

**7<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ (ΔΙΕΘΝΕΣ) ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ  
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ  
Λευκωσία 28-30 Σεπτεμβρίου, 2004.**

**7<sup>TH</sup> PANHELLENIC (INTERNATIONAL) CONFERENCE OF  
METEOROLOGY, CLIMATOLOGY AND ATMOSPHERIC  
PHYSICS  
Nicosia 28-30 September, 2004.**

**ΠΡΑΚΤΙΚΑ  
PROCEEDINGS**

**(ΤΟΜΟΙ A&B – VOLUMES A&B)**

**Μετεωρολογικός Σύνδεσμος Κύπρου  
Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου  
Ελληνική Μετεωρολογική Εταιρεία  
Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Cyprus Meteorological Association  
Meteorological Service of Cyprus  
Hellenic Meteorological Society  
University of Cyprus**

**Εκδότης Δρ. Σίλας Χρ. Μιχαηλίδης  
Editor: Dr. Silas Chr. Michaelides**

**Νοέμβριος 2005  
November 2005**

## ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΩΡΩΝ ΤΗΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

A. MATZARAKΗΣ<sup>1</sup>, B. ΚΑΤΣΟΥΛΗΣ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Μετεωρολογικό Ινστιτούτο, Πανεπιστήμιο του Φράϊμπουργκ, Γερμανία*  
<sup>2</sup>*Εργαστήριο Μετεωρολογίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων*

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, αναλύεται στατιστικά και σχολιάζεται η εποχική και ετήσια γεωγραφική κατανομή της διάρκειας της ηλιοφάνειας στον Ελληνικό χώρο, με βάση τα μηνιαία δεδομένα. Στη συνέχεια, εξετάζεται η μέση μηνιαία εκατοστιαία αναλογία της διάρκειας της ηλιοφάνειας ως προς τη μέγιστη πιθανή διάρκεια (θεωρητική). Επιπλέον, προσδιορίζονται εμπειρικές πολυωνυμικές εξισώσεις, οι οποίες παρέχουν με ικανοποιητική ακρίβεια την δυνατότητα εκτίμησης της μέσης εποχικής και ετήσιας διάρκειας των ωρών της ηλιοφάνειας. Επίσης, σχολιάζονται σχετικώς, οι ετήσιες και εποχικές διαφορές μεταξύ των τιμών της διάρκειας της ηλιοφάνειας που ελήφθησαν από μετρήσεις (πραγματικές τιμές) και των τιμών που εκτιμώνται από τις εξαγχθείσες εμπειρικές σχέσεις.

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που εξάγονται είναι: α) Η ενδοετήσια πορεία της διάρκειας της ηλιοφάνειας είναι απλή, με μέγιστο τον Ιούλιο και ελάχιστο τον Ιανουάριο ή τον Δεκέμβριο. β) Η γεωγραφική κατανομή, τόσο της ετήσιας όσο και της εποχικής ηλιοφάνειας εμφανίζει ελάχιστες τιμές στις κεντρικές ορεινές περιοχές του Ελληνικού χώρου (Δ. Μακεδονία, Ήπειρος, Κ. Στερέα Ελλάδα). Οι ελάχιστες αυτές τιμές, βαίνουν αυξανόμενες βαθμιαία προς τις ακτές του Ιονίου και Αιγαίου Πελάγους και από βορρά προς νότο. γ) Οι ανώτερες μέγιστες τιμές της ηλιοφάνειας, συμβαίνουν στα νοτιοανατολικά νησιά του Αιγαίου Πελάγους και στις νότιες ακτές της Κρήτης. Ακολουθούν, η Αττική με τις γύρω παράκτιες περιοχές, τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου και οι παράκτιες και νησιωτικές περιοχές του νοτίου Ιονίου Πελάγους. δ) Οι εκτιμώμενες τιμές της διάρκειας της ηλιοφάνειας και η κατανομή τους, εμφανίζουν αρκετά ικανοποιητική συμφωνία με τις τιμές της πραγματικής ηλιοφάνειας.

## SUNSHINE DURATION IN GREECE

A. MATZARAKIS<sup>1</sup>, V. KATSOULIS<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany*  
<sup>2</sup>*Laboratory of Meteorology, University of Ioannina*

### ABSTRACT

In this study, the annual and seasonal geographical distribution of the bright sunshine duration over the Greek region is statistically analysed and examined, on the basis of monthly data. Then, the mean monthly percentage of the duration of bright sunshine, with respect to the maximum possible duration (theoretical duration) is investigated. Furthermore, mean annual and seasonal duration of bright sunshine have been determined from empirical formulae. In addition, the differences between actual and estimated average annual and seasonal sunshine values are also accounted for.

The most pronounced conclusions obtained are: a) The annual march of sunshine is a simple one giving a maximum in July and a minimum in January or December. b) The geographical distribution of the annual and seasonal bright sunshine duration shows minimum values in the interior mountain areas of the Greek region (Western Macedonia, Epirus, Central Greece), increasing gradually towards the coasts of the Ionian and Aegean seas as well as from north to south. c) The outmost maximum sunshine values occur in the southeastern islands of the Aegean Sea and over the southern coasts of the Crete, followed by the Attica and surrounding coastal areas, the islands of the eastern Aegean Sea and the southwestern coastal and island parts of the Ionian Sea. d) The estimated sunshine duration values and their spatial and temporal distribution appear to have quite good agreement with actual bright sunshine duration.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάρκεια των ωρών της ηλιοφάνειας παρουσιάζει εξαιρετική σπουδαιότητα, όχι μόνον από μετεωρολογικής και κλιματολογικής απόψεως, αλλά και από γεωργικής, βιολογικής και ενεργειακής πλευράς. Για τον λόγο αυτό, καταβάλλεται μεγάλη ερευνητική προσπάθεια σε παγκόσμια κλίμακα, για την στατιστική και άλλης μορφής ανάλυση και μελέτη της ηλιοφάνειας και της ηλιακής ακτινοβολίας στις διάφορες περιοχές.

Για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, ο Ελληνικός χώρος προσφέρεται όσο λίγες περιοχές των ευκράτων γεωγραφικών ζωνών. Ο Ελληνικός χώρος, όπως και οι περισσότερες περιοχές γύρω και εντός της λεκάνης της Μεσογείου, παρουσιάζουν χαμηλές τιμές νέφωσης και υψηλές τιμές ηλιοφάνειας, ειδικά κατά την θερινή περίοδο του έτους. Αυτό οφείλεται τόσο σε δυναμικά όσο και σε φυσικογεωγραφικά αίτια, τα οποία επηρεάζουν και διαμορφώνουν τον καιρό και το κλίμα της Μεσογείου και φυσικά, της Ελληνικής επικράτειας κατά της διάφορες εποχές του έτους (Αιγινήτης, 1907-1908; Μαριολόπουλος, 1938; Καραπιπέρης, 1963; Met. Office, HMSO, 1962; Reiter, 1975).

Για τον Ελληνικό χώρο, οι γνωστότερες παλαιές εργασίες οι σχετικές με την ηλιοφάνεια είναι των Livathinos (1926), Mariolopoulos και Livathinos (1938), Van der Stok (1942) και Riehl (1944) και βασίστηκαν κυρίως, στις τιμές της ηλιοφάνειας, οι οποίες υπολογίζονταν από τη νέφωση (των παρατηρήσεων των ωρών 08:00, 14:00 και 20:00), με βάση τον εμπειρικό τύπο,

$$ν = 8 \left(1 - \frac{\eta}{H}\right) \quad (1)$$

όπου,  $\nu$  = η μέση ημερήσια νέφωση (κλίμακα 1 – 8),  $\eta$  = η πραγματική και  $H$  = η θεωρητική ηλιοφάνεια. Αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι, στους Μετεωρολογικούς Σταθμούς του Ελληνικού δικτύου δεν λειτουργούσε ηλιογράφος (με εξαίρεση το Εθν. Αστερ/πείο Αθηνών). Τα τελευταία 40 και πλέον χρόνια, όμως, λειτουργούν και καταγράφουν την ηλιοφάνεια ηλιογράφοι τύπου Campbell-Stokes σε περισσότερους από 35 Σταθμούς της ΕΜΥ και σε άλλα Ινστιτούτα και Ιδρύματα. Γι' αυτό, είναι δυνατή η έρευνα της ηλιοφάνειας και των χαρακτηριστικών της, επί τη βάση των πραγματικών τιμών που καταγράφονται στους Σταθμούς.

Για το λόγο αυτό, μετά τη 10ετία του 1960, εκπονήθηκαν αρκετές μελέτες της διάρκειας της ηλιοφάνειας από αρκετούς ερευνητές, τόσο σε τοπική όσο και σε ευρύτερη κλίμακα περιοχής (Livadas, 1969, 1970; Livadas and Flocas, 1972; Livadas and Karakostas, 1975; Livadas *et al.*, 1975; Pennas, 1976), αλλά και για ολόκληρο τον Ελληνικό χώρο (Καραπιπέρης *et al.*, 1974; Catsoulis, 1978; Κατσούλης και Καντερές, 1979; Macris, 1976; Katsoulis and Leontaris, 1981).

Στην παρούσα εργασία, επιχειρείται η μελέτη της διάρκειας της ηλιοφάνειας και η κατανομή της στον Ελληνικό χώρο με ένα περισσότερο αντικειμενικό τρόπο και με βάση τις υπάρχουσες μετρήσεις ηλιοφάνειας στους σημαντικότερους Μετεωρολογικούς Σταθμούς της Ελλάδας.

## 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ

Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκαν και αναλύθηκαν στατιστικά, τα μηνιαία δεδομένα της διάρκειας της ηλιοφάνειας 37 Μετεωρολογικών Σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Τα δεδομένα συνελέγησαν από παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στους Σταθμούς δι' ηλιογράφου Campbell-Stokes, κατά διαφόρους περιόδους εντός της περιόδου 1930 - 1990.

Στον Πίνακα 1, δίδονται οι χρησιμοποιηθέντες Σταθμοί με τα τοπικά χαρακτηριστικά τους (γεωγρ.. συντεταγμένες, υψόμετρο και με τις τιμές της ηλιοφάνειας). Τα δεδομένα αυτά, με την εφαρμογή απλών στατιστικών μεθόδων και ενός Μοντέλου Ακτινοβολίας και Βιοκλίματος RayMan (Matzarakis *et al.*, 2000), μας βοήθησαν να συνάγουμε τη γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας στον Ελληνικό χώρο, κατ' έτος και κατά εποχή, καθώς και πολυωνυμικές εμπειρικές σχέσεις ικανοποιητικού υπολογισμού της ετήσιας και εποχικής ηλιοφάνειας.

Τα αποτελέσματα παρέχονται σε πίνακες και χάρτες και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα παλαιότερων σχετικών εργασιών, ώστε να υπογραμμισθούν οι τυχόν διαφορές ή ταυτίσεις στην εκτίμηση και χρηστικότητα των λαμβανομένων αποτελεσμάτων.

### 3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΩΡΩΝ ΤΗΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ

Η ετήσια και εποχική γεωγραφική κατανομή της πραγματικής διάρκειας των ωρών της ηλιοφάνειας, υπολογίσθηκε με την βοήθεια ενός τοπογραφικού μοντέλου (με ανάλυση λεπτού της μοίρας), το οποίο χρησιμοποιήθηκε και σε άλλες μελέτες, για την γεωγραφική κατανομή των κλιματικών και βιοκλιματικών παραμέτρων (Ματζαράκης, 1995; Matzarakis and Mayer, 1997; Ματζαράκης *et al.*, 1998). Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στους χάρτες των Σχημάτων 1 μέχρι 5.

Στο Σχήμα 1, φαίνεται η ετήσια κατανομή των ωρών ηλιοφάνειας. Από αυτόν τον χάρτη συνάγεται ό,τι η ετήσια ηλιοφάνεια κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων και αυξάνει από βορρά προς νότο και από τα εσωτερικά ηπειρωτικά τμήματα προς την κατεύθυνση των ακτών.

Η μικρότερη ετήσια τιμή της ηλιοφάνειας (ολίγον χαμηλότερη των 2200 ωρών), καταγράφεται στα εσωτερικά τμήματα της Δ. Μακεδονίας και της Ηπείρου, καθώς και στα ορεινά της Α. Μακεδονίας (Ροδόπη). Στον κεντρικό ορεινό όγκο του κορμού της Ελληνικής χερσονήσου και στα εσωτερικά τμήματα της Μακεδονίας και της Θράκης, η ηλιοφάνεια κυμαίνεται μεταξύ 2200 έως 2300 ωρών. Οι χαμηλές αυτές τιμές εδώ, οφείλονται στη μεγάλη ορογραφική νέφωση, η οποία σχηματίζεται από τις ανυψούμενες από τα ορεινά εμπόδια αέριες μάζες, που μεταφέρονται με τις υφέσεις και τα μέτωπα και κινούνται εκ δυσμών προς ανατολάς και από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά. Επιπλέον, λόγω των ορεινών όγκων, περιορίζεται και η διάρκεια της θεωρητικής ηλιοφάνειας, γι αυτό απαιτείται να γίνονται σχετικές διορθώσεις επί της διάρκειας της θεωρητικής ηλιοφάνειας (Furmage, 1970). Η πραγματική ηλιοφάνεια, αυξάνει από τα κεντρικά ορεινά συγκροτήματα προς την κατεύθυνση των δυτικών ακτών, όπου λαμβάνει τιμές από 2600 έως 2700 ώρες, ενώ η αύξηση αυτή είναι μικρότερη προς τις ανατολικές ακτές, δεδομένου ότι παρεμβάλλονται οι ορεινοί όγκοι του Βερμίου, του Ολύμπου κτλ.

Κατά μήκος του άξονος του Αιγαίου, η ηλιοφάνεια αυξάνει από βορρά προς νότο, μέχρι και την Κρήτη. Στο Β. Αιγαίο, η ηλιοφάνεια είναι μικρότερη απ' ό,τι είναι στο Ιόνιο Πέλαγος. Από το κεντρικό όμως, Αιγαίο και νοτιότερο, η ηλιοφάνεια καθίσταται μεγαλύτερη εκείνης του Ιονίου.

Η μεγαλύτερη τιμή της ηλιοφάνειας σημειώνεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του Αιγαίου (Ρόδος, 3100 ώρες, περίπου), καθώς και στα νότια πεδινά και παράκτια τμήματα της Κρήτης (Ιεράπετρα και Τυμπάκιο, με πάνω από 3100 και 3000 ώρες, αντιστοίχως). Ακολουθούν τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου (Σάμος, Χίος κτλ.), οι Κυκλάδες, οι βόρειες ακτές της Κρήτης και οι νότιες ακτές της Πελοποννήσου (με 2800 ώρες, περίπου). Στο εσωτερικό ορεινό συγκρότημα της Πελοποννήσου, η ηλιοφάνεια κυμαίνεται από 2500 έως 2700 ώρες και βαίνει ελαττούμενη προς τις ακτές.

Κατά το χειμώνα, η ηλιοφάνεια παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές της, όπως φαίνεται από το χάρτη κατανομής της αυτήν την εποχή (Σχήμα 2), όπου η μέση ηλιοφάνεια κυμαίνεται από 270 μέχρι 430 ώρες, περίπου. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στα νότια παράλια της Κρήτης και στα Δωδεκάνησα και οι μικρότερες καταγράφονται στα βόρεια και εσωτερικά ορεινά τμήματα της Μακεδονίας και της Ηπείρου. Γενικά, η γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας τον Χειμώνα έχει τη μορφή της ετήσιας κατανομής.

Κατά την άνοιξη (Σχήμα 3), η ηλιοφάνεια εμφανίζει σημαντική αύξηση έναντι εκείνης του χειμώνα σ' ολόκληρη την ελληνική επικράτεια, λόγω ελάττωσης της συχνότητας της υφesiακής δράσεως. Οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται και πάλιν, στα εσωτερικά ορεινά τμήματα της Ηπείρου (Κόνιτσα, 550 ώρες) και της Δ. Μακεδονίας και οι μεγαλύτερες στα Δωδεκάνησα (Ρόδος, 750 ώρες περίπου). Επίσης, η Αττική και οι Κυκλάδες, καθώς και η νότιος Κρήτη, καταγράφουν μεγάλες τιμές ηλιοφάνειας. Η γενική μορφή της κατανομής της ηλιοφάνειας, κατά την εποχή της άνοιξης έχει μια τάση αύξησης από βορρά προς νότο, ιδιαίτερα στο Αιγαίο πέλαγος.

Κατά το θέρος (Σχήμα 4), η ηλιοφάνεια παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές της εξ όλων των εποχών. Οι τιμές της έχουν ένα εύρος μεταξύ 900 ωρών (Σέρρες) έως 1050 ώρες (Σκύρος),

περίπου. Μεγάλες τιμές, παρατηρούνται και στα νησιά του Ιονίου και στις ακτές, ελαττούμενες προς τα εσωτερικά ορεινά συγκροτήματα της Πίνδου.

Στο Αιγαίο, η ηλιοφάνεια παρουσιάζει μεγάλες τιμές (άνω των 400 ωρών τον Ιούλιο), πράγμα το οποίο οφείλεται εν πολλοίς, στην εμμονή και έντονη πνοή των Ετησίων ανέμων από ΒΑ και ΒΔ κατευθύνσεις και στην επικράτηση υπεράνω της περιοχής αντικυκλωνικών συνθηκών.

Τέλος, κατά το φθινόπωρο (Σχήμα 5), η ηλιοφάνεια παρουσιάζει έναντι των μηνών του θέρους, μεγάλη ελάττωση σ' ολόκληρο τον Ελληνικό χώρο. Η ελάττωση αυτή, οφείλεται στην έναρξη της δράσης των υφέσεων, η συχνότητα και δραστηριότητα των οποίων είναι μεγαλύτερη εκείνης της άνοιξης. Άλλος λόγος των μικρότερων τιμών της ηλιοφάνειας των φθινοπωρινών, έναντι των μηνών της ανοίξεως, είναι και η μικρότερη θεωρητική ηλιοφάνεια, η οποία υπολείπεται εκείνης της άνοιξης κατά 50 ώρες, περίπου. Οι μικρότερες τιμές (κάτω των 730 ωρών) παρατηρούνται και κατ' αυτήν την εποχή, στα βόρεια και εσωτερικά ορεινά τμήματα της Ηπείρου και Δ. Μακεδονίας και οι μεγαλύτερες στην Κρήτη και τα Δωδεκάνησα, όπου η μέση φθινοπωρινή ηλιοφάνεια υπερβαίνει τις 750 ώρες.

Ο χώρος δεν επιτρέπει να παρατεθούν οι πίνακες και οι χάρτες κατανομής της ηλιοφάνειας για κάθε μήνα χωριστά, αλλά ούτε και εκείνοι οι οποίοι χαράχθηκαν από άλλους ερευνητές (Καραπιπέρης κ.ά., 1974). Όμως, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης με εκείνα που ευρέθησαν από άλλους ερευνητές, η σύγκριση δείχνει τα ίδια περίπου χαρακτηριστικά κατανομής.

Όσον αφορά τους δυναμικούς και συνοπτικούς παράγοντες, οι οποίοι συνδέονται με τα μέγιστα και τα ελάχιστα των τιμών της διάρκειας της ηλιοφάνειας στον Ελληνικό χώρο, αυτοί συνοψίζονται στους εξής:

Τα μέγιστα συμβαίνουν συνήθως, με συνθήκες Ετησίων ανέμων, με αντικυκλωνικές καταστάσεις και με ξηρούς ανέμους του βόρειου τομέα, αλλά ενίοτε και με νοτιοανατολικά ρεύματα.

Τα ελάχιστα παρατηρούνται με υφέσεις και υγρά νοτιοδυτικά και δυτικά ρεύματα, ή με συνδυασμό υφέσεων και αντικυκλώνων (μέτωπα κλπ.).

Συμπερασματικά, εξ' όσων αναφέρθηκαν ανωτέρω, συνάγεται ότι, η διάρκεια της ηλιοφάνειας στον Ελληνικό χώρο, με εξαίρεση τα εσωτερικά ορεινά συγκροτήματα της Ελληνικής Χερσονήσου, είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' ότι στις περισσότερες χώρες της λεκάνης της Μεσογείου (Riehl, 1944).

Ως εκ τούτου, η Ελληνική επικράτεια προσφέρεται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας (Macris, 1976) και της τουριστικής ανάπτυξης για μεγάλες χρονικές περιόδους του έτους, όσον λίγες άλλες περιοχές (Ματζαράκης, 1995).

#### **4. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ**

Η κανονικότητα της κατανομής της διάρκειας της ηλιοφάνειας στον Ελληνικό χώρο, μας οδήγησε στη σκέψη ότι, είναι δυνατόν να αναζητηθούν και να βρεθούν εμπειρικές/στατιστικές εξισώσεις με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων από τις οποίες δίδεται η δυνατότητα να εκτιμηθούν οι μέσες τιμές της ηλιοφάνειας (Catsoulis, 1978). Ή, με την εφαρμογή του μοντέλου ακτινοβολίας και βιοκλίματος Ray Man (Matzarakis *et al.*, 2000) επιλέγοντας και χρησιμοποιώντας ως ανεξάρτητες μεταβλητές:

- Το υψόμετρο της θέσης του Σταθμού, υπεράνω της στάθμης της θαλάσσης (H),
- το ποσοστό της ξηράς, που καλύπτει την περιοχή του Σταθμού, σε ακτίνα 20 χλμ. (Z),
- την απόσταση από την πλησιέστερη ακτή (X),
- το γ. μήκος (λ) εκάστου Σταθμού (σε σχετικές συντεταγμένες από 1 (19°) μέχρι 570 (28°30')),
- το γ. πλάτος (φ) εκάστου Σταθμού (σε σχετικές συντεταγμένες από 1 (42°) μέχρι 450 (34°30')).

Έτσι, προσδιορίστηκαν 5 εξισώσεις (για το έτος και τις 4 εποχές), οι οποίες δίδουν τη μέση ηλιοφάνεια (σε ώρες) με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια. Οι εξισώσεις που προσδιορίστηκαν είναι:

**Πίνακας 1. Γεωγραφικές συντεταγμένες και υψόμετρο των Σταθμών, μέσες τιμές της ηλιοφάνειας (μήνες, έτος, εφός, εποχές) στους Σταθμούς της ΕΜΥ (σε ώρες).**

Σταθμός	Γ. Πλάτος (φ)	Γ. Μήκος (λ)	Υψόμ. (m)	φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος	Εφός	Χεμ.	Άνοι.	Καλοσ.	φθιν.	
Κομοτηνή	41.07	25.24	30	119.6	123.7	138.1	184.9	250.3	280.3	309.3	290.8	249.4	172.0	122.8	115.6	2356.8	193.7	358.9	573.3	880.4	544.2
Σέρρες	41.04	23.34	32	98.0	112.1	150.4	195.2	262.3	284.0	307.3	303.6	241.9	166.0	124.0	114.1	2358.9	209.3	324.2	607.9	894.9	531.9
Σέδες, Θεσσαλίας	40.32	23.01	52	105.9	120.6	144.0	202.1	262.7	276.0	343.5	308.0	241.9	172.1	114.1	89.4	2380.3	254.1	315.9	608.8	927.5	528.1
Μίκρα, Θεσσαλίας	40.31	22.38	4	88.5	91.5	146.8	203.4	269.1	280.1	308.9	271.3	221.8	162.5	118.4	105.0	2267.3	220.4	285.0	619.3	860.3	502.7
Κόνιτσα	40.03	20.45	542	121.5	111.8	156.4	159.1	244.1	255.9	276.5	291.0	225.7	167.3	132.5	126.5	2268.3	179.2	359.8	559.6	823.4	525.5
Λήμνα	39.53	25.04	13	81.7	110.3	161.3	221.0	294.1	324.0	362.8	337.5	271.3	196.4	127.0	94.5	2581.9	281.1	286.5	676.4	1024.3	594.7
Ιωάννινα	39.4	20.51	483	95.6	100.7	141.6	179.5	246.1	266.0	316.0	293.3	227.9	179.4	115.1	87.0	2250.2	229.0	283.3	567.2	877.3	522.4
Λάρισα	39.38	22.25	73	85.1	104.8	151.3	217.2	277.4	292.2	326.0	320.0	243.6	178.0	142.1	91.3	2429.0	240.9	281.2	645.9	938.2	563.7
Κέρκυρα	39.37	19.55	2	122.4	121.9	165.5	215.1	277.7	327.2	372.8	339.8	258.9	197.7	134.0	111.8	2644.8	261.0	356.1	658.3	1039.8	590.6
Ναυπλίου	39.06	24.03	2	106.3	121.1	159.1	211.8	305.9	339.2	381.5	354.6	292.0	205.3	144.0	113.2	2734.0	275.2	340.6	676.8	1075.3	641.3
Λαμία	38.54	22.24	144	102.6	90.4	163.5	209.9	280.2	316.7	333.8	320.0	248.1	177.1	148.0	126.8	2517.1	243.4	319.8	653.6	970.5	573.2
Σκέρυρα	38.54	24.33	4	75.2	96.2	133.4	212.3	301.3	332.3	362.7	340.1	267.4	181.1	127.5	93.4	2522.9	287.5	264.8	647.0	1035.1	576.0
Πάτρα	38.15	21.44	1	110.1	117.2	183.3	185.0	267.9	310.7	319.9	303.5	257.2	185.8	128.7	123.2	2492.5	209.8	350.5	636.2	934.1	571.7
Αλιανός	38.23	23.06	110	84.5	109.2	148.9	209.1	279.5	305.4	351.1	324.9	244.5	168.8	138.2	87.8	2451.9	266.6	281.5	637.5	981.4	551.5
Χίος	38.2	26.08	3	109.1	121.7	175.4	225.5	319.1	357.0	391.2	367.4	298.1	222.2	152.3	119.3	2858.3	282.1	350.1	720.0	1115.6	672.6
Αργολάιον	38.11	20.29	2	150.4	137.0	163.5	208.6	309.9	334.3	366.5	343.7	272.7	194.6	148.5	119.1	2748.8	247.4	406.5	682.0	1044.5	615.8
Αραβός	38.1	21.25	14	131.3	132.5	183.9	224.9	285.1	299.5	340.7	337.5	274.2	206.3	154.5	119.6	2690.0	221.1	383.4	693.9	977.7	635.0
Ν. Φιλαδέλφεια, Αττικής	38.03	23.4	136	113.1	128.0	177.9	233.3	298.6	330.4	370.1	395.2	282.5	203.9	152.7	120.6	2806.3	282.1	361.7	709.8	1095.7	639.1
Κορινθός	37.56	22.57	4	107.7	112.6	173.1	211.4	287.7	328.8	340.6	335.6	265.3	194.5	162.8	129.3	2649.4	232.9	349.6	672.2	1005.0	622.6
Αερ. Ελληνικού	37.54	23.44	10	123.4	136.8	177.6	227.3	297.0	330.9	370.2	347.8	276.9	204.9	159.6	125.5	2777.9	246.8	385.7	701.9	1048.9	641.4
Σάμος	37.42	26.55	48	129.3	139.2	187.9	224.6	299.3	348.7	377.6	356.3	300.5	230.6	168.4	122.4	2884.8	255.2	390.9	711.8	1082.6	699.5
Πύργος	37.41	21.26	12	152.7	133.2	187.2	211.3	312.1	337.8	364.4	348.2	284.8	206.4	175.4	146.2	2859.7	231.2	432.1	710.6	1050.4	666.6
Σύρος	37.27	24.57	10	110.6	142.0	175.4	248.8	321.6	342.0	387.3	361.5	289.7	230.7	157.3	127.8	2894.7	276.7	380.4	745.8	1090.8	677.7
Νάξος	37.06	25.23	9	102.3	117.2	166.7	214.9	283.7	314.0	338.2	325.3	276.6	206.8	158.3	118.5	2622.5	235.9	338.0	665.3	977.5	641.7
Πάρος	37.05	25.09	1	111.3	134.8	183.1	236.9	319.5	359.8	377.7	349.8	282.4	212.0	153.5	119.9	2840.7	266.4	366.0	739.5	1087.3	647.9
Καλαμάτα	37.04	22.06	6	158.0	139.5	184.7	199.9	309.0	338.8	364.3	340.0	281.8	202.7	179.1	136.1	2833.9	228.2	433.6	693.6	1043.1	663.6
Μεθώνη	36.5	21.42	33	121.6	124.9	177.0	200.8	295.1	326.5	358.1	338.9	270.9	210.4	164.8	120.1	2709.1	238.0	366.6	672.9	1023.5	646.1
Μήλιος	36.43	24.27	182	93.7	87.6	166.5	206.3	327.0	389.2	424.0	399.4	320.6	195.4	161.9	95.8	2867.4	336.4	277.1	699.8	1212.6	677.9
Ρόδος	36.23	28.07	35	136.7	142.9	204.4	247.1	314.3	353.4	388.1	375.1	315.5	238.6	183.8	143.3	3043.2	251.4	422.9	765.8	1116.6	737.9
Κύθηρα	36.09	23	167	153.8	134.2	176.9	216.3	301.6	349.7	365.9	344.6	285.1	208.1	168.4	132.1	2836.7	233.8	420.1	694.8	1060.2	661.6
Σούδα, Χανίων	35.33	24.07	139	112.7	127.7	177.7	229.4	312.2	330.0	371.4	366.0	288.0	187.3	165.5	121.7	2789.6	238.7	362.1	719.3	1067.4	640.8
Χανιά	35.3	24.02	62	112.6	127.6	176.6	228.4	312.8	355.7	379.3	368.7	279.3	186.6	165.9	116.3	2828.9	280.6	356.0	723.0	1117.6	631.8
Ρέθυμνον	35.21	24.31	7	110.8	132.3	157.0	218.0	309.0	335.0	373.1	350.2	263.7	166.1	165.8	112.9	2693.9	262.3	356.0	684.0	1058.3	595.6
Ηράκλειον	35.2	25.11	38	106.8	125.1	181.9	234.4	315.0	351.8	386.9	357.9	290.2	200.2	166.1	122.0	2838.3	280.1	353.9	731.3	1096.6	656.5
Σπεία	35.12	26.06	25	109.1	125.7	181.7	228.2	310.3	346.1	379.3	349.2	286.7	201.3	168.2	118.7	2800.4	270.2	353.5	720.2	1074.6	656.2
Τυμβάκιον	35	24.45	6	134.5	158.7	197.7	234.2	323.4	334.5	386.6	384.0	296.7	232.5	186.6	169.7	3039.1	252.1	462.9	755.3	1105.1	715.8
Ερωστέρα	35	25.45	16	155.6	158.8	208.3	240.2	319.1	355.4	384.7	367.7	307.5	235.9	201.3	167.0	3101.5	229.1	481.4	767.6	1107.8	744.7

Έτος,	$Y = 2248.2 - 0.2429 \cdot H + 0.1350 \cdot Z - 0.1511 \cdot X + 0.2177 \cdot \lambda + 1.3585 \cdot \phi,$
Χειμώνας,	$Y = 303.1 - 0.1457 \cdot H - 0.0067 \cdot Z + 0.1149 \cdot X - 0.0619 \cdot \lambda + 0.3132 \cdot \phi,$
Άνοιξη,	$Y = 579.1 - 0.1091 \cdot H + 0.0271 \cdot Z - 0.0100 \cdot X + 0.0607 \cdot \lambda + 0.3182 \cdot \phi,$
Θέρος,	$Y = 877.7 - 0.0691 \cdot H + 0.0700 \cdot Z - 0.2745 \cdot X + 0.1179 \cdot \lambda + 0.3741 \cdot \phi,$
Φθινόπωρο,	$Y = 488.3 - 0.0572 \cdot H + 0.0446 \cdot Z + 0.0185 \cdot X + 0.1010 \cdot \lambda + 0.3530 \cdot \phi.$

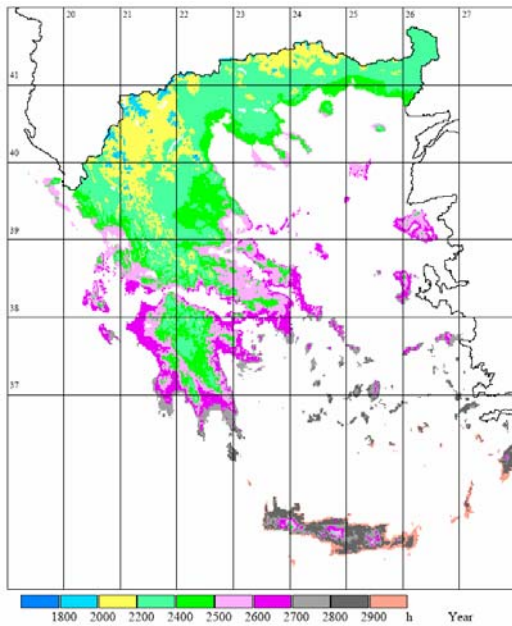
Εάν τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τις εξισώσεις αυτές συγκριθούν με τις αληθινές μέσες τιμές της ηλιοφάνειας που παρέχονται στον Πίνακα 1, παρατηρούμε ότι, για τους περισσότερους Σταθμούς, οι διαφορές είναι μικρότερες τις μισής (0.5) ώρας. Υπάρχουν, όμως και περιοχές, για τις οποίες οι εξισώσεις δίδουν μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές ηλιοφάνειας. Το εντυπωσιακότερο χαρακτηριστικό που διαπιστώνεται είναι η εξαιρετικά μικρή τιμή της μέσης ηλιοφάνειας στην Ιεράπετρα της Κρήτης, η οποία μπορεί να ερμηνευθεί από τα αποτελέσματα της δυτικής και βόρειας φραγής στην ηλιοφάνεια, η οποία επιφέρεται από τους γύρω λόφους και τα βουνά της Κρήτης.

Οι περισσότερες μετεωρολογικές παράμετροι μεταβάλλονται ακόμη και σε μικρές αποστάσεις, αλλά η ηλιοφάνεια είναι μια από τις λίγες παραμέτρους που δεν μεταβάλλονται σημαντικά. Γι' αυτό, οι εμπειρικές εκτιμήσεις φαίνεται ότι δίδουν μια καλή προσέγγιση στις πραγματικές μέσες ετήσιες και εποχικές τιμές, για οποιαδήποτε περιοχή της Ελλάδος, η οποία δεν υπόκειται σε φυσική σκίαση, λόγω γειτνίασης με όρη, λόφους, ή κτίρια. Η σύγκριση μεταξύ πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, φαίνεται ότι δίδει καλή συμφωνία, όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.

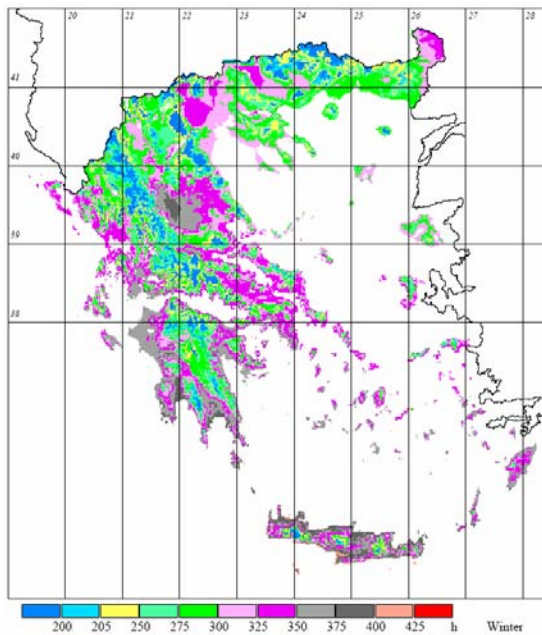
## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Από την προηγηθείσα στατιστική ανάλυση των μέσων μηνιαίων, εποχικών και ετησίων τιμών της διάρκειας της ηλιοφάνειας, μπορεί να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

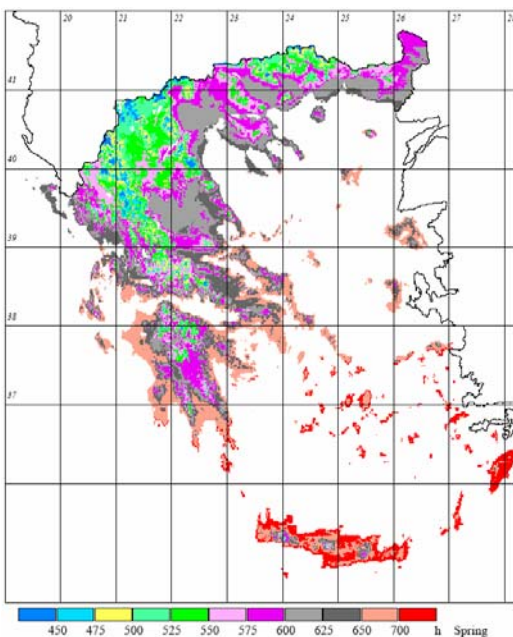
1. Η ενδοετήσια πορεία της ηλιοφάνειας παρουσιάζει απλή κύμανση με μέγιστες τιμές τον Ιούλιο και ελάχιστες τον Ιανουάριο και δευτερευόντως, τον Δεκέμβριο. Αυτό οφείλεται, τόσο σε δυναμικούς ατμοσφαιρικούς, όσο και σε τοπικούς φυσικογεωγραφικούς παράγοντες. Δηλαδή, οι μέγιστες τιμές που συμβαίνουν το θέρος (τον Ιούλιο) οφείλονται στη μεγάλη θεωρητική ηλιοφάνεια, στην απουσία διέλευσης υφέσεων, στην επικράτηση αντικυκλωνικών συνθηκών και στην συχνότητα και εμμονή των Ετησίων ανέμων. Οι ελάχιστες τιμές του χειμώνα, συμβαίνουν λόγω της αυξημένης συχνότητας υφειακής και μετωπικής δράσης, αλλά και της μικρότερης θεωρητικής ηλιοφάνειας.
2. Η γεωγραφική κατανομή των μέσων ετήσιων και εποχικών τιμών της διάρκειας της ηλιοφάνειας δείχνει ότι, οι μικρότερες ετήσιες και εποχικές τιμές καταγράφονται στα εσωτερικά βόρεια και κεντρικά ορεινά συγκροτήματα της Ελληνικής χερσονήσου. Οι τιμές βαίνουν αυξανόμενες προς την κατεύθυνση του νότου και προς τις κατευθύνσεις των ακτών. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται στις νότιες ακτές της Κρήτης (με ετήσιες τιμές άνω των 3000 ωρών, περίπου) και στις νότιες νησιώτικες και παράκτιες περιοχές, καθώς και στην Αττική και στις γειτονικές με αυτήν παράκτιες περιοχές.
3. Η αποτύπωση της χρονικής και γεωγραφικής κατανομής των ωρών της ηλιοφάνειας στον Ελληνικό χώρο, με την αντικειμενική μέθοδο της παρούσας εργασίας, δεν έδωσε σημαντικές διαφορές τιμών, σε σχέση με προηγούμενες μελέτες που βασίστηκαν, κατά τον μάλλον ή ήττον, σε υποκειμενικές μεθόδους.



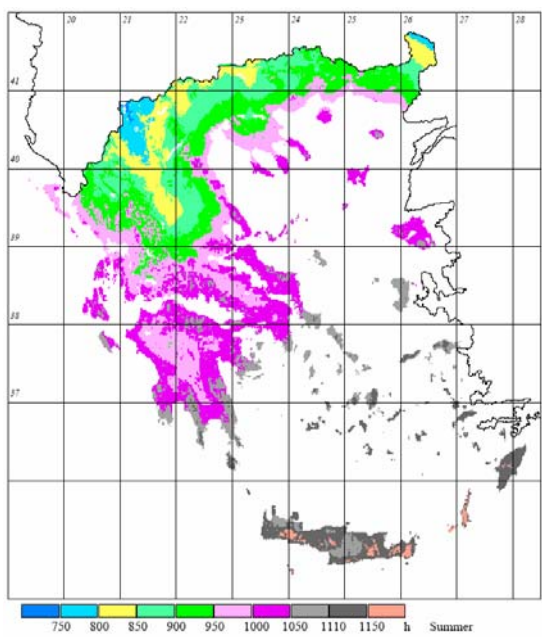
**Σχήμα 1.** Ετήσια γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας, για τον Ελληνικό χώρο (σε ώρες).



**Σχήμα 2.** Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας κατά τον Χειμώνα, για τον Ελληνικό χώρο (σε ώρες).

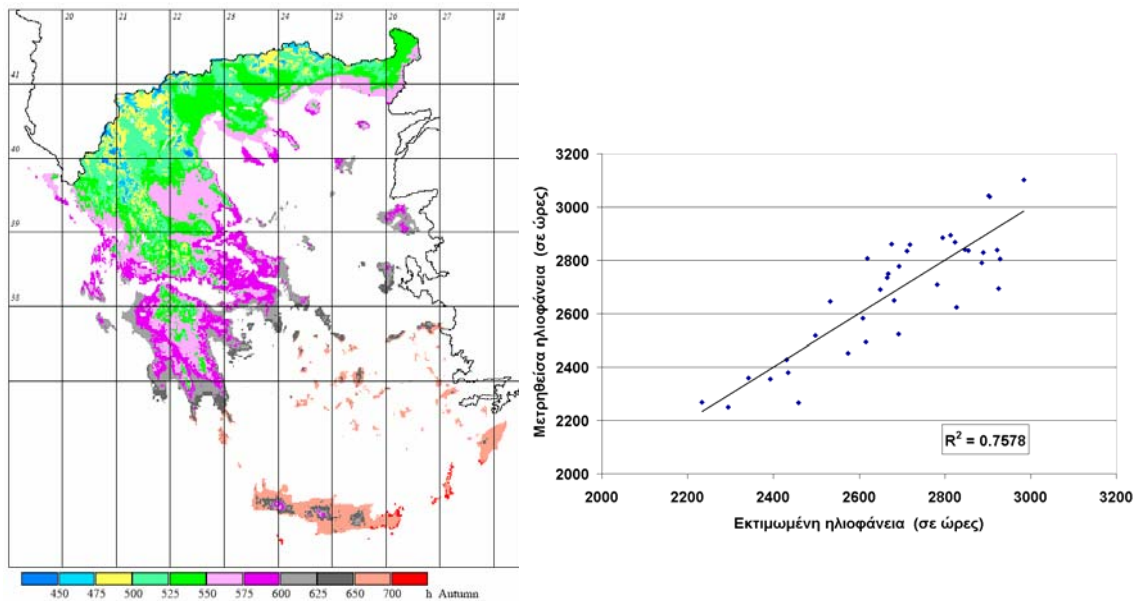


**Σχήμα 3.** Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας κατά την Άνοιξη, για τον Ελληνικό χώρο (σε ώρες).



**Σχήμα 4.** Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας κατά το Θέρος, για τον Ελληνικό χώρο (σε ώρες).





**Σχήμα 5.** Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας κατά το Φθινόπωρο, για τον Ελληνικό χώρο (σε ώρες). **Σχήμα 6.** Σύγκριση μεταξύ πραγματικών και εκτιμωμένων ετησίων τιμών ηλιοφάνειας (σε ώρες).

4. Τέλος, από τις υπολογισθείσες εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης της μέσης ετήσιας και εποχικής διάρκειας της ηλιοφάνειας συνάγεται ότι είναι δυνατόν, από τις εμπειρικές αυτές εξισώσεις, να εκτιμηθεί η πραγματική ηλιοφάνεια με ικανοποιητική ακρίβεια και σε γεωγραφικές περιοχές, για τις οποίες δεν διατίθενται πραγματικές μετρήσεις.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αιγινήτης, Δ., 1907/1908: *Το κλίμα της Ελλάδος*. Τομ. 1 και 2, Αθήναι.
- Καραπιτέρης, Λ., 1963: *Το κλίμα της Ελλάδος*. Εθν. Αστερ. Αθηνών.
- Καραπιτέρης, Α., Β. Κατσούλης, Κ. Παπαχριστόπουλος, 1974: Συμβολή εις την μελέτην της ηλιοφάνειας εν Ελλάδι. *Υπομνηματα του Εθν. Αστερ. Αθηνών, Σειρα II, Μετεωρολογία, Αριθμ. 38*.
- Κατσούλης, Β., Ν. Καντερές, 1979: *Πιθανότητες αίθριου καιρού για την Ελλάδα*. Δημοσίευμα Αριθ. 6, Εθν. Μετωρ. Υπηρεσία (ΕΜΥ).
- Μαριολόπουλος, Η., 1938: *Το κλίμα της Ελλάδος*.
- Ματζαράκης, Α., 1995: *Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του Κλίματος της Ελλάδος*. Τμήμα Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών του ΑΠΘ.
- Catsoulis, B. D., 1978: Sunshine duration and empirical formulae for average sunshine values, in Greece. *Bul. Hell. Meteor. Society* Vol. 3, No. 3, 22-32.
- Furmage, D. E., 1970: A method of adjusting sunshine averages at an obstructed site taking into account obstructions and diurnal variation of sunshine. *Met. Mag.* 99, 61-68.
- Katsoulis, B. D., S. Leontaris, 1981: The distribution over Greece of global solar radiation on a horizontal surface. *Agric. Meteorology*, 23, 217-229.
- Livadas, G., 1969: Sunshine duration in Thessaloniki (I). *Publ. of the Meteorol. Institute, No. 1*, Maths. Section of Ioannina Univ. Campus.
- Livadas, G., 1970: Sunshine duration in Thessaloniki (II). *Publ. of the Meteorol. Institute, No. 3*, Maths. Section of Ioannina Univ. Campus.
- Livadas, G., A. Flocas, 1972: Sunshine duration in Thessaloniki, Greece, II, "*Meteorologika*", No. 15, Publ. Univ. of Thessaloniki.
- Livadas, G., T. Karakostas, 1975: Sunshine duration in Athens (I). "*Meteorologika*", No. 47, Publ. Univ. of Thessaloniki.

- Livadas, G., P. J. Pennas, Th. Maldoyiannis, 1975: Sunshine duration in Ioannina, Greece. "Meteorologika", No. 46, Publ. Univ. of Thessaloniki.
- Livathinos, A., 1926: *L'insolation en Grèce*. Ann. de l'Obs. Nat. d'Athènes. T. IX.
- Macris, G., 1976: On the distribution of solar energy (estimated from sunshine hours) in Greece. *Hypomnemata of the Nat. Obs. Of Athens, Serie II, Meteorology No. 43*.
- Mariolopoulos, E., A. Livathinos, 1938: *Atlas climatique de la Grèce*, Nat. Obs. Athens.
- Matzarakis, A., H. Mayer, 1997: Heat stress in Greece. *Int. J. Biometeor.* 41, 34-39.
- Matzarakis, A., C. Balafoutis, H. Mayer, 1998: Δημιουργία βιοκλιματικών και κλιματικών χαρτών για τον Ελλαδικό χώρο. *Proc. 4<sup>th</sup> Panhellenic Congress on Meteorology-Climatology-Physics of the Atmosphere*, Athens September 1998, 3, 477-482.
- Matzarakis, A., F. Rutz, H. Mayer, 2000: Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures, *WCASP-50, WMO/TD No. 1026*, 273-278.
- Meteorol. Office, HMSO, 1962: *Weather in the Mediterranean*, 1 and 2.
- Pennas, P. J., 1976: Sunshine duration in Crete. "Meteorologika", No 65, Publ. Univ. of Thessaloniki.
- Reiter, E. R., 1975: *Handbook for forecasters in the Mediterranean*. Tech. Paper No. 5-75, Environmental Prediction Research Facility, Naval Postgraduate School, Monterey, 344 p.
- Riehl, D., 1944: *The Climatology of the Mediterranean Basin*. Chicago Univ. Press.
- Van der Stok, J. P., 1942: *On the relations, between cloudiness of the sky and the duration of sunshine*. Kon. Acad. Van Wetenschappen et Amsterdam. XIV, 31-37.