

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Ανδρέας Ματζαράκης ⁽¹⁾, Χρήστος Μπαλαφούτης ⁽²⁾, Helmut Mayer ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Meteorologisches Institut, Universität Freiburg, D-79085 Freiburg

⁽²⁾ Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, ΤΚ 54006 Θεσ/νίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία παρουσιάζονται παραδείγματα βιοκλιματικών και κλιματικών χαρτών, που έχουν υπολογιστεί και σχεδιαστεί με τη βοήθεια των Η/Υ. Χάρτες αυτού του είδους προσφέρουν μεγάλη πιστότητα και πολύ καλή ποιότητα και μπορούν να ανταποκριθούν στη ζήτηση κλιματικών και βιοκλιματικών παραμέτρων κατά τους διάφορους τουριστικούς, οικιστικούς, αρχιτεκτονικούς και χωροταξικούς στόχους και σχεδιασμούς.

Για την κατασκευή των χαρτών αυτών απαιτούνται μετεωρολογικά, κλιματικά, γεωγραφικά και τοπογραφικά δεδομένα. Τη βάση για τους βιοκλιματικούς χάρτες που παρουσιάζονται αποτέλεσαν τα συνοπτικά στοιχεία της 12 UTC για την περίοδο 1979-1989, ενώ για τους κλιματικούς χάρτες χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά στοιχεία της περιόδου 1930 - 1975. Τα Γεωγραφικά και τοπογραφικά στοιχεία πάρθηκαν από τοπογραφικό μοντέλο της Ελλάδας.

Βασικό κορμό της βιοκλιματικής μελέτης αποτέλεσαν δύο βιοκλιματικά μοντέλα του ανθρώπινου οργανισμού, το KLIMA-MICHEL-MODELL και το MEMI. Ομοίως για το υπολογισμό της Μέσης Ακτινοβολικής Θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο ακτινοβολίας. Η εφαρμογή αυτών των μοντέλων οδήγησε στην εκτίμηση των βιοκλιματικών δεικτών PMV (Predicted Mean Vote) και PET (Physiologic Equivalent Temperature) για 12 συνοπτικούς σταθμούς της ΕΜΥ. Αντίστοιχα, για την κλιματική μελέτη έγινε ανάλυση των θερμοκρασιών του αέρα για 86 κλιματικούς σταθμούς της χώρας.

Με την βοήθεια στοχαστικών-στατιστικών μοντέλων πραγματοποιήθηκε η μεταφορά των σημειακών στοιχείων στο χώρο, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης και τη χρήση ενός τοπογραφικού μοντέλου της Ελλάδος. Τις εξαρτημένες μεταβλητές για την στατιστική ανάλυση αποτέλεσαν οι υπολογισμοί του PMV, της PET και της Θερμοκρασίας του Αέρα και ως ανεξάρτητες μεταβλητές θεωρήθηκαν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, η ηπειρωτικότητα, στοιχεία κλιτύων, ο προσανατολισμός και η κατανομή ξηράς και θάλασσας. Η προκύπτουσα στατιστική συσχέτιση είναι πολύ υψηλή.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι χάρτες του PMV της PET και της Θερμοκρασίας του Αέρα. Η γεωγραφική κατανομή των παραμέτρων είναι πολύ ικανοποιητική και ερμηνεύει πολύ καλά τις κλιματικές ιδιαιτερότητες του πολύπλοκου ελλαδικού ανάγλυφου.

CONSTRUCTION OF BIOCLIMATIC AND CLIMATIC MAPS FOR THE GREEK AREA

A. Matzarakis, ⁽¹⁾, Ch. Balafoutis ⁽²⁾, Helmut Mayer ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Meteorologisches Institut, Universität Freiburg, D-79085 Freiburg

⁽²⁾ Department of Meteorology and Climatology, Aristotle University of Thessaloniki
GR-54006 THESSALONIKI

ABSTRACT

In this paper there are presented examples of bioclimatic and climatic maps which have been calculated and designed with the aid of computers. These kinds of maps provide great accuracy and very good quality. They also correspond to the demand of climatic and bioclimatic parameters for tourist, sheltering, architectural and land planning aims and planning.

In order to create these maps, meteorological, climatic, geographic and topographic data is demanded. The synoptic data of the 12 UTC for the period 1979-1989 compose the basis for

the bioclimatic maps. For the climatic maps there were used the climatic elements for the period 1930-1975. The geographic and topographic data was taken from a model of the Greek topography.

The two bioclimatic models, KLIMA-MICHEL-MODELL and MEMI, of the human body constituted the basis of this bioclimatic study. Similarly, for the calculation of the Mean Radiation Temperature T_{mrt} a radiation model was used. The application of these models lead to the evaluation of the bioclimatic indexes PMV (Predicted Mean Vote) and PET (Physiological Equivalent Temperature) for the 12 synoptic stations. Respectively, for the climatic study there has been an analysis of the air temperature for 86 climatic stations of the country. Using stochastic-statistic models we achieved the transfer of point elements in space. This work was materialized by the multiple regression method combined with the topographic model of Greece.

The depended variables for the statistic analysis resulted by the calculation of PMV, PET and Air Temperature. The independent variables were the longitude, latitude, continentality, slope elements, orientation and the land/sea distribution. The outcome indicates a high correlation value.

The PMV, PET and Air Temperature maps consist the conclusive product of this survey. The geographic distribution of the parameters is very satisfactory and it also interprets very well the climatic peculiarities of the complex Greek relief.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, οι θεματικοί χάρτες στους οποίους ανήκουν και οι κλιματικοί, αποτελούν βασικά εργαλεία για την ερμηνεία, την ανάλυση και την μελέτη των κλιματικών και βιοκλιματικών συνθηκών μιας περιοχής. Οι θεματικοί χάρτες υποδιαιρούνται σε δύο τύπους. (Zimmermann και Kienast, 1995). Οι χάρτες του πρώτου τύπου είναι προϊόντα επιτόπιας έρευνας και μας εφοδιάζουν γενικά με πληροφορίες όπως π.χ. γεωλογικά στρώματα, τύπους επιφανειών ή τύποι χρήσης γης. Στους χάρτες του δεύτερου τύπου τα αποτελέσματα τους βασίζονται σε σημειακές μετρήσεις, δηλαδή οι μετρήσεις από ορισμένα σημεία επεκτείνονται σε όλη την περιοχή με τη εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, που τελικά οδηγούν στις σύλληψη και στη δομή ειδικών χαρτών όπως είναι οι βιοκλιματικοί χάρτες που έχουν παρουσιαστεί από διάφορους ερευνητές (Jendritzky et al., 1990, Matzarakis, 1995, Matzarakis και Mayer, 1997).

Οι παραπάνω ερευνητές βάσισαν τις εργασίες τους σε γνωστά βιοκλιματικά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στην κεντρική Ευρώπη για βιοκλιματικές μελέτες. Τα μοντέλα αυτά γνωστά ως KLIMA-MICHEL-MODELL (Fanger, 1972, Jendritzky et al., 1990) και MEMI (Hörpe, 1984). Ομοίως για το υπολογισμό της Μέσης Ακτινοβολικής Θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο ακτινοβολίας (Ματζαράκης, 1995). Η εφαρμογή αυτών των μοντέλων οδήγησε στην εκτίμηση των βιοκλιματικών δεικτών PMV (Predicted Mean Vote) και PET (Physiologic Equivalent Temperature).

Στα ίδια μοντέλα βασίζεται και η παρούσα εργασία προκειμένου να συνταχθούν βιοκλιματικοί χάρτες του ελληνικού χώρου. Πέρα από τη σύνταξη βιοκλιματικών χαρτών επιχειρείται η σύνταξη κλιματικών χαρτών θερμοκρασίας του αέρα. Χάρτες αυτού του είδους έχουν παρουσιαστεί από τους Marioloroulos και Livanthinos (1935) και Κοτίνη-Ζαμπάκα (1983), οι οποίοι όμως έχουν χαραχθεί με μη μηχανικούς τρόπους.

ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Για την κατασκευή των βιοκλιματικών και κλιματικών χαρτών απαιτούνται μετεωρολογικά, κλιματικά, γεωγραφικά και τοπογραφικά δεδομένα. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου για τους βιοκλιματικούς χάρτες που παρουσιάζονται αποτέλεσαν τα συνοπτικά στοιχεία της 12 UTC για την περίοδο 1979-1989, και προέρχονται από 12 συνοπτικούς σταθμούς της EMY.

Για τους κλιματικούς χάρτες χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά στοιχεία της περιόδου 1930 - 1975 για 86 κλιματικούς σταθμούς (Ανδρεάκος, 1978).

Τα Γεωγραφικά και τοπογραφικά στοιχεία που απαιτούνται για τη σύνταξη όλων των χαρτών ελήφθησαν από σχετικό τοπογραφικό μοντέλο της Ελλάδας (Ματζαράκης, 1995).

Πολλές κλιματικές κλιματικές συνιστώσες εξαρτώνται από την τοπογραφία μιας περιοχής καθώς επίσης και από το υψόμετρο και τον προσανατολισμό αυτής. Επομένως θεωρείται απαραίτητο να προσδιορισθούν τα υψόμετρα της μελετώμενης περιοχής. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα ψηφιακό τοπογραφικό μοντέλο (Ματζαράκης, 1995) που βασίστηκε στους χάρτες γενικής χρήσης με κλίμακα 1:500.000 (ΓΥΣ). Το μοντέλο αυτό αποτελείται από πλέγματα εμβαδού 2.4 km² περίπου (1.85 επί 1.3 km).

Για την κατασκευή των βιοκλιματικών χαρτών χρησιμοποιήσαμε δεδομένα Θερμοκρασίας αέρα, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, νέφωσης και ορατότητας. Επιπλέον υπολογίστηκαν έμμεσα στοιχεία ακτινοβολίας καθώς και θερμοφυσιολογικές παράμετροι ενδυμασίας και δραστηριότητας. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στο θερμότερο τμήμα της ημέρας (12 UTC) και αναφέρονται μόνο σε 12 σταθμούς χαμηλού υψομέτρου (< 650 m). Επομένως το περιορισμένο σε αριθμό δίκτυο σταθμών τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφο διάσταση του χώρου επιβάλλει εκ των πραγμάτων πολύ σημαντικούς περιορισμούς στον προσδιορισμό του τελικού αντικειμενικού αποτελέσματος. Οι περιορισμοί αυτοί επιχειρήθηκε να παρακαμφθούν κάνοντας χρήση στοχαστικών-στατιστικών μοντέλων, τα οποία έχουν την παρακάτω γενική μορφή:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_6) = a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_6 * X_6$$

όπου: Y = Εξαρτημένη μεταβλητή (Τιμή θερμικής επίδρασης - PET ή PMV)

a_i = Συντελεστές (i= 0, ..., 6).

X_j = Ανεξάρτητες μεταβλητές (j = 1, ..., 6)

X₁ = Γεωγραφικό πλάτος,

X₂ = Βαθμός ηπειρωτικότητας

X₃ = Υψόμετρο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας,

X₄ = Γωνία κλίσης του εδάφους

X₅ = Προσανατολισμός κλιτύος,

X₆ = Ποσοστό ξηράς ή θάλασσας.

Η εφαρμογή του μοντέλου αυτού έδωσε αποτελέσματα που παρουσίασαν πολύ υψηλή στατιστική συσχέτιση μεγαλύτερη του 0.80.

Και για τους κλιματικούς χάρτες της θερμοκρασίας του αέρα εφαρμόσαμε την ίδια μέθοδο, όπου σαν εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι θερμοκρασίες του αέρα ενώ σαν ανεξάρτητες μεταβλητές το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, υψόμετρο, η μικρότερη απόσταση κάθε πλέγματος από την θάλασσα και η αναλογία ξηράς/θάλασσας πλεγμάτων διαμέτρου 30 km. Τα στατιστικά αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής ήταν άκρως ικανοποιητικά και οι συντελεστές συσχέτισης κυμάνθηκαν από 0.86 (Ιούλιος) έως 0.97 (Ιανουάριος).

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η εφαρμογή των προαναφερθέντων μοντέλων οδήγησε τελικά στην σχεδίαση, με την βοήθεια του H/Y, των μηνιαίων χαρτών βιοκλιματικών και κλιματικών παραμέτρων. Επιλεκτικά στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στους Χάρτες 1, 2 και 3 που ακολουθούν οι συνθήκες του PMV (Χάρτης 1), του PET (Χάρτης 2), για τον μήνα Ιούλιο και της ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα (Χάρτης 3).

Η μελέτη και η ανάλυση του Χάρτη 1 δείχνει ότι σχεδόν όλη η χώρα κυριαρχείται από βιοκλιματικές συνθήκες, οι οποίες εκφράζουν επιβάρυνση από ζέστη. Τιμές του PMV στη βαθμίδα της μεγάλης θερμικής επιβάρυνσης (2.1 με 3.0) σημειώνονται σε υψόμετρα επάνω από 300 - 600 m, ενώ τιμές στη βαθμίδα με μέτρια επιβάρυνση (1.3 και 2.0) εμφανίζονται σε περιοχές, οι οποίες βρίσκονται σε υψόμετρα που κυμαίνονται από 900 - 1200 m. Χαρακτηριστικό φαινόμενο του μήνα αυτού αλλά και γενικά όλου του καλοκαιριού είναι ότι δεν παρατηρούνται βιοκλιματικές συνθήκες θερμικής άνεσης στις κατοικημένες περιοχές της

χώρας. Οι περιοχές, στις οποίες εκδηλώνεται θερμική άνεση βρίσκονται σε υψόμετρα από 1200 έως 2500 m. Μέγιστες τιμές του PMV εκδηλώνονται σε θέσεις με μεσημβρινό προσανατολισμό στην ενδοχώρα. Οι περιοχές στις οποίες εκδηλώνονται δυσμενείς βιοκλιματικές συνθήκες εντοπίζονται κυρίως στην πεδιάδα Θεσ/νίκης και Σερρών και σε μικρότερη έκταση στο Θεσσαλικό κάμπο. Ακόμη σε υψόμετρα μικρότερα των 300 m σε όλο τον ελληνικό χώρο παρατηρούνται με μορφή μωσαϊκού οι δυσμενείς αυτές συνθήκες. Η παρουσία στη Β. Ελλάδα είναι συνάρτηση των υψηλών υγρασιών που κυριαρχούν στην περιοχή.

Στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους οι τιμές του PMV, είναι μικρότερες από τις τιμές της υπόλοιπης Ελλάδας, διότι κατά την περίοδο αυτή τα νησιά και οι ακτές του Αιγαίου βρίσκονται κάτω από την επίδραση των ετησίων ανέμων. Η θερμική ουδετερότητα σημειώνεται σε πολύ μικρή έκταση, όπως δείχνει ο Χάρτης 1.

Η μελέτη του Χάρτη 2, δείχνει ότι η κατανομή του δείκτη PET, ο οποίος περιγράφει τις βιοκλιματικές συνθήκες σε ισοδύναμες τιμές θερμοκρασίας, σε βαθμούς Κελσίου, παρουσιάζει παράλληλη βιοκλιματική κατανομή με αυτήν του PMV, αν και ο τρόπος υπολογισμού καθώς και οι μονάδες που χρησιμοποιούνται διαφέρουν τελείως. Η θερμική ουδετερότητα του PET εκφράζεται από τη ζώνη των 18 έως 23 °C, ενώ αυτή του PMV από +0.5 μέχρι -0.5.

Οι συνθήκες της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας παρουσιάζονται στο Χάρτη 3. Μελετώντας αυτό τον χάρτη διαπιστώνουμε ότι η τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ 2 και 20 °C. Μικρότερες τιμές παρατηρούνται στα μεγάλα υψόμετρα της ενδοχώρας και της Κρήτης αποκαλύπτοντας τόσο την επίδραση του υψόμετρου όσο και του γεωγραφικού πλάτους. Επίσης όπως φαίνεται και από την κατανομή των θερμοκρασιών του αέρα, πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο βαθμός της ηπειρωτικότητας και η σχέση κατανομής ξηράς/θάλασσας, αφού χαμηλές τιμές θερμοκρασίας του αέρα παρατηρούνται σε μικρότερα σχετικά υψόμετρα της ενδοχώρας, που απέχουν σημαντικά από τις ακτές ή βρίσκονται κάτω από την επίδραση ψυχρών εισβολών.

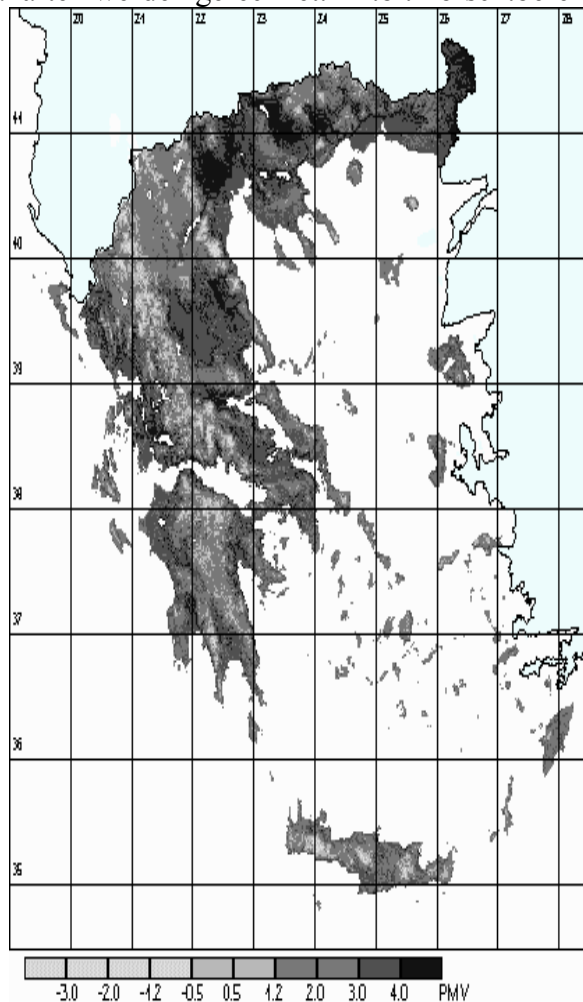
Οι υψηλές θερμοκρασίες του αέρα προτείνουν τα χαμηλά υψόμετρα και αυξάνονται με την ελάττωση του γεωγραφικού πλάτους. Έτσι η κλειστές χαμηλές πεδιάδες παρουσιάζουν θερμοκρασίες του αέρα που φθάνουν και τους 18 °C. Οι τιμές αυτές κυριαρχούν σε μεγαλύτερα σχετικά υψόμετρα της κεντρικής, της δυτικής Ελλάδος και της Πελοποννήσου καθώς και των νησιών. Ο ρόλος της ηπειρωτικότητας είναι και πάλι προφανείς στην Β. Ελλάδα, η οποία έχει την εμπειρία των ψυχρών εισβολών από τα Β. Βαλκάνια. Η υψηλότερες θερμοκρασίες του αέρα που φθάνουν τους 20 °C, περιορίζονται στις ακτές της Κρήτης, στις εκβολές του Αχελώου, στις δυτικές και νότιες ακτές της Πελοποννήσου και τέλος στα Δωδεκάνησα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η όλη κατανομή των βιοκλιματικών και κλιματικών παραμέτρων στους χάρτες που παρουσιάστηκαν έδειξε ότι αυτές βρίσκονται πάρα πολύ κοντά στις αντίστοιχες πραγματικές συνθήκες, γεγονός το οποίο αποδεικνύει την αξιοπιστία των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Πιθανές αποκλίσεις θα μπορούσαν να είναι αποδεκτές αφού το δίκτυο των σταθμών που χρησιμοποιήθηκε, ιδιαίτερα για τους βιοκλιματικούς δείκτες, είναι πού αραιό και περιορίζεται σε χαμηλότερα κυρίως υψόμετρα. Η προαναφερθείσα τεχνική μπορεί να δώσει χρήσιμα και ρεαλιστικά εργαλεία για μελέτες σε ατμοσφαιρικούς, αρχιτεκτονικούς, βιοιατρικούς σχεδιασμούς, καθώς και σε περιβαλλοντικές μελέτες σκοπιμότητας. Τα αποτελέσματα βέβαια μπορούν να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο υπό την προϋπόθεση ότι το δίκτυο των σταθμών θα πυκνώσει ακόμη περισσότερο και θα φτάσει στον αριθμό των 200 περίπου σταθμών που προβλέπει για την Ελλάδα η World Meteorological Organization (WMO).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανδρεάκος, Κ., (1978). Κλιματικά στοιχεία του Ελληνικού Δικτύου (περίοδος 1930 - 1975). Ε.Μ.Υ., Διευθ. Κλιματολογίας. Αθήνα.
 2. Fanger, P. O., (1972). Thermal Comfort. New York. McGraw-Hill.
 3. Höppe, P., 1984. Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München Nr. 49.
 4. Jendritzky, G., (1990). Bioklimatische Bewertungsgrundlage zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung. ARL Beiträge Nr. 128.
 5. Κοτίνη-Ζαμπάκα, Σ., (1983). Συμβολή στην κατά μήνα μελέτη του κλίματος της Ελλάδας. Διδ. Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης. Θεσ/νίκη.
 6. Mariolopoulos, E. G.; Livathinos, A. N., (1935). Atlas Climatique de la Grèce. Observatoire National d'Athènes. Athènes.
 7. Matzarakis, A., (1995). Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος. Διδ. Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης. Θεσ/νίκη.
 8. Matzarakis, A., Mayer, H., (1997). Heat stress in Greece. *Int. J. Biometeor.* 41, 34-39.
- Zimmermann, K.; Kienast, F., (1995). Das Klima lässt sich nicht kartieren - Klimakarten werden gerechnet. Inf.bl. Forsch.bereich Landsch.ökol. WSL Nr. 27.



Χάρτης 1: Γεωγραφική κατανομή του βιοκλιματικού δείκτη PMV κατά τις μεσημβρινές ώρες του Ιουλίου στην ελληνική περιοχή