

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ*

Η.Θ. ΝΑΣΤΟΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η αποτελεσματικότητα της βροχής (P/E), όπως αυτή ορίζεται από τον Thornthwaite, στην Ελλάδα. Η αποτελεσματικότητα της βροχής, εκτός από τα υδάτινα καταπονηνίσματα, εξαρτάται και από την εξάτμιση, η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, της ατμοσφαιρικής πίεσης, του ανέμου, κ.λ.π.

Το κλιματικό αρχείο που χρησιμοποιήθηκε αφορά μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχοπτώσης της περιόδου 1963-1992, για ένα δίκτυο 38 μετεωρολογικών σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Αφού υπολογίστηκε η παράμετρος (P/E), για κάθε ένα σταθμό, στη συνέχεια σχεδιάστηκε με την βοήθεια της μεθόδου Kriging η χωρική κατανομή της στην Ελλάδα και γίνεται σύγκριση με προγενέστερη κατανομή.

ABSTRACT

The annual precipitation and its distribution in time does not determine, by itself, the arid or wet character of a climate. It has to be examined whether or not the amount of precipitation response to the needs of water of an area because of the evapotranspiration.

In the present study, the effectiveness of precipitation (P/E), as it has been defined by Thornthwaite, is examined in Greece. Thornthwaite classified the climates of North America and in the process all over the world according to the effectiveness of precipitation, defined as $P/E = \varepsilon 115(P/T-10)10/9$, where P is the monthly precipitation in inches, and T is the monthly temperature in °F. Therefore, five types of climates have been determined, based on the mentioned formula: wet (> 128), humid (64-127), subhumid (32-63), semiarid (16-31) and arid (< 16).

The climatic data, which were used for the evaluation of P/E, were mean monthly temperature and mean monthly precipitation of the period 1963-1992 for 38 meteorological stations of the National Meteorological Service. Applying Kriging method, the spatial distribution of P/E in Greece is plotted. Generally speaking the major area of Greece is of subhumid climate. Exception to that rule is the Western Greece including the islands of Ionian Sea and the central mountain areas of Peloponnesus, which appear to be of humid climate. The Cyclades islands, the North-East Peloponnesus, the Attica, the South Evia island, the Skyros island and the North-East Thessalia with the East coasts of Halkidiki have semiarid climatic character.

This classification in comparison with a previous one, carried out by Karapiperis in 1962, indicates that the boundaries between humid and subhumid regime have been moved westernly and the semiarid type of climate is appeared in a greater area of the central Aegean sea, getting to the North coasts of Crete.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αποτελεσματικότητα βροχής, εξατμισοδιαπνοή, μέθοδος Kriging

KEY WORDS: effectiveness of precipitation, evapotranspiration, Kriging method

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ετήσιο ύψος βροχής και η κατανομή του στο χρόνο δεν καθορίζει από μόνο του τον ξηρό ή υγρό χαρακτήρα ενός κλίματος. Πρέπει να διερευνηθεί εάν και κατά πόσο οι βροχοπτώσεις υπερτερούν ή υστερούν των αναγκών σε νερό μιας περιοχής εξαιτίας της εξάτμισης και της διαπνοής. Το άθροισμα των δύο αυτών φυσικών διαδικασιών είναι γνωστό ως εξατμισοδιαπνοή και εφόσον υπερτερεί των βροχοπτώσεων, το κλίμα μιας περιοχής χαρακτηρίζεται ως ξηρό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως υγρό. Στην περίπτωση ισορροπίας των βροχοπτώσεων με την εξατμισοδιαπνοή ο χαρακτήρας του κλίματος θεωρείται ημίυγρος (Thornthwaite et al, 1951).

* SPATIAL DISTRIBUTION OF PRECIPITATION EFFECTIVENESS IN GREECE. Γ. Πιπής, Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

1. Γεωλογικό Τμήμα Παν/μίου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 157 84 Αθήνα.

Επομένως οι διάφοροι ερευνητές αναζήτησαν αναλυτικές σχέσεις με μεταβλητές την βροχοπτώση και την εξάτμιση, για να καθορίσουν τον υδρομετρικό χαρακτήρα του κλίματος μιας περιοχής.

Πρώτος ο Linsler (1869) εισήγαγε τον όρο P/E, όπου P το ύψος της βροχής και E η εξάτμιση. Επειδή όμως μετρήσεις εξάτμισης πραγματοποιούνται σε λίγους σταθμούς, ο υπολογισμός του λόγου P/E ήταν δυσχερής. Με δεδομένο ότι η εξάτμιση είναι συνάρτηση κυρίως της θερμοκρασίας, πολλοί ερευνητές αντικατέστησαν την εξάτμιση με την θερμοκρασία του αέρα (T). Έτσι ο δείκτης του Linsler αντικαταστάθηκε από τον δείκτη P/T, όπου P το ετήσιο ύψος βροχής (cm) και T η μέση ετήσια θερμοκρασία (°C). Παράλλαγές του δείκτη P/T είναι ο δείκτης που όρισε ο De Martonne (1926): $I = P/(T + 10)$ καθώς και ο δείκτης του Koppen (1884): $I = P/aT + C$, όπου α και C είναι σταθερές.

Ο Thornthwaite (1931, 1933), στην ταξινόμηση των κλιμάτων της Βορείου Αμερικής και μετά ολοζήλου της Γης όρισε την αποτελεσματικότητα της βροχής με βάση τον ακόλουθο τύπο: $P/E = \epsilon 115/(P/T - 10)10/9$, όπου P η βροχοπτώση του κάθε μήνα σε αγγλικούς δακτύλους και T η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Fahrenheit.

Με βάση την παραπάνω σχέση ο Thornthwaite διακρίνει πέντε τύπους κλιμάτων:

A.	Λίαν Υγρό (Wet)	≥ 128
B.	Υγρό (Humid)	64 - 127
Γ.	Ημίυγρο (Subhumid)	32 - 63
Δ.	Ημίξηρο (Semiarid)	16 - 31
Ε.	Ξηρό (Arid)	< 16

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

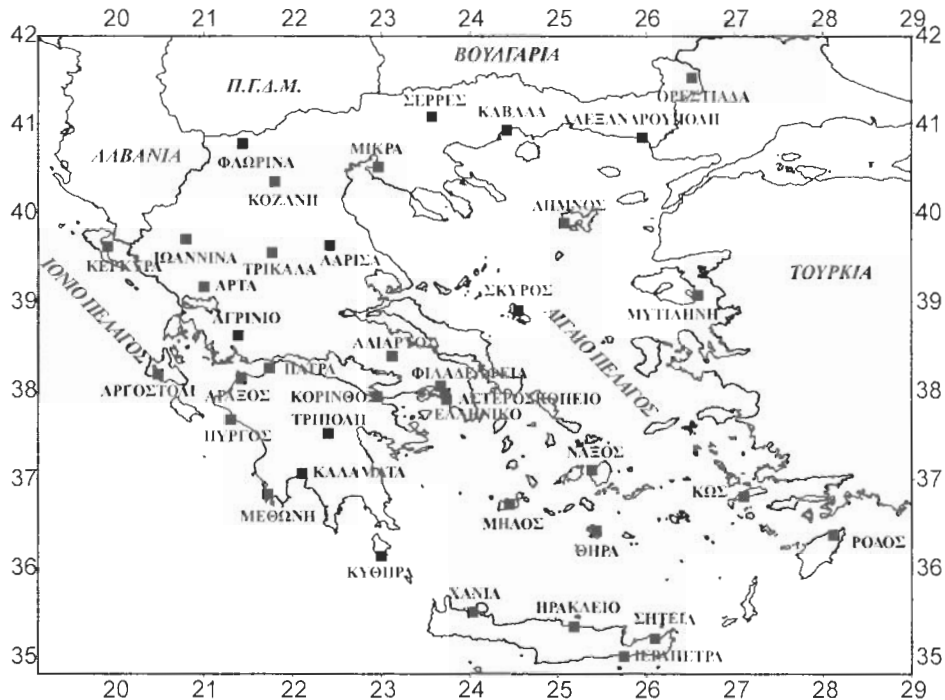
Στη μελέτη αυτή επιχειρείται μία κλιματική διαίρεση της Ελλάδος με βάση την αποτελεσματικότητα της βροχής, όπως αυτή ορίστηκε από τον Thornthwaite. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά στοιχεία βροχής και θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχοπτώσης της περιόδου 1963-1992 (τριακονταετία) για ένα δίκτυο 38 μετεωρολογικών σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Εικόνα 1).

Στον Πίνακα 1, που ακολουθεί, αναγράφονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες για κάθε ένα από του 38 σταθμούς, η αποτελεσματικότητα της βροχής όπως αυτή υπολογίστηκε για την περίοδο 1963-1992, η αποτελεσματικότητα της βροχής υπολογισμένη από τον Καραπιτέρη (1962) για ορισμένους σταθμούς και για προγενέστερη περίοδο (1930-1960), η απόκλιση των τιμών της αποτελεσματικότητας της βροχής μεταξύ των δύο περιόδων (με σκοπό να διερευνηθεί η πιθανή τροποποίηση του υδρομετρικού χαρακτήρα της Ελλάδος με το πέρασμα του χρόνου), καθώς επίσης η μέση ετήσια βροχοπτώση και θερμοκρασία.

Με βάση τις υπολογισθείσες τιμές της παραμέτρου (P/E) σχεδιάστηκε με την βοήθεια της μεθόδου Kriging (Olea, 1974) η χωρική κατανομή της στον Ελλαδικό χώρο (Εικόνα 2). Είναι φανερό ότι στην Ελλάδα δεν εμφανίζεται ξηρό κλίμα, με βάση τον δείκτη της αποτελεσματικότητας της βροχής, γεγονός που βρίζεται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του Καραπιτέρη (1962). Το σύνολο των νήσων των Κυκλάδων, η ΒΑ Πελοπόννησος, κυρίως η Τροιζηνία, η Αττική, η νότια Εύβοια, η Σκόρος και μία κλειστή περιοχή που περιλαμβάνει την ΒΑ Θεσσαλία και

τις ανατολικές απτές της Χαλκιδικής εμφανίζουν ημίξηρο κλιματικό χαρακτήρα. Συγκρίνοντας την κλιματική αυτή αποτίμηση με την αντίστοιχη του Καραπιτέρη παρατηρούμε μία μικρή διολίσθηση από τον ημίυγρο κλιματικό χαρακτήρα στον ημίξηρο, δεδομένου ότι στην εργασία του ο Καραπιτέρης (1962) αποδίδει τον χαρακτηρισμό ημίξηρο μόνο στις κεντρικές και νότιες Κυκλάδες, στην Τροιζηνία και στο νότιο τμήμα της Αττικής.

Η Δυτική Ελλάδα μαζί με τα νησιά του Ιονίου Πελάγους, με εξαίρεση τα δυτικά παράλια της Πελοποννήσου, και η κεντρική ορεινή Πελοπόννησος ανήκει στον υγρό κλιματικό τύπο. Λίαν υγρό κλίμα πιθανόν να συναντάται στους κεντρικούς ορεινούς όγκους της Πίνδου και της Πελοποννήσου, πλην όμως αυτό δεν κατέστη δυνατόν να ανιχνευτεί, δεδομένου ότι οι σταθμοί του χρησιμοποιηθέντος δικτύου ήταν ως επί το πλείστον πεδικοί και μέσον υψομέτρου. Ο απολειωμένος μετεωρολογικών σταθμών υψηλού υψομέτρου έγινε διότι δεν είχαν καταγράψει παρατηρήσιμα κλιματικά στοιχεία. **Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφραστος Ε. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.** Το νότιο τμήμα της χώρας χαρακτηρίζεται κλιματικά ως ημίυγρο.



*Εικ. 1. Δίκτυο Μετεωρολογικών Σταθμών.
Fig. 1. Meteorological Stations' Net.*

Αρνητικές αποκλίσεις στις τιμές της αποτελεσματικότητας της βροχής μεταξύ των δύο περιόδων παρατηρούνται στο σύνολο γενικά της Ελλάδος, και είναι τέτοιες ώστε σε αρκετές περιπτώσεις να σημειώνεται και αλλαγή του κλιματικού χαρακτηρισμού των διαφόρων περιοχών. Γενικά η διαχωριστική γραμμή μεταξύ υγρού και ημίυγρου καθεστώτος έχει υποχωρήσει δυτικότερα.

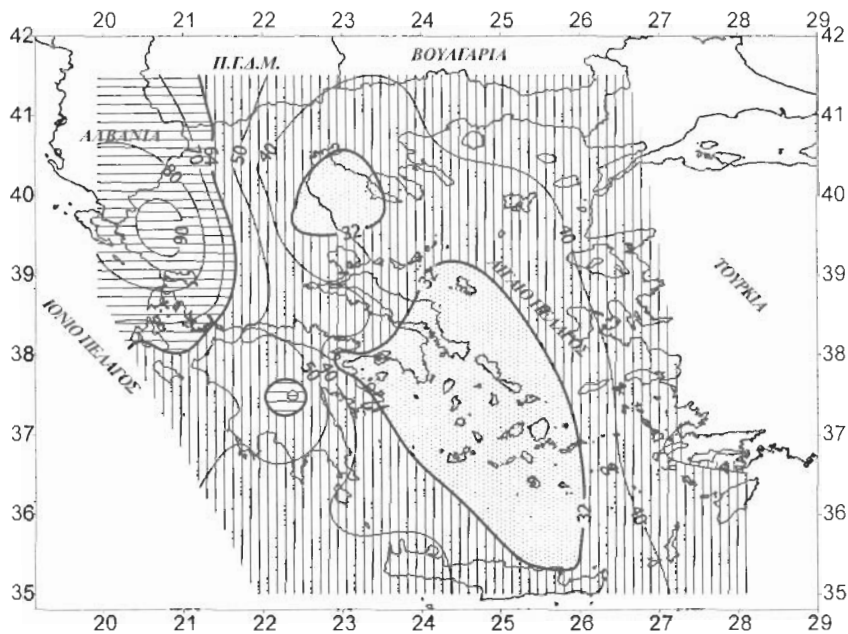
Σ' αυτό συνηγούει και η παρατηρούμενη μείωση της αποτελεσματικότητας της βροχής με το γεωγραφικό μήκος, όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 3. Υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($r = -0.69$) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αυτό σημαίνει ότι το γεωγραφικό μήκος συνεισφέρει στην μεταβλητότητα της αποτελεσματικότητας της βροχής κατά 48%. Στην Εικόνα 3, παρουσιάζεται επίσης η εξίσωση του γραμμικού μοντέλου, που περιγράφει την προαναφερθείσα ελάττωση.

Η εξάρτηση της αποτελεσματικότητας της βροχής από το γεωγραφικό πλάτος είναι μη στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όπως αυτό φαίνεται στην Εικόνα 4.

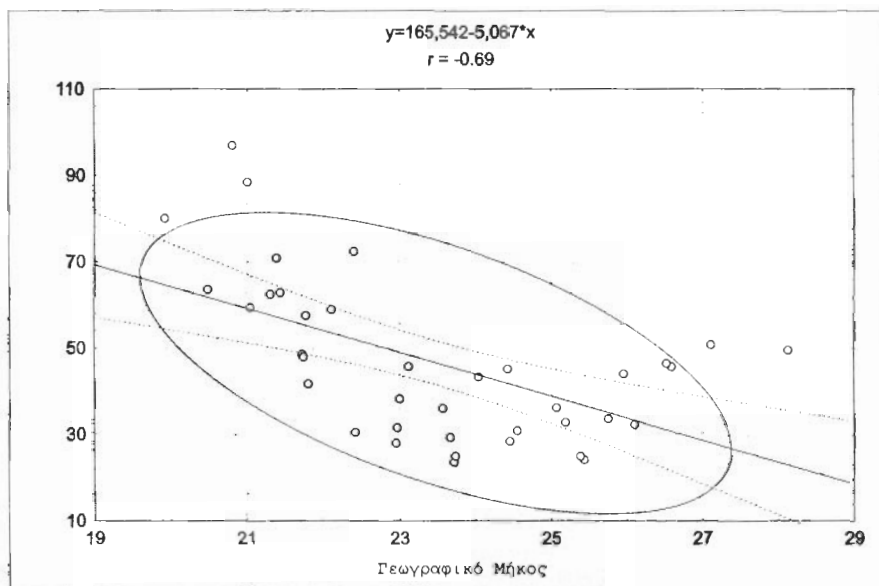
Πίνακας Ι.

Γεωγραφικά και Θερμουγρομετρικά χαρακτηριστικά των σταθμών του δικτύου
(Geographical and Thermo-hygro-metric characteristics of the stations' net)

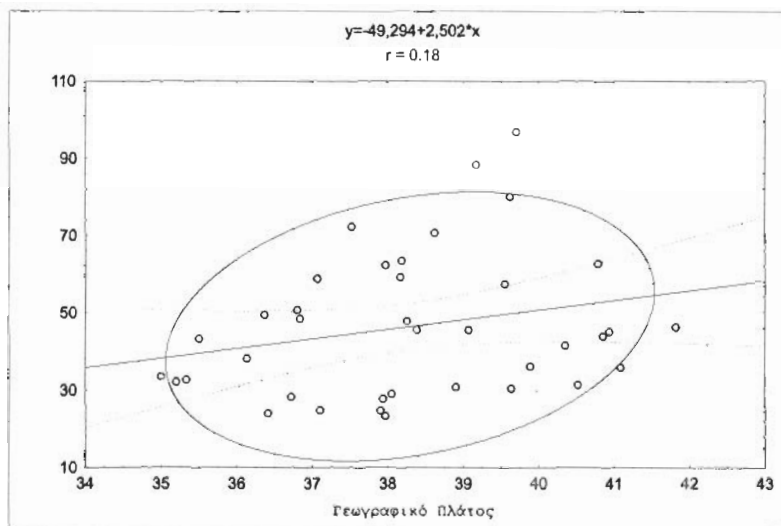
A/A	ΣΤΑΘΜΟΣ STATION	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ LATITUDE	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ LONGITUDE	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΗ (1963-1992) EFFECTIVENESS OF PRECIPITATION	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΗ (1930-1960) (ΚΑΤΑ ΚΑΡΑΛΙΠΕΡΗ) EFFECTIVENESS OF PRECIPITATION	ΑΔΙΑΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ EFFECTIVENESS DEVIATION	ΜΕΣΗ ΕΤΗΡΙΑ ΒΡΟΧΗ (mm) MEAN ANNUAL PRECIPITATION	ΜΕΣΗ ΕΤΗΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C) MEAN ANNUAL TEMPERATURE
1.	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	37.97	23.72	23.51	26.22	-2.71	358.06	18.15
2.	ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	38.05	23.67	29.23			418.44	17.47
3.	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	37.90	23.73	24.96			375.50	18.08
4.	ΑΓΡΙΝΙΟ	38.62	21.38	70.88			919.49	16.68
5.	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40.85	25.95	44.00			539.46	14.06
6.	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	38.18	20.48	63.61	74.02	-10.41	888.12	17.92
7.	ΑΡΤΑ	39.17	21.00	88.47	84.23	4.24	1119.29	17.02
8.	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35.33	25.18	32.77	33.75	-0.98	490.02	18.27
9.	ΜΙΚΡΑ	40.52	22.97	31.54	32.29	-0.75	445.29	14.90
10.	ΘΗΡΑ	36.42	25.43	24.16	25.80	-1.64	345.79	17.62
11.	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35.00	25.75	33.63			496.65	19.08
12.	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39.70	20.80	96.96	103.89	-6.93	1057.65	13.47
13.	ΚΑΒΑΛΑ	40.93	24.42	45.15	33.19	11.96	546.52	13.35
14.	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37.07	22.10	58.91	58.56	0.35	778.94	16.70
15.	ΚΕΡΚΥΡΑ	39.62	19.92	80.13	83.89	-3.76	1047.80	16.70
16.	ΚΟΖΑΝΗ	40.35	21.80	41.73	51.51	-9.78	517.14	12.22
17.	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	37.93	22.95	28.00			420.22	17.89
18.	ΚΥΘΗΡΑ	36.13	23.00	38.20	44.95	-6.75	529.90	17.62
19.	ΛΑΡΙΣΑ	39.63	22.42	30.47	37.00	-6.53	424.34	14.94
20.	ΛΗΜΝΟΣ	39.88	25.07	36.18	41.11	-4.93	475.76	15.44
21.	ΜΕΘΩΝΗ	36.83	21.72	48.50			681.29	17.57
22.	ΜΗΛΟΣ	36.72	24.45	28.43			407.82	17.54
23.	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39.07	26.58	45.66	51.44	-5.78	601.74	17.26
24.	ΝΑΞΟΣ	37.10	25.38	24.97	25.63	-0.66	371.50	17.66
25.	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41.52	26.52	46.39	39.95	6.44	578.18	13.84
26.	ΠΑΤΡΑ	38.25	21.73	47.91	50.75	-2.84	670.27	17.54
27.	ΡΟΔΟΣ	36.37	28.12	49.50			680.65	18.76
28.	ΣΕΡΡΕΣ	41.08	23.57	35.97	41.32	-5.35	482.73	14.59
29.	ΣΗΤΕΙΑ	35.20	26.10	32.32			486.77	18.57
30.	ΣΚΥΡΟΣ	38.90	24.55	30.88	43.46	-12.58	436.76	16.78
31.	ΤΡΙΚΑΛΑ	39.55	21.77	57.52	60.10	-2.58	717.04	15.85
32.	ΤΡΙΠΟΛΗ	37.52	22.40	72.38	78.25	-5.87	801.35	13.30
33.	ΦΛΩΡΙΝΑ	40.78	21.43	62.82	77.89	-15.07	670.28	11.48
34.	ΧΑΝΙΑ	35.50	24.03	43.28	51.70	-8.42	612.46	18.32
35.	ΑΔΙΑΡΤΟΣ	38.38	23.12	45.69			588.24	15.92
36.	ΑΡΑΞΟΣ	38.13	21.42	59.30			657.83	12.13
37.	ΚΩΣ	36.80	27.10	50.81			677.52	17.88
38.	ΠΥΡΓΟΣ	37.67	21.30	62.41	61.11	1.30	830.25	17.08



Εικ. 2. Κλιματική Ταξινόμηση της Ελλάδος με βάση την αποτελεσματικότητα της βροχής κατά Thornthwaite.
 Fig. 2. Climatological Classification of Greece according to the effectiveness of precipitation by Thornthwaite.



Εικ. 3. Μεταβολή της αποτελεσματικότητας της βροχής με το γεωγραφικό μήκος.
 Fig. 3. Variation of the effectiveness of precipitation to longitude.



Εικ. 4. Μεταβολή της αποτελεσματικότητας της βροχής με το γεωγραφικό πλάτος.
Fig. 4. Variation of the effectiveness of precipitation to latitude.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι Κυκλάδες, η ΒΑ Πελοπόννησος, κυρίως η Τροιζηνία, η Αττική, η νότια Εύβοια, η Σκύρος και μία κλειστή περιοχή που περιλαμβάνει την ΒΑ Θεσσαλία και τις ανατολικές ακτές της Χαλκιδικής εμφανίζουν ημιξηρο κλιματικό χαρακτήρα.
- Η Δυτική Ελλάδα μαζί με τα νησιά του Ιονίου Πελάγους, με εξαίρεση τα δυτικά παράλια της Πελοποννήσου, και η κεντρική ορεινή Πελοπόννησος ανήκει στον υγρό κλιματικό τύπο.
- Το υπόλοιπο τμήμα της χώρας χαρακτηρίζεται κλιματικά ως ημίυγρο.
- Γενικά η διαχωριστική γραμμή μεταξύ υγρού και ημίυγρου καθεστώτος έχει υποχωρήσει δυτικότερα, και έχει μεγαλώσει χωρικά το ημιξηρο καθεστώς του κεντρικού Αιγαίου, φθάνοντας ως την Κρήτη.
- Το γεωγραφικό μήκος επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της βροχής κατά 48%, ενώ το γεωγραφικό πλάτος ουδεμία επίδραση ασκεί σ' αυτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- DE MARTONNE, E. 1926. Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. La Meteorologie, 449-458.
- ΚΑΡΑΠΙΠΕΡΗΣ, Α. Ν. 1962. Επί μιας κλιματικής διαρέσεως της Ελλάδος βάσει της αποτελεσματικότητας της βροχής. Δημ. Εργ. Μετ. Παν. Αθηνών 7, 1-8.
- KOPPEN, W. 1884. Die Warmenzonen der Erde, nach Dauer der heissen, gemässigten und Kalten Zeit und nach der Wirkung der Warma auf die organische Welt betrachten. Met. Zeit. Berlin I, 215.
- LINSSER, C. 1869. Untersuchungen über die periodischen Lebenserscheinungen der Pflanzen. Mem. Acad. Scien. St. Petersburg 13 No 8.
- OLEA, R. A. 1974. Optimal contour mapping using Universal Kriging. Jour. of Geoph. Res. 79, 695-702.
- THORNTHWAITE, C. W. 1931. The climates of North America according to a new classification. Geogr. Rev. 21, 633-655.
- THORNTHWAITE, C. W. 1933: The climates of the Earth. Geogr. Rev. 23, 433-440.
- THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. 1951. The Role of Evapotranspiration in Climate. Ar. fur Met. Geoph. und Biok. Ser. B Bb. III, 16-39.