τιμές των δεδομένων της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε μήνα όλων των ετών ( $\overline{K_T}(\bar{n})$ )

Στο γράφημα (5.18) γίνεται εφαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου στις μέσες τιμές του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας για τις αντιπροσωπευτικές ημέρες από όλα τα έτη (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.11). Η προσαρμογή της εξίσωσης σε αυτά τα δεδομένα παρουσιάζει συντελεστή συσχέτισης  $R^2 = 0.83$ .

Στον παρακάτω πίνακα (5.4) δίδονται οι τιμές των παραμέτρων που υπολογίστηκαν σε αυτήν την ενότητα από την προσαρμογή της εξίσωσης (Εξ. 5.2) του μοντέλου στις τιμές του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας, ο οποίος υπολογίστηκε από τα δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας της βάσης δεδομένων SoDa, για τις ανάγκες της εργασίας αυτής.

**Πίνακας 5.4 :** Τιμές παραμέτρων από προσαρμογή του μοντέλου στις τιμές του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ ) της βάσης δεδομένων SoDa

Δεδομένα	$C_1'$	$C_2'$	$C_3'$
$\overline{K_T}(365 \text{ τιμές})$	0.468	-0.118	-0.421
$\overline{K_T}(\bar{n})$	0.459	-0.132	-0.458

## 5.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στις ενότητες που προηγήθηκαν (εν. 5.2, 5.4) έγινε προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου (βλ. εν. 5.1, Εξ. 5.1) στα δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας από τις μετρήσεις που ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας για 12 μήνες καθώς και στα δεδομένα 21 ετών από την βάση δεδομένων SoDa για την Πάτρα. Σκοπός της εφαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων ( $C_1, C_2, C_3$ ).

Όπως ήταν αναμενόμενο, η προσαρμογή του μοντέλου (Εξ. 5.1) είναι καλύτερη όταν γίνεται σε πλήθος δεδομένων πολλών ετών αφού έτσι ομαλοποιούνται οι τυχαίες διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας που αφορούν μεμονωμένα και μη προβλέψιμα φαινόμενα. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα των τιμών των παραμέτρων από την εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα ενός έτους είναι αποδεκτά και έγκυρα αφού οι τιμές των παραμέτρων αποκλίνουν ελάχιστα από αυτές που υπολογίστηκαν για τα δεδομένα πολλών ετών όπως φαίνεται παρακάτω. Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά σε πίνακα (πιν. 5.5, 5.6) τα αποτελεσμάτων της μεθόδου μοντελοποίησης (bottom – up), δηλαδή οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5.

**Πίνακας 5.5 :** Τιμές παραμέτρων από προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας για την Πάτρα

Δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ( $H$ )			
Παράμετρος	$C_1$	$C_2$	$C_3$
Προέλευση	Μετεωρολογικός σταθμός εργαστηρίου ΑΠΕ, ΤΕΙ Πάτρας (1 έτος, 2011 – 2012)		
$H$ ( 365 τιμές )	4.858	3.034	3.130
$H(\bar{n})$ ( 12 τιμές )	4.530	2.966	3.311
$H(\bar{n} \pm 1)$ ( 36 τιμές )	4.666	2.900	3.197
$\bar{H}(\bar{n} \pm 1)$ ( 12 τιμές )	4.666	2.901	3.215
$H(\bar{n} \pm 2)$ ( 60 τιμές )	4.757	2.742	3.107
$\bar{H}(\bar{n} \pm 2)$ ( 12 τιμές )	4.757	2.743	3.107
Προέλευση	Βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας διαδικτύου SoDa (21 έτη, 1985 – 2005)		
$\bar{H}$ ( 365 τιμές )	3.938	2.698	3.146
$\bar{H}(\bar{n})$ ( 12 τιμές )	3.873	2.763	3.113

**Πίνακας 5.6 :** Τιμές παραμέτρων από προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας για την Πάτρα

Δεδομένα ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ )			
Παράμετρος	$C_1'$	$C_2'$	$C_3'$
Προέλευση	Μετεωρολογικός σταθμός εργαστηρίου ΑΠΕ, ΤΕΙ Πάτρας (1 έτος, 2011 – 2012)		
$K_T$ ( 365 τιμές )	0.599	0.121	2.422
$K_T(\bar{n})$ ( 12 τιμές )	0.551	-0.095	0.190
$K_T(\bar{n} \pm 1)$ ( 36 τιμές )	0.577	-0.081	-0.507
$\overline{K_T}(\bar{n} \pm 1)$ ( 12 τιμές )	0.577	-0.081	-0.483
$K_T(\bar{n} \pm 2)$ ( 60 τιμές )	0.597	0.085	2.162
$\overline{K_T}(\bar{n} \pm 2)$ ( 12 τιμές )	0.597	0.085	2.163
$K_T(mo)$ ( 12 τιμές )	0.605	0.116	2.243
$K_T(\bar{n})$ ( από $H_{m,exp}$ )	0.549	-0.105	-0.020
Προέλευση	Βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας διαδικτύου SoDa (21 έτη, 1985 – 2005)		
$\overline{K_T}$ ( 365 τιμές )	0.468	-0.118	-0.421
$\overline{K_T}(\bar{n})$ ( 12 τιμές )	0.459	-0.132	-0.458

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες (5.5 και 5.6), οι τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα ενός έτους του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας είναι πολύ κοντά σε αυτές που υπολογίστηκαν από την προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα της βάσης δεδομένων SoDa για 21 έτη. Σε επόμενη ενότητα (βλ. Κεφ. 6, εν. 6.2, Γρ. 6.1) γίνεται σύγκριση των τιμών ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και συντελεστή αιθριότητας που προκύπτουν από επίλυση της εξίσωσης του μοντέλου (5.1 και 5.2 αντίστοιχα) με διαφορετικές τιμές παραμέτρων και από τις δυο βάσεις δεδομένων (εργαστηρίου ΑΠΕ, SoDa).

## 6. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΩΡΙΑΙΑΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

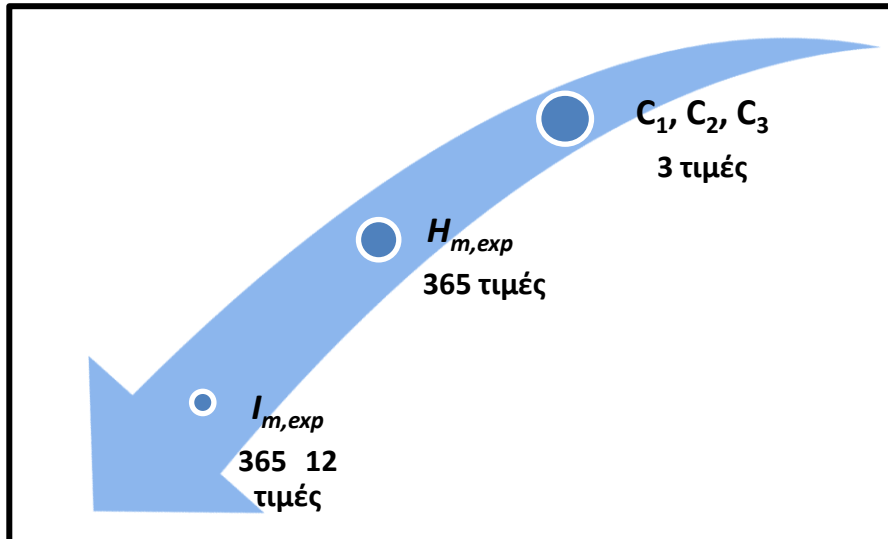
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της διαδικασίας και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της χρήσης των παραμέτρων  $C_1, C_2$  και  $C_3$  που υπολογιστήκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για την πρόβλεψη της μέσης αναμενόμενης ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας ( $H_{m,exp}(n)$ ) και στην συνέχεια της μέσης αναμενόμενης ωριαίας ολικής ακτινοβολίας ( $I_{m,exp}(h; n)$ ).

### 6.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τον τελευταίο αιώνα έχουν γίνει πολλές προσπάθειες από ερευνητές για τον προσδιορισμό αριθμητικών προσεγγίσεων της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του έτους σε ημερήσια βάση, μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας ( $H$ ) και του ημερήσιου δείκτη αιθριότητας ( $K_T$ ). Τα διαφορετικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής όμως επηρεάζουν το κλίμα και το μικροκλίμα της. Η μη προβλεψιμότητα των διακυμάνσεων των καιρικών συνθηκών δεν επιτρέπει την καθιέρωση ενός καθολικού μοντέλου αξιόπιστης πρόγνωσης, σε αντίθεση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας ( $I_{ext}$ ) και της ημερήσιας ενέργειας αυτής ( $H_{ext}$ ) οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν μέσω εξισώσεων (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.5). Στο κεφάλαιο αυτό προσεγγίζεται η πρόβλεψη της ωριαίας ακτινοβολίας, προβλέποντας την μέση αναμενόμενη ωριαία ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_{m,exp}(h; n)$ ) (Σ.Καπλάνης και Ε.Καπλάνη 2007).

Ανάλογα με την ακρίβεια που απαιτείται και τα διαθέσιμα δεδομένα, μπορεί να επιχειρηθεί πρόβλεψη της ωριαίας έντασης ακτινοβολίας στοχαστικά μέσω : μιας ή και περισσότερων τιμών της κατά τις πρωινές ώρες (Σ. Καπλάνης και Ε. Καπλάνη, 2010), μιας τιμής της κατά το ηλιακό μεσημέρι (Collares-Pereira και Rabl, 1979), μιας τιμής της κατά το ηλιακό μεσημέρι και με την ημερήσια ενέργεια της ημέρας για την οποία ζητείται υπολογισμός (Jain, 1984) ή και χωρίς καμία τιμή αυτής, από μοντελοποίηση δεδομένων προηγούμενων ετών, όπως γίνεται στην παρούσα ανάλυση με χρήση του μοντέλου των Σ.Καπλάνη (2006) και Σ.Καπλάνη και Ε.Καπλάνη (2007). Οι εξισώσεις που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο προέρχονται από τις επιστημονικές δημοσιεύσεις των ανωτέρω.

Η πρόβλεψη της μέσης αναμενόμενης έντασης ηλιακής ακτινοβολίας θα γίνει βάσει των παραμέτρων που υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5 κατά την μοντελοποίηση (μέθοδος bottom – up, βλ. Κεφ. 5, εν. 5.1). Λόγω του ότι η διαδικασία που ακολουθείται τώρα είναι η αντίστροφη, η προσέγγιση γίνεται από επάνω προς τα κάτω (top – bottom) και είναι αυτή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εξ. 6.1).



Σχήμα 6.1 : Προσέγγιση επάνω προς τα κάτω ( top – bottom )

## 6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Στο Κεφάλαιο 5 έγινε μοντελοποίηση των δεδομένων ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (  $H$  ) και του ημερήσιου και μηνιαίου συντελεστή αιθριότητας (  $K_T$  ) με χρήση της εξίσωσης (Κεφ. 5, εν. 5.1 Εξ. 5.1). Οι τιμές των παραμέτρων που υπολογίστηκαν, θα χρησιμοποιηθούν στο παρόν κεφάλαιο για τον υπολογισμό της μέσης αναμενόμενης ημερήσιας ακτινοβολίας  $H_{m,exp}(n)$  για οποιαδήποτε ημέρα του έτους (  $n$  ). Αυτό μπορεί να γίνει με επίλυση της εξίσωσης του μοντέλου (Εξ. 5.1), εισάγοντας τις τιμές των παραμέτρων (  $C_1, C_2, C_3$  ) και τον αύξοντα αριθμό της ημέρας για την οποία ζητείται υπολογισμός (παρ. 6.1).

### Παράδειγμα 6.1

Για τις 17 Ιανουαρίου με τιμές παραμέτρων :  $C_1 = 4.858$ ,  $C_2 = 3.034$ ,  $C_3 = 3.130$

η μέση αναμενόμενη ημερήσια ακτινοβολία ισούται με :

$$H_{m,exp}(n) = C_1 + C_2 \cdot \cos(2\pi \cdot n/365 + C_3) \rightarrow$$

$$\rightarrow H_{m,exp}(17) = 4.858 + 3.034 \cdot \cos(2\pi \cdot 17/365 + 3.130) = \mathbf{1.943 \text{ kWh/m}^2}$$

Εάν οι παράμετροι προέρχονται από μοντελοποίηση δεδομένων του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας το αποτέλεσμα που θα προκύψει από την επίλυση της εξίσωσης του μοντέλου θα εκφράζει τον μέσο αναμενόμενο ημερήσιο συντελεστή αιθριότητας (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.6, Εξ. 1.7). Τότε, για να υπολογίσουμε την μέση αναμενόμενη ημερήσια



ακτινοβολία θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το αποτέλεσμα επί της ημερήσιας ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας (παρ. 6.2).

### Παράδειγμα 6.2

Για τις 17 Ιανουαρίου με τιμές παραμέτρων :  $C_1 = 0.599$ ,  $C_2 = 0.121$ ,  $C_3 = 2.422$

ο αναμενόμενος συντελεστής αιθριότητας ισούται με :

$$K_{T_{m,exp}}(n) = C_1 + C_2 \cdot \cos(2\pi \cdot n/365 + C_3) \rightarrow$$

$$\rightarrow K_{T_{m,exp}}(17) = 0.599 + 0.121 \cdot \cos(2\pi \cdot 17/365 + 2.422) = \mathbf{0.4889}$$

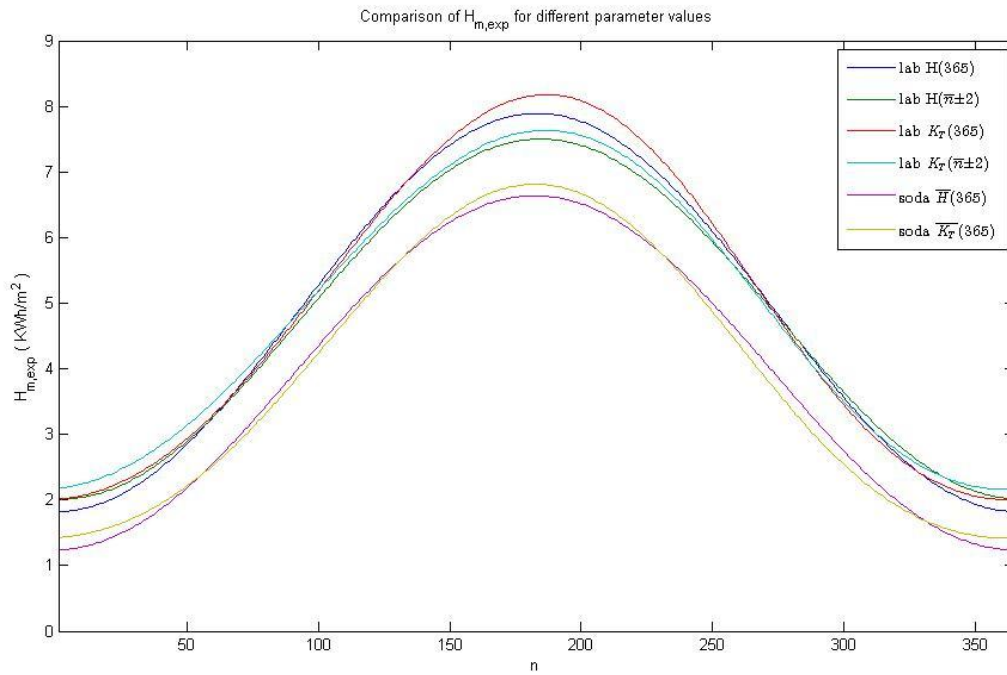
$$K_{T_{m,exp}} = \frac{H_{m,exp}}{H_{ext}} \rightarrow H_{m,exp} = K_{T_{m,exp}} \cdot H_{ext}$$

από την εξίσωση 1.4 (Κεφ. 1, εν. 1.5) ολοκληρώνοντας από την ανατολή έως την δύση για τις 17/01, βρίσκουμε πως :  $H_{ext} = 4.3139 \text{ KWh/m}^2$  άρα, η μέση αναμενόμενη ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ισούται με :

$$H_{m,exp}(17) = 0.4889 \cdot 4.3139 \text{ KWh/m}^2 = \mathbf{2.1090 \text{ kWh/m}^2}$$

Όπως φαίνεται από τα δυο παραδείγματα (6.1 και 6.2) το αποτέλεσμα διαφέρει ελαφρώς ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων ( $C_1, C_2, C_3$ ) που εισάγονται στην εξίσωση. Παρ όλα αυτά η διαφορά αυτή είναι της τάξεως του 8% περίπου, πολύ μικρή για να θεωρηθεί σημαντική. Η τιμή της μέσης αναμενόμενης ενέργειας ακτινοβολίας μιας ημέρας ( $n$ ) θα χρησιμοποιηθεί σε επόμενη ενότητα (εν. 6.4) για τον υπολογισμό της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ακτινοβολίας κάθε ώρας ( $h$ ) της ημέρας.

Στο παρακάτω γράφημα (6.1) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επίλυση της εξίσωσης για όλες τις ημέρες του έτους ( $n = 1 \rightarrow 365$ ) με τιμές των παραμέτρων από τους πίνακες 5.5 και 5.6 του προηγούμενου κεφαλαίου. Στο υπόμνημα του γραφήματος (επάνω δεξιά) δίδεται η προέλευση των παραμέτρων από τις οποίες προκύπτει η κάθε καμπύλη του ( $H_{m,exp}(n)$ ), σύμφωνα με την πρώτη στήλη από τους πίνακες 5.5 και 5.6.



**Γράφημα 6.1 :** Γραφική σύγκριση της μέσης αναμενόμενης ενέργειας ακτινοβολίας ( $H_{m,exp}$ ) όλων των ημερών ενός έτους για την πόλη της Πάτρας, για διαφορετικές τιμές παραμέτρων

### 6.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το μοντέλο που προτείνεται από τον Σ.Καπλάνη στην δημοσίευση του (2006) για την πρόβλεψη της ωριαίας έντασης της μέσης αναμενόμενης ακτινοβολίας είναι το εξής :

$$I(h; n) = \alpha + \beta \cdot \cos\left(\frac{2\pi h}{24}\right) \quad (6.1)$$

Με σκοπό την καλύτερη πρόβλεψη της ακτινοβολίας βάσει του παραπάνω τύπου, εισάγεται στο μοντέλο “ένας διορθωτικός παράγοντας ο οποίος λαμβάνει υπ όψιν την διαφορά της αέρια μάζας την οποία η ακτινοβολία διαπερνά κατά τις διάφορες ώρες της ημέρας” (Σ.Καπλάνης και Ε.Καπλάνη, 2007). Ο παράγοντας αυτός έχει την μορφή :

$$e^{-\mu(n)x(\theta_z)} / e^{-\mu(n)x(\theta_z, \omega=0)} \quad (6.2)$$

όπου :  $\mu(n)$  = συντελεστής απόσβεσης ηλιακής ακτινοβολίας

$x(\theta_z)$  = απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία από την αρχή της ατμόσφαιρας μέχρι την επιφάνεια της Γης

$\theta_z$  = ζενίθια γωνία

Ο υπολογισμός του συντελεστή απόσβεσης (  $\mu$  ) γίνεται, σύμφωνα με την δημοσίευση, με την εξίσωση :

$$\mu (n) = -\frac{\ln\left(\frac{H(n)}{H_{ext}(n)}\right)}{X_m} \quad (6.3)$$

Όπου (  $X_m$  ) η μέση απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία εντός της ατμόσφαιρας και υπολογίζεται με τον τύπο :

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n x(\theta_z)_i}{N} \quad (6.4)$$

Ο δείκτης (  $i$  ) βασίζεται στην ώρα (  $h$  ) και η απόσταση (  $x(\theta_z)$  ) που διανύει η ακτινοβολία, βάσει της ωριαίας γωνίας του ήλιου, μπορεί να υπολογιστεί ως εξής :

$$x(\theta_z) = -R_g \cos(\theta_z) + \sqrt{R_g^2 \cos^2(\theta_z) + (R^2 - R_g^2)} \quad (6.5)$$

και :

$$R = R_g + H_{atm} \quad (6.6)$$

όπου :  $R_g$  = η διάμετρος της Γης, για τους υπολογισμούς  
λαμβάνεται  $R_g = 6.35 \times 10^3 \text{ km}$

$H_{atm}$  = το ύψος της ατμόσφαιρας,  $H_{atm} = 2.5 \text{ km}$

Η συνάρτηση που υπολογίζει τον συντελεστή (  $x(\theta_z)$  ) ονομάζεται "dist\_X" και ο κώδικας της είναι ο παρακάτω :

```
function [ X ] = dist_X ( h,n,phi )
%Function rene_X calculates the variable X (  $\chi(\theta_z)$  ) and returns the
%value of X for the corresponding time (h)
%////////////////////////////////////

%Earth's radius (in km)
Rg=6350;

%Height of atmoshpere (in km)
Hatm=2.5;

R=Rg + Hatm;

delta=fdelta(n);
omega=fomega(h);
```

```

thetaz=fthetaz(delta,phi,omega);
X= -Rg * cosd(thetaz) + sqrt(Rg^2*cosd(thetaz)^2+(R^2-Rg^2));
end

```

Εν τέλει, η μέση αναμενόμενη ωριαία ένταση ακτινοβολίας με την εισαγωγή του συντελεστή διόρθωσης για πιο ακριβείς προβλέψεις, προσδιορίζεται με την εξής εξίσωση :

$$I_{m,exp}(h; n) = A + B \frac{e^{-\mu(n)x(h)} \cdot \cos(2\pi h/24)}{e^{-\mu(n)x(h=12)}} \quad (6.7)$$

όπου :  $A, B$  = συντελεστές που εξαρτώνται από την έντασης της ολικής ημερήσιας ακτινοβολίας ( $H$ )

Οι συντελεστές  $A$  και  $B$  υπολογίζονται βάσει δυο οριακών συνθηκών οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

1<sup>η</sup> Οριακή συνθήκη : Η ωριαία ένταση ολικής ακτινοβολίας ισούται με 0 την στιγμή της ανατολής του ήλιου, δηλαδή :

$$I(h; n) = 0 \text{ για } h = h_{ss} \quad (6.8)$$

$$\text{με } h_{ss} = 12 + \omega_{ss}/15^\circ \text{ και } \omega_{ss} = \cos^{-1}(-\tan(\varphi)\tan(\delta))$$

2<sup>η</sup> Οριακή συνθήκη : Η ολοκλήρωση της Εξ. 6.7 για τις ώρες της ημέρας από την ανατολή του ήλιου μέχρι και την δύση του ισούται με την ολική ημερήσια ένταση ακτινοβολίας :

$$H_{m,exp}(n) = 2A \int_{12}^{h_{ss}} dh + 2B \int_{12}^{h_{ss}} \frac{e^{-\mu(n)x(\theta_z)}}{e^{-\mu(n)x(\theta_z, \omega=0)}} \cos(2\pi h/24) dh \quad (6.9)$$

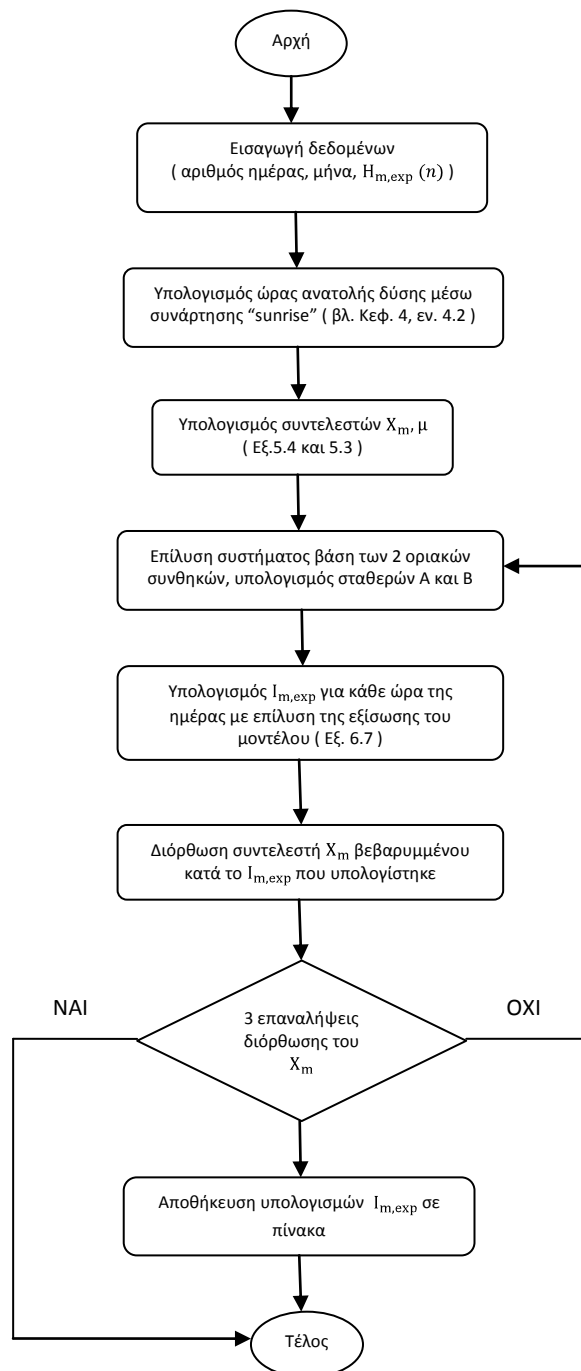
Οι συντελεστές ( $x(\theta_z)$ ) και ( $\mu$ ) υπολογίζονται από τις προαναφερθείσες σχέσεις 6.5 και 6.3 αντίστοιχα.

Η ολοκλήρωση γίνεται ανα 1 λεπτό για όλη την διάρκεια της ημέρας από  $h_{sr}$  εως  $h_{ss}$  ή σύμφωνα με την σχέση 6.9 από 12 εως  $h_{ss}$  εως ή από 0 εως  $\omega_{ss}$  με συντελεστή το 2 λόγω συμμετρίας της τροχιάς του ήλιου περί το ηλιακό μεσημέρι.

#### 6.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η συνάρτηση υπολογισμού της ωριαίας ακτινοβολίας από την εξίσωση του μοντέλου ονομάζεται “predict\_I”. Η συνάρτηση αυτή εφαρμόζει τους τύπους και την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω (Σ.Καπλάνης και Ε.Καπλάνη, 2007) και αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της εργασίας αυτής. Λόγω πολυπλοκότητας, σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζεται μόνο το διάγραμμα ροής αυτής. Ο πηγαίος κώδικας είναι διαθέσιμος στο εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας.

##### Διάγραμμα ροής συνάρτησης “predict\_I”



## Περιγραφή αλγορίθμου

Το πρόγραμμα ζητά αρχικά από τον χρήστη να εισάγει τον αριθμό της ημέρας και του μήνα για την οποία ζητείται να γίνει υπολογισμός, και την μέση αναμενόμενη ενέργεια ημερήσιας ακτινοβολίας ( $H_{m,exp}$ , βλ. Κεφ. 5, εν. 5.1) .

Ο αλγόριθμος στην συνέχεια υπολογίζει τον αύξοντα αριθμό της ημέρας ( $n$ ) μέσω του υποπρογράμματος “fn” (βλ. Κεφ. 1, εν. 1.5) και τις ώρες ανατολής και δύσης μέσω του υποπρογράμματος “sunrise” (βλ. Κεφ. 4, εν. 4.2). Για τις ώρες αυτές υπολογίζεται με την συνάρτηση “dist\_X” (εν. 6.2) η απόσταση που διανύει η ακτινοβολία εντός της ατμόσφαιρας (Εξ. 5.6) και ο συντελεστής απόσβεσης ( $\mu$ , Εξ. 5.4). Εφόσον οι διορθωτικοί συντελεστές έχουν υπολογιστεί, το πρόγραμμα εφαρμόζοντας τις δύο οριακές συνθήκες (Εξ. 5.9 και 5.10) επιλύει σύστημα δυο αγνώστων και βρίσκει τις τιμές των σταθερών Α και Β. Τέλος, εφόσον όλες οι άγνωστοι παράμετροι έχουν ευρεθεί, μέσω μια αλγοριθμικής επανάληψης το πρόγραμμα υπολογίζει την μέση αναμενόμενη ένταση ολικής ακτινοβολίας κάθε ώρας από την ανατολή μέχρι την δύση και καταχωρεί τις τιμές αυτές σε πίνακα.

Για καλύτερα αποτελέσματα, γίνεται στο τέλος του προγράμματος υπολογισμός του συντελεστή ( $X_m$ , Εξ. 5.4) βεβαρυμμένου κατά την ένταση ακτινοβολίας που υπολογίσθηκε (Εξ. 6.1) και ο αλγόριθμος επανεκτελείται χρησιμοποιώντας στους υπολογισμούς την νέα τιμή.

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n (x(\theta_Z) I(h; n))_i}{\sum_{i=1}^n I(h; n)} \quad (6.1)$$

Το πρόγραμμα εκτελεί 3 επαναλήψεις χρησιμοποιώντας κάθε φορά την νέα διορθωμένη τιμή του συντελεστή ( $x_m$ ) για καλύτερα αποτελέσματα. Με 3 επαναλήψεις διόρθωσης επιτυγχάνεται σύγκλιση των νέων τιμών του συντελεστή που προκύπτουν, οπότε θεωρούνται επαρκείς.

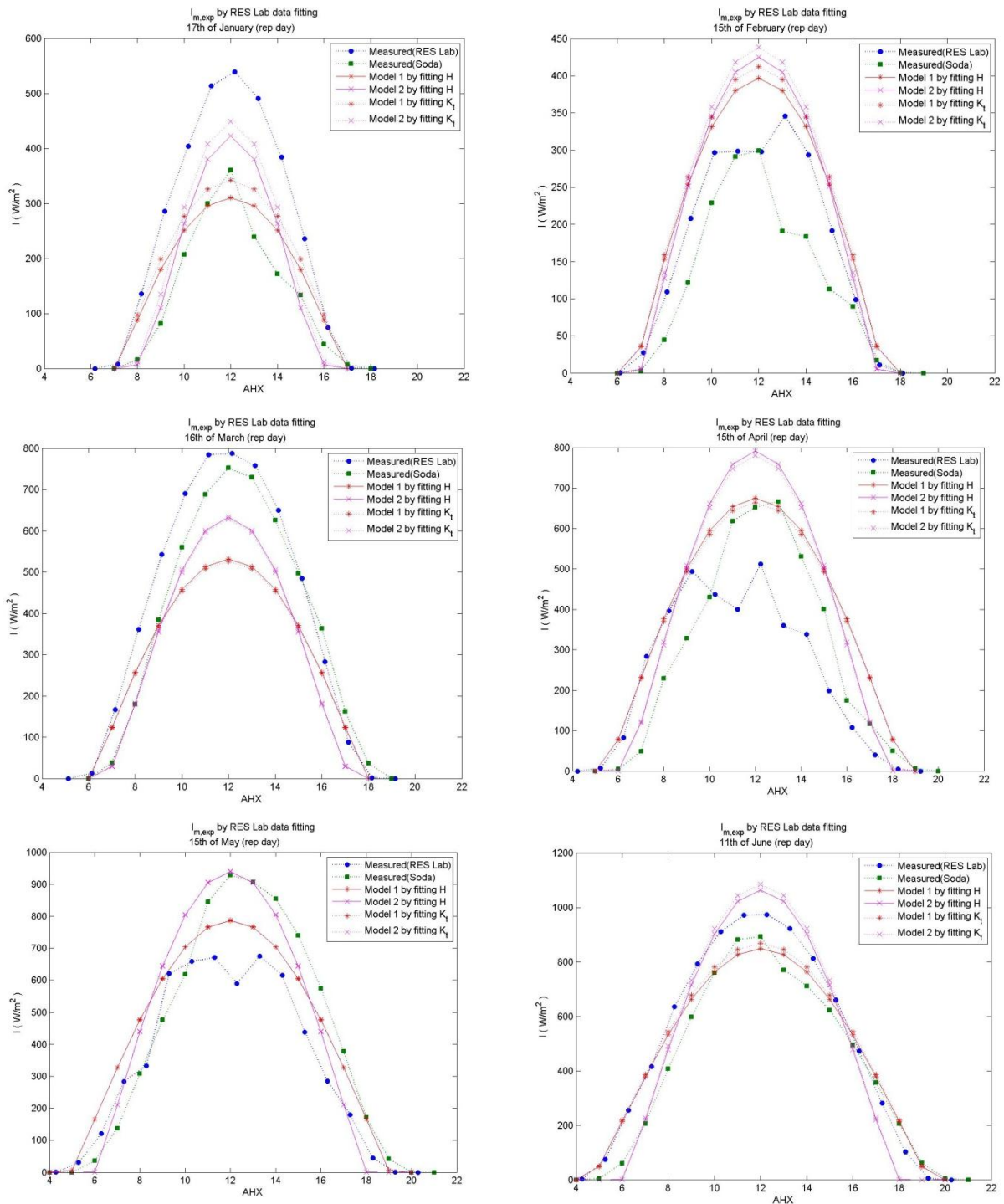
## **6.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Χρησιμοποιώντας την αλγοριθμική συνάρτηση “predict\_1” μπορεί να γίνει υπολογισμός της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ακτινοβολίας ( $I_{m,exp}(h; n)$ ) για κάθε ώρα κάθε ημέρας του έτους για την πόλη της Πάτρας. Για τους σκοπούς της πτυχιακής αυτής έγινε υπολογισμός των τιμών της για τις ώρες από την ανατολή μέχρι την δύση κατά την αντιπροσωπευτικής ημέρα κάθε μήνα . Ο υπολογισμός της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ακτινοβολίας έγινε χρησιμοποιώντας και τα δυο μοντέλα πρόβλεψης της [Εξ. 6.1 (Σ.Καπλάνης, 2006) και Εξ. 6.7 (Σ.Καπλάνης, Ε.Καπλάνη, 2007)] . Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε σύγκριση με την μέση τιμή των ωριαίων μετρήσεων των ημερών γύρω από την αντιπροσωπευτική ημέρα ( $n \pm 2$ ) από τα δεδομένα του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας και από την βάση ωριαίων δεδομένων SoDa του 2005. Η βάση αυτή δεν διέθετε δεδομένα ωριαίας έντασης ακτινοβολίας άλλων ετών.

### 6.5.1 Πρόβλεψη από μοντελοποίηση δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας

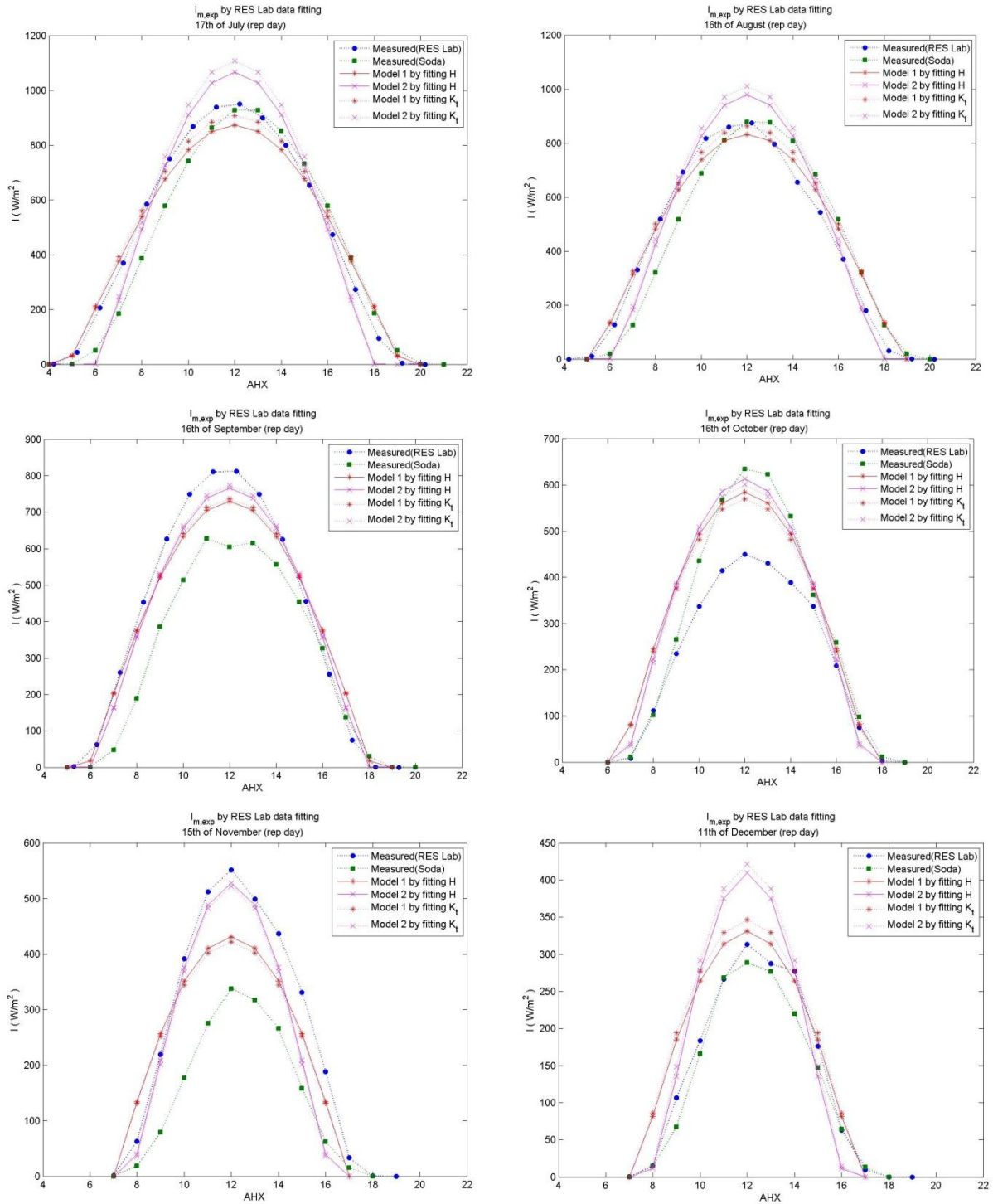
Παράμετροι :  $C_1 = 4.858$   $C_2 = 3.034$   $C_3 = 3.130$  ( $H$  (365 τιμές))

$C_1 = 0.599$   $C_2 = 0.121$   $C_3 = 2.422$  ( $K_T$  (365 τιμές))



Γράφημα 6.2 (α – ς) : συνεχίζεται  $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \\ e & f \end{bmatrix}$





Γράφημα 6.2 (g – l) : Γραφικές παραστάσεις προβλεπόμενης μέσης αναμενόμενης

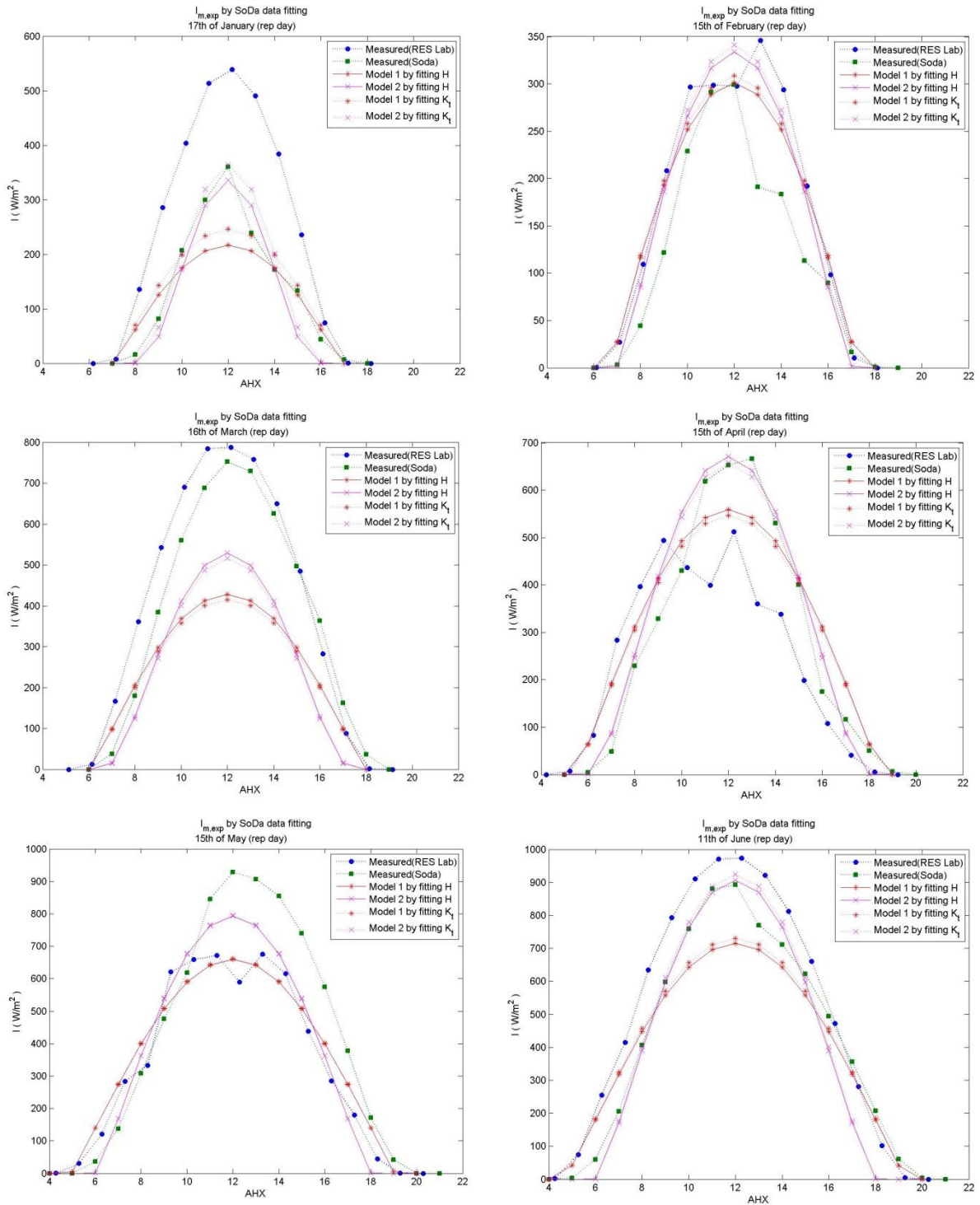
$$\begin{bmatrix} g & h \\ i & k \\ j & l \end{bmatrix}$$

ωριαίας έντασης ακτινοβολίας (model 1, Εξ. 6.1 και model 2, Εξ. 6.7) σε σύγκριση με τις μέσες τιμές ωριαίας έντασης ακτινοβολίας από δεδομένα του εργαστηρίου για το 2011 (Measured(RES Lab) και της βάσης δεδομένων SoDa για το 2005(Measured(Soda))

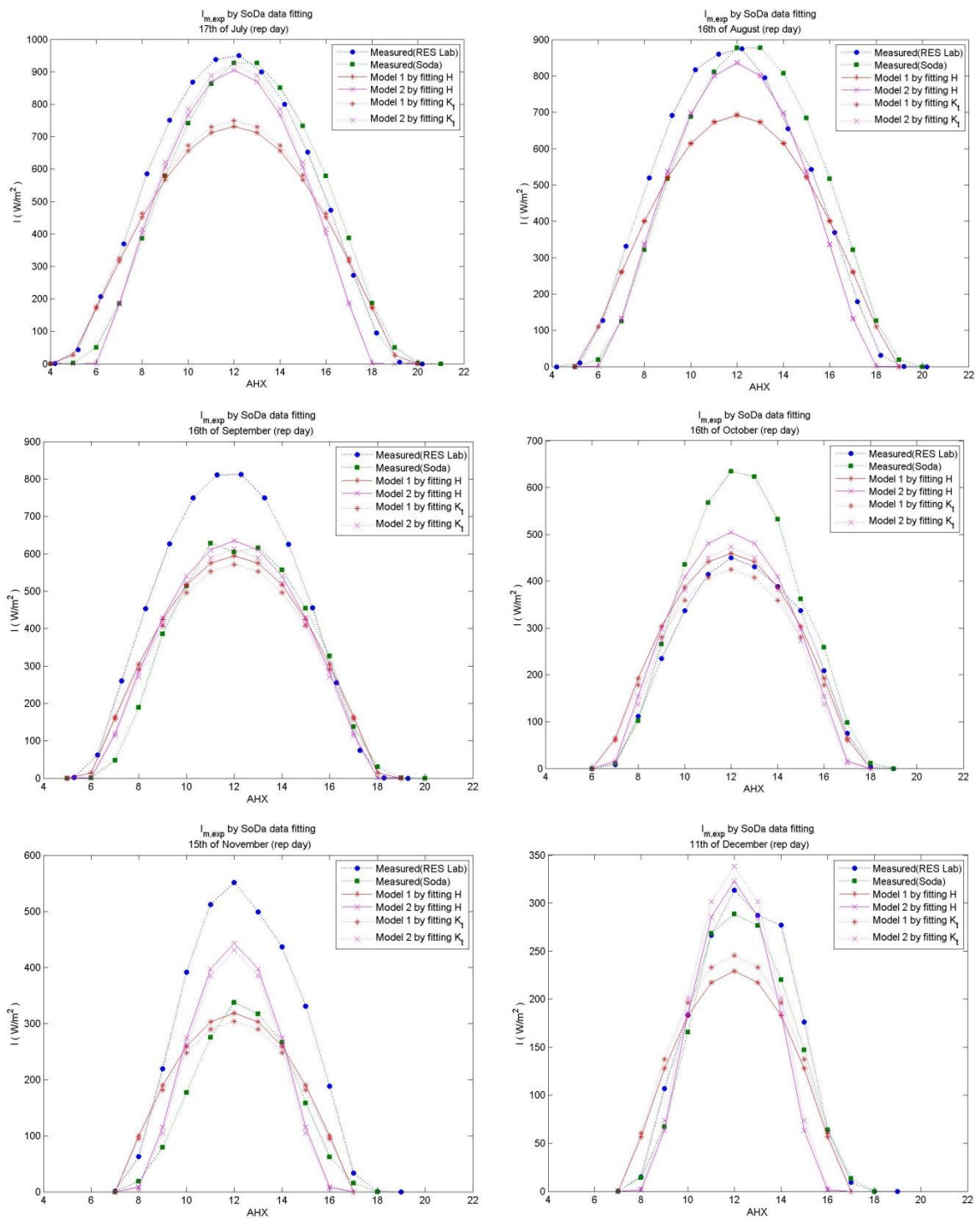
### 6.5.2 Πρόβλεψη από μοντελοποίηση των δεδομένων της βάσης δεδομένων SoDa

Παράμετροι :  $C_1 = 3.938$   $C_2 = 2.698$   $C_3 = 3.146$  ( $\bar{H}$  (365 τιμές))

$C_1 = 0.468$   $C_2 = -0.118$   $C_3 = -0.421$  ( $\overline{K_T}$  (365 τιμές))



Γράφημα 6.3 (α – f) : συνεχίζεται  $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \\ e & f \end{bmatrix}$



**Γράφημα 6.3 (g – l) :** Γραφικές παραστάσεις προβλεπόμενης μέσης αναμενόμενης

$$\begin{bmatrix} g & h \\ i & k \\ j & l \end{bmatrix}$$

ωριαίας έντασης ακτινοβολίας (model 1, Εξ. 6.1 και model 2, Εξ. 6.7) σε σύγκριση με τις μέσες τιμές ωριαίας έντασης ακτινοβολίας από δεδομένα του εργαστηρίου για το 2011 (Measured(RES Lab) και της βάσης δεδομένων SoDa για το 2005(Measured(Soda))

### 6.5.3 Σχόλια

Όπως φαίνεται στα παραπάνω γραφήματα (Γρ. 6.2, 6.3), η πρόβλεψη της μέσης αναμενόμενης ωριαίας ακτινοβολίας που προκύπτει από το μοντέλο με την εισαγωγή της διόρθωσης (εν. 6.3, Εξ. 6.7) “model 2” έχει καλύτερα αποτελέσματα κυρίως στους χειμερινούς μήνες, από αυτά του προκύπτουν από το αρχικό μοντέλο (εν. 6.3, Εξ. 6.1) “model 1”. Η διαφορά αυτή είναι αναμενόμενη, εφόσον το δεύτερο μοντέλο “model 2” λαμβάνει υπ όψιν περισσότερες παραμέτρους που αφορούν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το πρώτο αποτελεί περισσότερο έναν γενικό τύπο.

Επίσης παρατηρείται πως ενώ τα δυο μοντέλα λειτουργούν πολύ καλά κατά του μήνες της άνοιξης του καλοκαιριού και του φθινοπώρου, ενώ για μερικούς από τους μήνες του χειμώνα παρουσιάζουν απόκλιση από τις μετρηθείσες τιμές (δεδομένα  $H$  και  $K_T$  εργαστηρίου για το 2011 και SoDa για το 2005). Αυτό είναι αποτέλεσμα των απότομων μεταβολών του καιρού που συμβαίνουν κατά τους μήνες αυτούς και κυρίως της έλλειψης ωριαίων δεδομένων έντασης από περισσότερα έτη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να υπάρξουν διαφορές ακόμα και στις τιμές ωριαίας έντασης που προέρχονται από μετρήσεις, όπως συμβαίνει χαρακτηριστικά κατά του μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο και Ιανουάριο (Γρ. 6.2 (k,j,a) και 6.3 (k,j,a)). Σε αυτό συνέβαλε και το γεγονός ότι τα δεδομένα μετρήσεων με τα οποία γίνεται η σύγκριση των προβλέψεων έχουν χρονολογική διαφορά 6 ετών.

Οι προβλεπόμενες τιμές ωριαίας έντασης ακτινοβολίας που προέρχονται τόσο από παραμέτρους μοντελοποίησης του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας  $K_T$  όσο και της ημερήσιας ακτινοβολίας  $H$  παρουσίασαν πολύ κοντινά αποτελέσματα και για τις δυο βάσεις δεδομένων(βλ. Γρ. 6.2, 6.3).

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα κεφάλαια που προηγήθηκαν έγινε έλεγχος και επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ανά λεπτό με μετρήσεις από τα όργανα του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου ΑΠΕ του ΤΕΙ Πάτρας για ένα έτος (07/2011 – 06/2012), αλλά και μετρήσεων πολλών ετών (01/1985 – 12/2005) που προέρχονταν από τη βάση δεδομένων SoDa για την πόλη της Πάτρας. Στις γραφικές παραστάσεις των δεδομένων του εργαστηρίου (Γρ. 4.1 – 4.24) παρατηρήθηκαν μεγάλες διακυμάνσεις της έντασης ακτινοβολίας και της ημερήσιας ενέργειας αυτής κυρίως κατά τους μήνες του άνοιξης και του χειμώνα, ως αποτέλεσμα των ιδιαίτερα άσχημων καιρικών συνθηκών κατά τους τελευταίους μήνες του 2011 και τους πρώτους μήνες του 2012. Αντίθετα, κατά τους μήνες του καλοκαιριού και του φθινοπώρου παρατηρήθηκε μικρότερη συχνότητα εμφάνισης απότομων διακυμάνσεων όπως ήταν αναμενόμενο για τις εποχές αυτές. Για την βάση δεδομένων SoDa πολλών ετών υπήρξε η δυνατότητα ομαλοποίησης των δεδομένων υπολογίζοντας τον μέσο όρο των τιμών ημερήσιας ενέργειας ακτινοβολίας και του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας από όλα τα έτη.

Στην συνέχεια έγινε προσπάθεια μοντελοποίησης δεδομένων της προσπίπτουσας στην Γη ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και του ημερήσιου και μηνιαίου συντελεστή αιθριότητας κατά την διάρκεια του έτους, με σκοπό τον προσδιορισμό των παραμέτρων ( $C_1, C_2, C_3$ ) του μοντέλου. Για την εξομάλυνση των απότομων διακυμάνσεων που προαναφέρθηκαν για τα δεδομένα ενός έτους του εργαστηρίου, έγινε προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου τόσο στα δεδομένα όλων των ημερών του έτους όσο και των αντιπροσωπευτικών ημερών ( $\bar{n}$ ) και των ημερών γύρω από αυτές ( $\bar{n} \pm 1, \bar{n} \pm 2$ ). Στα αποτελέσματα (τιμές παραμέτρων  $C_1, C_2, C_3$ ) αυτών των εφαρμογών δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά. Αυτό προσδίδει την δυνατότητα έγκυρου προσδιορισμού των παραμέτρων από μοντελοποίηση βασισμένη ακόμα και σε 12 μόνο τιμές (αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα) ενός έτους.

Επίσης έγινε προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου και στα ημερήσια δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας της βάσης SoDa 21 ετών. Από τα γραφήματα αυτά προέκυψε πως η προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου στα δεδομένα πολλών ετών έχει υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ), όπως ήταν αναμενόμενο, αφού έτσι εξομαλύνθηκαν οι τυχαίες μεταβολές που δεν επαναλαμβάνονται σε βάθος χρόνου. Παρ' όλα αυτά, η μικρή διαφορά στις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που προέκυψαν από μοντελοποίηση των δεδομένων της βάσης SoDa, συγκριτικά με τα δεδομένα μετρήσεων του εργαστηρίου, αποδεικνύει πως η εξίσωση του μοντέλου προσαρμόζεται πολύ ικανοποιητικά ακόμα και στα δεδομένα ενός έτους. Ωστόσο, η προσαρμογή της εξίσωσης του μοντέλου ενδείκνυται να γίνεται σε δεδομένα πολλών ετών, εφόσον είναι διαθέσιμα, αφού έτσι υπάρχουν μικρότερες πιθανότητες να προκύψουν παράμετροι πολωμένες (biased) προς συγκεκριμένες τυχαίες διακυμάνσεις.

Έχοντας υπολογίσει τις τιμές των παραμέτρων ( $C_1, C_2, C_3$ ) του μοντέλου για την πόλη της Πάτρας έγινε τέλος χρήση των τιμών αυτών για την πρόβλεψη της μέσης

αναμενόμενης ημερήσιας ακτινοβολίας. Σε γράφημα που έγινε συγκρίνοντας την χρήση παραμέτρων από μοντελοποίηση των δεδομένων ημερήσιας ακτινοβολίας και του ημερήσιου συντελεστή αιθριότητας, παρατηρήθηκε πως τα αποτελέσματα έχουν πολύ μικρή διαφορά και άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράμετροι που προκύπτουν τόσο από δεδομένα ημερήσιας ακτινοβολίας όσο και ημερήσιου δείκτη αιθριότητας, με μικρή διαφορά στα αποτελέσματα.

Βάσει των τιμών της μέσης αναμενόμενης ημερήσιας ακτινοβολίας, έγινε στην συνέχεια υπολογισμός της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας 2 διαφορετικά μοντέλα (Σ.Καπλάνης, 2006, Σ.Καπλάνης και Ε.Καπλάνη, 2007). Από την σύγκριση των τιμών της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ακτινοβολίας με τις μέσες μετρηθείσες τιμές γύρω από την αντιπροσωπευτική ημέρα ( $\bar{n} \pm 2$ ) από 2 διαφορετικά έτη (βάση δεδομένων SoDa, έτος 01-12/2005 και δεδομένα εργαστηρίου ΑΠΕ, ΤΕΙ Πάτρας, 07/2011 – 06/2012) παρατηρήθηκε πολύ καλή πρόβλεψη και από τα δύο μοντέλα για τους περισσότερους μήνες του έτους. Ωστόσο, η ύπαρξη ωριαίων δεδομένων έντασης ακτινοβολίας περισσότερων ετών, θα έδινε την δυνατότητα για εκτενέστερη σύγκριση. Συγκρίνοντας τα δυο μοντέλα μεταξύ τους, μπορούμε να καταλήξουμε πως το δεύτερο, πιο σύνθετο μοντέλο (Σ.Καπλάνης και Ε.Καπλάνη, 2007) αποδίδει καλύτερα σε όλους τους μήνες πλησιάζοντας περισσότερο τις μετρηθείσες τιμές.

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία απέδειξε πως είναι δυνατόν να γίνει ικανοποιητική και έγκυρη πρόβλεψη της μέσης αναμενόμενης ωριαίας έντασης ακτινοβολίας, ακόμα και με μια τιμή ημερήσιας ακτινοβολίας ανά μήνα (αντιπροσωπευτική ημέρα). Αναμφίβολα όμως, το ποσοστό επιτυχίας της πρόβλεψης αυξάνεται όσο είναι μεγαλύτερο το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων για τον ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων του μοντέλου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καπλάνης Σ. Ν., Ήπιες μορφές ενέργειας II : Ηλιακή Μηχανική, Ίων, Αθήνα, 2004
2. Καπλάνης Σ. Ν., Περιβάλλον και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Ίων, Αθήνα, 2003
3. Μοσχάτος Α., Ηλιακή Ενέργεια, Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Αθήνα, 1992
4. Baig A., Achter P. & Mufti A., A novel approach to estimate the clear day global radiation, Renewable Energy, Vol. 1, pp. 119-123, 1991
5. Campbell Scientific, CM 6B & CM11 User Guide, Shepshed, 2001
6. Collares-Pereira M., Rabl A., The Average Distribution of Solar Radiation correlations Between Diffuse and Hemispherical and Between Daily and Hourly insolation values, Solar energy, Vol. 22, pp. 155-164, 1979
7. de Toma G., White O.R., Chapman G.A., Walton S.R., Solar irradiance variability: progress in measurement and empirical analysis, Volume 34, pp. 237-242, 2004
8. Duffie J.A., Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, Wiley & Sons Inc, New York, 1991
9. European Commission, Green paper - A 2030 framework for climate and energy policies, Brussels, 2013
10. International Energy Agency, Key World Energy Statistics, OECD/IEA, Paris, 2013
11. International Standard, ISO 9060:1990 - Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation, 2013
12. Jain P. C., Comparison of techniques for the estimation of daily global irradiation and a new technique for the estimation of global irradiation, Sol. Wind Technology, Vol. 1, pp. 123-134, 1984
13. Kaplanis S., Kaplani, E. , A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation  $I(h;n_j)$  values, Renewable Energy, Vol. 32, pp. 1414-1425, 2007
14. Kaplanis S., Kaplani, E. , Stochastic prediction of hourly global solar radiation for Patra, Greece, Applied Energy, Vol. 87, pp. 3747-3758, 2010
15. Kaplanis S., Kaplani, E. , Prediction of Solar Radiation Intensity for Cost-Effective PV Sizing and Intelligent Energy Buildings, Chapter in book : Solar Power, Ed. Radu Rugescu, InTech, Croatia, 2012



16. Kaplanis, S. N., New methodologies to estimate the hourly global solar radiation: Comparisons with existing models, *Renewable Energy*, Vol. 31, pp. 781-790, 2006
17. Kipp & Zonen, CM-121 Shadow Ring Instruction Manual, Delft, 2006
18. Kipp & Zonen, CMP Series Pyranometers Instruction Manual, Delft, 2012
19. Liu B.Y.H, Jordan R. C., The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct Diffuse and Total Solar Radiation, *Solar Energy*, Vol. 4, pp. 1-19, 1960
20. Pidwirny M., Atmospheric Effects on Incoming Solar Radiation, *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition, Okanagan, 2006
21. Sayigh A.A.M, *Solar Energy Engineering*, Academic press Inc. , New York, 1977
22. Shultis J.K., Faw R.E., *Fundamentals of nuclear science and engineering*, New York, 2002
23. World Meteorological Organization, *Instrument Development Inquiry*, Sixth Edition, Netherlands, 1998

### **Ιστοσελίδες**

1. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/consumers/know\\_about/electricity/production.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/production.csp), 2013
2. Google, χάρτες Google, <http://maps.google.gr/>, 2013
3. Kipp & Zonen, On the history of the pyranometer, <http://www.kippzonen.com/?news/290202/On+the+history+of+the+pyranometer.aspx>, 2013
4. Nasa, Spartan 201-03 The Sun, 1995 [http://umbra.nascom.nasa.gov/spartan/the\\_sun.html](http://umbra.nascom.nasa.gov/spartan/the_sun.html)
5. Solar radiation database SoDa, <http://www.soda-is.com/eng/index.html>, 2012