



**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ
ΟΡΕΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ**

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΟΡΕΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»**

**Βέλτιστη χωροθέτηση υδρομετεωρολογικών –
υδρομετρικών σταθμών με χρήση μεθόδων GIS
στην ΠΕ Ρεθύμνου**

Χαράλαμπος Λεοντίδης

Επιβλέπων καθηγητής:

Ε. Μπαλάς

Τριμελής επιτροπή:

Ε. Μπαλάς

Β. Τσιχριντζής

Ν. Μαμάσης

Αθήνα

Ιούνιος 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
EXTENDED ABSTRACT	iii
<i>Introduction</i>	iii
<i>Study area and Data used</i>	iv
<i>Methodology</i>	iv
<i>Results – Discussion</i>	viii
Hydrometeorological station network	viii
Hydrometric station network	x
<i>Conclusion – Future research</i>	xv
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	2
2.1 Λεκάνη Πρασσανού	3
2.2 Λεκάνη Πετρέ.....	5
2.3 Λεκάνη Πλατύ	8
2.4 Λεκάνη Γεροποτάμου.....	10
3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	13
3.1 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους.....	14
3.1.1 Λεκάνες απορροής	14
3.1.2 Κύρια υδατορέματα.....	19
3.1.3 Υψόμετρο.....	20
3.1.4 Κλίσεις.....	21
3.2 Θέσεις οικισμών.....	22
3.3 Σημεία υδροληψίας	23
3.4 Οδικό δίκτυο	24
3.5 Γέφυρες.....	25
3.6 Πλημμυρικός κίνδυνος.....	26
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	27
4.1 Πολυκριτηριακή Ανάλυση (MCDA)	27
4.2 Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP).....	27

4.3	Σταθμισμένος Γραμμικός Συνδυασμός (WLC).....	29
4.4	Κριτήρια χωροθέτησης υδρομετεωρολογικών σταθμών	29
4.4.1	Υψόμετρο.....	29
4.4.2	Κλίσεις.....	34
4.4.3	Οικισμοί.....	35
4.4.4	Οδικό δίκτυο.....	36
4.4.5	Σημεία υδροληψίας.....	37
4.5	Κριτήρια χωροθέτησης υδρομετρικών σταθμών.....	38
4.5.1	Απόσταση από οικισμούς.....	39
4.5.2	Ιστορικό πλημμυρών	41
4.5.3	Κλίσεις.....	42
4.5.4	Απόσταση από συμβολές	43
4.5.5	Απόσταση από το οδικό δίκτυο.....	44
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
5.1	Χωροθέτηση υδρομετεωρολογικών σταθμών.....	45
5.1.1	Πρασσανός	45
5.1.2	Πετρές.....	47
5.1.3	Πλατύς	49
5.1.4	Γεροπόταμος.....	51
5.2	Χωροθέτηση υδρομετρικών σταθμών.....	53
5.2.1	Σενάριο 1	54
5.2.1.1	Ανάλυση ΑΗΡ	54
5.2.1.2	Επιλογή τοποθεσίας.....	55
5.2.2	Σενάριο 2	61
5.2.2.1	Ανάλυση ΑΗΡ	61
5.2.2.2	Επιλογή τοποθεσίας.....	62
5.2.3	Σενάριο 3	69
5.2.3.1	Ανάλυση ΑΗΡ	69
5.2.3.2	Επιλογή τοποθεσίας.....	70
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	78
6.1	Σύνοψη.....	78
6.2	Συμπεράσματα.....	78
6.2.1	Γενικά.....	78
6.2.2	Ειδικά.....	79
6.3	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	80
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Ευάγγελο Μπαλτά. Ο ίδιος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και να αποκτήσω πολλές νέες γνώσεις στο αντικείμενο καθώς και στη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μπαλτά καθώς και τον αναπληρωτή καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Νίκο Μαμάση για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν στον τομέα των υδατικών πόρων κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, οι οποίες αποτέλεσαν και έναυσμα για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής. Επίσης τον καθηγητή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ κ. Βασίλειο Τσιχριντζή ως μέλος της τριμελούς επιτροπής.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα την υποψήφια διδάκτορα της σχολής των Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Αιμιλία Θεοχάρη για την αμέριστη βοήθειά της η οποία υπήρξε καταλυτικός παράγοντας για την έγκαιρη ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα άτομα που κρατάνε ζωντανό το «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών» για όσα μου προσέφεραν και συνεχίζουν να προσφέρουν και σε άλλους μεταπτυχιακούς φοιτητές μετά από εμένα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναπτύσσει δύο διαφορετικά θέματα, την μεθοδολογία της χωροθέτησης ενός δικτύου υδρομετεωρολογικών σταθμών και την μεθοδολογία της χωροθέτησης ενός δικτύου υδρομετρικών σταθμών. Οι δύο διαδικασίες βασίζονται στη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και έχουν πολλά κοινά σημεία. Η λήψη της απόφασης για τις τελικές θέσεις των σταθμών βασίζεται και στις δύο μεθοδολογίες στην Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA). Στα πλαίσια αυτής της ανάλυσης, κατά το σχεδιασμό του δικτύου υδρομετρικών σταθμών, χρησιμοποιείται η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) προκειμένου να υπολογιστούν τα βάρη των κριτηρίων, σε αντίθεση με το σχεδιασμό του δικτύου υδρομετεωρολογικών σταθμών όπου τα κριτήρια θεωρούνται ισοβαρή. Και στις δύο περιπτώσεις δικτύων η σύνθεση των κριτηρίων πραγματοποιείται Στην ανάλυση αυτή, στην περίπτωση της χωροθέτησης του υδρομετεωρολογικού δικτύου, τα κριτήρια εισάγονται με την χρήση του Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού (WLC). Στην περίπτωση της χωροθέτησης του υδρομετρικού δικτύου, τα κριτήρια εισάγονται στην μέθοδο λήψης αποφάσεων με την χρήση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP). Οι δύο μεθοδολογίες που παρουσιάζονται έχουν πολλά κοινά σημεία στην δομή τους αλλά και στον στόχο τους, ο οποίος είναι η συλλογή κλιματικών και μετεωρολογικών δεδομένων και η πλημμυρική πρόληψη. Η χωροθέτηση των δύο δικτύων γίνεται στη Περιφερειακή Ενότητα (ΠΕ) Ρεθύμνου η οποία τα τελευταία τέσσερα χρόνια πλήττεται από έντονα πλημμυρικά φαινόμενα που θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και προκαλούν σημαντικές ζημιές των οποίων η αποκατάσταση είναι δύσκολη και συχνά ανέφικτη. Για την ΠΕ Ρεθύμνου ακόμα, δεν υπάρχουν επαρκείς καταγραφές χρονοσειρών δεδομένων, επαρκών για την δημιουργία μοντέλων πλημμυρικής πρόληψης. Οι λεκάνες απορροής που εξετάζονται είναι οι τέσσερις μεγαλύτερες της ΠΕ Ρεθύμνου, αυτές των: Γεροποτάμου, Πλατύ, Πετρέ και Πρασσανού. Η χωροθέτηση γίνεται βάση κριτηρίων που προτείνει ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) τα οποία είναι προσαρμοσμένα στα ελληνικά γεωμορφολογικά δεδομένα.

Λέξεις - κλειδιά: Δίκτυο υδρομετεωρολογικών σταθμών, Δίκτυο υδρομετρικών σταθμών, Ρέθυμνο, πλημμύρες, ΣΓΠ, Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία, Πολυκριτηριακή Ανάλυση

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Regional Unit of Rethymno in recent years has been affected by floods that cause significant damage, absorb large sums for their restoration and endanger human lives. Prevention as well as targeted planning and design of public and private projects are necessary conditions for reducing social, environmental and economic costs as well as ensuring smooth living conditions in periods characterized by intense downpours of long duration. However, for the planning of a prevention and treatment strategy, the existence of reliable and sufficient hydrometeorological data is necessary. The main means of data recording, aimed at preventing flood disasters, are hydrometric stations. When these stations compose a network covering the main catchments in the Regional Unit, they can provide reliable data. The measurement of surface water flow provided by the hydrometric network, in addition to the applications it can find at research level, is necessary for flood prevention and for the proper dimensioning of technical infrastructure projects. The proposed network of hydrometeorological stations also contributes through the data collected to the creation of meteorological and flood models that can serve as a guide for decision-making during project design and flood management practices. The time series of the recorded variables that will be gradually formed will be an important research deposit for the Regional Unit of Rethymno and will contribute significantly to the monitoring of the climatic conditions of the area.

The rainfall in Crete in recent years has become significantly more intense causing major damage. This is not a new phenomenon for the island, since the climate of Crete goes through wet and dry periods during which the amount of precipitation in the past has changed by up to 28%(1). What is changing today, however, is the management of surface water, the nature of the activities of the locals and the materials used. In many places delicate balances were maintained by the locals. Through their oral testimonies, residents of Margarites, a village in Rethymno area, present practices related to flood risk management. Among them are the annual cleaning and maintenance of the furrows that drained the rainwater into the torrent, the awareness through the oral memory of the course of water in some great downpour of the past and the knowledge of the cracks that only in intensely rainy winters gush water. The disappearing of such practices gives way to a systematic approach to water resources management. This employs as observation and recording instruments, the networks of hydrometeorological and hydrometric stations and the time series of collected data, in place of the empirical approach and the collective and oral memory.

Key-words: Rethymno, gauging station network, hydrometeorological station network, floods, GIS, AHP

Study area and Data used

In the Prefecture of Rethymno, there were selected the four largest basins to be studied. These are the basins of Geropotamos (374km²), Platys (211km²), Petres (125km²) and Prassanos (125km²). All of these basins except that of Platys face serious flood problems and also all of them are morphologically heterogeneous. The ones of Petres and Prassanos lie in less mountainous areas than the other two, with the one of Prassanos being the most densely inhabited of the four basins. The basin of Geropotamos is a mostly mountainous area, containing the biggest part of the north slopes of Psiloritis Mountain and the basin of Platys lies between the southwestern slopes of Psiloritis and the Southern Cretan Sea, having a mostly planar surface. The average annual rainfall in Rethymno Prefecture is more than 900mm while that of the whole island is 927mm. The highest average annual rainfall in Rethymno is 1370mm in Garazo which belongs to the basin of Geropotamos. The lowest is 570mm in Agia Galini, which is located by the side of the Platys' estuary. Only about 10% out of the total precipitation in Crete ends up to the sea through the surface water currents. Out of the rest, the largest part gets lost through evapotranspiration (61%). In combination with the high rainfall, the intense relief of the island makes most of the rivers particularly rapid, resulting in the deposition of significant amounts of sediments on the shores. Apart from the rainfall and the relief, the rocks of the island also contribute to the formation of the rivers, most of which (45-50%) are carbonate and therefore water permeable. This fact, in combination with the tectonic structures that appear on the island, leads to the large infiltration of water into the underground aquifer(2).

Regarding the data used in this study, Ktimatologio A. E. granted initially normalized raster files that constitute the Digital Elevation Model of the Prefecture of Rethymno. The pixel size of the DEM is 5.00m and each DEM sign has dimensions of 4600x3600m, with a perimeter overlap of 300m, followed by a 1:5000 scale ΕΓΣΑ87 distribution. The type of files is img. The geometric accuracy of the product is $RMSEz \leq 2,00m$ and the absolute accuracy $\leq 3,92m$ for a 95% confidence level. In order to display the study area in the ArcGIS environment, a shapefile (.shp) that came from the site <http://geodata.gov.gr/> was introduced that contained the borders of Rethymno Prefecture. The roads of Rethymno were retrieved from the database of www.openstreetmap.org, the land use and position of the settlements were retrieved from https://land.copernicus.eu/acl_users site for 2020 land cover and introduced to ArcGIS as shapefile. This shapefile was corrected because several settlements appeared to be missing. Finally, the data about the flood danger in Rethymno Prefecture was retrieved from the Copernicus Emergency Management Service site (<https://emergency.copernicus.eu/>) as also from various local sites reporting the locations of the flood disasters of the past four years.

Methodology

This study aims to the optimal positioning of a hydrometeorological and a hydrometric station network in the streams of Rethymno Prefecture. The tools used for decision making was MCDA (Multi – Criteria Decision Analysis), AHP (Analytical Hierarchy Process) and WLC (Weighted Linear Combination). During the process followed, it was necessary the combination of geographic data and its transformation to a

resulting decision. MCDA is an attempt of creating a standardized procedure of processing some input maps to result to answers regarding a specific problem. This is done by linking factors and weighting criteria regarding to their importance. First of all, the general problems and the objectives are identified, followed by the criteria and the alternatives. In the second phase, criteria are evaluated according to the judgment of the decision makers and to their perception of the problem and its optimal solution. Finally, the method of composing the criteria is chosen and the gravity coefficients are set. Thus the final results of the alternatives are produced and the proposal is based on the evaluation of the different alternative options.

In the present study, the two general problems were the optimal siting of a hydrometeorological station network and the optimal siting of hydrometric station network based on three different scenarios, one regarding the flood damage prevention, one regarding the facilitation of the network’s installation and usage and one regarding the minimization of the measurement error. All the calculations and compositions of geographical data were made in ArcGIS environment.

Regarding the siting of the hydrometeorological station network, there were formed three categories of criteria. The geomorphological criteria that concern the altitude and slope, the technical criteria, concerning the proximity to settlements, to the road network and to drillings and finally the geometrical criteria, concerning the optimal covering of the area. The criteria used for numeric calculations are shown in Table 1. All criteria, except the altitude and the geometrical ones were the combined into MCDA by the WLC method. For each criterion, a Boolean value of 0 or 1 was given to each pixel regarding the spot’s compliance with the specific criterion. All values were aggregated using the same weighting factor. Thus, each pixel had a final value between 0 and 4 depending on how many of the four combined criteria were satisfied. Then the stations were sited on pixels with a score of 4, giving priority to the even coverage of all altitude zones. Finally the siting of the stations was checked and modified according to the compliance of the geometrical criteria so that the whole Rethymno Prefecture was covered as evenly as possible (Figure 1).

Table 1: Siting criteria for the hydrometeorological station network.

Criterion	Constraint
Altitude	Altitude zones were formed as suggested by SOTER program of WMO (3) which should be evenly covered by the hydrometeorological network
Ground slope	Ground slope should be smaller than 5% with smaller values being more favorable
Distance from Settlements	Stations should be positioned no more than 1km away from the settlements
Distance from the road network	Stations should be positioned no more than 200m away from the road network
Distance from drillings	Stations should be positioned no more than 500m away from the closest drilling

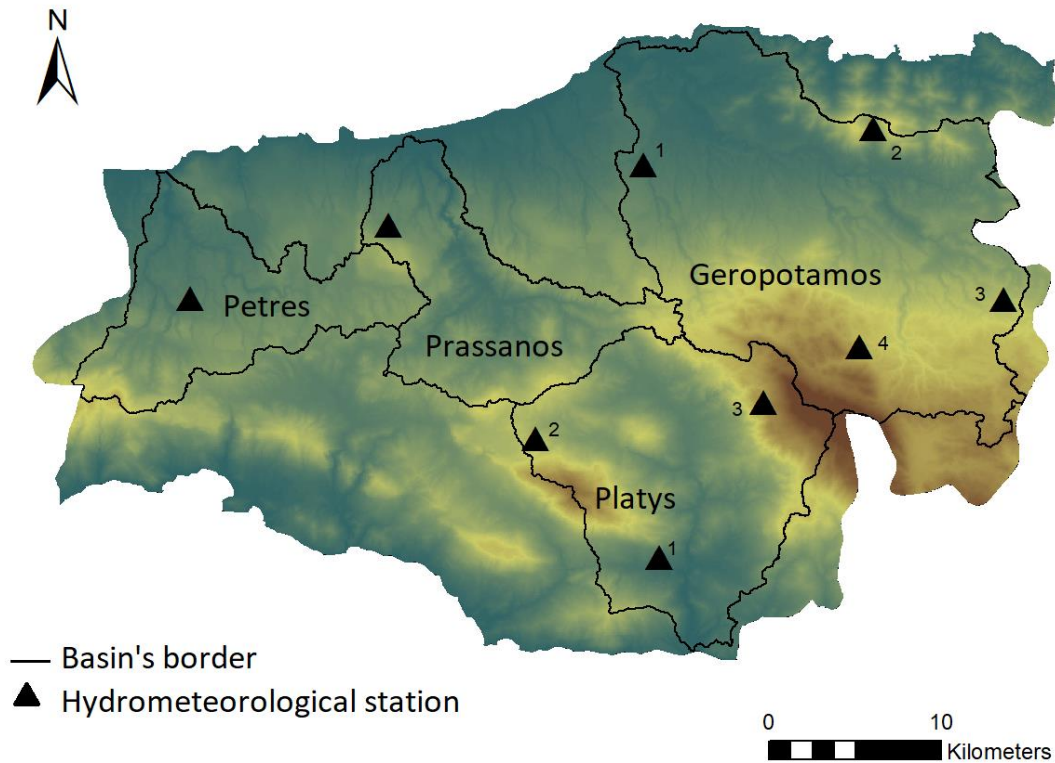


Figure 1: Hydrometeorological station network – map of the entire Rethymno Prefecture.

Regarding the siting of the hydrometric station network, the five general criteria applied were the proximity to settlements, the flood damage history and evaluated flood risk of the area, the ground slope, the distance from current's junctions and the distance from the road network as shown in Table 2. These criteria were given different weights in each one of the three different scenarios with the use of the AHP as shown in Table 3.

Table 2: Siting criteria for the hydrometeorological station network.

Criterion	Constraint
Distance from Settlements	Stations should be positioned upstream of the settlements, as closer as possible to them but not closer than 500m.
Flood risk	Stations should be positioned upstream of a flood risk area but as closer as possible to it.
Ground slope	Acceptable ground slope was only any value lower than 2%.
Distance from stream junctions	Any position closer than 250m to a junction was not acceptable as a possible station position.
Distance from the road network	Stations should be put as close as possible to the road network and not further than 50m away of it.

Table 3: Weights of the five criteria for each different scenario.

Criterion	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Distance from settlements	0.254	0.240	0.148
Flood risk	0.388	0.143	0.065
Distance from junctions	0.162	0.075	0.299
Ground slope	0.067	0.049	0.448
Distance from road network	0.129	0.493	0.040

The AHP is an adoption of WLC that attempts to incorporate to the decision making process the human experience and knowledge with an importance equal to that of the available data (4). The process itself is composed by four stages:

1. The deconstruction of the problem to the objectives that compose it, allowing this way the pairwise comparisons between the criteria.
2. The comparative evaluation of all criteria in pairs.
3. The composition of the final weighted criteria.
4. The final decision.

Between the second and third step lies the computation of all the weights of the given criteria with the algorithm suggested by Saaty (4) and the verification of the method's consistency.

The weighted criteria were normalized to have values between 0 and 1, 1 being the most favorable value for the siting of a station. Then the criteria were multiplied by the weights calculated by AHP and added and the result was also normalized. This way a single layer was formed for each scenario with values between 0 and 1 for each pixel. Each basin was examined individually and the stations were positioned in the most highly evaluated spots that also complied with the special criteria of each scenario:

- The first scenario due to its flood preventing character required the stations to be sited on spots upstream of flood risk areas.
- The second scenario demanded the construction of a network whose stations are positioned on the most ergonomic spots regarding their installation and usage. Thus it was necessary for the stations to be positioned on a bridge, on the main road network.
- The third scenario tried to eliminate the measuring error so the stations were put on spots upstream and downstream of which, the stream is straight for a length at least equal to 10 times its width as suggested by the WMO (5).

Regarding the siting of stations on bridges, this criterion was actually considered important for all three scenarios and applied so that every hydrometric station is sited on a bridge.

Results – Discussion

Hydrometeorological station network

The suggested positions of the hydrometeorological stations network are presented in Figure 2 for the four basins:

Prassanos: There was sited one station in altitude of 365 at a location within the village of Kapediana, close to the road network, at a location with a slope of less than 2% and a distance of 280m from the nearest drillings.

Petres: There was sited one station in altitude of 282 meters at a location within the village of Roustika, close to the road network, at a location with a slope of less than 2% and a distance of 305m from the nearest drillings.

Platys:

1. There was sited one station in altitude of 241 meters at a location within the village of Orne, close to the road network, at a location with a slope of less than 2% and a distance of 329m from the nearest drilling block.
2. There was sited a second station in altitude of 818 meters at a location within the village of Gerakari, close to the road network, at a location with a slope of less than 2% and a distance of 152m from the nearest drilling block.
3. There was sited a third station in a location on a rural road, 2.8km northeast of the village Fourfouras. This location is at 1,448 meters altitude. In this place the criterion of proximity to a settlement is not met. Also, the criterion of proximity to a water intake point is not met. However, it was considered important to place stations in all altitude zones and at positions that evenly cover the catchment area. For this reason the station was sited in the specific location. The location is still close to the road network, at a point with a slope of less than 2%.

Geropotamos:

1. There was sited one station in altitude of 212 meters at a location within the village of Alfa, close to the road network, at a location with a slope of less than 2% and a distance of 110m from the nearest drilling.
2. There was sited a second station in a location on a rural road, near the village Apladiana. This location is at 545 meters altitude. In this place the criterion of proximity to a settlement is not met. Also, the criterion of proximity to a water intake point is not met. However, the position was chosen for reasons of even coverage of the basin and the altitude zones. The location is still close to the road network, at a point with a slope of less than 2%.
3. There was sited a third station in altitude of 845 meters at a location within the village of Anogeia, close to the road network, at a location with a slope of less than 2% and a distance of 400m from the nearest drilling.

- There was sited a fourth station in a location on a rural road, 4 kilometers south of the village of Zoniana. This location is at 1,207 meters altitude. In this place the criterion of proximity to a settlement is not met. However, the position was chosen for reasons of even coverage of the basin and the altitude zones. The location is still close to the road network, at a point with a slope of less than 2% and at a distance of 342m from the nearest drilling.

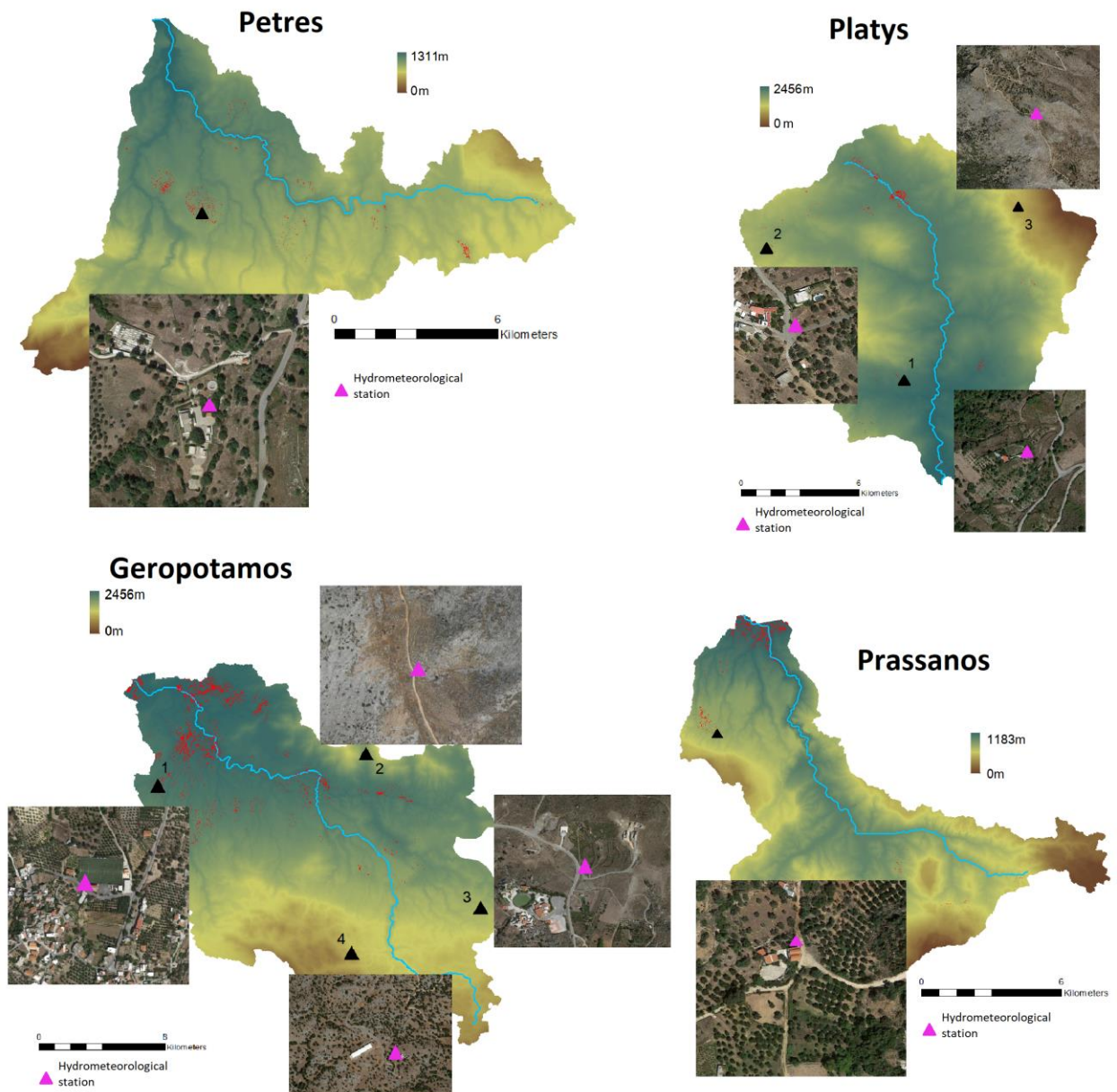


Figure 2: Suggested positions of the hydrometeorological stations in each of the four basins examined.

Hydrometric station network

The hydrometric station network was sites according to three different scenarios. The first scenario induced the use of the network as a successful means of flood damage prevention (Figure 3). The second scenario focused mainly to the siting of the station in the most ergonomic positions regarding the cost and facilitation of their functioning (Figure 4). The third scenario suggested positions that minimize the error of the stations' measurements (Figure 5).

1st Scenario

Prassanos: The station was sited in a position accessible by any vehicle, by the road network, on a bridge inside Prassanos Gorge. Although the position had a high grade (0.81), it was not amongst the top graded positions. It was chosen though because it is located upstream of the flood risk area that contains the eastern suburbs of Rethymno.

Petres: The station was cited 800 meters eastern of Karoti village, on a high graded spot with (0.99). But for the easier installation of the station, the final suggested location is located 230 meters downstream, on a bridge. The spot is located by the flood risk area that contains Karoti, Koufi, Archontiki and Episkopi villages.

Platys: The location chosen is the top evaluated (scores 0.92). This position is located 40 meters away of the road network, by the provincial road of Gerakari – Spili, 1.5 kilometer east of Monastiraki village.

Geropotamos: The station was sited upstream of the flood risk area of Zoniana – Krana provincial road. The position has a score of 0.82 and it is located on a bridge that forms part of the road network near the southwestern entrance to the village of Zoniana.

2nd Scenario

Prassanos: In Prassanos basin, the hydrometric station was sited downstream of the Potamoi dam. The location has a score of 1 by complying with all the criteria in the optimum way. It is also located on a bridge.

Petres: The site chosen has a score of 0.94 and it is located on a bridge, 2 kilometers north of Agios Konstantinos village. The position complies with all the requirements of the second scenario, as it has a high score and it is located on a bridge that forms part of the road network.

Platys: in Platys basin, the station is sited on a spot by a bridge with a score of 0.97. The position is 800 meters eastern of Monastiraki village and on the main road network of the area.

Geropotamos: In Geropotamos basin, the station is sited on a bridge 1.5 kilometer north of Perama village. The spot has a score of 0.97 and it is located on the main road network, 350 meters away of the main highway of the area.

3rd Scenario

Prassanos: In Prassanos basin, there was no spot with a score higher than 0.9 and also being in a position where the current is straight for a length 10 times larger than its width. For that reason, the spot chosen has a score of 0.24 and doesn't comply with the criterion of being upstream of a settlement. It is located near some commercial sites, 350 north of Giannoudi village. The spot's score is also low due to the slope criterion that is not complied on the specific pixel due to DEM accuracy errors as all other pixels around it comply with it. The spot was chosen because for a length of 200 meters upstream and 400 meters upstream of it, the current is straight with a width smaller than 15 meters.

Petres: The spot chosen has a score of 0.91 and is located in a distance of 30 meters away of the road network, in a position where the current is straight for a length of 225 meters upstream and downstream and its width is less than 15 meters. The spot is located 930 meters north of kalonyktis village.

Platys: The spot chosen in platys basin has a score of 0.2. The spot was chosen because it was the spot with the higher score where the current is straight upstream and downstream of it for a length at least 10 times greater than its width, as WMO implies.

Geropotamos: In the third scenario the position of the station in Geropotamos basin is the same as that of the second scenario. In the third scenario though, the position has a score of 0.29 but was chosen as the highest graded spot where the current is straight upstream and downstream for a satisfying length.

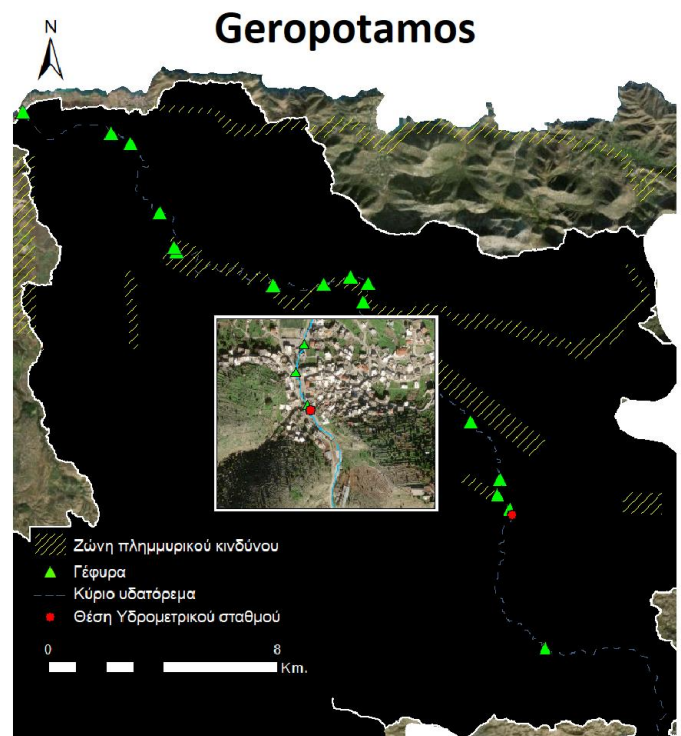
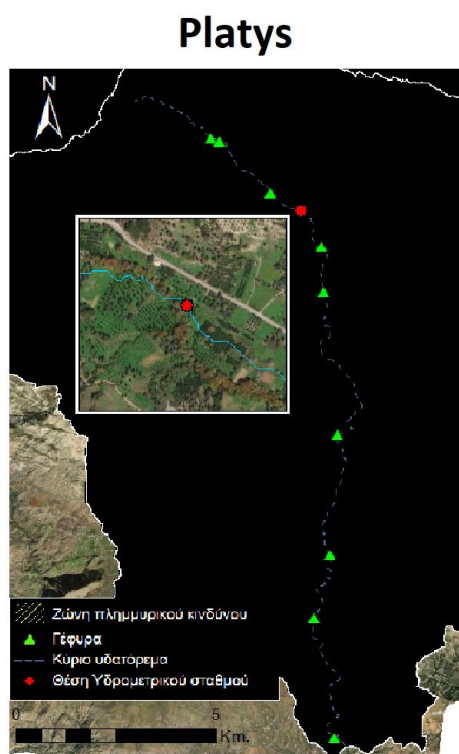
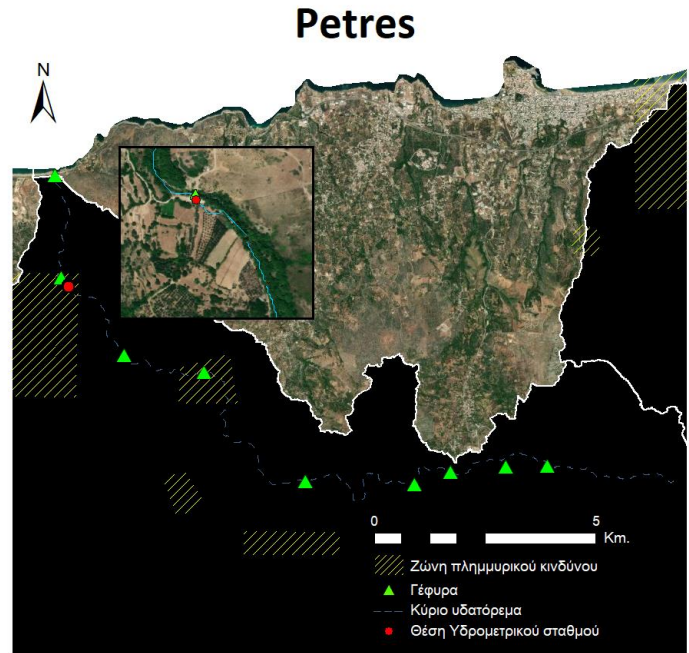
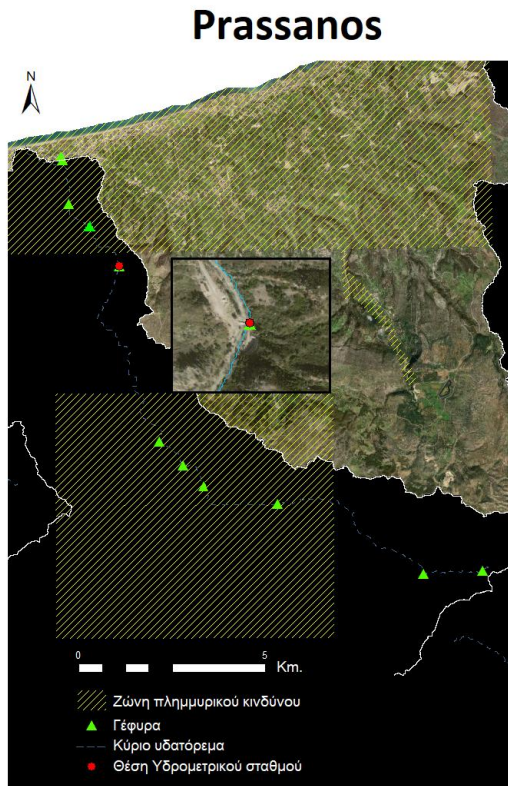


Figure 3: Suggested positions of the hydrometric stations in each of the four basins examined for scenario 1.

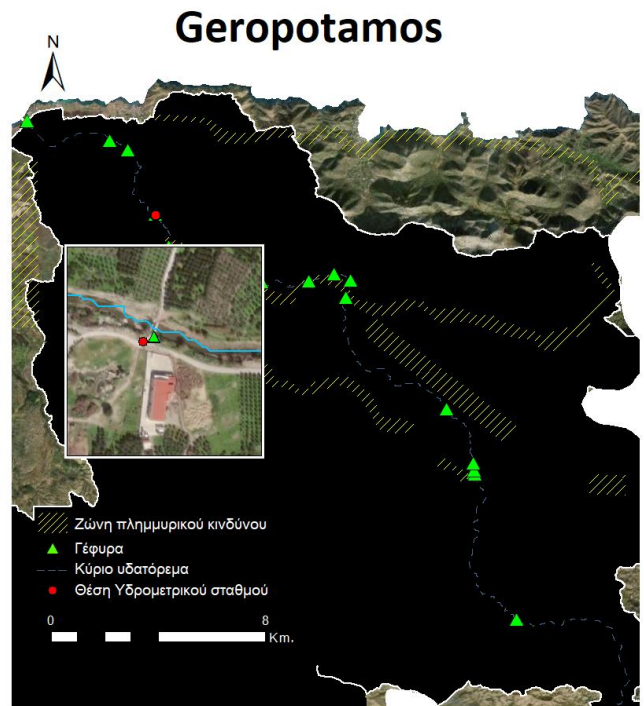
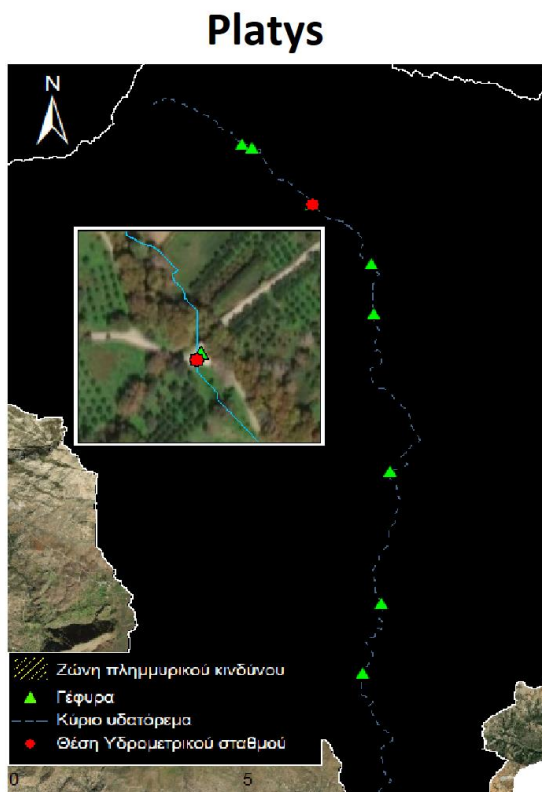
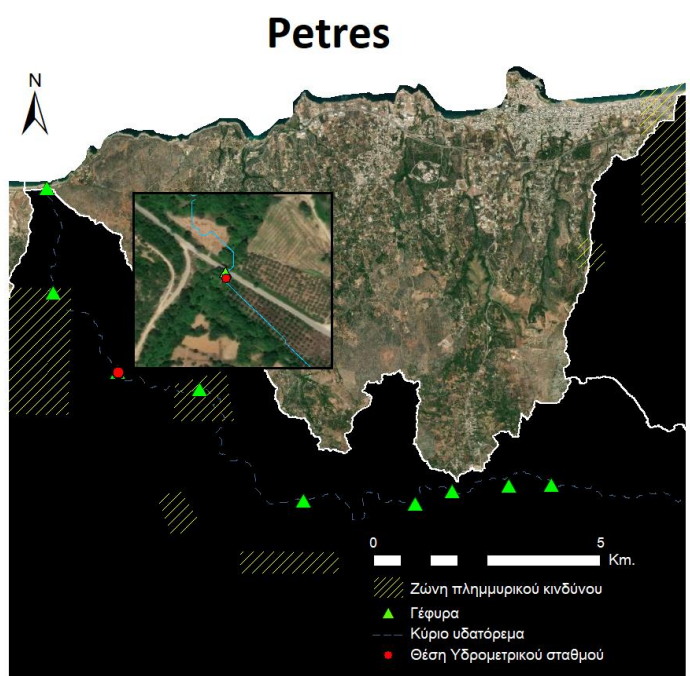
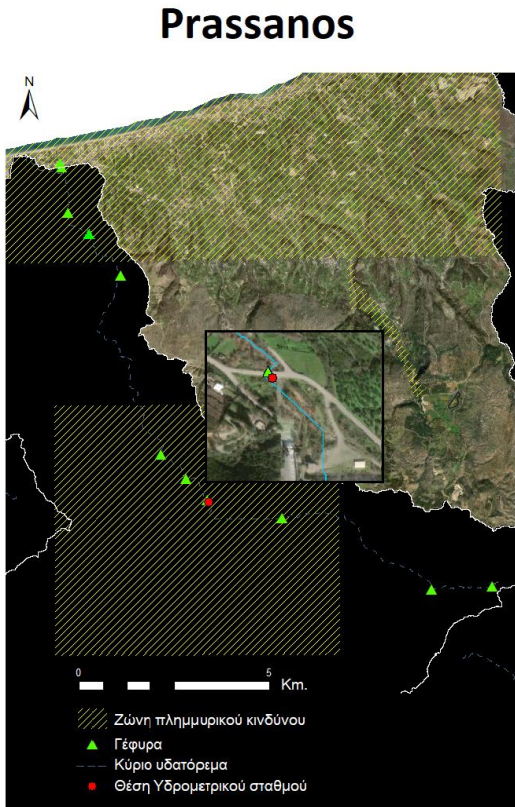


Figure 4: Suggested positions of the hydrometric stations in each of the four basins examined for scenario 2.

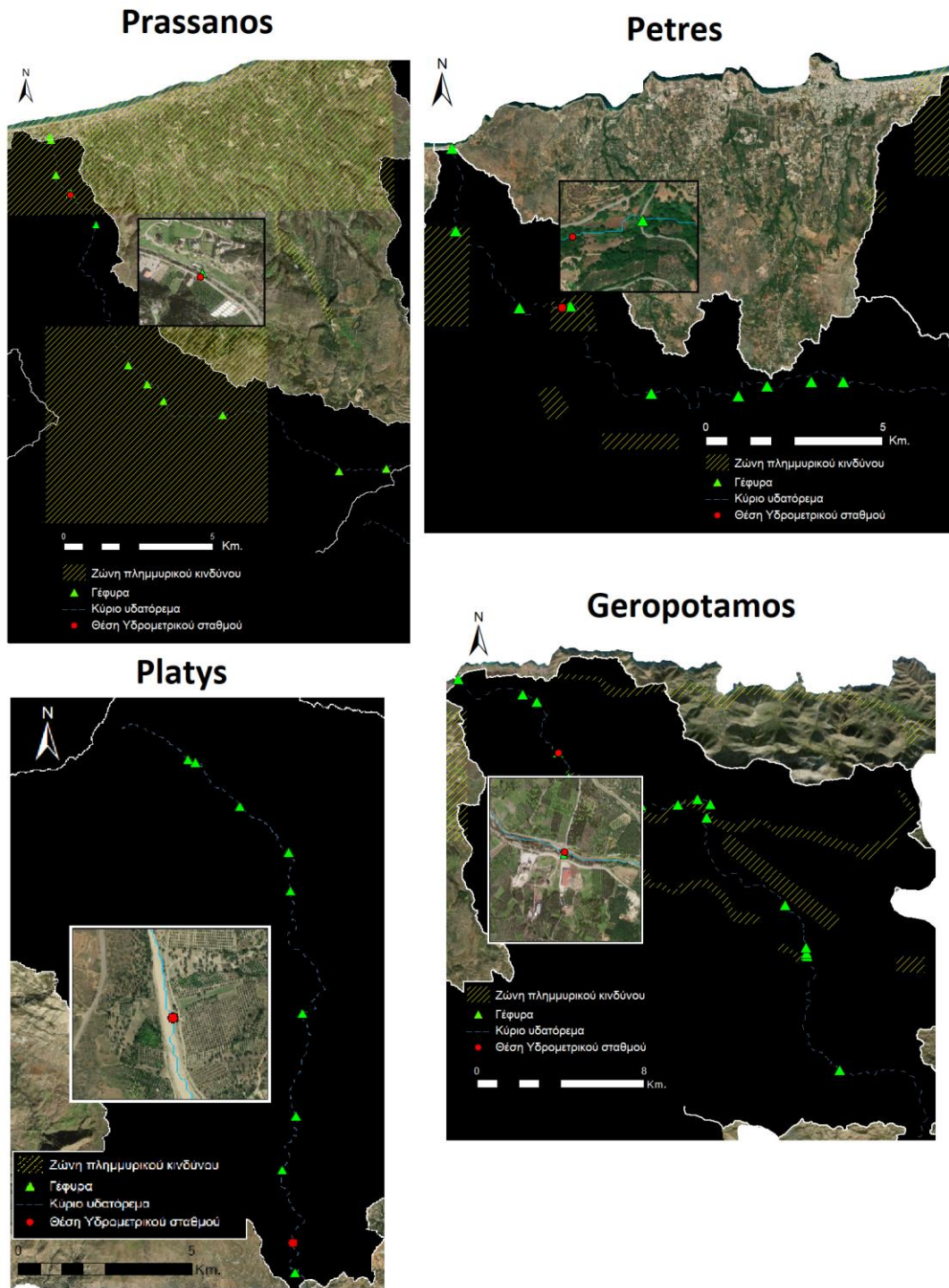


Figure 5: Suggested positions of the hydrometric stations in each of the four basins examined for scenario 3.

Conclusion – Future research

In the present work, there were developed the methodologies of the optimal siting of a network of hydrometeorological stations and a network of hydrometric stations in the four largest river basins of Prefecture of Rethymno using GIS methods.

The methodology of the siting of the hydrometeorological network was based on the multi-criteria analysis (MCA) and the weighted linear combination (WLC) methods. The five criteria used are related to the slope of the ground surface, the altitude, the locations of the settlements and proximity to the road network and the water intake points. The criteria were equally taken into account without weighting differently some of them. With the linear summation of the criteria, the best positions emerged. From the suggested positions, were selected those that had the highest score but also those that served the non-quantified criterion of geometric symmetry so that at the level of Prefecture, there is an as uniform coverage as possible by the hydrometeorological stations.

Regarding the hydrometric network, the methodology was based on multi-criteria analysis (MCA) and the analytical hierarchical method (AHP). The five criteria used are related to the location of the settlements, the flood risk, the location of the road network, the locations of the river junctions and the slope of the ground surface. The siting of the stations was examined in the light of three different scenarios, one related to prevention in high flooding risk areas, one related to the placement of stations in the most ergonomic locations and one related to error minimization. The weights of the five criteria for each of the three scenarios were calculated through the analytical hierarchical method and the positions with the maximum score were calculated after summation in ArcGIS. When choosing the location points of the stations, it was considered a necessary condition in the scenario that aims to minimize the error that the stream is straight upstream and downstream of the hydrometric station for a length equal to at least ten times its width. For the scenario aimed at finding the most ergonomic location, all the bridges of the watercourses under consideration were mapped and the locations considered as possible siting points for the stations were those that had a sufficiently high score and also were close enough to a bridge to be located on it.

General Conclusions

- The most important observation that falls into the category of general conclusions has to do with the application of the location criteria as proposed by the WMO SOTER service(6). These criteria are an excellent starting point to ask questions about the location of the hydrometeorological or hydrometric network. However, experience is necessary for their adaptation to the particular data of each region, since within the same Prefecture, there are cases situated that need different treatment. For example in Prefecture of Rethymno, the Petres river basin has a double percentage of its area with a soil slope below 5% comparing to Platys river basin. The second, however, is twice as large as Petres basin. Thus, it turned out that far fewer sites meet the criterion of inclination in the Platys basin than in that of Petres. While due to the area in the Platys basin, there should be sited three times as many hydrometeorological stations as those in Petres basin. Also, considering the criteria proposed by the WMO, the

number of hydrometeorological stations that is justified for an island with the area of Crete and catchments with the size of those studied, is zero. Thus, the conclusion is that the specialization and modification of the criteria per case is necessary since there is a case of universal criteria that aim to cover all the heterogeneous cases of the Earth.

- In relation to the hierarchical analytical method (AHP), it results necessary that the question-scenario, based on which the criteria are graded, shall be formulated in the most clear way. It is also necessary for the person who assigns weights to the criteria to be experienced on the subject. It was seen in the case of the location of the hydrometric network that small changes in the scoring of the AHP criteria can lead to completely different results in the siting result. Thus a misunderstanding of the goal by the grader or an error due to lack of experience can lead to significant failures.

Specific Conclusions

- The catchment area of Geropotamos in a small part of it, it extends outside the Prefecture of Rethymno, in the Prefecture of Heraklion. For this reason, in the case that the whole catchment area was examined in relation to the siting of the hydrometric network, without limiting the research inside the administrative boundaries of the Prefectures, it is possible that some data would change. For example, the main watercourse, using the Horton-Strahler method, will turn out to be the easternmost branch of Geropotamos. That is because if we examine the catchment area regardless of the administrative boundaries, the eastern branch does not end at Hani ton Aloidon, where the Prefecture of Rethymno ends but about 6 km eastern, above Damasta. In the present work, this difference does not affect the final result in the case of the first two scenarios of siting of the hydrometric stations. However, in the siting of the hydrometric station in the third scenario, the suggested position of the station is located upstream of a flood risk zone that does not belong to the main watercourse when the catchment area is examined independently of the administrative boundaries. This leads to the conclusion that it is important to consider an area when making decisions, regardless of its administrative boundaries, in order to avoid errors that may arise from administrative fragmentation.
- In relation to the siting of the hydrometeorological network, there are cases such as that of the stations of Fourfouras in the catchment area of Platys and Zoniana in the catchment area of Geropotamos. In the case of the two stations, the criterion of proximity to a settlement is not met, nor they are met the criteria of the uniform geometric coverage of the Prefecture, also in the station of Fourfouras the criterion of proximity to a water intake point is not met. However, the hydrometeorological stations were positioned in the specific locations because it was considered important to have recording instruments on both the leeward and the windward regions of Psiloritis. We can therefore conclude that the criteria for locating the network should not be given absolute priority when making a decision but there should also be considered parameters such as the differences in the area's climate that are desirable to be monitored and the needs to be met on site.

Future Research

- During the siting of the hydrometeorological network, the criterion of the uniform distribution of the stations in each catchment area and in the extent of the Prefecture was taken into account. The inclusion of this criterion was one in an intuitive way, so that the coverage of the Prefecture and the river basins would be uniform and also the stations would be sited in the correct altitude zones, in the optimal positions. This process, however, should be modeled to avoid inaccuracy, by constructing a distribution geometry criterion. This model could be based on the distribution of stations created by Thiessen polygons(7) with an area that deviates as little as possible from the area that the polygons would have if they were all equal in size.
- The need also arises for the adaptation of the WMO siting criteria of both the hydrometeorological and the hydrometric networks to a landscape like that of Crete and most of the Mediterranean islands. Such an operation would greatly facilitate future research and work aimed at establishing hydrometric and hydrometeorological networks in these areas.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Ρεθύμνου τα τελευταία χρόνια πλήττεται από πλημμυρικά φαινόμενα που προκαλούν σημαντικές καταστροφές, απορροφούν μεγάλα ποσά για την αποκατάστασή τους και θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Η πρόληψη όπως και ο στοχευμένος σχεδιασμός των δημοσίων και ιδιωτικών έργων είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την ελάττωση του κοινωνικού, περιβαλλοντικού και οικονομικού κόστους και την ομαλή διαβίωση σε περιόδους που χαρακτηρίζονται από έντονες βροχοπτώσεις μεγάλης διάρκειας. Ωστόσο για τον σχεδιασμό μίας στρατηγικής πρόληψης και αντιμετώπισης των πλημμυρών είναι απαραίτητη η ύπαρξη αξιόπιστων και επαρκών υδρομετεωρολογικών δεδομένων. Τα κύρια μέσα καταγραφής που στοχεύουν στην πρόληψη της πλημμυρικής καταστροφής είναι οι υδρομετρικοί σταθμοί, οι οποίοι όταν συνθέτουν ένα δίκτυο που καλύπτει τις κύριες λεκάνες απορροής στην περιφερειακή ενότητα, μπορούν να παρέχουν αξιόπιστα δεδομένα. Η μέτρηση της ροής των επιφανειακών υδάτων που παρέχεται από το υδρομετρικό δίκτυο, εκτός από τις εφαρμογές που μπορεί να βρει σε ερευνητικό επίπεδο, είναι απαραίτητη για την πλημμυρική πρόληψη και για την σωστή διαστασιολόγηση τεχνικών έργων υποδομής. Ακόμα Επιπρόσθετα το δίκτυο υδρομετεωρολογικών σταθμών που προτείνεται συμβάλει μέσα από τα δεδομένα που συλλέγονται στην δημιουργία μετεωρολογικών και πλημμυρικών μοντέλων τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως οδηγός για την λήψη αποφάσεων κατά τον σχεδιασμό έργων και πρακτικών διαχείρισης των πλημμυρών. Ακόμα Επίσης οι χρονοσειρές των καταγραφόμενων μεταβλητών που σταδιακά θα σχηματιστούν, θα αποτελέσουν μία σημαντική ερευνητική παρακαταθήκη για τον τόπο και θα συντελέσουν πολύ σημαντικά στην παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών της περιοχής.

Οι βροχοπτώσεις στην Κρήτη τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει εντονότερες προκαλώντας μεγάλες καταστροφές. Αυτό δεν αποτελεί ένα νέο φαινόμενο για το νησί, αφού το κλίμα της Κρήτης περνάει υγρές και ξηρές περιόδους κατά τις οποίες η ποσότητα των κατακρημνίσεων στο παρελθόν έχει μεταβληθεί κατά ποσοστό έως και 28%(1). Αυτά που αλλάζουν ωστόσο σήμερα είναι η διαχείριση των επιφανειακών υδάτων, η φύση των δραστηριοτήτων των κατοίκων του τόπου και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Σε πολλά μέρη ευαίσθητες ισορροπίες διατηρούνταν από τους κατοίκους του τόπου. Μέσα από προφορικές τους μαρτυρίες, κάτοικοι των Μαργαριτών Ρεθύμνου παρουσιάζουν πρακτικές που σχετίζονταν με την διαχείριση των πλημμυρικών κινδύνων. Μεταξύ αυτών είναι ο καθαρισμός και η συντήρηση κάθε χρόνο των αυλακίων που παροχέτευαν τα όμβρια ύδατα στο χείμαρρο, η επίγνωση μέσα από την προφορική μνήμη της πορείας του νερού σε κάποια μεγάλη νεροποντή του παρελθόντος και η γνώση των ρηγμάτων που μόνο σε έντονα βροχερούς χειμώνες αναβλύζουν νερό. Οι πρακτικές έχοντας εκλείψει, δίνουν το βήμα σε μία συστηματοποιημένη προσέγγιση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, η οποία επιστρατεύει ως όργανα παρατήρησης και καταγραφής αντί της εμπειρίας και της συλλογικής και προφορικής μνήμης, τα δίκτυα καταγραφής των υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών και τις χρονοσειρές δεδομένων.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή που επιλέχθηκε να μελετηθεί σχετικά με την χωροθέτηση δικτύου υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η περιφερειακή ενότητα (Π.Ε.) Ρεθύμνου, η οποία ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ)13 «Κρήτη». Πρόκειται για το νοτιότερο ΥΔ της χώρας και αποτελείται από την ομώνυμη μεγαλόνησο μαζί με τα μικρά νησιά που το περιβάλλουν, με κυριότερα τη Γαύδο και τη Δία. Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Ενέργειας (8), το ΥΔ της Κρήτης αποτελείται από τρεις λεκάνες απορροής όπως αυτές φαίνονται στο Σχήμα 2.1, αυτή των Ρεμάτων Βόρειου Τμήματος Χανίων-Ρεθύμνου-Ηρακλείου (EL1339), αυτή των Ρεμάτων Νότιου Τμήματος Χανίων-Ρεθύμνου-Ηρακλείου (EL1340) και αυτή των Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (EL1341). Οι λεκάνες που θα μελετηθούν ανήκουν στην EL39 εκτός από αυτή του Ποταμού Πλατύ που ανήκει στην EL40.



Σχήμα 2.1: Λεκάνες απορροής του Υ.Δ. Κρήτης. Πηγή: Γενική Γραμματεία Υδάτων (2).

Το κλίμα της Κρήτης αποτελεί έναν τύπο μεταξύ του χερσαίου και του ερημοειδούς Μεσογειακού. Το δεύτερο εμφανίζεται κυρίως στην νοτιοανατολική ακτή του νησιού. Η πεδινή ζώνη της Κρήτης χαρακτηρίζεται από ήπιο χειμώνα με μικρό ύψος βροχοπτώσεων και ξηρή περίοδο μεγάλης διάρκειας. Η ορεινή ζώνη ωστόσο εμφανίζει έντονες βροχοπτώσεις, μεγάλες θερμοκρασιακές αποκλίσεις μέσα στον χρόνο και είναι 2-3οC ψυχρότερη από την πεδινή ζώνη (2). Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο νησί είναι 927mm, στη δυτική Κρήτη ωστόσο (Περιφέρειες Χανίων και Ρεθύμνου), η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 1052mm και στην Π.Ε. Ρεθύμνου ξεπερνάει κατά μέσο όρο τα 900mm. Εντός της Π.Ε. Ρεθύμνου, η μεγαλύτερη μέση βροχόπτωση καταγράφεται στον σταθμό του Γαράζου, με τιμή 1370mm στα 260m υψόμετρο και η χαμηλότερη στην Αγία Γαλήνη, με 570mm στα 20m υψόμετρο. Παρά τις σχετικά έντονες βροχοπτώσεις (600mm στις πεδιάδες και 2.000mm στα ορεινά), από το σύνολο των κατακρημνίσεων, υπολογίζεται πως στη θάλασσα μέσω των υδατορεμάτων καταλήγει μόνο το 10% ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό χάνεται μέσω τις εξατμισοδιαπνοής (62%). Σε συνδυασμό με την υψηλή

βροχόπτωση, το έντονο ανάγλυφο του νησιού καθιστά τα περισσότερα ποτάμια ιδιαίτερα ορμητικά με αποτέλεσμα την εναπόθεση σημαντικών ποσοτήτων φερτών υλικών στις ακτές. Εκτός από τη βροχόπτωση και το ανάγλυφο, στη διαμόρφωση των ποταμών συντελούν και τα πετρώματα του νησιού που στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (45-50%) είναι ανθρακικά και άρα υδατοπερατά. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις τεκτονικές δομές που εμφανίζονται στο νησί, οδηγεί στη μεγάλη κατείσδυση του νερού στον υπόγειο υδροφόρα (2).

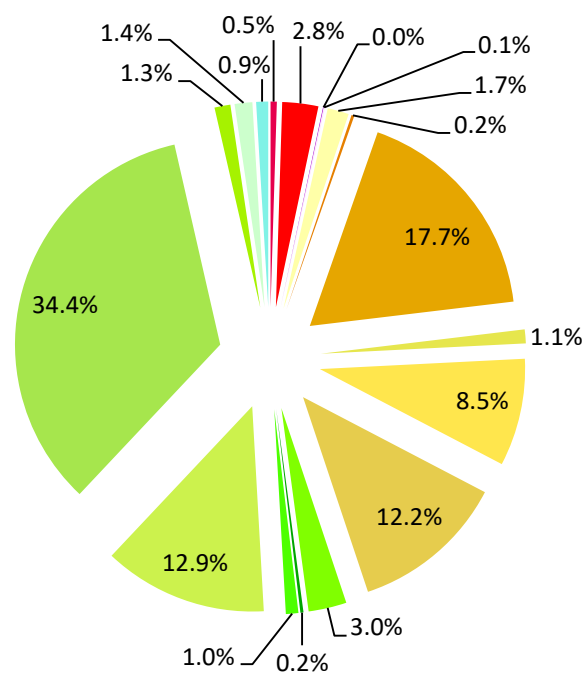
Στην περιφέρεια Ρεθύμνου, υπάρχουν τρία υδατορέματα στα οποία μετράται η απορροή, ο Πλατύς, ο Πρασσανός και ο ποταμός του Αγίου Βασιλείου στο Δήμο Φοίνικα. Ο Πλατύς είναι ο ποταμός με την μεγαλύτερη μέση ετήσια απορροή στην Κρήτη, ίση με 50Mm³, ενώ ο Πρασσανός έχει μέση ετήσια απορροή μικρότερη από 20Mm³ (1). Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν τέσσερις λεκάνες απορροής, του Γεροποτάμου, του Πλατύ, του Πρασσανού και του Πετρέ. Οι λεκάνες αυτές αποτελούν τις μεγαλύτερες στην Π.Ε. Ρεθύμνου και παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα πλημμυρών σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά κάθε μία από τις τέσσερις λεκάνες απορροής.

2.1 Λεκάνη Πρασσανού

Η λεκάνη απορροής του Πρασσανού έχει έκταση 125km² και περίμετρο 100km. Στους οικισμούς που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, κατοικούν 2716 άτομα (9). Στα νότια οριοθετείται από τα όρη Σωρός και Πρασσοκέφαλα, στα δυτικά από το όρος Βρύσινας και το φαράγγι των Μήλων και στα ανατολικά από τα πρνή του Γάσπαρη, του όρους Γάργαρη στα βόρεια του φράγματος των ποταμών και της Κορφής του Μαύρου και του Καλόρους στους δυτικούς πρόποδες του Ψηλορείτη. Το συνολικό μήκος του κυρίως υδατορέματος του Πρασσανού είναι 24.5km. Πηγάζει βορειοανατολικά από το Κλεισίδι του Δήμου Αμαρίου μεταξύ των υψωμάτων Τσουνες και Βουλάρμι και βορειοδυτικά του Μέρωνα του ίδιου Δήμου, μεταξύ των κορυφών Άγιο Πνεύμα και Κατσονύχι. Τα δύο υδατορέματα συμβάλουν και σχηματίζουν το ρέμα Σταυρομάνα που εκβάλλει στη λίμνη του φράγματος των ποταμών. Στην ίδια λίμνη εκβάλλουν άλλα δύο μικρότερα ρέματα, του φαραγγιού του Πατσού και της Παντάναςσας. Από το φράγμα των ποταμών απορρέει το κυρίως υδατόρεμα του Πρασσανού με την ονομασία Σφακορύακο στο οποίο συμβάλει και ένα μικρότερο ρέμα που πηγάζει από το ύψωμα Καλογεράδο, βόρεια των Καρινών του Δήμου Αγ. Βασιλείου. Ο Πρασσανός κινείται με κατεύθυνση προς τα βόρεια και διασχίζει το Πρασσανό φαράγγι πριν την εκβολή του στο Κρητικό Πέλαγος ως ρέμα με την ονομασία Κουτσουλίδι, μεταξύ των προαστίων του Ρεθύμνου Μυσσίρια και Πλατανιάς. Η ροή του Πρασσανού είναι εποχιακή και συνήθως διαρκεί μεταξύ των μηνών Νοέμβρη και Μάη, ανάλογα με το ύψος των βροχοπτώσεων του χειμώνα.

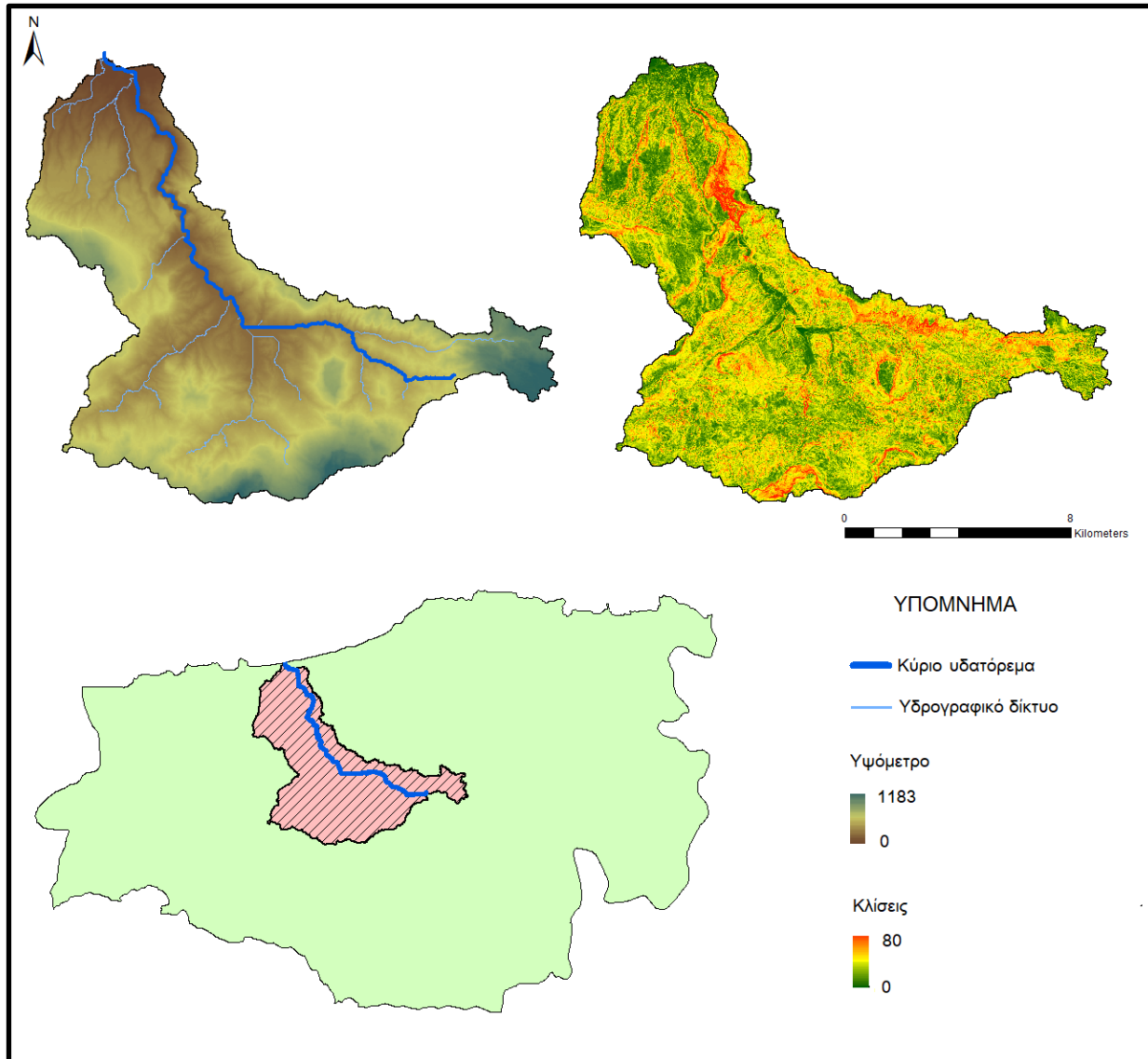
Σχετικά με την κάλυψη γης, προκύπτει, σύμφωνα με το Corine Land Cover (CLC) 2018 (10) πως το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελείται από εκτάσεις με σκληροφυλλική βλάστηση (34.4%) και από ελαιώνες (17.7%). Στο Σχήμα 2.1.1 φαίνονται τα διαφορετικά ποσοστά ανά τύπο κάλυψης γης για την λεκάνη απορροής του Πρασσανού.

- Συνεχής αστικός ιστός
- Ασυνεχής αστικός ιστός
- Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
- Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
- Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
- Αμπελώνες
- Ελαιώνες
- Λιβάδια
- Σύνθετες καλλιέργειες
- Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- Δάσος πλατύφυλλων
- Δάσος κωνοφόρων
- Μικτό δάσος
- Φυσικοί βοσκότοποι
- Σκληροφυλλική βλάστηση
- Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
- Επιφάνειες στάσιμου ύδατος



Σχήμα 2.1.1: Κάλυψη γης για την λεκάνη απορροής του Πρασσανού.

Οι κλίσεις της λεκάνης απορροής του Πρασσανού παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1.2. Παρατηρείται ότι η λεκάνη δεν χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλες κλίσεις, με 20 μοίρες κατά μέσο όρο (ο μέσος όρος του νομού είναι 19°). Η μέγιστη κλίση είναι 80 μοίρες στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, στο φαράγγι του Πρασσανού, και η ελάχιστη 0 μοίρες. Το μέγιστο υψόμετρο σύμφωνα με το 5mx5m ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι 1183m, και το μέσο υψόμετρο 438m.



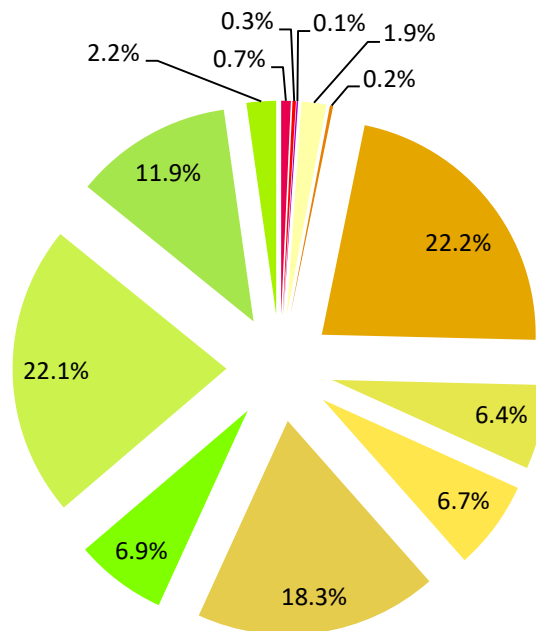
Σχήμα 2.1.2: Κλίσεις λεκάνης απορροής Πρασσανού.

2.2 Λεκάνη Πετρέ

Η λεκάνη απορροής του Πετρέ έχει έκταση 125km^2 και περίμετρο 104km . Στους οικισμούς που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, κατοικούν 2784 άτομα (9). Στα ανατολικά οριοθετείται από τα όρη του Μαδαρού και των Νήπων, στα νοτιοδυτικά από τα όρη Άζωνας, Βρούντοβας, στα νότια από τον Κρυονερίτη και το Βαλέλι, νοτιοανατολικά από τα Αγριμοκέφαλα και ανατολικά από τον Βρύσινα. Το συνολικό μήκος του κυρίως υδατορέματος του Πετρέ είναι 25km . Το κύριο υδατόρεμα του Πετρέ πηγάζει δυτικά από το Σελί του Δήμου Ρεθύμνου, μεταξύ του Βρύσινα και του υψώματος Πατρέλλες. Κινείται δυτικά με το όνομα Ποταμίδα, περνώντας

την Καρέ και δυτικά από το Κάτω Μαλάκι παίρνει κατεύθυνση προς τον βορά μετονομαζόμενο σε Καμίνα. Βόρεια του Καλονύκτη υο υδατόρεμα στρέφεται ξανά δυτικά για περίπου δύο χιλιόμετρα, πριν στραφεί οριστικά βόρεια στη συμβολή του με τα ρέματα που έρχονται από το Μουδριανό φαράγγι και το φαράγγι του Καράνταλε. Μετά το ύψωμα του Καμπανού εκβάλλουν στο κυρίως υδατόρεμα και τα ρέματα που έρχονται από τα φαράγγια των Μούντρων και των Κολιτών. Ύστερα από αυτή τη συμβολή το κυρίως υδατόρεμα διασχίζει το φαράγγι του Πετρέ ως Πετρές Ποταμός και εκβάλλει στο Κρητικό Πέλαγος, μισό χιλιόμετρο δυτικά του οικισμού Πετρές. Η ροή του Πετρέ είναι μόνιμη μόνο στην εκβολή του όπου και δημιουργεί ένα σημαντικό βιότοπο. Στο υπόλοιπο τμήμα του κινείται υπόγεια τους μήνες του καλοκαιριού και του φθινοπώρου.

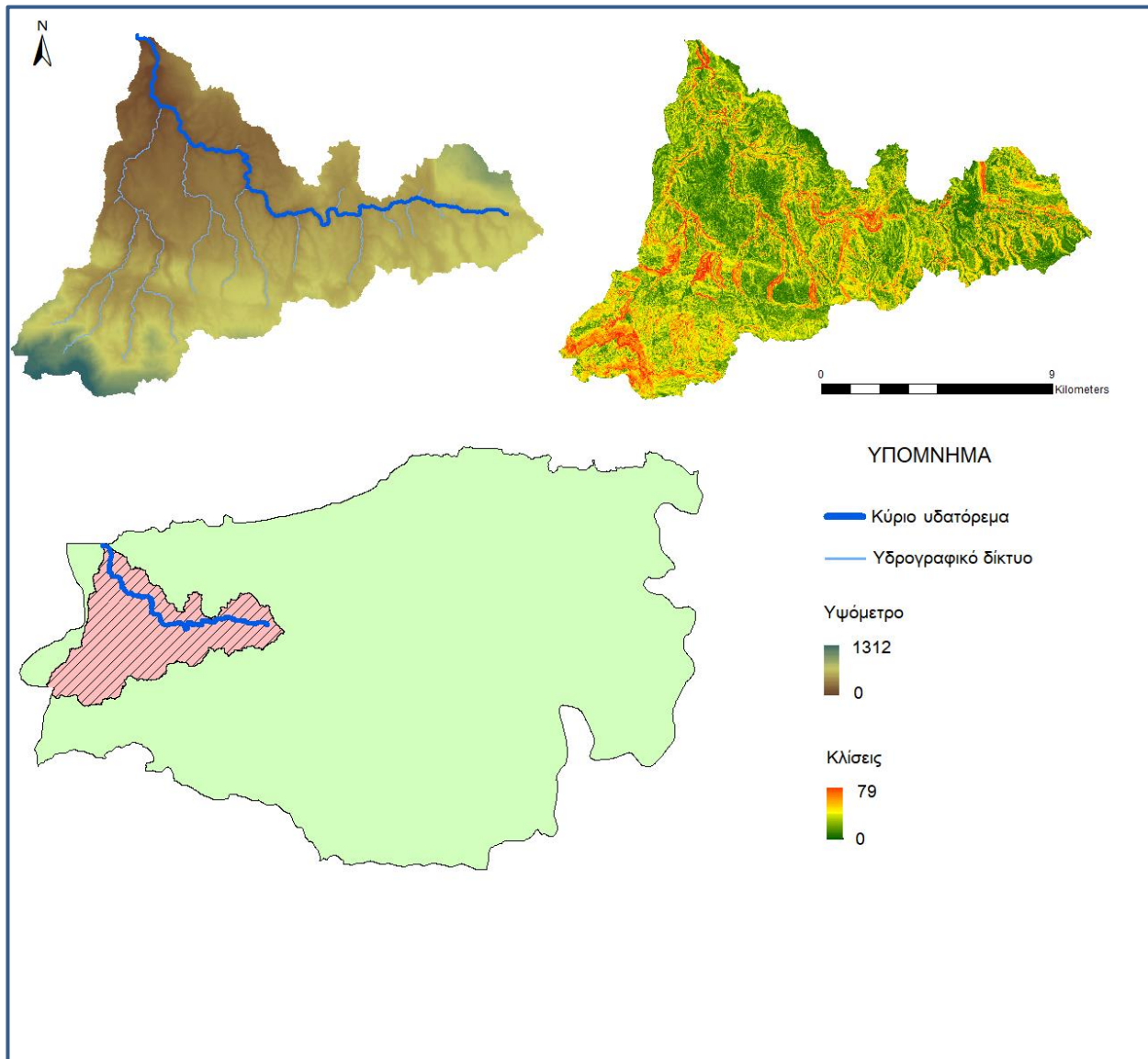
- Συνεχής αστικός ιστός
- Ασυνεχής αστικός ιστός
- Χώροι εξορύξεως ορυκτών
- Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
- Αμπελώνες
- Ελαιώνες
- Λιβάδια
- Σύνθετες καλλιέργειες
- Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- Δάσος πλατύφυλλων
- Φυσικοί βοσκότοποι
- Σκληροφυλλική βλάστηση
- Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις



Σχήμα 2.2.1: Κάλυψη γης για την λεκάνη απορροής του Πετρέ.

Σχετικά με την κάλυψη γης, προκύπτει, σύμφωνα με το CLC (2018) πως το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελείται από ελαιώνες (22.2%) και από φυσικούς βοσκοτόπους (22.1%). Στο Σχήμα 2.2.1 φαίνονται τα διαφορετικά ποσοστά ανά τύπο κάλυψης γης για την λεκάνη απορροής του Πετρέ.

Οι κλίσεις γης της λεκάνης φαίνονται στο Σχήμα 2.2.2., Η λεκάνη του Πετρέ χαρακτηρίζεται από μικρές σχετικά κλίσεις, με 17 μοίρες κατά μέσο όρο (ο μέσος όρος του νομού είναι 19°). Η μέγιστη κλίση είναι 79 μοίρες στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, στους πρόποδες των λευκών ορέων και βορειότερα από αυτούς στην περιοχή ανατολικά της Αργυρούπολης που βρίθκει φαραγγιών (Βιλανδρινό φαράγγι, Μουδριανό φαράγγι, φαράγγι Καρανταλέ) η ελάχιστη κλίση είναι 0 μοίρες. Το μέγιστο υψόμετρο σύμφωνα με το 5mx5m ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι 1311m, και το μέσο υψόμετρο 419m.



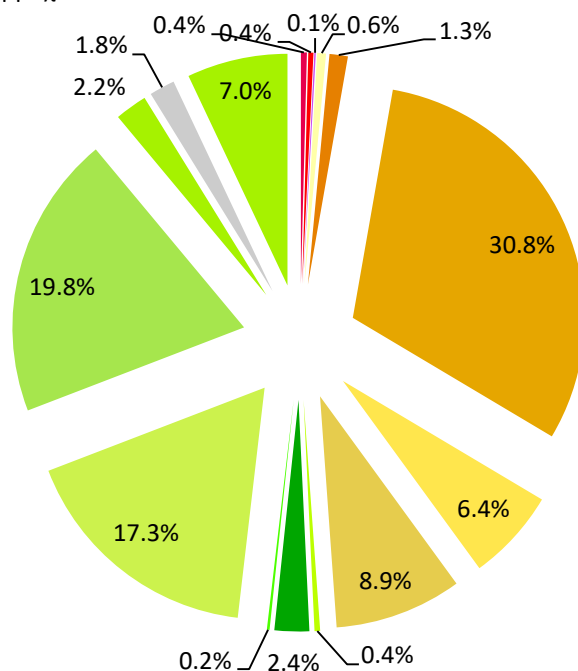
Σχήμα 2.2.2: Κλίσεις λεκάνης απορροής Πετρέ.

2.3 Λεκάνη Πλατύ

Η λεκάνη απορροής του Πλατύ έχει έκταση 211km² και περίμετρο 97km. Στους οικισμούς που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, κατοικούν 5398 άτομα (9). Στα δυτικά οριοθετείται από τα όρη Βουβάλα, Κέντρος και Σωρός, στα βόρεια και βορειοανατολικά από τις νοτιοδυτικές πλαγιές του Ψηλορείτη και ανατολικά από το ύψωμα του Ρίζικα και του Προφήτη Ηλία στις Μάνδρες. Το συνολικό μήκος του κυρίως υδατορέματος του Πλατύ είναι 25.4km. Ο Πλατύς πηγάζει από την περιοχή του Μέρωνα Αμαρίου, ανατολικά του όρους Κατσονύχι και σχηματίζεται από δύο ρέματα που συμβάλουν βόρεια του πλατώματος του Σγουρού σχηματίζοντας το Γενιανό ρέμα. Αυτό κατευθύνεται νοτιοανατολικά ως τις Λαμπιότες Αμαρίου όπου παίρνει νότια κατεύθυνση με το όνομα Λυγιώτης. Νότια του Πετροχωρίου, συμβάλει με τον Γέρο-Ποταμό ο οποίος πηγάζει από τα βόρεια πρηνή του όρους Κέντρος. Μετά την συμβολή το κυρίως υδατόρεμα κατευθύνεται νότια ως Αμαριανός Ποταμός. Το κυρίως υδατόρεμα ύστερα από τη μετάβασή του από το δήμο Αμαρίου στον Δήμο Αγ. Βασιλείου, αφού περάσει από την τοποθεσία Πορτί, μεταξύ των υψωμάτων Ξυλομαχαίρι και Λαβράστο ονομάζεται Πλατύς Ποταμός. Εκβάλει λιγότερο από δύο χιλιόμετρα νοτιότερα, στο Λυβικό Πέλαγος, στον Όρμο της Μεσαράς, ανατολικά του οικισμού Αγ. Γαλήνη.

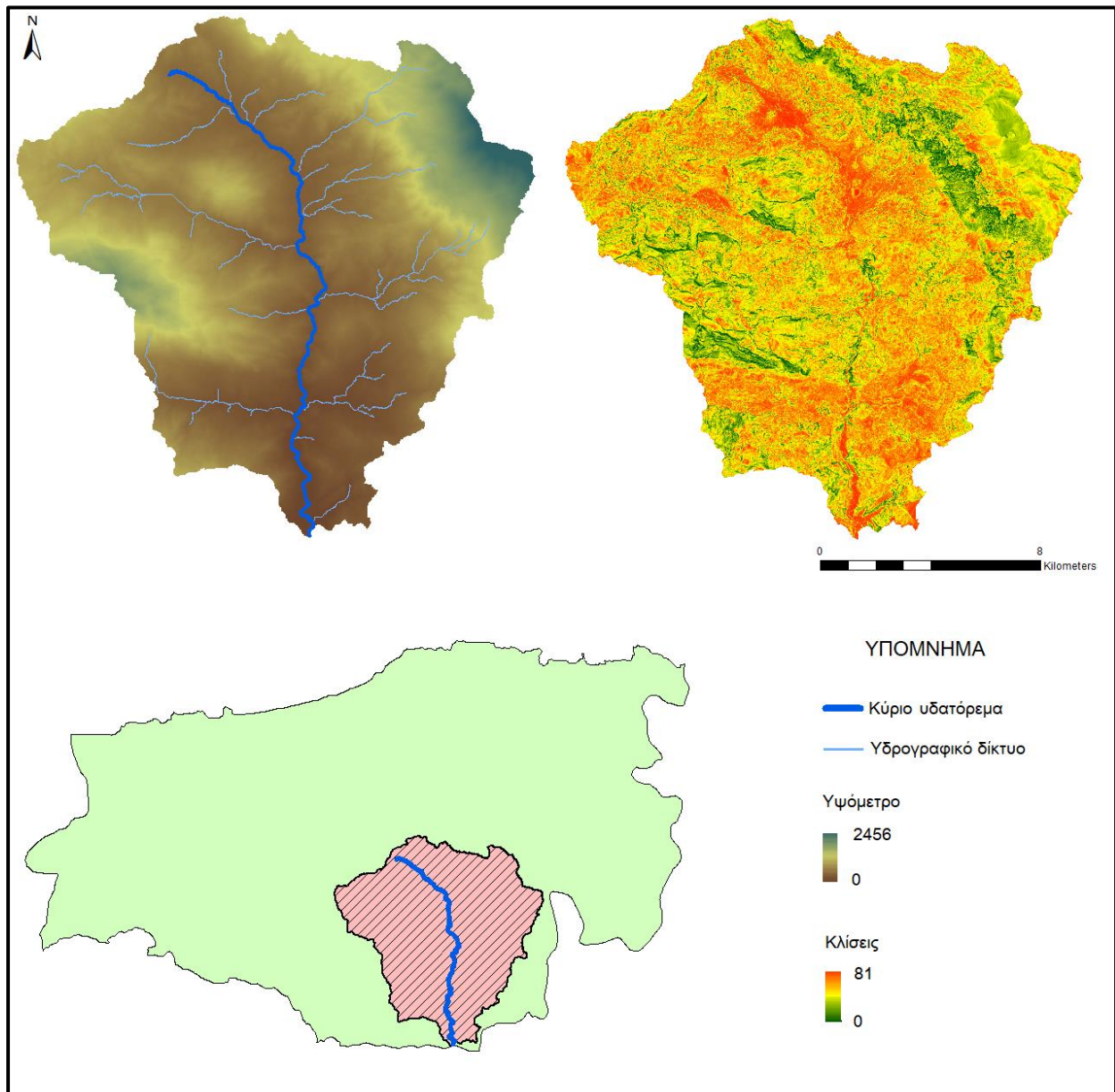
Σχετικά με την κάλυψη γης, προκύπτει, σύμφωνα με το CLC (2018) πως το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελείται από ελαιώνες (30.8%) και από εκτάσεις σκληροφυλλικής βλάστησης (19.8%). Στο Σχήμα 2.3.1 φαίνονται τα διαφορετικά ποσοστά ανά τύπο κάλυψης γης για την λεκάνη απορροής του Πλατύ. Η ροή του Πλατύ είναι μόνιμη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και χαρακτηρίζεται από την μεγαλύτερη μέση ετήσια απορροή στην ΠΕ Ρεθύμνου, ίση με 50Mm³ (1).

- Συνεχής αστικός ιστός
- Ασυνεχής αστικός ιστός
- Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
- Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
- Αμπελώνες
- Ελαιώνες
- Σύνθετες καλλιέργειες
- Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- Δάσος πλατύφυλλων
- Δάσος κωνοφόρων
- Μικτό δάσος
- Φυσικοί βοσκότοποι
- Σκληροφυλλική βλάστηση
- Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- Απογυμνωμένοι βράχοι



Σχήμα 2.3.1: Κάλυψη γης για την λεκάνη απορροής του Πλατύ.

Οι κλίσεις γης της λεκάνης φαίνονται στο Σχήμα 2.3.2, η λεκάνη του Πλατύ χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο σε όλη της σχεδόν την έκταση, με 20.6 μοίρες κλίση κατά μέσο όρο (ο μέσος όρος του νομού είναι 19°). Η μέγιστη κλίση είναι 80 μοίρες με τις μεγαλύτερες τιμές της κλίσης να παρουσιάζονται κατά μήκος του κυρίως υδατορέματος του Πλατύ που περνάει από το Μέσα φαράγγι και από τους νοτιοδυτικούς πρόποδες του Ψηλορείτη. Η ελάχιστη κλίση είναι 0 μοίρες. Το μέγιστο υψόμετρο σύμφωνα με το 5mx5m ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι 2456m, και το μέσο υψόμετρο 674m.



Σχήμα 2.3.2: Κλίσεις λεκάνης απορροής Πλατύ.

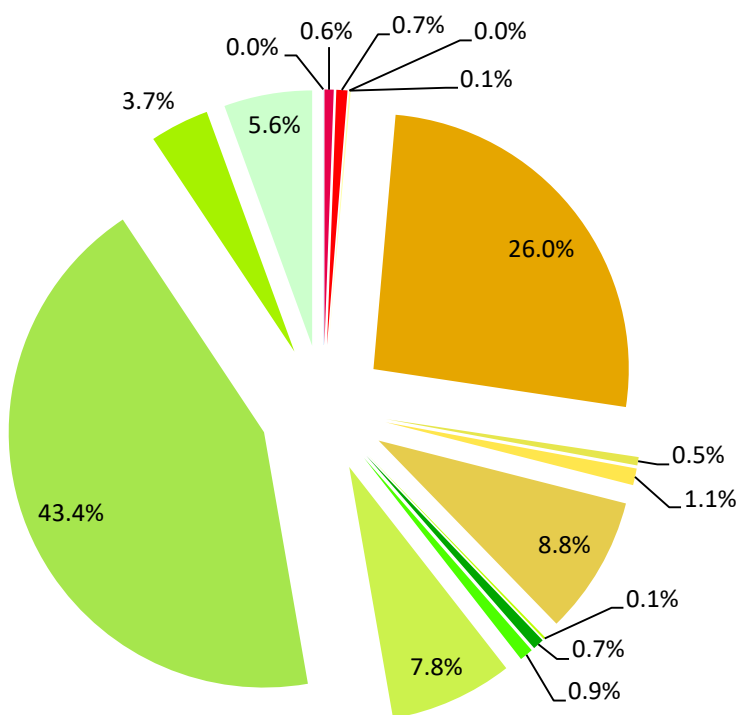
2.4 Λεκάνη Γεροποτάμου

Η λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου έχει έκταση 374km² και περίμετρο 140km. Στους οικισμούς που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, κατοικούν 15.971 άτομα (9). Στα δυτικά οριοθετείται από το Γυποφάραγγο και τα πρανή των Κεφάλων δυτικά των Αγγελιανών, των Σιωπάτων, Λιπαρού και Κοπανά νότια οριοθετείται από την κορυφογραμμή του

Ψηλορείτη: Μίγια, Σπαθί, Στολίστρα, Τίμιος Σταυρός, Αγκαθιάς, Λίμνη, Χαρκιάς, Δαμάκι, Πετραδολάκκια, Πίπερος, Σκίνακας, Κορίτσι, Τσουνία, Μύγας, Βαθιάς και Κεφάλια. Στα ανατολικά η λεκάνη οριοθετείται από τα όρη Καψίλα, Σοχώρα, Αρολίθακας, Σταυρωτός, Βιτσιλιά. Στα βόρεια τέλος η λεκάνη οριοθετείται από την κορυφογραμμή του Κουλούκωνα: Μαύρο Κεφάλι, Άσπρη, Σοφιανή Κορφή, Στεφάνι, Κουτσοτρούλης, Τίμιος Σταυρός, Σίδερος, Μπουμπαρδόπυργος και στη συνέχεια ακολουθεί προς τα δυτικά τα νότια πρηνή των υψωμάτων της ακτογραμμής ως του Κιαγιά το Μετόχι. Το συνολικό μήκος του κυρίως υδατορέματος του Γεροποτάμου είναι 50km. Το κυρίως υδατόρεμα του Γεροποτάμου πηγάζει από την περιοχή του Ψηλορείτη που περικλείεται από τα υψώματα Δρυς, Κορίτσι, Βοσκάθα και Μασχάλα. Σχηματίζεται ρέμα που κατευθύνεται βόρεια ως το ύψος της κορφής Τσουνία όπου στρίβει δυτικά, περνάει νότια από τα υψώματα της Χαμένης και των Στάβλων και στρίβει βόρεια για να περάσει ανάμεσα από τα υψώματα Μούντα και Φλωμιάς και να διασχίσει τον οικισμό των Ζωνιανών Μυλοποτάμου. Στη συνέχεια το κυρίως υδατόρεμα κινείται βορειοδυτικά, περνώντας βόρεια της Μονής Δισκουρίου και του υψώματος του Κόρακα και στον οικισμό Άγιος Ιωάννης σμίγει με το ρέμα που έρχεται από τα νότια από το Όρος Σταρά. Βόρεια του οικισμού των Μουρτζανών, συμβάλει στο κυρίως υδατόρεμα ο ανατολικός κλάδος του Γεροποτάμου που πηγάζει από την περιοχή των Ανωγείων και τα νότια πρηνή του Κουλούκωνα. Μετά τη σμίξη, ο Γεροπόταμος κατευθύνεται βορειοδυτικά διασχίζοντας τον οικισμό του Περάματος όπου σμίγει με ρέμα που έρχεται από τα νότια από την κατεύθυνση του οικισμού Καλαμά. Στο ύψος του οικισμού Ρουμελή, ο Γεροπόταμος στρίβει προς τη δύση και σμίγει με το ρέμα που πηγάζει από τα όρη των Αραβάνων ως Αράπης, βόρεια του οικισμού των Κυνηγιανών ονομάζεται Μυλοπόταμος και βόρεια του οικισμού των Αγγελιανών Μαργαριτιανός. Ο Γεροπόταμος εκβάλλει τέσσερα χιλιόμετρα δυτικά του σημείου της συμβολής ύστερα από μαιανδρισμούς, στο Κρητικό Πέλαγος, νότια του οικισμού Λαυρίς. Η ροή του Γεροποτάμου είναι μόνιμη μόνο στα δύο τελευταία χιλιόμετρα πριν την εκβολή του. Στο υπόλοιπο τμήμα του κινείται υπόγεια τους μήνες Μάιος έως Νοέμβριος.

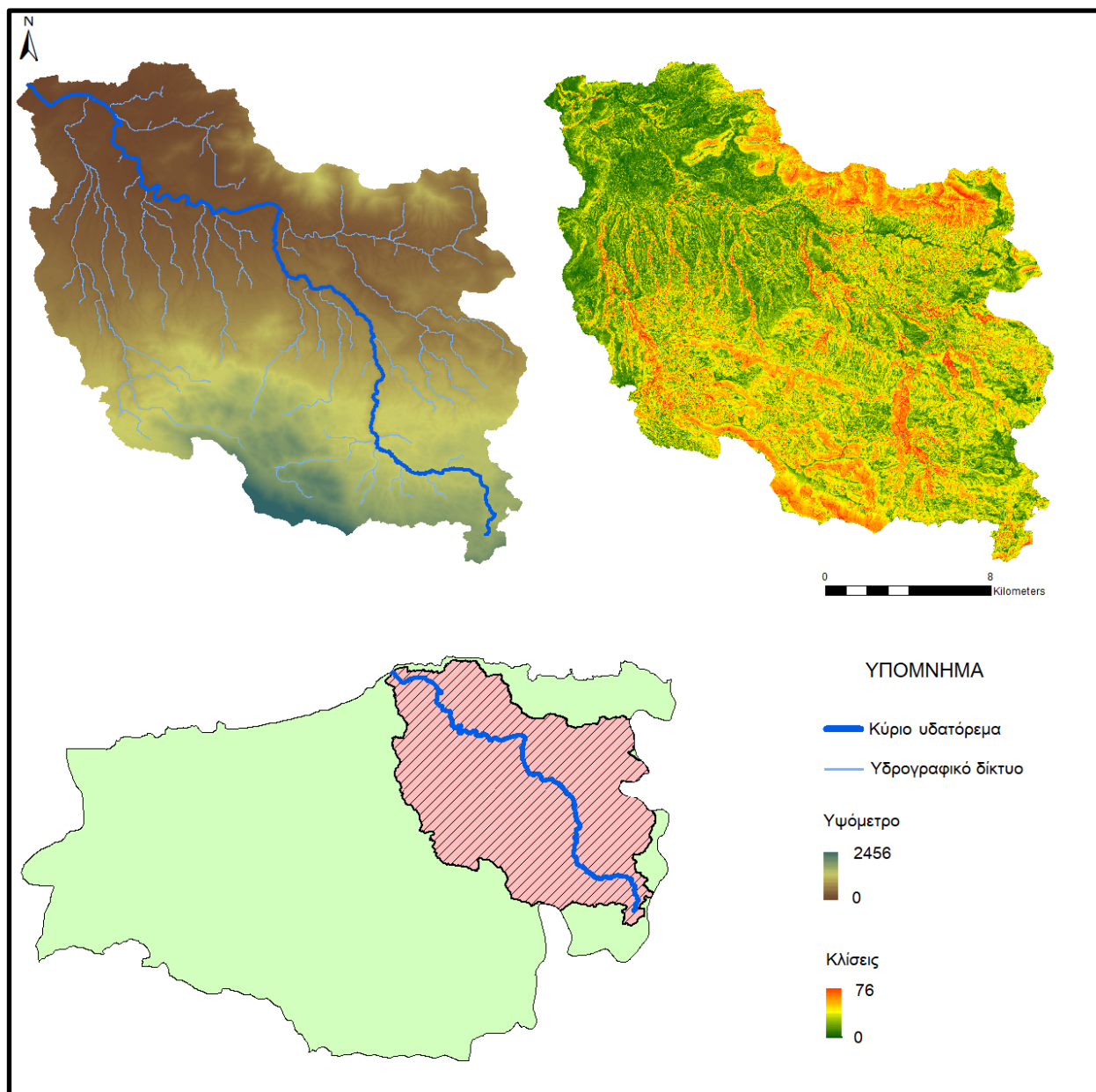
Σχετικά με την κάλυψη γης, προκύπτει, σύμφωνα με το CLC (2018) πως το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελείται από εκτάσεις σκληροφυλλικής βλάστησης (43.4%) και από ελαιώνες (26%). Στο Σχήμα 2.4.1 φαίνονται τα διαφορετικά ποσοστά ανά τύπο κάλυψης γης για την λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου.

- Συνεχής αστικός ιστός
- Ασυνεχής αστικός ιστός
- Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
- Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
- Ελαιώνες
- Λιβάδια
- Σύνθετες καλλιέργειες
- Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- Δάσος πλατύφυλλων
- Δάσος κωνοφόρων
- Μικτό δάσος
- Φυσικοί βοσκότοποι
- Σκληροφυλλική βλάστηση
- Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
- Θάλασσες και ωκεανοί



Σχήμα 2.4.1: Κάλυψη γης για την λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου.

Οι κλίσεις γης της λεκάνης φαίνονται στο Σχήμα 2.4.2, η λεκάνη του Γεροποτάμου χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο σε όλη της την έκταση, εκτός από το βορειοδυτικό της τμήμα στο οποίο βρίσκεται ο κάμπος του Λατζιμά, η λεκάνη έχει με 18 μοίρες κλίση κατά μέσο όρο (ο μέσος όρος του νομού είναι 19°). Η μέγιστη κλίση είναι 76 μοίρες με τις μεγαλύτερες τιμές της κλίσης να παρουσιάζονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης στις πλαγιές του Ψηλορείτη και στο βορειοανατολικό της τμήμα όπου βρίσκονται τα Ταλαία Όρη (Κουλούκωνας). Η ελάχιστη κλίση είναι 0 μοίρες. Το μέγιστο υψόμετρο σύμφωνα με το 5mx5m ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι 2456m, και το μέσο υψόμετρο 660m.



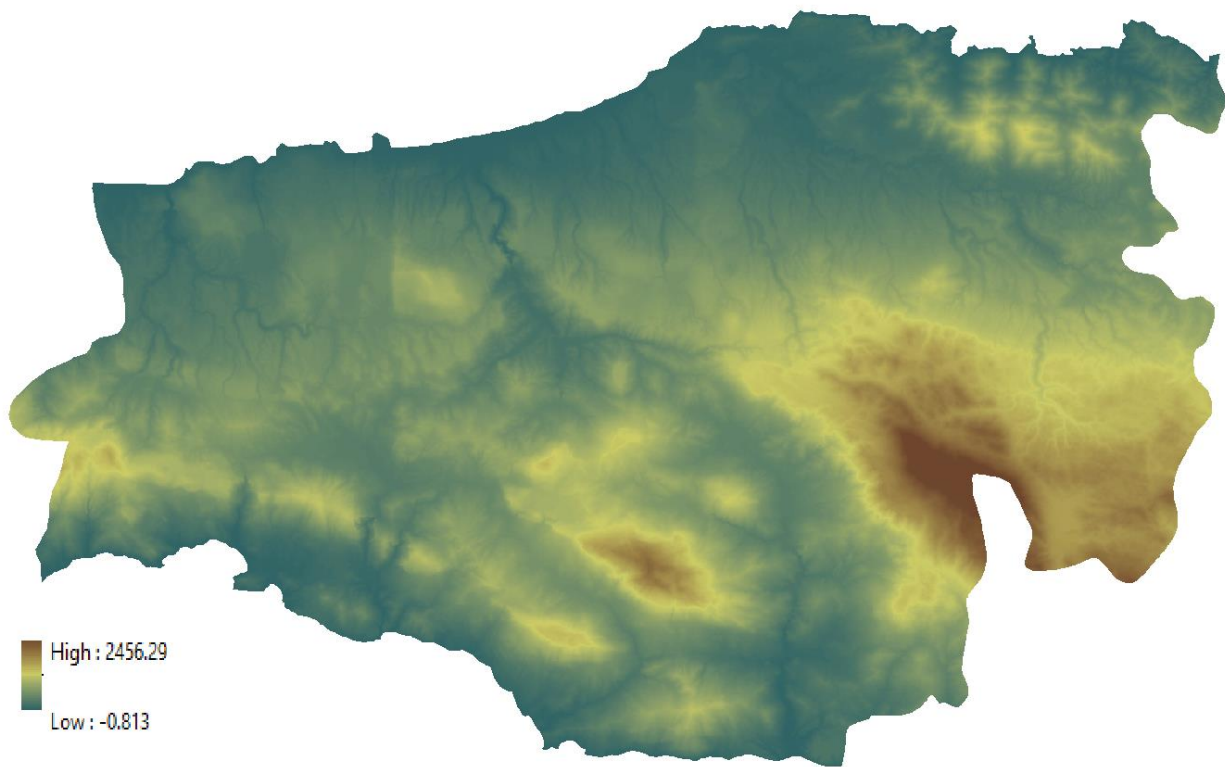
Σχήμα 2.4.2: Κλίσεις λεκάνης απορροής Γεροποτάμου.

3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μεθοδολογίας χωροθέτησης ενός βέλτιστου δικτύου υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών στις τέσσερις μεγαλύτερες λεκάνες απορροής της Περιφερειακής Ενότητας Ρεθύμνου, παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια. Η επεξεργασία όλων των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS (ArcMAP 10.5) (11).

3.1 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Απαραίτητο δεδομένο για τη διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών αποτελεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM). Από την υπηρεσία του Κτηματολογίου Α.Ε. χορηγήθηκαν κανονικοποιημένα raster αρχεία που αποτελούν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Περιφέρειας Κρήτης. Το συγκεκριμένο DEM έχει μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 5.00 m. Κάθε πινακίδα του έχει διαστάσεις στο έδαφος 4600 m X 3600 m, με περιμετρική επικάλυψη 300 m. Ακολουθούν τη διανομή ΕΓΣΑ87 σε κλίμακα 1:5000. Η γεωμετρική ακρίβεια του προϊόντος είναι $RMSEz \leq 2.00$ m και η απόλυτη ακρίβεια του είναι ≤ 3.92 m για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Τα αρχεία αυτά εισήχθησαν σε περιβάλλον ArcGIS και συνέθεσαν μέσω του εργαλείου *mosaic to new raster* το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο εδάφους για όλη την Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου. Παρατηρήθηκε ωστόσο πως ορισμένα εικονοστοιχεία (κελιά) αυτού του DEM είχαν εσφαλμένα μηδενικές τιμές σε σχέση με το υψόμετρο ή δεν παρουσίαζαν πληροφορία. Προκειμένου να διορθωθούν και να πάρουν τιμές τα κενά κελιά, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο *fill sinks* της εργαλειοθήκης Hec-GeoHMS, επομένως προέκυψε το DEM στην τελική του μορφή όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1 για χρήση στην ανάλυση.



Σχήμα 3.1: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους για την Π.Ε. Ρεθύμνου (12). Κατόπιν επεξεργασίας σε περιβάλλον ArcGIS 10.5.

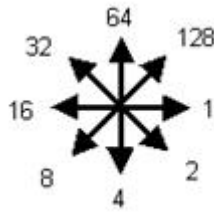
3.1.1 Λεκάνες απορροής

Για τον ορισμό της περιοχής μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, με τη βοήθεια του οποίου πραγματοποιήθηκε γεωμορφολογική ανάλυση

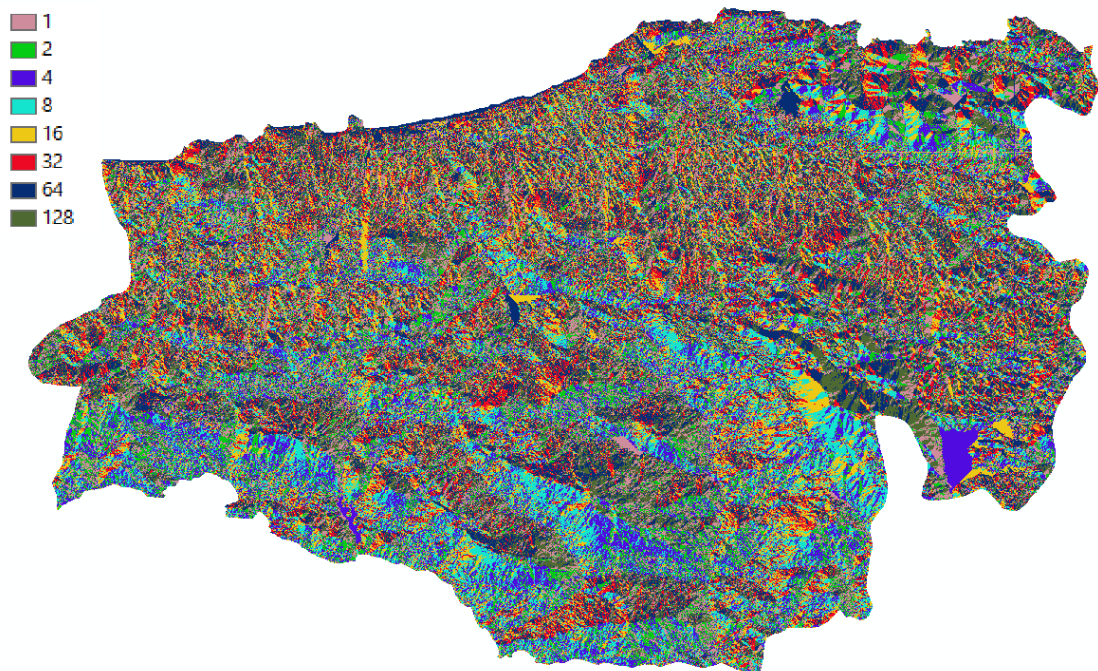
κάνοντας χρήση της εργαλειοθήκης Hec-GeoHMS με τα εργαλεία προεπεξεργασίας *terrain preprocessing* σε περιβάλλον ArcGIS. Αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης ήταν ο ορισμός των λεκανών απορροής εντός του νομού Ρεθύμνου από τις οποίες επιλέχθηκαν οι τέσσερις μεγαλύτερες, προκειμένου να διεξαχθεί η χωροθέτηση υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών σε κλίμακα λεκάνης απορροής. Παράλληλα με τον ορισμό των λεκανών απορροής, κατασκευάστηκε και το υδρογραφικό δίκτυο για κάθε λεκάνη. Τα βήματα της γεωμορφολογικής ανάλυσης περιγράφονται στη συνέχεια:

1. Κατεύθυνση Ροής (Flow Direction)

Σε αυτό βήμα εντοπίζεται η κατεύθυνση στην οποία γίνεται η πλέον απότομη αλλαγή υψομέτρου για κάθε φαντίο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους δίνοντας σε αυτό μία από 8 πιθανές τιμές βάσει του διαγράμματος (Σχήμα 3.2). Το αποτέλεσμα της εντολής *Flow Direction* απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.2: Τιμή φαντίου σε σχέση με την κατεύθυνση της ροής (13).



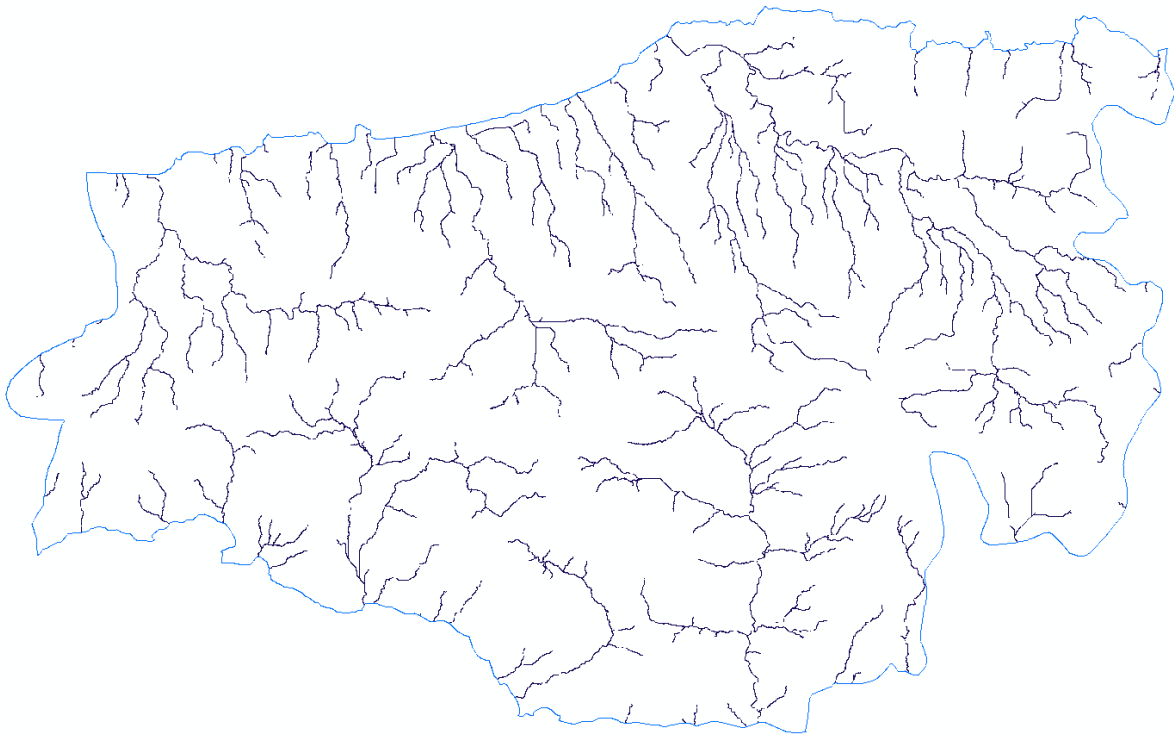
Σχήμα 3.3: Το αποτέλεσμα εντολής Flow Direction.

2. Συσσώρευση Ροής (Flow Accumulation)

Η συγκεκριμένη εντολή υπολογίζει για κάθε φατνίο το πλήθος των ανάντη φατνίων που απορρέουν σε αυτό. Έτσι δίνει σε κάθε φατνίο ως τιμή το πλήθος των ανάντη φατνίων.

3. Ορισμός Ρεύματος (Stream Definition)

Σε αυτό το βήμα ταξινομούνται όλα τα φατνία του raster που προέκυψε από την εντολή *Flow Accumulation* και έχουν τιμή ανώτερη από ένα κατώφλι που ορίζει ο χρήστης ως τμήματα του υδρολογικού δικτύου. Στην παρούσα ανάλυση, το κατώφλι αυτό ορίστηκε ως 60.000 φατνία με τις τιμές του Flow Accumulation να κυμαίνονται από 0 έως 14.949.351 φατνία. Στο στάδιο αυτό αναδεικνύονται τα υδατορέματα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Το αποτέλεσμα εντολής Stream Definition.

4. Κατακερματισμός Ρεύματος (Stream Segmentation)

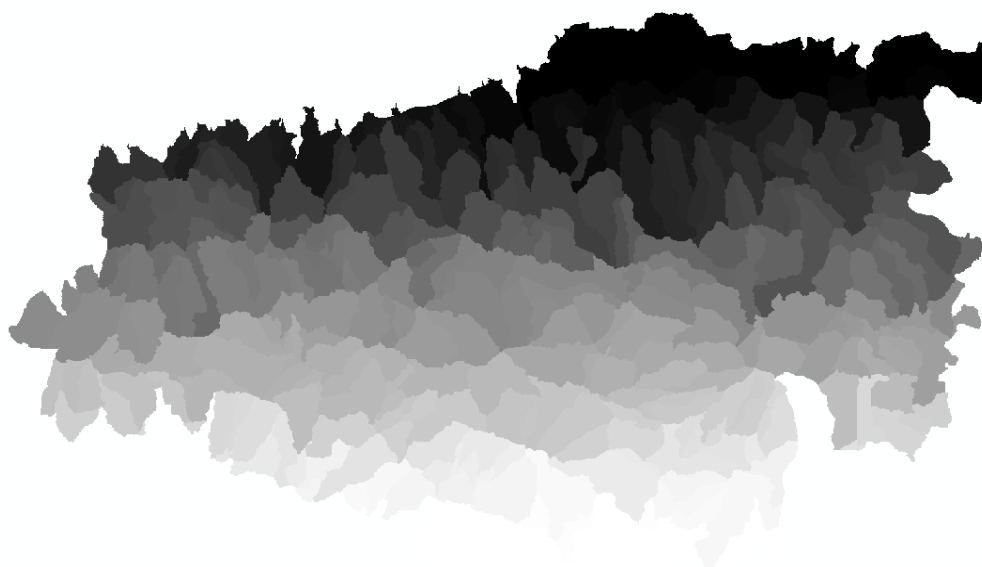
Η εντολή αυτή χωρίζει σε τμήματα το υδατόρεμα όπου κάθε τμήμα είναι ένα μέρος του υδατορέματος που ενώνει δύο διαδοχικές συμβολές, μία συμβολή και μία εκβολή ή μία συμβολή με τον υδροκρίτη που περικλείει το ρέμα. Το αποτέλεσμα της εντολής απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5 όπου συνολικά διακρίνονται 494 διαφορά τμήματα.



Σχήμα 3.5: Το αποτέλεσμα της εντολής Stream Segmentation.

5. Περιχάραξη Υπολεκανών Απορροής (Catchment Grid Delineation)

Στο βήμα αυτό, υπολογίζεται η υπολεκάνη, για κάθε τμήμα του υδατορέματος όπως έχει προκύψει από τον κατακερματισμό του προηγούμενου βήματος. Οι υπολεκάνες όπως υπολογίστηκαν φαίνονται στο Σχήμα 3.6.



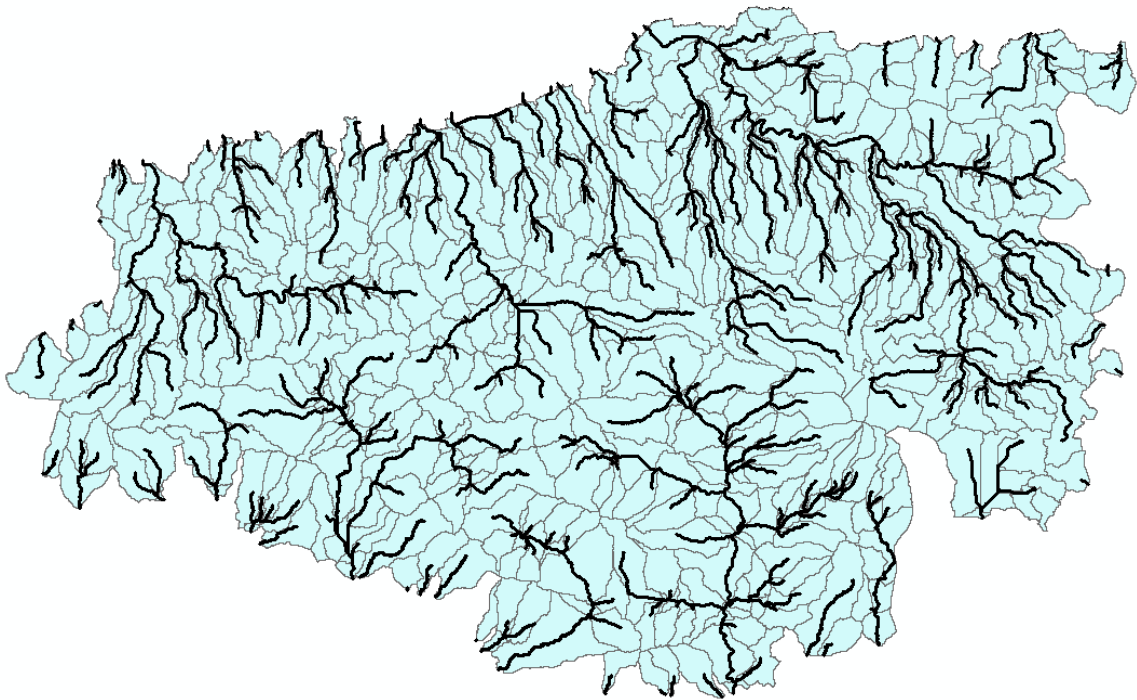
Σχήμα 3.6: Το αποτέλεσμα της εντολής Catchment Grid Delineation.

6. Επεξεργασία Υδρολογικών Λεκανών (Catchment Polygon Processing)

Στο στάδιο αυτό, δημιουργείται ένα διανυσματικό επίπεδο που περιλαμβάνει τις υπολεκάνες που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα.

7. Επεξεργασία Υδατορεμάτων (Drainage Line Processing)

Από το βήμα αυτό της διαδικασίας προκύπτει ένα διανυσματικό επίπεδο που μέσα από τη σύνθεση των τμημάτων των υδατορεμάτων του σταδίου 4 περιλαμβάνει τα υδατορέματα. Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται η υπέρθεση του διανυσματικού επιπέδου των υδατορεμάτων σε αυτό των υπολεκανών.



Σχήμα 3.7: Υπέρθεση των επιπέδων που προκύπτουν από τις εντολές Catchment Polygon Processing και Drainage Line Processing.

8. Στη συνέχεια με την εντολή συγχώνευσης (merge) πραγματοποιείται ένωση των υπολεκανών από τις οποίες διέρχεται το ίδιο υδρογραφικό δίκτυο με αποτέλεσμα τη δημιουργία των λεκανών απορροής όλου του νομού όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Από αυτές επιλέχθηκαν για ανάλυση στην παρούσα διπλωματική εργασία οι λεκάνες απορροής των τεσσάρων μεγαλύτερων ποταμών ή χειμάρρων του νομού, Γεροπόταμος, Πλατύς, Πετρές και Πρασσανός (Σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Οι λεκάνες απορροής του Νομού Ρεθύμνου και αυτές των τεσσάρων μεγαλύτερων ποταμών ή χειμάρρων.

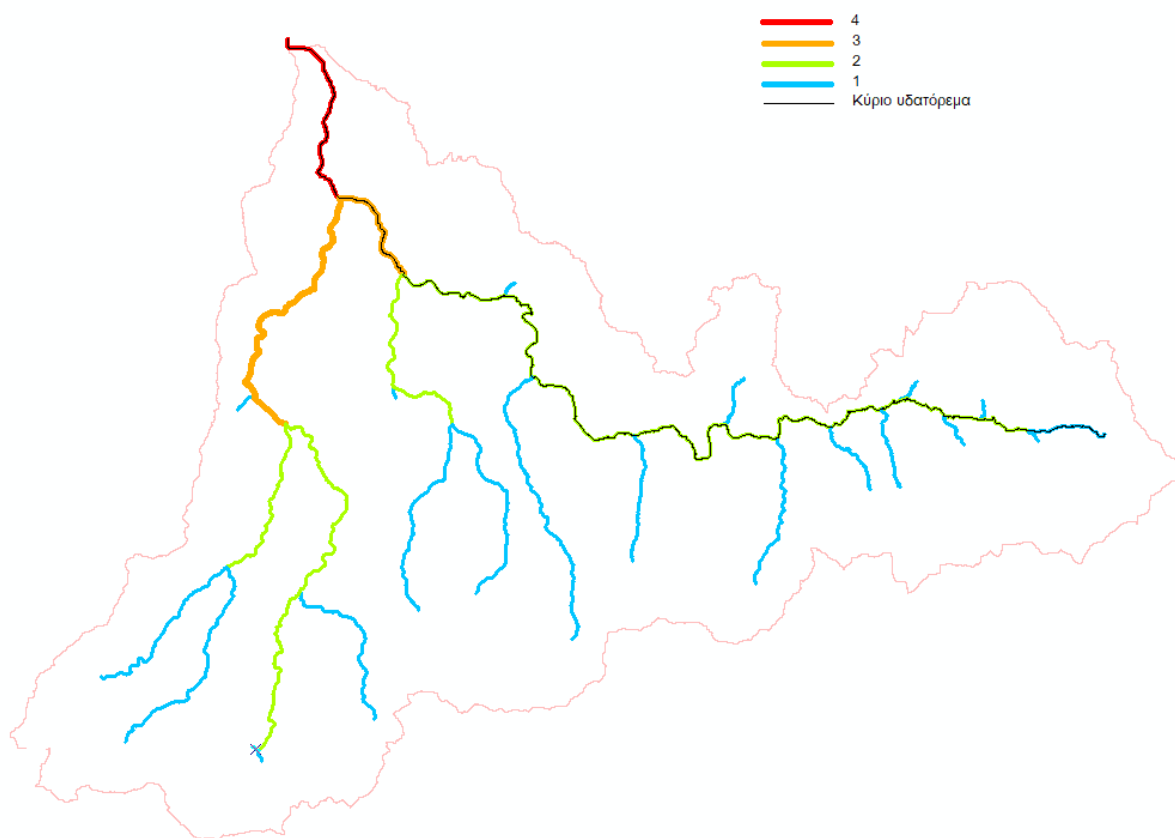
3.1.2 Κύρια υδατορέματα

Για τον υπολογισμό των κυρίων υδατορεμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Horton-Strahler (14). Κατά την ταξινόμηση αυτή το σύνολο του υδατορέματος αντιμετωπίζεται ως ένα δέντρο στο οποίο οι συμβολές αποτελούν τους κόμβους και οι κλάδοι ανάντη των οποίων δεν υπάρχει υδατόρεμα αποτελούν τα φύλλα.

Στα φύλλα δίδεται η τιμή 1 (1^η τάξης) και για κάθε έναν από τους υπόλοιπους κόμβους:

- Εάν αυτός έχει ένα παιδί τάξης i και όλα τα υπόλοιπα παιδιά του είναι τάξης μικρότερης της i , τότε και στον κόμβο δίδεται η τιμή i .
- Εάν αυτός έχει δύο τουλάχιστον παιδιά τάξης i και κανένα παιδί τάξης μεγαλύτερης της i , τότε σε αυτόν δίδεται η τιμή $i + 1$.

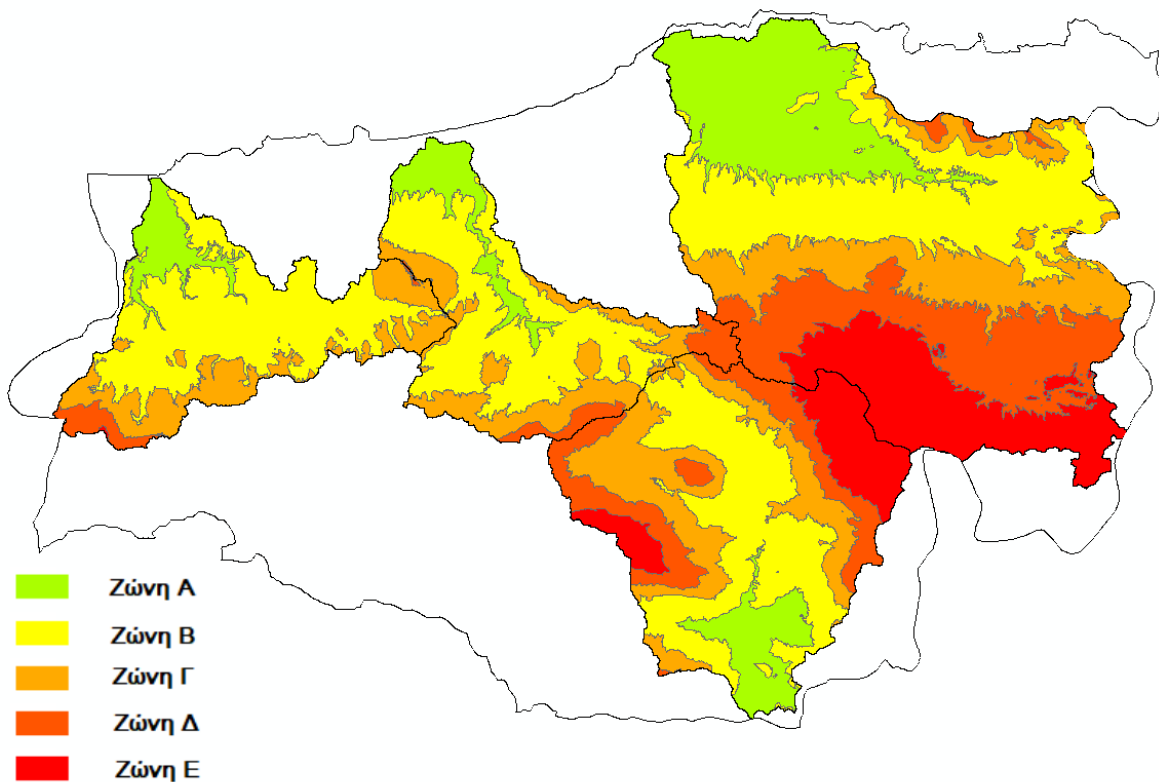
Για να προσδιοριστεί το κύριο υδατόρεμα, σε κάθε συμβολή επιλέγεται ο κλάδος του δέντρου με την μεγαλύτερη τάξη. Σε περίπτωση που όλοι οι κλάδοι έχουν ίδια τάξη, επιλέγεται αυτός που οδηγεί στην μεγαλύτερη σε μήκος διαδρομή πριν αυτή καταλήξει σε κόμβο πρώτης τάξης. Στο Σχήμα 3.9 φαίνεται η ταξινόμηση όπως έγινε για τον Πετρέ. Με μαύρο χρώμα διαγράφεται το κύριο υδατόρεμα.



Σχήμα 3.9: Ταξινόμηση Horton-Strahler για την λεκάνη απορροής του Πετρέ και προσδιορισμός του κυρίου υδατορέματος.

3.1.3 Υψόμετρο

Σύμφωνα με τις οδηγίες της υπηρεσίας Soil and Terrain Digital Database SOTER (6), το υψόμετρο κατηγοριοποιείται σε πέντε κύριες ζώνες. Αυτές επιλέγονται βάσει της κατηγοριοποίησης που έγινε από τους Μπαλτά & Μιμίκου (2009) (15) κατά τη μελέτη της βελτιστοποίησης του υδρομετεωρολογικού δικτύου στην Ελλάδα. Οι ζώνες αυτές φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Με βάση την κατηγοριοποίηση αυτή και με χρήση του εργαλείου *reclassify* του ArcGIS, δημιουργήθηκε ο υψομετρικός χάρτης για τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10: Υψομετρικές ζώνες σύμφωνα με τις οδηγίες της υπηρεσίας SOTER (6) για τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται.

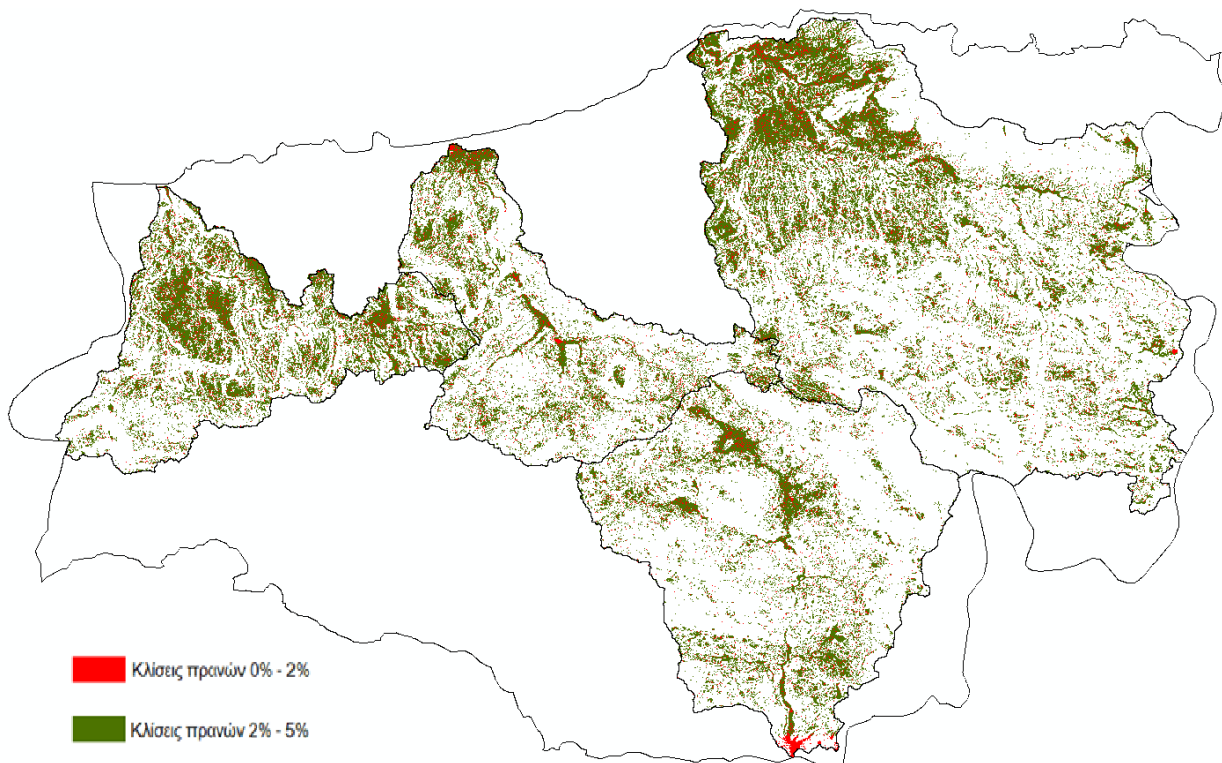
Πίνακας 3.1: Υψομετρικές ζώνες σύμφωνα με τις οδηγίες της υπηρεσίας SOTER (6), προσαρμοσμένες στο ανάγλυφο της Κρήτης.

Ζώνη	Εύρος υψομέτρων (m)
A	0-200
B	200-500
Γ	500-800
Δ	800-1200
E	1200-2456

3.1.4 Κλίσεις

Οι κλίση του εδάφους ταξινομήθηκε σε κατηγορίες βάσει των οδηγιών της υπηρεσίας SOTER (6). Η ταξινόμηση αυτή καλύπτει ένα εύρος κλίσεων από 0% έως 60%. Ωστόσο η ιδανική τοποθέτηση τόσο των υδρομετεωρολογικών σταθμών (16) όσο και των υδρομετρικών γίνεται σε περιοχές με μικρή κλίση. Έτσι επιλέχθηκαν οι δύο κατηγορίες 0%-2% και 2%-5% για την ταξινόμηση της κλίσης των πρανών. Το διανυσματικό επίπεδο των κλίσεων δημιουργήθηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους με την χρήση

της εντολής *slope (percentage)* της εργαλειοθήκης *Spatial analyst tools*. Στη συνέχεια με την εντολή *reclassify*, ορίστηκε μία κατηγορία με τις κλίσεις από 0% έως 2% και μία με τις κλίσεις από 2% έως 5%. Στο Σχήμα 3.11 φαίνεται ο χάρτης των κλίσεων των πρανών για τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται.

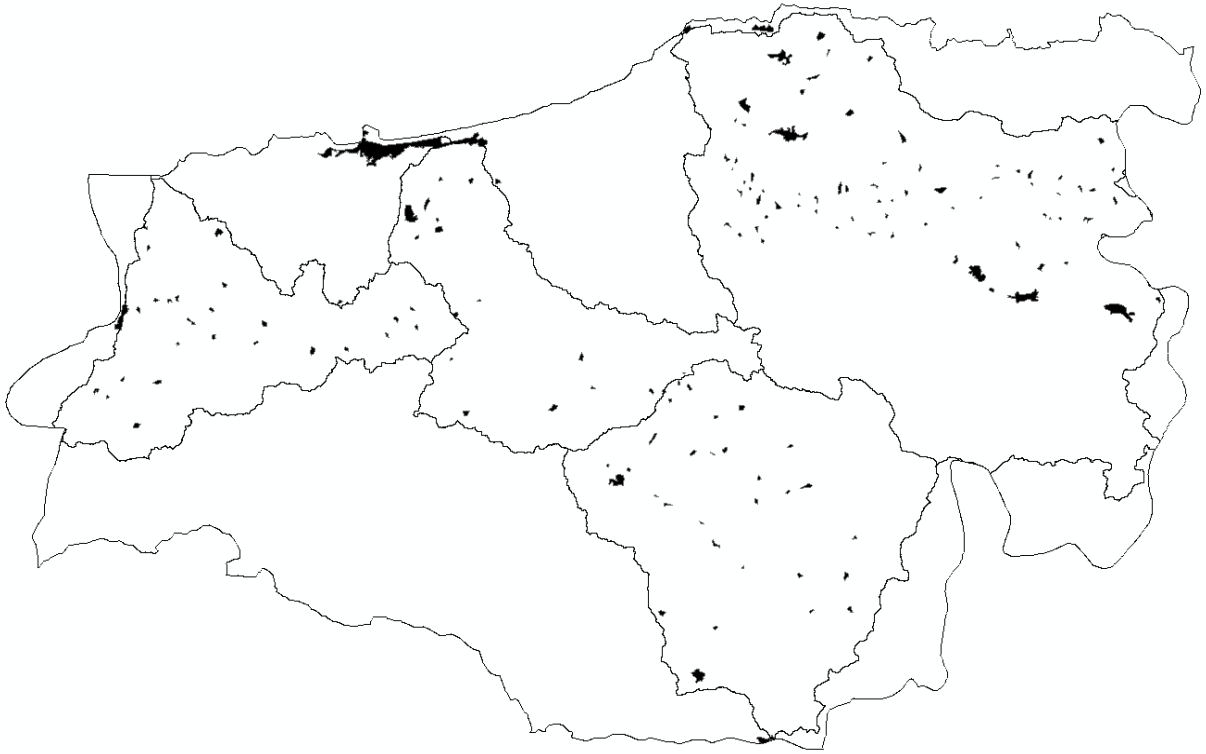


Σχήμα 3.11: Χάρτης κλίσεων πρανών για τις τέσσερις λεκάνες απορροής υπό μελέτη.

3.2 Θέσεις οικισμών

Για την κατασκευή ενός επιπέδου πληροφορίας για τους οικισμούς της Π.Ε. Ρεθύμνου, χρησιμοποιήθηκε το *corine land cover 2018 (CLC)* (10). Το αρχείο αυτό οριοθετήθηκε ώστε να παραμείνουν μόνο οι περιοχές που ανήκουν στην Π.Ε. Ρεθύμνου βάσει του περιγράμματος του Νομού, όπως αυτό ανακτήθηκε από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (17). Από το σύνολο των κωδικών κάλυψης γης απομονώθηκαν τα πολύγωνα που αντιστοιχούν στους κωδικούς 1.1.1 (Συνεχής αστικός ιστός) και 1.1.2 (Ασυνεχής αστικός ιστός). Ωστόσο σε αυτούς τους κωδικούς δε περιλαμβάνονται όλοι οι οικισμοί της Π.Ε. αλλά μόνο οι μεγαλύτεροι, επομένως συμπληρώθηκαν στην κατηγορία 1.1.2 και οι μικρότεροι οικισμοί. Οι θέσεις των οικισμών ανακτήθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή ως σημεία σε διανυσματικό επίπεδο στη διανομή ΕΓΣΑ87 (18). Με βάση τα σημεία αυτά και το *basemap* του ArcGIS

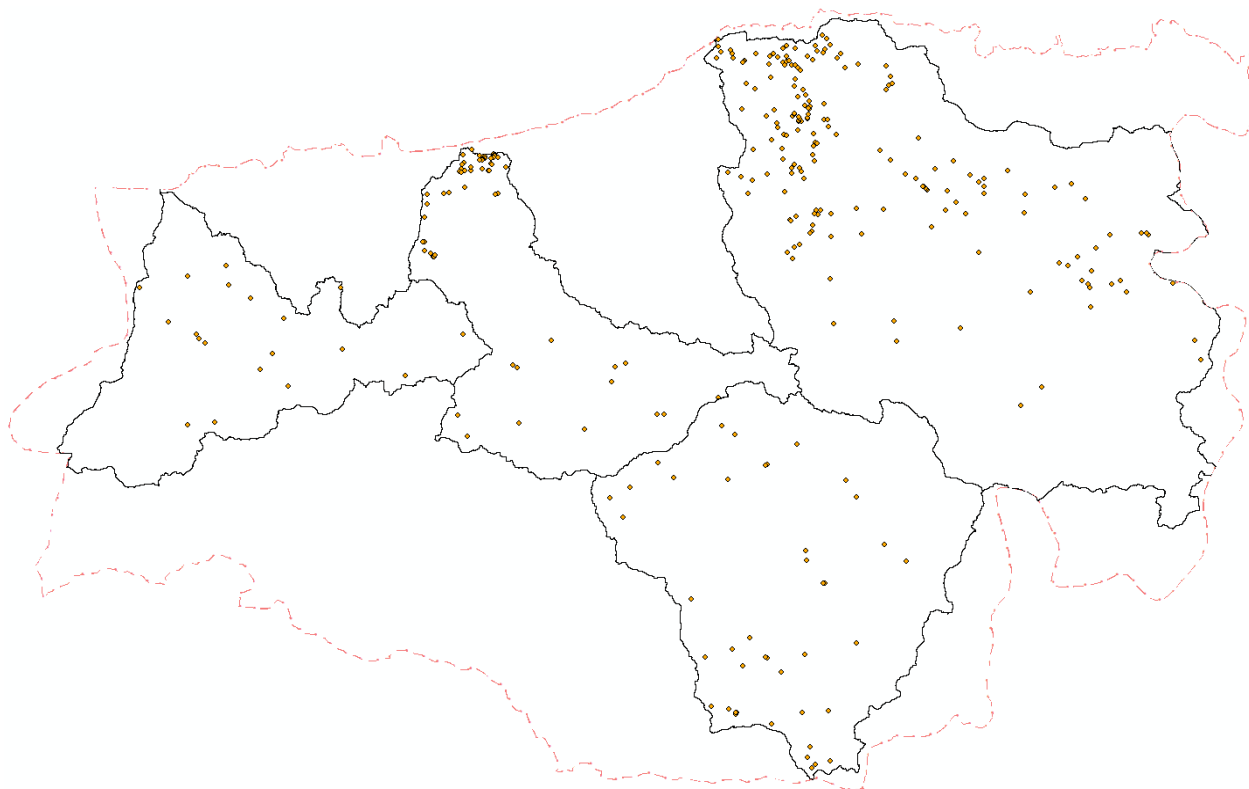
που αποτελείται από δορυφορικές εικόνες, προστέθηκαν στο επίπεδο του CLC οι υπόλοιποι οικισμοί της Π.Ε. με κωδικό 1.1.2. Στο Σχήμα 3.12 φαίνονται οι οικισμοί που βρίσκονται εντός των τεσσάρων λεκανών απορροής που μελετώνται.



Σχήμα 3.12: Οι οικισμοί που βρίσκονται εντός των τεσσάρων λεκανών απορροής που εξετάζονται.

3.3 Σημεία υδροληψίας

Οι θέσεις των σημείων υδροληψίας που είναι καταχωρημένα στο Εθνικό Μητρώο Σημείων Υδροληψίας (ΕΜΣΥ) είναι διαθέσιμες στη σελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας σε μορφή χάρτη όπου στον οποίο δίδονται οι συντεταγμένες τους στη διανομή ΕΓΣΑ87 (19). Οι συντεταγμένες των σημείων υδροληψίας εντός της Π.Ε. Ρεθύμνου, αφού σημειώθηκαν σε ένα αρχείο txt, εισήχθησαν ως νέο διανυσματικό αρχείο στο ArcGIS με επιλογή *Add XY data*. Στο Σχήμα 3.13 φαίνεται ο χάρτης των σημείων υδροληψίας που βρίσκονται εντός των τεσσάρων υδροκριτών που μελετώνται.



Σχήμα 3.13: Χάρτης σημείων υδροληψίας εντός των τεσσάρων υδροκριτών που μελετώνται

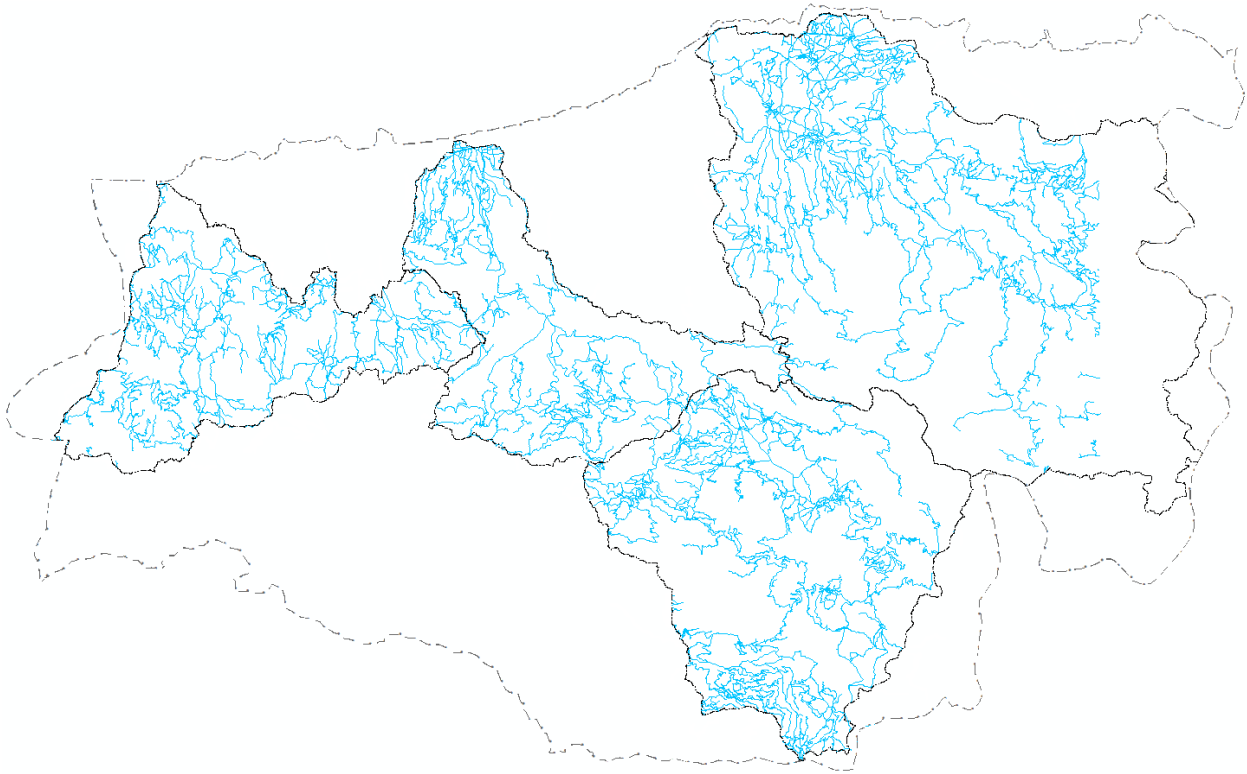
3.4 Οδικό δίκτυο

Οι πληροφορίες που αφορούν το οδικό δίκτυο ανακτήθηκαν από τα δεδομένα του Open Street Maps, μέσω της πλατφόρμας Overpass Turbo (20). Για την ανάκτηση όλων των δεδομένων που αφορούν το οδικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκε το query:

```
[out:json][timeout:25];
(
  node["highway"]({{bbox}});
  way["highway"]({{bbox}});
  relation["highway"]({{bbox}});
);
out body;
>;
out skel qt;
```

Το αρχείο αποθηκεύτηκε σε μορφή GeoJSON και μετατράπηκε σε shapefile μέσα από την πλατφόρμα MyGeodata Converter (21). Από το αρχείο που προέκυψε απορρίφθηκαν όλες οι κατηγορίες δρόμων

που δεν ανήκουν στο κύριο οδικό δίκτυο και διατηρήθηκαν οι κατηγορίες: trunk, trunk_link, track, tertiary, tertiary_link, secondary, secondary_link, primary, residential και unclassified εφόσον οι η τελευταία κατηγορία παρατηρήθηκε πως περιλαμβάνει κυρίως δρόμους του κεντρικού οδικού δικτύου που όμως δεν έχουν ταξινομηθεί από το Open Street Maps. Ο χάρτης του οδικού δικτύου που κατασκευάστηκε φαίνεται στο Σχήμα 3.14.



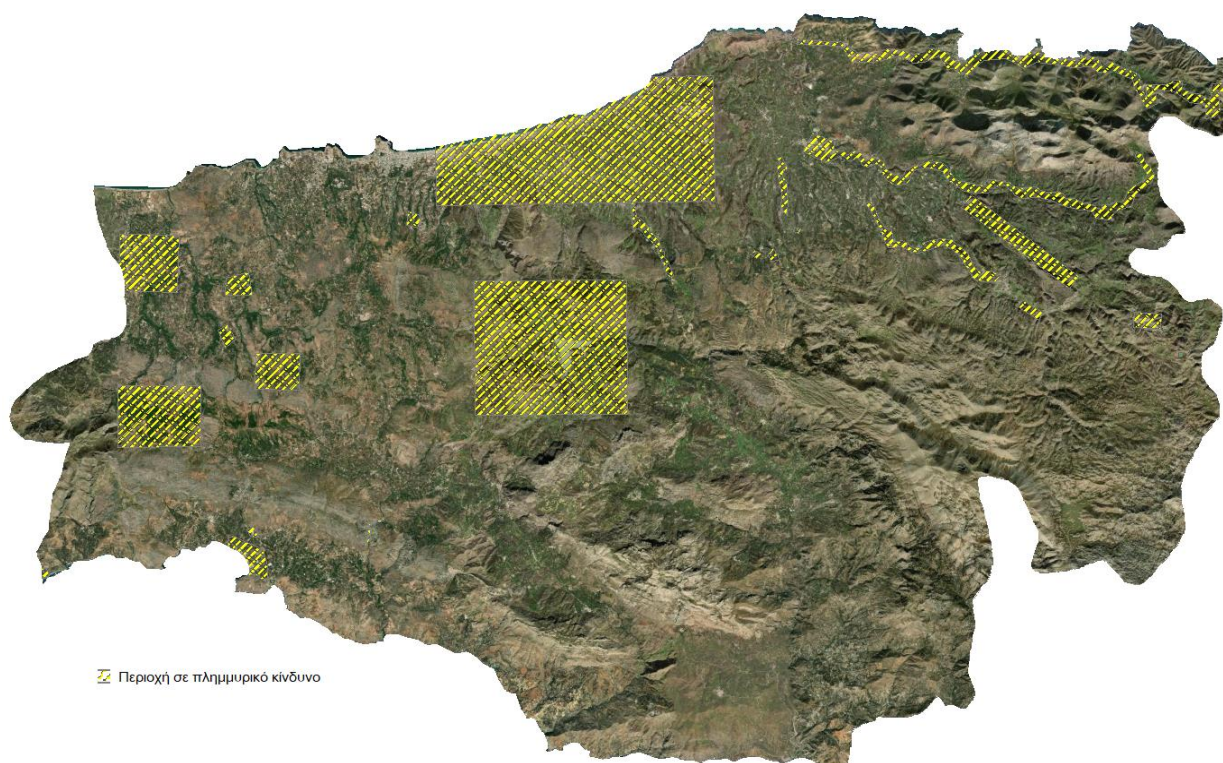
Σχήμα 3.14: Χάρτης του οδικού δικτύου εντός των τεσσάρων λεκανών απορροής που μελετώνται.

3.5 Γέφυρες

Ο εντοπισμός των θέσεων των γεφυρών έγινε με την υπέρθεση του επιπέδου του οδικού δικτύου σε αυτό του κυρίου υδατορέματος. Τα σημεία τομής του οδικού δικτύου με το κύριο υδατόρεμα εξετάστηκαν στην δορυφορική εικόνα του Basemap. Καταγράφηκαν έτσι οι θέσεις των γεφυρών ως σημεία σε ένα διανυσματικό επίπεδο.

3.6 Πλημμυρικός κίνδυνος

Ο προσδιορισμός των περιοχών που είναι ευάλωτοι στον πλημμυρικό κίνδυνο ήταν αποτέλεσμα συνδυασμού πολλών πηγών. Μία μερίδα των δεδομένων σχετίζεται με περιοχές που λόγω της γεωμορφολογίας τους είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες, οι περιοχές αυτές έχουν χαρτογραφηθεί για την Π.Ε. Ρεθύμνου από την υπηρεσία διαχείρισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης του Copernicus (Copernicus Emergency Management Service) (22). Η δεύτερη μερίδα των δεδομένων περιλαμβάνει τις πλημμυρόπληκτες περιοχές που υπέστησαν σημαντικές καταστροφές τόσο στο ανθρωπογενές όσο και στο φυσικό περιβάλλον εξαιτίας των πλημμυρικών συμβάντων των τεσσάρων τελευταίων χρόνων (23)(24)(25)(26)(27)(28)(29)(30). Ο συνδυασμός των παραπάνω δεδομένων δημιούργησε ένα διανυσματικό επίπεδο με όλες τις περιοχές που διατρέχουν πλημμυρικό κίνδυνο και είναι οριοθετημένες από πολύγωνα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.15.



Σχήμα 3.15: Χάρτης των περιοχών που διατρέχουν πλημμυρικό κίνδυνο εντός της Π.Ε. Ρεθύμνου, με φόντο το Basemap δορυφορικών εικόνων που παρέχει το ArcMAP 10.5.

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Πολυκριτηριακή Ανάλυση (MCDA)

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που συνυπολογίζει πολλά κριτήρια στα οποία αποδίδονται διαφορετικά βάρη. Ο στόχος της μεθόδου είναι η δημιουργία τυποποιημένων διαδικασιών που βοηθούν στη λήψη αποφάσεων για την επίλυση πολυπαραγοντικών προβλημάτων. Οι εισροές (inputs) της μεθόδου είναι τα συγκεκριμένα γεωγραφικά δεδομένα που διαθέτει το πρόβλημα που θέτει η παρούσα εργασία και η έξοδος (output) η προκύπτουσα απόφαση. Δηλαδή πιο συγκεκριμένα η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί μια μοντελοποιημένη σχέση μεταξύ των χωρικών δεδομένων εισόδου και εξόδου. Η πολυκριτηριακή ανάλυση θεωρείται εξαιρετικά αποτελεσματική στο να κατασκευάζει μονοδιάστατα μεγέθη που αξιολογούν τις εναλλακτικές αποφάσεων μέσα από τον συσχετισμό των γεωγραφικών δεδομένων και των προτιμήσεων του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. (31)

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την λήψη της απόφασης σχετικά με την θέση στην οποία χωροθετούνται τόσο οι υδρομετρικοί όσο και οι υδρομετεωρολογικοί σταθμοί. Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης απαιτεί το σαφή καθορισμό του προβλήματος, των κριτηρίων επιλογής και των εναλλακτικών λύσεων. Στην παρούσα περίπτωση το πρόβλημα είναι η βέλτιστη χωροθέτηση των σταθμών. Τα κριτήρια επιλογής είναι αυτά που παρουσιάζονται παρακάτω ως κριτήρια χωροθέτησης υδρομετρικών και υδρομετεωρολογικών σταθμών. Οι πιθανές θέσεις χωροθέτησης είναι αρχικά όλες οι θέσεις της εκάστοτε λεκάνης απορροής στην περίπτωση των υδρομετεωρολογικών και όλες οι θέσεις του κυρίου υδατορέματος στην περίπτωση των υδρομετρικών. Όσον αφορά τη βαρύτητα των κριτηρίων, στο υδρομετεωρολογικό δίκτυο, δίδεται ίσο βάρος σε όλα τα κριτήρια αφού κρίνονται εξίσου σημαντικά όλα και συμψηφίζονται με την μέθοδο του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού (WLC). Στην περίπτωση του υδρομετρικού δικτύου, διατυπώνονται τρία διαφορετικά σενάρια σε κάθε ένα από τα οποία δίδεται άλλο βάρος σε κάθε κριτήριο όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.2, υπολογίζοντας τα βάρη με τη βοήθεια της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (AHP). Ο συνδυασμός τους στην συνέχεια γίνεται με τη μέθοδο WLC.

4.2 Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP)

Η AHP είναι μια δομημένη τεχνική λήψης αποφάσεων η οποία βρίσκει εφαρμογή κυρίως στην ομαδική λήψη αποφάσεων. Η μέθοδος αυτή δεν αποσκοπεί στο να αναδείξει τη σωστή επιλογή αλλά αυτή που περισσότερο ταιριάζει στις απαιτήσεις του χρήστη της. Η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές διαφορετικές εναλλακτικές περιπτώσεις. Στην παρούσα εργασία, η ανάγκη που καλείται να καλύψει είναι αυτή της ταξινόμησης των πιθανών θέσεων των σταθμών του υδρομετρικού δικτύου, βάσει της καταλληλότητας τους σε συνάρτηση με τις απαιτήσεις που έχει το κάθε ένα από τα τρία σενάρια. Η μεθοδολογία της μεθόδου έχει τέσσερα βασικά βήματα όπως παρουσιάζονται παρακάτω(32):

1. Η σύνθετη απόφαση αποδομείται στα επιμέρους κριτήρια που θα οδηγήσουν στην προτιμότερη εναλλακτική. Επίσης εντοπίζονται όλες οι επιλογές που είναι διαθέσιμες και διατυπώνεται με ακρίβεια ο στόχος που πρέπει να επιτευχθεί με τη λήψη της συγκεκριμένης απόφασης. Στην περίπτωση της εργασίας αυτής, τα κριτήρια είναι και παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.5. Οι δυνατές επιλογές είναι όλες οι θέσεις κατά μήκος του κάθε κύριου υδατορέματος και ο στόχος διαφέρει ανάλογα με τα τρία σενάρια που περιγράφονται στις παραγράφους 5.2.1 έως 5.2.3.
2. Στο δεύτερο βήμα κατασκευάζεται ένας πίνακας ζευγαρωτών συγκρίσεων και βαθμολόγησης των κριτηρίων ανάλογα με το βαθμό στον οποίο συντελούν στην επίτευξη του στόχου. Ο πίνακας που κατασκευάζεται έχει διαστάσεις $N \times N$, όπου N το πλήθος των κριτηρίων. Η γραμμή i καθώς και η στήλη i αντιστοιχεί στο κριτήριο i . Επομένως, το κριτήριο της γραμμής i συγκρίνεται με τα υπόλοιπα $N - i$ κριτήρια. Κατά την σύγκρισή του με το κριτήριο j , τοποθετείται στην θέση i, j η βαθμολογία του i έναντι του j ως προς την σημασία τους σε σχέση με τον στόχο που έχει διατυπωθεί. Η βαθμολογία μπορεί να είναι από $1/9$ όταν το j είναι απόλυτα σημαντικότερο του i έως 9 όταν το i είναι απόλυτα σημαντικότερο του j , με την τιμή 1 να δηλώνει ως ισάξια τα δύο κριτήρια. Η διαγώνιος τέλος συμπληρώνεται με την τιμή 1 . Με το πέρας αυτής της διαδικασίας προέκυψαν για τα τρία σενάρια που εξετάζονται, οι πίνακες 5.2.1.1, 5.2.2.1 & 5.2.3.1 (4).
3. Αφού κατασκευαστούν οι πίνακες των ζευγαρωτών συγκρίσεων, υπολογίζεται το βάρος W_i για το κάθε ένα από τα κριτήρια όπως φαίνεται στην εξίσωση παρακάτω και συμπληρώνεται ο πίνακας βαρών \mathbf{W} :

$$\begin{array}{c}
 W_1 \\
 \\
 W_2 \\
 \\
 W_3 \\
 \\
 \vdots
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \frac{\sum_{j=1}^N \frac{a_{1j}}{\sum_{i=1}^N a_{i1}}}{N} \\
 \\
 \frac{\sum_{j=1}^N \frac{a_{2j}}{\sum_{i=1}^N a_{i2}}}{N} \\
 \\
 \frac{\sum_{j=1}^N \frac{a_{3j}}{\sum_{i=1}^N a_{i3}}}{N} \\
 \\
 \vdots
 \end{array}$$

Όπου a_{ij} τα στοιχεία του πίνακα \mathbf{A} των ζευγαρωτών συγκρίσεων.

4. Τέλος υπολογίζεται η συνέπεια της αξιολόγησης που έχει γίνει. Για τον υπολογισμό του δείκτη και του λόγου συνέπειας, υπολογίζεται ο πίνακας \mathbf{X} διαστάσεων $1 \times N$, ως $\mathbf{X} = \mathbf{A} * \mathbf{W}$. Στη συνέχεια υπολογίζεται μία εκτίμηση της ιδιοτιμής λ_{max} του πίνακα \mathbf{A} ως:

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{X_i}{W_i}}{N}$$

Ο δείκτης συνέπειας CI προκύπτει ως:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}$$

Και τέλος ο λόγος συνέπειας CR προκύπτει ως:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Όπου για N πλήθος κριτηρίων, η RI είναι η N -οστή τιμή της ακολουθίας (0.00, 0.00, 0.58, 0.09, 1.12, 1.24, 1.32, 1.41, 1.45, 1.49). Στην περίπτωση που εξετάζουμε στην οποία τα κριτήρια είναι 5, έχουμε $RI = 1.12$. Το αποτέλεσμα της ΑΗΡ κρίνεται ικανοποιητικά συνεπές όταν $CR < 0.1$.

4.3 Σταθμισμένος Γραμμικός Συνδυασμός (WLC)

Ο σταθμισμένος γραμμικός συνδυασμός αποτελεί μία αναλυτική μέθοδο που χρησιμοποιείται για της λήψη μίας απόφασης όσον αφορά τη λύση ενός πολυπαραγοντικού προβλήματος. Σε αυτό δίδεται άλλο βάρος σε κάθε κριτήριο που διαμορφώνει την τελική απόφαση ανάλογα με τη σημασία του. Σε περιπτώσεις λήψης αποφάσεων που έχουν κριτήρια με χωρική διάσταση, ύστερα από την άθροιση των τιμών των κριτηρίων πολλαπλασιασμένων με το αντίστοιχο βάρος τους, προκύπτουν περιοχές με συγκεκριμένη βαθμολογία. Μεταξύ αυτών, αυτή με τη μεγαλύτερη τιμή είναι η πλέον κατάλληλη.

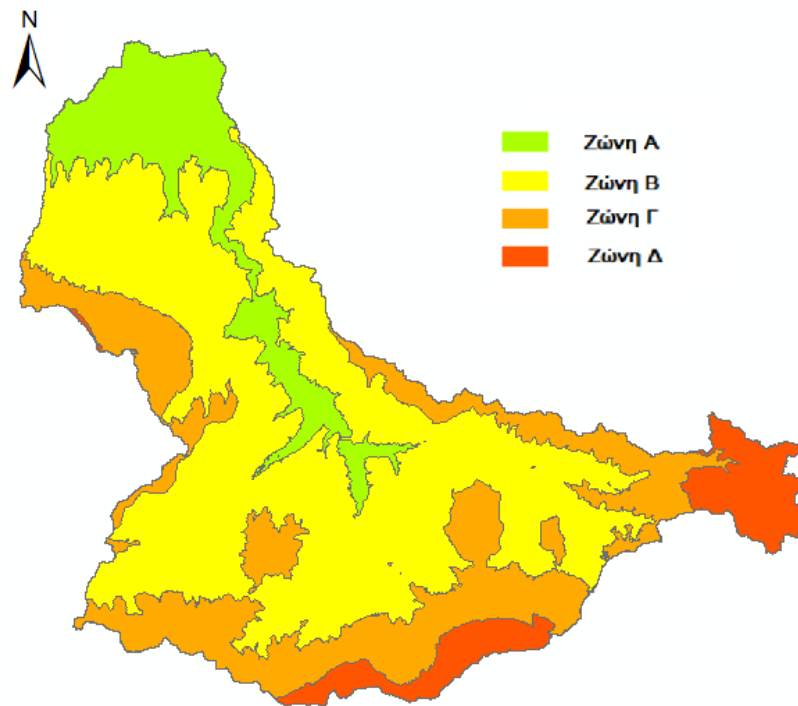
4.4 Κριτήρια χωροθέτησης υδρομετεωρολογικών σταθμών

Τα κριτήρια που αφορούν τη χωροθέτηση των υδρομετεωρολογικών σταθμών ανήκουν σε τρεις κατηγορίες. Τα γεωμορφολογικά (4.4.1 υψόμετρο & 4.4.2 κλίσεις) και τα τεχνικά κριτήρια (4.4.3 οικισμοί, 4.4.4 οδικό δίκτυο & 4.4.5 σημεία υδροληψίας) αναπτύσσονται παρακάτω. Η τρίτη κατηγορία που αφορά τα γεωμετρικά κριτήρια σχετίζεται με τη βέλτιστη κάλυψη της περιοχής. Προκειμένου να τηρούνται τα γεωμετρικά κριτήρια κατά τη χωροθέτηση, είναι απαραίτητο οι σταθμοί όσο το δυνατόν να ισαπέχουν σε κάθε γεωμετρική ζώνη και να την καλύπτουν ομοιόμορφα. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερη παρατήρηση των κατακρημνίσεων και ευκολότερος έλεγχος της λειτουργίας του δικτύου.

4.4.1 Υψόμετρο

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), η υψομετρική κατηγοριοποίηση της γήινης επιφάνειας είναι αυτή που καθορίζει την πυκνότητα των υδρομετεωρολογικών σταθμών. Η

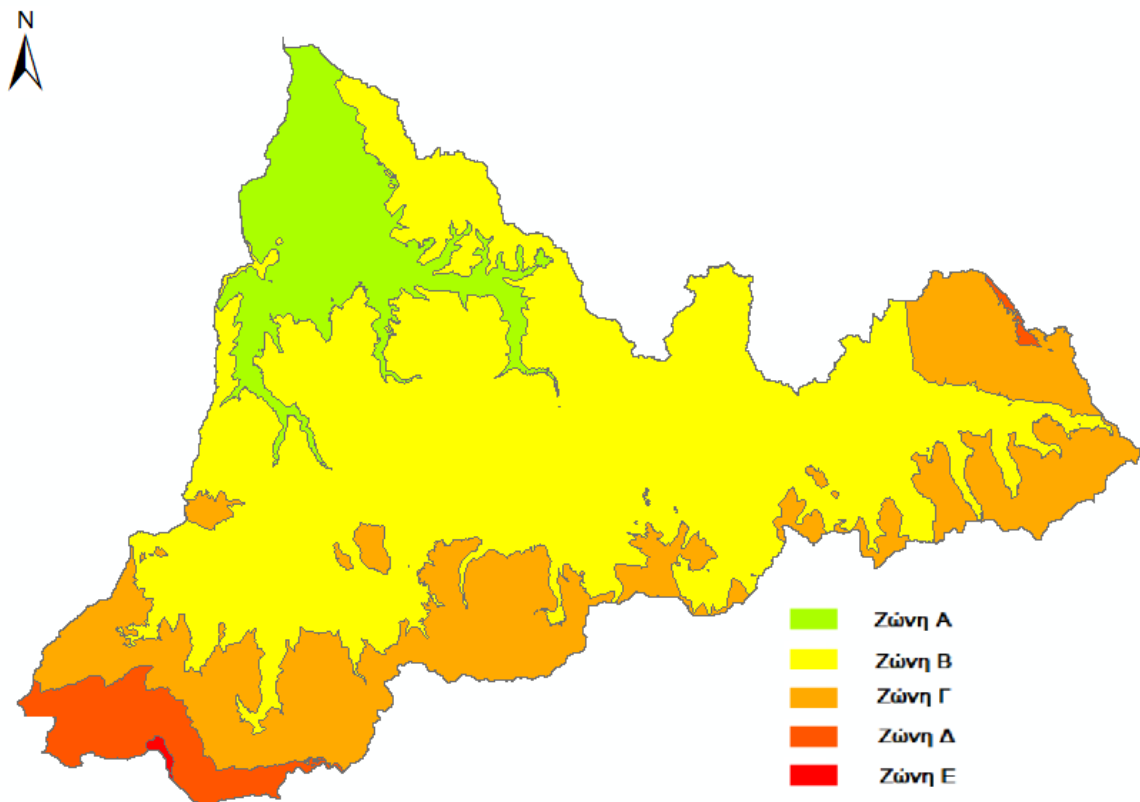
υψομετρική κατηγοριοποίηση παρουσιάζεται στην παράγραφο 3.1.3 και έχει πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προγράμματος SOTER όπως αυτές προσαρμόζονται στο ανάγλυφο της Ελλάδας. Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση αυτή και τις συστάσεις του WMO προκύπτει το τελικό πλήθος των υδρομετεωρολογικών σταθμών για κάθε υψομετρική ζώνη των τεσσάρων λεκανών απορροής όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.4.1 έως 4.4.4. Στην περίπτωση των λεκανών απορροής του Πρασσανού και του Πετρέ, προκύπτει μηδενικό πλήθος σταθμών για κάθε μία από τις επιμέρους υψομετρικές ζώνες. Ωστόσο σύμφωνα με τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό του ελάχιστου πλήθους σταθμών του υδρομετεωρολογικού δικτύου του WMO, στις ορεινές περιοχές μεσογειακού κλίματος χωροθετείται κατ' ελάχιστο ένας σταθμός ανά 100 με 250 km².



Σχήμα 4.4.1: Υψομετρική κατηγοριοποίηση και πλήθος υδρομετεωρολογικών σταθμών για την λεκάνη απορροής του Πρασσανού.

Πίνακας 4.4.1: Πλήθος σταθμών ανά υψομετρική ζώνη στην λεκάνη απορροής του Πρασσανού.

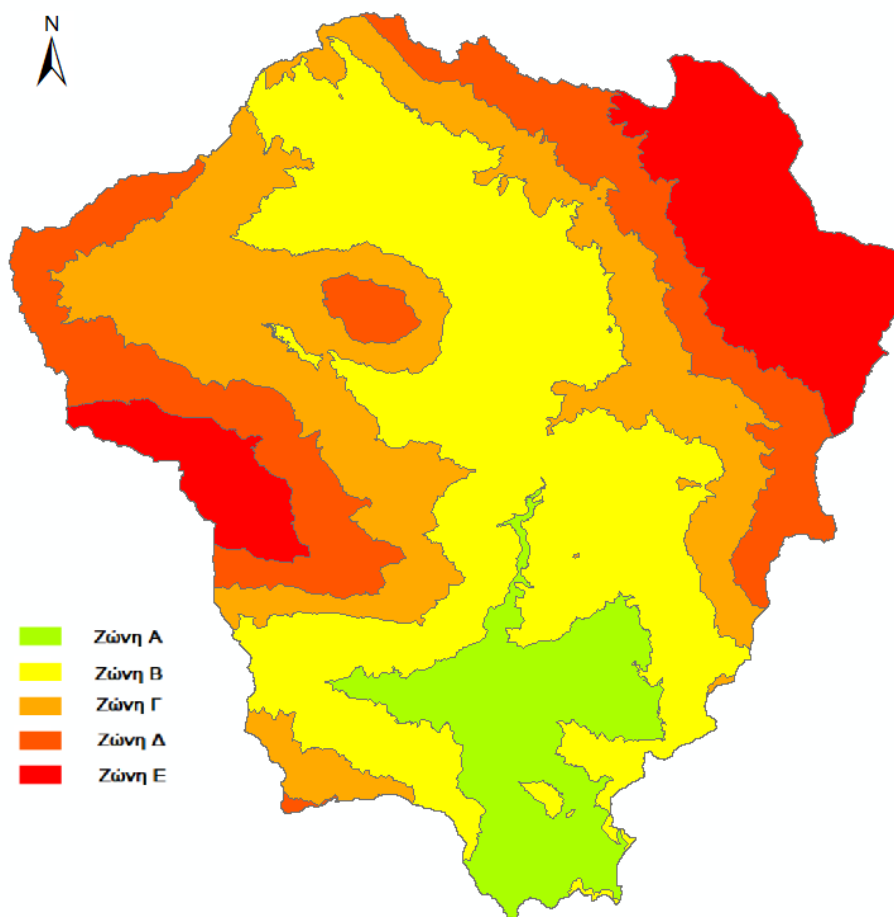
Ζώνη	Υψόμετρα (m)	Έκταση (km ²)	Έκταση ανά σταθμό (km ²)	Πλήθος σταθμών	Τελικοί σταθμοί
A	0 - 200	66	600	0.11	0
B	200 - 500	33	100	0.33	0
Γ	500 - 800	17	75	0.27	0
Δ	800 - 1200	10	50	0.2	0
Σύνολο	-	126	-	-	1



Σχήμα 4.4.2: Υψομετρική κατηγοριοποίηση και πλήθος υδρομετεωρολογικών σταθμών για την λεκάνη απορροής του Πετρέ.

Πίνακας 4.4.2: Πλήθος σταθμών ανά υψομετρική ζώνη στην λεκάνη απορροής του Πετρέ.

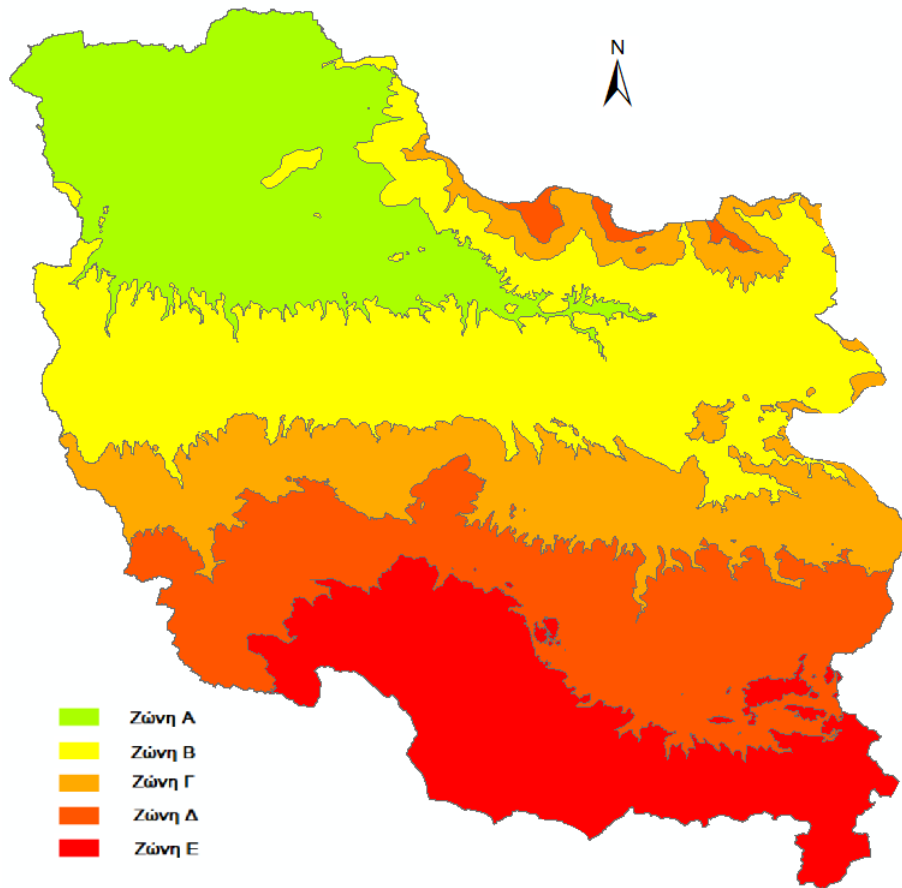
Ζώνη	Υψόμετρα (m)	Έκταση (km ²)	Έκταση ανά σταθμό (km ²)	Πλήθος σταθμών	Τελικοί σταθμοί
A	0 - 200	74	600	0.123	0
B	200 - 500	32	100	0.315	0
Γ	500 - 800	14	75	0.02	0
Δ	800 - 1200	5	50	0.1	0
E	1200 - 2456	0	50	0	0
Σύνολο	-	125	-	-	1



Σχήμα 4.4.3: Υψομετρική κατηγοριοποίηση και πλήθος υδρομετεωρολογικών σταθμών για την λεκάνη απορροής του Πλατύ.

Πίνακας 4.4.3: Πλήθος σταθμών ανά υψομετρική ζώνη στην λεκάνη απορροής του Πλατύ.

Ζώνη	Υψόμετρα (m)	Έκταση (km ²)	Έκταση ανά σταθμό (km ²)	Πλήθος σταθμών	Τελικοί σταθμοί
A	0 - 200	72	600	0.12	0
B	200 - 500	53	100	0.52	1
Γ	500 - 800	21	75	0.28	0
Δ	800 - 1200	35	50	0.7	1
E	1200 - 2456	29	50	0.58	1
Σύνολο	-	210	-	-	3



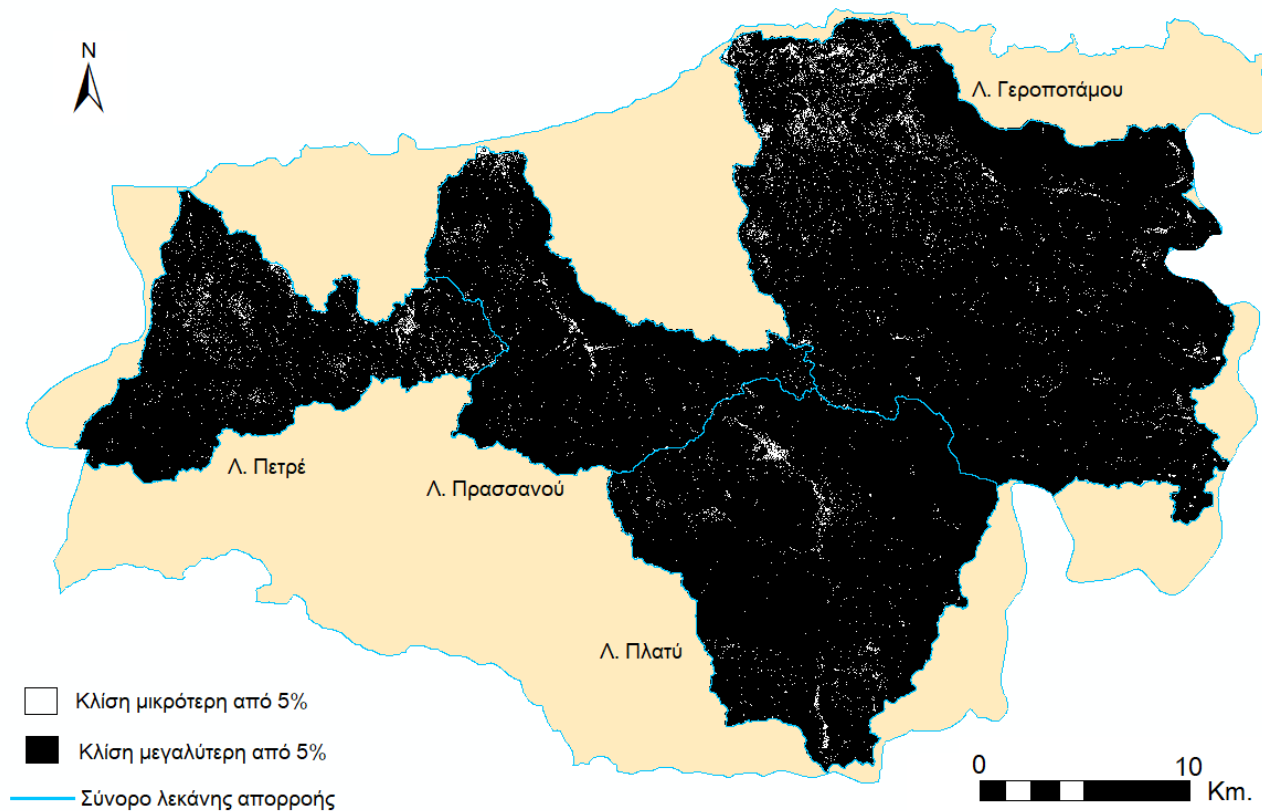
Σχήμα 4.4.4: Υψομετρική κατηγοριοποίηση και πλήθος υδρομετεωρολογικών σταθμών για την λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου.

Πίνακας 4.4.4: Πλήθος σταθμών ανά υψομετρική ζώνη στην λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου.

Ζώνη	Υψόμετρα (m)	Έκταση (km ²)	Έκταση ανά σταθμό (km ²)	Πλήθος σταθμών	Τελικοί σταθμοί
A	0 - 200	103	600	0.17	0
B	200 - 500	64	100	0.64	1
Γ	500 - 800	73	75	0.98	1
Δ	800 - 1200	72	50	1.44	1
Ε	1200 - 2456	61	50	1.22	1
Σύνολο	-	373	-	-	4

4.4.2 Κλίσεις

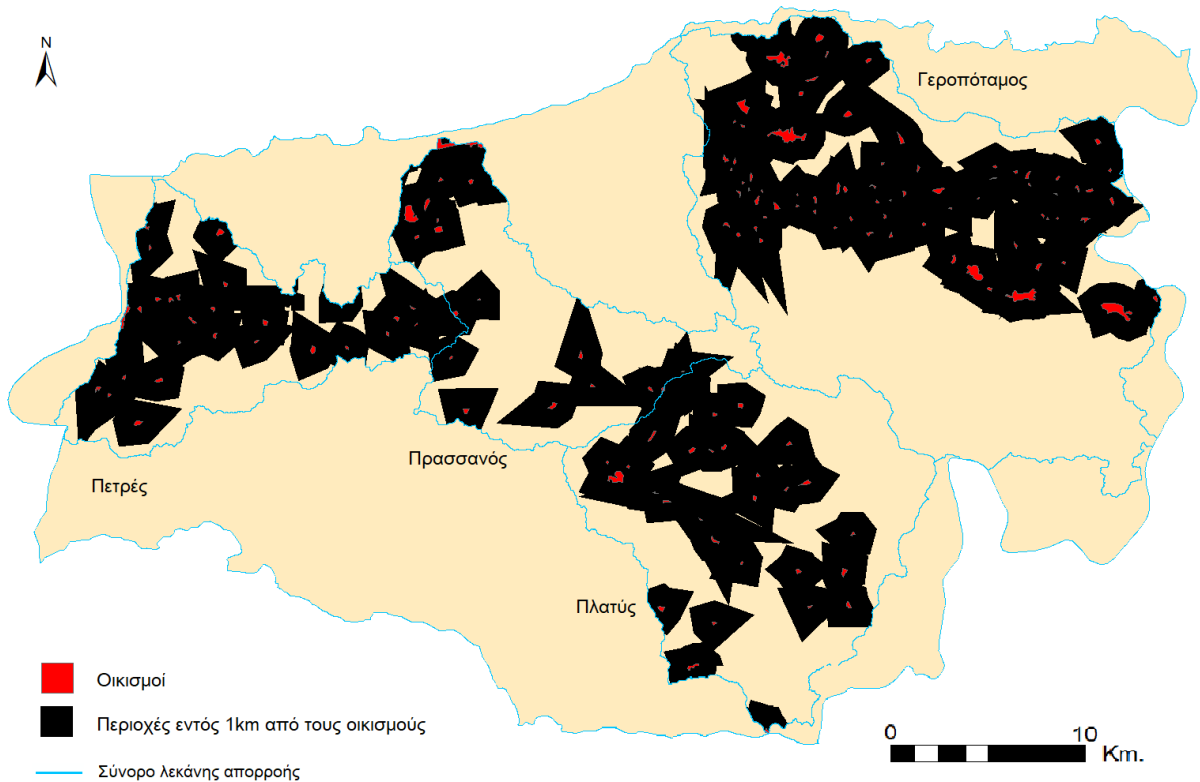
Για τη χωροθέτηση των υδρομετεωρολογικών σταθμών, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.1.4, η κλίση του εδάφους οφείλει να είναι μικρότερη από 5% με τις μικρότερες τιμές να είναι προτιμότερες. Για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκε για κάθε λεκάνη απορροής από το αρχείο που περιλαμβάνει τις κλίσεις του εδάφους (παράγραφος 3.1.4), ένας δυαδικός χάρτης (boolean map) με τιμή 1 στις περιοχές με κλίση μικρότερη από 5% και τιμή 0 για όλες τις υπόλοιπες περιοχές. Για κάθε μία λεκάνη απορροής, για την κατασκευή του δυαδικού χάρτη χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο *raster calculator*, μέσω του οποίου με χρήση της εντολής `con()` προέκυψε ένα αρχείο raster με τιμή ίση με 1 στα φαντία με κλίση μικρότερη από 5% και τιμή ίση με 0 σε όλα τα υπόλοιπα φαντία του επιπέδου. Παράλληλα κατασκευάστηκε ένα δεύτερο raster αρχείο με έκταση ίδια με αυτή της λεκάνης απορροής και τιμή 0. Τα δύο raster αρχεία εισήχθησαν στο εργαλείο *mosaic to new raster* ώστε να προκύψει ο δυαδικός χάρτης με την επιθυμητή έκταση. Στο Σχήμα 4.4.5 παρουσιάζονται οι τέσσερις δυαδικοί χάρτες που αντιστοιχούν στις λεκάνες απορροής που μελετώνται.



Σχήμα 4.4.5: Δυαδικός χάρτης κλίσεων των τεσσάρων λεκανών απορροής που μελετώνται.

4.4.3 Οικισμοί

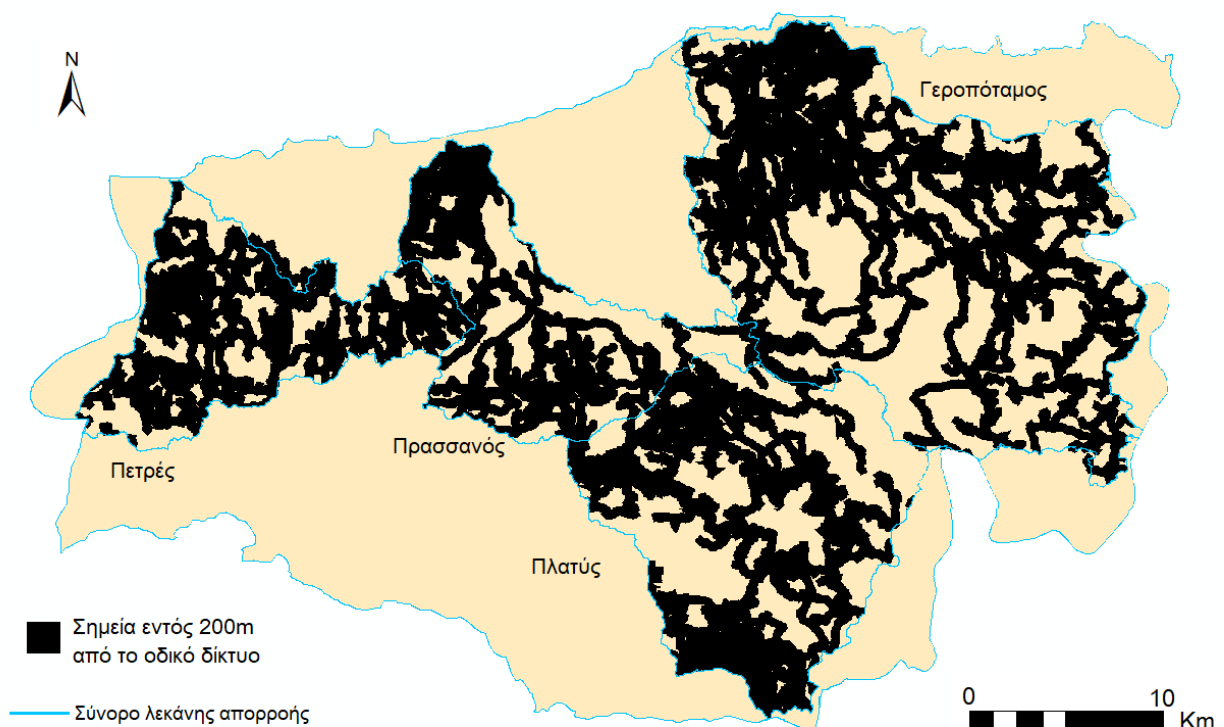
Για την διευκόλυνση της παρακολούθησης των υδρομετεωρολογικών σταθμών αλλά και την ευκολότερη πρόσβαση κατά την κατασκευή και τη συντήρησή τους, η χωροθέτηση των υδρομετεωρολογικών σταθμών προτείνεται να γίνεται σε μικρή σχετικά ακτίνα από τους οικισμούς. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκε σαν ιδανική θέση όσον αφορά στην απόσταση από τους οικισμούς, κάθε θέση εντός ακτίνας ενός χιλιομέτρου από αυτούς. Ύστερα από την τοποθέτηση των οικισμών σε ένα raster αρχείο όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.2, με το εργαλείο *buffer* δημιουργήθηκε για τους οικισμούς της κάθε λεκάνης απορροής ένα ξεχωριστό αρχείο raster με τιμή 1 στις θέσεις εντός ενός χιλιομέτρου από τους οικισμούς και τιμή 0 σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις. Αυτό προστέθηκε μέσω του εργαλείου *mosaic to new raster* με αρχείο το οποίο έχει τιμή 0 σε όλη την έκταση της λεκάνης απορροής. Προέκυψε και σε αυτήν την περίπτωση ένας δυαδικός χάρτης στην έκταση της λεκάνης απορροής με τιμή 1 εντός της ακτίνας ενός χιλιομέτρου από τους οικισμούς και τιμή 0 σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις εντός της λεκάνης. Στο Σχήμα 4.4.6 φαίνονται οι χάρτες που προέκυψαν και για τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται.



Σχήμα 4.4.6: Χάρτης περιοχών εντός 1km από τους οικισμούς των τεσσάρων λεκανών απορροής που μελετώνται.

4.4.4 Οδικό δίκτυο

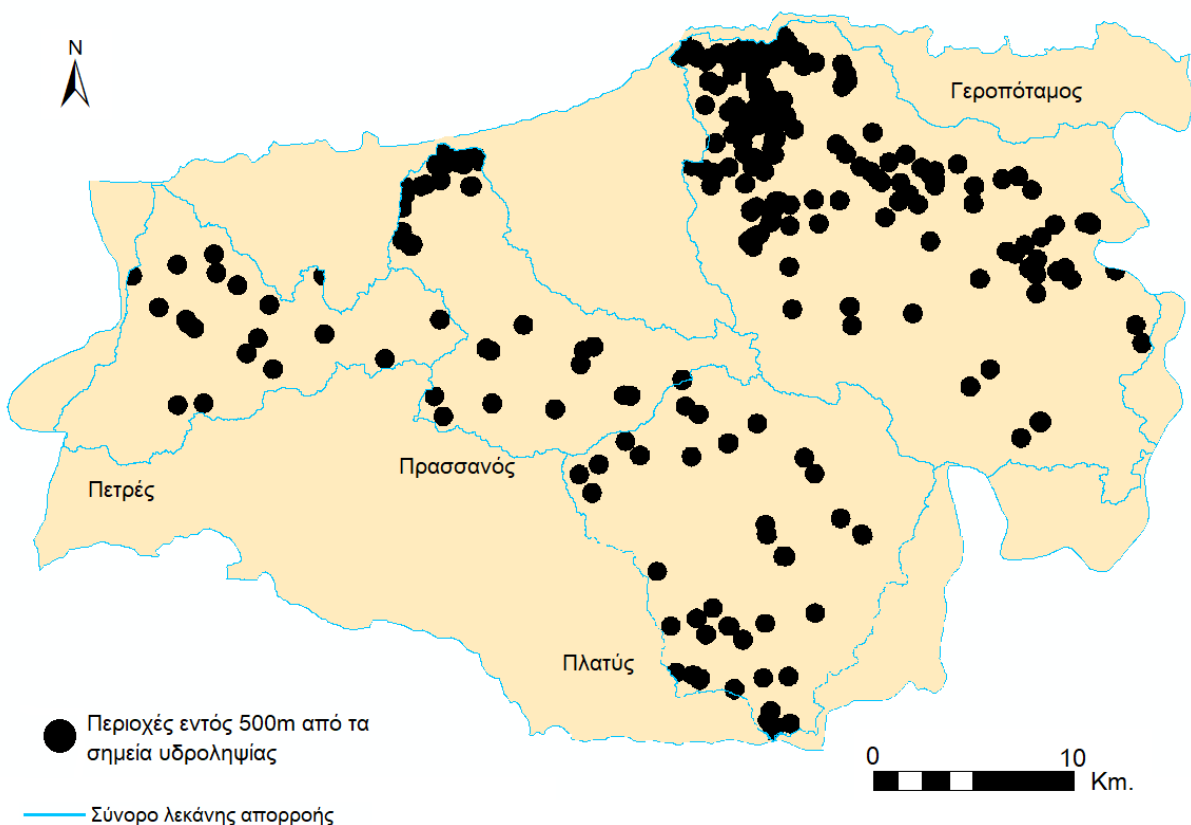
Οι υδρομετεωρολογικοί σταθμοί είναι απαραίτητο, όπως και στην περίπτωση των οικισμών, να είναι κοντά στο οδικό δίκτυο για λόγους πρόσβασης. Για το λόγο αυτό με το εργαλείο *buffer* δημιουργήθηκε μία ζώνη 200m από το δικό δίκτυο όπως αυτό περιγράφεται στη παράγραφο 3.4. Στην συνέχεια το αρχείο raster που προέκυψε προστέθηκε όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις με το εργαλείο *mosaic to new raster* στην λεκάνη απορροής με τιμή 0. Προέκυψε αρχείο με τιμή 1 εντός διακοσίων μέτρων από το οδικό δίκτυο και σε όλα τα υπόλοιπα σημεία τιμή 0, στο μέγεθος της κάθε λεκάνης απορροής. Στο Σχήμα 4.4.7 παρουσιάζονται οι τέσσερις χάρτες του οδικού δικτύου μετά την εφαρμογή του *buffer* για τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται.



Σχήμα 4.4.7: Χάρτης περιοχών εντός 200m από το οδικό δίκτυο των τεσσάρων λεκανών απορροής που μελετώνται.

4.4.5 Σημεία υδροληψίας

Σε περιοχές όπου βρίσκονται συστάδες γεωτρήσεων είναι σημαντικό για οικονομικούς λόγους που σχετίζονται με την γεωργία και την ύδρευση των οικισμών να γίνεται με βέλτιστο τρόπο η παρακολούθηση της ποσότητας βροχής που καταλήγει στον υπόγειο υδροφόρα. Με βάση αυτή την αρχή επιλέχθηκαν ως επιθυμητές οι θέσεις για την τοποθέτηση υδρομετεωρολογικών σταθμών που απέχουν έως και 500m από την κοντινότερη γεώτρηση. Για τον λόγο αυτό με το εργαλείο buffer δημιουργήθηκε μία ζώνη πεντακοσίων μέτρων από κάθε σημείο υδροληψίας με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το ΕΜΣΥ όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.3. Στην συνέχεια το αρχείο raster που προέκυψε προστέθηκε όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις με το εργαλείο mosaic to new raster στην λεκάνη απορροής με τιμή 0. Έτσι προέκυψε αρχείο με τιμή 1 εντός πεντακοσίων μέτρων από κάποιο σημείο υδροληψίας και σε όλα τα υπόλοιπα σημεία τιμή 0, στο μέγεθος της κάθε λεκάνης απορροής. Στο Σχήμα 4.4.8 φαίνονται οι τέσσερις χάρτες των σημείων υδροληψίας μετά την εφαρμογή του buffer για τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται.



Σχήμα 4.4.8: Χάρτης περιοχών εντός 500m από τα σημεία υδροληψίας των τεσσάρων λεκανών απορροής που μελετώνται.

4.5 Κριτήρια χωροθέτησης υδρομετρικών σταθμών

Τα κριτήρια που αναφέρει ο WMO (5) ως αυτά που θα πρέπει να διαμορφώσουν την επιλογή συγκεκριμένων θέσεων για την χωροθέτηση των σταθμών του υδρομετρικού δικτύου παρουσιάζονται παρακάτω:

- α. Η γενική πορεία του ρέματος πρέπει να είναι ευθεία για μήκος περίπου όσο δέκα φορές το πλάτος του ρέματος, ανάντη και κατόντη του σημείου μέτρησης.
- β. Η συνολική ροή θα πρέπει να περιορίζεται σε ένα κανάλι και να μην υπάρχουν παρακάμψεις παράλληλες στην κύρια ροή όπως υπόγειες ροές.
- γ. Το σώμα του ρέματος να μην υπόκειται σε καθαρισμό και πλήρωση και να εμφανίζει όσο το δυνατόν λιγότερη υδρόβια βλάστηση.
- δ. Οι όχθες να είναι αρκετά ψηλές ώστε να μην υπερχειλίζουν κατά τις πλημμύρες και καθαρές από χαμόκλαδα.
- ε. Να είναι παρούσα ανάντη του σημείου μέτρησης κάποια πηγή ώστε να εξασφαλίζεται η δυνατότητα μέτρησης σε εξαιρετικά χαμηλές στάθμες και να αποφεύγεται η μεγάλη ορμή του ρέματος σε περιόδους υψηλής ροής.
- στ. Το σημείο μέτρησης να είναι αρκετά μακριά και ανάντη της συμβολής με άλλο ρέμα ή από περιοχή όπου εμφανίζεται παλιρροϊκή επίδραση.
- ζ. Το σημείο να είναι προσβάσιμο σε λογική απόσταση για να γίνει η μέτρηση καθ' όλες τις περιόδους του χρόνου. Αν είναι απαραίτητο, οι υψηλές στάθμες και οι χαμηλές μπορούν να μετρίονται σε διαφορετικά σημεία της τοποθεσίας μέτρησης.
- η. Το σημείο να είναι εύκολα προσβάσιμο για την τοποθέτηση και λειτουργία του υδρομετρικού σταθμού.

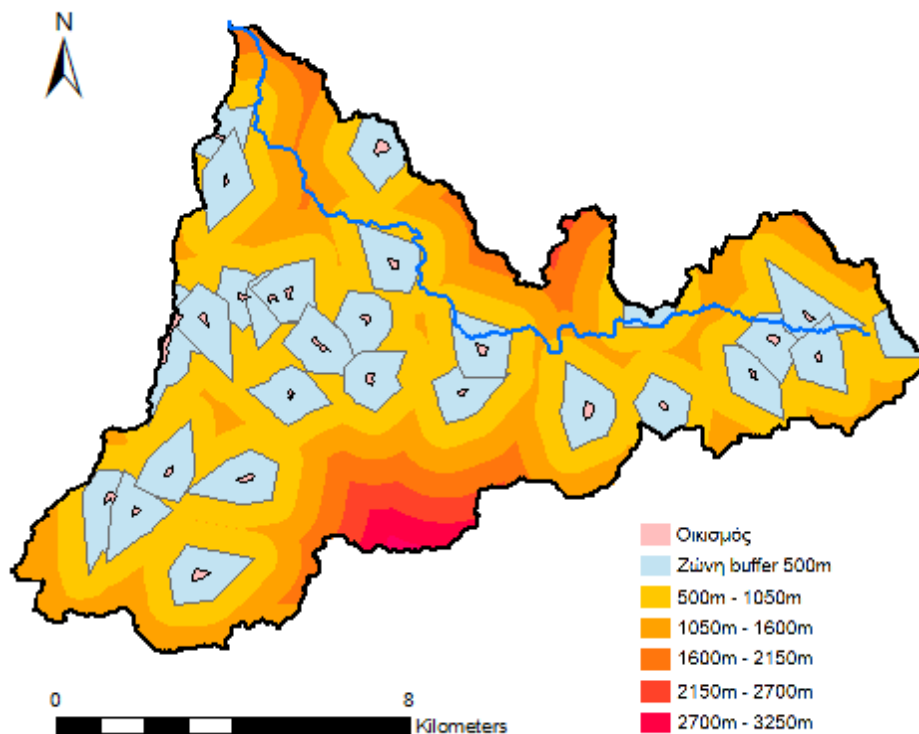
Η εύρεση ιδανικής τοποθεσίας ορισμένες φορές μπορεί να είναι αδύνατη όπως στην περίπτωση των περισσότερων χειμαρρωδών ρεμάτων της Κρήτης με πολλά φερτά υλικά και ασταθή σώματα στις όχθες τους. Ωστόσο κάποια κριτήρια δεν επηρεάζονται από την κατάσταση του ρέματος αλλά από την μορφολογία του εδάφους και τις χρήσεις γης. Τα τελευταία διερευνήθηκαν σε περιβάλλον του ArcGIS και βάσει αυτών επιλέχθηκαν οι τοποθεσίες στις οποίες θα μπορούσε να τοποθετηθεί και να λειτουργήσει ένας υδρομετρικός σταθμός.

Ο WMO, προτείνει επίσης πως οι υδρομετρικοί σταθμοί θα πρέπει να χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τους πρωτεύοντες, τους δευτερεύοντες και τους ειδικού σκοπού σταθμούς [27] καθώς και να προσδιορίζεται το πλήθος των σταθμών βάσει του τύπου του εδάφους (παράκτιο, ορεινό, πεδινό κλπ) και της έκτασης της λεκάνης απορροής. Η μεγαλύτερη πυκνότητα σταθμών είναι αυτή που προτείνει για το ορεινό τοπίο με έναν σταθμό ανά 1000 km²[26]. Ωστόσο οι τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται είναι πολύ μικρότερες από το μέγεθος αυτό. Αποφασίστηκε λοιπόν να τοποθετηθεί ένας σταθμός σε κάθε λεκάνη.

4.5.1 Απόσταση από οικισμούς

Η εγκατάσταση υδρομετρικών σταθμών είναι απαραίτητο να γίνεται ανάντη των οικισμών αλλά σε απόσταση αρκετά μεγάλη από αυτούς ώστε να υπάρχει έγκαιρη προειδοποίηση επικείμενων πλημμυρικών φαινομένων και κατά συνέπεια έγκαιρη προετοιμασία.

Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε μία ζώνη 500m από τους οικισμούς με το εργαλείο *buffer* που μετατράπηκε σε αρχείο raster με το εργαλείο *polygon to raster*. Στη συνέχεια, με το εργαλείο *euclidean distance*, υπολογίστηκε η απόσταση κάθε σημείου από το κοντινότερο πολύγωνο που περιβάλλει σε ακτίνα 500m κάποιον οικισμό. Η ευκλείδεια απόσταση κανονικοποιήθηκε ώστε να παίρνει τιμές από 0 έως 1 με τη μεγαλύτερη απόσταση να έχει τιμή 0 και την μικρότερη τιμή 1. Η κανονικοποίηση έγινε με το εργαλείο *raster calculator*, με την εντολή $\text{Float}(1.0 - ((\text{euclidean_dist} - \text{min}) / (\text{max} - \text{min})))$, όπου *euclidean_dist* το αρχείο που δημιουργήθηκε από το εργαλείο *euclidean distance*, *max* η μέγιστη του τιμή και *min* η ελάχιστη. Προέκυψε έτσι το αρχείο *euclidean_std* όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.1.1.



Σχήμα 4.5.1.1: Ζώνη 500 μέτρων από τους οικισμούς και ευκλείδεια απόσταση από αυτήν για την λεκάνη απορροής του Πετρέ.

Στη συνέχεια, με το εργαλείο *feature to raster*, δημιουργήθηκε από το αρχείο του κυρίου υδατορέματος (παράγραφος 3.1.2) αρχείο raster με τιμή 1 σε όλα του τα σημεία. Αυτό συντέθηκε με το raster αρχείο της λεκάνης απορροής, το οποίο είχε τιμή 0 σε όλα του τα σημεία, με το εργαλείο *mosaic to new raster*. Το αρχείο που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε με το αρχείο που είχε προκύψει από την

εντολή *flow accumulation* (παράγραφος 3.1.1) με το εργαλείο *raster calculator* και το αποτέλεσμα (mosaic.shp) εισήχθη ως είσοδος και πάλι στο εργαλείο *raster calculator* και με την εντολή $\text{con}(\text{mosaic.shp} > 0, \text{mosaic.shp})$ προέκυψε αρχείο στην έκταση της λεκάνης απορροής με τιμές ίσες με το *flow accumulation* επί του κυρίου υδατορέματος και τιμή 0 σε όλα τα άλλα σημεία. Το αρχείο αυτό κανονικοποιήθηκε όπως και το αρχείο *euclidean_dist* παραπάνω και προέκυψε το αρχείο *flow_std* με τιμές κοντά στο 1 στην περιοχή κοντά στις πηγές του ρέματος και τιμές κοντά στο 0 πλησιάζοντας στην εκβολή του ρέματος.

Τέλος, το αρχείο *flow_std* πολλαπλασιάστηκε με το αρχείο *euclidean_std* κάνοντας χρήση του εργαλείου *raster calculator* με αποτέλεσμα να προκύψει αρχείο με τιμές κοντά στο 1 για τις ανάντη περιοχές του κυρίως υδατορέματος που βρίσκονται πλησίον των οικισμών αλλά σε απόσταση μεγαλύτερη των 500m και τιμές κοντά στο 0 για τις κατάντη περιοχές του υδατορέματος ή τις περιοχές του που είτε απέχουν πολύ από τους οικισμούς είτε απέχουν λιγότερο από 500m, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.1.2.



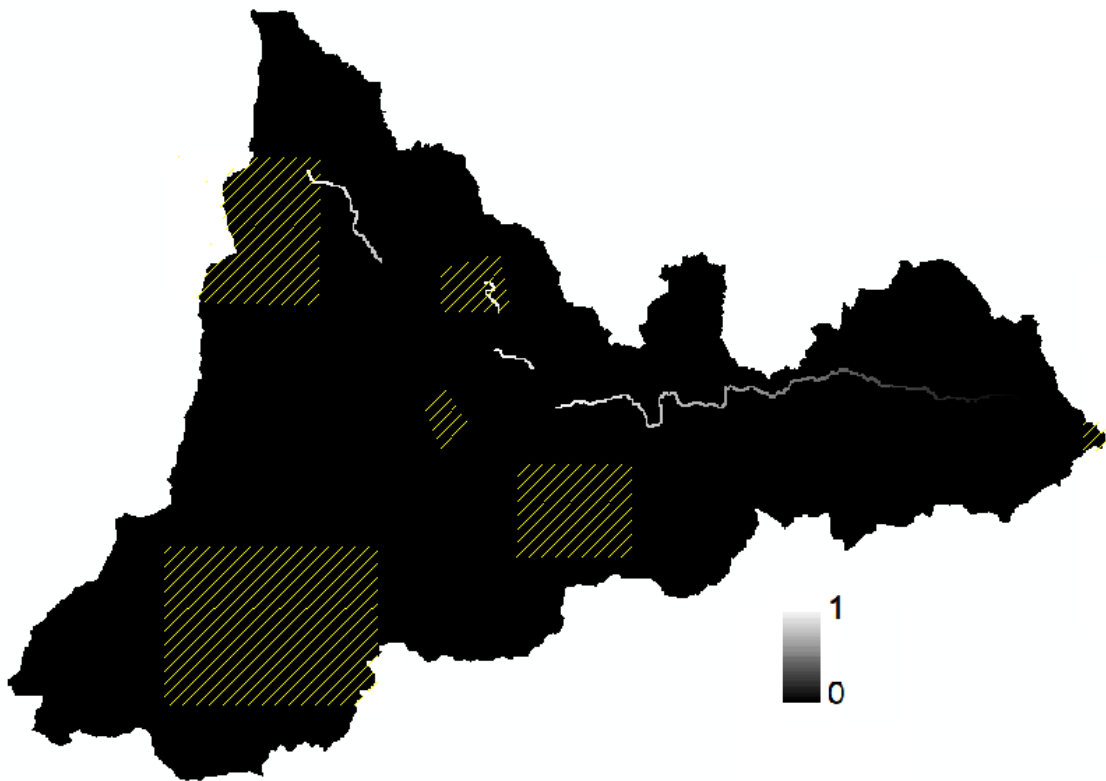
Σχήμα 4.5.1.2: Βαθμολόγηση των σημείων του κυρίου υδατορέματος του Πετρέ βάσει του κριτηρίου απόστασης από τους οικισμούς.

4.5.2 Ιστορικό πλημμυρών

Η γνώση του πλυμμηρικού ιστορικού είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη χωροθέτηση των υδρομετρικών σταθμών αφού η πρόληψη του πλυμμηρικού κινδύνου είναι επωφελής όταν ο σταθμός τοποθετείται ανάντη της ζώνης που εμφανίζει ευπάθεια σε πλυμμηρικά φαινόμενα και κοντά σε αυτήν.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το αρχείο που χαρτογραφεί τις περιοχές που βρίσκονται συχνότερα σε πλημμυρικό κίνδυνο όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.6. Από το αρχείο αυτό εντοπίστηκε το κοντινότερο σημείο του κυρίως υδατορέματος στα πολύγωνα που χαρακτηρίζουν τις περιοχές που βρίσκονται σε πλημμυρικό κίνδυνο. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν σε νέο raster επίπεδο πολύγωνα με τιμή 0 που να περιλαμβάνουν τις κατάντη των ευπαθών ζωνών περιοχές του κυρίου υδατορέματος και με το εργαλείο *mosaic to new raster* κάνοντας χρήση της εντολής *mul*, συνδυάστηκε το νέο αυτό επίπεδο με το κύριο υδατόρεμα και προέκυψε αρχείο (*ananti.shp*) το οποίο έχει τιμή 0 στις κατάντη μη επιθυμητές περιοχές και τιμή 1 στις υπόλοιπες περιοχές του κυρίου υδατορέματος.

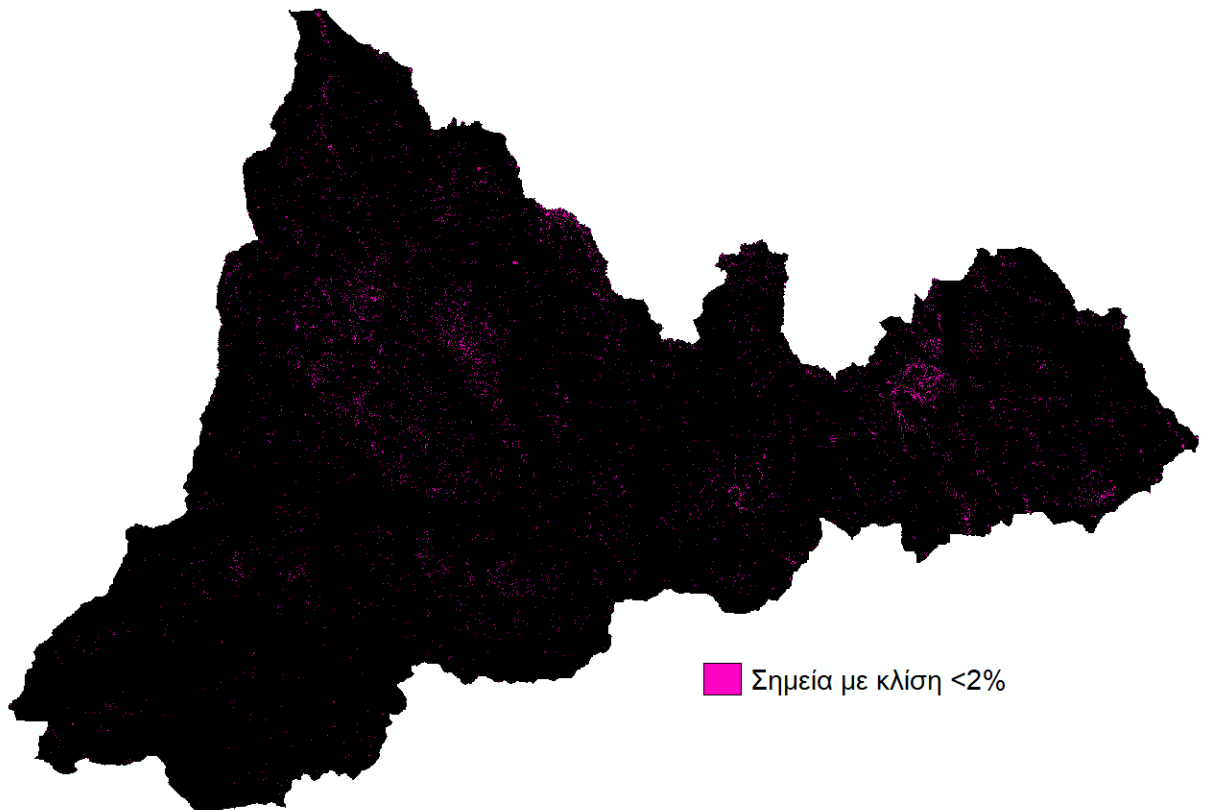
Επιπλέον, υπολογίστηκε η ευκλείδεια απόσταση από τα πολύγωνα που δηλώνουν πλημμυρική επικινδυνότητα, για όλα τα σημεία της λεκάνης απορροής, με το εργαλείο *euclidean distance*. Το αρχείο αυτό πολλαπλασιάστηκε με το αρχείο *ananti.shp* με το εργαλείο *times* και το αποτέλεσμα (*times.shp*) κανονικοποιήθηκε ώστε να έχει τιμές που πλησιάζουν το 0 σε μεγάλη απόσταση ανάντη των ευπαθών περιοχών ή οπουδήποτε κατάντη των περιοχών αυτών και τιμές κοντά στο 1 σε μικρή απόσταση ανάντη των περιοχών που διατρέχουν πλημμυρικό κίνδυνο (Σχήμα 4.5.2).



Σχήμα 4.5.2: Ζώνες πλημμυρικού κινδύνου και βαθμολόγηση σημείων κυρίου υδατορέματος του Πετρέ βάσει της ικανοποίησης του κριτηρίου του πλημμυρικού ιστορικού.

4.5.3 Κλίσεις

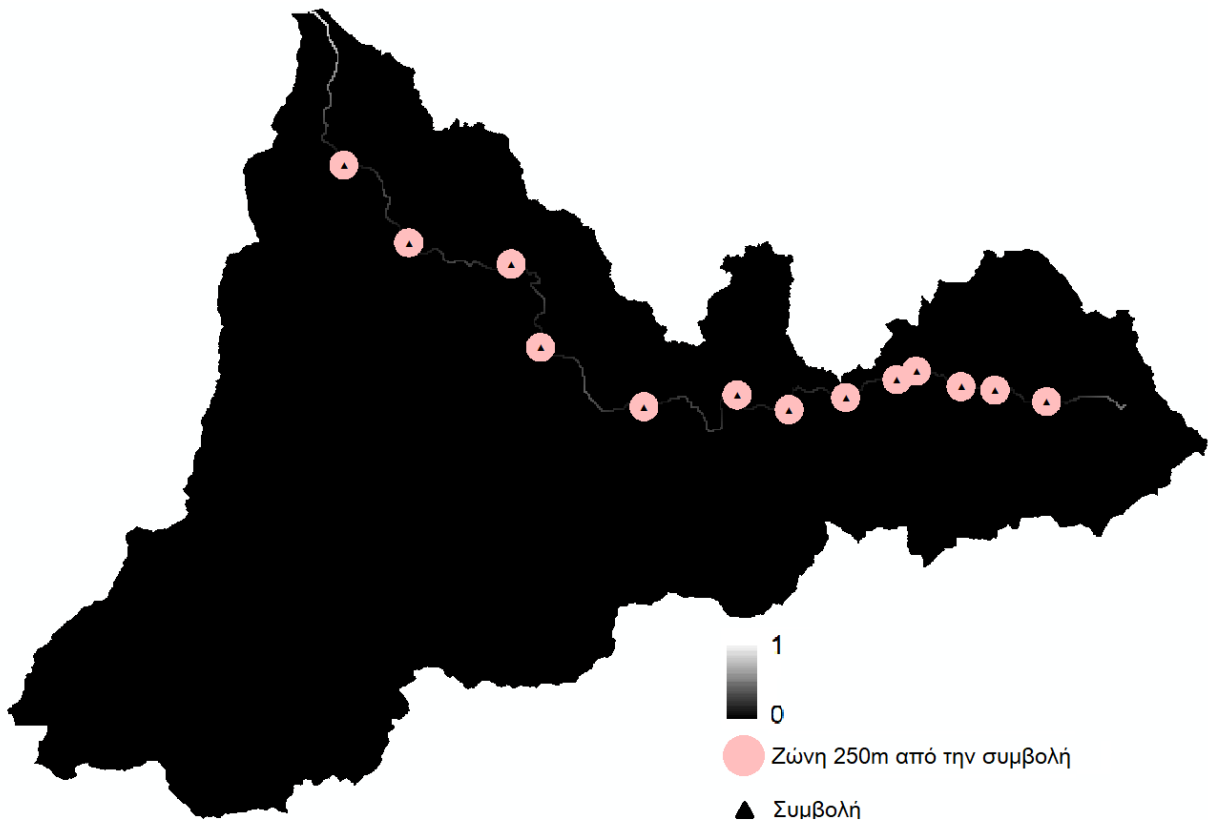
Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 3.1.4, οι σταθμοί συνίσταται να τοποθετούνται σε εδάφη με ήπιες κλίσεις. Θεωρήθηκαν αποδεκτές μόνο οι κλίσεις μικρότερες του 2%. Για να δημιουργηθεί το αρχείο που αντιπροσωπεύει το κριτήριο των κλίσεων, χρησιμοποιήθηκε το αρχείο που δημιουργήθηκε όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.1.4. Αυτό επεξεργάστηκε με το εργαλείο reclassify ώστε οι περιοχές με κλίση έως 2% να πάρουν τιμή 1 και όλες οι υπόλοιπες τιμή 0. Στη συνέχεια ενώθηκε το αρχείο που προέκυψε με το raster αρχείο που περιλαμβάνει το κύριο υδατόρεμα με τιμή 0 σε κάθε του σημείο, με το εργαλείο mosaic to new raster με την εντολή sum. Προέκυψε αρχείο με τιμή 1 σε όλα τα σημεία του κυρίου υδατορέματος με κλίση μικρότερη του 2% και τιμή 0 σε όλα τα άλλα σημεία όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.3.



Σχήμα 4.5.3: Χάρτης σημείων που ικανοποιούν το κριτήριο της κλίσης για την λεκάνη απορροής του Πετρέ.

4.5.4 Απόσταση από συμβολές

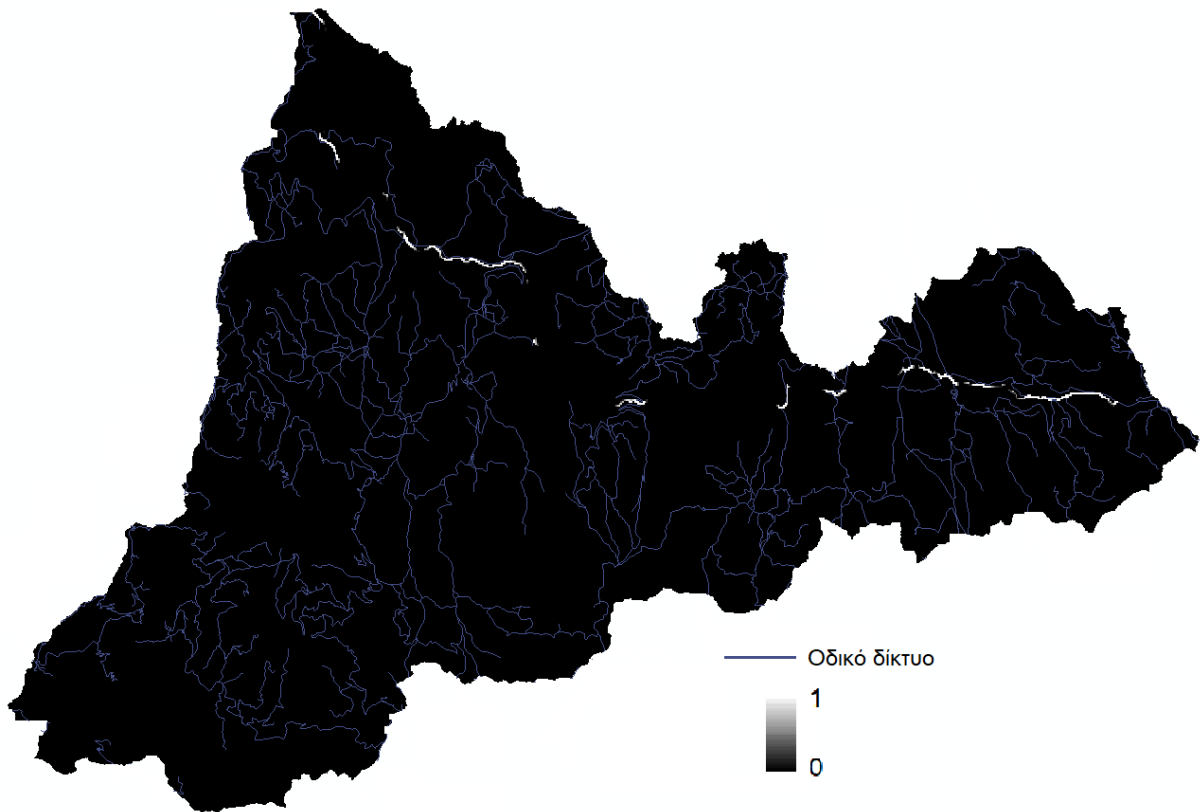
Για την αποφυγή της αλλοίωσης της μέτρησης από άλλα ρέματα είναι σημαντικό οι υδατομετρικοί σταθμοί να τοποθετούνται μακριά από συμβολές με άλλα ρέματα. Δημιουργήθηκε λοιπόν ένα αρχείο στο οποίο σημειώθηκαν ως σημεία όλες οι συμβολές του κυρίου υδατορέματος με άλλα ρέματα. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ευκλείδεια απόσταση κάθε σημείου από τα σημεία των συμβολών με το εργαλείο euclidean distance. Το αρχείο που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε με το κύριο υδατόρεμα με τιμή 1 σε όλα του τα σημεία. Το αποτέλεσμα κανονικοποιήθηκε με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 4.5.1 ώστε να παίρνει τιμές κοντά στην μονάδα σε μεγάλη απόσταση από τις συμβολές, κοντά στο 0 σε μικρή απόσταση και μηδενικές τιμές σε απόσταση μικρότερη των 250m από αυτές όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.4.



Σχήμα 4.5.4: Βαθμολόγηση σημείων κυρίου υδατορέματος του Πετρέ βάσει της ικανοποίησης του κριτηρίου της απόστασης από τις συμβολές.

4.5.5 Απόσταση από το οδικό δίκτυο

Για τη διευκόλυνση της τοποθέτησης και της λειτουργίας των σταθμών, είναι σημαντικό αυτοί να βρίσκονται κοντά στο οδικό δίκτυο. Χρησιμοποιήθηκε το αρχείο που αποτυπώνει το οδικό δίκτυο όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.4. Υπολογίστηκε η ευκλείδεια απόσταση με το εργαλείο `euclidean distance` από το δίκτυο για όλα τα σημεία του χώρου και το αρχείο που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε με το εργαλείο `times`, με το κύριο υδατόρεμα με τιμή 1 σε όλα τα σημεία του. Το αποτέλεσμα (`times.shp`) με το εργαλείο `raster calculator`, επεξεργάστηκε, με την εντολή `con(times.shp<=50, times.shp)` ώστε οι περιοχές με τιμή μεγαλύτερη από 50 να αποκοπούν. Το αρχείο που προέκυψε κανονικοποιήθηκε με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 4.5.1 ώστε να παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν για τα σημεία του κυρίου υδατορέματος που απέχουν κοντά στα 50m από το οδικό δίκτυο και τιμές κοντά στο 1 για τα σημεία του που απέχουν λίγα μέτρα από το οδικό δίκτυο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.5.



Σχήμα 4.5.4: Βαθμολόγηση σημείων κυρίου υδατορέματος του Πετρέ βάσει της ικανοποίησης του κριτηρίου της απόστασης από το οδικό δίκτυο.

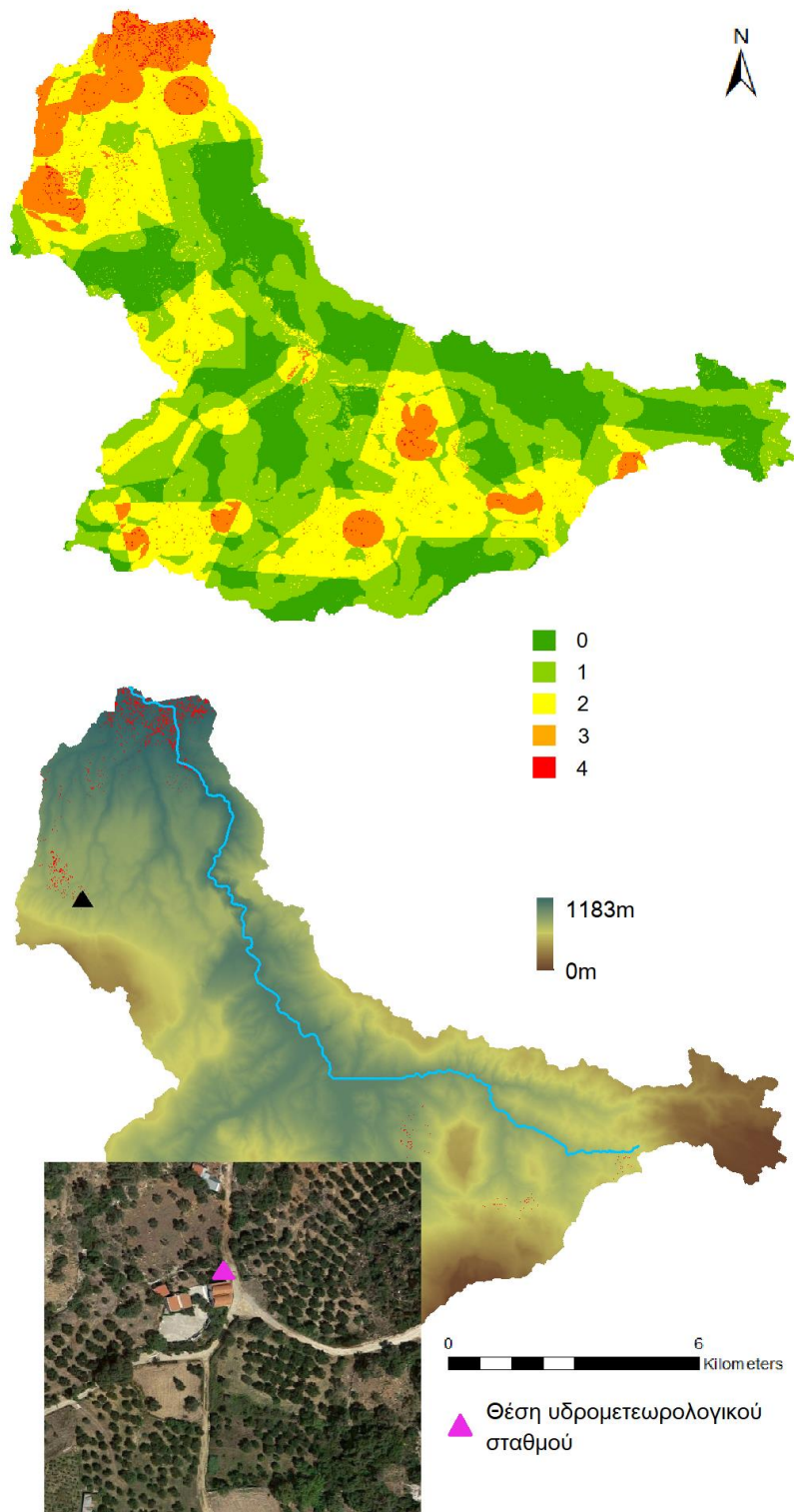
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Χωροθέτηση υδρομετεωρολογικών σταθμών

Για τον προσδιορισμό των θέσεων των υδρομετεωρολογικών σταθμών, προστέθηκαν με το εργαλείο *raster calculator* τα επίπεδα που αφορούν την κλίση (4.4.2), την απόσταση από τους οικισμούς (4.4.3), την απόσταση από το οδικό δίκτυο (4.4.4) και την απόσταση από τα σημεία υδροληψίας (4.4.5). Τα αρχεία αυτά έχουν τιμές 0 και 1. Προέκυψε έτσι ένα αρχείο για κάθε λεκάνη απορροής στο οποίο κάθε σημείο μπορεί να πάρει μία από τις τιμές 0, 1, 2, 3 ή 4 ανάλογα με το πλήθος των κριτηρίων που πληρούνται στο συγκεκριμένο σημείο. Η διαδικασία αυτή ακολουθεί το πρότυπο του γραμμικού συνδυασμού (WLC) στον οποίο έχουν αποδοθεί σε όλα τα κριτήρια ίσα βάρη (παράγραφος 4.3). Σχετικά με τη χωροθέτηση των υδρομετεωρολογικών σταθμών, λήφθηκε υπόψη πρωταρχικά η ομοιογενής κάλυψη όλων των υψομετρικών ζωνών βάσει του πλήθους σταθμών που πρέπει να τοποθετηθούν σε κάθε ζώνη όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο 4.4.1. Δευτερευόντως, η απόφαση για τη χωροθέτηση κρίθηκε από την απαίτηση να τοποθετηθούν οι σταθμοί σε σημεία που πληρούν και τα τέσσερα κριτήρια που έχουν αναφερθεί.

5.1.1 Πρασσανός

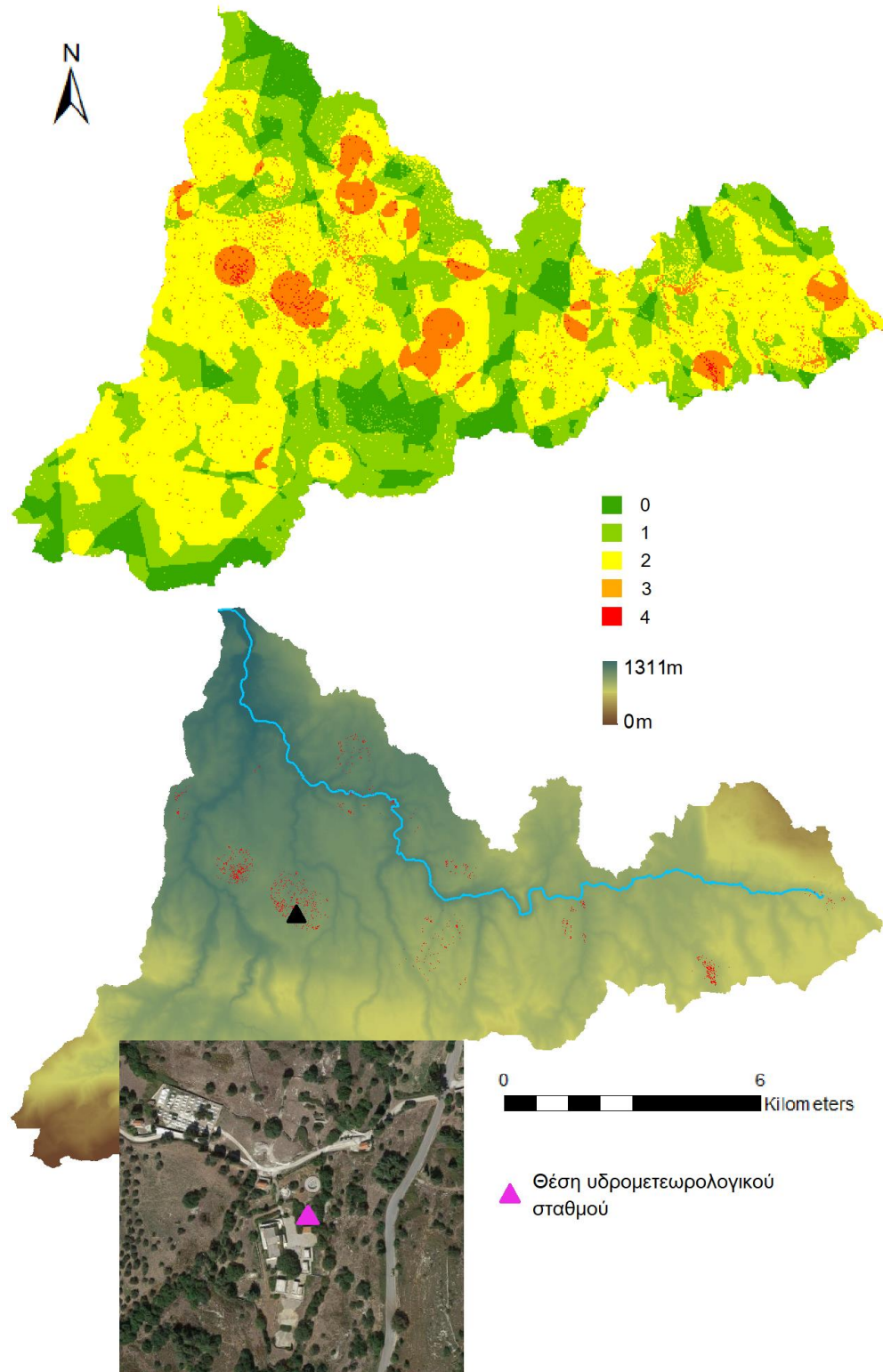
Στη λεκάνη απορροής του Πρασσανού χωροθετήθηκε ένας σταθμός όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.1. Ο σταθμός χωροθετήθηκε στην υψομετρική ζώνη Β (200m - 500m) στην οποία αντιστοιχεί το μεγαλύτερο πλήθος σταθμών. Η θέση στην οποία προτείνεται η τοποθέτηση του σταθμού είναι πλησίον του Ι.Ν. Μεταμορφώσεως στον οικισμό Καπεδιανά του Δήμου Ρεθύμνου. Η θέση αυτή είναι στα 365m υψόμετρο σε τοποθεσία εντός του οικισμού, πλησίον του οδικού δικτύου, σε τοποθεσία με κλίση μικρότερη από 2% και απόσταση 280m από την κοντινότερη συστάδα γεωτρήσεων.



Σχήμα 5.1.1: Χάρτης καταλληλότητας θέσης για την χωροθέτηση υδρομετεωρολογικού σταθμού στην λεκάνη απορροής του Πρασσανού και τελικό αποτέλεσμα χωροθέτησης.

5.1.2 Πετρές

Στη λεκάνη απορροής του Πετρέ χωροθετήθηκε ένας σταθμός όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.2. Ο σταθμός χωροθετήθηκε επίσης στην υψομετρική ζώνη Β (200m - 500m) στην οποία αντιστοιχεί το μεγαλύτερο πλήθος σταθμών. Η θέση στην οποία προτείνεται η τοποθέτηση του σταθμού είναι πλησίον του μουσείου παραδοσιακών ενδυμασιών στον οικισμό Ρούστικα του Δήμου Ρεθύμνου. Η θέση αυτή είναι στα 282m υψόμετρο σε τοποθεσία εντός του οικισμού, πλησίον του οδικού δικτύου, σε τοποθεσία με κλίση μικρότερη από 2% και απόσταση 305m από την κοντινότερη συστάδα γεωτρήσεων.

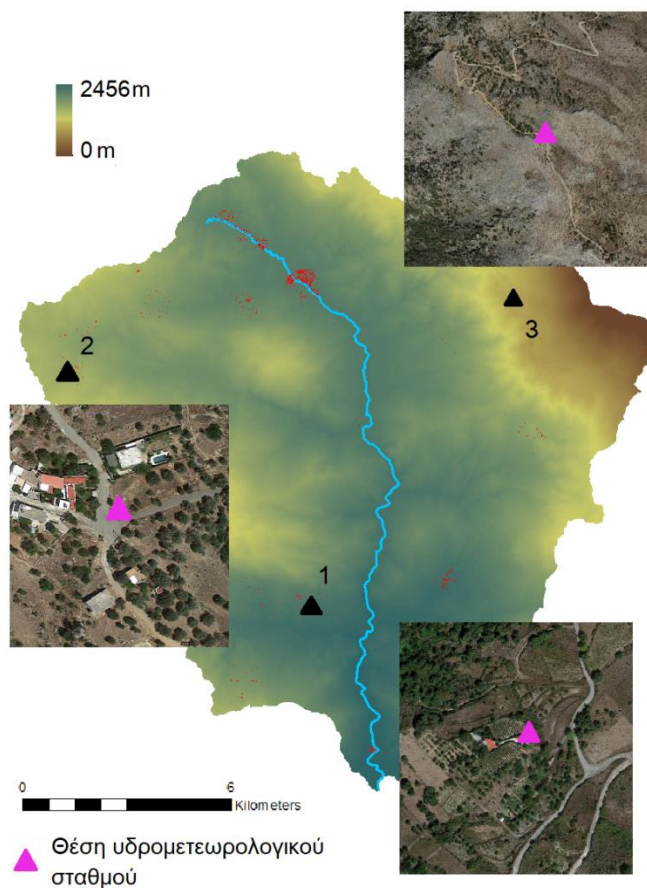
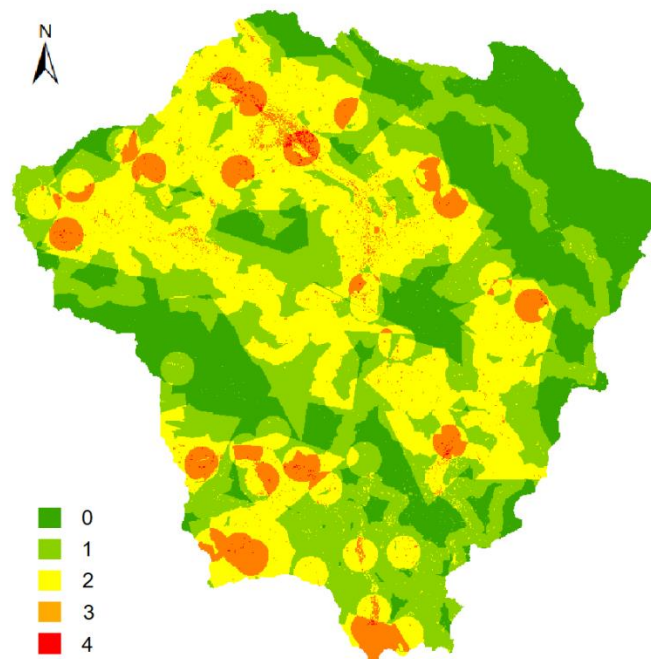


Σχήμα 5.1.2: Χάρτης καταλληλότητας θέσης για την χωροθέτηση υδρομετεωρολογικού σταθμού στην λεκάνη απορροής του Πετρέ και τελικό αποτέλεσμα χωροθέτησης.

5.1.3 Πλατύς

Στη λεκάνη απορροής του Πλατύ χωροθετήθηκαν τρεις σταθμοί όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.3:

1. Σταθμός στην υψομετρική ζώνη Β (200m - 500m), στην ανατολική είσοδο του οικισμού Ορνέ του Δήμου Μελάμπων. Η θέση αυτή είναι στα 241m υψόμετρο σε τοποθεσία εντός του οικισμού, πλησίον του οδικού δικτύου, σε τοποθεσία με κλίση μικρότερη από 2% και απόσταση 329m από την κοντινότερη συστάδα γεωτρήσεων.
2. Σταθμός στην υψομετρική ζώνη Δ (800m - 1200m), στα δυτικά του οικισμού Γερακάρι του Δήμου Αμαρίου, πλησίον ξωκλησιού. Η θέση αυτή είναι στα 818m υψόμετρο σε τοποθεσία εντός του οικισμού, πάνω στο οδικό δίκτυο, σε τοποθεσία με κλίση μικρότερη από 2% και απόσταση 152m από την κοντινότερη γεώτρηση.
3. Σταθμός στην υψομετρική ζώνη Ε (1200m - 2456m), σε τοποθεσία σε αγροτικό δρόμο, 2.8km βορειοανατολικά του οικισμού Φουρφουράς του Δήμου Αμαρίου. Η θέση αυτή είναι στα 1.448m υψόμετρο. Στη θέση αυτή δεν πληρείται το κριτήριο εγγύτητας σε οικισμό καθώς η τοποθεσία απέχει 2km από την ζώνη 1000m απόστασης από τον οικισμό. Επίσης δεν πληρείται το κριτήριο εγγύτητας σε σημείο υδροληψίας εφόσον το πλησιέστερο σημείο υδροληψίας απέχει 2800m. Ωστόσο κρίθηκε σημαντικό να τοποθετηθούν σταθμοί σε όλες τις υψομετρικές ζώνες και σε αποστάσεις μεταξύ τους που να καλύπτουν ομοιόμορφα τη λεκάνη απορροής. Χωροθετήθηκε επομένως στη συγκεκριμένη θέση ο σταθμός, ακόμα και αν δύο από τα κριτήρια δεν πληρούνται. Η τοποθεσία βρίσκεται επίσης πλησίον του οδικού δικτύου, σε σημείο με κλίση μικρότερη από 2%.

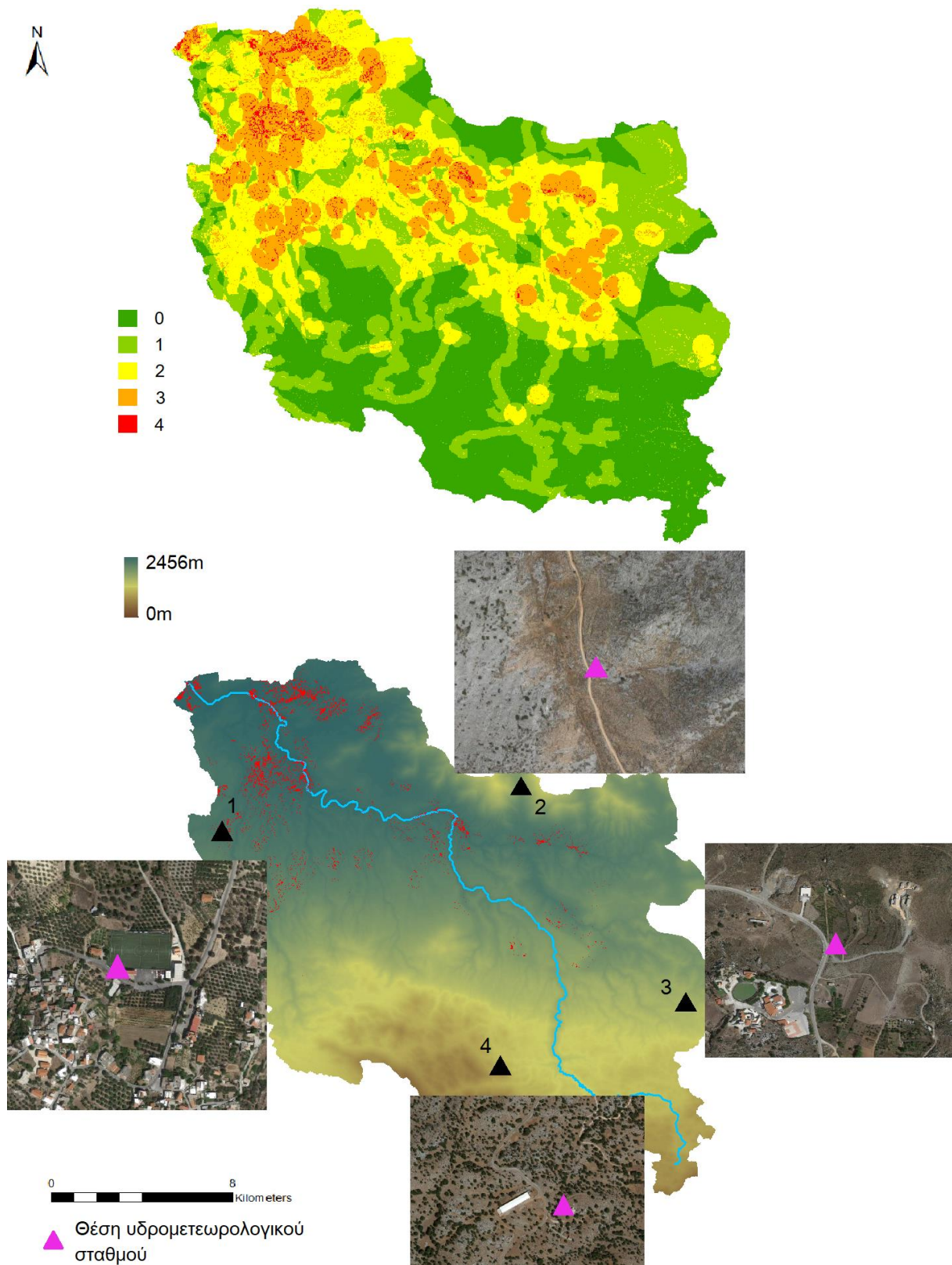


Σχήμα 5.1.3: Χάρτης καταλληλότητας θέσης για την χωροθέτηση υδρομετεωρολογικού σταθμού στην λεκάνη απορροής του Πλατύ και τελικό αποτέλεσμα χωροθέτησης.

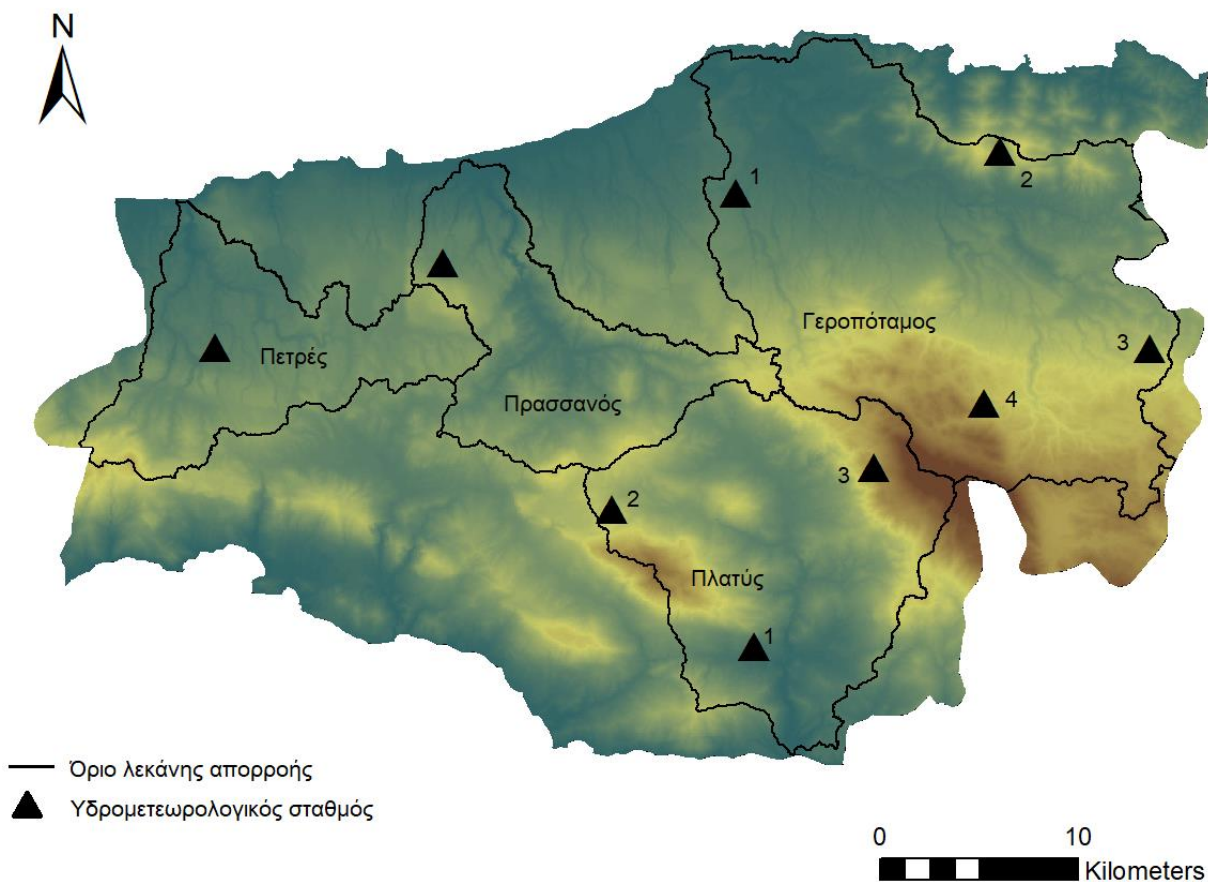
5.1.4 Γεροπόταμος

Στη λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου χωροθετήθηκαν τέσσερις σταθμοί όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.4:

1. Σταθμός στην υψομετρική ζώνη Β (200m - 500m), πλησίον του γηπέδου του οικισμού Αλφά του Δήμου Μυλοποτάμου. Η θέση αυτή είναι στα 212m υψόμετρο σε τοποθεσία εντός του οικισμού, πλησίον του οδικού δικτύου, σε τοποθεσία με κλίση μικρότερη από 2% και απόσταση 110m από την κοντινότερη γεώτρηση.
2. Σταθμός στην υψομετρική ζώνη Γ (500m - 800m), στον αγροτικό δρόμο Απλαδιανών – Βλυχάδας του Δήμου Μυλοποτάμου. Η θέση αυτή είναι στα 545m υψόμετρο. Στη θέση αυτή δεν πληρείται το κριτήριο εγγύτητας σε οικισμό καθώς η τοποθεσία απέχει 1km από την ζώνη 1000m απόστασης από τον οικισμό. Επίσης δεν πληρείται το κριτήριο εγγύτητας σε σημείο υδροληψίας εφόσον το πλησιέστερο σημείο υδροληψίας απέχει 1920m. Ωστόσο για λόγους ομοιόμορφης κάλυψης της λεκάνης απορροής αλλά και κατακόρυφης ομοιόμορφης κάλυψης των υψομετρικών ζωνών, επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τοποθεσία. Η τοποθεσία, βρίσκεται επίσης πλησίον του οδικού δικτύου, σε σημείο με κλίση μικρότερη από 2%.
3. Σταθμός στην υψομετρική ζώνη Δ (800m - 1200m), πλησίον του συγκροτήματος “Ο τόπος του βοσκού” στον οικισμό Ανώγεια του Δήμου Ανωγείων. Η θέση αυτή είναι στα 845m υψόμετρο σε τοποθεσία εντός του οικισμού, πλησίον του οδικού δικτύου, σε τοποθεσία με κλίση μικρότερη από 2% και απόσταση 400m από την κοντινότερη γεώτρηση.
4. Σταθμός στην υψομετρική ζώνη Ε (1200m - 2456m), σε τοποθεσία πλησίον του Ι.Ν. Αγίου Γεωργίου Αορίτη, 4km νότια του οικισμού Ζωνιανά του Δήμου Μυλοποτάμου. Η θέση αυτή είναι στα 1.270m υψόμετρο. Στη συγκεκριμένη θέση δεν πληρείται το κριτήριο εγγύτητας σε οικισμό καθώς η τοποθεσία απέχει 3.6km από την ζώνη 1000m απόστασης από τον οικισμό. Είναι όμως επόμενο να μην πληρείται σε αυτήν την υψομετρική ζώνη το κριτήριο εγγύτητας σε οικισμό αφού στην Π.Ε. Ρεθύμνου δεν υπάρχουν οικισμοί πάνω από τα 740m. Η τοποθεσία βρίσκεται πλησίον του οδικού δικτύου, σε σημείο με κλίση μικρότερη από 2% και σε απόσταση 342m από το κοντινότερο σημείο υδροληψίας.



Σχήμα 5.1.4: Χάρτης καταλληλότητας θέσης για την χωροθέτηση υδρομετεωρολογικού σταθμού στην λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου και τελικό αποτέλεσμα χωροθέτησης.



Σχήμα 5.1.5: Χάρτης των θέσεων χωροθέτησης υδρομετεωρολογικών σταθμών για όλη την Π.Ε. Ρεθύμνου.

5.2 Χωροθέτηση υδρομετρικών σταθμών

Για την επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την χωροθέτηση των υδρομετρικών σταθμών, χρησιμοποιήθηκε η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος (ΑΗΡ) σε τρία διαφορετικά σενάρια. Κατά την ανάπτυξη της μεθόδου δόθηκαν βάρη στα κριτήρια χωροθέτησης ανάλογα με τη σημασία που έχουν βάση του εκάστοτε σεναρίου όπως παρουσιάζεται στις επόμενες παραγράφους.

Στην περίπτωση του πρώτου σεναρίου χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις λεκάνες απορροής κάποια από τις θέσεις που υποδεικνύονται από τον αντίστοιχο χάρτη καταλληλότητας, δίνοντας έμφαση στα σημεία που βρίσκονται ανάντη και κοντά σε ζώνες πλημμυρικού κινδύνου. Επομένως η χρήση των υδρομετρικών σταθμών ως μέσου αντιπλημμυρικής πρόληψης ενισχύεται.

Στο δεύτερο σενάριο, επιλέχθηκαν σημεία από τους χάρτες καταλληλότητας τα οποία βρίσκονται πάνω σε κάποια γέφυρα προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του υδρομετρικού σταθμού αλλά και να διευκολύνεται όσο το δυνατόν περισσότερο η πρόσβαση σε αυτόν.

Στο τρίτο σενάριο, τα σημεία επιλέχθηκαν και πάλι βάσει των χαρτών καταλληλότητας και σε σχέση με τα κριτήρια που θέτει ο WMO για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των υδρομετρικών σταθμών και την ελαχιστοποίηση του σφάλματος(5). Για τον σκοπό αυτό δόθηκε σημασία σε τοποθεσίες που βρίσκονται σε μέρη του υδατορέματος που είναι ευθεία για μήκος ίσο τουλάχιστον με το δεκαπλάσιο του πλάτους του ρέματος, ανάντη και κατάντη του σταθμού. Επίσης πάντα αποτελεί σημαντικό κριτήριο η προσβασιμότητα, οπότε σε περιπτώσεις που ήταν εφικτό, η χωροθέτηση έγινε πάνω σε κάποια γέφυρα.

5.2.1 Σενάριο 1

5.2.1.1 Ανάλυση AHP

Κατά το πρώτο σενάριο επιλέγεται να δοθεί βάρος στη λειτουργία των υδρομετρικών σταθμών ως μέσα αντιπλημμυρικής προστασίας και πρόληψης. Δίνεται επομένως σημαντικά μεγάλο βάρος στο κριτήριο της απόστασης από τους οικισμούς και ακόμα μεγαλύτερο βάρος στη χωροθέτηση των σταθμών σε θέσεις ανάντη και κοντά στις ζώνες πλημμυρικού κινδύνου. Τα συγκριτικά βάρη μεταξύ των κριτηρίων φαίνονται στον Πίνακα 5.2.1.1 για τα πέντε κριτήρια που εξετάζονται. Στον Πίνακα 5.2.1.2 φαίνονται τα τελικά βάρη για κάθε κριτήριο όπως προκύπτουν από την AHP. Ο δείκτης συνέπειας CI και ο λόγος συνέπειας CR της AHP για το συγκεκριμένο σενάριο προέκυψαν ως εξής:

$$CI=0.077 \quad CR=0.069$$

Επομένως, δεδομένου ότι $CR < 0.1$, η μέθοδος θεωρείται αποδεκτή.

Πίνακας 5.2.1.1: Συγκριτικά βάρη μεταξύ των κριτηρίων για το πρώτο σενάριο.

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1/3	3	4	2
C2	3	1	3	4	2
C3	1/3	1/3	1	3	2
C4	1/4	1/4	1/3	1	1/2
C5	1/2	1/2	1/2	2	1

C1: Κριτήριο απόστασης από τους οικισμούς
 C2: Κριτήριο ευπάθειας σε πλημμυρικά φαινόμενα
 C3: Κριτήριο απόστασης από τις συμβολές
 C4: Κριτήριο κλίσεων εδάφους
 C5: Κριτήριο απόστασης από το οδικό δίκτυο

Πίνακας 5.2.1.2: Βάρη των κριτηρίων για το πρώτο σενάριο όπως προκύπτουν από την AHP.

C1	0.254
C2	0.388
C3	0.162
C4	0.067
C5	0.129

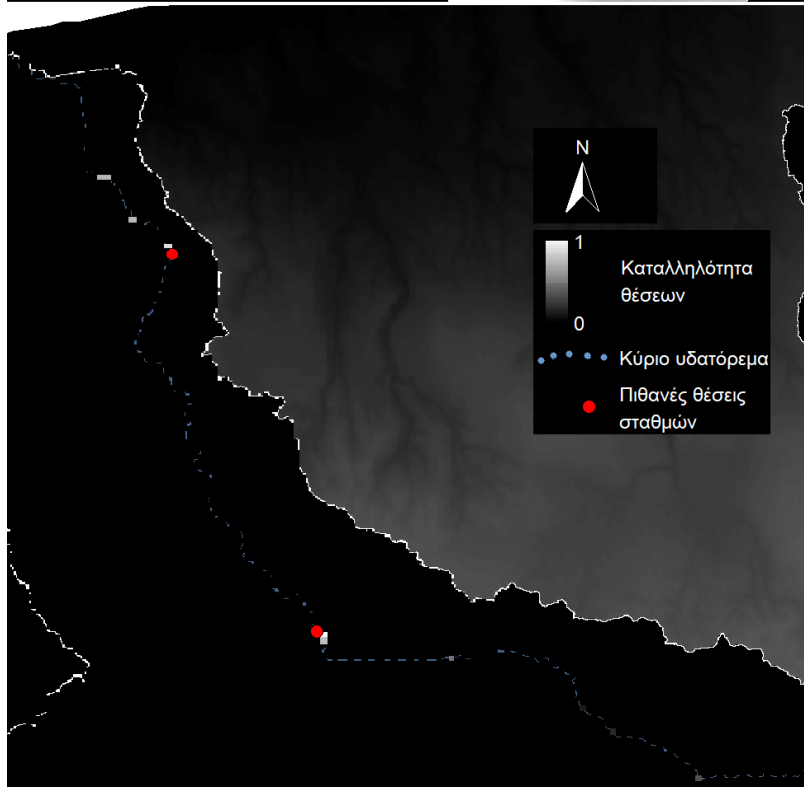
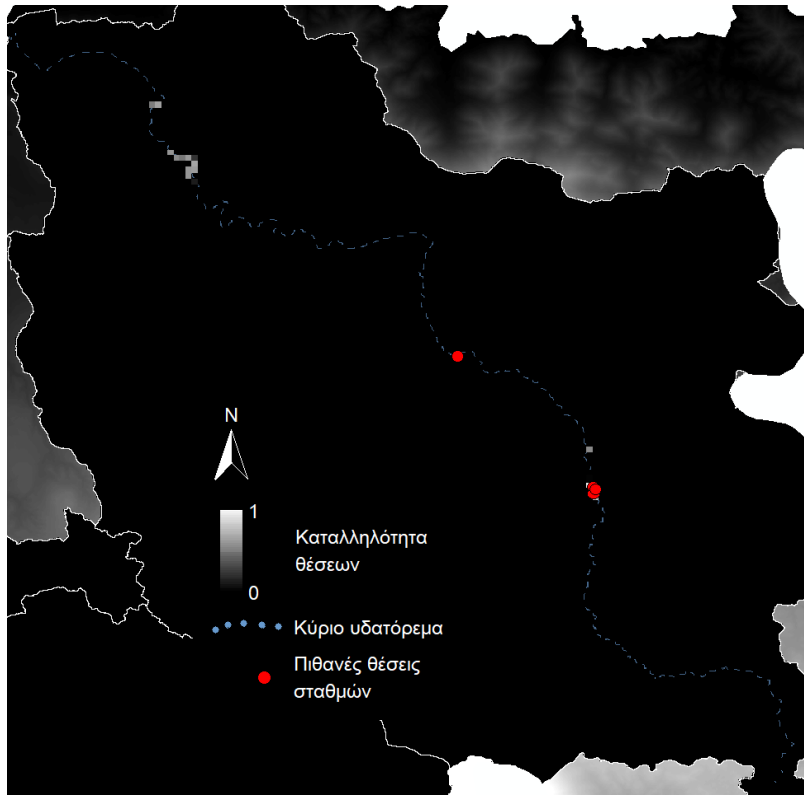
5.2.1.2 Επιλογή τοποθεσίας

Ύστερα από τον υπολογισμό των βαρών για το κάθε κριτήριο, δημιουργήθηκε για το κύριο υδατόρεμα αρχείο raster στο οποίο βαθμολογείται κάθε φαντίο ανάλογα με την καταλληλότητά του για την χωροθέτηση υδρομετρικού σταθμού στο συγκεκριμένο σημείο. Αυτό έγινε με το εργαλείο *raster calculator*, με τον πολλαπλασιασμό κάθε ενός από τα πέντε αρχεία (παράγραφοι 4.5.1 – 4.5.5) που αντιστοιχούν στα πέντε κριτήρια χωροθέτησης με το αντίστοιχο βάρος και την άθροισή τους. Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η:

$0.254 * \text{oikismo} + 0.388 * \text{plhmm} + 0.162 * \text{symvoles} + 0.067 * \text{kliseis} + 0.129 * \text{odiko_diktyo}$

Στην περίπτωση της λεκάνης απορροής του Πλατύ, δεν υπάρχουν σημεία που να ανήκουν σε περιοχές που κρίνονται ως ζώνες πλημμυρικού κινδύνου. Για τον λόγο αυτό, η ποσότητα $0.388 * \text{plhmm}$ αντικαταστάθηκε από την σταθερά 0.388 ώστε να μην επηρεάσει το αποτέλεσμα αλλά οι μέγιστη δυνατή τιμή του να παραμείνει το 1. Η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε για κάθε λεκάνη απορροής ξεχωριστά και προέκυψαν τέσσερα αρχεία με τιμές στο διάστημα 0 έως 1 με τις μεγαλύτερες τιμές να υποδεικνύουν καταλληλότερες τοποθεσίες (Σχήματα 5.2.1.1 & 5.2.1.2). Στην συνέχεια, με το εργαλείο *raster calculator* απορρίφθηκαν όλες οι περιοχές των αρχείων με τιμή μικρότερη του 0.9, με την εντολή $\text{Con}(\text{file}, 1, 0, \text{"VALUE} > 0.9\text{"})$, όπου file, το αρχείο που αντιστοιχεί σε κάθε μία από τις τρεις λεκάνες απορροής, του Πρασσανού, του Πετρέ και του Πλατύ. Στην περίπτωση του Γεροποτάμου, χρησιμοποιήθηκε η εντολή $\text{Con}(\text{file}, 1, 0, \text{"VALUE} > 0.8\text{"})$, ώστε να ληφθούν υπόψη οι τιμές πάνω από 0.8. Αυτή η επιλογή έγινε γιατί τα σημεία με τιμές πάνω από 0.9 ήταν πολύ περιορισμένα, αφορούσαν μόνο μία περιοχή του κυρίου υδατορέματος και έτσι απέκλειαν τις δυνατότητες επιλογής. Προέκυψαν έτσι τέσσερα αρχεία με τιμή 1 στα φαντίνια που αντιστοιχούν στις πλέον κατάλληλες περιοχές του υδατορέματος και τιμή 0 σε όλα τα υπόλοιπα.

Στη συνέχεια, με το εργαλείο *raster to point*, μετατράπηκε κάθε ένα από τα raster αρχεία που προέκυψαν από την τελευταία διαδικασία σε διανυσματικά αρχεία με γεωμετρία σημείου, με κάθε φαντίο με τιμή 1 να αντιστοιχεί σε ένα σημείο (Σχήματα 5.2.1.1 & 5.2.1.2).



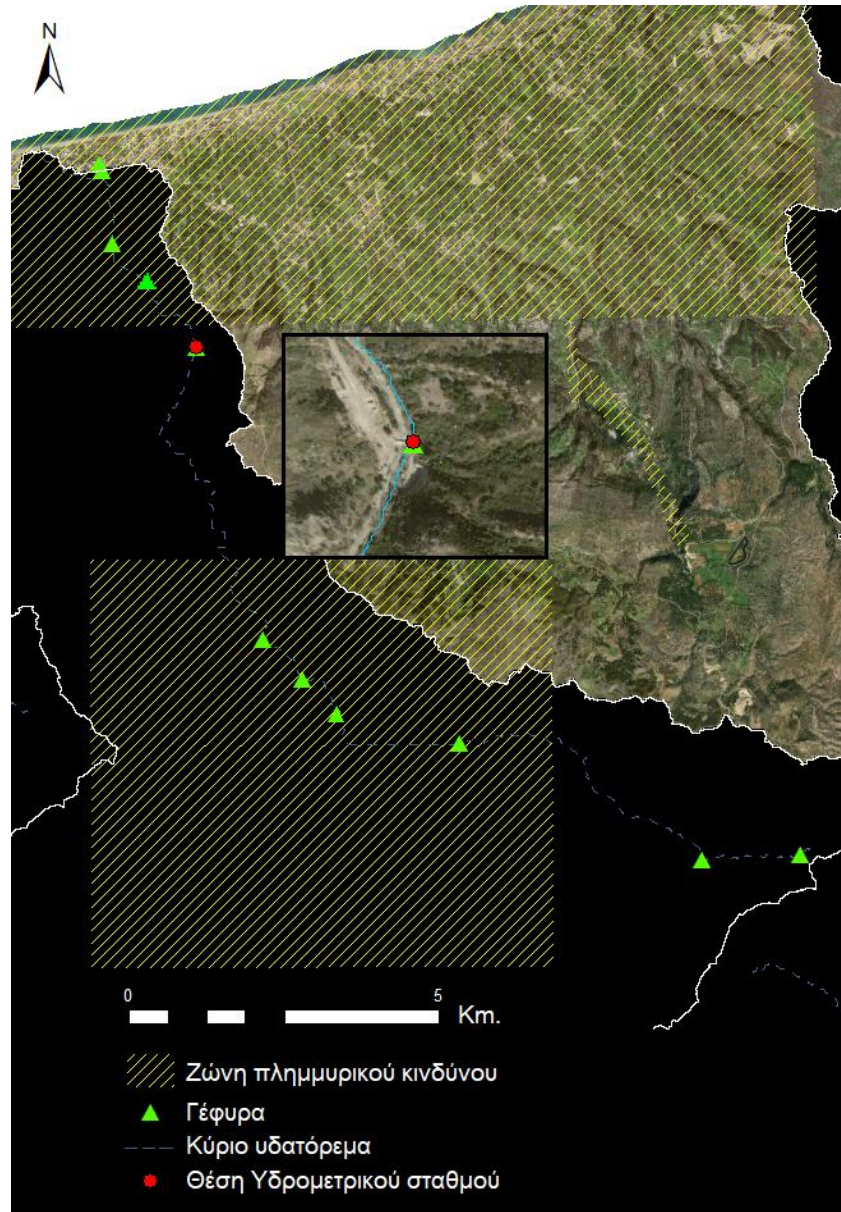
Σχήμα 5.2.1.1: Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης υδρομετρικού σταθμού για την λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου (επάνω) και του Πετρέ (κάτω).



Σχήμα 5.2.1.2: Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης υδρομετρικού σταθμού για την λεκάνη απορροής του Πλατύ (αριστερά) και του Πρασσανού (δεξιά).

Στη λεκάνη του Πρασσανού, με χρήση του πρώτου σεναρίου, η χωροθέτηση του υδρομετρικού σταθμού πραγματοποιήθηκε σε σημείο προσβάσιμο από Ι.Χ. όχημα, πλησίον του οδικού δικτύου, πάνω σε γέφυρα στο Πρασσανό φαράγγι όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.1.3. Η τοποθεσία δεν περιλαμβάνεται στα σημεία με βαθμολογία όσον αφορά στην καταλληλότητά της πάνω από 0.9 όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.2.1.2, ωστόσο έχει επίσης υψηλή βαθμολογία, ίση με 0.81 και επιλέχθηκε λόγω της θέσης

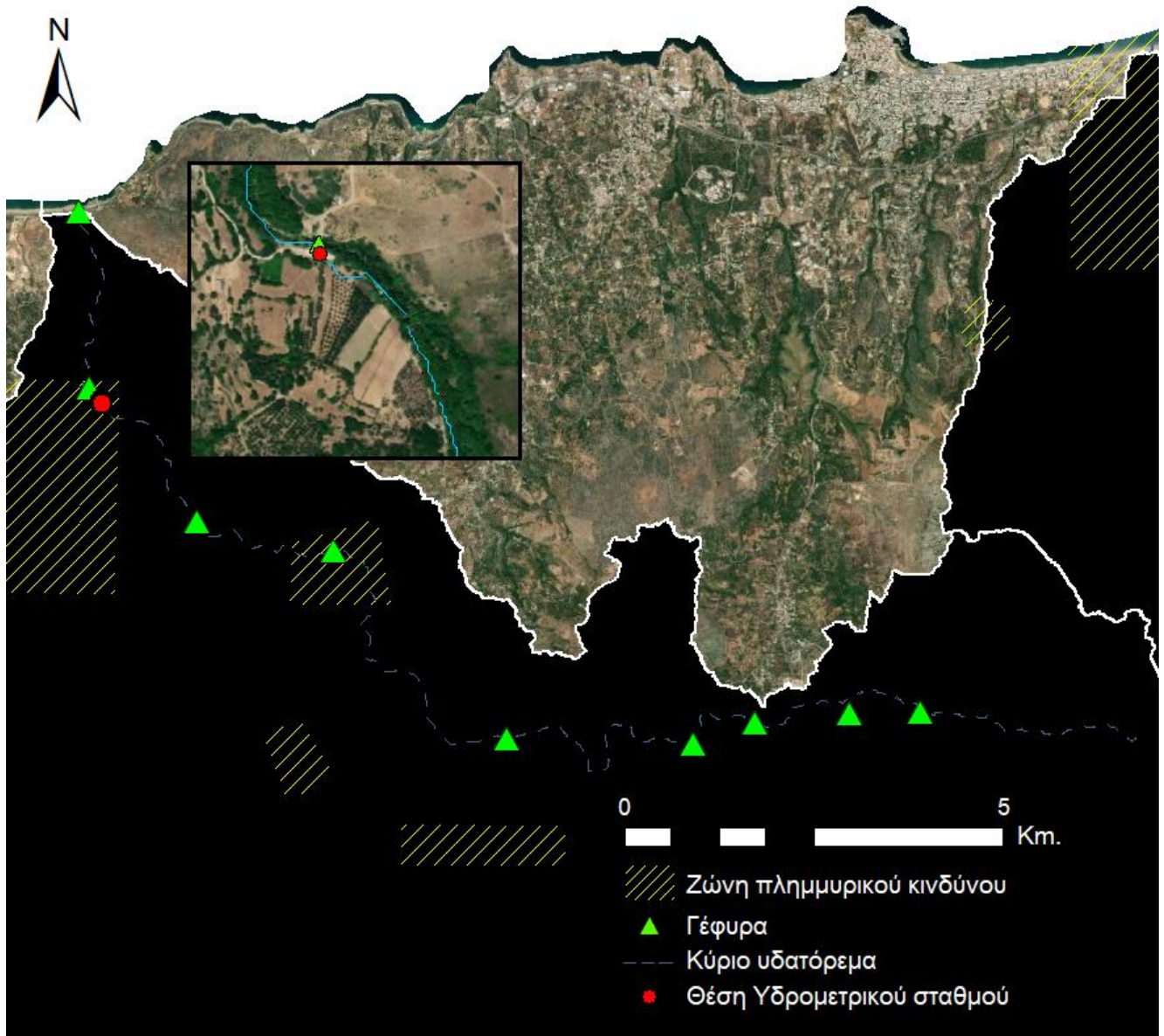
ανάντη της ζώνης πλημμυρικού κινδύνου που περιλαμβάνει τα ανατολικά προάστια του Ρεθύμνου, στην οποία συμβαίνουν συχνά καταστροφές λόγω των πλημμυρικών φαινομένων που εκδηλώνονται.



Σχήμα 5.2.1.3: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πρασσανού βάσει του πρώτου σεναρίου.

Στο πρώτο σενάριο, στη λεκάνη του Πετρέ, επιλέχθηκε σημείο 800m ανατολικά του οικισμού Καρωτή του Δήμου Λαππαίων, με βαθμολογία 0.99, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.1.4. Ωστόσο, για την ευκολότερη εγκατάσταση και λειτουργία του σταθμού, η χωροθέτησή του έγινε 230m κατάντη, πάνω

σε γέφυρα. Το σημείο βρίσκεται δίπλα στην ζώνη πλημμυρικού κινδύνου που περιλαμβάνει του οικισμούς Καρωτή, Κούφη, Αρχοντική και Επισκοπή.



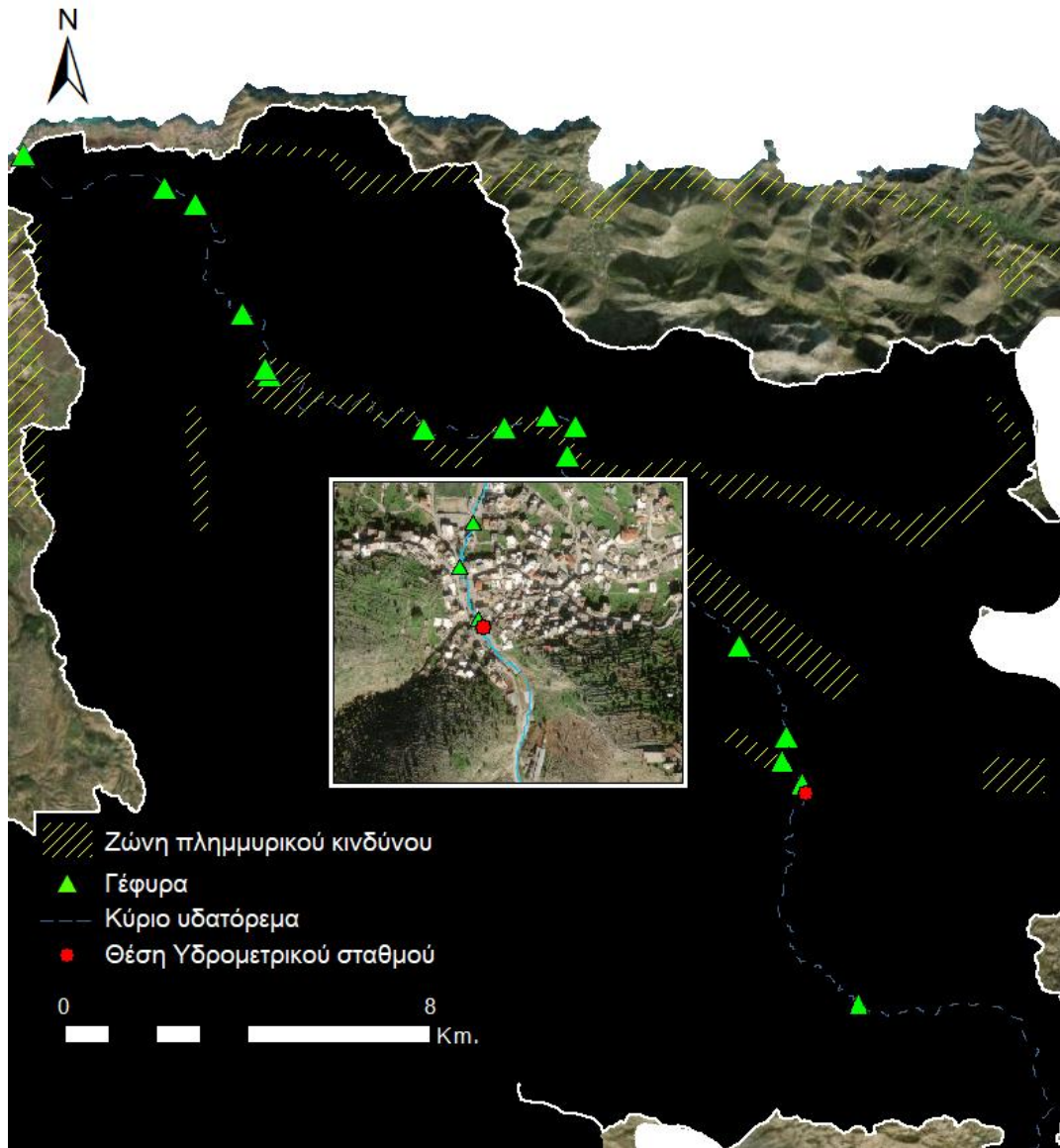
Σχήμα 5.2.1.4: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πετρέ βάσει του πρώτου σεναρίου.

Στη λεκάνη του Πλατύ, επιλέχθηκε για τη χωροθέτηση του υδρομετρικού σταθμού η βέλτιστη τοποθεσία που υποδεικνύεται από τον χάρτη καταλληλότητας (Σχήμα 5.2.1.2) με βαθμολογία 0.92. Η θέση αυτή απέχει 40m από το οδικό δίκτυο με έναν ελαιώνα να παρεμβάλλεται στο ρέμα και στον δρόμο στην συγκεκριμένη τοποθεσία, στην οποία υπάρχει πρόσβαση από μικρό χωματόδρομο. Η θέση βρίσκεται πλησίον του επαρχιακού δρόμου Γερακαρίου-Σπηλίου 1.5km ανατολικά του οικισμού Μοναστηράκι του δήμου Αμαρίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.1.5.



Σχήμα 5.2.1.5: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πλατύ βάσει του πρώτου σεναρίου.

Στο πρώτο σενάριο, στη λεκάνη του Γεροποτάμου, ο σταθμός χωροθετήθηκε ανάντη της ζώνης πλημμυρικού κινδύνου που περιλαμβάνει την επαρχιακή οδό Ζωνιανών-Κράνας του δήμου Μυλοποτάμου. Η θέση που επιλέχθηκε όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.1.6, έχει βαθμολογία 0.82 ως προς την καταλληλότητά της για τη χωροθέτηση του υδρομετρικού σταθμού και βρίσκεται πάνω σε γέφυρα που αποτελεί τμήμα του κυρίου οδικού δικτύου της περιοχής στη νοτιοδυτική είσοδο του οικισμού των Ζωνιανών.



Σχήμα 5.2.1.6: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Γεροποτάμου βάσει του πρώτου σεναρίου.

5.2.2 Σενάριο 2

5.2.2.1 Ανάλυση ΑΗΡ

Το δεύτερο σενάριο επιλέγει να δώσει βάρος στην επιλογή των εργονομικότερων θέσεων για την τοποθέτηση των υδρομετρικών σταθμών. Για τον λόγο αυτό, δίνεται μεγάλο βάρος στην κριτήριο της απόσταση των σταθμών από τους οικισμούς και ακόμα μεγαλύτερο στη μικρή απόσταση από το οδικό δίκτυο. Τα συγκριτικά βάρη μεταξύ των κριτηρίων φαίνονται στον Πίνακα 5.2.2.1 για τα πέντε κριτήρια που εξετάζονται. Στον Πίνακα 5.2.2.2 φαίνονται τα τελικά βάρη για κάθε κριτήριο όπως προκύπτουν

από την AHP. Ο δείκτης συνέπειας CI και ο λόγος συνέπειας CR της AHP για το συγκεκριμένο σενάριο προέκυψαν ως εξής:

CI=0.086 CR=0.077

Επομένως, δεδομένου ότι $CR < 0.1$, η μέθοδος θεωρείται αποδεκτή.

Πίνακας 5.2.2.1: Συγκριτικά βάρη μεταξύ των κριτηρίων για το δεύτερο σενάριο.

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	3	4	5	1/4
C2	1/3	1	3	4	1/5
C3	1/4	1/3	1	2	1/5
C4	1/5	1/4	1/2	1	1/6
C5	4	5	5	6	1

C1: Κριτήριο απόστασης από τους οικισμούς
C2: Κριτήριο ευπάθειας σε πλημμυρικά φαινόμενα
C3: Κριτήριο απόστασης από τις συμβολές
C4: Κριτήριο κλίσεων εδάφους
C5: Κριτήριο απόστασης από το οδικό δίκτυο

Πίνακας 5.2.2.2: Βάρη των κριτηρίων για το δεύτερο σενάριο όπως προκύπτουν από την AHP.

C1	0.240
C2	0.143
C3	0.075
C4	0.049
C5	0.493

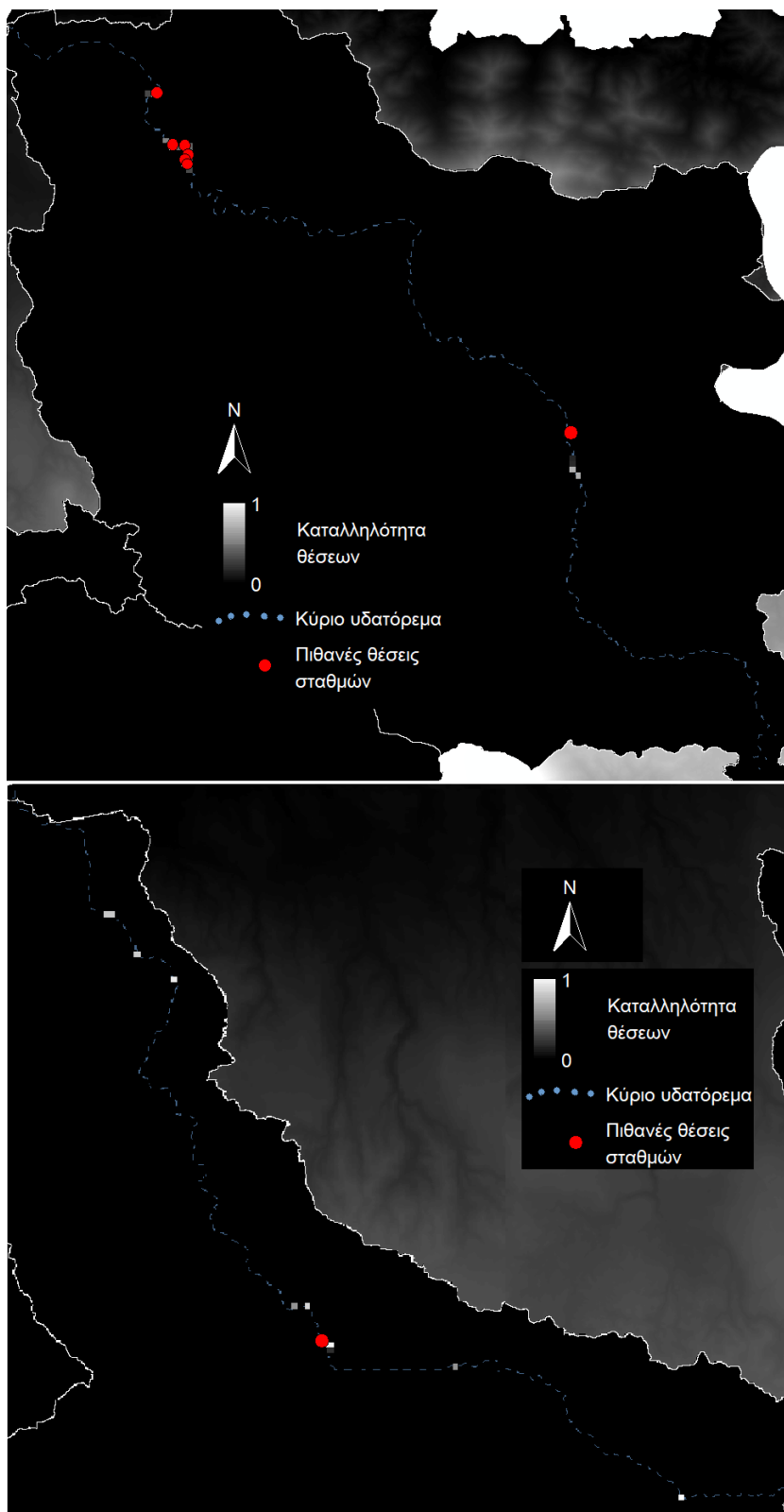
5.2.2.2 Επιλογή τοποθεσίας

Ύστερα από τον υπολογισμό των βαρών για το κάθε κριτήριο, δημιουργήθηκε για το κύριο υδατόρεμα αρχείο raster στο οποίο βαθμολογείται κάθε φατνίο ανάλογα με την καταλληλότητά του για τη χωροθέτηση υδρομετρικού σταθμού στο συγκεκριμένο σημείο. Αυτό έγινε με το εργαλείο *raster calculator*, με τον πολλαπλασιασμό κάθε ενός από τα πέντε αρχεία (παράγραφοι 4.5.1 – 4.5.5) που αντιστοιχούν στα πέντε κριτήρια χωροθέτησης με το αντίστοιχο βάρος και την άθροισή τους. Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η:

$0.240 * \text{oikismo} + 0.143 * \text{plhmyres} + 0.075 * \text{symvoles} + 0.049 * \text{kliseis} + 0.493 * \text{odiko_diktyo}$

Στην περίπτωση της λεκάνης απορροής του Πλατύ, δεν υπάρχουν σημεία που να ανήκουν σε περιοχές που κρίνονται ως ζώνες πλημμυρικού κινδύνου. Επομένως, η ποσότητα 0.143*rihmmtyges αντικαταστάθηκε από την σταθερά 0.143 ώστε να μην επηρεάσει το αποτέλεσμα αλλά η μέγιστη δυνατή τιμή του να παραμείνει το 1. Η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε για κάθε λεκάνη απορροής ξεχωριστά και προέκυψαν τέσσερα αρχεία με τιμές στο διάστημα 0 έως 1 με τις μεγαλύτερες τιμές να υποδεικνύουν καταλληλότερες τοποθεσίες (Σχήματα 5.2.2.1 & 5.2.2.2). Στην συνέχεια, με το εργαλείο *raster calculator* απορρίφθηκαν όλες οι περιοχές των αρχείων με τιμή μικρότερη του 0.9, με την εντολή `Con(file,1,0,"VALUE>0.9")`, όπου file, το αρχείο που αντιστοιχεί σε κάθε μία από τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται. Προέκυψαν έτσι τέσσερα αρχεία με τιμή 1 στα φαντρία που αντιστοιχούν στις πλέον κατάλληλες περιοχές του υδατορέματος και τιμή 0 σε όλα τα υπόλοιπα.

Στη συνέχεια, με το εργαλείο *raster to point*, μετατράπηκε κάθε ένα από τα raster αρχεία που προέκυψαν από την τελευταία διαδικασία σε διανυσματικά αρχεία με γεωμετρία σημείου, με κάθε φαντρίο με τιμή 1 να αντιστοιχεί σε ένα σημείο (Σχήματα 5.2.2.1 & 5.2.2.2).

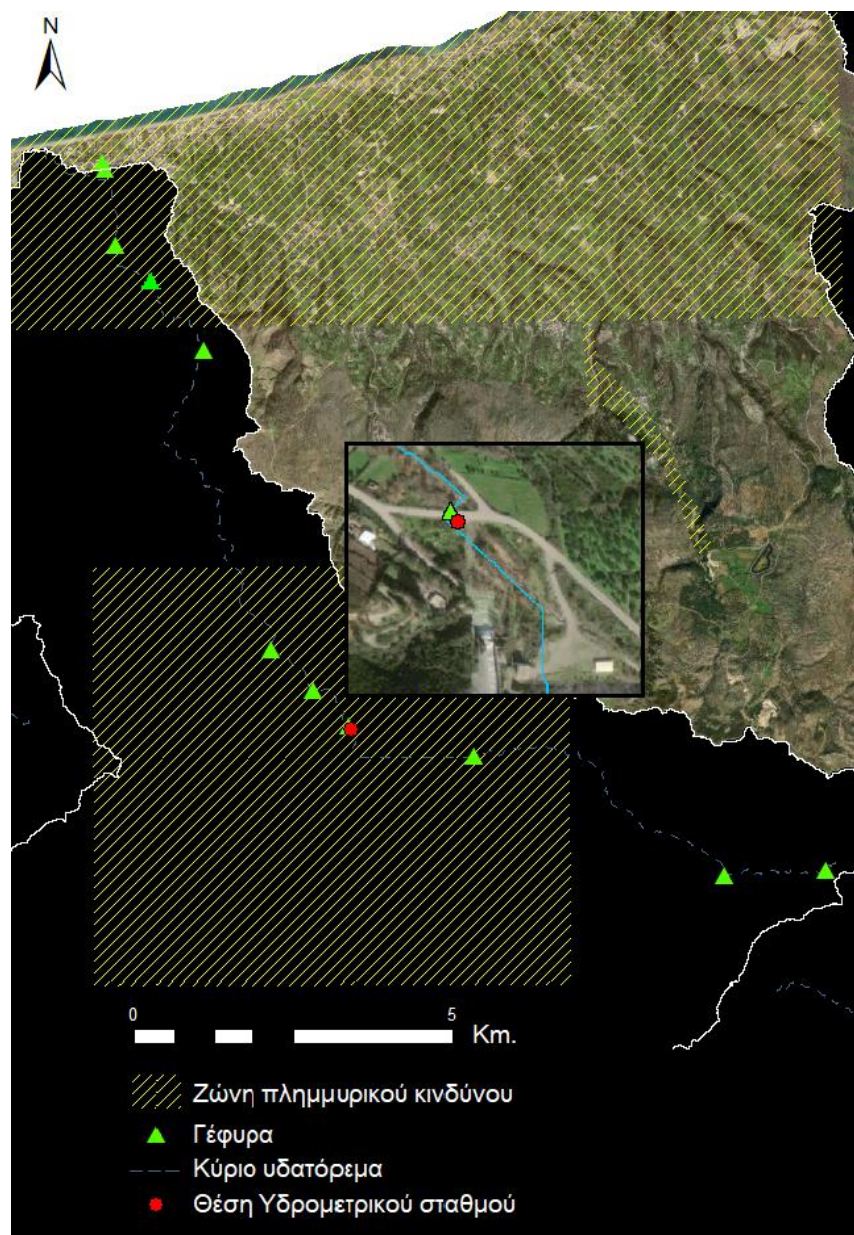


Σχήμα 5.2.2.1: Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης υδρομετρικού σταθμού για την λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου (επάνω) και του Πετρέ (κάτω).



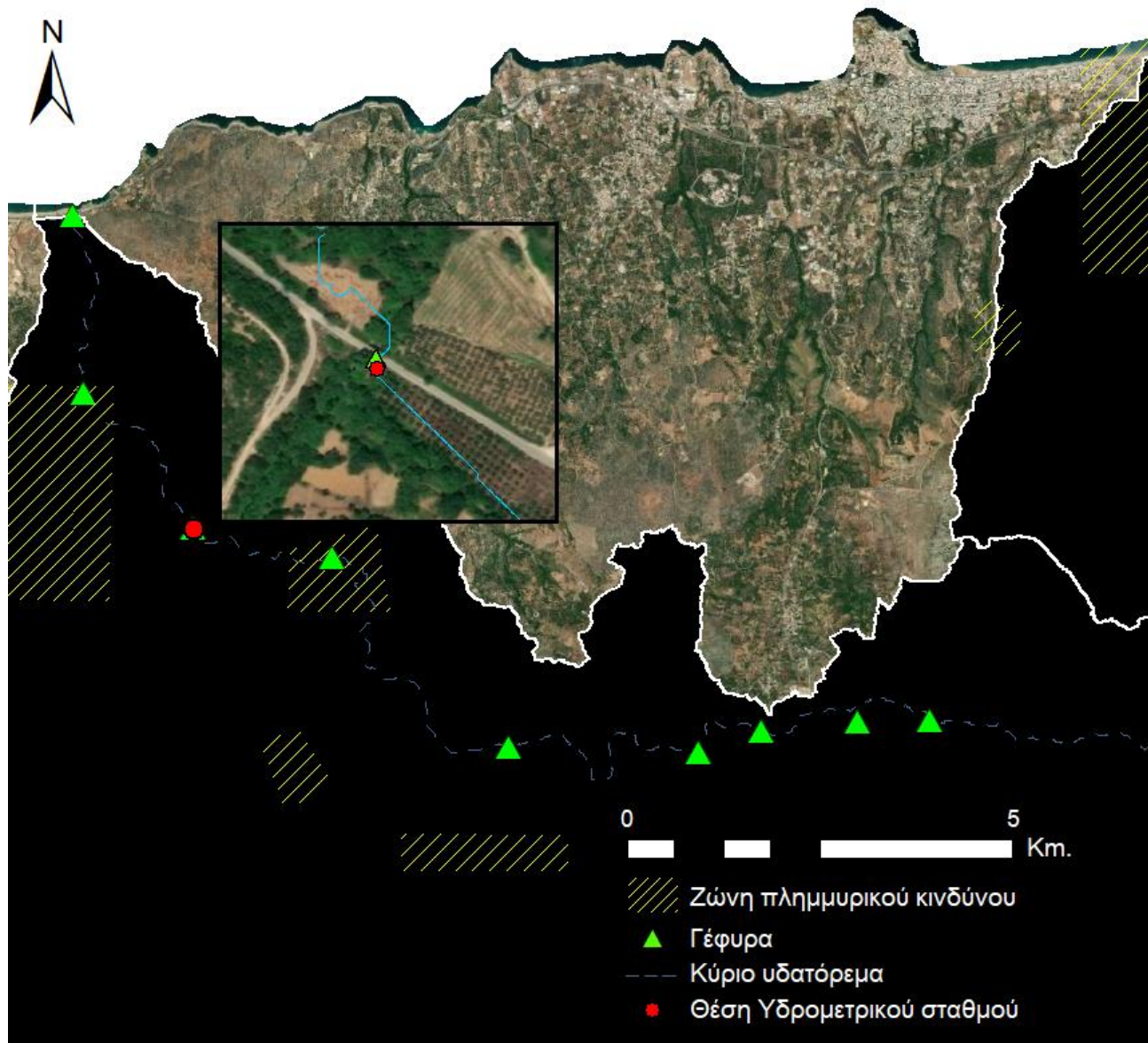
Σχήμα 5.2.2.2: Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης υδρομετρικού σταθμού για την λεκάνη απορροής του Πλατύ (αριστερά) και του Πρασσανού (δεξιά).

Στο δεύτερο σενάριο, στη λεκάνη του Πρασσανού, ο υδρομετρικός σταθμός χωροθετήθηκε κατάντη του φράγματος των Ποταμών, σε σημείο που έχει βαθμολογία ίση με 1 όσον αφορά στην καταλληλότητά του για την χωροθέτηση υδρομετρικού σταθμού. Το σημείο πληροί όλα τα κριτήρια με τον βέλτιστο τρόπο και βρίσκεται πάνω σε γέφυρα όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.2.3.



Σχήμα 5.2.2.3: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πρασσανού βάσει του δευτέρου σεναρίου.

Στη λεκάνη του Πετρέ, επιλέχθηκε σημείο με βαθμολογία 0.94, πάνω σε γέφυρα, 2km βόρεια του οικισμού Άγιος Κωνσταντίνος του δήμου Νικηφόρου Φωκά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.2.4. Η τοποθεσία ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του δεύτερου σεναρίου, αφού έχει υψηλή βαθμολογία και βρίσκεται πάνω σε γέφυρα, δίπλα στο οδικό δίκτυο.



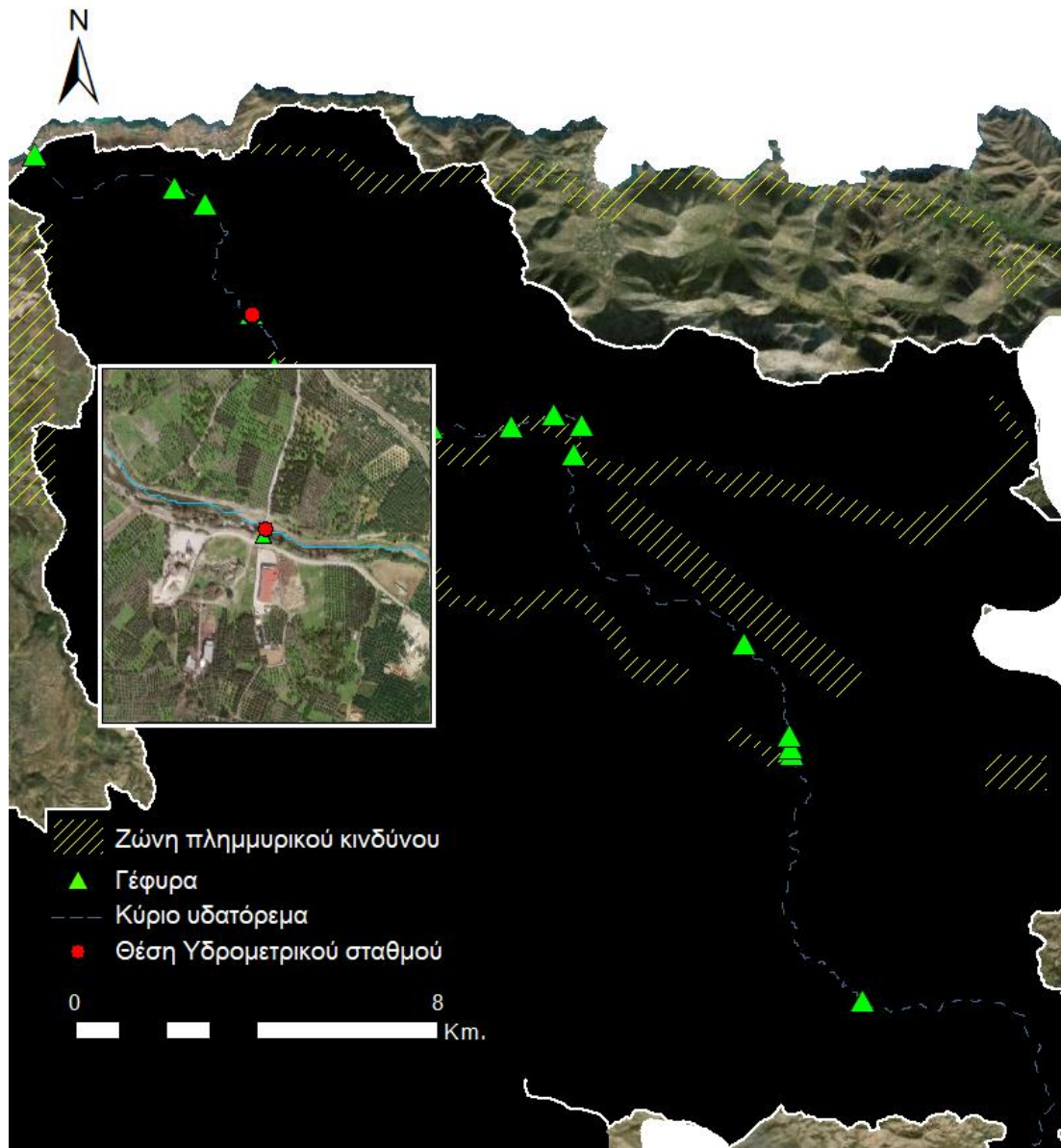
Σχήμα 5.2.2.4: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πετρέ βάσει του δευτέρου σεναρίου.

Στη λεκάνη του Πλατύ, για την χωροθέτηση του υδρομετρικού σταθμού επιλέχθηκε θέση πλάι σε γέφυρα με βαθμολογία 0.97. Η θέση βρίσκεται 800m ανατολικά του οικισμού Μοναστηράκι του δήμου Αμαρίου. Η θέση όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.2.5, πληροί όλα τα κριτήρια που θέτει το δεύτερο σενάριο αφού είναι πάνω σε γέφυρα που αποτελεί τμήμα του κυρίου οδικού δικτύου της περιοχής.



Σχήμα 5.2.2.5: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πλατύ βάσει του δευτέρου σεναρίου.

Στο δεύτερο σενάριο, στη λεκάνη του Γεροποτάμου, ο σταθμός χωροθετήθηκε πάνω σε γέφυρα σε απόσταση 1.5km βόρεια του οικισμού του Περάματος του δήμου Μυλοποτάμου. Η θέση στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου έχει βαθμολογία 0.97 και πληροί όλα τα κριτήρια που θέτει το σενάριο αυτό αφού βρίσκεται πλάι σε γέφυρα που αποτελεί τμήμα του οδικού δικτύου, σε απόσταση 350m από την κεντρικότερη οδό της περιοχής. Η τοποθεσία φαίνεται στο Σχήμα 5.2.2.6.



Σχήμα 5.2.2.6: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Γεροποτάμου βάσει του δευτέρου και τρίτου σεναρίου.

5.2.3 Σενάριο 3

5.2.3.1 Ανάλυση ΑΗΡ

Το τρίτο σενάριο επιλέγει να δώσει βάρος στη βέλτιστη λειτουργία των υδρομετρικών σταθμών και στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος της μέτρησης. Για το λόγο αυτό, δίνεται το μεγαλύτερο βάρος στο κριτήριο της απόστασης των σταθμών από τις συμβολές. Ακόμα δίνεται μεγάλο βάρος στη χωροθέτηση των σταθμών σε εδάφη με μικρή κλίση. Τα συγκριτικά βάρη μεταξύ των κριτηρίων φαίνονται στον Πίνακα 5.2.3.1 για τα πέντε κριτήρια που εξετάζονται. Στον Πίνακα 5.2.3.2 φαίνονται τα τελικά βάρη για

κάθε κριτήριο όπως προκύπτουν από την AHP. Ο δείκτης συνέπειας CI και ο λόγος συνέπειας CR της AHP για το συγκεκριμένο σενάριο προέκυψαν ως εξής:

CI=0.034 CR=0.03

Επομένως, δεδομένου ότι $CR < 0.1$, η μέθοδος θεωρείται αποδεκτή.

Πίνακας 5.2.3.1: Συγκριτικά βάρη μεταξύ των κριτηρίων για το δεύτερο σενάριο.

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	3	1/3	1/4	5
C2	1/3	1	1/5	1/6	2
C3	3	5	1	1/2	7
C4	4	6	2	1	8
C5	1/5	1/2	1/7	1/8	1

C1: Κριτήριο απόστασης από τους οικισμούς
C2: Κριτήριο ευπάθειας σε πλημμυρικά φαινόμενα
C3: Κριτήριο απόστασης από τις συμβολές
C4: Κριτήριο κλίσεων εδάφους
C5: Κριτήριο απόστασης από το οδικό δίκτυο

Πίνακας 5.2.3.2: Βάρη των κριτηρίων για το δεύτερο σενάριο όπως προκύπτουν από την AHP.

C1	0.148
C2	0.065
C3	0.299
C4	0.448
C5	0.040

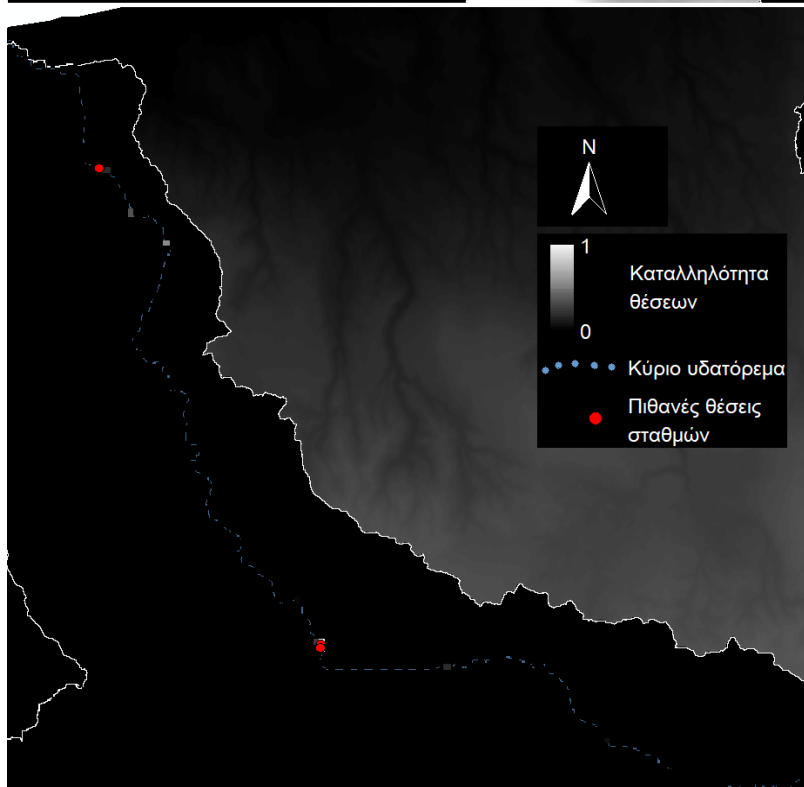
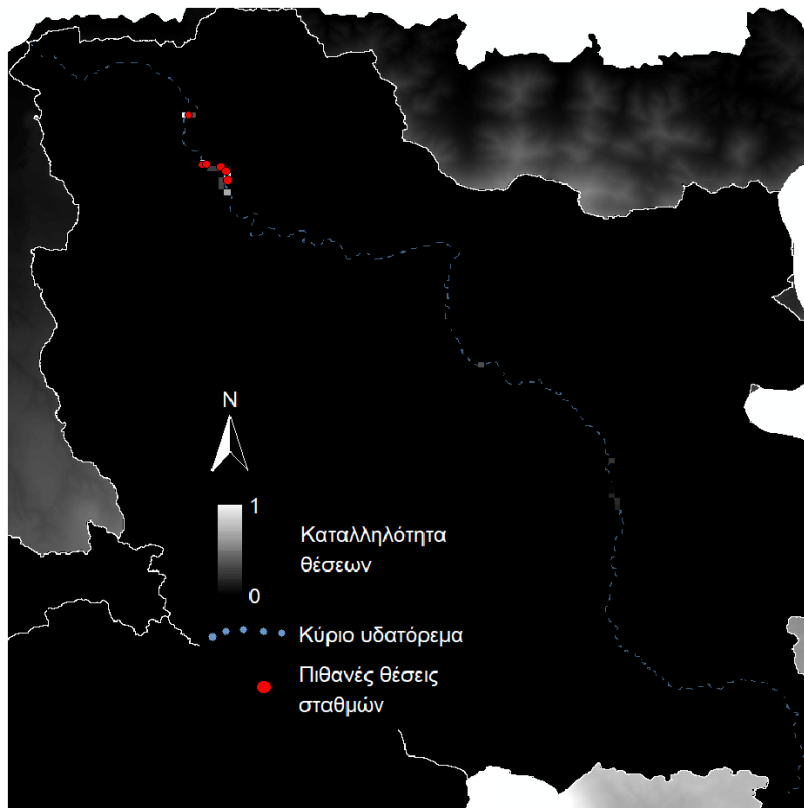
5.2.3.2 Επιλογή τοποθεσίας

Ύστερα από τον υπολογισμό των βαρών για το κάθε κριτήριο, δημιουργήθηκε για το κύριο υδατόρεμα αρχείο raster στο οποίο βαθμολογείται κάθε φαντίο ανάλογα με την καταλληλότητά του για την χωροθέτηση υδρομετρικού σταθμού στο συγκεκριμένο σημείο. Αυτό έγινε με το εργαλείο *raster calculator*, με τον πολλαπλασιασμό κάθε ενός από τα πέντε αρχεία (παράγραφοι 4.5.1 – 4.5.5) που αντιστοιχούν στα πέντε κριτήρια χωροθέτησης με το αντίστοιχο βάρος και την άθροισή τους. Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η:

$0.148 * \text{oikismo} + 0.065 * \text{plhmyres} + 0.299 * \text{symvoles} + 0.448 * \text{kliseis} + 0.040 * \text{odiko_diktyo}$

Στην περίπτωση της λεκάνης απορροής του Πλατύ, δεν υπάρχουν σημεία που να ανήκουν σε περιοχές που κρίνονται ως ζώνες πλημμυρικού κινδύνου. Για το λόγο αυτό, η ποσότητα 0.065*rihmmtyges αντικαταστάθηκε από την σταθερά 0.065 ώστε να μην επηρεάσει το αποτέλεσμα αλλά οι μέγιστη δυνατή τιμή του να παραμείνει το 1. Η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε για κάθε λεκάνη απορροής ξεχωριστά και προέκυψαν τέσσερα αρχεία με τιμές στο διάστημα 0 έως 1 με τις μεγαλύτερες τιμές να υποδεικνύουν καταλληλότερες τοποθεσίες (Σχήματα 5.2.3.1 & 5.2.3.2). Στη συνέχεια, με το εργαλείο *raster calculator* απορρίφθηκαν όλες οι περιοχές των αρχείων με τιμή μικρότερη του 0.9, με την εντολή `Con(file,1,0,"VALUE>0.9")`, όπου `file`, το αρχείο που αντιστοιχεί σε κάθε μία από τις τέσσερις λεκάνες απορροής που μελετώνται. Προέκυψαν έτσι τέσσερα αρχεία με τιμή 1 στα φαντρία που αντιστοιχούν στις πλέον κατάλληλες περιοχές του υδατορέματος και τιμή 0 σε όλα τα υπόλοιπα.

Στη συνέχεια, με το εργαλείο *raster to point*, μετατράπηκε κάθε ένα από τα raster αρχεία που προέκυψαν από την τελευταία διαδικασία σε διανυσματικά αρχεία με γεωμετρία σημείου, με κάθε φαντρίο με τιμή 1 να αντιστοιχεί σε ένα σημείο (Σχήματα 5.2.3.1 & 5.2.3.2).



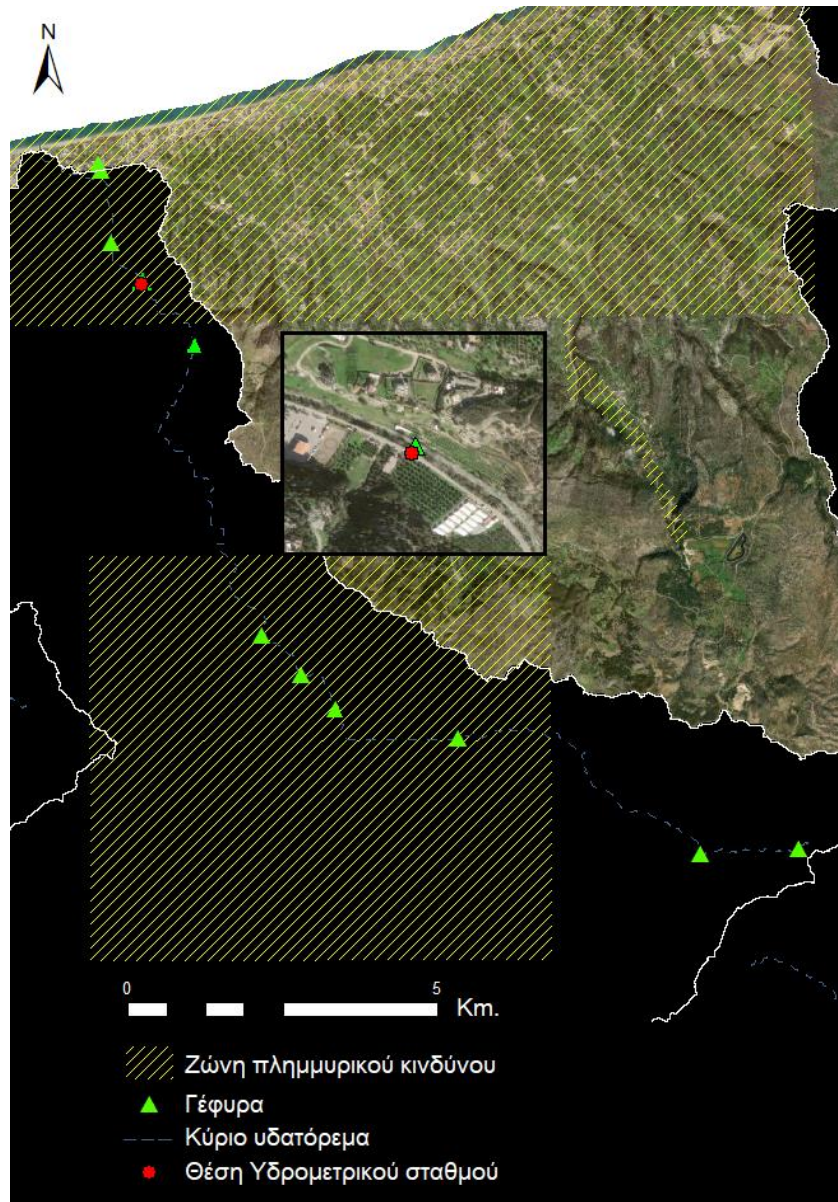
Σχήμα 5.2.3.1: Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης υδρομετρικού σταθμού για την λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου (επάνω) και του Πετρέ (κάτω).



Σχήμα 5.2.3.2: Χάρτης καταλληλότητας χωροθέτησης υδρομετρικού σταθμού για την λεκάνη απορροής του Πλατύ (αριστερά) και του Πρασσανού (δεξιά).

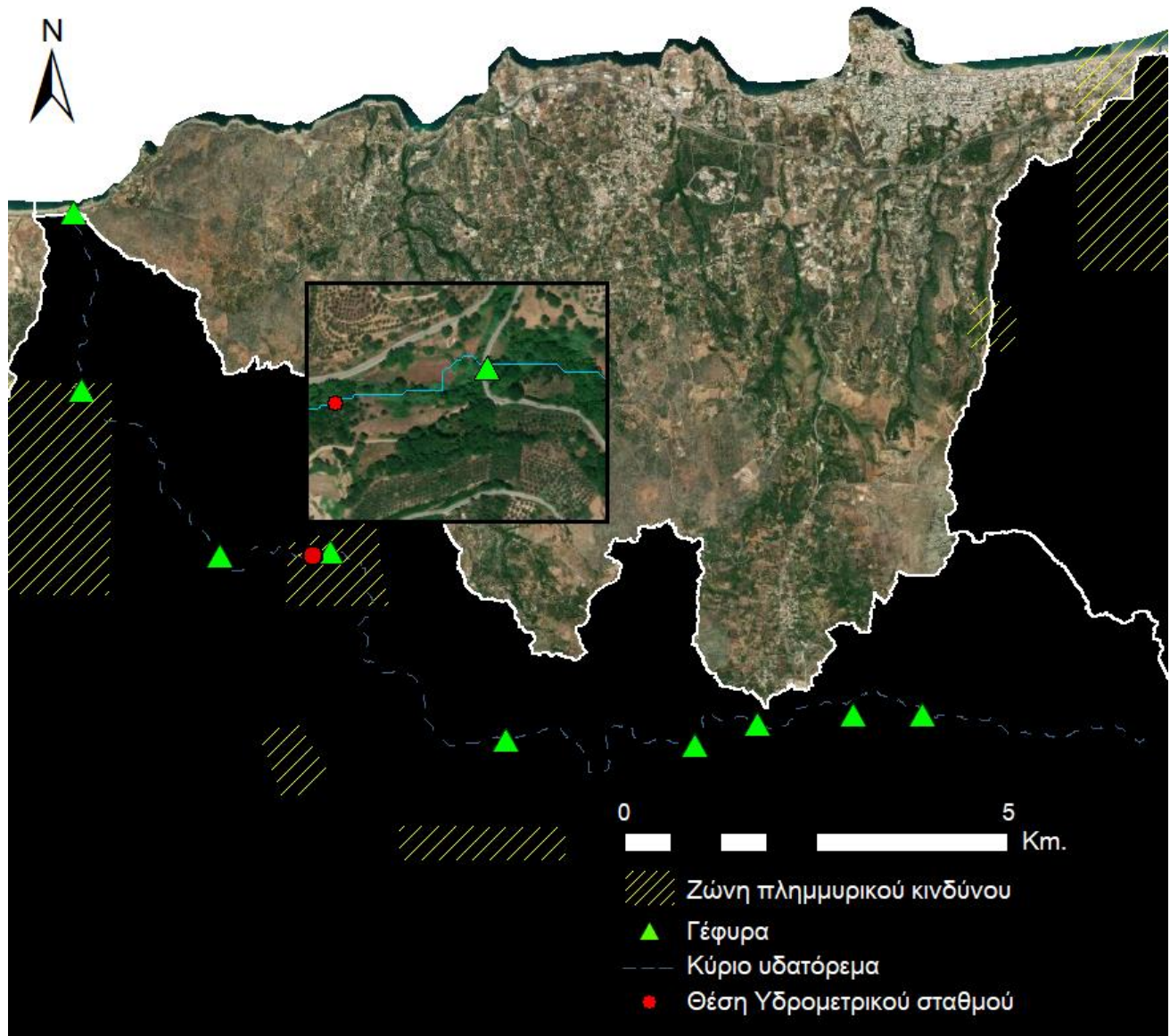
Στη λεκάνη του Πρασσανού, δεν υπήρχε σημείο που να έχει βαθμολογία πάνω από 0.9 και να βρίσκεται σε θέση όπου το ρέμα είναι ευθύ για μήκος περίπου δεκαπλάσιο του πλάτους του ανάντη και κατάντη της θέσης. Επιλέχθηκε έτσι σημείο με βαθμολογία 0.24, που δεν πληροί το κριτήριο της θέσης ανάντη των οικισμών αλλά βρίσκεται δίπλα σε επιχειρήσεις 350m βόρεια από τον οικισμό Γιαννούδι. Επίσης το σημείο φαίνεται να μην πληροί το κριτήριο της κλίσης ενώ γειτονικά του φατνιά το πληρούν. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε σφάλματα της ακρίβειας ή τη επεξεργασία του DEM. Το σημείο επιλέχθηκε

διότι για 200m ανάντη και 400m κατόντη αυτού, το ρέμα είναι ευθύ με πλάτος μικρότερο από 15m όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.3.3.



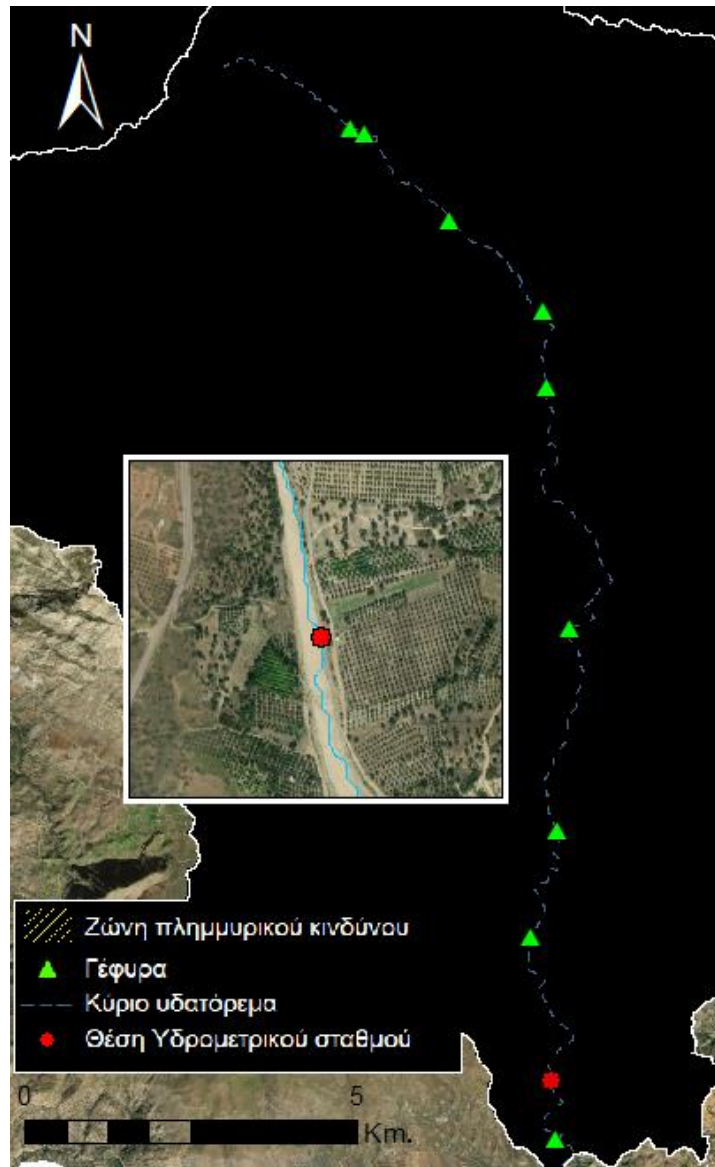
Σχήμα 5.2.3.3: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πρασσανού βάσει του τρίτου σεναρίου.

Στο τρίτο σενάριο, στη λεκάνη του Πετρέ, επιλέχθηκε σημείο με βαθμολογία 0.91, σε απόσταση 30m από το οδικό δίκτυο, σε σημείο ανάντη και κατόντη του οποίου, το ρέμα είναι ευθύ για απόσταση περίπου 225m ενώ το πλάτος του είναι μικρότερο από 1m . Η τοποθεσία βρίσκεται 930m βόρεια του οικισμού του Καλονύκτη του δήμου Νικηφόρου Φωκά και φαίνεται στο Σχήμα 5.2.3.4.



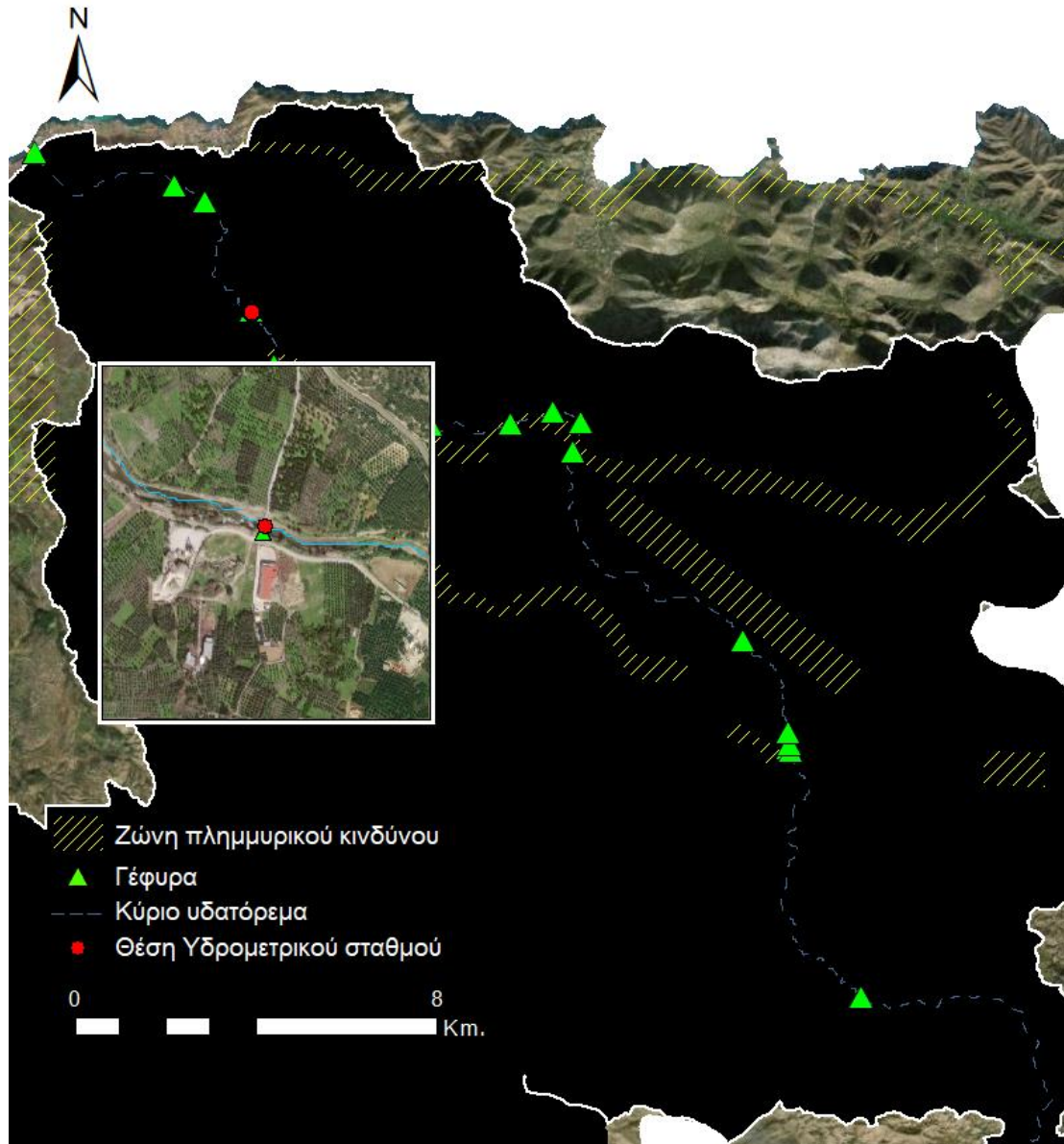
Σχήμα 5.2.3.4: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πετρέ βάσει του τρίτου σεναρίου.

Στη λεκάνη του Πλατύ, επιλέχθηκε σημείο με βαθμολογία 0.2. Η επιλογή αυτή έγινε διότι, αν και υπήρχαν σημεία με αρκετά υψηλότερη βαθμολογία, το συγκεκριμένο ήταν το σημείο με την υψηλότερη βαθμολογία που να βρίσκεται σε τμήμα του ποταμού το οποίο πληροί το κριτήριο που θέτει ο WMO όσον αφορά την ύπαρξη τμήματος του ρέματος χωρίς στροφές με ικανοποιητικό μήκος ανάντη και κατόντη του υδρομετρικού σταθμού. Συγκεκριμένα, στη θέση αυτή, το πλάτος του ποταμού είναι 30m με τον ποταμό να είναι ευθύς για τμήμα 400m ανάντη της θέσης του σταθμού και τμήμα 380m κατόντη αυτού. Η θέση φαίνεται στο Σχήμα 5.2.3.5.



Σχήμα 5.2.3.5: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Πλατύ βάσει του τρίτου σεναρίου.

Στο τρίτο όπως και στο δεύτερο σενάριο, στη λεκάνη του Γεροποτάμου, ο σταθμός χωροθετήθηκε στην ίδια θέση, πάνω σε γέφυρα σε απόσταση 1.5 χιλιομέτρου βόρεια του οικισμού του Περάματος του δήμου Μυλοποτάμου. Η θέση στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου έχει βαθμολογία 0.97 και πληροί όλα τα κριτήρια που θέτει το σενάριο αυτό αφού βρίσκεται πλάι σε γέφυρα που αποτελεί τμήμα του οδικού δικτύου, σε απόσταση 350m από την κεντρικότερη οδό της περιοχής. Στην περίπτωση του τρίτου σεναρίου, η θέση έχει βαθμολογία 0.29. Η βαθμολογία είναι χαμηλότερη από αυτήν άλλων θέσεων του ρέματος του Γεροποτάμου, ωστόσο η συγκεκριμένη τοποθεσία είναι αυτή με τη μεγαλύτερη βαθμολογία που ταυτόχρονα έχει τμήμα ευθύ για ικανοποιητικό μήκος ανάντη και κατάντη της θέσης του σταθμού. Η τοποθεσία φαίνεται στο Σχήμα 5.2.3.6.



Σχήμα 5.2.3.6: Θέση υδρομετρικού σταθμού στο ρέμα του Γεροποτάμου βάσει του δευτέρου και τρίτου σεναρίου.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Σύνοψη

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν οι μεθοδολογίες της χωροθέτησης κατά βέλτιστο τρόπο ενός δικτύου υδρομετεωρολογικών σταθμών και ενός δικτύου υδρομετρικών σταθμών στις τέσσερις μεγαλύτερες λεκάνες απορροής της Π.Ε. Ρεθύμνου με τη χρήση μεθόδων GIS.

Η μεθοδολογία της χωροθέτησης του υδρομετεωρολογικού δικτύου βασίστηκε στην πολυκριτηριακή ανάλυση και τη μέθοδο του σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού (WLC). Τα πέντε κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν σχετίζονται με την κλίση του εδάφους, το υψόμετρο, τις θέσεις των οικισμών, του οδικού δικτύου και των σημείων υδροληψίας. Τα κριτήρια συνυπολογίστηκαν εξίσου χωρίς να δοθεί σε κάποιο μεγαλύτερο βάρος. Με την γραμμική άθροιση των κριτηρίων προέκυψαν οι βέλτιστες θέσεις. Από τις προτεινόμενες θέσεις επιλέχθηκαν όσες είχαν την υψηλότερη βαθμολογία αλλά και όσες εξυπηρετούσαν το μη ποσοτικοποιημένο κριτήριο της γεωμετρικής συμμετρίας ώστε σε επίπεδο περιφερειακής ενότητας να υπάρχει όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη κάλυψη από τους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς.

Όσον αφορά στο υδρομετρικό δίκτυο, η μεθοδολογία βασίστηκε στην πολυκριτηριακή ανάλυση και την αναλυτική ιεραρχική μέθοδο (AHP). Τα πέντε κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν έχουν σχέση με τη θέση των οικισμών, την πλημμυρική επικινδυνότητα, τη θέση του οδικού δικτύου, τις θέσεις των συμβολών και την κλίση του εδάφους. Η χωροθέτηση των σταθμών εξετάστηκε υπό το πρίσμα τριών διαφορετικών σεναρίων, ενός σχετικού με την πρόληψη σε περιοχές υψηλού κινδύνου, ενός σχετικού με την τοποθέτηση των σταθμών στις εργονομικότερες θέσεις και ενός σχετικού με την ελαχιστοποίηση του σφάλματος. Μέσω της αναλυτικής ιεραρχικής μεθόδου προέκυψαν τα βάρη των κριτηρίων για κάθε ένα από τα τρία σενάρια που εξετάστηκαν και στο ArcGIS υπολογίστηκαν οι θέσεις με τη μέγιστη βαθμολογία ύστερα από σύνθεση των κριτηρίων με τη μέθοδο WLC. Κατά την επιλογή των σημείων χωροθέτησης των σταθμών, θεωρήθηκε απαραίτητη προϋπόθεση στο σενάριο που αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος, το ρέμα να είναι ευθύ ανάντη και κατόντη του υδρομετρικού σταθμού για μήκος ίσο τουλάχιστον δεκαπλάσιο του πλάτους. Για το σενάριο που στοχεύει στην εύρεση της εργονομικότερης θέσης χαρτογραφήθηκαν όλες οι γέφυρες των υπό εξέταση υδατορεμάτων και οι θέσεις που εξετάστηκαν ως πιθανές θέσεις των σταθμών ήταν αυτές που είχαν επαρκώς υψηλή βαθμολογία και βρίσκονταν αρκετά κοντά σε γέφυρα ώστε ο σταθμός να χωροθετηθεί πάνω σε αυτήν.

6.2 Συμπεράσματα

6.2.1 Γενικά

Η σημαντικότερη παρατήρηση που εμπίπτει στην κατηγορία των γενικών συμπερασμάτων έχει να κάνει με την εφαρμογή των κριτηρίων χωροθέτησης όπως προτείνονται από την υπηρεσία SOTER του WMO (6). Τα κριτήρια αυτά αποτελούν ένα εξαιρετικό σημείο εκκίνησης για να θέσει κάποιος ερωτήματα σε σχέση με τη χωροθέτηση του υδρομετεωρολογικού ή υδρομετρικού δικτύου. Ωστόσο είναι απαραίτητη

η εμπειρία για την προσαρμογή τους στα ιδιαίτερα δεδομένα της κάθε περιοχής αφού και εντός της ίδιας περιφερειακής ενότητας εντοπίζονται περιπτώσεις που χρήζουν διαφορετικής αντιμετώπισης. Για παράδειγμα στην Π.Ε. Ρεθύμνου η λεκάνη απορροής του Πετρέ έχει διπλάσιο ποσοστό του εδάφους της με κλίση κάτω του 5% σε σχέση με τη λεκάνη απορροής του Πλατύ. Η δεύτερη ωστόσο έχει διπλάσια έκταση από αυτή του Πετρέ. Επομένως προέκυψε πως αρκετά λιγότερες τοποθεσίες πληρούν το κριτήριο της κλίσης στην λεκάνη του Πλατύ από αυτήν του Πετρέ ενώ λόγω έκτασης στη λεκάνη του Πλατύ αρμόζει να χωροθετηθούν τριπλάσιοι σε πλήθος υδρομετεωρολογικοί σταθμοί. Επιπλέον, σε σχέση με τα κριτήρια που προτείνει ο WMO, το πλήθος υδρομετεωρολογικών σταθμών που δικαιολογείται για ένα νησί με την έκταση της Κρήτης και λεκάνες απορροής με μέγεθος αυτών που μελετήθηκαν είναι μηδενικό. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα πως η εξειδίκευση και τροποποίηση των κριτηρίων ανά περίπτωση είναι απαραίτητη εφόσον πρόκειται για μία περίπτωση καθολικών κριτηρίων που αποσκοπούν στην κάλυψη όλων των ετερογενών περιπτώσεων της Γης.

Σχετικά με την ιεραρχική αναλυτική μέθοδο (AHP), είναι απαραίτητο το ερώτημα – σενάριο, βάσει της ικανοποίησης του οποίου βαθμολογούνται τα κριτήρια, να είναι διατυπωμένο με σαφέστατο τρόπο καθώς απαραίτητο είναι και το άτομο που αποδίδει βάρη στα κριτήρια να έχει εμπειρία του αντικειμένου. Έγινε φανερό στην περίπτωση της χωροθέτησης του υδρομετρικού δικτύου πως αλλαγές στην βαθμολόγηση των κριτηρίων της AHP μπορούν να οδηγήσουν σε ολοκληρωτικά διαφορετικά αποτελέσματα. Άρα μία παρανόηση του στόχου από τον βαθμολογητή ή κάποιο σφάλμα λόγω έλλειψης πείρας μπορούν να γίνουν αιτία για σημαντικές αστοχίες.

6.2.2 Ειδικά

Η λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου σε ένα μικρό της τμήμα εκτείνεται εκτός της ΠΕ Ρεθύμνου, στην ΠΕ Ηρακλείου. Για τον λόγο αυτό, σε περίπτωση που εξεταστεί σχετικά με τη χωροθέτηση του υδρομετρικού δικτύου ολόκληρη η λεκάνη απορροής, χωρίς να περιορίζεται η έρευνα από τα διοικητικά όρια των περιφερειακών ενότητων, είναι πιθανό κάποια δεδομένα να αλλάξουν. Για παράδειγμα το κύριο υδατόρεμα με τη μέθοδο Horton-Strahler, θα προκύψει να είναι ο ανατολικότερος κλάδος του Γεροποτάμου. Αυτό συμβαίνει διότι αν εξεταστεί η λεκάνη απορροής ανεξάρτητα από τα διοικητικά όρια, ο ανατολικός κλάδος δεν τελειώνει στο Χάνι των Αλόντων όπου τελειώνει και η ΠΕ Ρεθύμνου αλλά περίπου 6km ανατολικότερα, πάνω από την Δαμάστα. Στην παρούσα εργασία, αυτή η διαφορά δεν επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα στην περίπτωση των δύο πρώτων σεναρίων χωροθέτησης των υδρομετρικών σταθμών (παράγραφοι 5.2.1 & 5.2.2). Ωστόσο στην χωροθέτηση του υδρομετρικού σταθμού στο πρώτο σενάριο (παράγραφος 5.3.3), επιλέγεται θέση χωροθέτησης ανάντη ζώνης πλημμυρικού κινδύνου που δεν ανήκει στο κύριο υδατόρεμα όταν η λεκάνη απορροής εξετάζεται ανεξαρτήτως των διοικητικών ορίων. Συμπεραίνεται πως είναι σημαντικό να εξετάζεται μία περιοχή κατά την λήψη αποφάσεων ανεξάρτητα από τα διοικητικά της όρια ώστε να αποφεύγονται σφάλματα που μπορεί να προκύπτουν από τον διοικητικό κατακερματισμό.

Επίσης, σε σχέση με την χωροθέτηση του υδρομετεωρολογικού δικτύου, προκύπτουν περιπτώσεις όπως αυτή των σταθμών του Φουρφουρά στην λεκάνη απορροής του Πλατύ και των Ζωνιανών στην λεκάνη απορροής του Γεροποτάμου (παράγραφοι 5.1.3 & 5.1.4). Στην περίπτωση των δύο σταθμών δεν

πληρείται το κριτήριο εγγύτητας σε οικισμό ούτε το κριτήριο τη ομοιόμορφης γεωμετρικής κάλυψης της ΠΕ, ακόμα στον σταθμό του Φουρφουρά δεν πληρείται το κριτήριο εγγύτητας σε σημείο υδροληψίας. Ωστόσο οι υδρομετεωρολογικοί σταθμοί χωροθετήθηκαν στις συγκεκριμένες θέσεις γιατί κρίθηκε σημαντικό να υπάρχουν καταγραφικά όργανα και στην προσήνεμη και στην υπήνεμη πλαγιά του Ψηλορείτη. Μπορεί να εξαχθεί λοιπόν το συμπέρασμα πως στα κριτήρια χωροθέτησης του δικτύου δεν πρέπει να δίνεται απόλυτη προτεραιότητα κατά τη λήψη μία απόφασης αλλά να εξετάζονται και παράμετροι όπως οι διαφορές στο κλίμα εντός της περιοχής που είναι επιθυμητό να παρακολουθούνται και οι ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν στον τόπο.

6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Κατά τη χωροθέτηση του υδρομετεωρολογικού δικτύου, συνυπολογίστηκε το κριτήριο της ομοιόμορφης κατανομής των σταθμών στην κάθε λεκάνη απορροής και στην έκταση της ΠΕ. Ο συνυπολογισμός του κριτηρίου έγινε με διαισθητικό τρόπο, ώστε να φαίνεται ομοιόμορφη η κάλυψη της κάθε λεκάνης, της ΠΕ και οι σταθμοί να βρίσκονται στις σωστές υψομετρικές ζώνες, στις βέλτιστες θέσεις. Η διαδικασία αυτή ωστόσο είναι σκόπιμο να μοντελοποιείται για να αποφεύγεται η ανακρίβεια, με την κατασκευή ενός μοντελοποιημένου κριτηρίου γεωμετρίας της κατανομής. Αυτό μπορεί να βασίζεται στην κατανομή των σταθμών που δημιουργεί πολύγωνα Thiessen(7) με εμβαδόν που αποκλίνει όσο το δυνατόν λιγότερο από το εμβαδό που θα είχαν τα πολύγωνα αν είχαν όλα ίση έκταση.

Προκύπτει ακόμα με την περάτωση αυτής της εργασίας σαν ανάγκη η προσαρμογή των κριτηρίων χωροθέτησης του WMO τόσο του υδρομετεωρολογικού όσο και του υδρομετρικού δικτύου για ένα τοπίο σαν αυτό της Κρήτης και των περισσότερων νησιών της Μεσογείου. Μία τέτοια πράξη θα διευκόλυε μελλοντικές έρευνες και εργασίες με στόχο τη δημιουργία υδρομετρικών και υδρομετεωρολογικών δικτύων στις περιοχές αυτές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Donta AA, Lange MA, Herrmann A. Water on Mediterranean Islands: Current conditions and prospects for sustainable management, Report on Crete. ZUFO-Reports. 2005;5:293–422.
2. Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Σχέδιο Διαχείρισης Των Λεκανών Απορροής Ποταμών Του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (Gr13). Αθήνα; 2015.
3. European Commision - Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. SOTER Model [Internet]. [cited 2021 May 3]. Available from: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOTER/Soter_Model.html#Hypsometry
4. Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. J Math Psychol. 1977;15(3):234–81.
5. WMO CHy. MANUAL ON STREAM GAUGING Volume I – Fieldwork WMO-No. 1044. Biesecker J, editor. Vol. I. Geneva: WMO; 2010. 252 p.
6. Dobos E, Daroussin J, Montanarella L. An SRTM-based procedure to delineate SOTER Terrain Units on 1:1 and 1:5 million scales [Internet]. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg; 2005. Available from: http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoiils_docs/other/soter/SOTER_endre.pdf
7. Create Thiessen Polygons—Help | ArcGIS for Desktop [Internet]. [cited 2021 May 30]. Available from: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/create-thiessen-polygons.htm>
8. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Κρήτη (EL13) - Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας [Internet]. [cited 2021 May 30]. Available from: https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=126&Itemid=521
9. Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. Πληθυσμός Νομού Ρεθύμνου (απογραφή, 2011). 2011.
10. Copernicus Land Monitoring. CLC 2018 — Copernicus Land Monitoring Service [Internet]. Copernicus Land Monitoring. 2018 [cited 2021 May 30]. Available from: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
11. About ArcGIS | Mapping & Analytics Software and Services [Internet]. [cited 2021 Jun 6]. Available from: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>
12. National Cadastre and Mapping Agency S.A.
13. Fleming MJ, Doan JH. HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension Version 10.1. Davis CA; 2013.
14. Playfair J, Troitsky A. Systems of Stream Classification. Dev Water Sci. 1985;20(C):39–62.

15. Baltas EA, Mimikou MA. GIS-based optimisation of the hydrometeorological network in Greece. *Int J Digit Earth*. 2009;2(2):171–85.
16. Feloni EG, Karpouzou DK, Baltas EA. Optimal Hydrometeorological Station Network Design Using GIS Techniques and Multicriteria Decision Analysis. *J Hazardous, Toxic, Radioact Waste*. 2018;22(3):04018007.
17. Geodata.gov.gr. Όρια Νομών (ΕΛ. ΣΤΑΤ.) [Internet]. 2016 [cited 2021 May 30]. Available from: <https://geodata.gov.gr/el/dataset/oria-nomon-el-stat>
18. Geodata.gov.gr. Οικισμοί [Internet]. 2016 [cited 2021 May 30]. Available from: <https://geodata.gov.gr/el/dataset/oikismoι>
19. ΥΠΕΝ-Γεν. Γραμμ. Φυσ. Περιβ/ντος & Υδάτων (πρώην Ε.Γ.Υ.). Θέαση σημείων υδροληψίας [Internet]. 2018 [cited 2021 May 30]. Available from: http://lmt.ypeka.gr/public_view.html
20. Raifer M. Overpass turbo [Internet]. 2006 [cited 2021 May 30]. Available from: <https://overpass-turbo.eu/>
21. GeoCzech incorporation. MyGeodata Converter [Internet]. Mygeodata converter. 2021 [cited 2021 May 1]. Available from: <https://mygeodata.cloud/converter/geojson-to-shp>
22. Copernicus. Copernicus Emergency Management Service - Mapping [Internet]. [cited 2021 Jun 1]. Available from: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/#zoom=8&lat=35.62379&lon=24.81372&layers=00B0T>
23. Κοινή Γνώμη. Στο έλεος της κακοκαιρίας και ο Νομός Ρεθύμνου - Κλείνουν σχολεία λόγω προβλημάτων - Κλειστοί οι δρόμοι στους ορεινούς Δήμους. [cited 2021 Jun 21]; Available from: <https://www.koinignomi.gr/news/koinonia/2020/11/11/sto-eleos-tis-kakokairias-kai-o-nomos-rethymnoy-kleinoygn-sholeia-logo-provlmaton-kleistoi-oi-dromoi>
24. Liberal. Κρήτη - Κακοκαιρία: Πλημμύρες και απεγκλωβισμοί πολιτών - Εκκενώνεται περιοχή στο Ρέθυμνο. 2020 [cited 2021 Jun 1]; Available from: <https://www.liberal.gr/news/plimmures-kai-apegklobismoι-politon-ekkenonetai-periochi-sto-rethumno/334695>
25. CNN. Ρέθυμνο: Σοβαρές οι ζημιές στο μεγαλύτερο μέρος του νομού. 2020 [cited 2021 Jun 1]; Available from: <https://www.cnn.gr/ellada/story/242291/rethymno-sovares-oi-zimies-sto-megalutero-meros-toy-nomoy>
26. Ρεθεμνιώτικα Νέα. Σοβαρά προβλήματα στο νομό Ρεθύμνης από την κακοκαιρία-Έχουν πλημμυρίσει χωριά. 2020 [cited 2021 Jun 1]; Available from: <http://rethnea.gr/σοβαρά-προβλήματα-στο-νομό-ρεθύμνης-α/>
27. iefimerida. Η «Οκεανίς» σαρώνει την Κρήτη: Ένας αγνοούμενος, πλημμύρες, εκκενώνεται οικισμός. 2019 [cited 2021 Jun 1]; Available from: <https://www.iefimerida.gr/news/481420/i-okeanis-saronei-tin-kriti-enas-agnooymenos-plimmyres-ekkenonetai-oikismos-eikones>
28. iefimerida. Επέλαση «Δαιδάλου» στην Κρήτη - Κατολισθήσεις, πλημμύρες, εγκλωβισμένοι οδηγοί. 2017 [cited 2021 Jun 1]; Available from: [https://www.iefimerida.gr/news/371809/epelasi-daidaloy-stin-kriti-katolisthiseis-plimmyres-](https://www.iefimerida.gr/news/371809/epelasi-daidaloy-stin-kriti-katolisthiseis-plimmyres-odhgoi)

egklovismenoi-odigoi-eikones-vinteo

29. Daynight.gr. Ρέθυμνο: Κατολισθήσεις σε όλο το επαρχιακό δίκτυο. 2020 [cited 2021 Jun 1]; Available from: <https://www.daynight.gr/kriti/rethymno/rethymno-katolisthiseis-eparxiako-diktio-video/>
30. Daynight.gr. Ρέθυμνο: Βίντεο και φωτογραφίες από τις πλημμύρες που «πνίγουν» τον νομό. 2020 [cited 2021 Jun 1]; Available from: <https://www.daynight.gr/kriti/rethymno/rethymno-plimmires-kakokairia-video-fotografies/>
31. Drobne S, Lisec A. Multi-attribute decision analysis in GIS: Weighted linear combination and ordered weighted averaging. Inform. 2009;33(4):459–74.
32. Ansah RH, Sorooshian S, Mustafa S Bin. Analytic hierarchy process decision making algorithm. Glob J Pure Appl Math. 2015;11(4):2403–10.