



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Υδρολογική – γεωμορφολογική διερεύνηση
στη νήσο Χίο**

Πουπάκης Παντελής

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Υδρολογική – γεωμορφολογική διερεύνηση
στη νήσο Χίο**

Πουπάκης Παντελής

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Καθηγητή ΕΜΠ, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με μια έρευνα σχετική με το νησί καταγωγής μου. Τον ευχαριστώ για την πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της καθώς και για τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Παράλληλα, ευχαριστώ πολύ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής: κ. Νάνου, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ, και κ. Β. Τσιχριντζή, Καθηγητή ΕΜΠ, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ελισσάβητ Φελώνη, Υποψήφια Διδάκτορα ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια, το έντονο ενδιαφέρον, και το χρόνο της, που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τις υπηρεσίες ΔΕΥΑΧ, ΕΜΥ και την Περιφέρεια Χίου για τα δεδομένα που μου παρείχαν.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	ii
Περίληψη	v
Extended Abstract.....	vi
Introduction.....	vi
Study area and Data used	vi
Methodology.....	viii
Results and Discussion	xvii
Conclusions - Suggestions	xvii
Selected References	xviii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας	1
1.2 Αναφορά στο διαχειριστικό πρόβλημα	1
1.3 Διάρθρωση της εργασίας.....	2
Κεφάλαιο 2: Περιοχή μελέτης	3
2.1 Φυσικό περιβάλλον	3
2.2 Ανθρωπογενές περιβάλλον.....	15
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία.....	21
3.1 Εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών	21
3.2 Μεθοδολογία	21
3.3 Δεδομένα	23
3.4 Δημιουργία θεματικών χαρτών	23
3.5 Εφαρμογή μοντέλων υδατικού ισοζυγίου	63
3.5.1 Μοντέλο Thornthwaite	63
3.5.2 Μοντέλο Thomas	76

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα	80
4.1 Μοντέλο Thornthwaite	80
4.2 Μοντέλο Thomas	82
4.3 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλων	85
4.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου Thornthwaite	86
4.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου Thomas.....	90
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα.....	99
5.1 Σύνοψη - Συμπεράσματα	99
5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	100
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	102
Παράρτημα I: Ετήσιες απορροές κατά Thornthwaite και Thomas	104
Παράρτημα II: Σύγκριση μηνιαίων απορροών κατά Thornthwaite και Thomas	110

Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η υδρολογική – γεωμορφολογική διερεύνηση στη νήσο Χίος. Η Χίος είναι ένα νησί του βορειοανατολικού Αιγαίου, που όπως πολλά άλλα νησιά, αντιμετωπίζει έντονο υδατικό πρόβλημα τα τελευταία χρόνια. Αιτίες αποτελούν η περιορισμένη βροχόπτωση, η έλλειψη αποτελεσματικών έργων αποθήκευσης νερού και υδροληψίας, καθώς και η ανεξέλεγκτη χρήση γεωτρήσεων, που έχει οδηγήσει σε υπαλμύριση του υπόγειου υδροφορέα.

Η εργασία έχει ως στόχο να αναλύσει το νησί υδρολογικά και μορφολογικά, και να εκτιμήσει σε μηνιαία βάση και όσο το δυνατόν πιστότερα τις απορροές στα ρέματα των κυριότερων υδατικών λεκανών του νησιού. Αυτό επιτεύχθηκε αρχικά με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για την μορφολογική ανάλυση, ενώ για το υδρολογικό κομμάτι, ακολούθησε η εφαρμογή μοντέλων προσομοίωσης. Τα μοντέλα που επιλέχθηκαν ήταν δύο, το Thornthwaite και το Thomas, τα οποία ρυθμίστηκαν για τα χαρακτηριστικά των λεκανών μελέτης, ώστε να δώσουν όσο το δυνατόν ορθότερα αποτελέσματα. Αυτά συγκρίθηκαν και αναλύθηκαν, ώστε να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματική εφαρμογή τους. Τέλος έγιναν κάποιες προτάσεις μέτρων για το νησί, καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις – κλειδιά: Χίος, υδρολογία, γεωμορφολογία, υδατικό ισοζύγιο, ανάλυση ευαισθησίας

Extended Abstract

Introduction

The purpose of this MSc thesis is the hydrological and geomorphological investigation of the island of Chios, which belongs to the eastern Aegean (Greece). It is one of the Aegean islands with an existing hydrological problem, which requires efficient management of its available water resources. For an integrated water management, an analysis of the island is required, both at hydrological and geomorphological level, in order to highlight its characteristics.

Initially, an extensive analysis of the study area was made using GIS software, focusing on the hydrological and geomorphological elements of the island. Then, based on those characteristics, two hydrological balance models were applied, the results of which were evaluated and compared, and from them, conclusions were drawn. Finally, some suggestions were made for further research.

Keywords: Chios Island, hydrology, geomorphology, water balance, sensitivity analysis

Study area and Data used

Chios Island is located in the northeastern Aegean Sea (Figure 1), a few kilometers west of the coast of Turkey. It is the fifth largest island in Greece with a population of about 60,000 people.



Figure 1: Location of the island

It has an area of 845 square kilometers, with a coastline length of 227 km, while its longitudinal axis is about 50 kilometers and the maximum width reaches 29 kilometers. Of its total area, 31.78% (267.77 km²) are agricultural crops and 31.25% (263.28 km²) consists of shrubland. The grasslands and pastures occupy 22.88% (17.52 km²) of the total area, while the arid and rocky areas are 2.08% (17.52 km²). Finally the residential areas occupy 1.45% of the total area, i.e. 12.19 km².

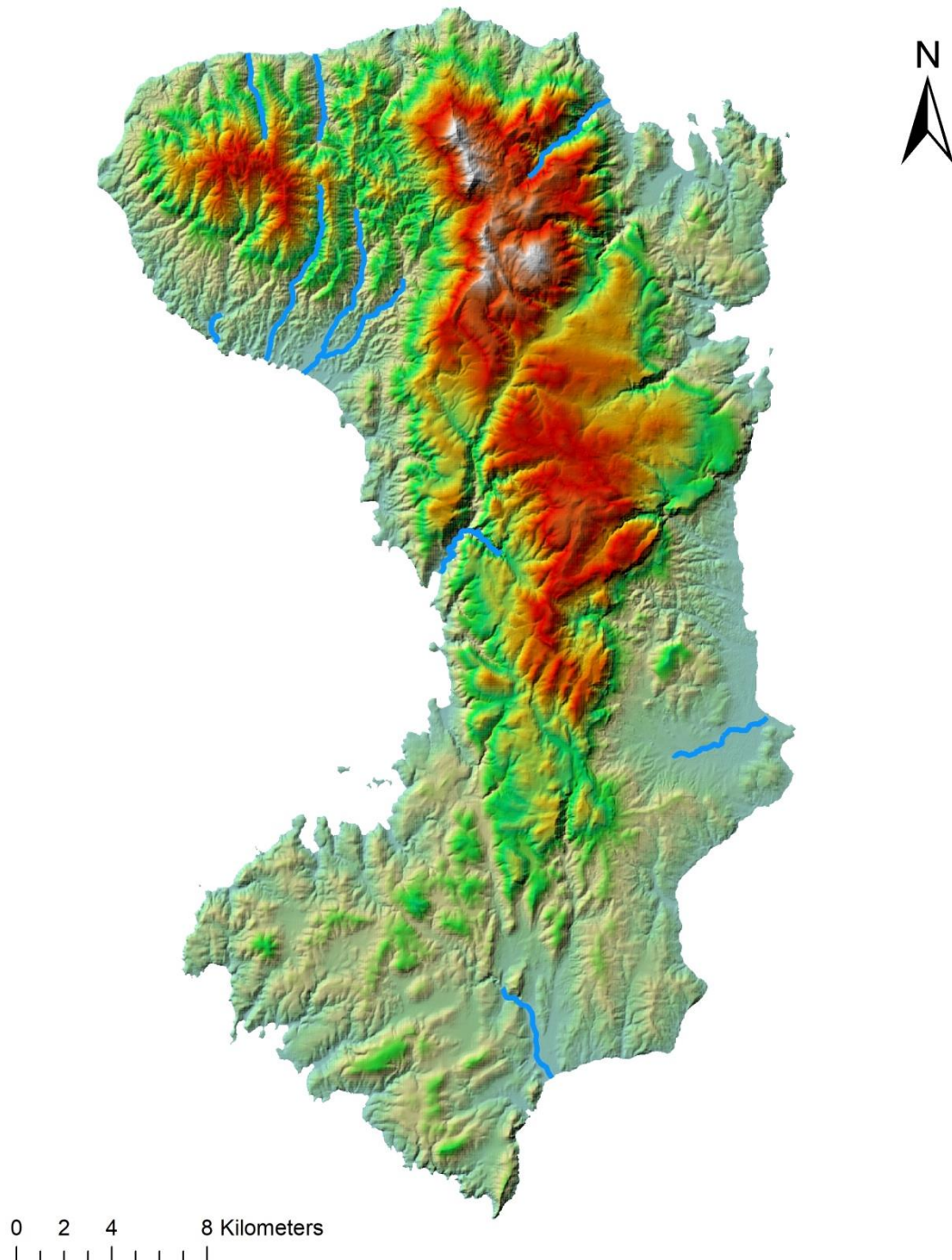


Figure 2: Digital Elevation Model (DEM) of the island

The climate of the island, due to its geographical position, belongs to the “sea type”, which is characterized by low thermometric range, mild winter and prolonged dry and warm summer. Chios is climatically classified to the "Aegean Zone", including all of southeast Greece to Thessaly, all the Aegean islands and Crete.

From a geomorphological point of view, the island as a whole is almost mountainous (Figure 2). Most of the surface is mountainous and rugged, with an average altitude of 400 meters. Limestone covers 67% of the surface, with the appearance of karst phenomena.

Regarding the hydrology of the island, a concentrated dendrite-like hydrographic network is developed in the northwest part, where impermeable rocks prevail. In the rest and most of the island, the hydrographic network is thinner, due to the water-permeable rocks being found there.

The analysis of the island was done with the help of Geographic Information Systems (GIS) and specifically the software ArcGIS. For this, a large volume of data was needed, from many different sources. These include but are not limited to shapefiles from “geodata.gov” (a catalog with open geospatial data), land cover from CORINE, NATURA databases, rainfall and weather data and finally data from “Municipal Water Supply Company of Chios” and the “Ministry of Environment and Energy”.

Methodology

First step of the analysis was the construction of thematic maps with the software “ArcGIS”. The data reported above were processed and the creation of the maps followed. These include geological, topographical, hydrolytic, Hillshade, Slope, Digital Terrain Model (Figure 2 & 3), hydrographic network, as well as basin maps. With the current geomorphological conditions, seven basins were established for further hydrological analysis (Figure 4). In these basins, the stream order of the network was calculated, using the Strahler method (Figure 5). Each segment of a stream or river within a river network is treated as a node in a tree, with the next segment downstream as its parent. When two first-order streams come together, they form a second-order stream. When two second-order streams come together, they form a third-order stream. Streams of lower order joining a higher order stream do not change the order of the higher stream. Thus, if a first-order stream joins a second-order stream, it remains a second-order stream. It is not until a second-order stream

combines with another second-order stream that it becomes a third-order stream (Figure 6). Then, Thiessen Polygons were constructed for each basin (Figure 7), to calculate the average equivalent depth of precipitation in each region.

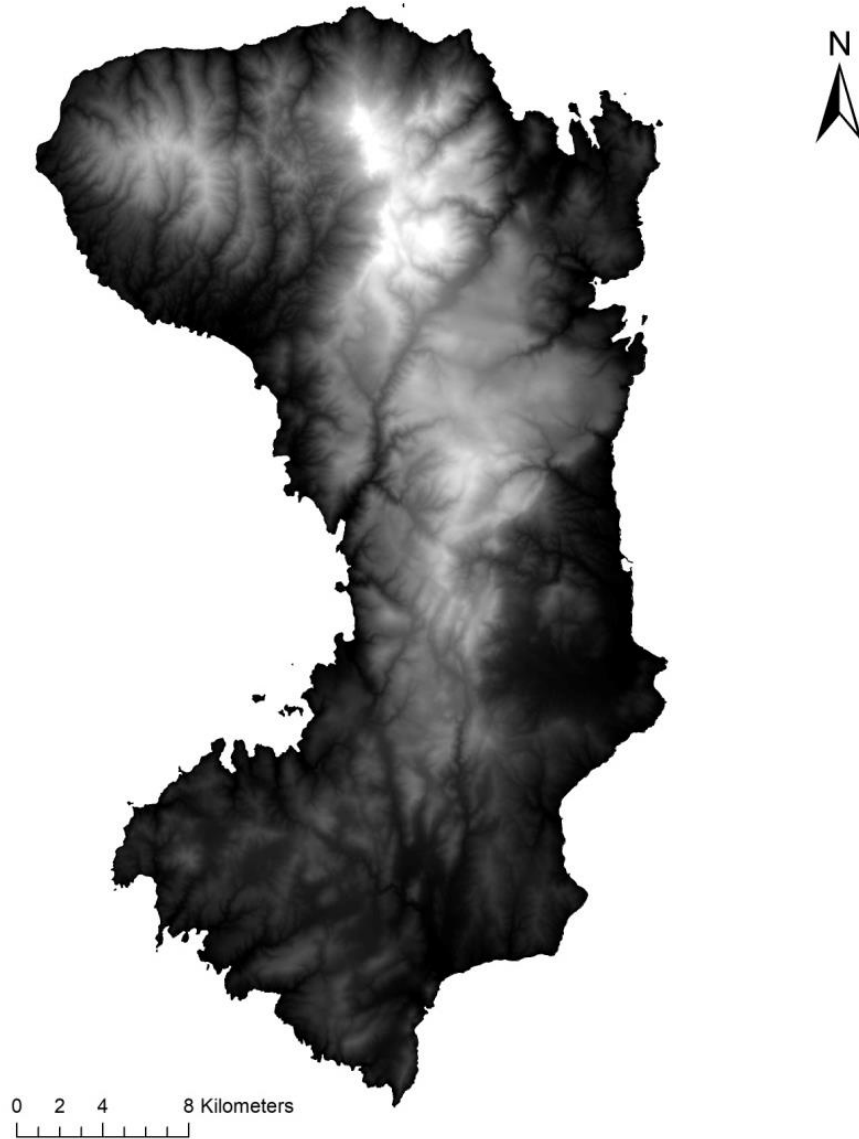


Figure 3: Digital Elevation Model of the island

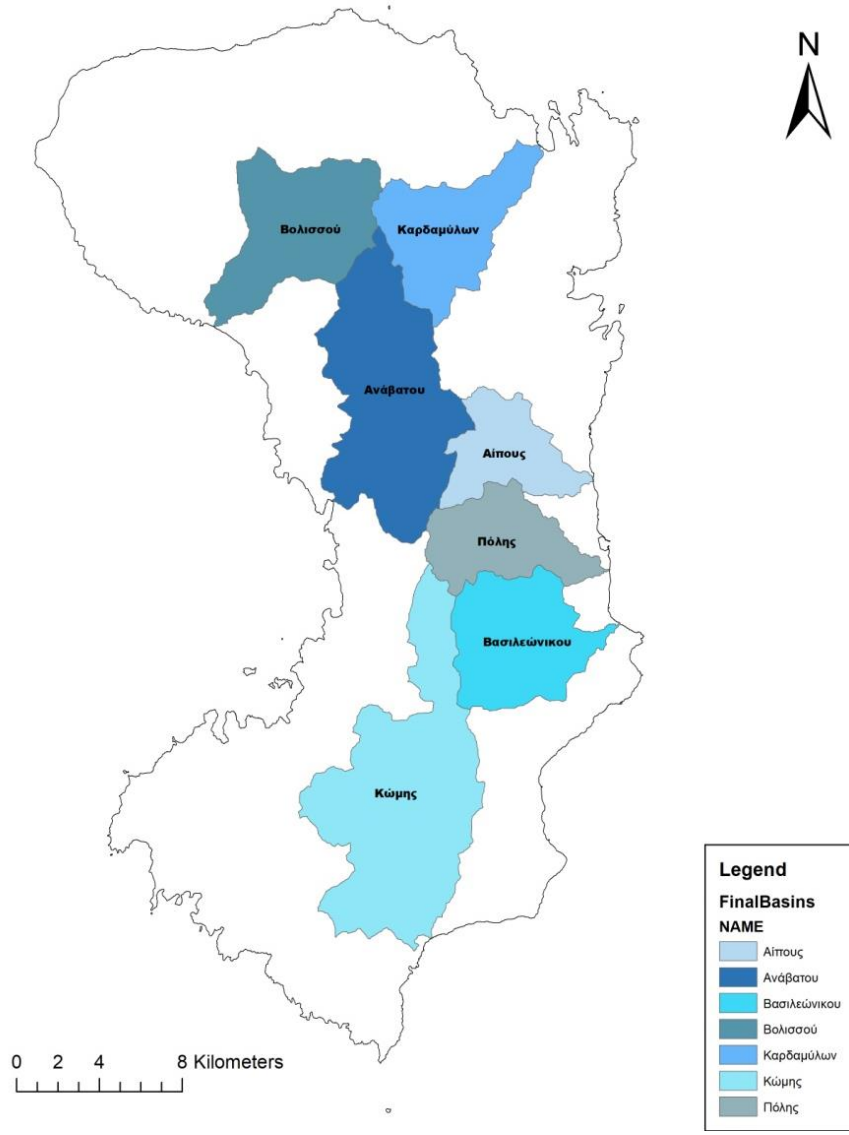


Figure 4: Basins under study

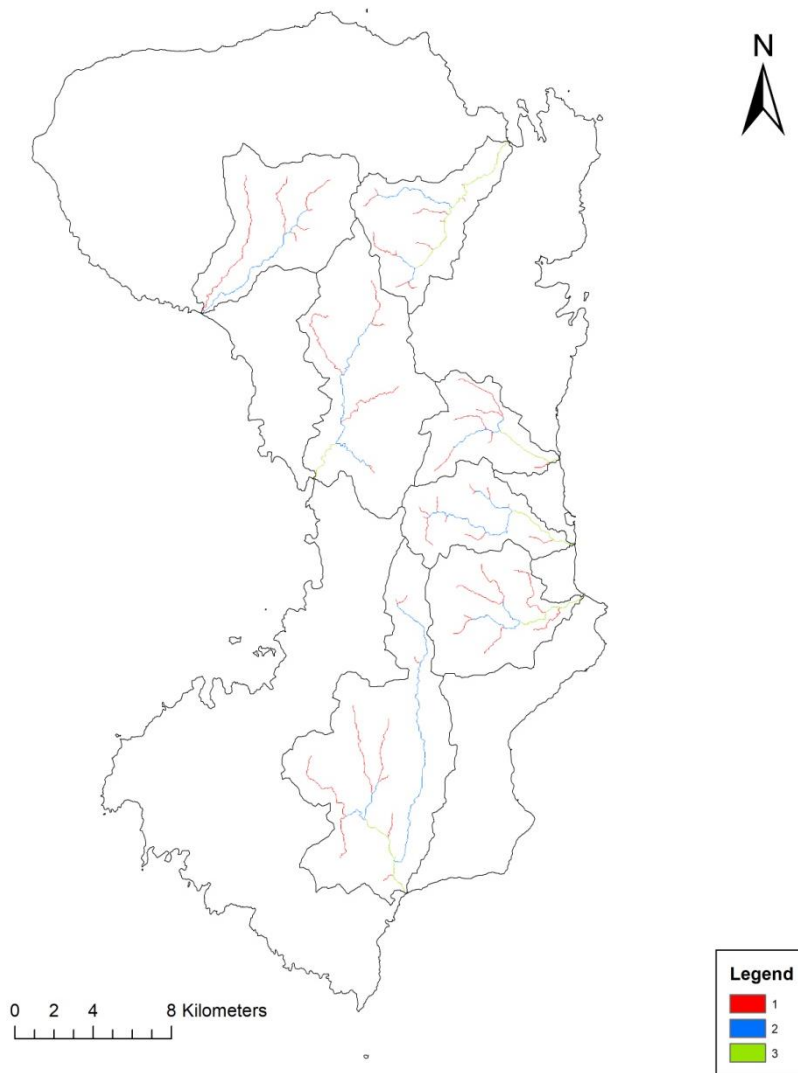


Figure 5: Stream order of basins

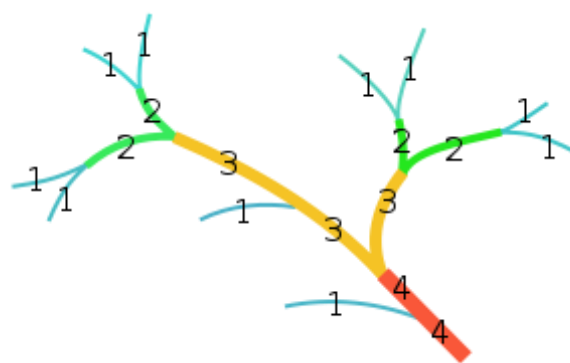


Figure 6: Strahler method example

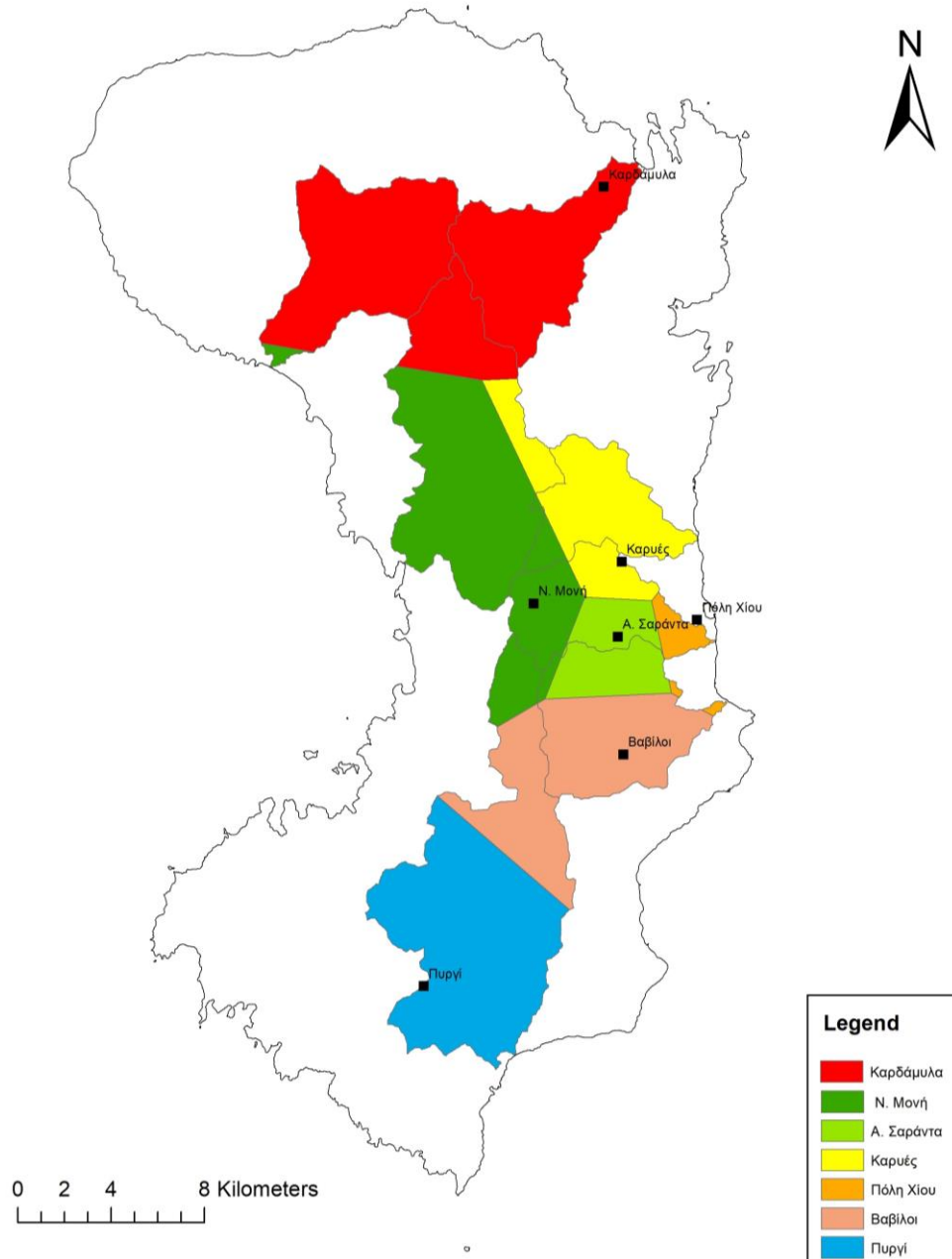


Figure 7: Thiessen polygons

The second step of the analysis was the application of water balance models to the seven basins. The models chosen were the Thornthwaite and Thomas.

Thornthwaite and Mather (1956) formulated a simple, but very widespread simulation model, in which the drainage basin is simulated with a simple tank (Figure 8), the capacity of which is equal to K . The amount of water stored in the tank each time represents the soil moisture S , the maximum value of which is K . The input to the reservoir is the rainfall P , the outlet is the evaporation E , while the surface runoff Q is the quantity that overflows.

According to this model, surface runoff Q is only present when the tank is filled, i.e. when the soil is saturated with moisture. The water balance is expressed by the equation:

$$\Delta S = P - E - Q \quad (1)$$

which, if formulated for month I, is calculated as follows:

$$S(I) = S(I-1) + P(I) - E(I) - Q(I) \quad (2)$$

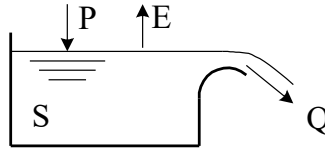


Figure 8: Thornthwaite and Mather River Basin Representation

There are two cases depending on the height of rainfall $P(I)$ compared to the potential evapotranspiration $EP(I)$ of the month:

a) If the rainfall $P(I)$ is greater than or equal to the potential evapotranspiration $EP(I)$ then the actual evapotranspiration $E(I)$ is equal to the potential, ie $E(I) = EP(I)$:

$$S_I = \min(S_{I-1} + P_I - EP_I, K) \quad (3)$$

$$Q_I = \max(S_{I-1} + P_I - EP_I - K, 0) \quad (4)$$

b) When the precipitation is less than the potential evaporation, i.e. when $P(I) < EP(I)$, then the soil storage is reduced according to the relation:

$$S_I = S_{I-1} \exp\left(\frac{P_I - EP_I}{K}\right) \quad (5)$$

the surface runoff is zero:

$$Q_I = 0$$

while the actual evaporation is given by the equation:

$$E_I = (S_{I-1} - S_I + P_I) \quad (6)$$

The Thornthwaite model is quite simple, using as input the rainfall data and the potential evapotranspiration, to give as outputs the runoff and the actual evapotranspiration, using only one parameter, the capacity of the soil reservoir, K. Typically, this capacity, reduced to an equivalent height, ranges between 100-200 mm, but can be calculated by the curve number (or CN). The CN is an empirical parameter used in hydrology to predict direct drainage or infiltration from excess rainfall. It was developed by the Natural Resources

Conservation Service (NRCS), formerly called the Soil Conservation Service or SCS. The number of the runoff curve was developed by an empirical analysis of the runoff from small basins and plots monitored by the USDA (United States Department of Agriculture). It is widely used and is an effective method for determining the approximate amount of direct runoff from a rainfall event in a particular area. The values that can be obtained range from 30 to 100, lower values indicate low drainage potential and higher increase in runoff potential. The lower the curve, the more permeable the soil.

CN is related to soil type, soil penetration, land use and depth of seasonal aquifer. The NRCS has divided the soils into four hydrologic ground groups (HSGs). Based on the above, an estimate of the soil category of each basin was made using the CORINE land cover map and the hydrologic map. So it was possible to calculate the Curve Number (CN) for each basin, and subsequently the capacity of the soil reservoir (K). After this the monthly runoff for each basin was calculated, from year 2005 to 2017

In addition to the Thornthwaite model, the water balance model Thomas "abcd" (Thomas, 1981 - Thomas et al., 1983) was applied in order to compare the final results. This conceptual model is applied to time series, where rainfall and potential evapotranspiration are used as inputs and runoff as output (Figure 9).

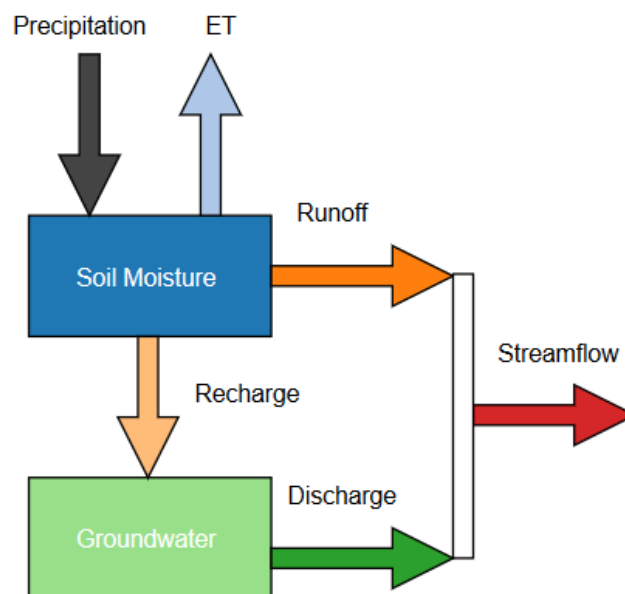


Figure 9: Representation of Thomas model

In particular, this model consists of two storage compartments: Soil Moisture and Groundwater. Soil moisture receives water from precipitation and loses water in

evaporation (ET), surface runoff and recharge of groundwater. Groundwater receives water from recharging and loses water as discharge. Total flow is the sum of the surface runoff from soil moisture and groundwater outflow.

This model has four parameters (a, b, c, d), each of which has a special physical significance. In cases where hydrological data are available in the study areas, the model is adjusted, optimizing the values of its coefficients (a, b, c, d) according to specific constraints. Calibration is then performed using the EC factor, which is intended to take a value as close to one as possible.

- a: determines the amount of drainage and recharge when the soil is over-saturated. It represents the tendency of water to flow out of the system before covering the water needs of the basin. It ranges between 0 and 1.
- b: determines the level of saturation of the soil, i.e. the upper limit of evapotranspiration and soil moisture (maximum system demand). It ranges between 0 and 1000.
- c: determines the ratio of soil recharge to the surface runoff, indicating the amount of water that will result in the groundwater aquifer. It ranges between 0 and 1.
- d: determines the discharge rate of groundwater, i.e. the underground effluent. It ranges between 0 and 1.

The model used takes the general form:

$$P + SN = E + A \quad (7)$$

Where:

- P = rainfall
- SN = snowfall
- E = actual evapotranspiration
- A = total surface and underground runoff

For its implementation, first was calculated the potential evapotranspiration, which has been calculated by applying the Thornthwaite model. Snowfall (SN) was considered to be zero, due to the scarcity of snow on the island, as well as the lack of snowfall measurements.

In cases where hydrological data are available in the study areas, the model is adjusted, optimizing the values of its coefficients (a, b, c, d). The model is then evaluated using the Efficient Coefficient (or else EC), which is intended to take the value as close to the unit as possible:

$$EC = \frac{(Sobs - S)}{Sobs} \quad (8)$$

Where:

- $Sobs = \sum(Qobs(i) - \bar{Qobs})^2$
- $S = \sum(Qobs(i) - \bar{Qcomp}(i))^2$

Where:

- Qobs = the observed runoff values
- Qcomp = the expected runoff values

Normally, some observation time series are used to calibrate the model. In this case, however, there are no measured runoff values for the island. For this reason the calibration was done using the runoff values calculated by the Thornthwaite model from the step above. In particular, the first 7 years were used to calibrate the model, while the remaining 5 years were used to evaluate the parameter values. The results were satisfactory, as the EC factor took values greater than 0,91.

After the completion of the models, their sensitivity analysis took place. The aim of the analysis is to calculate the changes in the model's results due to changes in its parameters, as well as the degree of influence of each variable. The simplest method of sensitivity analysis is the so called "One-Factor-at-a-Time" (OFAT or OAT) (Gardner et al., 1980). This method involves changing the value of a parameter at a time, while the rest are kept constant. Then, the parameter is returned to its original value, and the process is repeated for each of the other variables. The sensitivity can then be calculated by quantifying the change in the output of the model, e.g. with linear derivatives or linear regression. So any observed change in output will be due solely to changing the specific parameter. In addition, by changing a variable at a time, one can keep all other variables constant in their basic or "calibrated" values.

Results and Discussion

As shown in Figure 10, both models calculated similar runoff values, which is due to the high EC factor (as mentioned above). Furthermore, we can notice the highest runoff occurred the year 2014-2015, due to the high precipitation of this particular year. Also, it is worth noting that the second dry season, 2015-2016, (the first being in 2006-2007) occurred immediately after the wettest year of the period.

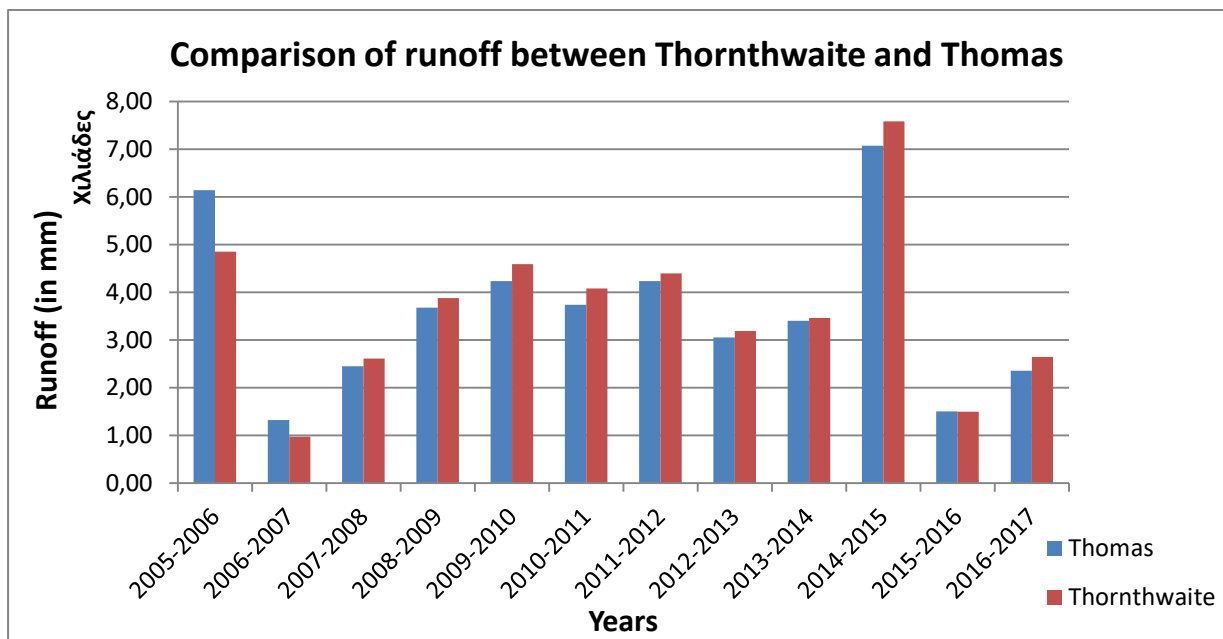


Figure 10: Comparison of runoff between the two models

Conclusions - Suggestions

Until the last decades, the needs of the city of Chios, which was the main consumer, were covered, from the springs and from the wells, which gradually prevailed. However, reckless use and pumping from deep depths has overturned the balance so far, resulting in the salinisation, the appearance of mercury and water of poor quality. This MSc Thesis investigated the hydrologic regime of the island in a monthly basis and after considering the specific characteristics of the island, various measures are proposed.

Generally, the rational use of existing water resources and the implementation of efficient water collection and recycling methods are of great importance and require immediate attention and action. This requires the following proposed measures:

- Control over municipal and private well usage.

- It is recommended during periods of drought that the pumps reduce their operation in order to protect the aquifer.
- It is recommended to build (or use existing) dispersed wells for monitoring in different parts of the island
- Application of artificial aquifer enrichment is also suggested as a practice
- Finally, the informing the public, aiming at a real awareness of the proper use of available water.

Selected References

Journals

Brutsaert W., Evaporation into the Atmosphere, Theory, History and Applications, Springer Netherlands, σ. 243, 1982

Czitrom V., One-Factor-at-a-Time versus Designed Experiments, The American Statistician, Vol.53, Issue 2, 1999, pp. 126-131, 1999

Ferguson B. K., Estimation of Direct Runoff in the Thornthwaite Water Balance, The Professional Geographer, 48:3, pp. 263-271, 1996

Strahler, A.N., Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union, 38(6), pp. 913-920, 1957

Thomas, H. A., Improved Methods for National Water Assessment, Report, US Water Resource Council, 1981

Thornthwaite C.W. & Mather J.R., Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance, Publication in Climatology, Vol.10, No.3, Centerton, N.J.Drexel Inst., 1957

Websites

Copernicus (<http://www.copernicus.eu/>)

European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu>)

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Στην παρούσα εργασία διερευνάται υδρολογικά και γεωμορφολογικά η νήσος Χίος. Αποτελεί ένα από τα νησιά του Αιγαίου με υφιστάμενο υδρολογικά πρόβλημα, το οποίο απαιτεί πιεστικά πλέον ορθολογική διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Για να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η διαχείριση, απαιτείται ανάλυση του νησιού σε υδρολογικό αλλά και γεωμορφολογικό επίπεδο, ώστε να αναδειχθούν τα χαρακτηριστικά του.

Αρχικά έγινε μια εκτεταμένη ανάλυση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιώντας λογισμικό γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS), με έμφαση στα υδρολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία του νησιού. Στη συνέχεια, με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά, εφαρμόστηκαν δύο μοντέλα υδρολογικού ισοζυγίου, τα αποτελέσματα των οποίων αξιολογήθηκαν και προέκυψαν σχετικά συμπεράσματα. Τέλος έγιναν κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και μελέτη.

1.2 Αναφορά στο διαχειριστικό πρόβλημα

Η Χίος ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα των Νησιών του Αιγαίου (Υ.Δ. 14). Το Διαμέρισμα αυτό χαρακτηρίζεται από σημαντική γεωγραφική διακύμανση της υδρολογικής διαίτας, με χαμηλά γενικά επίπεδα βροχοπτώσεων, ενώ σημειώνονται υψηλές θερμοκρασίες και ηλιοφάνεια, που ευνοούν την εξάτμιση. Ακόμη η μικρή έκταση του νησιού, σε συνδυασμό με τον ορεινό χαρακτήρα του, επιτείνει την επιφανειακή απορροή αλλά και τα φαινόμενα υφαλμύρισης. Παράλληλα παρατηρείται συνεχής αύξηση των υδρευτικών αναγκών, λόγω αύξησης του μόνιμου πληθυσμού, της τουριστικής περιόδου αλλά και πρόσφατα λόγω του προσφυγικού προβλήματος. Παρουσιάζεται έτσι η άμεση ανάγκη για ορθή και ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων του νησιού, με την σύσταση υδρολογικών μελετών, προγραμμάτων παρακολούθησης ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης αλλά και Σχεδίων Διαχείρισης.

Τα συγκεκριμένα θέματα έχουν απασχολήσει επανειλημμένως, τόσο τους κατοίκους, όσο και τις αρχές του νησιού, χωρίς μέχρι στιγμής να έχουν βρεθεί επαρκείς λύσεις για την αντιμετώπισή τους. Κύριοι παράγοντες σε αυτό αποτελούν τα συγκρουόμενα συμφέροντα

ως προς τη χρήση του νερού, η μείωση του υδατικού δυναμικού τα τελευταία 20 χρόνια, η έλλειψη σύγχρονων αρδευτικών δικτύων, η ανεξέλεγκτη σπατάλη νερού για αρδεύσεις και η υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων μέσω ιδιωτικών γεωτρήσεων.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία απαρτίζεται από τέσσερα κεφάλαια. Στο παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1) γίνεται μια γενική παρουσίαση του θέματος και των στόχων της εργασίας, καθώς και η δομή της.

Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, στο οποίο περιγράφεται διεξοδικά η περιοχή μελέτης, το νησί της Χίου, και συγκεκριμένα το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον της.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία. Γίνεται εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) και στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (ArcGIS). Παρατίθενται ακόμη τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν (και οι πηγές τους), για την κατασκευή των θεματικών χαρτών, καθώς και η διαδικασία κατασκευής του κάθε ενός. Τέλος αναλύονται τα δύο μοντέλα υδατικού ισοζυγίου που εφαρμόστηκαν, το Thornthwaite και το Thomas, και η διαδικασία

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τα μοντέλα,. Αυτά σχολιάστηκαν και προέκυψαν συμπεράσματα, τα οποία παρατίθενται στο Κεφάλαιο 5. Το κεφάλαιο κλείνει με προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο νησί της Χίου, στον τομέα της υδρολογίας και ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων του νησιού.

Κεφάλαιο 2: Περιοχή μελέτης

2.1 Φυσικό περιβάλλον

Γεωγραφία

Η Χίος βρίσκεται στο βορειοανατολικό Αιγαίο λίγα χιλιόμετρα δυτικά από τα παράλια της Μικράς Ασίας. Αποτελεί το πέμπτο κατά σειρά μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας με πληθυσμό περίπου 60.000 κατοίκους. Έχει έκταση 845 τετραγωνικά χιλιόμετρα, με μήκος ακτογραμμής ίσο με 227 χιλιόμετρα, ενώ ο επιμήκης άξονας του είναι περίπου 50 χιλιόμετρα και το μέγιστο πλάτος φτάνει τα 29 χιλιόμετρα (Π. Γιαννουλόπουλος, Ι. Λάμπας, 2010, ΙΓΜΕ). Ανήκει στο σύμπλεγμα των νησιών του Ανατολικού Αιγαίου, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται, εκτός της Χίου, η Λέσβος, η Λήμνος, η Σάμος, η Ικαρία και ο Άγιος Ευστράτιος. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η πόλη της Χίου, γνωστή και ως Χώρα.

Η Περιφερειακή Ενότητα Χίου αποτελείται από τα νησιά Χίος, Ψαρά, Αντίψαρα και Οινούσες. Διαιρείται διοικητικά σε τρεις δήμους, αυτούς των Οινουσσών, Χίου και Ψαρών. Ο μεγαλύτερος από αυτούς είναι ο δήμος Χίου ο οποίος καταλαμβάνει όλο το νησί της Χίου και πληθυσμιακά είναι ο μεγαλύτερος.



Σχήμα 1 Θέση Χίου

Κλιματολογικές συνθήκες

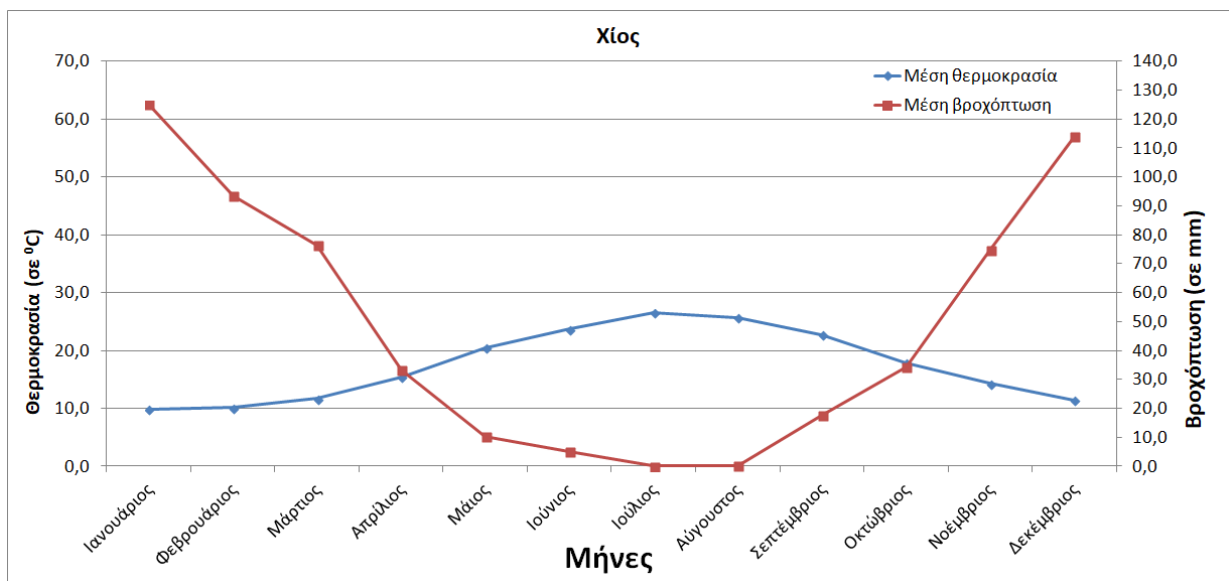
Το κλίμα της Χίου λόγω της γεωγραφικής της θέσης και του νησιώτικου χαρακτήρα της ανήκει στο θαλάσσιο τύπο, ο οποίος χαρακτηρίζεται από χαμηλό θερμομετρικό εύρος, ήπιο χειμώνα και παρατεταμένο ξηρό και θερμό θέρος.

Η Χίος κατατάσσεται κλιματολογικά στη «Ζώνη της Περιοχής του Αιγαίου», στην οποία περιλαμβάνεται όλη η νοτιοανατολική Ελλάδα μέχρι τη Θεσσαλία, όλα τα νησιά του Αιγαίου και η Κρήτη (πλην του νοτιοανατολικού της τμήματος).

Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος (δηλαδή, η διαφορά της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του θερμότερου και του ψυχρότερου μήνα του χρόνου) φθάνει στους 16,6°C, το οποίο χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής σε καθαρά εύκρατο. Στη νήσο της Χίου, κατά διαστήματα λειτούργησαν αρκετοί μετεωρολογικοί σταθμοί (Αγίου Γεωργίου, Καλαμωτής, Καρδάμυλων, Συκιάδας, Πιτυούντας, Κουρούνας και Χίου), από τους οποίους όλοι εκτός της Χίου, λειτούργησαν από το Υπουργείο Γεωργίας. Για τη γεωργική αξιοποίηση της περιοχής, αντιπροσωπευτικός σταθμός θεωρείται ο Μετεωρολογικός Σταθμός της Χίου, που λειτουργεί σήμερα από την Ε.Μ.Υ. Βρίσκεται στο κέντρο περίπου της πεδιάδας, έχει αρκετή διάρκεια λειτουργίας και αξιοπιστία παρατηρήσεων.

Σύμφωνα με παρατηρήσεις που συγκεντρώθηκαν από διάφορες πηγές, οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή είναι κυρίως οι Βόρειοι και οι Βορειοανατολικοί, οι οποίοι πνέουν ιδιαίτερα κατά το καλοκαίρι, και λιγότερο οι Νότιοι μέχρι Νοτιοδυτικοί περισσότερο τον χειμώνα.

Γνωρίζοντας τις μέσες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης του νησιού της Χίου, είναι δυνατή η κατασκευή του θερμοϋγρογραφήματος (Σχήμα 2), που περιγράφει την περιοχή μελέτης. Χαρακτηριστικό των θερμοϋγρογραφημάτων είναι ότι οι μονάδες μέτρησης στον δεξιό κατακόρυφο άξονα (βροχόπτωση) είναι διπλάσιες σε σχέση με εκείνες στον αριστερό κατακόρυφο (θερμοκρασία). Οι μήνες στους οποίους η καμπύλη της θερμοκρασίας βρίσκεται πάνω από την καμπύλη της βροχόπτωσης χαρακτηρίζονται ως ξηροί, ενώ σε αντίθετη περίπτωση ως υγροί. Στο παρακάτω θερμοϋγρογράφημα παρουσιάζονται οι μέσες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις στην πόλη της Χίου την περίοδο 1968-1989 (Πηγή: ΕΜΥ):



Σχήμα 2 Θερμοϋγρογράφημα του νησιού

Από το θερμοϋγρογράφημα παρατηρείται ότι ως ξηροί μήνες χαρακτηρίζονται ο Απρίλιος, Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος και Οκτώβριος. Αυτό οφείλεται στην ζώνη στην οποία ανήκει το νησί, η οποία χαρακτηρίζεται από ένα 'πολύ ξηρό' τετράμηνο βλαστικής ανάπτυξης και παίρνει τον πιο αντιπροσωπευτικό μεσογειακό χαρακτήρα της τυπικής θερινής ξηρασίας.

Γεωμορφολογία

Από μορφολογική άποψη το νησί στο σύνολο του σχεδόν είναι ορεινό. Το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας είναι ορεινό και τραχύ με μέσο υψόμετρο τα 400 μέτρα. Οι ασβεστόλιθοι καλύπτουν σε ποσοστό 67% την επιφάνεια με εμφάνιση καρστικών φαινομένων.

Το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι έντονο στο βόρειο και κεντρικό τμήμα, αλλά προς τον νότο γίνεται ηπιότερο, όπου εμφανίζονται και τα νεογενή ιζήματα. Παράλληλα το υψόμετρο των παρατηρούμενων οροσειρών ολοένα και μειώνεται, με παρουσία ομαλών κλίσεων στις πλαγιές και αβαθή ρέματα.

Το σημαντικότερο όρος είναι το Πελιναίο, που φτάνει τα 1297 μέτρα με σχετικά απότομες πλαγιές και χαράδρες στο κέντρο του βορείου τμήματος. Στα δυτικά εκτείνεται η μικρή οροσειρά της Αμανής (809 μέτρα), που καλύπτει ολόκληρο το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, ενώ νοτιότερα απαντώνται το Όρος (1186m), ο Κοχλίας (926 μέτρα), η Κακή Ράχη (525 μέτρα), ο Τράχωνας (377 μέτρα) και ο Κορακάρης (309 μέτρα).

Σχετικά ηπιότερο ανάγλυφο επικρατεί στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού και το βορειοδυτικό τμήμα όπου επικρατούν ψαμμίτες και σχιστόλιθοι του Παλαιοζωικού. Στο νοτιοανατολικό παράκτιο τμήμα του νησιού απαντούν μικρές κοιλάδες και επί των ορεινών περιοχών μικρά οροπέδια. Τα πεδινά τμήματα είναι πολύ λίγα, με το κυριότερο εξ αυτών να είναι ο Κάμπος, σε απόσταση 5 χιλιομέτρων νότια της πόλης της Χίου, και η μικρή πεδιάδα της Βολισσού στα 40 χιλιόμετρα βορειοδυτικά της πόλης.

Πυκνό υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής αναπτύσσεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, όπου επικρατούν αδιαπέρατα πετρώματα. Στο υπόλοιπο και μεγαλύτερο τμήμα του νησιού το υδρογραφικό δίκτυο είναι αραιότερο και αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη κατείσδυση των επιφανειακών υδάτων σε υδροπερατά πετρώματα. (Πηγή: Γεωλογία-Υδρογεωλογία των υδατικών αποθεμάτων της Χίου, Ζαφειράκης Σ, 2015)

Οι ακτές του νησιού δεν παρουσιάζουν έντονο διαμελισμό. Στις δυτικές ακτές σχηματίζεται μια μεγάλη ανοικτή κόλπωση που δίνει στο νησί το σήμα ημισελήνου. Το νοτιότερο άκρο της είναι το Ακρωτήριο Μάστιχο ή Ούρα, ενώ το βορειότερο άκρο της είναι το Ακρωτήριο Επανωχωρίου ή Επανωμεριάς. Το νησί χωρίζεται από τη χερσόνησο της Ερυθραίας της Μ. Ασίας με το δίαυλο της Χίου ή στενό του Τσεσμέ, πλάτους 6 ναυτικών μιλίων (Πηγή: Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020).

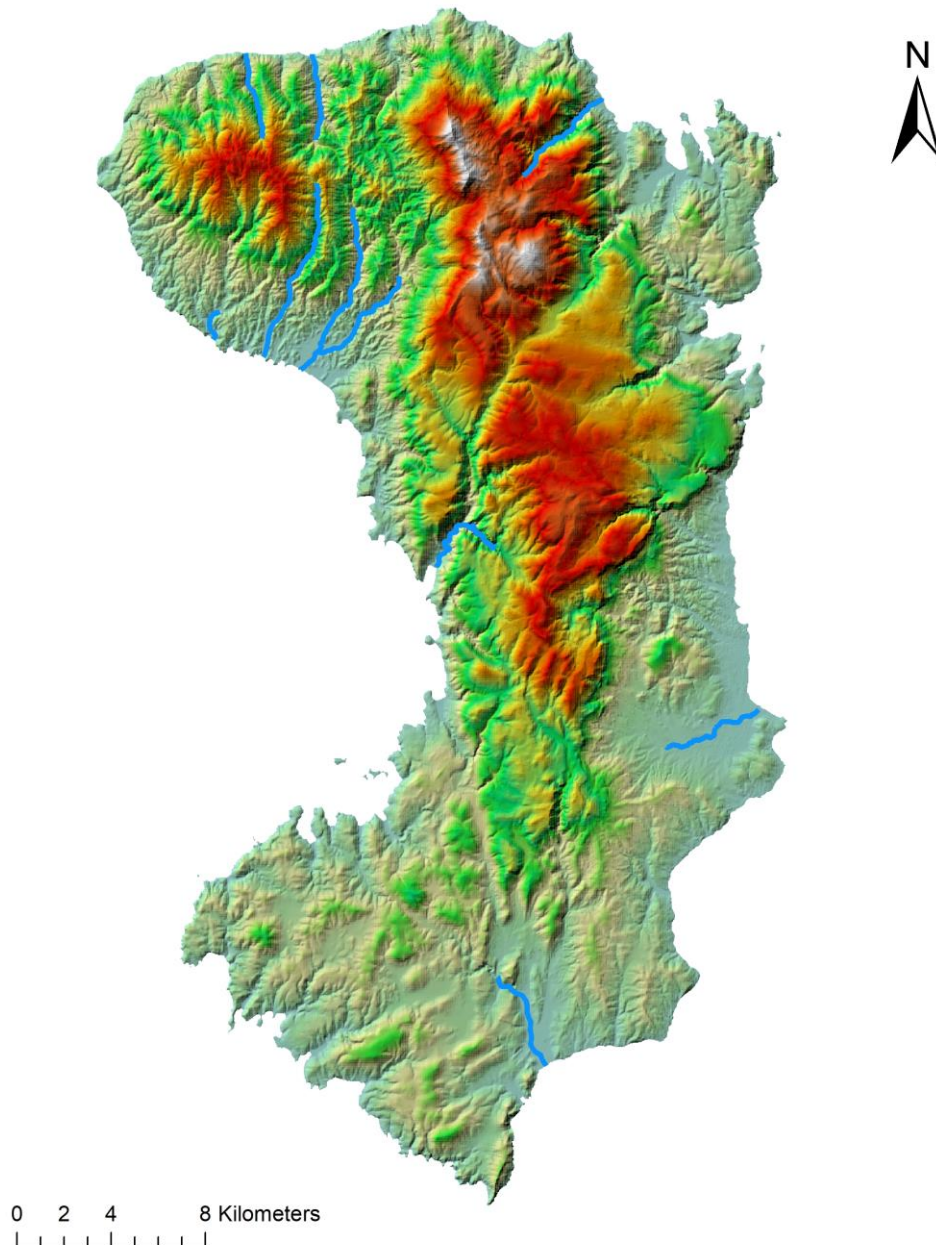
Γεωλογία

Η γεωλογική αλλά επίσης και τεκτονική δομή της Χίου (Σχήμα 4) παρουσιάζουν μια ιδιαίτερη πολυπλοκότητα. Η νήσος Χίος γεωτεκτονικά ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Οι επικρατέστερες λιθολογικές ενότητες που δομούν το νησί από τις νεότερες προς τις παλαιότερες είναι οι παρακάτω (Πηγή: Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πεδίων στη νήσο Χίο, Μ Ξενάκη, Θ. Καβουρίδης, Γρ. Βρέλλης, Π. Βακαλόπουλος, 2007):

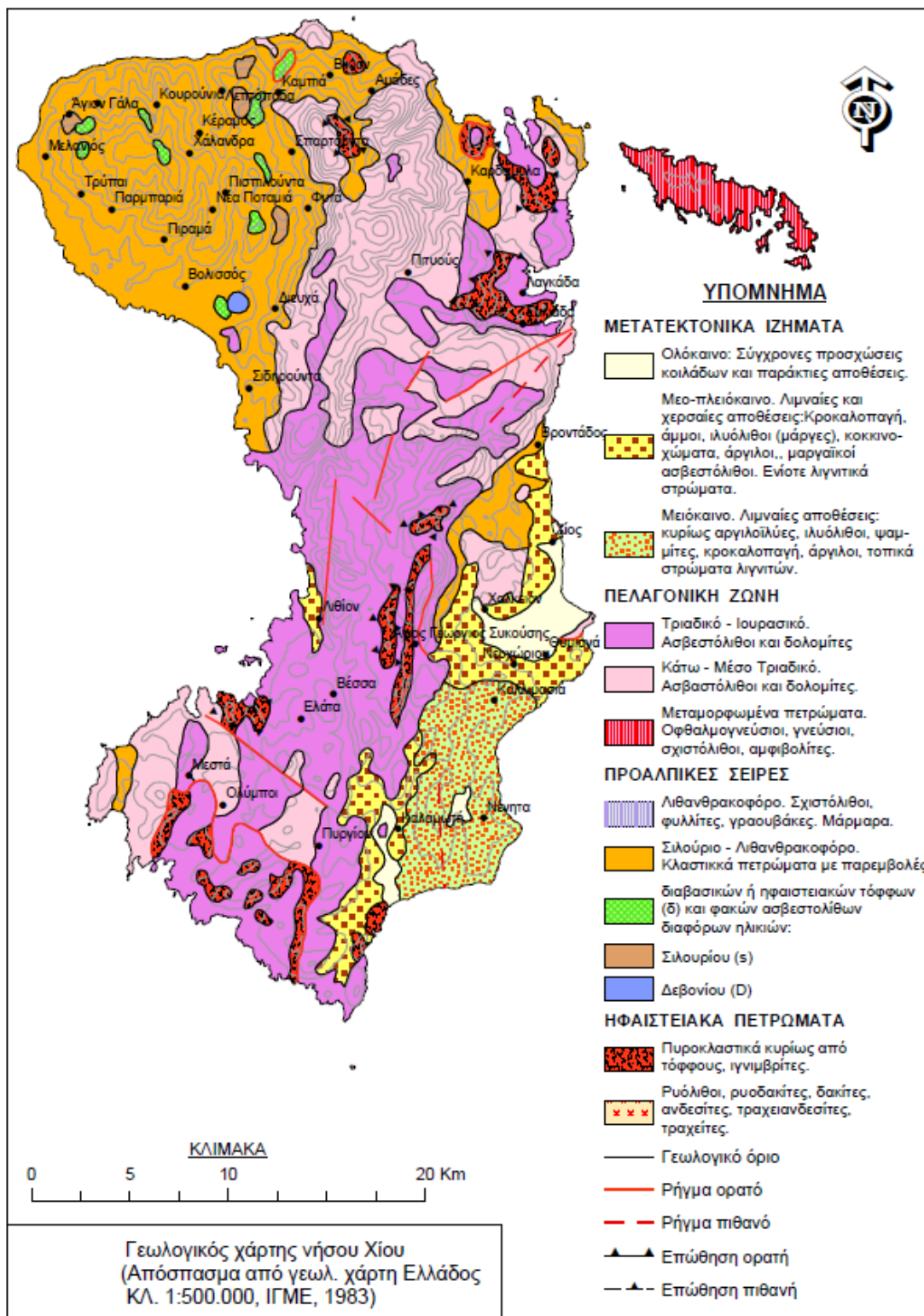
1. Μεταλλικά ιζήματα αποτελούμενα από σύγχρονες προσχώσεις, Νεογενείς λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις κυρίως από ιλυολίθους, αργίλους και ψαμμίτες.
2. Μεσοζωϊκά πετρώματα κυρίως από ασβεστόλιθους και δολομίτες της Πελαγονικής Ζώνης.
3. Προαλπικά κλαστικά πετρώματα Παλαιοζωϊκής ηλικίας με παρεμβολές ασβεστολιθικών φακών.
4. Ηφαιστειακά πετρώματα: Αντιπροσωπεύονται από εκχύσεις λάβας, όξινης έως βασικής σύστασης με εμφανίσεις ηφαιστειακών κέντρων στο νότιο και βόρειο μέρος του νησιού. Φαίνεται ότι η ηφαιστειακή δραστηριότητα, που έλαβε χώρα

κατά το κάτω-μέσο Μειόκαινο, προηγήθηκε της έναρξης της Μειοκαινικής ιζηματογένεσης στην περιοχή και πιθανώς συνδέεται με την έναρξη των εφελκυστικών κινήσεων που άρχισαν αυτή την περίοδο και είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων και βαθιών ρηγμάτων που βοήθησαν την άνοδο του μάγματος.

Χάρτης ψηφιακού μοντέλου εδάφους



Σχήμα 3 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους νησιού (ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 4 Γεωλογικός χάρτης νήσου Χίου (πηγή: ΙΓΜΕ 1983)

Χλωρίδα

Η Χίος είναι πολύ σημαντικός τόπος για πολλά είδη χλωρίδας. Ο συνολικός αριθμός των φυτών φτάνει τα 1.260 είδη.

Στο βόρειο τμήμα της Χίου κυριαρχούν τα βουνά και τα βραχώδη εδάφη. Στο Πελινναίο και στις γύρω περιοχές η βλάστηση χαρακτηρίζεται από πευκοδάση, κυπαρίσσια, βελανιδιές, τσικουδιές, μουριές, βατομουριές και αγριοκερασιές, ενώ στους χείμαρρους αναπτύσσεται πυκνή παραποτάμια βλάστηση στην οποία επικρατούν τα πλατάνια, οι πικροδάφνες και οι λυγαριές. Στα κεντρικά κυριαρχούν τα θυμάρια, οι λεβάντες, οι αγριελιές, οι ασπάλαθοι, τα φασκόμηλα, κ.ά., ενώ στα νότια υπάρχουν κέδροι, ελιές, αμυγδαλιές, συκιές και τέλος οι σχίνοι ή αλλιώς μαστιχόδεντρα (*Pistacia lentiscus* var. *chia*). Πρόκειται για αειθαλή θάμνο, που φτάνει σε ύψος τα 2-3 μέτρα, και μόνο στο νότιο τμήμα του νησιού παράγει τη ρητινώδη μαστίχη. Ελαιόδεντρα συναντά κανείς σε ολόκληρο το νησί.

Η Χίος φημίζεται και για τον πλούτο των άγριων λουλουδιών της, ανάμεσα στα οποία συγκαταλέγονται οι λαλάδες, οι γνωστές τουλίπες, που από το Μάρτιο κατακλύζουν τα χωράφια και τους αγρούς της κεντρικής και νοτιοανατολικής Χίου. Στο Δήμο Ιωνίας υπάρχει Βοτανικός Κήπος, με σκοπό την προστασία και τη διατήρηση των αυτοφυών φυτών της Χίου. Ακόμη στο νησί συναντώνται 76 από τα 250 είδη ορχιδέων της Ευρώπης. Η χλωρίδα του νησιού συμπληρώνεται και από άλλα σπάνια φυτά, όπως η φριτιλάρια *Fritillaria relinaea* που φυτρώνει μόνο στο βόρειο τμήμα του νησιού, η καμπανούλα *Campanula hagielia*, ο πρίνος *Prunus prostrata*, η σπάνια *Bongardia chrysogonum*, ο *Astragalus ptilodes*, το ασιατικό κυκλάμινο *Cyclamen persicum*, οι φριτιλάριες *Fritillaria bithynica* και *F. carica* και το τσάι του βουνού *Sideritis sipylea*.

Πανίδα

Η Χίος δεν χαρακτηρίζεται από πλούσια βιοποικιλότητα, αλλά είναι χώρος φιλοξενίας αρκετών ειδών και κυρίως πουλιών. Το νησί βρίσκεται σε ένα μεγάλο μεταναστευτικό ρεύμα για την ορνιθοπανίδα της Ευρώπης. Στην Χίο φιλοξενούνται κατά καιρούς μέχρι 220 είδη πτηνών, όπως η χιονότσιχλα και ο φλώρος. Η πέρδικα είναι ένας από τους παλαιότερους κατοίκους του νησιού. Η ερπετοπανίδα του νησιού είναι πλούσια και περιλαμβάνει πολλά ενδιαφέροντα είδη, όπως πρασινόφρυνους, κοινούς φρύνους, δεντροβάτραχους, ελληνικές χελώνες, σαμιαμίδια, θαμνόφιδα, σαπίτες, και νερόφιδα. Επίσης στο νησί ζει η εντυπωσιακή οθωμανική οχιά, ενώ υπάρχουν παλιότερες αναφορές για την παρουσία του ευρωπαϊκού χαμαιλέοντα. Από τα θηλαστικά απαντώνται αλεπούδες, κουνάβια, λαγοί, σκαντζόχοιροι, δασοπόντικες και πολύ ενδιαφέροντα είδη νυχτερίδων, όπως νανονυχτερίδες, μεσογειακές ωτονυχτερίδες και νυχτονόμοι. Στους

χείμαρρους στα βόρεια ζουν λίγες βίδρες, ενώ στις απομονωμένες ακτογραμμές φωλιάζουν μεσογειακές φώκιες. Τέλος δύο πολύ σημαντικά λεπιδόπτερα του νησιού είναι οι εντυπωσιακές πεταλούδες *Archon apollinus* και *Charaxes jasius*.

Περιβάλλον

Δίκτυο Natura

Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η Ελλάδα έχει χαρακτηρίσει σήμερα 202 Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) και 241 Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ). Στη Βόρεια Χίο συναντώνται δύο ζώνες NATURA, με κωδικούς GR4130001 και GR4130003. Ανήκουν στις κατηγορίες ΤΚΣ και ΖΕΠ και έχουν έκταση 34.409,93 και 32.568,76 εκτάρια αντίστοιχα (Σχήμα 5).

- **Βόρεια Χίος και Νήσοι Οινούσες και Παράκτια Θαλάσσια Ζώνη (GR4130001)**

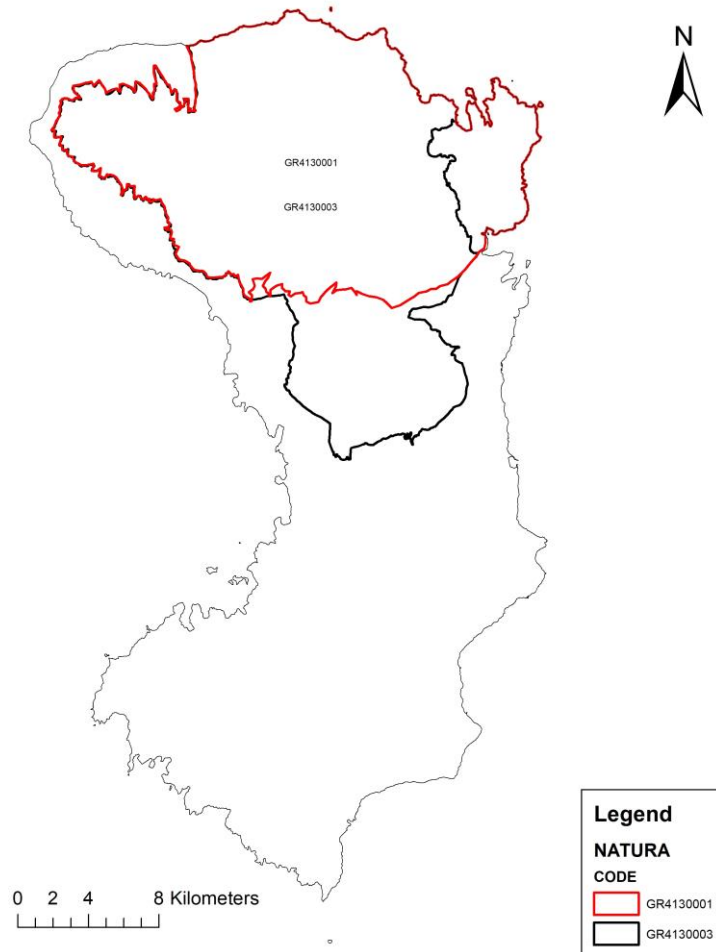
Η προστατευόμενη περιοχή περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της ορεινής βόρειας και δυτικής περιοχής του νησιού που περιλαμβάνει το Πεληνναίον Όρος (1.297 m) και τα νησιά Οινούσες, ενώ το θαλάσσιο της μέρος καταλαμβάνει περίπου το 18% της συνολικής της έκτασης. Η περιοχή στο σύνολό της χαρακτηρίζεται από την εκτεταμένη παρουσία φρυγανικής και αείφυλλης θαμνώδους βλάστησης (μέρος της οποίας χρησιμοποιείται για βόσκηση), το δάσος της τραχείας πεύκης (*Pinus brutia*), που σε μερικά σημεία παρουσιάζεται πυκνό και σε καλή κατάσταση διατήρησης, τα εσωτερικά υδάτινα συστήματα στη βορειοανατολική κυρίως Χίο, την άγονη έκταση που καταλαμβάνει μεγάλη σχετικά επιφάνεια, και την έντονη παρουσία υφάλων και λιβαδιών ποσειδωνίας στο εκτεταμένο θαλάσσιο μέρος.

- **Βόρεια Χίος (GR4130003)**

Στα πλαίσια της επαναξιολόγησης των σημαντικών περιοχών για τα πουλιά στην Ελλάδα, η περιοχή της Βόρειας Χίου χαρακτηρίστηκε ως ΖΕΠ από το έργο «Πρόγραμμα επαναξιολόγησης 69 Σημαντικών Περιοχών για τα Πουλιά για τον χαρακτηρισμό τους ως Ζωνών Ειδικής Προστασίας της ορνιθοπανίδας». Η περιοχή χαρακτηρίζεται ως επί το πλείστον από φρυγανική βλάστηση και ακόλουθα από σκληροφυλλική (μακκία). Περιλαμβάνει επίσης εκτάσεις δάσους κωνοφόρων, μεταβατικές δασώδεις -θαμνώδεις

εκτάσεις, καλλιέργειες και τέλος βραχώδεις κορυφές. (Πηγή: Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020).

Περιοχές δικτύου NATURA 2000



Σχήμα 5 Περιοχές NATURA στο νησί της Χίου

Απειλές για το Περιβάλλον

Οι αρνητικές συνέπειες της προοδευτικής περιβαλλοντικής υποβάθμισης του αστικού κέντρου της Χίου, σε ορισμένες περιπτώσεις τείνουν να εγκαθιδρύσουν μια ελάχιστα ελκυστική και υποβαθμισμένη κατάσταση, που συνεχώς εξαπλώνεται και στο υπόλοιπο νησί. Κύριες απειλές για τον περιβάλλον του Δήμου Χίου αποτελούν οι πυρκαγιές, η έλλειψη επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, η άναρχη δόμηση και καταπάτηση δημοσίων εκτάσεων (δάση, ρέματα και παραλίες), το παράνομο κυνήγι και η παράνομη αλιεία, κάποιες παραγωγικές δραστηριότητες του πρωτογενούς τομέα (γεωργία, κτηνοτροφία, υδατοκαλλιέργειες), η εξορυκτική δραστηριότητα και ο τουρισμός.

Αρκετά κρούσματα πυρκαγιών έχουν παρατηρηθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες, τόσο στα μεγάλα πευκοδάση όσο και σε καλλιεργούμενες εκτάσεις. Απόρροια διαδοχικών

πυρκαγιών τα τελευταία 25 χρόνια είναι η υποβάθμιση των πευκοδασών και θαμνωδών. Υπάρχει έτσι σοβαρός κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους, γεγονός που θα προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο συνολικό τοπικό οικοσύστημα. Τα σημάδια της ερημοποίησης είναι έντονα στη Βόρεια Χίο, καθώς αποκαλύπτεται σταδιακά το βραχώδες υπόβαθρο και υποχωρεί κάθε χρόνο η ανάπτυξη της βλάστησης. (Πηγή: Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020).

Ρύπανση Υδάτινων Πόρων

Η Χίος συγκαταλέγεται στις περιοχές με ρύπανση των υπόγειων υδάτων σε ένα ή περισσότερα στοιχεία (στο αρσενικό και στον υδράργυρο), αλλά ακόμη δεν έχει διερευνηθεί η πηγή προέλευσης των βαρέων μετάλλων, αλλά και η επίπτωση της χρήσης τέτοιων νερών στην παραγωγή και κατανάλωση τροφίμων. Η κύρια αιτία του προβλήματος είναι η υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων, καθώς και η ανεξέλεγκτη απόρριψη αποβλήτων και το ελλιπές δίκτυο αποχέτευσης σε αρκετές ακόμη πόλεις και χωριά. Η αποκατάσταση του ΧΑΔΑ της Χίου αναμένεται να ελαττώσει σταδιακά τη συγκέντρωση των βλαβερών ουσιών στο πόσιμο νερό. Φαινόμενα υφαλμύρισης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα έχουν παρατηρηθεί στην παράκτια ζώνη του Κάμπου της Χίου. Σήμερα το πρόβλημα της υφαλμύρισης εξακολουθεί να υπάρχει με εποχιακές εξάρσεις και γίνεται η προσπάθεια περιορισμού του με την δημιουργία φραγμάτων (Κατράρη, Κόρης Γεφύρι), καθώς και λιμνοδεξαμενών που θα καλύπτουν τις ανάγκες άρδευσης. (Πηγή: Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020).

Γενικά υδρολογικά στοιχεία

Οι ποταμοί του Δήμου Χίου είναι γενικά μικροί σε μήκος, μεγαλύτεροι είναι ο Χαλικιάς (Ποταμιά) και ο Μαλαγγιώτης που εκβάλλουν στον όρμο της Βολισσού, ο Ελίντας που εκβάλλει στον ομώνυμο όρμο, ο Καρτερός στον όρμο της Καλαμωτής, ο Κοκκαλάς, ο Παρθένης και ο Αρμένης. Στη Χίο δεν υπάρχουν λίμνες, πέρα μικρών αβαθών λιμνών – υγροτόπων. Στο νησί δεν συναντώνται αξιόλογοι υδάτινοι πόροι και απουσιάζουν εντελώς τα επιφανειακά νερά, παρά το ότι το μέσο ύψος βροχής καταγράφεται ως ικανοποιητικό. Οι υδάτινοι πόροι περιορίζονται κυρίως σε υπόγεια νερά στις πεδινές περιοχές και σε μικρές πηγές φυσικής ροής. Η εκμετάλλευση των υπογείων νερών γίνεται με κοινά ή αρτεσιανά φρέατα, τόσο για άρδευση όσο και για ύδρευση. Η ποσότητά τους είναι

ανεπαρκής για την κάλυψη των αναγκών και σε αρκετές περιοχές είναι κακής ποιότητας (υψηλής σκληρότητας και στα χαμηλά υψόμετρα με αυξημένα χλωριούχα άλατα). Στην περιοχή Αγιασμάτων υπάρχει χλωρονατριούχος πηγή η οποία υπο-αξιοποιείται για υδροθεραπευτικούς σκοπούς. Καταβάλλονται προσπάθειες για περαιτέρω αξιοποίηση της πηγής και τη συμμετοχή τοπικών επιχειρήσεων και επιχειρηματιών.

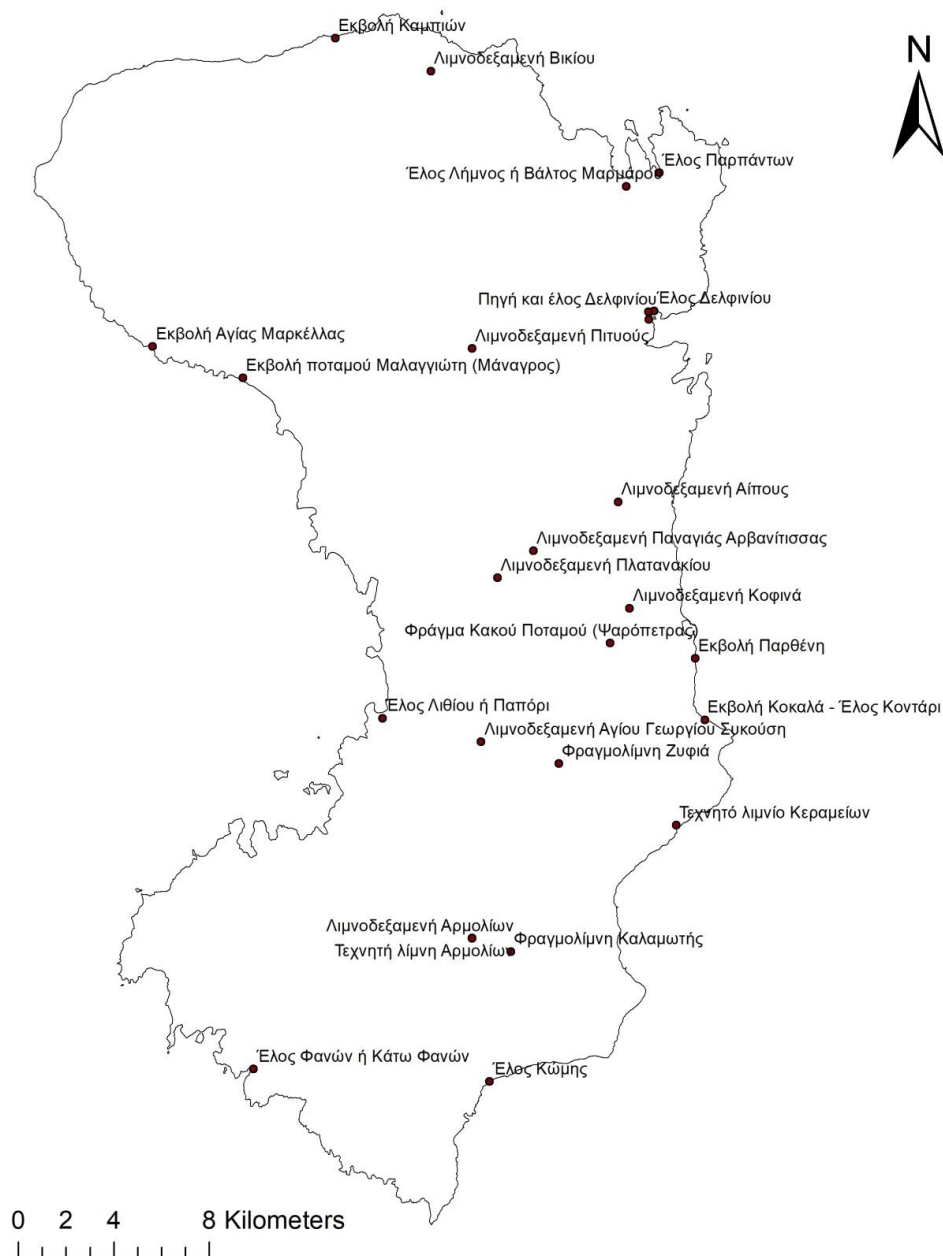
Υγρότοποι (Εθνική Απογραφή):

Οι φυσικοί υγρότοποι στη Χίο (Σχήμα 6) καλύπτουν σήμερα 286-340 στρ., δηλαδή αποτελούν το 0,03% της έκτασης του νησιού, ένα εξαιρετικά μικρό ποσοστό. Ο μέσος όρος του δείκτη φυσικότητας για τους φυσικούς υγροτόπους είναι αρκετά χαμηλός, κυρίως διότι είναι πολύ αλλοιωμένοι από τη δόμηση. Αναλυτικά, εντοπίστηκαν 14 φυσικοί και 5 τεχνητοί υγρότοποι (Πηγή: Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020) :

1. Η λιμνοδεξαμενή Αίπους (CHI22)
2. Οι πολύ μικροί υγρότοποι: εκβολές Αγίας Μαρκέλλας (CHI15), εκβολές Μαναγρού (CHI16)
3. Το Έλος Παρπάντων (CHI20), το οποίο όμως έχει αποξηρανθεί εντελώς και δεν υφίσταται πλέον ως υγρότοπος
4. Το Έλος Κοντάρι (CHI03) που ήταν ο μεγαλύτερος και γνωστότερος υγρότοπος της Χίου και σήμερα έχει πλέον περιοριστεί σε λίγους διάσπαρτους καλαμιώνες, επομένως θα πρέπει επίσης να θεωρηθεί ως σχεδόν κατεστραμμένο
5. Οι υγρότοποι Λήμνου ή Βάλτου του Μαρμάρου (CHI01) και Έλος Κώμης (CHI05), που όμως βρίσκονται σε στάδιο αποξήρανσης και είναι εξαιρετικά υποβαθμισμένοι, διασπασμένοι και πολύ κοντά στην εξαφάνιση
6. Το Έλος Κάτω Φανών (CHI08), που είναι στην καλύτερη κατάσταση από όλους τους υγροτόπους
7. Η εκβολή του ρύακα Καμπιών (CHI13), ο οποίος ρέει σε μια στενή κοιλάδα μήκους περίπου τριών χιλιομέτρων και βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση. Η δε εκβολή του μόλις και διαφοροποιείται από τον ρύακα
8. Το Έλος Λιθίου ή Παπόρι (CHI014), το οποίο απειλείται τόσο από την επεκτεινόμενη δόμηση, αλλά και έχει υποβαθμιστεί σοβαρά, κυρίως από την αλμύριση των εδαφών

9. Το Έλος Δελφινίου (CHI21) που βρίσκεται εξ' ολοκλήρου εντός στρατοπέδου ειδικών δυνάμεων και συνεπώς τόσο η κατάστασή του όσο και το μέλλον του μπορεί να θεωρηθούν αβέβαια
10. Η λιμνοδεξαμενή Βικίου (CHI07), τεχνητός υγρότοπος.
11. Η λιμνοδεξαμενή Αγίου Γεωργίου Συκούση (CHI10)

Θέσεις υγρότοπων



Σχήμα 6 Θέσεις υγροτόπων

2.2 Ανθρωπογενές περιβάλλον

Διοικητική υπαγωγή

Ο Δήμος Χίου περιλαμβάνει ολόκληρο το νησί της Χίου, που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Βορείου Αιγαίου στα ανατολικά θαλάσσια σύνορα της Ελλάδας, εκτείνεται δε παράλληλα προς τις Μικρασιατικές ακτές, από τις οποίες χωρίζεται με μία στενή θαλάσσια επιφάνεια (Στενό Χίου) πλάτους 6 ναυτικών μιλίων. Είναι το δεύτερο σε έκταση νησί της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου και ταυτόχρονα το πέμπτο σε έκταση στην Ελλάδα, μετά την Κρήτη, την Εύβοια, την Λέσβο, και την Ρόδο. Ο πληθυσμός του είναι 51.390 σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011. Ο Δήμος Χίου συγκροτήθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης (Ν. 3852/2010, ΦΕΚ 87/Α/7.6.2010) από την συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Μαστιχοχωρίων, Χίου, Ιωνίας, Αμανής, Καμποχώρων, Καρδαμύλων, Ομηρούπολης και Αγίου Μηνά. (Πηγή: Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020).



Σχήμα 7 Δημοτικές ενότητες Χίου

Αποτελεί ένα νησιωτικό Δήμο και ως εκ τούτου χαρακτηρίζεται από έντονη περιφερειακότητα, με έντονα τα χαρακτηριστικά μιας σχετικά «κλειστής οικονομίας» με έντονα ειδικά –τοπικά χαρακτηριστικά αλλά και με κυρίαρχες τις βασικές παραμέτρους της

«νησιωτικότητας» που είναι κοινές για όλο το νησιωτικό χώρο, όπως η ύπαρξη έντονων αναπτυξιακών διαφοροποιήσεων μεταξύ μεγάλων και μικρών νησιών που ανήκουν σε ένα διοικητικό νησιωτικό σύμπλεγμα, αλλά και εντός των νησιών, στις εσωτερικές τους ζώνες, λόγω της προβληματικής προσβασιμότητας τους.

Πληθυσμιακά-δημογραφικά στοιχεία

Βάσει των επίσημων στοιχείων της απογραφής της ΕΛΣΤΑΤ του 2011, ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Χίου είναι 51.390 άτομα, εκ των οποίων οι 25.775 (50,16%) άνδρες και οι 25.615 (49,84%) γυναίκες. Η μέση ηλικία του πληθυσμού του Δήμου υπολογίζεται στα 42,3 έτη. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αναλυτική κατανομή του πληθυσμού σε ομάδες ηλικιών:

Πίνακας 1 Κατανομή πληθυσμού σε ομάδες ηλικιών (ΠΗΓΗ: ΕΛΣΤΑΤ, Απογραφή 2011)

Ομάδες Ηλικιών	Άτομα	Ποσοστό του Πληθυσμού
0-9 ετών	4831	9,40%
10-19 ετών	5030	9,79%
20-29 ετών	7271	14,15%
30-39 ετών	7425	14,45%
40-49 ετών	6823	13,28%
50-59 ετών	6214	12,09%
60-69 ετών	5564	10,83%
70+ ετών	8232	16,02%
Σύνολο	51390	100,00%

Οικονομία

Σύμφωνα στοιχεία της απογραφής του 2011, το 33,38% (17.154 άτομα) του πληθυσμού είναι απασχολούμενοι, το 5,04% (2.591 άτομα) ζητούν εργασία, το 15,17% (7.796 άτομα) είναι μαθητές/σπουδαστές, το 23,15% (11.895 άτομα) συνταξιούχοι, το 14,59% (7.496 άτομα) ασχολείται με τα οικιακά και το 8,67% (4.458 άτομα) με λοιπές ασχολίες.

Ανά κλάδο απασχόλησης, το 8,08% (1386 άτομα) των εργαζόμενων απασχολείται στον πρωτογενή τομέα της οικονομίας, το 16,08% (2.758 άτομα) στον δευτερογενή τομέα και το 75,84% (13.010 άτομα) στον τριτογενή τομέα



Σχήμα 8 Κατανομή εργαζομένων ανά κλάδο απασχόλησης
(Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ Απογραφή Πληθυσμού 2011)

Πρωτογενής Τομέας

Ο αγροτικός τομέας χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη δυναμικών κλάδων (μαστιχοκαλλιέργεια, ελαιοκαλλιέργεια, ιχθυοκαλλιέργεια, αλιεία, κτηνοτροφία). Η δραστηριότητα των κλάδων αυτών διαφοροποιείται από περιοχή σε περιοχή και χαρακτηρίζει τις περιοχές αυτές. Στους συγκεκριμένους κλάδους απασχολείται κατά παράδοση ο τοπικός πληθυσμός και με παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας.

Στο σύνολο των 167.000 στρεμμάτων του Δήμου Χίου, μόλις τα 14.500 είναι αρδεύσιμα. Τα εγχειροβελτιωτικά έργα στο νησί δεν συνοδεύονται από οργανωμένα δίκτυα αρδευτικών, στραγγιστικών, αποχετευτικών και οδικών έργων. Κατά καιρούς, έχουν διανοιχτεί γεωτρήσεις για λογαριασμό του Δήμου ή και ιδιωτών, που χρησιμοποιούνται για την ύδρευση των κατοίκων ή την άρδευση των καλλιεργειών, κυρίως των εσπεριδοειδών και των κηπευτικών. Οι βοσκότοποι ανήκουν κατά το 1/3 στους ιδιώτες και κατά τα 2/3 στο Δήμο. Οι περισσότερες αγροτικές ιδιοκτησίες προέρχονται από κληρονομίες και λίγες από αγοραπωλησίες. Ο τεμαχισμός των ιδιοκτησιών είναι πολύ μεγάλος. Η αγρανάπαυση εμφανίζεται στο 1/3 των καλλιεργούμενων εκτάσεων, λόγω της μικρής απόδοσης των μη αρδευόμενων καλλιεργειών, συνέπεια της μείωσης των βροχοπτώσεων και της ασύμφορης πολλές φορές εκμετάλλευσής τους. Από τις καλλιέργειες, τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν οι ελιές, ακολουθούν τα μαστιχόδεντρα, τα κτηνοτροφικά φυτά, τα

εσπεριδοειδή, το σιτάρι, τα λοιπά όσπρια, το κριθάρι και τα κηπευτικά. Ακολουθούν οι πατάτες, γρασίδια και οι υπόλοιπες καλλιέργειες με μικρότερα ποσοστά.

Δευτερογενής Τομέας

Ο δευτερογενής τομέας χαρακτηρίζεται από χαμηλό επίπεδο ανάπτυξης που οφείλεται, πρωτίστως, στην έλλειψη πρώτων υλών, στο υψηλό κόστος μεταφοράς προς και από την ηπειρωτική Ελλάδα και στην έλλειψη τεχνογνωσίας στην παραγωγή και προώθηση των προϊόντων. Οι υπάρχουσες βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες είναι μικρού μεγέθους, διάσπαρτες με κύρια δραστηριότητα τη μεταποίηση της αγροτικής παραγωγής. Δεν υπάρχουν θεσμοθετημένες περιοχές ΒΙΠΑ - ΒΙΟΠΑ στη Χίο.

Τριτογενής Τομέας

Ο τομέας του εμπορίου και υπηρεσιών αποτελεί τον σημαντικότερο τομέα οικονομικής δραστηριότητας του Δήμου Χίου. Την τελευταία 20ετία ο τομέας παρουσίασε αλματώδη ανάπτυξη λόγω του τουρισμού, παρότι δεν πήρε μαζικές διαστάσεις στη Χίο, όπως σ' άλλα νησιά του Αιγαίου. Από το παρελθόν, όμως, αποτελούσε παραδοσιακή δραστηριότητα των Χιωτών η ναυτιλία και το εμπόριο. Ειδικότερα στη ναυτιλία, που κυριαρχούσε κάποτε στη χιώτικη οικονομία, η κρίση των τελευταίων ετών δημιούργησε αρκετά προβλήματα, έστρεψε όμως και σε άλλα επενδυτικά σχέδια τους χιώτες εφοπλιστές και ναυτικούς, κυρίως τουριστικά. Έγιναν έτσι αρκετές τουριστικές επενδύσεις από χιώτες ναυτιλλόμενους και μετανάστες, όμως την τελευταία 5ετία ανακόπηκε το ευνοϊκό επενδυτικό κλίμα. (Πηγή: Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020).

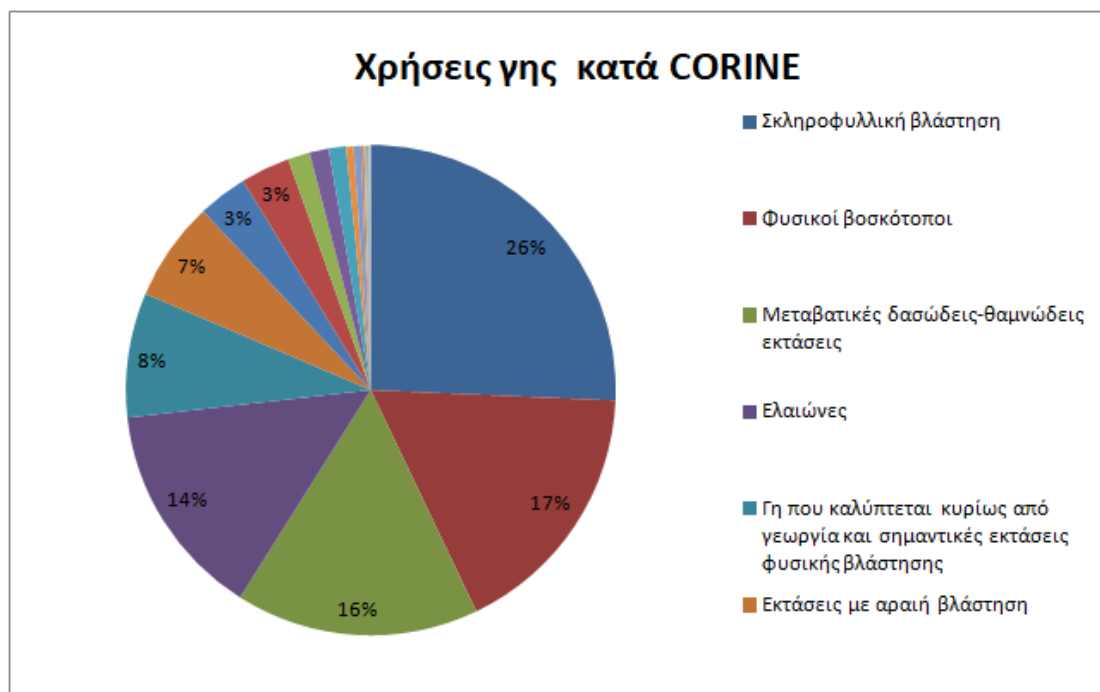
Χρήσεις γης

Η συνολική έκταση του Δήμου Χίου είναι 842,54 τετραγωνικά χιλιόμετρα (km²). Από αυτά το 31,78% (267,77 km²) αποτελούν γεωργικές καλλιέργειες και το 31,25% (263,28 km²) αποτελείται από θαμνώδεις εκτάσεις. Οι λιβαδικές εκτάσεις και οι βοσκότοποι καταλαμβάνουν το 22,88% (17,52 km²) της συνολικής έκτασης του Δήμου ενώ οι άγονες και βραχώδεις εκτάσεις το 2,08% (17,52 km²). Οι οικιστικές περιοχές του Δήμου καταλαμβάνουν το 1,45% της συνολικής του έκτασης, ήτοι 12,19 km².

Πίνακας 2 Χρήσεις γης Δήμου Χίου (Πηγή: Απόφαση 231/2014 του Δημοτικού Συμβουλίου του Δήμου Χίου)

Χρήσεις Γης	Τετραγωνικά Χιλιόμετρα (km ²)	Ποσοστό (%)
Γεωργικές Καλλιέργειες	267,77	31,78%
Θαμνώδεις Εκτάσεις	263,28	31,25%
Λιβαδικές Εκτάσεις - Βοσκότοποι	192,77	22,88%
Δάση Χαλεπίου Πεύκης, Κουκουναριάς, Τραχειάς Πεύκης κλπ.	89,01	10,56%
Άγονες-Βραχώδεις Εκτάσεις	17,52	2,08%
Οικιστικές περιοχές	12,19	1,45%
Συνολική Έκταση Δήμου Χίου	842,54	100,00%

Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω συγκεντρωτικά και οι χρήσεις γης κατά CORINE 2012 (αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3.4).



Σχήμα 9 Ποσοστιαία προβολή χρήσεων γης CORINE

Ενέργεια

Ο Δήμος Χίου ηλεκτροδοτείται από το εργοστάσιο της ΔΕΗ που βρίσκεται στη Δ.Ε. Αγίου Μηνά, στη περιοχή Λευκώνα, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη μαζούτ και ντίζελ. Το

εργοστάσιο καλύπτει επαρκώς τις ενεργειακές ανάγκες ολόκληρου του νησιού, ακόμα και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Το δίκτυο έχει μέση τάση τα 20.000 V και ένα μέρος του διέρχεται από δασικές εκτάσεις, το δε υπόλοιπο διέρχεται από χορτολιβαδικές και γεωργικές εκτάσεις.

Πίνακας 3Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας Δήμου Χίου (ΠΗΓΗ: ΔΕΗ Χίου)

Είδος κατανάλωσης	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας Δήμου Χίου έτους 2014 (MW)
Συνολική μηνιαία κατανάλωση	18.119,79
ΔΕΥΑΧ	4.303,76
Σχολεία	1.332,45

Όσον αφορά τις ήπιες – ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στη Χίο υπάρχει αιολικό πάρκο με δύο ανεμογεννήτριες 280 kW και 600 kW που εγκαταστάθηκαν και λειτουργούν στη Βόρεια Χίο και συγκεκριμένα στην περιοχή Τρεις Μύλοι και Ροδόκλινα Δ.Ε. Αμανής. Υπάρχουν ακόμη δύο ανεμογεννήτριες (έτος εγκατάστασης 1989) συνολικής ισχύος 300 kW στην περιοχή του Αίπους. Ωστόσο οι δυο τελευταίες μονάδες λόγω παλαιότητας και αναγκών συντήρησης υπολειτουργούν.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

3.1 Εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

Για τον σκοπό της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) ή Geographic Information Systems (G.I.S.) είναι, σύμφωνα με τον Burrough, 1983 (αναφορά από Κουτσόπουλο 2005), ένα σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων. Σύμφωνα με την Κανελλοπούλου κ.α. (1992), μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι η ικανότητα να οργανώνουν την πληροφορία σε επίπεδα. Δηλαδή επίπεδα με διαφορετική πληροφορία δύνανται να τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο αποδίδοντας το σύνολο της πληροφορίας συγκεντρωμένο, ενώ ιδιαίτερα λειτουργική είναι και η δυνατότητα επεξεργασίας χωρικών και περιγραφικών δεδομένων στο ίδιο περιβάλλον.

Ένα από τα λογισμικά Γ.Σ.Π. είναι το ArcMap (ESRI 2010), με την βοήθεια του οποίου εκπονήθηκε η διπλωματική. Χρησιμοποιείται για την απεικόνιση, τη διαχείριση και την ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων, επιτρέποντας στον χρήστη να κατανοήσει σχέσεις μεταξύ των δεδομένων και να αναγνωρίσει τα πρότυπα με νέους τρόπους.

3.2 Μεθοδολογία

Ορισμός συστήματος συντεταγμένων

Πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, έπρεπε να επιλεγθεί ένα σύστημα αναφοράς, στο οποίο οι ψηφιακοί χάρτες θα γεωαναφερθούν. Για την διπλωματική αυτή επιλέχθηκε η χρήση του ΕΓΣΑ '87 (ή GGRS87), καθώς είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα αναφοράς στην Ελλάδα σήμερα.

Εισαγωγή δεδομένων

Μετά την επιλογή του συστήματος αναφοράς, ακολούθησε η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό. Από αυτά, κάποια βρίσκονταν ήδη σε ΕΓΣΑ '87, ωστόσο τα περισσότερα είχαν ήδη γεωαναφερθεί σε σύστημα διαφορετικό από αυτό. Με τον όρο γεωαναφορά εννοούμε το σύνολο των αναγκαίων στροφών και μεταθέσεων του χάρτη στο επίπεδο, ώστε να κάθε σημείο του χάρτη να προβληθεί επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Για να πραγματοποιηθεί η

γεωαναφορά, έγινε χρήση της εργαλειοθήκης “Georeferencing” η οποία δίνει τη δυνατότητα να αντιστοιχισθούν σημεία που απεικονίζονται πάνω σε έναν χάρτη με τις πραγματικές γεωδαιτικές τους συντεταγμένες σε ένα σύστημα αναφοράς. Τέλος, κάποια δεδομένα, όπως οι υδρολιθικοί, τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες χρειάστηκαν εξαρχής γεωαναφορά, καθώς αυτή η πληροφορία έλειπε.

Οριοθέτηση περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης ορίστηκε από ένα Shapefile μορφής πολυγώνου, γεωαναφερόμενου σε ΕΓΣΑ '87. Με βάση αυτό, πραγματοποιήθηκαν στα παρακάτω στάδια οι περικοπές σε όσα επίπεδα χρειάστηκε.

Κατασκευή θεματικών χαρτών (δρόμοι, οικισμοί, NATURA, υδατικά, αφαλατώσεις κλπ)

Στη συνέχεια ακολούθησε η κατασκευή των θεματικών χαρτών, είτε εισάγοντας απλά τα δεδομένα που είχαν συγκεντρωθεί, είτε με προσωπική επεξεργασία στην περίπτωση των λεκανών απορροής.

Σχεδιασμός λεκανών απορροής – υδρογραφικού δικτύου

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί υδρολογική ανάλυση στο νησί της Χίου, απαραίτητη ήταν η κατασκευή των λεκανών απορροής, καθώς και του υδρογραφικού δικτύου που προκύπτει από αυτές. Η διαδικασία αυτή περιελάμβανε πολλά στάδια, στα οποία χρησιμοποιήθηκαν διάφορα εργαλεία του Arcmap και κατασκευάστηκαν παράλληλα πολλοί χάρτες. Από τις λεκάνες αυτές, επιλέχθηκαν οι κυριότερες 7 προς μελέτη. Η διαδικασία και οι χάρτες παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

Κατασκευή πολυγώνων Thiessen σε λεκάνες – εφαρμογή μοντέλων υδατικού ισοζυγίου

Στην Χίο υπάρχει μικρός αριθμός βροχομετρικών σταθμών, συγκεκριμένα 7 (Καρδάμυλα, Νέα Μονή, Καρυές, Αγίοι Σαράντα, πόλη Χίου, Βαβίλοι και Πυργί). Ωστόσο οι σταθμοί είναι τοποθετημένοι σε θέσεις που δεν επιτρέπουν την ικανοποιητική κάλυψη του νησιού, και κατ' επέκταση των λεκανών μελέτης. Για τον λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν για τις λεκάνες αυτές πολύγωνα Thiessen, ώστε να υπολογιστεί το μέσο ισοδύναμο ύψος κατακρημνισμάτων κάθε μιας. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν δύο μοντέλα υδατικού

ισοζυγίου, το απλό μοντέλο Thornthwaite και το μοντέλο Thomas (a, b, c, d), ώστε να εκτιμηθούν οι μηνιαίες απορροές κάθε λεκάνης.

3.3 Δεδομένα

Αρχικό βήμα πριν την λειτουργία στο Arcmap ήταν η συγκέντρωση όλων των αναγκαίων δεδομένων, ώστε να δημιουργηθεί ένα σωστό υπόβαθρο. Αυτά λήφθηκαν από διάφορες πηγές, όπως τη ΔΕΥΑΧ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Χίου), την Ειδική Γραμματεία Υδάτων, το ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, την ΓΥΣ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού), ΥΠΑΝ (Υπουργείο Ανάπτυξης), Περιφέρεια Χίου, Κτηματολόγιο, ΕΕΑ (European Environment Agency), Geodata και άλλα.

Τα δεδομένα εκφράζονταν σε διανυσματική μορφή ανάλογη του τύπου πληροφορίας που απεικόνιζαν. Πιο συγκεκριμένα:

- Σημειακή για τους οικισμούς, τις λιμνοδεξαμενές, τα φράγματα και τους υγροτόπους (π.χ. έλη)
- Γραμμική για το οδικό δίκτυο, το υδρογραφικό δίκτυο
- Πολυγωνική για το όριο της περιοχής μελέτης, τις περιοχές NATURA, τα όρια των χρήσεων γης και τις λεκάνες.

3.4 Δημιουργία θεματικών χαρτών

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται όλοι οι χάρτες με την σειρά που αυτοί κατασκευάστηκαν κατά την διάρκεια της διπλωματικής.

Δήμοι / Οικισμοί

Οι θέσεις των οικισμών λήφθηκαν από το Geodata.gov σε μορφή .shp, και εισήχθησαν στον χάρτη σε σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Θέσεις οικισμών

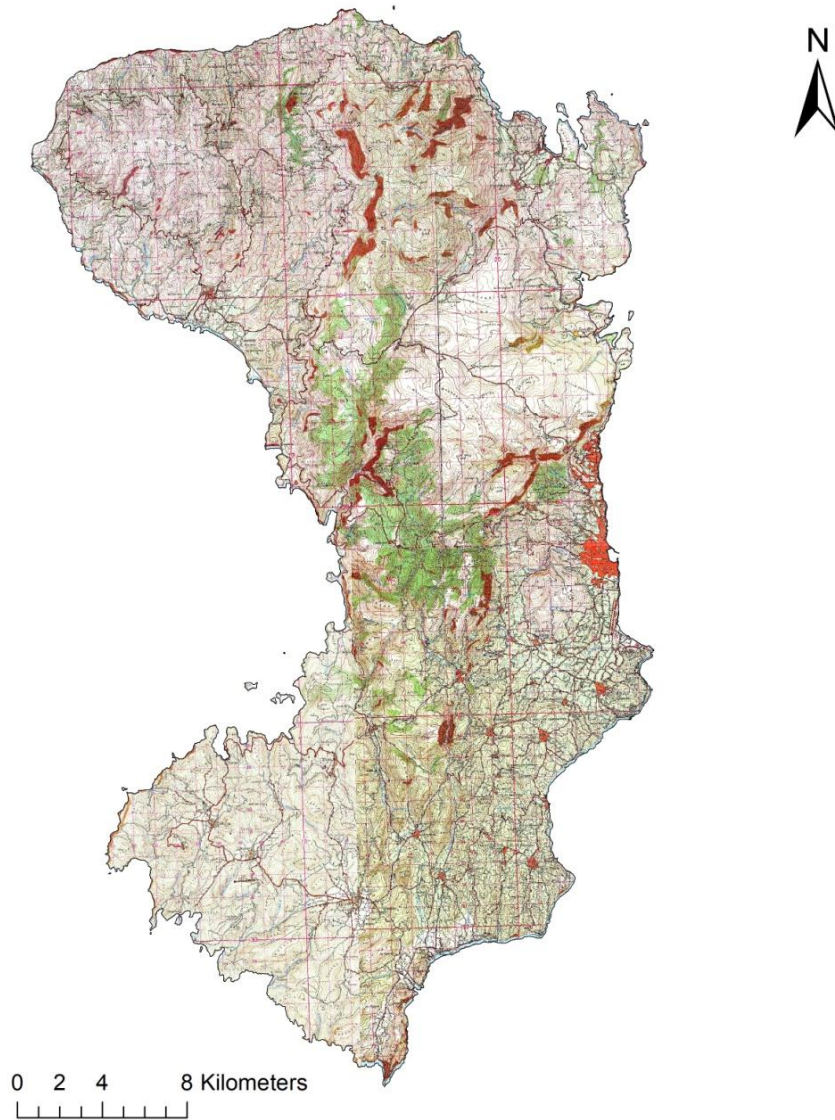


Σχήμα 10 Θέσεις οικισμών

Τοπογραφικός χάρτης

Για την κατασκευή του τοπογραφικού χάρτη του νησιού, λήφθηκαν τα φύλλα χάρτη ΓΥΣ, κλίμακας 1:50.000, Μεστών, Θυμιανών, Βολισσού και Βροντάδου. Τα φύλλα αυτά συνενωθήκαν σε ένα ενιαίο Raster και στη συνέχεια γεωαναφέρθηκαν με βάση το όριο του νησιού.

Τοπογραφικός χάρτης



Σχήμα 11 Τοπογραφικός χάρτης

Οδικό δίκτυο

Χάρτης οδικού δικτύου



Σχήμα 12 Χάρτης οδικού δικτύου

Χρήσεις γης CORINE

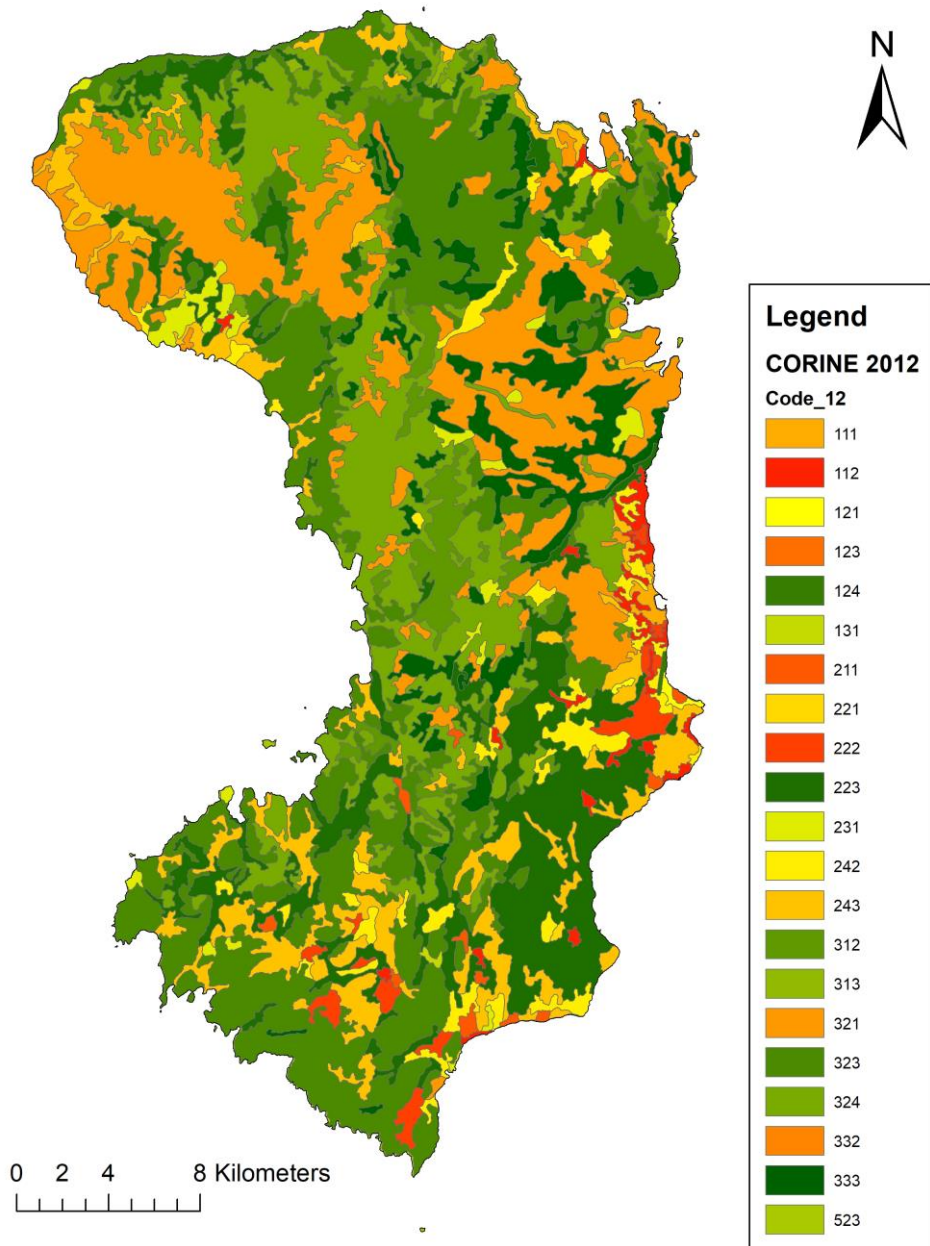
Βασικό στοιχείο κάθε γεωμορφολογικής ανάλυσης είναι η έρευνα χρήσεων γης. Η καταγραφή CORINE Land Cover (CLC) ξεκίνησε το 1985 και είναι μια δραστηριότητα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, που συλλέγει στοιχεία σχετικά με την κάλυψη της γης των ευρωπαϊκών χωρών. Παράγεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΧ) και τα κράτη μέλη του και βασίζεται στα αποτελέσματα του IMAGE2000, ενός προγράμματος δορυφορικής απεικόνισης που πραγματοποιήθηκε από κοινού από το Κοινό

Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του ΕΟΧ. Ενημερώσεις έχουν πραγματοποιηθεί το 2000, το 2006 και το 2012.

Το σχέδιο χρησιμοποιεί ένα ιεραρχικό σχήμα με τρία επίπεδα για να περιγράψει την κάλυψη της γης, σε κλίμακα 1: 100.000, χρησιμοποιώντας 44 κατηγορίες. Το πρώτο επίπεδο δείχνει τις κυριότερες κατηγορίες κάλυψης γης στον πλανήτη, π.χ. γεωργικές περιοχές. Το δεύτερο επίπεδο προσδιορίζει πιο συγκεκριμένους τύπους κάλυψης γης, π.χ. μόνιμες καλλιέργειες, ενώ το τρίτο επίπεδο περιορίζεται σε ένα πολύ συγκεκριμένο χαρακτηρισμό, π.χ. ελαιώνες. (Πηγή: Copernicus)

Για τις ανάγκες της εργασίας λήφθηκε ο χάρτης χρήσεων CORINE από την ιστοσελίδα Copernicus (<https://land.copernicus.eu>), ο οποίος γεωαναφέρθηκε και περικόπηκε στα όρια της περιοχής μελέτης. Με χρήση του υπομνήματος (Πίνακας 4) από την ιστοσελίδα της European Environmental Agency (<https://www.eea.europa.eu>), έγινε ερμηνεία των χρήσεων γης στο νησί της Χίου.

Χρήσεις γης CORINE 2012



Σχήμα 13 Χάρτης χρήσεων γης CORINE 2012

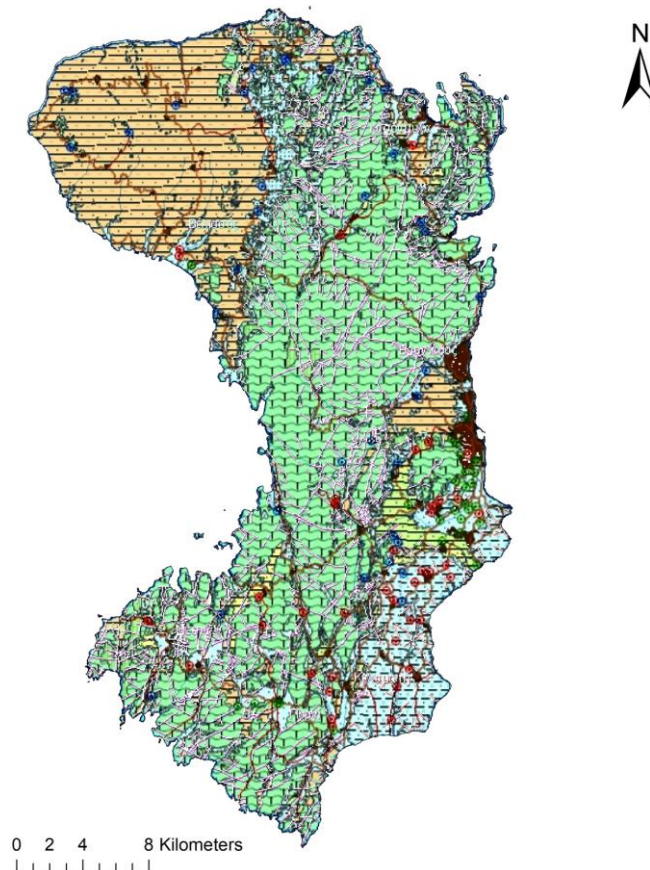
Πίνακας 4 Ελληνική ονοματολογία CORINE LAND COVER

Πρώτο επίπεδο	Δεύτερο επίπεδο	Τρίτο επίπεδο
1. Τεχνητες επιφάνειες	1.1 Αστικός ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 Βιομηχανικές-εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα 1.2.3 Ζώνες λιμένων 1.2.4 Αεροδρόμια
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, Αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αέναο χιόνι
4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Υδατορρεύματα 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

Υδρογεωλογικός χάρτης

Προκειμένου να επιτευχθεί η γεωμορφολογική ανάλυση του νησιού, κατασκευάστηκε ο υδρογεωλογικός χάρτης του νησιού. Ο χάρτης λήφθηκε από το ΙΓΜΕ. Εισήχθηκε στο ArcMap και παρόμοια με τον τοπογραφικό, γεωαναφέρθηκε στα όρια του νησιού.

Υδρογεωλογικός χάρτης



Σχήμα 14 Υδρογεωλογικός χάρτης

ΥΠΟΜΝΗΜΑ / LEGEND

Υδρολιθολογία



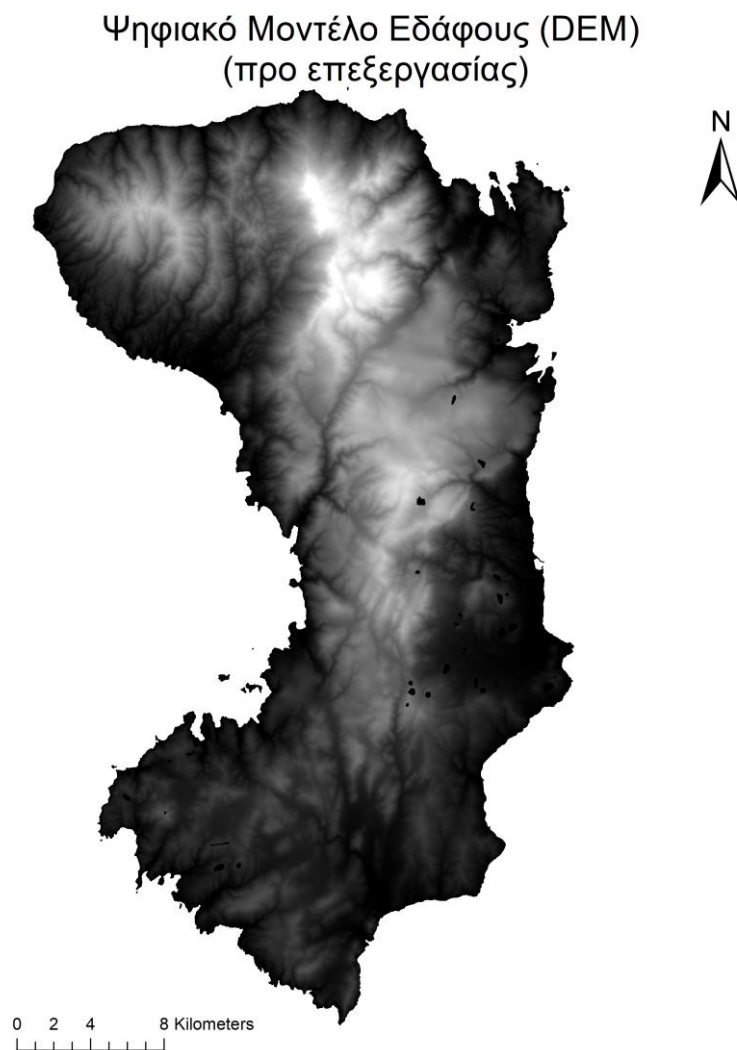
Σχήμα 15 Υπόμνημα υδρογεωλογικού χάρτη

Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model ή DEM)

Κύριο κομμάτι της ανάλυσης μέσω GIS, είναι η ψηφιακή απεικόνιση της περιοχής μελέτης. Αυτό επιτυγχάνεται κατασκευάζοντας ένα Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM). Αυτό αποτελεί μια ψηφιακή αναπαράσταση του γήινου ανάγλυφου, η οποία περιγράφει την

γεωμετρία της γήινης επιφάνειας. Οι μεταβολές στο ύψος της επιφάνειας, όπως π.χ. το ανάγλυφο του εδάφους, μπορούν να περιγραφούν μαθηματικά με τη συνάρτηση του υψομέτρου σε σχέση με τη θέση του. Το DEM αποτελεί την πιο κοινή μέθοδο για την εξαγωγή περαιτέρω πληροφοριών που αφορούν την τοπογραφία, γεωλογικά χαρακτηριστικά, μετακινήσεις πρανών κ.α.

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν επιμέρους DEM (122 σε σύνολο) ανάλυσης 20x20, από τα οποία συντέθηκε ένα ενιαίο μωσαϊκό. Το μωσαϊκό αυτό παρουσίασε στο εσωτερικό του νησιού «τρύπες», δηλαδή κελιά τα οποία είχαν τιμή ύψους ίση με το 0 (Σχήμα 16).



Σχήμα 16 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) – προ επεξεργασίας

Για να διορθωθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένα DEM 25x25 και η ακόλουθη εντολή στο Raster Calculator:

`Con([Ras1] == value, [Ras2], [Ras1])`

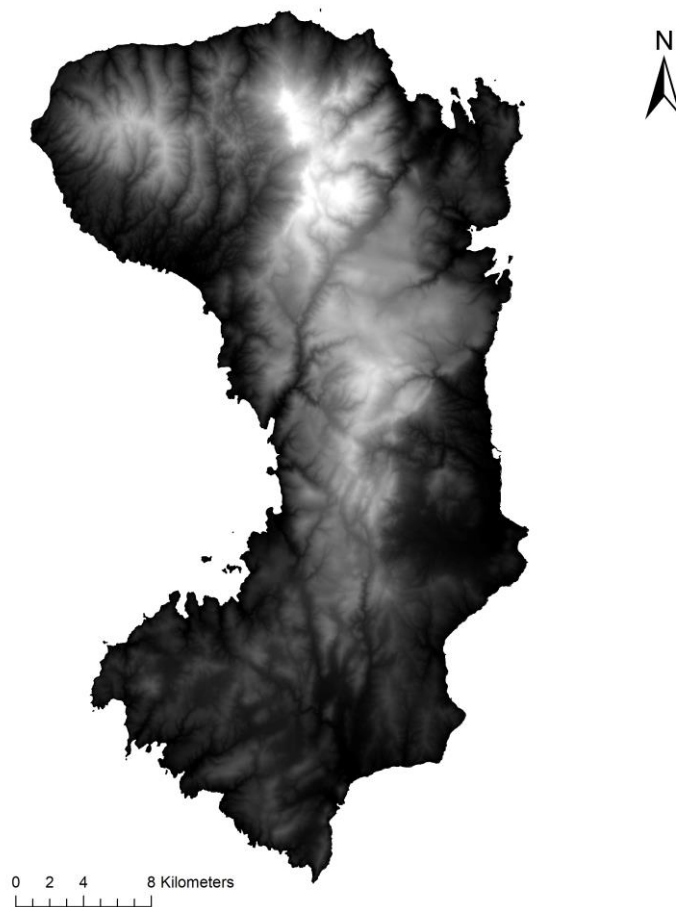
Όπου: όπου Ras1: DEM με τα κενά

Ras2: DEM 25x25

Value ίσο με 0

Η παραπάνω εντολή εφαρμόζεται σε κάθε κελί του αρχικού DEM και όπου εντοπίζει τιμή ύψους ίση με μηδέν, αντικαθιστά το κελί αυτό με το αντίστοιχό του από το 25x25 DEM (Σχήμα 17).

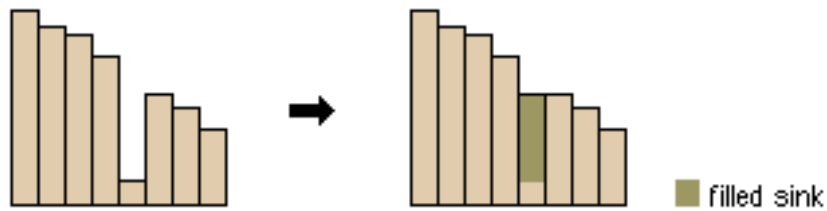
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)



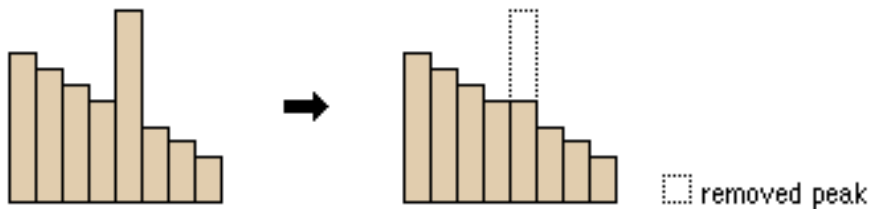
Σχήμα 17 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) – μετά επεξεργασία

Οι βυθίσεις (αλλά και κορυφές) είναι συχνά σφάλματα στα DEM, λόγω της ανάλυσης των δεδομένων ή της στρογγυλοποίησης των υψομέτρων στην πλησιέστερη ακέραια τιμή. Οι βυθίσεις θα πρέπει να γεμίζονται, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή οριοθέτηση των λεκανών και των ρεμάτων. Σε αντίθετη περίπτωση, ένα σύστημα αποστράγγισης θα είναι ασυνεχές. Το εργαλείο *Fill* χρησιμοποιεί τα ισοδύναμα διαφόρων άλλων εργαλείων, όπως των Focal Flow, Flow Direction, Sink, Watershed και Zonal Fill, για να εντοπίσει και να γεμίσει τις

βυθίσεις αυτές (Σχήμα 18). Το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την απομάκρυνση κορυφών, τα οποία είναι κελιά με υψόμετρο μεγαλύτερο από το αναμενόμενο, δεδομένης της γύρω επιφάνειας (Σχήμα 19).



Σχήμα 18 Προβολή προφίλ βύθισης πριν και μετά το εργαλείο Fill

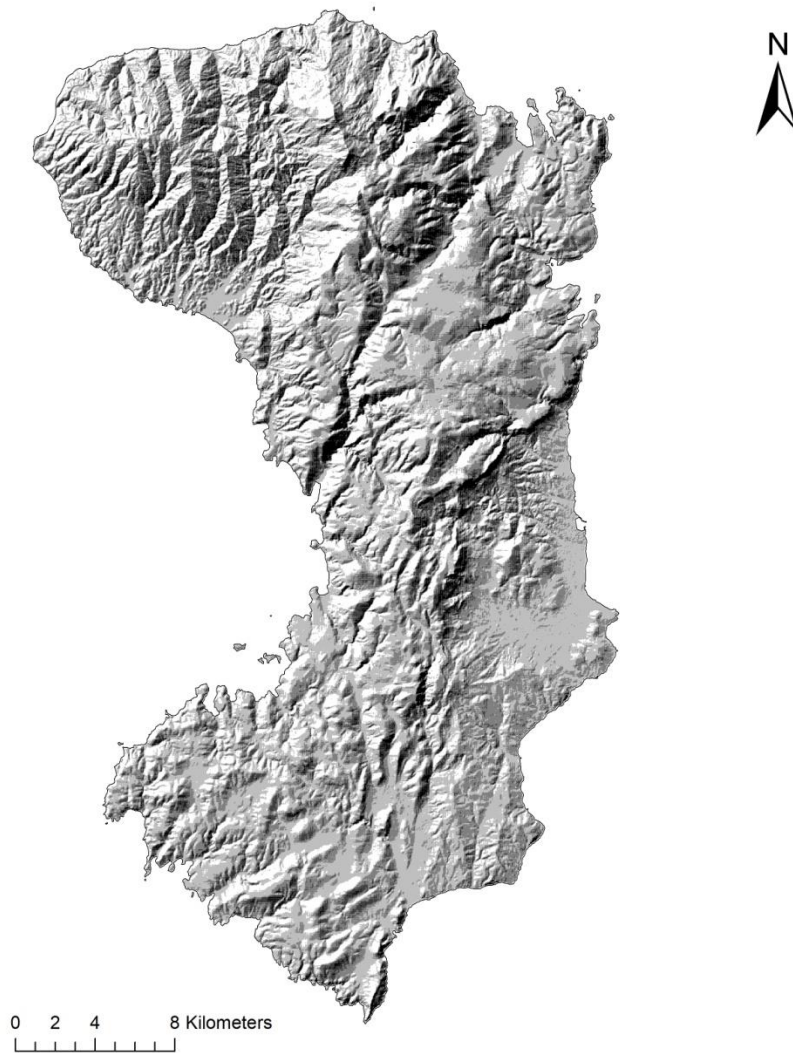


Σχήμα 19 Προβολή προφίλ κορυφής πριν και μετά το εργαλείο Fill

Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (Hillshade)

Στη συνέχεια ακολούθησε η αναπαράσταση του σκιασμένου ανάγλυφου. Το εργαλείο Hillshade δημιουργεί τον υποθετικό φωτισμό μιας επιφάνειας, προσδιορίζοντας τις τιμές φωτισμού για κάθε κελί σε ένα raster. Το κάνει αυτό θέτοντας μια θέση για μια υποθετική πηγή φωτός και υπολογίζει τις τιμές φωτισμού κάθε κελιού σε σχέση με τα γειτονικά του. Μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απεικόνιση μιας επιφάνειας για ανάλυση ή γραφική απεικόνιση, ειδικά όταν χρησιμοποιείται διαφάνεια.

Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου (Hillshade)



Σχήμα 20 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (Hillshade)

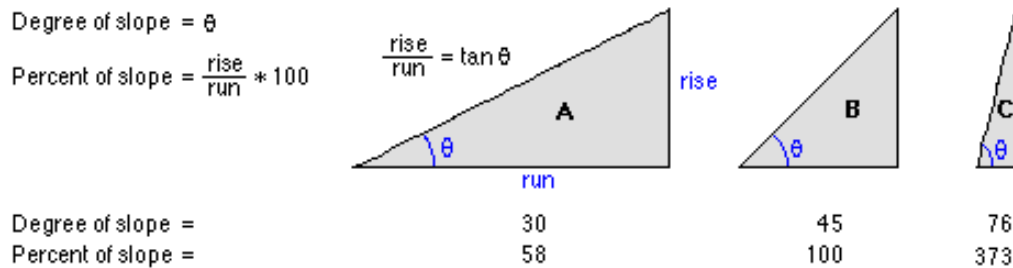
Χάρτης κλίσεων (Slope)

Σε υδρολογικές αναλύσεις, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των κλίσεων της περιοχής μελέτης. Το εργαλείο Slope υπολογίζει για κάθε κελί το μέγιστο ρυθμό μεταβολής της τιμής από αυτό το κελί στους γείτονές του (Σχήμα 21). Το εργαλείο εφαρμόζει ένα πλέγμα 3x3 γύρω από το κεντρικό κελί (κελί e) και ο αλγόριθμος υπολογίζει την κλίση του επιπέδου αυτού εφαρμόζοντας την μέθοδο του μεγίστου μέσου στα γειτονικά κελιά (κελιά a,b,c,d,f,g,h,i).

a	b	c
d	e	f
g	h	i

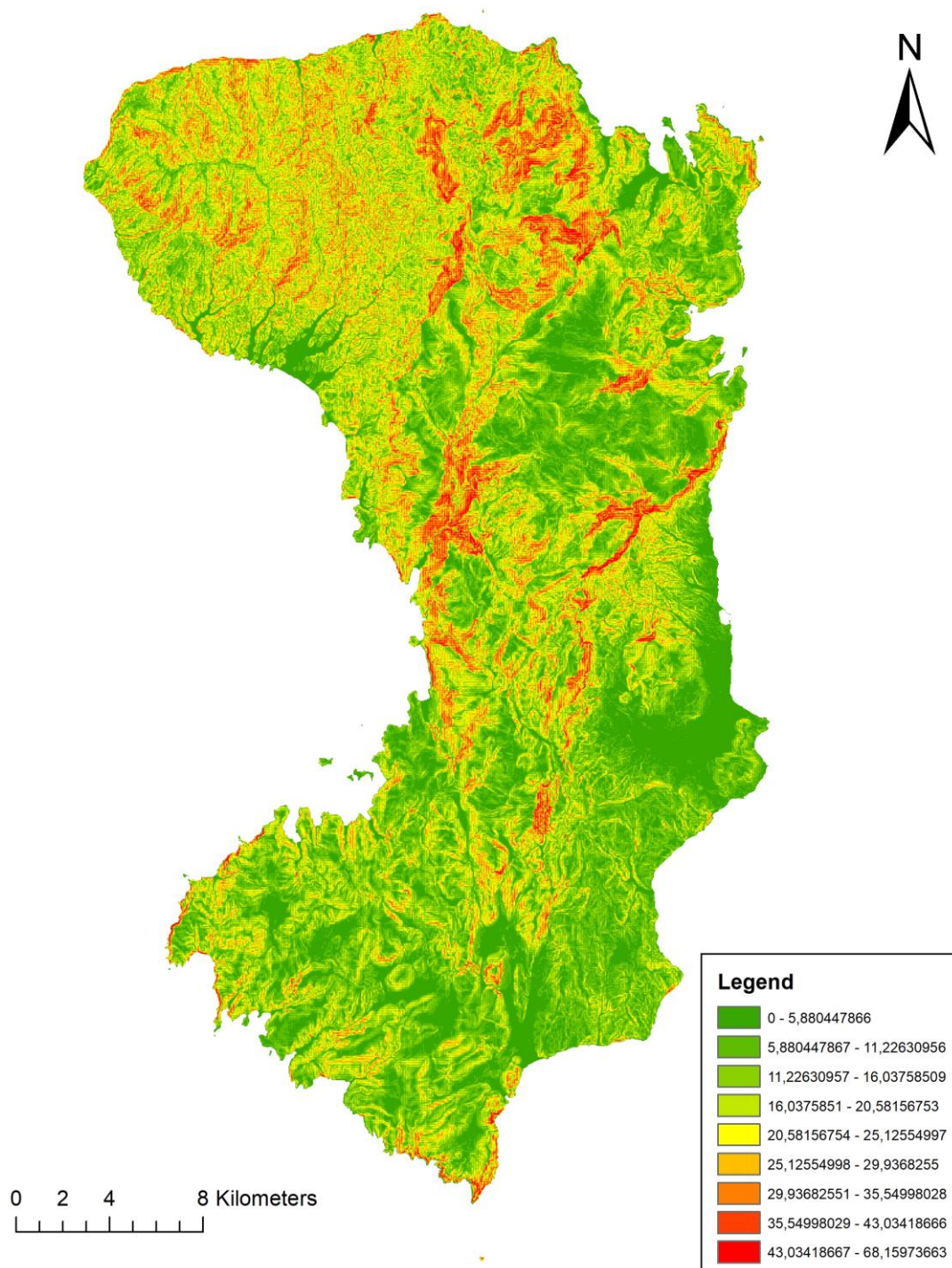
Σχήμα 21 Παράθυρο επιφάνειας που σκανάρει ανά βήμα ο αλγόριθμος

Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή της κλίσης, τόσο πιο χαμηλό είναι το έδαφος, ενώ όσο υψηλότερη είναι η τιμή της κλίσης, τόσο πιο απότομο είναι το έδαφος. Το αποτέλεσμα μπορεί να υπολογιστεί σε δύο τύπους μονάδων, μοίρες ή επί τοις εκατό (Σχήμα 22). Στην συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκαν οι μοίρες.



Σχήμα 22 Σύγκριση τιμών σε μοίρες έναντι ποσοστού

Χάρτης κλίσεων σε ° (Slope)



Σχήμα 23 Χάρτης κλίσεων (Slope)

Χάρτης προσανατολισμού κλίσεων (Aspect)

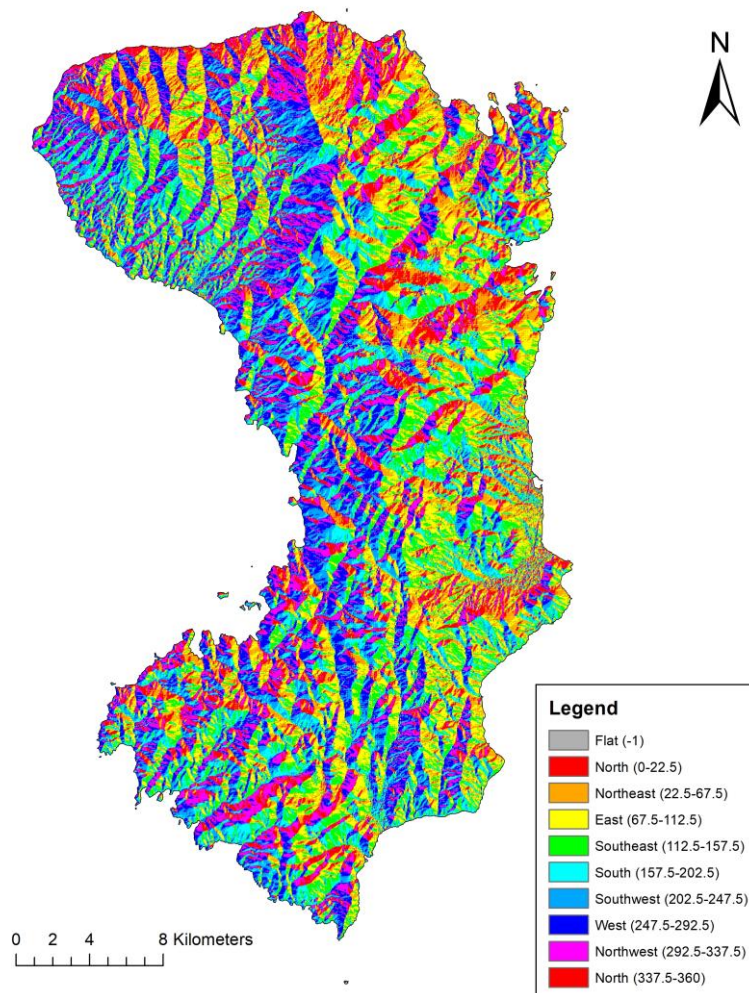
Εξίσου σημαντική είναι και ο υπολογισμός του προσανατολισμού των κλίσεων. Το εργαλείο Aspect προσδιορίζει την κατεύθυνση προς τα κατόντη του μέγιστου ρυθμού μεταβολής της τιμής από κάθε κελί προς τα γειτονικά του. Μπορεί να θεωρηθεί ως κατεύθυνση της

κλίσης. Οι τιμές κάθε κελιού στο Raster εξόδου υποδεικνύουν την κατεύθυνση της επιφάνειας σε εκείνη τη θέση. Μετράται δεξιόστροφα σε βαθμούς από το 0 (προς βορρά) έως το 360 (και πάλι βορειότερα), ερχόμενο σε πλήρη κύκλο (Σχήμα 24). Οι επίπεδες περιοχές που δεν έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω λαμβάνουν τιμή -1.



Σχήμα 24 Τιμές κατεύθυνσης

Χάρτης προσανατολισμού κλίσεων (Aspect)



Σχήμα 25 Χάρτης προσανατολισμού κλίσεων

Οι δύο παραπάνω χάρτες (κλίσεων και προσανατολισμού κλίσεων) έχουν πλήθος εφαρμογών, όπως εκτίμηση κίνδυνου κατολισθήσεων, επιλογή κατάλληλων θέσεων τοποθέτησης φωτοβολταϊκών και άλλα. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής, οι

χάρτες αυτοί αναδεικνύουν δομές όπως ο υδροκρίτης, το υδρογραφικό δίκτυο και την πυκνότητα κάθε λεκάνης.

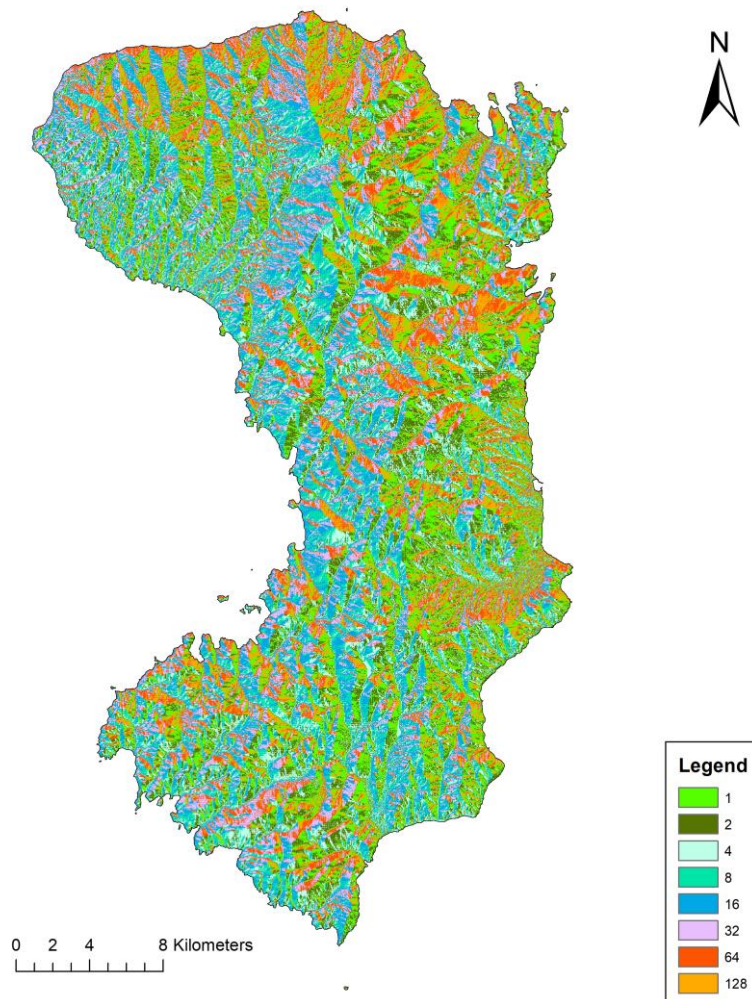
Χάρτης Flow Direction

Αρχικό βήμα για την υδρολογική μελέτη της περιοχής είναι η κατασκευή του χάρτη Flow Direction. Το εργαλείο Flow Direction υπολογίζει για κάθε κελί προς τα που θα κατευθυνθεί η ροή, δηλαδή στον πιο απότομο, με φορά προς τα κατάντη, γείτονα. Οι τελικές τιμές υποδηλώνουν μία από τις οκτώ διευθύνσεις (Σχήμα 26). Δέχεται ως δεδομένο εισαγωγής το Raster από το Fill και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 27.



Σχήμα 26 Κωδικοποίηση των κατευθύνσεων ροής

Χάρτης Flow Direction



Σχήμα 27 Χάρτης Flow Direction

Χάρτης Flow Accumulation

Σε επόμενο βήμα, κατασκευάζεται ο χάρτης Flow Accumulation. Το εργαλείο Flow Accumulation, δέχεται ως δεδομένο εισόδου το Raster από το Flow Direction και υπολογίζει την συγκεντρωμένη ροή σε κάθε κελί, όπως αυτή καθορίζεται από το συγκεντρωμένο βάρος όλων των κελιών που ρέουν σε κάθε κελί προς τα κατάντη. Τα κελιά με υψηλές τιμές Flow Accumulation, δηλαδή σημεία με λευκό χρώμα, είναι περιοχές συγκεντρωμένης ροής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό καναλιών ή ρεμάτων (Σχήμα 28).



Σχήμα 28 Χάρτης Flow Accumulation

Χάρτης Pour Points

Από τον χάρτη Flow Accumulation μπορούν να εντοπιστούν τα Pour Points. Τα Pour Points είναι σημεία στα οποία το νερό ρέει έξω από μια περιοχή, συνήθως στις θέσεις εξόδου ή επανεισόδου. Με το εργαλείο Snap Pour Points τα σημεία αυτά τοποθετήθηκαν δια χειρός στα κελιά με την υψηλότερη συγκέντρωση ροής στο Raster από Flow Accumulation, στα σημεία δηλαδή εκφόρτισης των ρεμάτων στην θάλασσα (Σχήμα 29):

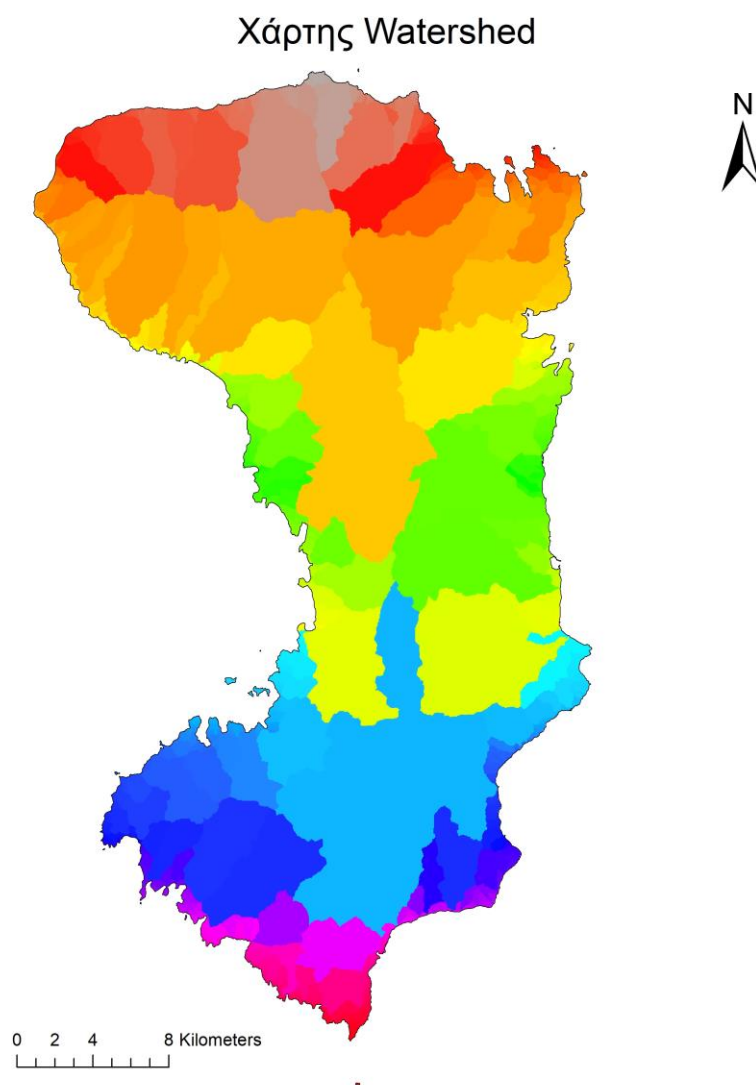


Σχήμα 29 Χάρτης Pour Points

Χάρτης Watershed (Λεκανών)

Μια λεκάνη απορροής (ή Watershed) είναι η ανάντη περιοχή που συμβάλλει στη ροή νερού σε μια κοινή έξοδο ως συγκεντρωμένη αποστράγγιση. Μπορεί να αποτελεί μέρος μιας μεγαλύτερης λεκάνης απορροής και μπορεί επίσης να περιέχει μικρότερες λεκάνες απορροής, που ονομάζονται υπολεκάνες.

Το εργαλείο Watershed προσδιορίζει την περιοχή της λεκάνης, έχοντας ως είσοδο ένα Raster, που απεικονίζει την κατεύθυνση της ροής (το οποίο κατασκευάστηκε από το εργαλείο Flow Direction) καθώς και τα σημεία Pour Points που κατασκευάστηκαν στο προηγούμενο βήμα.

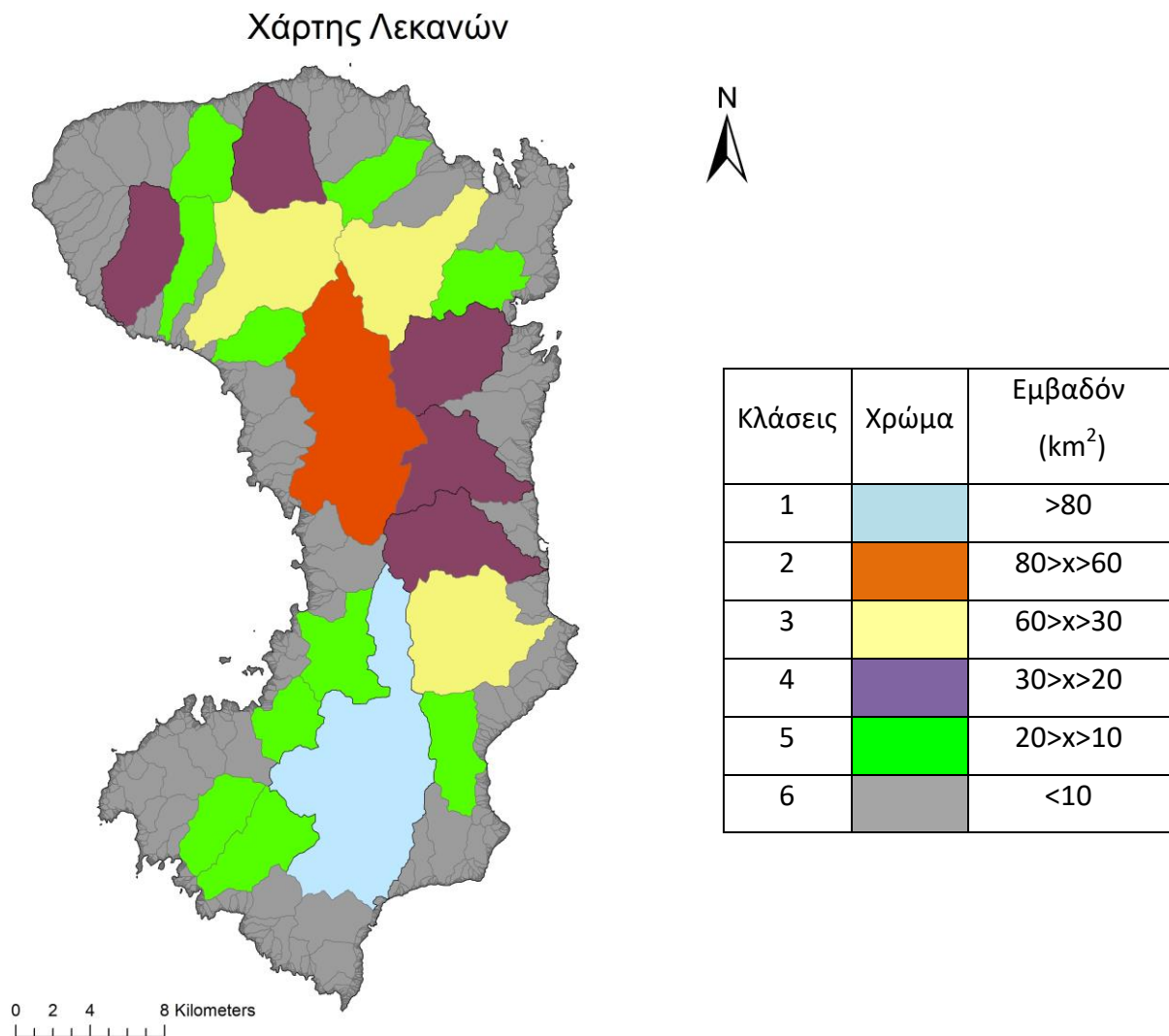


Σχήμα 30 Χάρτης Watershed

Το πρόγραμμα παράγει τεράστιο αριθμό λεκανών και υπολεκανών, συγκεκριμένα 11.689. Από αυτές στα παρακάτω βήματα θα επιλεχθούν οι σημαντικότερες, ώστε να εφαρμοστεί η υδρολογική ανάλυση σε αυτές.

Χάρτης τελικών λεκανών

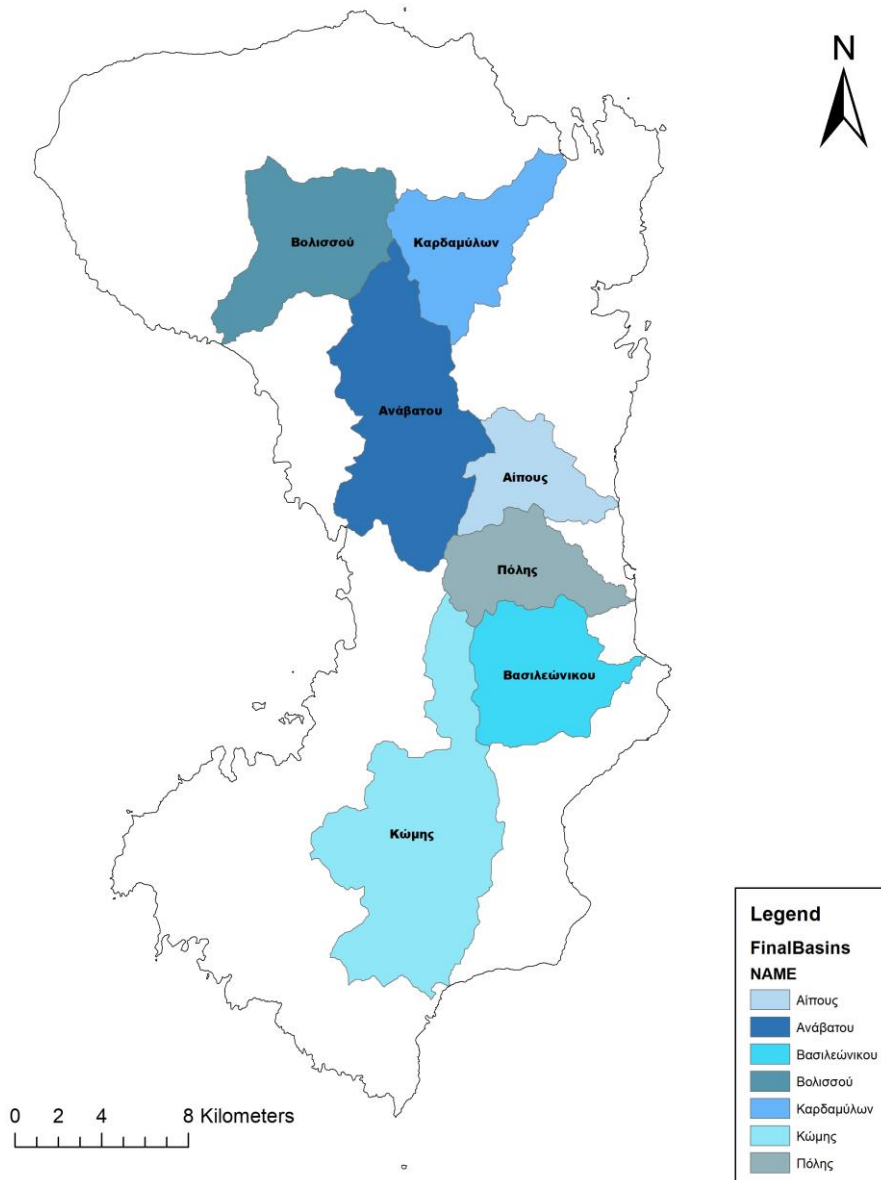
Προκειμένου να γίνει δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία των λεκανών ως πολυγωνικές οντότητες, καθώς και η εμφάνιση των χαρακτηριστικών τους, π.χ. εμβαδόν, έγινε χρήση του εργαλείου Raster to Polygon. Με αυτό γίνεται μετατροπή των λεκανών που κατασκευάστηκαν στο προηγούμενο βήμα από Raster σε πολύγωνο. Παράλληλα έγινε και κατηγοριοποίηση τους ανά εμβαδόν σε ομάδες (Σχήμα 31)



Σχήμα 31 Χάρτης λεκανών

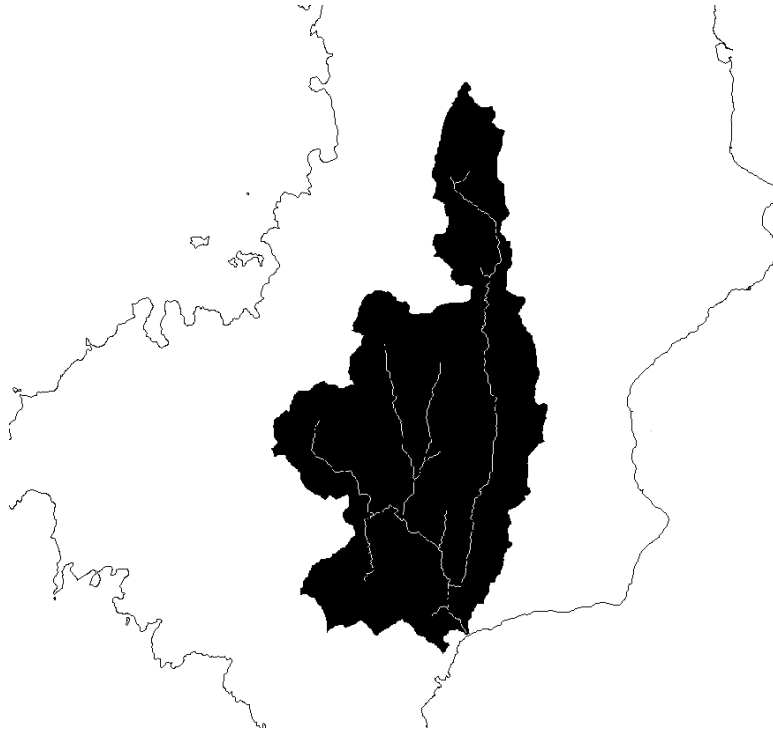
Στο στάδιο αυτό επιλέχθηκαν και οι τελικές λεκάνες, στις οποίες θα εφαρμοστεί υδρολογική ανάλυση, 7 στο σύνολο. Επιλέχθηκαν όσες είχαν εμβαδόν μεγαλύτερο των 30 km², δηλαδή του Ανάβατου, Κώμης, Βολισσού, Καρδαμύλων και Βασιλεώνικου. Από τις μικρότερες, επιλέχθηκαν της Πόλης και του Αίπους, λόγω της κοντινής θέσης τους στην πόλη της Χίου, η οποία συγκεντρώνει την μεγαλύτερη δραστηριότητα του νησιού και επειδή περιλαμβάνουν τα ποτάμια Αρμένης και Παρθένης αντίστοιχα (Σχήμα 32).

Χάρτης τελικών λεκανών



Σχήμα 32 Χάρτης τελικών λεκανών

Σε κάθε λεκάνη εφαρμόστηκε το εργαλείο *Flow Accumulation*, για να παραχθεί το υδρογραφικό της δίκτυο. Στο Σχήμα 33 που ακολουθεί, παρουσιάζεται το παράδειγμα για την λεκάνη της Κώμης, όπου με λευκό χρώμα απεικονίζεται η ύπαρξη νερού.



Σχήμα 33 Παράδειγμα Flow Accumulation για λεκάνη Κώμης

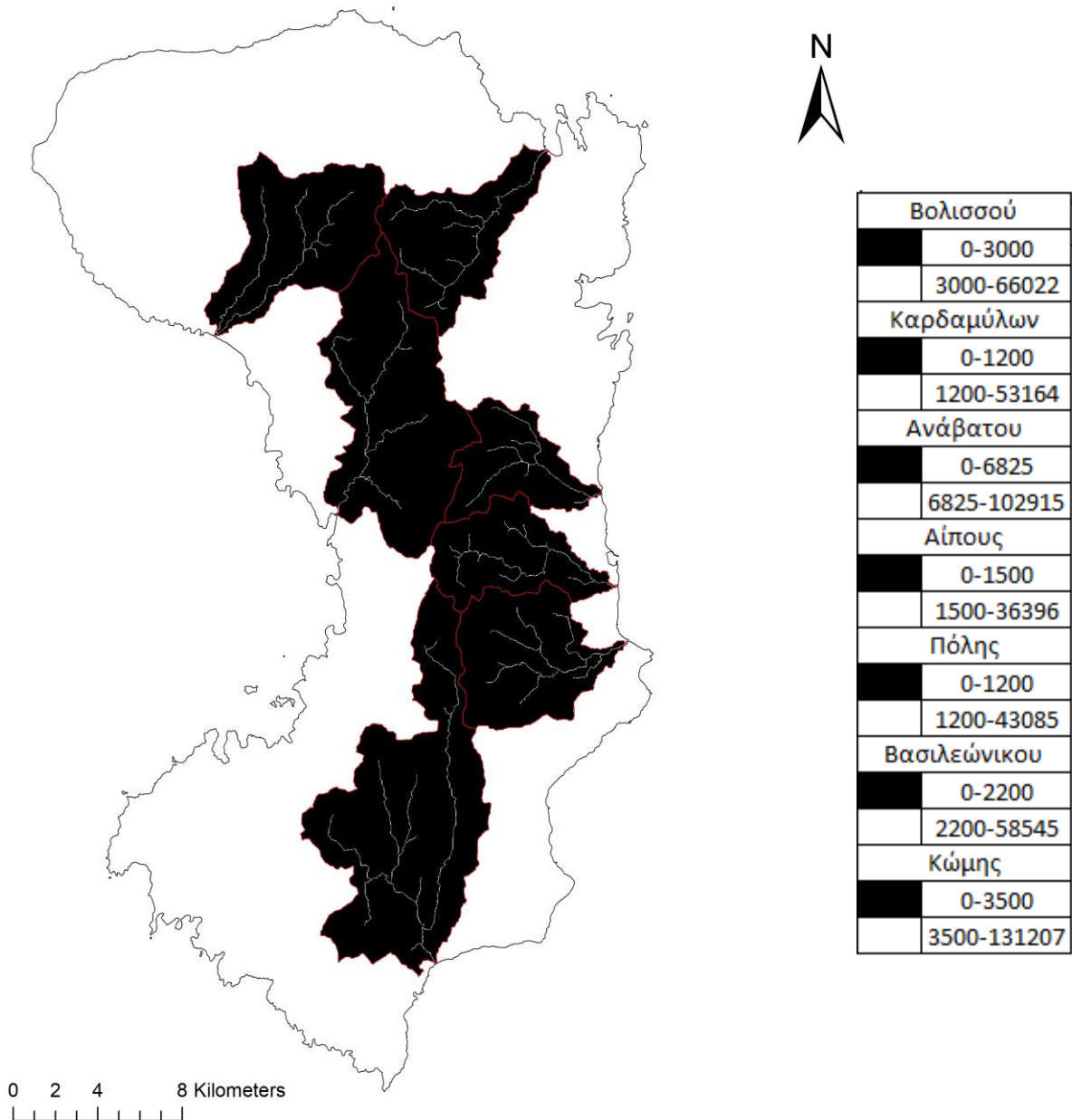
Στη συνέχεια, στην καρτέλα *Symbolology* κάθε λεκάνης, επιλέχθηκε προβολή σε κλάσεις (*Classified*) και ορίστηκε το πλήθος των κλάσεων σε 2. Αλλάζοντας το εύρος των κλάσεων αυτών, ή αλλιώς το κατώφλι τους, παρατηρείται μεταβολή στο υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 34).



Σχήμα 34 Παράδειγμα συσχέτισης κατωφλίου και απεικονιζόμενου υδρογραφικού δικτύου

Έτσι, με διαδοχικές δοκιμές και παράλληλη χρήση του Google Earth, τέθηκαν τα όρια των κλάσεων αυτών, ώστε το απεικονιζόμενο δίκτυο να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα στην πραγματικότητα (Σχήμα 35).

Χάρτης υδρογραφικού δικτύου λεκανών



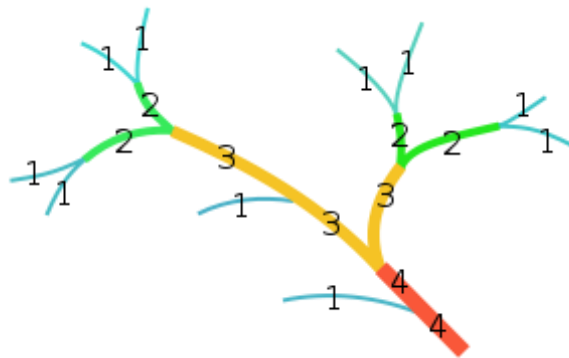
Σχήμα 35 Χάρτης υδρογραφικού δικτύου λεκανών και όρια κατωφλίων

Τέλος, εφαρμόζοντας το εργαλείο Reclassify για το υδρογραφικό δίκτυο κάθε λεκάνης, θέσαμε 2 κλάσεις, όπου η πρώτη έλαβε τιμή 0, αντιπροσωπεύοντας το έδαφος, και η δεύτερη την τιμή 1, αντιπροσωπεύοντας το νερό.

Χάρτης κατάταξης υδρογραφικού δικτύου

Εργαλείο Stream Order (εισάγεται ως δεδομένο το υδρογραφικό δίκτυο και το Raster από Flow Direction)

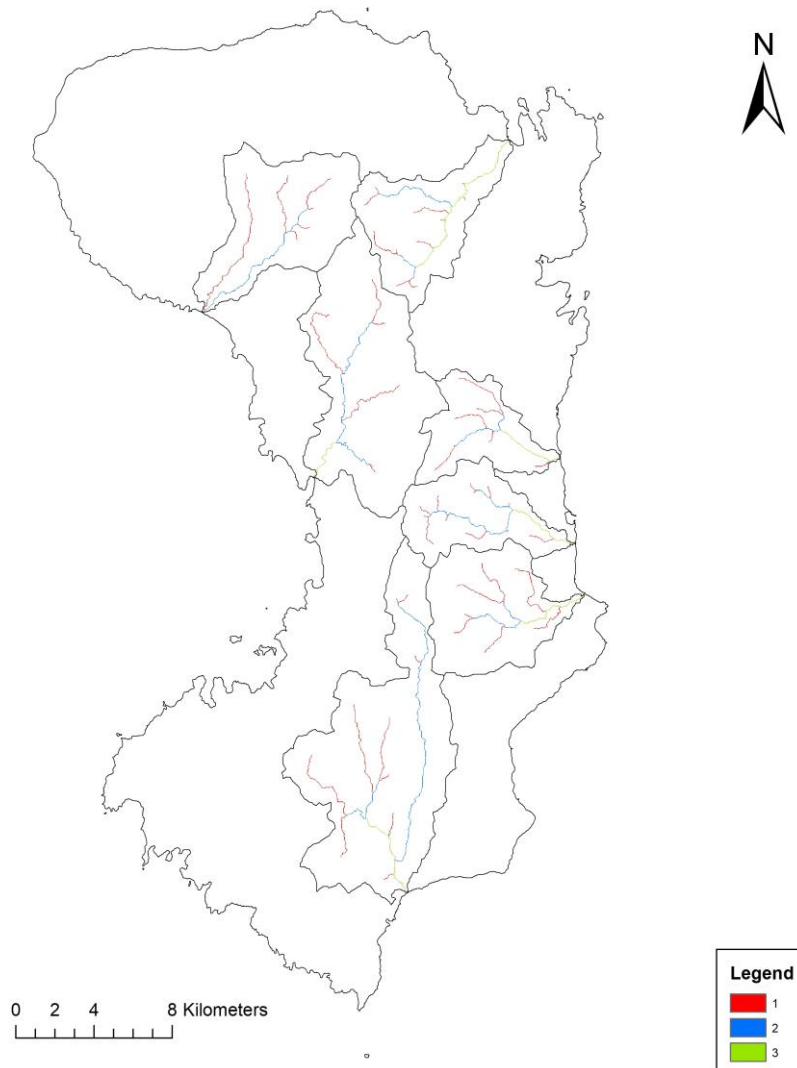
Στο βήμα αυτό πραγματοποιήθηκε η κατάταξη του υδρογραφικού δικτύου κάθε λεκάνης με χρήση του εργαλείου Stream Order. Στο εργαλείο αυτό εισήχθησαν ως δεδομένα το υδρογραφικό δίκτυο και το Raster από Flow Direction. Η μέθοδος κατάταξης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος Strahler. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, ρεύματα τα οποία δεν δέχονται τα μικρότερων κλάδων ρεύματα ονομάζονται 1ης τάξεως. Η σύνδεση δύο κλάδων ίσης τάξης δημιουργεί ένα νέο κλάδο της αμέσου επόμενης τάξης, δηλαδή σύνδεση δύο κλάδων 1ης τάξεως δημιουργεί ένα ρεύμα 2ης τάξεως κ.ο.κ. (Σχήμα 36).



Σχήμα 36 Αναπαράσταση κατάταξης υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler

Εφαρμόζοντας το εργαλείο αυτό σε όλες τις λεκάνες, προέκυψε η κατάταξη του υδρογραφικού δικτύου, όπως αυτή παρουσιάζεται παρακάτω (Σχήμα 37):

Χάρτης κατάταξης υδρογραφικού δικτύου



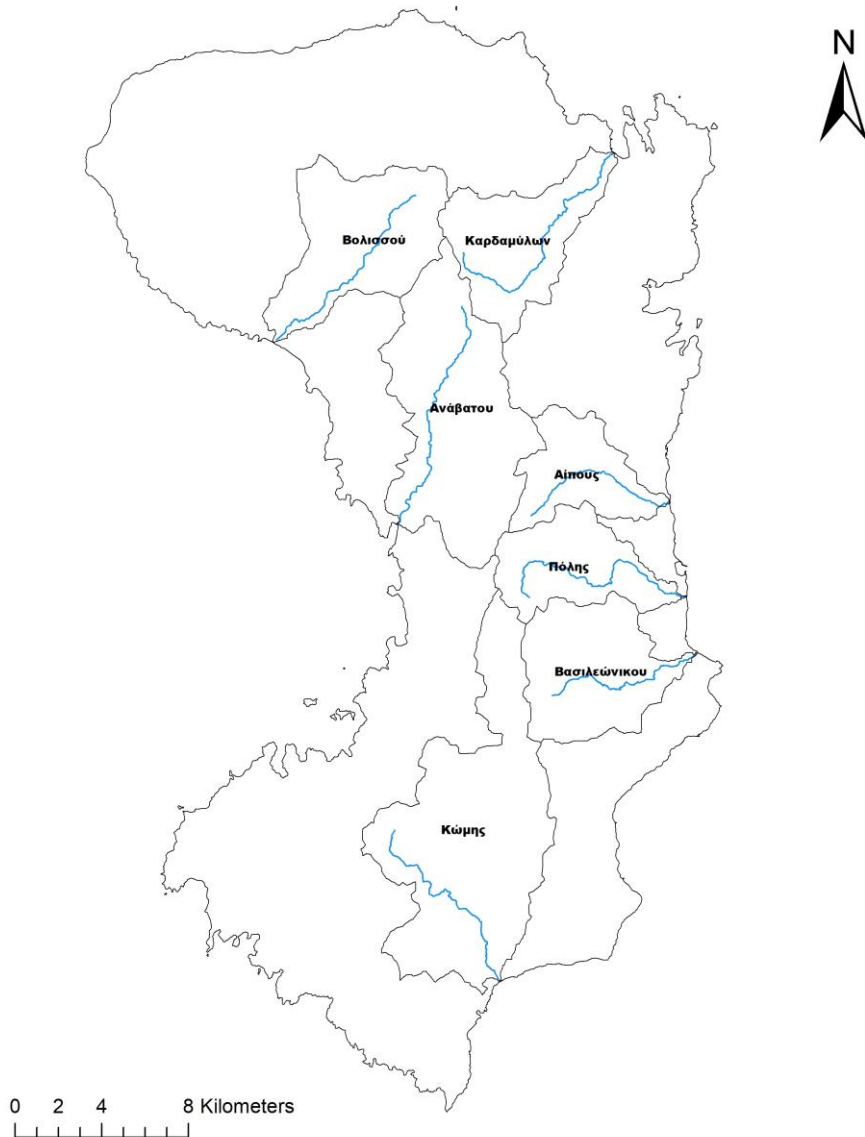
Σχήμα 37 Χάρτης κατάταξης υδρογραφικού δικτύου

Παρατηρείται ότι η μέγιστη κλάση κατά Strahler που φτάνει το υδρογραφικό δίκτυο της Χίου είναι η τρίτη. Αυτό δικαιολογείται από την μικρή έκταση του νησιού, και κατ' επέκταση των λεκανών του, που δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου υψηλότερων κλάσεων.

Χάρτης κύριων υδατορεμάτων

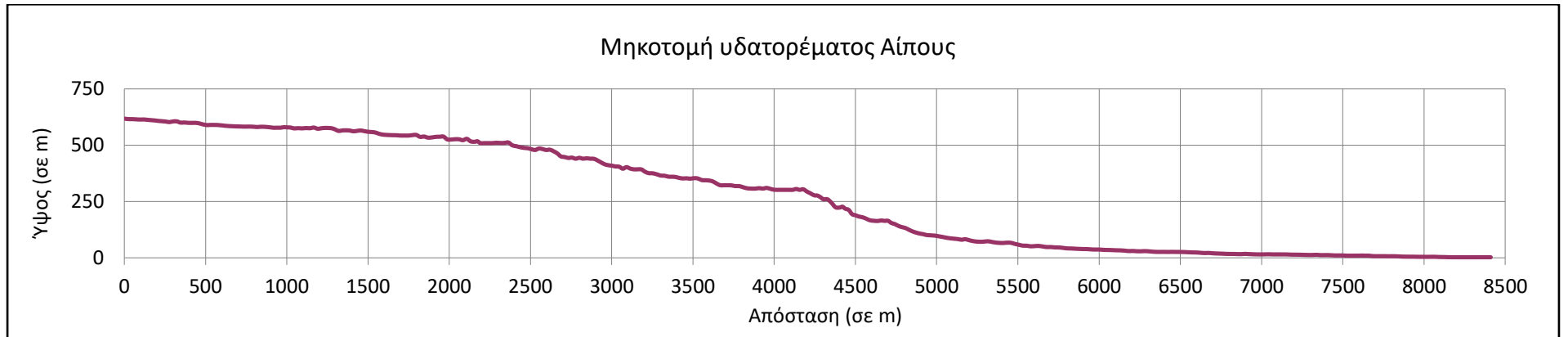
Στην υδρολογία ως κύριο υδατόρεμα ορίζεται αυτό που διατηρεί τη μεγαλύτερη κλάση για μεγαλύτερη απόσταση, ξεκινώντας από τα κατόντη με κατεύθυνση τα ανάντη (Σχήμα 38):

Χάρτης κύριων υδατορευμάτων

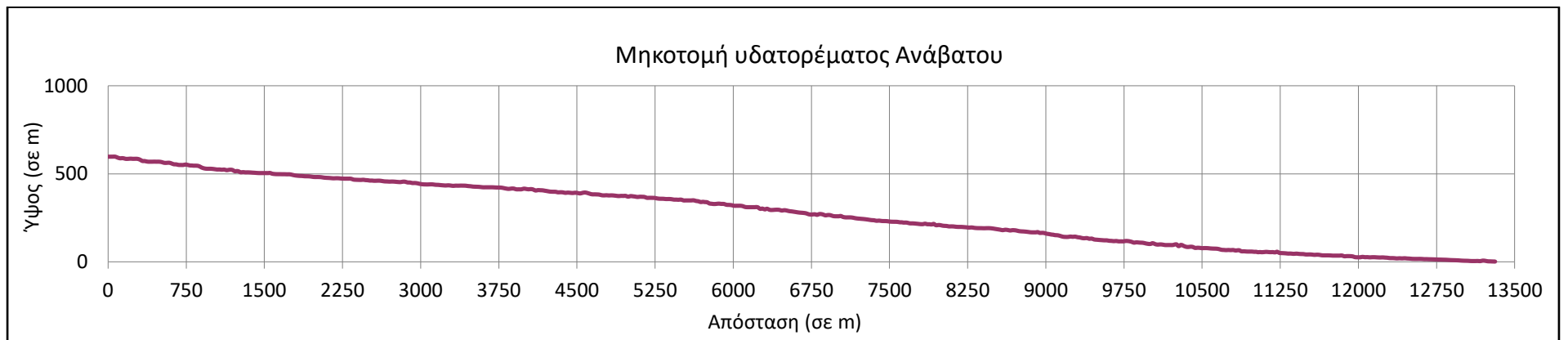


Σχήμα 38 Χάρτης κύριων υδατορευμάτων ανά λεκάνη

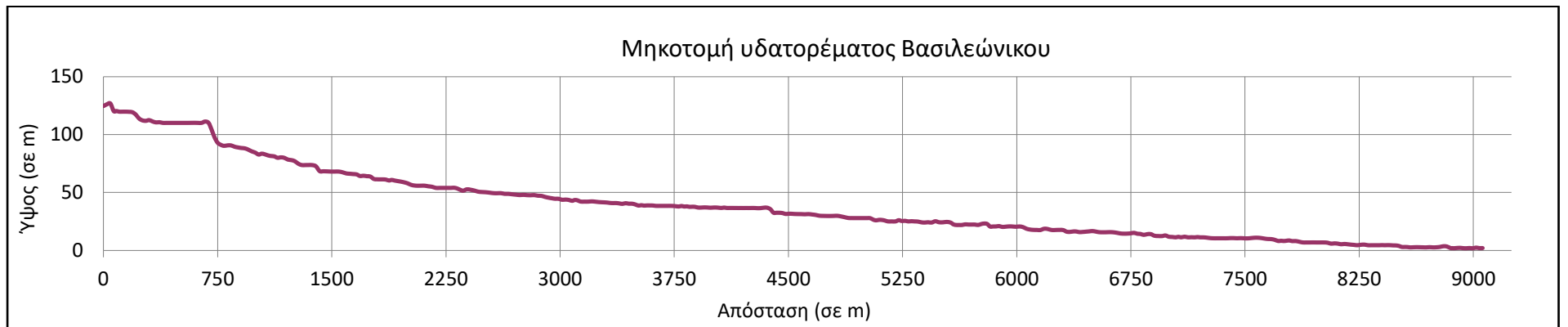
Στη συνέχεια έγινε χρήση του εργαλείου *Interpolate Shape*. Το εργαλείο αυτό μετατρέπει ένα διδιάστατο στοιχείο σε τρισδιάστατο, παρεμβάλλοντας τις τιμές z μιας εισαγόμενης επιφάνειας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το διδιάστατο στοιχείο ήταν τα κύρια υδατορέματα και η τρισδιάστατη επιφάνεια το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) που παράχθηκε σε παραπάνω βήμα. Έπειτα, χρησιμοποιώντας την εντολή *Profile Graph*, παράχθηκαν οι μηκοτομές για τα κύρια υδατορέματα των λεκανών μελέτης:



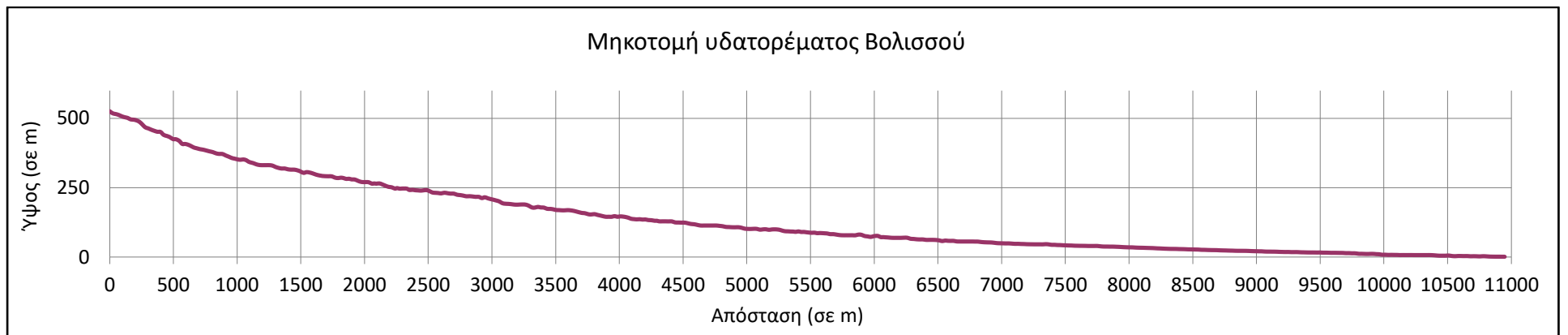
Σχήμα 39 Μηκοτομή υδατορέματος Αίτους



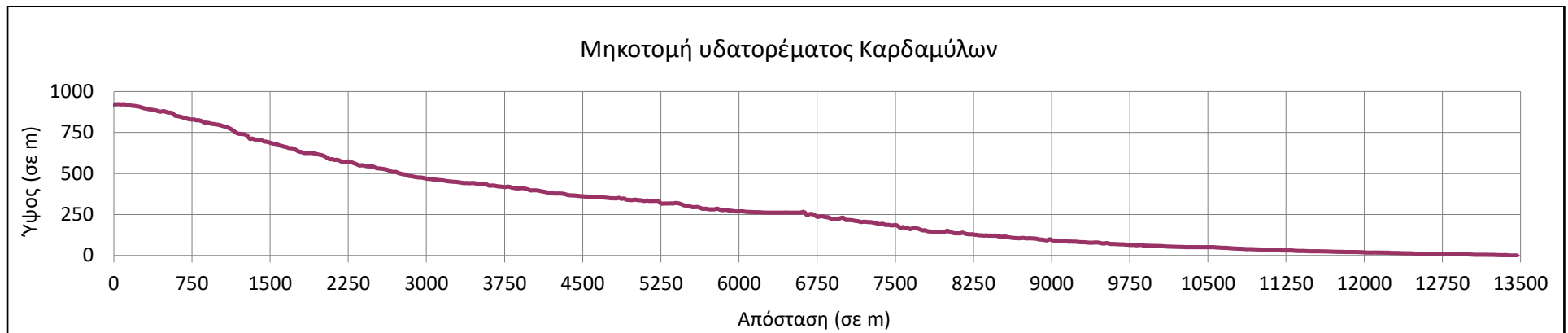
Σχήμα 40 Μηκοτομή υδατορέματος Ανάβατου



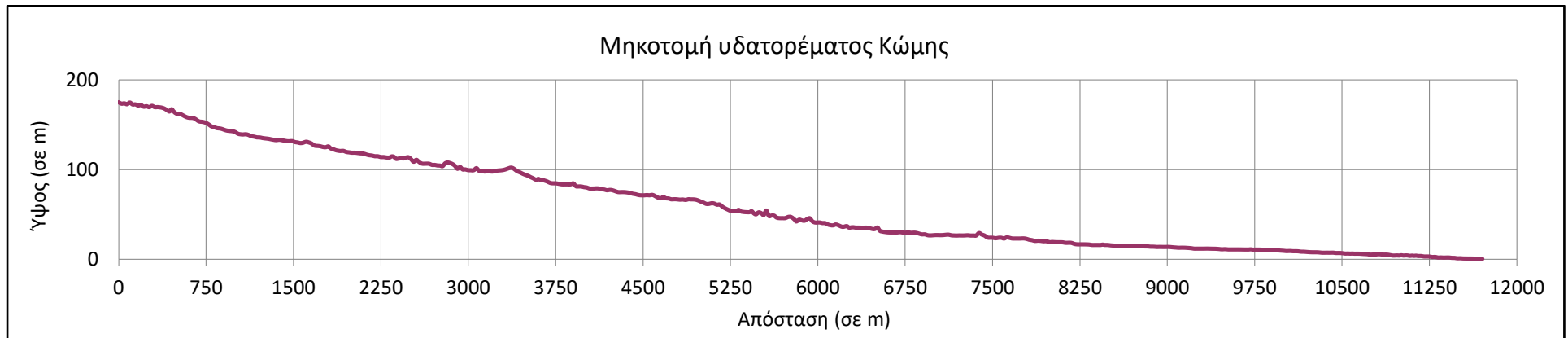
Σχήμα 41 Μηκοτομή υδατορέματος Βασιλεώνικου



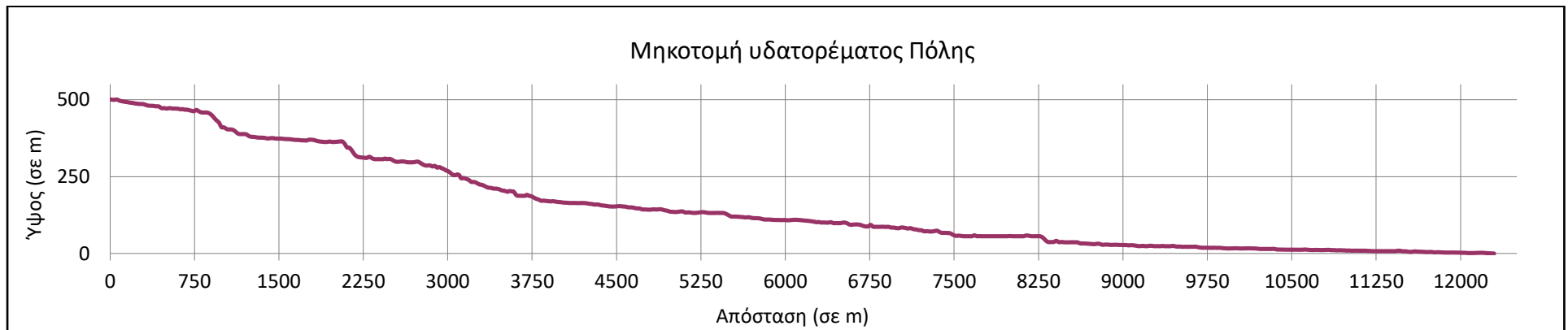
Σχήμα 42 Μηκοτομή υδατορέματος Βολισσού



Σχήμα 43 Μηκοτομή υδατορέματος Καρδαμύλων



Σχήμα 44 Μηκοτομή υδατορέματος Κώμης



Σχήμα 45 Μηκοτομή υδατορέματος Πόλης

Από τους πίνακες των γραφημάτων υπολογίστηκαν και οι μέσες κλίσεις κατά μήκος των υδατορεμάτων (Slope υδατορεμάτων). Αυτές εκφράστηκαν σε μοίρες (°) και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5 Μέσες κλίσεις κύριων υδατορεμάτων

Υδατόρεμα	Μήκος (σε m)	Κλίση (σε μοίρες)
Αίπος	0-2500	3,1
	2500-4250	6,7
	4250-5500	10
	5500-8500	1,1
Ανάβατος	0-13500	2,6
Βασιλεώνικο	0-9000	0,8
Βολισσός	0-11000	2,7
Καρδάμυλα	0-3000	8,6
	3000-7000	3,4
	7000-13500	2
Κώμη	0-12000	0,8
Πόλη	0-4000	4,8
	4000-8500	1,7
	8500-12500	0,5

Τέλος, υπολογίστηκε για κάθε λεκάνη μελέτης η μέση κλίση της. Για να επιτευχθεί αυτό, από τον χάρτη με τις κλίσεις του νησιού έγινε *Clip* της κάθε λεκάνης και από την καρτέλα των στατιστικών της, πάρθηκαν οι τιμές κλίσης της. Υπολογίστηκαν έτσι η ελάχιστη (min), μέγιστη (max) και μέση (mean) κλίση κάθε λεκάνης σε μοίρες (Πίνακας 6):

Πίνακας 6 Ελάχιστη, μέγιστη και μέση κλίση λεκανών

Λεκάνη	Slope (σε μοίρες)		
	min	max	mean
Βολισσού	0,0	64,9	20,6
Καρδαμύλων	0,0	65,7	20,0
Ανάβατου	0,1	67,4	17,9
Αίπους	0,1	65,0	17,1
Πόλης	0,0	68,2	18,0
Βασιλεώνικου	0,0	53,5	10,3
Κώμης	0,0	56,2	13,2

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7) παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε λεκάνης, όπως αυτά υπολογίστηκαν με την βοήθεια του ArcMap στα παραπάνω βήματα:

Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά λεκανών

Λεκάνη	A/A	Εμβαδόν (km ²)	Μήκος κύριου υδατορεύματος (km)	Υδρογραφική πυκνότητα (km/km ²)	Κατηγοροποίηση υδατορεύματος κατά Strahler	Mean slope (σε μοίρες)
Βολισσού	1	41,25	10,95	0,27	2	20,6
Καρδαμύλων	2	33,22	13,47	0,41	3	20,0
Ανάβατου	3	64,31	13,31	0,21	3	17,9
Αίπους	4	22,74	8,41	0,37	3	17,1
Πόλης	5	26,92	12,30	0,46	3	18,0
Βασιλεώνικου	6	36,59	9,06	0,25	3	10,3
Κώμης	7	81,99	11,70	0,14	3	13,2

Χάρτης θέσεων βροχομετρικών σταθμών

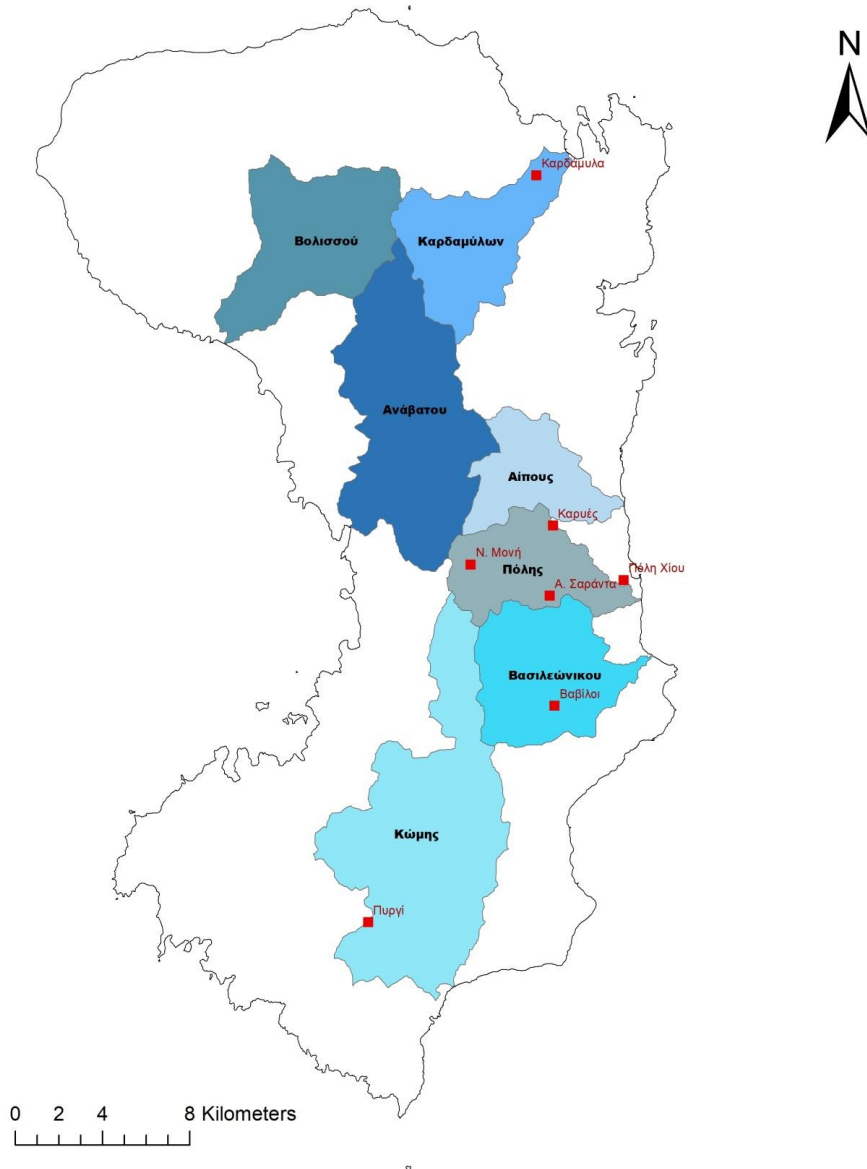
Όπως αναφέρθηκε, στο νησί βρίσκονται 7 βροχομετρικοί σταθμοί στις θέσεις: Καρδάμυλα, Νέα Μονή, Καρυές, Άγιοι Σαράντα, πόλη Χίου, Βαβίλοι και Πυργί. Οι συντεταγμένες καθώς και τα βροχομετρικά τους στοιχεία (από το 1986 έως το 2017) λήφθηκαν από την Υπηρεσία Αγροτικής Ανάπτυξης Χίου.

Πίνακας 8 Συντεταγμένες βροχομετρικών σταθμών

Σταθμός	x	y
Ν. Μονή	679317	4249077
Καρυές	683091	4250865
Καρδάμυλα	682323	4266924
Α. Σαράντα	682930	4247649
Βαβίλοι	683159	4242604
Πυργί	674616	4232680
Πόλη Χίου	686313	4248370

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται οι θέσεις των σταθμών αυτών. Παρατηρείται ότι αυτοί δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι, καθώς είναι συγκεντρωμένοι ως επί το πλείστον στο κεντρικό κομμάτι του νησιού, ενώ υπάρχουν περιοχές στο βορειοδυτικό και δυτικό κομμάτι για τις οποίες δεν υπάρχει καταγραφή κατακρημνισμάτων. Αυτό παρατηρείται και στις λεκάνες μελέτης Βολισσού και Ανάβατου, οι οποίες δεν διαθέτουν κάποιο σταθμό, ενώ αντίθετα, η λεκάνη της πόλης Χίου διαθέτει 3.

Χάρτης θέσεων βροχομετρικών σταθμών



Σχήμα 46 Χάρτης θέσεων βροχομετρικών σταθμών

Χάρτης πολυγώνων Thiessen

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, εφαρμόστηκε η μέθοδος πολυγώνων Thiessen. Είναι μια απλή μέθοδος για την αναγωγή των μετρήσεων ενός βροχομετρικού δικτύου στον χώρο και τον υπολογισμό του μέσου ισοδύναμου ύψους κατακρημνίσεων σε μια περιοχή.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η περιοχή μελέτης (συγκεκριμένα το νησί της Χίου) χωρίζεται σε υποπεριοχές, τα όρια των οποίων προκύπτουν από τις μεσοκαθέτους

στις ευθείες που ενώνουν δύο παρακείμενους σταθμούς. Οι υποπεριοχές που προκύπτουν, έχουν το χαρακτηριστικό ότι περιλαμβάνουν όλα τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στον σταθμό που περικλείει η υποπεριοχή αυτή, παρά σε οποιοδήποτε άλλο σταθμό του δικτύου (Γίνεται η παραδοχή ότι κάθε σημείο της περιοχής δέχεται το ίδιο ύψος βροχής με τον πλησιέστερο προς αυτό σταθμό).

Προκειμένου να υπολογιστεί το ισοδύναμο ύψος βροχής, χρησιμοποιούνται συντελεστές βάρους για κάθε σταθμό, οι οποίοι υπολογίζονται ως ο λόγος του εμβαδού της κάθε υποπεριοχής ως προς το συνολικό εμβαδόν της περιοχής μελέτης. Ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιάζεται με το ύψος βροχής του αντίστοιχου σταθμού. Αθροίζοντας όλα τα γινόμενα για το σύνολο των σταθμών στην περιοχή, προκύπτει το ισοδύναμο ύψος κατακρημνίσεων στην περιοχή.

$$P_{\text{ισοδύναμο}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \times P_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (1)$$

Όπου: $P_{\text{ισοδύναμο}}$ = ισοδύναμο ύψος βροχής

E_i = εμβαδόν υποπεριοχής

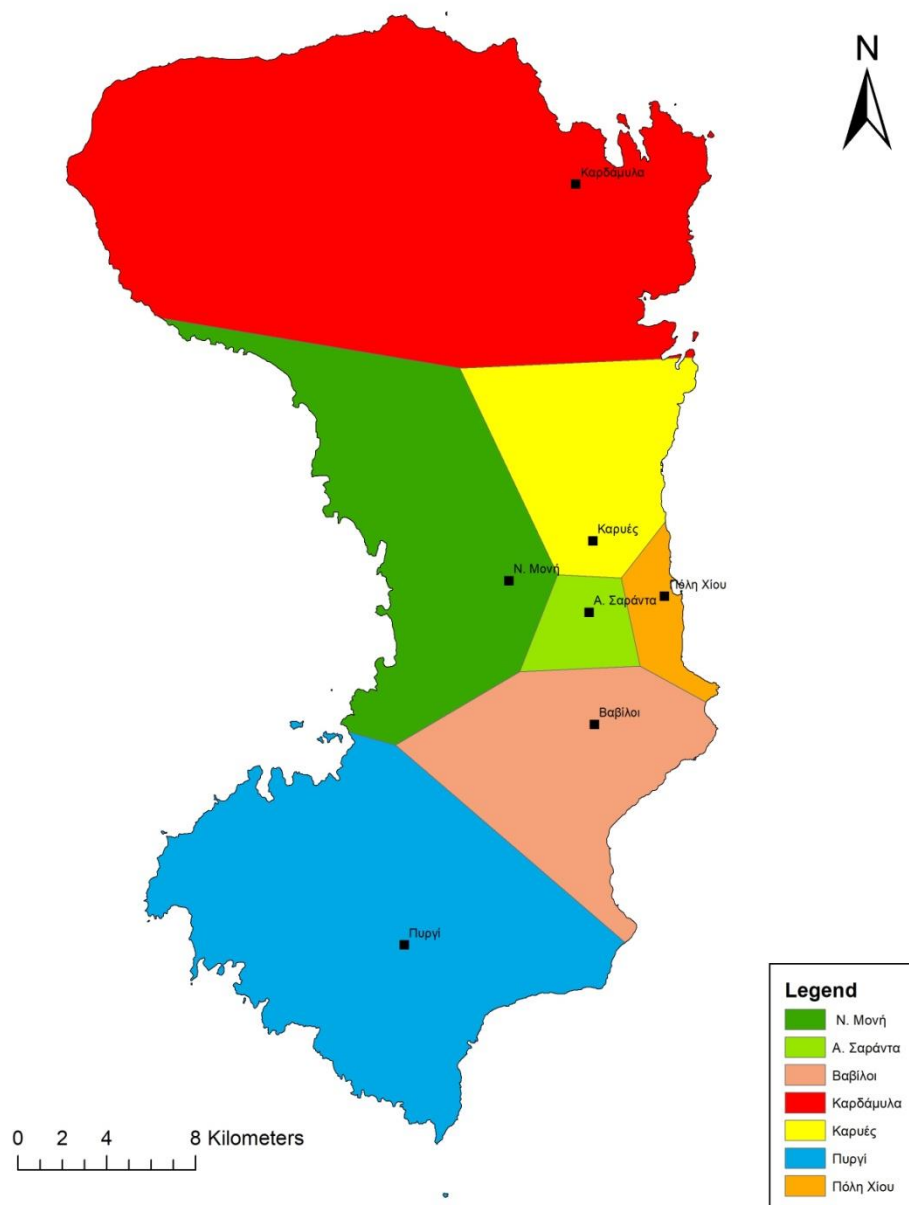
P_i = ύψος βροχής σταθμού

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου κατατάσσονται η πολύ απλή εφαρμογή καθώς και τα ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιοχές με ομαλό εδαφικό ανάγλυφο. Αντίθετα, στα μειονεκτήματα, δεν λαμβάνει υπόψη της το εδαφικό ανάγλυφο και ενδέχεται να αντιστοιχίσει πολύ διαφορετικά ύψη βροχής σε γειτονικά σημεία εκατέρωθεν μια ευθείας που διαχωρίζει δυο περιοχές.

Εργαλείο Create Thiessen Polygons (εισάγεται ως δεδομένο οι θέσεις των βροχομετρικών σταθμών)

Με χρήση του εργαλείου αυτού παράγονται εύκολα και γρήγορα τα πολύγωνα Thiessen για όλο το νησί, με δεδομένο μονάχα τις σημειακές θέσεις των σταθμών.

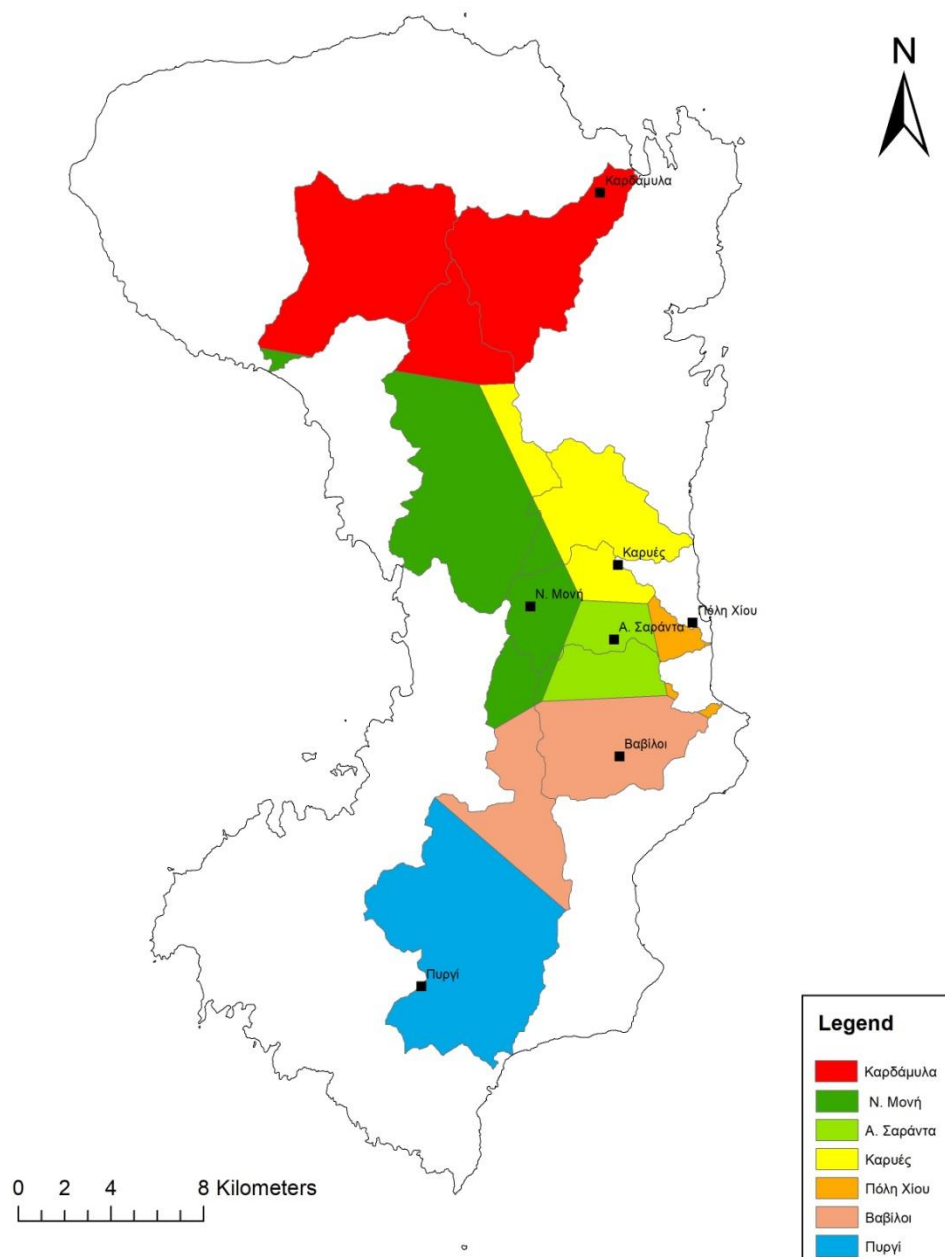
Πολύγωνα Thiessen για όλο το νησί



Σχήμα 47 Πολύγωνα Thiessen για όλο το νησί

Με χρήση του εργαλείου *Clip*, απομονώθηκαν τα τμήματα των πολυγώνων που βρίσκονταν εντός των λεκανών μελέτης (Σχήμα 48).

Πολύγωνα Thiessen για λεκάνες μελέτης



Σχήμα 48 Πολύγωνα Thiessen για λεκάνες μελέτης

Στη συνέχεια υπολογίστηκε για κάθε λεκάνη το εμβαδόν των επιμέρους πολυγώνων που βρίσκονται εντός αυτής, καθώς και το ποσοστό κάθε σταθμού. Έτσι πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό κάθε σταθμού με την μηνιαία βροχόπτωση του και αθροίζοντας τα γινόμενα, προκύπτει το ισοδύναμο ύψος βροχής για κάθε λεκάνη.

Πίνακας 9 Ποσοστά σταθμών σε κάθε λεκάνη

Λεκάνη	Σταθμοί	Εμβαδόν (km ²)	Ποσοστό σταθμού
Βολισσού	Νέα Μονή	824922,69	0,02
	Καρδάμυλα	40423885,90	0,98
	Συνολικό εμβαδόν	41248808,59	
Καρδαμύλων	Καρδάμυλα	33221678,93	1,00
	Συνολικό εμβαδόν	33221678,93	
Ανάβατου	Νέα Μονή	44037867,55	0,68
	Καρδάμυλα	14299022,98	0,22
	Καρυές	5971448,28	0,09
	Συνολικό εμβαδόν	64308338,81	
Αίπους	Νέα Μονή	2426533,01	0,11
	Καρυές	20311217,18	0,89
	Συνολικό εμβαδόν	22737750,19	
Πόλης	Νέα Μονή	10211505,39	0,38
	Καρυές	6294842,63	0,23
	Α. Σαράντα	6925503,91	0,26
	Πόλη Χίου	3488222,97	0,13
	Συνολικό εμβαδόν	26920074,90	
Βασιλεώνικου	Νέα Μονή	841887,88	0,02
	Α. Σαράντα	10206433,54	0,28
	Βαβίλοι	24995859,93	0,68
	Πόλη Χίου	544853,83	0,01
	Συνολικό εμβαδόν	36589035,18	
Κώμης	Νέα Μονή	5697389,04	0,07
	Βαβίλοι	19170240,10	0,23
	Πυργί	57117817,34	0,70
	Συνολικό εμβαδόν	81985446,48	

3.5 Εφαρμογή μοντέλων υδατικού ισοζυγίου

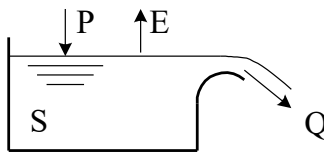
3.5.1 Μοντέλο Thornthwaite

Οι Thornthwaite and Mather (1956) διατύπωσαν ένα απλό αλλά πολύ διαδεδομένο μοντέλο προσομοίωσης, στο οποίο η λεκάνη απορροής προσομοιώνεται με μία απλή δεξαμενή (Σχήμα 49), της οποίας η χωρητικότητα είναι ίση με K . Η ποσότητα νερού που είναι κάθε φορά αποθηκευμένη στην δεξαμενή παριστάνει την εδαφική υγρασία S , της οποίας η μέγιστη τιμή είναι ίση προς K . Είσοδος στην δεξαμενή είναι η βροχόπτωση P , έξοδος η εξατμισοδιαπνοή E , ενώ η επιφανειακή απορροή Q αποτελεί η ποσότητα που υπερχειλίζει. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό πραγματοποιείται επιφανειακή απορροή Q μόνο όταν γεμίσει η δεξαμενή, δηλ. όταν κορεσθεί το έδαφος από υγρασία. Το υδατικό ισοζύγιο εκφράζεται από την εξίσωση:

$$\Delta S = P - E - Q \quad (2)$$

η οποία εάν διατυπωθεί για τα μεγέθη που αφορούν τον μήνα I διατυπώνεται ως εξής:

$$S(I) = S(I-1) + P(I) - E(I) - Q(I) \quad (3)$$



Σχήμα 49 Αναπαράσταση λεκάνης απορροής κατά Thornthwaite and Mather
(Πηγή: Το απλό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου του Thornthwaite, Εργαστήριο
Υδροδυναμικών Μηχανών, ΕΜΠ)

Λόγω της ύπαρξης μόνο των δεδομένων θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, η μέθοδος υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που επιλέχθηκε, είναι αυτή του Thornthwaite, (1948) και δίνεται από την εξίσωση:

$$E_p = 16 \left(\frac{10t_i}{J} \right)^a \frac{\mu N}{360} \quad (4)$$

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i \quad (5)$$

$$j_i = 0.09t_i^{3/2} \quad (6)$$

$$a = 0.016J + 0.5 \quad (7)$$

όπου

- EP: μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm)
- ti: μέση μηνιαία θερμοκρασία (oC)
- μ: αριθμός ημερών του μήνα
- N: μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας του μήνα (hr)
- J: ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας
- ji: μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας
- α: εμπειρική παράμετρος

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις ανάλογα με το ύψος της βροχόπτωσης P(I) σε σύγκριση με την δυνητική εξατμισοδιαπνοή EP(I) του εξεταζόμενου μήνα:

α) Όταν η βροχόπτωση P(I) είναι μεγαλύτερη ή ίση από την δυνητική εξατμισοδιαπνοή EP(I) τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή E(I) είναι ίση προς την δυνητική, δηλαδή E(I)=EP(I), όποτε από την εξίσωση του ισοζυγίου προκύπτει:

$$S_I = \min(S_{I-1} + P_I - EP_I, K) \quad (8)$$

$$Q_I = \max(S_{I-1} + P_I - EP_I - K, 0) \quad (9)$$

β) Όταν η βροχόπτωση είναι μικρότερη από την δυνητική εξατμισοδιαπνοή, δηλαδή όταν P(I)<EP(I), τότε η εδαφική αποθήκευση μειώνεται σύμφωνα με την σχέση:

$$S_I = S_{I-1} \exp\left(\frac{P_I - EP_I}{K}\right) \quad (10)$$

η επιφανειακή απορροή είναι μηδενική:

$$Q_I = 0$$

ενώ η πραγματική εξατμισοδιαπνοή δίνεται από την εξίσωση του ισοζυγίου, δηλαδή:

$$E_I = (S_{I-1} - S_I + P_I) \quad (11)$$

Συμπερασματικά, το απλό μοντέλο Thornthwaite με δεδομένα εισόδου τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, δίνει ως εξόδους την απορροή και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, χρησιμοποιώντας μία μόνο παράμετρο, την χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής, K. Τυπικά, η χωρητικότητα αυτή, ανηγμένη σε ισοδύναμο ύψος, κυμαίνεται ανάμεσα στα 100-200 mm (Brutsaert, 1982, σ. 243).

Η χωρητικότητα μπορεί να υπολογιστεί μέσω του απορροϊκού συντελεστή CN (Curve Number) με την παρακάτω σχέση (Παπαμιχαήλ, 2001):

$$K = 25,4[(1000/CN) - 10] \quad (12)$$

Ο CN είναι μια εμπειρική παράμετρος που χρησιμοποιείται στην υδρολογία για την πρόβλεψη άμεσης απορροής ή διήθησης από το περίσσειμα βροχόπτωσης. Αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Διατήρησης Φυσικών Πόρων (Natural Resources Conservation Service ή NRCS), η οποία στο παρελθόν ονομάζονταν Υπηρεσία Διατήρησης Εδαφών ή SCS. Ο αριθμός της καμπύλης απορροής αναπτύχθηκε από μια εμπειρική ανάλυση της απορροής από μικρές λεκάνες και αγροτεμάχια που παρακολουθούνται από το USDA (United States Department of Agriculture). Χρησιμοποιείται ευρέως και είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τον προσδιορισμό κατά προσέγγιση της ποσότητας άμεσης απορροής από ένα συμβάν βροχόπτωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

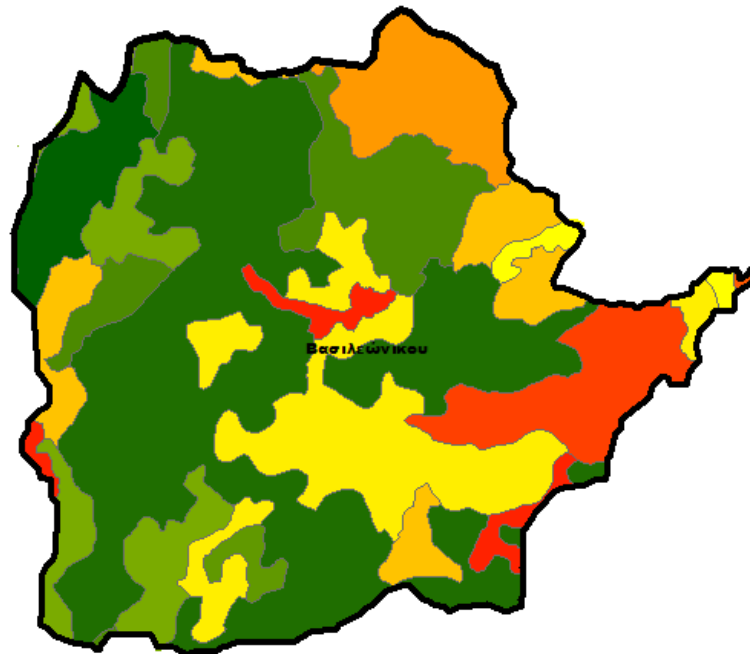
Οι τιμές που μπορεί να λάβει κυμαίνονται από 30 έως 100, χαμηλότερες τιμές υποδεικνύουν χαμηλό δυναμικό απορροής, ενώ υψηλότερες αύξηση του δυναμικού απορροής. Όσο χαμηλότερη είναι η καμπύλη, τόσο πιο διαπερατό είναι το έδαφος. Ο CN σχετίζεται με τον τύπο του εδάφους, τη δυνατότητα διείσδυσης του εδάφους, τη χρήση της γης και το βάθος του εποχιακού υδροφόρου ορίζοντα. Η NRCS έχει διαιρέσει τα εδάφη σε τέσσερις υδρολογικές ομάδες εδάφους (HSGs). Ορίζονται ως εξής:

- Ομάδα Α (χαμηλό δυναμικό απορροής): Εδάφη με υψηλά ποσοστά διείσδυσης, ακόμη και όταν είναι καλά διαβρεγμένα. Αυτά αποτελούνται κυρίως από βαθιά, καλά στραγγιζόμενη άμμο και χαλίκια. Αυτά τα εδάφη έχουν υψηλή ταχύτητα μεταφοράς νερού (τελικός ρυθμός διείσδυσης μεγαλύτερος από 7,6 mm ανά ώρα).
- Ομάδα Β: Εδάφη με μέτρια ποσοστά διείσδυσης όταν διαβρέχονται καλά. Αυτά αποτελούνται κυρίως από εδάφη με μετρίως λεπτή έως μετρίως χονδροειδή υφή. Αυτά τα εδάφη έχουν μέτριο ρυθμό μετάδοσης του νερού (τελικός ρυθμός διείσδυσης 3,8-7,6 mm ανά ώρα).
- Ομάδα C: Εδάφη με αργούς ρυθμούς διείσδυσης όταν είναι καλά διαβρεγμένα. Αυτά αποτελούνται κυρίως από εδάφη με στρώμα που εμποδίζει την προς τα κάτω μετακίνηση νερού ή από εδάφη με μετρίως λεπτή έως λεπτή υφή. Αυτά τα εδάφη έχουν αργό ρυθμό μετάδοσης του νερού (τελικός ρυθμός διείσδυσης 1,3-3,8 mm ανά ώρα).

- Ομάδα D (υψηλό δυναμικό απορροής): Εδάφη με πολύ αργούς ρυθμούς διείσδυσης, όταν είναι καλά διαβρεγμένα. Αυτά αποτελούνται κυρίως από αργιλώδη εδάφη με υψηλό δυναμικό διόγκωσης, εδάφη με μόνιμο υψηλό υδροφόρο ορίζονται, εδάφη με άργιλο ή στρώμα αργίλου κοντά στην επιφάνεια και εδάφη που βρίσκονται πάνω από σχεδόν αδιαπέραστα υλικά. Αυτά τα εδάφη έχουν πολύ αργό ρυθμό μετάδοσης του νερού (τελικός ρυθμός διείσδυσης μικρότερος από 1,3 mm ανά ώρα).

Με βάση τα παραπάνω, έγινε εκτίμηση της κατηγορίας των εδαφών κάθε λεκάνης, χρησιμοποιώντας τον χάρτη χρήσεων γης CORINE και τον υδρολιθικό χάρτη. Από τις χρήσεις γης επιλέχθηκε ο κατάλληλος πίνακας και από τον υδρολιθικό χάρτη, η κατηγορία εδάφους. Ακολουθεί ως παράδειγμα η λεκάνη Βασιλεώνικου.

Στον χάρτη CORINE που ακολουθεί (Σχήμα 50), παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καλύπτεται από ελαιώνες (Κωδικός 223) και καλλιέργειες (Κωδικός 242). Επιλέχθηκε έτσι η κατηγορία «Συνδυασμός δάσους-γραιοειδίου (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων)» από τον πίνακα «Άλλες γεωργικές εκτάσεις», και «Μέτρια» Υδρολογική κατάσταση (Πίνακας 10). Με την βοήθεια του υδρολιθικού χάρτη, εντοπίστηκαν οι κύριοι σχηματισμοί της λεκάνης, οι οποίοι ήταν: ψαμμίτες και άμμοι, ασβεστόλιθοι και αλλουβιακές αποθέσεις. Πρόκειται για κοκκώδη και καρστικά συστήματα, τα οποία είναι υψηλής υδατοπερατότητας και χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό διείσδυσης. Επιλέχθηκε έτσι κατηγορία εδάφους A. Ο συνδυασμός αυτός δίνει τιμή CN ίση με 43.



Σχήμα 50 Χρήσεις γης CORINE επί λεκάνης Βασιλειώνικου

Πίνακας 10 Τιμές παραμέτρου CN για άλλες αγροτικές εκτάσεις

Άλλες γεωργικές εκτάσεις

Περιγραφή κάλυψης		Curve Numbers για ομάδα υδρολογικού εδάφους			
Τύπος κάλυψης	Υδρολογική κατάσταση	A	B	C	D
	Φτωχή	57	73	82	86
Συνδυασμός δάσους-γρασιδιού (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων)	Μέτρια	43	65	76	82
	Καλή	32	58	72	79

Με παρόμοιο τρόπο, εκτιμήθηκαν οι CN και στην συνέχεια, χρησιμοποιώντας την σχέση $K = 25,4 [(1000/CN) - 10]$, υπολογίστηκε η χωρητικότητα K για τις υπόλοιπες λεκάνες. Οι τιμές των συντελεστών αυτών, καθώς και λεπτομερή στοιχεία των λεκανών, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 15.

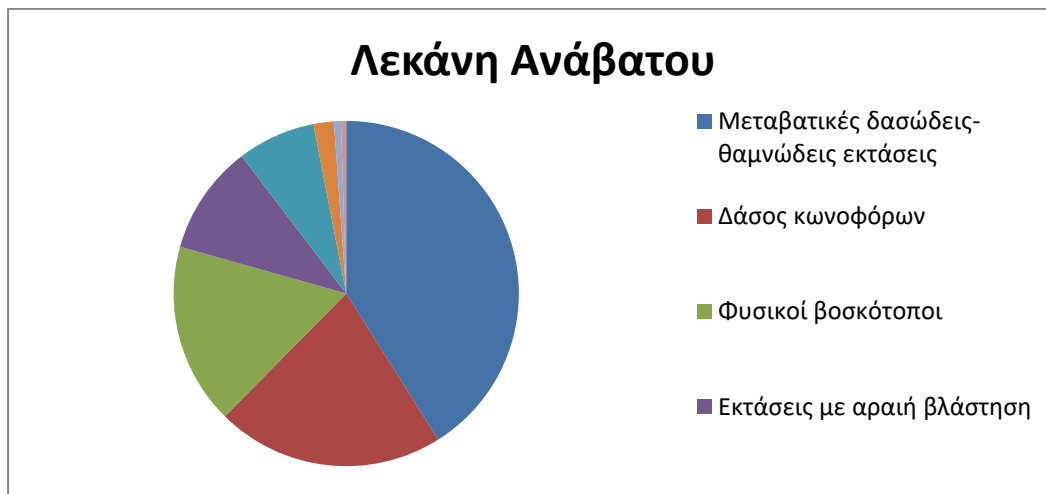
Λεκάνη Ανάβατου

Υδρολιθικός χάρτης

- Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)

Υδρολογική ομάδα εδάφους: **B**

Χρήσεις γης CORINE



Σχήμα 51 Χρήσεις γης CORINE για λεκάνη Ανάβατου

Είδος κάλυψης (Cover Type): **Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων)**

Πίνακας 11 Τιμές παραμέτρου CN για άλλες αγροτικές εκτάσεις

Άλλες γεωργικές εκτάσεις					
Περιγραφή κάλυψης		Curve Numbers για ομάδα υδρολογικού εδάφους			
Τύπος κάλυψης	Υδρολογική κατάσταση	A	B	C	D
Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων)	Φτωχή	57	73	82	86
	Μέτρια	43	65	76	82
	Καλή	32	58	72	79

Curve Number = 65

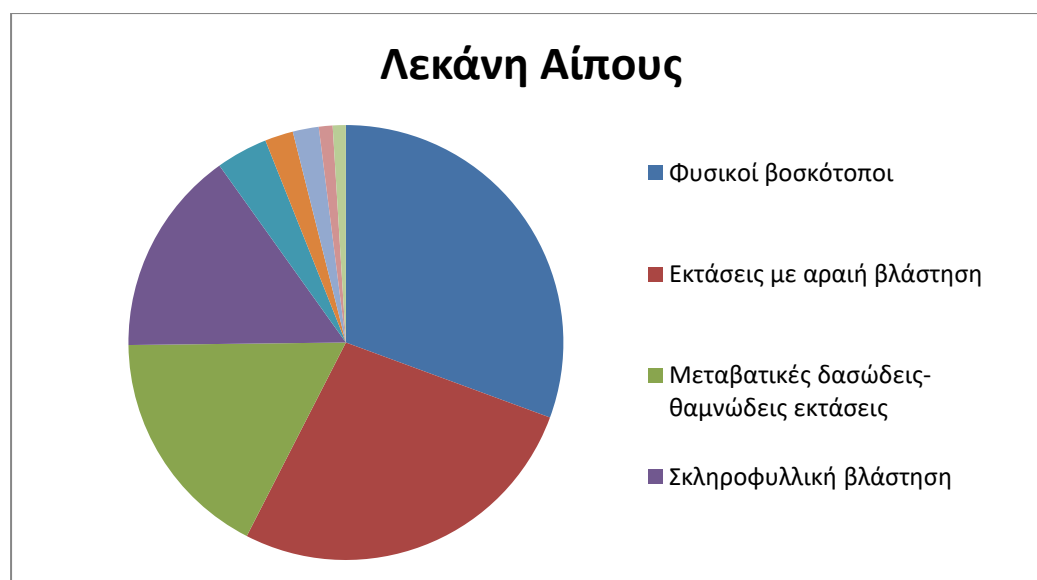
Λεκάνη Αίπους

Υδρολιθικός χάρτης

- Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)
- Τεκτονικά λατυποπαγή, κλαστικά πετρώματα (Ρωγματικά υδροσυστήματα)

Υδρολογική ομάδα εδάφους: B

Χρήσεις γης CORINE



Σχήμα 52 Χρήσεις γης CORINE για λεκάνη Αίπους

Είδος κάλυψης (Cover Type): **Συνδυασμός** Θάμνοι με χορτάρι (51) + Βοσκότοποι, χορτολιβαδικές εκτάσεις ή συνεχόμενες εκτάσεις για βοσκή (69) + Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπρώννας ή φάρμα δέντρων) (65)

Curve Number = **62**

Λεκάνη Πόλης

Υδρολιθικός χάρτης

- Τεκτονικά λατυποπαγή, κλαστικά πετρώματα (Ρωγματικά υδροσυστήματα)
- Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)

Υδρολογική ομάδα εδάφους: **B**

Χρήσεις γης CORINE



Σχήμα 53 Χρήσεις γης CORINE για λεκάνη Πόλης

Είδος κάλυψης (Cover Type): **Συνδυασμός** + Βοσκότοποι, χορτολιβαδικές εκτάσεις ή συνεχόμενες εκτάσεις για βοσκή (69) + Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπρώννας ή φάρμα δέντρων) (65)

Curve Number = **67**

Λεκάνη Βασιλεώνικου

Υδρολιθικός χάρτης

- Ψαμμίτες, άμμος, ιλύες (Κοκκώδη συστήματα)
- Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)
- Αλλουβιακές αποθέσεις, προσχώσεις (Κοκκώδη συστήματα)

Υδρολογική ομάδα εδάφους: **A**

Χρήσεις γης CORINE



Σχήμα 54 Χρήσεις γης CORINE για λεκάνη Βασιλεώνικου

Είδος κάλυψης (Cover Type): **Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων)**

Πίνακας 12 Τιμές παραμέτρου CN για άλλες αγροτικές εκτάσεις

Άλλες γεωργικές εκτάσεις					
Περιγραφή κάλυψης		Curve Numbers για ομάδα υδρολογικού εδάφους			
Τύπος κάλυψης	Υδρολογική κατάσταση	A	B	C	D
Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων)	Φτωχή	57	73	82	86
	Μέτρια	43	65	76	82
	Καλή	32	58	72	79

Curve Number = 43

Λεκάνη Κώμης

Υδρολιθικός χάρτης

- Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)
- Ψαμμίτες, άμμος, ιλύες (Κοκκώδη συστήματα)

Υδρολογική ομάδα εδάφους: B

Χρήσεις γης CORINE



Σχήμα 55 Χρήσεις γης CORINE για λεκάνη Κώμης

Είδος κάλυψης (Cover Type): **Συνδυασμός** Συνδυασμός χορταριού, αγριόχορτων και θάμνων χαμηλής ανάπτυξης, με τους θάμνους το μικρότερο στοιχείο (71) + Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων) (65) + Μικρά σιτηρά σε ευθεία διάταξη (76)

Curve Number = 69

Λεκάνη Βολισσού

Υδρολιθικός χάρτης

- Τεκτονικά λατυποπαγή, κλαστικά πετρώματα (Ρωγματικά υδροσυστήματα)

- Ψαμμίτες, άμμος, ιλύες (Κοκκώδη συστήματα)
- Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)

Υδρολογική ομάδα εδάφους: **B**

Χρήσεις γης CORINE



Σχήμα 56 Χρήσεις γης CORINE για λεκάνη Βολισσού
 Είδος κάλυψης (Cover Type): **Βοσκότοποι, χορτολιβαδικές εκτάσεις ή συνεχόμενες εκτάσεις για βοσκή**

Πίνακας 13 Τιμές παραμέτρου CN για άλλες αγροτικές εκτάσεις

Άλλες γεωργικές εκτάσεις					
Περιγραφή κάλυψης		Curve Numbers για ομάδα υδρολογικού εδάφους			
Τύπος κάλυψης	Υδρολογική κατάσταση	A	B	C	D
Συνδυασμός δάσους-χορταριού (οπωρώνας ή φάρμα δέντρων)	Φτωχή	68	79	86	89
	Μέτρια	49	69	79	84
	Καλή	39	61	74	80

Curve Number = **69**

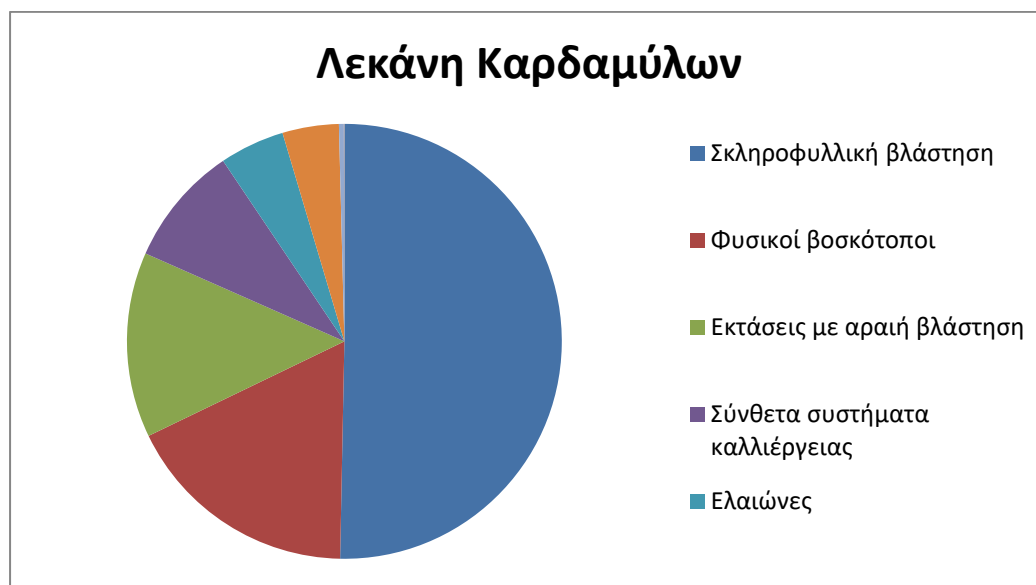
Λεκάνη Καρδαμύλων

Υδρολιθικός χάρτης

- Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)

Υδρολογική ομάδα εδάφους: **B**

Χρήσεις γης CORINE



Σχήμα 57 Χρήσεις γης CORINE για λεκάνη Καρδαμύλων
Είδος κάλυψης (Cover Type): Συνδυασμός χορταριού, αγριόχορτων και θάμνων χαμηλής ανάπτυξης, με τους θάμνους το μικρότερο στοιχείο

Πίνακας 14 Τιμές παραμέτρου CN για άγονες και ημιάγονες περιοχές

Άγονες και ημιάγονες περιοχές					
Περιγραφή κάλυψης		Curve Numbers για ομάδα υδρολογικού εδάφους			
Τύπος κάλυψης	Υδρολογική κατάσταση	A	B	C	D
Συνδυασμός χορταριού, αγριόχορτων και θάμνων χαμηλής ανάπτυξης, με τους θάμνους το μικρότερο στοιχείο	Φτωχή	—	80	87	93
	Μέτρια	—	71	81	89
	Καλή	—	62	74	85

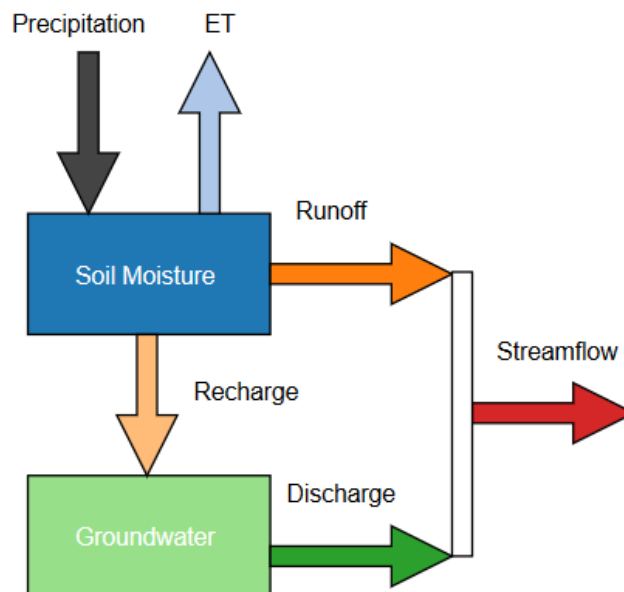
Curve Number = **71**

Πίνακας 15 Παράμετροι CN, K και στοιχεία λεκανών

Όνομα λεκάνης	Χρήσης γης CORINE	Ποσοστό χρήσεων γης (%)	Έδαφος	Υδρολογική ομάδα εδάφους	Μέσο CN	Χωρητικότητα λεκάνης (Κ)
Αίπος	Φυσικοί βοσκότοποι	30,6	Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)	B	62	155,68
	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	26,9				
	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	17,3	Τεκτονικά λατυποπαγή, κλαστικά πετρώματα (Ρωγματικά υδροσυστήματα)			
	Σκληροφυλλική βλάστηση	15,3				
Ανάβατος	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	41,1	Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)	B	65	136,77
	Δάσος κωνοφόρων	21,3				
	Φυσικοί βοσκότοποι	17,0				
Βασιλεώνικο	Ελαιώνες	39,4	Ψαμμίτες, άμμος, ιλύες (Κοκκώδη συστήματα)	A	43	336,70
	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	18,1	Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)			
	Σκληροφυλλική βλάστηση	9,2	Αλλουβιακές αποθέσεις, προσχώσεις (Κοκκώδη συστήματα)			
Βολισσός	Φυσικοί βοσκότοποι	43,1	Τεκτονικά λατυποπαγή, κλαστικά πετρώματα (Ρωγματικά υδροσυστήματα)	B	69	114,12
	Σκληροφυλλική βλάστηση	26,6	Ψαμμίτες, άμμος, ιλύες (Κοκκώδη συστήματα)			
	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	9,0	Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)			
Καρδάμυλα	Σκληροφυλλική βλάστηση	50,3	Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)	B	71	103,75
	Φυσικοί βοσκότοποι	17,5				
	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	13,8				
Κώμη	Σκληροφυλλική βλάστηση	32,6	Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)	B	69	114,12
	Ελαιώνες	19,8				
	Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία και σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	16,1	Ψαμμίτες, άμμος, ιλύες (Κοκκώδη συστήματα)			
	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	13,9				
Πόλη	Φυσικοί βοσκότοποι	35,9	Τεκτονικά λατυποπαγή, κλαστικά πετρώματα (Ρωγματικά υδροσυστήματα)	B	67	125,10
	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	24,0	Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες (Καρστικά υδροσυστήματα)			

3.5.2 Μοντέλο Thomas

Εκτός του μοντέλου Thornthwaite, εφαρμόστηκε και το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Thomas “abcd”(Thomas ,1981 - Thomas et al., 1983), ώστε να υπάρξει μια σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων. Το εννοιολογικό αυτό μοντέλο εφαρμόζεται σε χρονοσειρές, όπου η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποιούνται σαν εισροές και η απορροή ως έξοδος (Σχήμα 58). Συγκεκριμένα το μοντέλο αποτελείται από δύο διαμερίσματα αποθήκευσης: την υγρασία του εδάφους (Soil Moisture) και τα υπόγεια ύδατα (Groundwater). Η υγρασία του εδάφους δέχεται νερό από τις βροχοπτώσεις (Precipitation) και χάνει νερό σε εξατμισοδιαπνοή (ET), επιφανειακή απορροή (Runoff) και επαναφόρτιση υπογείων υδάτων (Recharge). Τα υπόγεια ύδατα δέχονται νερό από την επαναφόρτιση και χάνουν νερό ως εκφόρτιση (Discharge). Η συνολική ροή είναι το άθροισμα της επιφανειακής απορροής από την υγρασία του εδάφους και της εκροής των υπόγειων υδάτων.



Σχήμα 58 Αναπαράσταση μοντέλου Thomas

(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Το μοντέλο αυτό έχει τέσσερις παραμέτρους, που η καθεμία έχει ειδική φυσική σημασία. Συγκεκριμένα:

- a: καθορίζει την ποσότητα απορροής και επαναφόρτισης, όταν τα εδάφη είναι υπέρ-κορεσμένα. Αντιπροσωπεύει δηλαδή την τάση του νερού να

απορρεύσει από το σύστημα, πριν καλύψει τις ανάγκες τις λεκάνης. Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.

- b: καθορίζει το επίπεδο κορεσμού των εδαφών, αποτελεί δηλαδή το πάνω όριο της εξατμισοδιαπνοής και εδαφικής υγρασίας (μέγιστη ζήτηση συστήματος). Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1000.
- c: καθορίζει την αναλογία εδαφικής επαναφόρτισης προς την επιφανειακή απορροή, δείχνει δηλαδή την ποσότητα νερού που θα καταλήξει στον υπόγειο υδροφορέα. Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.
- d: καθορίζει τον ρυθμό αποφόρτισης των υπογείων υδάτων, δηλαδή την ποσότητα υπόγεια εκροής. Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είχε την γενική μορφή:

$$P + SN = E + A \quad (13)$$

Όπου:

- P = η βροχόπτωση
- SN = η χιονόπτωση
- E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή
- A = το σύνολο της επιφανειακής και υπόγειας απορροής ($A_{επ} + A_{υπ}$)

Για την εφαρμογή του έγινε αρχικά υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία έχει υπολογιστεί από την εφαρμογή του μοντέλου Thornthwaite. Η χιονόπτωση (SN) θεωρήθηκε ίση με μηδέν, λόγω της σπανιότητας χιονοπτώσεων στο νησί, καθώς και λόγω έλλειψης μετρήσεων χιονόπτωσης.

Στη συνέχεια ακολούθησε η εφαρμογή του μοντέλου για τον υπολογισμό της μηνιαίας απορροής (QE) από τον τύπο:

$$QE(t) = DR(t) + QG(t) \quad (14)$$

Όπου:

- DR (t) = η άμεση επιφανειακή απορροή
- QG (t) = η υπόγεια απορροή, που είναι ίση με:

$$QG(t) = d G(t) \quad (15)$$

Όπου:

- d = η παράμετρος του μοντέλου που υποδηλώνει το ποσοστό συνεισφοράς του υπόγειου αποθηκευτικού νερού
- G (t) = η υπόγεια αποθηκευτικότητα, που είναι ίση με:

$$G(t) = (GR(t) + G(t - 1))/(d + 1) \quad (16)$$

Όπου:

- GR = η τροφοδοσία του υπόγειου υδροφορέα, που δίνεται από την σχέση:

$$GR(t) = c(W(t) - Y(t)) \quad (17)$$

Όπου:

- W και Y = δύο μεταβλητές κατάστασης που υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$W(t) = P(t) + S(t - 1) \quad (18)$$

$$Y(t) = E(t) + S(t) \quad (19)$$

Όπου:

- E(t) = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή
- S(t) = η υγρασία του εδάφους

Να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι οι αρχικές τιμές που δόθηκαν στις παραμέτρους της υγρασίας εδάφους και της υπόγειας αποθηκευτικότητας, δηλαδή στα S(0) και G(0), ήταν οι τυπικές, συγκεκριμένα S(0) = 400 mm και G(0) = 10 mm, ώστε το μοντέλο να έχει κάποιες αρχικές τιμές προκειμένου να λειτουργήσει. Η επιλογή των τιμών αυτών επηρεάζει ελάχιστα το μοντέλο, καθώς στο δεύτερο βήμα του αντικαθιστώνται από νέες, που προσεγγίζουν περισσότερο την πραγματικότητα.

Η άμεση επιφανειακή απορροή DR υπολογίζεται ως:

$$DR(t) = (1 - c)(W(t) - Y(t)) \quad (20)$$

Οι δύο μεταβλητές κατάστασης συνδέονται με την παρακάτω μη γραμμική σχέση (Thomas, 1981):

$$Y(t) = \frac{W(t)+b}{2a} - \sqrt{\left(\frac{W(t)+b}{2a}\right)^2 - \frac{W(t)b}{a}} \quad (21)$$

Η υγρασία του εδάφους δίνεται από τη σχέση:

$$S(t) = Y(t)e^{\left(\frac{-PE(t)}{b}\right)} \quad (22)$$

Όπου:

- PE(t) = η δυναμική εξατμισοδιαπνοή
- b = συντελεστής του μοντέλου

Σε περιπτώσεις όπου στις περιοχές μελέτης διατίθενται υδρολογικά δεδομένα, γίνεται ρύθμιση του μοντέλου, βελτιστοποιώντας τις τιμές των συντελεστών του (a, b, c, d). Στη συνέχεια πραγματοποιείται αξιολόγηση του μοντέλου με χρήση του συντελεστή Efficient Coefficient (ή αλλιώς EC), ο οποίος επιδιώκεται να λαμβάνει τιμή όσο πιο κοντά στην μονάδα γίνεται:

$$EC = \frac{(Sobs-S)}{Sobs} \quad (23)$$

Όπου:

$$\bullet S_{obs} = \sum(Q_{obs}(i) - \bar{Q}_{obs})^2 \quad (24)$$

$$\bullet S = \sum(Q_{obs}(i) - \bar{Q}_{comp}(i))^2 \quad (25)$$

Όπου:

- Q_{obs} = οι παρατηρημένες τιμές απορροής
- Q_{comp} = οι αναμενόμενες τιμές απορροής

Κανονικά χρησιμοποιούνται κάποιες χρονοσειρές παρατηρήσεων για την βαθμονόμηση του μοντέλου, τον υπολογισμό δηλαδή των παραμέτρων a , b , c , d , σύμφωνα πάντα με τους περιορισμούς. Στην συγκεκριμένη όμως περίπτωση, δεν υπάρχουν μετρημένες τιμές απορροής για το νησί της Χίου. Για τον λόγο αυτό η βαθμονόμηση έγινε χρησιμοποιώντας τις τιμές απορροής που υπολογίστηκαν από το μοντέλο Thornthwaite σε παραπάνω βήμα.

Συγκεκριμένα τα πρώτα 7 χρόνια χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση του μοντέλου, ενώ τα υπόλοιπα 5 χρόνια χρησιμοποιήθηκαν για αξιολόγηση των τιμών των παραμέτρων. Στόχος ήταν ο συντελεστής EC να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο την μονάδα.

Προκειμένου να επιτευχθεί η εκτίμηση των παραμέτρων a , b , c , και d , ώστε ο EC να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο την μονάδα, έγινε χρήση της λειτουργίας "Solver" του λογισμικού Excel.

Το Solver είναι μια προσθήκη του Microsoft Excel που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βελτιστοποίηση - επίλυση μοντέλων. Στο Solver ορίζεται ένα κελί στόχος (Objective Cell), για το οποίο ο χρήστης θέτει είτε μια επιθυμητή τιμή (Value), είτε το μέγιστο (Maximum) είτε το ελάχιστο (Minimum). Η τιμή του κελιού αυτού προκύπτει από μια συνθήκη που έχει κατασκευαστεί από τον χρήστη σε περιβάλλον Excel. Ο χρήστης ορίζει παράλληλα τις μεταβλητές απόφασης (Variable Cells), οι οποίες χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της συνθήκης. Τις τιμές των μεταβλητών αυτών αλλάζει ο Solver ανά βήματα, ώστε να επιτύχει τον στόχο. Ορίζονται ακόμη και περιορισμοί (Constraints) για τις παραπάνω μεταβλητές ή/και το κελί στόχο.

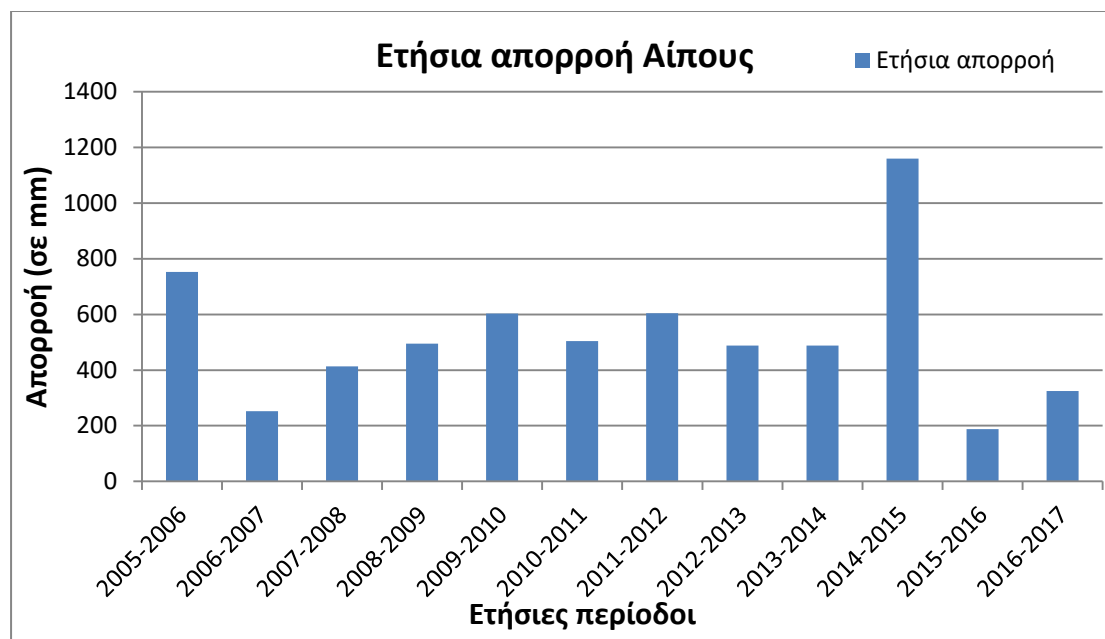
Στην περίπτωση του μοντέλου Thomas, ως στόχος ορίστηκε ο συντελεστής EC, με τιμή ίση με 1. Οι μεταβλητές παράμετροι ήταν τα a , b , c , d και οι περιορισμοί:

- $EC \geq 0,5$
- $0 < a < 1$
- $0 < b < 1000$
- $0 < c < 1$
- $0 < d < 1$

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

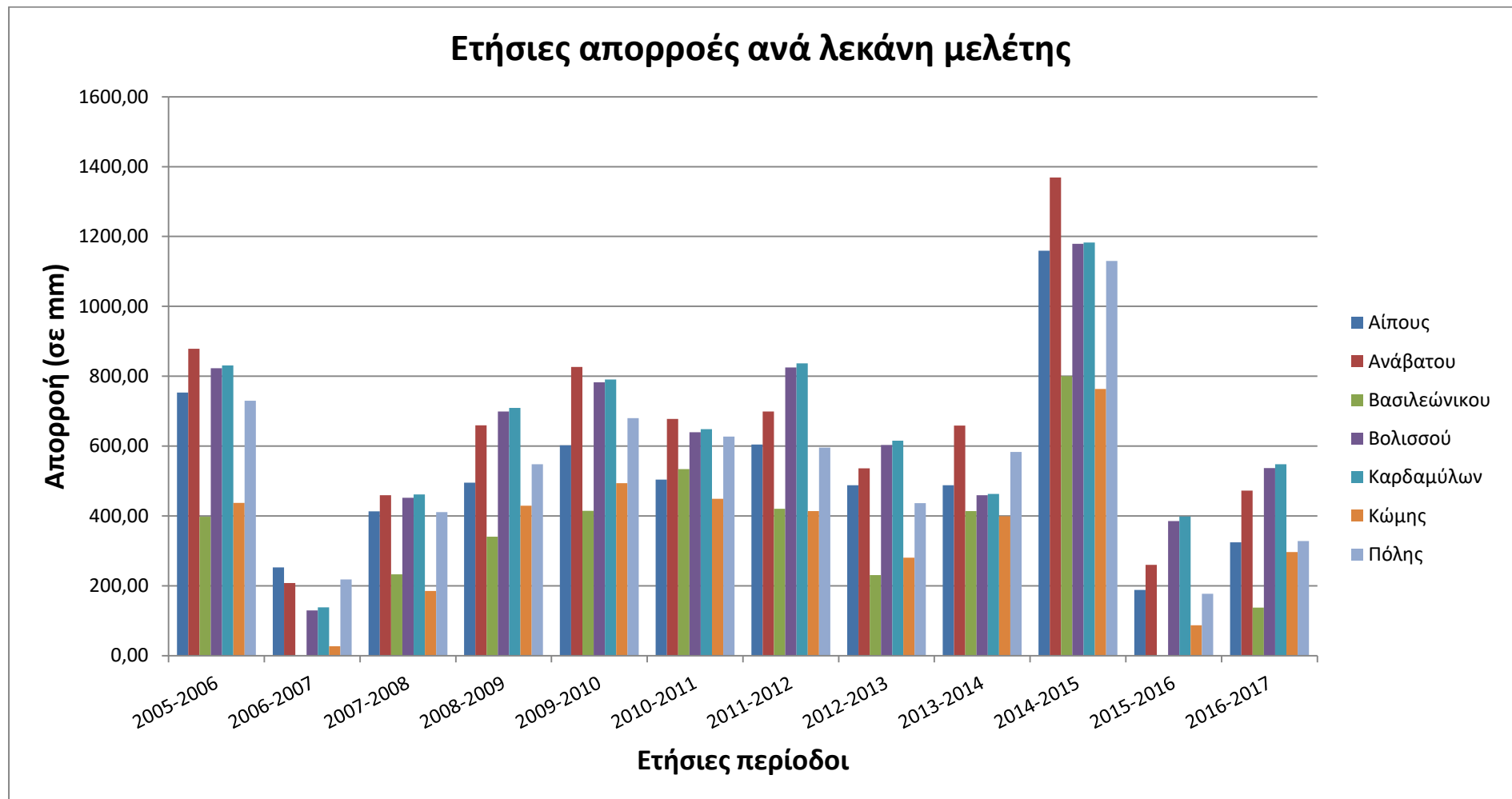
4.1 Μοντέλο Thornthwaite

Τα αποτελέσματα του μοντέλου Thornthwaite παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα σε ετήσια βάση, ανά λεκάνη αλλά και στο σύνολο τους.

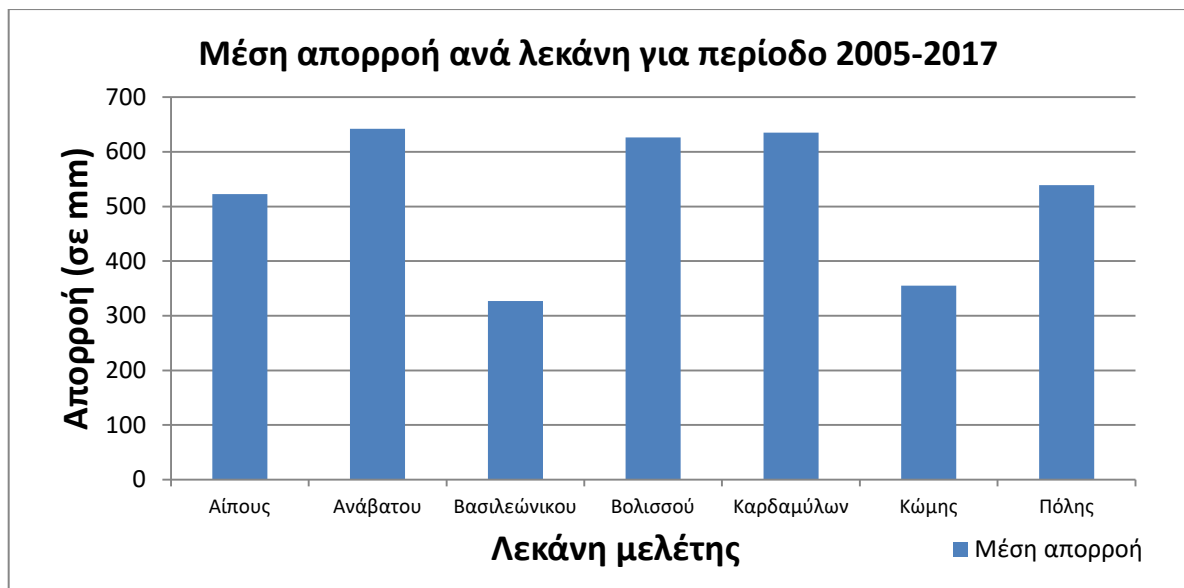


Σχήμα 59 Συνολική απορροή των λεκανών μελέτης

Στο Σχήμα 59 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι απορροές ανά έτος για την λεκάνη του Αίπους (οι ετήσιες απορροές των υπόλοιπων λεκανών παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι, στο τέλος του τεύχους). Παρατηρείται μια ήπια εναλλαγή των απορροών την περίοδο 2007 έως 2014, με την εξαίρεση την περίοδο 2014-2015, όπου παρατηρείται σχεδόν διπλασιασμός της μέσης απορροής. Αυτό οφείλεται στο ότι το έτος 2014-2015 ήταν το υγρότερο της περιόδου μελέτης. Ενδιαφέρον έχει επίσης το ότι η δεύτερη ξηρότερη περίοδος, το 2015-2016, σημειώνεται αμέσως μετά το υγρότερο έτος της περιόδου. Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 60 παρουσιάζονται οι ετήσιες απορροές ανά λεκάνη μελέτης.



Σχήμα 60 Ετήσιες απορροές ανά λεκάνη μελέτης

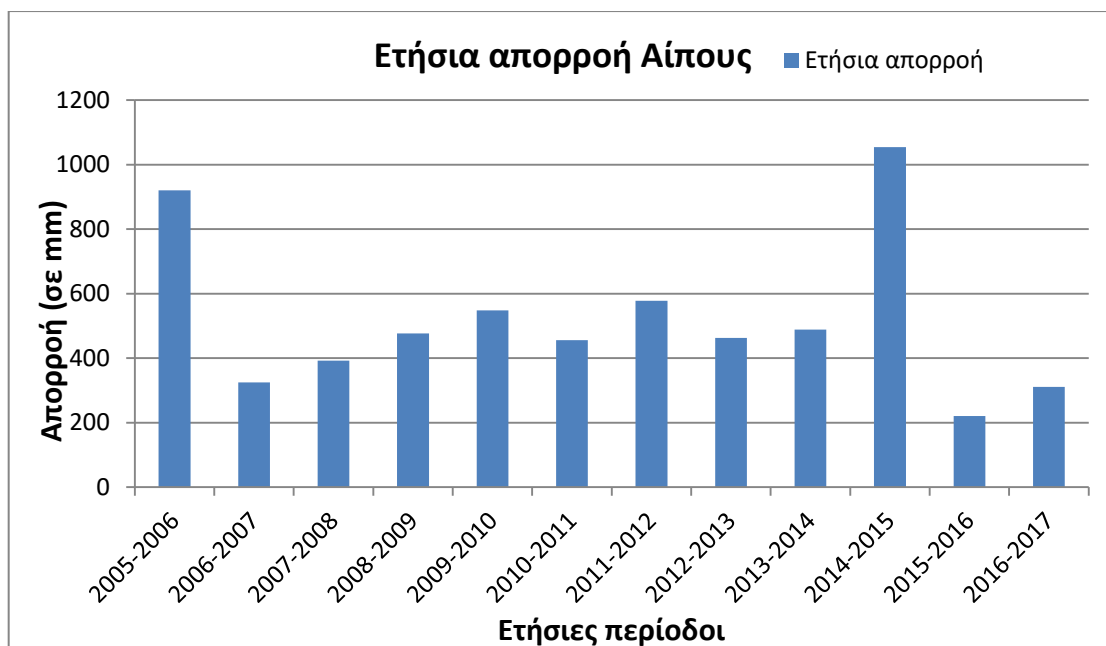


Σχήμα 61 Μέση απορροή ανά λεκάνη για περίοδο 2005-2017

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 61) παρουσιάζονται οι μέσες απορροές κάθε λεκάνης για την περίοδο μελέτης. Παρατηρείται μια μέση τιμή στις απορροές, μεταξύ 500 και 600 mm, με εξαίρεση την λεκάνη Βασιλεώνικου και Κώμης. Η λεκάνη του Βασιλεώνικου, όπως υπολογίστηκε σε προηγούμενα βήματα, έχει τον υψηλότερο συντελεστή χωρητικότητας εδάφους ($K=336,7$), άρα είναι λογικό να συγκρατεί μεγαλύτερες ποσότητες νερού από ότι οι υπόλοιπες λεκάνες. Αντίθετα, η λεκάνη της Κώμης, παρότι έχει συντελεστή αποθηκευτικότητας κοντά στον μέσο, δέχτηκε τις λιγότερες βροχοπτώσεις την περίοδο μελέτης, και για τον λόγο αυτό η απορροή της είναι σημαντικά μειωμένη.

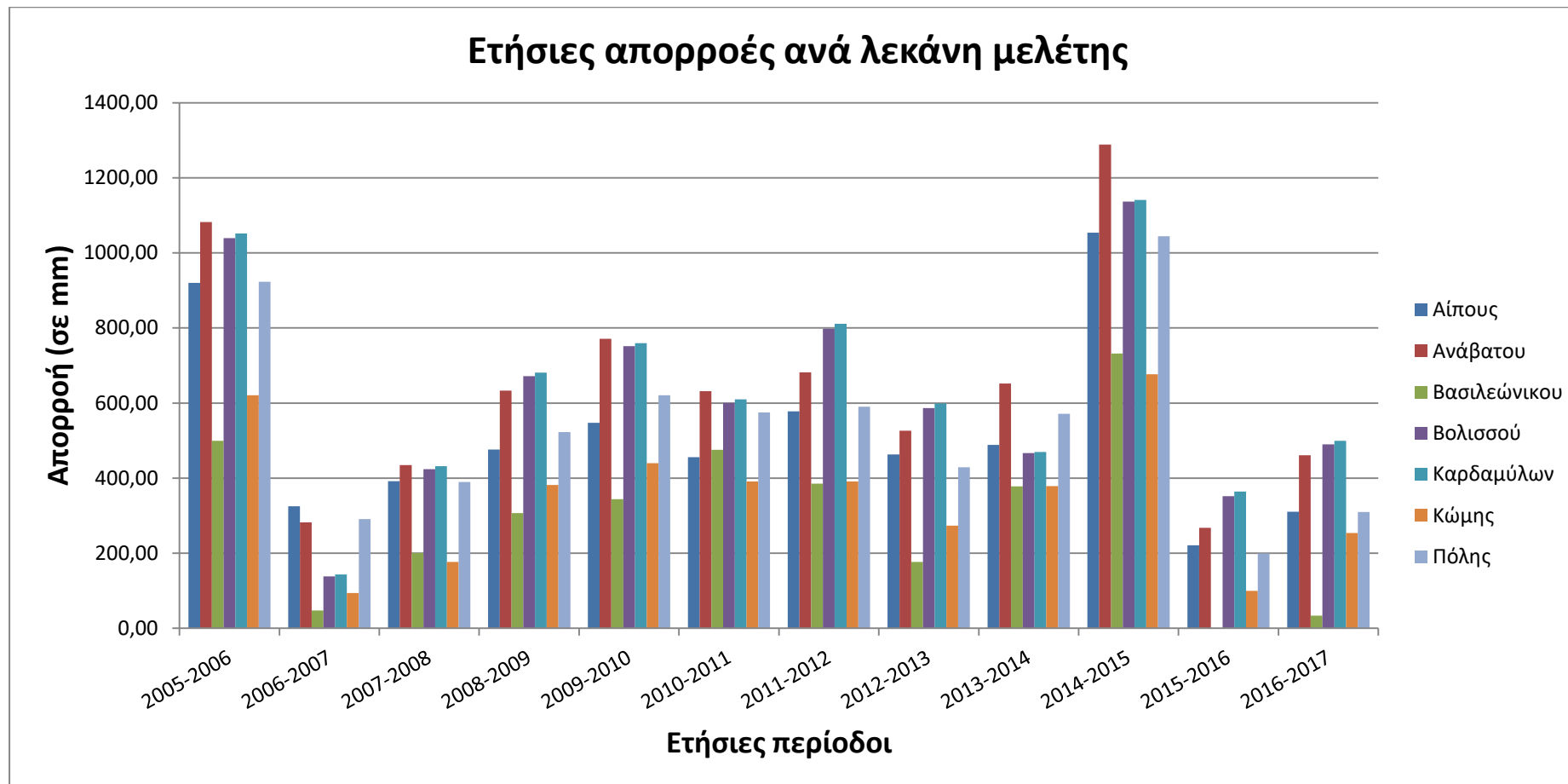
4.2 Μοντέλο Thomas

Τα αποτελέσματα του μοντέλου Thomas παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα σε ετήσια βάση, ανά λεκάνη αλλά και στο σύνολο τους.



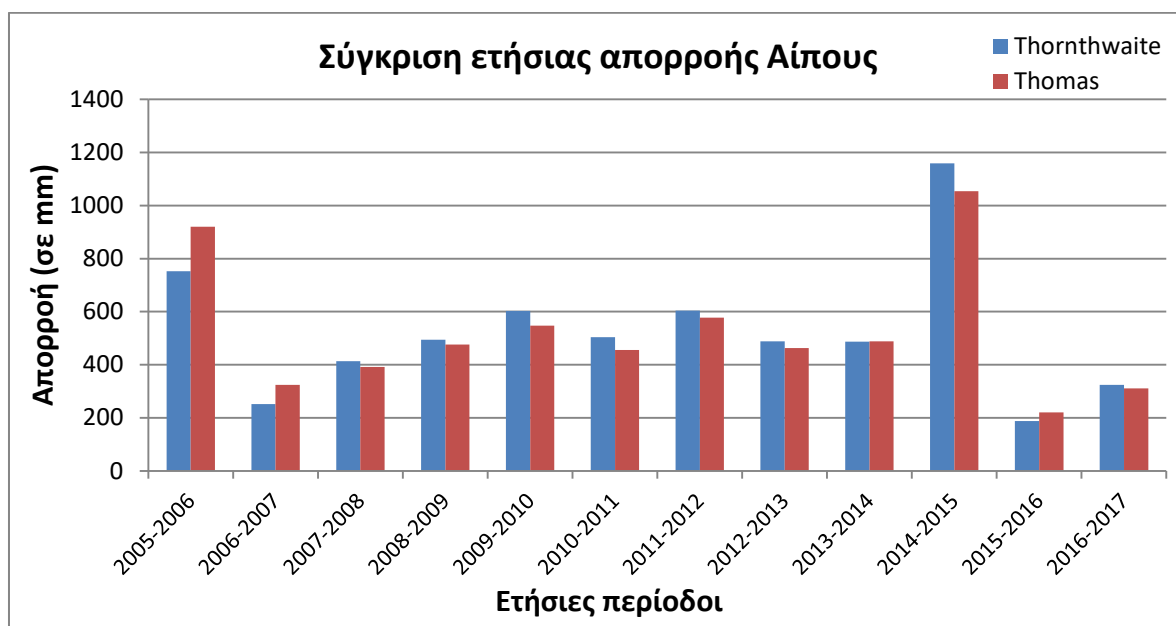
Σχήμα 62 Συνολική απορροή των λεκανών μελέτης

Στο Σχήμα 62 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι απορροές ανά έτος για την λεκάνη του Αίπους (οι ετήσιες απορροές των υπόλοιπων λεκανών παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι, στο τέλος του τεύχους). Όπως και στο μοντέλο Thornthwaite, παρατηρείται μια ήπια εναλλαγή των απορροών την περίοδο 2007 έως 2014, με την εξαίρεση την περίοδο 2014-2015, αλλά και την περίοδο 2005-2006. Ακόμη, όπως και το μοντέλο Thornthwaite, ως ξηρότερα έτη προκύπτουν οι περίοδοι 2006-2007 και 2015-2016. Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 63 παρουσιάζονται οι ετήσιες απορροές ανά λεκάνη μελέτης:



Σχήμα 63 Ετήσιες απορροές ανά λεκάνη μελέτης

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 64) προβάλλονται συγκριτικά οι υπολογισμένες συνολικές παροχές, ενδεικτικά για την λεκάνη του Αίπους. Παρατηρείται ότι τα δύο μοντέλα δίνουν όμοιες τιμές απορροής, πράγμα λογικό, καθώς ο συντελεστής Efficient Coefficient (EC) του μοντέλου Thomas, λάμβανε τιμές πολύ κοντά μονάδα. Διαγράμματα σύγκρισης των μηνιαίων απορροών ανάμεσα στα δύο μοντέλα παρουσιάζονται στο Παράρτημα II.



Σχήμα 64 Σύγκριση απορροών μεταξύ Thornthwaite και Thomas για λεκάνη Αίπους

4.3 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλων

Μετά την ολοκλήρωση των μοντέλων ακολούθησε η ανάλυση ευαισθησίας τους. Στόχος της ανάλυσης είναι ο υπολογισμός των μεταβολών των αποτελεσμάτων του μοντέλου (στην περίπτωση της διπλωματικής, των απορροών) σε μεταβολές των παραμέτρων του, καθώς και ο βαθμός επιρροής κάθε μεταβλητής.

Η απλούστερη μέθοδος ανάλυσης ευαισθησίας είναι η λεγόμενη «One-Factor-at-a-Time» (OFAT ή OAT) (Gardner et al., 1980, O'Neill et al., 1980, Downing κ.ά., 1985, Breshears, 1987, Crick et al., 1987). Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την μεταβολή στην τιμή μιας παραμέτρου κάθε φορά, ενώ οι υπόλοιπες διατηρούνται σταθερές. Έπειτα, η παράμετρος επιστρέφεται στην αρχική της τιμή, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε μια από τις άλλες μεταβλητές. Η ευαισθησία μπορεί στην συνέχεια να υπολογιστεί ποσοτικοποιώντας την αλλαγή στην έξοδο του

μοντέλου, π.χ. με γραμμικά παράγωγα ή γραμμική παλινδρόμηση. Έτσι κάθε παρατηρούμενη μεταβολή στην έξοδο θα οφείλεται αποκλειστικά στην αλλαγή της συγκεκριμένης παραμέτρου. Επιπλέον, με την αλλαγή μίας μεταβλητής κάθε φορά, μπορεί κανείς να διατηρήσει όλες τις άλλες μεταβλητές σταθερές στις βασικές ή “calibrated” τιμές τους. Αυτό αυξάνει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων (όλες οι «επιδράσεις» υπολογίζονται με αναφορά στο ίδιο κεντρικό σημείο) και ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες “crashing” προγραμμάτων υπολογιστών, πιθανότατα όταν μεταβάλλονται ταυτόχρονα διάφοροι συντελεστές εισόδου. Η μέθοδος OAT προτιμάται συχνά για την κατασκευή μοντέλων για πρακτικούς λόγους (Hamby M, 1994) καθώς σε περίπτωση αστοχίας του μοντέλου, είναι αμέσως γνωστό ποιος συντελεστής είναι υπεύθυνος για την αποτυχία (“crashing”).

Ο συγκεκριμένος τύπος ανάλυσης έχει αναφερθεί ως «τοπική» ανάλυση ευαισθησίας (Crick et al., 1987), διότι αναφέρεται μόνο στην ευαισθησία σε σχέση με τις επιλεγμένες εκτιμήσεις σημείου και όχι για ολόκληρη την κατανομή των παραμέτρων. Για τον λόγο αυτό, παρά την απλότητα της, αυτή η προσέγγιση δεν διερευνά πλήρως τον χώρο εισόδου, αφού δεν λαμβάνει υπόψη την ταυτόχρονη μεταβολή των μεταβλητών εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι η προσέγγιση OAT δεν μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών εισόδου (Czitrom, 1999).

4.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου Thornthwaite

Ανάλυση ευαισθησίας εφαρμόστηκε στο μοντέλου Thornthwaite ενδεικτικά για την λεκάνη του Αίπους. Εντοπίστηκαν αρχικά τρία έτη, το υγρότερο (2014-2015), το ξηρότερο (2015-2016) και ένα μέσο (2013-2014). Η ανάλυση εφαρμόστηκε σε δύο επίπεδα, το πρώτο σε επίπεδο των τριών ετών, μεταβάλλοντας την χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής K και υπολογίζοντας τις μεταβολές στην μέση ετήσια απορροή και το δεύτερο, σε μηνιαίο επίπεδο για κάθε ένα από τα επιλεγμένα έτη, μεταβάλλοντας το K και υπολογίζοντας τις μεταβολή στην μέση μηνιαία απορροή. Ακολουθώντας την προαναφερθείσα διαδικασία, μεταβλήθηκαν οι τιμές του K κατά διάφορα ποσοστά της αρχική τιμής (συγκεκριμένα $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, $\pm 30\%$, ± 40 και

±50%) σε επίπεδο λεκάνης. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης τιμής των απορροών ως:

$$\Delta Q = \frac{(\Sigma Q_{\text{νέο}} - \Sigma Q_{\text{αρχικό}})}{\Sigma Q_{\text{αρχικό}}} * 100 \quad (21)$$

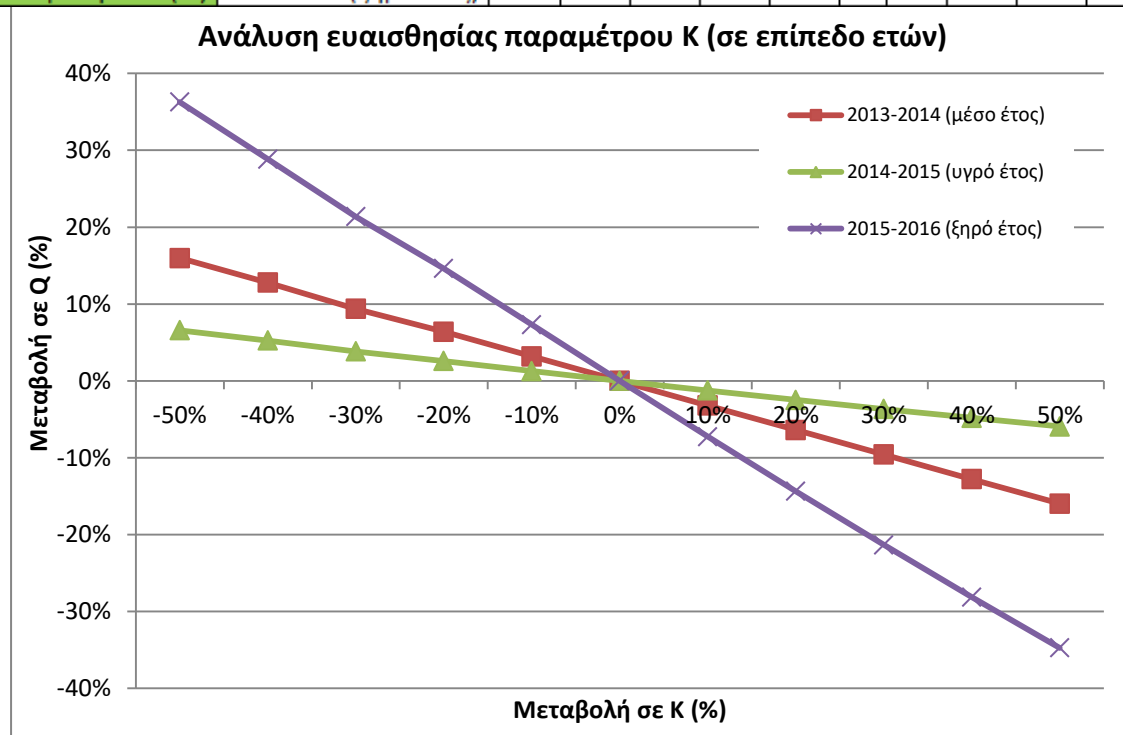
όπου: $\Sigma Q_{\text{νέο}}$: το άθροισμα των απορροών μετά την μεταβολή της παραμέτρου

$\Sigma Q_{\text{αρχικό}}$: το άθροισμα των απορροών πριν την μεταβολή της παραμέτρου

Οι ποσοστιαίες μεταβολές του K υπολογίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε διάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή του, ενώ στον κατακόρυφο παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης τιμής των απορροών, όπως αυτές υπολογίστηκαν.

Πίνακας 16 Σύγκριση ποσοστιαίων μεταβολών K με ποσοστιαίες μεταβολές απορροών σε λεκάνη Αίτους

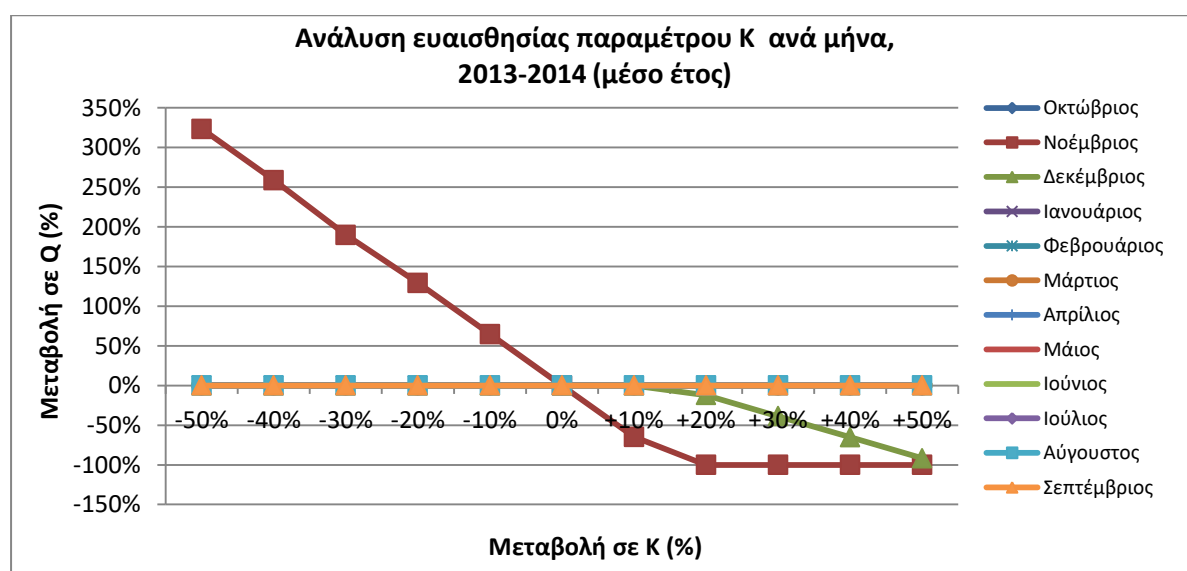
Μεταβολή σε K (%)		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Μεταβολή σε Q (%)	2013-2014 (μέσο έτος)	16%	13%	9%	6%	3%	0%	-3%	-6%	-10%	-13%	-16%
Μεταβολή σε Q (%)	2014-2015 (υγρό έτος)	7%	5%	4%	3%	1%	0%	-1%	-2%	-4%	-5%	-6%
Μεταβολή σε Q (%)	2015-2016 (ξηρό έτος)	36%	29%	21%	15%	7%	0%	-7%	-14%	-21%	-28%	-35%



Σχήμα 65 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου K για λεκάνη Αίτους (σε επίπεδο ετών)

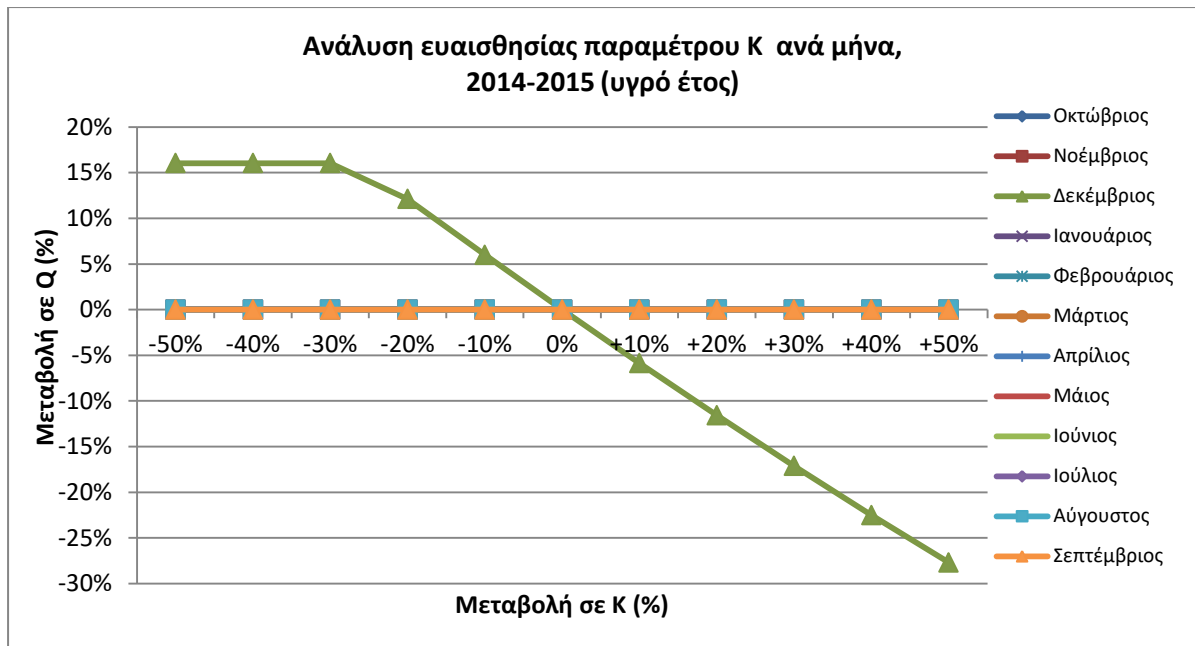
Από το Σχήμα 65 παρατηρείται ότι η παράμετρος K εμφανίζει την μεγαλύτερη ευαισθησία σε μεταβολές στο ξηρότερο έτος, καθώς μια μεταβολή της τάξης του $\pm 50\%$ οδηγεί σε μεταβολή της απορροής ίση με $\pm 30\%$ (αντιστρόφως ανάλογα). Αντίθετα, μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει στο υγρότερο έτος, όπου παρόμοια ποσοστιαία μεταβολή του K, οδηγεί σε μεταβολή της τάξης του $\pm 7\%$ (επίσης αντιστρόφως ανάλογα).

Παρόμοια ανάλυση εφαρμόστηκε και σε επίπεδο μήνα, για την λεκάνη του Αίτους, για κάθε ένα από τα επιλεγμένα έτη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα:



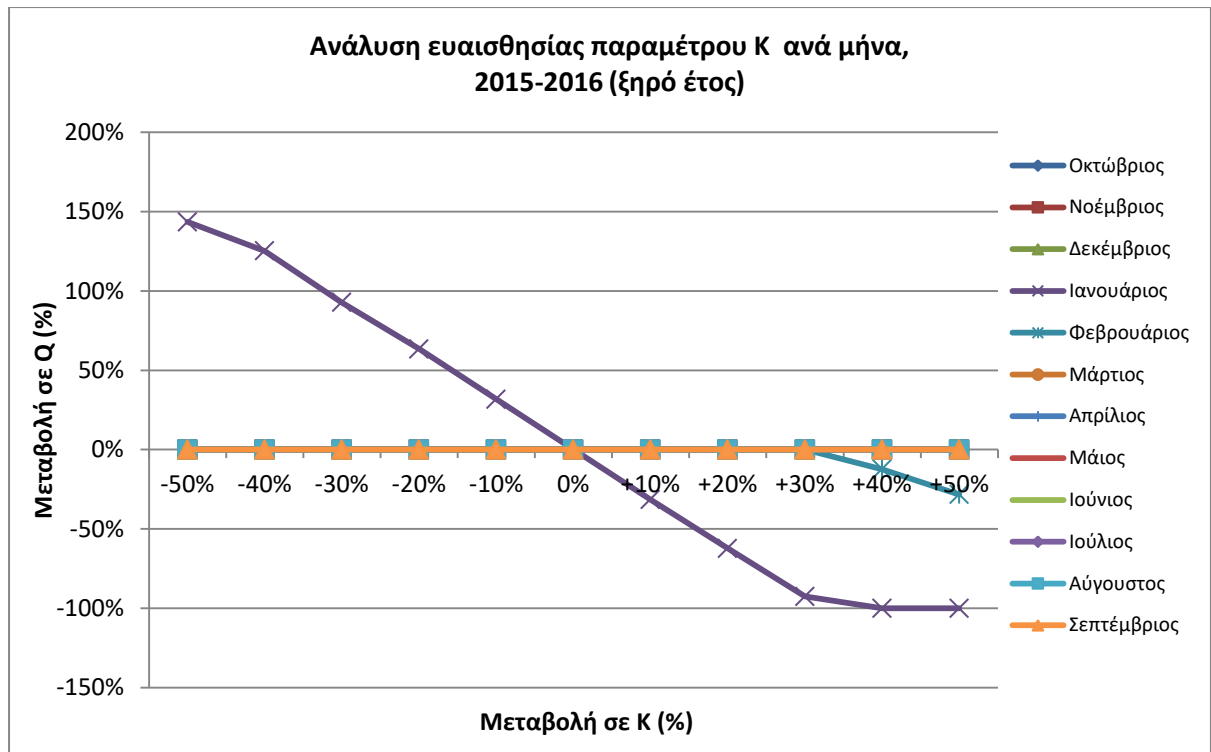
Σχήμα 66 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου K ανά μήνα σε λεκάνη Αίτους, 2013-2014 (μέσο έτος)

Από το παραπάνω διάγραμμα, παρατηρείται ότι οι μεταβολές στην παράμετρο K επιδρούν έντονα στην απορροή του μήνα Νοεμβρίου, ενός μέσου έτους, καθώς μια μείωση του συντελεστή της τάξης του 50% οδηγεί σε 3πλασιασμό της απορροής. Η ερμηνεία του παραπάνω είναι ότι εάν μειωθεί στο μισό η χωρητικότητα του εδάφους, τότε προκύπτει 3πλασιασμός της απορροής τον μήνα Νοέμβριο. Αντίθετα, σε αύξηση του K κατά 50%, παρατηρείται μείωση της απορροής κατά 100%.



Σχήμα 67 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου K ανά μήνα σε λεκάνη Αίπους, 2014-2015 (υγρό έτος)

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι ο πιο ευαίσθητος μήνας (του υγρότερου έτους) στις αλλαγές του K είναι ο μήνας Ιούνιος., Συγκεκριμένα μια μείωση κατά 50% του K οδηγεί σε αύξηση της απορροής κατά 15%, ενώ αντίστοιχα μια αύξηση της τάξης του 50%, οδηγεί σε μείωση της απορροής κατά 30%.



Σχήμα 68 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου K ανά μήνα σε λεκάνη Αίτους, 2015-2016 (ξηρό έτος)

Απεναντίας στο ξηρότερο έτος ο πιο ευαίσθητος μήνας εμφανίζεται να είναι ο Ιανουάριος. Μείωση του K κατά 50% έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της απορροής κατά 150%, ενώ αύξηση της παραμέτρου κατά 50%, οδηγεί σε μείωση της απορροής κατά 100%.

4.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου Thomas

Παρόμοια ανάλυση εφαρμόστηκε και στο μοντέλο Thomas. Ως δείκτης της συμπεριφοράς του μοντέλου θεωρήθηκε η μέση τιμή των απορροών. Ως μεταβλητές παράμετροι ορίστηκαν οι τιμές των a, b, c και d. Ακολουθώντας την προαναφερθείσα διαδικασία, μεταβλήθηκαν οι τιμές τους κατά διάφορα ποσοστά των αρχικών τιμών (συγκεκριμένα ±1%, ±5%, ±10%) σε επίπεδο λεκάνης. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης τιμής των απορροών αλλά και του EC ως:

$$\Delta Q = \frac{(\Sigma Q_{\text{νέο}} - \Sigma Q_{\text{αρχικό}})}{\Sigma Q_{\text{αρχικό}}} * 100 \quad (21)$$

όπου: $\Sigma Q_{\text{νέο}}$: το άθροισμα των απορροών μετά την μεταβολή της παραμέτρου

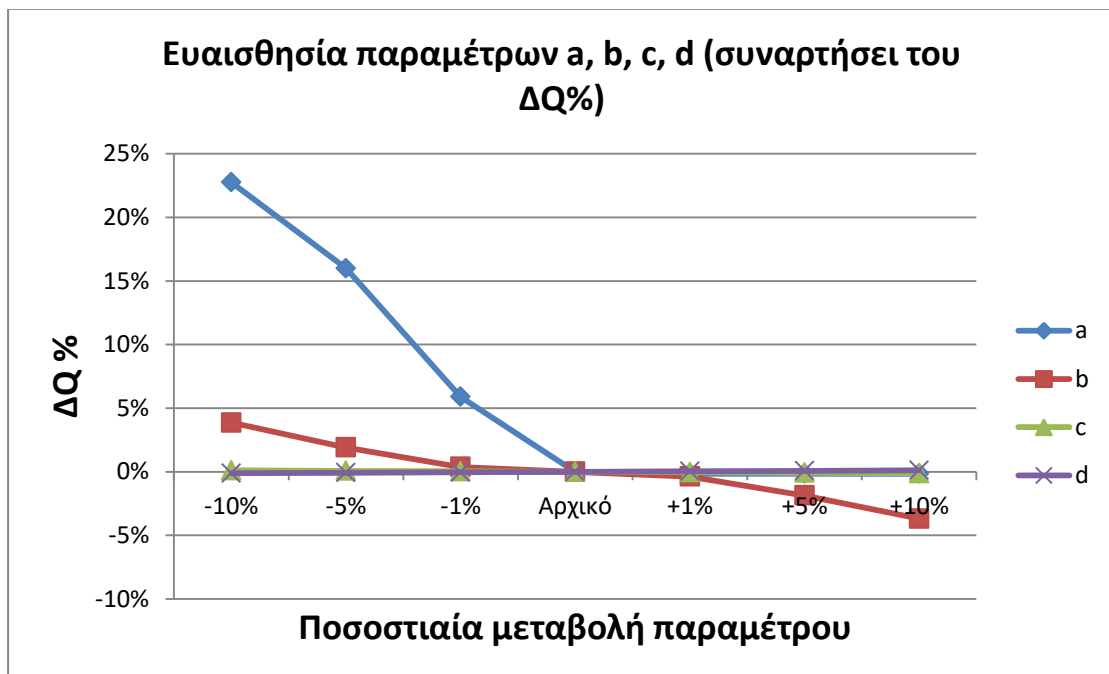
ΣQαρχικό: το άθροισμα των απορροών πριν την μεταβολή της παραμέτρου

$$\Delta EC = \frac{(EC_{\text{νέο}} - EC_{\text{αρχικό}})}{EC_{\text{αρχικό}}} * 100$$

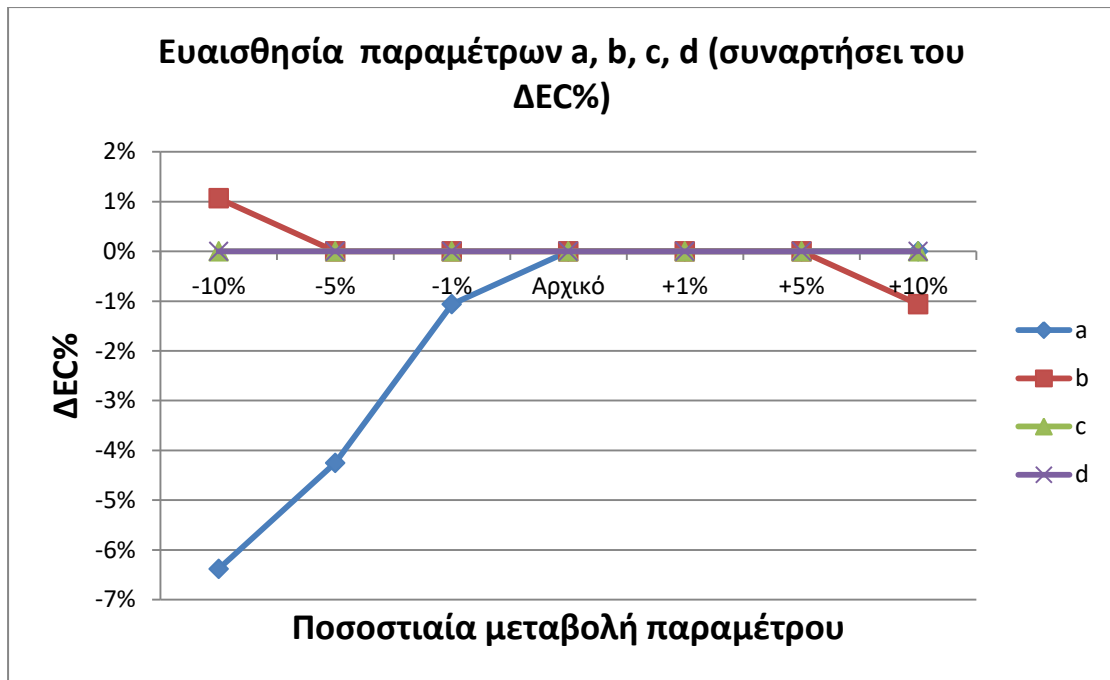
όπου: EC_{νέο} : ο Efficient Coefficient μετά την μεταβολή της παραμέτρου

EC_{αρχικό}: ο Efficient Coefficient πριν την μεταβολή της παραμέτρου

Οι ποσοστιαίες μεταβολές υπολογίστηκαν για κάθε παράμετρο και τοποθετήθηκαν στα παρακάτω διαγράμματα. Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της εκάστοτε παραμέτρου, ενώ στον κατακόρυφο παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης τιμής των απορροών και των EC, όπως αυτές υπολογίστηκαν. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για κάθε λεκάνη μελέτης.

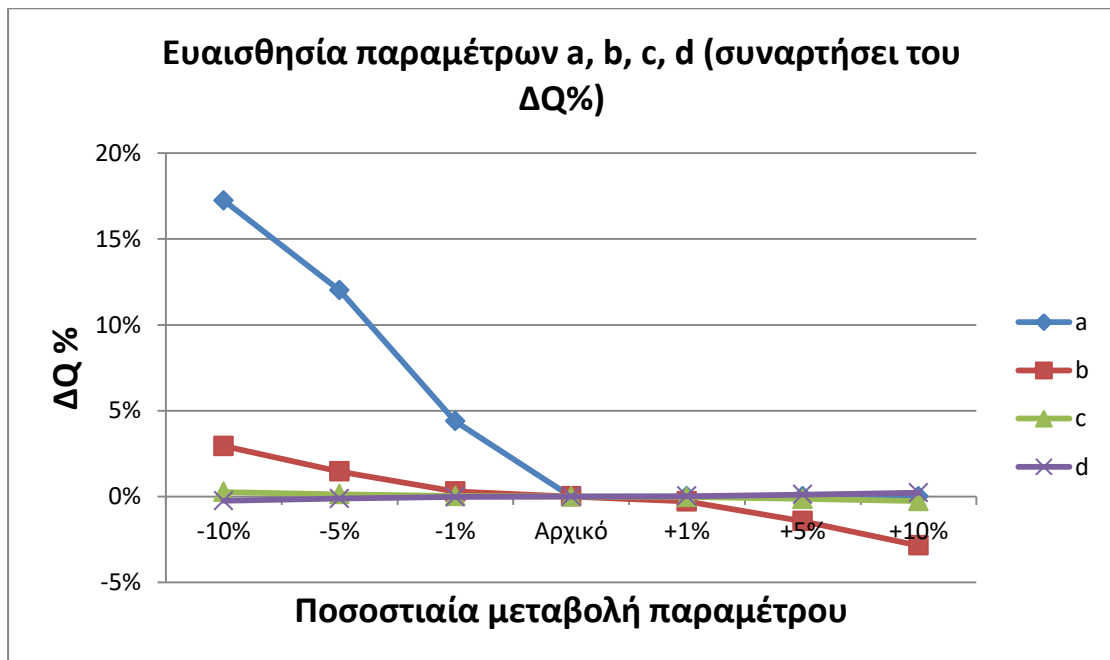


Σχήμα 69 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔQ% για λεκάνη Αίπους

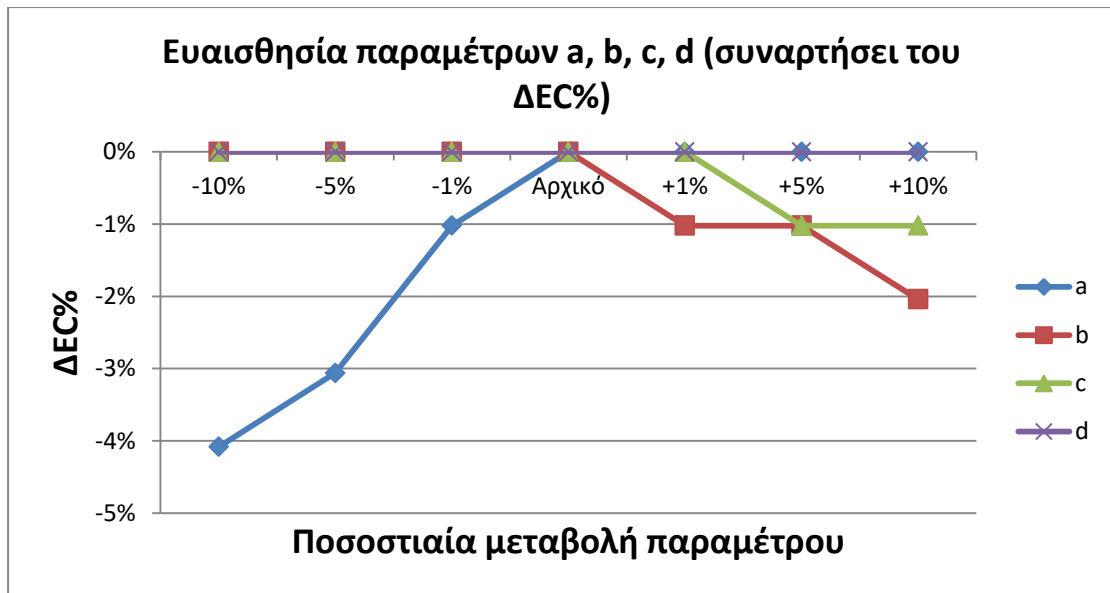


Σχήμα 70 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔEC% για λεκάνη Αίπους

Για την λεκάνη του Αίπους παρατηρείται ότι η παράμετρος a εμφανίζει την υψηλότερη ευαισθησία, καθώς μείωση της κατά 10% οδηγεί σε αύξηση κατά 23% της απορροής και μείωση κατά 6,5% του συντελεστή EC. Πολύ μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή b, ενώ οι μεταβολές στις τιμές των παραμέτρων c και d, έχουν μηδενική επίδραση

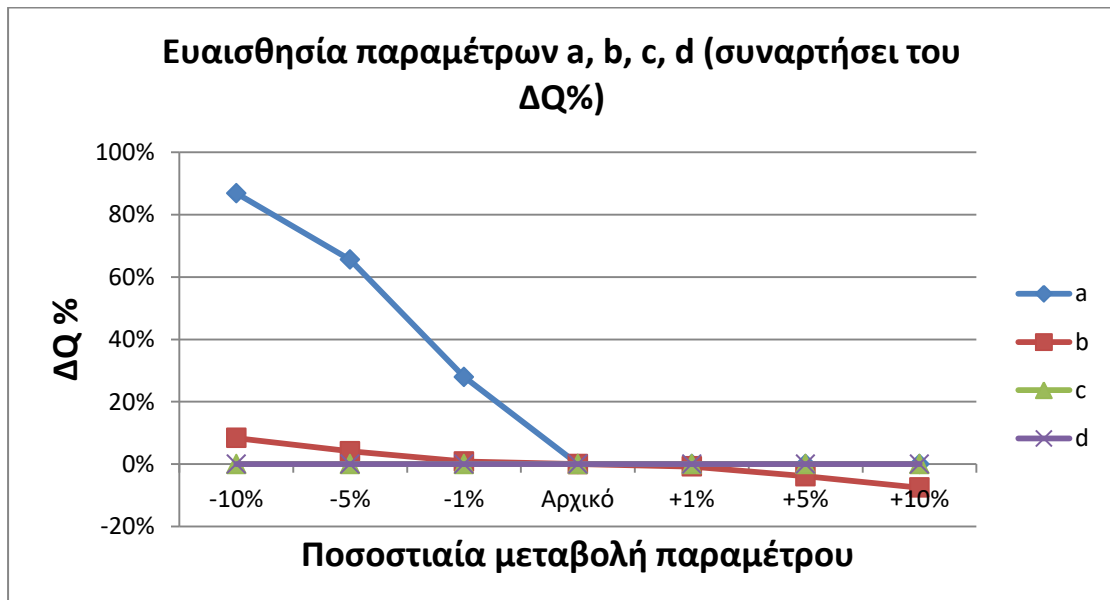


Σχήμα 71 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔQ% για λεκάνη Ανάβατου

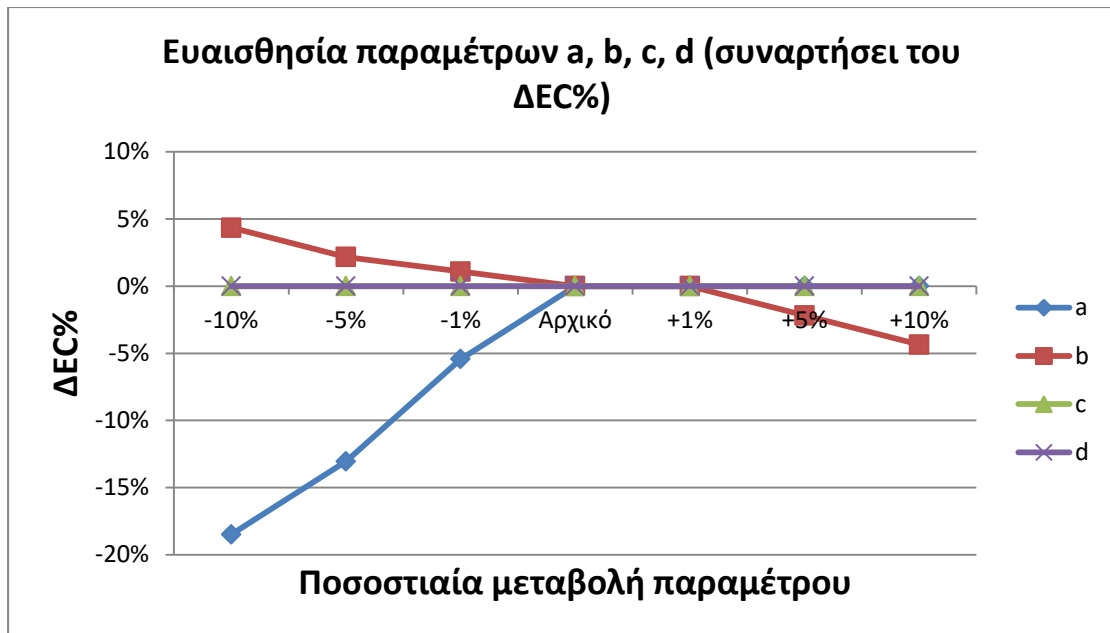


Σχήμα 72 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔEC% για λεκάνη Ανάβατου

Για την λεκάνη του Ανάβατου παρατηρείται ότι η παράμετρος a εμφανίζει την υψηλότερη ευαισθησία, καθώς μείωση της κατά 10% οδηγεί σε αύξηση κατά 17% της απορροής και μείωση κατά 4% του συντελεστή EC. Μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή b, ενώ σημειώνεται μια μικρή μείωση στον EC με αύξηση κατά 10% της μεταβλητής c. Τέλος η επίδραση της παραμέτρου d παραμένει μηδενική.

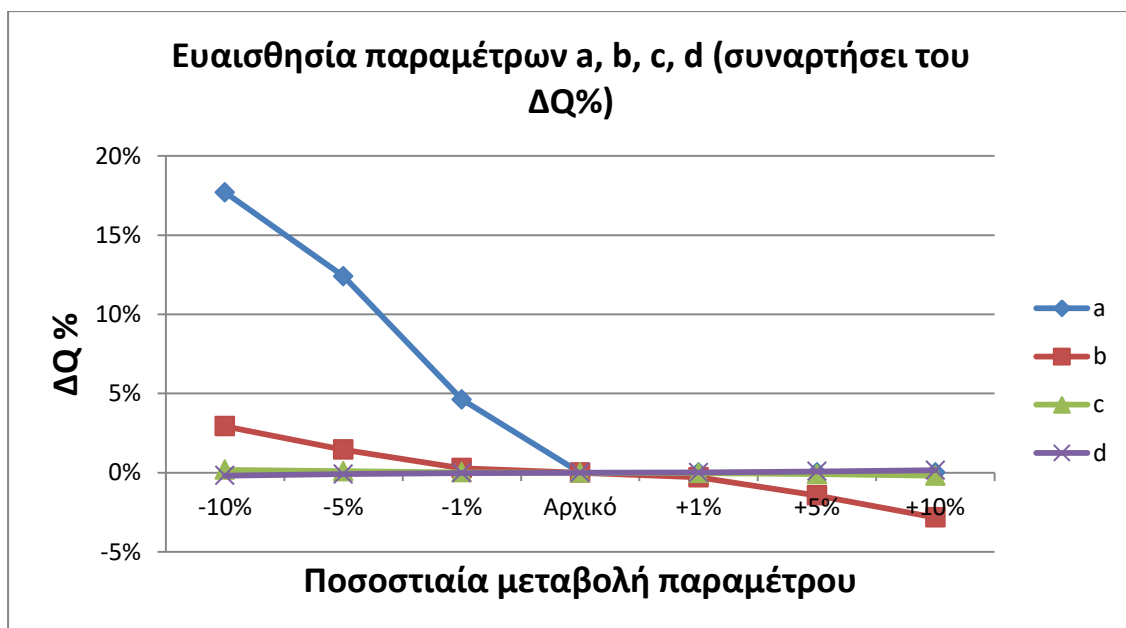


Σχήμα 73 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔQ% για λεκάνη Βασιλεώνικου

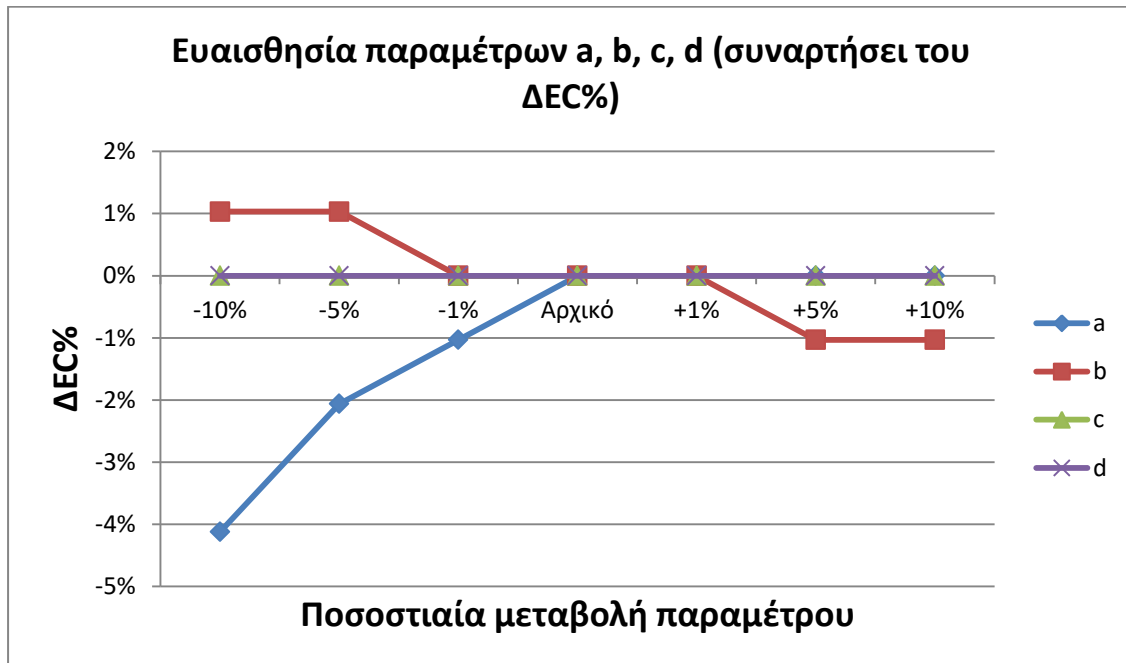


Σχήμα 74 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔEC% για λεκάνη Βασιλεώνικου

Για την λεκάνη του Βασιλεώνικου παρατηρείται ότι η παράμετρος a εμφανίζει ξανά την υψηλότερη ευαισθησία, καθώς μείωση της κατά 10% οδηγεί σε αύξηση κατά 86% της απορροής και μείωση κατά σχεδόν 20% του συντελεστή EC, την μεγαλύτερη έως τώρα επίδραση. Μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή b, ενώ η επίδραση των παραμέτρων c και d είναι μηδενική.

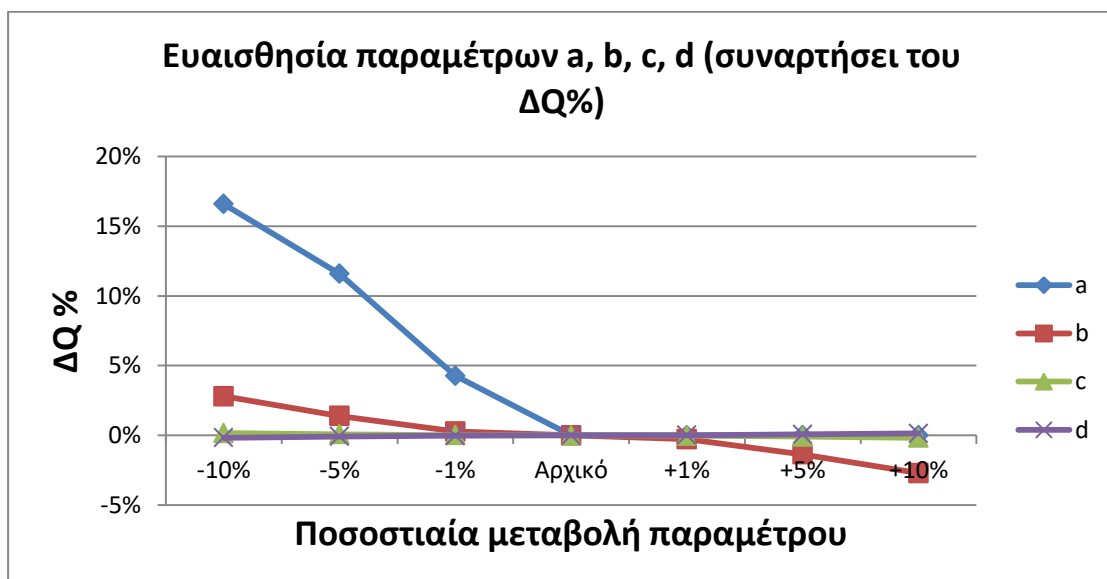


Σχήμα 75 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔQ% για λεκάνη Βολισσού

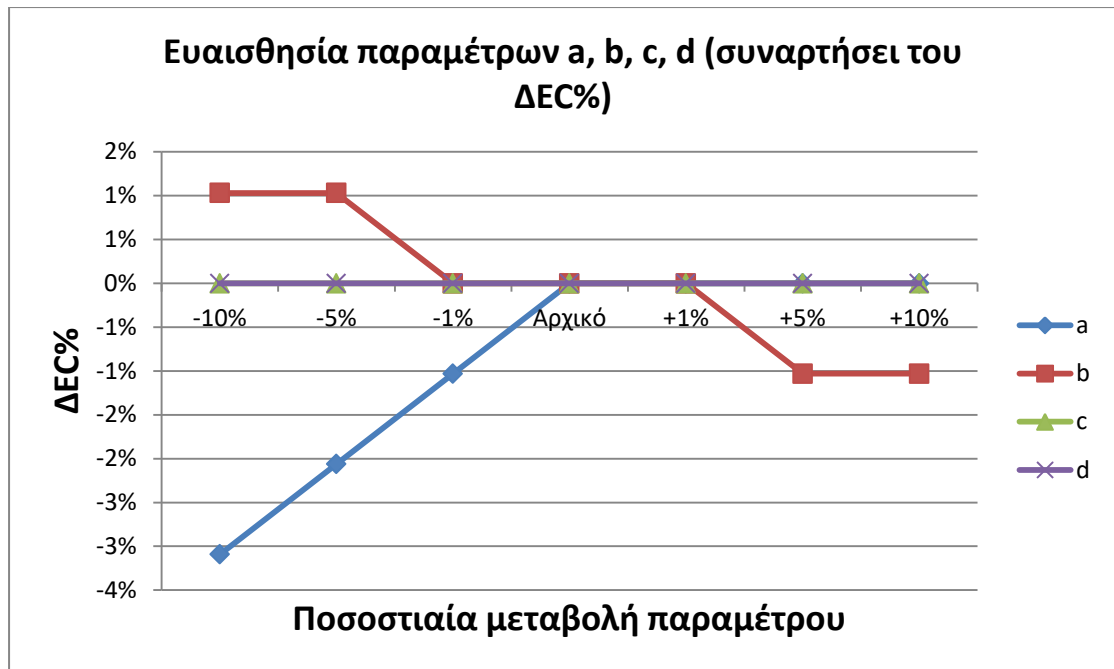


Σχήμα 76 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔEC% για λεκάνη Βολισσού

Για την λεκάνη του Βολισσού παρατηρείται ότι η παράμετρος a εμφανίζει ξανά την υψηλότερη ευαισθησία, καθώς μείωση της κατά 10% οδηγεί σε αύξηση κατά 18% της απορροής και μείωση κατά 4% του συντελεστή EC. Μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή b, ενώ η επίδραση των παραμέτρων c και d παραμένει μηδενική.

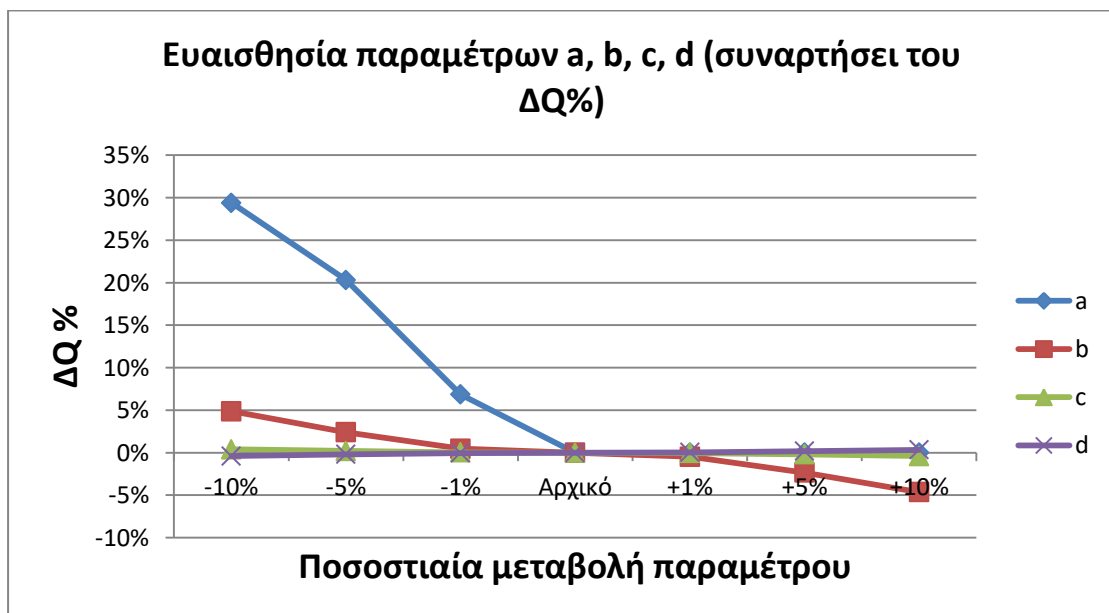


Σχήμα 77 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔQ% για λεκάνη Καρδαμύλων

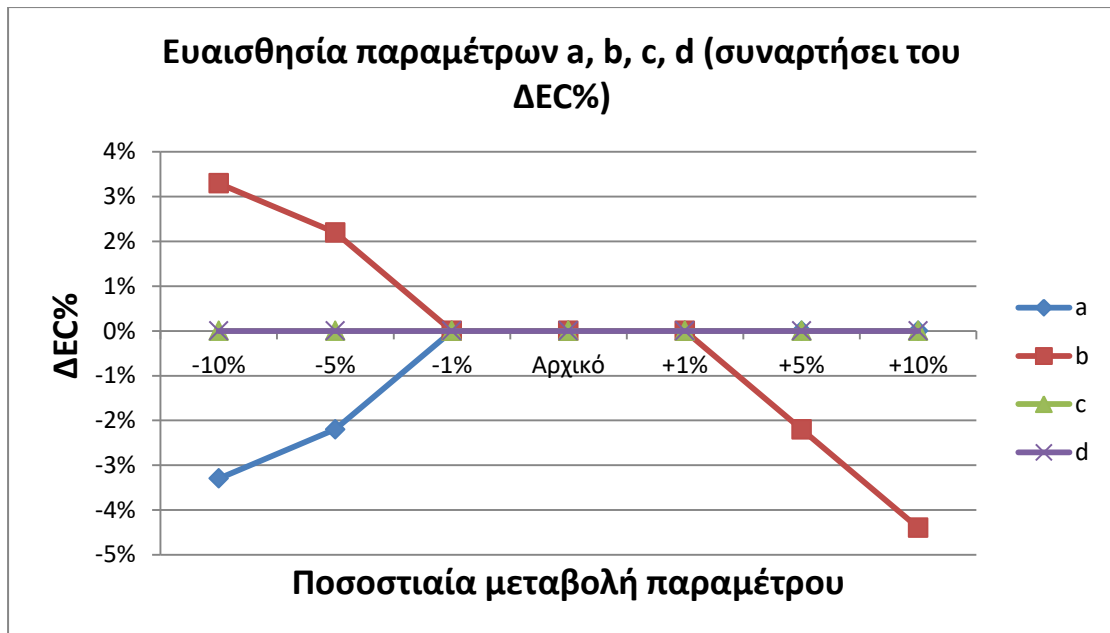


Σχήμα 78 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔEC% για λεκάνη Καρδαμύλων

Για την λεκάνη των Καρδαμύλων παρατηρείται ότι η παράμετρος a εμφανίζει ξανά την υψηλότερη ευαισθησία, καθώς μείωση της κατά 10% οδηγεί σε αύξηση κατά 17% της απορροής και μείωση κατά 3% του συντελεστή EC. Μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή b, ενώ η επίδραση των παραμέτρων c και d παραμένει μηδενική.

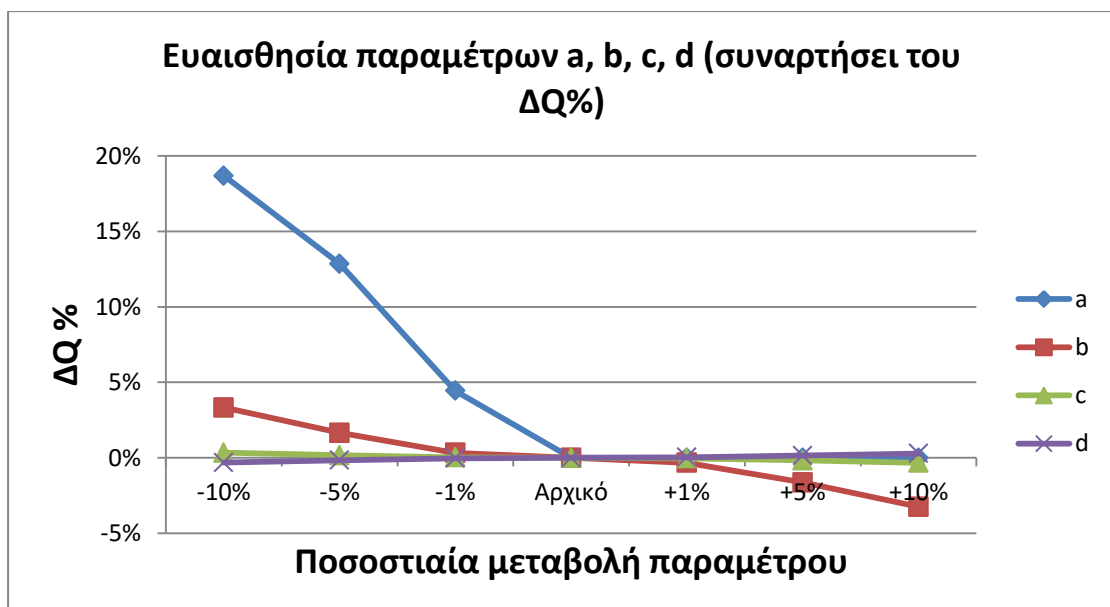


Σχήμα 79 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔQ% για λεκάνη Κώμης

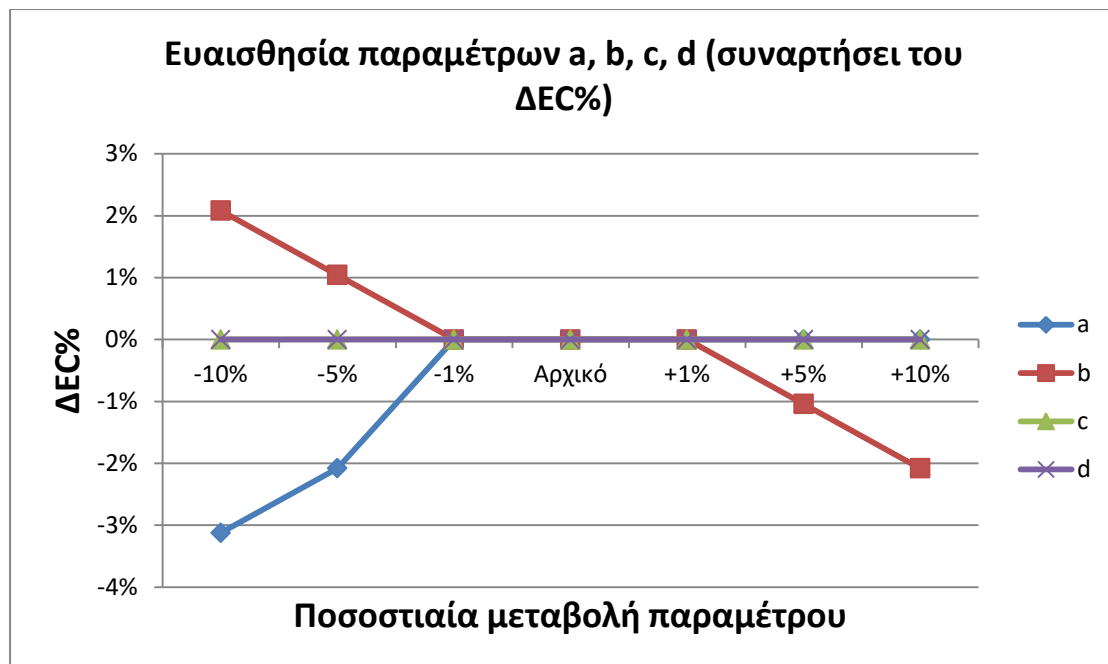


Σχήμα 80 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔEC% για λεκάνη Κώμης

Για την λεκάνη της Κώμης παρατηρείται ότι η παράμετρος a εμφανίζει ξανά την υψηλότερη ευαισθησία, καθώς μείωση της κατά 10% οδηγεί σε αύξηση κατά 30% της απορροής και μείωση κατά 3,5% του συντελεστή EC. Μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή b. Τέλος η επίδραση των παραμέτρων c και d παραμένει μηδενική.



Σχήμα 81 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔQ% για λεκάνη Πόλης



Σχήμα 82 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων a, b, c, d ως προς το ΔEC% για λεκάνη Πόλης

Για την λεκάνη της Πόλης παρατηρείται ότι η παράμετρος a εμφανίζει την υψηλότερη ευαισθησία, καθώς μείωση της κατά 10% οδηγεί σε αύξηση κατά 17% της απορροής και μείωση κατά 3% του συντελεστή EC. Μικρότερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή b, ενώ η επίδραση των παραμέτρων c και d παραμένει μηδενική.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση, είναι ότι η παράμετρος a είναι αυτή με την μεγαλύτερη ευαισθησία. Η ερμηνεία αυτού είναι ότι μεταβολές στην τάση του νερού να απορρεύσει από το σύστημα, επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στην ποσότητα απορροής και τον συντελεστή EC.

Η παράμετρος b εμφάνισε γενικά χαμηλές τιμές ευαισθησίας, που κυμαίνονταν από ± 1 έως $\pm 5\%$, δηλαδή μεταβολές στο επίπεδο κορεσμού των εδαφών επιδρούν σε κάποιο βαθμό στις απορροές και τον συντελεστή EC.

Τέλος οι παράμετροι c και d παρουσίασαν μηδενικές τιμές ευαισθησίας για όλες τις λεκάνες μελέτης (με εξαίρεση την λεκάνη Ανάβατου, που έλαβε τιμή $< 1\%$). Η ερμηνεία αυτού είναι ότι μεταβολές στην ποσότητα νερού που θα καταλήξει στον υπόγειο υδροφορέα (c) αλλά και στην ποσότητα υπόγεια εκροής (d) δεν επιδρούν καθόλου στην απορροή, και κατ' επέκταση τον συντελεστή EC.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόστηκε υδρολογική και γεωμορφολογική διερεύνηση στη νήσο Χίο, χρησιμοποιώντας γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) και εφαρμόζοντας τα μοντέλα Thornthwaite και Thomas σε συγκεκριμένες λεκάνες μελέτης του νησιού.

Από την διερεύνηση μέσω Thornthwaite παρατηρείται την περίοδο 2014-2015 διπλασιασμός της μέσης απορροής, γεγονός που οφείλεται στο ότι το έτος 2014-2015 ήταν το υγρότερο της περιόδου. Επίσης η δεύτερη ξηρότερη περίοδος, το 2015-2016, (με την πρώτη να είναι το 2006-2007) σημειώνεται αμέσως μετά το υγρότερο έτος της περιόδου.

Σε επίπεδο λεκανών την μικρότερη απορροή παρουσιάζει η λεκάνη του Βασιλειώνικου, λόγω του υψηλότερου συντελεστή χωρητικότητας εδάφους ($K=336,7$). Μικρή απορροή παρουσιάζει και η λεκάνη της Κώμης. Αυτό οφείλεται ωστόσο στην μικρή ποσότητα βροχοπτώσεων που δέχτηκε την περίοδο μελέτης.

Η διερεύνηση μέσω του μοντέλου Thomas πραγματοποιήθηκε έχοντας ως βάση βαθμονόμησης τις απορροές που υπολογίστηκαν μέσω του Thornthwaite. Αναμένεται λοιπόν οι απορροές από τα δύο μοντέλα να έχουν όμοιες σχετικά τιμές, πράγμα που ισχύει. Μόνη διαφορά εμφανίζεται στην πρώτη περίοδο (2005-2006), όπου το μοντέλο Thomas δίνει απορροή μεγαλύτερη κατά 1200 mm από ότι το Thornthwaite.

Μέχρι τις τελευταίες δεκαετίες του οι ανάγκες της πόλης της Χίου, που ήταν ο βασικός καταναλωτής, καλύπτονταν, για μεν την ύδρευση από τις πηγές, για δε την άρδευση από τα γνωστά μαγκανοπήγαδα, 750 περίπου και μέχρι και την δεκαετία του 1960. Στη συνέχεια και σταδιακά επικράτησαν οι γεωτρήσεις. Όμως η αλόγιστη χρήση και η άντληση από μεγάλα βάθη ανέτρεψε την έως τότε υπάρχουσα ισορροπία, με συνέπεια την υφαλμύριση, την εμφάνιση του υδραργύρου και την κατάρρευση της ποιότητας του νερού.

Για αυτό το λόγο η ορθολογική χρήση των υφιστάμενων υδατικών πόρων και η εφαρμογή μεθόδων αποτελεσματικής συλλογής και ανακύκλωσής του νερού, είναι

μεγάλης σημασίας και χρήζουν άμεσης προσοχής, προτεραιότητας και δράσης. Για αυτό απαιτείται να ληφθούν τα εξής προτεινόμενα μέτρα:

- Μείωση των αντλήσεων υπόγειου νερού, με αντίστοιχη εξοικονόμηση νερού για άρδευση και εφαρμογή ελέγχου λειτουργίας δημοτικών και ιδιωτικών γεωτρήσεων.
- Σε περιόδους ξηρασίας προτείνεται οι αντλήσεις να ελαττώνουν την λειτουργία τους, με σκοπό την προστασία του υδροφορέα. Σε αντίθετη περίπτωση αντλούνται έως τα όρια τους, αυξάνοντας έτσι το βάθος άντλησης και προκαλώντας αργή αποκατάσταση του κανονικού υδραυλικού καθεστώτος.
- Συστήνεται τέλος να κατασκευαστούν (ή να χρησιμοποιηθούν υφιστάμενες) γεωτρήσεις παρακολούθησης, διεσπαρμένες σε διάφορες περιοχές του νησιού
- Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα
- Κατασκευή υδρομετρικών σταθμών, με στόχο την σωστή διαστασιολόγηση τεχνικών έργων, όπως λιμνοδεξαμενών ή φραγμάτων.
- Ενημέρωση του κοινού, με στόχο την ουσιαστική ευαισθητοποίηση στη σωστή χρήση του διαθέσιμου νερού

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Σημεία για περαιτέρω έρευνα τα οποία προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική είναι τα ακόλουθα:

Το απλό μοντέλο Thornthwaite που χρησιμοποιήθηκε λαμβάνει ως δεδομένα εισόδου τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, χρησιμοποιώντας μία μόνο παράμετρο, την χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής, K . Στα αποτελέσματα αυτού του μοντέλου βασίστηκε η βαθμονόμηση και αξιολόγηση του μοντέλου Thomas. Προτείνεται έτσι η εφαρμογή ενός μοντέλου το οποίο θα λαμβάνει υπ' όψιν και άλλα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης, κάθε φορά, λεκάνης, όπως, π.χ., τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά, τις χρήσεις γης, την υδραυλική κλίση, τη μεταφορά φερτών, τις απολήψεις ή τυχόν υπάρχοντα τεχνικά έργα. Με τον τρόπο αυτό θα γινόταν δυνατή μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση το υδατικού ισοζυγίου και κατ'

επέκταση πιο ρεαλιστική εκτίμηση της πραγματικής απορροής. Ακόμη, οι περιορισμοί και τα όρια των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη αποτελούν εκτιμήσεις και παραδοχές. Η εισαγωγή περισσότερων πληροφοριών στο μοντέλο θα επέτρεπε μια πιο εμπειριστατωμένη ανάλυση.

Ακόμη προτείνεται η διερεύνηση της συμπεριφοράς του μοντέλου υπό καθεστώς υδρολογικής αβεβαιότητας, εφαρμόζοντάς το δηλαδή σε συνθετικές χρονοσειρές χαμηλών ροών. Αξίζει επίσης η επέκταση της προσέγγισης που προτάθηκε και σε άλλες πλην της χρονικές κλίμακες, πλην της μηνιαίας

Η ανάλυση ευαισθησίας OAT που χρησιμοποιήθηκε δεν διερευνά πλήρως το πεδίο τιμών των μεταβλητών εισόδου, καθώς ότι δεν λαμβάνει υπόψη την ταυτόχρονη μεταβολή των μεταβλητών. Έτσι μειώνεται σημαντικά η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, μιας και η ανάλυση δεν μπορεί να ανιχνεύσει αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών εισόδου, κάτι το οποίο σε μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Ασχονίτης Β., Ζορμπά Δ., Μπαλτάς Ε., *Υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης του Ανθεμούντα με χρήση GIS*, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Σχολή Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη, Α.Π.Θ., 2007
- Γιαννουλόπουλος Π., Λαππάς Ι., *Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και υδροφόρων συστημάτων της χώρας*, 2010
- Ζαφειράκης Σ., *Γεωλογία-Υδρογεωλογία των υδατικών αποθεμάτων της Χίου*, 2015
- Κουτσόπουλος Κ., *Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και ανάλυση χώρου*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2005
- Ξενάκη Μ., Καβουρίδης Θ., Βρέλλης Γρ., Βακαλόπουλος Π., *Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πεδίων στη νήσο Χίο (Θυμιανά-Νένητα)*, Αθήνα, 2007
- Παπαμιχαήλ Δ. Μ., *Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων*, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 2001
- Brutsaert W., *Evaporation into the Atmosphere, Theory, History and Applications*, Springer Netherlands, σ. 243, 1982
- Burrough, P.A., *Multi-scale sources of spatial variation in soil*, Journal of Soil Science, 34, 577-620, 1983
- Czitrom V., *One-Factor-at-a-Time versus Designed Experiments*, The American Statistician, Vol.53, Issue 2, 1999, pp. 126-131, 1999
- ESRI, ArcGIS Desktop: Release 10, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, 2010
- Ferguson B. K., *Estimation of Direct Runoff in the Thornthwaite Water Balance*, The Professional Geographer, 48:3, pp. 263-271, 1996
- Gardner et al., *Sedimentology and geochemistry of surface sediments, outer continental shelf, southern Bering Sea*, 1980
- Hamby M., *A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models*, Westinghouse Savannah River Company Savannah River Technology Center Aiken, SC 29808, U.S.A., 1994
- Strahler, A.N., *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Transactions of the American Geophysical Union, 38(6), pp. 913-920, 1957

Strahler, A.N., *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*, Chow, V.T., Editor. Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill, pp. 4-39, 4-76, 1964

Thomas, H. A., *Improved Methods for National Water Assessment*, Report, US Water Resource Council, 1981

Thornthwaite C.W. & Mather J.R., *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*, Publication in Climatology, Vol.10, No.3, Centerton, N.J.Drexel Inst., 1957

Υπηρεσίες

- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), φύλλα χάρτη
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Χίου
- Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Χίου (ΔΕΥΑΧ)
- Δημοτικό Συμβούλιο Χίου, *Στρατηγικό και επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Χίου, περιόδου 2015-2020*
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), *στοιχεία μετρολογικού σταθμού Χίου*
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), *στοιχεία απογραφής 2011*
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, *Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος, 1983*
- Περιφέρεια Χίου
- Υπουργείο Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ)
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ)
- Υπηρεσία Αγροτικής Ανάπτυξης Χίου
- Κτηματολόγιο

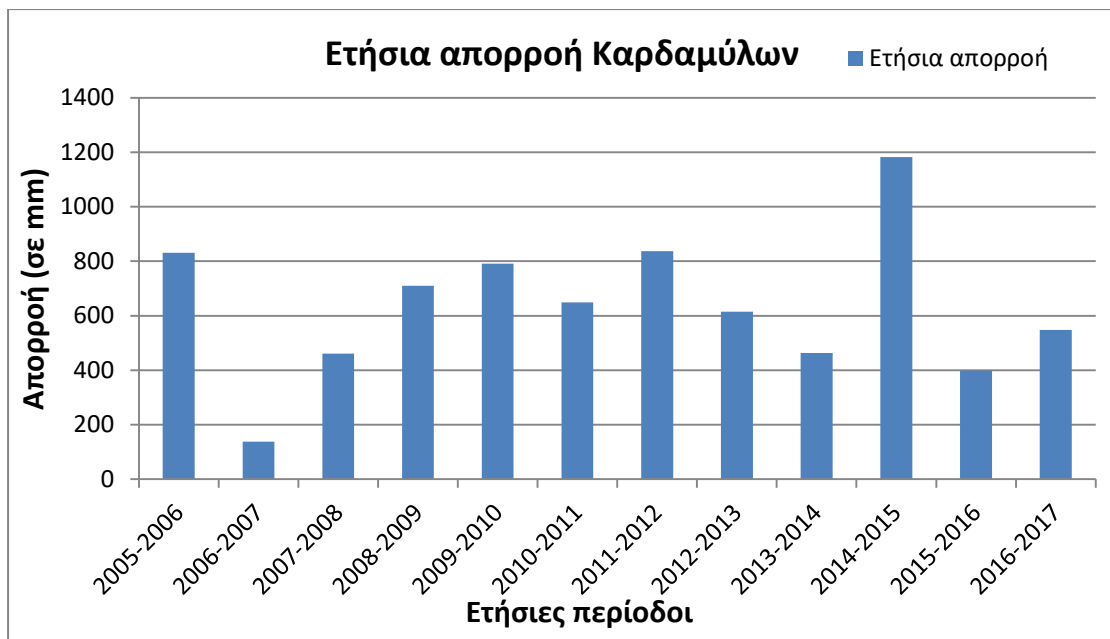
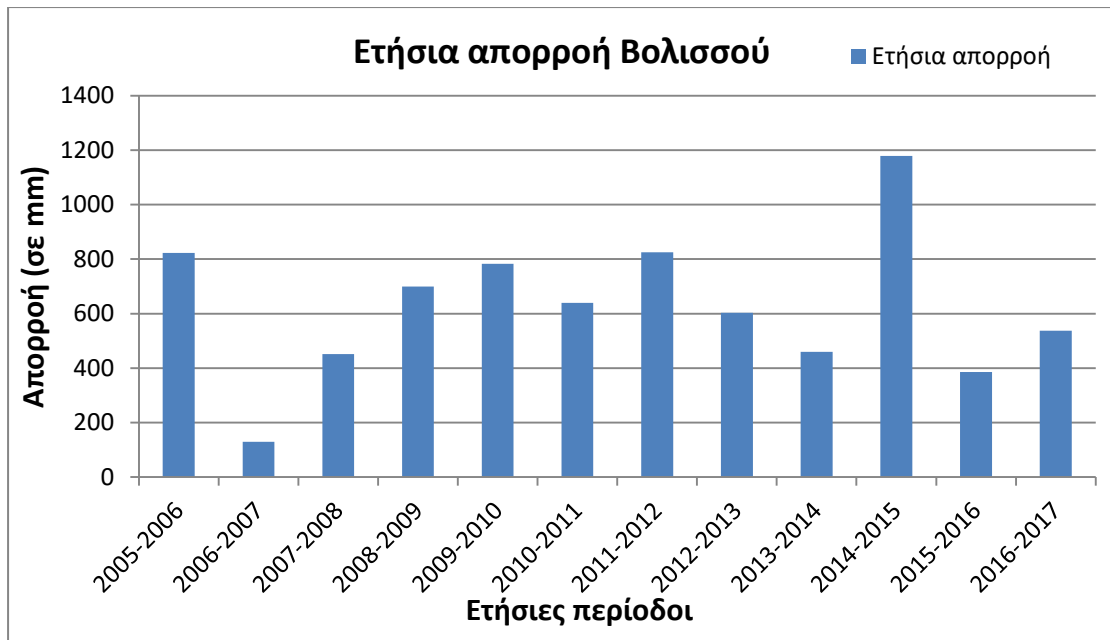
Ιστοσελίδες

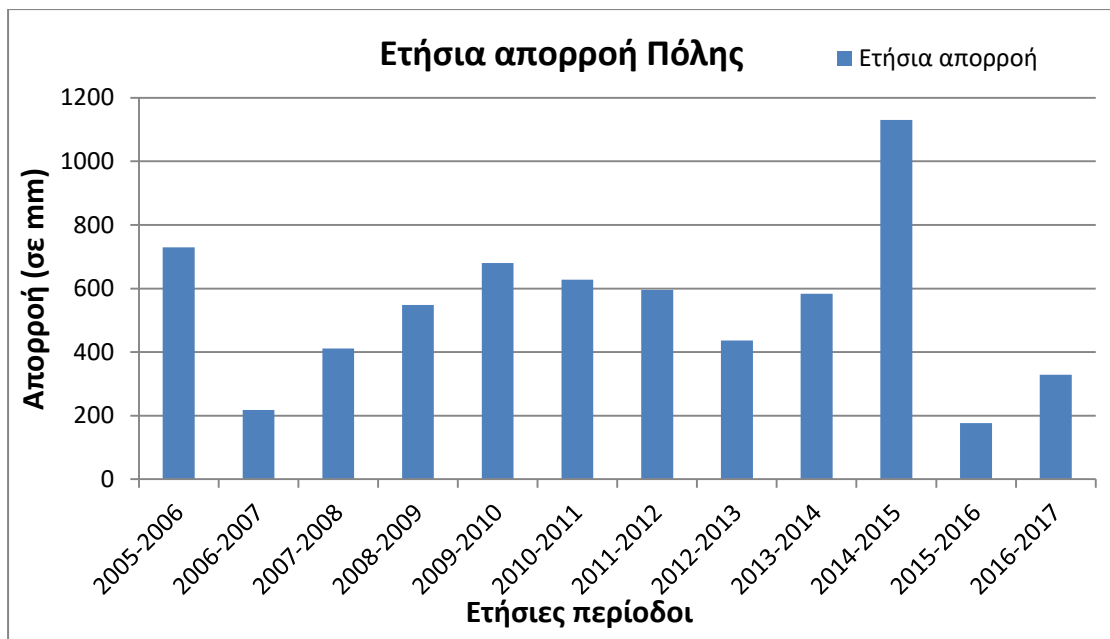
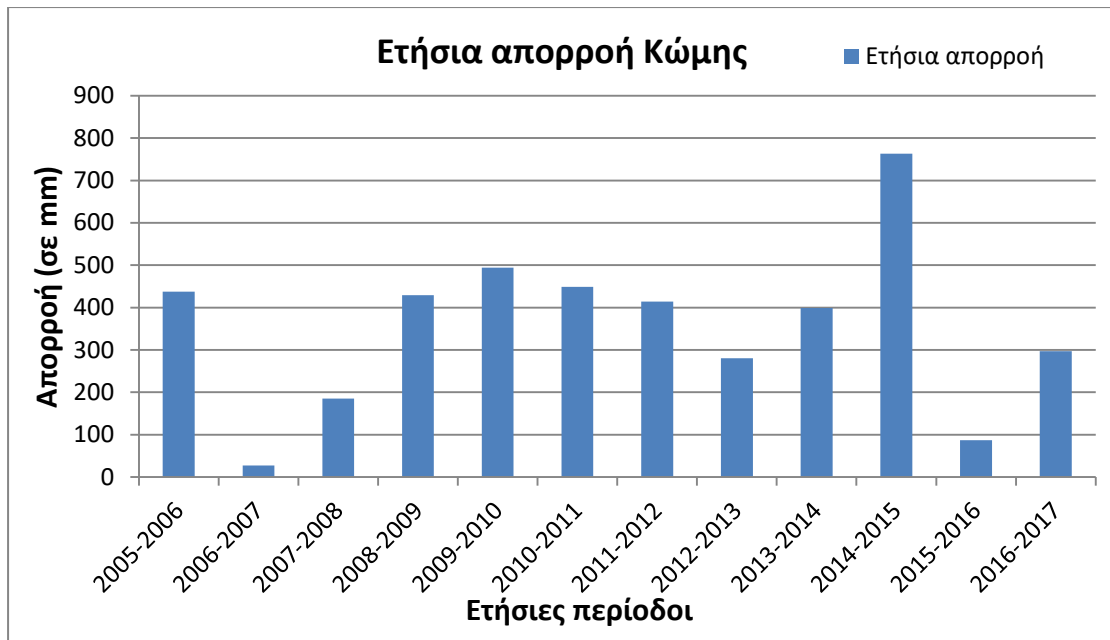
- Copernicus (<http://www.copernicus.eu/>)
- European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu>)
- Geodata (<http://geodata.gov.gr/>)

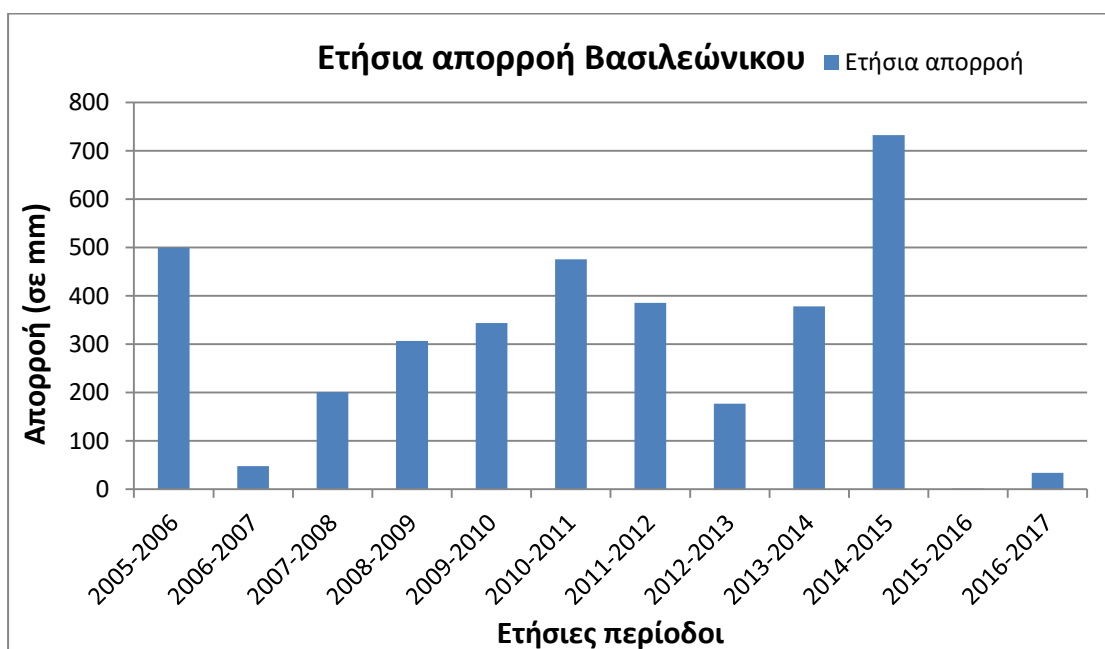
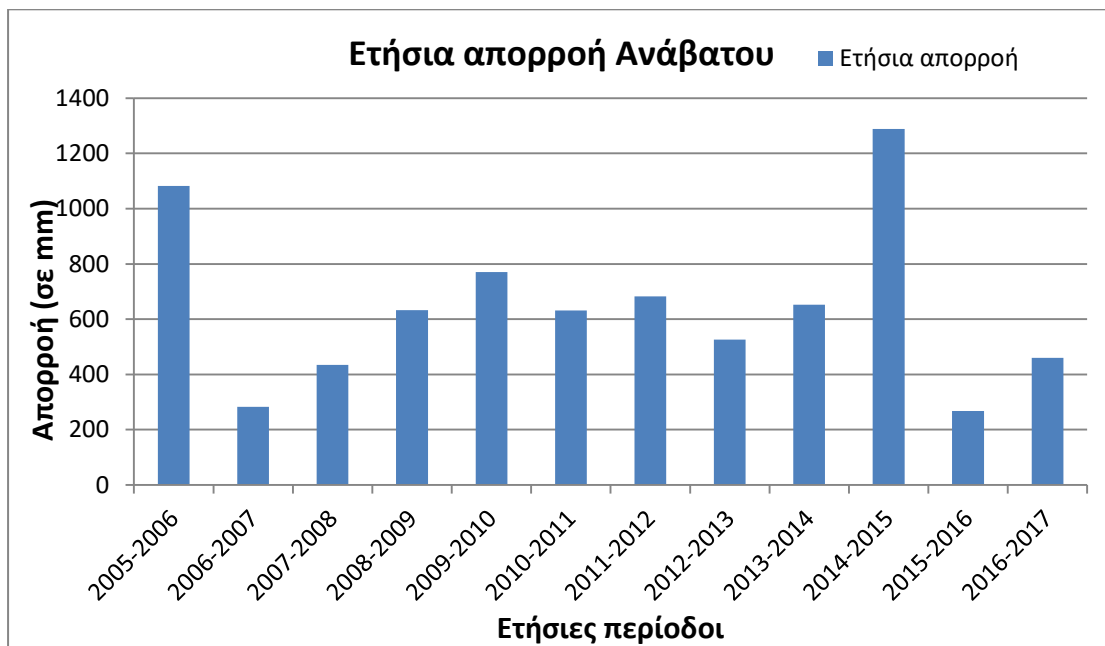
Παράρτημα Ι: Ετήσιες απορροές κατά Thornthwaite και Thomas

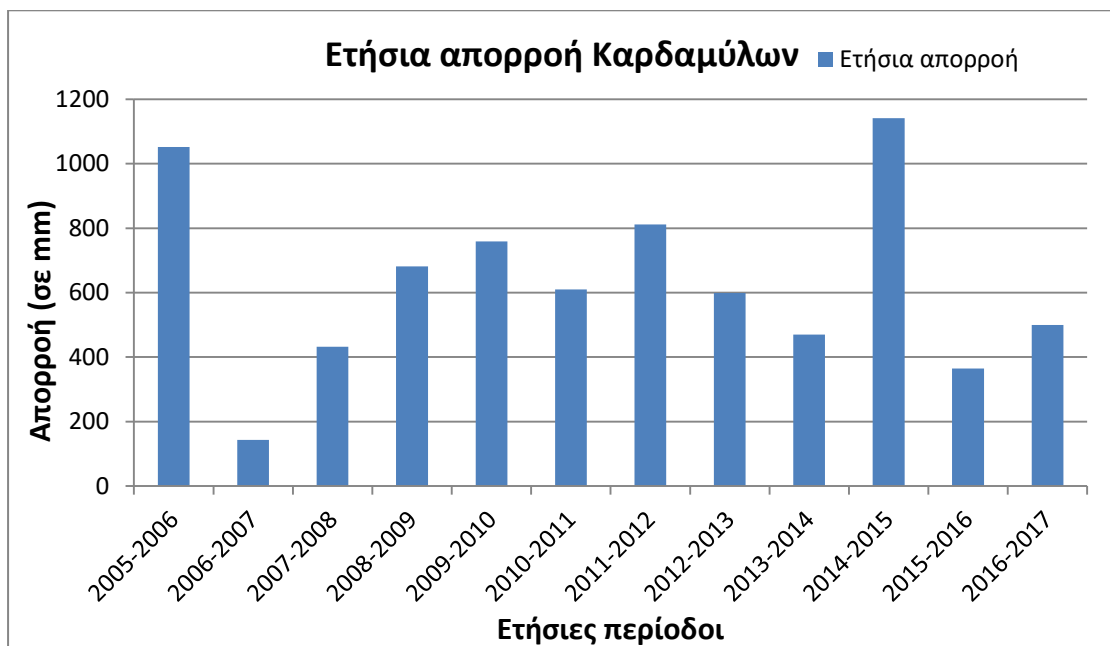
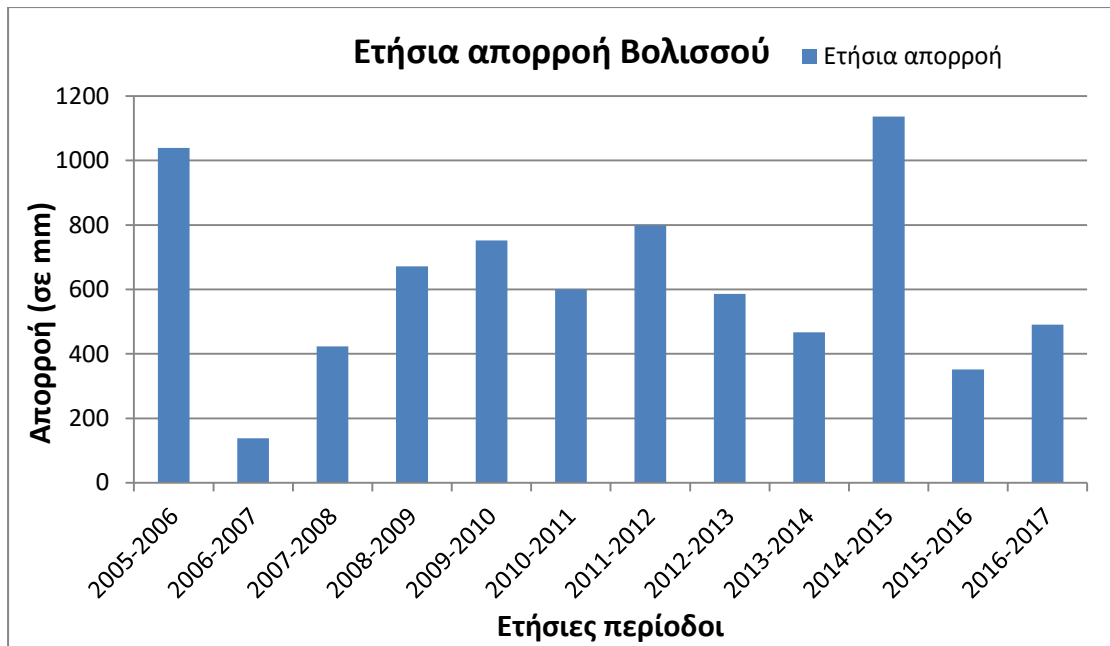
Μοντέλο Thornthwaite

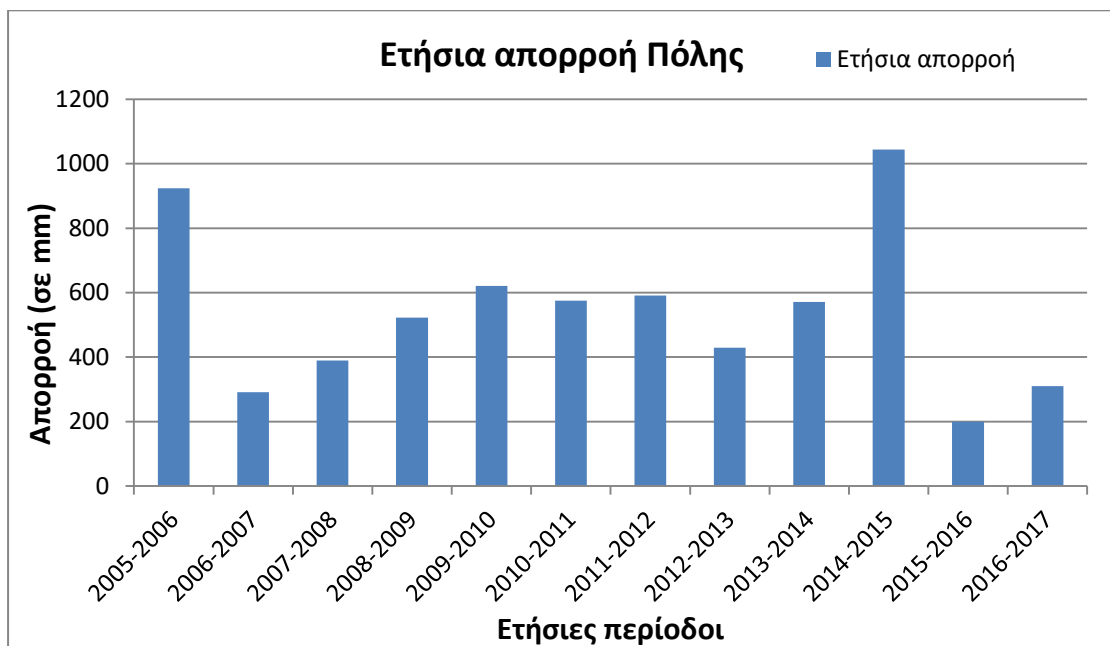
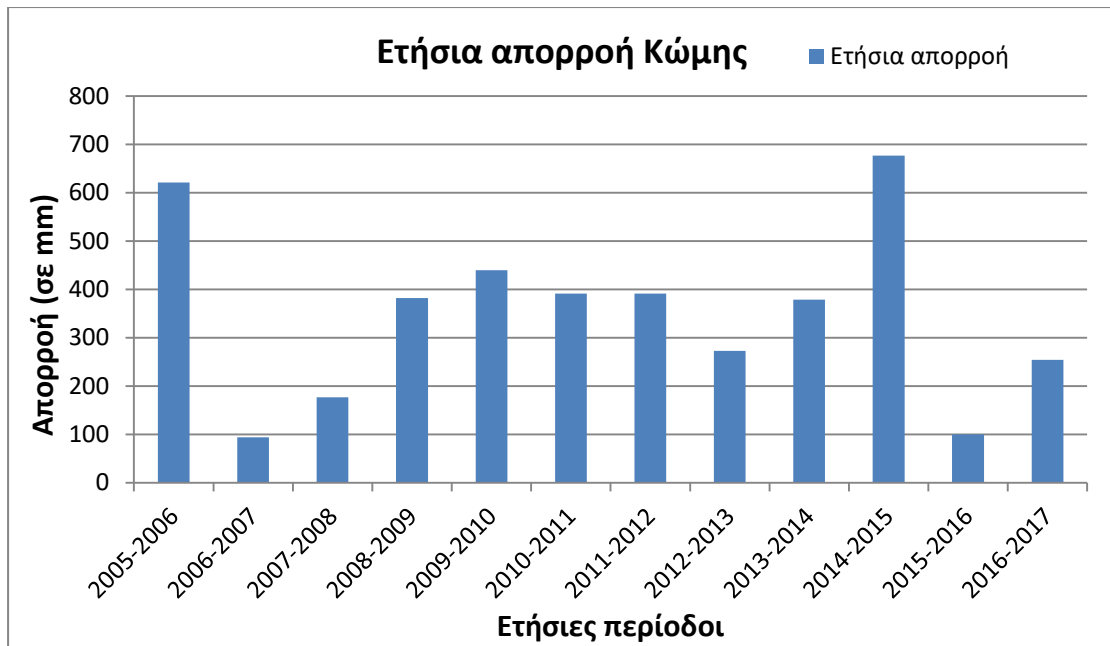




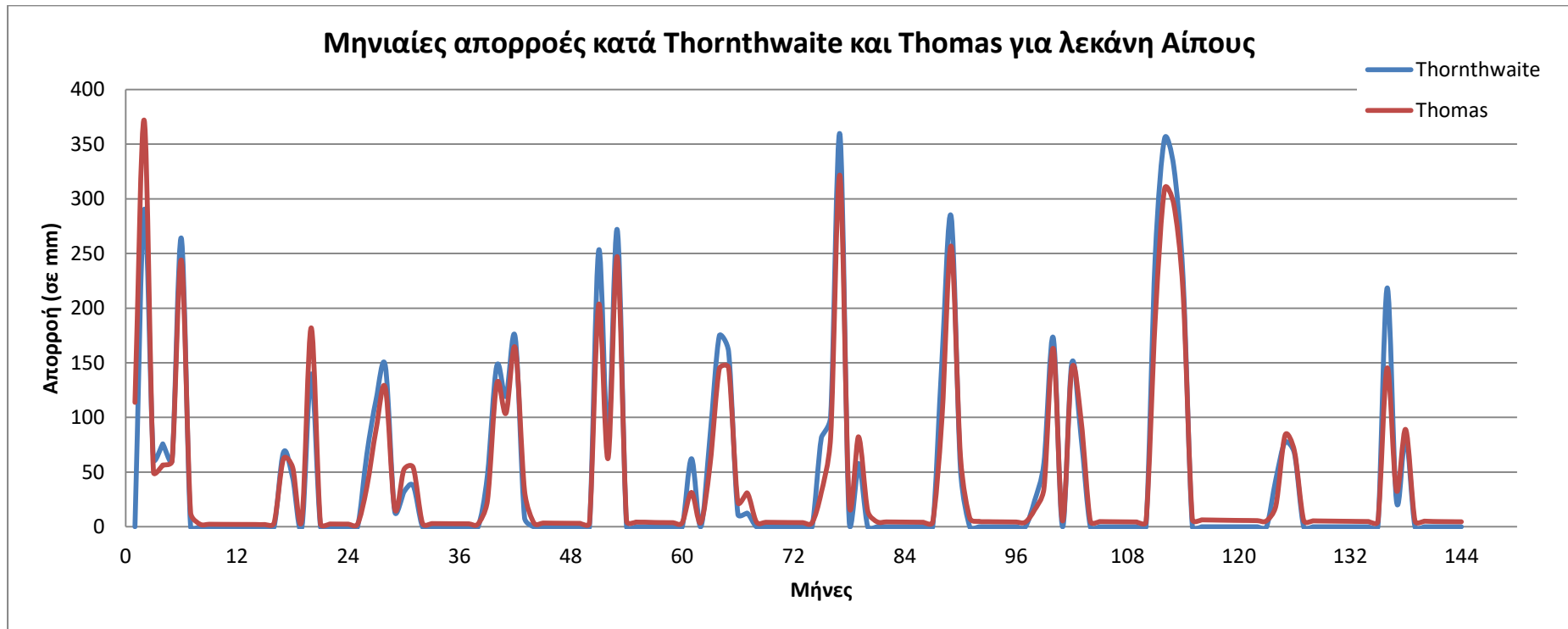




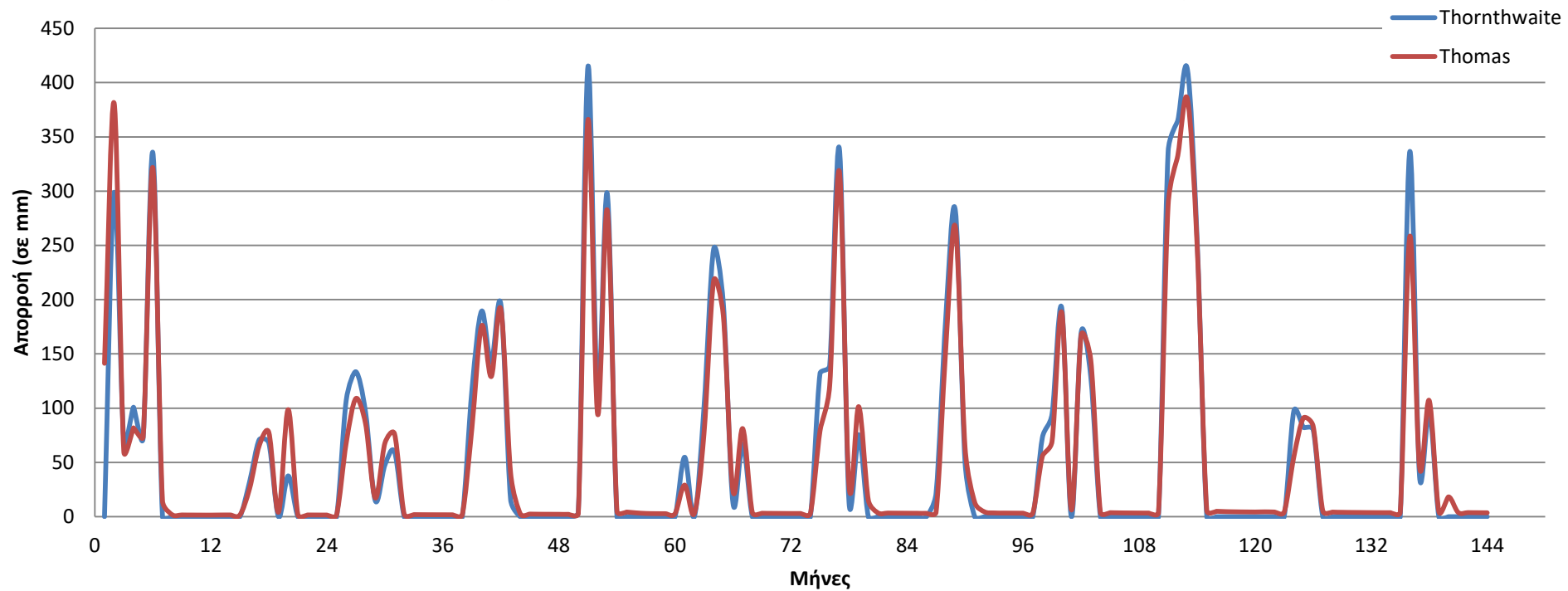




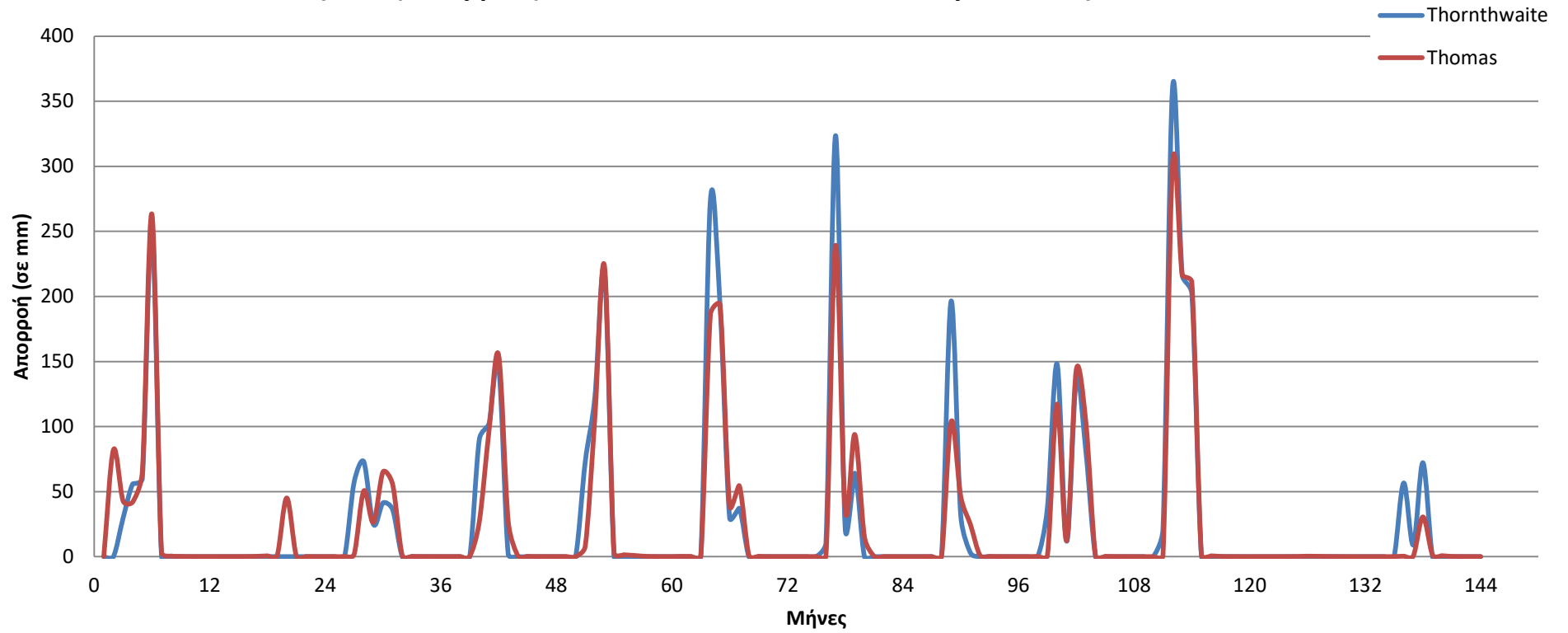
Παράρτημα II: Σύγκριση μηνιαίων απορροών κατά Thornthwaite και Thomas



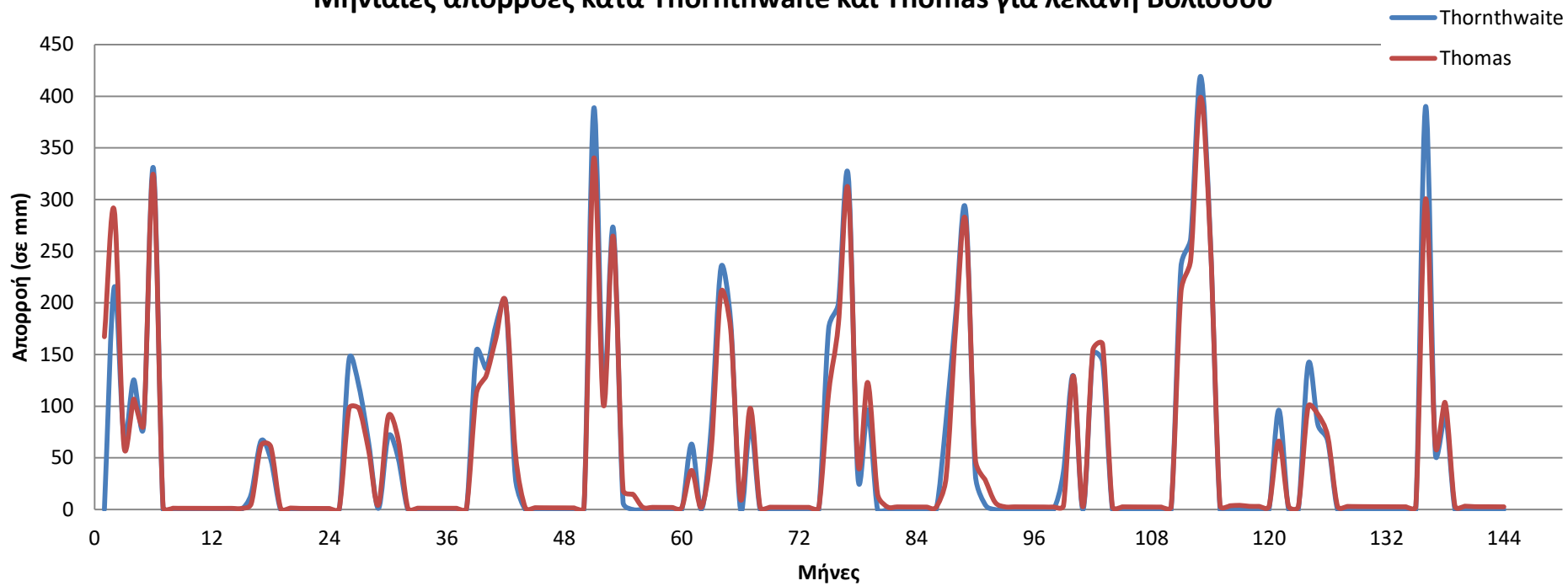
Μηνιαίες αποροές κατά Thornthwaite και Thomas για λεκάνη Ανάβατου



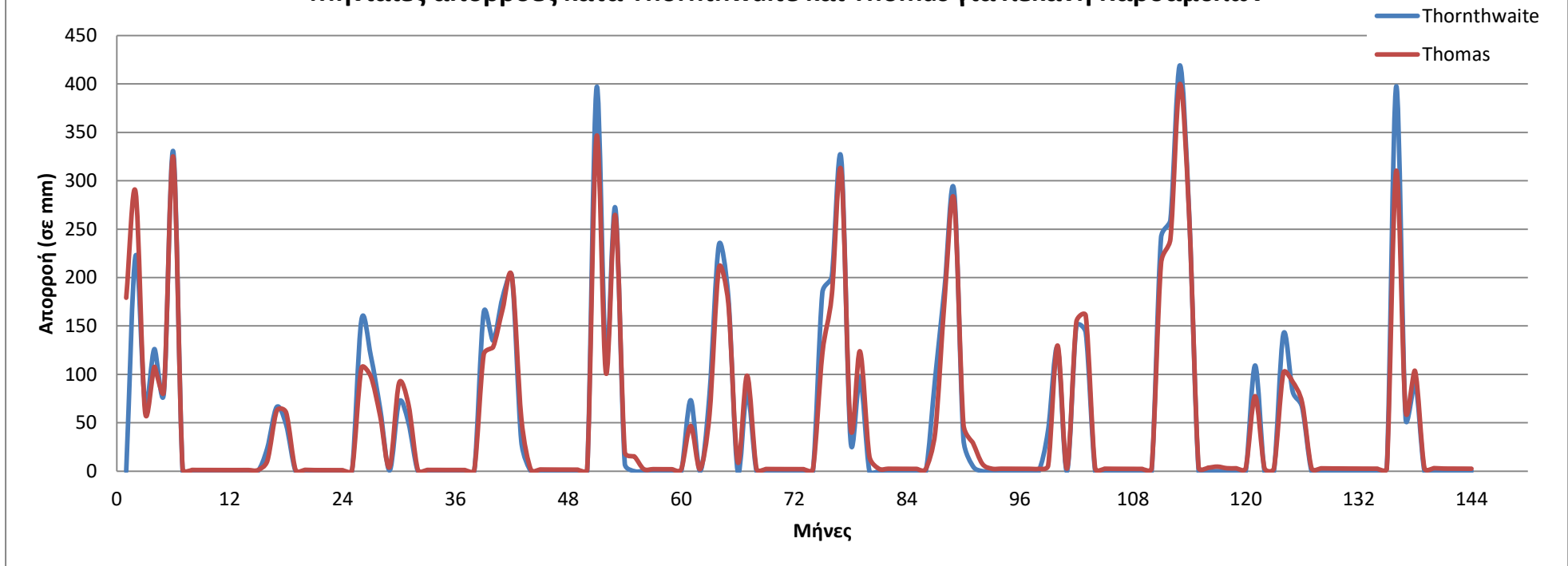
Μηνιαίες απορροές κατά Thornthwaite και Thomas για λεκάνη Βασιλεώνικου



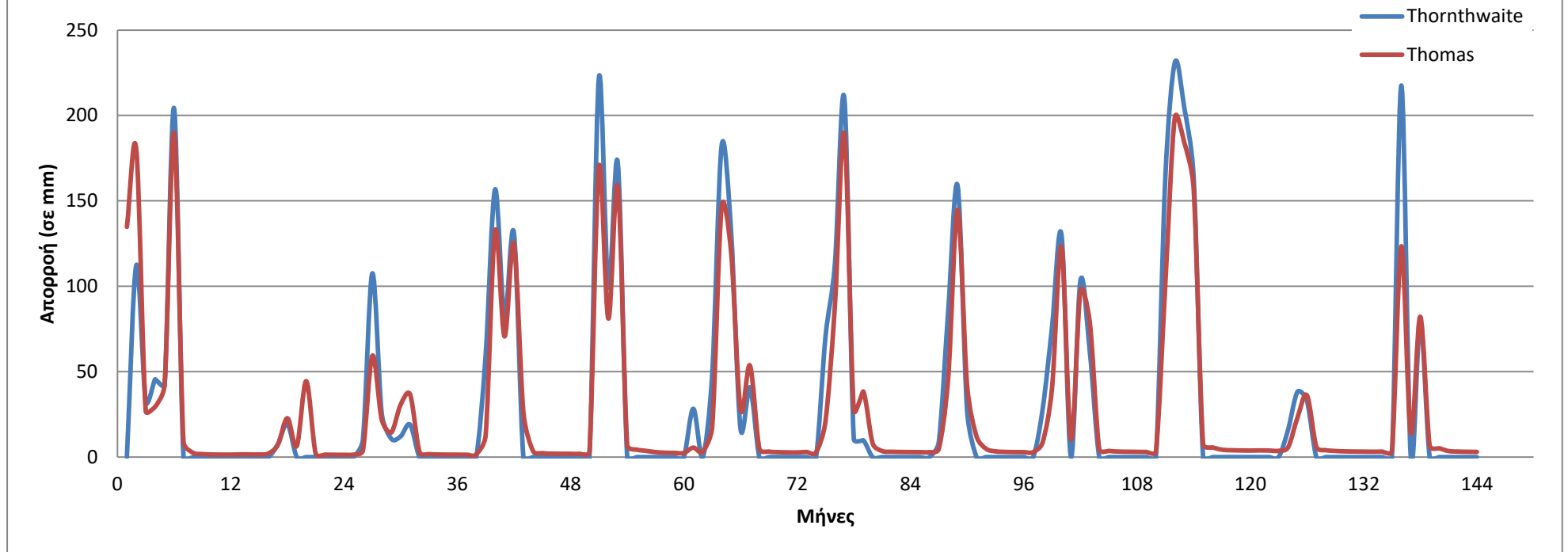
Μηνιαίες απορροές κατά Thornthwaite και Thomas για λεκάνη Βολισσού



Μηνιαίες απορροές κατά Thornthwaite και Thomas για λεκάνη Καρδαμύλων



Μηνιαίες απορροές κατά Thornthwaite και Thomas για λεκάνη Κώμης



Μηνιαίες απορροές κατά Thornthwaite και Thomas για λεκάνη Πόλης

