



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

Διπλωματική εργασία

**“Εκτίμηση δεικτών ηλιακής
ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον”**

Δημήτρης Χρ. Σωτήρχος

Αθήνα, Μάιος 2010

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

Επιβλέπων: Λέκτορας Νίκος Μαμάσης

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ -
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

Διπλωματική εργασία

**“Εκτίμηση δεικτών ηλιακής
ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον”**

Δημήτρης Χρ. Σωτήρχος

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

Αθήνα, Μάιος 2010

Επιβλέπων: Λέκτορας Νίκος Μαμάσης

στη γυναίκα μου Μαρία
& στα παιδιά μας
Χρήστο, Σοφία και Αλέξανδρο

Ευχαριστίες

Θα ήθελα στις παρακάτω γραμμές να εκφράσω με λιτό τρόπο την ευγνωμοσύνη μου, σε όλους όσους με βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της μελέτης.

Ιδιαίτερη μνεία θα ήθελα να κάνω στον καθηγητή μου κ. Νίκο Μαμάση, που αγόγγυστα και υπεύθυνα με καθοδήγησε στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης τον συνάδελφο Κ. Θεουλάκη για την βοήθειά του στις μετρήσεις του σημείου και τέλος το Διευθυντή και τους Συναδέλφους μου στο Σχολείο.

Μάιος 2010 , Μεγάλος Βάλτος Κορινθίας

Δημήτρης Σωτήρχος

Γεωπόνος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

➤ Ευχαριστίες	iv
➤ Πίνακας περιεχομένων.....	v
➤ Περίληψη.....	vii
➤ Abstract	ix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	
2.1. Θεωρία	
2.1.1. γενικά.....	4
2.1.2. τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας	4
2.1.3. η διαδρομή του ήλιου στο βόρειο ημισφαίριο	7
2.1.4. παράγοντες που επηρεάζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία.....	11
2.1.5. χρησιμότητα εκτίμησης εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας	14
2.2. Εκτίμηση ακτινοβολίας περιοχής.....	18
2.2.1. υπολογισμός εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας	18
2.2.2. εκτίμηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σημείου.....	19
2.2.2.1. εύρεση τύπου γωνίας πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας	21
3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗ ΧΛΩΡΙΔΑ	
3.1. Γενικά.....	24
3.2. Χαρακτηριστικά της Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	25
3.3. Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στην ανάπτυξη των φυτών.....	30
3.3.1. η ακτινοβολία ως παράγοντας καταπόνησης.....	34
3.4. Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στην βιοποικιλότητα	
3.4.1. γενικές έννοιες – ορισμοί.....	35
3.4.2. ηλιακή ακτινοβολία και βιοποικιλότητα φυτικών ειδών.....	37

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – Case study	
4.1. Γενικά.....	43
4.2. Υπάρχουσες αναφορές	44
4.3. Περιγραφή ερευνητικής διαδικασίας.....	45
4.3.1. Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$	47
4.4. Αποτελέσματα εργασίας.....	49
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	54
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	57
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πρώτες δορυφορικές εικόνες και οι ανθρώπινες αποστολές στο διάστημα, μας έκαναν να συνειδητοποιήσουμε ότι ο πλανήτης μας, ως σύστημα, έχει μοναδική εισροή ενέργειας τον ήλιο.

Αναμφισβήτητα, η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του πλανήτη μας κινεί άμεσα ή έμμεσα πολλές φυσικές και βιολογικές δραστηριότητες. Μπορούν να αναφερθούν χαρακτηριστικά η κίνηση του ανέμου, οι κύκλοι του νερού και άλλων στοιχείων της ζωής (π.χ. ο κύκλος του άνθρακα), τα ορυκτά καύσιμα, η παραγωγή της τροφής των ζωντανών οργανισμών με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης κ.ά.

Η γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί για τον άνθρωπο μια πολύ χρήσιμη πληροφορία για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση μιας σειράς δραστηριοτήτων. Ως τέτοιες μπορούν να αναφερθούν εφαρμογές στη γεωργία, στις αγοραπωλησίες (real estate), στις κατασκευές (π.χ. βιοκλιματικά κτήρια, ταμειυτήρες), σε αθλητικές δραστηριότητες (χιονοδρομικά κέντρα κ.ά.) και σε επενδύσεις στην παραγωγή ενέργειας (φωτοβολταϊκά συστήματα, θερμοσίφωνες κ.ά.).

Τα φυτά, μέσω της θεμελιώδους διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, έχουν επιφορτιστεί με τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε οργανικά υλικά. Ακραίες όμως συνθήκες φωτισμού, καταπονούν τα φυτά τα οποία υιοθετούν διάφορες στρατηγικές (π.χ. της ανθεκτικότητας), που τους εξασφαλίζουν την επιβίωσή τους. Ο φωτισμός που δέχεται μια περιοχή, δεν μπορεί να αποτελέσει από μόνος του παράγοντα καθορισμού βιοποικιλότητας των φυτών, καθώς τα ελάχιστα επίπεδα φωτισμού εξασφαλίζονται σχεδόν σε κάθε σημείο του πλανήτη.

Η δυνητικά εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος την ημέρα του έτους και την ώρα της ημέρας, διαφέρει σημαντικά από αυτή που πραγματικά φθάνει στην επιφάνεια, αφού υπεισέρχονται τοπογραφικοί και κλιματικοί παράγοντες που την υποβαθμίζουν. Με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), έχουν κατασκευαστεί χάρτες που μας δίνουν πληροφορίες για την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία σε μεγάλες όμως περιοχές.

Η πληροφορία αυτή δεν μπορεί να είναι αξιόπιστη σε περιοχές όπου η τοπογραφία του χώρου παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα, όπως στο αστικό περιβάλλον. Αναμφίβολα, οι πολυκατοικίες και άλλα ψηλά κτήρια, δημιουργούν έντονη σκίαση σε γειτνιάζοντα σημεία. Το ποσό της ακτινοβολίας που δέχονται τα

σημεία αυτά αποτελούν κλάσμα της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Πράγματι, οι μετρήσεις που έγιναν στο σημείο που πραγματεύεται η παρούσα μελέτη και οι περαιτέρω υπολογισμοί, έδειξαν πως αυτό δέχεται σε ετήσια βάση μόλις το 77% της εισερχόμενης ακτινοβολίας.

Συμπερασματικά λοιπόν θα λέγαμε, πως σε αστικό περιβάλλον, η πραγματική εισερχόμενη ακτινοβολία που δέχεται σημείο του ενδιαφέροντός μας, μπορεί να προκύψει μόνο από σημειακές μετρήσεις, οι οποίες θα λαμβάνουν υπ' όψιν τους το ύψος και το αζιμούθιο των εμποδίων.

ABSTRACT

The first satellite images and space missions have made us realize that our planet, as a system, receives its exclusive inflow of energy from the sun.

Undeniably, the solar radiation that reaches our planet's surface prompts, either directly or indirectly, many natural and biological activities. We can characteristically mention wind movement, the water circle and the circles of other elements (e.g. the carbon circle), fossil fuels, food production for the living organisms through the photosynthesis process, etc.

The knowledge of incoming solar radiation is a very useful piece of information to man, both for planning and accomplishing a number of activities. The following could be mentioned as such: applications in agriculture, in real estate, in building (for example, bioclimatic buildings, reservoirs), in sports activities (ski resorts etc) and in investments on the generation of energy (PV systems, boilers, etc).

The plants, through the fundamental process of photosynthesis, are responsible for the conversion of solar energy into organic matter. However, intensive light conditions harm the plants, which adopt various strategies (e.g. resistivity) to ensure their survival. The lighting of a certain area can not, in itself, become a factor that defines plant biodiversity, as the minimum lighting levels are found in almost every part of the planet.

The potential incoming solar radiation, which depends on the latitude, the day of year and the time of day, differs significantly from that which, in reality, reaches the surface, as location and climatic factors intervene and diminish it. With the help of Geographic Information Systems (GIS), we have created maps that provide information about the incoming solar radiation, with reference, however, to extended areas.

This information can not be reliable in regions where the area topography presents great variations, as in urban environments. Undoubtedly, apartment buildings and other tall buildings cause intense shading in neighboring spots. The amount of radiation that these spots are submitted to is a fraction of the incoming radiation. Indeed, the measurements that were conducted on the spot that the present study discusses, as well as further calculations, showed that this spot is submitted to merely a 77% of the incoming radiation in a yearly basis.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

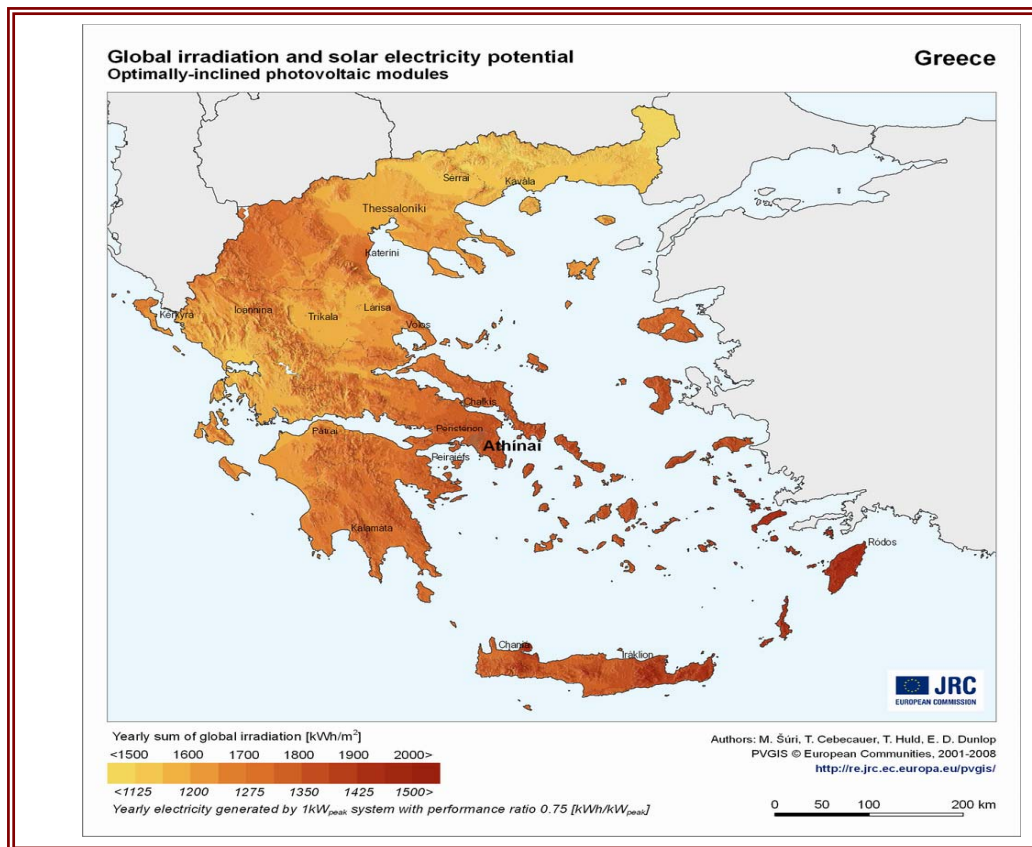
Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του πλανήτη μας, αποτελεί άμεσα ή έμμεσα την κινητήριο και ζωογόνο δύναμη που κινεί κάθε βιολογικό και φυσικό σύστημα.

Η άμεση ηλιακή ενέργεια που φθάνει στον πλανήτη μας υπολογίζεται πως είναι πολλαπλάσια των τωρινών αναγκών μας. Συνεπώς, η διαχείριση και η εκμετάλλευσή της, αποτελεί ένα στοίχημα για την ανθρωπότητα με τον ολοένα αυξανόμενο πληθυσμό και κατ' επέκταση τις ολοένα αυξανόμενες ενεργειακές της ανάγκες.

Δεν πρέπει να λησμονούμε επίσης πως και η κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων τα τελευταία χρόνια, που οδήγησαν την ανθρωπότητα στο σημερινό «αμφιλεγόμενο» αποτέλεσμα, οφείλουν τη δημιουργία τους στη δράση του ήλιου που μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, εγκλώβισε στη γη με τη μορφή υδρογονανθράκων, σημαντικά ποσά ενέργειας.

Γνωρίζοντας ευεργετήματα της ηλιακής ακτινοβολίας, θα πρέπει να τονίσουμε επίσης τον επιβλαβή ρόλο της στο ανθρώπινο είδος. Πράγματι, η υπερϊώδης ακτινοβολία που αποτελεί ένα κλάσμα της συνολικής, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές κυτταρικές αλλοιώσεις στους ανθρώπινους ιστούς. Στην πορεία όμως της εξελικτικής και γεωλογικής διαδικασίας, προστατευόμαστε με την παρουσία του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Μια προστασία που όμως έχει φανεί επισφαλής εξαιτίας των δραστηριοτήτων του ανθρώπου που μπορούν να το καταστρέψουν!

Μέχρι σήμερα, με τη βοήθεια υπολογιστικών μοντέλων και τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), έχουμε πληροφορίες για ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές που προσομοιάζουν σε γεωγραφικό μήκος και πλάτος, κλίση εδάφους, προσανατολισμό κτλ. Οι παραπάνω υπολογισμοί μας οδήγησαν στη δημιουργία δεδομένων που αποδίδουν τις μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (εκφρασμένες σε W/m^2), σε επίπεδη επιφάνεια απουσία εμποδίων. Ένα τέτοιο προϊόν αντίστοιχης εργασίας για τον Ελλαδικό χώρο αποτελεί ο παρακάτω χάρτης:



Εικόνα 1.1:ετήσια ποσά ηλιακής ακτινοβολίας στον Ελλαδικό χώρο εκφρασμένα σε W/m²

πηγή: <http://re.jrc.ec.europa.eu/>

Εξαιτίας όμως αυτής της μεγάλης κλίμακας και της «χονδροειδούς» απεικόνισης, μπορεί να οδηγηθούμε, σε λανθασμένα συμπεράσματα σχετικά με την προσπίπτουσα ακτινοβολία μικρότερης περιοχής ή σημείου. Ειδικότερα σε αστικό περιβάλλον, η παραλλακτικότητα αναφορικά με τη σκίαση σημείων από φυσικά η ανθρωπογενή εμπόδια, είναι πολύ μεγάλη και διαφέρει αισθητά από σημείο σε σημείο.

Πράγματι, όπως θα δούμε και παρακάτω, στην τοποθεσία που λαμβάνουν χώρα οι μετρήσεις για τις ανάγκες της εργασίας, προκύπτει πως η συνολική ακτινοβολία που δέχεται το σημείο αναφοράς μας, είναι μόλις το 77% της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας υπολογισμένη για την αντίστοιχη περιοχή !!!

Η γνώση αυτή μπορεί να μας είναι πολύ πιο χρήσιμη σε μια σειρά εφαρμογών που απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, όπως το real estate, η εξαμυσοδιαπνοή, η εγκατάσταση

φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας, η πρωτογενής παραγωγή (πχ. θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις) κ.ά.

2. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.

2.1. Θεωρία.

2.1.1. Γενικά.

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια, είναι το αποτέλεσμα μιας πολύπλοκης ενεργειακής διεργασίας μεταξύ της ατμόσφαιρας και της γήινης επιφάνειας. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στο να βρεθεί ένας ακριβής τρόπος υπολογισμού της εισερχόμενης ακτινοβολίας με τη χρήση μοντέλων, τα οποία λαμβάνουν υπ' όψιν τους την αλληλεπίδραση της τοπογραφίας και της φυτικής κάλυψης, σε ένα μεγάλο φάσμα χωρικής και χρονικής κλίμακας. Στην κατεύθυνση αυτή σημαντική ήταν η συνεισφορά των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (γνωστά πλέον και ως GIS). Στις πλείστες των περιπτώσεων, για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων απαιτούνται πληροφορίες για το υψόμετρο, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό της επιφάνειας (Duguay 1993).

2.1.2. Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού της από τον ήλιο, υφίσταται κάποιες τροποποιήσεις με το πέρασμά της από την γήινη ατμόσφαιρα, αλλά τροποποιείται και περαιτέρω με την τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας που προσπίπτει. Έτσι φτάνει στην επιφάνεια της γης με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

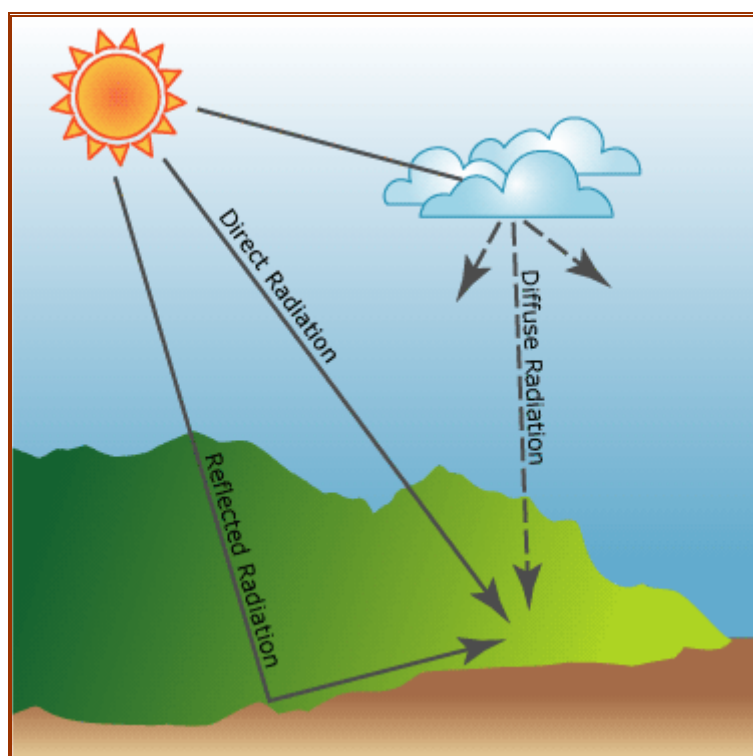
1. Άμεσα (direct)
2. Με διάχυση (diffuse)
3. Με ανάκλαση (reflection)

Η άμεση ακτινοβολία είναι αυτή που μεταδίδεται ανεμπόδιστη, σε ευθεία γραμμή από τον ήλιο.

Η διάχυτη ακτινοβολία είναι αυτή που φτάνει στη γήινη επιφάνεια αφού πρώτα διασπαρεί (διαχυθεί) από διάφορα ατμοσφαιρικά στατικά όπως τα σύννεφα και άλλα μικροσωματίδια (σκόνη, ρύποι κ.ά.).

Η ανακλώμενη ακτινοβολία αντανακλάται από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά και μπορεί να ανακλαστεί και να διασκορπιστεί κατά μήκος της επιφάνειας της γης ή να επιστρέψει πίσω στην ατμόσφαιρα.

Οι παραπάνω τρόποι μπορούν να απεικονιστούν με το παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2.1 : τρόποι άφιξης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης.

πηγή: <http://webhelp.esri.com/>

Ένα μέτρο της ποσότητας της ανακλώμενης ακτινοβολίας μιας επιφάνειας, αποτελεί η λευκαύγεια ή albedo. Το εύρος των τιμών της λευκαύγειας διαφόρων επιφανειών, είναι από 0 έως 1. Πιο συγκεκριμένα όταν η λευκαύγεια παίρνει την τιμή 0,0 δεν ανακλάται καμία ακτινοβολία καθώς απορροφάται όλη η ποσότητα, ενώ όταν παίρνει την τιμή 1,0 όλη η ακτινοβολία ανακλάται και δεν υπάρχει καθόλου απορρόφηση. (Graves, 1998).

Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε μερικές ενδεικτικές τιμές λευκαύγειας που έχουν ορισμένες επιφάνειες. Όπως είναι λογικό όσο πιο σκούρα είναι μια επιφάνεια, τόσο λιγότερο θα είναι το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας και κατά συνέπεια η τιμή της λευκαύγειας θα πλησιάζει το 1,0.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑ
	υγρό και σκούρο	0.05
έδαφος	στεγνό και ανοικτόχρωμο	0.40
άμμος		0.015-0.45
γρασίδι	ψηλό	0.06
	χαμηλό	0.26
αγροτικές καλλιέργειες		0.18-0.25
τούντρα		0.18-0.25
δάση	φυλλοβόλα	0.15-0.20
	κωνοφόρα	0.05-0.15
	μικρή γωνία προσπτώσεως	0.03-0.10
νερό	μεγάλη γωνία προσπτώσεως	0.10-1.0
χιόνι	παλιό	0.40
	φρέσκο	0,95
πάγος	θαλάσσιος	0,30-0,45
	παγετώνας	0,20-0,40
σύννεφα	πυκνά	0,60-0,90
	αραιά	0,30-0,50

Πίνακας 2.1: ενδεικτικές τιμές λευκαύγειας διάφορων επιφανειών.

πηγή: Oke, 1992, Ahrens, 2006, στο http://serc.carleton.edu/research_education

Το άθροισμα της άμεσης, διαθλώμενης και ανακλώμενης ακτινοβολίας, ονομάζεται ολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως ένα ποσοστό ακτινοβολίας φθάνει μέσω της σελήνης, το οποίο όμως δεν συνυπολογίζεται, μιας και δεν συνεισφέρει σε καμία μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της μέρας.

Παρατηρώντας τέλος τις τιμές του παραπάνω πίνακα με τις διάφορες τιμές της ανακλαστικότητας των επιφανειών, αξίζει να επισημάνουμε τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν τα μετεωρολογικά φαινόμενα και το μικροκλίμα μιας περιοχής στην αβεβαιότητα των υπολογισμών της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Πράγματι, σύμφωνα με τον πίνακα η ανακλαστικότητα των νεφών κυμαίνεται από 0,3 – 0,9 προσδίδοντας έτσι μια μεγάλη αστάθεια στις μετρήσεις μιας περιοχής.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί πως η περιοχές με μεγάλο υψόμετρο δέχονται περισσότερη ακτινοβολία λόγω της μικρότερης πυκνότητας του αέρα σε αυτά τα σημεία.

Σε γενικές γραμμές η άμεση ακτινοβολία αποτελεί την κύρια συνιστώσα της εισερχόμενης ακτινοβολίας καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο ποσοστό της. Η ανακλώμενη ακτινοβολία αποτελεί συνήθως ένα πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής ακτινοβολίας με εξαίρεση τις περιοχές εκείνες που περιβάλλονται από ισχυρά αντανακλαστικές επιφάνειες όπως η χιονοκάλυψη.

Ως εκ τούτου, η συνολική ακτινοβολία ($Global_{tot}$) υπολογίζεται κατ' εκτίμηση ως το άθροισμα της άμεσης (Dir_{tot}) και διάχυτης (Dif_{tot}) ακτινοβολίας δηλαδή:

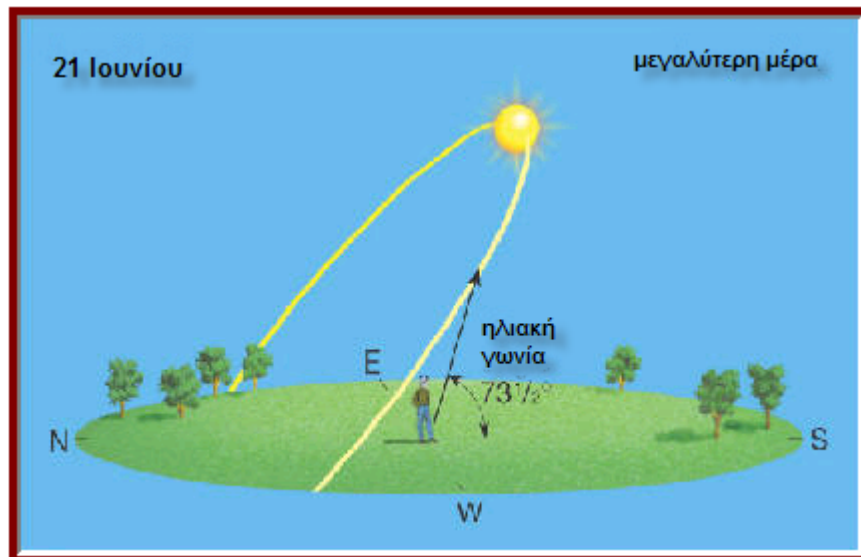
$$Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot}$$

[\(http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/)

2.1.3. Η διαδρομή του ήλιου στο βόρειο ημισφαίριο.

Η ηλιακή διαδρομή στο βόρειο ημισφαίριο δεν είναι σταθερή αλλά διαφέρει κατά γεωγραφικό πλάτος αλλά και κατά τη διάρκεια του έτους. Για να γίνει κατανοητή η ηλιακή διαδρομή και η θέση του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους, θα δούμε τις σχετικές του θέσεις σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος, αυτό των 40° Βόρεια.

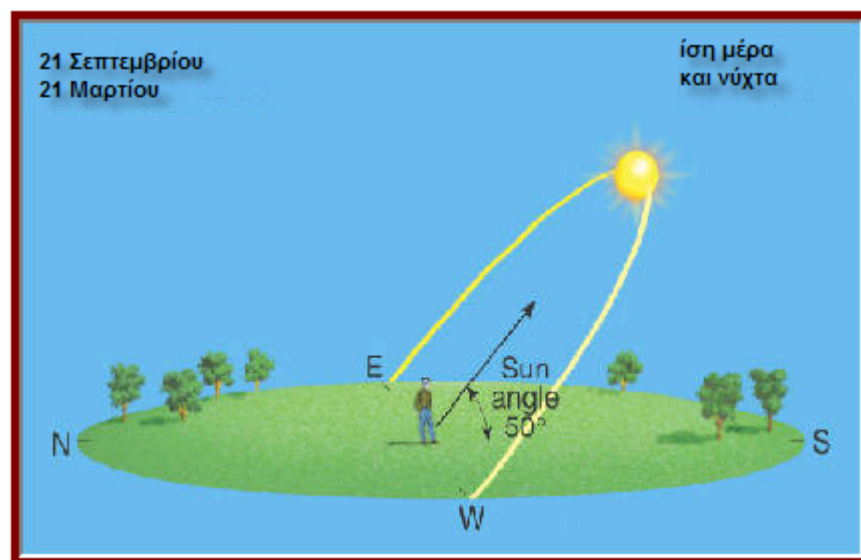
Έτσι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και συγκεκριμένα κατά το θερινό ηλιοστάσιο που συμβαίνει στις 21 Ιουνίου, ο ήλιος βρίσκεται στην υψηλότερη τροχιά στον ουρανό, σχηματίζει την μεγαλύτερη γωνία και έχουμε τη μεγαλύτερη σε διάρκεια μέρα, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.2 : θερινή ισημερία στις 40° Βόρεια.

πηγή: <http://geography.hunter.cuny.edu>

Μετά την θερινή ισημερία σταδιακά η μέρα αρχίζει να μικραίνει καθώς η τροχιά του ήλιου αρχίζει επίσης να διαγράφεται μικρότερη στον ουρανό φτάνοντας στην 21η Σεπτεμβρίου όπου και έχουμε τη διάρκεια της μέρας ίση με τη διάρκεια της νύχτας. Η ημερομηνία αυτή συμπίπτει με την φθινοπωρινή ισημερία και η μέγιστη γωνία που έχει ο ήλιος την ημέρα αυτή είναι 50°. Τα ίδια αυτά χαρακτηριστικά, δηλαδή διάρκεια μέρας και νύχτας και ηλιακή γωνία, επαναλαμβάνονται και την 21^η Μαρτίου κατά τη διάρκεια της εαρινής ισημερίας.



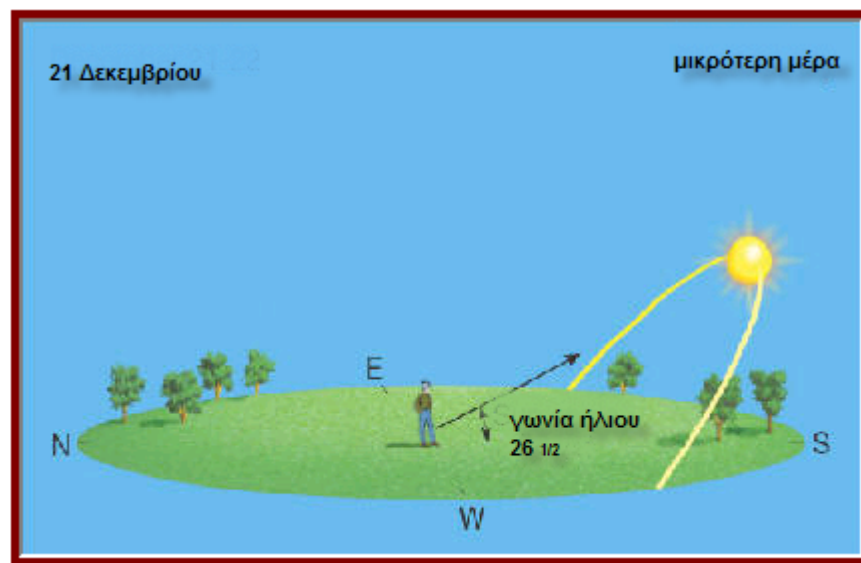
Εικόνα 2.3: φθινοπωρινή και εαρινή ισημερία στις 40° Βόρεια.

πηγή: <http://geography.hunter.cuny.edu>

Ακολούθως της φθινοπωρινής ισημερίας, η τροχιά του ήλιου συνεχίζει να μειώνεται, ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά στον ουρανό και η μέρα έχει την μικρότερη διάρκειά της κατά την 21^η Δεκεμβρίου, με την μικρότερη ηλιακή γωνία που φτάνει τις 26,5°.

Κατά τη διάρκεια αυτών των ημερών ο ήλιος δεν ανατέλλει ακριβώς από την ανατολή όπως γίνεται στις ισημερίες αλλά νοτιότερα αυτής και αντίστοιχα δύει νοτιότερα της δύσης.

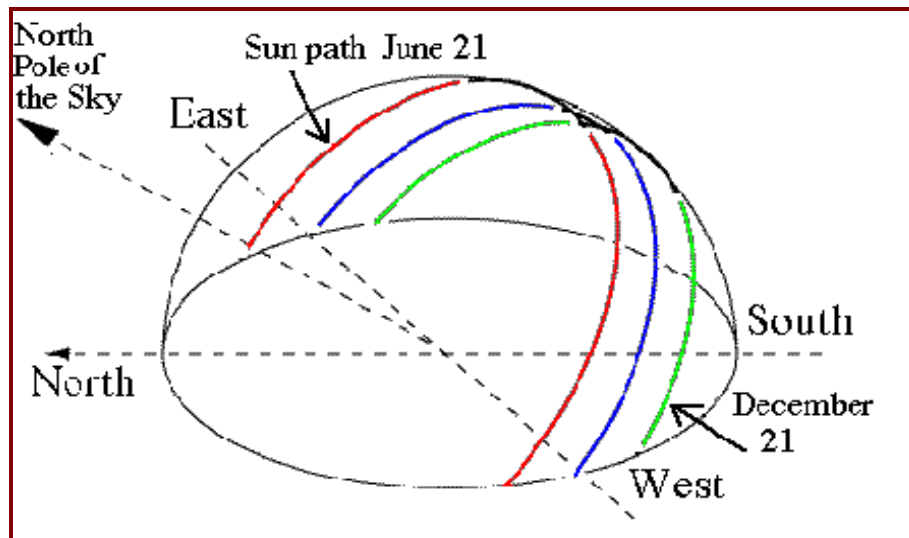
Μετά τη χειμερινή ισημερία η μέρα αρχίζει ξανά σταδιακά να μεγαλώνει ώσπου να γίνει ίση με τη νύχτα κατά την εαρινή ισημερία που έχουμε ήδη περιγράψει.



Εικόνα 2.4: χειμερινή ισημερία στις 40° Βόρεια.

πηγή: <http://geography.hunter.cuny.edu>

Οι παραπάνω ηλιακές διαδρομές στο Βόρειο Ημισφαίριο μπορούν να δοθούν όλες μαζί σχηματικά με την παρακάτω εικόνα όπου φαίνονται οι ημερομηνίες των ηλιοστασίων και των ισημεριών:



Εικόνα 2.5: ηλιακή διαδρομή στη διάρκεια του έτους στο Β. Ημισφαίριο.

πηγή: <http://rst.gsfc.nasa.gov>

2.1.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία.

Ο ήλιος παράγει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας περίπου της τάξης του $1,1 \times 10^{20}$ κιλοβατώρες το δευτερόλεπτο. Από αυτά, ένα μέρος της τάξης του $1,5 \times 10^{18}$ kWh/s, κατακρατούνται από την εξωτερική ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, εξαιτίας της ανάκλασης της διάχυσης της σκέδασης και της απορρόφησης εξαιτίας των αερίων και των aerosols, μόνο το 47% αυτής της ενέργειας δηλαδή περίπου 7×10^{17} kWh/s, φτάνουν στην επιφάνεια της γης. (<http://energy.saving.nu>).

Το ποσό της εισερχόμενης ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας και μέρα, εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων όπως:

- το ηλιακό αζιμούθιο¹ εκφρασμένο σε μοίρες
- το υψόμετρο του ήλιου² εκφρασμένο επίσης σε μοίρες
- την απόσταση γης - ήλιου
- Το κλίμα της περιοχής
- Την ηλιακή απόκλιση³

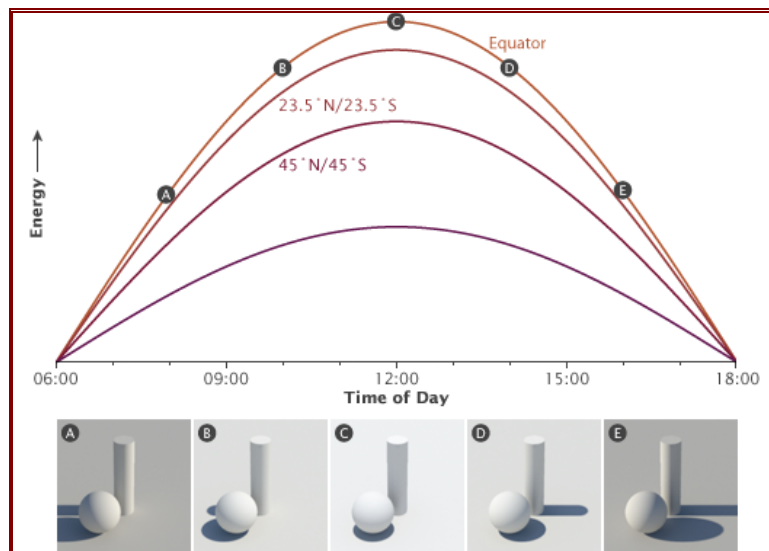
¹ ένα γωνιακό σύστημα συντεταγμένων για τον προσδιορισμό των θέσεων στον ουρανό. Το αζιμούθιο μετριέται σε μοίρες με τη φορά των δεικτών του ρολογιού από το βορρά ως το σημείο του ορίζοντα ακριβώς κάτω από το αντικείμενο. Παίρνει τις τιμές 0-360.

² Το ηλιακό υψόμετρο μετριέται κάθετα από αυτό το σημείο του ορίζοντα μέχρι το αντικείμενο με φορά από κάτω προς τα πάνω. Εκφράζεται σε μοίρες και παίρνει τις τιμές 0-90.

³ μέτρο της ουράνιας θέσης. Η απόκλιση είναι ανάλογη με το γεωγραφικό πλάτος στην επιφάνεια της γης και μετράει τη γωνιακή μετακίνηση βόρεια ή νότια από την

- Το υψόμετρο της περιοχής
- Η εποχή του έτους
- Η κλίση και η διεύθυνση της επιφάνειας αναφορικά με τον ήλιο.

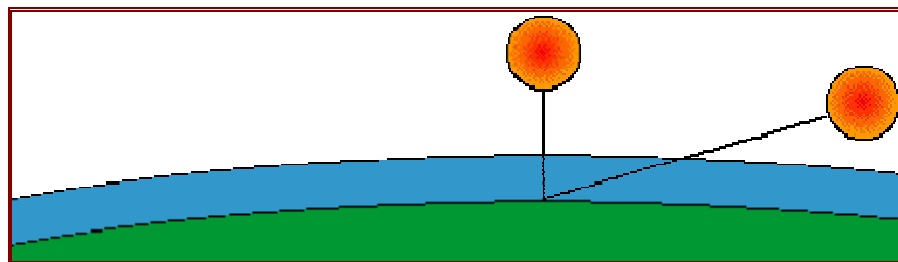
Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη ποικίλει εξαιτίας της κίνησης του ήλιου. Η διαφορά αυτή εξαρτάται από την ώρα της ημέρας και την εποχή.



Εικόνα 2.6 : συσχέτιση ενέργειας με γεωγραφικό πλάτος και ώρα της ημέρας.

πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov>

Σε γενικές γραμμές, μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία παρατηρείται κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών, τη στιγμή δηλαδή που ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της διαδρομής του και οι ηλιακές ακτίνες ακολουθούν τη συντομότερη διαδρομή μέσα από την ατμόσφαιρα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:



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

Εικόνα 2.7: σε χαμηλότερο ηλιακό υψόμετρο η ακτίνα διανύει μεγαλύτερη απόσταση στην ατμόσφαιρα

πηγή: [energy.saving.nu / solarenergy/energy.shtml](http://energy.saving.nu/solarenergy/energy.shtml) [solarenergy / energy](http://solarenergy.com/energy)

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, ποικίλει στη διάρκεια του έτους από μία ελάχιστη μέση τιμή της τάξης των 0,8 kWh/m² την ημέρα στη Βόρεια Ευρώπη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, έως και 4 kWh/m² το καλοκαίρι στην ίδια περιοχή. Οι διαφορές αυτές μειώνονται σε περιοχές που πλησιάζουν στον ισημερινό.

Η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση του τόπου και είναι υψηλότερη σε περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα προς τον ισημερινό. Έτσι, η μέση ετήσια παγκόσμια ακτινοβολία που δέχεται μια επίπεδη οριζόντια επιφάνεια, ανέρχεται σε περίπου. 1000 kWh/m² στην Κεντρική Ευρώπη, την Κεντρική Ασία και τον Καναδά και φθάνει περίπου σε 1700 kWh/m² στην Μεσόγειο και σε περίπου. 2200 kWh/m² στις περισσότερες περιοχές του ισημερινού σε χώρες της Αφρικής, και στις έρημους της Αυστραλίας. Σε γενικές γραμμές, οι εποχιακές και γεωγραφικές διαφορές στην ακτινοβολία είναι σημαντικές (όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί) και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για όλες τις εφαρμογές ηλιακής ενέργειας.

	Νότια Ευρώπη	Χώρες της Κεντρικής Ευρώπης	Βόρεια Ευρώπη	Καραϊβική
Ιανουάριος	2,6	1,7	0,8	5,1
Φεβρουάριος	3,9	3,2	1,5	5,6
Μάρτιος	4,6	3,6	2,6	6,0
Απρίλιος	5,9	4,7	3,4	6,2
Μάιος	6,3	5,3	4,2	6,1
Ιούνιος	6,9	5,9	5,0	5,9
Ιούλιος	7,5	6,0	4,4	6,0
Αύγουστος	6,6	5,3	4,0	6,1
Σεπτέμβριος	5,5	4,4	3,3	5,7
Οκτώβριος	4,5	3,3	2,1	5,3
Νοέμβριος	3,0	2,1	1,2	5,1
Δεκέμβριος	2,7	1,7	0,8	4,8
ΕΤΟΣ	5,0	3,9	2,8	5,7

Πίνακας 2.2: ετήσια ποσά ηλιακής ακτινοβολίας σε kWh/m² στο έτος σε διάφορα σημεία του πλανήτη.

πηγή: [energy.saving.nu / solarenergy/energy.shtml](http://energy.saving.nu/solarenergy/energy.shtml) [solarenergy / energy](http://solarenergy.com/energy)

Αναφορικά με το κλίμα μιας περιοχής και το πώς αυτό επηρεάζει την εισερχόμενη ακτινοβολία, πρέπει να αναφερθεί πως ο κυριότερος παράγοντας είναι τα σύννεφα. Έτσι οι νεφοσκεπείς χώρες λαμβάνουν κατά τη διάρκεια του έτους λιγότερη ακτινοβολία. Ο σχηματισμός όμως των νεφών επηρεάζεται και από τοπικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά, όπως τα βουνά, οι ωκεανοί, καθώς και οι μεγάλες λίμνες. Έτσι, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν οι περιοχές αυτές, μπορεί να διαφέρει από αυτό που λαμβάνουν οι γειτονικές τους περιοχές. Τα βουνά για παράδειγμα, μπορεί να λαμβάνουν μικρότερο ποσό λογικής ακτινοβολίας από παρακείμενους λόφους και πεδιάδες, μιας και σε αυτά λόγω τοπικών συνθηκών θερμοκρασίας, ευνοείται ο σχηματισμός νεφών. Με τον ίδιο μηχανισμό και οι ακτές μπορούν επίσης να δεχθούν μικρότερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας από την ενδοχώρα, εξαιτίας της μεγαλύτερης νέφωσης που παρατηρείται τοπικά από την εξάτμιση του θαλάσσιου υδάτινου όγκου.

Εν κατακλείδι λοιπόν μπορούμε να πούμε πως η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της μέρας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Πράγματι, κατά τις μεσημεριανές ώρες και με καθαρό ουρανό, μια επίπεδη επιφάνεια της κεντρικής Ευρώπης μπορεί να δεχθεί κατά προσέγγιση 1000 W/m², ενώ με συννεφιασμένο ουρανό μόλις 100 W/m² ακόμα και το μεσημέρι!

2.1.5. Χρησιμότητα εκτίμησης εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας.

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι η κινητήριος δύναμη για μια σειρά φυσικών και βιολογικών διεργασιών στα γήινα συστήματα. Η ακριβής λοιπόν γνώση του ποσού της εισερχόμενης ακτινοβολίας σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, θα ήταν χρήσιμη σε μια σειρά εφαρμογών σε διάφορα πεδία όπως η **γεωργία**, η **διαχείριση πόρων** αλλά επίσης χρήσιμη στους πολιτικούς μηχανικούς και σε οικολογικές έρευνες (<http://webhelp.esri.com/>). Η παραπάνω γνώση μπορεί επίσης να βρει εφαρμογή σε μια σειρά **οικονομικών δραστηριοτήτων** του ανθρώπου, όπως το real estate, επενδύσεις στην ενέργεια (φωτοβολταϊκά συστήματα, ηλιακοί θερμοσίφωνες κ.ά.), διάφορες αθλητικές δραστηριότητες (σκι, canoe kayak) κ.ά.

Για παράδειγμα, η γνώση του ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια περιοχή σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη λήψη απόφασης για την επιλογή της περιοχής για χιονοδρομικό κέντρο.

Επίσης μπορούμε να αποφασίσουμε για την καλλιέργεια φυτών σε περιοχή της οποίας το μικροκλίμα ευνοεί την καλύτερη δυνατή ανάπτυξή τους. Έτσι περιοχές σε πρηνή βουνών που οι μετρήσεις μας δείχνουν πως έχει περιορισμένη ηλιοφάνεια, μπορούν να καλλιεργηθούν με σκιάφυτα ή αλλά φυτά που παρουσιάζουν καλό εγκλιματισμό στην εν λόγω περιοχή και μπορούν να αποδώσουν το μέγιστο της παραγωγής σε αντίθεση με άλλα φυτά που δεν ευνοούνται από τις συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού.

Η γνώση της εισερχόμενης ακτινοβολίας σε σημείο ή περιοχή, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία χαρτών που θα μας δίνουν σημαντικές πληροφορίες στην πρόβλεψη και στην συμπεριφορά δασικών πυρκαγιών. Θα αποτελέσει επίσης ένα πολύτιμο εργαλείο στην λήψη απόφασης για την καλύτερη μέθοδο αντιμετώπισής της.

Χρήσιμη επίσης η γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας για τους πολιτικούς μηχανισμούς και τους αρχιτέκτονες για τον σχεδιασμό στον αστικό ιστό βιοκλιματικών κατοικιών και κτηρίων, έτσι ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη τοποθεσία που θα δίνει τα μεγαλύτερα δυνατά οφέλη στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Ειδικά στον τομέα της ενέργειας μπορούμε να δούμε και άλλες χρήσεις όπως αυτές των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ηλιακών θερμοσιφώνων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα, να αποθηκευτεί ή να διατεθεί – πωληθεί στο υπάρχον δίκτυο διανομής. Η τελευταία εφαρμογή ξεκίνησε στον Ελλαδικό χώρο μετά το νόμο 3468 /2006, σύμφωνα με τον οποίο δίνεται και σε ιδιώτες η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές όπως τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες, τα υδροηλεκτρικά έργα κ.ά.. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα σχεδιάστηκαν τη δεκαετία του `50 για διαστημική χρήση και αναπτύχθηκαν λίγο αργότερα με τις πετρελαϊκές κρίσεις (Σουέζ, Αραβικό Εμπάργκο, Ιρανική επανάσταση και πόλεμος Ιράν –Ιράκ, εισβολή του κόλπου κ.ά.). Ειδικά στη χώρα μας με τη μεγάλη ηλιοφάνεια, η χρήση των συστημάτων αυτή θα μπορούσε να είναι ιδανική. Παρόλα που η χώρα μας ξεκίνησε από τις πρώτες την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών με τη δημιουργία ενεργειακού πάρκου της ΔΕΗ στην Κύθνο το 1983, παρέμεινε για πολλά χρόνια στην τελευταία θέση εγκατεστημένης ισχύος στην

Ευρωπαϊκή Ένωση και μόλις τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται μια κινητικότητα προς αυτή την κατεύθυνση. Πράγματι, στο τέλος του 2009 η εγκατεστημένη ισχύς στη χώρα μας πλησίαζε τα 90 kWp και αναμένεται να φτάσει τα 200 kWp στο τέλος του 2010!



Εικόνα 2.8: εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό πάρκο της ΔΕΗ 100 KWp στην Κύθνο
πηγή <http://www.dei.gr>

Στον επόμενο πίνακα φαίνεται η θέση της χώρας μας μεταξύ των υπολοίπων κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Φωτοβολταϊκά	
Χώρα	2003 (MW)
Γερμανία	410,3
Ολλανδία	45,9
Ισπανία	28
Ιταλία	26
Γαλλία	21,1
Ελβετία	21
Αυστρία	16,8
Νορβηγία	6,6
Βρετανία	5,9
Ελλάδα	4,5
Σουηδία	3,6
Φινλανδία	3,4
Πορτογαλία	2,1
Δανία	1,9

Πίνακας 2.3: εγκατεστημένα MW στην Ε.Ε το 2003

<http://www.energypoint.gr/oikonomika/statistika>

Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν τη σαφέστατη υστέρηση της χώρας μας στον τομέα αυτό, ιδιαίτερα έναντι των χωρών του ευρωπαϊκού βορά, οι οποίες διατηρούν αυτή την πρωτοπορία και μάλιστα κάτω από αντίξοες για αυτές κλιματολογικές συνθήκες. Είναι σαφές πως πρέπει να υπάρξει πολιτική βούληση, ευαισθητοποίηση των πολιτών και σοβαρά κίνητρα ώστε η χώρα μας να αξιοποιήσει στο έπακρο το πλούσιο ηλιακό δυναμικό που διαθέτει.

Αντίστοιχα με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η χώρα μας πρέπει να αναπτύξει την ήδη πολύ καλή τεχνογνωσία που έχει στους ηλιακούς θερμοσίφωνες, κατασκευές δηλαδή που εκμεταλλεύονται τη θερμική ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ζεστού νερού, εξοικονομώντας μεγάλα ποσά ενέργειας. Στην Ελλάδα η διάδοση των ηλιακών συσκευών είναι πολύ εντυπωσιακή: το πρώτο μοντέλο λανσαρίστηκε το 1974, το 1980 υπήρχαν εγκατεστημένα περίπου 150.000 m² συλλεκτών και το 2004 περίπου 3.000.000 m² συλλεκτών. Μέρος της επιτυχίας αυτής των ηλιακών θερμοσιφώνων στην Ελλάδα οφείλεται στα φορολογικά κίνητρα που είχε θεσπίσει το Ελληνικό κράτος. Σήμερα οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χρησιμοποιούνται από περισσότερους από ένα εκατομμύριο καταναλωτές. Μέχρι και τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα ήταν απ' τις κύριες κατασκευάστριες χώρες ηλιακών θερμοσιφώνων. (<http://el.wikipedia.org/wiki/>).

Η εικόνα ενός ηλιακού θερμοσίφωνα με παθητικό σύστημα κυκλοφορίας φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 2.9: τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνα κλειστού κυκλώματος.

πηγή: <http://el.wikipedia.org/wiki/>

Μια άλλη εφαρμογή της εκτίμησης της εισερχόμενης δυνητικής ηλιοφάνειας είναι πάνω στην εξάτμισοδιαπνοή, δηλαδή στο σύνολο των πραγματικών απωλειών νερού από την εξάτμιση των εδαφών και από τη διαπνοή της χλωρίδας (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999). Πράγματι, η φυσική διεργασία της εξάτμισης τροφοδοτείται ενεργειακά από την ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια η γνώση των απωλειών του νερού, σε μια συγκεκριμένη περιοχή από εξάτμιση και διαπνοή έχει ιδιαίτερη σημασία στη διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Επίσης εφαρμογή βρίσκει στην εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών, στις μελέτες κατασκευής και λειτουργίας εγγειοβελτιωτικών έργων, στις μελέτες ταμιευτήρων κ.ά.

Το λιώσιμο επίσης του χιονιού προς τα υδατορεύματα, δηλαδή η χιονοαπορροή, μπορεί να εκτιμηθεί με τη γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε μια περιοχή. Ο ρυθμός που λιώνει το χιόνι την Άνοιξη, έχει μεγάλη σημασία και έχει ενδιαφέρον να παρακολουθηθεί και να προβλεφθεί, μια και το γρήγορο λιώσιμό του μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες και κατολισθήσεις με πιθανή συνέπεια απώλειες ανθρώπινων ζωών.

2.2. Εκτίμηση ακτινοβολίας περιοχής.

Η εκτίμηση της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας, δεν λαμβάνει υπ' όψιν της τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα όπως τη νέφωση και τα αερολύματα που οδηγούν σε διασπορά, διάχυση ανάκλαση κτλ. της ηλιακής ακτινοβολίας όπως θα δούμε αναλυτικά παρακάτω.

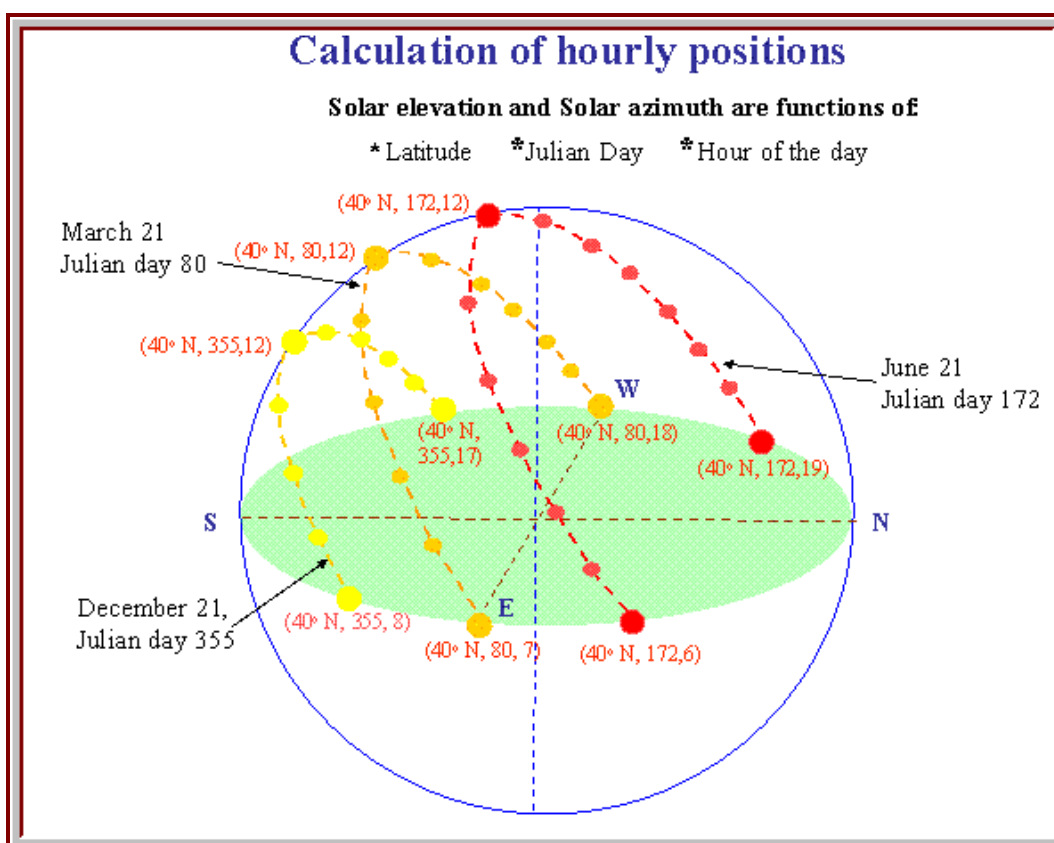
Παρόλα αυτά η γνώση της μπορεί να φανεί χρήσιμη για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση μιας σειράς εφαρμογών, οι οποίες σχετίζονται με διάφορες επιστήμες.

Μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό της πραγματικής ηλιοφάνειας που δέχεται ένα σημείο, μπορούμε να έχουμε μόνο χρησιμοποιώντας τοπικές μετρήσεις που μας δίνουν την πραγματική σκίαση που δέχεται από παρακείμενα εμπόδια.

Ο υπολογισμός αυτός αποτελεί και αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

2.2.1. Υπολογισμός εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας.

Ο υπολογισμός της εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας δηλαδή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην ατμόσφαιρα χωρίς εμπόδια, γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψιν του το υψόμετρο και το αζιμούθιο του ήλιου. Όπως όμως μπορούμε να δούμε και στην παρακάτω εικόνα, ο υπολογισμός του υψόμετρου και του αζιμούθιου είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής, της Ιουλιανής ημέρας του έτους και της ώρας της ημέρας.



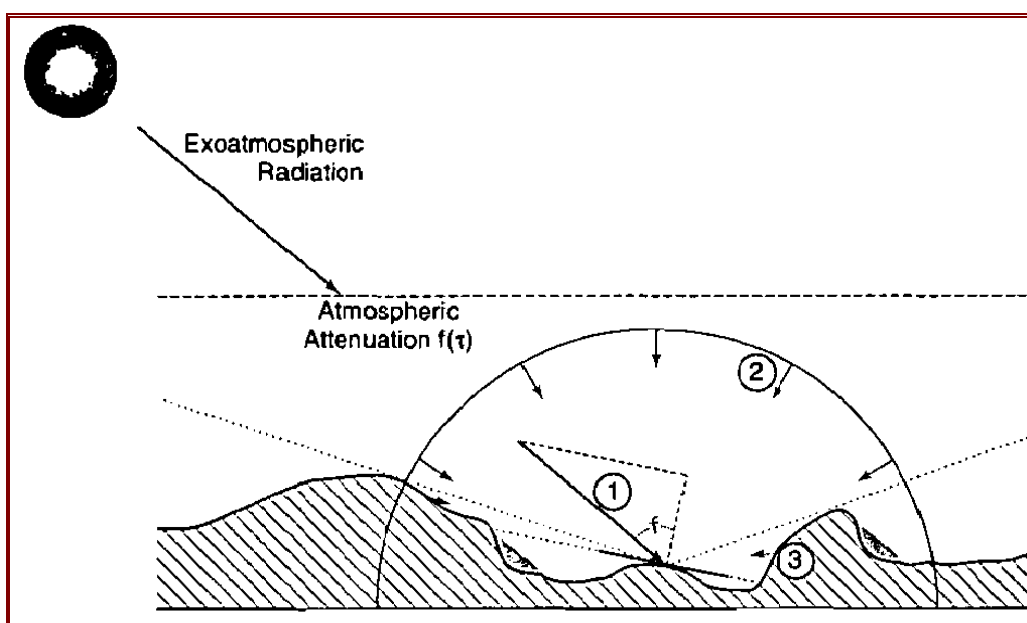
Εικόνα 2.10: παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της εισερχόμενης ακτινοβολίας ανά ώρα
πηγή: Mamassis,2005

Ο υπολογισμός γίνεται με τη βοήθεια του λογιστικού προγράμματος excel, το οποίο για να μας δώσει το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην ατμόσφαιρα ανά ώρα, υπολογίζει αρχικά το υψόμετρο και το ηλιακό αζιμούθιο.

2.2.2. Εκτίμηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σημείου.

Η γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας έχει πρακτική αξία στα σημεία όπου επιτελούνται οι ανθρώπινες δραστηριότητες, δηλαδή στην επιφάνεια της γης. Η γνώση του ποσού της ακτινοβολίας που φτάνει στην εξώτατη ατμόσφαιρα, μας είναι χρήσιμη γιατί η ακτινοβολία που φθάνει σε σημείο πάνω στη γήινη επιφάνεια, αποτελεί κλάσμα της εισερχόμενης δυνητικής ηλιοφάνειας.

Σύμφωνα με τους Dudayah and Rich (1995), η σκίαση που δέχεται ένα σημείο από παρακείμενο λόφο και η γωνία προσπτώσεως του ήλιου στο σημείο αυτό, αποτελούν καθοριστικούς τοπογραφικούς παράγοντες της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το σημείο αυτό.



Εικόνα 2.11: το πρηνές ενός εδάφους δέχεται άμεση ακτινοβολία (1), διάχυτη (2) και ανακλώμενη (3). Η γωνία πρόσπτωσης φωτός είναι f και το ατμοσφαιρικό οπτικό βάθος τ .

πηγή: (Dudayah and Rich,1995).

Η άμεση ακτινοβολία είναι συνάρτηση της ηλιακής ζενιθιακής γωνίας (θ_0)⁴, της εξωατμοσφαιρικής ροής της ηλιακής ακτινοβολίας (I_0), του ατμοσφαιρικού οπτικού

⁴ γωνιακή μέτρηση από ευθεία πάνω (το ζενίθ) μέχρι ένα σημείο στον ουρανό. Η ζενιθιακή γωνία είναι η συμπληρωματική γωνία του υψομέτρου (υψόμετρο = 90° - ζενιθιακή γωνία). Το συνημίτονο της ζενιθιακής γωνίας του ηλίου χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της κάθετης συνιστώσας της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια.

βάθους (τ), της γωνίας προσπτώσεως του ηλιακού φωτός στην κεκλιμένη επιφάνεια (f) και των ατμοσφαιρικών εμποδίων. Η ζενιθιακή γωνία και η εξωατμοσφαιρική ροή της ακτινοβολίας διαφέρουν από μέρα σε μέρα, ενώ το ατμοσφαιρικό οπτικό βάθος εξαρτάται από ατμοσφαιρικούς απορροφητές και διαθλαστές και μπορούν να διαφέρουν σημαντικά στο χώρο και στο χρόνο. Το οπτικό βάθος εξαρτάται επίσης από το υψόμετρο μιας και η πίεση μαζί με τους παράγοντες που απορροφούν ή διαθλούν την ακτινοβολία, μειώνονται με το ύψος.

Δίνοντας στο οπτικό βάθος την τιμή τ_0 , η άμεση ακτινοβολία σε μια επιφάνεια δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\cos i \ I_0 \exp (-\tau_0/\cos \theta_0) = [\cos \theta_0 \cos Slp + \sin \theta_0 \sin Slp \cos (Azm - Asp)] I_0 \times \exp (-\tau_0/\cos \theta_0)$$

όπου

$\cos f$ είναι το συνημίτονο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτίνας στην κεκλιμένη επιφάνεια

I_0 η ροή της εξωατμοσφαιρικής ακτινοβολίας

θ_0 η ηλιακή ζενιθιακή γωνία ($= 90^\circ - Elv$)

Azm το ηλιακό αζιμούθιο

Asp (Aspect)⁵ το αζιμούθιο της κεκλιμένης επιφάνειας

Slp (Slope)⁶ η γωνία της κεκλιμένης επιφάνειας

Σε περιβάλλον καθαρού ουρανού, η παραπάνω εξίσωση μπορεί να δώσει με μεγάλη ακρίβεια την εισερχόμενη ακτινοβολία που δέχεται ένα σημείο μιας κεκλιμένης επιφάνειας.

2.2.2.1. εύρεση τύπου γωνίας πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Η παραπάνω εξίσωση όμως δεν λάμβανε υπ' όψιν της την εκκεντρότητα του ήλιου, δηλαδή την απόσταση της γης από τον ήλιο η οποία μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους. Η απόσταση αυτή κυμαίνεται από $147 \cdot 10^6$ km έως $152 \cdot 10^6$ km.

⁵ η κατεύθυνση που κοιτάζει η επιφάνεια σε σχέση με το Βορρά. Η μέτρηση ακολουθεί τη φορά των δεικτών του ρολογιού και παίρνει τις τιμές 0-360.

⁶ Η κλίση μιας επιφάνειας από τον ορίζοντα του παρατηρητή προς το ζενίθ, σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Μετριέται σε μοίρες και παίρνει τιμές από 0-90

Έτσι η μέση τιμή της D_{\min} είναι $149,6 \cdot 10^6$ km. Ο υπολογισμός της εκκεντρότητας d γίνεται με τη βοήθεια της σχέσης :

$$d = (D_{\min} / D_j)^2$$

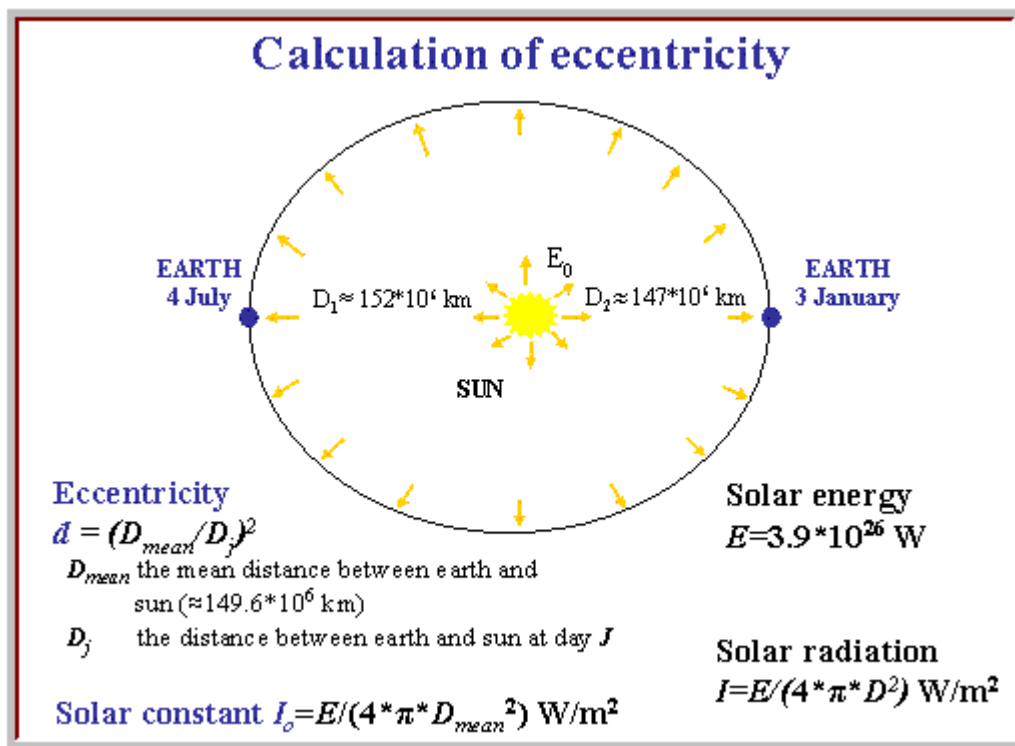
όπου D_j η απόσταση γης ήλιου την Ιουλιανή ημέρα του έτους J .

(Mamassis 2005)

Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή ο υπολογισμός της ηλιακής σταθεράς I_0 , δίνεται από τον τύπο:

$$I_0 = E / (4 \cdot \pi \cdot D_{\text{mean}}^2) \text{ W/m}^2$$

όπου E η συνολική ηλιακή ενέργεια εκφρασμένη σε W και μάλιστα $E = 3.9 \cdot 10^{26}$



Εικόνα 2.12 : υπολογισμός εκκεντρότητας και ηλιακής σταθεράς

πηγή : Mamassis, 2005

Αντιστοίχως το ημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης f της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε μια κεκλιμένη επιφάνεια που αναπτύξαμε και στην προηγούμενη ενότητα γίνεται:

$$\cos f = \sin \text{Az}_m \times \cos \text{El}_v \times \sin (\text{Sl}_p) \times \sin \text{As}_p + \cos \text{Az}_m \times \cos \text{El}_v \times \sin (\text{Sl}_p) \times \cos \text{As}_p + \sin \text{El}_v \times \cos (\text{Sl}_p)$$

Επίσης ο συντελεστής εκκεντρότητας μπορεί να αποδοθεί από τη σχέση:

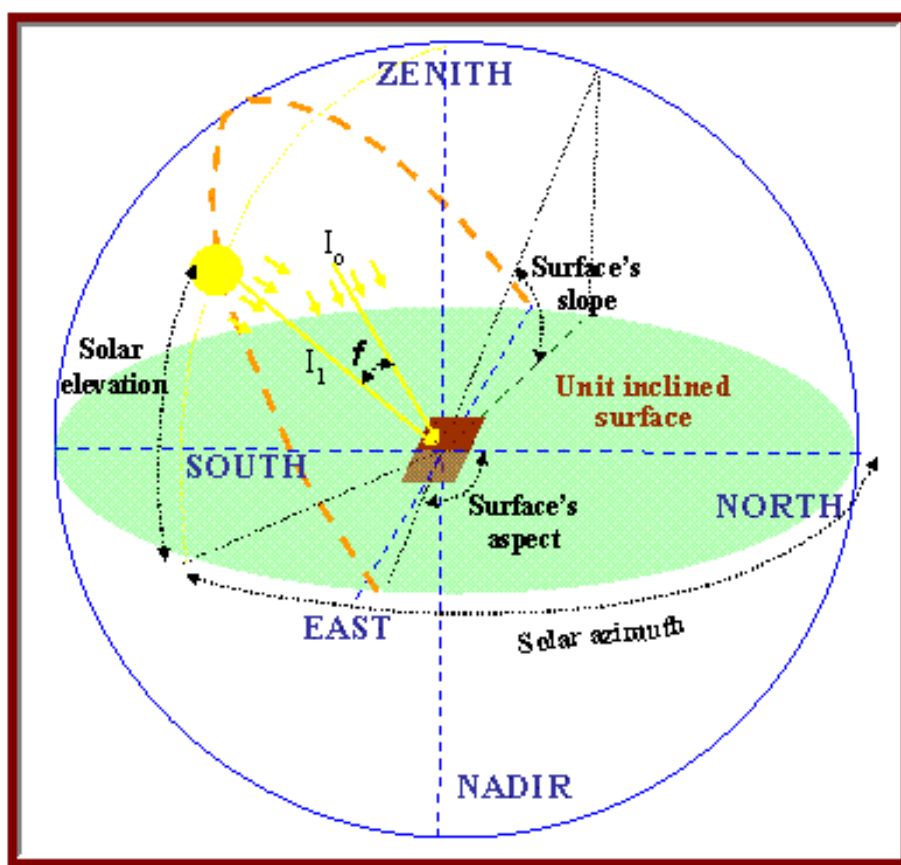
$$d = 1 + 0,034 \times \cos (2 \times \pi \times J / 365 - 0,05)$$

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω η δυναμική ηλιακή ακτινοβολία I , εκφρασμένη σε W/m^2 , που φτάνει σε μια κεκλιμένη γήινη επιφάνεια, εξαρτάται από πλήθος παραγόντων και αποδίδεται με τη σχέση:

$$I = I_0 \times d \times \cos f$$

Με το I_0 να υπολογίζεται σύμφωνα με την βιβλιογραφία στα $1367 W/m^2$.

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε συγκεντρωμένους όλους τους παράγοντες που αναφέρθηκαν και λαμβάνονται υπ' όψιν τους στον υπολογισμό της εισερχόμενης δυναμικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.13: παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της εισερχόμενης δυναμικής ακτινοβολίας.

πηγή : Mamassis, 2005

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται καθαρά η κλίση της επιφάνειας (slope) σε μια συγκεκριμένη περιοχή που μετρείται σε μοίρες με τιμές 0- 90. Γίνεται επίσης κατανοητή η διεύθυνση που «βλέπει» η κεκλιμένη επιφάνεια (aspect). Η γωνία

μετριέται από το Βορρά προς την κατεύθυνση των δεικτών του ρολογιού σε μοίρες έχοντας εύρος τιμών 0-360. Οι επίπεδες επιφάνειες δεν μπορούν να έχουν κατεύθυνση και σε αυτή την περίπτωση παίρνουν την τιμή -1.

3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗ ΧΛΩΡΙΔΑ.

3.1. Γενικά.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πηγή της ζωής στον πλανήτη μας. Παρέχει τη δυνατότητα για φωτοσύνθεση στους αυτότροφους οργανισμούς ενώ παράλληλα δημιουργεί το κατάλληλο θερμικό περιβάλλον για τη διατήρηση των βιολογικών διεργασιών και συμβάλλει αποφασιστικά στην κυκλοφορία του νερού τόσο στην επιφάνεια της γης όσο και μεταξύ γης και ατμόσφαιρας. Γενικά, μπορεί να λεχθεί ότι η ακτινοβολία είναι η πηγή ενέργειας ορίζει την κατανομή της θερμότητας, του νερού και των οργανικών ουσιών στην επιφάνεια της γης.

Χωρίς το φωτισμό δεν νοείται ομαλή εξέλιξη της ζωής των φυτών. Τα χρησιμοποιούν το φως, μέσω της φωτοσύνθεσης, για να εξασφαλίσουν την ανάπτυξη και την επιβίωση τους στο περιβάλλον. Το φως απορροφάται από τις χρωστικές (χλωροφύλλες, καροτινοειδή, φυκοβιλίνες, κρυπτόχρωμα, φλαβονοειδή κτλ), που είναι τα πιο σημαντικά συστατικά της φωτοσύνθεσης. Η χλωροφύλλη, που αποτελεί την κύρια χρωστική της φωτοσύνθεσης, απορροφά κυρίως τα ιώδη και κυανά μήκη κύματος του ορατού φωτός (400-500nm), καθώς επίσης και τα ερυθρά (650-700 nm), ενώ αντανακλά το πράσινο φως, γι αυτό τα φυτά φαίνονται πράσινα (Καράταγλης, 1999).

Το φως είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει καθοριστικά την αύξηση και την ανάπτυξη του φυτού (φωτοσύνθεση, φωτοτροπισμός, διαπνοή, αναπνοή κτλ).

Σε συνθήκες έλλειψης φωτισμού η λειτουργία της φωτοσύνθεσης αναστέλλεται, η χλωροφύλλη δεν αναπτύσσεται και αυτή που υπάρχει αποσυντίθεται. Γενικά τα φυτά χάνουν την κανονική μορφή και το σχήμα τους και ονομάζονται εκχλοιομένα.

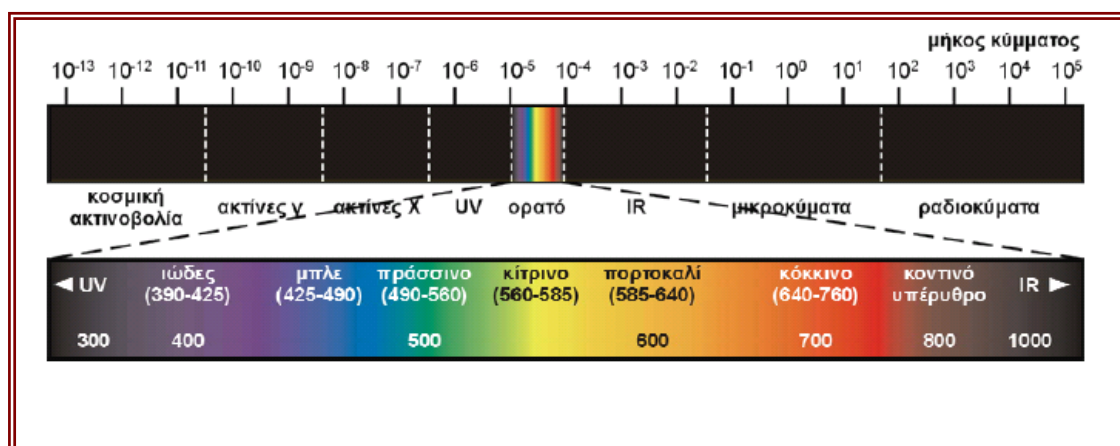
Για την ανάπτυξη των φυτών μας ενδιαφέρει κυρίως το φάσμα της ακτινοβολίας, η ένταση και η διάρκειά της (Μαυρογιαννόπουλος, 1990)

Η ένταση (ως πυκνότητα φωτονιακής ροής), εκφράζει την ποσότητα της ακτινοβολίας δηλαδή τον αριθμό των φωτονίων που προσπίπτει σε μία επιφάνεια στη

μονάδα του χρόνου. Μετράται σε μmol φωτονίων ($\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), όπου $1 \text{ mol} = 6,023 \cdot 10^{23}$ (φωτόνια). Η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Η ένταση (ως ενέργεια της ακτινοβολίας), εκφράζει την ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτει σε μια επιφάνεια στη μονάδα του χρόνου και μετράται σε μονάδες ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου ή σε μονάδες ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας

Η φασματική σύσταση (ποιότητα του φωτός), εκφράζει τη σχετική κατανομή των φωτονίων στις διάφορες φασματικές περιοχές. Συνήθως εκφράζεται με τη βοήθεια φάσματος (δηλ. γραφικής παράστασης της κατανομής των φωτονίων στα διάφορα μήκη κύματος), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.1: φασματική ανάλυση ορατής ακτινοβολίας

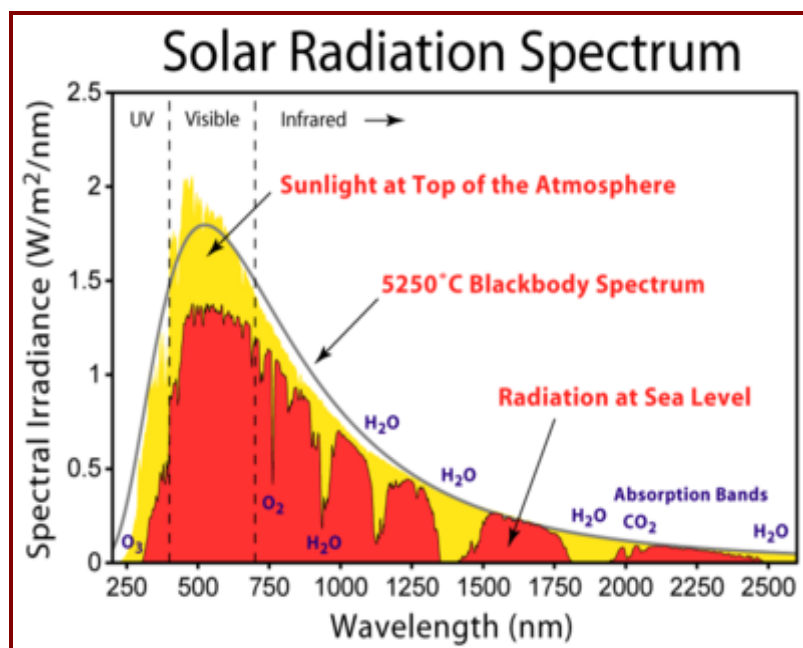
πηγή: <http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/>

Οι διάφορες περιοχές του φάσματος στα μικρά μήκη κύματος χαρακτηρίζονται ως υπεριώδης (UV), ορατή, φωτοσυνθετικά ενεργή (PAR) και υπέρυθρη (IR).

3.2. Χαρακτηριστικά της Ηλιακής Ακτινοβολίας.

Η φωτεινή ενέργεια που εκλύεται από τον ήλιο προέρχεται από πυρηνικές αντιδράσεις, κυρίως από τη μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο. Κατά τη μετατροπή αυτή χάνεται σημαντική ποσότητα μάζας, γεγονός που προκαλεί την απελευθέρωση τρομακτικών ποσών ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στο εξώτατο όριο της

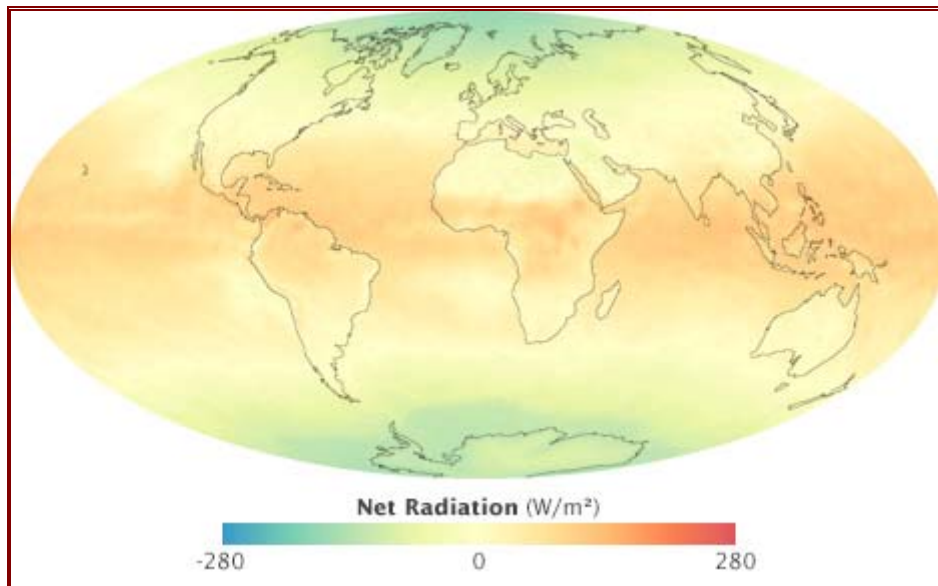
γήινης ατμόσφαιρας (ηλιακή σταθερά – solar constant) είναι ίση με $1,39\text{KW}/\text{m}^2$. (Geiger 1965). Από το ποσό αυτό μόνο ένα ποσοστό 47%, κατά μέσο όρο, φτάνει στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 3.2: φασματική κατανομή της ηλιακής ενέργειας στην εξώτατη ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της θάλασσας.

πηγή: <http://atmoz.org>

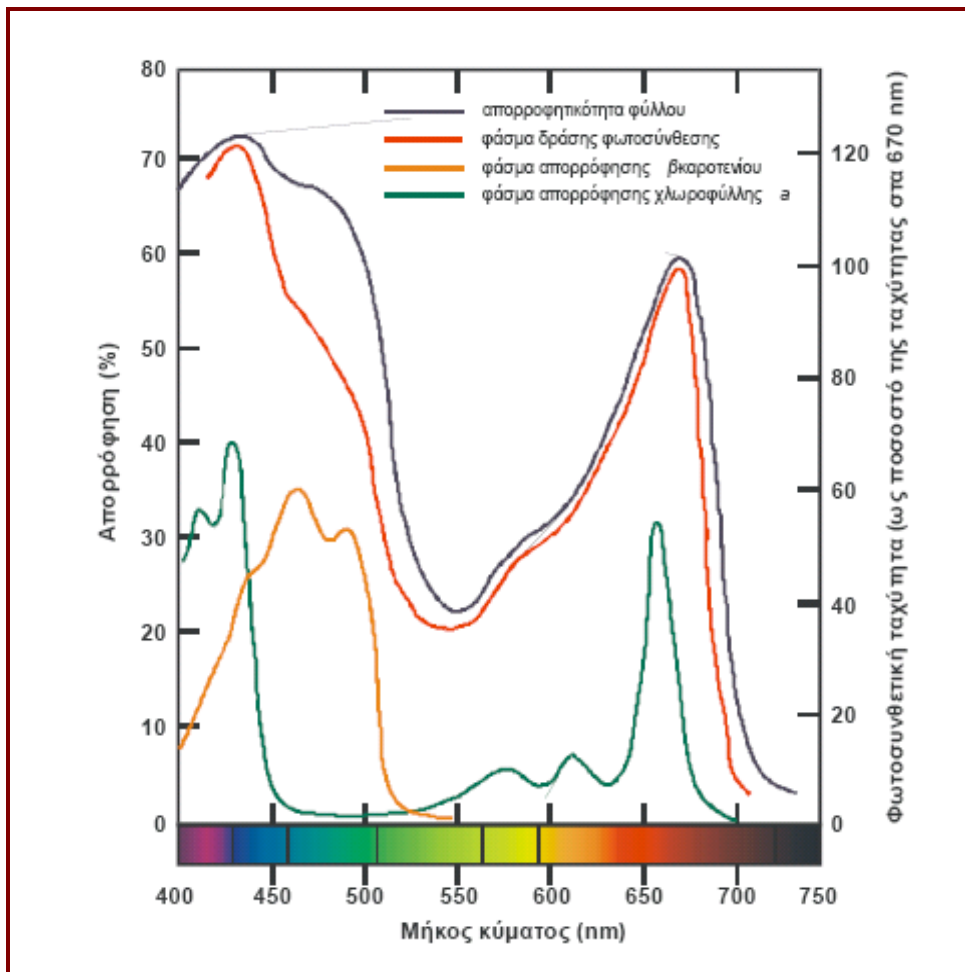
Οι απώλειες οφείλονται κατά μεγάλο ποσοστό σε αντανάκλαση στην ανώτερη ατμόσφαιρα από τα σύννεφα προς στο διάστημα ενώ παράλληλα ορισμένα μήκη κύματος απορροφώνται από τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας, όπως θα αναφερθεί εκτενέστερα παρακάτω. Το κλάσμα της ηλιακής σταθεράς που φθάνει σε ένα ορισμένο σημείο της υδρογείου είναι συνάρτηση όχι μόνο της νέφωσης που επικρατεί, αλλά και του γεωγραφικού πλάτους και του υψομέτρου της περιοχής, δηλαδή παραγόντων οι οποίοι καθορίζουν την απόσταση που τελικά θα διανύσουν οι ηλιακές ακτίνες. Για το λόγο αυτό οι περιοχές κοντά στον Ισημερινό (μικρό γεωγραφικό πλάτος, μειωμένη νέφωση) δέχονται υψηλότερα κλάσματα της ηλιακής σταθεράς (μέχρι 70%) από τις περιοχές σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Η κατανομή της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης, φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.3: κατανομή ηλιακής ενέργειας στον πλανήτη.

πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance>

Η φασματική κατανομή της ηλιακής ενέργειας είναι χαρακτηριστική και ενδεικτική της σημασίας της για τις βιολογικές διεργασίες. Η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές της (περίπου το 50% της ολικής ενέργειας) σε μήκη κύματος μεταξύ 400-750 nm, όπου συμπεριλαμβάνεται η ορατή ακτινοβολία, καθώς και η ακτινοβολία που είναι ενεργή για φωτοσύνθεση. Η φασματική αυτή κατανομή αποδίδεται από τα φάσματα απορρόφησης και αφορούν στον τρόπο με τον οποίο ένα μόριο απορροφά φωτόνια σε μια περιοχή μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας



Εικόνα 3.4: φάσμα απορρόφησης β-καροτενίου, χλωροφύλλης. Το φάσμα δράσης της χλωροφύλλης συμπίπτει με τη απορροφητικότητα της φυλλικής επιφάνειας
 πηγή: <http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/>

Η ηλιακή ακτινοβολία διακρίνεται σε ακτινοβολία μικρού και μεγάλου μήκους κύματος. Η ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος εκτείνεται σε μήκη κύματος 200-4.500 nm, ενώ η μεγάλη μήκους κύματος μεταξύ 3.000-100.000 nm. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο ειδών ακτινοβολίας έγκειται στη θερμοκρασία των σωμάτων από τα οποία προέρχεται ως θερμικές εκπομπές. Έτσι, η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος αντιστοιχεί στη θερμική εκπομπή σωμάτων με θερμοκρασίες γύρω στους 300 °K δηλαδή σε θερμοκρασίες φυσικών σωμάτων στην επιφάνεια της γης. Αντίθετα, η ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος εκπέμπεται από σώματα με θερμοκρασίες γύρω στους 6600 °K, ανάλογες δηλαδή με εκείνες που επικρατούν στην επιφάνεια του Ήλιου.

Τα μήκη κύματος όπως και οι επιδράσεις της κάθε περιοχής του φάσματος στη βιολογία των φυτών, συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα :

Περιοχή φάσματος	λ (nm)	% ολικής ενέργειας					Είδη επιδράσεων
		φωτοενεργειακές	φωτορρυθμιστικές	θερμικές	καταστρεπτικές	ασήμαντες	
Υπεριώδης	290-380	0-4	ασήμαντη	μέτρια	ασήμαντη	σημαντική	
Φωτοσυνθετικά ενεργή	380-710	21-46	σημαντική	σημαντική	σημαντική	μέτρια	
Υπέρυθρη Μεγάλου μήκους κύματος	710-4000 > 4000	50-79	ασήμαντη	ασήμαντη	σημαντική	ασήμαντη	

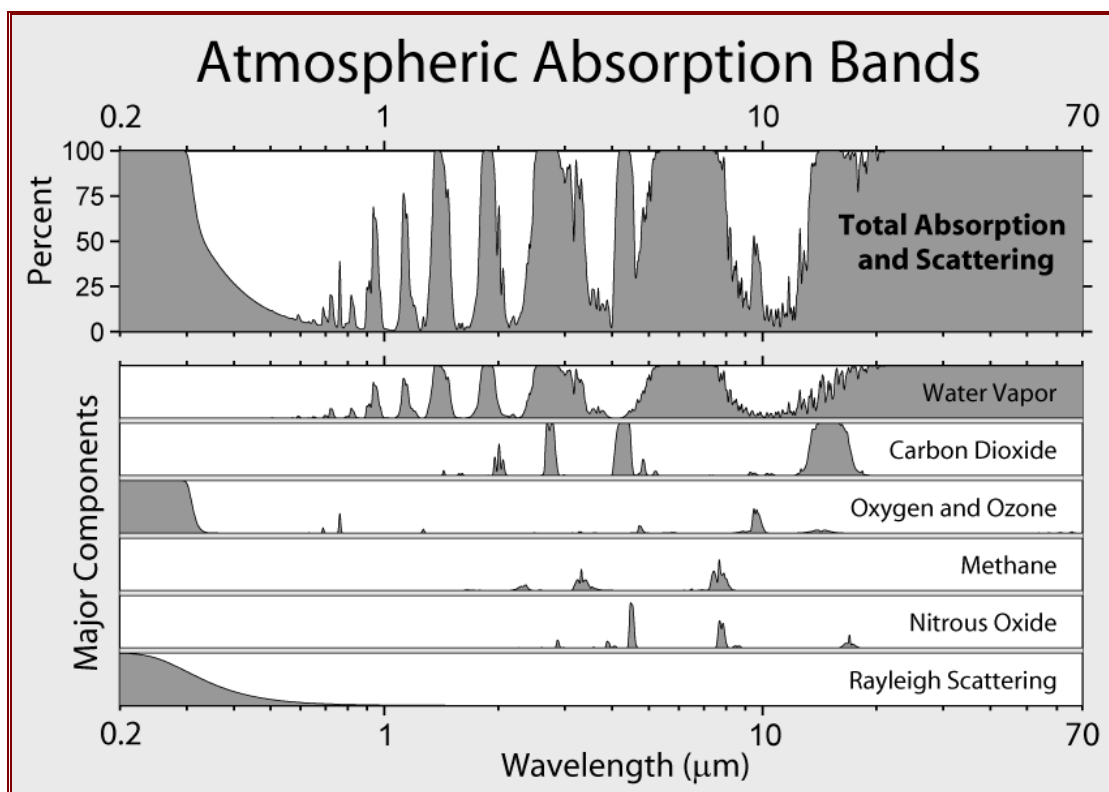
Πίνακας 3.1: σημαντικότητα της επίδρασης της περιοχής φάσματος του φωτός στη βιολογία των φυτών.

πηγή: Ross,1975

Η ακτινοβολούσα ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της γης για τα διάφορα μήκη κύματος διαφέρει αρκετά από την αντίστοιχη στην εξώτατη ατμόσφαιρα. Αυτό οφείλεται στην απορρόφηση ή σκεδασμό των διαφόρων περιοχών του φάσματος από συστατικά της ατμόσφαιρας. Εξαιρετική βιολογικής σημασίας είναι ο ρόλος του όζοντος, του διοξειδίου του άνθρακα και των υδρατμών. Το στρώμα του ατμοσφαιρικού όζοντος απορροφά δραστικά την υπεριώδη ακτινοβολία εξουδετερώνοντας με τον τρόπο αυτό τις καταστρεπτικές της επιδράσεις στους ζωντανούς ιστούς. Παράλληλα, το στρώμα του όζοντος, αλλά κυρίως οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας απορροφούν σημαντικά ποσά υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία σε μεγάλες δόσεις μπορεί επίσης να δημιουργήσει προβλήματα σε βιολογικό υλικό.

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τα φάσματα απορρόφησης της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας από τα αέρια του θερμοκηπίου. Σε περίπτωση που η μαύρη

σκίαση εκτείνεται από το 0 έως το 1, το διάγραμμα δείχνει ότι σε αυτό το μήκος κύματος η ενέργεια απορροφάται πλήρως.



Εικόνα 3.5: φάσμα απορρόφησης της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας από τα αέρια του θερμοκηπίου.

πηγή: <http://www.globalwarmingart.com>

3.3. Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στην ανάπτυξη των φυτών.

Η φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών μπορεί να παρεμποδιστεί από την επίδραση δυσμενών περιβαλλοντικών παραγόντων, ικανών να καταπονήσουν τα φυτά. Η σημασία της καταπόνησης των φυτών είναι πολύ σημαντική στη γεωργική παραγωγή αφού μπορεί να υποβαθμίσει ποσοτικά και ποιοτικά το γεωργικό προϊόν, να προκαλέσει οικονομικές δημογραφικές και ανθρωπιστικές συνέπειες, και να εγείρει θέματα υγιεινής των γεωργικών προϊόντων και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Οι κυριότεροι παράγοντες καταπόνησης των φυτών φαίνονται ταξινομημένοι στον παρακάτω πίνακα :

Αβιοτικοί			Βιοτικοί
Φυσικοί	Χημικοί	Ανθρωπογενείς	
Ακτινοβολία (έλλειψη, περίσσεια, UV ακτινοβολία)	Θρεπτικά συστατικά – εδαφικό περιβάλλον (έλλειψη, περίσσεια, μη ισορροπημένη σύσταση, αλατότητα, βαρέα μέταλλα, όξινο pH, βασικό pH)	Ρύπανση , υποβάθμιση εδαφών, πυρκαϊές, φυτοφάρμακα, ιονίζουσες ακτινοβολίες, ηλεκτρομαγνητικά πεδία	Φυτά (επικάλυψη, αλληλοπάθεια, παρασιτισμός)
Θερμοκρασία (υπερθέρμανση, ψύχος, παγετός)	Αέριο περιβάλλον (έλλειψη οξυγόνου, CO ₂)		Παθογόνα Ιοί Μύκητες Βακτήρια
Υδατικό περιβάλλον (ξηρή ατμόσφαιρα, ξηρό έδαφος, κατάκλιση)			Ζώα Κατανάλωση τραυματισμοί
Μηχανικές βλάβες (άνεμος, κάλυψη, κάλυψη από χιόνι, σχηματισμός πάγου, τραυματισμοί)			

Πίνακας 3.2: ταξινόμηση των κυριότερων παραγόντων καταπόνησης των φυτών.

πηγή: <http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/>

Σε αντίθεση με τα ζώα, η μοναδική επιλογή των φυτών είναι να αντιμετωπίσουν τους παράγοντες καταπόνησης που επικρατούν στο περιβάλλον της ανάπτυξής τους. Για το λόγο αυτό αναπτύσσουν τις εξής στρατηγικές :

1. η στρατηγική της διαφυγής

Επιλέγεται από ετήσιες μορφές ζωής. Τα φυτά αυτά δεν διατηρούν ενεργή βλάστηση την χρονική περίοδο που υφίσταται ο παράγοντας της καταπόνησης.

Παράδειγμα διαφυγής μπορεί να αποτελέσει το φυτό που ολοκληρώνει την ανάπτυξή του κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπου στο συγκεκριμένο περιβάλλον επικρατούν συνθήκες επάρκειας σε εδαφική υγρασία. Δηλαδή το φυτό αυτό έχει επιλέξει τη στρατηγική της διαφυγής όσον αφορά στην ανεπάρκεια νερού στο έδαφος.

2. η στρατηγική της αποφυγής

Τα φυτά που επιλέγουν την αποφυγή διαθέτουν μηχανισμούς μέσω των οποίων αποφεύγουν τον παράγοντα καταπόνησης. Με τον τρόπο αυτό τα φυτά, παρόλο που διαβιούν στο περιβάλλον που υφίσταται παράγοντα καταπόνησης, δεν υφίστανται τις συνέπειες του.

Παράδειγμα αποφυγής μπορεί να αποτελέσει το φυτό που αναπτύσσεται στον υποθάλαμο ενός δάσους. Πρόκειται για ένα σκιάφυτο το οποίο δεν μπορεί να επιβιώσει υπό συνθήκες υψηλών εντάσεων ακτινοβολίας. Δηλαδή το φυτό αυτό έχει επιλέξει τη στρατηγική της αποφυγής όσον αφορά στην υπερβολική ένταση της ακτινοβολίας

3. η στρατηγική της ανθεκτικότητας

Τα φυτά που επιλέγουν τη στρατηγική της ανθεκτικότητας δέχονται την επίδραση του παράγοντα καταπόνησης αλλά δεν υφίστανται βλάβες καθώς διαθέτουν μηχανισμούς αντιστάθμισης. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των φυτικών οργανισμών είναι παρόμοιες με αυτές που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον.

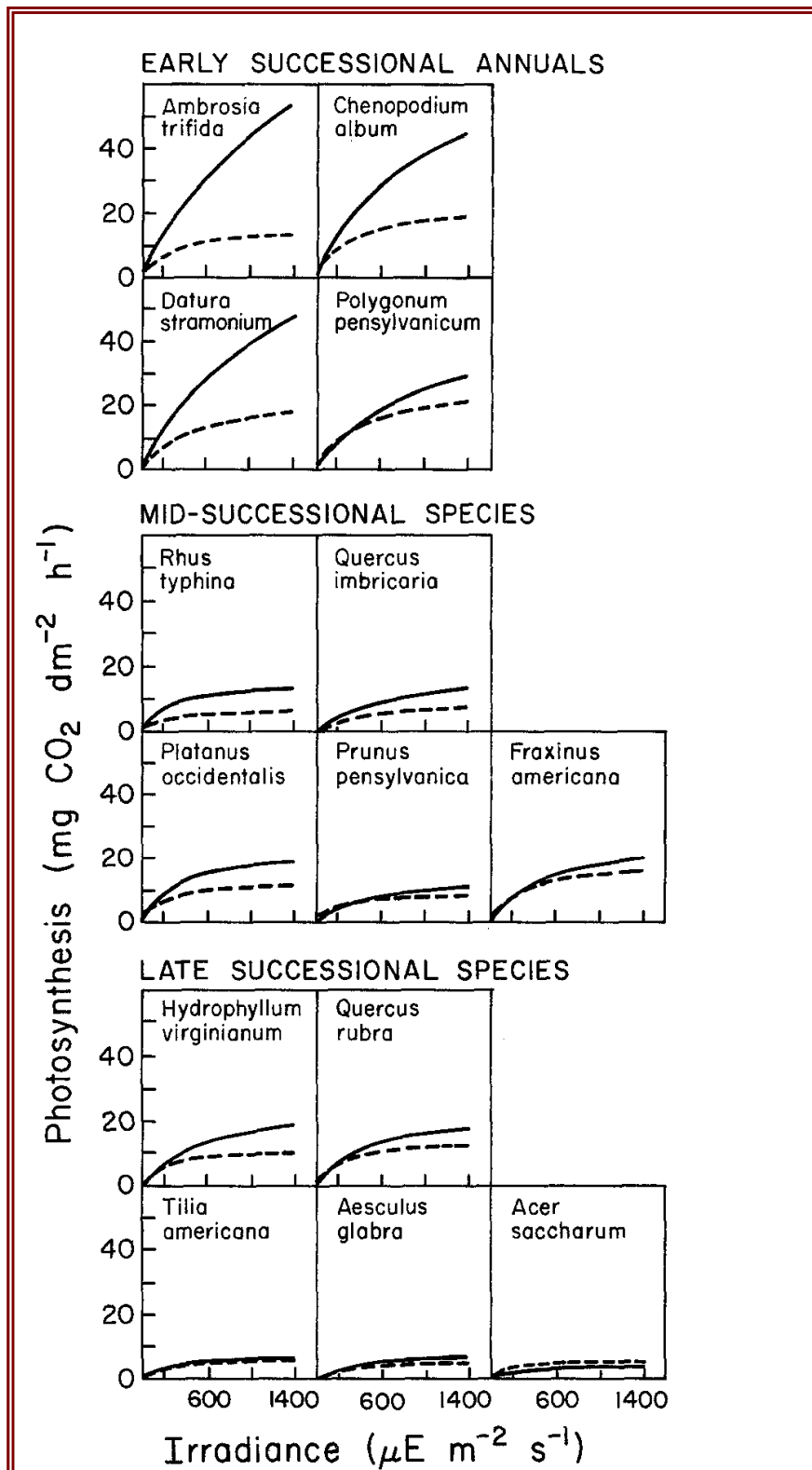
Παράδειγμα ανθεκτικότητας μπορεί να αποτελέσει ένα φυτό που διαβιεί κάτω από συνθήκες ψύχους και έντονης ηλιακής ακτινοβολίας. Το φυτό αυτό διαθέτει αποδοτικούς μηχανισμούς απόσβεσης της περίσσειας ενέργειας η οποία συλλέγεται από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές των φύλλων καθώς και αποτελεσματικούς μηχανισμούς αντιοξειδωτικής προστασίας και επιδιόρθωσης των βλαβών σε ευαίσθητους στόχους των φωτοσυστημάτων. Δηλαδή το φυτό αυτό έχει επιλέξει τη στρατηγική της ανθεκτικότητας όσον αφορά στον συνδυασμό χαμηλών θερμοκρασιών και υψηλής έντασης ακτινοβολίας.

Γενικά μπορούμε να πούμε πως η επίδραση της ακτινοβολίας στην ανάπτυξη των φυτών είναι καθοριστική και μάλιστα η φωτοσυνθετική δραστηριότητα διαφέρει ανάλογα με το είδος του φυτού και τις συνθήκες του.

Πράγματι πειραματικά δεδομένα σε 14 φυτά με μικρό, μέσο και μεγάλο βιολογικό κύκλο, που αναπτύχθηκαν σε ηλιόλουστο περιβάλλον και σε συνθήκες σκίασης, έδειξαν πως η φωτοσυνθετική δραστηριότητά τους είχε ως εξής:

Τα φυτά μικρού βιολογικού κύκλου όπως ο Ντάτουρας (*Datura stramonium*), το Χηνοπόδι (*chenopodium album*), το Πολύγωνο (*polygonum sp*) κά. μεγάλωσαν πολύ καλύτερα σε περιβάλλον άπλετου φωτισμού δίνοντας υγιή και εύρωστα φυτά.. Αντίθετα, τα φυτά μεγάλου βιολογικού κύκλου όπως το πουρνάρι (*Quercus rubra*) ή ο Σφένδαμος (*Acer sp*), δεν παρουσίασαν μεγάλες διαφορές στην ανάπτυξή τους κάτω από οποιασδήποτε συνθήκες φωτισμού ή σκίασης.

Η ανταπόκριση των φυτών σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Εικόνα 3.6: καμπύλες φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε διάφορα μήκη κύματος φωτός, για φυτά μικρού, μεσαίου και μεγάλου βιολογικού κύκλου, σε συνθήκες άπλετου φωτισμού (συνεχής γραμμή) και σε συνθήκες έλλειψης φωτισμού ισοδύναμου με το 1% της πλήρους ηλιοφάνειας (διάστικτη γραμμή).

Πηγή: (Bazzaz et all, 1982).

Τα παραπάνω αποτελέσματα έδειξαν πως τα φυτά μικρού βιολογικού κύκλου έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται καλύτερα στις διαφορετικές εντάσεις ακτινοβολίας και κατά συνέπεια να καταπονούνται λιγότερο, συμβάλλοντας έτσι στην καλύτερη ανάπτυξή τους. Επιπλέον τα ετήσια φυτά μεταβάλλουν ευκολότερα τις υδατικές τους απαιτήσεις, πετυχαίνοντας έτσι καλύτερη ανάπτυξη.

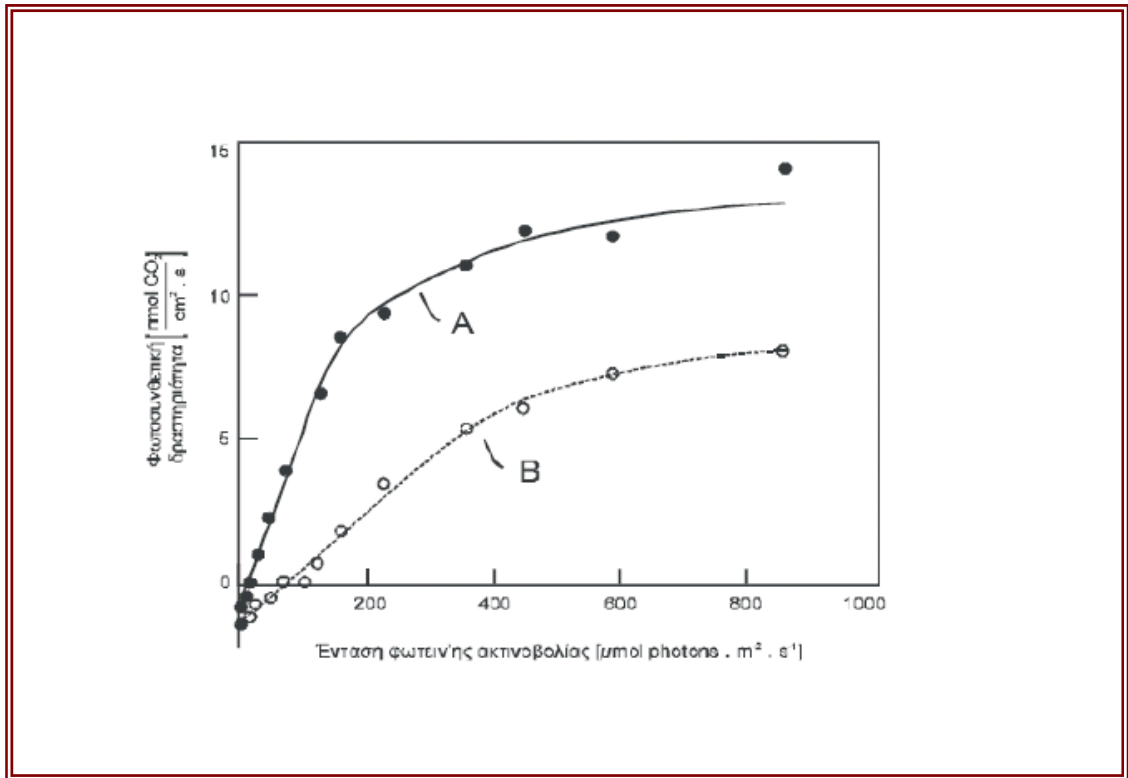
3.3.1. Η ακτινοβολία ως παράγοντας καταπόνησης.

Τα φυτά μπορεί να καταπονηθούν από χαμηλές ή υψηλές εντάσεις ορατής ακτινοβολίας.

Οι χαμηλές εντάσεις ορατής, φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας (PAR), προκαλούν καταπόνηση λόγω ανεπάρκειας της ενέργειας για την επιτέλεση της φωτοσύνθεσης.

Αντίθετα οι υψηλές εντάσεις PAR προκαλούν καταπόνηση λόγω υπερσυσσώρευσης ενέργειας στα φωτοσυστήματα αναφορικά με την ικανότητα φωτοχημικής απόσβεσης της ενέργειας και χρήσης των ανηγμένων παραγώγων στον κύκλο Calvin-Benson. Επιπλέον οι υψηλές εντάσεις υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) προκαλούν καταπόνηση λόγω προσβολής ευαίσθητων στόχων όπως είναι τα λιπίδια των μεμβρανών, οι πρωτεΐνες, τα φωτοχημικά κέντρα και τα νουκλεϊκά οξέα. (Benton J., 1999)

Πράγματι στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε από πειραματικά δεδομένα το ρυθμό φωτοσύνθεσης φύλλων σπανακιού (*Spinacea oleracea*), που εκτέθηκαν σε λευκό φως ($1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) για 4 ώρες (καμπύλη Β).



Εικόνα 3.7: φωτοαναστολή της φωτοσύνθεσης. Ρυθμός φωτοσύνθεσης φύλλων πριν (καμπύλη A) και μετά (καμπύλη B) την έκθεση σε συνθήκες καταπόνησης υπερβολικής ακτινοβολίας.

πηγή: Mohr and Schopfer, 1995

3.4. Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στην βιοποικιλότητα.

3.4.1. Γενικές έννοιες – ορισμοί.

Η ποικιλότητα των ειδών ή **βιοποικιλότητα** όπως αποδίδεται ο συντμημένος όρος της, είναι με απλά λόγια η ποικιλομορφία της ζωής σε όλες τις εκφάνσεις της.

Τελευταία καταμετρήθηκαν πάνω από 12 επίσημα δημοσιευμένοι ορισμοί των εννοιών «βιολογική ποικιλότητα» και «βιοποικιλότητα». Απ' όλους αυτούς, ο περισσότερο ίσως σημαντικός και εύστοχος είναι αυτός που περιελήφθη στη Σύμβαση του Ρίο για τη βιολογική ποικιλότητα. Η Σύμβαση αναφέρει ότι :

Ως «βιολογική ποικιλότητα» ορίζεται / εννοείται η ποικιλομορφία που εμφανίζεται ανάμεσα στους ζωντανούς οργανισμούς όλων των ειδών, των χερσαίων,

θαλασσίων και άλλων υδάτων οικοσυστημάτων και οικολογικών συμπλεγμάτων στα οποία οι οργανισμοί αυτοί ανήκουν. Ο ορισμός περιλαμβάνει την ποικιλότητα μέσα σε ένα είδος όπως κι εκείνη, μεταξύ διαφορετικών ειδών και μεταξύ των οικοσυστημάτων.

Η διατήρηση της βιοποικιλότητας είναι ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο μιας και φυτά, ζώα και άλλοι οργανισμοί είναι οι πηγές τροφής, ένδυσης και προφύλαξης. Ακόμα και στις βιομηχανοποιημένες κοινωνίες που δεν είναι εμφανής η συσχέτιση των παραπάνω, οι άνθρωποι εξαρτώνται έμμεσα από αυτούς τους οργανισμούς.

Γενικά οι αξίες της βιοποικιλότητας είναι δυνατόν να διακριθούν σε δύο μεγάλες και αρκετά αυτόνομες κατηγορίες : αυτήν της **χρηστικής** και εκείνη της **μη χρηστικής αξίας**. (Charman & Hall, 1992). Στην πρώτη κατηγορία της χρηστικής αξίας μπορούμε να διαχωρίσουμε την άμεση και την έμμεση χρηστική αξία. Στην άμεση περιλαμβάνεται :

- η τροφή όπως αυτή παρέχεται στον άνθρωπο σε διάφορες μορφές,
- η ιατρική μιας και σημαντικό ποσοστό φαρμάκων προέρχεται άμεσα η έμμεσα από βιολογικές πηγές,
- ο βιολογικός έλεγχος με την καταπολέμηση επιβλαβών ειδών σε καλλιέργειες με χρήση ειδών που αποτελούν φυσικούς εχθρούς των πρώτων
- τα βιομηχανικά υλικά με τη μεγάλη ποικιλία που παρουσιάζουν χάρη στην άμεση χρήση πρωτογενών βιολογικών υλικών όπως ρητίνες, κόμμι, έλαια κ.ά.
- οι καλλιέργειες αναψυχής, και
- ο οικότουρισμός.

Η έμμεση χρηστική αξία της βιοποικιλότητας πηγάζει από τις πολλαπλές δυσλειτουργίες, οι οποίες συνεισφέρουν ζωτικά στην καλή ποιότητα της ζωής των ανθρώπων. Ορισμένες λοιπόν από τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος που προσφέρει η βιοποικιλότητα είναι οι παρακάτω :

- Ατμοσφαιρική « ρύθμιση »
- Κλιματική « ρύθμιση »
- υδρολογική « ρύθμιση »
- ανακύκλωσης θρεπτικών
- έλεγχος παρασίτων

- φωτοσύνθεση
- επικονίαση
- διαμόρφωση και συντήρηση του εδάφους

Ως **μη χρηστική αξία** θεωρείται η αξία εκείνη της βιοποικιλότητας που σχετίζεται με τους βιολογικούς όρους, ακόμα και όταν αυτή δεν είναι άμεσα ή έμμεσα εκμεταλλεύσιμη. Η μη χρηστική αξία μπορεί να διακριθεί σε επιμέρους στοιχεία: την αξία επιλογής και την κληρονομική αξία που αφορούν στην διατήρηση των ειδών για τις μελλοντικές γενεές και την ενδογενή αξία. «Στην ενδογενή αξία της βιοποικιλότητας αναφέρονται οι οικολογικές, γενετικές, κοινωνικές, οικονομικές, επιστημονικές, εκπαιδευτικές, πολιτιστικές, ψυχαγωγικές και αισθητικές αξίες των στοιχείων που την απαρτίζουν», όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στο εισαγωγικό τμήμα της Σύμβασης του Ρίο. (Convention on Biological Diversity, 1992)

3.4.2. Ηλιακή ακτινοβολία και βιοποικιλότητα φυτικών ειδών.

Όπως είναι γνωστό τα διάφορα φυτικά είδη δια μέσου της εξελικτικής διαδικασίας, έχουν αναπτύξει διάφορες μεθόδους προσαρμογής σε διαφορετικές συνθήκες. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιες ιδανικές συνθήκες για κάθε είδος που του εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή ανάπτυξη.

Οι βασικοί αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ομαλή ανάπτυξη του φυτού είναι:

- οι συνθήκες φωτισμού
 Η ομαλή ανάπτυξη των φυτών προϋποθέτει ένα ελάχιστο επίπεδο φωτισμού, κάτω από το οποίο δεν μπορεί να επιτελεστεί σωστά η λειτουργία της φωτοσύνθεσης με αποτέλεσμα να αναστέλλονται σοβαρές φυσιολογικές λειτουργίες του. Σε ακραίες περιπτώσεις το φυτό παραμένει κίτρινο (εκχλωμμένο) και αδυνατεί να ολοκληρώσει το βιολογικό του κύκλο.
- η θερμοκρασία αέρα και εδάφους

Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα, αφού οι ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας επιδρούν σε διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού και κυρίως στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα με αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή οργανικών προϊόντων. (Καραμπουρνιώτης, 2003)

- η χημική σύσταση και δομή του εδάφους

Αφορά στην επάρκεια και το είδος των θρεπτικών συστατικών, το pH αλλά και στη μηχανική σύστασή του. Σύμφωνα με το νόμο του Liebig, η απόδοση του φυτού καθορίζεται από εκείνο το στοιχείο που βρίσκεται στη μικρότερη ποσότητα. Η οξύτητα του εδάφους (pH) βοηθά στη διαλυτοποίηση ορισμένων ανόργανων στοιχείων που γίνονται με αυτό τον τρόπο.

- η υγρασία

Αναφερόμαστε κύρια στην εδαφική υγρασία που διαλυτοποιεί τα θρεπτικά στοιχεία και εφοδιάζει το φυτό με νερό, το οποίο διασπάται μέσω της φωτολύσης στα φύλλα. Ρυθμιστικό επίσης ρόλο στο υδατικό ισοζύγιο και στην ανταλλαγή των αερίων παίζει και η ατμοσφαιρική υγρασία.

Ειδικότερα για την επίδραση του φωτισμού στην ανάπτυξη των φυτών (αναφερόμαστε στην ένταση και τη φασματική σύσταση), θα πρέπει να πούμε επίσης πως πολλά φυτά έχοντας προσαρμοστεί στο ιδιαίτερο μικροκλίμα και περιβάλλον που ζουν, έχουν αναπτύξει μηχανισμούς που τους επιτρέπουν να επιβιώνουν κάτω από αντίξοες συνθήκες. Διακρίνουμε δύο μικροπεριβάλλοντα:

- Το φωτεινό μικροπεριβάλλον της «σκιάς»

Πολλά φυτά διαβιούν σε περιβάλλον με πολύ χαμηλή ένταση PAR, όπως στον υποόροφο ενός δάσους. Η σκιά χαρακτηρίζεται από φως το οποίο διαφέρει δραματικά από το άπλετο ηλιακό φως τόσο σε ποσότητα φωτονίων όσο και σε φασματική σύσταση.

- Το φωτεινό μικροπεριβάλλον των «ηλιοκηλίδων»

Οι ηλιοκηλίδες προκαλούνται όταν από παροδικές συνήθως ασυνέχειες των υπερκείμενων φυλλωμάτων διέρχεται φως ποσοτικά και ποιοτικά διαφορετικό από αυτό που συνήθως επικρατεί.

Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα από διαφορετικές συνθήκες διαβίωσης των φυτών:

συνθήκες	φωτονιακή ροή ($\mu\text{mol φωτονίων m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	μπλε	πράσινο	κόκκινο	εγγύς IR
άπλετο φως	1700	23	26	26	25
κάτω από φυλλωσιά (LAI=4)	60	4	15	11	70
κάτω από 5 mm εδάφους	17	1	5	17	76
κάτω από 1 m καθαρού νερού	700	30	39	36	5

Πίνακας 3.3: ένταση φωτός και ποσοστά (%) φωτονίων ανά φασματική περιοχή
πηγή: <http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/>

Με βάση την προσαρμογή των φυτών στις παραπάνω συνθήκες φωτισμού, διακρίνουμε δυο κατηγορίες φυτών:

- Τα σκιοφυτά (ή φυτά σκιάς)

Τα φυτά αυτά διαθέτουν προσαρμοστικά χαρακτηριστικά και την ικανότητα εγκλιματισμού σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Η έκθεσή τους σε συνθήκες υψηλών εντάσεων PAR οδηγεί σε καταπόνηση

- Τα ηλιόφυτα (ή φυτά φωτός)

Τα φυτά αυτά αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε συνθήκες άπλετου φωτισμού ενώ σε συνθήκες χαμηλών εντάσεων PAR εμφανίζουν ενεργειακό έλλειμμα. Τα ηλιόφυτα διαθέτουν χαρακτηριστικά προσαρμογής και την ικανότητα εγκλιματισμού ώστε να αποφεύγουν αλλά κυρίως να αντέχουν την επίδραση υψηλών εντάσεων ακτινοβολίας.

Τα φυτά προκειμένου να ξεπεράσουν τις αντίξοες συνθήκες του χαμηλού φωτισμού, χρησιμοποιούν κάποια ή κάποιες από τις στρατηγικές που προαναφέραμε και συγκεκριμένα:

- **τη στρατηγική της διαφυγής**

η οποία επιλέγεται από ετήσιες ή εφήμερες μορφές ζωής. Τα φυτά αυτά ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο μέσα στα στενά όρια της ευνοϊκής περιόδου κατά την οποία δεν υφίσταται σκίαση από υπερκείμενα φυλλώματα

- **τη στρατηγική της αποφυγής**

τα ηλιόφυτα για παράδειγμα διαθέτουν μηχανισμούς αντίληψης της ποιότητας της ακτινοβολίας μέσω των οποίων επάγεται η επιμήκυνση των μεσογονατίων διαστημάτων

- **Η στρατηγική της ανθεκτικότητας**

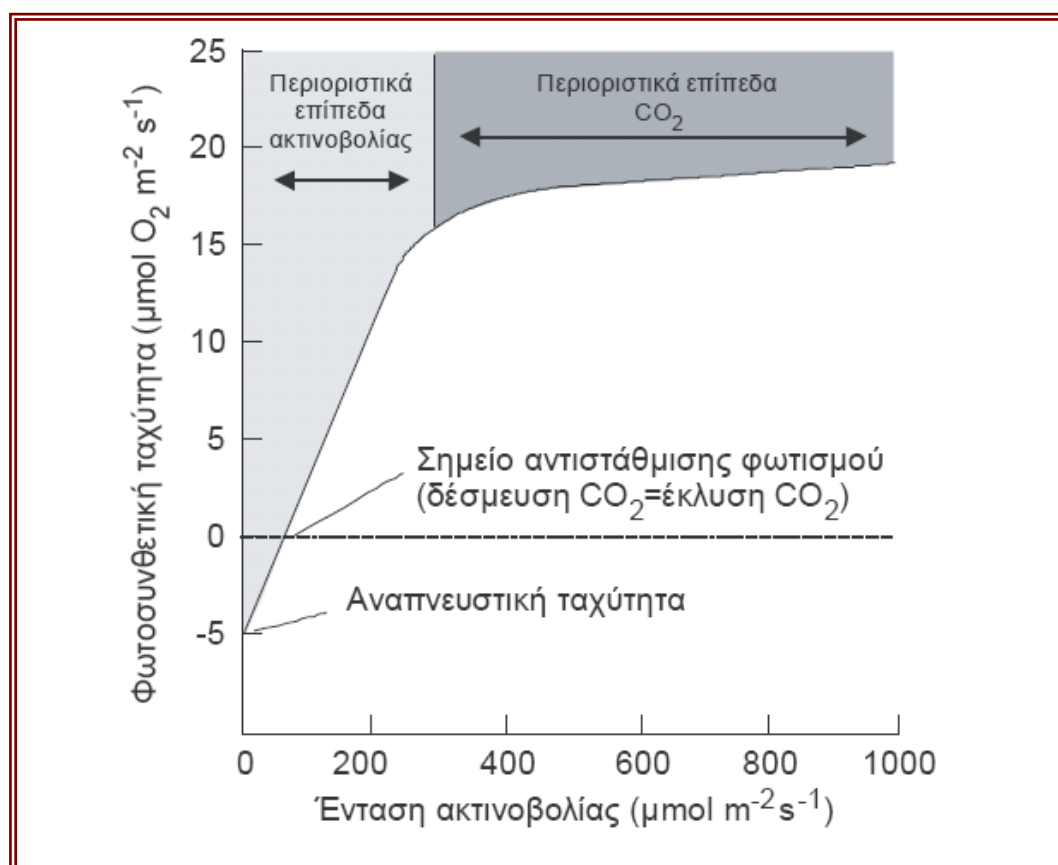
τη στρατηγική αυτή έχουν επιλέξει φυτικοί οργανισμοί οι οποίοι επιβιώνουν σε περιβάλλον χαμηλού φωτισμού, χωρίς ωστόσο να εμφανίζουν συμπτώματα καταπόνησης. Η ανάπτυξη ανθεκτικότητας αποτελεί το προϊόν κατάλληλων μορφολογικών, ανατομικών και βιοχημικών χαρακτηριστικών των φύλλων. Έτσι αναπτύσσουν μια ιδιαίτερη αρχιτεκτονική κατασκευάζοντας «φύλλα σκιάς» με τα οποία επιτυγχάνει την μεγιστοποίηση της εισόδου του φωτός στο μεσόφυλλο ενώ ταυτόχρονα μειώνεται δραστικά η περατότητα με αποτέλεσμα την απορρόφηση όσο το δυνατόν περισσότερων φωτονίων από τις φωτοσυλλεκτικές χρωστικές. Έτσι τα φύλλα αυτά έχουν μικρότερο πάχος, η διευθέτησή τους είναι οριζόντια και έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια από τα φύλλα φωτός.

Με όλους τους παραπάνω μηχανισμούς, τα περισσότερα φυτά καταφέρνουν να συμπληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο. Μάλιστα τα περιοριστικά επίπεδα ακτινοβολίας βρίσκονται σε τόσο χαμηλά επίπεδα (περίπου $300 \text{ mmol/m}^2\text{s}$) όπως μπορούμε να δούμε και στο παρακάτω διάγραμμα, που πρακτικά δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα ανάπτυξης σε σημείο που να έχει επιπτώσεις στην επιβίωση του φυτού.

Στην πραγματικότητα όμως σε περιοχές με μεγάλες διαφορές στην ένταση και την ποιότητα της ακτινοβολίας, καταγράφουμε και διαφορές στα φυτικά είδη που διαβιούν σε αυτές. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν μπορούμε να απομονώσουμε μόνο τον παράγοντα φωτισμό, από τις υπόλοιπες παραμέτρους που είναι υπεύθυνες για την

ανάπτυξη ενός φυτού όπως οι εδαφοκλιματικές συνθήκες κ.ά. που αναφέραμε παραπάνω.

Πράγματι σε περιβάλλον περιορισμένου φωτισμού είναι φυσιολογικό να παρατηρούνται και χαμηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες με τη σειρά τους επιδρούν στη φυσιολογική ανάπτυξη του φυτού.



Εικόνα 3.8: επίδραση της έντασης της ακτινοβολίας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης.

πηγή: <http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/>

Κατά συνέπεια, φυτά που εξελικτικά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς και στρατηγικές επιβίωσης σε δυσμενείς συνθήκες φωτισμού, έχουν καταφέρει λόγω

ανταγωνιστικότητας να επικρατήσουν έναντι άλλων ειδών, που έχουν διαφορετικές εδαφοκλιματικές προτιμήσεις.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – (Case study)

4.1. Γενικά.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση της εισερχόμενης δυνητικής ηλιοφάνειας σε κάποιο σημείο της γήινης επιφάνειας με ιδιαίτερο ενδιαφέρον όπως για παράδειγμα οικονομικό (real estate, οικοτουρισμός κ.ά.), ενεργειακό (εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ, ηλιακών θερμοσιφώνων) κ.ά.

Για το σκοπό αυτό έχει επιλεγεί σημείο στο αστικό ιστό της Αθήνας, και συγκεκριμένα στην περιοχή του Ζωγράφου, μέσα στο χώρο του ΕΜΠ.

Η επιλογή του αστικού περιβάλλοντος έγινε, γιατί σε πολύ μικρή έκταση συναντάμε μεγάλη παραλλακτικότητα αναφορικά με τη σκίαση ενός σημείου από παρακείμενα εμπόδια. Αντίστοιχα, σε άλλες χρήσεις γης όπως για παράδειγμα στις αγροτικές εκτατικές καλλιέργειες, δεν υπάρχει καμία σχεδόν διαφοροποίηση του τοπίου για μεγάλη έκταση (πχ. σε πεδιάδα).

Αντίθετα σε αστικό περιβάλλον, συναντάμε πολλά εμπόδια, όπως πολυκατοικίες και άλλα ψηλά κτήρια, που κατασκευάζονται προκειμένου να εκμεταλλευθούμε στο έπακρο τον οικοδομήσιμο χώρο. Πράγματι η μεγάλη αξία της γης και η κατοχή μικρής κατά μέσο όρο έκτασης γης, οδηγούν στο σχεδιασμό και την κατασκευή τέτοιων κτηρίων με μεγάλο συντελεστή δόμησης, έτσι ώστε ο ωφέλιμος όγκος να προέλθει από το ύψος του κτηρίου και όχι από την επιφάνεια της βάσης. Αυτό όμως επηρεάζει τους παρακείμενους χώρους που δέχονται πολύ μεγαλύτερη σκίαση από αυτή που θα είχαν με την παρουσία χαμηλότερων κτηρίων.

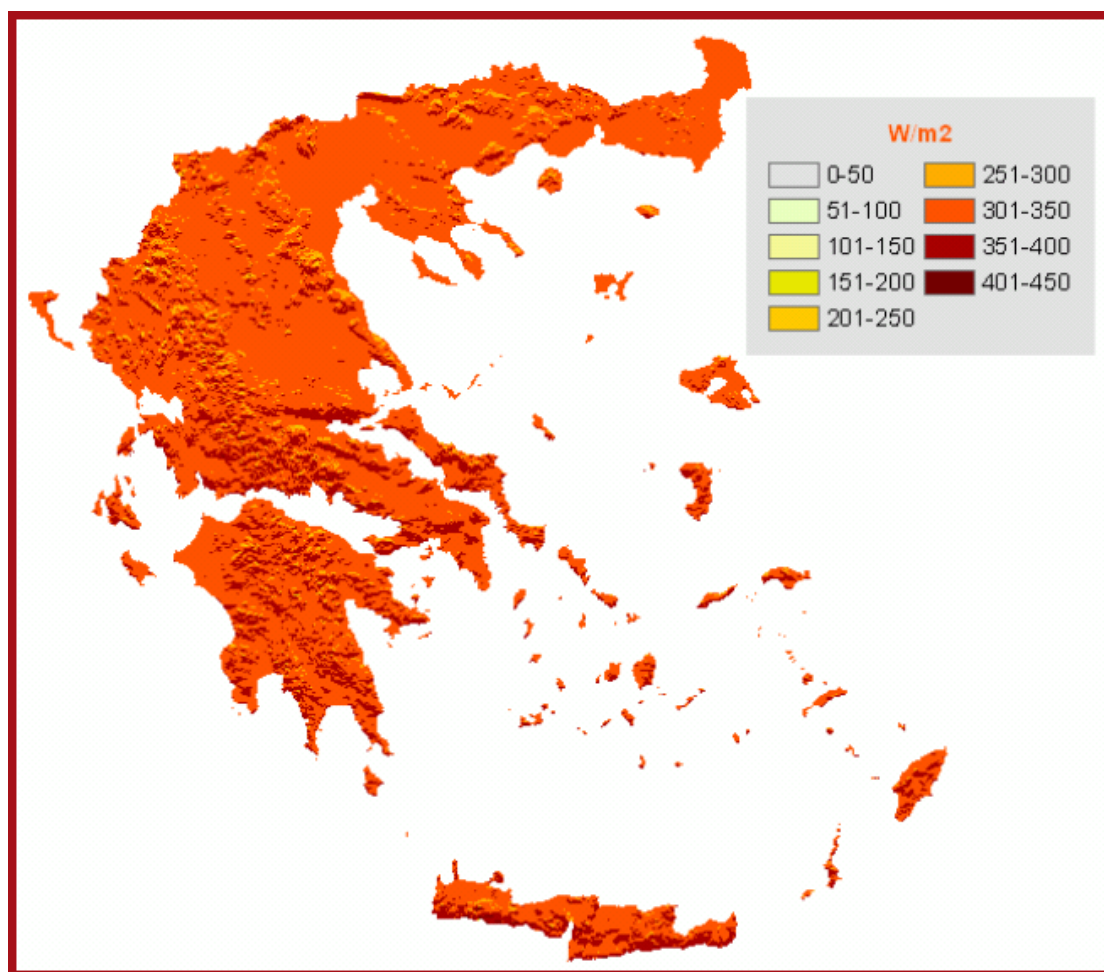
Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλά σημεία να δέχονται πολύ μικρότερη ακτινοβολία από αυτή που θεωρητικά – δυνητικά θα μπορούσε να δεχθεί, με βάση το γεωγραφικό πλάτος και την κλίση του εδάφους, κάποια ώρα και μέρα του έτους. Το παραπάνω επιβεβαιώνεται με την παρούσα μελέτη.

4.2.Υπάρχουσες αναφορές.

Η εισερχόμενη δυνητική ηλιοφάνεια που φτάνει στην επιφάνεια του Ελλαδικού χώρου, έχει υπολογισθεί με τη βοήθεια των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών

(GIS) και συγκεκριμένα με την εφαρμογή solar angle του λογισμικού ArcGis της ESRI.

Οι υπολογισμοί έλαβαν ως ελάχιστη επιφάνεια έκταση 250 στρεμμάτων (δηλαδή φαντίνιο 500 x 500 μέτρα) και απέδωσαν τον παρακάτω ψηφιακό χάρτη στον οποίο απεικονίζονται οι ετήσιες τιμές της εισερχόμενης δυνητικής ηλιοφάνειας εκφρασμένες σε W / m_2 .



Εικόνα 4.1: ετήσιες τιμές της εισερχόμενης δυνητικής ηλιοφάνειας
πηγή: Αποστολίδου, 2007

Η ανάλυση μπορεί να είναι ικανοποιητική σε κλίμακα Ελλαδικού χώρου, αλλά δεν μπορεί να μας δώσει αξιόπιστες πληροφορίες για την εισερχόμενη ηλιοφάνεια που δέχεται ένα σημείο του ενδιαφέροντός μας. Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, απαιτούνται ακριβείς μετρήσεις πεδίου για τον καθορισμό του ύψους και του προσανατολισμού των εμποδίων.

4.3. Περιγραφή της ερευνητικής διαδικασίας.

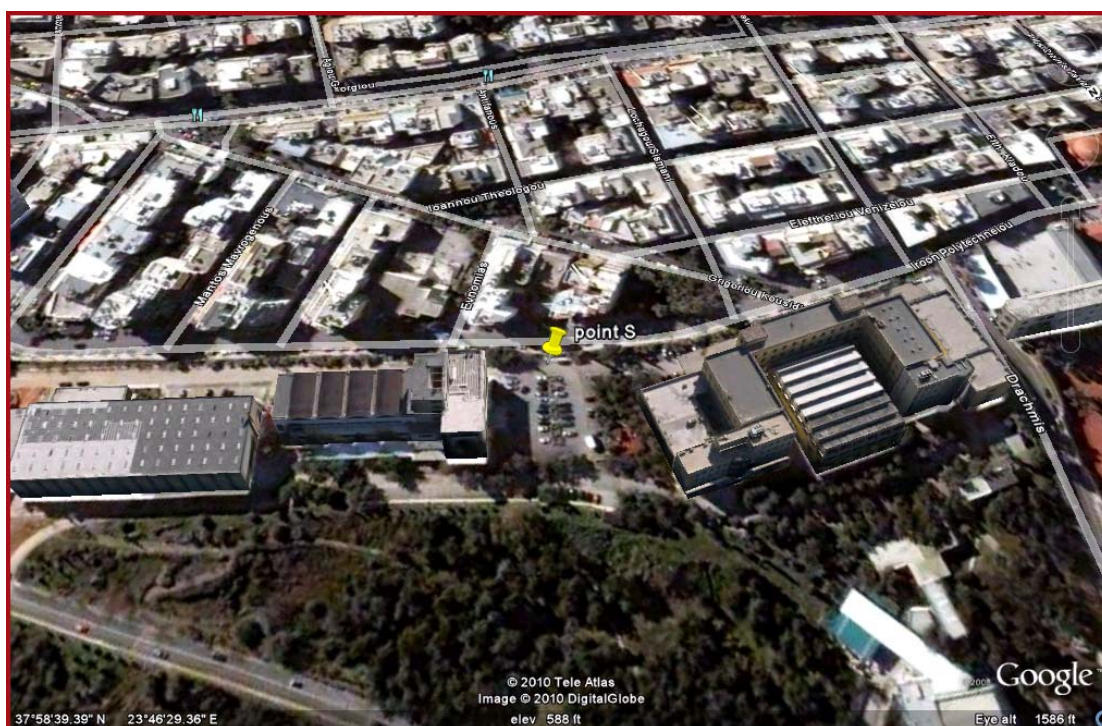
Για την εκπόνηση της μελέτης πάρθηκαν μετρήσεις των φυσικών εμποδίων σε αστικό περιβάλλον. Τέτοια εμπόδια αφορούν σε κτήρια, αιθαλή κυρίως δένδρα, βουνοκορφές και άλλα. Αναφορικά με την τοποθεσία επιλέχθηκε ο χώρος του ΕΜΠ κοντά στα όρια της περιμέτρου του με τη οδό Ηρώων Πολυτεχνείου έξω από το κτήριο της Υδραυλικής. Η ακριβής τοποθεσία καθορίζεται από τις συντεταγμένες:

$\lambda : 23.7750 \text{ E}$

$\varphi : 37.9782 \text{ N}$

με υψόμετρο 173 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.

Το ακριβές σημείο μετρήσεων “point S” απεικονίζεται στην παρακάτω δορυφορική εικόνα:



Εικόνα 4.2: δορυφορική απεικόνιση του σημείου μετρήσεων στο χώρο του ΕΜΠ στην Πολυτεχνιούπολη Ζωγράφου.

πηγή: χάρτες Google Earth

Για τις ακριβείς μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε θεοδολίχος τύπου TOP CON CTS-1, Ιαπωνικής κατασκευής. Το όργανο τοποθετήθηκε και οριζοντιώθηκε σε

σταθερή βάση 157,5 mm από την επιφάνεια του εδάφους. Με χρήση πυξίδας έγινε ο εντοπισμός του μαγνητικού Βορρά και επιβεβαίωσή του με ηλεκτρονική πυξίδα.

Η μετρήσεις στοχευόμενων σημείων αφορούσαν την γωνία τους από τον μαγνητικό Βορρά (H_R) καθώς και τη γωνία τους από την κατακόρυφο (V_R), εκφρασμένα και τα δυο σε μοίρες.

Οι μετρήσεις άρχισαν περίπου από τις 60° και τελείωσαν στις 300° συμπεριλαμβάνοντας έτσι κάθε την ηλιακή τροχιά κάθε εποχής του έτους. Οι αρχικές μετρήσεις αφορούσαν 47 σημεία που καθόριζαν άκρες περιγραμμάτων.

Επειδή στην εργασία θα εξεταστούν τα εμπόδια που συναντούν οι ηλιακές ακτίνες στο καθορισμένο αστικό περιβάλλον ανά μια μοίρα, ακολούθησε γραμμική παρεμβολή για τα υπόλοιπα σημεία ως εξής:

Το κάθε σημείο τοποθετήθηκε στον κοντινότερη ακέραια μοίρα (πχ. το $68,478^\circ$ στις 68°). Μεταξύ δυο διαδοχικών σημείων υπολογίστηκε η διαφορά της γωνίας τους από την κατακόρυφο (V_R), η οποία και διαιρέθηκε με τον αριθμό των υπολειπόμενων μοιρών μεταξύ των δυο μετρήσεων. Το αποτέλεσμα της διαίρεσης αυτής προστίθονταν ή αφαιρούνταν από την προηγούμενη μέτρηση.

Για παράδειγμα στον παρακάτω πίνακα η διαφορά V_R μεταξύ των μετρήσεων είναι 3,912 (81,008-77,096). Διαιρούμενος ο αριθμός αυτός με τα ενδιάμεσα κλιμάκωση ανά μοίρα μας δίνει το μερικό V_R 0,435 (3,912/9) το οποίο και αφαιρείται από την προηγούμενη μέτρηση.

59	59,29	81,008
60		80,573
61		80,139
62		79,704
63		79,269
64		78,835
65		78,400
66		77,965
67		77,531
68	68,478	77,096

Πίνακας 4.1: παράδειγμα συμπλήρωσης γραμμικής παρεμβολής

Τα παραπάνω δεδομένα επεξεργάστηκαν στο λογιστικό φύλλο του λογισμικού excel, όπου και υπολογίστηκαν οι τιμές της εκτιμημένης εισερχόμενης ακτινοβολίας

στο σημείο των μετρήσεων αρχικά ανά ώρες της ημέρας και στη συνέχεια ανά ημέρα ανά μήνα και τέλος ανά έτος.

Οι υπολογισμοί έγιναν βάση της σχέσης:

$$I = I_0 \times d \times \cos f$$

που αναπτύχθηκε στη ενότητα 2.2.2.1 της παρούσας μελέτης.

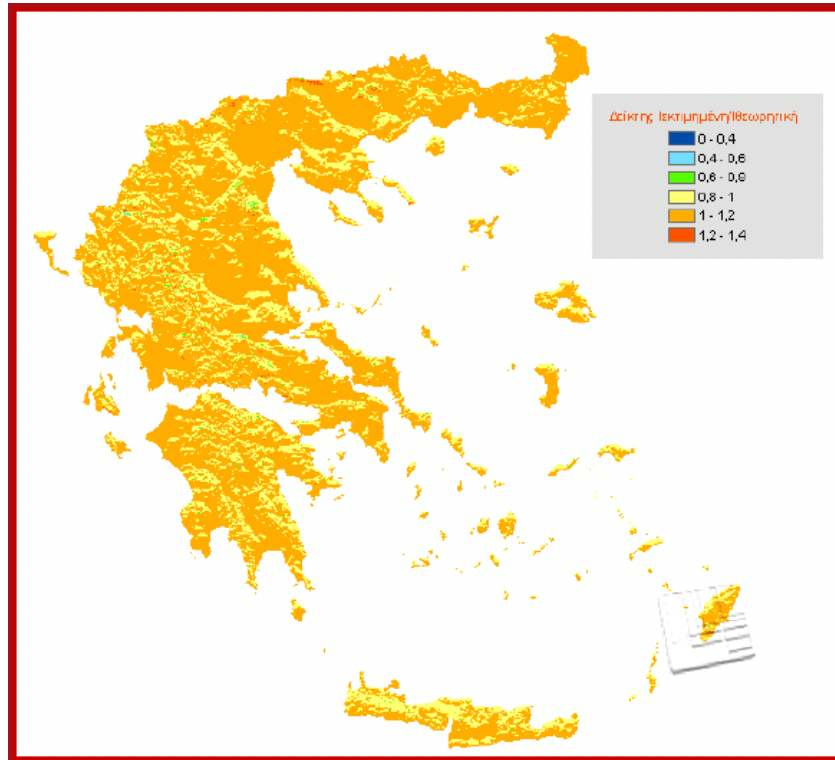
Υπολογίστηκε η εισερχόμενη ακτινοβολία που δέχεται το σημείο των μετρήσεων ανά ώρα της ημέρας, για κάθε ημέρα του έτους και ανά μοίρα ηλιακού αζιμουθίου.

Στο αζιμούθιο αυτό, που το ύψος των εμποδίων μας υπερκενούσε το υψόμετρο του ήλιου, η εισερχόμενη ακτινοβολία έπαιρνε μηδενική τιμή λόγω σκίασης.

4.3.1. Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$

Προκειμένου να γίνει ευκολότερη η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιήσουμε ένα δείκτη που αποτελεί το λόγο της εκτιμημένης εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας, προς την αναμενόμενη θεωρητικά για επίπεδη επιφάνεια, σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Η υπολογισμός της θεωρητικής ακτινοβολίας εξαρτάται από την ημέρα που ενδιαφέρει και το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

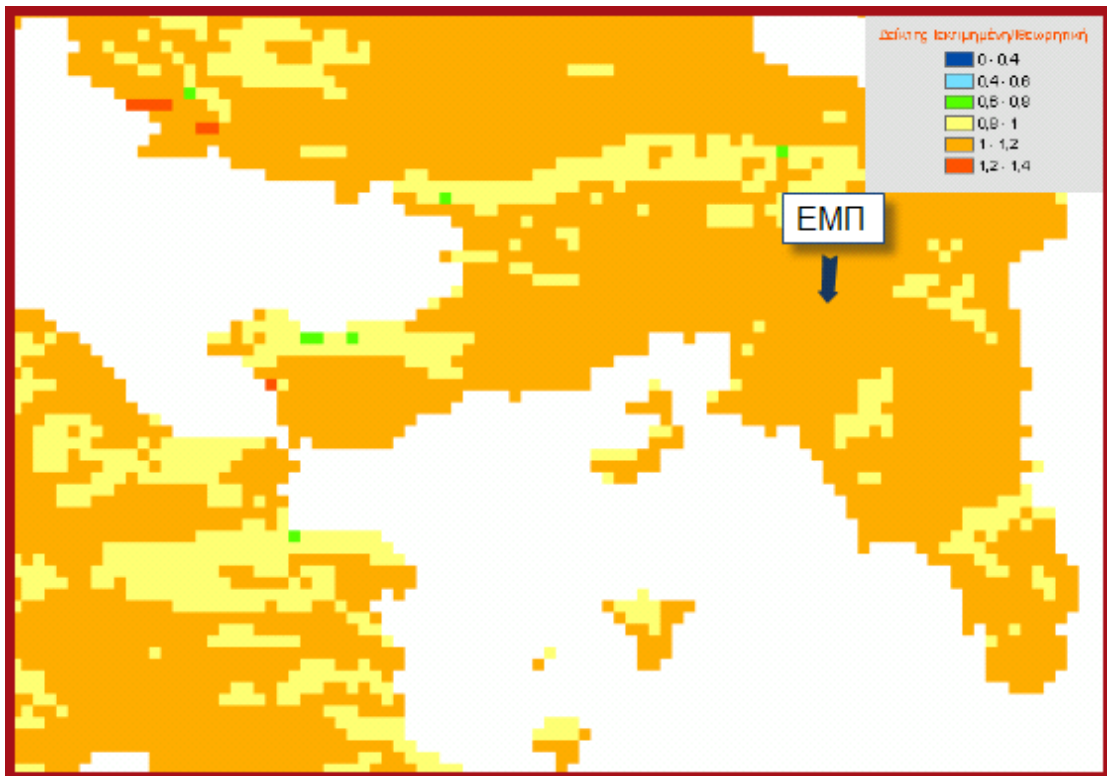
Η εφαρμογή του παραπάνω δείκτη έχει ως προϊόν τον παρακάτω χάρτη:



Εικόνα 4.3: δείκτης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας.

πηγή: Αποστολίδου, 2007

Λεπτομέρεια του παραπάνω χάρτη αποτελεί η παρακάτω εικόνα που μας δίνει για την ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου αλλά και πιο εντοπισμένα για την περιοχή που έλαβε χώρα η εργασία μας, δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$ να λαμβάνει τιμές από 1-1,2.



Εικόνα 4.4: δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$ στην Αττική.

Οι τιμές του παραπάνω δείκτη θα συγκριθούν στη συνέχεια με την τιμή του ίδιου δείκτη που θα προκύψει από τις σημειακές μετρήσεις του επιλεγμένου σημείου της εργασίας μας.

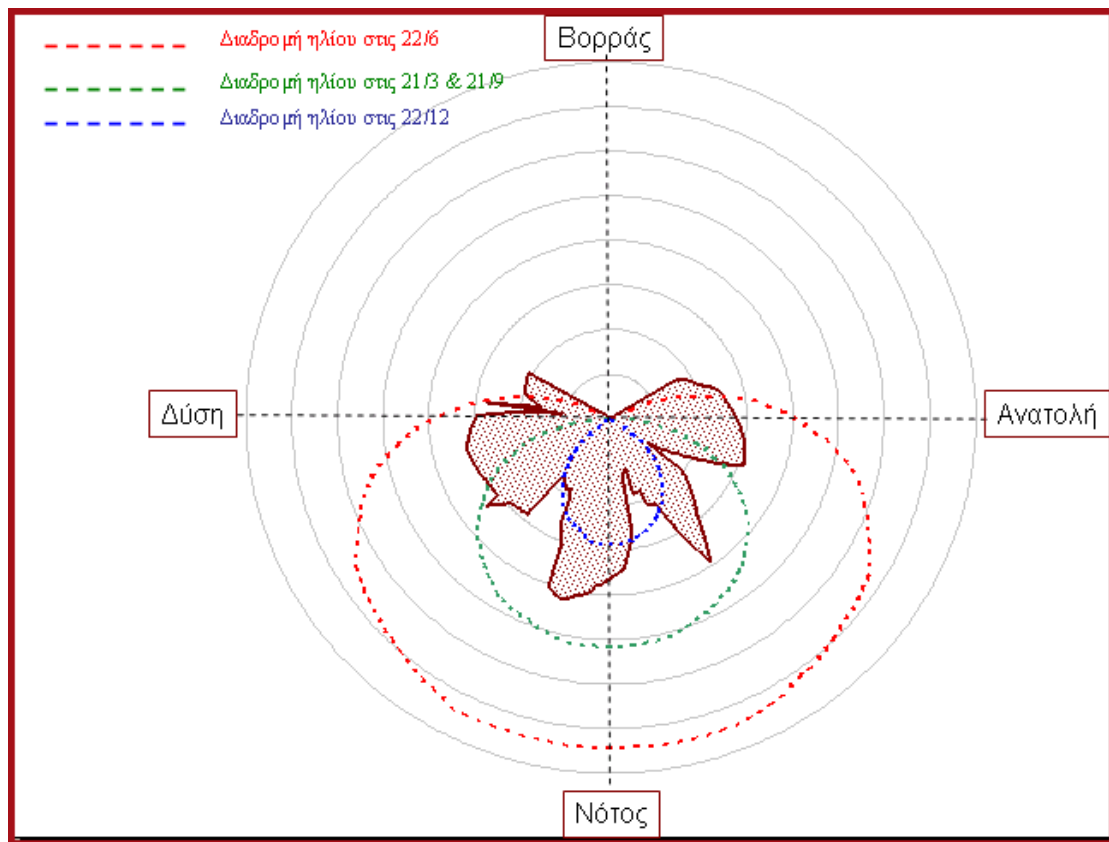
4.4. Αποτελέσματα εργασίας.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την υπολογιστική διαδικασία, χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του σκιογράμματος⁷ και για την εξαγωγή του δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$ ακτινοβολία.

Το παρακάτω λοιπόν γράφημα αποτελεί τελικό προϊόν της εργασίας μας και μας δείχνει το ηλιακό μονοπάτι (ηλιακή διαδρομή) τις ημέρες των ηλιοστασίων.

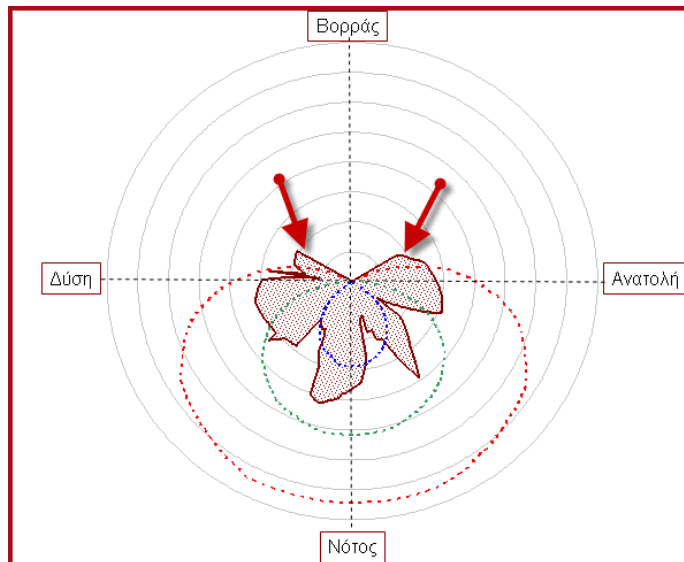
⁷ Προτότυπος ονομασία γραφήματος που μας δείχνει την ηλιακή διαδρομή κατά τα ηλιοστάσια και την σκίαση που δέχεται το σημείο αναφοράς (γραμμοσκιασμένη περιοχή) από τα παρακείμενα εμπόδια

Τα γραμμοσκιασμένα σημεία μας δείχνουν το χρόνο (ώρες της ημέρας) που το σημείο μας παραμένει στη σκιά, κατά την αντίστοιχη ηλιακή διαδρομή.



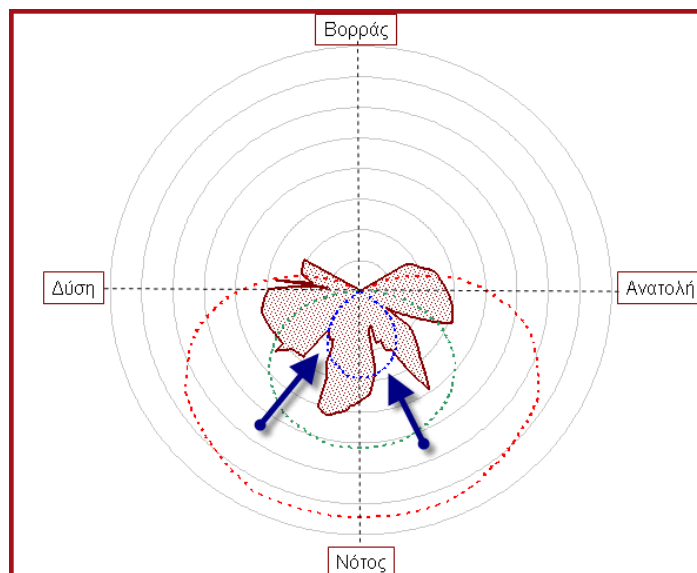
Εικόνα 4.5 : σκιογράμμα του επιλεγμένου σημείου.

Κατά τη διάρκεια της μέγιστης ηλιακής διαδρομής δηλαδή την θερινή ισημερία στις 22 Ιουνίου και εξαιτίας του γεγονότος πως ο ήλιος βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο στον ουρανό, το σημείο μας δέχεται ελάχιστη σκίαση (βλέπε κόκκινη στικτή γραμμή) κατά τις ώρες κοντά στην ανατολή και την δύση, τις ώρες δηλαδή που ο ήλιος είναι χαμηλά στον ουρανό και δεν μπορεί να «υπερπηδήσει» τα παρακείμενα του σημείου εμπόδια. Αυτές λοιπόν τις ώρες (κόκκινα βέλη) το σημείο μας είναι σκιασμένο.



Εικόνα 4.6: το σημείο των μετρήσεων κατά τη διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου, σκιάζεται μόνο τις πολύ πρωινές και τις τελευταίες απογευματινές ώρες.

Αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του χειμερινού ηλιοστασίου, με τον ήλιο να διαγράφει την χαμηλότερη και βραχύτερη τροχιά του (μπλε στικτή γραμμή), το σημείο μας το «βλέπει» ο ήλιος ελάχιστα κατά τη διάρκεια της ημέρας (μπλε βέλη) καθώς περνάει από τα διάκενα των χαμηλών πολυκατοικιών:



Εικόνα 4.7 : κατά την περίοδο του χειμερινού ηλιοστασίου το σημείο αναφοράς σκιάζεται σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας, με εξαίρεση τις ώρες που επισημαίνονται με τα μπλε βέλη.

Είναι φανερό πως το σύνολο των ηλιακών διαδρομών στη διάρκεια του έτους, βρίσκεται ανάμεσα στη διαδρομή του χειμερινού και του θερινού ηλιοστασίου δηλαδή είναι τροχιές που περικλείονται από την μπλε και την κόκκινη στικτή γραμμή.

Επίσης τελικό προϊόν της υπολογιστικής διαδικασίας είναι ο πίνακας με τις τιμές του δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$, δηλαδή του λόγου της πραγματικής ακτινοβολίας προς τη δυνητική, σε επίπεδη επιφάνεια χωρίς εμπόδια. Έχουμε έτσι τις τιμές που προέκυψαν ανά μήνα και έτος:

ΜΗΝΑΣ	Δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,41
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,74
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,79
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,83
ΜΑΙΟΣ	0,88
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,92
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,93
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,83
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,80
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,70
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,34
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,26
ΕΤΟΣ	0,77

Πίνακας 4.2 : μηνιαίες και ετήσια τιμή του Δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$

Συγκρίνοντας τη μέση ετήσια τιμή του Δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$ που στην περίπτωση μας λαμβάνει την τιμή 0,77 με την αντίστοιχη τιμή που προέκυψε από τον χάρτη, βλέπουμε πως όχι μόνο δεν βρίσκεται στα όρια που δίνονται (1-1,2), αλλά μάλιστα απέχει και σημαντικά από αυτά.

Η παραπάνω σύγκριση αποδεικνύει την ορθότητα της υπόθεσής μας ότι δηλαδή σε αστικό περιβάλλον, η σκίαση που δέχεται ένα σημείο και κατ' επέκταση η ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να διαφέρει αισθητά από τον αντίστοιχο δείκτη που έχει υπολογιστεί για την ευρύτερη περιοχή.

Η ακριβής λοιπόν εκτίμηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα σημείο, μπορεί να γίνει μόνο με τοπικές μετρήσεις, οι οποίες θα λαμβάνουν υπ' όψιν τους το ύψος και τον προσανατολισμό (αζιμούθιο) των παρακείμενων εμποδίων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Η γνώση της εισερχόμενης ακτινοβολίας είναι πολύ σημαντική, γιατί από αυτή εξαρτώνται μια σειρά φυσικών και βιολογικών διεργασιών κρίσιμης σημασίας για τη λειτουργία του πλανήτη μας. Σαν τέτοιες μπορούν να αναφερθούν η φωτοσύνθεση, οι κύκλοι στοιχείων και του νερού, οι εφαρμογές στον ενεργειακό τομέα κτλ.
- Η δυνητικά εισερχόμενη ακτινοβολία δηλαδή η άμεση ακτινοβολία που φτάνει σε μια επίπεδη επιφάνεια της γης χωρίς να παρεμβάλλονται εμπόδια, είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής, της Ιουλιανής ημέρας του έτους και της ώρας της ημέρας. Μπορούμε κατ' αυτό τον τρόπο να εκτιμήσουμε την εισερχόμενη ηλιοφάνεια με οριζόντιο τρόπο, δηλαδή κατά οριζόντιες ζώνες οι οποίες απομακρυνόμενες από τον Ισημερινό θα αντιστοιχούν και σε μικρότερα ποσά ακτινοβολίας και κατ' επέκταση ενέργειας. Η εκτίμηση όμως αυτή δεν είναι λεπτομερειακή καθώς μας δίνει εκτιμήσεις για μεγάλες γεωγραφικά περιοχές.
- Το ποσό της πραγματικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε συγκεκριμένο σημείο στην επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας μέρας, εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες π.χ. νέφωση και άλλους τοπογραφικούς παράγοντες π.χ. σκίαση από παρακείμενα εμπόδια. Πολλές φορές αποτελεί ένα μικρό κλάσμα της δυνητικά εισερχόμενης ακτινοβολίας.
- Ιδιαίτερα σε αστικό περιβάλλον τα παρακείμενα εμπόδια αφορούν κυρίως ανθρωπογενείς κατασκευές μεγάλου ύψους και κυρίως πολυκατοικίες. Σε αυτό το περιβάλλον που παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα από μέτρο σε μέτρο, είναι απαραίτητες οι τοπικές μετρήσεις που αφορούν στο ύψος και το αζιμούθιο του εμποδίου. Οι μετρήσεις του επιλεγμένου σημείου έδειξαν πως το ποσό της ετήσιας ακτινοβολίας είναι μόλις το 77% της δυνητικά εισερχόμενης!

- Παρατηρώντας τις μηνιαίες τιμές του Δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$ ακτινοβολία στον πίνακα , παρατηρούμε πως οι τιμές αυτές είναι εξαιρετικά μικρές κατά τους χειμερινούς μήνες (κυμαίνονται από 0,26 το Δεκέμβριο έως 0,41 τον Ιανουάριο), ενώ δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις τους υπόλοιπους μήνες (κυμαίνονται από 0,70 – 0,93). Αυτές οι υψηλές τιμές που παρατηρούνται κυρίως τους θερινούς μήνες διαμορφώνουν την ετήσια τιμή του δείκτη στο 0,77.
- Η γνώση της πραγματικής εισερχόμενης ακτινοβολίας σε ένα σημείο είναι πολύ σημαντική και μπορεί να βρει εφαρμογές σε πολλά πεδία και επιστήμες. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν εφαρμογές της:
 - σε αγοραπωλησίες ακινήτων (real estate), όπου η σκίαση μπορεί να αποτελέσει κριτήριο αξίας του ακινήτου.
 - στον τομέα της ενέργειας με την επιλογή βέλτιστων σημείων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων ή ηλιακών θερμοσιφώνων.
 - στον τομέα των κατασκευών και ιδιαίτερα στον σχεδιασμό βιοκλιματικών κτηρίων.
 - σε μεγάλα υδραυλικά έργα (όπως ταμιευτήρες), όπου η επιλογή της τοποθεσίας κατασκευής, μπορεί να μειώσει της απώλειες σε νερό λόγω εξάτμισης.
 - στην επιλογή σημείων αθλητικών εγκαταστάσεων όπως χιονοδρομικών κέντρων, κολυμβητηρίων κ.ά.
 - στη γεωργία με την επιλογή της κατάλληλης καλλιέργειας που θα εκμεταλλεύεται στο έπακρο της συνθήκες φωτισμού και τις υδάτινες απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής.
- Η επίδραση της ακτινοβολίας στην ανάπτυξη των φυτών είναι καθοριστική και μάλιστα η φωτοσυνθετική δραστηριότητα διαφέρει ανάλογα με το είδος του φυτού και τις συνήθειές του. Επειδή όμως τα ελάχιστα επίπεδα φωτισμού που απαιτούνται για την ανάπτυξη του κάθε φυτού είναι σχεδόν διαθέσιμα σε κάθε σημείο του πλανήτη (περίπου $300 \text{ mmol/m}^2\text{s}$), ο παράγοντας φωτισμός δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην εμφάνιση ενός είδους. Οι διαφορές στη βιοποικιλότητα που παρατηρούνται σε περιοχές που

δέχονται διαφορετικά επίπεδα φωτισμού, οφείλονται σε συνδυασμό άλλων παραγόντων όπως η θερμοκρασία, το έδαφος, η υγρασία κτλ.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ και ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ.

- Αποστολίδου, Η., 2007, «Η επίδραση του ανάγλυφου στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία», ΕΜΠ, Αθήνα.
- Γαλάτης, Β., 2003, «Φυσιολογία φυτών», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Καραμάνος, Α., 1989, «Γενική γεωργία. Το εναέριο περιβάλλον», Γ.Π.Α., Αθήνα.
- Καραμπουρνιώτης, Γ., 2003, «Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών», Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.
- Καράταγλης, Σ., 1999. «Φυσιολογία Φυτών», Εκδόσεις Art of text.
- Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., 1999, «Τεχνική Υδρολογία», Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Μαυρογιαννόπουλος, Ν., 1990, «Θερμοκήπια», Εκδόσεις Σταμούλης.
- Ταλλέλης, Δ., 1982, «Γενική γεωργία», Α.Γ.Σ.Α., Αθήνα.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ.

- Ahrens, C.D., 2006, «Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate and Environment». 8th edition. Thompson, Brooks /Cole. U.S. p.537.
- Bazzaz, F., Rogger W., Carlson, 1982, «Photosynthetic Acclimation to Variability in the Light Environment of Early and Late Successional Plants», Spriger, Berlin.
- Benton Jones, J, 1999, «Tomato plant culture», CRC Press. New York.
- Chapman & Hall, 1992, «World Conservation Monitoring Centre, Global Biodiversity», London.
- Convention on Biological Diversity, 1992, «Πρακτικά», Ρίο ντε Τζανέιρο.
- Dudayah R., and Rich P., 1995, «Topographic solar radiation models for GIS», International Journal of Geographical Information Science, USA.
- Duguay, C., R., 1993, «Radiation modelling in mountainous terrain: review and status». Mountain Research and Development.
- Geiger, R., 1965 «The climate near the ground». Harvard University Press, USA.
- Graves C., 1998, «*Reflected Radiation*», Accessed 15 August 2000.
- Mamassis N., 2005, «*Calculation of Potential Solar Radiation from Geomorphologic Information*», 7th Plinius Conference on Mediterranean Storms, October 2005, Rethymnon, Greece.

Mohr H.and Schopfer P., 1995, «*Plant physiology*». Springer-Verlag Berlin.
Oke, T.R.1992, «*Boundary Layer Climates*». Second Edition. Routedge. New York.
Ross, J.,1975, «*Radioactive transfer in plant communities*», Academic Press, London.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ.

<http://atmoz.org>

<http://earthobservatory.nasa.gov>

<http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics/>

<http://el.wikipedia.org/wiki/>

<http://energy.saving.nu>

<http://geography.hunter.cuny.edu>

<http://re.jrc.ec.europa.eu/>

<http://rst.gsfc.nasa.gov>

http://serc.carleton.edu/research_education/corals/albedo.

<http://webhelp.esri.com/>

http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/karabourniotis_res_el_frameset.htm

<http://www.dei.gr>

<http://www.energypoint.gr/oikonomika/statistika>

<http://www.globalwarmingart.com>

<http://www.itia.ntua.gr/nikos>

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

7.1. ΕΙΚΟΝΕΣ.

Εικόνα 1.1:ετήσια ποσά ηλιακής ακτινοβολίας στον Ελλαδικό χώρο.

Εικόνα 2.1 : τρόποι άφιξης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης.

- Εικόνα 2.2 : θερινή ισημερία στις 40° Βόρεια.
- Εικόνα 2.3: φθινοπωρινή και εαρινή ισημερία στις 40° Βόρεια.
- Εικόνα 2.4: χειμερινή ισημερία στις 40° Βόρεια.
- Εικόνα 2.5: ηλιακή διαδρομή στη διάρκεια του έτους στο Β. Ημισφαίριο.
- Εικόνα 2.6 : συσχέτιση ενέργειας με γεωγραφικό πλάτος και ώρα της ημέρας.
- Εικόνα 2.7: σχέση ηλιακού υψομέτρου και διαδρομής ηλιακής ακτίνας στην ατμόσφαιρα.
- Εικόνα 2.8: εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό πάρκο.
- Εικόνα 2.9: τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνα κλειστού κυκλώματος.
- Εικόνα 2.10: παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της εισερχόμενης ακτινοβολίας ανά ώρα.
- Εικόνα 2.11: παράμετροι που επηρεάζουν το ποσό της εισερχόμενης ακτινοβολίας σε πρανές έδαφος.
- Εικόνα 2.12 : υπολογισμός εκκεντρότητας και ηλιακής σταθεράς.
- Εικόνα 2.13: παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της εισερχόμενης δυνητικής ακτινοβολίας.
- Εικόνα 3.1: φασματική ανάλυση ορατής ακτινοβολίας
- Εικόνα 3.2: φασματική κατανομή της ηλιακής ενέργειας στην εξώτατη ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Εικόνα 3.3: κατανομή ηλιακής ενέργειας στον πλανήτη.
- Εικόνα 3.4: φάσμα απορρόφησης β-καροτενίου, χλωροφύλλης.
- Εικόνα 3.5: φάσμα απορρόφησης της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας από τα αέρια του θερμοκηπίου.
- Εικόνα 3.6: καμπύλες φωτοσυνθετικής δραστηριότητας
- Εικόνα 3.7: φωτοαναστολή της φωτοσύνθεσης.
- Εικόνα 3.8: επίδραση της έντασης της ακτινοβολίας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης.
- Εικόνα 4.1: ετήσιες τιμές της εισερχόμενης δυνητικής ηλιοφάνειας.
- Εικόνα 4.2: δορυφορική απεικόνιση του σημείου μετρήσεων.
- Εικόνα 4.3: δείκτης δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας.
- Εικόνα 4.4: δείκτης $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$ στην Αττική.
- Εικόνα 4.5 : σκιόγραμμα του επιλεγμένου σημείου.
- Εικόνα 4.6: το σημείο των μετρήσεων κατά τη διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου.

7.2. ΠΙΝΑΚΕΣ.

Πίνακας 2.1: ενδεικτικές τιμές λευκαύγειας διάφορων επιφανειών.

Πίνακας 2.2: ετήσια ποσά ηλιακής ακτινοβολίας σε kWh/m² στο έτος σε διάφορα σημεία του πλανήτη.

Πίνακας 2.3: εγκατεστημένα MW στην Ε.Ε το 2003.

Πίνακας 3.1: σημαντικότητα της επίδρασης της περιοχής φάσματος του φωτός στη βιολογία των φυτών.

Πίνακας 3.2: ταξινόμηση των κυριότερων παραγόντων καταπόνησης των φυτών.

Πίνακας 3.3: ένταση φωτός και ποσοστά (%) φωτονίων ανά φασματική περιοχή.

Πίνακας 4.2 : μηνιαίες και ετήσια τιμή του Δείκτη $I_{\text{εκτιμημένη}} / I_{\text{θεωρητική}}$.

7.3. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

α/α	HR	VR	περιγραφή
1	59,29	81,008	γωνία οροφής κτηρίου υδραυλικής-προβολέας
2	68,478	77,096	οροφή κτηρίου υδραυλικής
3	76,412	72,576	μέσο οροφής κτηρίου υδραυλικής
4	85,068	70,826	οροφή κτηρίου υδραυλικής
5	96,582	67,704	οροφή κτηρίου υδραυλικής
6	109,842	65,352	μπροστινή γωνία οροφής υδραυλικής
7	116,396	76,588	πίσω γωνία οροφής υδραυλικής
8	118,674	81,704	κορυφή πεύκου αριστερά
9	120,662	84,096	κορυφή πεύκου δεξιά
10	125,554	89,234	Πεύκο "U" Υμητός
11	124,612	89,096	Υμητός -κεραίες
12	125,58	86,326	Υμητός "U" Πεύκο
13	126,904	78,266	πλάγια χαμηλή κορυφή κέδρου
14	127,052	73,624	πλάγια ψηλή κορυφή κέδρου
15	138,506	68,156	παρυφή κορυφής κέδρου
16	146,45	56,706	κορυφή κέδρου

7.3. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΠΙΝΑΚΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ.

μοίρες HR	H_R	V_R
59	59,29	81,008
60		80,573
61		80,139
62		79,704
63		79,269
64		78,835
65		78,400
66		77,965
67		77,531
68	68,478	77,096
69		76,531
70		75,966
71		75,401
72		74,836
73		74,271
74		73,706
75		73,141
76	76,412	72,576

7.4. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Η έναρξη των μετρήσεων αρχίζει από την αριστερή άκρη του κτηρίου της υδραυλικής με αζιμούθιο $59,29^\circ$ (κόκκινο βέλος) και συνεχίζει ανά μοίρα προς την κατεύθυνση των δεικτών του ρολογιού, μέχρι τις $310,36^\circ$ (μπλε βέλος).

Η παράθεση των φωτογραφιών γίνεται αριθμητικά από αριστερά προς τα δεξιά.





-2-



-3-