



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ &
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
& ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ



ΔΙ-ΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΜΠΟΓΛΗΣ ΑΡΓΥΡΙΟΣ
ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΟΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ
“Μελέτη και Μοντελοποίηση των πλημμυρών
στην περιοχή του Καρλοβάσου - Σάμος”

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γκουρνέλος Θεόδωρος
Φουντούλης Ιωάννης
Ευελπίδου Νίκη - Νικολέττα

Αν. Καθηγητής, ΕΚΠΑ (Επιβλέπων)
Επ. Καθηγητής ΕΚΠΑ
Λέκτορας ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ
ΜΑΙΟΣ 2009



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|----|
| Περίληψη..... | 4 |
| Πρόλογος..... | 6 |
| 1. Εισαγωγή | 8 |
| 2. Κύρια χαρακτηριστικά νήσου Σάμου | 10 |
| 2.1. Γεωγραφική θέση..... | 10 |
| 2.2. Φυσιογραφικά στοιχεία | 12 |
| 2.2.1. Βλάστηση..... | 15 |
| 2.2.2. Ωκεανογραφικά στοιχεία | 18 |
| 2.2.3. Δημογραφικά στοιχεία..... | 18 |
| 2.3. Χρήσεις γης..... | 19 |
| 2.4. Πηγές ρύπανσης..... | 21 |
| 2.5. Γεωλογικά στοιχεία | 21 |
| 2.5.1. Πετρολογία..... | 21 |
| 2.5.2. Γεωλογία..... | 26 |
| 2.5.3. Τεκτονική..... | 39 |
| 2.5.4. Ανάλυση της ρηξιγενούς τεκτονικής..... | 42 |
| 2.5.5. Σεισμικότητα | 44 |
| 2.5.6. Παλαιογεωγραφία..... | 45 |
| 2.5.7. Υδρολογία περιοχής..... | 45 |
| 2.5.9. Υδρογεωλογία | 47 |
| 2.6. Μετεωρολογικά – κλιματολογικά στοιχεία | 47 |
| 3. Γενικά στοιχεία πλημμυρών..... | 52 |
| 3.1. Τύποι πλημμυρών | 54 |
| 3.2. Κοινωνικές επιπτώσεις των πλημμυρών και τρόποι μετριασμού τους..... | 57 |
| 3.3. Αποτελέσματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην πλημμύρα..... | 58 |
| 3.4. Οι πλημμύρες ως φυσικός κίνδυνος..... | 59 |

| | |
|---|-----|
| 4. Σχέδιο διαχείρισης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής..... | 62 |
| 4.1. Ανάγκη για μια στρατηγική προσέγγιση..... | 62 |
| 4.2. Θεσμικό Πλαίσιο Διαχείρισης Πλημμυρών (Ε.Ε.), Οδηγία 2007/60/ΕΚ | 62 |
| 4.3. Αντικείμενο των σχεδίων διαχείρισης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής .. | 64 |
| 4.4. Γενικά χαρακτηριστικά των μικρών λεκανών απορροής (Catchment)..... | 64 |
| 4.5. Εφαρμογή σχεδίου μέσα στην λεκάνη απορροής | 65 |
| 4.6. Ρόλος της μοντελοποίησης σε επίπεδο λεκάνης απορροής..... | 66 |
| 4.7. Η ανάγκη πολυκριτηριακής προσέγγισης..... | 67 |
| 5. Υδρολογική προσομοίωση με χρήση μαθηματικών μοντέλων | 69 |
| 5.1. Ορισμοί..... | 69 |
| 5.2. Στάδια ανάπτυξης υδρολογικών μοντέλων | 69 |
| 5.3. Προετοιμασία στοιχείων | 70 |
| 5.4. Κατηγορίες υδρολογικών μοντέλων | 72 |
| 5.5. Βαθμονόμηση μοντέλου | 74 |
| 5.6. Περιορισμοί στη μοντελοποίηση | 76 |
| 5.7. Συνοπτική επισκόπηση υδρολογικών μοντέλων | 76 |
| 5.8. Μοναδιαίο Υδρογράφημα | 88 |
| 6. Περιοχή μελέτης..... | 91 |
| 6.1. Γενικά χαρακτηριστικά περιοχής Καρλοβάσου | 93 |
| 6.1.1. Χαρακτηριστικά Λεκανών απορροής και Υδρογραφικό δίκτυο..... | 93 |
| 6.1.2. Γεωλογικά χαρακτηριστικά | 95 |
| 6.1.3. Παράκτια διάβρωση..... | 99 |
| 6.1.4. Κατολισθήσεις - Καθιζήσεις | 100 |
| 6.1.5. Φυσικό περιβάλλον..... | 103 |
| 6.2. Περίπτωση πλημμύρας Νοεμβρίου 2001 | 103 |
| 7. Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου στην λεκάνη Καρλοβάσου – Σάμος ... | 109 |
| 7.1. Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Digital Elevation Model) | 113 |

| | |
|--|-----|
| 7.2. Παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους στην περιοχή μελέτης | 118 |
| 7.3. Παραγωγή υδρογραφικού δικτύου..... | 123 |
| 7.4. Παραγωγή Υδρολογικών Λεκανών..... | 132 |
| 7.5. Υπολογισμός παραμέτρων | 133 |
| Μέσο υψόμετρο..... | 133 |
| Μέση κλίση..... | 133 |
| Ολικό Ανάγλυφο..... | 133 |
| 7.6. Δημιουργία Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας | 139 |
| 8. Συμπεράσματα | 143 |
| 9. Παράρτημα..... | 145 |
| 9.1. Γενικά για το ArcHydro..... | 145 |
| 9.2. Το βασικό πλαίσιο του ArcHydro | 146 |
| Βιβλιογραφικές Αναφορές..... | 148 |
| Ελληνική Βιβλιογραφία..... | 148 |
| Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία | 150 |

Περίληψη

Αρχικά έγινε μια εκτεταμένη παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης της νήσου Σάμου και στην συνέχεια αναπτύχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο, ώστε να καταστούν κατανοητές οι διάφορες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την εκδήλωση ενός πλημμυρικού επεισοδίου. Έπειτα έλαβε χώρα μια αναφορά στα υδρολογικά μοντέλα και στις μεθόδους εκτίμησης του φαινομένου, που χρησιμοποιούνται.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας για την περιοχή του Καρλοβάσου. Τα πλημμυρικά φαινόμενα παρουσιάζουν μεγάλη συχνότητα εμφάνισης στην νήσο της Σάμου, έχοντας καταστροφικές επιπτώσεις. Η περιοχή του Καρλοβάσου έχει να επιδείξει ένα πλούσιο ιστορικό όσο αναφορά την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Η συχνή εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων οφείλεται στον συνδυασμό πολλών φυσικών παραμέτρων, που δημιουργούν συνθήκες εκδήλωσης τέτοιων φαινομένων, και των ανθρωπίνων παρεμβάσεων, που επηρεάζουν την ροή των υδάτων της περιοχής, με αρνητικές πάντα συνέπειες.

Ο υπολογισμός και η μελέτη των φυσικών παραμέτρων στηρίχθηκε εξολοκλήρου στην χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcMap) και των εξειδικευμένων εργαλείων τους (ArcHydro). Σημαντική ήταν η συμβολή των ΓΣΠ στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, για τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (όπως οι μορφολογικοί δείκτες) του αναγλύφου της περιοχής μελέτης και των λεκανών απορροής. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στην επεξεργασία χωρικών μοντέλων πλεγματικής μορφής GRID, που παράχθηκαν από την επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της περιοχής μελέτης. Το ΨΜΕ προήλθε από την ανύψωση των ισούψων καμπύλων ισοδιάστασης 20m οι οποίες ψηφιοποιήθηκαν από τους τοπογραφικούς χάρτες 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ).

Έπειτα, αξιοποιήθηκε το ΨΜΕ για την προσομοίωση του υδρογραφικού δικτύου και των υδρολογικών λεκανών απορροής που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης, με την χρήση του ArcHydro. Μετά από σύγκριση του παραγόμενου υδρογραφικού δικτύου και του αποτυπωμένου δικτύου στους τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ, το αποτέλεσμα θεωρήθηκε ικανοποιητικό.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την σύνθεση των χαρτών επικινδυνότητας βασίζεται στην εκτίμηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του αναγλύφου της περιοχής μελέτης και των παραμέτρων υδρολογικών λεκανών απορροής. Κύρια βήματα της ακολουθούμενης μεθοδολογίας είναι αρχικά ο υπολογισμός της ενέργειας των λεκανών και μετέπειτα ο προσδιορισμός της πλημμυρικής επικινδυνότητας αυτών. Η υπολογισμένη ενέργεια των λεκανών αν και αφορά το σύνολο της επιφάνειας τους δόθηκε στα στόμια τους, ως σημεία εξόδου της υδάτινης μάζας.

Τέλος, για να προσδιοριστούν καλύτερα οι περιοχές που φέρουν το μεγαλύτερο (με βάση πάντα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους) κίνδυνο εκδήλωσης των πλημμυρών, ελήφθησαν υπόψη οι ίδιες οι μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου, με το σκεπτικό ότι η εκδήλωση των πλημμυρικών

φαινομένων ευνοείται στις περιοχές με πολύ μικρές μορφολογικές κλίσεις, και δεν ευνοείται στις υπόλοιπες. Έγινε συνεπώς ένας επιπλέον υπολογισμός για την παραγωγή του χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας, με βάση την τιμή των μορφολογικών κλίσεων, θεωρώντας ότι σε περιοχές με κλίση πάνω από 10% δεν έχει νόημα η λεπτομερής ανάλυση.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το φαινόμενο των πλημμυρών. Ειδικότερα, στόχος της εργασίας είναι ο προσδιορισμός των επιδεκτικών περιοχών σε πλημμύρες, στην περιοχή του Καρλοβάσου – Σάμος. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στην μέθοδο της εκτίμησης της ενέργειας του χειμάρρου (Stream Power) και έπειτα στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου μέσω της ενέργειας του χειμάρρου.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλλαν ώστε να περατωθεί η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία. Και ιδιαίτερα:

Τον επιβλέποντα Αν. Καθηγητή του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. **Θεόδωρο Γκουρνέλο**, για την ανάθεση του θέματος, και τις εύστοχες παρατηρήσεις και διορθώσεις της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας.

Τον Επ. Καθηγητή του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. **Ιωάννη Φουντούλη**, για την επιστημονική καθοδήγηση του σε γεωλογικά και τεκτονικά θέματα, στην επιλογή και αξιολόγηση της μεθοδολογίας εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου, και για τις επισημάνσεις και διορθώσεις της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας.

Την Λέκτορα του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. **Νίκη Ευελπίδου**, για την συνεχή και αμέριστη βοήθεια σε γεωλογικά θέματα και θέματα που αφορούσαν Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, και για τις σημαντικές και συνεχείς παρατηρήσεις και διορθώσεις καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας. Την ευχαριστώ για τον χρόνο που αφιέρωσε για τον σκοπό αυτό, για το πνεύμα δημιουργικής συνεργασίας που την διατρέχει, καθώς, και για τις πολλές ευκαιρίες που μου προσέφερε καθ' όλη την συνεργασία μας. Τέλος, να την ευχαριστήσω για τη ευκαιρία που μου έδωσε να λάβω μέρος σε γεώτρηση κατά την επίσκεψή μας στην Σάμο για την εργασία υπαίθρου.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τον κ. Δρ. **Ανδρέα Βασιλόπουλο**, επιστημονικό συνεργάτη του εργαστηρίου Τηλεανίχνευσης του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών για την παροχή απαραίτητων δεδομένων για την περάτωση της εργασίας.

Όλους τους Καθηγητές και συνεργάτες του μεταπτυχιακού προγράμματος και ειδικότερα τον Καθηγητή του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. **Ταξιάρχη Παπαδόπουλο**, που ως επιστημονικός υπεύθυνος του προγράμματος ήταν πάντα εκεί όποτε τον χρειάστηκα.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τον γεωλόγο κ. **Μιχάλη Μιχαλιάδη** υπάλληλο της Δ/σης Γεωργίας της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Σάμου και τον γεωλόγο κ. **Ιωάννη Κοντορούδα** υπάλληλο της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Καρλοβάσου για την παροχή σημαντικών δεδομένων.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα όλους **τους φίλους μου** και **τους γονείς μου (Τρύφων και Αγλαΐα)** για την ηθική και οικονομική (για τους δεύτερους) υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1. Εισαγωγή

Οι φυσικές καταστροφές που πλήττουν τον πλανήτη μας αποτελούν βασική αιτία απώλειας ανθρώπινων ζώων και περιουσιών με σημαντικές κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις. Τις σπουδαιότερες φυσικές καταστροφές συνιστούν οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες και οι τυφώνες.

Σε πολλές χώρες του κόσμου, οι πλημμύρες κατέχουν την πρώτη θέση ανάμεσα στα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα από άποψη πρόκλησης ζημιών. Με την αύξηση του πληθυσμού, την ανάπτυξη και την δημιουργία νέων αστικών κέντρων και την κατασκευή τεχνικών έργων παρατηρήθηκε αύξηση των φαινομένων.

Οι περιοχές που πλημμυρίζουν είναι ευνοϊκές για να ζήσει κανείς και αφορούν όχι μόνο κοινωνίες αγροτικές, αλλά επίσης οικονομικά προηγμένες χώρες όπου οι περιοχές αυτές συχνά φιλοξενούν μεγάλες πόλεις που χρησιμοποιούν το νερό του ποταμού για τη βιομηχανία, τις δε εκβολές του για τη δημιουργία λιμανιών.

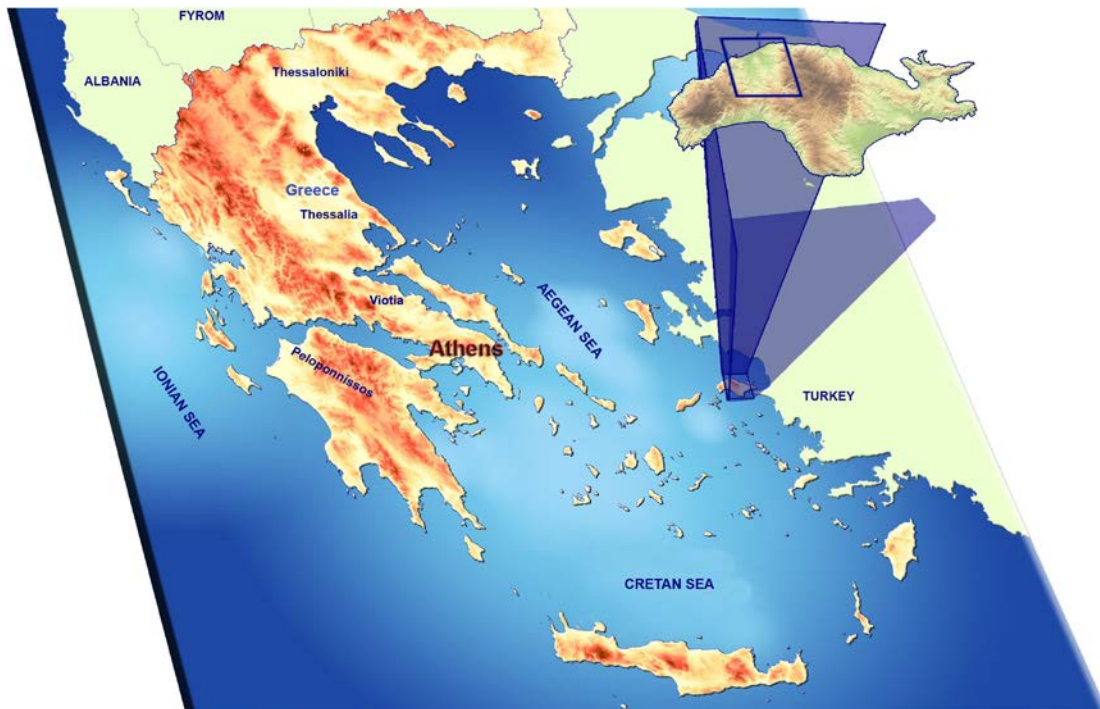
Η περιοχή του Καρλοβάσου, μαστίζεται κάθε χρόνο από μια τουλάχιστον μεγάλη πλημμύρα που δημιουργεί καταστροφές στον αντίστοιχο οικισμό. Ειδικά μετά τις πυρκαγιές που έλαβαν χώρα τα τελευταία χρόνια στο όρος Κερκετέας που βρίσκεται νότια του Καρλοβάσου, το φαινόμενο έχει γίνει πιο έντονο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πλημμύρα του Οκτωβρίου 2003 στον οικισμό του Καρλοβάσου με εκτεταμένες ζημιές στο αστικό δίκτυο και τους γύρω οικισμούς. Η πυρκαγιά του Ιουλίου 2000, η οποία αποτέφρωσε σχεδόν 90.000 στρέμματα και απογύμνωσε το φυτικό κάλυμμα ενός μεγάλου τμήματος του νησιού, και τα εξαιρετικής έντασης πλημμυρικά φαινόμενα που σημειώθηκαν την επόμενη χρονιά (Νοέμβριος του 2001), οδήγησαν σε εκτεταμένες καταστροφές στις εκβολές των χειμάρρων (φαινόμενα λασπορροής) όπου βρίσκεται ο οικισμός του Καρλοβάσου.

Κεφάλαιο 2
Κύρια χαρακτηριστικά
νήσου Σάμου

2. Κύρια χαρακτηριστικά νήσου Σάμου

2.1. Γεωγραφική θέση

Η Σάμος, το όγδοο μεγαλύτερο νησί του Ελληνικού χώρου και η έκτασή της είναι 478,2 Km², βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Αιγαίου πελάγους και ειδικότερα στο ανατολικότερο τμήμα του Ικάριου πελάγους, πάρα πολύ κοντά στις τουρκικές ακτές (Εικόνα 1), από τις οποίες απέχει – στο πιο στενό σημείο – περίπου 2 χιλιόμετρα. Το στενό αυτό ονομάζεται Στενό ή πορθμός Σάμου ή Δίαυλος Σάμου. Εκτείνεται στους μεσημβρινούς 26° 35' και 27° 06' Ανατολικά του Greenwich και τους παράλληλους 37° 08' και 37° 49' (Vassilopoulos et al., 2008).

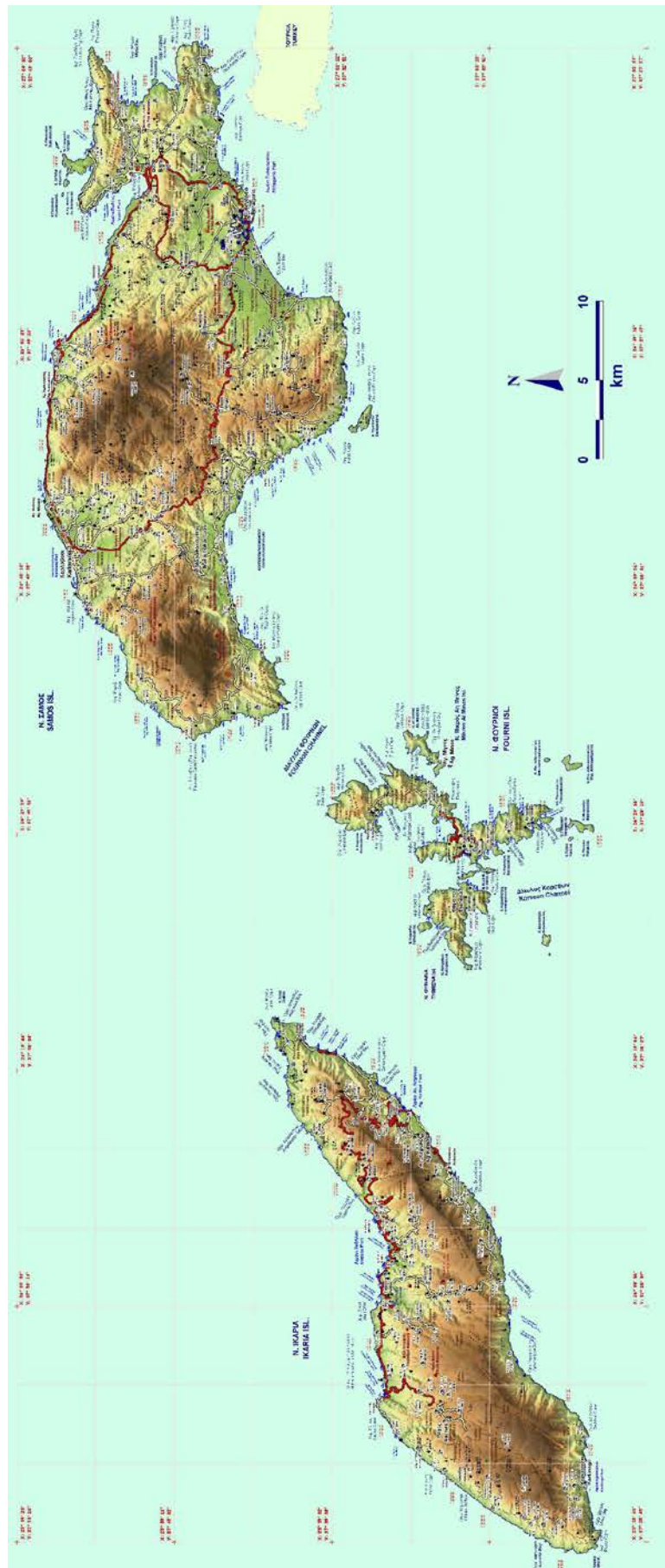


Εικόνα 1. Γεωγραφική θέση νήσου Σάμου

Έχει σχήμα επίμηκες, με μέγιστο άξονα Α-Δ, ενώ η συνολική έκτασή της είναι 478,2 Km². Το μέγιστο μήκος της ακτογραμμής φτάνει τα 120 Km, ενώ οι μέγιστοι άξονές της είναι:

- ΒΑ – ΝΔ συνολικού μήκους 44,45 Km (ακρωτήριο Γάτος μέχρι το ακρωτήριο Κατάβασις αντίστοιχα).
- ΒΒΑ – ΝΝΔ συνολικού μήκους 19,28 Km (ακρωτήριο Αυλάκια μέχρι το ακρωτήριο Σαμιοπούλας αντίστοιχα).

Το νησί απέχει από τους Φούρνους 3,4 ναυτικά μίλια, από την Ικαρία 9,8, από το Αγαθονήσι 9,3 και από τη Χίο 35 ναυτικά μίλια.



Εικόνα 2. Νήσος Σάμος στην ευρύτερη περιοχή

2.2. Φυσιογραφικά στοιχεία

Πέντε φυσιογραφικές ενότητες μπορούν να προσδιοριστούν στην Σάμο: τρεις ορεινοί όγκοι – όρος Κερκετέας, 1433 m υψόμετρο, στα δυτικά, όρος Καρβούνης (Άμπελος), 1150 m υψόμετρο στο μέσο του νησιού, και ο ορεινός όγκος της Ζωοδόχου Πηγής, με 433 m υψόμετρο στα ανατολικά-ξεχωρίζουν από τις νεογενείς-τεταρτογενείς λεκάνες του Καρλοβασίου (στα δυτικά) και του Κοκκαρίου-Μυτιλήνης (στα ανατολικά) (Ραρανικόλαου, 1979). Οι ανατολικοί ορεινοί όγκοι χαρακτηρίζονται από καρστικούς σχηματισμούς (Riedl, 1989).

Το βορειοδυτικό κομμάτι του νησιού είναι ορεινό και χαρακτηρίζεται από απότομες πλαγιές και έντονα χαραγμένα ρέματα, με ποτάμια κυρίως στο κεντρικό μέρος του νησιού. Οι τοπογραφικές κλίσεις των ακτών είναι υψηλές και οι ακτές ελέγχονται κυρίως από ρήγματα, ενώ μόνο μικρές παραλίες υπάρχουν στο νησί.

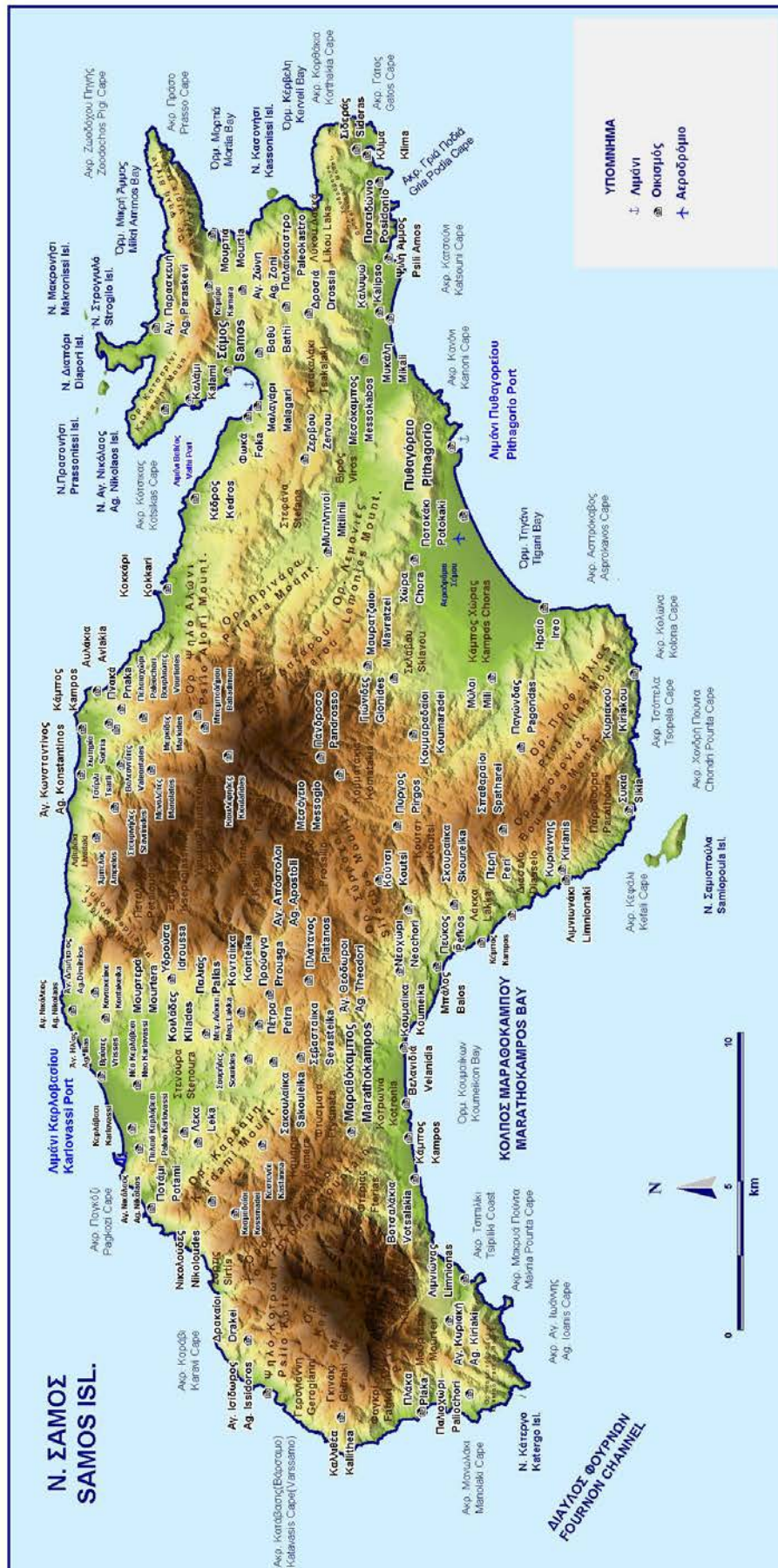
Η κλίση της τοπογραφίας μειώνεται προς τα ανατολικά και το βορειοανατολικό μέρος του νησιού χαρακτηρίζεται από ένα χαμηλό, ομαλό ανάγλυφο και η ακτογραμμή διακρίνεται από αρκετά λιμανάκια και νησάκια. Λιμνοθάλασσες και εκτάσεις από αμμώδεις ή αμμοχαλικώδεις παραλίες αναπτύσσονται κατά μήκος των ακτών, ειδικά κατά μήκος των βορινών παραλιακών ελών.

Αυτή η αντίθεση μπορεί να φανεί και στην χαρακτηριστική πανίδα: παραλίες στο βορειοδυτικό κομμάτι του νησιού είναι περιοχές αναπαραγωγής της Μεσογειακής χελώνας Μονάχους-Μονάχους, ένα προστατευμένο είδος από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, ενώ οι λιμνοθάλασσες στις βορειοανατολικές ακτές προσελκύουν πουλιά (Ciconiiformes, Phoenicopteriformes) (Δημάκη κ.ά., 1996). Αυτή η αντίθεση στην μορφολογία του εδάφους αντικατοπτρίζεται και στις ανερχόμενες ολοκαινικές ακτές και τα αναδυόμενα αρχαία ερείπια μεταξύ των βορειοδυτικών και νοτιοανατολικών ακτών αντίστοιχα.



Εικόνα 3. Δορυφορική άποψη της νήσου Σάμου

Όσον αφορά την βαθυμετρία της περιοχής, μια μεγάλη θαλάσσια λεκάνη, βάθους μεγαλύτερη των 1000 μέτρων συναντάτε βόρεια της Σάμου και Ικαρίας, ενώ η βαθυμετρία είναι χαρακτηριστική των μεγάλων ρηγμάτων που ελέγχουν τις βορειοδυτικές και δυτικές ακτές του νησιού. Όσον αφορά τις άλλες ακτές, η βαθυμετρική διαφορά είναι ήπια και τα βάθη δεν ξεπερνούν τα 50 - 200 μέτρα (Stiros, 1998).



Εικόνα 4. Ανάγλυφο της νήσου Σάμου



Εικόνα 5. Τοπογραφικός χάρτης νήσου Σάμου

2.2.1. Βλάστηση

Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου, το μεγαλύτερο κομμάτι της Σάμου (περίπου 23%) καταλαμβάνεται από δασικά πεύκα (Τραχεία και Μαύρη πεύκη), ενώ το ένα τρίτο της επιφάνειας του νησιού καλύπτεται από θάμνους και δέντρα ελιάς.

Σε 136.400 στρέμματα ή το 28,5% της όλης έκτασης, υπολογίζονται τα δάση Πεύκης στη Σάμο και καλύπτουν τις ορεινές περιοχές και μεγάλες περιοχές του βορείου τμήματος, στο νότιο τμήμα, τα δάση αυτά είναι λιγότερα. Στα χαμηλά επικρατεί η τραχεία Πεύκη (*Pinus brutia*), που φτάνει μέχρι την θάλασσα, από υψόμετρα όμως άνω των 700 μέτρων σχεδόν επικρατεί η μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*) και σχηματίζει εκτεταμένα δάση στα ορεινά. Το είδος αυτό που είναι η ψυχρόφιλος Πεύκη του Θεοφράστου, συναντάται στην κεντρική και μεσημβρινή Ευρώπη και ίσως η ζώνη της Σάμου και της Πελοποννήσου να είναι η νοτιότερη που συναντάται. Τα μεγαλύτερα πευκοδάση υπάρχουν στην Άμπελο, ο Κέρκης έχει λιγότερα και βρίσκονται στις ανατολικές και στις βορειοδυτικές πλαγιές του και μικρές συστάδες σε άλλες περιοχές.

Εκτός από τα δάση Πεύκης υπάρχουν και οι δασικές λεγόμενες εκτάσεις, που υπολογίζονται σε 88.700 στρέμματα, αυτές καλύπτονται από διάφορα είδη φυτών, των οποίων το ύψος, σε πολλά από αυτά, ξεπερνά τα πέντε μέτρα. Εκτεταμένες τέτοιες εκτάσεις υπάρχουν στο νότιο τμήμα, στα ανατολικά (περιοχές Βαθέος, Παλαιοκάστρου και Σάμου), στα δυτικά (περιοχές Καλλιθέας και Δρακαίων) και σε πολλές περιοχές του βορείου τμήματος. Το είδος αυτό της βλάστησης καλύπτει συνήθως βραχώδεις και άγονες εκτάσεις, με κύρια χαρακτηριστικά, τα μικρά, σκληρά και συνήθως αγκαθωτά φύλλα, που καλύπτονται από κηρώδεις ουσίες, ο χονδρός φλοιός και το βαθύ ριζικό σύστημα.

Τα κυριότερα είδη των βιοσυστημάτων αυτών, είναι, τα Πουρνάρια (*Quercus coccifera*), ο Σκίνος (*Pistacia lentiscus*), οι Αγριελιές (*Olea oleaster*), οι Χαρουπιές (*Ceratonia siliqua*), τα Κέδρα (*Juniperus sp.*), τα Πεύκα (*Pinus brutia*), τα Σπάρτα (*Spartium sp.*), τα Σπάλαθρα (*Kalycotomus sp.*), ο Βάτος (*Robus sp.*), το Αιγόκλημα (*Lonicera sp.*) και πάρα πολλά άλλα. Ψηλότερα, όπου τα εδάφη είναι απασβεστωμένα, εκτός από τα προηγούμενα, που είναι αδιάφορα με το ασβέστιο, συναντώνται η Κουμαριά (*Arbutus sp.*), η Μυρτιά (*Myrtus*), η Κοκκορεβιθιά (*Pistacia terebinthus*), τα Ρείκια (*Erica verticillata* και *E. arborea*) και άλλα.

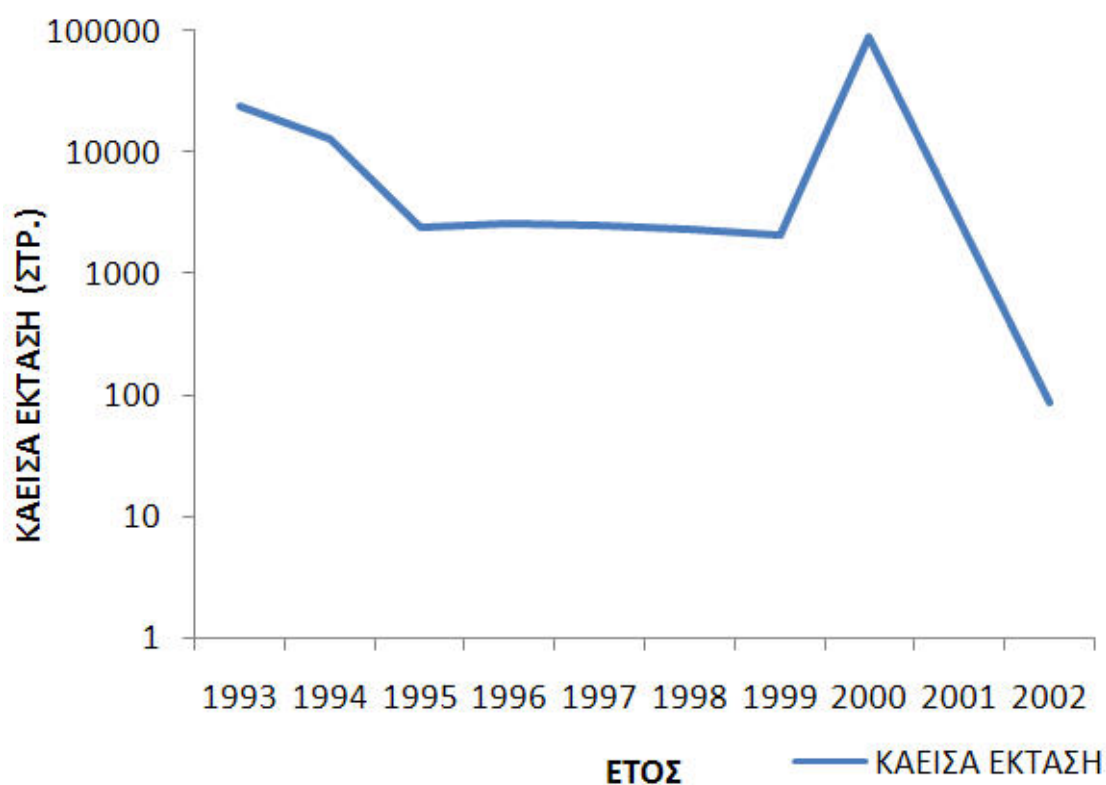
Περίπου η μισή επιφάνεια του νησιού είναι καλλιεργήσιμη (ζώνες ελιάς, αγροκτήματα, κηπευτικά και οπωροκηπευτικά). Εδώ πρέπει να αναφερθεί πως δασικές πυρκαγιές τα τελευταία χρόνια έχουν μειώσει την περιοχή που καλύπτεται από ελιές και πεύκα (Δημάκη κ.ά., 1996).

Ειδικότερα το έτος 2000 καταγράφεται η μέγιστη καείσα έκταση για την περίοδο 1993-2002 (περίπου 90.000 στρέμματα, από τα οποία τα 80.000 εκδηλώθηκαν στην περιοχή των Μυτιληνίων)(Φωτιάδης & Σιάσιος, 2003).

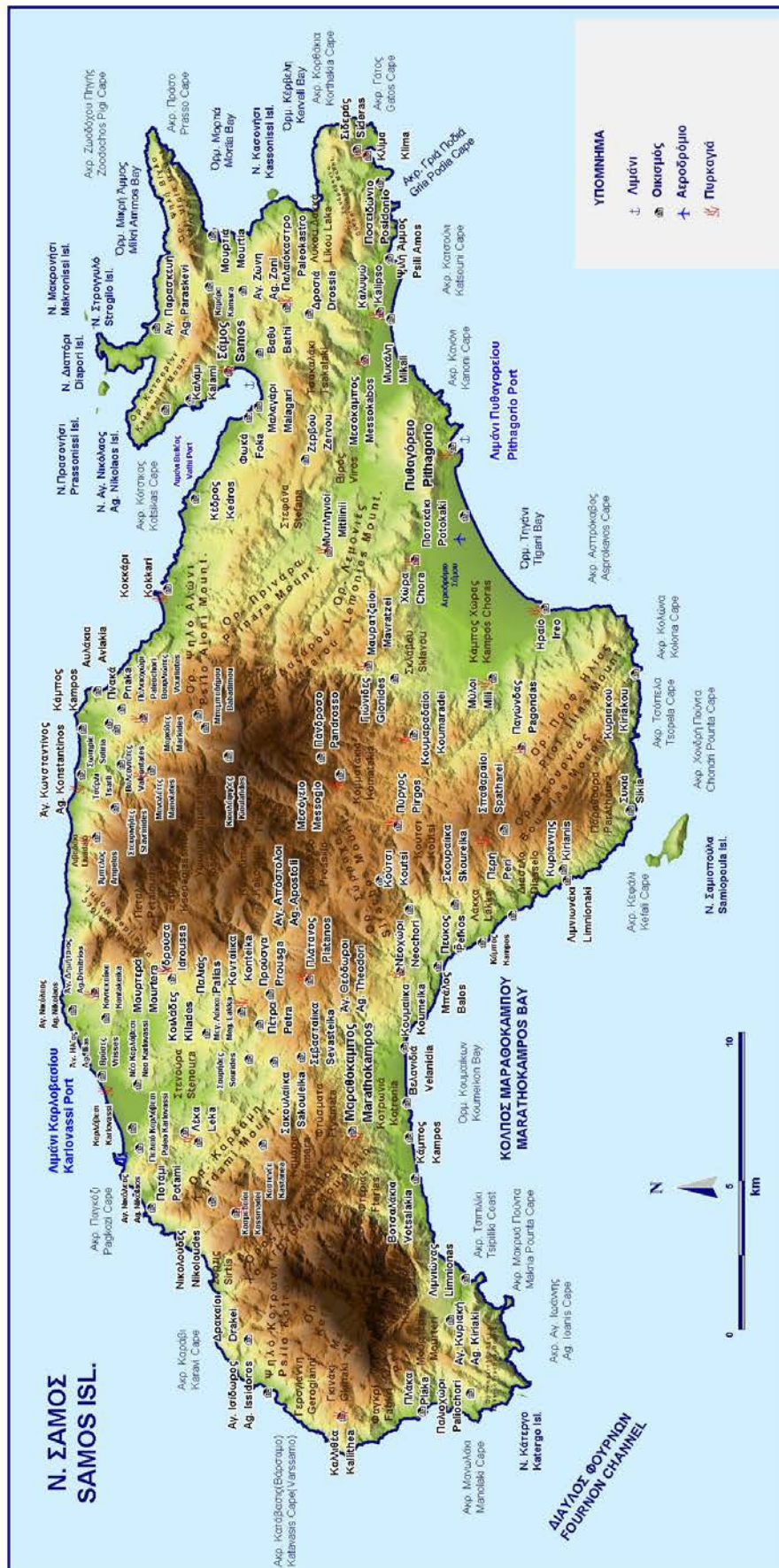
Συγκεκριμένα για τον νομό Σάμου ισχύουν τα παρακάτω:

| ΕΤΟΣ | ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ | |
|--------|---------------------------|---------------|
| | ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ | ΕΚΤΑΣΗ (ΣΤΡ.) |
| 1993 | 21 | 23717,8 |
| 1994 | 15 | 12956 |
| 1995 | 26 | 2417,306 |
| 1996 | 38 | 2554,9 |
| 1997 | 15 | 2435,7 |
| 1998 | 12 | 2270,5 |
| 1999 | 16 | 2038,78 |
| 2000 | 40 | 88231,05 |
| 2001 | 22 | 2743,05 |
| 2002 | 17 | 86,7 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 222 | 139497,601 |

Πίνακας 1. Δασικές πυρκαγιές για την περίοδο 1993-2002



Διάγραμμα 1. Ετήσια κατανομή καιόμενης έκτασης δασών και δασικών εκτάσεων την περίοδο 1993-2002 στο νομό Σάμου



Εικόνα 6. Γεωγραφική κατανομή δασικών πυρκαγιών στη νήσο Σάμο

2.2.2. Ωκεανογραφικά στοιχεία

Παλίρροιες. Δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα στοιχεία για παλίρροιες στην Σάμο, Αλλά το εύρος των παλίρροιών μπορεί να εκτιμηθεί από τα δεδομένα των παλίρροιακών μηκών σε τρία κοντινά νησιά: την Σύρο στα δυτικά, την Χίο στα βόρεια και την Λέρο στα νότια, σε αποστάσεις 160, 90 και 30 km αντίστοιχα. Αυτά τα δεδομένα, που εκτείνονται σε μια περίοδο άνω των 30 χρόνων, υποδεικνύουν πως το μέσο παλίρροιακό εύρος στην περιοχή είναι της κλίμακας των λίγων χιλιοστών (5-10), ενώ το μέγιστο και το ελάχιστό τους ύψος είναι 32-52 εκατοστά και 1 εκατοστό αντίστοιχα (Hydrographic Service, 1991). Για αυτό το λόγο, μεταξύ των προφυλαγμένων ακτών σε περίοδο τεκτονικής σταθερότητας πολύ μικρές θαλάσσιες εγκοπές αναμένονται να δημιουργηθούν.

Θερμοκρασία νερού. Οι μέσες θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας στην περιοχή της Σάμου είναι 16 °C το χειμώνα, 18,5 °C την άνοιξη, 24 °C το καλοκαίρι και 19,5 °C το φθινόπωρο (Hydrographic Service, 1987). Αυτού του επιπέδου θερμοκρασίες επιτρέπει την ανάπτυξη μικρο-υφάλων.

Ρεύματα. Μεταξύ των ακτών της Σάμου επικρατούν δυτικά ρεύματα και ρεύματα με κατεύθυνση από Σάμο προς Χίο, της τάξης των 0,5-1 ναυτικών κόμβων (Hydrographic Service, 1987).

2.2.3. Δημογραφικά στοιχεία

Η Σάμος με τα νησιά Φούρνοι και Ικαρία, αποτελούν το νομό Σάμου. Ο πληθυσμός του νομού παρουσιάζει συνεχή μείωση: το 1940 ο πληθυσμός ανερχόταν σε 69.138 κατοίκους, το 1951 σε 59.709, το 1962 σε 52.022, το 1971 σε 41.709, ενώ σήμερα μετά την απογραφή του 2001 στο νομό κατοικούν 43590 κάτοικοι.

Ο νομός περιλαμβάνει τις επαρχίες Σάμου και Ικαρίας. Ο πληθυσμός της νήσου Σάμου ανέρχεται σήμερα στους 33.039 κατοίκους. Η επαρχία Σάμου έχει πρωτεύουσα τη Σάμο με 5.824 κατοίκους (άλλοτε Λιμένα Βαθέος) και αριθμεί 36 κοινότητες.

| Πραγματικός πληθυσμός κατά δήμους του νομού Σάμου | |
|---|--------------|
| 1. Δήμος Βαθέως | 12384 |
| 2. Δήμος Αγίου Κηρύκου | 3243 |
| 3. Δήμος Ευδήλου | 2831 |
| 4. Δήμος Καρλοβασίων | 9590 |
| 5. Δήμος Μαραθόκαμπου | 2837 |
| 6. Δήμος Πυθαγορείου | 9003 |
| 7. Δήμος Ραχών | 2238 |
| 8. Δήμος Φουρνών Κορσεών | 1464 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΝΟΜΟΥ ΣΑΜΟΥ | 43590 |

Πίνακας 2. Πληθυσμός νομού Σάμου

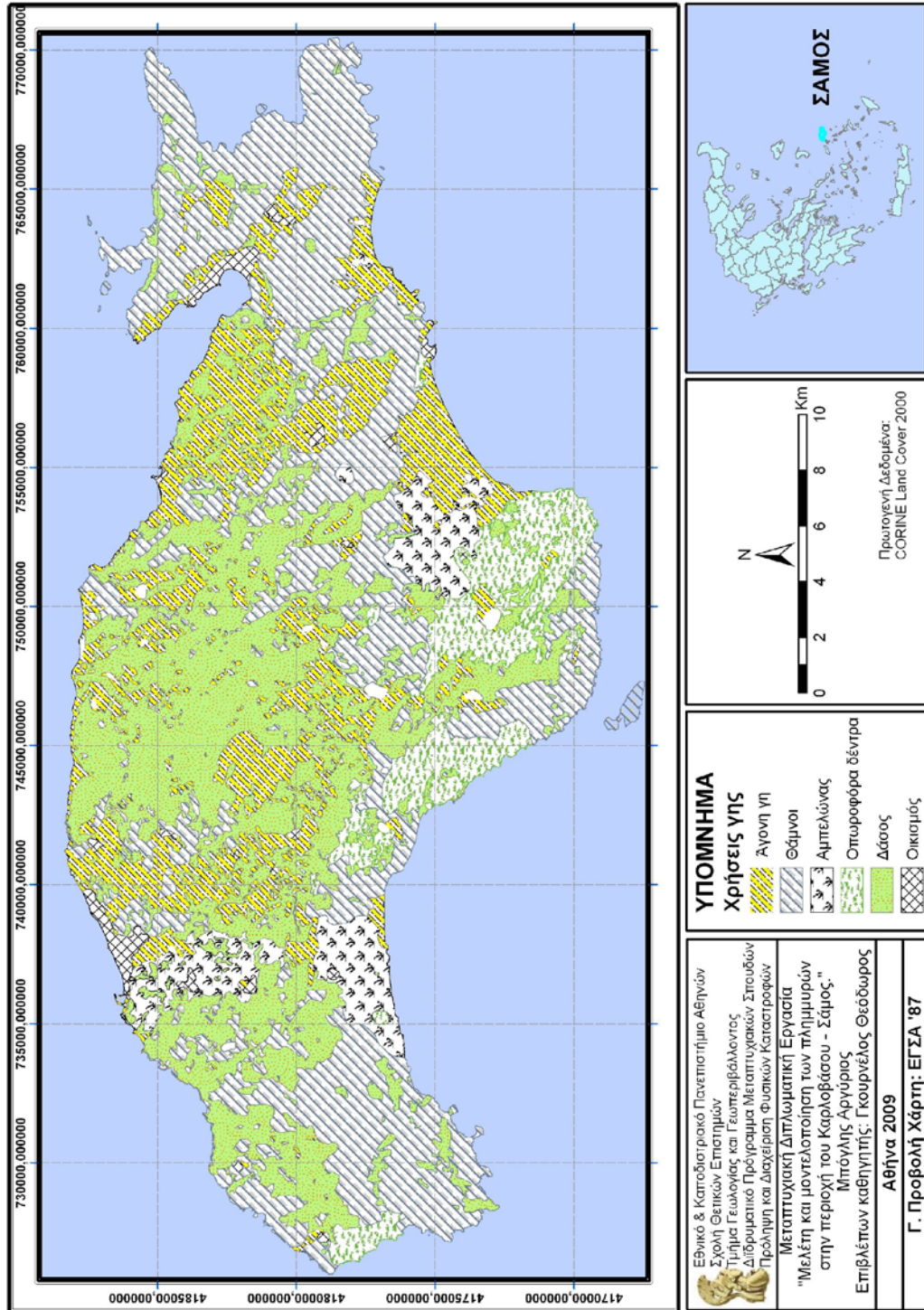
2.3. Χρήσεις γης

Η περιοχή της Σάμου καλύπτεται κυρίως από γεωργικές εκτάσεις συμπεριλαμβανομένου τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Μεγάλο μέρος της έκτασης της Σάμου καλύπτεται από φυσική βλάστηση, δηλαδή μικτά δάση και σκληροφυλλική βλάστηση (αείφυλλα πλατύφυλλα). Η Σάμος έχει έκταση 478,2 Km² από την οποία, το **69,5 % είναι ορεινές** εκτάσεις το **22 % ημιορεινές** και το **8,5 % πεδινές**. Βάσει των στοιχείων της Διεύθυνσης Γεωργίας και της Διεύθυνσης Δασών Σάμου η έκταση αυτή κατανέμεται:

| ΕΙΔΟΣ | Έκταση σε στρέμματα | Ποσοστό |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|
| Γεωργικές εκτάσεις, Λιβάδια, Βοσκές | 206.450 | 43,2% |
| Δάση | 136.400 | 28,6% |
| Δασικές θαμνώδεις εκτάσεις | 88.700 | 18,5% |
| Οικισμοί, δρόμοι | 18.150 | 3,8% |
| Άγωνα, Βραχώδη | 14.050 | 2,9% |
| Αλπικές εκτάσεις | 10.150 | 2,1% |
| Λίμνες, ποταμοί | 4.300 | 0,9% |

Πίνακας 3. Κατανομή χρήσεων γης στη νήσο Σάμο

Η εικόνα 7 απεικονίζει τις χρήσεις γης της νήσου σύμφωνα με το Corine 2000.



Εικόνα 7. Γεωγραφική κατανομή χρήσεων γης νήσου Σάμου(παραγωγή από Corine 2000)

2.4. Πηγές ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης στην περιοχή μελέτης διακρίνονται σε σημειακές ή συλλογικές και επιφανειακές. Στις σημειακές πηγές αναφέρονται κύρια:

- Τα αστικά λύματα οικιστικών αποχετευτικών δικτύων και βόθρων (ρύπανση υδάτων και εδάφους).
- Τα απόβλητα ελαιουργείων και άλλων παραγωγικών δραστηριοτήτων, που διατίθενται ανεπεξέργαστα και ανεξέλεγκτα (βιοτεχνικά απόβλητα-ρύπανση εδαφών και υδάτων).
- Τα στερεά απόβλητα σε μικρούς ανεξέλεγκτους σκουπιδότοπους και υδατορέματα.

Στις επιφανειακές πηγές κυριαρχεί η γεωργική ρύπανση και πιο συγκεκριμένα η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στις καλλιεργούμενες εκτάσεις καθώς και οι ψεκασμοί (ρύπανση εδάφους και υδάτων με τις εκπλύσεις). (Προβατάς κ. ά., 2004).

2.5. Γεωλογικά στοιχεία

Με την γεωλογία της Σάμου έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές. Τα Κεφάλαια που ακολουθούν (1.5.1.-1.5.4) είναι από μια σειρά μελετών για την νήσο Σάμο, όπως:

Πρώτος ο Schlosser (1904) μελέτησε τα γεωλογικά και παλαιοντολογικά στοιχεία της νήσου. Ο Schneider (1914) εξέτασε το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Σάμου στηριζόμενος στις παρατηρήσεις του Butz (1912). Ασχολήθηκε με τους βαθύτερους ορίζοντες που αποτελούνται από εναλλαγές μαρμάρων και σχιστόλιθων. Ο Butz (1912) μελέτησε τα ηφαιστειακά πετρώματα της νήσου.

Ο Karageorgiou (1947) εξέτασε τα ηφαιστειακά του Πλάτανου ενώ άλλοι ερευνητές γεωλόγοι που ασχολήθηκαν με το νησί της Σάμου είναι οι εξής:

Ο Mc Ferson, εκτέλεσε σειρά ερευνητικών εργασιών στην περιοχή της Συκιάς και της Σαμιωπούλας, ο Μαρίνος μελέτησε τα βιομηχανικά ορυκτά των περιοχών Χώρας και Πλατάνου καθώς και οι Phillippson (1959), και Ζαγκούρογλου (1976).

Ο Theodoropoulos (1979, a,b) συνέταξε γεωλογικό χάρτη της νήσου, μελέτησε το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Σάμου και προσδιόρισε την ηλικία των ηφαιστειακών πετρωμάτων.

Ο Ραρανικόλαου (1979) μελέτησε τις φάσεις παραμόρφωσης του μεταμορφωμένου υποβάθρου και διέκρινε τις 4 ενότητες των οποίων προσδιόρισε τη θέση και την λιθολογία: Κερκετέα (Αυτόχθονο), Αμπέλου, Βουρλιωτών και Καλλιθέας.

2.5.1. Πετρολογία

Στην γεωλογική δομή της νήσου Σάμου μετέχουν οι παρακάτω ομάδες πετρωμάτων:

- Η ομάδα των Μεταμορφωμένων πετρωμάτων

- Η ομάδα των Πυριγενών πετρωμάτων
- Η ομάδα των Ιζηματογενών πετρωμάτων (Μεσοζωικής και νεότερης ηλικίας)

2.5.1.1. Ομάδα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων

Σύμφωνα με τον Βογιαζάκη (1989) τα πετρώματα που συνιστούν την ομάδα των Μεταμορφωμένων πετρωμάτων, διαχωρίζονται από στρωματογραφικής απόψεως σε τρεις σειρές, , οι οποίες είναι:

➤ **Κατώτερη σειρά**

Σε αυτήν μετέχουν:

- Τα μάρμαρα του Κερκετέα, που εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της Σάμου και είναι δολομιτικά, λευκά, μεσοπλακώδη έως παχυπλακώδη και έντονα διερρηγμένα.
- Οι σχιστόλιθοι Μαραθόκαμπου-Κοσμαδαίων. Πρόκειται για σχιστόλιθους μοσχοβιτικούς, χαλαζιακούς, χλωριτικούς και ασβεστιτικούς, με παρεμβολές και ενστρώσεις πράσινων μαρμάρων και σιπολινών.

➤ **Ενδιάμεση σειρά**

Αποτελείται από:

- Τους σχιστόλιθους Αμπέλου, (μαρμαρυγιακοί, μοσχοβιτικοί, χαλαζιακοί, χλωριτικοί, επιδοτιτικοί – μοσχοβιτικοί – γλαυκοφανιτικοί κ.α.), στους οποίους παρεμβάλλονται μάρμαρα, ηφαιστειακά πετρώματα καθώς και οφιόλιθοι (σερπεντινίτες – περιδοτίτες κ.λ.π) και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του κεντρικού τμήματος της νήσου.
- Τα μάρμαρα Βουρλιωτών – Συρράχου, που εντοπίζονται σε περιοχές του κεντρικού και ανατολικού τμήματος της νήσου, σε συμφωνία με τους σχιστόλιθους της Αμπέλου. Μεταξύ των μαρμάρων του κεντρικού τμήματος και εκείνων του ανατολικού παρεμβάλλονται τα ιζήματα της Νεογενούς λεκάνης των Μυτιληναίων.

➤ **Ανώτερη σειρά**

Συνίσταται από:

- Τους σχιστόλιθους Κοστικιάς – Ψιλής Άμμου, (κυρίως χλωριτικοί, μοσχοβιτικοί, σερικιτικοί, χαλαζιακοί, ασβεστιτικοί) με παρεμβολές δολομιτικών μαρμάρων και ενστρώσεις μοσχοβιτικών κυρίως σχιστολίθων.

2.5.1.2. Ομάδα των πυριγενών πετρωμάτων

Κατέχουν περίπου το 5% της επιφάνειας της νήσου και απαρτίζονται από:

➤ **Ηφαιστειακά πετρώματα**

Κυριαρχούν στην ομάδα των πυριγενών και απαντώνται κυρίως στο βόρειο τμήμα του κεντρικού τομέα της νήσου, καθώς και στις παρυφές των δύο νεογενών λεκανών (Καρλοβασιού και Μυτιληνιών) και στην περιοχή του Πύργου. Είναι κυρίως βασάλτες, ρυόλιθοι, τραχίτες, τραχιανδεσίτες και δακίτες και είναι υπεύθυνα για τη γένεση μίας ασθενούς αλλά εξαπλωμένης μεταλλοφορίας μικτών θειούχων μεταλλευμάτων (κυρίως γαληνίτη), (Θεοδωρόπουλος, 1979).

Η ηλικία τους είναι Μειοκαινική (Θεοδωρόπουλος, 1979), το οποίο διαπιστώθηκε από τις ηφαιστειακές παρεμβολές στα νεογενή ιζήματα των κατώτερων σειρών Μειοκαινικής ηλικίας.

➤ **Βασικά εκρηξιγενή πετρώματα επωθημένης ενότητας**

Πρόκειται για υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικής σύστασης (σπιλίτες – διαβάσες) με ενστρώσεις ασβεστολίθων. Μέσα στους τελευταίους βρέθηκαν οστρακώδη, γαστερόποδα, ακτινόζωα *Involutino* sp., *Diploroda* sp. κ.α του Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού, ηλικία που φαίνεται να έχουν και τα ηφαιστειακά πετρώματα (Θεοδωρόπουλος, 1979).

Τα βασικά πετρώματα μαζί με τους Άνω Τριαδικούς – Ιουρασικούς ασβεστόλιθους αποτελούν μέλη μιας σειράς που βρίσκεται επωθημένη στα μάρμαρα του Κερκετέα και στα φλεβικά εκρηξιγενή της περιοχής Καλλιθέας, στο δυτικό τμήμα της νήσου.

➤ **Υπερβασικά πετρώματα**

Αποτελούνται από εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων μικρών διαστάσεων, που εντοπίζονται μέσα στους σχιστόλιθους της σειράς της Αμπέλου, καθώς και στα κλαστικά ιζήματα της επωθημένης ενότητας. Συγκεκριμένα, πρόκειται για περιδοτίτες με μακροσκοπικά διακριτούς πυρόξενους.

➤ **Φλεβικά πυριγενή πετρώματα**

Βρίσκονται στη βορειοδυτική ακτή της νήσου στην περιοχή του χωριού Καλλιθέα. Πρόκειται για ένα σύστημα φλεβών, με πάχος από λίγα cm μέχρι 2m, που αλληλοτέμνονται και διασχίζουν τους ανώτερους ορίζοντες των μαρμάρων του Κερκετέα και τους υπερκείμενους σχιστόλιθους του Μαραθόκαμπου – Κοσμαδαίων. Είναι κυρίως φλέβες γρανιτικής, γρανοδιοριτικής και διοριτικής σύστασης ως και απλίτες. Τα παραπάνω είναι πιθανόν να αποτελούν αποφύσεις ενός μη ορατού πλουτωνίτη (Θεοδωρόπουλος, 1979).

Η μαγματική δραστηριότητα στη νήσο έλαβε χώρα πριν από 17 ως 0,8 εκ. έτη και χωρίζεται σε δυο φάσεις. Η πρώτη Ολιγομειοκαινικής ηλικίας συνδέεται με μεγάλα τεκτονικά επεισόδια της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας. Η δεύτερη Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας συνοδεύεται με τη βύθιση της λιθόσφαιρας της Λιβυκής Θάλασσας κάτω από την Αιγηίδα.

2.5.1.3. Ομάδα των μεσοζωικών (μη μεταμορφωμένων) & νεότερων ιζημάτων

Τα πετρώματα αυτά καταλαμβάνουν το 30% περίπου της επιφάνειας της νήσου και βάσει την ηλικία τους μπορούν να χωρισθούν σε:

➤ **Μεσοζωικοί σχηματισμοί**

Είναι οι ασβεστόλιθοι της επωθημένης σειράς. Στη βάση τους είναι λευκοί ή ροδόχροοι, άστρωτοι, λεπτοκρυσταλλικοί και γενικά πολύ τεκτονισμένοι. Στους ανώτερους ορίζοντες μεταπίπτουν σε δολομιτικούς βιτουμειούχους τεφρούς έως μελανότεφρους ή αγκεριτωμένους, μεσο-παχυστρωματώδεις, έντονα καρστικοποιημένους. Η ηλικία των ανωτέρω πετρωμάτων προσδιορίστηκε με τη βοήθεια παλαιοντολογικών δεδομένων ως Ανωτριάδική μέχρι Ιουρασική.

➤ **Νεογενείς σχηματισμοί**

Είναι τα ιζήματα που πληρώνουν τις Νεογενείς λεκάνες Καρλοβασίου, Μυτιληνίων, Παλαιοκάστρου καθώς και την περιοχή του Πύργου μεταξύ των πρώτων λεκανών. Στρωματογραφικά, οι σχηματισμοί αυτοί, χωρίζονται στις παρακάτω σειρές (Θεοδωρόπουλος, 1979):

Κατώτερη σειρά: Αποτελείται από ασβεστόλιθους τραβερτινοειδείς, λιμναίας φάσης, και από μάργες λεπτοστρωματώδεις μέσα στις οποίες παρεμβάλλονται άργιλοι και λατυποπαγή. Το πάχος της σειράς αυτής φτάνει τα 650m περίπου και είναι Μειοκαινικής ηλικίας.

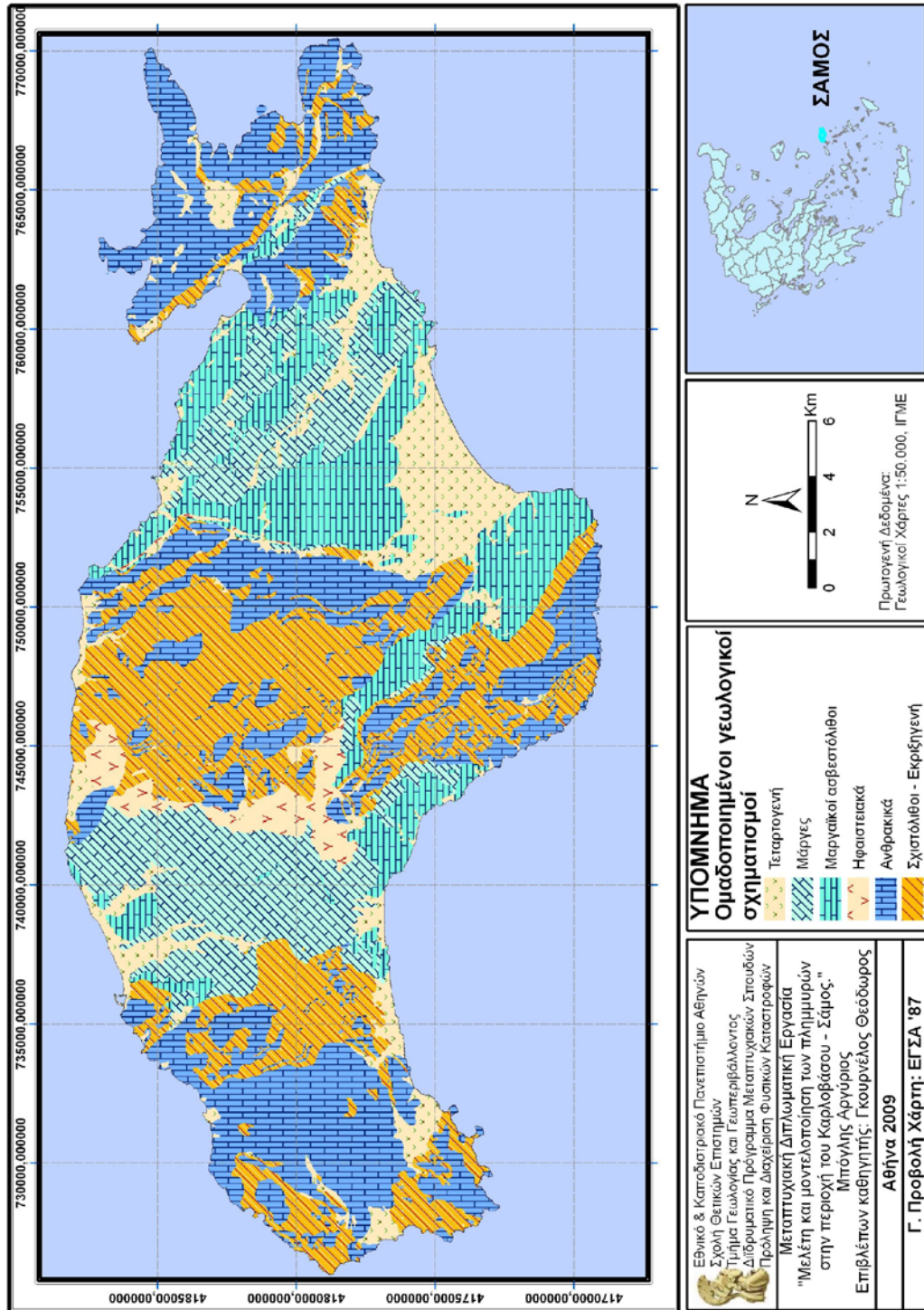
Ενδιάμεση σειρά: Ποτάμιες και λιμναίες αποθέσεις λατυποπαγών, κροκαλοπαγών, πηλών, αργίλων, τόφφων σε εναλλαγές, καθώς και ψαμμίτες, μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Έχει πάχος 250m και ηλικία Μειοκαινική.

Ανώτερη σειρά: Τραβερτινοειδείς και μαργαϊκοί σχιστόλιθοι λιμναίας φάσης με συχνές παρεμβολές φακών από μάργες, πηλούς και τοφφίτες. Έχει πάχος περί τα 250m και Πλειοκαινική ηλικία.

➤ **Τεταρτογενείς σχηματισμοί**

Περιλαμβάνουν τις χερσαίες αποθέσεις (πλευρικά κορήματα, αλλουβιακές προσχώσεις των πεδινών περιοχών κ.α), τις αποθέσεις των κοιτών και των αναβαθμίδων και τις παράκτιες άμμους.

Τα ανθεκτικότερα στη διάβρωση πετρώματα απαντώνται στις ψηλότερες κορυφές δημιουργώντας τραχειές μορφές. Αντίθετα, τα ψαθυρά πετρώματα αποτελούν τα λιγότερο εξέχοντα τμήματα των βουνών και δημιουργούν ομαλές μορφές. Οι σύγχρονες μορφές της ορεινής περιοχής της Σάμου είναι το αποτέλεσμα της διαφορετικής αντοχής των πετρωμάτων στη διάβρωση.



Εικόνα 8. Λιθολογικά χαρακτηριστικά Σάμου

2.5.2. Γεωλογία

2.5.2.1. Γενικά

Η νήσος Σάμος αποτελεί τμήμα της Μέσο – Αιγιακής κρυσταλοσχιστώδους ζώνης που βρίσκεται μεταξύ του Αττικοκυκλαδικού συμπλέγματος και του κρυσταλλοσχιστώδους του Μεντέρες.

Αποτελείται γεωλογικά από πέντε διαφορετικές ενότητες οι οποίες από δυτικά προς ανατολικά είναι οι εξής:

1. Ενότητα Καλλιθέας
2. Ενότητα Κερκετέας – Φούρνων
3. Ενότητα Αγίου Ιωάννη
4. Ενότητα Αμπέλου
5. Ενότητα Βουρλιωτών – Ζωοδόχου Πηγής

Στις επόμενες ενότητες, γίνεται αναλυτική περιγραφή της γεωλογικής δομής της νήσου Σάμου.

2.5.2.1.1. Αυτόχθονο Σάμου (ενότητα κερκετέα)

Η ενότητα Κερκετέα–Φούρνων αποτελεί την αυτόχθονη ενότητα της Σάμου και απαντάται στο δυτικό τμήμα της νήσου με τη μορφή τεκτονικού παραθύρου. Πάνω στην ενότητα του Κερκετέα είναι επωθημένες οι ενότητες Καλλιθέας, Αγίου Ιωάννη, Αμπέλου και Βουρλιωτών-Ζωοδόχου Πηγής. Η ενότητα του Κερκετέα ανήκει στις μεταμορφωμένες σειρές της ζώνης Γαβρόβου–Τρίπολης και χαρακτηρίζεται από μεταμορφικές παραγενέσεις πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Στα δυτικό τμήμα της υπάρχουν εμφανίσεις πολλαπλών Μειοκαινικών διεισδύσεων γρανοδιοριτικής έως πηγματιτικής σύστασης.

Στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Σάμου εντοπίζεται μεταμόρφωση που έλαβε χώρα πριν από 40 εκ. χρόνια περίπου σε συνθήκες υψηλών πιέσεων –χαμηλών θερμοκρασιών, και επηρέασε τα μεγάλα τμήματα της μέσο-Αιγιακής κρυσταλλοσχιστώδους ζώνης. Εκτιμάται ότι η μέγιστη θερμοκρασία μεταμόρφωσης στη δυτική Σάμο ήταν υψηλότερη από εκείνη της Ανατολικής Σάμου.

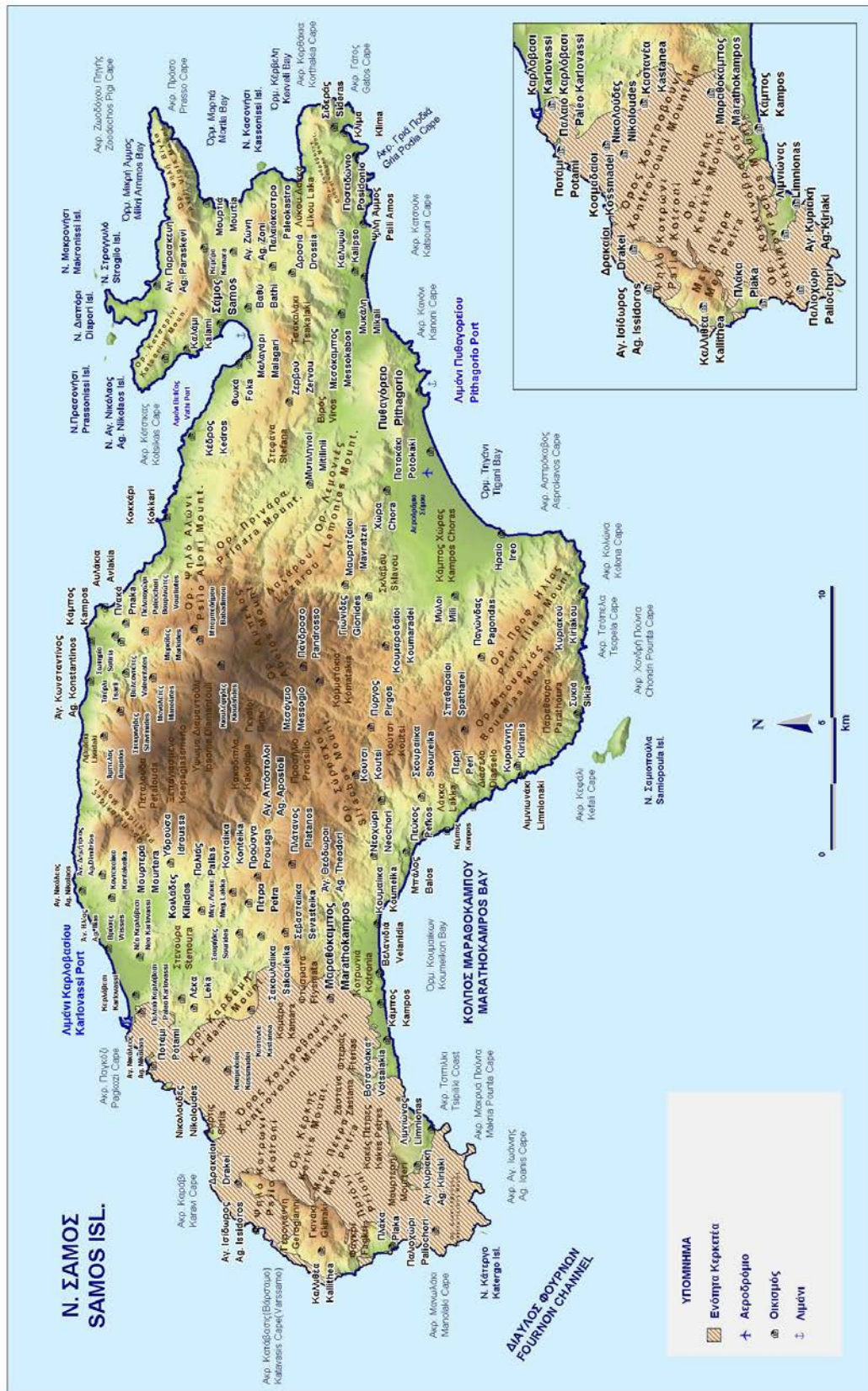
Δύο Νεογενείς λεκάνες με διεύθυνση Β-Ν χωρίζουν το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της σε τρεις ενότητες. Αυτές είναι η ενότητα της Ζωοδόχου Πηγής στα ανατολικά, η ενότητα Καρβούνη–Μπουρνιά στο κεντρικό τμήμα και η ενότητα του Κέρκη στα δυτικά. Σύμφωνα με τον Θεοδωρόπουλο (1979), το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Σάμου αποτελείται από σειρές μαρμάρων και σχιστόλιθων. Η ηλικία των πετρωμάτων αυτών, τοποθετείται στο Αν. Κρητιδικό.

Στην ενότητα του Κερκετέα απαντώνται οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

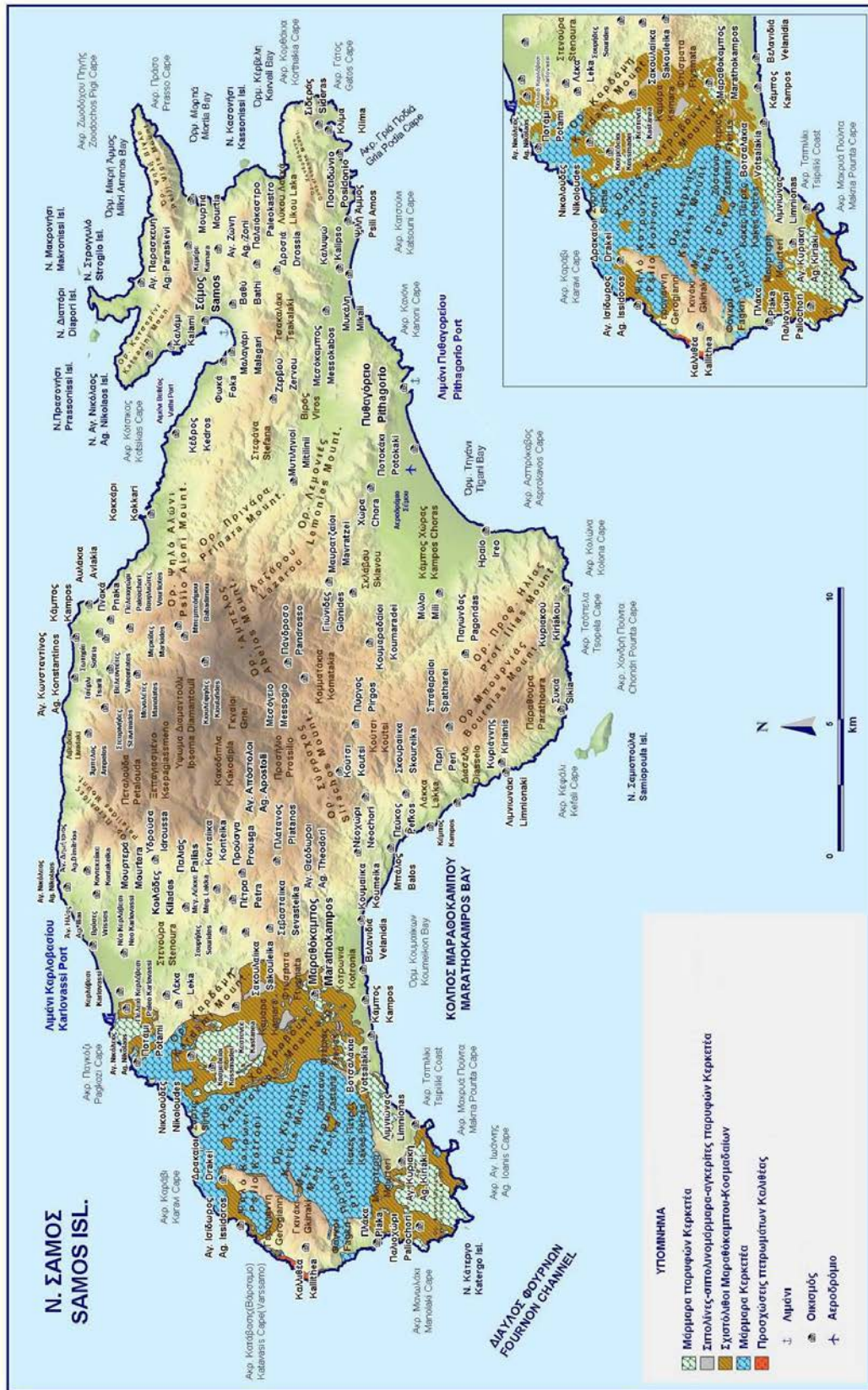
- Μάρμαρα Κερκετέα
- Σχιστόλιθοι Μαραθόκαμπου–Κοσμαδαίων
- Σιπολίνες–σιπολινομάρμαρα–αγκερίτες παρυφών Κερκετέα
- Μάρμαρα παρυφών Κερκετέα



Εικόνα 9. Αυτόχθονο Σάμου



Εικόνα 10. Ενότητα Κερκετία



Εικόνα 11. Ενότητα Κερκετέα σε ανάλυση

2.5.2.1.2. Τεκτονικό κάλυμμα Σάμου

Στην περιοχή της Σάμου – Φούρνων οι σχηματισμοί του τεκτονικού καλύμματος έχουν μεγάλο πάχος και εξάπλωση. Αποτελούνται κυρίως από σχιστόλιθους και φυλλίτες, με ενστρώσεις μαρμάρων μεγάλου πάχους και παρεμβολές, κατά θέσεις, μεταβασικών, μεταγάββρων και σερπεντινιτών. Γνώρισμα των σχηματισμών του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος της περιοχής αυτής, είναι ότι αυτοί έχουν μεταμορφωθεί σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα η εμφάνιση κυανοσχιστολίθων στους σχηματισμούς αυτούς να είναι πολύ συχνή.

Οι σχηματισμοί του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος Σάμου–Φούρνων βρίσκονται επωθημένοι πάνω στην σχετικά αυτόχθονη ανθρακική σειρά του Κερκετέα ή κατά θέσεις, πάνω σε σχιστολιθικούς σχηματισμούς μεταφλύσχη της σειράς αυτής, η οποία ανήκει στις εξωτερικές ζώνες. Η ανθρακική αυτή σειρά, έχει ορατό πάχος 1500m περίπου και αντίθετα προς τους υπερκείμενους σε αυτήν, τεκτονικά, σχηματισμούς του Νεοελληνικού καλύμματος, οι σχηματισμοί της ανθρακικής αυτής σειράς έχουν υποστεί μόνο χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση, στην πρασινοσχιστολιθική φάση.

Απαντάται στο δυτικό τμήμα της Σάμου και είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα του Κερκετέα. Επίσης, στην περιοχή της Σάμου, πάνω στους σχηματισμούς του Νεοελληνικού καλύμματος, είναι επωθημένοι αμεταμόρφωτοι σχηματισμοί της Πελαγονικής ζώνης. Οι σχηματισμοί αυτοί απαντώνται στο δυτικό τμήμα της Σάμου (περιοχή Καλλιθέας) και στα νησιά Θύμαινα και Αλατσονήσι, του συγκροτήματος των Φούρνων και αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους του Ανώτερου Τριαδικού και ίσως του Κατώτερου Ιουρασικού με *Megalodon* και άλλα απολιθώματα. Σε αυτούς συμμετέχουν, επίσης, κλαστικοί σχηματισμοί του Κατώτερου–Μέσου Τριαδικού, με ενστρώσεις ασβεστολίθων και ραδιολαριτών και παρεμβολές βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων, με μορφή κοιτών, σε μεγάλη έκταση. Επίσης, συμμετέχουν μικρές μάζες υπερβασικών πετρωμάτων, κυρίως στη βάση του τεκτονικού αυτού καλύμματος.

Οι σχηματισμοί του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος στην περιοχή αυτή, διακρίνονται σε τέσσερις επιμέρους τεκτονικές ενότητες, οι οποίες από κάτω προς τα πάνω είναι: η Ενότητα Άγιου Ιωάννη, η Ενότητα της Αμπέλου, η Ενότητα Καλλιθέας και η Ενότητα Βουρλιωτών–Ζωοδόχου Πηγής.

Οι ενότητες του Αγίου Ιωάννη, της Αμπέλου και των Βουρλιωτών–Ζωοδόχου Πηγής αποτελούν τεκτονικό κάλυμμα στο αυτόχθονο του Κερκετέα. Είναι μεταμορφωμένες και ανήκουν στους σχηματισμούς του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος. Η ενότητα του Αγίου Ιωάννη συνίσταται από μεταμορφωμένα βασικά εκρηξιγενή, η ενότητα Αμπέλου ανήκει στον παλαιογεωγραφικό χώρο των Βορείων Κυκλάδων, ενώ η ενότητα Βουρλιωτών ανήκει στο παλαιογεωγραφικό χώρο των Νότιων Κυκλάδων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Σάμος είναι η μοναδική περιοχή στον Ελλαδικό χώρο όπου έχουμε άμεση επώθηση της ενότητας των Ν. Κυκλάδων (ενότητα Βουρλιωτών) πάνω στην ενότητα των Β. Κυκλάδων (ενότητα Αμπέλου) (Ραπανικόλαου, 1987). Η ενότητα της Καλλιθέας αποτελεί την μη μεταμορφωμένη ενότητα του παλαιογεωγραφικού χώρου των Κυκλάδων και η μοναδική μη μεταμορφωμένη ενότητα της νήσου.

2.5.2.1.3. Ενότητα Αγίου Ιωάννη

Απαντάται στο δυτικό τμήμα της Σάμου και βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένη μεταξύ της αυτόχθονης τεκτονικής σειράς του Κερκετέα (υποκείμενη) και της τεκτονικής ενότητας Αμπέλου (υπερκείμενη). Αποτελείται από μεταμορφωμένα βασικά εκρηξιγενή, τα οποία πολλές φορές διατηρούν τα αρχικά τους ορυκτά. Η παρουσία γλαυκοφανή στους σχηματισμούς της ενότητας αυτής είναι συχνή και το συνολικό πάχος της φτάνει τα 200m περίπου.

2.5.2.1.4. Ενότητα Αμπέλου

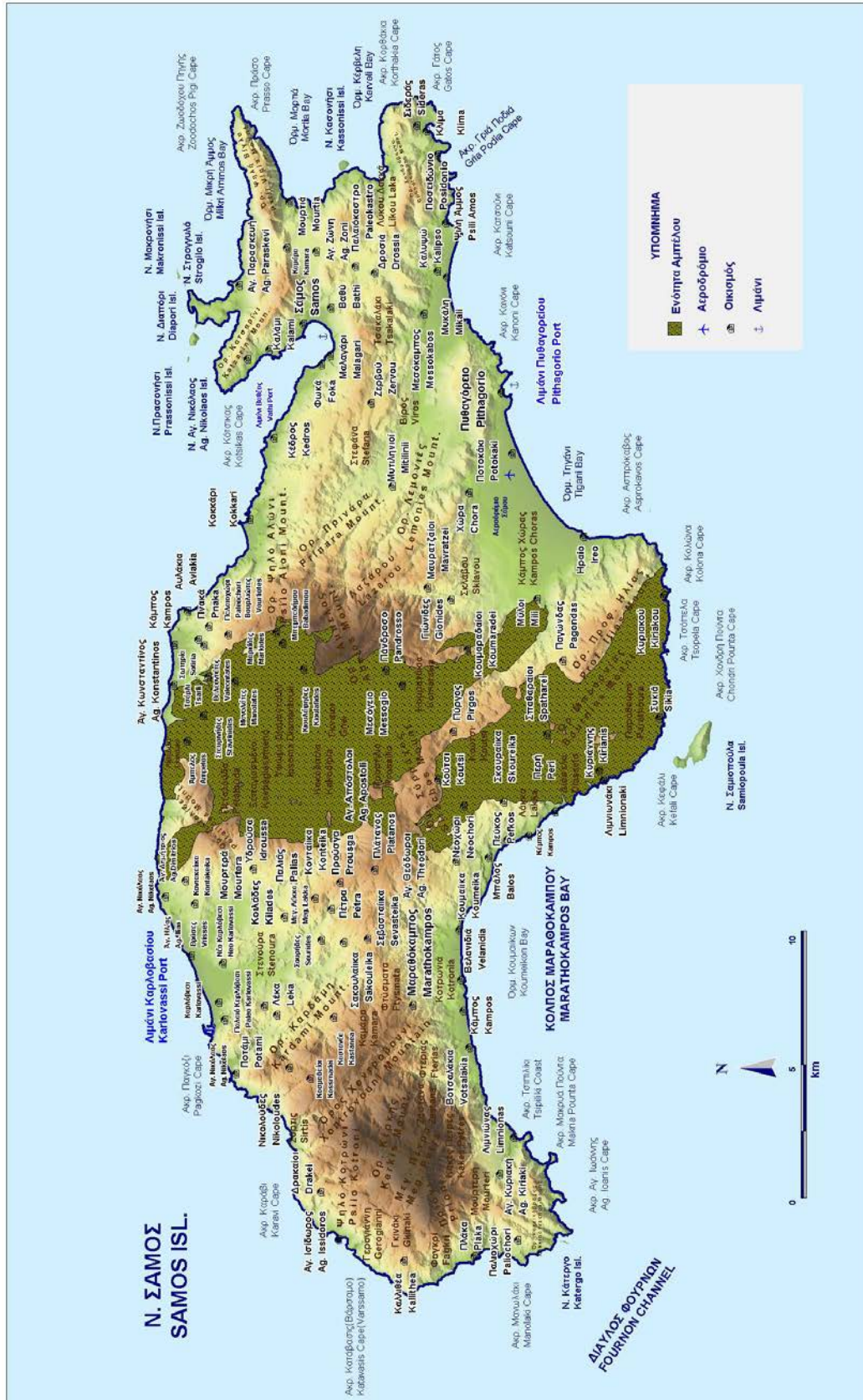
Συνιστά το κεντρικό και εν μέρει το δυτικό τμήμα της Σάμου, υπερκείμενη της σειράς του Κερκετέα ή της ενότητας Αγίου Ιωάννη και υποκείμενη τεκτονικά της ενότητας Βουρλιωτών–Ζωοδόχου Πηγής. Η ενότητα αυτή αποτελείται από εναλλαγές μαρμάρων, ποικίλου χρώματος και πάχους, και σχιστόλιθων, κυρίως μοσχοβιτικών και χαλαζιακών, καθώς επίσης γλαυκοφανιτικών και επιδοιτικών. Κατά θέσεις, παρεμβάλλονται στους σχηματισμούς αυτούς μεταμορφωμένα βασικά εκρηξιγενή, μεταγάββροι, (κυρίως γλαυκοφανιτικοί πλούσιοι σε τιτάνιο το οποίο έχει μεγάλη αντίσταση στην διάβρωση και είναι ανθεκτικό και στη θαλάσσια διάβρωση. Στη Παγώνδα και στους Σπαθαραίους η αντικατάσταση του ιλμενίτη από τιτανίτη είναι καθολική) και μικρές μάζες σερπεντινιτών. Το συνολικό πάχος των σχηματισμών της ενότητας αυτής, υπερβαίνει τα 2000m.

Οι σχηματισμοί της ενότητας είναι:

- Μάρμαρα Αμπέλου
- Σχιστόλιθοι Αμπέλου
- Σχιστόλιθοι Αμπέλου με πολλά μικρά σώματα ηφαισπιτών μη διαχωρισμένα

2.5.2.1.5. Ενότητα Βουρλιωτών – Ζωοδόχου Πηγής

Καταλαμβάνει κυρίως το ανατολικό τμήμα της νήσου και λιγότερο το κεντρικό και είναι υπερκείμενη της ενότητας Αμπέλου. Η ενότητα αυτή, αποτελείται κυρίως από μάρμαρα, το συνολικό πάχος των οποίων υπερβαίνει τα 1000m, και λιγότερο από σχιστόλιθους οι οποίοι είναι κυρίως μοσχοβιτικοί, χαλαζιακοί, χλωριτικοί και κατά θέσεις γλαυκοφανιτικοί. Τα μάρμαρα του ανατολικού τμήματος της Σάμου της ενότητας αυτής, φιλοξενούν κατά θέσεις, μικρά μεταβωξίτικα κοιτάσματα (σμύριδα), τα οποία παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με αυτά της Δυτικής Τουρκίας. Επίσης, ο σχηματισμός αυτός διαθέτει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη σημαντικών καρστικών δικτύων δια μέσου των οποίων γίνεται σαφώς ευκολότερη η διακίνηση του υπεδάφικου νερού.



Εικόνα 12. Ενότητα Αιγέλου



Εικόνα 13. Ενότητα Βουρλιωτών-Ζωδοχού Πηγής

2.5.2.1.6. Ενότητα Καλλιθέας

Η ενότητα Καλλιθέας απαντάται στο δυτικό τμήμα της Σάμου και υπέρκειται τεκτονικά της ενότητας του Κερκετέα. Πρόκειται ουσιαστικά για τους αμεταμόρφωτους σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης. Η ενότητα αυτή συναντάται και στα νησιά Θύμαινα και Αλατσονήσι, του συγκροτήματος των Φούρνων και είναι κυρίως ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Τριαδικού και ίσως του Κατώτερου Ιουρασικού με *Megalodon* και άλλα απολιθώματα. Σε αυτούς συμμετέχουν, επίσης, κλαστικοί σχηματισμοί του Κατώτερου–Μέσου Τριαδικού, με ενστρώσεις ασβεστολίθων και ραδιολαριτών και παρεμβολές βασικών πυριγενών πετρωμάτων, με μορφή κοιτών, σε μεγάλη έκταση.

Οι σχηματισμοί της ενότητας είναι:

- Φλεβικά πυριγενή πετρώματα Καλλιθέας
- Άνω τριαδικοί–Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι
- Περιδοτική μάζα
- Κλαστικά πετρώματα

2.5.2.2. Το σύστημα των οφιολιθικών πετρωμάτων και ασβεστολίθων

Πρόκειται για ένα σύστημα οφιολιθικών πετρωμάτων, που αποτελείται από βασικά εκρηξιγενή πετρώματα, κυρίως σιπολίτες και διαβάσεις, κατά θέσεις σχιστοποιημένα, καθώς και περιδοτίτες, των οποίων υπέρκεινται Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι. Συχνά, μεταξύ των βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων παρεμβάλλονται Τριαδικά ανθρακικά και ψαμμιτικά πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας.

Το σύστημα αυτό των οφιολιθικών και ανθρακικών πετρωμάτων τοποθετείται τεκτονικά με ένα κανονικό ρήγμα διαφυγής, κατευθείαν πάνω στα μάρμαρα του Κερκετέα.

Στο νεοτεκτονικό χάρτη, αυτό το σύστημα των οφιολιθικών πετρωμάτων και ασβεστολίθων χαρακτηρίζεται ως ενότητα Καλλιθέας.

2.5.2.3. Νεογενείς αποθέσεις

Πρόκειται για τους σχηματισμούς που δομούν τις λεκάνες της νήσου και είναι Μειοκαινικής–Πλειοκαινικής ηλικίας. Έχουν μεγάλο πάχος και όλο το σύστημά τους υπέρκειται του μεταμορφωμένου υποβάθρου. Συνοδεύονται από την εφελκυστική δραστηριότητα του Ανώτερου Μειόκαινου (Stamatakis, 1989).

Στο σύστημα των Νεογενών λεκανών περιλαμβάνονται:

- Η λεκάνη του Παλαιοκάστρου
- Η λεκάνη των Μυτιληνίων
- Η λεκάνη του Πύργου
- Η λεκάνη του Καρλοβασιού

2.5.2.3.1. Λεκάνη Παλαιοκάστρου

Εντοπίζεται σε ένα στενό, επίμηκες βύθισμα της περιοχής Βαθέος–Παλαιοκάστρου–Ψιλής Άμμου και περιλαμβάνει τις ακόλουθες Νεογενείς αποθέσεις:

- Μάργες
- Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι

2.5.2.3.2. Λεκάνη Μυτιληνίων

Συνιστά ένα τεκτονικό βύθισμα με προσανατολισμό Β-N, μεγάλης έκτασης και εκτός των ορίων της Σάμου, το οποίο σχηματίστηκε μεταξύ των μαρμάρων – σχιστολίθων Βουρλιωτών–Συρράχου και των μαρμάρων – σχιστολίθων Κότσικα–Ψιλής Άμμου και Ζωοδόχου Πηγής. Φαίνεται ότι αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου βυθίσματος της Ανατολικής Αιγηίδας, σύγχρονο των μεγάλων ταφρολεκανών του Ελλαδικού χώρου που ξεκίνησαν να αναπτύσσονται κατά το Κατώτερο– Μέσο Μειόκαινο.

Η λεκάνη Μυτιληνίων περιλαμβάνει τις ακόλουθες Νεογενείς αποθέσεις:

- Κροκαλοπαγή βάσεως
- Κατώτερη σειρά λεκάνης Μυτιληνίων
- Κλαστική σειρά λεκάνης Μυτιληνίων

2.5.2.3.3. Λεκάνη Πύργου

Αποτελεί ένα στενό επίμηκες βύθισμα με ΒΔ-ΝΑ προσανατολισμό. Έχει τη μορφή διαύλου επικοινωνίας μεταξύ των λεκανών Μυτιληνίων και Καρλοβασίου και διαχωρίζει τον ορεινό όγκο της Αμπέλου από αυτόν του Μπουρνιά.

Από πλευράς απόθεσης ιζημάτων και εξελικτικών διεργασιών φαίνεται ότι ανήκει στο σύστημα της λεκάνης Μυτιληνίων, το οποίο επεκτείνεται από το ύψος του Παγώνδα προς τον Πύργο και προς τον Πλάτανο, όπου συναντά τα πυροκλαστικά υλικά της λεκάνης Καρλοβασίου.

Τα στρώματα των Νεογενών ιζημάτων έχουν γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ έως Β-N ενώ η διεύθυνση της κλίσης του είναι γενικά προς τα ΒΑ και Α με γωνία κλίσης 20°-50°. Στις επαφές με το υπόβαθρο της Αμπέλου οι κλίσεις των στρωμάτων γίνονται ΝΑ.

2.5.2.3.4. Λεκάνη Καρλοβασίου

Αποτελεί, όπως και η λεκάνη Μυτιληνίων, ένα τεκτονικό βύθισμα με Β-N ανάπτυξη, μεταξύ των σχιστολίθων της Αμπέλου και των σχιστολίθων Μαραθόκαμπου–Κοσμαδαίων. Από τους νεότερους προς τους κατώτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες, διακρίνονται:

Ανώτερη σειρά σχηματισμών λεκάνης Καρλοβασίου

Οι σχηματισμοί της σειράς αυτής βρίσκονται κυρίως στην περιοχή μεταξύ του δημόσιου δρόμου Καρλοβασίου–Λιμένα Βαθέος και της ακτής και επικάθονται σύμφωνα πάνω στην κλαστική σειρά των σχηματισμών της λεκάνης του Καρλοβασίου. Αποτελούνται κυρίως από τραβερτινοειδείς και

μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, λιμναίας φάσης, με παρεμβολές από μάργες μικρής συνεκτικότητας, που μερικές φορές περιέχουν διάσπαρτες κροκάλες. Πιθανότατα, πρόκειται για σχηματισμούς ανάλογους με τους σχηματισμούς της ανώτερης σειράς της λεκάνης των Μυτιληνίων. Το πάχος της σειράς υπολογίζεται στα 120m και ηλικία της πιθανώς Πλειοκαινική.

Κλαστική σειρά σχηματισμών λεκάνης Καρλοβασίου

Η τυπική της ανάπτυξη εντοπίζεται στην περιοχή του χωριού Υδρούσα (πρώην Φούρνοι) καθώς και στην περιοχή του Πύργου. Πρόκειται για ποταμολιμναίες αποθέσεις, που επικάθονται σύμφωνα πάνω στους λιμναίους σχηματισμούς της κατώτερης σειράς Καρλοβασίου και ασύμφωνα πάνω στους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους της περιοχής Πύργου και είναι με μεγάλη πιθανότητα, αποθέσεις ανάλογες με τις κλαστικές της σειράς Μυτιληνίων. Είναι κροκαλολατυποπαγή, άστρωτα, μικρής συνεκτικότητας, με κροκαλολατύπες από ηφαιστίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του Νεογενούς και μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως μάρμαρα, χαλαζίτες και σχιστόλιθους μεγέθους από 1 έως 10cm μερικές φορές μέχρι και 30cm γενικά χωρίς προσανατολισμό. Πολλές φορές τα κροκαλολατυποπαγή εναλλάσσονται ή μεταβαίνουν πλευρικά προς λεπτομερέστερες κλαστικές αποθέσεις ψηφιτοπαγών και ψαμμιτών με μαργαϊκή συνδετική ύλη. Κατά θέσεις απαντούν επίσης ψαμμιτικές μάργες και πηλοί ερυθρού χρώματος με διάσπαρτες ψηφίδες και κροκάλες μέσα σε αυτές. Το πάχος της σειράς αυτής κυμαίνεται από 50-200m περίπου στην περιοχή της λεκάνης του Καρλοβασίου και είναι περίπου 100m στην περιοχή του Πύργου.

Κατώτερη σειρά σχηματισμών λεκάνης Καρλοβασίου

Οι σχηματισμοί της σειράς αυτής διακρίνονται ως εξής:

1. Μάργες σκληρές υπόλευκες, έως τεφρές έως υποκίτρινες, με καλή στρώση. Πρόκειται για λεπτοστρωματώδεις ή και φυλλώδεις (στρώματα πάχους 1-5cm) σχηματισμούς, με ενστρώσεις αργίλων, ψαμμούχων μαργών, λατυποπαγών από λατύπες που προέρχονται από τα Νεογενή ιζήματα ή και κροκαλοπαγών. Επίσης, σε όλο το πάχος της σειράς, απαντούν ενστρώσεις από λεπτομερές τοφφικό υλικό και τοφφίτες με χρώμα καστανό ή υποπράσινο. Πολλές φορές τα ιζήματα αυτά είναι πτυχωμένα. Παρατηρήθηκαν πτυχές με διεύθυνση άξονα πτυχών Β30οΑ. Το μέγιστο πάχος των μαργών υπολογίζεται ότι είναι περίπου 400m.

2. Τραβερτινοειδείς παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι με τοφφικά υλικά κατά θέσεις. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν πλευρική μετάβαση των μαργών της κατώτερης σειράς των σχηματισμών της λεκάνης Καρλοβασίου. Μερικές φορές απαντούν με μορφή ενστρώσεων μέσα στις μάργες. Το πάχος τους στην περιοχή του χωριού Σκουραιίκα είναι μεγαλύτερο από 150m και η ηλικία τους Μειόκαινο.

3. Ο κατώτερος σχηματισμός βρίσκεται στην λεκάνη Καρλοβασίου και περιλαμβάνει τα εξής ιζήματα:

- Πυροκλαστικά υλικά, που αποτελούνται κυρίως από λατύπες που προέρχονται από τα Νεογενή ιζήματα, τους ηφαιστίτες και τα πετρώματα του μεταμορφωμένου υποβάθρου με λεπτομερή τοφφικά υλικά. Είναι άστρωτα, μικρής συνεκτικότητας και κατά θέσεις οπαλιωμένα.

- Πυριτιωμένα Νεογενή ιζήματα μαργών και μαργαϊκών ασβεστολίθων της κατώτερης σειράς της λεκάνης Καρλοβασίου.
- Πυριτιωμένα κροκαλολατυποπαγή, κόκκινου χρώματος, της βάσεως των Νεογενών ιζημάτων, τα οποία αποτελούν την απόκρημνη περιοχή πάνω από τα χωριά Κοντακαίικα και Υδρούσα και επικάθονται στο μεταμορφωμένο σύστημα.
- Σώματα ηφαιστιτών μικρού μεγέθους, που δεν έχουν διαχωριστεί κατά την γεωλογική χαρτογράφηση.
- Μικρά κοιτάσματα σαπουνοχρωμάτων (αργίλων), που προέρχονται από μεταηφαιστειακή υδροθερμική δράση.

Το μέγιστο πάχος του σχηματισμού είναι περίπου 200 m και η ηλικία του πιθανώς Μειοκαινική, δεδομένου ότι οι σχηματισμοί αυτοί εντοπίζονται με Νεογενή ιζήματα της κατώτερης σειράς, που διαπιστώθηκε ότι έχουν Μειοκαινική ηλικία.

Τα ιζήματα της λεκάνης του Καρλοβασίου, κατά μήκος των ορίων τους με τα μεταμορφωμένα πετρώματα, αναπτύσσονται, κυρίως σε ΒΔ-ΝΑ παράταξη και με διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΔ και ΒΑ στο ανατολικό και δυτικό όριο τους αντίστοιχα. Η γωνία κλίσης κυμαίνεται από 20° έως και 50°, αλλά συχνά λαμβάνει μεγάλες τιμές μέχρι 80° περίπου. Στην υπόλοιπη έκτασή τους τα ιζήματα παρουσιάζουν διασπορά των στοιχείων ανάπτυξής τους που οφείλεται είτε στην έντονη πτύχωση των κατώτερων μελών τους είτε στα νεότερα κανονικά ρήγματα που τα διασχίζουν.

Η δυτική λεκάνη (λεκάνη Καρλοβασίου) πιθανόν να μην είναι της ίδιας ηλικίας με την ανατολική (λεκάνη Μυτιληνίων) αφού μεταξύ τους παρουσιάζονται πολλές σημαντικές λιθολογικές διαφορές.

Κατά τον Solounias (1981) οι δύο λεκάνες παρουσιάζουν τις παρακάτω λιθολογικές διαφορές:

| ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΡΛΟΒΑΣΙΟΥ | ΛΕΚΑΝΗ ΜΥΤΙΛΗΝΙΩΝ |
|---------------------------------------|---|
| 1. Όχι τόφφοι | 1. Πολλοί τόφφοι |
| 2. Όχι ηφαιστειοκλαστικά υλικά | 2. Πολλά ηφαιστειοκλαστικά υλικά |
| 3. Όχι πολλοί δίοδοι ηφαιστιτών | 3. Πολλοί δίοδοι ηφαιστιτών |
| 4. Δεν επικρατούν ασβεστόλιθοι | 4. Αρκετοί ασβεστόλιθοι |
| 5. Πολλά σκουρόχρωμα ιζήματα | 5. Πολλά ανοιχτόχρωμα ιζήματα |
| 6. Κυρίως λεπτόκοκκα αργιλικά ιζήματα | 6. Λίγα λεπτόκοκκα αργιλικά ιζήματα |
| 7. Πολλά απολιθώματα φυτών | 7. Λίγα απολιθώματα φυτών |
| 8. Όχι απολιθώματα σπονδυλωτών | 8. Πολλά απολιθώματα σπονδυλωτών |
| 9. Όχι βασαλτικές εκχύσεις | 9. Μερικές εμφανίσεις βασαλτικές εκχύσεις |
| 10. Λίγες πτυχώσεις και ρήγματα | 10. Πολλές πτυχώσεις και ρήγματα |

Πίνακας 4. Βασικές διαφορές των δύο λεκανών

2.5.2.4. Ηφαιστίτες

Διαπερνούν συχνά τους κατώτερους σχηματισμούς των λεκανών δημιουργώντας τοπική μεταλλοφορία μικτών θειούχων μεταλλευμάτων (κυρίως γαληνίτη). Η λιθολογική σύσταση των ηφαιστιτών είναι κυρίως βασάλτες, ρυόλιθοι, τραχείτες και δακτιοειδείς. Επίσης, ηφαιστειακοί,

βασαλτικοί τόφφοι συνοδεύουν συχνά τις ηφαιστειακές εκχύσεις. Τα ηφαιστειακά πετρώματα αναπτύσσονται με μικρό πάχος, κυρίως κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών που οριοθετούν τις Νεογενείς λεκάνες και τα μεταμορφωμένα πετρώματα, αλλά πολλές φορές και ως κοίτες μεταξύ των ιζημάτων ή με την μορφή φλεβών και μικρών καλυμμάτων στα μεταμορφωμένα πετρώματα.

2.5.2.5. Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί περιλαμβάνουν τα ποταμοχειμάρρια υλικά, τα προϊόντα διάβρωσης τόσο του υποβάθρου (μαρμάρων και σχιστολίθων) όσο και των Νεογενών ιζημάτων των λεκανών (λιμναιών μαργών–ασβεστολίθων–τόφφων και ποταμολιμναιών κροκαλοπαγών, άμμων και πηλών), καθώς και τα πλευρικά κορήματα.

Αναλυτικά αποτελούνται από:

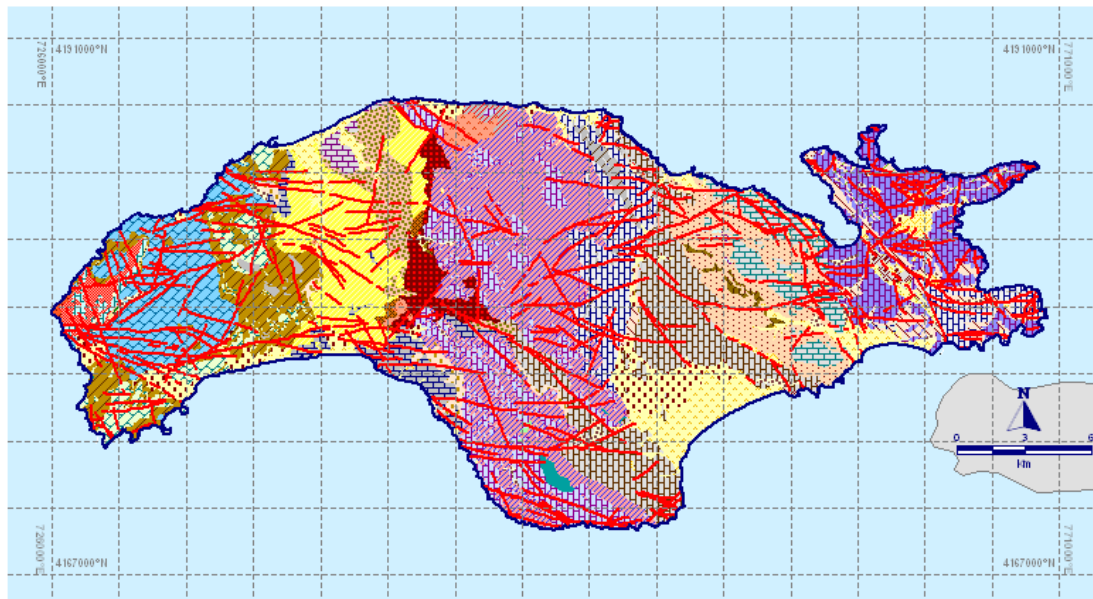
- Τις παράκτιες αποθέσεις που απαρτίζονται από άμμους και θίνες
- Τις αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες αναφέρονται στις προσχώσεις πεδινών περιοχών από αργιλοαμμώδη υλικά, πηλό, άμμο, και κροκαλολατύπες.
- Σύγχρονα υλικά από άμμο και χαλίκια που εντοπίζονται στις κοίτες των χειμάρρων και τις χειμαρρώδεις αναβαθμίδες ύψους 1-3m.
- Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από γωνιώδη κομμάτια, που είναι ασύνδετα ή συνδέονται χαλαρά με αργιλοαμμώδες υλικό.
- Προϊόντα αποσάθρωσης από τις γύρω περιοχές.
- Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων, τα οποία συνίστανται από κροκαλολατύπες ισχυρά συγκολλημένες και κόκκινα λεπτομερή υλικά, κατά θέσεις. Οι σχηματισμοί αυτοί τέμνονται πολλές φορές με ρήγματα (περιοχή όρμου Μορτιά).
- Μια χειμαρρώδη αναβαθμίδα, ύψους 10m περίπου, που αποτελείται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά με κροκάλες και παρεμβολές συνεκτικών κροκαλοπαγών.

Τα πλευρικά κορήματα αναπτύσσονται στη βάση των μορφολογικά απότομων πρανών, που τις περισσότερες φορές συνδέονται με την δράση κάποιου κανονικού ρήγματος και τοποθετούνται σε ασυμφωνία πάνω στα Νεογενή ιζήματα των λεκανών. Η τοποθέτησή τους συχνά, με διεύθυνση κλίσης προς το απότομο πρανές, φανερώνει τεκτονική δράση μετά την απόθεσή τους, συνεπώς πρόσφατη τεκτονική δράση μετά το Πλειόκαινο, αποτελώντας ένα σημαντικό κριτήριο νεοτεκτονικής δράσης.

Τα ποταμοχειμάρρια υλικά διάβρωσης περιορίζονται είτε κατά μήκος της κοίτης των χειμάρρων υπό μορφή αναβαθμιδών, είτε στις πεδινές περιοχές κάμπου Χώρας, του Μαραθόκαμπου, του Κοκκαρίου, του Μεσόκαμπου και του Καρλοβασίου. Το συνολικό τους πάχος είναι μικρό και η ηλικία του Ολοκαινική. Φιλοξενούν υδροφόρα στρώματα μικρού βάθους, τα οποία τροφοδοτούνται από το νερό των χειμάρρων της περιοχής. Είναι οι περιοχές της αρδευόμενης καλλιέργειας.

Στις παράκτιες περιοχές, οι αποθέσεις γίνονται λεπτομερείς, ιλυοαργιλλώδεις. Λόγω του μικρού υψόμετρου τους και της μη περατότητας των υλικών αυτών, τα νερά των υπόγειων υδροφόρων εκφορτίζονται και δημιουργούν ελώδεις εκτάσεις, οι οποίες δύσκολα

αποστραγγίζονται λόγω της παρουσίας των παράκτιων φραγμάτων και της δράσης των κυμάτων.



Γεωλογικοί σχηματισμοί

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Κατολισθαίνουσα περιοχή Παράκτιες αποθέσεις Αλλουβιακές αποθέσεις Αλλουβιακές αποθέσεις μικρών εσωτερικών λεκανών Σύγχρονα πλευρικά κορημάτα και κώνοι κορημάτων Παλαιά πλευρικά κορημάτα και κώνοι κορημάτων Αποσπάρωματα των γύρω πετρωμάτων Χειμαρρώδης αναβαθμίδα Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι ανώτερης σειράς Μυτιληνίων Κλαστική σειρά Λεκάνης Μυτιληνίων Ενστρώσεις τραβερτινοειδών ασβεστολιθών Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι, μάργες και τόφφοι της κατώτερης σειράς Μυτιληνίων Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι ανώτερης σειράς Καρλοβάσου Κλαστική σειρά Λεκάνης Καρλοβάσου Μάργες σκληρές Καρλοβάσου Τραβερτινοειδείς παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι-τόφφοι κατ. σειράς Καρλοβάσου Σχηματισμός Καρλοβάσου: πυροκλαστικά, πυριτωμένα ιζήματα, ηφαιστίτες Πυριτωμένα ιζήματα κατώτερης σειράς Καρλοβάσου Μεσοστρωματώδεις-παχυστρωματώδεις τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι Παλαιόκαστρου Μάργες μικρές συνεκτικότητας Παλαιόκαστρου Βασικό κροκαλοπαγές λεκάνης Παλαιόκαστρου Ηφαιστειακά πετρώματα Ηφαιστειακοί τόφφοι | <ul style="list-style-type: none"> Ανωτριάδιοι - Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι Βασικά εκρηξιγενή πετρώματα Περιδοπητική μάζα Κλασικά πετρώματα Μάρμαρα Ζωοδόχου Πηγής Ενστρώσεις σχιστολιθών Ζωοδόχου Πηγής Σχιστόλιθοι Κοτσικιά - Ψιλής Άμμου Ενστρώσεις μαρμάρων Κοτσικιά - Ψιλής Άμμου Μάρμαρα Βουρλιωτών - Σύρραχου Ενστρώσεις σχιστολιθών Βουρλιωτών - Σύρραχου Μάρμαρα Αμπέλου Σχιστόλιθοι Αμπέλου Σχιστόλιθοι Αμπέλου με πολλά μικρά σώματα ηφαισπίων Περιδοπίτες - σερπεντινίτες κεντρικού τμήματος του νησού Οφιολιθικά πετρώματα Μάρμαρα παρυφών Κερκετέα Σπολιίνες - σπολινομάρμαρα - αγκερίτες παρυφών Κερκετέα Σχιστόλιθοι Μαραθόκαμπτου - Κοσμαδαίων Μάρμαρα Κερκετέα Φλεβικά εκρηξιγενή πετρώματα Καλλιθέας |
|---|--|
- Ρήγματα**
- Βέβαιο
 Πιθανό

Εικόνα 14. Γεωλογικός χάρτης της Σάμου κατόπιν ψηφιακής επεξεργασίας (έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε. υπό Θεοδωρόπουλο Δ. Αθήνα, 1979)

2.5.3. Τεκτονική

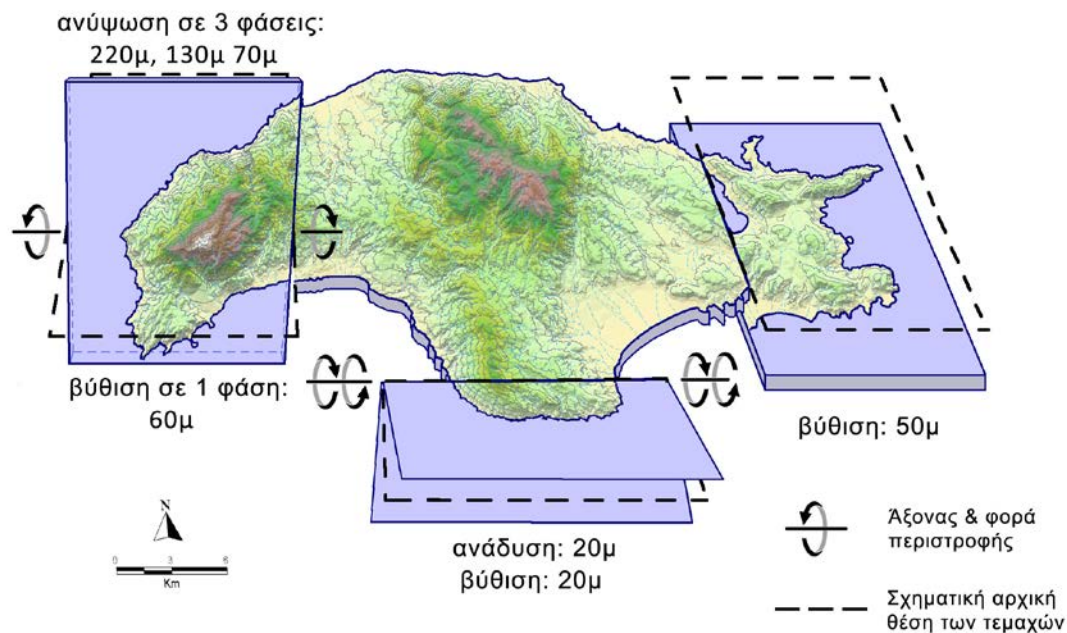
Η τεκτονική της Σάμου είναι αποτέλεσμα τόσο της τεκτονικής επαλληλίας των καλυμματικών ενοτήτων της όσο και του νεοτεκτονικού της καθεστώτος.

Γενικά, η Σάμος χαρακτηρίζεται από δύο τεκτονικά επεισόδια, την τεκτονική των πτυχώσεων και την τεκτονική των διαρρήξεων, που επηρέασαν άμεσα και καθόρισαν τη γεωλογική δομή της νήσου. Η τεκτονική της Σάμου είναι ίδια σε όλη της την έκταση, απλή (κανονικά ρήγματα) και έντονη. Επικρατούν ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, που την κατακερματίζουν, προσδίδοντάς της έντονο ανάγλυφο. Τα ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ αποτελούν το 75% του συνόλου, ενώ τα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ μέχρι και Α-Δ, αποτελούν μόνο το 25%.

Το μεταμορφωμένο σύστημα και τα υπερκείμενα Μεσοζωικά ανθρακικά ιζήματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες) πτυχώθηκαν πριν και κατά το Παλαιοτριτογενές, με κύριο άξονα πτύχωσης διεύθυνσης περίπου ΒΑ-ΝΔ, που συμπίπτει με τη διεύθυνση των οροσειρών της Σάμου. Οι ασκούμενες τεκτονικές ωθήσεις και συμπίεσεις των στρωμάτων υπήρξαν έντονες, εκδηλούμενες στην κατά κανόνα πολυπτυχωμένη δομή των πλαστικών σχιστολίθων και στις ασαφείς, μεγάλης ακτίνας, πτυχές των άκαμπτων ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Στη φάση δε των πτυχώσεων αυτών, οφείλεται και η ορογένεση της Σάμου. Η τεκτονική των διαρρήξεων συνοδευόμενη από κατακόρυφες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις συνέβαλε λίγο-πολύ στις σημερινές μορφολογικές γραμμές.

Δύο είναι οι κύριες ρηγματογόνες φάσεις που έδρασαν καθοριστικά στη διαμόρφωση της δομής της Σάμου. Η πρώτη αποτελείται από δύο οικογένειες κατακόρυφων και σχεδόν κατακόρυφων ρηγμάτων, διευθύνσεων ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ αντίστοιχα που είναι περίπου κάθετες μεταξύ τους και τοποθετούνται χρονικά μετά τις φάσεις των πτυχώσεων. Κατά τη φάση των διαρρήξεων δημιουργήθηκαν δυο τεκτονικές λεκάνες εντός των οποίων αποτέθηκαν Νεογενή ιζήματα, ενώ ταυτόχρονα εκδηλώνεται και ηφαιστειακή δράση.



Εικόνα 15. Σχηματική απεικόνιση των τεκτονικών τεμαχών της Σάμου (Μουρτζάς & Σταυρόπουλος, 1989)

Τα ιζήματα των δυο λεκανών Καρλόβασι και Μυτιληνιών βρίσκονται ασύμφωνα με το υπόβαθρο (κρυσταλλοσχιστώδες). Η ανατολική λεκάνη (Μυτιληνιών) πρέπει να ήταν κοντά σε ένα ενεργό ηφαιστειακό κέντρο επειδή οι τόφοι βρίσκονται σε όλη την ιζηματογενή σειρά.

Η δεύτερη ρηγματογόνος φάση, που ακολούθησε την πρώτη, έλαβε χώρα κατά το Τεταρτογενές και συνοδεύτηκε από ένα κύριο σύστημα ρηγμάτων Α-Δ διεύθυνσης.

Οι διευθύνσεις του ρηγματογόνου τεκτονισμού έχουν δημιουργήσει διακοπές στη συνέχεια των λιθολογικών σχηματισμών και τοπικά συνοδεύονται από σημαντικές κερματισμένες ή μυλονιτωμένες ζώνες με τεκτονικά λατυποπαγή.

Η μελέτη των παλαιών ακτογραμμών έδειξε ότι η Σάμος αποτελείται από 4 τουλάχιστον διαφορετικά τεκτονικά τεμάχια με διαφορετική τεκτονική συμπεριφορά (Εικόνα 15).

- Το δυτικό τέμαχος έχει περιστραφεί γύρω από έναν άξονα με διεύθυνση Α-Δ, προκαλώντας την ανύψωση της βόρειας και την βύθιση της νότιας πλευράς του. Η βόρεια πλευρά έχει αναδυθεί στη διάρκεια τριών κυρίως παροξυσμικών φάσεων, το μέγεθος, το εύρος και η συχνότητα των οποίων διαφέρει. Αντίθετα με την βόρεια, η νότια πλευρά έχει βυθιστεί σε μια μόνο φάση (Εικόνα 16).
- Αν και δεν υπάρχουν στοιχεία που να επιτρέπουν το συσχετισμό των παλαιών ακτογραμμών, το δυτικό τέμαχος φαίνεται ότι λειτούργησε ουσιαστικά ως τεκτονικό δίπολο μόνο κατά την τελευταία φάση, με ανύψωση κατά 0,70m της βόρειας και βύθιση κατά 0,60m της νότιας πλευράς του. Στη διάρκεια των δυο παλαιότερων φάσεων, η βόρεια πλευρά συμπεριφέρθηκε ως ανεξάρτητο τεκτονικό τέμαχος. Το τέμαχος αυτό περιστράφηκε γύρω από τον Α-Δ διεύθυνσης οριζόντιο άξονα, σε δεξιόστροφη διεύθυνση, ενώ το νότιο τμήμα της δυτικής πλευράς έμεινε σταθερό. Το νότιο όριο του τεκτονικού αυτού τεμάχους φαίνεται ότι αποτέλεσαν οι δυο ρηξιγενείς ζώνες της βόρειας και νότιας πλευράς του Κερκετέα, ενώ προς τα ανατολικά οριοθετείται από την δυτική ρηξιγενή ζώνη της λεκάνης του Καρλοβασίου. Στη διάρκεια αυτών των μεταγενέστερων της αρχικής καταβύθισης κάθετων τεκτονικών κινήσεων, ανυψώθηκε και ένα τμήμα των βυθισμένων ψηφιδωπαγών αιγιαλών, ενώ, σε ορισμένες περιπτώσεις, σχηματίστηκαν καινούργιοι (π.χ. σημερινή παραλία στη θέση δυτικά του λιμένα του Καρλοβασίου, βυθισμένοι ψηφιδωπαγείς αιγιάλοι στον όρμο Λημνιώννα).
- Το νότιο τμήμα της κεντρικής Σάμου, αποτελεί ένα δεύτερο τεκτονικό τέμαχος που έχει υποστεί μια παλινδρομική κίνηση (ανάδυση, βύθιση) της τάξης των 0,20m γύρω από έναν άξονα με διεύθυνση Α-Δ. Η ανοδική κίνηση κατά τη διάρκεια της οποίας σχηματίστηκε και το ανυψωμένο τμήμα των παράκτιων σχηματισμών του ακρωτηρίου Τσόπελα, θεωρείται παλαιότερη και η καθοδική νεότερη, χρησιμοποιώντας ως τεκμήριο χρονολόγησης, τα τεμάχια των κεραμικών που βρέθηκαν ενσωματωμένα σε όλο το πάχος του βυθισμένου τμήματος του σχηματισμού. Το προς βορρά όριο του τεκτονικού αυτού τεμάχους, φαίνεται να αποτελεί η Α-Δ διεύθυνσης ρηξιγενής ζώνη που περνάει από την θέση Λιμνονάκι, ενώ το ανατολικό και το δυτικό όριο αποτελούν η ανατολική και η δυτική ρηξιγενής ζώνη της λεκάνης του Καρλοβασίου και των Μυτιληνιών αντίστοιχα (Εικόνα 16).
- Το ανατολικό τέμαχος έχει υποστεί συνολικά μια βύθιση της τάξης των 0,50 m. Το προς τα δυτικά όρια του τεκτονικού τεμάχους, φαίνεται να αποτελεί η ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρηξιγενής ζώνη Βαθέος-Ψιλής Άμμου.

Για την βόρεια ακτή του κεντρικού τμήματος καθώς και για τις βόρειες και νότιες ακτές των Νεογενών λεκανών, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία ώστε να τις κατατάξουμε ως αυτοτελή τεμάχια ή ως τμήματα των ήδη καθορισθέντων.



Εικόνα 16. Τεκτονικός χάρτης της νήσου Σάμου όπου εμφανίζονται τα υψόμετρα των παλαιών ακτογραμμών (Θεοδωρόπουλος, 1979)

Στη νότια ακτή της λεκάνης των Μυτιληνίων, δυτικά του Πυθαγορείου, η άνοδος του υδροφόρου οριζοντα στους αρχαιολογικούς χώρους αποτελεί ένδειξη βύθισης της περιοχής.

2.5.4. Ανάλυση της ρηξιγενούς τεκτονικής

Στην ρηξιγενή τεκτονική της Σάμου κυριαρχούν τα κρασπεδικά ρήγματα απόσπασης (detachment faults) των δυο μεγάλων λεκανών, των Μυτιληνίων και του Καρλοβάσιου. Επιπλέον, στη Σάμο υπάρχει ένα πυκνό δίκτυο άλλων ρηξιγενών δομών, ορισμένες από τις οποίες έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη μελέτη του σεισμικού κινδύνου.

Στο ανατολικό τμήμα της νήσου, παρατηρούμε μεγάλα ρήγματα, δηλαδή ρήγματα που έχουν μεγάλο μήκος ανάπτυξης (πάνω από 15km) και τα οποία είναι δυνατόν αν επαναδραστηριοποιηθούν να προκαλέσουν μεγάλο σεισμό ($M_s > 6R$).

Στο ανατολικό τμήμα της νήσου διαπιστώθηκε ότι οι ρηξιγενείς δομές αποτελούν τόσο ρήγματα κανονικά και ανάστροφα, όσο και οριζόντιας μετατόπισης, δημιουργώντας έτσι ένα πολύπλοκο δίκτυο τεκτονικών δομών. Συχνά, επίσης στις ρηξιγενείς επιφάνειες, διαπιστώθηκαν διαφορετικής γενεάς κινήσεις, άλλοτε με σημαντικότερη την οριζόντια συνιστώσα και άλλοτε την κατακόρυφη.

- Τα ανάστροφα ρήγματα αναπτύσσονται κυρίως με Β-Ν παράταξη και φορά κίνησης προς τα Α ή Δ παρουσιάζοντας εντούτοις μια μικρή διακύμανση της διεύθυνσης της ανάπτυξής τους από τα ΒΔ έως τα ΒΑ, με αντίστοιχη διακύμανση της φοράς κίνησής τους. Παρατηρήθηκαν τόσο στα Νεογενή ιζήματα της λεκάνης των Μυτιληνίων, όσο και στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Οι γραμμώσεις ολίσθησης, που έχουν μετρηθεί στις ρηξιγενείς

επιφάνειες, παρουσιάζουν συχνά εκτός από την κύρια κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης και κάποια οριζόντια συνιστώσα κίνησης, ώστε τα ρήγματα τις περισσότερες φορές να εμφανίζονται με χαρακτηρισές πλαγιο-ανάστροφων ρηγμάτων.

- Τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης αναπτύσσονται κυρίως με ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ παράταξη και δεξιόστροφη την οριζόντια συνιστώσα κίνησής τους, καθώς επίσης με ΒΔ-ΝΑ έως ΒΒΔ-ΝΝΑ παράταξη και αριστερόστροφη την οριζόντια συνιστώσα κίνησής τους. Όσον αφορά στην κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης, τις περισσότερες φορές, συνδέεται με την κίνηση του επάνω προς τα κάτω. Αποκλίσεις από τη συζυγή αυτή ανάπτυξη των ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης παρατηρήθηκαν σε μικρή κλίμακα. Παρατηρήθηκαν τόσο στα Νεογενή ιζήματα της λεκάνης των Μυτιληνίων, όσο και στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο.
- Τα ρήγματα με κανονική και κύρια την κατακόρυφη συνιστώσα κίνησής τους εμφανίζονται ως ένα πυκνό δίκτυο ρηξιγενών δομών με ποικίλες διευθύνσεις ανάπτυξης, που επηρεάζουν τόσο τα Νεογενή ιζήματα, όσο και το μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Ορισμένα εντούτοις, παρουσιάζουν πολύπλοκη κινηματική, με διαφορετικής ηλικίας κινήσεις, όπου άλλοτε υπερτερεί η οριζόντια συνιστώσα κίνησης και άλλοτε η κατακόρυφη, γεγονός που δείχνει την πολλαπλή δράση των ρηγμάτων αυτών στη γεωλογική ιστορία τους.

Κριτήρια αλληλεπίδρασης μεταξύ των γραμμώσεων ολίσθησης φανερώνουν τις περισσότερες φορές, ότι η κίνηση που έχει ως κύριο στοιχείο την κατακόρυφη συνιστώσα είναι η νεότερη.

Διακρίθηκαν 3 (τρεις) κύριες διευθύνσεις ανάπτυξης των ρηγμάτων αυτών:

1. ΒΒΑ-ΝΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ
2. ΒΔ-ΝΑ έως ΔΝΔ-ΝΝΑ
3. ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΔΝΔ-ΑΒΑ

Στρωματογραφικά κριτήρια και τεκτονικά κριτήρια αλληλεπίδρασης των γραμμώσεων ολίσθησης στους καθρέπτες των ρηγμάτων του συνόλου 3, με ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΔΝΔ-ΑΒΑ ανάπτυξης συνδέονται με τη νεότερη τεκτονική δράση στη νήσο, η οποία όμως αποτυπώνεται γεωμετρικά, συχνά και στα ρήγματα με την ανάπτυξη των 1 και 2 συνόλων. Αυτό δείχνει ταυτόχρονη λειτουργία των ρηγμάτων διαφορετικών παρατάξεων κατά το νεότερο τεκτονικό πεδίο.

Ως παλιότερες αρχικά, τεκτονικές γραμμές αναγνωρίστηκαν, αυτές του 1 συνόλου, με ΒΒΑ-ΝΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ παράταξη.

Η δυναμική των ρηγμάτων, που ανήκουν στο 3 σύνολο, παρουσιάζει ανάλογη συμμετρία με το γενικά παραδεκτό, ενεργό πεδίο τάσεων του Νότιου Αιγαίου, όπου ο μέγιστος εφελκυσμός αναπτύσσεται κατά διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ.

Εντούτοις, στα ρήγματα της ομάδας αυτής έχουν παρατηρηθεί και παλαιότερες κινήσεις, συνδεδεμένες με οριζόντια συνιστώσα κίνησης. Αυτό σημαίνει ότι ορισμένα τουλάχιστον από τα ρήγματα αυτά είχαν πολλαπλή δράση στο παρελθόν από την επίδραση παλιότερων δυναμικών πεδίων, διαφορετικών από το ενεργό πεδίο των τάσεων.

Η ηλικία κίνησης των μεγάλων ρηγμάτων, τουλάχιστον ως προς την κύρια, νεότερη κατακόρυφη συνιστώσα κίνησής τους, υπολογίζεται Πλειοκαινική και νεότερη.

2.5.5. Σεισμικότητα

Η Σάμος, η Ικαρία και τα υπόλοιπα νησιά του κεντροανατολικού Αιγαίου έχουν πληγεί στο παρελθόν από μερικούς από τους πιο δυνατούς και πιο καταστροφικούς σεισμούς που έχουν σημειωθεί στο Αιγαίο. Κατά το 19 αιώνα, η Σάμος ταρακουνήθηκε από αρκετούς μεσαίου μεγέθους σεισμούς που είχαν μικρές συνέπειες, αλλά το 1904 και το 1955 δυο μεγάλοι σεισμοί με μέγεθος 6,8 και 6,9 αντίστοιχα, προκάλεσαν πολλές ζημιές (Stiros, 1995, Parazachos & Parazachou, 1997). Ο σεισμός του 1955 συσχετίστηκε με ένα μικρού μεγέθους τσουνάμι που προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές στο Πυθαγόρειο. Αυτό το γεγονός προφανώς προκάλεσε την ενεργοποίηση ενός ρήγματος κατά μήκος του ποταμού Menderes στη Τουρκία (Saroglu et al., 1992).

Παλιότεροι σεισμοί, είχαν πολλούς θανάτους τόσο στην Σάμο όσο και στην ευρύτερη περιοχή. Ο σεισμός του 1881 που σκότωσε περίπου 4550 ανθρώπους στο νησί της Χίου μόνο (Parazachos & Parazachou, 1989) ήταν ο μεγαλύτερος καταγεγραμμένος θανατηφόρος σεισμός στην Ελλάδα τους τελευταίους αιώνες. Αυτός ο σεισμός οδήγησε ένα μεγάλο αριθμό από Χιώτες να ξεφύγουν από το νησί, που κυριαρχούνταν από τους Τούρκους, και να μετακινηθούν στην Σάμο.

Πάντως, λίγες μελέτες σεισμών έχουν γίνει σε αυτά τα νησιά, και η σεισμική ιστορικότητα παραμένει, σε μεγάλο βαθμό, άγνωστη. Για παράδειγμα, για την περίοδο 1500 π.Χ.-1800μ.Χ. ο σεισμικός κατάλογος των Parazachos & Parazachou (1989) δεν περιλαμβάνει ούτε ένα γεγονός για την Σάμο. Ο κατάλογος του Guidoboni et al. (1994), καλύπτοντας την περίοδο πριν το 1000 μ.Χ., καθώς και ο πιο πρόσφατος κατάλογος των Parazachos & Parazachou (1997), έχουν καταγράψει μόνο δύο σεισμούς (circa 200 π.Χ. και circa 47 μ.Χ.).

Από την άλλη, μπορεί να γίνει αναφορά ενός καταστροφικού σεισμού από την παραλίγο ολική καταστροφή και ανακατασκευή του μνημειακού ναού της Ήρας (ναός του Ρόικου), λίγες μόνο δεκαετίες αφότου ολοκληρώθηκε το 560/570 π.Χ..

| Ημερομηνία | φ° | λ° | M | Μέγιστη ένταση |
|---------------------|-------|-------|-----|------------------|
| 200 π.Χ. | 37,7 | 26,9 | 6,3 | Σάμος (VIII) |
| 47 π.Χ. | 37,84 | 27,16 | 6,9 | Σάμος (VIII) |
| 1751, 18 Ιουνίου | 37,8 | 27,1 | 6,4 | Σάμος (VIII) |
| 1831, 3 Απριλίου | 37,7 | 26,8 | 6,0 | Σάμος (VII) |
| 1846, 13 Ιουνίου | 37,6 | 27,0 | 6,0 | Σάμος (VII) |
| 1846, 11 Οκτωβρίου | 37,7 | 27,0 | 6,0 | Σάμος (VII) |
| 1868, 3 Μαΐου | 37,6 | 26,9 | 6,0 | Παγώνδας (VII) |
| 1873, 31 Ιανουαρίου | 37,8 | 27,1 | 6,5 | Σάμος (VII) |
| 1877, 14 Οκτωβρίου | 37,7 | 27,0 | 6,0 | Κοκκάρι (VIII) |
| 1893, 12 Μαρτίου | 37,9 | 26,9 | 6,6 | Σάμος (VII) |
| 1904, 11 Αυγούστου | 37,66 | 26,93 | 6,8 | Σάμος (VIII) |
| 1955, 16 Ιουλίου | 37,55 | 27,05 | 6,9 | Αγαθονήσι (VIII) |

Πίνακας 5. Στοιχεία γνωστών ισχυρών ($M \geq 6,0$) σεισμών που προκάλεσαν ζημιές στη Σάμο

2.5.6. Παλαιογεωγραφία

Κατά τη νεογενή περίοδο η Σάμος και η Δυτική Ανατολία (δυτική Τουρκία) ήταν κομμάτι μιας μεγαλύτερης ηπειρωτικής περιοχής, συνδεδεμένη με την κεντρική Ελλάδα (νησί της Εύβοιας και την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας; Dermitzakis & Paraniakolaou, 1981), αλλά λεπτομέρειες για την παλαιογραφική εξέλιξη των ακτών της Σάμου δεν είναι διαθέσιμες. Είναι, πάντως, πιθανό πως οι σημερινές δυτικές και νοτιοδυτικές ακτές του νησιού να αναγνωριστούν ως οι ακτές της πλειοκαινικής θάλασσας που περιλαμβάνει τα στενά μεταξύ της Ικαρίας και Πάτμου. Στοιχεία για αυτή την θάλασσα είναι διαθέσιμα από την παρατήρηση θαλάσσιων επιφανειών στην βορειοανατολική ακτή της Ικαρίας, σε υψόμετρο πάνω των 108 μέτρων (Georgalas, 1953, Κτενάς & Μαρίνος, 1969).

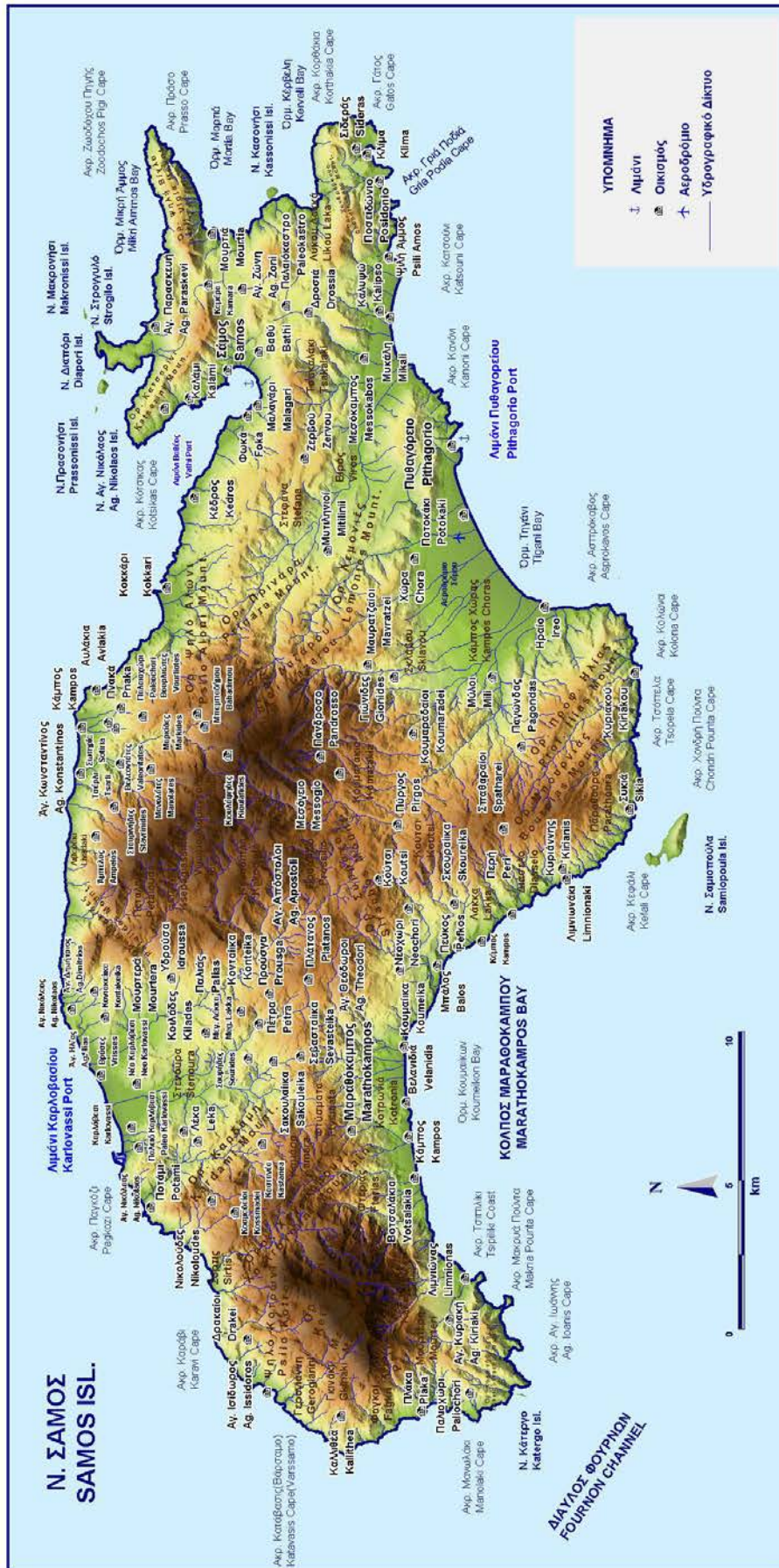
2.5.7. Υδρολογία περιοχής

Η Σάμος δεν έχει σημαντικούς ποταμούς ή λίμνες. Υπάρχουν μόνο ξεροπόταμοι που διατηρούν το νερό το χειμώνα, οι περισσότεροι των οποίων πηγάζουν από τον κεντρικό όγκο της Αμπέλου.

Η νήσος Σάμου διαθέτει αρκετές πηγές. Οι πολλές βροχοπτώσεις και η πυκνή βλάστηση συντελούν ώστε, να υπάρχουν άφθονα υπόγεια νερά. Η ύδρευση των περισσότερων οικισμών γίνεται από πηγές και μικρού βάθους γεωτρήσεις.

Δυστυχώς, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες των κατοίκων, των καλλιεργειών και της μεγάλης ανάπτυξης του τουρισμού έχει επηρεάσει αρνητικά το υδατικό δυναμικό. Επίσης, το ποσοστό συγκράτησης των επιφανειακών νερών έχει μειωθεί σημαντικά μετά τις τελευταίες, μεγάλης έκτασης, πυρκαγιές.

Χαρακτηριστικό της ευρύτερης περιοχής αποτελεί το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, μέσω του οποίου εξασφαλίζεται η απορροή της περιοχής μελέτης. (Προβατάς κ. ά., 2004).



Εικόνα 17. Υδρογραφικό δίκτυο Σάμου

2.5.9. Υδρογεωλογία

Τα εδάφη στις εκβολές χειμάρρων είναι αλλουβιακά και αυτόχθονα ή κολλουβιακά στις πλαγιές των υψωμάτων, βαθιά ως μετρίου βάθους, χαλικώδη καλής διαπερατότητας. Τα εδάφη στα επικλινή είναι αναβαθμιδωμένα με ξερολιθιές, είναι καλής γονιμότητας και χωρίς περίσσεια αλάτων.

Η υδρολογική συμπεριφορά των λιθολογικών σχηματισμών που καλύπτουν την επιφάνεια της περιοχής και δομούν το υπέδαφος της είναι η εξής:

Οι αλλουβιακές αποθέσεις των χαμηλών περιοχών που αποτελούνται από στρώματα αργιλοϊλύων, άμμων και χαλικομιγών σχηματισμών έχουν γενικά υψηλό υδροφόρο ορίζοντα με περατότητες που ποικίλουν ανάλογα με την κοκκομετρία που επικρατεί στα διάφορα στρώματα.

Τα πλευρικά (ασβεστολιθικά κυρίως) κορήματα που αποτελούνται γενικά από ασύνδετα αδρομερή υλικά (άμμοις, χαλίκια, λατύπες και τοπικά ογκολίθους) και έχουν συνήθως πάχος λίγων μέτρων, παρουσιάζουν κατά κανόνα ικανοποιητικές υδατοπερατότητες.

Οι αποθέσεις των χειμαρρικών αναβαθμιδών που αποτελούνται από αδρομερή σκληρά στοιχεία (άμμοι, χαλίκια, κροκάλες) και από λεπτόκοκκα συνδετικά συστατικά (άργιλοι, πηλοί, ιλύες) παρουσιάζουν γενικά στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από την εκάστοτε στάθμη που έχουν οι παρακείμενοι χείμαρροι.

Τα ανθρακικά ιζήματα (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες) με τοπικά έντονα καρστικά φαινόμενα κυρίως σε ρηγματογόνες ζώνες, παρουσιάζουν ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης υπόγειων υδάτων, τα οποία είτε εκφορτίζονται με μορφή καρστικών πηγών, είτε μεταγγίζονται υπεδαφικώς στις αλλουβιακές αποθέσεις και στα πλευρικά κορήματα.

Αντίθετα, οι μάργες αποτελούν πρακτικά στεγανούς σχηματισμούς, λόγω της λεπτομερούς υφής των αργιλικών και τοφφικών υλικών από τα οποία συντίθενται. (Προβατάς κ. ά., 2004).

2.6. Μετεωρολογικά – κλιματολογικά στοιχεία

Τα στοιχεία, που χρησιμοποιούνται για την εξέταση των επιμέρους παραγόντων του κλίματος, προέρχονται από παρατηρήσεις του Μετεωρολογικού Σταθμού Σάμου (Ε.Μ.Υ. 1978). Ο σταθμός αυτός είναι εγκατεστημένος στην περιοχή του αεροδρομίου, σε γεωγραφικό πλάτος 37°42', γεωγραφικό μήκος 26°55' και υψόμετρο 3 m.

Οι παρατηρήσεις καλύπτουν τα έτη 1950-1997 για το ύψος βροχής σε ημερήσια βάση. Όσον αφορά στα στοιχεία για την θερμοκρασία τα έτη 1931-1940 και 1946-1971, για την ηλιοφάνεια τα έτη 1959-1976 και για τους ανέμους τα έτη 1951-1977.

Από τα οποία προέκυψαν τα παρακάτω:

Η μέση υπερετήσια τιμή των κατακρημνισμάτων είναι ίση με 790 mm. Η ετήσια πορεία της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα παρουσιάζει απλή διακύμανση. Το ελάχιστο παρατηρείται το μήνα Ιανουάριο (10,9 °C) και το μέγιστο τον μήνα Ιούλιο (26,5). Οι διαφορές στη μέση θερμοκρασία μεταξύ των καλοκαιρινών μηνών και των χειμερινών είναι πολύ μικρές, ενώ οι

μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρουσιάζονται στη θερμοκρασία την άνοιξη και το φθινόπωρο.

Το μέσο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι 15,6 και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18,4. Η ετήσια πορεία της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας είναι ανάλογη με την πορεία της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας.

Η σχετική υγρασία ακολουθεί αντίθετη πορεία από αυτή της θερμοκρασίας. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία μειώνεται και αντίστροφα. Το ελάχιστο (58%), παρατηρείται το μήνα Ιούλιο και το μέγιστο (73%) παρατηρείται το μήνα Δεκέμβριο. Η μέση ετήσια τιμή της σχετικής υγρασίας είναι 67%.

Η ξηρή περίοδος για το νησί διαρκεί περίπου 5 μήνες, από τα τέλη Μαΐου μέχρι τα τέλη Οκτωβρίου και οφείλεται κατά κύριο λόγο στους βόρειους ξηρούς ηπειρωτικούς ανέμους (μελτέμια), που επικρατούν την εποχή αυτή στην περιοχή.

Στη Σάμο οι επικρατέστεροι άνεμοι όλο το χρόνο είναι οι ΒΔ και οι ΝΑ με μέση ταχύτητα 2,5-3,1 της κλίμακας Beaufort. Οι θερινοί βόρειοι άνεμοι που εμφανίζονται στην περιοχή είναι ηπειρωτικοί, ξηροί και ονομάζονται Ετησίοι (Μελτέμια). Πνέουν με διαλείμματα από το τέλος Μαΐου μέχρι το τέλος Οκτωβρίου. Μεγαλύτερη συχνότητα παρουσιάζουν το μήνα Αύγουστο. Η ισχύς του ανέμου παρουσιάζει μέγιστο κατά το χειμώνα.

Το νησί της Σάμου ανήκει στις περιοχές εκείνες που παρουσιάζουν μέγιστο ηλιοφάνειας. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας στο νησί είναι 2884,8. ο Ιούλιος μήνας έχει το μεγαλύτερο αριθμό ωρών ηλιοφάνειας, ήτοι 377,6 ώρες κατά μέσο όρο, ενώ ο Δεκέμβριος τον ελάχιστο (122,4 ώρες κατά μέσο όρο). Ο μέσος αριθμός των αίθριων ημερών κατά έτος (νέφωση: (0-0,15)/8) είναι περίπου 153 και των νεφοσκεπών (νέφωση:(6,5-8)/8) 56.

Ακραίες κλιματολογικές συνθήκες όπως παγετοί, χαλάζι, χιόνι, δρόσος, ομίχλη και καταιγίδες παρουσιάζονται σχετικά λίγες ημέρες το χρόνο. (Προβατάς κ. ά., 2004).

Αναλυτικά τα μετεωρολογικά στοιχεία παρουσιάζονται στους πίνακες 6 & 7.

| | I | Φ | M | A | M | I | I | I | A | Σ | O | N | Δ | E |
|--|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|----|
| Βροχόπτωση (mm) | 205 | 138 | 101 | 50 | 38 | 4,8 | 0,2 | 0,4 | 9,2 | 51 | 112 | 210 | 918,4 | |
| Θερμοκρασία °C | | | | | | | | | | | | | | |
| Μέση | 10,9 | 11,2 | 12,8 | 16 | 20 | 24 | 27 | 26 | 24 | 20 | 16,1 | 12,8 | 18,4 | |
| Μέση Μέγιστη | 13,7 | 14,3 | 16,1 | 20 | 24 | 28 | 30 | 30 | 27 | 23 | 19,3 | 15,6 | 21,7 | |
| Μέση Ελάχιστη | 8,1 | 8,2 | 9,3 | 13 | 16 | 20 | 22 | 22 | 20 | 16 | 13,3 | 10,1 | 14,8 | |
| Απολύτως Μέγιστη | 21,8 | 21,9 | 26,8 | 31 | 36 | 37 | 39 | 38 | 37 | 33 | 30 | 25,9 | 38,7 | |
| Απολύτως Ελάχιστη | -4,3 | -3,8 | -0,2 | 4,2 | 8,2 | 14 | 16 | 18 | 10 | 5,5 | 0,4 | -2 | -4,3 | |
| Μέση Σχετική Υγρασία Αέρα (%) | 72 | 70 | 66 | 67 | 66 | 61 | 58 | 61 | 64 | 69 | 72 | 73 | 67 | |
| Άνεμος | | | | | | | | | | | | | | |
| Επικρατούσα | ΒΔ | ΝΑ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΒΔ | ΝΑ | ΒΔ |
| Ταχύτητα (B) | 2,9 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 2,7 | 3,1 | 3,5 | 3,3 | 2,9 | 2,5 | 2,6 | 3 | 2,9 | |
| Χιόνι (μέρες) | 0,3 | 0,1 | 0,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,5 | |
| Μερικός Παγετός Ε.Λ.Θ.<0°C (μέρες) | 0,6 | 0,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,1 | 0,8 | |
| Χαλάζι (μέρες) | 1,2 | 1,4 | 1 | 0,3 | 0,2 | - | - | - | - | - | 0,4 | 0,8 | 5,3 | |
| Δρόσος (μέρες) | 1,5 | 2 | 2,6 | 2,9 | 2,1 | 0,5 | 0,1 | 0,8 | 1,9 | 4,2 | 5,6 | 1,8 | 26 | |
| Ομίχλη (μέρες) | - | - | - | - | - | - | - | 0,2 | - | - | - | - | 0,2 | |
| Καταιγίδα (μέρες) | 5,1 | 4,8 | 3,7 | 1,8 | 1,6 | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 1 | 2,6 | 4 | 4,4 | 30,3 | |

Πίνακας 6. Μετεωρολογικά στοιχεία νήσου Σάμου. (Πηγή: Προβατάς κ. ά., 2004).

| ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΑΘΕΟΣ | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-----|-----|------------------|-------|--------|--|
| ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ 2006 - 7 | Ta | RH | Rain | WS | WD | Soil_Rad | Tsoil | Patm | |
| ΜΗΝΑΣ | °C | % | mm | m/s | ° | W/m ² | °C | hP | |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 22,3 | 67,1 | 6,2 | 2,5 | ΔΒΔ | 154148,2 | 25,8 | 997,5 | |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 18,7 | 79,1 | 80,8 | 1,6 | ΔΒΔ | 106866,1 | 19,8 | 998,2 | |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 13,4 | 75,2 | 85,7 | 1,9 | NA | 78766,8 | 13,3 | 1003,0 | |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 10,9 | 72,8 | 0,9 | 2,1 | B | 64126,1 | 11,2 | 1008,4 | |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 11,1 | 69,9 | 17,3 | 2,6 | NA | 67337,2 | 10,4 | 1005,3 | |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 10,6 | 74,3 | 26,7 | 2,4 | NA | 80263,5 | 10,8 | 998,1 | |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 12,7 | 69,4 | 40,7 | 2,9 | NA | 130860,2 | 12,8 | 998,9 | |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 15,1 | 59,8 | 3,0 | 2,6 | ΔΒΔ | 187456,4 | 15,9 | 999,5 | |
| ΜΑΙΟΣ | 19,9 | 70,4 | 44,8 | 1,5 | NA | 204729,5 | 19,9 | 995,3 | |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 25,2 | 57,0 | 0,0 | 1,4 | ΔΒΔ | 216899,8 | 24,9 | 994,5 | |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 26,8 | 52,5 | 0,0 | 1,7 | ΔΒΔ | 229655,5 | 27,4 | 992,9 | |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 26,6 | 59,8 | 0,0 | 2,0 | ΔΒΔ | 200308,2 | 25,6 | 992,9 | |
| Sum | | | 306,1 | | | 1721417,5 | | | |
| ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ | °C | % | mm | m/s | ° | W/m ² | °C | hP | |

| ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ | |
|--------------------------------|----------|
| ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΟΣ | Ta |
| ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΟΣ | RH |
| ΟΛΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ | Rain |
| ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ | WS |
| ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ | WD |
| ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ | Tsoil |
| ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ | Patm |
| ΥΓΡΑΣΙΑ ΦΥΛΜΟΥ | LW |
| ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ | Soil_Rad |

Πίνακας 7. Μετεωρολογικά στοιχεία έτους 2006-2007 από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό Βαθέος

Κεφάλαιο 3
Γενικά στοιχεία
ιζητημάτων

3. Γενικά στοιχεία πλημμυρών

Γενικά, ως πλημμύρα ορίζεται κάθε μη συνήθης υψηλή ροή σε ένα ρεύμα (ποτάμι) που υπερβαίνει τις φυσικά διαμορφωμένες όχθες του. Η πλημμύρα αποτελεί ένα φυσικό χαρακτηριστικό των ποταμών. Τα πλημμυρικά πεδία είναι συνήθως ξηρές περιοχές. Αποτελούν ένα αναπόσπαστο τμήμα των υδρογραφικών δικτύων, το οποίο λειτουργεί ως ένα φυσικό ρεζερβουάρ και προσωρινό κανάλι για τα πλημμυρικά νερά. Στις περιπτώσεις που ο όγκος του νερού της βροχής είναι μεγαλύτερος από αυτόν που μπορεί να παροχетеύσει η κοίτη του ποταμού, το νερό θα υπερκαλύψει τις όχθες του ποταμού και θα απλωθεί στο πλημμυρικό πεδίο. Όμως, ο καθοριστικός παράγων για τις καταστροφές, δεν είναι η ποσότητα του νερού που παροχетеύεται, αλλά πόσο υψηλότερα ανεβαίνει η στάθμη του νερού πάνω από τις όχθες και τα αναχώματα. Επιπλέον, οι πλημμύρες μπορούν να δημιουργηθούν και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κοίτη, όπως για παράδειγμα όταν πέσει ασυνήθιστα υψηλή βροχόπτωση σε επίπεδη επιφάνεια και το έδαφος δεν προλαβαίνει να την απορροφήσει και το νερό δεν προλαβαίνει να παροχетеυτεί με το ρυθμό που πέφτει (Φουντούλης, 2006).

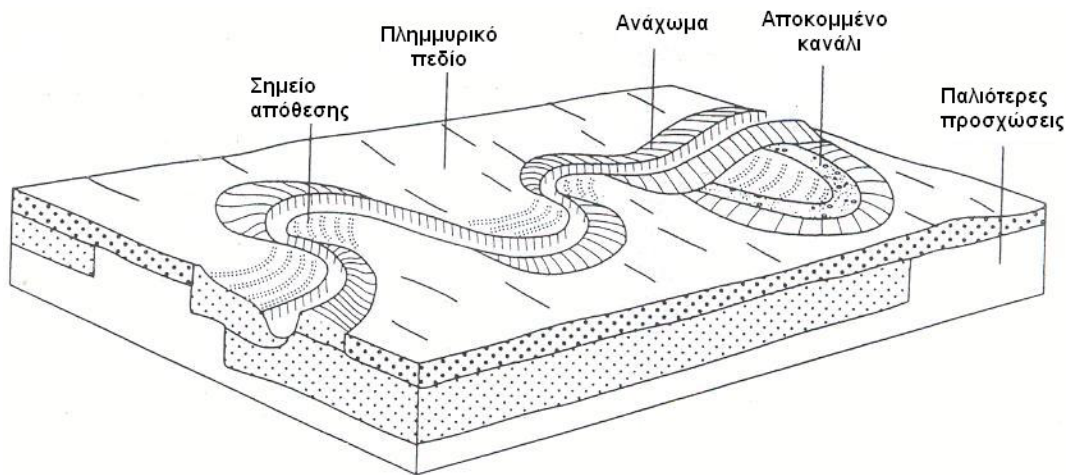
Πλημμυρικός κίνδυνος υφίσταται όταν απειλείται η ζωή των ανθρώπων ή οι περιουσίες τους από τα πλημμυρικά ύδατα. Οι πλημμύρες προκαλούν καταστροφές μέσω της δύναμης της κίνησης των υδάτων και μέσω της απόθεσης των υλικών που μεταφέρονται. Επιπλέον, τα πλημμυρικά ύδατα περιέχουν μεγάλες ποσότητες ιλύος και ενδεχομένως τοξικούς μικροοργανισμούς ή διαλυμένες χημικές ουσίες. Αυτό σημαίνει ότι οι πλημμύρες καθορίζουν συνήθως τα αποθέματα πόσιμου νερού, με συνέπεια τις βραχυπρόθεσμες ελλείψεις του πόσιμου νερού στην πλημμυροπαθείσα περιοχή.

| Κατηγορία | Απτά | Άυλα |
|---------------|--|---|
| Πρωτογενείς | Άμεσες Θύματα, υλικές απώλειες (οικοδομές, καλλιέργειες, οχήματα) | Αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα, ρύπανση, καταστροφή πολιτισμικής κληρονομιάς. |
| | Έμμεσες Απώλειες παραγωγής. Απώλεια εισοδήματος. | Κοινωνική αναστάτωση, συναισθηματική φόρτιση, ψυχολογικό στρες. |
| Δευτερογενείς | Απώλειες παραγωγής έξω από την πλημμυροπαθείσα περιοχή, ανεργία, μετανάστευση. | Καταστροφές στο οικοσύστημα έξω από την πλημμυροπαθείσα περιοχή. |

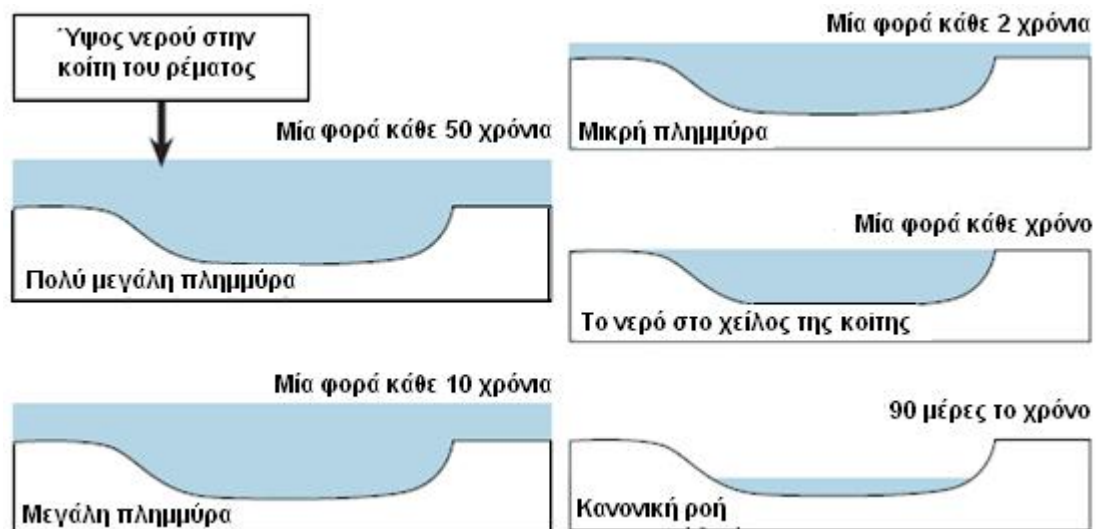
Πίνακας 8. Αρνητικές επιπτώσεις πλημμυρών
(Πηγή: De Bruijn & Klijn, 2009)

Οι πλημμύρες αν και ασκούν πολλές αρνητικές επιδράσεις στους ανθρώπους, είναι επίσης μέρος των φυσικών διεργασιών που διαμορφώνουν τη φυσιογραφία του αναγλύφου της γης. Τα πλημμυρικά πεδία των ποταμών και των ρεμάτων είναι μεταξύ των πιο εύφορων περιοχών. Τα περισσότερα από τα αποκαλούμενα “λίκνα του πολιτισμού” έχουν δημιουργηθεί μέσα στα πλημμυρικά πεδία για αυτό το λόγο. Ως εκ τούτου, οι άνθρωποι έχουν επηρεαστεί και θετικά και αρνητικά από τις πλημμύρες.

Η περιοχή γύρω από ένα ποτάμι που περιοδικά καλύπτεται από νερό λόγω υπερχειλίσσης της κοίτης του ποταμού είναι γνωστή ως πλημμυρικό πεδίο. Συνήθως είναι καλυμμένο από επίπεδα αποθέσεων άμμου, ιλύος και πηλού που εναποτέθηκαν από την υπερχειλίση του ποταμού. Τα πλημμυρικά πεδία εμφανίζονται κυρίως σε χαμηλού υψομέτρου ακτές και στις χαμηλότερες περιοχές ενός μεγάλου αλλουβιακού ποταμού. Ο πλημμυρικός κίνδυνος συχνά σχετίζεται πλημμυρικά πεδία εκατονταετούς περιόδου επανάληψης (περιοχή η οποία καλύπτεται από μια πλημμύρα με μέση περίοδο επανάληψης μία ανά αιώνα) (Doswell, 2003).



Εικόνα 18. Κύρια χαρακτηριστικά απόθεσης ενός μαιανδρικού καναλιού (αναδιαμόρφωση από Fisk, 1944).



Εικόνα 19. Συχνότητα εκδήλωσης πλημμυρών (πηγή: ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2007).

3.1. Τύποι πλημμυρών

Πλημμύρες ως άμεσο αποτέλεσμα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Όταν τα πλημμυρικά ύδατα προκύπτουν άμεσα από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, οι ατμοσφαιρικές διαδικασίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως οι άμεσα ευθυνόμενες για το γεγονός. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι βροχοπτώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις μέσες τιμές βροχόπτωσης για την συγκεκριμένη περιοχή. Μια πλημμύρα εμφανίζεται όταν τέτοιες βροχοπτώσεις υπερβαίνουν την ποσότητα που μπορεί να ανεχτεί το έδαφος. Κατά συνέπεια, οι τιμές των βροχοπτώσεων που απαιτούνται για την εκδήλωση πλημμυρών δεν μπορούν να προσδιοριστούν ακριβώς. Ένα γεγονός έντονων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που προκαλεί μια πλημμύρα σε μια περιοχή, μπορεί να μην εκδηλωθούν πλημμυρικά φαινόμενα σε μία άλλη περιοχή. Γενικά, το όριο των βροχοπτώσεων που προκαλούν μια πλημμύρα αυξάνεται, όσο αυξάνεται η μέση ετήσια βροχόπτωση μιας περιοχής (Doswell, 2003).

Η δυνατότητα του εδάφους μιας υδρολογικής λεκάνης να συγκρατεί πάντοτε μια ορισμένη ποσότητα βροχής από κάθε επεισόδιο, υπό μορφή υγρασίας, καθορίζει μέχρι ενός βαθμού το μέγεθος της απορροής και παροχής που δημιουργούνται στο στόμια αυτής και οι οποίες στη συνέχεια είναι δυνατόν να δημιουργήσουν πλημμυρικά φαινόμενα στις χαμηλότερες περιοχές. Η ποσότητα υγρασίας που συγκρατεί το έδαφος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και μεταξύ αυτών είναι το βάθος του, η υφή και η δομή, η αρχική του υγρασιακή κατάσταση, το ύψος και η διάρκεια της βροχής κλπ. (Doswell, 2003).

i. Στιγμιαίες πλημμύρες (Flash floods) (Doswell, 2003)

Στιγμιαίες πλημμύρες ορίζονται ως εκείνα τα γεγονότα πλημμύρας όπου η άνοδος του νερού γίνεται είτε κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων είτε μέσα σε μερικές ώρες από τις βροχοπτώσεις που παράγουν την άνοδο. Επομένως, οι στιγμιαίες πλημμύρες εμφανίζονται μέσα σε μικρές λεκάνες απορροής (catchments), όπου ο χρόνος απόκρισης της υδρολογικής λεκάνης είναι σύντομος.

Πολλοί υδρολογικοί παράγοντες σχετίζονται με ένα περιστατικό στιγμιαίας πλημμύρας: κλίσεις εδαφών, εδαφολογικός τύπος, φυτική κάλυψη, ανθρώπινες εγκαταστάσεις, προγενέστερες βροχοπτώσεις κ.λπ.. Σε απότομες, βραχώδεις επιφάνειες, ή μέσα σε έντονα αστικοποιημένες περιοχές, ακόμη και ένα σχετικά μικρό ποσό βροχοπτώσεων μπορεί να προκαλέσει στιγμιαία πλημμύρα. Αυτοί οι υδρολογικοί παράγοντες καθορίζουν την απόκριση της λεκάνης απορροής στη συγκεκριμένη ποσότητα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Κατά συνέπεια, μια στιγμιαία πλημμύρα είναι σαφώς το αποτέλεσμα της αλληλουχίας μετεωρολογικών και υδρολογικών περιστάσεων.

Περιστασιακά, οι στιγμιαίες πλημμύρες δημιουργούνται σε συνθήκες που δεν είναι ευνοϊκές για καταγίδες αλλά παρόλα αυτά παράγουν ακραίες βροχοπτώσεις. Αυτό μπορεί να εμφανιστεί όταν ο υγρός αέρας αναγκάζεται να ακολουθήσει ανοδική πορεία πάνω από τα βουνά, σύμφωνα με την

πορεία του ανέμου, την αποκαλούμενη ορογραφική κατακρήμνιση (orographic precipitation).

Όταν μεγάλα ποσά βροχόπτωσης εμπίπτουν σε μια μικρή υδρολογική λεκάνη, μπορεί να εκδηλωθεί στιγμιαία πλημμύρα. Μερικές φορές, η περιοχή που πλήττεται περισσότερο από τις στιγμιαίες πλημμύρες μπορεί να λάβει ελάχιστες ή και καθόλου βροχοπτώσεις. Δηλαδή οι βροχοπτώσεις που προκαλούν το πρόβλημα μπορούν εμφανίζονται, συνήθως, προς τα ανάντη των περιοχών. Αυτός ο διαχωρισμός μεταξύ των βροχοπτώσεων και της πλημμύρας μπορεί να προκαλέσει σύγχυση, επειδή μπορεί να επικρατεί ανομβρία σε μια περιοχή για την οποία εκδίδονται προειδοποιήσεις για στιγμιαίες πλημμύρες.

Είναι η ταχύτητα του γεγονότος που κάνει την στιγμιαία πλημμύρα να είναι τόσο καταστρεπτική και επικίνδυνη. Οι στιγμιαίες πλημμύρες περιλαμβάνουν αυξανόμενη άνοδο και μεγάλης ταχύτητας ύδατα που μπορούν να κάνουν τεράστια καταστροφή. Τα περισσότερα μοιραία περιστατικά προκύπτουν από πνιγμό, ή τραυματισμούς από τα υλικά που μεταφέρουν τα πλημμυρικά ύδατα. Τα υλικά που μεταφέρονται μπορούν να διαμορφώσουν προσωρινά αναχώματα από συντρίμμια που για ένα μικρό χρονικό διάστημα συγκρατούν τα νερά στο πίσω μέρος του αναχώματος. Η αστοχία όμως των αναχωμάτων αυτών, που προκύπτει σχεδόν πάντα, οδηγεί έπειτα σε έναν τοίχο ύδατος που ογκώνεται προς τα κατόντη. Περιπτώσεις αστοχίας αναχωμάτων μπορούν να συμβούν επανειλημμένα κατά τη διάρκεια μιας στιγμιαίας πλημμύρας. Δεν χαρακτηρίζονται όλες οι πλημμύρες από τοίχο ύδατος, αλλά όλες (εξ' ορισμού) περιλαμβάνουν γρήγορη αύξηση των πλημμυρικών υδάτων.

Επειδή οι αστικοποιημένες περιοχές προάγουν την επιφανειακή απορροή, εμποδίζοντας μεγάλο τμήμα της βροχόπτωσης να απορροφηθεί στο έδαφος, οι στιγμιαίες πλημμύρες είναι πιθανότερο να εμφανιστούν στις πόλεις παρά στις αγροτικές περιοχές που περιβάλλουν μια πόλη.

ii. Ποτάμιες Πλημμύρες (River Floods)

Οι ποτάμιες πλημμύρες σε αντίθεση με τις στιγμιαίες πλημμύρες, ουσιαστικά δημιουργούνται σε διάστημα ημερών, ή ακόμα και μηνών. Αυτό είναι επειδή εμφανίζονται σε μεγάλες λεκάνες και είναι συνήθως το αποτέλεσμα πολλών μεμονωμένων επεισοδίων βροχοπτώσεων που κατανέμονται στην λεκάνη απορροής σε πολλές ημέρες. Στην πραγματικότητα, μέσα σε ένα γεγονός ποτάμιας πλημμύρας, διάφορα γεγονότα στιγμιαίων πλημμυρών μπορούν να εμφανιστούν. Όπως και στις στιγμιαίες πλημμύρες, οι υδρολογικοί παράγοντες συμβάλλουν συχνά σε μια ποτάμια πλημμύρα, αλλά οι ποτάμιες πλημμύρες δεν είναι τόσο ευαίσθητες σε αυτούς όπως είναι οι στιγμιαίες. Οι ποτάμιες πλημμύρες είναι συνήθως αποτέλεσμα ενός συνεχούς (ημερών) γεγονότος βροχόπτωσης. Τα έντονα γεγονότα βροχοπτώσεων εμφανίζονται πολλές φορές κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ημερών ή ακόμα και μηνών, κάθε ένα αποθέτει συγκεκριμένα ποσά βροχοπτώσεων στους παραπόταμους, οι οποίοι αποφορτίζονται έπειτα στον κύριο κλάδο του ποταμού. Η παροχή του ποταμού αυξάνεται βαθμιαία με την συμβολή των κλάδων. Η πιθανότητα των ποτάμιων πλημμυρών μπορεί να αυξηθεί με τη ταυτόχρονη τήξη του χιονιού και άλλους παράγοντες εκτός από τις βροχοπτώσεις. (Φουντούλης, 2006)

Λόγω της μεγάλης χρονικής περιόδου εκδήλωσης του φαινομένου ο κίνδυνος για μοιραία περιστατικά μειώνεται και οι άνθρωποι έχουν περισσότερο χρόνο να λάβουν κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης. Όμως, λόγω της μεγάλης κλίμακας των ποτάμιων πλημμυρών, η ζημία μπορεί να είναι τεράστια. Αναχώματα χρησιμοποιούνται συχνά για να προστατεύσουν τις κατοικημένες περιοχές, έτσι η αποτυχία εκείνων των αναχωμάτων μπορεί να παράγει σημαντικές απώλειες ιδιοκτησίας (Doswell, 2003).

iii. Παραποτάμιες πλημμύρες (Riverine Floods)

Οι παραποτάμιες πλημμύρες δημιουργούνται από βροχοπτώσεις που εμφανίζονται σε μεγάλης έκτασης περιοχές και απαιτούν περισσότερο χρόνο να προκληθούν. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε με εκτεταμένες βροχοπτώσεις είτε με την τήξη του χιονιού που έπεσε στην περιοχή κατά την διάρκεια του χειμώνα.

Ουσιαστικά είναι η κατανομή των βροχοπτώσεων στο υδρογραφικό δίκτυο το οποίο στην προκειμένη περίπτωση αποστραγγίζει μεγάλες εκτάσεις. Η κατάσταση του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιφανειακή απορροή, άρα και στην ένταση του φαινομένου (πλημμύρα) (Φουντούλης, 2006).

iv. Πλημμύρες που εμφανίζονται στις εκβολές των ποταμών (Estuarine Floods) (Doswell, 2003)

Οι πλημμύρες που εμφανίζονται στις εκβολές των ποταμών είναι συνήθως το αποτέλεσμα συνδυασμού περιστατικών, όπως ο συνδυασμός μια παλίρροιας που έχει δημιουργηθεί από δυνατούς ανέμους στα ανοιχτά της θάλασσας και ποτάμιας πλημμύρας που έχει προκληθεί από βροχοπτώσεις στην στεριά.

Πλημμύρες που προκύπτουν από γεγονότα διαφορετικά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Εκτός από τις πλημμύρες που προκύπτουν άμεσα από τις βροχοπτώσεις, υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα να προκαλέσουν πλημμύρες, ίσως πολύ αφότου έχουν εκδηλωθεί. Όταν τα ρέοντα ύδατα ελέγχονται από φράγματα, υπάρχει κάποιος κίνδυνος αστοχίας των φραγμάτων. Γρήγορη απελευθέρωση του αποθηκευμένου ύδατος μπορεί να είναι καταστροφική, δημιουργώντας ένα τεράστιο τοίχος νερού παρασύροντας τεράστιες ποσότητες υλικών.

Η πλημμύρα μπορεί επίσης να προκύψει μέσω της τήξης των χιονοπτώσεων. Σε περιπτώσεις όπου ο προηγούμενος χειμώνας είναι έντονος, μια ξαφνική αλλαγή θερμοκρασίας την άνοιξη μπορεί να οδηγήσει στην ανώμαλα γρήγορη τήξη και την απορροή του λιωμένου χιονιού.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα και τα τέλη της άνοιξης, δημιουργείται πάγος στους ποταμούς κυρίως σε ψυχρές γεωγραφικές περιοχές με κίνδυνο να δημιουργηθεί φυσικό φράγμα. Τα φράγματα πάγου αναγκάζουν τα νερά να συγκετρώνονται στα ανάντη του φράγματος προκαλώντας κατακλυσμό της συγκεκριμένης επιφάνειας. Σε περίπτωση αστοχίας αυτού του φράγματος οδηγεί σε ένα πλημμυρικό κύμα ύδατος προς τα κατάντη του με καταστρεπτική δύναμη.

Επίσης, καταστάσεις πλημμυρών μπορούν να αναπτυχθούν κατά μήκος των ωκεανών ακόμη και σε μεγάλες λίμνες γλυκού νερού. Τα τσουνάμι, που προκαλούνται από τους υποθαλάσσιους σεισμούς και τις υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, μπορεί να πλημμυρίσουν τις ακτές με τεράστια κύματα που καταλήγουν στα ρηχά νερά κοντά στην ακτή. Οι ακτές των μεγάλων λιμνών μπορούν να πλημμυρίσουν λόγω της περιοδικής ταλάντωσης της λίμνης (seiche) από μεγάλες ποσότητες ύδατος που συγκεντρώνονται στην λίμνη. Το seiches μπορούν να προκληθούν από σεισμούς, ή λόγω των ατμοσφαιρικών διαδικασιών.

3.2. Κοινωνικές επιπτώσεις των πλημμυρών και τρόποι μετριασμού τους (Doswell, 2003)

Τα αποτελέσματα των πλημμυρών στις κοινωνίες παγκοσμίως είναι σημαντικά. Οι πλημμύρες είναι υπεύθυνες για πολλά μοιραία περιστατικά. Οι στιγμιαίες και οι ποτάμιες πλημμύρες παράγουν χαρακτηριστικά περισσότερα μοιραία περιστατικά κάθε έτος από κάθε άλλη φυσική καταστροφή. Σε πολλά μέρη του κόσμου, τα μοιραία περιστατικά από πλημμύρες σχετίζονται με τις σημαντικότερες καιρικές καταστροφές.

Πολλοί άνθρωποι ζουν σε περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες: παραδείγματος χάριν, μέσα στα πλημμυρικά πεδία των ποταμών και των παραπόταμών τους, καθώς επίσης και κατά μήκος των ακτών που είναι τρωτές σε πλημμύρες. Η ανάπτυξη των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες για κατοίκηση και αναψυχή έχει αυξηθεί, με μια αντίστοιχη αύξηση στους κινδύνους για τη ζωή και την ιδιοκτησία.

Στην περίπτωση των στιγμιαίων πλημμυρών, είναι δύσκολο να ληφθούν μέτρα για να προστατευθεί η ιδιοκτησία, εξ αιτίας της ταχύτητας με την οποία συμβαίνει το γεγονός. Εντούτοις, η αποτροπή των θυμάτων είναι εφικτή, υπό τον όρο ότι οι προειδοποιήσεις μπορούν να εκδοθούν και να εφαρμοστούν έγκαιρα. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην αυξανόμενη δημόσια ευαισθητοποίηση για τους κινδύνους που υπάρχουν κατά την οδήγηση σε ταχέως αυξανόμενα πλημμυρικά ύδατα. Δυστυχώς, παρόλο την έγκαιρη προειδοποίηση μπορούν ακόμα να προκύψουν προβλήματα.

Η γραμματεία Πολιτικής Προστασίας των κατά τόπων περιοχών έχει εκδώσει ενημερωτικά φυλλάδια για τις ενέργειες που πρέπει να τηρηθούν από τους πολίτες πριν, κατά και μετά την εκδήλωση της πλημμύρας. Με την τήρηση των παραπάνω ενεργειών μετριάζονται οι επιπτώσεις των πλημμυρών και αποφεύγονται τα χειρότερα (ανθρώπινα θύματα και καταστροφή των περουσίων των κατοίκων).

Για τις ποτάμιες πλημμύρες και άλλες σχετικά αργά αναπτυσσόμενες καταστάσεις, ίσως είναι δυνατόν να μειωθούν οι καταστροφές των ιδιοκτησιών με την αφαίρεση του περιεχομένου των κατασκευών. Προφανώς, οποιεσδήποτε κατασκευές (και το περιεχόμενό τους) που χτίζονται σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες διατρέχουν μόνιμα κίνδυνο και ο μόνος τρόπος να εγλυθηθεί η προστασία τους από τις πλημμύρες είναι να μετακινηθούν από εκείνες τις περιοχές. Η αποτροπή των μοιραίων περιστατικών σε συμβάντα ποτάμιων πλημμυρών είναι θέμα προειδοποίησης των κατοίκων και ταυτόχρονη μετακίνησή τους από τις επικίνδυνες περιοχές προτού μειωθεί ο αριθμός επιλογών λόγω των

αυξανόμενων υδάτων και της αστοχίας των αναχωμάτων, ή άλλων κατασκευών πλημμυρικής πρόληψης.

Η πρόβλεψη των χαρακτηριστικών των πλημμυρών είναι ένα σημαντικό τμήμα του μετριάσμου. Γνωρίζοντας ακριβώς πότε και πού θα εμφανιστεί ένα πλημμυρικό γεγονός αναμφισβήτητα θα ήταν χρήσιμο, αλλά είναι επίσης σημαντικό να είναι ικανό να προσδοκήσει το μέγεθος της πλημμύρας. Στην πραγματικότητα, μια τέτοια πρόβλεψη δεν μπορεί ποτέ να είναι μια ακριβής δήλωση, η αβεβαιότητα είναι ένα μέρος κάθε πρόβλεψης, ένα σημείο που ίσως χρειάζεται μεγαλύτερη έμφαση στο μέλλον.

Η πλημμύρα, από την φύση της, είναι συνήθως αποτέλεσμα μετεωρολογικών και υδρολογικών διαδικασιών, ο χαρακτήρας μιας πλημμύρας καθορίζεται και από τη λεπτομερή συμπεριφορά της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης και από τη φύση της κατάστασης στην οποία το γεγονός είναι πιθανό να εμφανιστεί (εδαφολογικές συνθήκες, ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων κ.ά.). Δεν είναι γνωστό εάν οι λεπτομερείς προβλέψεις των πλημμυρικών γεγονότων θα είναι ποτέ εφικτές, αν και είναι σίγουρη η ικανότητά μας να προβλέψουμε τον πλημμυρικό κίνδυνο που ενδέχεται να έχουν τα περισσότερα πλημμυρικά γεγονότα. Η πρόκληση για τη μείωση των κοινωνικών επιπτώσεων των πλημμυρών είναι πόσο καλύτερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αβέβαιες μετεωρολογικές και υδρολογικές προβλέψεις που γίνονται με πρακτικά μέσα. Η πρόκληση είναι να γίνει αποτελεσματική χρήση οποιασδήποτε ικανότητας πρόβλεψης, με ταυτόχρονη επιδίωξη βελτίωσης της.

3.3. Αποτελέσματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην πλημμύρα

Εκτός από τους κινδύνους για τις ζωές και την ιδιοκτησία που διατρέχουν οι άνθρωποι που μετοικίζουν σε περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες, η ανάπτυξη περιλαμβάνει συχνά την απομάκρυνση της εγγενούς βλάστησης από το έδαφος και την αλλαγή των χαρακτηριστικών της επιγείας κάλυψης. Η βλάστηση λειτουργεί μαζί με το έδαφος ως αποθηκευτικός χώρος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, έτσι όταν απομακρύνεται η βλάστηση, η επιφανειακή απορροή των βροχοπτώσεων μπορεί να αυξηθεί αισθητά. Στην προκειμένη περίπτωση τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αντί να απορροφηθούν από το έδαφος και τη φυσική βλάστησή του, οδηγούνται στα ρέματα και τους ποταμούς, αυξάνοντας την πιθανή απειλή από στιγμιαίες και ποτάμιες πλημμύρες. Η οικοδόμηση των δρόμων και των κτηρίων ενεργεί επίσης ως αυξητικός παράγοντας της απορροής, και οδηγεί σε μια αυξημένη πιθανότητα αστικής πλημμύρας. Τέτοιες κατασκευές αυξάνουν εντυπωσιακά την επιφανειακή απορροή ανεξάρτητα από τις προηγούμενες βροχοπτώσεις. Οι πυρκαγιές που προκαλούνται από ανθρώπινες ενέργειες αυξάνουν τον πλημμυρικό κίνδυνο. Ειδικότερα, οι δυσμενείς επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς στη βλάστηση και το έδαφος της λεκάνης απορροής όπου εκδηλώνεται, αλλάζουν τελείως τους μηχανισμούς μετατροπής της βροχής σε απορροή στο υδρογραφικό της δίκτυο που επικρατούσαν στην αρχή και δημιουργούν νέες συνθήκες, που οδηγούν στην εκδήλωση πλημμύρας, ακόμα και από ύψη βροχής μικρής σχετικά περιόδου επαναφοράς. Η εκδήλωση πλημμύρας με την σειρά της, όχι μόνο επιδεινώνει τις επιπτώσεις στη λεκάνη απορροής, αλλά τις επεκτείνει στις

γεωργικές και αστικές περιοχές κατάντη αυτής. Είναι εμφανές ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνουν την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμύρας (Doswell, 2003).

3.4. Οι πλημμύρες ως φυσικός κίνδυνος

Σύμφωνα με την υδρολογική τυποποίηση, μια γεωγραφική έκταση χωρίζεται σε γεωγραφικές μονάδες, τις λεκάνες απορροής ποταμού, στις οποίες μπορεί να μελετηθεί το τμήμα του υδρολογικού κύκλου που αναφέρεται στη ροή του νερού της βροχής πάνω στο έδαφος μέχρι τη θάλασσα. Η λεκάνη απορροής διευκολύνει τη δημιουργία υδατικού ισοζυγίου, ώστε να μπορεί να μελετηθεί και να αξιοποιηθεί κατάλληλα. Το πιο ευαίσθητο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελεί η παράκτια ζώνη, που λόγω της εγγύτητας με τον τελικό αποδέκτη (τη θάλασσα) εκτίθεται σε πολλούς κινδύνους που προέρχονται και από την ξηρά και από τη θάλασσα. Στην Οδηγία 2000/60 αναφέρονται ιδιαίτερα και τα «Μεταβατικά ύδατα» και τα «Παράκτια ύδατα». Τα Μεταβατικά ως τα συστήματα κοντά στην έξοδο των ποταμών που είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειτνίασής τους με τα παράκτια ύδατα επηρεάζονται ουσιαστικά κυρίως από τα ρεύματα γλυκού νερού. Επίσης τα παράκτια ύδατα αναφέρονται ως τα επιφανειακά ύδατα σε ζώνη ενός ναυτικού μιλίου στην πλευρά της ξηράς.

Είναι συνεπώς κατανοητό ότι η παράκτια πεδινή ζώνη είναι το πιο ευάλωτο τμήμα της λεκάνης απορροής. Διευρύνοντας χωρικά την παράκτια ζώνη στην ευρύτερη πεδινή ζώνη της λεκάνης απορροής ο μεγαλύτερος ίσως κίνδυνος προέρχεται από τις πλημμύρες που προκαλούνται από ραγδαίες βροχές στο ορεινό τμήμα της λεκάνης.

Όπως κάθε φυσικός κίνδυνος, έτσι και οι πλημμύρες αυτού του τύπου μελετώνται καλύτερα αν η ανάλυσή τους βασιστεί στην μελέτη τριών διαφορετικών εννοιών που συνδέονται μεταξύ τους και καταλήγουν στην εκτίμηση της πραγματικής διακινδύνευσης της περιοχής.

Στη σχέση κίνδυνος – τρωτότητα – διακινδύνευση οι πλημμύρες της κατηγορίας που μελετούμε μπορούν να αντιστοιχηθούν και να περιγραφούν όπως ακολούθως:

Κίνδυνος (hazard) είναι μια πηγή ή κατάσταση που μπορεί να προκαλέσει δυνητικά βλάβη ή καταστροφή σε ένα φυσικό, τροποποιημένο ή ανθρώπινο σύστημα. Ο κίνδυνος μπορεί επιστημονικά να περιγραφεί με διάφορους τρόπους όπως η πιθανότητα εκδήλωσης τέτοιων φαινομένων, το διακύβευμα σε περίπτωση που ένα τέτοιο γεγονός συμβεί ή και τα δύο (Tsakiris, 2007, Thywissen, 2006).

Στην περίπτωση των πλημμυρών που προέρχονται από την ορεινή ζώνη, η περιγραφή του κινδύνου μπορεί να αναφέρεται στην ποσοτικοποιημένη περιγραφή της πλημμύρας (π.χ. υδρογράφημα εισροής στην πεδινή/παράκτια ζώνη) με παράλληλη εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας τέτοιας πλημμύρας.

Πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα φαινόμενα πλημμύρας δεν οφείλονται μόνο σε φυσικούς λόγους, όπως η έντονη διαταραχή της ατμόσφαιρας, που προκαλεί ραγδαίες βροχές. Πολλές φορές ανθρωπογενείς λόγοι (που δεν περιγράφονται από πιθανότητες) αποτελούν δυνητικούς κινδύνους

πλημμύρας. Στις περιπτώσεις αυτές η ανάλυση του κινδύνου δεν πρέπει να γίνεται με τον υπολογισμό πιθανοτήτων αλλά με το διακύβευμα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην περιοχή αυτή αποτελεί η ενδεχόμενη θραύση ενός φράγματος ανάντη της πεδινής ζώνης. Στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή των πιθανοτήτων μπορεί να λειτουργήσει αποπροσανατολιστικά στην εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών διαβίωσης στην πεδινή ζώνη.

Ένας πολύ σημαντικός όρος στη διαδικασία εκτίμησης της διακινδύνευσης της πεδινής/παράκτιας ζώνης είναι η *Τρωτότητα (Vulnerability)*. Ως τρωτότητα ενός συστήματος εννοείται ο βαθμός που δείχνει πόσο ευάλωτο είναι το σύστημα κατά την έκθεσή του στον φυσικό κίνδυνο. Σύμφωνα με τις εργασίες του Κέντρου Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού του Ε. Μ. Πολυτεχνείου, η τρωτότητα μπορεί μαθηματικά να αποτυπωθεί ως μια συνάρτηση μεταξύ 0 και 1 εξαρτώμενη από μια σειρά παραγόντων που συνοπτικά είναι:

- α. η κατάσταση του συστήματος
- β. το μέγεθος του φαινομένου
- γ. ο κοινωνικός παράγοντας (επίπεδο μόρφωσης και διαθέσεις του κοινού)
- δ. η αλληλεξάρτηση των επιμέρους παραγόντων του συστήματος

Συναφής όρος είναι επίσης η έκθεση (*exposure*) του συστήματος στον κίνδυνο που μπορεί να αυξήσει ή να περιορίσει τις επιπτώσεις από ένα ακραίο γεγονός.

Τέλος, η *Διακινδύνευση (risk)* ορίζεται ως ο πραγματικός κίνδυνος για ένα σύστημα (ζωές, περιουσίες, υποδομές, περιβάλλον, οικονομικές δραστηριότητες) που προκύπτει με βάση τον κίνδυνο (*hazard*), την τρωτότητα και την έκθεση του συστήματος σε αυτόν τον κίνδυνο. Η διακινδύνευση μπορεί να αναφέρεται χωρίς ή με χρονικό όριο (Τσακίρης, 2008).

Κεφάλαιο 4
Σχέδιο διαχείρισης
πλημμυρών σε ειδικά
λεκάνης απορροής

4. Σχέδιο διαχείρισης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής

4.1. Ανάγκη για μια στρατηγική προσέγγιση

Παλαιότερα, η αντιμετώπιση των πλημμυρών παρεχόταν ως μεμονωμένο σχέδιο χωρίς να υπολογίζεται ιδιαίτερα ο αντίκτυπός τους στην ευρύτερη λεκάνη απορροής των ποταμών. Αυτή η προσέγγιση έχει αλλάξει με την πάροδο των χρόνων. Πλέον, είναι κατανοητό πως τα σχέδια αντιμετώπισης των πλημμυρών δεν πρέπει να εφαρμόζονται τοπικά, γιατί ό,τι συμβαίνει σε ένα τμήμα της λεκάνης απορροής έχει επιρροή και σε άλλες περιοχές της λεκάνης. Συνεπώς, κατά τη διαχείριση πλημμυρικών κινδύνων επιβάλλεται μια πιο στρατηγική προσέγγιση, βασισμένη στην λεκάνη απορροής (Frost & Knight, 2002).

Αυτό σημαίνει πως η διαχείριση πλημμυρικών κινδύνων πρέπει να αντιμετωπισθεί ολιστικά, συμπεριλαμβανομένων των χρήσεων γης και του πολεοδομικού σχεδιασμού, της διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος και του σχεδιασμού καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Η υλοποίηση μιας τέτοιας διαχείρισης θα πρέπει να είναι μακροπρόθεσμη, τουλάχιστον 50ετίας, με περίπλοκη μοντελοποίηση των δυναμικών φυσικών διαδικασιών της λεκάνης απορροής (Frost & Knight, 2002).

4.2. Θεσμικό Πλαίσιο Διαχείρισης Πλημμυρών (Ε.Ε.), Οδηγία 2007/60/ΕΚ

Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ για τις πλημμύρες μπήκε σε εφαρμογή τον Οκτώβριο του 2007. Η Οδηγία αποτελεί συμπλήρωμα της Οδηγίας πλαισίου 2000/60/ΕΚ και έχει σκοπό τη θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα.

Η Οδηγία που αναφέρεται σε όλα τα είδη πλημμύρων (ποταμών, λιμνών, στιγμιαίων (flash floods), αστικών και παράκτιων) απαιτεί από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αντιμετωπίσουν το θέμα των πλημμύρων με τη μεθοδολογία της εκτίμησης και της διαχείρισης της πλημμυρικής διακινδύνευσης.

Η Οδηγία περιλαμβάνει τρία στάδια εφαρμογής (European Council, 2007):

1. Μέχρι το 2011 τα κράτη μέλη πρέπει να έχουν ολοκληρώσει το προκαταρκτικό στάδιο εκτίμησης των περιοχών που είναι εκτεθειμένες στον πλημμυρικό κίνδυνο και να έχουν προσδιορίσει τις περιοχές όπου υπάρχει ή θα υπάρξει διακινδύνευση.
2. Στις περιοχές που εκτίθενται σε πλημμύρες, τα κράτη μέλη θα πρέπει να κατασκευάσουν χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας μέχρι το 2013. Οι χάρτες θα δείχνουν πιθανές περιοχές κατάκλυσης σε γεγονότα με περίοδο επαναφοράς τουλάχιστον 1:100 έτη, αλλά και σε γεγονότα μικρότερης περιόδου επαναφοράς. Στις περιοχές

αυτές θα πρέπει να γίνει αποτύπωση των ευαίσθητων εκτάσεων, απογραφή των κατοίκων, των οικονομικών δραστηριοτήτων και καταγραφή των συνθηκών περιβάλλοντος που βρίσκονται σε δυνητικό κίνδυνο.

3. Μέχρι το 2015 τα κράτη μέλη θα πρέπει να έχουν διαμορφώσει σχέδια Διαχείρισης της Διακινδύνευσης που θα περιλαμβάνουν τρόπους μείωσης της διακινδύνευσης σε δύο άξονες: της πρόληψης (prevention) και της προετοιμασίας (preparedness).

Τα βήματα αυτά πρέπει να επαναλαμβάνονται κάθε 6 έτη σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ με αρχή το 2009. Το αμέσως επόμενο έτος πρέπει να έχουν οριστεί οι αρμόδιες Υπηρεσίες που θα υλοποιήσουν την Οδηγία (European Council, 2007).

Τα κυριότερα σημεία της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ είναι:

- Θεσπίζεται πλαίσιο για την αξιολόγηση και τη διαχείριση της πλημμυρικής επικινδυνότητας.
- Η Οδηγία στηρίζεται σε ορισμούς, μεθοδολογίες και προτάσεις που περιλαμβάνονται και στην Οδηγία πλαίσιο 2000/60/ΕΚ.
- Προβλέπει προκαταρκτικό στάδιο για τον αρχικό προσδιορισμό των εκτάσεων που είναι ευάλωτες σε πλημμύρες.
- Απαιτεί λεπτομερή χαρτογραφική απεικόνιση των περιοχών που βρίσκονται σε δυνητικό κίνδυνο (ψηφιακό υπόβαθρο, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών).
- Καταγράφει οικονομικές δραστηριότητες, δημογραφικά στοιχεία, χρήσεις γης, ώστε να υπάρχει μια ολιστική εικόνα για το διακύβευμα.
- Απαιτεί την κατάρτιση χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας για πλημμύρες χαμηλής, μέσης (περίοδος επαναφοράς ≥ 100 έτη) και υψηλής πιθανότητας.
- Επιτρέπει στα κράτη μέλη να θέσουν τους στόχους για τη κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας, ώστε να εξασφαλίζεται η μείωση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών που έχουν οι πλημμύρες για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες.
- Η διαχείριση της διακινδύνευσης περιλαμβάνει πάσης φύσεως μέτρα και έργα στα όρια της λεκάνης απορροής που έχουν ως στόχο τη μείωση των πλημμυρικών παροχών αλλά και τις όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες και ζημιές.
- Κύριο μέλημα της Οδηγίας αποτελεί η πρόληψη των πλημμύρων (και επομένως η προετοιμασία για την αντιμετώπισή της). Επομένως, εκτός των μέτρων προστασίας έμφαση δίνεται και στα συστήματα πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κάθε λεκάνης.
- Αναφέρεται ιδιαίτερα στην ανάγκη διαμόρφωσης ενιαίου σχεδίου διαχείρισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας στις περιπτώσεις των διασυνοριακών λεκανών και προτείνει ένα τρόπο διαμεσολάβησης στην περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να υπάρξει συμφωνία μεταξύ των κρατών, στην επικράτεια των οποίων ανήκει από κοινού η διασυνοριακή λεκάνη απορροής.

4.3. Αντικείμενο των σχεδίων διαχείρισης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής

Τα σχέδια διαχείρισης πλημμυρών στοχεύουν στον προσδιορισμό μακροπρόθεσμων πολιτικών για να ενισχύσουν τη διαχείριση των πλημμυρικών κινδύνων σε όλη την λεκάνη απορροής. Η διαχείριση στηρίζεται στην ευρείας κλίμακας μοντελοποίηση, που βασίζεται στην κατανόηση των φυσικών διαδικασιών των λεκανών απορροής που επηρεάζουν τη δημιουργία, τη διάδοση και τη συχνότητα της πλημμύρας. Η μοντελοποίηση θα επιτρέψει όχι μόνο τον έλεγχο των πλημμυρικών σεναρίων, που βασίζονται στις ισχύουσες συνθήκες των λεκανών απορροής, αλλά και σε μια δυναμική προοπτική, μέσω της έρευνας, για μελλοντικά σενάρια αλλαγής και ανάπτυξης του κλίματος (Frost & Knight, 2002).

Προβλέπεται ότι κάθε σχέδιο διαχείρισης πλημμυρών θα υποδιαιρεί τη λεκάνη απορροής σε μια σειρά υπολεκανών, στις οποίες μπορούν να ακολουθηθούν οι διαφορετικές (αλλά ενσωματωμένες) στρατηγικές για τη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου. Η φύση αυτών των στρατηγικών δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα σε μελέτες. Εντούτοις, μια πιθανή έκβαση είναι η διαίρεση των περιοχών σε φυσικές (natural) και διαχειριζόμενες (managed), οι οποίες θα απεικονίζουν κυρίως τις αγροτικές και αστικές υπολεκάνες αντίστοιχα (Frost & Knight, 2002).

4.4. Γενικά χαρακτηριστικά των μικρών λεκανών απορροής (Catchment)

Πολλοί τομείς της υδρολογίας εστιάζονται στην ισορροπία των υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής, είτε πρόκειται για μια ορεινή λεκάνη της τάξης του 1 km² είτε μια μεγάλη λεκάνη της τάξης των 100.000 km². Οι υδρολόγοι, συνήθως λαμβάνουν τις υδρολογικές λεκάνες ως λειτουργία μιας ομάδας δεξαμενών που αποθηκεύουν και απελευθερώνουν το νερό. Η βροχόπτωση και η τήξη του χιονιού είναι οι εισροές στη δεξαμενή της λεκάνης απορροής, ενώ η εξατμισοδιαπνοή και η επιφανειακή απορροή είναι οι εκροές. Για να γίνει ενοποίηση των διαφόρων διαδικασιών που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή, γίνεται ποσοτική τμηματοποίηση των εισροών στις λεκάνες απορροής σε εισροές μικρότερων λεκανών. Παραδείγματος χάριν: «ένα μέρος της βροχόπτωσης δεσμεύεται από την βλάστηση, με το υπόλοιπο να καταλήγει στο έδαφος. Η ποσότητα του νερού που δεσμεύεται από την βλάστηση και το χιόνι είτε εξατμίζεται, είτε πέφτει τελικά στο έδαφος. Το νερό που καταλήγει στο έδαφος είτε διηθείται, είτε απορρέει, ανάλογα με την διηθητική ικανότητα του εδάφους. Μεγάλο μέρος του διηθούμενου νερού μπορεί, τελικά, να επιδρωθεί από τα φυτά, ή να εξατμιστεί. Από όλες αυτές τις ποσότητες, η συχνότερη τιμή που μετριέται είναι η επιφανειακή απορροή, ή η παροχή (Bales, 2003).

Με την μέτρηση της παροχής δημιουργείται μια γραφική παράσταση που απεικονίζει την χρονική σειρά της παροχής και ονομάζεται υδρογράφημα. Ένα υδρογράφημα ορίζεται συχνά από δύο συνιστώσες, την γρήγορη ροή (quickflow) και την βασική ροή (baseflow). Κατά τη διάρκεια και μετά την βροχόπτωση, το νερό κινείται διαμέσου της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου με αποτέλεσμα η παροχή να αυξάνεται (quickflow). Η προκύπτουσα αιχμή στο υδρογράφημα ορίζεται γενικά ως πλημμύρα,

ανεξαρτήτως κατάκλισης του πλημμυρικού πεδίου ή όχι από τα ύδατα (Bales, 2003).

Για να έχουμε επιφανειακή απορροή θα πρέπει να ισχύουν μία ή και περισσότερες από τις ακόλουθες τρεις συνθήκες (Bales, 2003):

- Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής θα πρέπει να είναι σχεδόν στεγανοί με αποτέλεσμα το νερό να ρέει στην επιφάνεια των σχηματισμών,
- Η διηθητική ικανότητα του εδάφους θα πρέπει να ξεπεραστεί από την ποσότητα του νερού που εμπίπτει στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής, προκαλώντας τη συγκέντρωση του ύδατος στην επιφάνεια, και,
- Μπορεί να έχει επέλθει κορεσμός νερού στο έδαφος της λεκάνης, προκαλώντας τη συγκέντρωση του νερού και ακολούθως την απορροή του.

Το νερό που έχει διηθηθεί συνεχίζει να επηρεάζεται από τη βαρύτητα, έτσι ώστε να διεισδύει προς τα κάτω. Γενικά, η δυνατότητα των εδαφών και των πετρωμάτων μιας λεκάνης να ελέγχουν την ροή του νερού (υδραυλική αγωγιμότητα) μειώνεται με το βάθος.

Κατηγοριοποίηση των λεκανών απορροής:

- **Basins** - Αποστραγγιστικές περιοχές για διαχείριση υδατικών πόρων.
- **Watersheds** - Υποδιαίρεση της υδρογραφικής λεκάνης για συγκεκριμένο υδρολογικό σκοπό.
- **Catchments** – Υποδιαίρεση της υδρογραφικής λεκάνης σε στοιχειώδεις αποστραγγιστικές επιφάνειες καθοριζόμενες από ένα συνεχές σύνολο φυσικών κανόνων.

4.5. Εφαρμογή σχεδίου μέσα στην λεκάνη απορροής

Η στρατηγική τακτική σε κάθε σχέδιο διαχείρισης πλημμυρών μπορεί να έχει εφαρμογή σε ολόκληρη την λεκάνη απορροής ή μπορεί να έχει διαφορετική εφαρμογή στις αστικές, αγροτικές, ή περιφερειακές περιοχές όπως αυτές έχουν διακριθεί στην λεκάνη απορροής κατά το στρατηγικό σχέδιο (Frost & Knight, 2002).

Ο ευρύς ρόλος της λεκάνης απορροής του στρατηγικού σχεδίου είναι να εφοδιάσει όχι μόνο με στοιχεία και βάσεις για τη μοντελοποίηση, αλλά και να θέσει τα θεμέλια για την αξιολόγηση του κινδύνου. Συγκεκριμένα, αυτό θα επιτρέψει την αξιολόγηση της ευπάθειας κάποιων λεκανών απορροής στην πλημμύρα (βασιζόμενοι στη γεωλογία, τις χρήσεις γης, τα υπόγεια νερά, κ.λπ.) και την επίδραση μελλοντικών σεναρίων (π.χ. αλλαγή κλίματος) (Frost & Knight, 2002):

- στο μέγεθος και τη συχνότητα των πλημμυρικών γεγονότων
- στα κατάλληλα κριτήρια σχεδίου για την αντιμετώπιση των πλημμυρών
- στην έκταση των περιοχών σε κίνδυνο.

4.6. Ρόλος της μοντελοποίησης σε επίπεδο λεκάνης απορροής

Η μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής παρέχει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο που, μέχρι σήμερα, δεν χρησιμοποιείται αναλογικά με τις υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει, ειδικά στην εκτίμηση και διαχείριση πλημμυρών. Με την εμφάνιση των σχεδίων διαχείρισης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής και της Οδηγίας πλαίσιο, σχετικά με την διαχείριση του νερού, της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Water Framework Directive, EU), η μετατόπιση από τη διαχείριση σε συγκεκριμένη περιοχή (τοπικά), στη διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής, προσφέρει μια ιδανική ευκαιρία να καταδειχθούν τα οφέλη που μπορούν να επιτευχθούν με τη χρησιμοποίηση των μοντέλων (Frost & Knight, 2002).

Η τοπογραφία κάθε λεκάνης απορροής καθορίζει ουσιαστικά το αποστραγγιστικό δίκτυο μέσω των ρεμάτων και των ποταμών κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο όγκος του πιθανού νερού που εμπίπτει ως κατακρήμνιση (δηλ. βροχοπτώσεις, χαλάζι, χιόνι) στην λεκάνη απορροής παραμένει στην λεκάνη απορροής και μπορεί να υπολογιστεί με διάφορους τρόπους μέσω, παραδείγματος χάριν, της εξατμισοδιαπνοής, της επιφανειακής απορροής ή της ροής των υπογείων υδάτων. Κατά συνέπεια, ο στρατηγικός σχεδιασμός διαχείρισης λεκανών απορροής είναι ένας τρόπος για να συσχετιστεί η ροή του νερού μέσω μιας λεκάνης απορροής με πολλά πρακτικά ζητήματα που σχετίζονται με τη λεκάνη αυτή, όπως (Frost & Knight, 2002):

- υδατικοί πόροι
- αποστραγγιστική ικανότητα
- μετριασμός πλημμυρών
- οικονομική ανάπτυξη
- έλεγχος διαχείρισης
- χρήσεις γης
- ανάπτυξη πλημμυρικών πεδίων
- προγραμματισμός οδικού δικτύου
- περιβαλλοντικά θέματα
- έλεγχος της ρύπανσης
- θρεπτικός ανεφοδιασμός
- υδροβιότοποι
- βιοποικιλότητα των ποταμών
- μορφολογική ανάπτυξη αλλουβίων.

Αυτά τα ζητήματα αγγίζουν χαρακτηριστικά ένα ευρύ φάσμα των πολιτικών και περιβαλλοντικών στόχων και, υπό αυτήν τη μορφή, απαιτούν μια διαχείριση πολλαπλών στόχων.

Τα μοντέλα, όπως με οποιαδήποτε άλλα εργαλεία ή ελέγχους, δεν είναι πανάκεια και δεν θα δώσουν όλες τις απαντήσεις. Αυτό που μπορούν να παρέχουν είναι ένας τρόπος να βελτιωθεί η κατανόηση των διαδικασιών μέσα στην λεκάνη απορροής.

Τα μοντέλα είναι ουσιαστικά μια περιγραφή του πώς λειτουργούν τα πράγματα και ένα μαθηματικό μοντέλο περιγράφεται συνήθως ως «ένα σύνολο γενικών νόμων ή μαθηματικών αρχών και ένα σύνολο αναφορών εμπειρικών περιστάσεων» (Hempel, 1963). Για να περιγράψει η ροή του νερού μέσω μιας λεκάνης απορροής είναι αναγκαίο να συνδυαστούν

ποικίλοι υδρολογικοί κλάδοι που χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα, όπως (Frost & Knight, 2002):

- μετεωρολογία και υδρολογία
- υδρολογία και υδραυλική (υδροδυναμική)
- επιφανειακό νερό και υπόγεια νερά
- γεωμορφολογία και οικολογία.

Για να εξασφαλιστεί αποτελεσματική διαχείριση των λεκανών απορροής των ποταμών, τα μοντέλα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να ερευνηθούν την απόκριση των λεκανών απορροής σε συγκεκριμένα σενάρια βροχοπτώσεων, επακόλουθη υπερβολική απορροή, επακόλουθες στάθμες ύδατος και πιθανές επιλογές διαχείρισης πλημμυρών, που απαιτούν συνδυασμό υδρολογίας και υδραυλικής.

Ο κύριος τομέας μοντελοποίησης της άμεσης σχετικότητας της πλημμύρας είναι αυτός της υδροδυναμικής, όπου η υδρολογία της λεκάνης απορροής συσχετίζεται με την υδραυλική των καναλιών στην πρόβλεψη της πλημμύρας. Η σχέση μεταξύ των βροχοπτώσεων και της απορροής έχει θεωρηθεί γενικά ως ουσιαστικά υδρολογικό πρόβλημα. Η υδρολογική προσομοίωση έχει γίνει η πρωταρχική εστίαση της έρευνας των πλημμυρών, με την πρόβλεψη της ροής του νερού να είναι ο κύριος σκοπός.

4.7. Η ανάγκη πολυκριτηριακής προσέγγισης

Τα περισσότερα προβλήματα που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων, όπως είναι, αναμφίβολα, αυτά που καλείται να αντιμετωπίσει ένας υδρολόγος, προϋποθέτουν την ταυτόχρονη ικανοποίηση πολλαπλών στόχων, μεταξύ των οποίων είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, η μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας, καθώς και η ελαχιστοποίηση της απόκλισης από επιθυμητά μεγέθη, τα οποία επιβάλλονται από ποικίλους τεχνικούς, λειτουργικούς, θεσμικούς, διοικητικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Στους παραπάνω στόχους, συνήθως εμπλέκονται διαφορετικοί χρήστες και διαφορετικές ομάδες ενδιαφέροντος, που έχουν διαφορετικά συμφέροντα και διαφορετικές προτεραιότητες (Ευστρατιάδης, 2008).

Ο κύριος στόχος της μονοκριτηριακής προσέγγισης είναι ο εντοπισμός της λύσης του προβλήματος, που αποτελεί έναν συνδυασμό όλων των παραπάνω απαιτήσεων. Αυτός ο τύπος βελτιστοποίησης είναι χρήσιμος, ως εργαλείο εντοπισμού μιας κατάλληλης λύσης. Από την άλλη πλευρά, η πολυκριτηριακή προσέγγιση προβλημάτων εξασφαλίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, στις ακόλουθες κατευθύνσεις (Savic, 2002):

- τη ρεαλιστικότερη διατύπωση του προβλήματος
- τον προσδιορισμό εναλλακτικών επιλογών-στρατηγικών
- την εμπλοκή του κοινού στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Κεφάλαιο 5
Υδρολογική υφροαμοίωση
με χρήση μαθηματικών
μοντέλων

5. Υδρολογική προσομοίωση με χρήση μαθηματικών μοντέλων

5.1. Ορισμοί

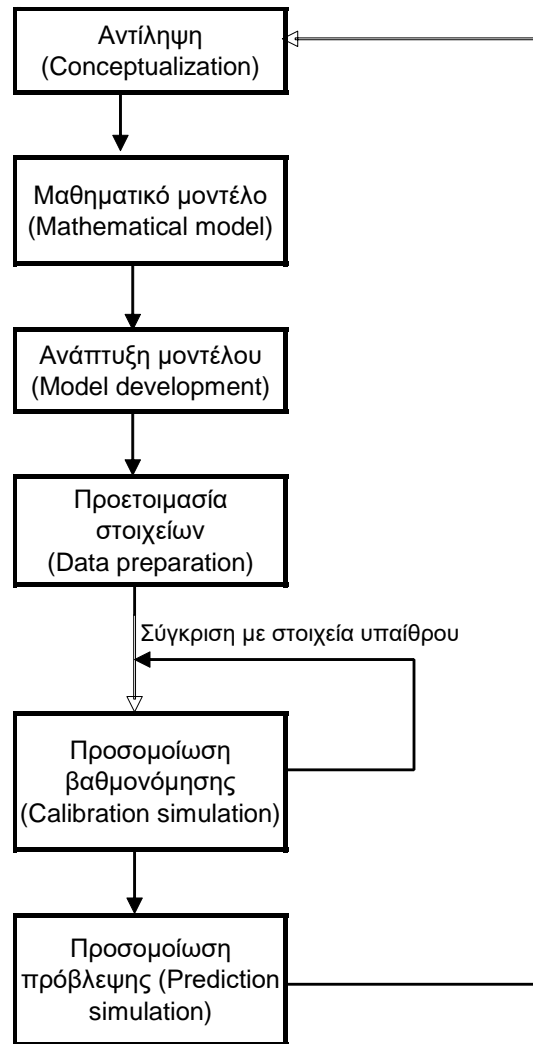
Τα υδρολογικά μοντέλα έχουν γίνει ένα αναπόφευκτο εργαλείο για τη μελέτη των υδρολογικών διαδικασιών και του αντίκτυπου των σύγχρονων ανθρωπογενών παραγόντων στο υδρολογικό σύστημα. Μαθηματικά μοντέλα που κυβερνώνται από τους νόμους της διατήρησης της μάζας και της ορμής, χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη χρονική και χωρική μεταβλητότητα ενός υδρολογικού συστήματος βάσει πληροφοριών σχετικά με το κλίμα, τη χρήση και την κάλυψη του εδάφους, και την υδρολογία. Η προσομοίωση της υδρολογικής απόκρισης στους διάφορους φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στην κατανόηση αυτών των φυσικών διαδικασιών (Yu, 2003).

Ο όρος υδρολογικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου και υποθέσεις σχετικά με τις φυσικές διαδικασίες, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση των υδρολογικών διεργασιών. Τα μοντέλα αυτά είτε περιγράφουν μεμονωμένα γεγονότα (event-type), όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας, είτε περιγράφουν τη διαχρονική εξέλιξη του υδρολογικού κύκλου σε μια χωρική ενότητα (π.χ. μια λεκάνη απορροής). Στην πρώτη περίπτωση, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών ή συστηματικών, συνήθως, προσεγγίσεων (π.χ. ορθολογική μέθοδος, μοναδιαίο υδρογράφημα), παραλείποντας τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου, όπως η εξατμισοδιαπνοή και η διήθηση. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση η προσέγγιση διέπεται από κάποιο φυσικό ή εννοιολογικό υπόβαθρο, αναπαριστώντας σε συνεχή χρόνο (continuous-time) τις κύριες διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού, με τη χρήση εργαλείων προσομοίωσης (Ευστρατιάδης, 2008).

5.2. Στάδια ανάπτυξης υδρολογικών μοντέλων

Η ανάπτυξη ενός υδρολογικού μοντέλου περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Beven, 2001):

- Επιλογή διεργασιών για προσομοίωση (perceptual model)
- Διατύπωση μαθηματικών εξισώσεων (conceptual model)
- Κωδικοποίηση υπολογιστικής διαδικασίας (procedural model)
- Υπολογισμός παραμέτρων (model calibration)
- Αποτίμηση συνέπειας και ακρίβειας (model validation)



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής σταδίων ανάπτυξης υδρολογικού μοντέλου
(Πηγή: Επαναδιαμόρφωση από Yu, 2003)

Γενικά, η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες (Μιμίκου, 1994):

- το σκοπό της μελέτης
- την εμπειρία του μελετητή
- τα διαθέσιμα δεδομένα.

Ειδικότερα, η ποσότητα αλλά και ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων αποτελεί, συχνά, τον κύριο περιοριστικό παράγοντα σε μια έρευνα ή μελέτη, καθώς η επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας, η οποία θεωρητικά εξασφαλίζεται από την χρήση αναλυτικότερων σχημάτων προσομοίωσης, προσκρούει στην ανεπάρκεια υδρολογικών μετρήσεων και άλλων δεδομένων (π.χ. κατανεμημένη γεωγραφική πληροφορία), που είναι απαραίτητα για την σχηματοποίηση του μοντέλου.

5.3. Προετοιμασία στοιχείων

Η προετοιμασία των στοιχείων είναι το μεγαλύτερο θεμελιώδες μέρος της υδρολογικής μοντελοποίησης. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλαμβάνει τη σύνταξη των διαφόρων διαθέσιμων υπαίθριων και ψηφιακών στοιχείων, την επεξεργασία και την ενσωμάτωση αυτών στα εκάστοτε μοντέλα που

χρησιμοποιούνται για τις υδρολογικές προσομοιώσεις. Οι πηγές των στοιχείων μπορεί να είναι από διάφορες δημόσιες υπηρεσίες και ιδρύματα. Με τη διαθεσιμότητα της νέας τεχνολογίας, τα επίγεια και τηλεπισκοπικά στοιχεία, καθώς επίσης και τα στοιχεία που συλλέγονται μέσω των παραδοσιακών μεθόδων υπαίθρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υδρολογική μοντελοποίηση (Yu, 2003).

Για τα υδρολογικά μοντέλα που βασίζονται στην τοπογραφία, τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEMs) χρησιμοποιούνται συνήθως για να περιγράψουν την τοπογραφία του εδάφους, η οποία περιέχει χρήσιμες πληροφορίες για την επιφανειακή απορροή και την αλληλεπίδραση του επιφανειακού με το υπόγειο νερό. Τα DEMs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν την κατεύθυνση ροής της επιφανειακής απορροής (flow direction) υποθέτοντας πως το νερό ρέει πάντα από τα ανάντη προς τα κατόντη. Με τα DEMs, μπορεί να ληφθεί ένα σύνολο στοιχείων συσσώρευσης ροής (flow accumulation). Τα DEMs και τα παραγόμενα στοιχεία κατεύθυνσης της ροής και συσσώρευσης της ροής μπορούν έπειτα να υποβληθούν σε επεξεργασία για να σκιαγραφήσουν τα αποστραγγιστικά δίκτυα, την επιφανειακή απορροή, τον υδροκρίτη και άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της λεκάνης απορροής. Τα παραγόμενα υδρογραφικά δίκτυα διευκολύνουν στην εκτίμηση της αλληλεπίδρασης του υπόγειου νερού με το υδρογραφικό δίκτυο, ενώ οι παραγόμενες επιφανειακές απορροές παρέχουν ακριβή πρόβλεψη της σχέσης βροχόπτωσης-απορροής και την εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας (Yu, 2003).

Οι προσομοιώσεις των διάφορων υδρολογικών διαδικασιών απαιτούν τις χωρικά διανεμημένες πληροφορίες για τη χρήση γης και την κάλυψη του εδάφους, τον εδαφολογικό τύπο, και τις υδραυλικές ιδιότητες, εκτός από την τοπογραφία. Πολλές ψηφιακές βάσεις δεδομένων είναι διαθέσιμες από διάφορες πηγές. Με την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης και τη δορυφορική τεχνολογία, αυτά τα σύνολα στοιχείων έχουν μεγάλη δυνατότητα για πρακτική εφαρμογή στην οικολογία και την υδρολογία. Τα δορυφορικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν ποικίλες παραμέτρους επιφάνειας, όπως η τιμή της θερμοκρασίας εδάφους και το είδος της βλάστησης. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χωρικές και χρονικές συγκρίσεις, και για την υδρολογική προσομοίωση των σημαντικών υδρολογικών διαδικασιών. Τα τηλεπισκοπικά στοιχεία όπως η κατηγοριοποίηση της βλάστησης μπορούν να ληφθούν από AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) και τις εικόνες Landsat TM. Τα χωρικά διανεμημένα στοιχεία των μετεωρολογικών μεταβλητών (π.χ., κατακρήμνιση, θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα) είναι διαθέσιμα από τα NEXRAD (Next Generation Weather Radar), τα ραντάρ και τις δορυφορικές εικόνες για μια χρονική ανάλυση κλίμακας από λεπτά σε ημέρες. Με τη βελτιωμένη ανάλυση αυτών των βάσεων δεδομένων, αναμένεται η ακριβέστερη προσομοίωση των διάφορων υδρολογικών διαδικασιών σε χρονικές και χωρικές κλίμακες (Yu, 2003).

Διάφοροι τύποι στοιχείων υπαίθρου είναι διαθέσιμοι για την υδρολογική προσομοίωση και τη βαθμονόμηση του μοντέλου. Στις εξόδους πολλών συστημάτων ποταμών είναι διαθέσιμοι μετρητικοί σταθμοί με καθημερινή μέτρηση της ροής των ρεμάτων και άλλων υδρολογικών μεταβλητών. Τα επίπεδα του υπόγειου νερού μπορούν να είναι, επίσης, διαθέσιμα από μετρητικούς σταθμούς σε φρεάτια. Τέλος, η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής

και της περιεκτικότητας του εδάφους σε υγρασία είναι εφικτή με εργασία υπαίθρου (Yu, 2003).

5.4. Κατηγορίες υδρολογικών μοντέλων

Ιστορικό

Η πρώτη απόπειρα προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου αποδίδεται στον Thornthwaite (1948), που ανέπτυξε ένα μονοπαραμετρικό σχήμα μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής απλών λεκανών, εφήμερης δίαιτας και χωρίς συνεισφορά των υπόγειων υδάτων (Dingman, 1994, Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Αργότερα, οι Thornthwaite & Mather (1955) παρουσίασαν μια τροποποιημένη εκδοχή του, η οποία αποτέλεσε τη βάση όλων των μεταγενέστερων σχημάτων υδρολογικής προσομοίωσης. Η εκτεταμένη χρήση των τελευταίων ξεκίνησε από τη δεκαετία του 1960, ταυτόχρονα με την ραγδαία εξάπλωση των υπολογιστικών εργαλείων. Τα υδρολογικά σχήματα, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με:

- το πεδίο εφαρμογής τους
- τη χωρική τους κλίμακα
- την μαθηματική τους δομή
- τη χρονική τους διακριτότητα.

Πεδίο εφαρμογής

Κατά κανόνα, το πεδίο εφαρμογής των υδρολογικών μοντέλων είναι είτε η λεκάνη απορροής είτε ο υδροφόρος. Η ανάπτυξη ξεχωριστών μοντέλων για κάθε πεδίο επιβάλλεται λόγω των διαφορετικών πρακτικών διαχείρισής τους, αλλά και λόγω της διαφορετικής κλίμακας εξέλιξης των σχετικών φυσικών διεργασιών (Ευστρατιάδης, 2008).

Αν και η περίπτωση συνδυασμένης προσομοίωσης των επιφανειακών και υπόγειων διεργασιών είναι λιγότερο συχνή, θεωρείται επιβεβλημένη όταν υπάρχουν συνδυασμένες χρήσεις νερού και σημαντική συνεισφορά του υπόγειου δυναμικού στη συνολική απορροή της λεκάνης (Singh & Bhallamudi, 1998, Panday & Huyakorn, 2004, Rozos et al., 2004). Επιπλέον, είναι αναγκαία στην περίπτωση που, εξαιτίας του διαπερατού γεωλογικού υποβάθρου της λεκάνης (π.χ. ανθρακικά πετρώματα, έντονα καρστικοποιημένα), ο χρόνος απόκρισης του υπόγειου συστήματος είναι συγκριτικά ίδιος με το χρόνο απόκρισης του επιφανειακού.

Χωρική κλίμακα

Τα υδρολογικά μοντέλα ανάγουν τις σημειακές διεργασίες (point processes) σε επιφανειακές, ολοκληρώνοντας τις υδρολογικές μεταβλητές εισόδου και εξόδου (βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή, απορροή, κατείσδυση), καθώς και τις παραμέτρους που περιγράφουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος, σε κάποια πεπερασμένη χωρική κλίμακα (Ευστρατιάδης, 2008). Η χωρική κατανομή αποτελεί θεμελιώδες χαρακτηριστικό των υδρολογικών μοντέλων, με βάση την οποία προκύπτουν τέσσερις κατηγορίες σχηματοποίησης και παραμετροποίησης (Gupta et al., 2003):

- Αδιαμέριστη ή συγκεντρωτική (lumped): Οι χρονοσειρές φόρτισης ολοκληρώνονται σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης, για την οποία

θεωρούνται ενιαίες τιμές παραμέτρων. Το μοντέλο προσομοίωσης αναπαριστά τις κύριες μεταβλητές του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης, για την εκτίμηση της απορροής στην έξοδο αυτής.

- Ημικατανεμημένη (semi-distributed): Η λεκάνη χωρίζεται σε διακριτές περιοχές, που αντιστοιχούν είτε σε φυσικές υπολεκάνες (συνηθέστερα) είτε σε χωρικές ενότητες με κοινά υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, σε κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχούν διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων. Μετά το πέρας των υπολογισμών για κάθε χωρική ενότητα, η αντίστοιχη απόκριση (δηλαδή η απορροή) «μεταφέρεται» στην έξοδο της λεκάνης, κάτι που σε μικρή χρονική κλίμακα προϋποθέτει την εφαρμογή σχημάτων διόδευσης.
- Ημιαδιαμέριστη (semi-lumped): Πρόκειται για μια ενδιάμεση μορφή μεταξύ της αδιαμέριστης και της ημικατανεμημένης σχηματοποίησης, στην οποία θεωρούνται διακριτές χωρικές ενότητες που δέχονται διαφορετικές φορτίσεις, ωστόσο οι παράμετροι που εφαρμόζονται είναι κοινές για όλες τις ενότητες.
- Κατανεμημένη (distributed): Γίνεται κατάτμηση του φυσικού συστήματος σε χωρικές ενότητες μικρής κλίμακας, οι οποίες προκύπτουν είτε από την εφαρμογή ενός ορθογώνιου κανάβου δεδομένης ισοδιάστασης είτε έχουν ακανόνιστο γεωμετρικό σχήμα (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία, πεπερασμένοι όγκοι). Σε κάθε περίπτωση, η χωρική κατανομή δεν έχει γεωγραφικό ή φυσικό νόημα, και οι ενότητες αντιπροσωπεύουν ομοιογενή και ισότροπα εδαφικά τμήματα, στα οποία αντιστοιχούν διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων (ή φυσικών ιδιοτήτων).

Στην παραπάνω κατηγοριοποίηση, ο όρος σχηματοποίηση αναφέρεται στη διακριτοποίηση του πεδίου βροχόπτωσης σε επιφανειακές χωρικές ενότητες, εφόσον αναφερόμαστε σε μοντέλο επιφανειακής υδρολογίας, ή του πεδίου κατείσδυσης σε κύτταρα υδροφορέα, εφόσον αναφερόμαστε σε μοντέλο υπόγειας υδρολογίας. Η παραμετροποίηση, δηλαδή η χωρική κατανομή των παραμέτρων, συνήθως ταυτίζεται με τη σχηματοποίηση (σε κάθε ενότητα αντιστοιχούν διαφορετικές τιμές παραμέτρων), χωρίς αυτό να αποτελεί γενικό κανόνα (Ευστρατιάδης, 2008).

Χρονική κατανομή

Όσον αφορά στη χρονική κατανομή, αυτή είναι άμεσα εξαρτώμενη από τον σκοπό του μοντέλου. Σχήματα προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για διαχειριστικούς σκοπούς υιοθετούν τη μηνιαία ή, σπανιότερα, την ημερήσια κλίμακα, ενώ τα μοντέλα πλημμυρών ή τα συνδυαστικά υδρολογικά-υδροδυναμικά μοντέλα υιοθετούν μικρότερες κλίμακες, με μέγιστη την ημερήσια.

Προφανώς, μια λεπτή χρονική κλίμακα επιβάλλει αντίστοιχα μικρή κατανομή των μεταβλητών εισόδου του μοντέλου. Η ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων προϋποθέτει κατάλληλη μετρητική υποδομή στη λεκάνη, από καταγραφικά όργανα σε συνεχή χρόνο, όπως βροχογράφους και σταθμηγράφους. Επισημαίνεται ότι σε τέτοιες κλίμακες, η επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών υδρολογικών χρονοσειρών είναι ιδιαίτερα δύσκολη, αφού τα δείγματα πρέπει να είναι κατάλληλα χρονισμένα, ώστε

να αποτυπώνουν τους πραγματικούς χρόνους υστέρησης (Ευστρατιάδης, 2008).

Μαθηματική δομή

Τα υδρολογικά μοντέλα, ανάλογα με τη μαθηματική τους δομή, εντάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- μοντέλα φυσικής βάσης
- εννοιολογικά μοντέλα
- στατιστικά και στοχαστικά μοντέλα
- μοντέλα «μαύρου κουτιού».

Στον Πίνακα 8 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων τύπων μοντέλων, και επιχειρείται μια συγκριτική αξιολόγησή τους με βάση το θεωρητικό τους υπόβαθρο και τη φυσική συνέπεια που εξασφαλίζουν.

| Τύπος μοντέλου | Θεωρητικό υπόβαθρο | Φυσική συνέπεια |
|---------------------------|--|---|
| Φυσικής βάσης | Εξισώσεις ακόρεστης και κορεσμένης ροής, άλλες εμπειρικές εξισώσεις από πειραματικές λεκάνες | Θεωρητικά πλήρης, αλλά μόνο σε πολύ μικρή (απειροστή;) χωρική κλίμακα |
| Εννοιολογικά | Παραμετρικές σχέσεις σε υδραυλικά ανάλογα που αναπαριστούν τις κύριες υδρολογικές διεργασίες | Σχετική, εφόσον οι παράμετροι θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές των μακροσκοπικών ιδιοτήτων της λεκάνης |
| Στατιστικά και στοχαστικά | Σχέσεις που αναπαράγουν την στατιστική δομή των παρατηρημένων δειγμάτων | Στοιχειώδης φυσική συνέπεια, ελεγχόμενη (από το μοντέλο) στατιστική συνέπεια |
| «Μαύρου κουτιού» | Μη γραμμικοί μετασχηματισμοί σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος | Απολύτως καμία |

Πίνακας 8: Σύγκριση υδρολογικών μοντέλων με βάση τη μαθηματική τους δομή (Πηγή: Ευστρατιάδης, 2008)

5.5. Βαθμονόμηση μοντέλου

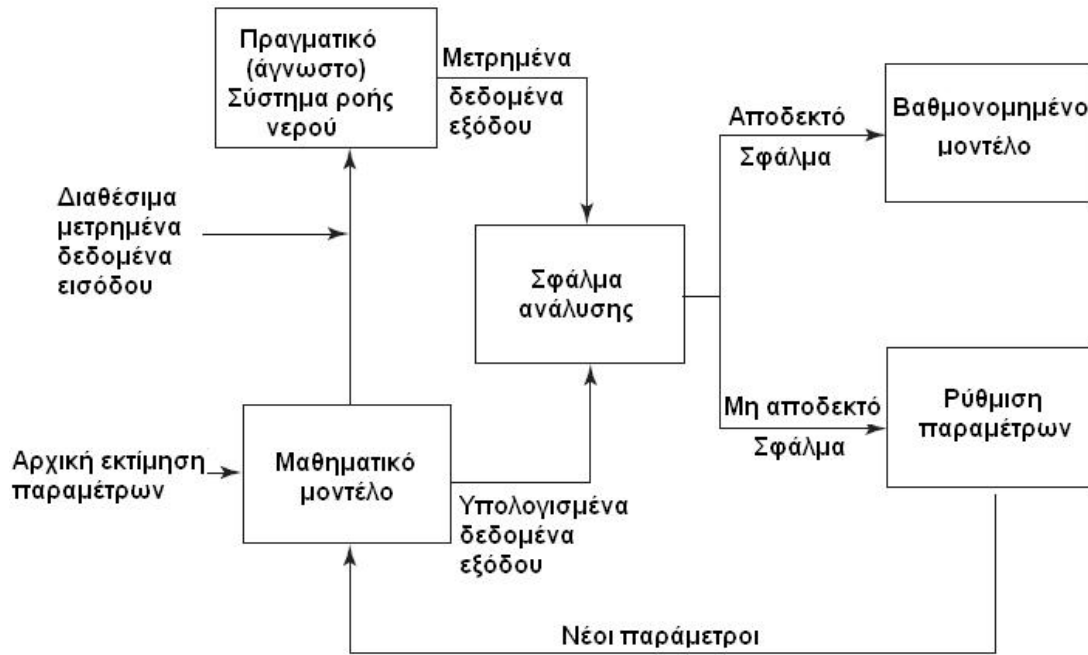
Οι παράμετροι των υδρολογικών μοντέλων μπορούν να εκτιμηθούν έμμεσα, μέσω μιας συστηματικής διαδικασίας αξιολόγησης εναλλακτικών συνδυασμών που καλείται βαθμονόμηση (calibration). Η βαθμονόμηση γίνεται συγκρίνοντας τις προσομοιωμένες αποκρίσεις της λεκάνης με τις παρατηρηθείσες, και επιλέγοντας εκείνο τον συνδυασμό που επιτυγχάνει την καλύτερη προσαρμογή. Η βαθμονόμηση αναφέρεται σε ένα επαρκές χρονικό διάστημα για το οποίο διατίθενται συστηματικές μετρήσεις (χρονοσειρές) απόκρισης της λεκάνης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των ιστορικών με τα προσομοιωμένα δεδομένα. Η διαδικασία

ακολουθείται από την λεγόμενη επαλήθευση (validation) του μοντέλου, βάσει την οποίας ελέγχεται η προγνωστική του ικανότητα για μια άλλη (κατά κανόνα μεταγενέστερη) χρονική περίοδο.

Είναι γνωστό ότι η αξιοπιστία των εννοιολογικών μοντέλων εξαρτάται σε εξαιρετικά σημαντικό βαθμό από την ποιότητα της βαθμονόμησης. Αυτή χαρακτηρίζεται επιτυχής όταν ικανοποιεί τα ακόλουθα δύο κριτήρια: (α) το μοντέλο διαθέτει επαρκή προγνωστική ικανότητα, ή αλλιώς μπορεί να αναπαράγει όλο το φάσμα των αποκρίσεων μιας λεκάνης με ικανοποιητική ακρίβεια, και (β) οι εκτιμημένες τιμές των παραμέτρων κυμαίνονται σε λογικά πλαίσια (Τέγος, 2005).

Αν και τα τελευταία χρόνια, η αλματώδης εξέλιξη των υπολογιστικών τεχνικών, με την ανάπτυξη ισχυρών και αξιόπιστων αλγορίθμων βελτιστοποίησης, επιτρέπει την αυτόματη βαθμονόμηση των υδρολογικών μοντέλων, το πρόβλημα εξακολουθεί να θεωρείται ένα από τα πλέον δύσκολα που απαντά ένας υδρολόγος στην πράξη. Αυτό συμβαίνει επειδή ο χώρος αναζήτησης είναι έντονα τραχύς και περιέχει εξαιρετικά μεγάλο αριθμό τοπικών ακροτάτων, σε διάφορες μάλιστα κλίμακες (Duan et al., 1992). Όσο αυξάνει το πλήθος των παραμέτρων, τόσο η εύρεση της θεωρητικά βέλτιστης λύσης καθίσταται ανέφικτη. Μάλιστα, στην περίπτωση σύνθετων μοντέλων, το πλήθος των δοκιμών αποτελεί τον κύριο περιοριστικό παράγοντα της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Συνεπώς, αυτό που επιζητείται είναι η εύρεση μιας ικανοποιητικής λύσης, με λογικό πλήθος δοκιμών.

Μια επιπλέον δυσκολία έγκειται στην ύπαρξη πληθώρας συνδυασμών τιμών των παραμέτρων, που παράγουν ισοδύναμα καλές αποκρίσεις της λεκάνης, και οφείλεται, κατά κύριο λόγο: (α) σε σφάλματα δομής του μοντέλου (απλουστευμένη αναπαράσταση εξαιρετικά σύνθετων διεργασιών, χρήση μεγαλύτερου αριθμού παραμέτρων σε σχέση με αυτές που μπορούν να υποστηρίξουν τα δεδομένα των μετρήσεων, αλληλεπίδραση παραμέτρων), και (β) σε σφάλματα δεδομένων (ανεπαρκείς ή και λανθασμένες μετρήσεις, σφάλματα χωρικής και χρονικής ολοκλήρωσης). Το γεγονός αυτό συνεπάγεται μεγάλη αβεβαιότητα ως προς την προγνωστική ικανότητα των μοντέλων, που γίνεται πιο έντονη όσο αυξάνει το πλήθος των παραμέτρων, άρα και η πολυπλοκότητα του μοντέλου (Τέγος, 2005).



Σχήμα 2. Διαδικασία βαθμονόμησης μοντέλου (επαναδιαμόρφωση από Freeze & Cherry, 1979)

5.6. Περιορισμοί στη μοντελοποίηση

Η σχέση μεταξύ των βροχοπτώσεων και της απορροής έχει θεωρηθεί γενικά ως ουσιαστικά υδρολογικό πρόβλημα. Παρά τις πολλές έρευνες, καμία συμφωνία δεν έχει υπάρξει ακόμα μεταξύ των υδρολόγων σχετικά με το πιο κατάλληλο μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής. Πράγματι, μερικοί από τους κορυφαίους ερευνητές ισχυρίζονται πως: «κανένα τέτοιο μοντέλο δεν υπάρχει που μπορεί να αποδώσει καλά σε όλες τις λεκάνες απορροής, πάντα και σε όλες τις περιστάσεις» (O' Connor, 1997), «για την πρόβλεψη της ροής των ρεμάτων, τα μοντέλα που βασίζονται σε φυσικές διεργασίες δεν προσφέρουν προς το παρόν κανένα πλεονέκτημα από τα εννοιολογικά μοντέλα και παρουσιάζουν ένα υπολογιστικό μειονέκτημα» (Ye et al., 1997), και «δεν μπορεί να βεβαιωθεί ότι τα διανεμημένα μοντέλα είναι βασισμένα στις σωστές εξισώσεις για να περιγράψουν την υδρολογική πραγματικότητα στην κλίμακα υδρογραφικού δικτύου» (Beven, 1996).

5.7. Συνοπτική επισκόπηση υδρολογικών μοντέλων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται, συνοπτικά, κάποια από τα υδρολογικά μοντέλα που εφαρμόζονται διεθνώς.

ι) Το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ

Το υπολογιστικό σύστημα ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2006, Efstratiadis et al., 2005) είναι ένα ολοκληρωμένο σχήμα προσομοίωσης, το οποίο υλοποιεί ένα συνδυαστικό (επιφανειακό και υπόγειο) υδρολογικό μοντέλο που αναπαριστά τις διεργασίες στο έδαφος και το υπέδαφος, σε συνδυασμό με ένα σχήμα διαχείρισης συστηματικού προσανατολισμού, το οποίο εκτιμά τις πραγματικές απολήψεις του υδροσυστήματος,

λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς των τεχνικών έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων.

Ως προς τη χωρική κλίμακα αναπαράστασης των διεργασιών, το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ βασίζεται σε μια ημικατανεμημένη προσέγγιση, εκτιμώντας το ισοζύγιο των υδατικών πόρων σε χαρακτηριστικά σημεία (κόμβοι) του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης απορροής. Ως προς τη χρονική κλίμακα, το μοντέλο χρησιμοποιεί μηνιαίο ή ημερήσιο χρονικό βήμα, ενώ σε μελλοντική του έκδοση θα είναι δυνατή η εφαρμογή ακόμα λεπτότερου βήματος, με την ενσωμάτωση διαδικασιών διόδευσης.

Το πρόγραμμα συνεργάζεται με σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας (GIS), για την παραγωγή των δεδομένων εισόδου με γεωαναφορά (θεματικά επίπεδα). Επιπλέον, χρησιμοποιεί υδρολογικά και διαχειριστικά δεδομένα εισόδου, για την προσαρμογή του μοντέλου στις παρατηρημένες συνθήκες του παρελθόντος (βαθμονόμηση παραμέτρων). Για το σκοπό αυτό, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μια αυτόματη διαδικασία, που βασίζεται σε πολλαπλά κριτήρια σφάλματος και έναν εύρωστο αλγόριθμο ολικής βελτιστοποίησης.

Το μοντέλο και το σχετικό υπολογιστικό σύστημα έχει αναπτυχθεί στον Τομέα Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ, στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «ΟΔΥΣΣΕΥΣ».

Το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ χρησιμοποιεί γεωγραφικά, υδρολογικά και διαχειριστικά δεδομένα εισόδου. Συγκεκριμένα, σε μια ολοκληρωμένη εφαρμογή, ζητούνται οι ακόλουθες κατηγορίες δεδομένων:

- ψηφιακό μοντέλο εδάφους, γεωλογία, κάλυψη γης, σταθμοί μέτρησης
- υδρογραφικό δίκτυο (κόμβοι και κλάδοι υδατορεμάτων), υπολεκάνες, μονάδες υδρολογικής απόκρισης
- κύτταρα υδροφορέα, πηγές, γεωτρήσεις
- κόμβοι απόληξης, υδραγωγεία, ομάδες γεωτρήσεων, αρδευόμενες εκτάσεις, χρήσεις νερού, λειτουργικοί περιορισμοί υδροσυστήματος
- Χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (ανά υπολεκάνη), υδατικές ανάγκες, χρονοσειρές ελέγχου (μετρημένες παροχές ποταμών και πηγών, παρατηρημένες στάθμες υδροφορέα)
- υπολογιστικές συνιστώσες διαδικασιών προσομοίωσης και βαθμονόμησης.

Μια εφαρμογή του μοντέλου έγινε για την μελέτη του υδροσυστήματος της Δυτικής Θεσσαλίας όπου έγιναν οι ακόλουθες εργασίες:

- Ο καθορισμός των θέσεων μέτρησης παροχής σε υδατορέματα
- Ο καθορισμός του κατωφλιού επιφανειακής συγκέντρωσης νερού, που απαιτείται για την αυτόματη χάραξη του υδρογραφικού δικτύου, που επιλέχθηκε ίσο με 24 km^2
- Ο καθορισμός των μονάδων υδρολογικής απόκρισης που βασίστηκε στη τομή δύο γεωγραφικών επιπέδων πληροφοριών, της υδρολιθολογίας και των χρήσεων γης του υδροσυστήματος
- Η διακριτοποίηση του υπόγειου υδροφορέα, με βάση τον πιεζομετρικό χάρτη της πεδινής περιοχής
- Η σχηματοποίηση του αρδευτικού δικτύου της περιοχής.

ii) Το μοντέλο SWAT

Το SWAT (Soil and Water Assessment Tool) είναι ένα ολοκληρωμένο υδρολογικό μοντέλο φυσικής βάσης, που προβλέπει την επίδραση του υδρολογικού κύκλου στο νερό, τα φερτά υλικά και τη συγκέντρωση των χημικών ουσιών, σε μεγάλες και πολύπλοκες λεκάνες απορροής με ποικίλους τύπου εδαφών και χρήσεων γης. Η ανάπτυξη του μοντέλου ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1990, από την USDA Agricultural Research Service.

Το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργεί σε ημερήσια κλίμακα, και απαιτεί τα ακόλουθα δεδομένα εισόδου:

- ψηφιακό μοντέλο εδάφους
- ψηφιακός χάρτης με χρήσεις γης
- ψηφιακό υπόβαθρο υδρογραφικού δικτύου (προαιρετικό)
- ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης, μέγιστης-ελάχιστης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας
- διάφορα κλιματικά χαρακτηριστικά (προαιρετικά), όπως ύψος βροχόπτωσης για διάρκειες 0.5 και 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς 10 ετών, κατανομή βροχόπτωσης, στατιστικά χαρακτηριστικά βροχόπτωσης, διαδοχή υγρών-ξηρών ημερών, μέσες μηνιαίες τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ηλιοφάνεια, σημείου δρόσου, κλπ.

Το μοντέλο εκτιμά τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή με μία από τις μεθόδους Priestley-Taylor, Penman- Monteith ή Hargreaves.

Οι παράμετροι του μοντέλου είναι:

- παράμετροι καμπυλών SCS (για τη ρύθμιση της επιφανειακής απορροής ανά μονάδα υδρολογικής απόκρισης)
- χρόνος υστέρησης (εφόσον ο χρόνος συρροής είναι μεγαλύτερος της ημέρας)
- δείκτης φυλλικής αγωγιμότητας (επιφάνεια φύλλων που καλύπτουν κάθε μονάδα υδρολογικής απόκρισης)
- παράγοντας αντιστάθμισης εξάτμισης εδάφους (λαμβάνει υπόψη την ασυνέχεια των εδαφικών στρωμάτων)
- διαθέσιμη υγρασία εδαφικού στρώματος (όγκος νερού που θα έπρεπε να είναι διαθέσιμος στα φυτά αν το έδαφος βρισκόταν στην υδατοϊκανότητα)
- παράγοντας βασικής απορροής ή συντελεστής αποφόρτισης (~ 1 για ήπιες κλίσεις του καθοδικού κλάδου, ~ 0 για απότομες κλίσεις)
- αρχική αποθήκευση υπόγειου νερού
- κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα
- χαρακτηριστικά μεγέθη αβαθή υδροφορέα (ο χρόνος, σε ημέρες, που χρειάζεται το νερό για να κινηθεί από τη ζώνη ριζοστρώματος στον αβαθή υδροφορέα, ποσοστό νερού που κινείται προς τον αβαθή υδροφορέα, ελάχιστο ύψος νερού που απαιτείται ώστε να υπάρξει κίνηση προς τον αβαθή υδροφορέα, ελάχιστο ύψος που απαιτείται για ροή από το υπέδαφος στο ποτάμι)
- κλάσμα διήθησης υδροφορέα.

Το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να παράξει χρονοσειρές "καιρικών συνθηκών", χρησιμοποιώντας τα στατιστικά κλιματικά μεγέθη. Επιπλέον, με βάση τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, επιμερίζει τα συνολικά κατακρημνίσματα σε βροχόπτωση και χιονόπτωση. Η τήξη του χιονιού υπολογίζεται συναρτήσει της ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας, της ταχύτητας ανέμου και του σημείου δρόσου. Τέλος, εκτιμά τη θερμοκρασία εδάφους, συναρτήσει της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα, της φυτοκάλυψης και της χιονοκάλυψης.

Το μοντέλο προσομοιώνει τις ακόλουθες υδρολογικές διεργασίες:

- επιφανειακή απορροή
- ροή μέσω των εδαφικών στρωμάτων (διήθηση)
- ενδιάμεση απορροή
- υπόγεια απορροή
- εξατμισοδιαπνοή (υπολογίζεται χωριστά για το έδαφος και τα φυτά)
- τήξη χιονιού
- απώλειες υδατορεμάτων.

Τέλος, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη του τις κατασκευές συγκράτησης, που είναι έργα αναχαίτισης της απορροής πάνω σε υδατορέματα.

Αν και η προσομοίωση των διεργασιών γίνεται σε ημερήσια κλίμακα, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει σε ημερήσιο, μηνιαίο και ετήσιο χρονικό βήμα. Το χαρακτηριστικό αυτό βοηθά στη βαθμονόμηση του μοντέλου, στην περίπτωση που οι χρονοσειρές απόκρισης είναι αραιότερης χρονικής κλίμακας σε σχέση με την κλίμακα προσομοίωσης. (Τέγος, 2005).

iii) Το μοντέλο MIKE SHE

Το MIKE SHE (Système Hydrologique Européenne) είναι ένα δυναμικό εργαλείο ολοκληρωμένης προσομοίωσης του επίγειου υδρολογικού κύκλου. Η ανάπτυξη του μοντέλου ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ενώ η ανάπτυξη του λογισμικού υποστηρίζεται από τη Δανέζικη εταιρεία DHI Software και την Γαλλική εταιρεία SOGREAH.

Το μοντέλο έχει ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα εφαρμογών σε προβλήματα επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων, καθώς και σε προβλήματα περιβάλλοντος, όπως:

- επιπτώσεις στα επιφανειακά νερά λόγω αντλήσεων
- συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών
- διαχείριση και προστασία υδροβιότοπων
- διαχείριση λεκάνης απορροής
- εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- δυναμική επανατροφοδοσία υδροφορέων
- διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων
- μελέτες πλημμυρών
- εκτίμηση επιπτώσεων από αλλαγές στις χρήσεις γης και στο κλίμα
- εκτίμηση επιπτώσεων από γεωργικές πρακτικές.

Το μοντέλο αναπαριστά τις ακόλουθες διεργασίες:

- κατακρήμνιση (βροχόπτωση, χιονόπτωση)
- εξατμισοδιαπνοή, περιλαμβανομένης και της παρεμπόδισης από τη χλωρίδα

- επίγεια απορροή
- ροή σε υδατορέματα ανοιχτούς αγωγούς
- ακόρεστη ροή στο έδαφος
- κορεσμένη υπόγεια ροή.

Για κάθε διεργασία, το MIKE SHE παρέχει εναλλακτικούς τρόπους μαθηματικής περιγραφής, που κυμαίνονται από απλές, συγκεντρωτικές προσεγγίσεις έως εξελιγμένες, κατανεμημένες προσεγγίσεις φυσικής βάσης. Οι εν λόγω προσεγγίσεις μπορούν να συνδυαστούν με μεγάλη ευελιξία, παρέχοντας έτσι στο χρήστη τη δυνατότητα να προσαρμόσει το μοντέλο στο υδρολογικό πρόβλημα που εξετάζεται και στα διαθέσιμα δεδομένα. (Τέγος, 2005)

iv) 1D και 2D μοντέλα HEC-RAS, LISFLOOD-FP και TELEMAC-2D

Παρακάτω γίνεται εκτενής αναφορά και σύγκριση τριών μονοδιάστατων (1D) και δυσδιάστατων (2D) μοντέλων της υδραυλικής των πλημμυρών που εφαρμόστηκαν σε ακτίνα 60 χλμ του ποταμού Severn, UK.

Η έρευνα που παρουσιάζεται στοχεύει να αξιολογήσει την απόδοση των 1D και των 2D μοντέλων πλημμυρών, και ειδικότερα τη δυνατότητά τους να προβλέψουν την έκταση της πλημμυρικής κοίτης για ένα πλημμυρικό γεγονός όταν αυτά βαθμονομούνται σε άλλο. Αυτό επιτρέπει την αξιολόγηση της καταλληλότητας των μοντέλων για την πρακτική αξιολόγηση του κινδύνου. Τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα απεικονίζουν μια κίνηση των τελευταίων χρόνων από μια 1D προσέγγιση (που αντιπροσωπεύεται από τον αμερικανικό στρατό Σώμα Μηχανικών, μοντέλο HEC-RAS) προς μια 2D (TELEMAC-2D που αναπτύχθηκε από την Electricité de France) και τα μοντέλα που βασίζονται σε αναλογικά (raster) στοιχεία (LISFLOOD-FP). (Horritt & Bates, 2002).

Μοντέλα και περιοχή δοκιμής

1. HEC-RAS

Το μοντέλο HEC-RAS λύνει τις πλήρεις μονοδιάστατες εξισώσεις του St. Venant για την ασταθή ανοικτή ροή των καναλιών. Οι παράμετροι των εξισώσεων που χρησιμοποιεί είναι:

- η συνολική ροή μέσα στα όρια της μελέτης (ακτίνα 60 χλμ),
- οι αποστάσεις κατά μήκος του καναλιού και της πλημμυρικής κοίτης (αυτοί μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των διαγώνιων τμημάτων για να επιτρέπεται η στροφή των καναλιών),
- η περιβρεχόμενη περίμετρος,
- η υδραυλική ακτίνα,
- η τιμή της τραχύτητας του Manning και
- η κλίση τριβής.

2. LISFLOOD-FP

Το μοντέλο LISFLOOD-FP είναι ένα μοντέλο πλημμυρών βασισμένο σε αναλογικά στοιχεία (raster) κατασκευασμένο συγκεκριμένα για την ανάλυση τοπογραφικών στοιχείων υψηλής ανάλυσης. Η παροχή αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας μια μονοδιάστατη προσέγγιση, που είναι σε θέση να συλλάβει την προς τα κατάντη διάδοση του πλημμυρικού κύματος και την συμπεριφορά της επιφανειακής απορροής, η οποία περιγράφεται και υπολογίζεται με εξισώσεις συνοχής και ορμής.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία του μοντέλου είναι:

- η παροχή του υδατορέματος,
- ο διατομικός τομέας της ροής,
- η παροχή από άλλες πηγές (δηλ. από την πλημμυρική κοίτη ή ενδεχομένως από άλλους παραπόταμους),
- η επιφανειακή κλίση,
- ο συντελεστής τριβής,
- η περιβρεχόμενη περίμετρος και
- το βάθος ροής. Σε αυτήν την περίπτωση, το κανάλι λαμβάνεται ως ευρύ και ρηχό, έτσι η περιβρεχόμενη περίμετρος υπολογίζεται από το πλάτος του υδατορέματος.

Η παροχή από την πλημμυρική κοίτη περιγράφεται ομοίως με εξισώσεις συνοχής και ορμής, και δημιουργείται ένα πλέγμα τετραγώνων (κάναβος) που επιτρέπει στο μοντέλο να απεικονίσει σε δύο διαστάσεις (2D) τις πιθανές διατομές παροχής της πλημμυρικής κοίτης. Έτσι λαμβάνει υπόψη και τις παρακάτω παραμέτρους:

- το ελεύθερο ύψος επιφάνειας ύδατος στους κόμβους,
- τις διαστάσεις των πλεγμάτων,
- τον συντελεστή τριβής της πλημμυρικής κοίτης, και
- την παροχή μεταξύ των πλεγμάτων στις πλημμυρικές κοίτες.

3. TELEMAC-2D

Το μοντέλο TELEMAC-2D έχει εφαρμοστεί σε διάφορες ποτάμιες πλημμύρες και γεγονότα. Το μοντέλο λύνει τις δυσδιάστατες εξισώσεις ρηχού ύδατος (επίσης γνωστό ως Saint-Venant ή βάθος που υπολογίζεται κατά μέσο όρο) της ελεύθερης επιφανειακής απορροής. Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί είναι:

- ένα δυσδιάστατο υπολογισμένο, κατά μέσο όρο, διανυσματικό βάθος ταχύτητας,
- το βάθος ροής,
- το υψόμετρο των επιφανειών επιπέδωσης,
- η επιτάχυνση της βαρύτητας, και
- ο συντελεστής τριβής.

Βαθμονόμηση και σύγκριση των μοντέλων

Μετά την βαθμονόμηση των μοντέλων μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα από τα αποτελέσματα εφαρμογής τους στην περιοχή δοκιμής:

- Από την άποψη των προσομοιώσεων όπου το μοντέλο βαθμονομείται έναντι των στοιχείων που προσπαθεί να προβλέψει, το TELEMAC-2D λειτουργεί οριακά καλύτερα από τα άλλα μοντέλα εκτός από τα στοιχεία που αφορούν την πλημμύρα του 2000. Από την άποψη πρόβλεψης συμβάντων, το μοντέλο HEC-RAS αποδίδει οριακά καλύτερα (σε 4 από τις 6 μετρήσεις) από το TELEMAC-2D, το οποίο παρουσιάζει καλύτερη απόδοση σε 2 μετρήσεις και που είναι στη συνέχεια καλύτερος από το LISFLOOD-FP. Το LISFLOOD-FP δεν παράγει την καλύτερη απόδοση για καμία από τις μετρήσεις και τα σύνολα των στοιχείων που εξετάστηκαν. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι το TELEMAC-2D είναι καλύτερο κατά την πρόβλεψη του κατακλυσμού το 1998 από το HEC-RAS, κατάσταση που αντιστρέφεται για το γεγονός του 2000.
- Το μοντέλο HEC-RAS αποδίδει καλύτερα κατά την πρόβλεψη της πλημμυρισμένης περιοχής όταν βαθμονομείται στην πλημμυρισμένη περιοχή για ένα άλλο γεγονός, όπως και όταν βαθμονομείται σε σχέση με τον χρόνο ταξιδιού του πλημμυρικού κύματος.
- Οι προβλέψεις της περιοχής κατάκλυσης των πλημμυρών από το μοντέλο LISFLOOD-FP είναι σημαντικά φτωχότερες, όταν το μοντέλο βαθμονομείται ως προς το χρόνο ταξιδιού του πλημμυρικού κύματος, σε σύγκριση με την βαθμονόμηση του μοντέλου ως προς την πλημμυρισμένη περιοχή, αν και αυτό είναι σύμφωνο με τους στόχους του σχεδίου και τις προηγούμενες μελέτες ανάλυσης ευαισθησίας αυτής της κατηγορίας μοντέλου.
- Τα αποτελέσματα του μοντέλου TELEMAC-2D δεν εξαρτώνται από τα στοιχεία βαθμονόμησης, δίνοντας παρόμοια αποτελέσματα πρόβλεψης όταν βαθμονομείται ως προς τον χρόνο ταξιδιού και τις πλημμυρισμένες περιοχές.

Το HEC-RAS και το TELEMAC-2D αποδίδουν εξίσου καλά στην πρόβλεψη της πλημμυρισμένης περιοχής, είτε βαθμονομημένα στην πλημμυρισμένη περιοχή του 2000, είτε στο χρόνο ταξιδιού του πλημμυρικού κύματος, ενώ η απόδοση του μοντέλου LISFLOOD-FP εξαρτάται από τα στοιχεία βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται.

ν) DMIP έρευνα (αλληλοσύνδεση και σύγκριση 12 μοντέλων πρόβλεψης πλημμυρών)

Η συγκεκριμένη έρευνα συνοψίζει τα αποτελέσματα από τη μελέτη Distributed Model Intercomparison Project (DMIP). Οι προσομοιώσεις DMIP από δώδεκα διαφορετικά μοντέλα συγκρίνονται με παρατηρηθείσες ροές ποταμών καθώς και μοντέλα προσομοίωσης. Τα μοντέλα προσομοίωσης παρήχθησαν χρησιμοποιώντας τις ίδιες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στα Εθνικά Κέντρα Πρόβλεψης Καιρικών Συνθηκών (NWS - RFCs) για την βαθμονόμηση ιστορικών στοιχείων και χρησιμεύουν ως μια χρήσιμη συγκριτική μέτρηση επιδόσεων. Αξιολογούνται επίσης, οι διαφορές μεταξύ των βαθμονομημένων και μη, μοντέλων. (Reed et al., 2004)

Τα μεγέθη των λεκανών μοντελοποιήθηκαν χαρακτηριστικά στη σειρά σύμφωνα με τα RFCs από 300 έως 5000 km².

Μοντέλα

Δώδεκα διαφορετικοί συμμετέχοντες από ακαδημαϊκό, κυβερνητικό, και ιδιωτικό τομέα υπέβαλαν τα αποτελέσματα για την εργασία του DMIP του Αυγούστου 2002. Ο πίνακας 9 παρέχει κάποιες πληροφορίες για τους συμμετέχοντες και τα γενικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων μοντέλων. Η πρώτη στήλη του πίνακα 9 απαριθμεί τους κύριους συνεταιρισμούς για κάθε συμμετέχοντα, και η σύντμηση δύο ή τριών γραμμάτων για κάθε συνεταιρισμό που παρουσιάζεται σε αυτήν την στήλη θα χρησιμοποιείται σε όλη την υποενότητα για να δείξει τα αποτελέσματα που υποβάλλονται από την εκάστοτε ομάδα.

Ο πίνακας αναφέρει τις κυριότερες διαφορές και ομοιότητες μεταξύ των προσεγγίσεων των μοντέλων. Μερικά μοντέλα εξετάζουν μόνο την ισορροπία ύδατος, ενώ άλλοι (π.χ. UCB, EMC, και MIT) υπολογίζουν και την ενέργεια και την ισορροπία του νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Τα μεγέθη των μοντελοποιημένων στοιχείων ισορροπίας νερού που επιλέγονται για τις εφαρμογές DMIP κυμαίνονται από μικρά τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους (TIN), με μονάδες μοντέλου (~0,02 km²), ως τις μέσου μεγέθους μονάδες υπολεκανών (~100 km²). Μερικά μοντέλα υπολογίζουν άμεσα ή έμμεσα τα αποτελέσματα της τοπογραφίας στην ισορροπία του ύδατος με το έδαφος, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν τις τοπογραφικές πληροφορίες για το κανάλι ή/και τους υπολογισμούς δρομολόγησης της επιφανειακής ροής. Τείνουν να υπάρχουν λιγότερες διαφορές στην επιλογή μιας βασικής τεχνικής δρομολόγησης υδατορεμάτων, από την επιλογή μιας μεθόδου υπολογισμού βροχόπτωσης - απορροών. Πολλοί συμμετέχοντες χρησιμοποιούν μια κινηματική προσέγγιση κυμάτων στις εξισώσεις του Saint – Venant, ενώ μόνο μερικοί χρησιμοποιούν ένα πιο σύνθετο διάχυτο κύμα ή μια πλήρη δυναμική λύση. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ακρίβεια των προσομοιώσεων που παρουσιάζονται στην συγκεκριμένη έρευνα απεικονίζει όχι μόνο την καταλληλότητα της δομής του μοντέλου, τις διαδικασίες εκτίμησης παραμέτρων, και τα υπολογιστικά σχέδια των μεμονωμένων μοντέλων, αλλά και της ικανότητας, της εμπειρίας, και της χρονικής δέσμευσης των μεμονωμένων μοντέλων για αυτές τις λεκάνες.

Συμπεράσματα έρευνας DMIP

Στόχος της DMIP έρευνας είναι να γίνουν κατανοητές οι ικανότητες των υπάρχουσών κατανεμημένων μεθόδων προσομοίωσης και να προσδιοριστούν οι κατευθύνσεις για μελλοντικές έρευνες και ανάπτυξη. Έμφαση στην ανάλυση δίνεται στις συγκρίσεις των κατανεμημένων μοντέλων με τα αδιαμέριστα μοντέλα προσομοίωσης που χρησιμοποιείται για τη λειτουργική πρόβλεψη από τα εκάστοτε Εθνικά Κέντρα Πρόβλεψης Καιρικών Συνθηκών (RFCs). Τα βασικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

- Αν και τα αδιαμέριστα μοντέλα προσομοίωσης λειτούργησαν καλύτερα από τα κατανεμημένα μοντέλα, μερικά βαθμονομημένα κατανεμημένα μοντέλα μπορούν να αποδώσουν, συγκριτικά με ένα βαθμονομημένο αδιαμέριστο μοντέλο (τρέχον λειτουργικό πρότυπο), το ίδιο ή ακόμη και καλύτερα. Το ευρύ φάσμα ακρίβειας μεταξύ των αποτελεσμάτων των μοντέλων υποδεικνύουν, πως παράγοντες όπως η διαμόρφωση του μοντέλου, η παραμετροποίηση, και η ικανότητα του ατόμου που εφαρμόζει το μοντέλο μπορούν να ασκήσουν μεγαλύτερη επίδραση στην ακρίβεια προσομοίωσης από το εάν το μοντέλο είναι αδιαμέριστο ή κατανεμημένο.
- Με εφαρμογή κάποιου τύπου βαθμονόμησης μοντέλων μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση των κατανεμημένων μοντέλων. Κατά μέσον όρο, τα βαθμονομημένα μοντέλα λειτουργούν καλύτερα από τα μη για τη διάρκεια τόσο της περιόδου βαθμονόμησης όσο και της περιόδου επικύρωσης (επιβεβαίωσης).
- Η απόδοση στην πρόβλεψη των μέγιστων ροών από τα βαθμονομημένα κατανεμημένα μοντέλα ήταν αξιοπρόσεκτα κατά την εφαρμογή τους στις λεκάνες Christie και Blue. Η μορφή, ο προσανατολισμός και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης Blue ξεχωρίζουν από όλες τις άλλες λεκάνες της μελέτης. Τα αποτελέσματα από την λεκάνη Blue είναι ανάλογα προηγούμενων μελετών και δείχνουν πως εφαρμογή ενός κατανεμημένου μοντέλου προσομοίωσης, για πρόβλεψη σε εθνικό επίπεδο, σε λεκάνες απορροής τάξης των 1000 km² θα εξαρτηθούν από τα χαρακτηριστικά των λεκανών. Η λεκάνη Christie ξεχωρίζει σε αυτήν την μελέτη λόγω του μικρού μεγέθους της.
- Η λεκάνη Christie είχε καλύτερα αποτελέσματα από τις μεγαλύτερες λεκάνες που μελετήθηκαν, όχι μόνο στις γενικές στατιστικές, αλλά και στη σχετική δια-μοντελιακή απόδοση έναντι των μεγαλύτερων λεκανών. Μια εξήγηση είναι ότι οι παράμετροι των βαθμονομημένων αδιαμέριστων μοντέλων είναι εξαρτώμενες από την κλίμακα (μέγεθος) της λεκάνης, ενώ οι παράμετροι των κατανεμημένων μοντέλων που δίνουν τη χωρική μεταβλητότητα είναι λιγότερο εξαρτημένες από την κλίμακα της λεκάνης.
- Μεταξύ των βαθμονομημένων αποτελεσμάτων, τα μοντέλα που συνδυάζουν τεχνικές από θεμελιώδεις αρχές βροχόπτωσης-απορροής παρουσίασαν με συνέπεια καλύτερη απόδοση σε όλες τις λεκάνες της μελέτης, εκτός από τη μικρότερη λεκάνη (Christie).

| Συμμετέχοντες | Όνομα μοντέλου | Κύρια εφαρμογή | Χωρική μονάδα για τον υπολογισμό βροχόπτωσης - απορροής | Κάθετη εισροή βροχόπτωσης – απορροής στο μοντέλο | Μέθοδος δρομολόγησης καναλιού |
|--|-------------------------|---|--|---|-------------------------------|
| 1. Agricultural Research Service (ARS) | SWAT | Διαχείριση γης / γεωργία | Υδρολογική μονάδα απόκρισης (HRU) (6 – 7 km ²) | Πολυεπιπέδη ισορροπία εδαφικού νερού | Muskingum |
| 2. University of Arizona (ARZ) | SAC-SMA | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων | Υπολεκάνες (μέσο μέγεθος ~180 km ²) | SAC-SMA | Kinematic wave |
| 3. Danish Hydraulics Institute (DHI) | Mike 11 | Πρόγνωση, σχεδιασμός, διαχείριση νερού | Υπολεκάνες (~150 km ²) | NAM | Full dynamic wave solution |
| 4. Environmental Modelling Center (EMC) | NOAH Land Surface Model | Αλληλοεπίδραση εδάφους-ατμόσφαιρας για κλιματικά προγνωστικά μοντέλα, προσομοίωση δεδωμένων και πρόγνωση απορροής | ~160 km ² (1/8 βαθμοί κανάβου) | Πολυεπιπέδη ισορροπία εδαφικού νερού-ενέργειας | Linearized St Venant equation |
| 5. Hydrologic Research Center (HRC) | HRCDHM | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων | Υπολεκάνες (59 – 85 km ²) | SAC-SMA | Kinematic wavy |
| 6. Massachusetts Institute of Technology (MIT) | rRIBS | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων, πρόγνωση εδαφολογικής υγρασίας, σταθερότητα κλίσεων | TIN (~0.02 km ²) | Συνεχής προσομοίωση εδαφικής υγρασίας με αλληλεπίδραση τοπογραφικών στοιχείων | Kinematic wave |
| 7. Office of Hydrologic Development (OHD) | HL-RMS | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων | 16 km ² κελιά κανάβου | SAC-SMA | Kinematic wave |
| 8. University of Oklahoma (OU) | r.water.fea | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων | 1 km ² ή μικρότερο | Event based Green- Ampt infiltration | Kinematic wave |
| 9. University of California at Berkeley (UCB) | VIC-3L | Αλληλοεπίδρασεις εδάφους-ατμόσφαιρας | ~160 και ~80 km ² (1/8, 1/16 βαθμούς κανάβου) | Πολυεπιπέδη ισορροπία εδαφικού νερού-ενέργειας | One parameter simple routing |
| 10. Utah State University (UTS) | TOPNET | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων | Υπολεκάνες (~90 km ²) | TOPMODEL | Kinematic wave |
| 11. University of Waterloo, Ontario (UWO) | WATFLOOD | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων | Κανάβος 1-km | WATFLOOD | Linear storage routing |
| 12. Wuhan University (WHU) | LL-II | Πρόγνωση ροής υδατορεμάτων | Κανάβος 4-km | Πολυεπιπέδο μοντέλο διαφοροποίησης | Full dynamic wave solution |

Πίνακας 9. Γενικά χαρακτηριστικά και ομοιότητες-διαφορές συμμετεχόντων μοντέλων

vi) Μοντέλο HBV

Το μοντέλο είναι ένα διανεμημένο μοντέλο βροχόπτωσης-απορροών που βασίζεται σε μαθηματικές εξισώσεις. Το μοντέλο χρησιμοποιεί καθημερινές μετρήσεις και αποτελείται από μετρήσεις χιονιού, εδαφολογικής υγρασίας και δρομολόγησης του νερού στις πλαγιές της λεκάνης απορροής.

Οι μετρήσεις χιονιού αφορούν τις μετρήσεις της συγκέντρωσης χιονιού καθώς και του λιωμένου χιονιού με έναν απλό παράγοντα ημερήσιας θερμοκρασίας DDF, διορθωμένο με έναν παράγοντα διόρθωσης χιονιού (SCF).

Οι μετρήσεις της εδαφολογικής υγρασίας αφορούν τις μετρήσεις στην δημιουργία της επιφανειακής απορροής και τις αλλαγές της εδαφολογικής υγρασίας της λεκάνης απορροής. Έτσι, χρησιμοποιούνται οι παράμετροι FC, LP/FC και beta που εξηγούνται στον παρακάτω πίνακα.

Η δρομολόγηση του νερού στις πλαγιές της λεκάνης απορροής γίνεται με την βοήθεια των παραμέτρων k_0 , L_{Suz} , k_1 , k_2 , C_{perc} και C_{route} .

Ο πίνακας 10 δείχνει τις παραμέτρους που χρησιμοποιεί το μοντέλο.

| Παράμετροι | |
|-------------|--|
| DDF | Παράγοντας θερμοκρασίας ημέρας (Degree Day factor) (mm/(day °C)) |
| SCF | Παράγοντας διόρθωσης χιονιού (Snow correction factor) (-) |
| FC | Μέγιστη υγρασία εδάφους (Maximum soil moisture storage) (mm) |
| LP/FC | Λόγος ορίου πιθανής εξάτμισης και FC (Ratio of limit for potential evaporation and FC) (mm/mm) |
| beta | Μη γραμμική παράμετρος παραγωγής απορροής (Non-linearity parameter of runoff generation) (-) |
| k_0 | Συντελεστής αποθήκευσης (k_0 storage coefficient) (days) |
| L_{Suz} | Όριο ικανότητας αποθήκευσης (Storage capacity threshold) (mm) |
| k_1 | Συντελεστής γρήγορης αποθήκευσης (Fast storage coefficient) (days) |
| k_2 | Συντελεστής βραδείας αποθήκευσης (Slow storage coefficient) (days) |
| C_{perc} | Βαθμός διήθησης (Percolation rate) (mm/day) |
| C_{route} | Παράμετρος δρομολόγησης (Routing parameter) (days ² /mm) |

Πίνακας 10. Παράμετροι HBV μοντέλου

Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε στην Αυστρία και έγινε προσομοίωση της δυναμικής ισορροπίας νερού σε 308 λεκάνες απορροής της Αυστρίας.

Η περιοχή μελέτης υδρολογικά είναι αρκετά κυμαινόμενη (πεδινές λεκάνες στα ανατολικά ως τις υψηλές αλπικές λεκάνες στα δυτικά). Το υψόμετρο κυμαίνεται από 200 m έως περισσότερο από 3000 m, που σημαίνει ότι η ετήσια κατακρήμνιση είναι λιγότερο από 400 mm/έτος στην ανατολή και σχεδόν 3000 mm/έτος στη δύση. Οι χρήσεις γης είναι κυρίως γεωργικές εκτάσεις στα πεδινά, δασικές στα ημι-πεδινά, ενώ η αλπική βλάστηση και οι βράχοι επικρατούν στις υψηλότερες λεκάνες απορροής.

Χρησιμοποιήθηκαν διάφορα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής, όπως:

- το μέσο υψόμετρο και η μέση τοπογραφική κλίση που προήλθαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).
- η μέση ετήσια βροχόπτωση και η μέση μέγιστη ετήσια καθημερινή βροχόπτωση, η οποία κατανεμήθηκε χωρικά χρησιμοποιώντας την παρατηρηθείσα βροχόπτωση από τους βροχομετρικούς σταθμούς.
- η πυκνότητα των υδρογραφικών δικτύων υπολογίστηκε από τον ψηφιακό χάρτη υδρογραφικών δικτύων σε κλίμακα 1:50.000 για κάθε λεκάνη.
- οι χρήσεις γης, οι περιφερειακοί εδαφολογικοί τύποι και οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί. Οι ψηφιακοί χάρτες των παραπάνω συνδυάστηκαν με τα όρια των λεκανών για να παράγουν τοπικά παρατηρήσεις για κάθε τύπο χρήσης γης, εδαφολογικό τύπο, και γεωλογικής μονάδας. (Merz & Blöschl, 2004)

vii) Χρήση μαθηματικών μοντέλων

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή γίνεται χρήση μαθηματικών μοντέλων για την πρόβλεψη της στάθμης και της παροχής του νερού σε περίπτωση πλημμύρας. Με τα μαθηματικά μοντέλα γίνεται αναπαράσταση της κίνησης του νερού με εξισώσεις, οι οποίες τελικά λύνονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η λύση των εξισώσεων που προκύπτουν από τη μαθηματική προσομοίωση της κίνησης του νερού μέσα σε ένα ποτάμι, οδηγεί στην εκ των προτέρων γνώση της στάθμης και της παροχής, σε διάφορες επιθυμητές θέσεις κατά μήκος του ποταμού, όταν είναι γνωστή η παροχή σε κάποιο σημείο στα ανάντη.

Χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές εξισώσεις οι οποίες εκφράζουν μαθηματικά τους νόμους διατήρησης της μάζας και της ποσότητας κίνησης. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι:

- το πλάτος της ελεύθερης πτώσης,
- το βάθος του νερού,
- ο χρόνος,
- η παροχή,
- η απόσταση κατά μήκος του ποταμού,
- η πλευρική παροχή ανά μονάδα μήκους (παριστάνει είτε εισροή από βροχόπτωση ή από παραπόταμο, είτε εκροή από διήθηση),
- η μέση ταχύτητα ροής,
- η επιτάχυνση της βαρύτητας,
- το εμβαδό υγρής διατομής,
- η κλίση του πυθμένα,
- η κλίση τριβών,
- η συνιστώσα της ταχύτητας της πλευρικής παροχής κατά τη χ-διεύθυνση και
- η απόκλιση του ποταμού από την πρισματική μορφή.

Έγινε εφαρμογή του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου στον Αξιό ποταμό στο οποίο μελετήθηκε ένα τμήμα του μήκους 22 χλμ. που αρχίζει από το σταθμό '61+500' χλμ. της σιδηροδρομικής γραμμής Θεσσαλονίκης-Ειδομένης, που βρίσκεται 14,9 χλμ. κατάντη των Ελληνο-Γιουγκοσλαβικών συνόρων.

Συμπερασματικά καταλήγουμε πως τρέχοντας ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή, μπορούμε εκ των προτέρων να υπολογίσουμε την στάθμη στην οποία θα φτάσει το νερό σε κάποια ενδεχόμενη πλημμύρα, σε όλο το μήκος του ποταμού, και να επέμβουμε κατάλληλα ώστε να προστατευθεί η γύρω περιοχή. (Αναστασιάδου, 1993).

Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι οι υποθέσεις που κάνει για την εκτίμηση διαφόρων παραμέτρων καθώς και η δυσκολία εφαρμογής της γιατί δεν καταλήγει σε συγκεκριμένο μοντέλο υπολογιστή παρά μόνο αναφέρει την δυνατότητα χρήσης του.

5.8. Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Το μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να αποτελεί βάση για την διαδικασία εκτίμησης τόσο της πλημμυρικής αιχμής όσο και της εν γένει κατανομής που προκαλεί η βροχή. Εισήχθη πρώτα από τον Sherman (1932), ο οποίος έδωσε και τον εξής ορισμό: Το Μοναδιαίο υδρογράφημα είναι το υδρογράφημα που προκαλείται από ενεργό βροχή ύψους ίσου με τη μονάδα (στο μετρικό σύστημα ίσης με ένα cm), που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σ' όλη την έκτασή της υδρολογική λεκάνης κι έχει ομοιόμορφη ένταση. Δηλαδή το μοναδιαίο υδρογράφημα απορροής είναι ένα υδρογράφημα απορροής που προκαλείται από ενεργό βροχή ίση με 10 mm συγκεκριμένης διάρκειας.

Η θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές:

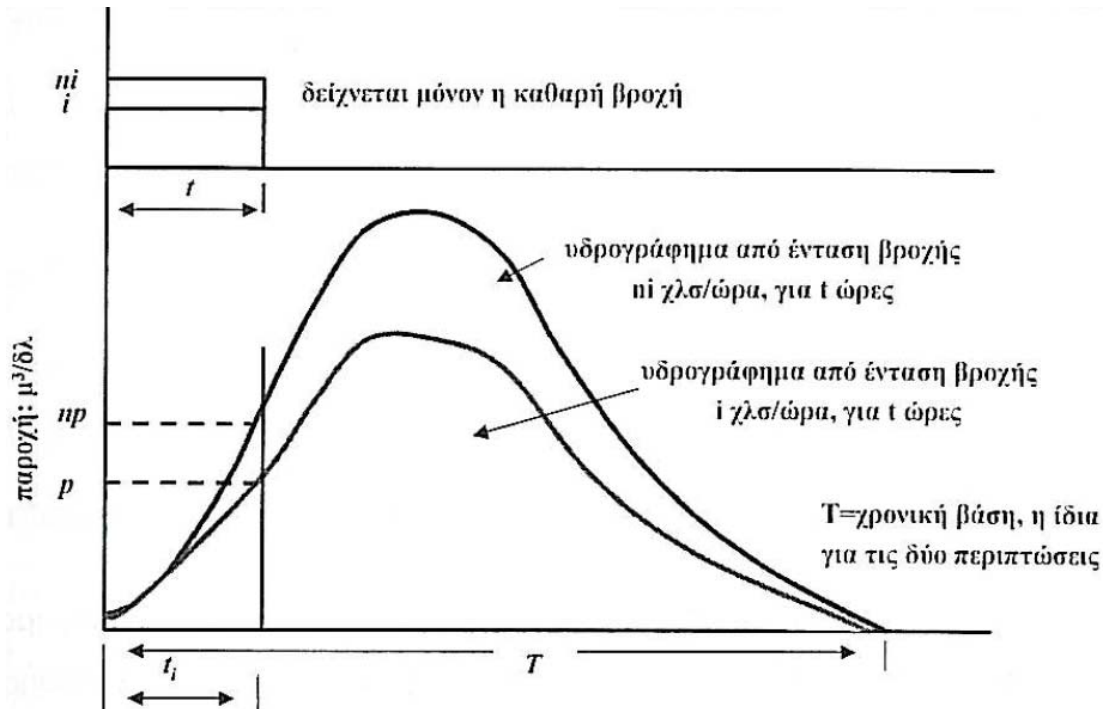
- Σε μια συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη, βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, δίνουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια περίπου χρονική βάση ανεξάρτητα από την ένταση της βροχής.
- Σε μια δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μία συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές ή τις επόμενες.
- Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει αμετάβλητη με σχέση με το χρόνο.

Οι παραπάνω προϋποθέσεις μόνο κατά προσέγγιση ικανοποιούνται από τις φυσικές υδρολογικές λεκάνες. Το πρώτο κριτήριο δεν είναι απόλυτα ορθό καθώς αγνοεί την αποθηκευτική ικανότητα των ρεμάτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της βροχόπτωσης, τόσο περισσότερο νερό αποθηκεύεται στα ρεύματα. Το νερό αυτό θα απορρεύσει μετά την βροχόπτωση, επιμηκύνοντας τον χρόνο απορροής. Το δεύτερο κριτήριο μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για υδρογραφήματα όπου τους έχει αφαιρεθεί η βασική ροή, καθώς η βασική ροή προέρχεται από προγενέστερες βροχές που ακόμα επηρεάζουν με ουσιαστικό τρόπο τα υδατορέματα. Ταυτόχρονα, μόνο ως παραδοχή μπορεί να θεωρηθεί ότι προηγούμενες βροχές αφήνουν ανεπηρέαστη την λεκάνη απορροής στο σύνολό της, αφού είναι γεγονός ότι η απόκριση που θα έχει η λεκάνη απορροής μετά από ξηρή περίοδο θα είναι διαφορετική από την απόκριση που θα έχει αν της βροχόπτωσης είχε προηγηθεί, σε σύντομο χρονικό διάστημα, άλλη βροχόπτωση, που θα έχει αφήσει σχετικά υγρή την λεκάνη απορροής.

Τέλος, η τρίτη παραδοχή είναι γενικά αποδεκτή για εύλογο χρονικό διάστημα, φτάνει να μην έχει μεταβληθεί η κατάσταση της λεκάνη από

εξωγενείς αιτίες όπως κατασκευές, πυρκαγιές, αλλαγή των χρήσεων γης και της φυτοκάλυψης σε μεγάλη κλίμακα της λεκάνης.

Οι δύο βασικές αρχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η αρχή της αναλογίας και η αρχή της επαλληλίας. Σύμφωνα με την αρχή της αναλογίας δύο ενεργές βροχές ίδιας χρονικής διάρκειας αλλά διαφορετικών εντάσεων δίνουν υδρογραφήματα ίδιας χρονικής βάσης αλλά με τεταγμένες, σε κάθε χρονική στιγμή, που έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων.



Σχήμα 3. Η αρχή της αναλογίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος (Πηγή: Μιμίκου & Μπαλτάς, 2002)

Η αρχή της επαλληλίας θεωρεί ότι το συνολικό υδρογράφημα που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των επιμέρους υδρογραφημάτων. Η χρονική αρχή των επιμέρους υδρογραφημάτων που αθροίζονται, ταυτίζεται με την αρχή των αντιστοίχων επεισοδίων ενεργού βροχόπτωσης.

Εφαρμόζοντας αυτές τις δυο αρχές, γίνεται η παραγωγή του υδρογραφήματος οποιασδήποτε βροχόπτωσης έχοντας γνωστό το μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης απορροής. Προηγουμένως όμως, το υδρογράφημα των βροχοπτώσεων πρέπει να «καθαριστεί», δηλαδή να αφαιρεθούν από το υδρογράφημα οι κατακρατήσεις του εδάφους που δεν καταλήγουν στην άμεση απορροή. Αυτό γίνεται με διάφορες μεθόδους όπως η μέθοδος του δείκτη Φ ή η μέθοδος SCS. (Χριστοφίδης, 2008).

Κεφάλαιο 6

Περιοχή μελέτης

6. Περιοχή μελέτης

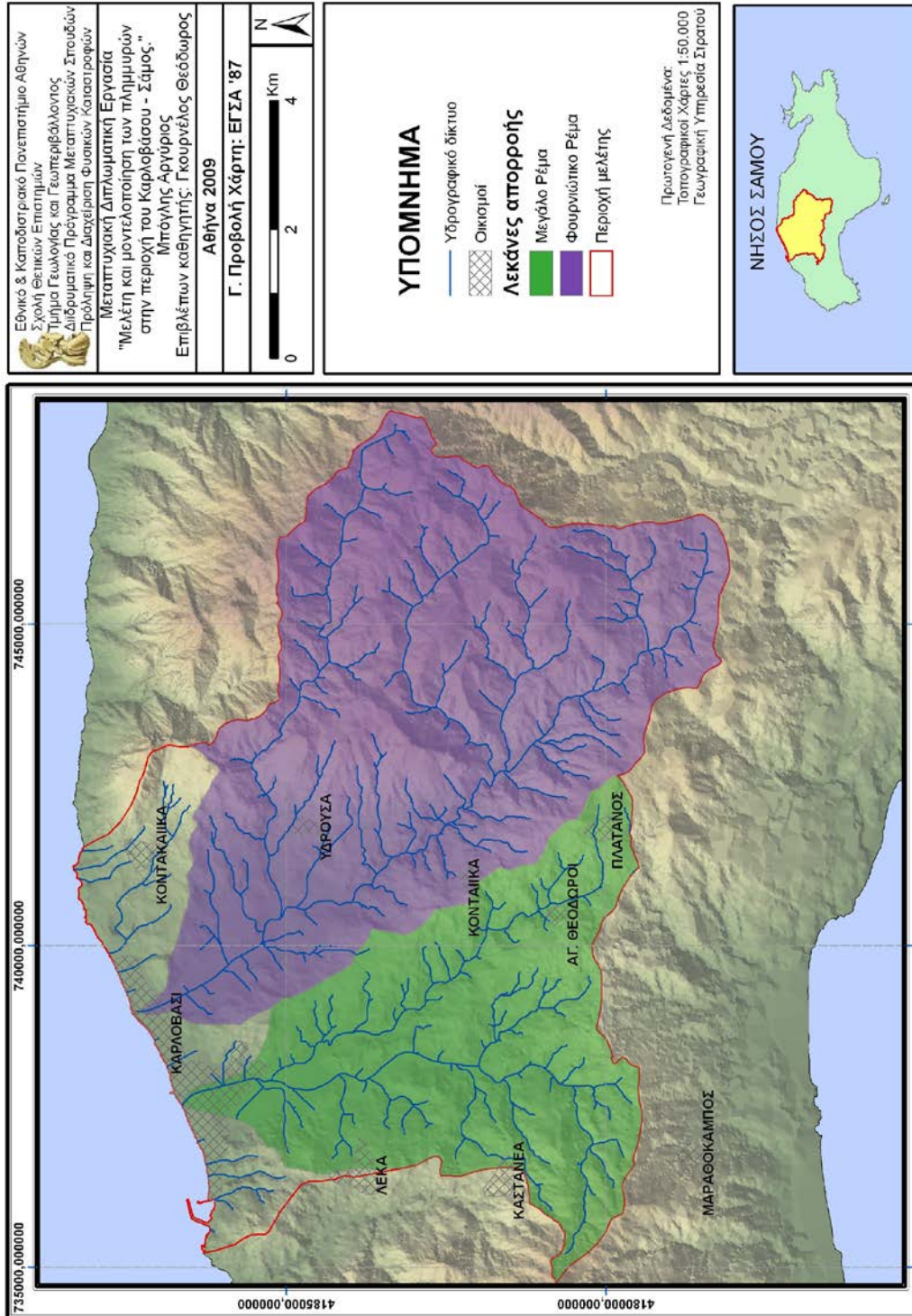
Η περιοχή μελέτης εκτείνεται στην περιοχή του Καρλοβάσου (Εικόνα 19). Η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Μεγάλο Ρέμα, που μελετάται, ρέει μέσα από τον οικισμό του Καρλοβάσου και εκβάλλει στη θάλασσα. Επίσης μελετάται και η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Φουρνιώτικο Ρέμα ο οποίος εκβάλλει στη θάλασσα λίγο έξω από τον οικισμό του Καρλοβάσου και είναι γνωστός για τις σημαντικές πλημμυρικές απορροές κατά την διάρκεια έντονων καταιγίδων. Η περιοχή διοικητικά ανήκει στον Δήμο Καρλοβασίων.

Ο Δήμος Καρλοβασίων καλύπτει το βορειοδυτικό τμήμα της Σάμου με ποικιλία εναλλαγών στο φυσικό τοπίο. Ο διευρυμένος Δήμος δημιουργήθηκε με το νόμο 2539 του 1997, το γνωστό νόμο Καποδίστρια. Ο Δήμος αποτελείται από τα παρακάτω δημοτικά διαμερίσματα:

- 1) Καρλοβασίων,
- 2) Κοντακείων,
- 3) Λέκας,
- 4) Πλατάνου,
- 5) Υδρούσσης,
- 6) Κοντείων,
- 7) Καστανιάς,
- 8) Κοσμαδαίων,
- 9) Αγίων Θεοδώρων και
- 10) Δρακαίων.

Ο οικισμός του Καρλοβάσου αποτελεί την έδρα του Δήμου Καρλοβασίων με πληθυσμό 5357 κατοίκους (1991). Αποτελείται από το Παλιό Καρλόβασι, το Λιμάνι, το Μεσαίο, το Νέο και τον Όρμο. Μέχρι το 1953, διοικητικά το Καρλόβασι ήταν χωρισμένο σε τρεις κοινότητες, στην κοινότητα Παλαιού, στην κοινότητα Μεσαίου και στην κοινότητα Νέου Καρλοβασίου. Από το 1953 μέχρι το 1997 οι τρεις κοινότητες αποτέλεσαν τον ενιαίο Δήμο Καρλοβασίων και μετά το 1997 ο Δήμος Καρλοβασίων μετατράπηκε σε δημοτικό διαμέρισμα και εντάχθηκε στο νέο σχήμα αυτοδιοίκησης.

Η περιοχή του Καρλοβάσου, μαστίζεται κάθε χρόνο από μια τουλάχιστον μεγάλη πλημμύρα που δημιουργεί καταστροφές στον αντίστοιχο οικισμό. Ειδικά μετά τις πυρκαγιές που έλαβαν χώρα τα τελευταία χρόνια στο όρος Κερκετέας που βρίσκεται νότια του Καρλοβάσου, το φαινόμενο έχει γίνει πιο έντονο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πλημμύρα του Οκτωβρίου 2003 στον οικισμό του Καρλοβάσου με εκτεταμένες ζημιές στο αστικό δίκτυο και τους γύρω οικισμούς. Η πυρκαγιά του Ιουλίου 2000, η οποία αποτέφρωσε σχεδόν 90.000 στρέμματα και απογύμνωσε το φυτικό κάλυμμα ενός μεγάλου τμήματος του νησιού, και τα εξαιρετικής έντασης πλημμυρικά φαινόμενα που σημειώθηκαν την επόμενη χρονιά (Νοέμβριος του 2001), οδήγησαν σε εκτεταμένες καταστροφές στις εκβολές των χειμάρρων (φαινόμενα λασπορροής) όπου βρίσκεται ο οικισμός του Καρλοβάσου (Gournelos et al., 2008).



Εικόνα 19. Περιοχή μελέτης

6.1. Γενικά χαρακτηριστικά περιοχής Καρλοβάσου

6.1.1. Χαρακτηριστικά Λεκανών απορροής και Υδρογραφικό δίκτυο

Όσον αφορά το Μεγάλο Ρέμα, το οποίο πηγάζει από τον Πλάτανο, την Καστανιά και τα υψώματα του Μαραθόκαμπου, η μορφολογία της λεκάνης απορροής του είναι λοφώδης με ομαλές εδαφικές κλίσεις. Η φυτοκάλυψη είναι σημαντική με βλάστηση θαμνώδη και δενδρώδη. Οι κύριοι λιθολογικοί σχηματισμοί που συνέρχονται στην ευρύτερη περιοχή αποτελούνται από νεογενή ιζήματα (μάργες, τραβετινοειδείς ασβεστόλιθοι, πηλοί, άργιλοι, ψαμμίτες, λατυποκροκαλοπαγή, ηφαιστειακοί τόφφοι και τοφφίτες). Οι μάργες και οι τραβενοειδείς ασβεστόλιθοι επικρατούν σαφώς των άλλων νεογενών ιζημάτων, καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις και έχουν σημαντικό πάχος. Στα χαμηλά της κοιλάδας, αλλουβιακά αργιλοαμμώδη υλικά καλύπτουν τις λεπτοστρωματώδεις μάργες.

Όσο για το Φουρνιώτικο Ρέμα, η μορφολογία της λεκάνης απορροής χαρακτηρίζεται από σχετικά έντονες κλίσεις, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μικρός χρόνος συρροής σε σχέση με άλλες λεκάνες παραπλήσιας έκτασης. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι απλής δενδριτικής μορφής, τυπική μορφή σε ιζηματογενείς σχηματισμούς. Η φυτοκάλυψη της περιοχής είναι σημαντική με δενδρώδη κατά κύριο λόγο αλλά και θαμνώδη βλάστηση. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί αποτελούνται από τεταρτογενή στα κατάντη και από μάργες και σχιστόλιθους-εκρηξιγενή στα ανάντη της λεκάνης.

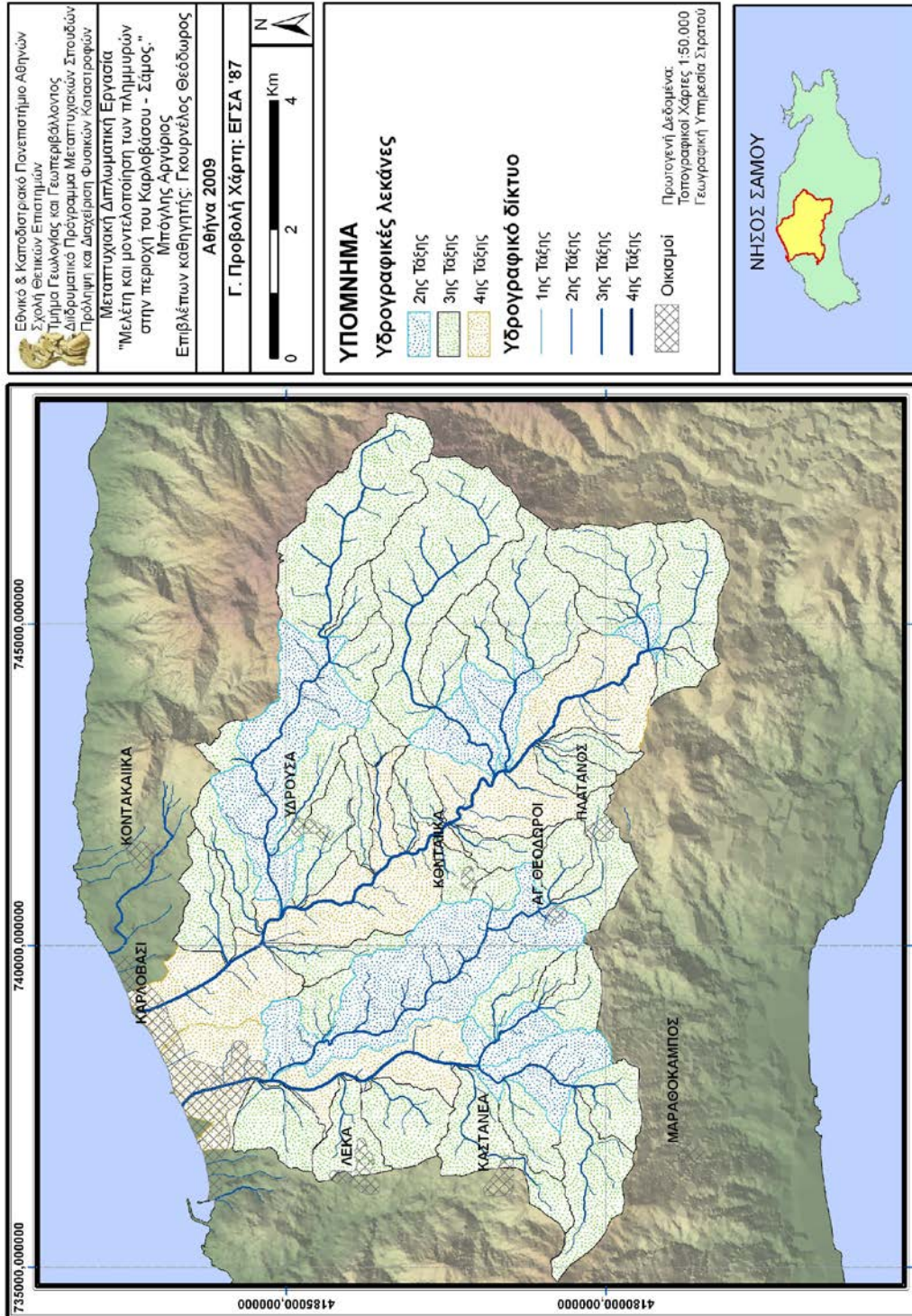
Σύμφωνα με την ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler οι λεκάνες απορροής είναι 4^{ης} τάξης. Η λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος περιλαμβάνει 3 υπολεκάνες 3^{ης} τάξης, ενώ αυτή του Φουρνιώτικου Ρέματος 5 υπολεκάνες 3^{ης} τάξης.

Το μήκος των κυρίων κλάδων για το Μεγάλο Ρέμα είναι 10,13 km και για το Φουρνιώτικο 13,51 km. Οι λεκάνες απορροής καταλαμβάνουν έκταση 25,2 km² και 45,8 km², για το Μεγάλο και Φουρνιώτικο Ρέμα, αντίστοιχα.

Στον πίνακα 11 αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά των λεκάνων απορροής.

| | Αριθμός κλάδων 1 ^{ης} τάξης | Μήκος κλάδων 1 ^{ης} τάξης | Αριθμός κλάδων 2 ^{ης} τάξης | Μήκος κλάδων 2 ^{ης} τάξης | Αριθμός κλάδων 3 ^{ης} τάξης | Μήκος κλάδων 3 ^{ης} τάξης | Αριθμός κλάδων 4 ^{ης} τάξης | Μήκος κλάδων 4 ^{ης} τάξης |
|------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Μεγάλο Ρέμα | 53 | 24,98 | 16 | 14,64 | 4 | 73,13 | 1 | 5,07 |
| Φουρνιώτικο Ρέμα | 95 | 46,46 | 25 | 14,63 | 5 | 15,42 | 1 | 11,18 |

Πίνακας 11. Κύρια χαρακτηριστικά λεκανών απορροής



Εικόνα 20. Υδρογραφικό δίκτυο και λεκάνες απορροής περιοχής μελέτης

6.1.2. Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα με B-N ανάπτυξη, μεταξύ των σχιστόλιθων της Αμπέλου και των σχιστόλιθων Μαραθόκαμπου–Κοσμοδαίων. Από τους νεότερους προς τους κατώτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες, διακρίνονται (Vassilopoulos et al., 2008):

- *Ανώτερη σειρά σχηματισμών λεκάνης Καρλόβασου*
- *Κλαστική σειρά σχηματισμών λεκάνης Καρλόβασου*
- *Κατώτερη σειρά σχηματισμών λεκάνης Καρλοβάσου*

Η λεκάνη αποτελείται κυρίως από τραβερτινοειδείς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, λιμναίας φύσης, με παρεμβολές από μάργες μικρής συνεκτικότητας, που μερικές φορές περιέχουν διάσπαρτες κροκάλες. Επίσης απαντώνται ποταμολιμναίες αποθέσεις τα οποία αποτελούνται από κροκαλολατυποπαγή, άστρωτα, μικρής συνεκτικότητας, με κροκαλολατύπες από ηφαισίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του Νεογενούς και μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως μάρμαρα, χαλαζίτες και σχιστόλιθους μεγέθους από 1 έως 10cm μερικές φορές μέχρι και 30cm γενικά χωρίς προσανατολισμό. Τέλος, κατά θέσεις απαντούν ψαμμιτικές μάργες και πηλοί ερυθρού χρώματος με διάσπαρτες ψηφίδες και κροκάλες μέσα σε αυτές (Vassilopoulos et al., 2008).

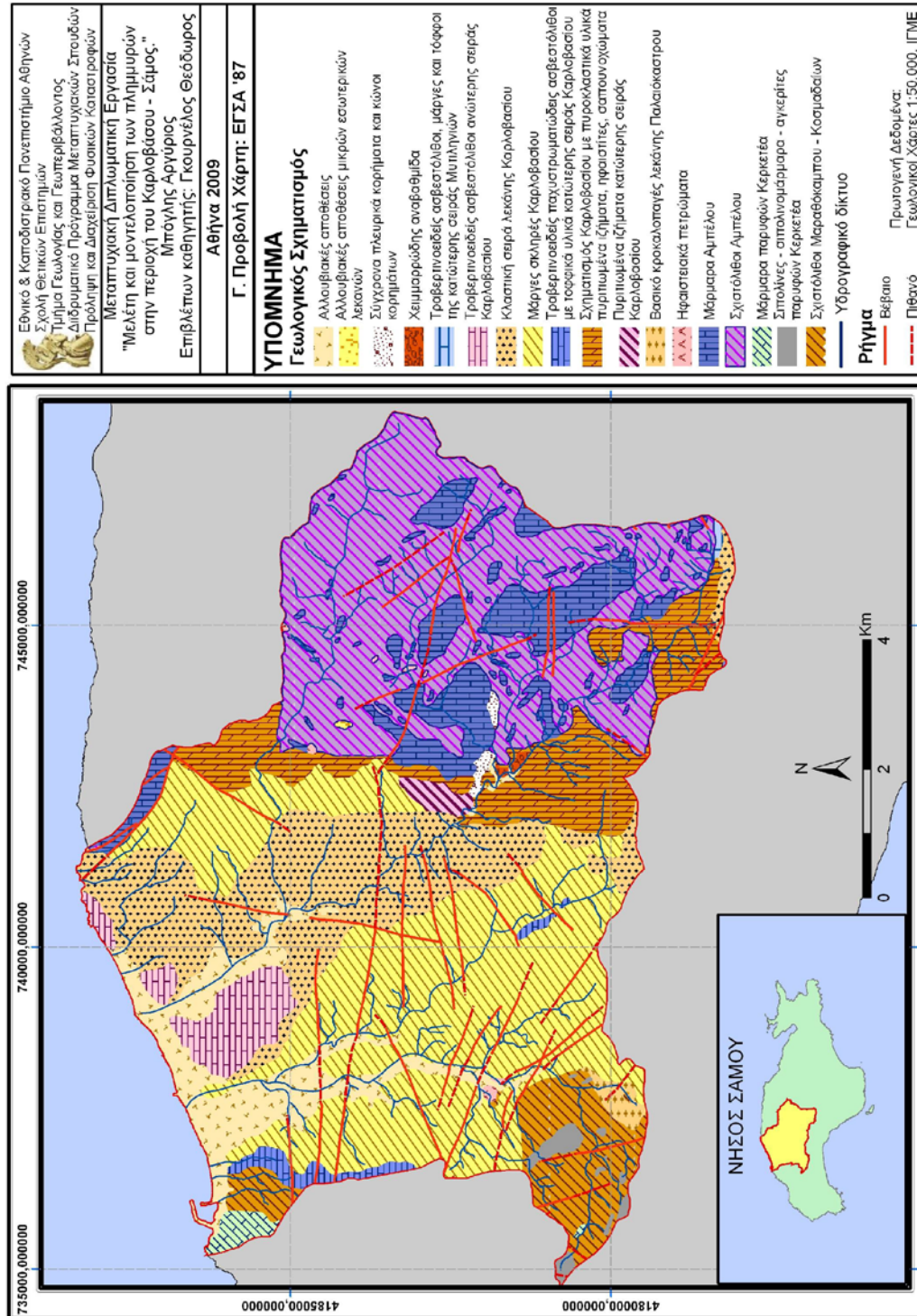
Οι αλλουβιακές αποθέσεις των χαμηλών περιοχών που αποτελούνται από στρώματα αργιλοϊλύων, άμμων και χαλικομιγών σχηματισμών έχουν γενικά υψηλό υδροφόρο ορίζοντα με περατότητες που ποικίλουν ανάλογα με την κοκκομετρία που επικρατεί στα διάφορα στρώματα.

Τα πλευρικά (ασβεστολιθικά κυρίως) κορήματα που αποτελούνται γενικά από ασύνδετα αδρομερή υλικά (άμμους, χαλίκια, λατύπες και τοπικά ογκολίθους) και έχουν συνήθως πάχος λίγων μέτρων, παρουσιάζουν κατά κανόνα ικανοποιητικές υδατοπερατότητες.

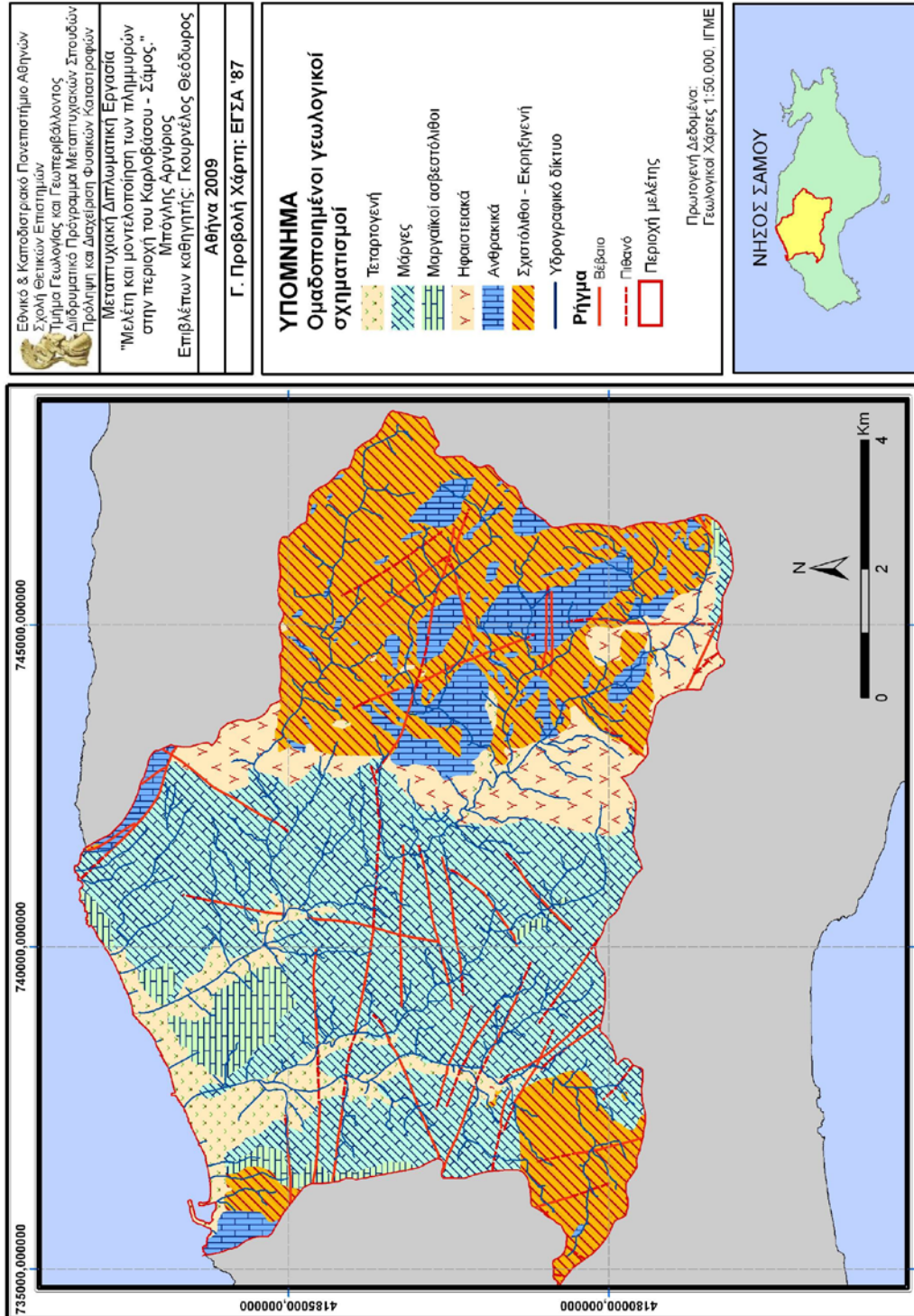
Οι αποθέσεις των χειμαρρικών αναβαθμιδών που αποτελούνται από αδρομερή σκληρά στοιχεία (άμμοι, χαλίκια, κροκάλες) και από λεπτόκοκκα συνδετικά συστατικά (άργιλοι, πηλοί, ιλύες) παρουσιάζουν γενικά στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από την εκάστοτε στάθμη που έχουν οι παρακείμενοι χείμαρροι.

Τα ανθρακικά ιζήματα (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες) με τοπικά έντονα καρστικά φαινόμενα κυρίως σε ρηγματογόνες ζώνες, παρουσιάζουν ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης υπόγειων υδάτων, τα οποία είτε εκφορτίζονται με μορφή καρστικών πηγών, είτε μεταγγίζονται υπεδαφικώς στις αλλουβιακές αποθέσεις και στα πλευρικά κορήματα.

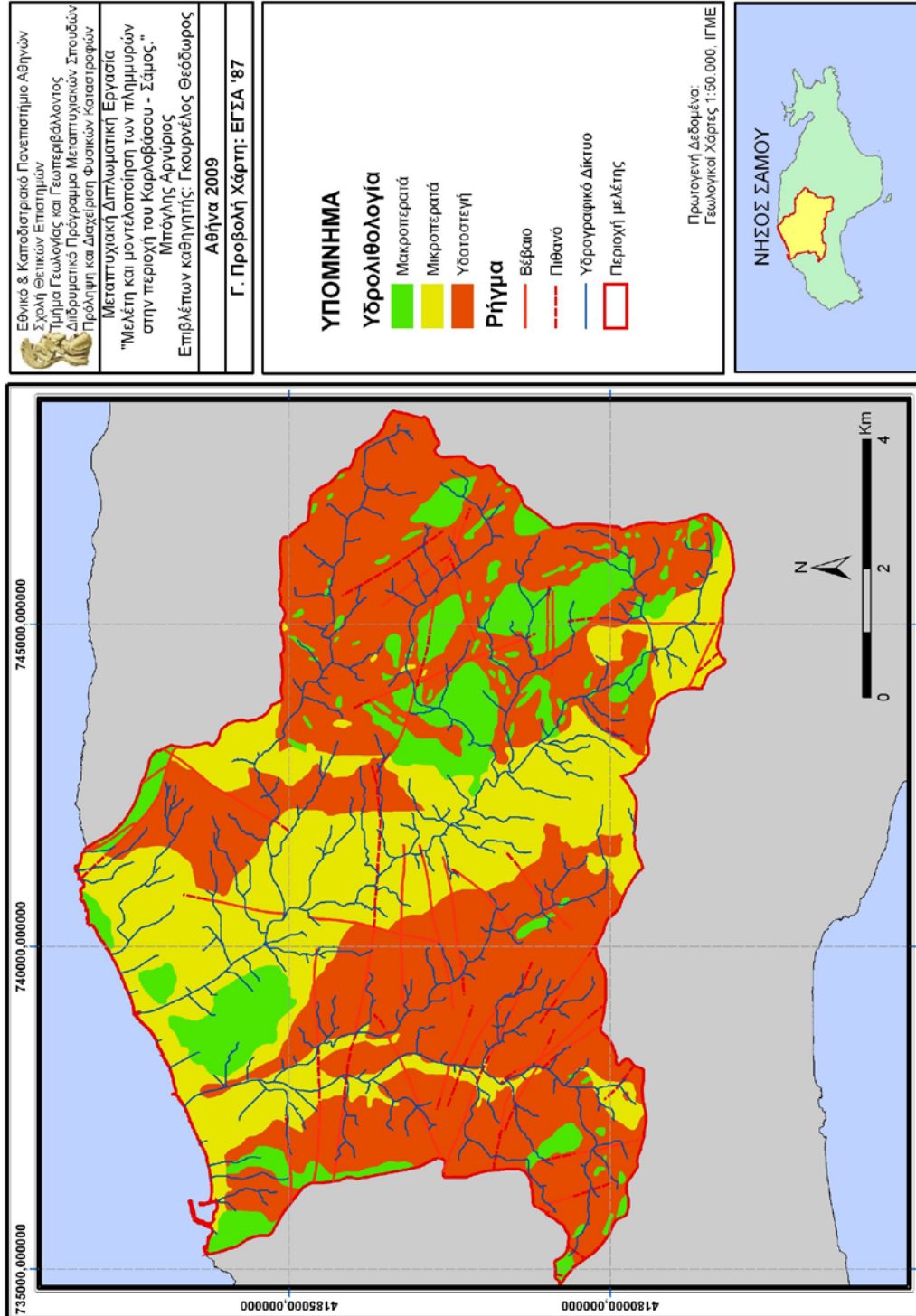
Αντίθετα, οι μάργες αποτελούν πρακτικά στεγανούς σχηματισμούς, λόγω της λεπτομερούς υφής των αργιλικών και τοφφικών υλικών από τα οποία συντίθενται. (Προβατάς κ. ά., 2004).



Εικόνα 21. Γεωλογικοί σχηματισμοί λεκάνης Καρλοβάσου



Εικόνα 21. Λιθολογικοί σχηματισμοί λεκάνης Καρλοβάσου



Εικόνα 22. Υδατοπερατότητα γεωλογικών σχηματισμών λεκάνης Καρλοβάσου

6.1.3. Παράκτια διάβρωση

Η παραλιακή ζώνη από το λιμάνι του Καρλοβασίου (κάβο Σχοίνο) έως και



Εικόνα 23. Ζώνη απόθεσης στις εκβολές του Μεγάλου Ρέματος



Εικόνα 24. Διαφοροποίηση του υλικού εκατέρωθεν των μόλων. Ανατολικά (κάτω) παρατηρείται απόθεση άμμου και χαλικιών ενώ δυτικά (πάνω) παρατηρείται διάβρωση και μείωση του μήκους της παραλίας



Εικόνα 25. Διάβρωση της παραλιακής ζώνης στα παλαιά βυρσοδεψία Καρλοβασίου

Πληροφορίες από την λαογραφία αναφέρουν ότι τα βυρσοδεψία χτίστηκαν πίσω από μια πλατιά παραλία η οποία όμως σήμερα, έχει διαβρωθεί και βρίσκονται σχεδόν μέσα στην ζώνη των κυμάτων.

τις εκβολές του χειμάρρου Φουρνιώτικου χαρακτηρίζεται από έντονη παράκτια διάβρωση. Η περιοχή αποτελείται από ευδιάβρωτες, άργιλο-αμμώδεις με λίγες κροκαλολατύπες, προσχώσεις των χειμάρρων Φουρνιώτικος και Μεγάλο Ρέμα. Ο όρμος του Καρλοβασίου, που έχει προσανατολισμό Δ-ΒΑ και μορφή ανοιχτής υπερβολής, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου είναι βόρεια δημιουργούν παράκτια ρεύματα με δυτική κατεύθυνση που ευνοούν την μεταφορά υλικού.

Η διάβρωση έχει επηρεάσει έντονα την αιγιαλίτιδα ζώνη και είναι εμφανής στον παραθαλάσσιο δρόμο ο οποίος λόγω θέσης εκτίθεται και στην κυματική δράση. Έχουν γίνει προσπάθειες αντιμετώπισης της διάβρωσης με τέσσερις λιθόρυπτους μόλους κάθετους στην παραλία οι οποίοι έχουν σκοπό να ανακλούν και να διασκορπίζουν την κυματική ενέργεια. Σήμερα παρατηρείται μια διαφορά στην ποσότητα υλικού εκατέρωθεν των μόλων, στα ανατολικά υπάρχει απόθεση, με αύξηση του πλάτους της παραλίας ενώ στα δυτικά η διάβρωση έχει ενταθεί μειώνοντας το πλάτος της παραλίας (Εικ. 24).

Ένα ακόμη δείγμα της έντονης διάβρωσης στην παραλιακή ζώνη του Καρλοβασίου είναι η περιοχή βόρεια των εκβολών του Μεγάλου Ρέματος, στα παλαιά βυρσοδεψία της πόλης.

Η μόνη περιοχή στην οποία υπάρχει απόθεση είναι οι εκβολές του Μεγάλου Ρέματος, το οποίο αποθέτει περισσότερο υλικό από αυτό που μπορούν να διαβρώσουν οι θαλάσσιες διεργασίες. Με εξαίρεση τις εκβολές, σημαντικά προβλήματα παρουσιάζονται στην παράκτια ζώνη του όρμου του Καρλοβάσιου και είναι απαραίτητο να γίνουν έργα προστασίας τόσο γιατί ο παραλιακός δρόμος κινδυνεύει άμεσα, όσο και γιατί το πλάτος του αιγιαλού έχει μειωθεί πολύ αλλάζοντας έτσι τις περιβαλλοντικές ισορροπίες και επηρεάζοντας την τουριστική ανάπτυξη της περιοχής (Gournelos et al., 2001, Vaiiopoulos et al., 2007, Evelpidou et al., 2008, Ευελπίδου κ.ά., 2008).

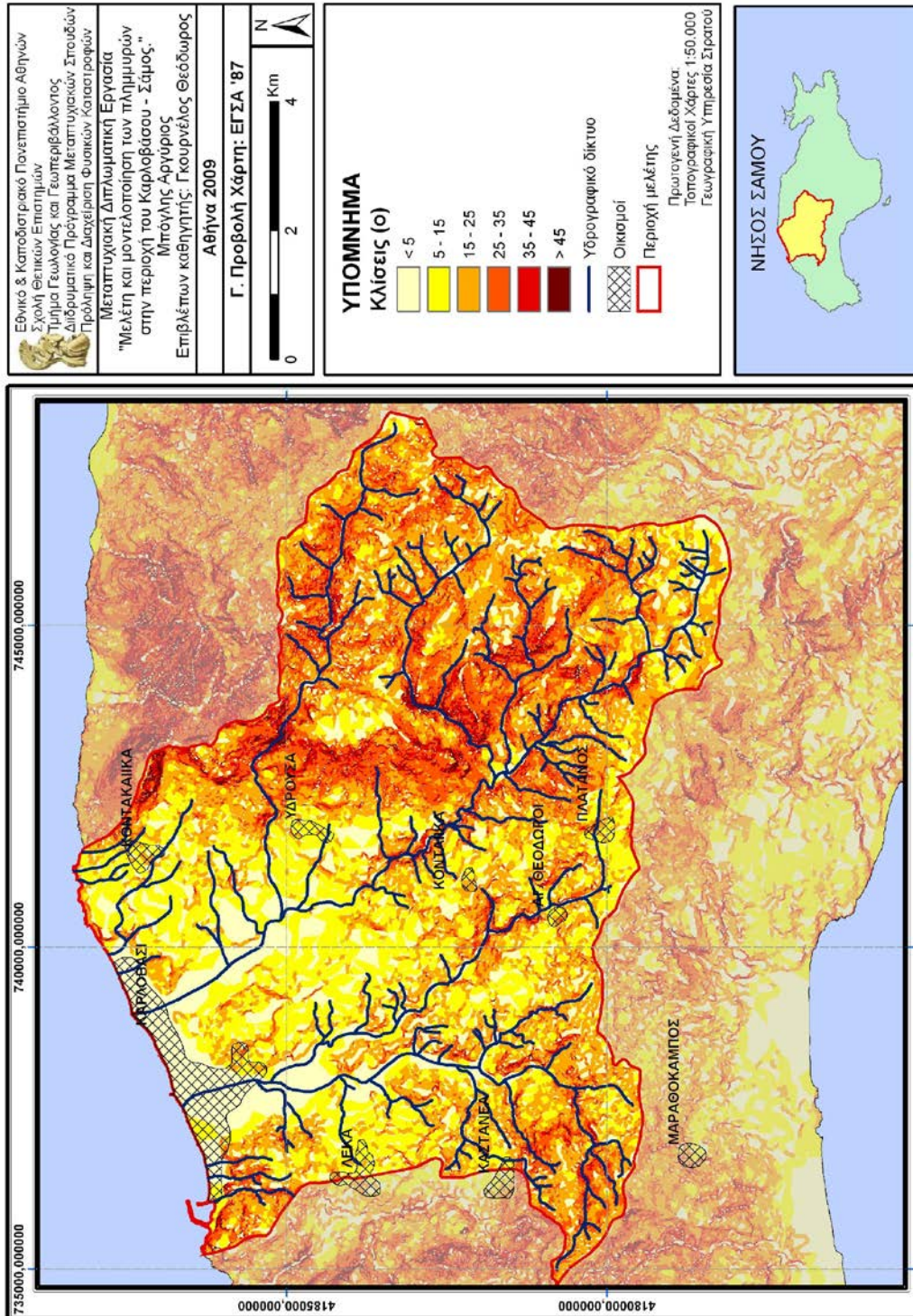


Εικόνες 26. Ενδεικτικά παραδείγματα παράκτιας διάβρωσης. Στις φωτογραφίες φαίνεται η οπισθοχώρηση των ακτών στην βορειοανατολική Σάμο

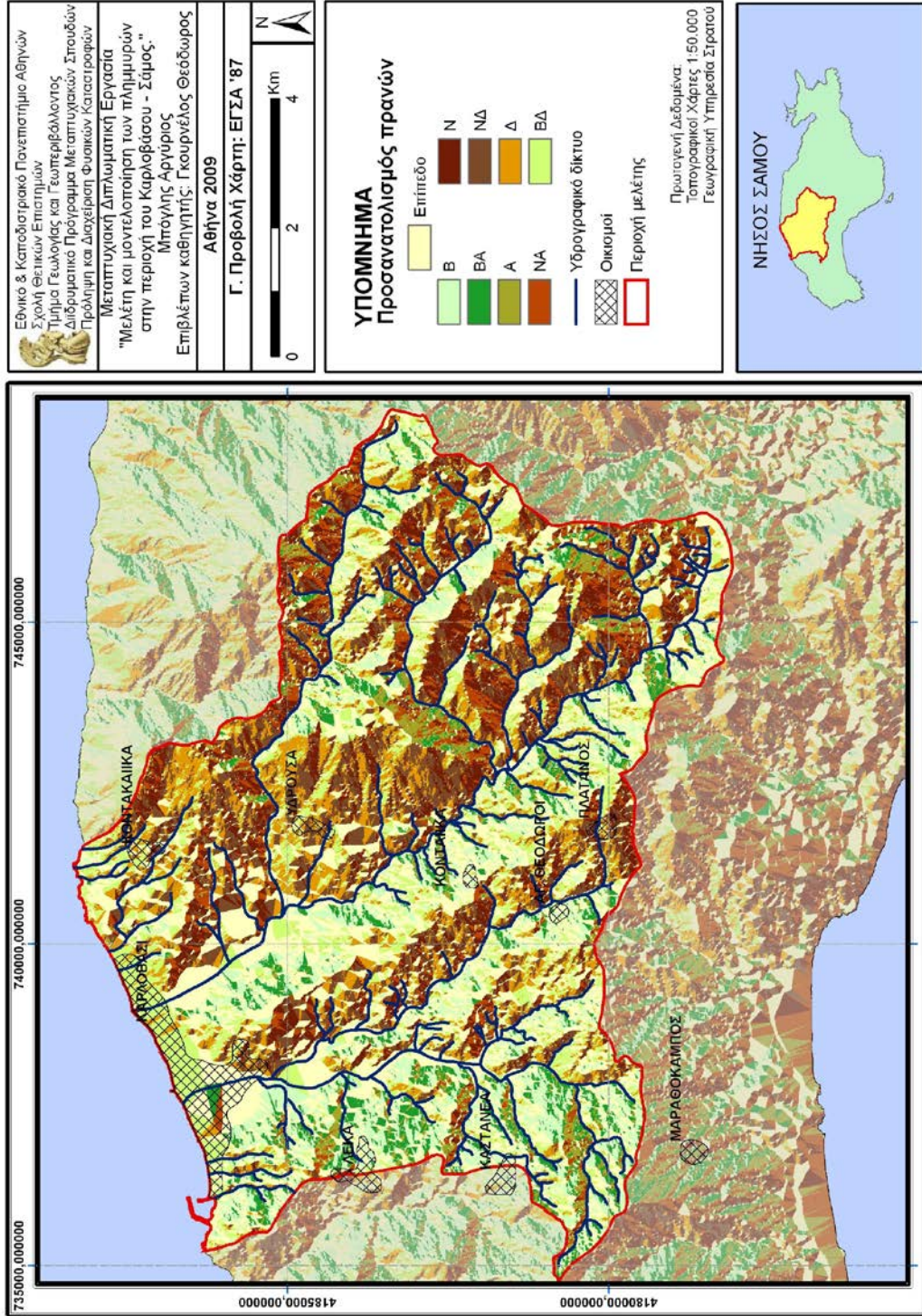
6.1.4. Κατολισθήσεις - Καθιζήσεις

Στη Σάμο έχουν παρουσιαστεί κατά καιρούς περιπτώσεις καθιζήσεων, ερπυσμών ή και κατολισθήσεων. Σχετικά με αυτά τα φαινόμενα υπάρχουν εκθέσεις του Ι.Γ.Μ.Ε για τα αίτια και το μηχανισμό, που εκτιμούν την σοβαρότητα της κατάστασης και προτείνουν μέτρα προστασίας. Οι περιοχές στις οποίες εκδηλώνονται είναι η Δυτική Σάμος στις κοινότητες Καστανιάς, Λέκκα, στον οικισμό των Σακκουλείκων και του Καρλοβάσιου, καθώς και στην κεντρική Σάμο στις κοινότητες Αμπέλου, Πανδρόσου και Χώρας.

Συγκεκριμένα στην περιοχή του Καρλοβάσιου η περιοχή των μαθητικών κατασκηνώσεων αποτελείται από μαργαϊκά ιζήματα με ενστρώσεις ψαμμιτικής μάργας και μαργαϊκούς ψαμμίτες καθώς και από τεταρτογενείς αποθέσεις. Η υδροπερατότητα των σχηματισμών αυτών είναι μικρή και το νερό απορρέει επιφανειακά. Μικρή ποσότητα κατεισδύει και δημιουργεί υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μέσα στους μαργαϊκούς ψαμμίτες. Τα μαργαϊκά στρώματα με το νερό γίνονται εύπλαστα και επιδεκτικά σε παραμορφώσεις. Οι πιέσεις που εξασκούν τα κτίσματα στο έδαφος θεμελίωσης τους προκαλούν ανισόρροπες παραμορφώσεις σε αυτό και έτσι παρασύρονται προς τα κατάντη.



Εικόνα 27. Κλίσεις κλιτύων λεκάνης Καρλοβάσου



Εικόνα 28. Προσανατολισμός πρηνών λεκάνης Καρλοβάσου

6.1.5. Φυσικό περιβάλλον

Το καταπράσινο τοπίο του Καρλοβάσου και της Σάμου γενικότερα με την ποικιλία στη χλωρίδα και την πανίδα, δικαιολογούν τον τίτλο του πιο πράσινου νησιού του Αιγαίου, χαρακτήρας που διατηρείται παρόλες τις πυρκαγιές που συχνά απειλούν το νησί. Οι κάτοικοι της περιφέρειας Καρλοβάσου έχουν δείξει ιδιαίτερη ευαισθησία στην αντιμετώπιση των πυρκαγιών με τις εθελοντικές ομάδες πυρόσβεσης του Δήμου Καρλοβασιών.

Η περιοχή υδροδοτείται από πηγές και μικρά ποτάμια. Από τις πλαγιές του Καρβούνη πηγάζει το Φουρνιώτικο ρέμα που εκβάλλει στην περιοχή του Όρμου Καρλοβάσου. Οι πηγές του Κέρκη και του Καρβούνη γεννούν το Καρλοβασιτικό ρέμα, τον Ύβηττο των αρχαίων, που εκβάλλει στην περιοχή του Μεσαιού, ενώ στην περιοχή Ποτάμι χύνεται ένα άλλο μικρό ρέμα του Κέρκη, που έδωσε το όνομά του στην περιοχή. Σε κάποιο από αυτά τα ποτάμια ίσως να οφείλει και το όνομά του το Καρλόβασι. Επειδή τα ρέματα αυτά δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των κατοίκων της περιοχής, ο Δήμος έχει διενεργήσει πολλές γεωτρήσεις που εξυπηρετούν ικανοποιητικά τις ανάγκες των νοικοκυριών σε νερό. Βέβαια το πρόβλημα του νερού είναι σημαντικό ιδίως τα τελευταία χρόνια, οπότε η εξασφάλιση νερού στο Δήμο είναι υπόθεση όλων. Η ύπαρξη νερού στα γύρω χωριού ήταν μια από τις βασικές προϋποθέσεις για τη δημιουργία τους. Το νερό δικαιολογεί και το πράσινο του τοπίου και επιτρέπει τη συστηματική ενασχόληση με τη γεωργία.

Περιοχές φυσικού κάλλους στο Δήμο Καρλοβασιών είναι τα Σεϊτάνια, μια προστατευόμενη περιοχή στην οποία βρίσκεται καταφύγιο η φώκια *Monachus monachus*, και η ρεματιά στην περιοχή Ποτάμι Καρλοβάσου που οδηγεί σε φυσικούς καταρράκτες.

6.2. Περίπτωση πλημμύρας Νοεμβρίου 2001

Οι συστηματικές πυρκαγιές της τελευταίας δεκαπενταετίας αποτελούσαν κάθε καλοκαίρι την πρώτη είδηση, με αποκορύφωμα την πυρκαγιά του Ιουλίου 2000, η οποία αποτέφρωσε ένα σημαντικό τμήμα της βλάστησης του νησιού, αυτή που καλύπτει κυρίως τους κεντρικούς ορεινούς όγκους, αφήνοντάς το απογυμνωμένο από φυτικό κάλυμμα.

Ο χειμώνας του 2000, χαρακτηρίστηκε από ανομβρία και για το λόγο αυτό δεν υπήρξαν φαινόμενα πλημμυρών και καταστροφών. Ήταν μια πολύ καλή ευκαιρία για να μελετηθούν και να κατασκευαστούν αντιπλημμυρικά έργα τα οποία θα απέτρεπαν ενδεχόμενα πλημμυρικά φαινόμενα λόγω απογύμνωσης του μανδύα της φυσικής κάλυψης, όπως:

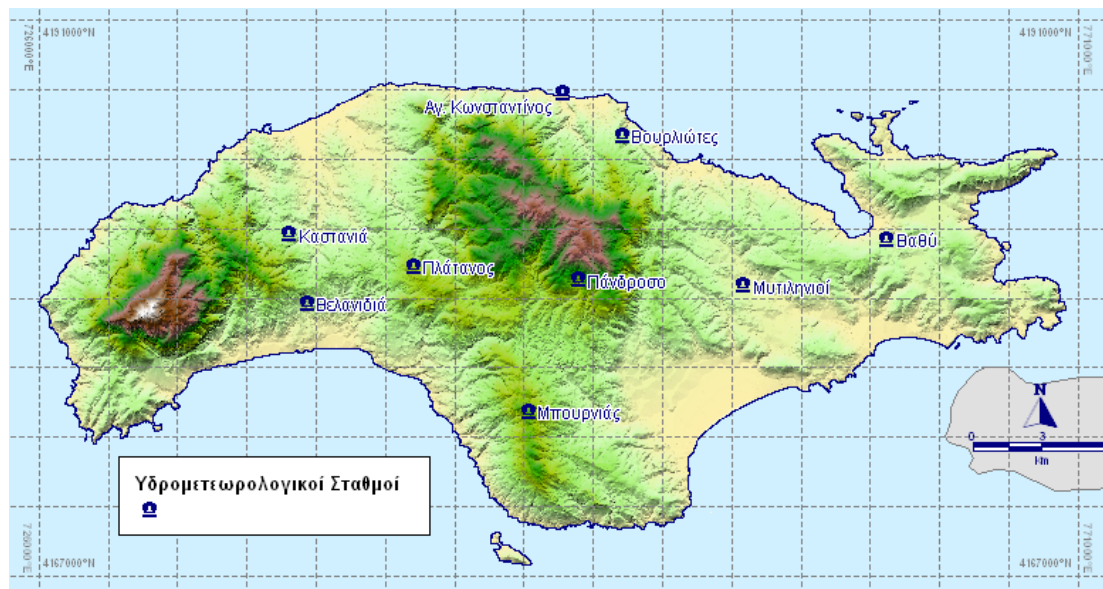
- Υδραυλικά έργα διευθέτησης χειμάρρων,
- Μικρά φράγματα – ταμιευτήρες πολλαπλών χρήσεων όπως:
 1. Αντιδιαβρωτικού χαρακτήρα
 2. Εμπλουτισμού των υποκείμενων υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων
 3. Συγκράτησης των φερτών υλικών και
 4. Αποταμίευσης νερού για άρδευση.

Στη νήσο Σάμο σε διάφορες περιοχές (Βαθύ, Βουρλιώτες, Πλάτανος, Βελανιδιά, Μπουρνιάς, Μυτιληνιοί, Καστανιά, Πάνδροσο, Αγ.

Κωνσταντίνος) λειτουργεί δίκτυο υδρομετεωρολογικών σταθμών (Εικ. 29). Το δίκτυο αυτό, είναι τηλεμετρικό, δηλαδή οι περιφερειακοί σταθμοί στέλνουν τα στοιχεία που καταγράφουν στον κεντρικό υπολογιστή της Διεύθυνσης Γεωργίας Σάμου και έτσι υπάρχει άμεση ενημέρωση των αρμόδιων υπηρεσιών και φορέων για κάθε ατμοσφαιρικό φαινόμενο που συμβαίνει στο νησί. Οι σταθμοί αυτοί, διαθέτουν βροχόμετρο, βροχογράφο, θερμομέτρο αέρα, υγρογράφο, ηλιογράφο, ανεμόμετρο και ανεμοδείκτη. (Βαβλιάκης, 2002).

Πίνακας 12. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδρομετεωρολογικών σταθμών (ΕΓΣΑ '87)

| Σταθμοί | Γεωγραφικό μήκος X (m) | Γεωγραφικό πλάτος Y (m) | Υψόμετρο (m) |
|------------|------------------------|-------------------------|--------------|
| Αγ. Κω/νος | 748702 | 4187902 | 20 |
| Βαθύ | 762733 | 4181563 | 100 |
| Βελανιδιά | 737630 | 4178821 | 100 |
| Μυτιληνιοί | 756520 | 4179571 | 160 |
| Βουρλιώτες | 751262 | 4186075 | 360 |
| Καστανιά | 736858 | 4181787 | 360 |
| Πλάτανος | 742229 | 4180409 | 540 |
| Πάνδροσο | 749362 | 4179836 | 650 |
| Μπουρνιάς | 747224 | 4174147 | 750 |



Εικόνα 29. Δίκτυο υδρομετεωρολογικών σταθμών

Αντίθετα με το χειμώνα του 2000 που χαρακτηρίστηκε από ξηρασία, ο χειμώνας του 2001 ήταν πλουσιότατος σε κατακρημνίσματα, σε συνολικό αριθμό ημερών καταιγίδων και σε ραγδαιότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο Νοέμβριος του 2001, με περισσότερα από 1300 mm βροχής, τα οποία καταγράφηκαν από το νέο δίκτυο των υδρομετεωρολογικών σταθμών που έχει τοποθετηθεί στη Σάμο το 2000

(εποπεύεται από τη Δ/ση Γεωργίας). Η μέση υπερετήσια βροχόπτωση ανέρχεται στα 800 mm περίπου, όπως προκύπτει από τις καταγραφές της τελευταίας 50ετίας (1950-1997).

Οι ραγδαίες αυτές βροχοπτώσεις προκάλεσαν εντονότερες πλημμύρες και σοβαρές καταστροφές σε παραθαλάσσιες πόλεις, χωριά και οικισμούς όπως το Καρλόβασι, το Κοκκάρι, το Ηραϊόν και το Πυθαγόρειο, αλλά και σε ημιορεινές όπως η Πάνδροσος, τα Μεσόγεια, η Λέκκα, ο Μαραθόκαμπος κ.ά.. Εκτός από τις πλημμύρες και τις ζημιές που καταγράφηκαν στις εκβολές των χειμάρρων, έντονα ήταν και τα φαινόμενα λασπορροής που προκλήθηκαν και καταγράφηκαν στις ημιορεινές και στις ορεινές περιοχές που αναφέρθηκαν προηγούμενα. Στα Μεσόγεια για παράδειγμα, πολλές ισόγειες κατοικίες στην κεντρική πλατεία κατακλύστηκαν από τόνους λάσπης.

Η αιχμή της μεγάλης πλημμύρας της 28-29/11/2001, όπως παρατηρήθηκε στα ρέματα και τους χειμάρρους της Σάμου ήταν εντονότερη. Εκτός από τη ραγδιότητα της συγκεκριμένης βροχόπτωσης, το απογυμνωμένο από φυτικό κάλυμμα του νησιού, δεν ήταν σε θέση να αποσβέσει την ορμή των νερών και των υλικών που μετέφεραν οι χείμαρροι στο διάβα τους από την ορεινή – ημιορεινή κοίτη τους ως τις εκβολές τους.

- Στο Φουρνιώτικο Ρέμα, το οποίο έχει μεγάλη λεκάνη απορροής και φθάνει μέχρι τις δυτικές κορυφές της Αμπέλου, η στάθμη του νερού στην αιχμή της πλημμύρας έφθασε στα 2,80 m. Το πλημμυρικό κύμα πέρασε κάτω από τη γέφυρα με διατομή 120 m² χωρίς προβλήματα. Στην κατάντη ζώνη της γέφυρας υπάρχει σύστημα αναβαθμιδών για την απόσβεση της ενέργειας ροής, οπότε λειτούργησε κανονικά. Λόγω του μεγάλου στροβιλισμού, το νερό διέβρωσε τις όχθες της κατάντη πλευράς που οριοθετούν τη γέφυρα και δημιούργησε υποσκαφές. Εκτιμάται ότι στην αιχμή της πλημμύρας η παροχή του Φουρνιώτικου ρεύματος θα πρέπει να ξεπέρασε τα 300 m³/s. (Βαβλιάκης, 2002).
- Στο Μεγάλο Ρέμα (κερκήτσιο), το οποίο πηγάζει από τον Πλάτανο, την Καστανιά και τα υψώματα του Μαραθόκαμπου, το πλημμυρικό κύμα έφθασε στο πέτρινο γεφύρι με τις τρεις αψίδες μέσα στο Καρλόβασι, σε ύψος 3,50 m, υπερχειλίζοντας τη κοίτη του. Το νερό συγκρατήθηκε από τον τοίχο που έχει κατασκευαστεί στο δεξιό ανάχωμα και δεν πλημμύρισε τον κεντρικό οδικό άξονα. Στο άλλο γεφύρι που βρίσκεται στον παραλιακό δρόμο η στάθμη έφθασε το 1,7 m και το πλημμυρικό κύμα πέρασε στη θάλασσα χωρίς παρενέργειες. Υπόψη ότι η διατομή του πέτρινου γεφυριού είναι περίπου 80 m², ενώ του κάτω γεφυριού είναι περίπου 120 m². Εκτιμάται ότι στην αιχμή της πλημμύρας η παροχή του Μεγάλου Ρέματος θα πρέπει να ξεπέρασε τα 150 m³/s. (Βαβλιάκης, 2002).

Οι μετρήσεις των πλημμυρικών παροχών κατά την αιχμή του φαινομένου σε διάφορους σημαντικούς χειμάρρους της Σάμου φαίνονται στον πίνακα 13. (Βαβλιάκης, 2002).

| Χειμάρρος | Παροχή (m ³ /sec) |
|-------------|---------------------------------|
| Ίμβασος | 190 |
| Καλαθής | 70 |
| Μυτιλινιοί | 200 |
| Μάνας | 80 |
| Κακόρρεμα | 100 |
| Φουρνιώτικο | 300 |
| Μεγάλο Ρέμα | 150 |
| Αμφίλυσος | 50 |

Πίνακας 13. Πλημμυρικές παροχές σε διάφορους σημαντικούς χειμάρρους κατά την αιχμή του φαινομένου

| ΣΤΑΘΜΟΙ | Ημερομηνίες και χιλιοστά (mm) βροχής Νοεμβρίου 2001 | | | | | | |
|-----------------|---|--------------|------|-------|--------|-------|---------------|
| | 4-5 | 8-10 | 14 | 19-20 | 22-24 | 28-29 | Σύνολο |
| Αγρόκτημα | 143,8 | 156 | 54,6 | 183 | 76,4 | 196 | 834 |
| Αγ.Κωνσταντίνος | 124,8 | 155,4 | 85 | 69,4 | 108,8 | 404,2 | 956,2 |
| Βαθύ | 186,6 | 408,4 | 96,8 | 212,2 | 79,2 | 260 | 1273,4 |
| Βελανιδιά | 47,4 | 204,2 | 36,2 | 91,2 | 88,4 | 378 | 869,8 |
| Μυτιληνιοί | 133,4 | 134,8 | 45,8 | 222,4 | 1114,4 | 248,4 | 919,8 |
| Βουρλιώτες | 139,4 | 127,8 | 83,2 | 209,2 | 247,6 | 492,2 | 1318 |
| Καστανιά | 59,6 | 773,8 | 54,6 | 173,6 | 115 | - | 1225,4 |
| Πλάτανος | 14,4 | 6 | 1,6 | 1,6 | 185,2 | 325,4 | 584,2 |
| Πάνδροσο | 144,6 | 81 | 53,8 | 249,6 | 192,2 | 505,4 | 1271,8 |
| Μπουρνιά | 93,6 | 93,4 | 26,2 | 148,6 | 80,4 | 282,8 | 789 |

Πίνακα 14. Μετρήσεις των σταθμών για τις ημερομηνίες όπου προκλήθηκαν τα ακραία καιρικά φαινόμενα



Εικόνα 30. Καταστροφές από την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2001
(Πηγή: Διεύθυνση Γεωργίας Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Σάμου)



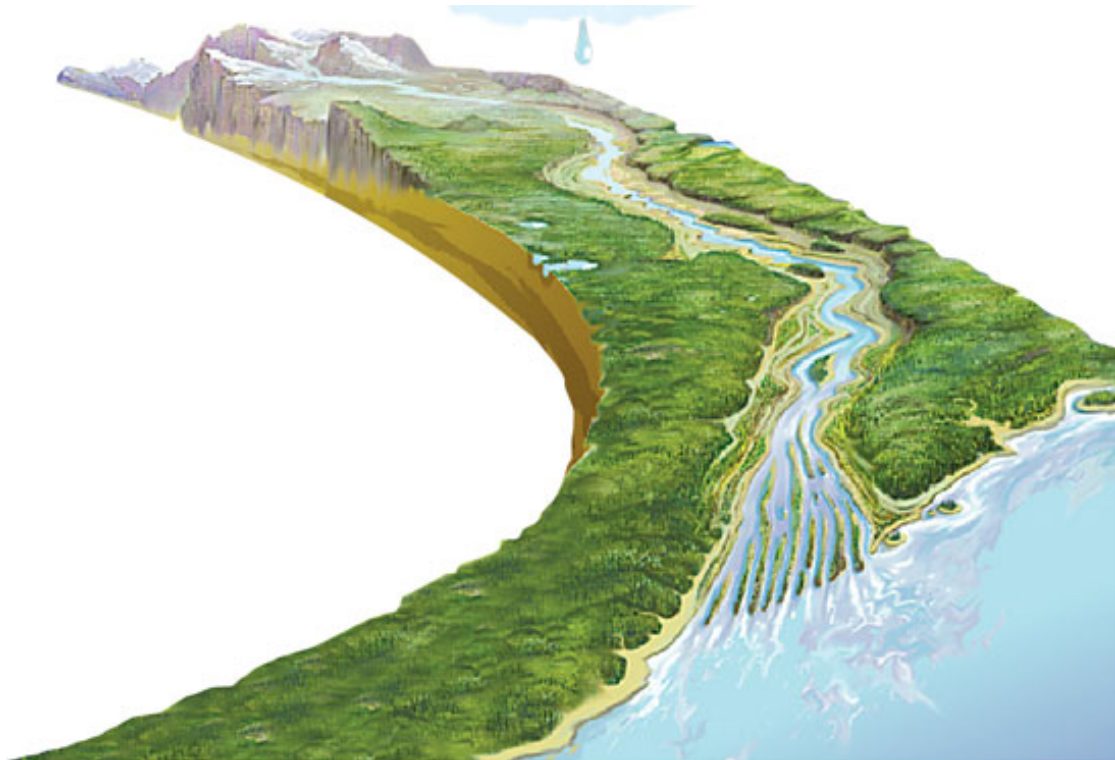
Εικόνα 31. Καταστροφές από την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2001
(Πηγή: Εφημερίδα Χαραυγή)

Κεφάλαιο 7
Μεθοδολογία εκτίμησης
ιθνημερικών κινδύνου
στη λεκάνη Καρλοβάσου -
Σάμος

7. Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου στην λεκάνη Καρλοβάσου – Σάμος

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής διατριβής είναι η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην λεκάνη Καρλοβάσου της νήσου Σάμου. Έτσι προσδιορίζονται οι περιοχές με αυξημένη πλημμυρική επικινδυνότητα και τελικά η δημιουργία ενός χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας για την συγκεκριμένη περιοχή. Η μέθοδος υπολογισμού του πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής μελέτης, βασίζεται στην γενική μεθοδολογία που αναπτύσσεται στην παρακάτω ενότητα. Συγκεκριμένα η πλημμυρική επικινδυνότητα εκτιμήθηκε βάση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του αναγλύφου της περιοχής μελέτης και των υδρολογικών λεκανών απορροής, μη λαμβάνοντας υπόψη την βροχόπτωση που λαμβάνει χώρα στην περιοχή.

Κατά την διαδικασία εφαρμογής της μεθοδολογίας εκτιμήθηκε αρχικά η ενέργεια των λεκανών απορροής (stream power) και μετέπειτα η πλημμυρική επικινδυνότητα αυτών. Παρόλο που η εκτιμώμενη ενέργεια αφορά όλη την επιφάνεια της λεκάνης απορροής, υπολογίστηκε στα στόμια των λεκανών, ως σημείο εξόδου του ύδατος. Θεωρούμε πως το σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής είναι το σημείο όπου η δυναμική ενέργεια του νερού που προσπίπτει στην λεκάνη απορροής έχει μετατραπεί σε κινητική.



Εικόνα 32. Προσομοίωση της πορείας μια σταγόνας βροχής στο πεδίο
(Πηγή: Maidment, 2002)

Οι παραπάνω υπολογισμοί βασίστηκαν στην εκτίμηση των βασικών χαρακτηριστικών των υδρολογικών λεκανών απορροής (Φουντούλης κ.ά., 2007, Καραγκιόζη, 2008):

- μέσο υψόμετρο,
- την μέση κλίση,
- το ολικό ανάγλυφο των υδρολογικών λεκανών, και,
- την έκταση της λεκάνης απορροής.

Ο υπολογισμός των παραπάνω παραμέτρων δεν προέκυψε με την απλή χρήση των σχετικών εξισώσεων, αλλά από την επεξεργασία του υψομετρικού μοντέλου εδάφους της περιοχής (DEM) και την χωρική και ποσοτική επεξεργασία δευτερογενών δεδομένων, απαραίτητων στην διαδικασία υπολογισμού.

Με την χρήση της υψομετρικής πληροφορίας και της προσομοίωσης του αναγλύφου της περιοχής μελέτης παρήχθει το υδρογραφικό δίκτυο και οι υδρολογικές λεκάνες απορροής με διανυσματική μορφή (γραμμική και πολυγωνική απεικόνιση). Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αλλά και η μετέπειτα επεξεργασία αυτού πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού ArcMap έκδοση 9.2 της ESRI, και ειδικότερα της εξειδικευμένης εργαλειοθήκης (extension) ArcHydro (ανάλυση της λειτουργίας της εργαλειοθήκης γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο).

Τα στάδια επεξεργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.
- Παραγωγή Υδρογραφικού δικτύου
- Παραγωγή Υδρολογικών λεκανών απορροής
- Υπολογισμός παραμέτρων των υδρολογικών λεκανών απορροής.

Με την εφαρμογή του ArcHydro για την προσομοίωση των φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, αποδεχόμαστε και τα όποια σφάλματα προκύπτουν κατά την διαδικασία εφαρμογής του. Καθώς το συγκεκριμένο εργαλείο λαμβάνει υπόψιν του μόνο την μορφολογία του εδάφους και καθόλου τις όποιες ανθρώπινες επεμβάσεις έχουν γίνει στα όρια της λεκάνης απορροής. Για το λόγο αυτό γίνεται όσο το δυνατόν λεπτομερέστερη ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων για την αποφυγή των όποιων σφαλμάτων.

Στα επόμενα κεφάλαια αναπτύσσονται σταδιακά και αναλύονται τα βήματα επεξεργασίας και υπολογισμού που ακολουθήθηκαν για τον τελικό υπολογισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην λεκάνη του Καρλοβάσου.

Ενέργεια χειμάρρου (Stream Power)

Μια πρώτη προσέγγιση με την οποία μπορούν να εκτιμηθούν οι μορφολογικές αλλαγές από τα ανάντη προς τα κατόντη μιας κοίτης σε ποτάμια συστήματα, δόθηκε από τον Knighton (1999). Ο Knighton μοντελοποίησε τις αλλαγές κατά μήκος της κοίτης, όσον αφορά το ολικό δυναμικό του ρέματος, κατά μήκος του επιμήκους προφίλ του ποταμού Trent στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Κατά τον Knighton (1999) “το πρόβλημα της μοντελοποίησης των μεταβολών της κλίσης από τα ανάντη στα κατόντη της κοίτης έχει να κάνει με την εύρεση μίας κατάλληλης εξίσωσης για τα προφίλ”. Γεγονός που πια δεν ισχύει αφού τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (G.I.S), τουλάχιστον σε περιβάλλοντα υψηλών αναγλύφων, μπορούν να παράγουν αξιόπιστα αποτελέσματα για την κλίση της κοίτης των ποταμών. Σε συνδυασμό με την εργαλειοθήκη του ArcHydro του G.I.S μπορεί να παράγει αυτόματη περιγραφή των υδρογραφικών δικτύων και εξαγωγή δεδομένων σχετικά με τον υδροκρίτη από τα DEM, κάνοντας απλή τη μοντελοποίηση της κλίσης της κοίτης και της ενέργειας του ρέματος κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού, χειμάρρου κ.λ.π.

Τα επιμήκη προφίλ των χειμάρρων απεικονίζονται ως μεταβολή του υψομέτρου κατά μήκος του χειμάρρου προς την απόσταση από το υψομετρικά χαμηλότερο σημείο του χειμάρρου. Παρόλα αυτά, για μελέτες των μορφολογικών αλλαγών κατά μήκος της κοίτης του χειμάρρου για ποτάμια συστήματα, είναι χρήσιμο να εκφράζουμε τις τομές της κοίτης του χειμάρρου σε μορφή κλίσης του ρέματος εξαιτίας της γνωστής επίδρασης που έχει η κλίση στη μορφολογία των κοιτών.

Σε όλα τα σημεία της κοίτης των χειμάρρων που αυξάνει η ενεργός κλίση της κοίτης τους, αυξάνει αντιστοίχως και η ενέργεια των χειμάρρων αφού ισχύει:

$$\Omega = \gamma * Q * S$$

Όπου:

- Ω: είναι η ολική ενέργεια του χειμάρρου ανά μονάδα μήκους ($W * m^{-1}$),
- γ: είναι το ειδικό βάρος του νερού ($9807 N * m^{-2}$),
- Q: είναι η παροχή (m^3/s) και
- S: είναι η ενεργός κλίση.

Ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά την χαρτογραφική απεικόνιση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, είναι ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται, είτε εφαρμόζονται κατά μήκος των κλάδων του ποταμού (Stream power, Instant Unit Hydrograph), με αποτέλεσμα να μην καλύπτουν όλη την περιοχή της λεκάνης απορροής, είτε είναι πολύπλοκα λαμβάνοντας υπόψη πολλές παραμέτρους (πολυκριτηριακή ανάλυση) και εξαρτώνται άμεσα με την εκ των προτέρων αξιολόγηση των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο. Έτσι έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα σε ίδια περιοχή, ανάλογα με την μεθοδολογία που ακολουθείται. Σημαντικός παράγοντας στην εξαγωγή χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας, είναι και η ιστορικότητα της περιοχής (περιοχές που έχουν εκδηλώσει πλημμυρικά φαινόμενα), που εξαναγκάζει τα αποτελέσματα να υποδείξουν τις συγκεκριμένες περιοχές. Βέβαια, εδώ πρέπει να αναφερθεί πως είναι δύσκολα διακριτά τα αίτια της εκδήλωσης των φαινομένων (φυσικά ή ανθρωπογενή).

Ο υπολογισμός της ενέργειας των ρεμάτων παρέχει ένα σημαντικό μέτρο ισχύος της αποστράγγισης της λεκάνης απορροής, χωρίς αυτό να αποτελεί μέτρο της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Το γεγονός πως ένα σημείο παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή της ενέργειας από δυναμική σε κινητική, δεν σημαίνει πως θα εκδηλωθεί και πλημμύρα. Οι περιοχές όπου εκδηλώνονται τα πλημμυρικά φαινόμενα δεν είναι τυχαίες, αλλά είναι

αποτυπωμένες στη γεωλογία και τη γεωμορφολογία με τις χαρακτηριστικές γεωμορφές των αναβαθμίδων και των ριπιδίων. Η ανύψωση της στάθμης του νερού, σημαίνει πως έχουμε αύξηση της μάζας που διέρχεται σε συγκεκριμένο χρόνο από την συγκεκριμένη διατομή. Στην πραγματικότητα, κατά την πορεία του νερού από τα ανάντη στα κατόντη αυτό που μεταβάλλεται είναι η κλίση της μορφολογίας. Συγκεκριμένα, ισχύει πως ανεξάρτητα με τον συντελεστή τριβής, η στάθμη του νερού αυξάνει όσο μειώνεται η κλίση της μορφολογίας. Ένα μέγεθος που περιγράφει αντικειμενικά την πλημμυρική επικινδυνότητα, δίνεται ουσιαστικά από τη σχέση:

$$\Delta E / (\eta \mu \varphi * \Delta t)$$

Όπου:

ΔE : συνολικό ποσό ενέργειας

φ : γωνία κλίσης εδάφους

Δt : χρόνος μεταβολής

Υδρολογική μοντελοποίηση

Τα GIS έχουν πολλές εφαρμογές στον τομέα της επιφανειακής υδρολογίας. Οι βασικές δυνατότητες και μερικές εφαρμογές των υδρολογικών GIS παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω (Κωνσταντακάτος, 2007):

- Γρήγορη και αξιόπιστη απόσπαση πληροφοριών για την περιγραφή των καναλιών των ποταμών και των λεκανών απορροής από τη χρησιμοποίηση δεδομένων από τα ΨΜΕ (ΤΙΝ και GRID).
- Αποτελεσματική σκιαγράφηση του υδροκρίτη και του υδρογραφικού δικτύου για την περαιτέρω χρησιμοποίηση τους σε υδρολογικές και περιβαλλοντικές αναλύσεις (συγκεκριμένα για τη δημιουργία χαρτών μέσης ετήσιας απορροής και επιφόρτισης με ρυπογόνες ουσίες ποταμών και λεκανών απορροής).
- Ακριβής απεικόνιση των ρεμάτων, των παραπόταμων και της ακτογραμμής για την δημιουργία ενός ενιαίου δικτύου αποστράγγισης. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται οι αποστραγγιστικές διαδρομές καθώς και οι περιοχές που συμβάλουν στην απορροή. Για παράδειγμα μπορεί να παρατηρήσει κανείς τι υπάρχει κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου (ανάντη ή κατόντη) μιας συγκεκριμένης περιοχής ενδιαφέροντος και κατά πόσο τα τμήματα αυτά επηρεάζουν ή επηρεάζονται.
- Απεικόνιση βασικών ιδιοτήτων του εδάφους όπως κατεύθυνση, συσσώρευση και μήκος ροής καθώς και κλίσεις του ανάγλυφου. Για παράδειγμα, μπορεί να παρατηρήσει κανείς εύκολα τις κλίσεις των διαδρομών αποστράγγισης, ποια θα είναι η μέγιστη συσσώρευση ροής και σε τι αποστραγγιστική περιοχή ανταποκρίνεται.
- Σύνδεση γραμμικών, σημειακών και πολυγωνικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους, για την απευθείας παρουσίαση της πληροφορίας που περιέχει καθένα από αυτά.
- Απεικόνιση της μεταβολής της ροής του νερού στο ανάγλυφο, χωρικά και χρονικά με τη χρήση δεδομένων χρονικής σειράς και την ενσωμάτωσή τους σε γεωχωρικά δεδομένα. Για παράδειγμα μπορεί να δημιουργήσει έναν πίνακα για καθημερινή απορροή μέσα στο

χρόνο, με στήλες για κάθε μήνα και γραμμές για κάθε μέρα και στατιστικά για μηνιαίες ροές στο τέλος κάθε στήλης.

- Εξαγωγή υδρολογικών ιδιοτήτων και μορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής (π.χ. πυκνότητα βροχόπτωσης, μέγεθος, μήκος και κλίση) με βάση την επιφάνεια υψομέτρου μέσα σε μία λεκάνη.
- Δημιουργία μιας προσωπικής βάσης δεδομένων στην οποία μπορεί ο χρήστης να ενσωματώσει περαιτέρω δεδομένα για διάφορους τύπους ανάλυσης. Με την εισαγωγή στοιχείων όπως η ύπαρξη στενών σημείων μέσα στη κοίτη, τα αναχώματα, οι διατομές ή τα εγκάρσια σχεδιαγράμματα, μπορεί να κάνει σταθερής ή μη σταθερής κατάστασης, υδρολογική ανάλυση.
- Ανεύρεση με βάση το ανάγλυφο, τις κλίσεις του εδάφους, τη ροή και συσσώρευση του υδρογραφικού δικτύου και τις διαχωριστικές γραμμές αποστράγγισης, πιθανών θέσεων όπου μπορούν να δημιουργηθούν φράγματα.

7.1. Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Digital Elevation Model)

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ορίζεται σαν: ένα σύνολο διακεκριμένων σημείων με γνωστή οριζοντιογραφική θέση και γνωστό υψόμετρο (υψομετρικά σημεία) τα οποία με τη χρήση μαθηματικής συνάρτησης (μαθηματικό μοντέλο) δημιουργούν αξιόπιστα το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους.

Τα διακεκριμένα σημεία στο ΨΜΕ μπορεί να έχουν ακανόνιστη κατανομή πάνω στην επιφάνεια του εδάφους οπότε ονομάζονται TIN (Triangulated Irregular Network) ή μπορεί να έχουν κατανομή σε κορυφές κανάβου οπότε ονομάζονται GRID (πλέγμα, καρέ ή κανάβος). Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι μια γενική περίπτωση αντιπροσωπεύσεις της γήινης επιφάνειας με τις συνέχειες και ασυνέχειες (break lines) που τη διέπουν. Συνηθίζεται να υπάρχει ξεχωριστός ορισμός για τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα ή DEM (Digital Elevation Models) τα οποία συνήθως αντιπροσωπεύουν μια συνεχή γήινη επιφάνεια χωρίς ασυνέχειες. Εδώ οι όροι ΨΜΕ, DTM και DEM θα έχουν την ίδια έννοια.

Τα TIN καλύπτουν το έδαφος με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια και βασίζονται σε τριγωνικής μορφής στοιχεία που προκύπτουν από τρία γειτονικά υψομετρικά σημεία τα οποία επιλέγονται βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Τα GRID περιέχουν υψομετρικά σημεία σε κορυφές κανάβου με διάταξη σε γραμμές και στήλες, αποτελούν δηλαδή κυψελιδωτή μορφή (raster). Τα υψόμετρα στα GRID προκύπτουν είτε απ' ευθείας (π.χ. από φωτογραμμετρική απόδοση) είτε με παρεμβολή από ακανόνιστα κατανομημένα υψομετρικά σημεία (TIN, ψηφιοποιημένες ισοϋψείς χάρτη κλπ.). Τα TIN αποθηκεύουν σε ηλεκτρονική μορφή και τις τρεις συντεταγμένες (X, Y, Z), ενώ τα GRID αποθηκεύουν μόνο το υψόμετρο αφού τα X, Y ορίζονται έμμεσα και υπολογίζονται με βάση το πλέγμα του κανάβου.

Τα υψομετρικά σημεία του ΨΜΕ, τα οποία ονομάζονται και σημεία ελέγχου (control points) θα πρέπει να επιλέγονται σε κατάλληλες θέσεις ή να έχουν

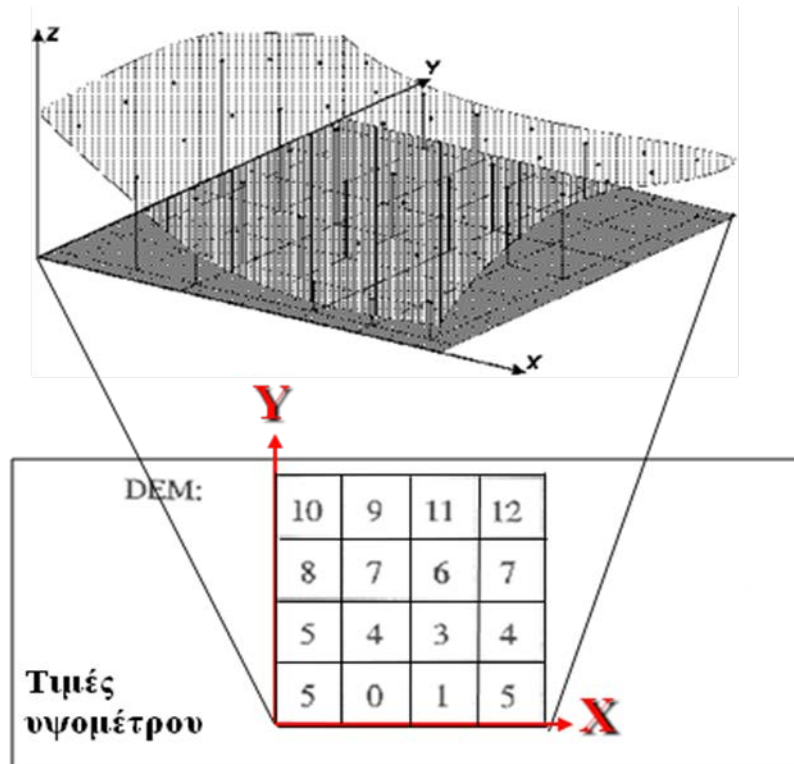
κατάλληλη διάταξη ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά και να εκφράζουν βάσει προδιαγραφών ακρίβειας την επιφάνεια του εδάφους, το ίδιο ισχύει και για τη μαθηματική συνάρτηση η οποία θα πρέπει να δημιουργεί μια συνεχή επιφάνεια όσο γίνεται εγγύτερα της πραγματικής επιφάνειας του εδάφους. (Schut, 1976).

Η μαθηματική συνάρτηση που δημιουργεί την επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να είναι γραμμική (εξίσωση επιπέδου), διγραμμική, πολυωνυμική με περισσότερους όρους κτλ. και ορίζεται από ομάδα γειτονικών σημείων και ισχύει σε περιορισμένη έκταση η οποία δεν ξεπερνά τα όρια των σημείων αυτών. Ο ελάχιστος αριθμός σημείων που απαιτείται για τον ορισμό γραμμικής συνάρτησης είναι τρία ενώ για τον ορισμό διπλοκυβικής καμπυλόγραμμου συνάρτησης (bicubic spine) απαιτούνται 16 σημεία.

Το ΨΜΕ μπορεί να κατανοηθεί ως ψηφιακή αναπαράσταση της γεωμετρικής μορφής ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας

Με δεδομένο ότι οι γκρεμοί ή τα ρήγματα αποτελούν σπάνιες χαρακτηριστικές μορφές του ανάγλυφου, η γήινη επιφάνεια συνήθως αναπαρίσταται ως «πεδίο». Σε αυτό το πλαίσιο το ΨΜΕ αποτελεί ένα μοντέλο 2.5D παρά 3D. Επεκτάσεις που να επιτρέπουν τη μοντελοποίηση γκρεμών ή ρηγμάτων παρέχονται συνήθως σε συστήματα εξειδικευμένων εφαρμογών σαν αυτές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μοντέλων γεωλογικών επιφανειών.

Η δραστηριότητα μοντελοποίησης και η επεξεργασία ψηφιακών δεδομένων της φυσικής γήινης επιφάνειας μπορούν να ειπωθούν ως συστατικά προϊόντων ΣΓΠ που λειτουργούν ανεξάρτητα από τα συστατικά μοντελοποίησης οριζοντιογραφικών δεδομένων χωρίς να είναι συνδεδεμένα με τις κλασικές λειτουργίες επεξεργασίας (π.χ. τοπολογία πολυγώνων, δικτύων ή επεξεργασία κανονικοποιημένων δεδομένων).



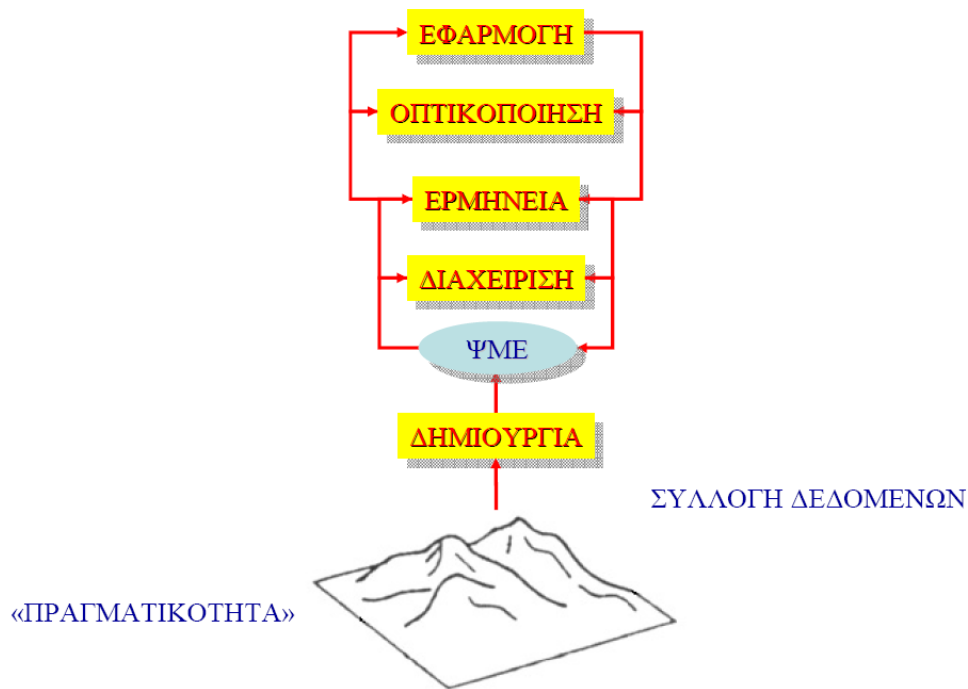
Σχήμα 4. Λογική παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους
(Πηγή: Loesch, 2000)

Δημιουργία ΨΜΕ

Η επιλογή των πηγών δεδομένων και οι τεχνικές δειγματοληψίας υψομετρικών δεδομένων είναι καθοριστικοί παράγοντες της ποιότητας του ΨΜΕ που θα δημιουργηθεί. Τα δεδομένα για τη δημιουργία ΨΜΕ αποτελούνται από παρατηρήσεις υψομέτρων και όταν είναι δυνατό από συμπληρωματική πληροφορία που αφορά χωρικά φαινόμενα τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τη μορφή της φυσικής γήινης επιφάνειας (π.χ. στοιχεία επιφανειακών ασυνεχειών).

Διαδικασίες δημιουργίας ΨΜΕ:

- Από επίγειες μετρήσεις (παρόλο που είναι πολύ ακριβής μέθοδος, η διαδικασία συλλογής δεδομένων είναι χρονοβόρα και περιορίζεται σε μικρές περιοχές).
- Από φωτογραμμετρική απόδοση (Στερεοσκοπική ερμηνεία επικαλυπτόμενων ζευγών αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων (π.χ. εικόνων SPOT) χρησιμοποιώντας χειροκίνητα ή αναλυτικά φωτογραμμετρικά όργανα (stereoplotters) και τα παραγόμενα ΨΜΕ είναι υψηλής ή μεσαίας ακρίβειας)
- Από ψηφιοποίηση χαρτογραφικών προϊόντων (τα παραγόμενα ΨΜΕ είναι μεσαίων ή μικρών κλιμάκων)
- Από ραντάρ, υψομετρία με λέιζερ ή ηχοβολιστικά (sonar)
- Με υπολογιστική προσομοίωση (π.χ. κλασματική γεωμετρία).



Σχήμα 5. Το μοντέλο DEM ως συνδετικό στοιχείο κατά τη μετάβαση από τη φυσική πραγματικότητα, στην υλοποίηση εφαρμογών (Πηγή: Weibel & Heller, 1991)

Τα μαθηματικά μοντέλα παραγωγής ψηφιακών μοντέλων εδάφους μπορεί να έχουν μία από τις παρακάτω μορφές:

$$Z = A.X + B.Y + \Gamma : \text{επίπεδο}$$

$$Z = A.X + B.Y + \Gamma.X.Y + \Delta : \text{διγραμμική}$$

$$Z = A.X^2 + B.Y^2 + \Gamma.X.Y + \Delta.X + E.Y + H : \text{δευτέρου βαθμού πολυώνυμο}$$

$$Z = \text{ανωτέρου βαθμού πολυώνυμο}$$

Όπου:

Z είναι το υψόμετρο,

X, Y είναι οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες,

A, B, Γ, \dots είναι οι συντελεστές που καθορίζουν το κάθε μοντέλο.

Χρήσεις των ψηφιακών μοντέλων εδάφους

Οι χρήσεις των ΨΜΕ αναφορικά είναι οι εξής (Χατζόπουλος, 2006):

- Υπολογισμός του υψομέτρου αναλυτικά σε οποιοδήποτε σημείο του χάρτη.
- Υπολογισμός της κλίσης αναλυτικά σε οποιοδήποτε σημείο του χάρτη.
- Αναλυτική κατασκευή μηκοτομών σε οποιαδήποτε κατεύθυνση που συνήθως είναι χρήσιμες σε έργα διαμόρφωσης χώρων, έργα οδοποιίας κλπ.
- Αναλυτική κατασκευή κατά πλάτος τομών που χρησιμεύουν στην αντιπροσώπευση του εδάφους και βοηθούν στον υπολογισμό όγκου εκσκαφών από έργα εκχωματώσεων / επιχωματώσεων.
- Αναλυτική κατασκευή ισοϋψών καμπυλών.
- Αναλυτική κατασκευή προοπτικού περιοχής.
- Αναλυτική κατασκευή σκιάς σε προοπτικό ή τοπογραφικό περιοχής.

- Καθοδήγηση πυραύλων Κρούζ.
- Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών λεκάνης απορροής όμβριων υδάτων και μελέτη της ταχύτητας και παροχής του νερού από τη βροχόπτωση, μελέτη και προσδιορισμός της διάβρωσης, μελέτη και προσδιορισμός τοποθεσιών εναπόθεσης φερτών υλών και πλυμμυρικών φαινομένων.
- Αναλυτικός υπολογισμός του προσανατολισμού της επιφανείας του κελιού σε οποιοδήποτε σημείο του χάρτη.
- Ανάλυση ορατότητας σε περιπτώσεις τηλεπικοινωνιακών κεραιών.
- Αυτοκαθοδήγηση μη επανδρωμένων επίγειων, ιπταμένων και υποβρύχιων οχημάτων.

Θέματα υδρολογικής επεξεργασίας και υδατικών πόρων ερευνοούνται κυρίως με τη χρήση διακεκριμένων μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά απαιτούν φυσιογραφική πληροφορία όπως τη διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου, τις θέσεις αποστράγγισης, το μήκος και την κλίση του καναλιού, καθώς και τις γεωμετρικές ιδιότητες των υπολεκανών παραδοσιακά, αυτές οι παράμετροι προέρχονταν από χάρτες ή από έρευνες πεδίου. Τα ΨΜΕ χρησιμοποιούνται σε εργασίες υδατικών πόρων κυρίως για τον καθορισμό χαρακτηριστικών όπως τα αναχώματα, τα κατώτερα μέρη των κοιλάδων, τα δίκτυα των καναλιών, και για την ποσοτικοποίηση των υπολεκανών και των γεωμετρικών ιδιοτήτων τους (π.χ. μέγεθος, μήκος και κλίση).

Τα ΨΜΕ γενικά αποθηκεύονται με μία από τις τρεις δομές δεδομένων: την δομή πλέγματος (Grid), την ακανόνιστη τριγωνική δομή (TIN) και τη δομή βασιζόμενη σε ισοΰψεις γραμμές.

Κάθε μοντέλο δομής έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του. Τα Grid είναι ευρέως διαδεδομένα λόγω της απλότητας, της εύκολης επεξεργασίας και της υπολογιστικής αποδοτικότητας. Παρόλα αυτά, εμφανίζονται μειονεκτήματα εξαιτίας της εξάρτησης του μεγέθους του πλέγματος από συγκεκριμένες υπολογίσιμες εδαφολογικές παραμέτρους και της αδυναμίας προσαρμογής του μεγέθους του στις αλλαγές του μεγέθους των εδαφολογικών χαρακτηριστικών. Τα TIN ξεπερνούν σε κάποιο βαθμό αυτά τα μειονεκτήματα, όμως ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του εδάφους από ακανόνιστα τρίγωνα είναι δυσκολότερος από ότι στα πλέγματα. Το τρίτο μοντέλο δομής παρουσιάζει καλύτερα τις γραμμές εδάφους από ότι τα πλέγματα και καθορίζει με ευκολία τις υδρογραμμές και τα σημεία επιφανειακής απορροής. Όμως, οι ισοΰψεις είναι μονοδιάστατα χαρακτηριστικά και η απεικόνιση του δισδιάστατου ανάγλυφου με κάποια συνέχεια απαιτεί περισσότερα δεδομένα από ότι η απεικόνιση με πλέγματα. Δύσκολα μπορεί κανείς να καθορίσει τι είναι πλεονέκτημα και τι περιορισμός για τις διάφορες δομές των ΨΜΕ διότι ότι μπορεί να θεωρηθεί ως πλεονέκτημα για την αποθήκευση δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ως μειονέκτημα για την επεξεργασία δεδομένων.

Για τη δημιουργία ΨΜΕ ή DTM (DIGITAL TERRAIN MODEL) μέσω TIN χρειάζονται κάποια δεδομένα που μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το διανυσματικό τους τύπο ως εξής:

- Σημεία: Υψομετρικά Σημεία
- Γραμμές: Ισοΰψεις, Ποτάμια, Δρόμοι κλπ.
- Πολύγωνα: Ακτογραμμή, Όριο Περιοχής, Λίμνες κλπ.

7.2. Παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους στην περιοχή μελέτης

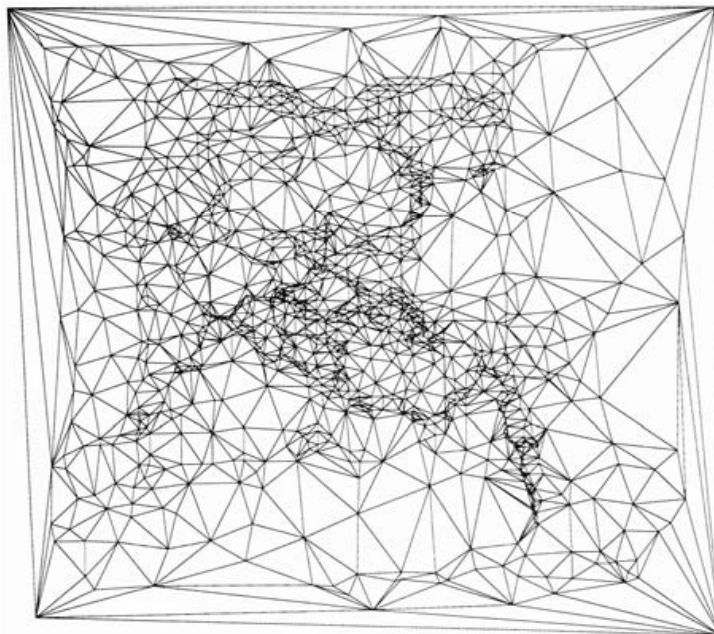
Στα πλαίσια της διεκπεραίωσης της παρούσας διπλωματικής διατριβής είναι απαραίτητη η δημιουργία και επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της περιοχής μελέτης, τόσο για την απεικόνιση του αναγλύφου της περιοχής ως μέσω παρατήρησης της υφιστάμενης κατάστασης, όσο και για την χρήση των τιμών του μοντέλου κατά την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Για την παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους χρησιμοποιήθηκαν ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 20 μέτρων, όπως και υψομετρικά σημεία, τα οποία προήλθαν από την ψηφιοποίηση των τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (κλίμακας 1:50.000). Η διαδικασία παραγωγής του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια, στην δημιουργία ενός τρισδιάστατου υψομετρικού μοντέλου εδάφους (TIN) και στην δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους με μορφή κανάβου (GRID).

Κάθε ένα από τα μοντέλα δομής που χρησιμοποιήθηκαν έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του. Τα Grid είναι ευρέως διαδεδομένα λόγω της απλότητας, της εύκολης επεξεργασίας και της υπολογιστικής αποδοτικότητας. Παρόλα αυτά, εμφανίζονται μειονεκτήματα εξαιτίας της εξάρτησης του μεγέθους του πλέγματος από συγκεκριμένες υπολογίσιμες εδαφολογικές παραμέτρους και της αδυναμίας προσαρμογής του μεγέθους του στις αλλαγές του μεγέθους των εδαφολογικών χαρακτηριστικών. Τα TIN ξεπερνούν σε κάποιο βαθμό αυτά τα μειονεκτήματα, όμως ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του εδάφους από ακανόνιστα τρίγωνα είναι δυσκολότερος από ότι στα πλέγματα.

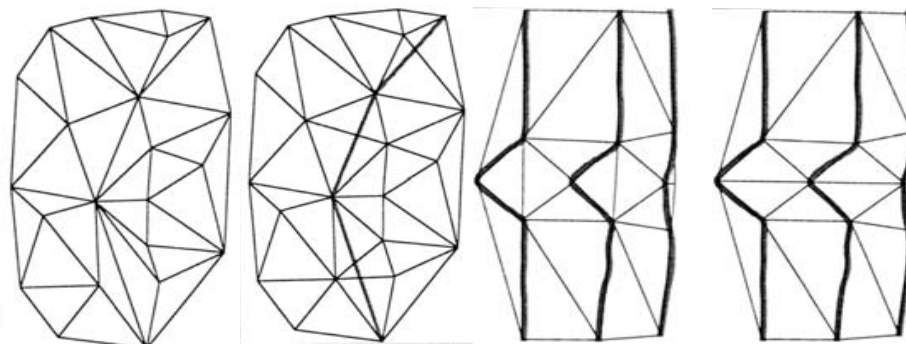
Παραγωγή TIN

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο υψομετρικό μοντέλο εδάφους (TIN) (Εικόνα 33), με την χρήση όλων των ενδιάμεσων προϊόντων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, εφαρμόζοντας την μέθοδο τριγωνοποίησης Delaunay. Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει ότι καμία κορυφή τριγώνου δεν εμπερικλείεται σε κανέναν από τους περιγεγραμμένους κύκλους των τριγώνων στο υπάρχων δίκτυο.

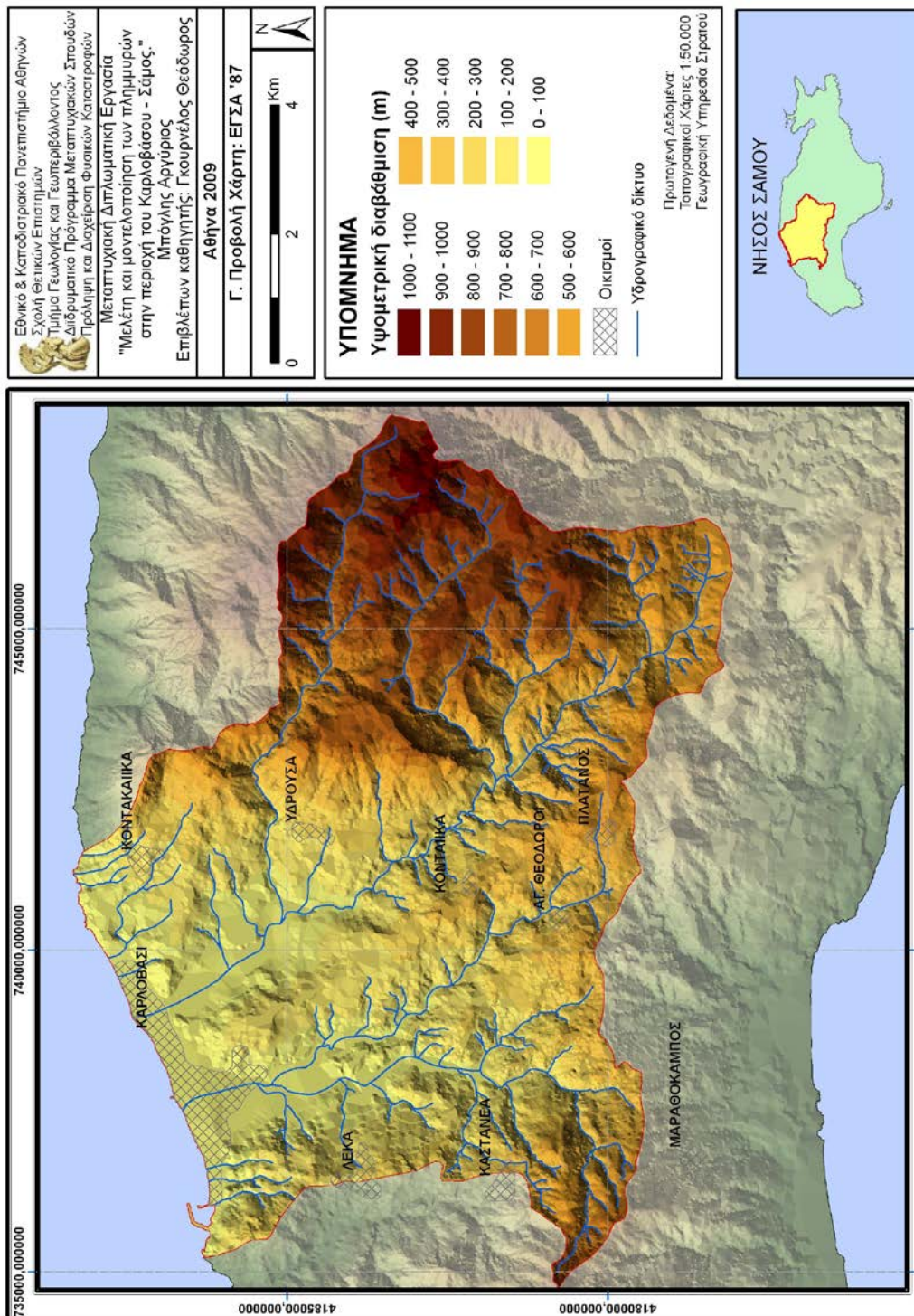
Η αρχή τριγωνισμού Delaunay δεν μπορεί να διαχειριστεί κρίσιμες μορφές της γεωμετρίας της επιφάνειας του ανάγλυφου. Ανάλογα προβλήματα μπορεί να ξεπεραστούν με τη δέσμευση (constrain) οι γραμμές ασυνεχειών να αποτελούν πλευρές του τριγωνισμού παρακάμπτοντας την αρχή Delaunay.



Σχήμα 6. Τριγωνισμός κατά Delaunay
(Πηγή: Weibel & Heller, 1991)



Σχήμα 7. Περιορισμός γραμμών ασυνέχειας
(Πηγή: Weibel & Heller, 1991)



Εικόνα 33. Χάρτης ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους λεκάνης Καρλοβάσου σε μορφή TIN

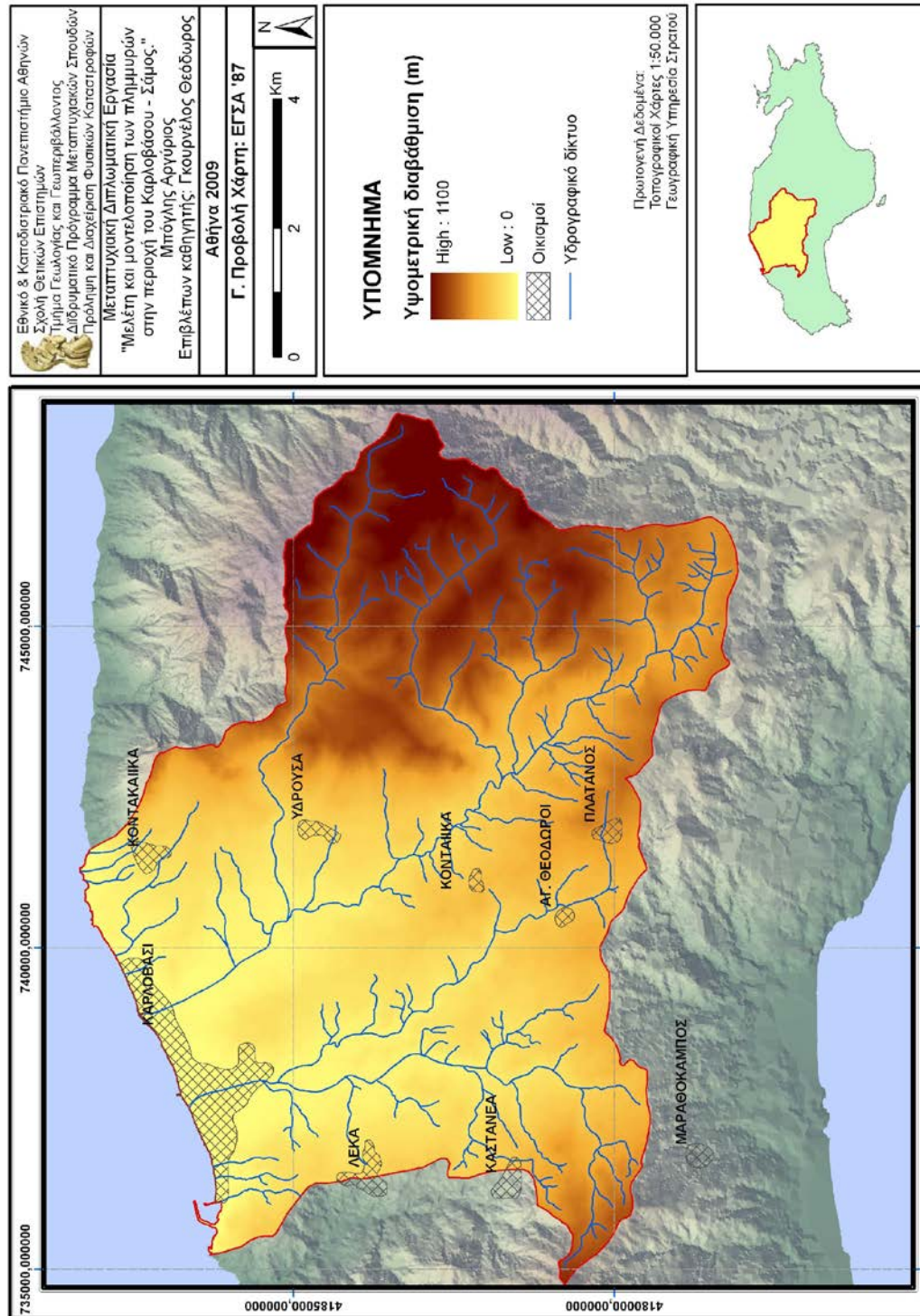
Παραγωγή GRID

Όμως, είναι δύσκολη η επεξεργασία δεδομένων TIN για μεγάλες περιοχές έτσι ώστε το νερό να κυλά κατηφορικά στην επιφάνεια του. Τα πλέγματα απεικονίζουν ακριβέστερα την επιφάνεια συγκρινόμενα με τα TIN και η διαδικασία καθορισμού των διαδρομών ροής είναι απλούστερη λόγω της απλής δομής των κελιών. Επιπλέον, είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα εδάφους για την σκιαγράφηση της απορροής διότι αποτελούν ψηφιακές καταγραφές των υψομέτρων για θέσεις εδάφους.

Χρησιμοποιώντας το ήδη υπάρχον ψηφιακό μοντέλο εδάφους (TIN), ακολουθήθηκε μία διαδικασία παραγωγής ενός μοντέλου εδάφους με την μορφή κανάβου (GRID) (Εικόνα 34), το οποίο καλύπτει όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, αποδίδοντας σε κυψέλες (cells) τις τιμές των υψομέτρων.

Η καλύτερη δυνατή απόδοση του TIN σε μορφή κανάβου, εξαρτάται κυρίως από την ανάλυση του παραγόμενου GRID. Λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία αναφέρονταν σε κλίμακα 1:50.000, αλλά και την επιθυμητή ακρίβεια των εν συνεχεία παραγόμενων μοντέλων, επιλέχθηκε η τιμή μεγέθους της κυψέλης (cell size) του παραγόμενου GRID αρχείου, ίση με 10 μέτρα.

Τα παραγόμενα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Εικόνες 33-34) χρησιμοποιήθηκαν ως πρωτογενή στοιχεία στις διαδικασίες παραγωγής των διανυσματικών επιπέδων πληροφορίας του υδρογραφικού δικτύου και των λεκανών απορροής της περιοχής ενδιαφέροντος, με την χρήση της εξειδικευμένης εργαλειοθήκης Arc Hydro.



Εικόνα 34. Χάρτης ψηφιακού μοντέλου Εδάφους λεκάνης Καρλοβάσου σε μορφή GRID

7.3. Παραγωγή υδρογραφικού δικτύου

Σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων και την περαιτέρω μελέτη των υδρογραφικών συστημάτων της περιοχής μελέτης, αποτελεί η υδρολογική προσομοίωση των λεκανών. Η προσομοίωση της απορροής περιοχών της τάξης των υδρολογικών λεκανών είναι εφικτή, παράγοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν, σημαντικά, καταναμημένα υδρολογικά μοντέλα που εκμεταλλεύονται την χωρική κατανομή των δεδομένων. Τα καταναμημένα υδρολογικά μοντέλα μπορούν να συνδυάσουν πληροφορίες για την χωρική μεταβλητότητα της τοπολογίας, των χρήσεων γης, της γεωλογίας και οποιονδήποτε άλλων παραμέτρων περιλαμβάνει ένα μοντέλο. Το μεγάλο μειονέκτημα των καταναμημένων μοντέλων, στην προ των υπολογιστών εποχή, ήταν ο μεγάλος όγκος υπολογισμών που έπρεπε να γίνουν με το χέρι. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε με την είσοδο του ηλεκτρονικού υπολογιστή στην υπηρεσία των επιστημόνων και των μηχανικών. Το αμέσως επόμενο πρόβλημα που προέκυψε ήταν η διαχείριση του μεγάλου όγκου των δεδομένων και των υπολογισμών από ένα κατάλληλο λογισμικό. Ως συνέπεια, πραγματοποιήθηκε στροφή των υδρολόγων προς τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π. - G.I.S.).

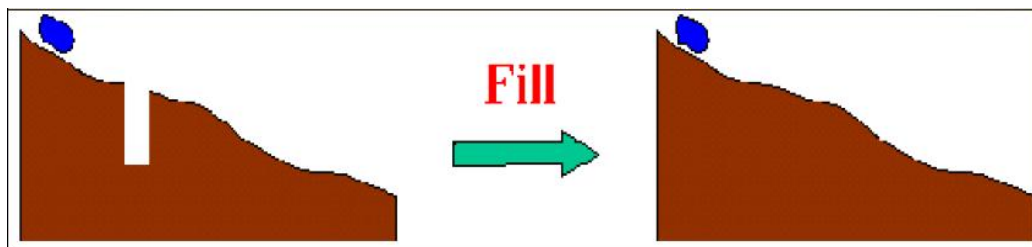
Το βασικό πλεονέκτημα των Σ.Γ.Π. είναι η οργάνωση και επεξεργασία των δεδομένων με τοπολογικές σχέσεις αναφορικά με τον γεωγραφικό χώρο. Τα Σ.Γ.Π. μπορούν να διαχειριστούν τον μεγάλο όγκο δεδομένων και επεξεργασιών που απαιτούν τα καταναμημένα υδρολογικά μοντέλα. Επίσης, με την ραγδαία ανάπτυξη της υπολογιστικής δύναμης των υπολογιστών, δόθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης περισσότερο πολύπλοκων και αναλυτικών υδρολογικών μοντέλων, τα οποία εκτελούνται κατά κύριο λόγο μέσα σε περιβάλλον ενός Σ.Γ.Π.

Η παρούσα εργασία, έλαβε χώρα μέσα σε περιβάλλον Σ.Γ.Π. ώστε να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα των Σ.Γ.Π. Υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcGIS της ESRI έκδοση 9.2, το οποίο περιλαμβάνει σειρά από προγράμματα, μεταξύ αυτών και το ArcMap, στο περιβάλλον του οποίου έλαβε χώρα η επεξεργασία των δεδομένων και η παραγωγή του χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης.

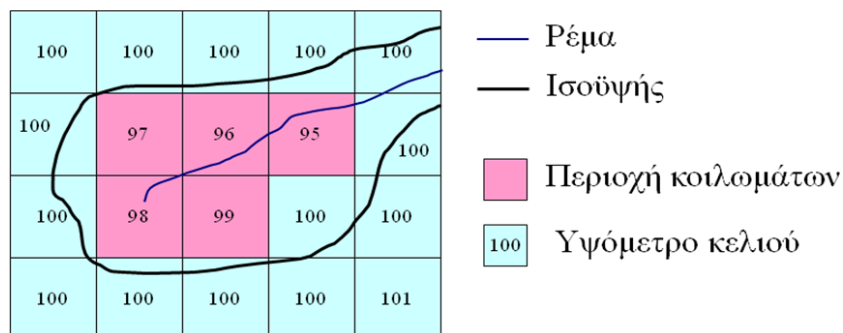
Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι διάφορες φάσεις εργασίας που ακολουθήθηκαν προκειμένου να καταλήξουμε σε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, δηλαδή σε ένα χάρτη ροής που να αναπαριστά όσο το δυνατό καλύτερα την κίνηση των επιφανειακών υδάτων στις λεκάνες της περιοχής μελέτης. Η παραγωγή του ψηφιακού υδρογραφικού δικτύου διανυσματικής μορφής βασίστηκε εξολοκλήρου στην χρήση της εργαλειοθήκης Arc Hydro Tools, σε συνεργασία με το λογισμικό ArcGIS 9.2. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι μέθοδοι και οι αλγόριθμοι που αναφέρονται παρακάτω, εφαρμόζονται αποκλειστικά σε ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου με δομή πλέγματος (GRID).

Λειτουργίες βελτίωσης του πλέγματος (agreement method και fill sinks)

Η προεπεξεργασία εδάφους χρησιμοποιεί τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους για να προσδιορίσει το σχέδιο αποστράγγισης της επιφάνειας. Μόλις γίνει η προεπεξεργασία, το DEM και τα παράγωγά του μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποδοτική σκιαγράφιση του υδροκρίτη και την παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου. Αναλυτικότερα η λειτουργία DEM Reconditioning τροποποιεί το DEM με την επιβολή των γραμμικών χαρακτηριστικών ενώ η λειτουργία Fill Sinks γεμίζει τα κοιλώματα σε ένα πλέγμα. Εάν το κελί είναι περικυκλωμένο από μεγαλύτερου υψόμετρου κελιά, το νερό είναι παγιδευμένο στο κελί αυτό και δεν μπορεί να κυλήσει. Η λειτουργία Fill Sinks τροποποιεί την υψομετρική τιμή για να ελαχιστοποιήσει αυτά τα προβλήματα.



Σχήμα 8. Απομάκρυνση κοιλωμάτων ενός ΨΜΕ
(Πηγή: Maidment, 2002)



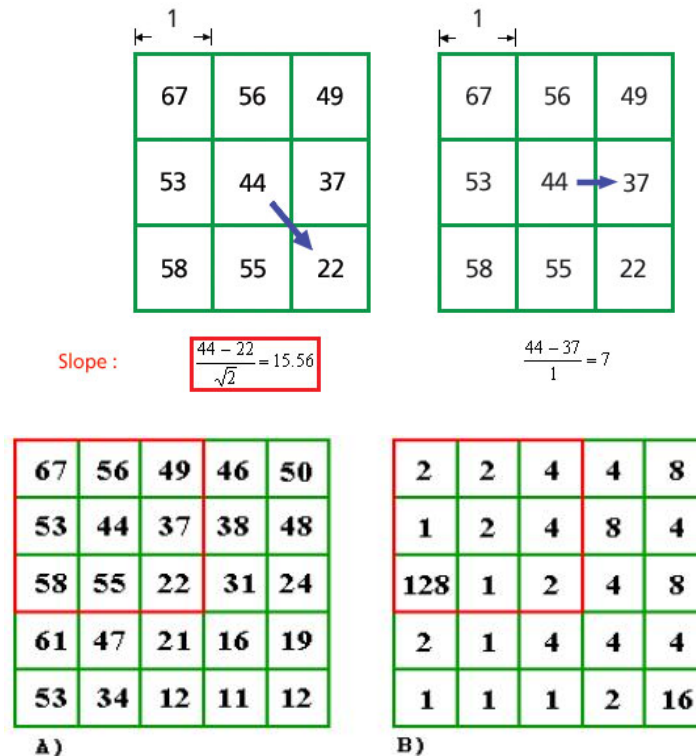
Σχήμα 9. Παράδειγμα κοιλωμάτων (sinks)
(Πηγή: Loesch, 2000)

Το πλέγμα του ΨΜΕ μπορεί να περιέχει ψεύτικα κοιλώματα στο ανάγλυφο εξαιτίας λαθών στο καθορισμό των υψομέτρων ή στη δημιουργία του πλέγματος. Ένα κοίλωμα εμφανίζεται όταν ένα ή περισσότερα κελιά είναι περικυκλωμένα, από όλες τις πλευρές, από κελιά με μεγαλύτερο υψόμετρο. Τα κοιλώματα αφαιρούνται με τη λειτουργία του ArcGIS "γέμισμα κοιλωμάτων" (filling sinks). Ανεβάζει το υψόμετρο όλων των κοιλωμάτων στο ελάχιστο υψόμετρο των γύρω κελιών έτσι ώστε το νερό να μπορέσει να κυλήσει στην επιφάνεια.

Υπολογισμός κλίσεων για τον εντοπισμό της κατεύθυνσης ροής

Το νερό θα κυλήσει προς την πιο απότομη πλαγιά, όπου η κλίση καθορίζεται από τη διαφορά των υψομέτρων ανά μονάδα απόστασης. Υπάρχουν 2 περιπτώσεις:

- διαγώνια, όπου η κλίση υπολογίζεται αφαιρώντας το τελικό υψόμετρο του κελιού με το αρχικό και διαιρώντας το αποτέλεσμα με 1,41, δηλαδή το μέγεθος του κελιού, και
- οριζόντια, όπου η κλίση υπολογίζεται απλά αφαιρώντας τα υψόμετρα και διαιρώντας με το 1, δηλαδή το μέγεθος του κελιού.



Σχήμα 10. Σχηματική απεικόνιση υπολογισμού κλίσεων (Πηγή: Maidment, 2002)

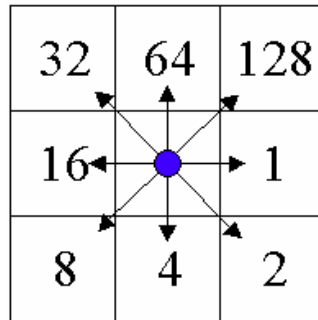
Πλέγμα Κατεύθυνσης ροής (Flow Direction Grid)

Η προσομοίωση της επιφανειακής απορροής των λεκανών απαιτεί τη λεπτομερή γνώση της υδρολογικής δομής αυτών, δηλαδή την θέση, το μήκος, και την τάξη κάθε επιμέρους κλάδου του υδρογραφικού δικτύου.

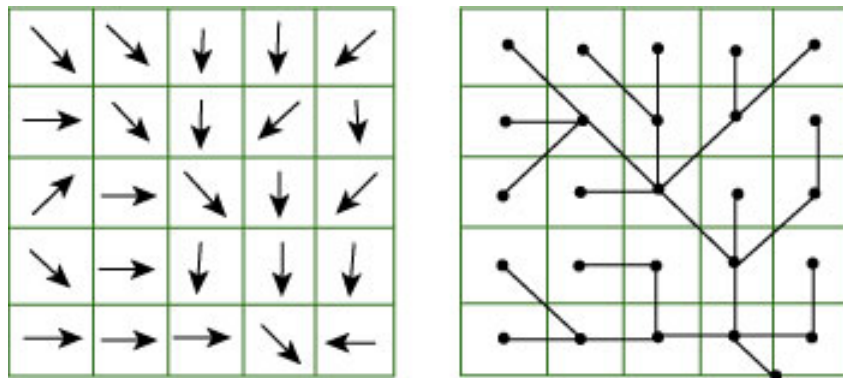
Το πλέγμα κατεύθυνσης ροής δείχνει την κατεύθυνση της πιο στιγμιαίας καθόδου από οποιοδήποτε κελί. Το νερό για ένα δοσμένο κελί μπορεί να κυλήσει προς ένα ή περισσότερα από 8 γειτονικά κελιά σύμφωνα με τις κλίσεις. Η θεωρία που χρησιμοποιείται ονομάζεται μοντέλο 8 κατευθύνσεων των αδύναμων σημείων.

| ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ | ΤΙΜΗ |
|-----------------|-----------|
| ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ | 2.232.002 |
| ΝΑ | 2.137.167 |
| ΔΥΤΙΚΑ | 2.390.595 |
| ΝΟΤΙΑ | 2.877.089 |
| ΝΔ | 2.061.265 |
| ΒΔ | 1.926.899 |
| ΒΟΡΕΙΑ | 1.922.823 |
| ΒΔ | 1.538.574 |

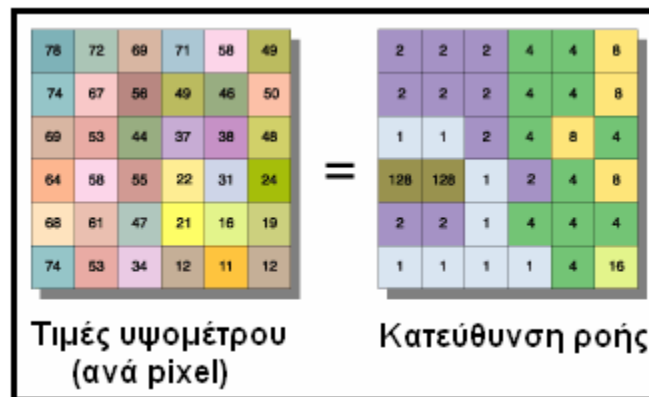
Πίνακας 15. Τιμές κελιών του μοντέλου 8 κατευθύνσεων



Σχήμα 11. Κωδικοποίηση των ψηφίδων στους χάρτες κατεύθυνση ροής. Κάθε ψηφίδα λαμβάνει μία τιμή ενδεικτική της κατεύθυνσης της απορροής (Πηγή: Maidment, 2002)



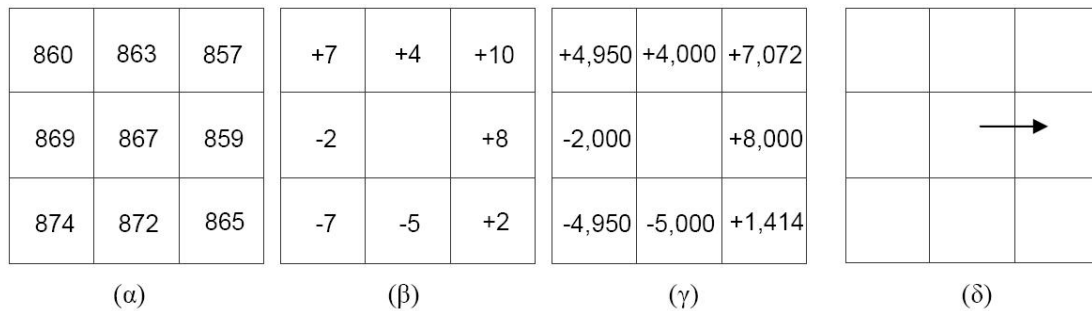
Σχήμα 12. Φυσική παρουσίαση του πλέγματος κατεύθυνσης ροής (αριστερά) με βέλη κατεύθυνσης (δεξιά) σαν δίκτυο ροής (Πηγή: Maidment, 2002)



Σχήμα 13. Διαμόρφωση κανάβου κατεύθυνσης ροής (Πηγή: ESRI)

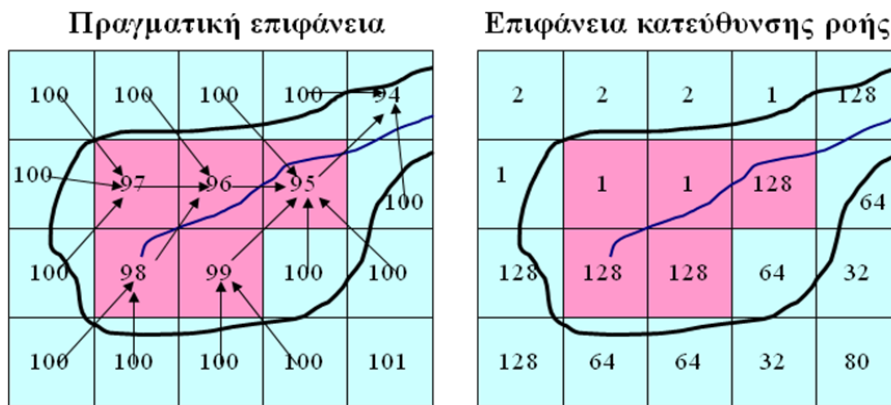
Με σκοπό την καλύτερη δυνατή προσέγγιση της διεύθυνσης ροής των προβληματικών περιοχών, εφαρμόστηκε η τεχνική επιβολής ροής στο υπάρχον ΨΜΕ, κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε το ψηφιοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχή μελέτης που προέκυψε από χάρτες 1:50.000 της ΓΥΣ. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την χρήση του εργαλείου AgreeDEM του μενού Terrain Preprocessing. Το ΨΜΕ που παράχθηκε από αυτή την διαδικασία χρησιμοποιήθηκε μετέπειτα για την παραγωγή του χάρτη κατεύθυνση ροής με την χρήση του εργαλείου Flow Direction Grid (μενού Terrain Preprocessing). Η λειτουργία Flow Direction

υπολογίζει την κατεύθυνση ροής για ένα δεδομένο πλέγμα, όπου το νερό που είναι αποθηκευμένο σε κάθε κελί θα κυλήσει προς τα γειτονικά κελιά με το χαμηλότερο υψόμετρο.



Σχήμα 14. Η διαμόρφωση ενός καννάβου διεύθυνσης ροής (Πηγή: ESRI)

Σημείωση: Στο (α) παρατηρούμε τον κάνναβο στον οποίο είναι καταχωρημένες οι τιμές του υψόμετρου (filled elevation grid) του κεντρικού κελιού σε σχέση με τις τιμές των 8 γειτονικών του. Η διεύθυνση ροής (flow direction) καθορίζεται κατ' αρχήν από την διαφορά υψόμετρου όπως φαίνεται στο (β), και δευτερευόντως από την κλίση που υπάρχει μεταξύ του κεντρικού με τα υπόλοιπα κελιά (γ). Αυτή η κλίση υπολογίζεται διαιρώντας την υψομετρική διαφορά με 1, για τα άμεσα γειτνιάζοντα, ενώ με 1,414 για τα τέσσερα «γωνιακά» κελιά. Τελικά η ροή έχει διεύθυνση από το κεντρικό κελί προς εκείνο που παρουσιάζει την μεγαλύτερη κλίση (+8,000) όπως παρουσιάζεται στο (δ).

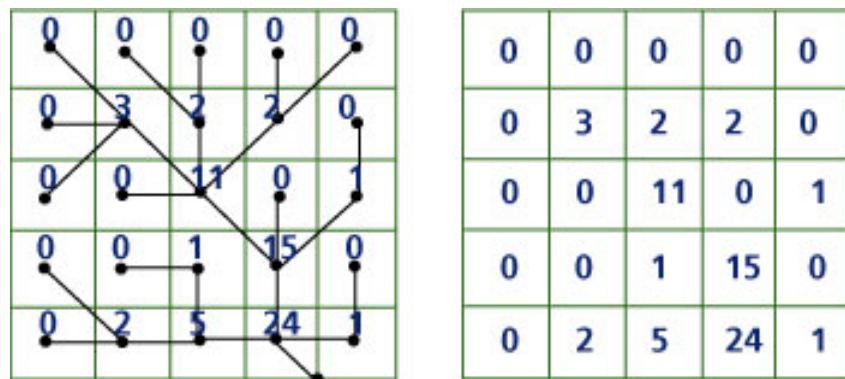


Σχήμα 15. Παράδειγμα πλέγματος κατεύθυνσης ροής (Πηγή: Loesch, 2000)

Πλέγμα συσσώρευσης ροής (Flow Accumulation Grid)

Το πλέγμα συσσώρευσης ροής καταγράφει τον αριθμό των κελιών που αποστραγγίζονται σε ένα ανεξάρτητο κελί του πλέγματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ανεξάρτητο κελί δεν συνυπολογίζεται στη διαδικασία. Από φυσική πλευρά, το πλέγμα συσσώρευσης ροής είναι η αποστραγγιστική επιφάνεια μετρούμενη σε μονάδες κελιών πλέγματος. Από το Flow Accumulation Grid, ανοίγοντας τον πίνακα Properties και επιλέγοντας το Source, μπορεί να παρατηρήσει κανείς πόσα κελιά υπάρχουν στο πλέγμα,

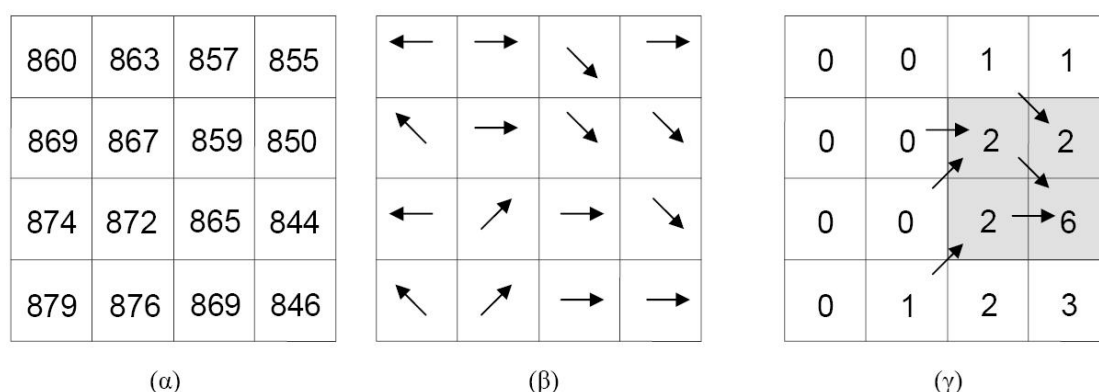
το μέγεθος του κελιού, ποια είναι η μέγιστη συσσώρευση ροής σε αριθμό κελιών και σε τι αποστραγγιστική περιοχή ανταποκρίνεται.



Σχήμα 16. Πλέγμα συσσώρευσης ροής -αριθμός των κελιών που αποστραγγίζουν ένα δοσμένο κελί κατά μήκος του δικτύου ροής (Πηγή: Maidment, 2002)

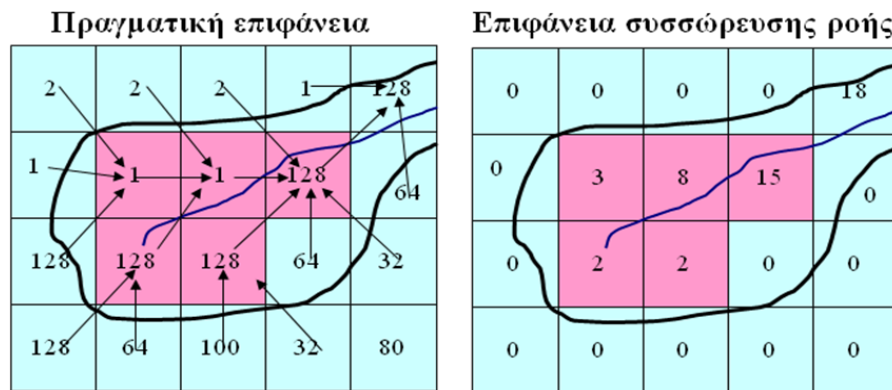
Η πληροφορία της συσσώρευσης ροής είναι ιδιαίτερα σημαντική μιας και επιτρέπει την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου αλλά και τους επιμέρους υδροκρίτες των υδρολογικών λεκανών χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα αρχικά υψομετρικά δεδομένα του ΨΜΕ. Παρόλο που η χρήση των χαρτών συσσώρευσης ροής για την εξαγωγή των παραπάνω στοιχείων έχει εξαιρετικά πρακτική σημασία, αυτοί παρουσιάζουν σημαντική υστέρηση κατά την ακριβή προσέγγιση των περιοχών όπου αναμένεται επιφανειακή συσσώρευση ροής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παράβλεψη σημαντικών παραμέτρων όπως είναι η λιθολογία της περιοχής και η κατανομή των βροχοπτώσεων εντός των λεκανών. Οι παράμετροι αυτοί είναι δυνατό να εισαχθούν στην διαδικασία υπολογισμού των χαρτών συσσώρευσης ροής με την μορφή πλεγμάτων (GRID) που θα φέρουν την αντίστοιχη πληροφορία.

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας οι παραπάνω παράμετροι δεν συνυπολογίστηκαν στην εξαγωγή του πλέγματος συσσώρευσης ροής. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν ικανοποιητικά σε σχέση πάντα με την επιθυμητή ακρίβεια της μελέτης. Η παραγωγή του χάρτη συσσώρευσης ροής έγινε με την χρήση του εργαλείου Flow Accumulation Grid του μενού Terrain Preprocessing της εργαλειοθήκης ArcHydro.



Σχήμα 17. Η διαμόρφωση ενός καννάβου συσσώρευσης ροής (Πηγή: ESRI)

Σημείωση: Παραπάνω απεικονίζονται τρεις κάρτες: ένας «πληρωμένος» κάρτα υψομέτρων (filled elevation grid) (α), ένας κάρτα διεύθυνσης ροής (flow direction grid) (β) και ένας κάρτα συσσώρευσης ροής (flow accumulation grid) (γ). Στο (γ), τα σκιασμένα κελιά έχουν λάβει τιμές συγκέντρωσης ροής 2 (τα δύο αριστερά κελιά και το πάνω δεξιά) και 6 (το κάτω δεξιά κελί). Το κάτω αριστερά δέχεται την ροή από ένα κελί που ήδη έχει τιμή 1, ενώ το πάνω αριστερά αποτελεί αποδέκτη ροής δύο γειτονικών του κελιών με τιμή 0. Το πάνω δεξιά δέχεται τη ροή ενός κελιού το οποίο ήδη έχει αντλήσει από ένα άλλο με μηδενική τιμή. Τέλος το κάτω δεξιά «πηγάξει» από το αριστερό και το διαγώνια πάνω αριστερό του κελί, που και τα δύο έχουν τιμή συσσώρευσης ροής 2.

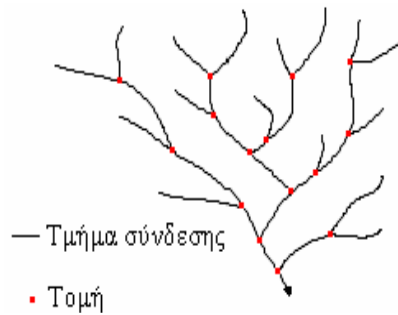


Σχήμα 18. Παράδειγμα πλέγματος συσσώρευσης ροής
(Πηγή: Loesch, 2000)

Καθορισμός και τμηματοποίηση του ρέματος (stream definition & segmentation)

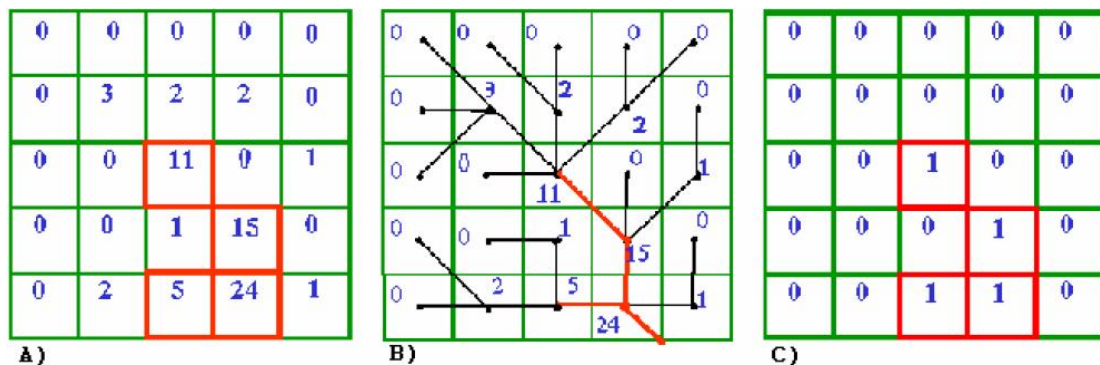
Στο συγκεκριμένο στάδιο χρησιμοποιείται μία κατώτατη τιμή (threshold) συσσώρευσης ροής για τον καθορισμό των ρεμάτων. Δηλαδή από ένα δοσμένο αριθμό κελιών και πάνω δημιουργούνται ρέματα. Στη συνέχεια διαχωρίζεται το υδρογραφικό δίκτυο σε τμηματικά ρέματα ή συνδέσμους (Stream Links) και κάθε τμήμα φέρει δικό του προσδιοριστικό (Code).

Η λειτουργία Stream Definition υπολογίζει ότι ένα πλέγμα ρέματος περιέχει την τιμή "1" για όλα τα κελιά του εισαγόμενου πλέγματος συσσώρευσης ροής που έχουν τιμή μεγαλύτερη της δεδομένης κατώτατης τιμής. Όλα τα υπόλοιπα κελιά στο πλέγμα δεν περιέχουν δεδομένα. Υποδεικνύεται μια τιμή για το κατώτατο όριο ποταμών, που έχει προκαθοριστεί από το πρόγραμμα. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει το 1% της μέγιστης συσσώρευσης ροής και είναι η συνιστώμενη κατώτατη τιμή για τον προσδιορισμό του ρέματος. Εντούτοις, οποιαδήποτε άλλη τιμή μπορεί να επιλεγεί για κατώτατη τιμή. Μικρότερο κατώτατο όριο θα οδηγήσει σε ένα πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο και συνήθως σε έναν μεγαλύτερο αριθμό σκιαγραφημένων λεκανών.



Σχήμα 19. Ένωση σημείων τομής του υδρογραφικού δικτύου με γραμμικά εικονοστοιχεία ίδιας τιμής (Πηγή: ESRI (τροποποίηση))

Η λειτουργία Stream Segmentation δημιουργεί ένα πλέγμα τμηματικών ρεμάτων τα οποία έχουν έναν μοναδικό προσδιορισμό. Κάθε τμήμα μπορεί να έχει ένα επικεφαλές τμήμα, ή μπορεί να οριστεί ως τμήμα μεταξύ δύο συνδέσεων τμημάτων. Όλα τα κελιά σε ένα συγκεκριμένο τμήμα έχουν τον ίδιο κώδικα πλέγματος (grid code) που είναι συγκεκριμένος για εκείνο το τμήμα.



Σχήμα 20. Καθορισμός του ρέματος (A) κελιά με συσσώρευση μεγαλύτερη ή ίση του 5 θεωρούνται κελιά ρέματος (κόκκινο) (B)προσδιορισμένα ρέματα στο δίκτυο ροής (κόκκινο) (C) πλέγμα ρέματος (Πηγή: Maidment, 2002)

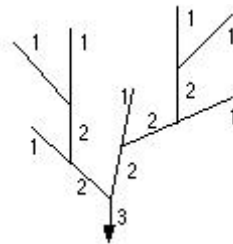
Ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου

Εν συνεχεία των διαδικασιών παραγωγής του υδρογραφικού δικτύου πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των κλάδων, όπως αυτοί αποδίδονται μέσα από το παραγόμενο πλέγμα ροής. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι ένα πλέγμα ροής όπου αποδίδεται χρωματικά η διαφορετική τάξη των κλάδων. Για την τελική παραγωγή του πλέγματος ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε το παραγόμενο πλέγμα ροής, όπου και εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος ταξινόμησης του εργαλείου Stream Order του μενού Hydrology.

Το εργαλείο αυτό προσδιορίζει μιας σειράς αρίθμησης (κατά STRAHLER ή κατά SHREVE) στα ευθύγραμμα τμήματα που αντιπροσωπεύουν το υδρογραφικό δίκτυο χωρίζοντάς τα με τα σημεία τομής των δύο κλάδων. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης είναι καλύτερης ανάλυσης εάν το εισαγόμενο πλέγμα ροής και το πλέγμα κατεύθυνσης ροής έχουν παραχθεί από τα ίδια δεδομένα. Στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής διατριβής,

για την ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου επιλέχθηκε η μέθοδος ταξινόμησης ρευμάτων όπως αυτή προτάθηκε από τον Strahler το 1952. Στην μέθοδο Strahler οι μικρότερες, μη διακλαδιζόμενοι κλάδοι των ρευμάτων χαρακτηρίζονται ως πρώτης τάξης. Όταν ενώνονται δύο (ή περισσότερα) ρεύματα πρώτης τάξης, σχηματίζεται ένα τμήμα κλάδου δεύτερης τάξης, όταν ενώνονται δύο ή περισσότεροι κλάδοι δεύτερης τάξης σχηματίζεται ένα τμήμα κλάδου τρίτης τάξης κλπ. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει μόνο ένα τμήμα κλάδου μεγαλύτερης τάξης και δύο τουλάχιστον τμήματα κλάδου υπό την μεγαλύτερη τάξη.

Το μόνο μειονέκτημα της ταξινόμησης κατά Strahler είναι, ότι δεν αυξάνεται η τάξη ενός τμήματος με την συμβολή ενός κλάδου μικρότερης τάξης.



Σχήμα 21. Λογική μεθόδου ταξινόμησης κατά Strahler (Πηγή: ESRI)

Παραγωγή Υδρογραφικού δικτύου διανυσματικής μορφής

Σκοπός των παραπάνω εργασιών είναι η απόδοση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης σε διανυσματική μορφή. Η διαδικασία που προηγήθηκε και περιγράφηκε παραπάνω παρήγαγε το τελικό πλέγμα ροής του υδρογραφικού δικτύου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου διανυσματικής μορφής.

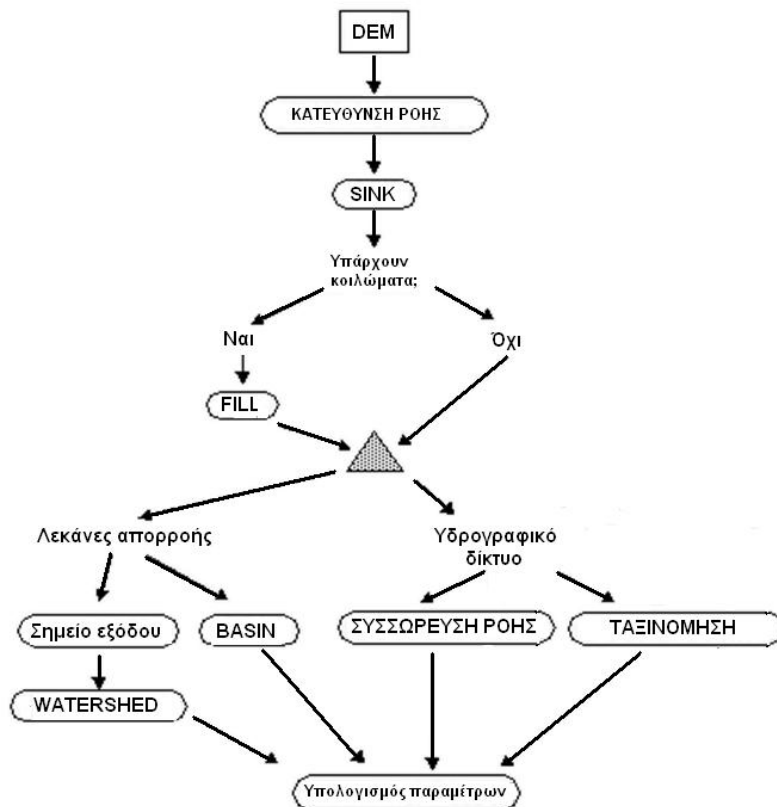
Στο στάδιο χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Drainage Line Processing του μενού Terrain Preprocessing. Η λειτουργία Drainage Line Processing μετατρέπει το εισαγόμενο πλέγμα σύνδεσης ρεμάτων σε μια κατηγορία γραμμικής αποστράγγισης.

Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας κρίθηκε ικανοποιητικό τόσο λόγω της σωστής αποτύπωσης των κλάδων στον χώρο, όσο και λόγω της ορθότητας των χαρακτηριστικών του δικτύου (πυκνότητα, συχνότητα, τάξη κλάδων) σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση στο πεδίο. Η απεικόνιση των ρεμάτων από το ΨΜΕ της περιοχής πλησιάζει πολύ ικανοποιητικά την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου όπως αυτή αποτυπώνεται στα τοπογραφικά διαγράμματα 1:50000 της ΓΥΣ. Το παραγόμενο υδρογραφικό δίκτυο είναι όμοιο με το υπάρχον δίκτυο όσον αφορά τους κύριους κλάδους, ενώ υπολείπεται ορισμένων κλάδων πρώτης τάξης, γεγονός όμως που δεν διαφοροποιεί την ταξινόμηση των κλάδων στο σύνολο του δικτύου.

7.4. Παραγωγή Υδρολογικών Λεκανών

Στα πλαίσια των εργασιών παραγωγής του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης παράχθηκαν αρχεία πλέγματος τα οποία φέρουν πληροφορία ικανή για τον προσδιορισμό των λεκανών απορροής. Με την χρήση του ΨΜΕ και των παράγωγων αυτού, πραγματοποιήθηκε αυτόματος προσδιορισμός των υδροκριτών και των στομιών των υδρολογικών λεκανών, στοιχεία που εξαρτώνται εξολοκλήρου από την μορφολογία του αναγλύφου.

Για την παραγωγή των λεκανών απορροής χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Batch Point της εργαλειοθήκης του Arc Hydro. Η λειτουργία του εργαλείου Batch Point, απαιτεί τον χωρικό προσδιορισμό των στομιών των λεκανών ως σημειακά συμβάντα από όπου ενεργοποιείτε ο αυτόματος προσδιορισμός του υδροκρίτη των λεκανών, με τον συνυπολογισμό των δεδομένων διεύθυνσης ροής και κλάδων ροής. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό λεκανών Δεύτερης τάξης και άνω της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 22. Διάγραμμα ροής διαδικασιών που ακολουθήθηκαν κατά την χρήση του ArcHydro

7.5. Υπολογισμός παραμέτρων

Ως λεκάνες απορροής χρησιμοποιήθηκαν οι καθαρές λεκάνες 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} τάξης. Τα μεγέθη που υπολογίσθηκαν ήταν το μέσο υψόμετρο, η μέση κλίση και το ολικό ανάγλυφο των λεκανών.

Ο υπολογισμός των παραμέτρων των λεκανών πραγματοποιήθηκε αυτόματα με την χρήση της εργαλειοθήκης του Arc Hydro, και συγκεκριμένα με το εργαλείο Compute Local Parameters του μενού Attribute Tools. Με την χρήση της παραγόμενης πληροφορίας δημιουργήθηκαν οι χάρτες μέσου υψομέτρου, μέσης κλίσης και ολικού αναγλύφου για κάθε τάξη.

Μέσο υψόμετρο

Με τον όρο μέσο υψόμετρο εννοούμε το θεωρητικό απόλυτο υψόμετρο που θα είχε μία περιοχή μετά την εξομάλυνση όλων των μορφολογικών ανωμαλιών και την δημιουργία μίας ενιαίας οριζόντιας επιφάνειας. Το μέσο υψόμετρο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$H_{\mu} = \frac{\sum(\alpha \times \varepsilon)}{E}$$

Όπου: H_{μ} : μέσο υψόμετρο

α : εμβαδόν επιφάνειας μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών

ε : ημιάθροισμα των τιμών δύο διαδοχικών ισοϋψών

E : συνολικό εμβαδόν της λεκάνης

Μέση κλίση

Ο υπολογισμός της μέσης κλίσης βασίζεται στον γενικό τύπο:

$$P = \frac{D * L}{E}$$

Όπου: P : Μέση κλίση

D : Ισοδιάσταση

L : Συνολικό μήκος ισοϋψών

E : Επιφάνεια

Ολικό Ανάγλυφο

Η τιμή του ολικού αναγλύφου ορίζεται ως η διαφορά του μικρότερου υψομέτρου στο στόμιο συνήθως της λεκάνης από το μεγαλύτερο υψόμετρο αυτής. Το ολικό ανάγλυφο υπολογίζεται σε μέτρα (m) και εκφράζεται από τον τύπο:

$$H = Z_{\max} - Z_{\min}$$

Όπου: H : ολικό ανάγλυφο

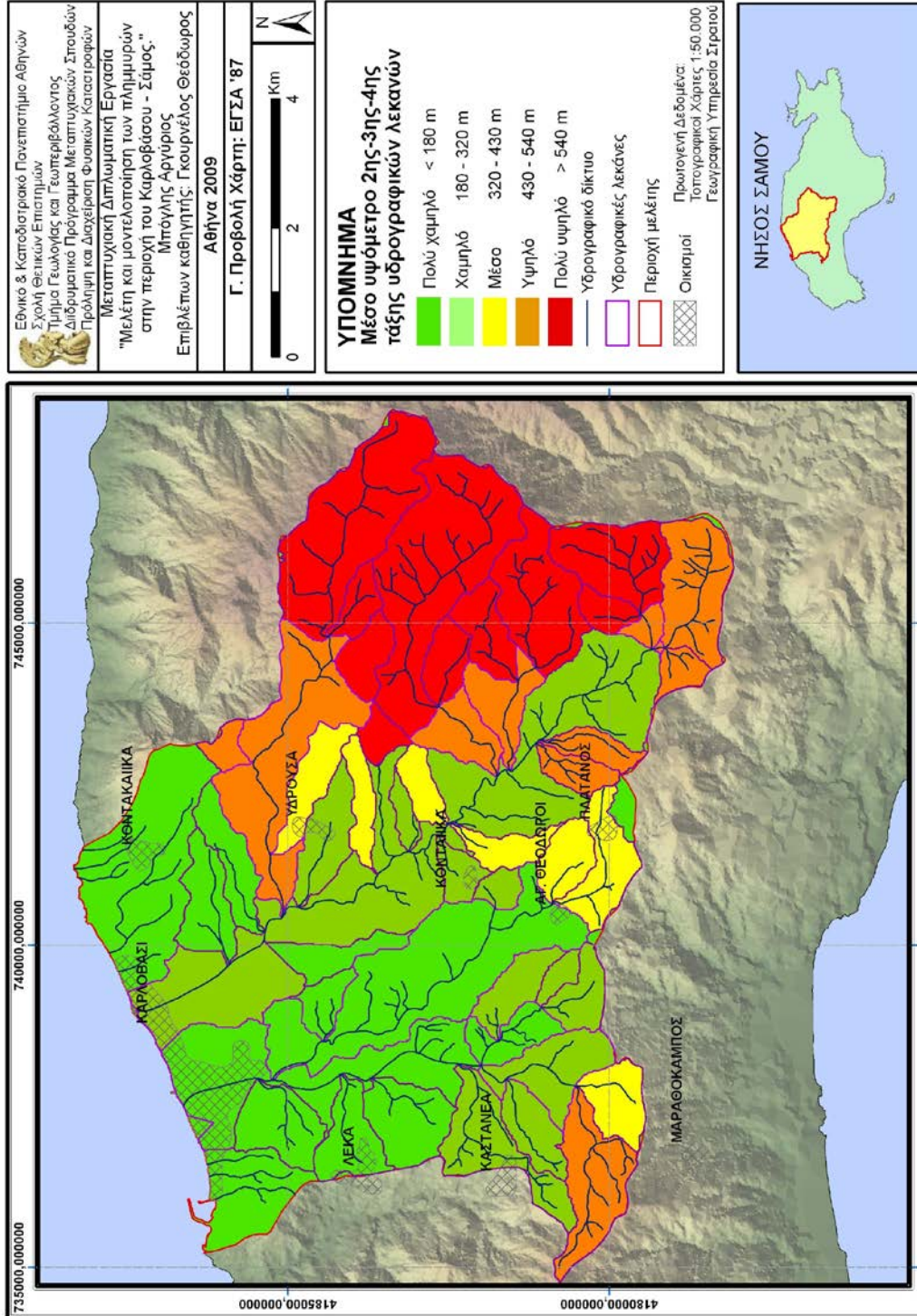
Z_{\max} : μέγιστο υψόμετρο λεκάνης

Z_{\min} : ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης

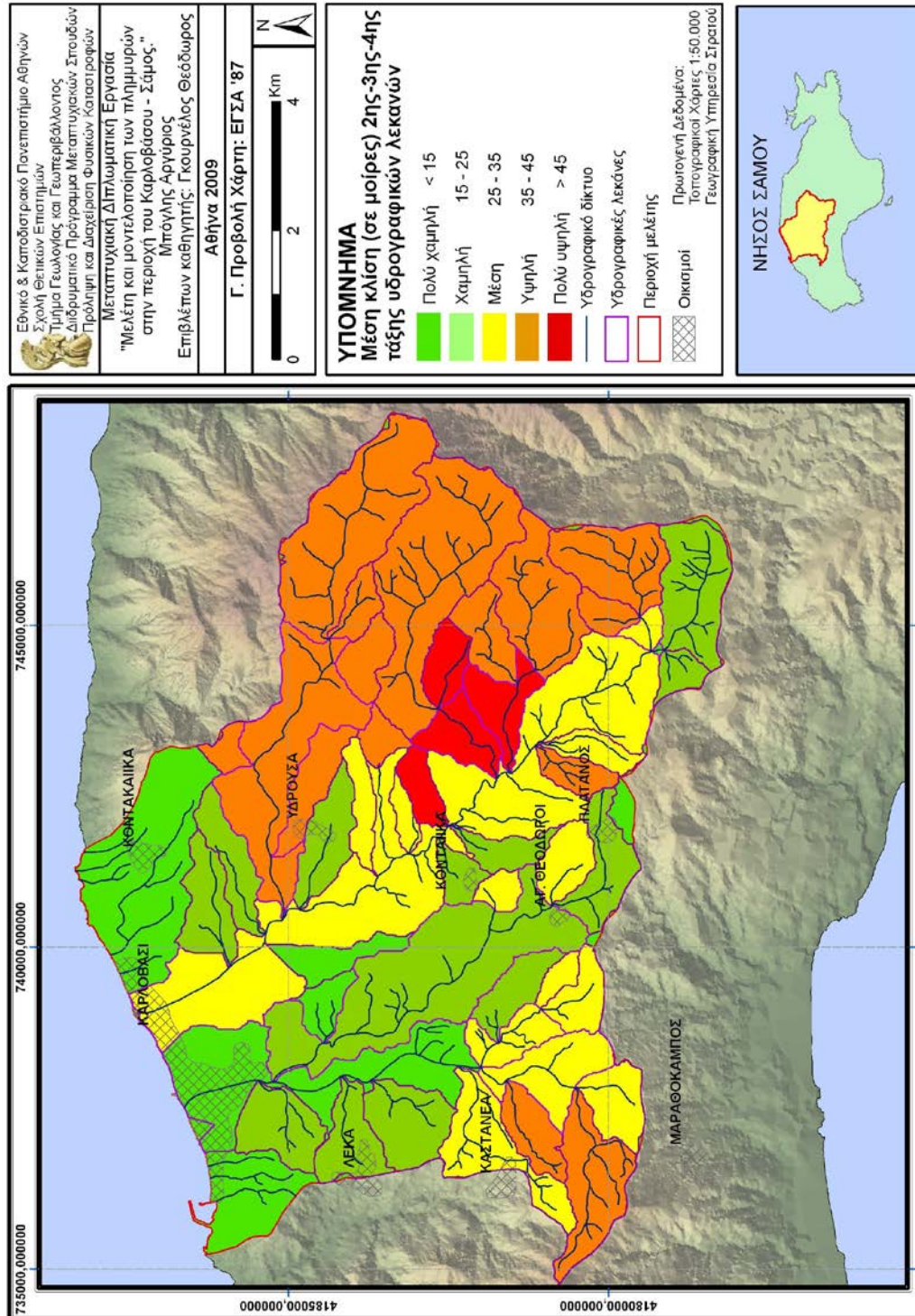
Η απεικόνιση των παραμέτρων έγινε συγκεντρωτικά για όλες τις τάξεις λεκανών σε έναν ενιαίο χάρτη για την κάθε παράμετρο ξεχωριστά.

Όπως παρατηρείται στον χάρτη μέσου υψομέτρου (Εικόνα 35), οι λεκάνες που συναντώνται στα όρια του υδροκρίτη του Φουρνιώτικου Ρέματος παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές μέσου υψομέτρου, καθώς και η λεκάνη στα ανάντη του Μεγάλου Ρέματος. Ενώ κατευθυνόμενοι προς τα κατάντη αυτές μειώνονται σταδιακά. Αντίστοιχες παρατηρήσεις ισχύουν και για τον χάρτη μέσης κλίσης (Εικόνα 36). Όσο για τον χάρτη ολικού αναγλύφου (Εικόνα 37) οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται στα κεντρικά της περιοχής, που οφείλεται στις κύριες λεκάνες απορροής του Μεγάλου Ρέματος και του Φουρνιώτικου Ρέματος και στο γεγονός πως συμπεριλαμβάνουν την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή υψομέτρου που εμφανίζονται στην περιοχή.

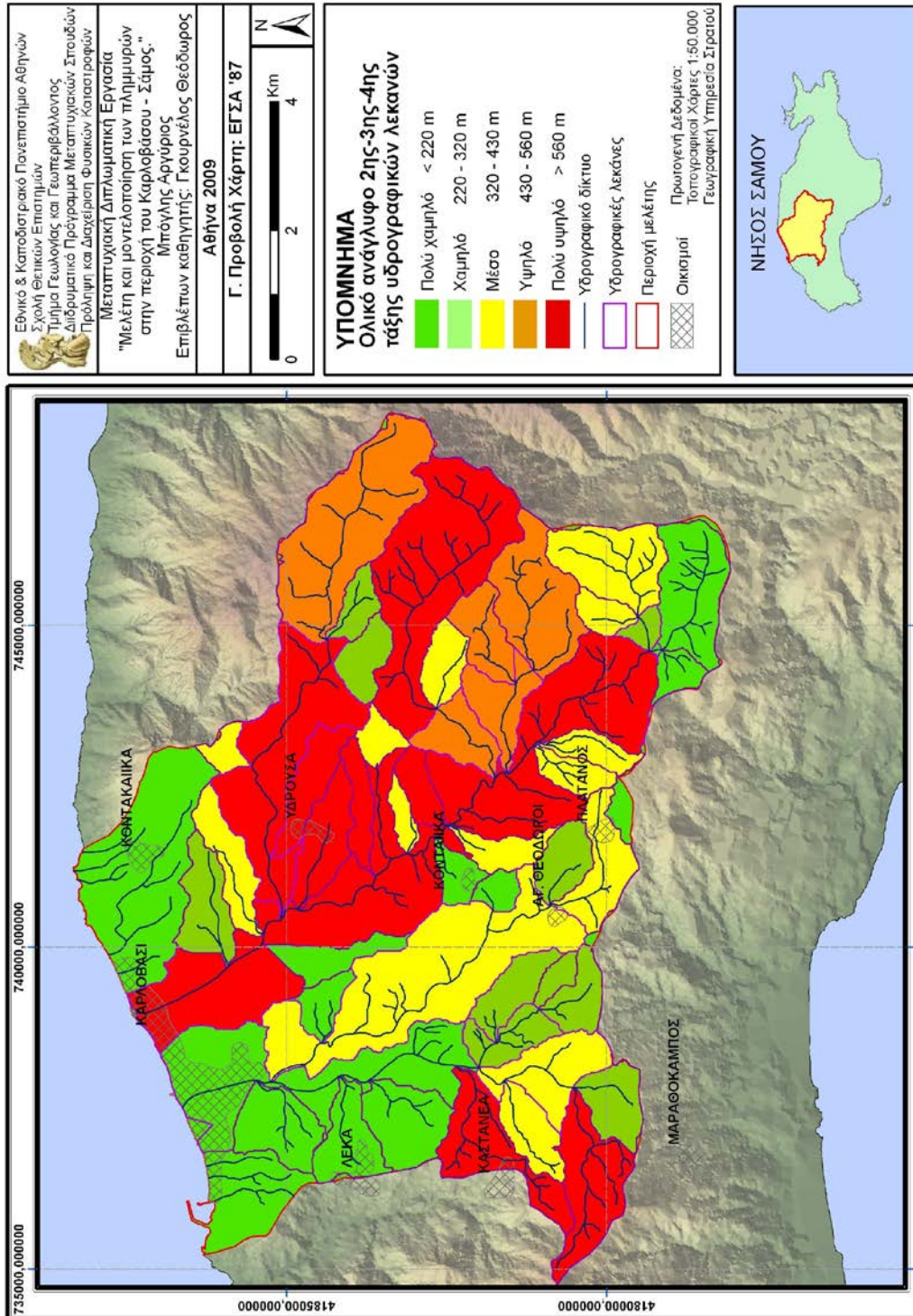
Τέλος, από τον χάρτη ενέργειας χειμάρρου (Εικόνα 38), παρατηρούμε πως τα στόμια των λεκανών, όπου εκτονώνεται η ενέργεια του χειμάρρου, με μεγάλη συγκέντρωση ενέργειας είναι κυρίως οι κύριοι κλάδοι της περιοχής μελέτης (Μεγάλο και Φουρνιώτικο Ρέμα).



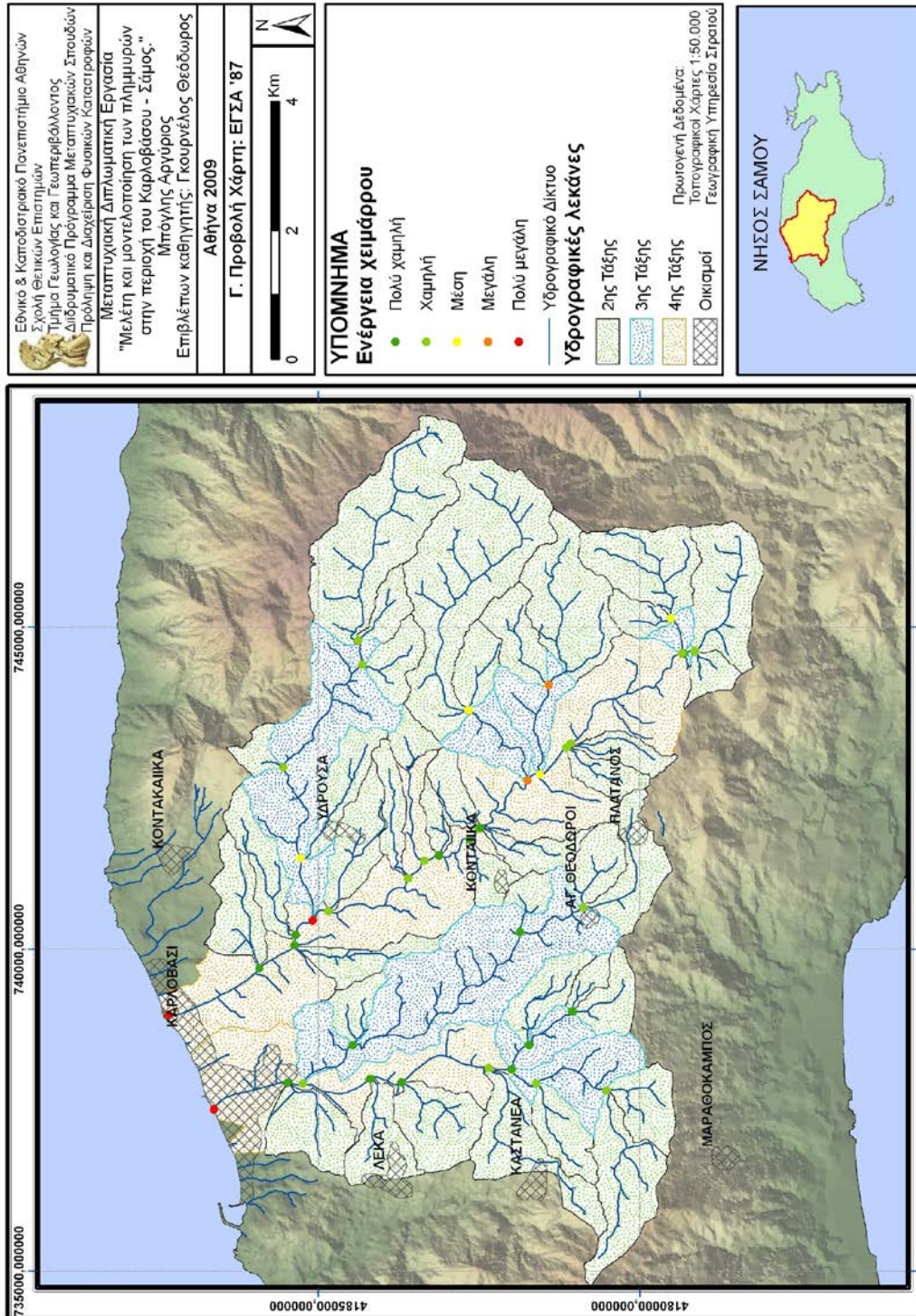
Εικόνα 35. Χάρτης μέσου υψόμετρου λεκανών Καρλοβάσου



Εικόνα 36. Χάρτης μέσης κλίσης λεκανών Καρλοβάσου



Εικόνα 37. Χάρτης ολικού αναγλύφου λεκανών Καρλοβάσου



Εικόνα 38. Χάρτης ενέργειας χειμάρρου λεκανών Καρλοβάσου

7.6. Δημιουργία Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας

Ολοκληρώνοντας τους υπολογισμούς και την μελέτη των επιμέρους παραμέτρων των υδρολογικών συστημάτων των λεκανών απορροής, είναι πλέον δυνατή η εκτίμηση των αναμενόμενων θέσεων εκδήλωσης των πλημμυρικών φαινομένων, μέσα από την δημιουργία του τελικού χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας των λεκανών.

Σύμφωνα με το σκεπτικό που έχει ήδη περιγραφεί, θεωρήθηκε το στόμιο κάθε λεκάνης (από 2^{ης} τάξης και άνω) ως το σημείο που η δυναμική ενέργεια του νερού που πέφτει σε κάθε σημείο της λεκάνης, έχει μετατραπεί σε κινητική, και χρησιμοποιήθηκαν οι καθαρές λεκάνες απορροής. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα να μην αγνοεί μεγάλες μεταβολές μεταξύ περιοχών που βρίσκονται σε μια μεγαλύτερης τάξης λεκάνη. Η δυναμική ενέργεια εξαρτάται από την δεδομένη μάζα, που στην συγκεκριμένη περίπτωση αφορά την μάζα του νερού που πέφτει σε μία λεκάνη. Η μάζα του νερού με την σειρά της εξαρτάται από την έκταση της λεκάνης, το μέσο υψόμετρο αυτής (λόγω της μεταβολής των βροχοπτώσεων με το υψόμετρο) και την υψομετρική διαφορά από το επίπεδο βάσης, που εκφράζεται με ένα προσεγγιστικό τρόπο από το ολικό ανάγλυφο.

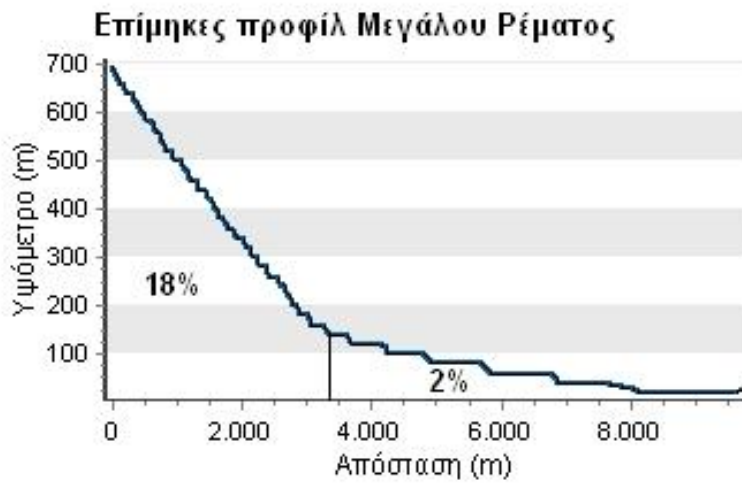
Ο ρυθμός με τον οποίο εκτονώνεται η ενέργεια αυτή στο στόμιο της λεκάνης είναι ανάλογος του ποσού της δυναμικής ενέργειας και αντιστρόφως ανάλογος του χρόνου απόκρισης της λεκάνης (είτε εκφράζεται ως χρόνος συγκέντρωσης των υδάτων είτε ως χρόνος διαδρομής ροής). Στην περίπτωση αυτή το μέτρο του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας στο στόμιο κάθε λεκάνης, ($\Delta E/\Delta t$), αυξάνεται τουλάχιστον ανάλογα με τα παρακάτω μεγέθη (Φουντούλης κ.ά., 2007, Καραγκιόζη, 2008):

- Έκταση λεκάνης
- Μέσο υψόμετρο λεκάνης
- Μέση κλίση λεκάνης
- Ολικό ανάγλυφο.

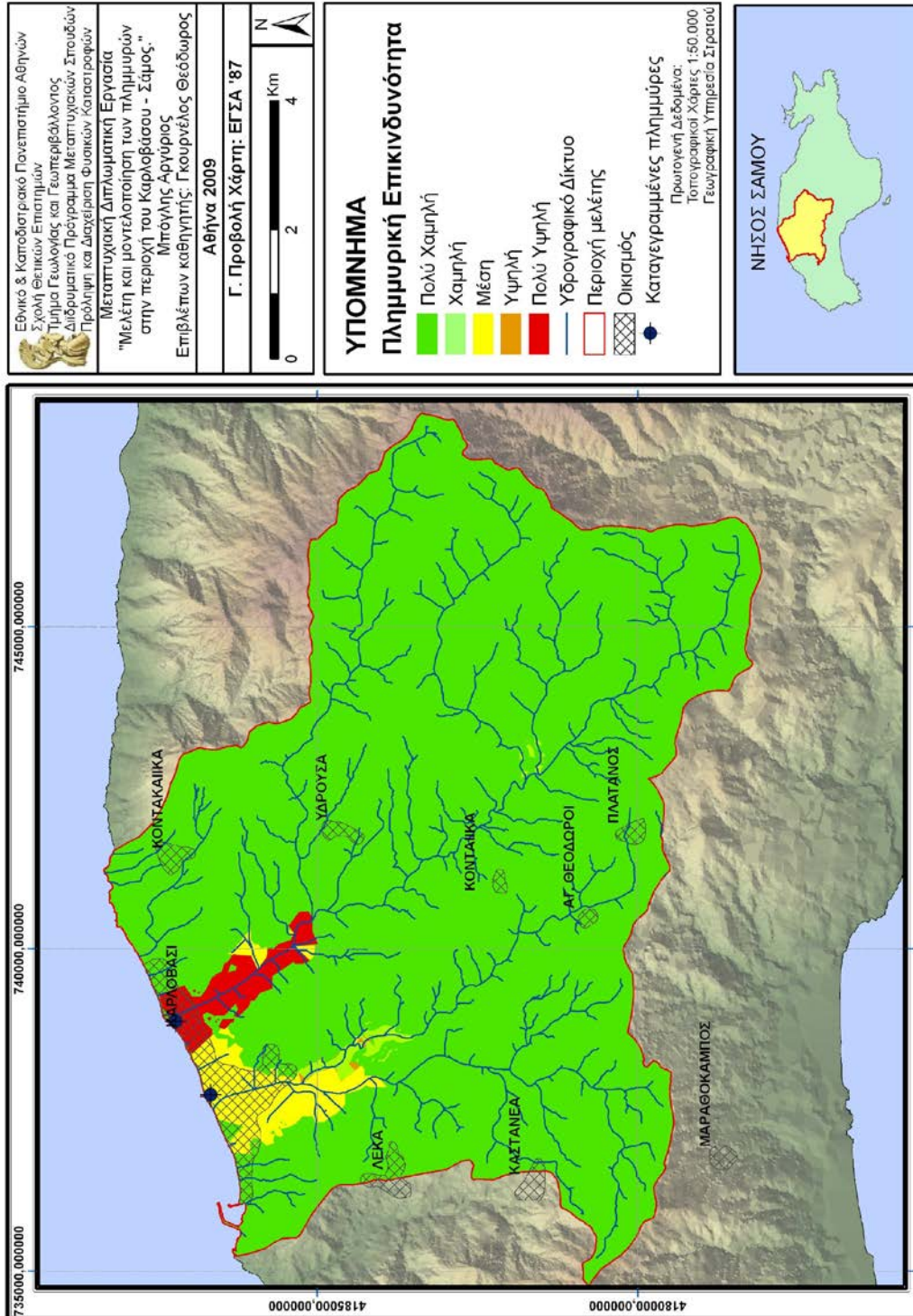
Για να μεγιστοποιηθούν οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των στομιών των λεκανών, αυτοί οι παράγοντες ενσωματώθηκαν σε ένα γινόμενο, λειτουργώντας ως «ενισχυτές» ο καθένας για το σύνολο. Το γινόμενο αυτό δεν αποτελεί το μέτρο του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας στο στόμιο κάθε λεκάνης, αποτελεί όμως ένα πολύ καλά καθορισμένο ποσοτικό μέτρο σύγκρισης μεταξύ τους.

Στο σημείο αυτό, και για να προσδιοριστούν καλύτερα οι περιοχές που φέρουν το μεγαλύτερο (με βάση πάντα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους) κίνδυνο εκδήλωσης των πλημμυρών, ελήφθησαν υπόψη οι ίδιες οι μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου (Εικόνα 39), με το σκεπτικό ότι η εκδήλωση των πλημμυρικών φαινομένων ευνοείται στις περιοχές με πολύ μικρές μορφολογικές κλίσεις, και δεν ευνοείται στις υπόλοιπες. Έγινε συνεπώς ένας επιπλέον υπολογισμός με στόχο να ενισχυθεί το

προηγούμενο γινόμενο με βάση την τιμή των μορφολογικών κλίσεων, θεωρώντας ότι σε περιοχές με κλίση πάνω από 10% δεν έχει νόημα η λεπτομερής ανάλυση.



Εικόνα 39. Επίμηκη προφίλ Μεγάλου και Φουρνιώτικου Ρέματος



Εικόνα 40. Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Λεκάνης Καρλοβάσου

Κεφάλαιο 8

Επιμετρήματα

8. Συμπεράσματα

Ο χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας που προέκυψε από τον συνυπολογισμό του αναγλύφου και της ενέργειας των λεκανών, **απέδωσε με ικανοποιητική ακρίβεια** τις επικίνδυνες περιοχές της λεκάνης του Καρλοβάσου. Από τον τελικό χάρτη φαίνεται ότι **οι περιοχές μέτριας έως πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας εστιάζονται σε περιοχές όπου επικρατούν Αλλουβιακές αποθέσεις**. Επίσης, τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε ο χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας, **επιβεβαιώνονται σε μεγάλο ποσοστό από τις επιτόπιες παρατηρήσεις και τις πρόσφατες πλημμύρες που έχουν λάβει χώρα** (Νοεμβρίου 2001 και Οκτωβρίου 2003) (Boglis et al., 2009).

Η συγκεκριμένη μέθοδος προσδιορισμού της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας όπως αυτή αναπτύχθηκε παραπάνω, αν και

- 1) εξαρτάται από την ακρίβεια του αρχικού ΨΜΕ,
- 2) δεν λαμβάνει υπόψη τις όποιες ανθρώπινες επεμβάσεις έχουν γίνει στην κοίτη των ρεμάτων, και
- 3) δεν λαμβάνει υπόψη στοιχεία βροχοπτώσεων - παροχών, όπως κάποιες από τις μεθόδους που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο,

αποδείχθηκε ιδιαίτερα ταχεία ως μεθοδολογία, και αρκετά αξιόπιστη για το διαθέσιμο χρόνο και την κλίμακα εφαρμογής.

Η εργασία αυτή αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση του πλημμυρικού φαινομένου στη λεκάνη του Καρλοβάσου, που θα εμπλουτιστεί σε επόμενα στάδια με μετεωρολογικά δεδομένα και στοιχεία ανθρωπογενών επεμβάσεων, για την ενίσχυση του παραγόμενου χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας.

Τέλος, η αντιπλημμυρική προστασία θα πρέπει να ξεκινήσει από τις περιοχές στα ανάντη, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο πριν ακόμη εκδηλωθεί. Στις υψηλές περιοχές, που καθορίζονται στο εσωτερικό των λεκανών, ανάντη των σημείων των κοιτών που σημειώνεται η απότομη αύξηση της ενέργειας χειμάρρου, το φαινόμενο της πλημμύρας δεν έχει ακόμη ξεκινήσει. Αυτές οι περιοχές όμως αποτελούν το χώρο συλλογής του κύριου όγκου του νερού που θα καταλήξει στα στόμια των χαμηλών περιοχών. Εκεί, μπορούν να γίνουν ουσιαστικότερες και ευκολότερες παρεμβάσεις για την ανάσχεση του φαινομένου των πλημμυρών. Στις χαμηλές περιοχές που ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου υποδεικνύει ως πλέον επικίνδυνες, λίγες παρεμβάσεις ανάσχεσης του ίδιου του φαινομένου μπορούν να λάβουν χώρα. Στις περιοχές αυτές ενδείκνυνται κυρίως θεσμικές και κανονιστικές παρεμβάσεις, με πρωτεύοντα στόχο την εξασφάλιση της φυσικής λειτουργίας του πλημμυρικού πεδίου σε συνδυασμό με την προστασία των ευαίσθητων περιοχών από ανθρώπινες δραστηριότητες που αυξάνουν την τρωτότητα των περιοχών αυτών (οικοδομική, βιομηχανική, αγροτική δραστηριότητα κ.λπ.). Αντίθετα, αν η αντιπλημμυρική προστασία εστιαστεί μόνο στις πεδινές περιοχές πρέπει να γίνουν παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας με αμφίβολα αποτελέσματα και δυσανάλογο κόστος (Φουντούλης κ.ά., 2007, Φουντούλης & Μαυρούλης, 2008).

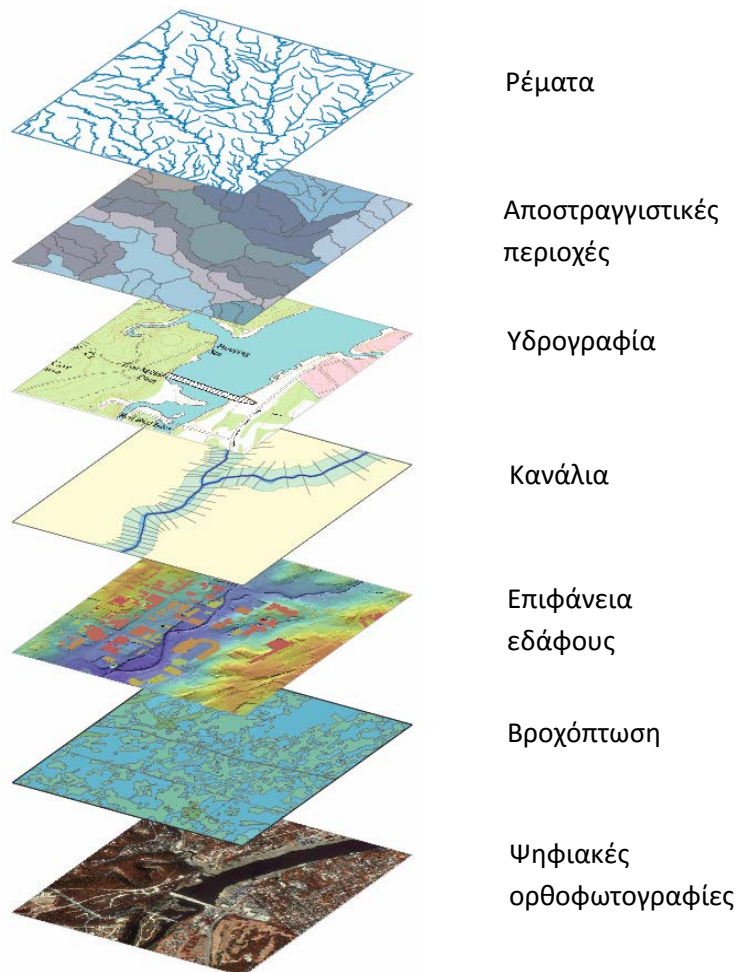
Κεφάλαιο 9

Παράρτημα

9. Παράρτημα

9.1. Γενικά για το ArcHydro

Το μοντέλο ArcHydro δημιουργήθηκε ως μέσο επεξεργασίας του επιφανειακού νερού και της υδρογραφίας σε περιβάλλον ArcGIS. Το μοντέλο δημιουργήθηκε ως επέκταση στο GIS στο Πανεπιστήμιο του Τέξας στο Austin. Μορφοποιήθηκε από την ESRI και το ερευνητικό κέντρο υδατικών πόρων (Center for Research in Water Resources (CRWR)) στο Πανεπιστήμιο του Τέξας στο Austin. Το ισχύων μοντέλο δημιουργήθηκε και δοκιμάστηκε στο CRWR (CRWR, 2004).



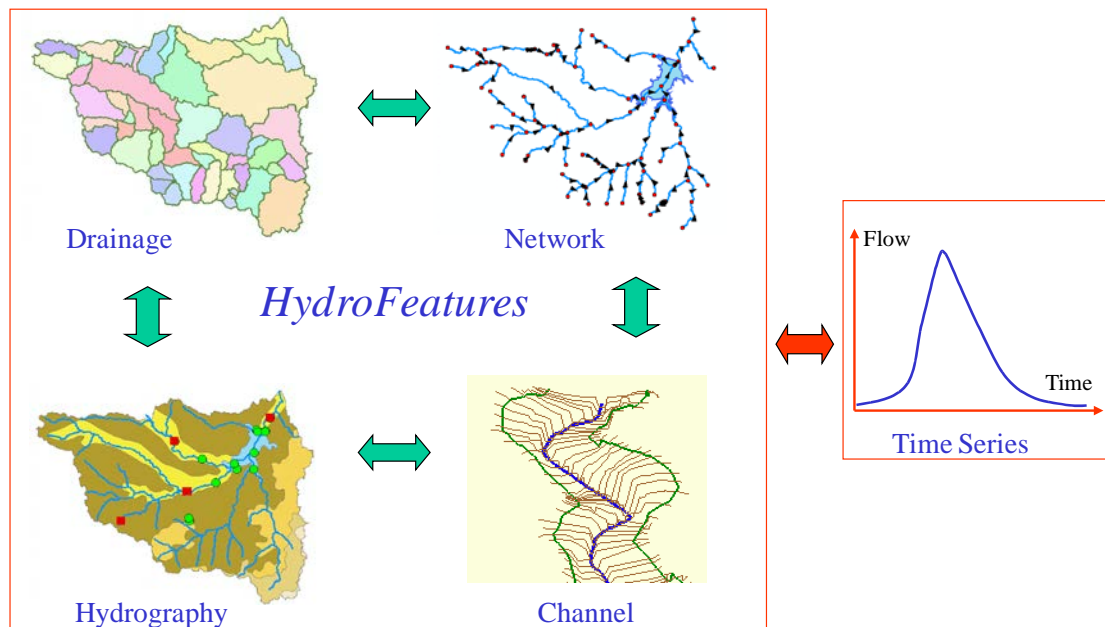
Εικόνα 41. Θεματικά επίπεδα του ArcHydro Data Model.
(Πηγή: Maidment, 2002)

Το ArcHydro είναι ένα γεωδαιτικό και χρονικό μοντέλο δεδομένων για υδατικούς πόρους και λειτουργεί μέσω του ArcGIS. Έχει ένα σύνολο εργαλείων, που δημιουργήθηκε από την ESRI και συνδέει χαρακτηριστικά σε διαφορετικά θεματικά επίπεδα για υδρολογική ανάλυση (Εικόνα 41). Το ArcGIS είναι μία δομή δεδομένων που υποστηρίζει τα υδρολογικά μοντέλα προσομοίωσης χωρίς να είναι το ίδιο μοντέλο προσομοίωσης. Η προσομοίωση μπορεί να επιτευχθεί με την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του ArcHydro και ενός ανεξάρτητου υδρολογικού μοντέλου, και με την

δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης που μπορεί να συνδέεται με την «βιβλιοθήκη» του ArcHydro (Maidment, 2002).

Το ολοκληρωμένο μοντέλο ArcHydro διαιρεί τους υδατικούς πόρους σε πέντε συνιστώσες (Εικόνα 42):

- Network – Ένα σύνολο σημειακών και γραμμικών απεικονίσεων της ροής του νερού.
- Drainage – Υδρογραφικές λεκάνες και δίκτυα εξαγόμενα από την τοπογραφία του αναγλύφου.
- Channel – Μια τρισδιάστατη απεικόνιση του σχήματος του ποτάμιου καναλιού.
- Hydrography – Τα δεδομένα που προέρχονται από τους τοπογραφικούς χάρτες και από χρονοσειρές (όπως, βροχομετρικά δεδομένα).
- Time series – Διάγραμμα περιγραφής της ροής των υδάτων, ως προς τον χρόνο, για οποιοδήποτε χαρακτηριστικό του ArcHydro.



Εικόνα 42. Συνιστώσες του ArcHydro Data Model. (Πηγή: Maidment, 2002)

9.2. Το βασικό πλαίσιο του ArcHydro

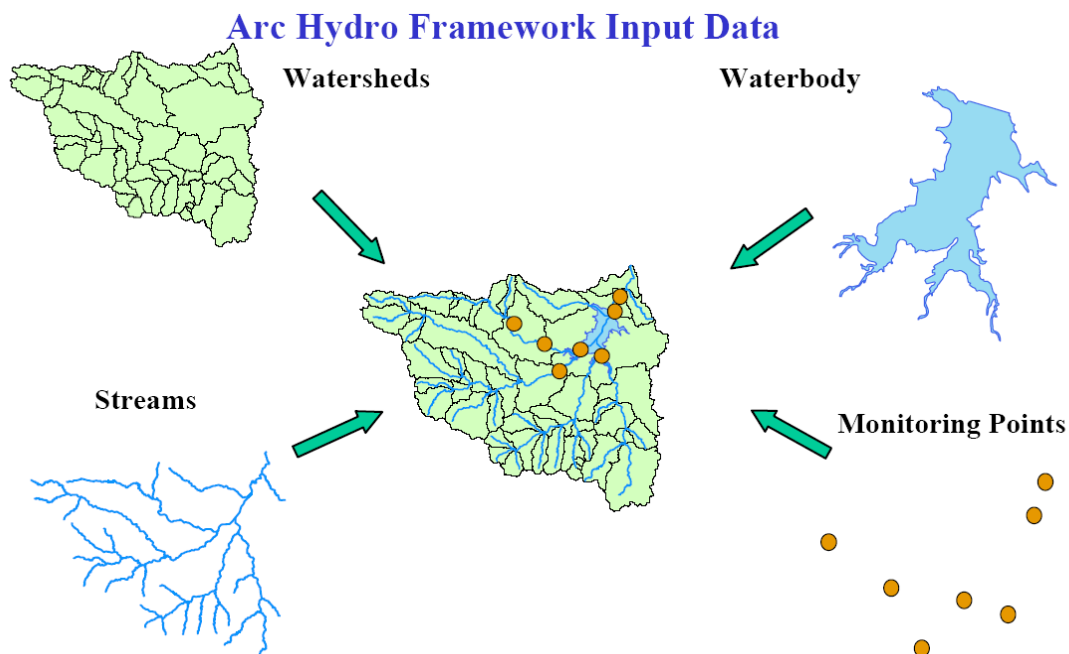
Το πλαίσιο του ArcHydro παρέχει μία απλή δομή δεδομένων για την αποθήκευση των πιο βασικών γεωχωρικών δεδομένων που περιγράφουν ένα σύστημα υδατικών πόρων. Αυτό το πλαίσιο μπορεί να υποστηρίξει βασικές μελέτες και μοντέλα υδατικών πόρων. Το πλαίσιο περιλαμβάνει πληροφορίες που οργανώνονται σε διάφορα επίπεδα (Maidment, 2002).

- Geodatabase - αν χρησιμοποιείται μία προσωπική βάση δεδομένων, δημιουργείται ένα αρχείο Access, ενώ αν χρησιμοποιείται μία βάση πολλαπλών χρηστών, δημιουργείται ένα αρχείο γεωβάσης στο δίκτυο.
- Feature data set - είναι ένας φάκελος που αποθηκεύει τις κλάσεις μέσα στη βάση δεδομένων. Περιλαμβάνει μία καθορισμένη παραγωγή χάρτη, σύστημα αναφοράς και χωρική επέκταση.

- Geometric network - εδώ αποθηκεύεται η πληροφορία που συνδέει τοπολογικά τις ενώσεις και τις ακμές.
- Relationship - τα γενικά χαρακτηριστικά μίας κλάσης συσχετίζονται με μιας άλλης. Σε αυτή τη περίπτωση κάθε υδροκρίτης, λεκάνη, σημείο παρατήρησης συσχετίζεται με την υδροένωση (hydro junction) του δικτύου.
- Feature class - εδώ αποθηκεύεται η πληροφορία των ανεξάρτητων γεωγραφικών χαρακτηριστικών όπως η πληροφορία για τμήμα του ρέματος ή του υδροκρίτη.

Οι 5 κλάσεις που περιγράφουν τα βασικά χωρικά δεδομένα ενός συστήματος υδατικών πόρων είναι (Εικόνα 43):

- Hydro Edge - δίκτυο γραμμών που περιγράφει το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.
- Hydro junction - σύνολο ενώσεων τοποθετημένο στα σημεία συμβολής του υδρογραφικού δικτύου.
- Waterbody - οι σημαντικότερες λίμνες, κόλποι και χώροι συγκέντρωσης των υδάτων του συστήματος.
- Watershed - οι αποστραγγιστικές περιοχές που συνεισφέρουν στη ροή των υδάτων στην επιφάνεια του εδάφους στο σύστημα.
- Monitoring Points - ένα σύνολο σημείων που απεικονίζει θέσεις μέτρησης του νερού.



Εικόνα 43. Βασικό πλαίσιο ArcHydro Data Model. (Πηγή: Maidment, 2002)

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., 1993. Πρόβλεψη πλημμυρών με μαθηματικά μοντέλα. Πρακτικά Γεωτεχνικού Συνεδρίου. Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. σελ. 255-261.
- Βαβλιάκης Ε., 2002. Έρευνα παρακολούθησης των αλλαγών στις αποτεφρωμένες εκτάσεις της Σάμου και των επιπτώσεων αυτών στη διάβρωση των εδαφών, στην εκδήλωση πλημμυρών και στην υποβάθμιση των υδατικών πόρων. Έκθεση προόδου Ερευνητικού προγράμματος 20342 της επιτροπής ερευνών του Α.Π.Θ..
- Βογιαζάκη, 1989. Έκθεση για την αναγνωριστική κοιτασματολογική έρευνα Κεντρικής και Δυτικής νήσου Σάμου. ΙΓΜΕ.
- Δημάκη Μ., Sogolef I. & Ιωαννίδης Ι., 1996. Συστηματικές παρατηρήσεις πτηνών στην Σάμο. Σαμιακές μελέτες, 2, 397-442 (Ίδρυμα Δημητρίου Ν., Αθήνα).
- Ευελπίδου Ν. κ.ά., 2008. Report Ερευνητικού προγράμματος "Επιχειρησιακή Παρακολούθηση του φαινομένου της διάβρωσης: Καινοτόμες μέθοδοι μελέτης – πρόγνωσης – αξιοποίησης τους ως γεώτοποι" «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα Πανεπιστήμια», Μέτρο: «Προγράμματα Προστασίας Περιβάλλοντος και Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης», Τομέας: Ανθρώπινοι Πόροι, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, Χρηματοδότηση: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ. ΙΙ.
- Ευστρατιάδης Α., 2008. Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων. Διδακτορική διατριβή. 393 σελίδες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Ευστρατιάδης, Α., Κουκουβίνος Α., Ρόζος Ε., Τέγος Α. & Ναλμπάντης Ι., 2006. Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης των υδρολογικών και υδρογεωλογικών διεργασιών λεκάνης απορροής «ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ», Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ), Ανάδοχος: NAMA, Τεύχος 4α, 103 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Καραγκιόζη Ε., 2008. Ανάλυση Και Εκτίμηση Φυσικών Κινδύνων στο Ν. Λακωνίας Με Την Χρήση Γ.Σ.Π Μέσω Διαδικτύου. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος. Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα, !60 σελίδες.
- Κουτσογιάννης, Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 1999. Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κτενάς Κ. & Μαρίνος Γ., 1969. Γεωλογία νήσου Ικαρίας. Γεωλογική και Γεωφυσική Έρευνα, Αθήνα.
- Κωνσταντακάτος Γ., 2007. Εντοπισμός θέσεων δημιουργίας μικρών Έργων Υποδομής, στην λεκάνη απορροής του ρέματος Ξεριάς μέσω

- Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, (ειδικότερα του υδρολογικού μοντέλου ArcHydro) και τηλεπισκόπισης με σκοπό την αντιπλημμυρική και περιβαλλοντική προστασία της περιοχής. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Μυτιλήνη.
- Μιμίκου Μ. Α. & Μπαλτάς Ε., 2002. Τεχνική Υδρολογία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μιμίκου Μ. Α., 1994. Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Έκδοση 2, Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μουρτζάς & Σταυρόπουλος, 1989, Πρόσφατη τεκτονική εξέλιξη των ακτών της Νήσου Σάμου (Αν. Αιγαίο), Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου, τόμος 23/1, σελ 223–241, Αθήνα.
- Μπαλούτσος Γ., Μπουρλέτσικας Α. & Γκούμα Β., 2007. Ξηρασίες και πλημμύρες: Ένας αένας κύκλος ανταγωνισμού και εναλλαγής. Ενημερωτικό φυλλάδιο, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., Αθήνα.
- Προβατάς Ν., Μανδύλας Χ. & Τσαμπάνης Ι., 2004. Επέκταση αποχετευτικού αγωγού Δ/Δ Λέκας, Δήμου Καρλοβασίων. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Τέγος, Α., 2005. Συνδυασμένη προσομοίωση υδρολογικών-υδρογεωλογικών διεργασιών και λειτουργίας υδροσυστήματος Δυτικής Θεσσαλίας, Διπλωματική εργασία, 132 σελίδες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Τσακίρης Γ., 2008. Αντιπλημμυρική προστασία στις παράκτιες περιοχές.
- Φουντούλης Ι., Μαρσιολάκος Η, Ανδρεαδακης Ε., Σαμπαζιώτης Ε., Καμπουράνη Ε., Καραγκιόζη Ε., 2007. Στρατηγικός Σχεδιασμός Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 80 σελ. <http://www.evrotas.gr/archive/52.pdf>.
- Φουντούλης Ι. & Μαυρούλης Σ., 2008. Εκτίμηση Πλημμυρικού Κινδύνου στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κλαδέου (Ολυμπία - Δυτική Πελοπόννησος). Πρακτικά 8^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Επιτροπής Υδρογεωλογίας της Ελληνικής Γεωλογικής εταιρίας.
- Φουντούλης Ι., 2006. Πλημμύρες. Πανεπιστημιακές σημειώσεις στα πλαίσια του Δι-ιδρυματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος “Πρόληψη & Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών”. Αθήνα. 27 σελίδες.
- Φωτιάδης Γ. & Σιάσιος Θ., 2003. Ιστορικό Δασικών Πυρκαγιών ν. Σάμου, 1993-2002. Δασική Υπηρεσία Σάμου.
- Χριστοφίδης Α., 2008. Ανάπτυξη μοντέλου βροχής-απορροής σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Μεταπτυχιακή διατριβή, 112 σελίδες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Angelier J., 1976. 'Sur l'alterance plio-quadernaire de mouvements extensifs et compressifs en Egee orientale: l' ile de Samos, Grece. C.R. Acad.Sc.Paris. 283, 463-466.
- Bales R. C., 2003. Hydrology/overview. In: Journal of Hydrology. Elsevier Science Ltd. p. 968-973.
- Beven K. J., 2001. Rainfall-Runoff Modelling: The Primer, Wiley.
- Beven K. J., 1996. A discussion of distributed hydrological modeling. In: Abbot M. B. & Refsgaard J. C. (eds), Distributed Hydrological Modelling, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, Chapter 13, pp. 255-295.
- Boglis A., Evelpidou N., Vassilopoulos A., Lekkas D., Fountoulis I., Gournellos Th., 2009. Urban flood modeling in Karlovassi area – Samos Island. 11th Biennial Conference on Environmental Science and Technology (CEST 2009), Chania Crete (3-5 September 2009) (Under publication).
- Butz J., 1912. Die Eruptivgesteine der Insel Samos. Centralbl Min 1912: 609–615, 641–651, 673–683.
- CRWR, 2004. GIS in Water Resources Consortium. <http://www.crwr.utexas.edu/giswr>.
- De Bruijn K.M. & Klijn F., 2009. Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods. In: Fleming G. (ed.), Journal Flood Risk Management, 2009. Blackwell Publishing Ltd. p. 58-67.
- Dermitzakis M. and Papanikolaou D., 1981. Paleogeography and geodynamics of the Aegean Region during the Neogene. Annales Geologiques des pays Helliniques, VIIth Int. Congress on the Mediterranean Neogene, sp. Vol. IV, 245-289.
- Dingman S. L., 1994. Physical Hydrology, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Doswell C. A. III, 2003. Flooding. In: Journal of Hydrology. Elsevier Science Ltd. p. 769-776.
- Duan Q., Sorooshian S., & Gupta V., 1992. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, Water Resources Research, 28(4), 1015-1031.
- Efstratiadis A., Tegos A., Nalbantis I., Rozos E., Koukouvinos A., Mamassis N., Papalexiou S. & Koutsoyiannis D., 2005. Hydrogeios, an integrated model for simulating complex hydrographic networks - A case study to West Thessaly region, 7th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Rethymnon, Crete, European Geosciences Union.
- ESRI, 2009. Arc Hydro Tools – Tutorial, Version 1.3, ESRI Press, January 2009.
- European Council, 2007. EU Directive of the European Parliament and of the European Council on the assessment and management of flood risks (2007/60/EU).

- Evelpidou N., Vassilopoulos A., Leonidopoulou D., Poulos S., 2008. An investigation of the coastal erosion causes in Samos Island, Eastern Aegean Sea. In: *Journal Landscape Ecology*, 6(3): p.p. 295-310.
- Fisk H. N., 1944. Map of ancient courses of the Mississippi River, Cape Girardeau, MO - Donaldsonville, LA. Plate 22-6.
- Freeze R.A. & Cherry J. A., 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Frost L. & Knight D., 2002. Catchment and river basin management. In: *Flood risk management*. Fleming G.. Thomas Telford limited. p. 51-89.
- Georgalas G, 1953. Les terrasses littorales de la cote sud-orientale de l'île de Nikaria (mer Ege). *Proceedings of the Academy of Athens*, 28, 425-434.
- Gournellos Th., Vassilopoulos A., Evelpidou N., 2001. An erosion risk map of Samos Island, based on fuzzy models, taking into consideration land use situation after the fire of July 2000. *Proceedings of the 7th Conference of Environmental Science and Technology*, Syros, p.p. 284-290.
- Gournellos Th., Vassilopoulos A., Evelpidou N., Nastos P., 2008. A soft computing approach to study repeated and multiple natural hazards occurrence; a case study from Samos Island, Greece (In print).
- Guidoboni E. et al., 1994. *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century*. Istituto Nazionale di Geofisica, 504 pp.
- Gupta H. V., Khodatalab N., Wagener T. & Sorooshian S., 2003. Advances in semi-distributed watershed modeling, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, Nice, April 2003, European Geophysical Society, American Geophysical Union.
- Hempel C. G., 1963. Explanations and predictions by covering laws. In Baumrin B. (ed.), *Philosophy of science; the Delaware seminar*, Wiley, p. 107-133.
- Hydrographic Service, 1987. "Pilot", Directives for sailing along the Greek coasts. Vol.4, 3rd Edition.
- Hydrographic Service, 1991. Tide data of Greek harbours. 4th edition, Athens.
- Horritt M. S., Bates P.D., 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. In: *Journal of Hydrology* 268, Elsevier Science Ltd., pp. 87-99.
- Karageorgiou E., 1947. Volcanic rocks of Platanos area, Samos Island, Greece: *Archives Samos*, 1: 241-286.
- Knighton A.D., 1999. Downstream variation in stream power. *Geomorphology* 29, 293-306.
- Kyrieleis H., 1983. *The Heraion at Samos*. Krini, Athens.
- Loesch T. N., 2000. *Watershed modeling using ArcView*. Minesota GIS/LIS Consortium.

- Maidment D. R., 2002. ArcHydro, GIS for Water Resources, ESRI Press.
- McPherson M. B., 1974. Hydrological effects of urbanization. Paris: UNESCO, p 14ff.
- Merz R., Blöschl G., 2004. Regionalisation of catchment model parameters. In: Journal of Hydrology 287, Elsevier Science Ltd., pp. 95-123.
- O'Connor K. M., 1997. Advanced course/workshop on river flow forecasting. Proceedings of the 7th International Workshop, National University of Ireland, Galway, Eire.
- Panday S. & Huyakorn P. S., 2004. A fully coupled physically-based spatially distributed model for evaluating surface/subsurface flow, Advances in Water Resources, 27, 361-382.
- Papanikolaou D., 1979. Unites tectoniques and phases de deformation dans l ile de Samos, Mer Egee, Grece. Bull. Soc. De France, V. 21, p. 745-752.
- Papazachos B. & Papazachou C., 1989. The Earthquakes of Greece (in Greek), Zitis, Thessaloniki.
- Papazachos B. & Papazachou C., 1997. The Earthquakes of Greece, Zitis, Thessaloniki.
- Philippson A., 1959. Die griechischen Landschaften. Eine Landeskunde: IV, Das Agaische Meer und seine Inseln, p. 412.
- Reed S., Koren V., Smith M., Zhang Z., Moreda F., Seo D. J. & DMIP Participants, 2004. Overall distributed model intercomparison project results. In: Journal of Hydrology 298, Elsevier Science Ltd., pp. 27-60.
- Riedl H., 1989. Beiträage zur Landschaftsstruktur und Morphogenese von Samos und Icaria (Ostaegaeische Insein). Salzburger geographische Arbeiten, 18, 143-153.
- Rozos E., Efstratiadis A., Nalbantis I. & Koutsoyiannis D., 2004. Calibration of a semi-distributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows, Hydrological Sciences Journal, 49(5), 819-842.
- Sambaziotis, E. & Fountoulis, I., (2007), Estimation of flash flood hazards in the Pidima-Arfara area (messinia, Greece), Based of the study of instantaneous unitary Hydrographs, Longitudinal Profiles and stream power. Proc. 11th International conference of Geological Society of Greece, Athens, 24-26 May 2007, Bull. Geol. Soc. Greece, XXXX/4, p. 1621-1633.
- Saroglu F. et al., 1992. Active fault map of Turkey, 1:1,000,000 scale, General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara.
- Savic D. A., 2002. Single-objective vs. multiobjective optimisation for integrated decision support, in: Integrated Assessment and Decision Support, Proceedings of the First Biennial Meeting of the International

- Environmental Modelling and Software Society, A. E. Rizzoli and A. J. Jakeman (editors), 24-27 June, Lugano, Switzerland, Vol. 1, 7-12.
- Schlosser 1904. Die fossiles Cavicornis von Samos. Beitrage zur Palaontologie und Geologie Osterreich-Ungarn 17: 21-118.
- Schneider K., 1914. Die kristallinen Schiefer der Insel Samos K Schneider - 1914 - Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- Schut G.H., 1976. Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models. The Canadian Surveyor, 30(5): 389-412.
- Sherman L. K., 1932. Streamflow from rainfall by the unit-graph method. Eng. News Record 108:501-505.
- Singh V. & Bhallamudi S. M., 1998. Conjunctive surface-sub-surface modeling of overland flow, Advances in Water Resources, 21, 567-579.
- Solounias N., 1981, The Turolian fauna from the island of Samos N Solounias - Greece: Contributions to Vertebrate Evolution.
- Stamatakis M., 1989. Authigenic silicates and silica polymorphs in the Miocene Saline-Alkaline deposits of the Karlovassi Basin, Samos, Greece, Economic Geology, 84: 788-798.
- Stiros S., 1996. Identification of earthquakes from archaeological data: Criteria, limitations and pitfalls. In: S. Stiros and R. Jones, eds., Archaeoseismology, Fitvh Lab. Occ. Paper 7, Oxford, 129-152.
- Stiros S., 1998. Late quaternary coastal changes in Samos Island, Greece. UNESCO-IUGS-367.
- Theodoropoulos D., 1979a. Geological map of Greece 1:50,000, sheet Neon Karlovassi, IGME publication, Athens.
- Theodoropoulos D., 1979b. Geological map of Greece 1:50,000, sheet Vathy, IGME publication, Athens.
- Thorntwaite C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate, Geographical Reviews, 38(1), 55-94.
- Thorntwaite C. W. & Mather J. R., 1955. The water balance, Publications in Climatology, 8(8), 1-104, Laboratory of Climatology, Climatologic Dresel Institute of Technology.
- Thywissen K., 2006. Components of Risk. A Comparative Glossary. United Nations University-Institute for Environment and Human Security. SOURCE No. 2/2006.
- Tsakiris G., 2007. Practical Application of Risk and Hazard Concepts in Proactive Planning. European Water.
- Ye W., Bates B. C., Viney N. R., Sivapalan M. & Jakeman A.J., 1997. Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments. Water Resources Research, 33, No. 1, January, 153-166.
- Yu Z., 2003. Hydrology/Modeling and Prediction. In: Journal of Hydrology. Elsevier Science Ltd. p. 980-987.

- Vaiopoulos D., Skianis G., Vassilopoulos A., Evelpidou N., 2007. Describing the evolution of landscape in Karlovassi basin (Samos, Greece). Introduction of an algorithm to analyze the temporal process. Proceedings of International Conference: Off – site impacts of soil erosion and sediment transport, October 1-3, Prague, p.178-183.
- Vassilopoulos A., Evelpidou N., Tziritis E., Boglis A., 2008. WETLANDS – The example of Samos Island. In: “Management of water resources and wetland protection in tourism developing areas”, National Center for the Environment & Sustainable Development, p.45.
- Weibel R., & Heller M., 1991. Digital Terrain Modelling. In Geographical Information Systems. Principles and Applications (Volume 1, D. Maguire, M.F. Goodchild, & D.W. Rhind eds.), Longman Scientific & Technical, Essex: 269-297.
- Zagouroglou K. & Papazeti E., 1980. The syenite of Samos Island. Mineral Wealth, 8: 35-40.