



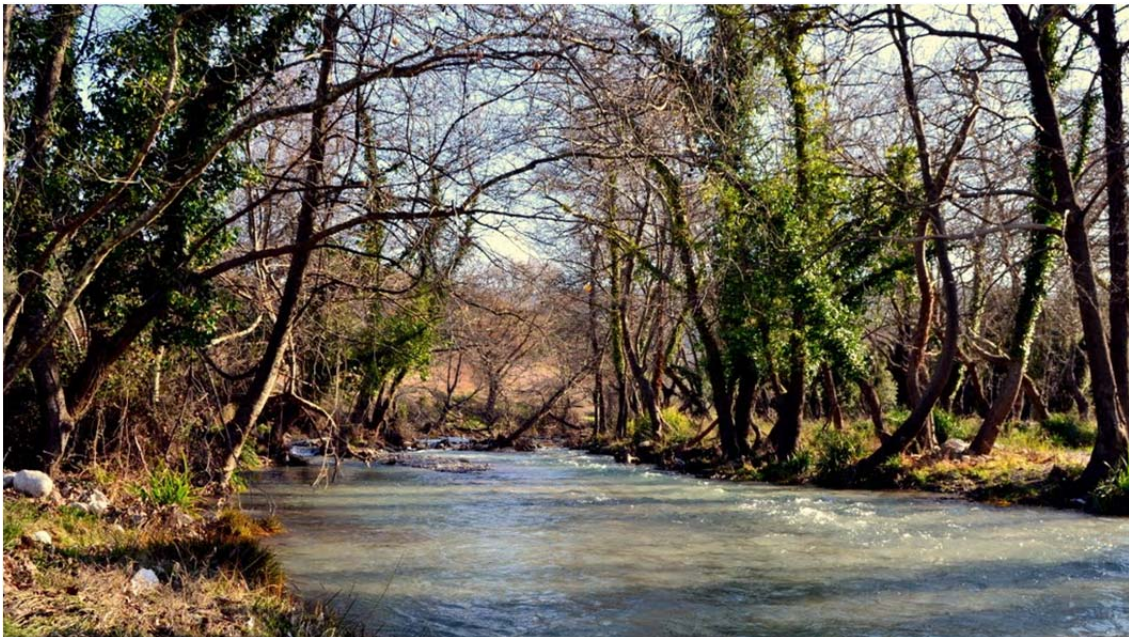
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SWAT ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΟΥ
ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΕΙΡΟΥ Ν. ΑΧΑΪΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΟΥΚΟΥΛΗΣ (Α.Μ.: 11474)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ



ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018

Εικόνα Εξωφύλλου: Ποταμός Πείρος

(Πνευματική ιδιοκτησία: bill mavromitis, <http://mario.net/pic/p-64807971/>)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας και Υδάτινων Πόρων Μηχανικών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην εφαρμογή του μοντέλου SWAT για την προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου του νομού Αχαΐας. Το μοντέλο SWAT βασίζεται στην επίλυση εκατοντάδων εξισώσεων που συνδέουν τις υδρολογικές παραμέτρους μιας λεκάνης απορροής αξιοποιώντας πλήθος δεδομένων εισόδου σχετικά με διάφορες παραμέτρους της περιοχής (π.χ., κλίμα, έδαφος, υδρολογία των μονάδων απόκρισης, βλάστηση, τοπογραφικό ανάγλυφο, πρακτικές εκμετάλλευσης των χρήσεων γης). Σε αυτήν την εργασία γίνεται προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου με διασύνδεση των δεδομένων εισόδου του SWAT με το ArcGIS, που είναι μια πλατφόρμα ενσωμάτωσης και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων.

Στην αρχή περιγράφονται γενικά οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζονται τα υδρολογικά μοντέλα, η ταξινόμηση και η εξέλιξή τους. Στη συνέχεια, αναφέρεται η λειτουργία και η εφαρμογή του μοντέλου SWAT, οι πληροφορίες που απαιτούνται και οι δυνατότητες προσομοίωσης και πρόβλεψης που έχει. Επίσης, αναφέρονται στοιχεία για την πλατφόρμα ArcGIS και την διασύνδεσή της με το μοντέλο SWAT. Στο τελευταίο μέρος, που είναι το κυρίως θέμα, παρουσιάζονται διάφορα στοιχεία για την περιοχή μελέτης, που είναι απαραίτητα για να εφαρμοστεί το μοντέλο στην προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου. Επίσης, περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση δειγμάτων εδάφους και από την εφαρμογή του μοντέλου ArcGIS-SWAT στην προσομοίωση της παροχής.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεώργιο Παναγόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Πτυχιακής Εργασίας.

Επίσης, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλη την οικογένειά μου για την πολύπλευρη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, την υπομονή τους, την ενθάρρυνσή τους και την πίστη τους σε μένα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Σοφία για τους ίδιους ακριβώς λόγους.

Νικόλαος Κουκούλης
Φεβρουάριος 2018

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
Νικόλαος Κουκούλης

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα αυτής της εργασίας είναι η προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου του νομού Αχαΐας χρησιμοποιώντας το υδρολογικό μοντέλο SWAT με διασύνδεση των δεδομένων εισόδου με την πλατφόρμα ArcGIS. Το μοντέλο SWAT έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα παγκοσμίως και βασίζεται στην επίλυση εκατοντάδων εξισώσεων που συνδέουν τις υδρολογικές παραμέτρους μιας λεκάνης απορροής αξιοποιώντας πλήθος δεδομένων εισόδου σχετικά με διάφορες παραμέτρους της περιοχής, όπως κλίμα, έδαφος, υδρολογία, βλάστηση, τοπογραφικό ανάγλυφο, χρήσεις γης, κλπ. Το ArcGIS είναι μια πλατφόρμα ενσωμάτωσης και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου έγινε χρησιμοποιώντας πλήθος δεδομένων που αφορούσαν την περιοχή (λεκάνη απορροής) της μελέτης, όπως: γεωλογικά, μορφολογικά, εδαφικά, υδρογραφικά, κλιματικά, μετεωρολογικά (θερμοκρασία, ύψος βροχής, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου), και δεδομένα χρήσεων γης. Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν την περίοδο 2011-13 και καταγράφηκαν στον σταθμό της Κάτω Βλασσίας. Για τα εδαφολογικά στοιχεία επιλέξαμε 23 θέσεις της περιοχής μελέτης, πήραμε ένα δείγμα από κάθε θέση με εδαφολήπτη, και στην συνέχεια τα αναλύσαμε στο εργαστήριο με την μέθοδο Bouyoucos.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για να προσομοιωθεί η παροχή του ποταμού Πείρου με το πρόγραμμα ArcGIS-SWAT και με εφαρμογή της μεθόδου των πολυγώνων Thyssen. Από την εφαρμογή του παραπάνω προγράμματος προκύπτει ότι η παροχή του ποταμού μπορεί να περιγραφεί από το μοντέλο ArcGIS-SWAT σε ικανοποιητικό βαθμό, αν και οι προσομοιωμένες τιμές της παροχής είναι μικρότερες από τις πραγματικές στις περισσότερες περιπτώσεις.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μοντέλο SWAT, μοντέλο ArcGIS-SWAT, ποταμός Πείρος, προσομοίωση παροχής ποταμού, υδρολογική λεκάνη

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SWAT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΕΙΡΟΥ Ν. ΑΧΑΪΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
Πρόλογος	
Περίληψη	i
Περιεχόμενα	iii
Κατάλογος Πινάκων	v
Κατάλογος Σχημάτων	v
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1: Υδρολογική προσομοίωση και μοντέλα	3
1.1 Ορισμοί	3
1.2 Υδρολογικά μοντέλα	4
1.3 Ταξινόμηση υδρολογικών μοντέλων	5
1.4 Στάδια ανάπτυξης υδρολογικών μοντέλων	9
1.5 Εξέλιξη των υδρολογικών μοντέλων: Από τα μοντέλα του '50 στο SWAT	10
Κεφάλαιο 2: Το μοντέλο ArcGIS-SWAT	12
2.1 Το μοντέλο SWAT	12
2.2 Η πλατφόρμα ArcGIS	14
2.3 Οι επεκτάσεις του ArcGIS	17
2.4 Διασύνδεση ArcGIS και SWAT	21
2.4.1 Δομή των δεδομένων της βάσης γεω-δεδομένων	22
2.4.2 Μεθοδολογία	23
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή της περιοχής μελέτης	25
3.1 Γεωγραφία	25
3.2 Γεωλογία	27
3.3 Μορφολογία	31
3.4 Τύποι εδάφους	38
3.5 Υδρογραφικό δίκτυο	39
3.6 Κλίμα	47

3.7 Μετεωρολογικά δεδομένα	49
3.7.1 Θερμοκρασία	49
3.7.2 Κατακρήμνιση	52
3.7.3 Υγρασία	54
3.7.4 Ηλιακή ακτινοβολία	54
3.7.5 Ταχύτητα ανέμου	56
3.8 Χρήσεις γης	57
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία	60
4.1 Κοκκομετρική ανάλυση εδάφους	60
4.1.1 Εισαγωγή	60
4.1.2 Διαδικασία προσδιορισμού	62
4.2 Πειραματικά αποτελέσματα	64
4.3 Εφαρμογή του μοντέλου ArcGIS-SWAT	65
Συμπεράσματα-Επίλογος	69
Βιβλιογραφία	72
Παράρτημα	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

	Σελ.
Πίνακας 1. Αντιστοιχία υψομέτρου και ποσοστού επιφάνειας στην περιοχή μελέτης	35
Πίνακας 2. Τύποι εδαφών της περιοχής μελέτης και έκταση που καταλαμβάνουν	39
Πίνακας 3. Αποτελέσματα υδρομέτρησης για το έτος 2011 (παροχή σε m ³ /s)	44
Πίνακας 4. Αποτελέσματα υδρομέτρησης για το έτος 2012 (παροχή σε m ³ /s)	45
Πίνακας 5. Αποτελέσματα υδρομέτρησης για το έτος 2013 (παροχή σε m ³ /s)	46
Πίνακας 6. Μηνιαίο ύψος βροχής για τα έτη 2011-13 στον σταθμό της Κάτω Βλασσίας	52
Πίνακας 7. Χρήσεις γης της περιοχής μελέτης και έκταση που καταλαμβάνουν	58
Πίνακας 8. Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με την κοκκομετρία τους	60
Πίνακας 9. Αποτελέσματα μετρήσεων με τη μέθοδο Bouyoucos	63
Πίνακας 10. Αποτελέσματα προσδιορισμού κοκκομετρικής σύνθεσης εδάφους	64
Πίνακας 11. Γεωλογικά χαρακτηριστικά δειγμάτων	64

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

	Σελ.
Σχήμα 1. Διαγραμματική απεικόνιση των διεργασιών που προσομοιώνονται από το μοντέλο SWAT	14
Σχήμα 2. Πιθανές διαδρομές νερού στο μοντέλο SWAT	15
Σχήμα 3. Χάρτης νομού Αχαΐας	25
Σχήμα 4. Περιοχή που πηγάζει ο ποταμός Πείρος	26
Σχήμα 5. Περιοχή εκβολής ποταμού Πείρου	26
Σχήμα 6. Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας	28
Σχήμα 7. Χάρτης με την περιοχή μελέτης	34
Σχήμα 8. Αθροιστική καμπύλη υψομέτρων της λεκάνης του ποταμού Πείρου	36
Σχήμα 9. Κλίση εδάφους στην περιοχή μελέτης	37
Σχήμα 10. Εδαφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης	38
Σχήμα 11. Υδατικό Διαμέρισμα 02 Πελοποννήσου και λεκάνες απορροής 027 και 028	40
Σχήμα 12. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης	41
Σχήμα 13. Μέση μηνιαία παροχή νερού στη θέση υδρομέτρησης για τα έτη 2011-2013	47
Σχήμα 14. Χάρτης με μέσα ετήσια ύψη βροχής (αριστερά) και μέσες ετήσιες θερμοκρασίες (δεξιά) της Πελοποννήσου	49
Σχήμα 15. Διάγραμμα υψηλότερων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2011-2013	50

Σχήμα 16. Διάγραμμα χαμηλότερων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2011-2013	50
Σχήμα 17. Διάγραμμα μέσων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2011-2013	51
Σχήμα 18. Διάγραμμα κατακρήμισης για τα έτη 2011-2013	53
Σχήμα 19. Διάγραμμα υγρασίας για τα έτη 2011-2013	54
Σχήμα 20. Διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας για τα έτη 2011-2013	55
Σχήμα 21. Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου για τα έτη 2011-2013	56
Σχήμα 22. Σημερινές χρήσεις γης της περιοχής μελέτης	57
Σχήμα 23. Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής ποταμού Πείρου	66
Σχήμα 24. Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου ArcSWAT στη λεκάνη του π. Πείρου, όπου φαίνονται οι πραγματικές (OBS) και οι προσομοιωμένες (MOD) τιμές επιφανειακής απορροής	67

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή έχει ως θέμα την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου SWAT για την προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου του νομού Αχαΐας. Όπως συμβαίνει σε παρόμοιες περιπτώσεις, η συμπεριφορά του φυσικού συστήματος (εδώ η λεκάνη απορροής του ποταμού Πείρου) αναπαριστάται με την βοήθεια μαθηματικών ή εμπειρικών μεθόδων με σκοπό να εκτιμηθεί η απόκριση του συστήματος ή της διεργασίας σε συγκεκριμένα γεγονότα (εδώ στην παροχή του ποταμού) με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση τυχαίων διαδικασιών, οι οποίες είναι πολύπλοκες και δεν μπορούν να επιλυθούν με αναλυτικές μεθόδους. Τα υδρολογικά μοντέλα, των οποίων η ανάπτυξη ξεκινά το 1950 περίπου, χρησιμοποιούνται είτε για την προσομοίωση μιας λεκάνης απορροής είτε για πρόβλεψη των διεργασιών που συμβαίνουν σε αυτή.

Στη παρούσα εργασία για την προσομοίωση της παροχής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SWAT με διασύνδεση των δεδομένων εισόδου του SWAT με την πλατφόρμα ArcGIS. Το μοντέλο SWAT βασίζεται στην επίλυση εκατοντάδων εξισώσεων που συνδέουν τις υδρολογικές παραμέτρους μιας λεκάνης απορροής αξιοποιώντας πλήθος δεδομένων εισόδου σχετικά με διάφορες παραμέτρους της περιοχής (π.χ., κλίμα, έδαφος, υδρολογία των μονάδων απόκρισης, βλάστηση, τοπογραφικό ανάγλυφο, πρακτικές εκμετάλλευσης των χρήσεων γης). Το μοντέλο αυτό έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα και παρουσιάζει συνεχή βελτίωση προκειμένου να επιλυθούν διάφορες πολύπλοκες διαδικασίες. Το ArcGIS είναι μια πλατφόρμα ενσωμάτωσης και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων.

Για την προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου χρησιμοποιήθηκε πλήθος δεδομένων που αφορούσαν την περιοχή (λεκάνη απορροής) της μελέτης, όπως: γεωλογικά, μορφολογικά, εδαφικά, υδρογραφικά, κλιματικά, μετεωρολογικά (θερμοκρασία, ύψος βροχής, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου), και δεδομένα χρήσεων γης. Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν την περίοδο 2011-13 και καταγράφηκαν στον σταθμό της Κάτω Βλασσίας. Για τα εδαφολογικά στοιχεία επιλέξαμε 23 θέσεις της περιοχής μελέτης, πήραμε ένα δείγμα από κάθε θέση με εδαφολήπτη, και στην συνέχεια τα αναλύσαμε στο Εργαστήριο.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για να προσομοιωθεί η παροχή του ποταμού Πείρου με το πρόγραμμα ArcGIS-SWAT και με εφαρμογή της μεθόδου των πολυγώνων Thyssen.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ

1.1 Ορισμοί

Η μελέτη συστημάτων ή διεργασιών συστημάτων με μαθηματικές μεθόδους απαιτεί αφενός πλήρη γνώση του υπάρχοντος ή προτεινόμενου συστήματος και αφετέρου δυνατότητα αναπαράστασης του συστήματος με μαθηματικά μοντέλα. Όμως, οι δύο αυτές προϋποθέσεις σχεδόν ουδέποτε πληρούνται σε πολύπλοκα συστήματα. Συνεπώς, είναι ανάγκη να αναπτυχθούν άλλες μεθοδολογίες μελέτης και ανάλυσης των συστημάτων ή των διεργασιών, οι οποίες, αν και δεν είναι τόσο ακριβείς όσο οι μαθηματικές μέθοδοι, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η προσομοίωση, η οποία γνώρισε μεγάλη εξέλιξη, κυρίως λόγω της ανάπτυξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Ρουμελιώτης, 2001).

Προσομοίωση ονομάζεται η αναπαράσταση της συμπεριφοράς ενός φυσικού συστήματος ή διεργασίας με την βοήθεια μαθηματικών ή εμπειρικών μεθόδων με σκοπό την εκτίμηση της απόκρισης του συστήματος ή της διεργασίας σε συγκεκριμένα γεγονότα (Δόικος, 2015). Είναι μια μέθοδος μελέτης ενός συστήματος ή διεργασίας και εξοικείωσης με τα χαρακτηριστικά του με τη βοήθεια ενός άλλου συστήματος, το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση τυχαίων διαδικασιών, οι οποίες είναι πολύπλοκες και δεν μπορούν να επιλυθούν με αναλυτικές μεθόδους. Η προσομοίωση ξεκινά με την μαθηματική ανάλυση του προβλήματος και περιλαμβάνει τις εξής τρεις διακριτές φάσεις:

1. την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης,
2. την εκτέλεση (ή «τρέξιμο») του μοντέλου και
3. την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Μοντέλο ονομάζεται η αναπαράσταση ενός φυσικού συστήματος, φυσικού φαινομένου ή διεργασίας (Ρουμελιώτης, 2001). Το μοντέλο περιλαμβάνει το σύνολο των πληροφοριών ενός συστήματος που έχουν συγκεντρωθεί με σκοπό τη μελέτη του συστήματος. Επίσης, περιλαμβάνει παραδοχές και προσεγγίσεις, που προκύπτουν από τη λογική και μαθηματική ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος.

Η αναπαράσταση του συστήματος από το μοντέλο θα πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο πιστή, προκειμένου τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από τη μελέτη του μοντέλου να αντιστοιχούν σε αξιόπιστα συμπεράσματα αναφορικά με την λειτουργία του συστήματος. Επίσης, το μοντέλο πρέπει να είναι ρεαλιστικό και να μπορεί να επιλυθεί σύμφωνα με τις δυνατότητες του Η/Υ και του λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί.

Σύστημα είναι ένα σύνολο αλληλεπιδρώντων στοιχείων, τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους ή λειτουργούν συλλογικά για την επίτευξη κάποιου σκοπού (Ρουμελιώτης, 2001). Ένα σύστημα περιλαμβάνει εισόδους και εξόδους στοιχείων. Η μελέτη συστημάτων αφορά τόσο την ανάλυσή τους, όταν πρόκειται για υπάρχοντα συστήματα όσο και τη σύνθεσή τους όταν πρόκειται για συστήματα που βρίσκονται στο στάδιο της σχεδίασης. Η **ανάλυση** ορίζεται ως ο καθορισμός της εξόδου του συστήματος, όταν δοθεί η είσοδος στο σύστημα. Επομένως, η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται, όταν είναι γνωστά τα στοιχεία του συστήματος και επιδιώκεται να διαπιστωθεί η λειτουργία του και να καθορισθεί η αξιοπιστία του, η ευαισθησία του, κτλ. Η **σύνθεση** ορίζεται ως ο καθορισμός των στοιχείων του συστήματος, όταν δοθούν οι εισοδοί και οι έξοδοι που αντιστοιχούν σ' αυτές τις εισόδους. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος.

1.2 Υδρολογικά μοντέλα

Ο όρος υδρολογικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών, οι οποίες είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν στο πεδίο (Ευστρατιάδης, 2008). Δηλαδή, τα υδρολογικά μοντέλα είναι εργαλεία με προορισμό την αναπαράσταση ενός πραγματικού συστήματος με απλοποιημένο τρόπο, με την βοήθεια μιας σειράς εξισώσεων ή ακόμα και με τη λογική αλληλουχία λειτουργιών που εφαρμόζονται μέσα σε υπολογιστικό πρόγραμμα.

Με τα υδρολογικά μοντέλα μπορεί να γίνει περιγραφή είτε μεμονωμένων γεγονότων (π.χ., υδρογράφημα, αιχμή πλημμύρας) είτε γεγονότων με διάρκεια, όπως η εξέλιξη του ισοζυγίου υδατικών πόρων μιας λεκάνης απορροής (Μιμίκου και Μαμάσης, 2009). Στην πρώτη περίπτωση, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών, συνήθως, προσεγγίσεων (π.χ. ορθολογική μέθοδος, μοναδιαίο υδρογράφημα), στις οποίες αγνοούνται οι διεργασίες του υδρολογικού κύκλου που δεν ενδιαφέρουν στη μελέτη (π.χ., η εξάτμιση και η διήθηση). Στην δεύτερη περίπτωση, η διαδικασία διέπεται, εν μέρει, από κάποιο φυσικό

υπόβαθρο και χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοίωσης, μέσω των οποίων αναπαρίστανται οι κύριες, τουλάχιστον, διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού.

Τα υδρολογικά μοντέλα χρησιμοποιούνται είτε για την προσομοίωση μιας λεκάνης απορροής είτε για πρόβλεψη των διεργασιών που συμβαίνουν σε αυτή. Το υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να οριστεί ως ένα μαθηματικό μοντέλο που στοχεύει στη σύνθεση ενός συνεχούς αρχείου μιας υδρολογικής μεταβλητής (Y) για συγκεκριμένο χρόνο (T), από διαθέσιμα ταυτόχρονα αρχεία άλλων μεταβλητών (X, Z, κλπ.). Αντίθετα, το υδρολογικό μοντέλο πρόβλεψης στοχεύει στη σύνθεση ενός αρχείου μιας μεταβλητής (Y) ή στην εκτίμηση μερικών καταστάσεών της, σε χρονικό διάστημα ΔT , από διαθέσιμα αρχεία της ίδιας μεταβλητής (Y) ή/και άλλων μεταβλητών σε αμέσως προηγούμενη περίοδο T. Όμως, ένα υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο πρόβλεψης, όταν χρησιμοποιεί αρχεία για τις ανεξάρτητες μεταβλητές που προέρχονται από πρόβλεψη παρά από παρατήρηση (Karmakar, 2017).

Ένα υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης αποτελείται από τα εξής τρία βασικά στοιχεία: (1) **Μαθηματικές εξισώσεις** που διέπουν τις υδρολογικές διεργασίες, (2) **Χάρτες** που καθορίζουν την περιοχή της μελέτης, και (3) Πίνακες **βάσεων δεδομένων** που περιγράφουν αριθμητικά την περιοχή της μελέτης και τις παραμέτρους του μοντέλου.

Για να αναπτυχθεί ένα υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης ακολουθούνται τα εξής βήματα (Μιμίκου και Μαμάσης, 2009):

1. Επιλογή διεργασιών για προσομοίωση (perceptual model)
2. Επιλογή μεθόδων προσομοίωσης - Διατύπωση μαθηματικών εξισώσεων (conceptual model)
3. Κωδικοποίηση υπολογιστικής διαδικασίας (procedural model)
4. Υπολογισμός παραμέτρων (model calibration)
5. Αποτίμηση συνέπειας και ακρίβειας - Επαλήθευση (model validation)

1.3 Ταξινόμηση υδρολογικών μοντέλων

Τα μοντέλα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης απορροής είναι εννοιολογικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται στις μαθηματικές ή εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν της διάφορες μετεωρολογικές, υδρολογικές, υδρογεωλογικές και υδροχημικές παραμέτρους στην έκταση μιας λεκάνης απορροής. Αυτά τα μοντέλα προσπαθούν να προσομοιώσουν όλες τις

υδρολογικές διεργασίες στην έκταση της λεκάνης απορροής χρησιμοποιώντας μια πλατφόρμα λογισμικού, η οποία βασίζεται σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS). Το βασικό σημείο κάθε τέτοιου εννοιολογικού μοντέλου είναι η σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής.

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών έχει καταστεί εφικτή η εφαρμογή μοντέλων με τα παραπάνω χαρακτηριστικά και έχουν αναπτυχθεί δεκάδες λογισμικά πακέτα, εμπορικά και ανοιχτού κώδικα, για να προσομοιώσουν διάφορες διεργασίες σε λεκάνες απορροής.

Στη βιβλιογραφία υπάρχει σημαντικός αριθμός υδρολογικών μοντέλων που έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία τόσο αναφορικά με την προσομοίωση των λεκανών απορροής όσο και με την πρόβλεψη των διεργασιών που συμβαίνουν σε αυτές. Γενικά, τα μοντέλα ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με:

- το πεδίο εφαρμογής τους
- τον χειρισμό της αβεβαιότητας των υδρολογικών μεγεθών
- τη χωρική τους κλίμακα
- την μαθηματική τους δομή
- τη χρονική τους διακριτότητα (τη λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο)

Ειδικότερα, τα υδρολογικά μοντέλα ταξινομούνται:

A) Με βάση **το πεδίο εφαρμογής**, σε μοντέλα

- Λεκάνης απορροής
- Υδροφορέα
- Συνδυασμένης προσομοίωση επιφανειακών και υπόγειων διεργασιών

B) Με βάση **τον χειρισμό της αβεβαιότητας των υδρολογικών μεγεθών**, σε μοντέλα

- Αιτιοκρατικά (Deterministic): στα οποία τα υδρολογικά μοντέλα έχουν συγκεκριμένες τιμές (γνωστές ή όχι) χωρίς αβεβαιότητα
- Στοχαστικά (Stochastic): στα οποία ορισμένα υδρολογικά μεγέθη περιέχουν αβεβαιότητα και συνήθως αναπαρίστανται ως στοχαστικές ανεξίτητες (stochastic processes)

Γ) Με βάση την χωρική κλίμακα, σε μοντέλα

- Αδρομερή ή Αδιαμέριστα (lumped): όταν η λεκάνη απορροής είναι ενιαία
- Κατανεμημένα (distributed): όταν η λεκάνη απορροής διαμερίζεται σε στοιχειώδη τμήματα
- Ημι-κατανεμημένα (semi-distributed): όταν μόνο ένα τμήμα της λεκάνης απορροής είναι διαμερισμένη σε στοιχειώδη τμήματα

Ανάλογα με τη χωρική τους διακριτότητα, τα υδρολογικά μοντέλα εκτιμούν την επιφανειακή απορροή που φτάνει στην έξοδο της λεκάνης είτε απευθείας (αδρομερή μοντέλα) είτε υπολογίζουν την απορροή που παράγεται από επιμέρους χωρικές ενότητες της λεκάνης, δηλαδή υπολεκάνες ή άλλες μικρότερες ενότητες (ημικατανεμημένα ή πλήρως κατανεμημένα μοντέλα). Στα κατανεμημένα μοντέλα, οι μικρής κλίμακας χωρικές ενότητες στις οποίες κατανέμεται το φυσικό σύστημα καλούνται «υδρολογικές μονάδες, HRU» (Hydrological Response Units). Οι υδρολογικές μονάδες αντιπροσωπεύουν ομοιογενή και ισότροπα εδαφικά τμήματα, στα οποία αντιστοιχούν διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, στη χωρική κλίμακα, όσο πιο αδρομερής είναι η σχηματοποίηση της λεκάνης τόσο πιο ταχεία είναι η προσομοίωση. Βεβαίως, η χωρική κλίμακα εξαρτάται από τη ίδια τη δομή του μοντέλου, με τα εννοιολογικά αδιαμέριστα μοντέλα να υπερτερούν, ενώ, αντίθετα, τα κατανεμημένα σχήματα είναι πρακτικά ανέφικτο να χρησιμοποιηθούν για στοχαστική προσομοίωση (Ζωγάκης, 2013).

Δ) Με βάση την μαθηματική δομή, σε μοντέλα

- Φυσικής βάσης (physically-based) ή θεωρητικά ή «Λευκού κουτιού»: στα οποία οι μαθηματικές σχέσεις αναπαριστούν τους φυσικούς νόμους που διέπουν το μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σε απορροή
- Εμπειρικά ή «Μαύρου Κουτιού» (black-box) ή εισόδου-εξόδου: στα οποία οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται από σχέσεις της γενικής θεωρίας της ανάλυσης συστημάτων χωρίς ουδεμία θεώρηση των φυσικών νόμων και εμπειρικών σχέσεων της λεκάνης απορροής
- Εννοιολογικά ή Παραμετρικά (conceptual) ή γκρι-κουτιού: στα οποία οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται με απλές εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις που περιλαμβάνουν άγνωστες παραμέτρους, οι οποίες εκτιμώνται με βαθμονόμηση (calibration)

Τα μοντέλα «φυσικής βάσης» έχουν μια λογική δομή παρόμοια με αυτή του πραγματικού συστήματος και χρησιμοποιούν εξισώσεις μικροκλίμακας, που διέπουν το φυσικό φαινόμενο. Αν και είναι θεωρητικά πλήρη, σε σύγκριση με τα μοντέλα που είναι θεωρητικά λιγότερο πλήρη, παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι απαιτούν μεγάλο όγκο δυσεύρετων δεδομένων. Αυτό συμβαίνει, γιατί πολλές μεταβλητές που περιέχουν απαιτούν δεδομένα που είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν στο πεδίο. Από την άλλη πλευρά μπορούν να είναι χρήσιμα σε μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Τα μοντέλα μαύρου-κουτιού δεν προσφέρουν ουσιαστική βοήθεια στην φυσική κατανόηση των διεργασιών. Περιέχουν παραμέτρους που έχουν μικρή άμεση φυσική σημασία και μπορούν να εκτιμηθούν μόνο αφού χρησιμοποιηθούν παράλληλες μετρήσεις εισόδου και εξόδου. Πάντως σε πολλές περιπτώσεις, τα εμπειρικά μοντέλα μπορούν να δώσουν ακριβείς απαντήσεις και να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία στη λήψη αποφάσεων.

Τέλος, τα εννοιολογικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τους φυσικούς νόμους αλλά σε πολύ απλοποιημένη μορφή.

Και οι τρεις τύποι μαθηματικών μοντέλων είναι χρήσιμοι αλλά σε διαφορετικές περιπτώσεις. Η αποτελεσματικότητα του καθενός εξαρτάται από το αντικείμενο της μελέτης, την πολυπλοκότητα του προβλήματος, και τον επιθυμητό βαθμό ακρίβειας. Ακριβώς επειδή το καθένα αντιπροσωπεύει διαφορετική προσέγγιση της πραγματικότητας, για τον λόγο αυτό δεν είναι αντικρουόμενα μεταξύ τους.

Ε) Με βάση **την χρονική διακριτότητα**, δηλαδή την λειτουργία σε σχέση με τον χρόνο, σε μοντέλα

- Υδρολογικού γεγονότος (event-based): όταν αναφέρονται σε μεμονωμένα γεγονότα βροχής ή πλημμύρας
- Συνεχούς Χρόνου (continuous time): όταν αναπαριστούν την πλήρη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών διεργασιών, τόσο σε ξηρές όσο και σε υγρές χρονικές περιόδους

Για την εκτίμηση του επιφανειακού υδάτινου δυναμικού χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα μοντέλα συνεχούς χρόνου.

Για την προσομοίωση της σχέσης μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής, τα πρώτα απλά εννοιολογικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν ήταν πριν από 45 χρόνια περίπου (De Zeeuw, 1973; Kraijenhoff van de Leur, 1973). Τα μοντέλα αυτά ήταν κατά κύριο λόγο παραμετρικά, τα οποία λάμβαναν υπ' όψη τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της υπό εξέταση λεκάνης. Ο κύριος σκοπός τους ήταν να εκτιμήσουν την αιχμή της πλημμύρας, αλλά και να δημιουργήσουν συνθετικά υδρογραφήματα για την υπό μελέτη λεκάνη απορροής (Lichty and Liscum, 1978).

Με την επέκταση και εμβάθυνση των γνώσεων στο πεδίο της υδρολογίας, αλλά και την ανάπτυξη των δυνατοτήτων χρήσης λογισμικού, τα μοντέλα αυτά σταδιακά γινόντουσαν πιο σύνθετα και μετατρέποντουσαν από «παραμετρικά» σε «μοντέλα φυσικής βάσεως» και από «αδιαμέριστα» ή «συγκεντρωτικά» σε «κατανεμημένα» (Bathurst, 1986; Nix, 1991).

1.4 Στάδια ανάπτυξης υδρολογικών μοντέλων

Η ανάπτυξη ενός υδρολογικού μοντέλου περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Ευστρατιάδης, 2008):

1. Επιλογή διεργασιών για προσομοίωση (perceptual model)
2. Διατύπωση μαθηματικών εξισώσεων (conceptual model)
3. Κωδικοποίηση υπολογιστικής διαδικασίας (procedural model)
4. Υπολογισμός παραμέτρων (model calibration)
5. Αποτίμηση συνέπειας και ακρίβειας – Επαλήθευση (model validation)

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι απαιτήσεις των δύο πρώτων βημάτων, που συνιστούν τη μαθηματική δομή του μοντέλου, καλύπτονται από κάποιον υφιστάμενο κώδικα (βήμα 3). Ωστόσο, είναι συνηθισμένο να επιβάλλεται η εκ του μηδενός ανάπτυξη της δομής του μοντέλου, δεδομένου ότι τα κριτήρια επιλογής διαφέρουν, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.

Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες (Ευστρατιάδης, 2008):

1. Τον σκοπό της μελέτης
2. Την εμπειρία του μελετητή
3. Τα διαθέσιμα δεδομένα

Για να εξασφαλιστεί η απαραίτητη ακρίβεια σε μια μελέτη, πρέπει να χρησιμοποιηθούν αναλυτικά εργαλεία προσομοίωσης, τα οποία όμως προϋποθέτουν ποσοτικά και ποιοτικά επαρκή διαθέσιμα στοιχεία προκειμένου. Αυτό όμως δεν είναι πάντα δυνατό, γιατί οι

απαιτούμενες υδρολογικές μετρήσεις και λοιπά δεδομένα (π.χ. κατανεμημένη γεωγραφική πληροφορία) που απαιτούνται για την κατάστρωση και κατάστρωση του μοντέλου, δεν είναι πάντα επαρκή.

1.5 Εξέλιξη των υδρολογικών μοντέλων: Από τα μοντέλα του '50 στο SWAT

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, χωρίς συνεισφορά των υπόγειων νερών. Αργότερα, δημιουργήθηκε μια τροποποιημένη εκδοχή του, η οποία αποτέλεσε τη βάση όλων των μεταγενέστερων σχημάτων υδρολογικής προσομοίωσης (Thornthwaite and Mather 1955). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά την απλότητά τους, τα παραπάνω μοντέλα είναι αρκετά ακριβή αναφορικά με τον υπολογισμό της μηνιαίας απορροής.

Οι προσπάθειες για την δημιουργία υδρολογικών μοντέλων ουσιαστικά ξεκινούν από το 1965 ταυτόχρονα με την ραγδαία εξάπλωση των υπολογιστικών εργαλείων, με κατάληξη την ανάπτυξη μιας σειράς μοντέλων διαχρονικά (Williams, 1980; Knisel, 1980; Leonard et al., 1987; Williams et al., 1985; Arnold, 1990; Arnold and Allen, 1993; Kiniry et al., 1992), όπως: το SPNM (Sediment-Phosphorus-Nitrogen Model), CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems), GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems), SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins), ROTO (Routing Outputs to Outlet), EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator), και ALMANAC (Agricultural Land Management Alternative with Numerical Assessment Criteria). Από τα παραπάνω μοντέλα, το SWRRB προέρχεται από συγκερασμό και επέκταση των CREAMS, GLEAMS και EPIC, που περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με τη μεταφορά παρασιτοκτόνων, την υδρολογία και ανάπτυξη καλλιεργειών στη λεκάνη απορροής. Αντίστοιχα, η αρχική έκδοση του SWAT που προέρχεται από τα μοντέλα SWRRB, QUAL2E που περιλαμβάνει ποιοτικά χαρακτηριστικά (Brown and Barnwell, 1987) και ROTO (περιλαμβάνει στοιχεία διαδρομής εισόδων και εξόδου της λεκάνης), αναπτύχθηκε και κυκλοφόρησε τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του '90 ως έκδοση 94.2. Σε αυτή την έκδοση εμφανίζεται για πρώτη φορά η υποδιαίρεση της λεκάνης απορροής σε υπο-λεκάνες και πολλαπλές υδρολογικές μονάδες απόκρισης (HRUs). Από τότε, έχουν δημιουργηθεί πολλές βελτιωμένες εκδόσεις του SWAT -όπως, 96.1, 98.2, 99.2, 2000, 2005, και 2009 (τελευταία)- και έχουν επεκταθεί οι εφαρμογές του.

Παράλληλα με την εξέλιξη του SWAT, αναπτύχθηκαν διάφορα εργαλεία για να επαυξήσουν τις εφαρμογές του SWAT και να βελτιώσουν τις προσπάθειες προσομοίωσης. Μια τέτοια εκδοχή είναι εκείνη που δημιουργήθηκε με επιτυχία και εκτελείται σε περιβάλλον GIS (Geographic Information System). Εκτός της εκδοχής που εκτελείται σε περιβάλλον GIS, υπάρχουν διάφορα άλλα εργαλεία διασύνδεσης (interface) με το SWAT. Η διασύνδεση των διαφόρων λογισμικών πακέτων προέκυψε από την ανάγκη υποστήριξης των δεδομένων εισόδου του SWAT που αφορούσαν δεδομένα τοπογραφίας, χρήσης γης, εδάφους και άλλα ψηφιακά δεδομένα. Το πλεονέκτημα από τη διασύνδεση είναι ότι τα παραπάνω δεδομένα συνδέονται διαχρονικά με σταθερές γεωγραφικές συντεταγμένες και δεν επιλύονται με γραφικά προγράμματα του υπολογιστή. Το GIS είναι ένα πολύτιμο εργαλείο διασύνδεσης, καθώς ήταν η κινητήρια δύναμη στην ευρεία εφαρμογή του SWAT (Gassman et al, 2010). Για να δημιουργηθούν τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται από το SWAT, έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές εκδοχές του GIS, ξεκινώντας από το GRASS-GIS και καταλήγοντας στο ArcGIS 10.2/10.3, που είναι το πιο πρόσφατο (Krysanova and Srinivasan, 2015). Το μοντέλο GRASS-SWAT ήταν η πρώτη σημαντική διασύνδεση και ενσωμάτωσε στο SWAT δεδομένα εισόδου αναφορικά με την τοπογραφία, το έδαφος και τη γη. Από αυτό το σημείο και μετά, αναπτύχθηκαν αρκετές διασυνδέσεις μεταξύ GIS και SWAT.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ArcGIS-SWAT

2.1 Το μοντέλο SWAT

Το μοντέλο SWAT, που προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Soil and Water Assessment Tool, αναπτύχθηκε για την Υπηρεσία Αγροτικών Ερευνών των ΗΠΑ (USDA) με σκοπό να προβλέπει τις επιδράσεις των πρακτικών διαχείρισης της γης στο νερό, ιζήματα και αγροτικά χημικά, σε μεγάλους και πολύπλοκους υδροκρίτες, με ποικιλία εδαφών, χρήσεων γης, και συνθηκών διαχείρισης για μεγάλες χρονικές περιόδους (Arnold et al, 1998).

Το SWAT είναι ένα κατανεμημένο (πλήρως ή μερικώς) μοντέλο συνεχούς χρόνου (continuous-time), φυσικής βάσης, κλίμακας λεκάνης απορροής, το οποίο λειτουργεί με ημερήσιο βήμα προσομοίωσης. Είναι υπολογιστικά αποτελεσματικό και ικανό για συνεχή προσομοίωση για μεγάλες χρονικές περιόδους. Τα κυριότερα στοιχεία του μοντέλου περιλαμβάνουν τον καιρό, την υδρολογία, την θερμοκρασία και ιδιότητες του εδάφους, την ανάπτυξη των φυτών, τα θρεπτικά συστατικά, τα παρασιτοκτόνα, τα βακτήρια και παθογόνα, και την διαχείριση της γης (Gassman et al., 2007).

Για την προσομοίωση, ο υδροκρίτης, ο οποίος είναι η νοητή γραμμή που καθορίζει τη λεκάνη απορροής, υποδιαιρείται σε ένα αριθμό ομοιογενών υπο-υδροκρίτων (ή υπο-λεκάνών) που ονομάζονται υδρολογικές μονάδες απόκρισης (Hydrologic Response Units ή HRUs). Η κάθε υπο-λεκάνη περιλαμβάνει μια περιοχή με ομοιόμορφες ιδιότητες από πλευράς τύπου εδάφους, χρήσης γης και κλίσεων. Οι πληροφορίες εισόδου για κάθε υπο-λεκάνη ομαδοποιούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά: α) του καιρού, β) της φυτικής κάλυψης, του εδάφους και της διαχείρισης μέσα στην υπο-λεκάνη, γ) των λιμνών/ταμιευτήρων νερού, δ) του υπογείου υδροφορέα, και ε) των κύριων υδάτινων ρευμάτων που αποστραγγίζουν την υπο-λεκάνη. Η φόρτιση και η κίνηση της απορροής, του ιζήματος, των θρεπτικών συστατικών και των παρασιτοκτόνων στο κύριο υδάτινο ρεύμα της κάθε υπο-λεκάνης προσομοιώνεται λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση αρκετών φυσικών διεργασιών που επηρεάζουν την υδρολογία (Gassman et al. 2007, Neitsch et al. 2009).

Το μοντέλο SWAT είναι ένα προϊόν προσπαθειών προσομοίωσης περίπου σαράντα χρόνων, που αναπτύχθηκε με τη συνεργασία των Υπηρεσιών του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ USDA-Agricultural Research Service (ARS), USDA-Natural Resources Conservation Service (NRCS), και του Πανεπιστημίου του Τέξας για πρώτη φορά την δεκαετία του 1990. Έχει

γίνει αποδεκτό σε διεθνή κλίμακα ως διεπιστημονικό εργαλείο προσομοίωσης υδροκριτών, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σήμερα σε περισσότερες από 100 χώρες (Dile et al. 2016). Έχει χρησιμοποιηθεί για να διερευνήσει προβλήματα αποθεμάτων νερού και ρύπανσης μη σημειακής πηγής. Επίσης, έχει σημαντική συνεισφορά στην κατανόηση πολύπλοκων οικοσυστημάτων και παγκόσμιων θεμάτων που σχετίζονται με την διαθεσιμότητα και ποιότητα του νερού, την κλιματική αλλαγή, και την αγροτική παραγωγή (Dile and Srinivasan, 2014; Panagopoulos et al., 2012; Schuol et al., 2008; Krysanova et al., 2007). Το SWAT είναι το πιο εύχρηστο μοντέλο που έχει χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει την ποιότητα του νερού στους υδροκρίτες και στις λεκάνες απορροής των ποταμών. Αυτό προκύπτει από τις εκατοντάδες εφαρμογές που έχει, από την συνεχή on-line υποστήριξη και βελτίωσή του από τον Οργανισμό που το δημιούργησε (USDA, United States Department of Agriculture), από τις χιλιάδες δημοσιεύσεις σε παγκόσμια κλίμακα και από το ετήσιο Συνέδριο που διοργανώνεται σχετικά με την πρόοδο σε επίπεδο λογισμικού και εφαρμογών (Arnold et al., 1998; Arnold et al., 2010; Gassman et al., 2014; Neitsch et al., 2011).

Το μοντέλο SWAT βασίζεται στην επίλυση εκατοντάδων εξισώσεων που συνδέουν τις υδρολογικές παραμέτρους μιας λεκάνης απορροής και γιαυτό απαιτούνται πλήθος δεδομένων εισόδου σχετικά με το κλίμα, τον εδαφικό ορίζοντα, την υδρολογία των μονάδων απόκρισης (ακόρεστη ζώνη, φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας, λίμνες/υγρότοποι, κύρια ρεύματα αποστράγγισης), την βλάστηση, το τοπογραφικό ανάγλυφο, και τις πρακτικές εκμετάλλευσης των χρήσεων γης. Όποιο κι αν είναι το θέμα της μελέτης στον υδροκρίτη, το βασικό σημείο είναι η ισορροπία στο ισοζύγιο του νερού (Εξίσωση 1).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{n=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E - Q_{perc} - Q_{gw}) \quad (1)$$

όπου:

SW_t : η τελική περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό

SW_0 : η αρχική περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό την δοσμένη ημέρα n

t : το χρονικό διάστημα προσομοίωσης σε ημέρες (days)

R_{day} : η βροχόπτωση την δοσμένη ημέρα n (mm H₂O)

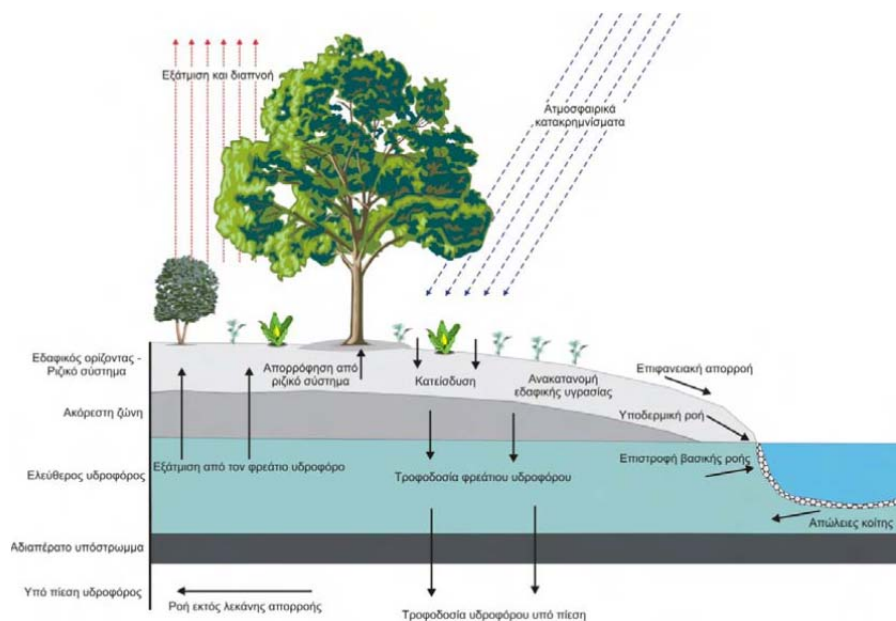
E : η εξατμισοδιαπνοή την δοσμένη ημέρα n (mm H₂O)

Q_{surf} : η επιφανειακή απορροή την δοσμένη ημέρα n (mm H₂O)

Q_{perc} : η κατείσδυση από τον εδαφικό ορίζοντα προς την ακόρεστη ζώνη την δοσμένη ημέρα n (mm H₂O)

Q_{gw} : η βασική ροή ή επιστροφή νερού από τον φρεάτιο ορίζοντα προς το υδρογραφικό δίκτυο την δοσμένη ημέρα n (mm H_2O)

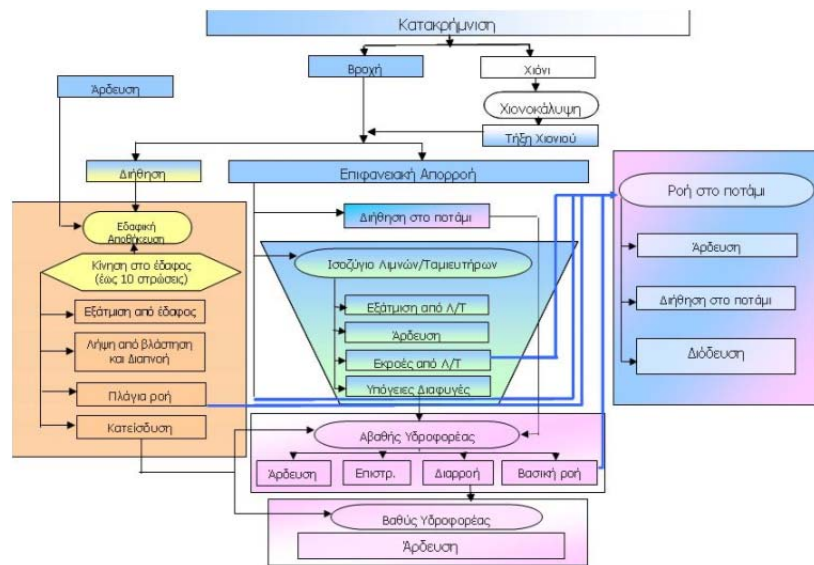
Για την ασφαλή πρόβλεψη της κίνησης των παρασιτοκτόνων, των ιζημάτων ή των θρεπτικών συστατικών, ο υδρολογικός κύκλος, όπως προσομοιάζεται από το μοντέλο, πρέπει να συμμορφώνεται με αυτά που συμβαίνουν στον υδροκρίτη. Η προσομοίωση της υδρολογίας ενός υδροκρίτη μπορεί να διαχωριστεί σε δυο τμήματα: α) στην επίδραση της γης στον υδρολογικό κύκλο, που ελέγχει και καθορίζει την ποσότητα του νερού, των ιζημάτων, του φορτίου θρεπτικών συστατικών και παρασιτοκτόνων στα κύρια υδάτινα ρεύματα της κάθε υπο-λεκάνης (Σχήμα 1), και β) στην κίνηση των παραπάνω στοιχείων, δια μέσου του δικτύου των υδάτινων ρευμάτων (διάλυτοι), προς την έξοδο (Σχήμα 2).



Σχήμα 1. Διαγραμματική απεικόνιση των διεργασιών που προσομοιώνονται από το μοντέλο SWAT (Neitsch et al 2011, Αντωνάκος 2012)

2.2 Η πλατφόρμα Arc-GIS

Το ArcGIS είναι μια ολοκληρωμένη συλλογή από προϊόντα λογισμικού GIS, η οποία παρέχει μια πλατφόρμα για την δημιουργία, διαχείριση, ενσωμάτωση και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Το ArcGIS είναι επεκτάσιμο και μπορεί να ενσωματωθεί σε ήδη υπάρχοντα συστήματα διαδικασιών, όπως το SWAT. Από πλευράς κλίμακας, το ArcGIS μπορεί να αναπτυχθεί είτε σε ατομικό υπολογιστή (ArcGIS Desktop) είτε από ένα δίκτυο ατόμων καταναμημένο σε όλον τον κόσμο.



Σχήμα 2. Πιθανές διαδρομές νερού στο μοντέλο SWAT (Neitsch et al. 2011, Παναγόπουλος, 2011)

Το ArcGIS Desktop είναι μια ομάδα κυρίως τριών προϊόντων ArcInfo, ArcEditor, και ArcView, τα οποία μοιράζονται τις ίδιες βασικές εφαρμογές, την διασύνδεση του χρήστη και το περιβάλλον ανάπτυξης. Εκτός των παραπάνω υπάρχουν και διάφορα άλλα προϊόντα, όπως το: ArcReader, ArcSDE, ArcIMS, ArcPad για διάφορες άλλες εφαρμογές. Η δομή του ArcGIS Desktop είναι κλιμακούμενη ως προς τις δυνατότητές της προκειμένου να εκπληρώσει τις απαιτήσεις των διαφορετικών τύπων χρηστών. Η λειτουργικότητα του GIS αυξάνει κατά τη μετάβαση από ArcView σε ArcEditor σε ArcInfo. Τα παραπάνω προϊόντα θα πρέπει να θεωρηθούν μάλλον ως τρία διακριτά επίπεδα του ίδιου προϊόντος παρά ως τρία διαφορετικά προϊόντα. Πιο συγκεκριμένα για τα σπουδαιότερα προϊόντα:

1. Το ArcReader είναι ένα δωρεάν προϊόν, εύκολο στη χρήση, που παρέχει την δυνατότητα σε οποιονδήποτε να παρακολουθήσει, διερευνήσει και να τυπώσει αρχεία με χάρτες που έχουν εκδοθεί.
2. Το ArcView περιλαμβάνει όλα τα λειτουργικά στοιχεία του ArcReader και επί πλέον λογισμικό για απεικόνιση, επεξεργασία, δημιουργία και ανάλυση απλών γεωγραφικών δεδομένων.
3. Το ArcEditor περιλαμβάνει όλα τα λειτουργικά στοιχεία του ArcView και επί πλέον τα εργαλεία για ολοκληρωμένη επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων. Δηλαδή, είναι ένα λογισμικό πλήρους διαχείρισης και επεξεργασίας των γεωγραφικών δεδομένων.

4. Το ArcInfo είναι το πιο πλήρες και επεκτάσιμο λογισμικό, καθώς περιλαμβάνει όλα τα λειτουργικά των ArcView και ArcEditor και, επί πλέον, προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας γεωπληροφοριών και μετατροπής αρχείων. Οι επαγγελματίες χρήστες του ArcGIS το χρησιμοποιούν για όλες τις περιπτώσεις δημιουργίας, προσομοίωσης, ανάλυσης, και απεικόνισης δεδομένων σε οθόνη και λήψης δεδομένων εξόδου.

Αναφορικά με τα υπόλοιπα προϊόντα, α) το ArcSDE είναι ένα προϊόν λογισμικού για εξυπηρετητή (server) που χρησιμοποιείται να μαζική πρόσβαση σε δεδομένα μεγάλων γεωγραφικών βάσεων, πολλαπλών χρηστών, που είναι αποθηκευμένα στις σχετικές βάσεις διαχείρισης (RDBMSs), β) το ArcIMS είναι η λύση για την κατασκευή δυναμικών χαρτών, δεδομένων γεωγραφικών πληροφοριών και υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου, και γ) το λογισμικό ArcPad αφορά σε τεχνολογία κατασκευής χαρτών και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών μέσω κινητών τηλεφώνων.

Κάθε ένα από τα τρία βασικά προϊόντα (ArcInfo, ArcEditor, και ArcView) περιλαμβάνει μία ομάδα από ενοποιημένες εφαρμογές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox και ModelBuilder. Εξ αυτών:

1. Το ArcMap είναι η κύρια διασύνδεση του GIS για ανάλυση και χαρτογράφηση
2. Το ArcCatalog επιτρέπει την οργάνωση και πρόσβαση σε όλα τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών
3. Το ArcToolbox περιλαμβάνει εργαλεία ανάλυσης και γεωεπεξεργασίας
4. Το ArcScene επιτρέπει την αναπαράσταση του πεδίου σε τρεις διαστάσεις (3D)
5. Το ArcGlobe είναι η απάντηση του ESRI στην 3D προβολή του κόσμου από το Google Earth

Η ενοποιημένη αξιοποίηση των εφαρμογών ArcGIS Desktop επιτρέπει στους χρήστες της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών να υλοποιήσουν οποιαδήποτε εργασία με επίκεντρο το χώρο, από την πιο απλή έως την πιο πολύπλοκη, όπως είναι η χαρτογραφία, η γεωγραφική ανάλυση, η επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων, η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφότυπων δεδομένων, η απεικόνιση, η διαχείριση των δεδομένων κ.α.

2.3 Οι επεκτάσεις του ArcGIS

Στο ArcGIS Desktop μπορούν να προστεθούν πολλές διαφορετικές επεκτάσεις. Οι επεκτάσεις του περιβάλλοντος του ArcGIS, αποτελούν ξεχωριστά προϊόντα, τα οποία προσθέτουν επιπλέον λειτουργικότητα στο λογισμικό πακέτο. Αυτά τα εξειδικευμένα εργαλεία επιτρέπουν στο χρήστη να ασχοληθεί με προχωρημένα θέματα, όπως τρισδιάστατη οπτικοποίηση, χωρική ανάλυση, γεωστατιστική, ανάλυση δικτύων, αλληλολειτουργικότητα δεδομένων (data interoperability) κλπ. Από τις υπάρχουσες επεκτάσεις, οι πιο χρήσιμες σε θέματα γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι οι (ESRI, 2004):

- ArcGIS 3D Analyst, η οποία αναλύει δεδομένα σε πραγματική προοπτική βάση.
- ArcGIS Geostatistical Analyst, η οποία χρησιμοποιεί προχωρημένα στατιστικά εργαλεία για τη διερεύνηση των δεδομένων.
- ArcGIS Network Analyst, η οποία εκτελεί εξελεγμένες διαδρομές, την πιο κοντινή λειτουργία, και λειτουργική ανάλυση της περιοχής.
- ArcGIS Spatial Analyst, η οποία παίρνει απαντήσεις από τα δεδομένα με χρήση προηγμένης χωρικής ανάλυσης.
- ArcGIS Survey Analyst, η οποία εγκαθιστά, επεξεργάζεται και διαχειρίζεται τα δεδομένα της έρευνας και του κτηματολογίου κεντρικά.
- ArcGIS Tracking Analyst, η οποία αποκαλύπτει και αναλύει σχέδια και τάσεις των δεδομένων.

Παρακάτω δίνονται περισσότερες λεπτομέρειες για τις επεκτάσεις που αναφέρονται σε θέματα χωρικής ανάλυσης, γεωστατιστικής και χρονικής εξέλιξης δεδομένων από γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Marathon Data Systems).

A) To ArcGIS Spatial Analyst

Το ArcGIS Spatial Analyst είναι μια επέκταση του ArcGIS Desktop που παρέχει ισχυρά εργαλεία για περιεκτική χωρική μοντελοποίηση και ανάλυση βασισμένη κυρίως σε πλεγματικά (raster) δεδομένα. Επιτρέπει τη δημιουργία, ανάλυση και χαρτογραφική απόδοση πλεγματικών δεδομένων και την υλοποίηση ολοκληρωμένης πλεγματικής – διανυσματικής (raster – vector) ανάλυσης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, όταν η απαιτούμενη μοντελοποίηση του χώρου απαιτεί καλής ποιότητας χωρική ανάλυση.

Χρησιμοποιώντας το ArcGIS Spatial Analyst, μπορεί κάποιος να εξάγει νέα πληροφορία από τα υπάρχοντα δεδομένα, να αναλύσει χωρικές σχέσεις, να δημιουργήσει χωρικά μοντέλα και να εκτελέσει πολύπλοκες λειτουργίες πλεγματικών δεδομένων. Τα μοντέλα που

εφαρμόζονται στο Spatial Analyst εμπεριέχουν τεκμηρίωση με αποτέλεσμα να γίνεται εύκολα κατανοητή η διαδικασία χωρικής ανάλυσης που εφαρμόζεται, να εξετάζονται τα υποθετικά σενάρια (what-if) και να επιτρέπουν τη σύγκριση αποτελεσμάτων.

Με τα εργαλεία του **ArcGIS Spatial Analyst**, δίνεται η δυνατότητα να:

- ✓ προσδιοριστούν κατάλληλες τοποθεσίες για να γίνει η προσομοίωση
- ✓ γίνει Υδρολογική ανάλυση
- ✓ υλοποιηθεί άλγεβρα μεταξύ χαρτών
- ✓ γίνει ανάλυση αποστάσεων μεταξύ σημείων της επιφάνειας
- ✓ γίνει στατιστική ανάλυση
- ✓ κάνει υποθέσεις και προσαρμογή
- ✓ κάνει γραφική προσομοίωση,
- ✓ γίνει χωρική παρεμβολή και δημιουργία ισοκαμπύλων.
- ✓ εφαρμόσει ανάλυση χρήσεων γης
- ✓ αναλύσει το δίκτυο μεταφοράς (π.χ., νερού)
- ✓ προσδιορίσει τα επίπεδα ρύπανσης
- ✓ κάνει ανάλυση για την παραγωγή σοδειάς
- ✓ προσδιορίσει πιθανή διάβρωση
- ✓ κάνει εκτίμηση επικινδυνότητας αναφορικά με κλίση εδαφών, σταθερότητα, φορτίο δασών με καύσιμη ύλη, πλημμύρες, κλπ.

B) Το ArcGIS Tracking Analyst

Το ArcGIS Tracking Analyst είναι μια επέκταση του ArcGIS Desktop που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει χρονικές αλληλουχίες απεικονίσεων για την ανάλυση της πληροφορίας που σχετίζεται με το χρόνο και την τοποθεσία. Το ArcGIS Tracking Analyst δέχεται, απεικονίζει και αναλύει αλληλουχίες χρονικά συσχετισμένων δεδομένων με τη χρήση αντικειμένων και εργαλείων σχεδιασμένων να διαχειρίζονται τόσο δεδομένα πραγματικού χρόνου όσο και ιστορικά δεδομένα.

Μέσα από μια καθορισμένη συλλογή τυχαίων δεδομένων, το ArcGIS Tracking Analyst δημιουργεί ένα ορατό μονοπάτι (ή ίχνος), που παρουσιάζει την πορεία μέσα από το χώρο και το χρόνο του φαινομένου που αναλύεται. Σε ένα ολοκληρωμένο ArcGIS σύστημα μπορεί κανείς να δει πολύπλοκες χρονικές αλληλουχίες και χωρικές διατάξεις (pattern).

Με το ArcGIS Tracking Analyst, είναι δυνατόν να γίνει:

- ✓ απεικόνιση αλλαγών με την πάροδο του χρόνου
- ✓ συμβολισμός της ηλικίας των δεδομένων με χρώμα, μέγεθος ή σχήμα
- ✓ ομαδοποίηση και συμβολισμός των δεδομένων κατά οντότητα ή χρονική ομάδα
- ✓ αναπαραγωγή δεδομένων που εξαρτώνται από τον χρόνο με διαδραστικό τρόπο
- ✓ ανάλυση ιστορικών δεδομένων ή δεδομένων πραγματικού χρόνου
- ✓ δημιουργία βίντεο με κίνηση

Οι βασικές λειτουργίες του ArcGIS Tracking Analyst είναι:

- Η οπτικοποίηση δεδομένων πραγματικού χρόνου, η οποία δίνει τη δυνατότητα δυναμικής αναπαράστασης δεδομένων
- Η παροχή εργαλείων που μπορούν να διαμορφώσουν τη μελέτη των συμβόλων των χρονικών συμβάντων
- Η αναπαραγωγή συμβάντων σε διαφορετικές ταχύτητες μέσω της γραμμής εργαλείων του Playback Manager.
- Η παροχή δυνατότητας επεξεργασίας και επιλογής φίλτρων για χωροχρονικά δεδομένα.
- Η δυνατότητα να δει ο χρήστης τα δεδομένα σε διάφορες σχηματικές μορφές και αναπαραστάσεις με χαρτογράφηση.

Γ) Το ArcGIS Geostatistical Analyst

Το ArcGIS Geostatistical Analyst είναι μια επέκταση του ArcGIS Desktop η οποία παρέχει μια ισχυρή εργαλειοθήκη για την διερεύνηση χωρικών δεδομένων και την παραγωγή επιφανειών. Γεφυρώνει αποτελεσματικά το κενό ανάμεσα στα συστήματα GIS και στη γεωστατιστική ανάλυση, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση χωρικών φαινομένων, την ανάλυση του ρίσκου και την ακριβή πρόβλεψη τιμών εντός μιας περιοχής μελέτης.

Με τη χρήση του ArcGIS Geostatistical Analyst, είναι δυνατόν να:

- Δημιουργηθούν επιφάνειες από μετρήσεις δεδομένων, που έχουν συλλεγεί σε περιοχές όπου η επίσκεψη σε κάθε τοποθεσία θα ήταν αδύνατη ή το κόστος της απαγορευτικό.
- Διερευνηθούν πλήρως δείγματα δεδομένων, να αξιολογηθεί η αβεβαιότητά τους, να εξαχθούν μοναδικά συμπεράσματα και να δημιουργηθούν παραμετροποιημένες επιφάνειες παρεμβολής (interpolation surfaces) για πιο ενημερωμένη λήψη αποφάσεων.

- Οπτικοποιηθούν, προσομοιωθούν, και προβλεφθούν χωρικές συσχετίσεις.
- Συνδεθούν δεδομένα, γραφήματα και χάρτες δυναμικά.
- Εκτελεστεί αιτιοκρατική (deterministic) και γεωστατιστική παρεμβολή.
- Αξιολογηθούν μοντέλα και προβλέψεις στοχαστικά, με σκοπό την εκτίμηση κινδύνου (risk assessment).

Το ArcGIS Geostatistical Analyst βοηθάει στην αντιμετώπιση πραγματικών καθημερινών προβλημάτων με τρόπο οικονομικά αποδοτικό σε τομείς, όπως η ανάλυση ατμοσφαιρικών δεδομένων, αναζήτηση πετρελαίου και μεταλλευμάτων, περιβαλλοντική ανάλυση, γεωργία, μελέτη ψαριών και άγριων ζώων, κλπ.

Οι βασικές λειτουργίες του ArcGIS Geostatistical Analyst είναι:

- ✓ **Διερεύνηση**, μέσω αντικειμενικών μεθόδων που κατευθύνονται από τα δεδομένα για να ποσοτικοποιηθούν και να εντοπιστούν σχέδια μέσα στα χωρικά δεδομένα. Για την διερεύνηση των δεδομένων χρησιμοποιούνται εργαλεία εξέτασης χωρικών δεδομένων (ESDA tools), όπως: ιστογράμματα, γραφικές παραστάσεις, ανάλυση τάσεων, χάρτης ημιμεταβλητότητας/συμμεταβλητότητας, κλπ.
- ✓ **Προσομοίωση**, μέσω δημιουργίας προβλέψεων με ακρίβεια με στατιστικές μεθόδους πολλών μεταβλητών. Όπου τα δεδομένα είναι ελλιπή ή λανθασμένα, το ArcGIS Geostatistical Analyst παρέχει ένα πλαίσιο πιθανοτήτων για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας.
- ✓ **Αξιολόγηση** της ποιότητας των μοντέλων με τις παρακάτω διαγνωστικές μεθόδους: επικύρωση της ποιότητας του μοντέλου, επικύρωση της ποιότητας της πρόβλεψης, σύγκριση αποτελεσμάτων επικύρωσης πολλαπλών μοντέλων, εμφάνιση της τιμής της πρόβλεψης στον κέρσορα (MapTips).
- ✓ **Προσομοίωση**, μέσω πολλαπλών υλοποιήσεων, ή εκδοχών μιας επιφάνειας για να πραγματοποιηθεί ανάλυση κινδύνου. Οι μέθοδοι παρεμβολής παράγουν μία τιμή για κάθε τοποθεσία. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλές και εξίσου πιθανές τιμές για κάθε τοποθεσία, στην οποία δεν έχει γίνει δειγματοληψία. Η γεωστατιστική προσομοίωση παράγει πολλαπλές επιφάνειες οι οποίες ‘μιμούνται’ το πραγματικό φαινόμενο και παρέχουν αυτές τις πιθανές τιμές, δίνοντας έτσι μία βάση για ανάλυση κινδύνου, οικονομικές λήψεις αποφάσεων, και άλλες προσεγγίσεις που εμπεριέχουν αβεβαιότητα, και επιτρέποντας έτσι στους αναλυτές να πάρουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις. Η προσομοίωση μπορεί να είναι υπό συνθήκες, χωρίς συνθήκες, ή έπειτα

από επεξεργασία (συγκεντρωτικά στοιχεία για τα κελιά και για τις πολυγωνικές περιοχές ενδιαφέροντος).

- ✓ **Τελειοποίηση**, α) της σύνθεσης των εικόνων που εμφανίζονται στον υπολογιστή (ισοϋψείς καμπύλες, κανονικός κάρναβος με εμφάνιση των δεδομένων μέσου όρου σε κάθε κελί, σκίαση αναγλύφου, συνδυασμός των παραπάνω), και β) των προβλέψεων σε ισοϋψείς καμπύλες, πολύγωνα, πλεγματικά δεδομένα, καθορισμένες σημειακές τοποθεσίες, γεωστατιστικά επίπεδα πληροφορίας που αποθηκεύουν τις παραμέτρους του μοντέλου για τις συνθέσεις των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν.

2.4 Διασύνδεση ArcGIS και SWAT

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, το SWAT είναι ένα μοντέλο φυσικής βάσης, συνεχούς χρόνου, κλίμακας λεκάνης ποταμού που ποσοτικοποιεί τις επιδράσεις από τις πρακτικές διαχείρισης της γης στις ροές νερού, τα φορτία ιζημάτων, και τις χημικές αποδόσεις. Προσομοιάζει ολόκληρο τον υδρολογικό κύκλο, συμπεριλαμβάνοντας την εξατμισοδιαπνοή, την διείσδυση νερού σε μικρό βάθος, την διύλιση σε βαθείς υδροφόρους ορίζοντες, και τις διεργασίες πλευρικής ροής υδάτων (Arnold et al., 1998).

Ένα σημαντικό μέρος των δεδομένων εισόδου του SWAT είναι χωρικού χαρακτήρα, όπως αυτά που προέρχονται από δίκτυα υδάτινων ρευμάτων, λεκάνες αποστράγγισης, χρήση γης, και χάρτες με τους τύπους των εδαφών. Συνεπώς, τα εργαλεία του GIS αναπτύχθηκαν για να ληφθούν πληροφορίες για το SWAT από ψηφιακά χωρικά δεδομένα που είναι εύκολα διαθέσιμα.

Από την διασύνδεση των ArcGIS και SWAT, αναπτύχθηκε το μοντέλο ArcGIS-SWAT (ή ArcSWAT), το οποίο είναι ένα πακέτο λογισμικού ανοικτού κώδικα SWAT, που εκτελείται σε περιβάλλον ArcGIS (Olivera et al., 2006). Με την χρήση του ArcGIS πραγματοποιείται τόσο η προετοιμασία των δεδομένων εισόδου του μοντέλου (pre-processing) όσο και η επεξεργασία και προβολή των αποτελεσμάτων του μοντέλου (post-processing). Το ArcGIS-SWAT αποθηκεύει δεδομένα εισόδου του SWAT, όπως γεωγραφικά, αριθμητικά και κειμένου, καθώς επίσης και αποτελέσματα. Η δομή της βάσης δεδομένων που προτείνεται για το μοντέλο ArcGIS-SWAT είναι ίδια με αυτή του μοντέλου SWAT, με δυνατότητες να αποθηκεύει γεωγραφικές πληροφορίες επιπλέον των αριθμών και του κειμένου. Κατά συνέπεια, για την αποθήκευση όλων των χωρικών και χρονικών πληροφοριών μιας προσομοίωσης SWAT προτείνεται μια βάση γεω-δεδομένων. Αντίθετα, η βάση δεν έχει τη

μορφή σειράς αρχείων κειμένου. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του ArcGIS-SWAT είναι η ικανότητά του να καταγράφει τις μονάδες υδρολογικής απόκρισης (HRU), πράγμα που επιτρέπει πιο ακριβή υπολογισμό των παραμέτρων του μοντέλου από εκείνο που θα προέκυπτε από τον μέσο όρο των υπο-λεκανών (Olivera et al., 2006).

Ολοκλήρωση με άλλα υδρολογικά μοντέλα επιτυγχάνεται μέσω του μοιράσματος των γεωγραφικών και υδρολογικών δεδομένων. Για τον σκοπό αυτό, υδρολογικά «αντικείμενα» (π.χ., πολύγωνα υδροκριτών) και οι αντίστοιχες παράμετροι (π.χ., χρονικές περιόδοι συγκέντρωσης) εξάγονται από την βάση γεω-δεδομένων ArcGIS-SWAT σε ένα κόμβο (hub) βάσης γεω-δεδομένων που δεν είναι ειδικά κατασκευασμένη για το μοντέλο. Από αυτή τη βάση μπορούν να εισαχθούν στην συνέχεια από μια άλλη διασύνδεση για χρήση σε διαφορετικό μοντέλο. Με εφαρμογή της αρχής του κόμβου της βάσης γεω-δεδομένων, η ολοκλήρωση του μοντέλου αποτελείται από την διασύνδεση του κάθε μοντέλου με τον κόμβο παρά με το κάθε άλλο μοντέλο (Olivera et al., 2006).

2.4.1 Δομή των δεδομένων της βάσης γεω-δεδομένων

Το μοντέλο ArcGIS-SWAT βασίζεται σε δομή δεδομένων που ακολουθούν οι βάσεις γεω-δεδομένων. Οι βάσεις γεω-δεδομένων είναι βάσεις που συσχετίζονται μεταξύ τους και, επίσης, μπορούν να αποθηκεύσουν γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Δηλαδή, μια βάση γεω-δεδομένων είναι μια συλλογή πινάκων, των οποίων τα πεδία μπορούν να αποθηκεύσουν ένα γεωγραφικό σχήμα (π.χ., ένα σημείο, μια γραμμή, ή ένα πολύγωνο), μια ακολουθία χαρακτήρων, ή ένα αριθμό, και οι οποίοι πίνακες συσχετίζονται μεταξύ τους μέσω κύριων πεδίων.

Ανεξάρτητα από τον αριθμό των πινάκων και των σχέσεων σε μια βάση γεω-δεδομένων, η αποθήκευση γίνεται σε ένα μονό αρχείο, και τα περιεχόμενά του μπορούν να εξερευνηθούν χρησιμοποιώντας συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (database management systems, DBMS). Ωστόσο, μη γεωγραφικά DBMS δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση σε γεωγραφικές πληροφορίες στις βάσεις γεω-δεδομένων.

Οι βάσεις γεω-δεδομένων είναι κατηγορίες αντικειμένων (object classes), στις οποίες κάθε σειρά αντιπροσωπεύει ένα αντικείμενο και κάθε στήλη αποθηκεύει ένα χαρακτηριστικό του αντικειμένου. Οι κατηγορίες χαρακτηριστικών (feature classes) είναι ιδιαίτερες περιπτώσεις κατηγορίες αντικειμένων στις οποίες στο κάθε αντικείμενο αποδίδεται ένα χαρακτηριστικό

(π.χ., γεωγραφικό σχήμα). Οι κατηγορίες χαρακτηριστικών συλλέγουν χαρακτηριστικά μοναδικών αντικειμένων έτσι ώστε να ανήκουν είτε στην κατηγορία χαρακτηριστικών σημείου, γραμμής είτε πολυγώνου.

Κατηγορίες χαρακτηριστικών που μοιράζονται την ίδια χωρική έκταση μπορούν να συγκεντρωθούν σε σειρές δεδομένων με τα ίδια χαρακτηριστικά. Μέσα σε αυτές τις σειρές, μπορούν να δημιουργηθούν γεωμετρικά δίκτυα με βάση τα χαρακτηριστικά γραμμής, τα οποία δημιουργούν τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των στοιχείων τους. Τέλος, μπορούν να δημιουργηθούν κατηγορίες σχέσεων που να συνδέουν αντικείμενα διαφορετικών κατηγοριών μέσω των κύριων πεδίων και να αποθηκευτούν ως τμήμα της βάσης γεω-δεδομένων (Olivera, 2006).

2.4.2 Μεθοδολογία

Το μοντέλο δεδομένων ArcGIS-SWAT αποτελείται από μια δυναμική βάση γεω-δεδομένων, η οποία αποθηκεύει πληροφορίες της περιοχής της μελέτης, και από μια στατική βάση γεω-δεδομένων, η οποία αποθηκεύει πληροφορίες που δεν είναι εξειδικευμένες για το έργο της μελέτης, όπως π.χ. βάσεις δεδομένων με προεπιλεγμένες τιμές μιας παραμέτρου. Η διασύνδεση ArcGIS-SWAT περιλαμβάνει ενότητες για καθορισμό του υδροκρίτη, ορισμό των υδρολογικών μονάδων απόκρισης (HRU), συνθετική δημιουργία καιρού, εξαγωγή δεδομένων από τις βάσεις γεω-δεδομένων για να προετοιμαστούν τα αρχεία εισόδου του SWAT, εισαγωγή αποτελεσμάτων του SWAT από τα αρχεία εξόδου στις δυναμικές βάσεις γεω-δεδομένων, ανάλυση μετάδοσης της αβεβαιότητας, δεδομένα οπτικοποίησης και στατιστικής ανάλυσης, και ολοκλήρωση του μοντέλου.

Οι τρεις πρώτες ενότητες περιλαμβάνουν χωρική ανάλυση χρησιμοποιώντας δεδομένα τοπογραφίας, χρήσης γης, και καιρού. Οι υπόλοιπες ενότητες συνδέουν τα δεδομένα του SWAT με το μοντέλο και υποστηρίζουν την υδρολογική ανάλυση και την ολοκλήρωση του μοντέλου.

Οι ενότητες της διασύνδεσης ArcGIS-SWAT περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βήματα:

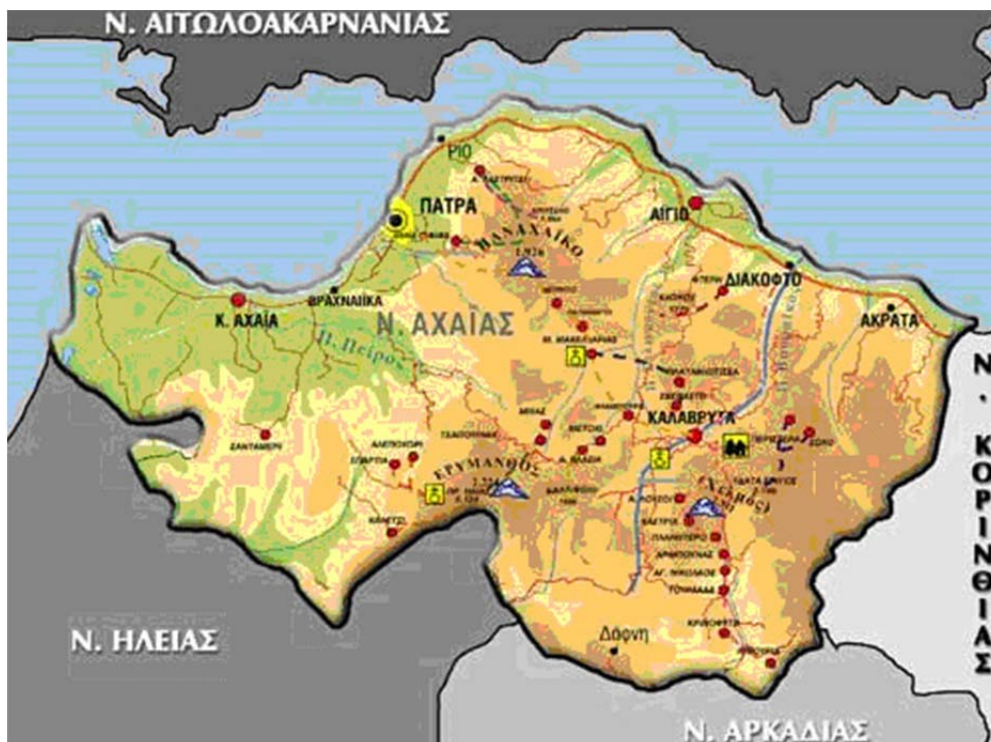
- Καθορισμός του Υδροκρίτη
- Συνθετική Δημιουργία Καιρού
- Προετοιμασία αρχείων εισόδου SWAT
- Επεξεργασία αρχείων εξόδου SWAT

- Μετάδοση της Αβεβαιότητας
- Ολοκλήρωση Εφαρμογής που βασίζεται σε COM (Component Object Model)
- Ολοκλήρωση Υδρολογικού Μοντέλου

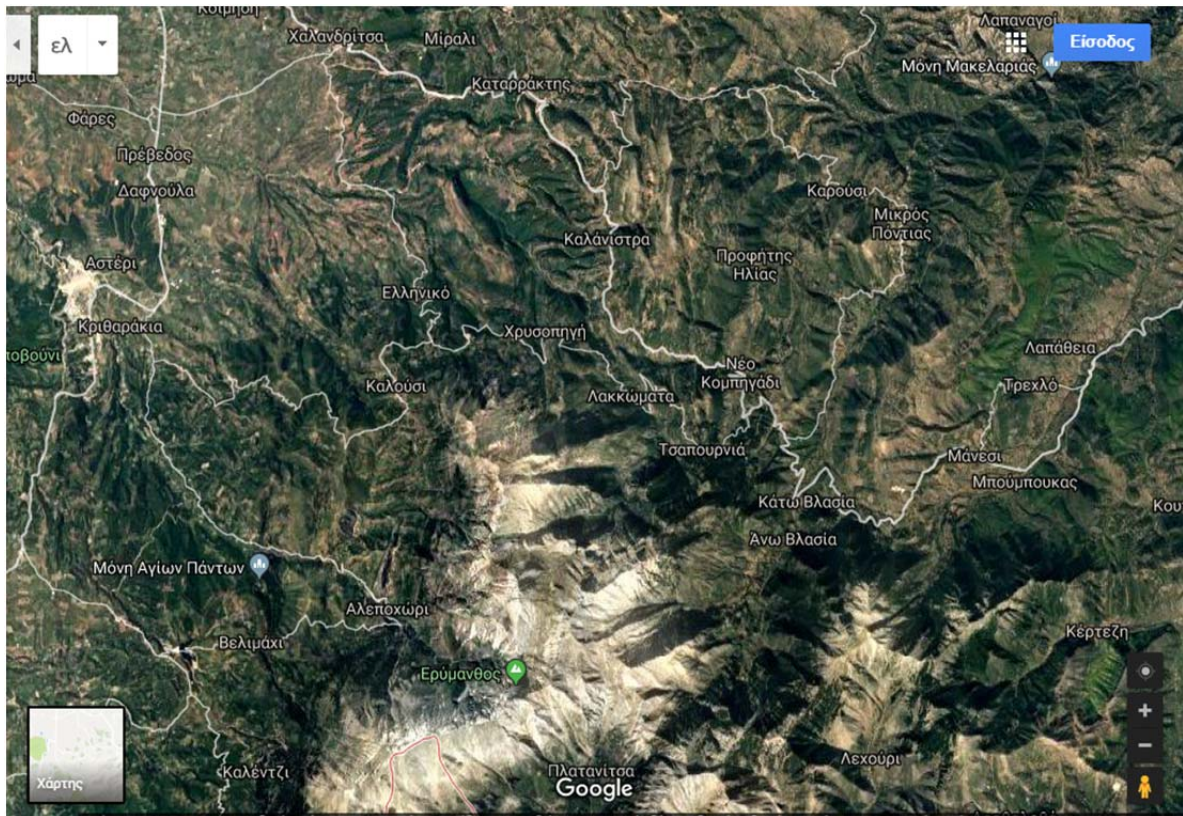
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γεωγραφία

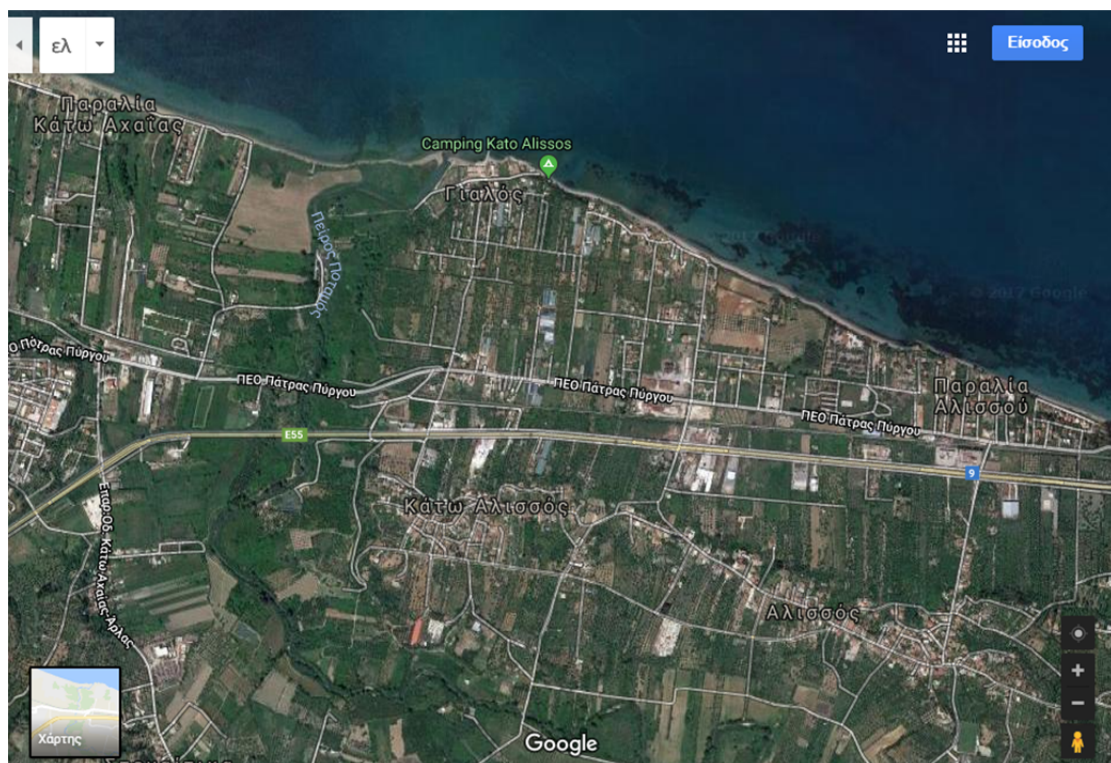
Ο Πείρος είναι ποταμός της Αχαΐας που πηγάζει από το όρος Ερυμάνθος και εκβάλλει στον Πατραϊκό κόλπο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 (Τουριστική Πύλη Νομού Αχαΐας, 2017). Είναι ο μεγαλύτερος ποταμός της Αχαΐας με μήκος 42,6km (ΥΠΕΚΑ, 2012) και ο σημαντικότερος για τη γεωργία και την ύδρευση του Νομού γιατί έχει ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ενώ η επιφάνεια της λεκάνης απορροής του καλύπτει έκταση 578 km² (Wikipedia, 2017). Οι πηγές της κύριας ροής του βρίσκονται στο καρστικό σύστημα στα βόρεια-βορειοανατολικά του Ερυμάνθου, κοντά στο ορεινό χωριό Λακκώματα του Δήμου Ερυμάνθου (Σχήμα 4). Το χωριό είναι κτισμένο στους ανατολικούς πρόποδες του ορεινού όγκου του όρους Ερυμάνθου (ή Ωλονός), μέσα στην κοιλάδα του ποταμού Πείρου και σε υψόμετρο περίπου 610m (ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, 2017). Στην αρχική πορεία του ο ποταμός είναι στενός, βαθύς σε αρκετά σημεία του αλλά και πολύ ορμητικός, ενώ από την περιοχή της Βαλνταμούρας και χαμηλότερα όπου ξεκινά σταδιακά η πεδιάδα μεγαλώνει η κοίτη του, γίνεται πιο ρηχός και λιγότερο ορμητικός (ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, 2017). Εκβάλλει στην παραλία του Γιαλού Αλισσού (Δημοτική Ενότητα Δύμης, Δήμος Δυτικής Αχαΐας) του Πατραϊκού κόλπου και οι εκβολές του αποτελούν το φυσικό γεωγραφικό σύνορο μεταξύ της παραλίας του Αλισσού και της Κάτω Αχαΐας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 (Google, 2017).



Σχήμα 3. Χάρτης νομού Αχαΐας (Τουριστική Πύλη Νομού Αχαΐας, 2017)



Σχήμα 4. Περιοχή που πηγάζει ο ποταμός Πείρος (Google, 2017)



Σχήμα 5. Περιοχή εκβολής ποταμού Πείρου (Google, 2017)

Ο μεγαλύτερος παραπόταμος του είναι ο Παραπείρος (Τηθεύς ή Τευθέας), που πηγάζει κοντά στο χωριό Αλεποχώρι (περιοχή Τριταίας) του όρους Ερύμανθος και έχει μήκος 28,5km. Άλλοι σημαντικοί παραπόταμοι είναι το ρέμα της Σερδινής μήκους 15,6km, που πηγάζει κοντά στο χωριό Φλόκα και το όρος Σκόλλις και χύνεται στον Πείρο λίγο πριν τις εκβολές του και ο Βορίλας (ή Μέγας Μελάς) που ενώνεται με τον Πείρο στην Βαλμαντούρα και έχει δύο κύριες πηγές, η μία σε πρόβουνο του Παναχαϊκού όρους κοντά στο χωριό Καταρράκτης και η άλλη στον Ερύμανθο κοντά στο χωριό Μπούνα.

Άλλοι μικρότεροι χείμαρροι που εκβάλλουν στον Πείρο είναι οι εξής (ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, 2017):

α) στο ορεινό τμήμα της λεκάνης του ποταμού: ο χείμαρρος Πόρος, το Κακό Λαγκάδι, το ρέμα της Λαχίδας, τα Δύο Λαγκάδια, ο χείμαρρος Πλάκα, το ρέμα του Ταξιάρχη, το ρέμα του Απιδία.

β) πλησιάζοντας προς τις εκβολές του ποταμού: το Μισολάγκαδο, το Παλιουρολάγκαδο, το Πουρνολάγκαδο, το Τρανολάγκαδο.

Επί του ποταμού Πείρου έχει κατασκευαστεί φράγμα εκτροπής στη θέση Βαλμαδούρα, το οποίο βρίσκεται σε ευθεία απόσταση 3,5km νοτιανατολικά του οικισμού Χαλανδρίτσα. Το φράγμα απέχει 380m περίπου βορειανατολικά από την συμβολή του ποταμού Πείρου με το ρέμα Βορίλας και λίγο πριν την έξοδο του Πείρου από τις έντονες χαραδρώσεις που σχηματίζει στους πρόποδες του όρους Ερύμανθου (Δίγκα, 2012).

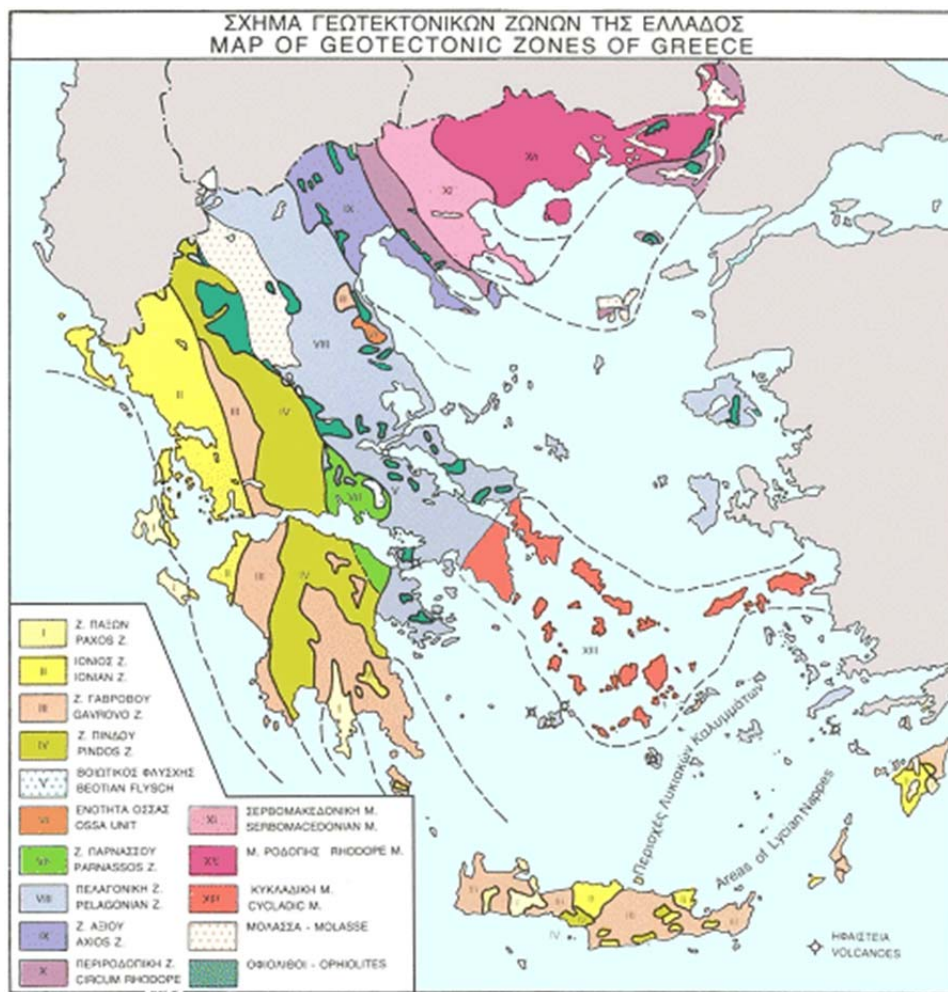
3.2 Γεωλογία

Οι τεκτονικές ζώνες που συναντώνται κατά κύριο λόγο στον νομό Αχαΐας είναι η ζώνη Ωλονού-Πίνδου και Γαβρόβρου-Τριπόλεως (Σχήμα 6), από τις οποίες η πρώτη οφείλει το όνομά της στο όρος Ερύμανθος ή Ωλονός. Στην περίπτωση του ποταμού Πείρου οι πηγές και ένα τμήμα του βρίσκονται στη ζώνη Ωλονού-Πίνδου ενώ το υπόλοιπο τμήμα του και η εκβολή του βρίσκονται στη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως.

Γενικά:

- Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου καταλαμβάνει σημαντικό μέρος του κεντρικού κορμού της Ελλάδας. Εκτείνεται από τα Αλβανικά σύνορα προς νοτιοανατολικά και, δια μέσου των ορέων Αθαμανικών (Τζουμέρκα), Βόρειας Πίνδου, Αγράφων, Αιτωλικών, Παναχαϊκού, Ωλονού (Ερύμανθος) και στη συνέχεια το δυτικό τμήμα της δια μέσου

της Αρκαδίας, Τριφυλίας, Μεσσηνίας, φθάνει μέχρι την Ρόδο, Σύμη και Μικρά Ασία (Μαράτος, 1972). Χαρακτηρίζεται από έντονες επωθήσεις προς τα δυτικά πάνω στη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως και από δομή λεπίων, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται συχνές επαναλήψεις των στρωμάτων. Αποτελείται από ασβεστόλιθους, δολομίτες, κερατόλιθους, ραδιολαρίτες, αργίλους, ψαμμίτες και πηλίτες.



Σχήμα 6. Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (orykta.gr)

- Η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως βρίσκεται δυτικά της ζώνης Ωλονού-Πίνδου αναφορικά με τις περιοχές της Ηπείρου, Δυτικής Στερεάς και Δυτικής Πελοποννήσου ενώ περιβάλλεται από αυτήν στις περιοχές της Κεντρικής και Νότιας Πελοποννήσου (Μαράτος, 1972). Σε αυτήν τη ζώνη κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες που σχηματίστηκαν έπειτα από συνεχή ανθρακική ιζηματογένεση. Αυτοί οι σχηματισμοί επικάθονται σε ένα υπόβαθρο που αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζιακούς φυλλίτες και μάρμαρα, γνωστό ως «φυλλιτική-χαλαζιτική» σειρά.

Ειδικότερα για την ευρύτερη περιοχή της μελέτης (ΥΠΕΚΑ, 2013):

- Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους Ερυμάνθου-Παναχαϊκού με διάταξη από βορρά προς νότο ενώ τα πετρώματα που συναντώνται είναι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι και στρώματα φλύσχη σε μορφή στρωμάτων έντονα πολυπτυχωμένων και διαρρηγμένων εξαιτίας των ισχυρών πλευρικών πιέσεων κατά την αλπική ορογένεση. Ασύμφωνα προς τα παραπάνω αλπικά ιζήματα έχουν αποθεθεί νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις (μεταλλικές προσχώσεις).
- Η ζώνη Γαβρόβρου-Τριπόλεως περιλαμβάνει μικρή εμφάνιση ασβεστολίθων στο όρος Σκόλλις (ή Σαντομέρι) και εκτεταμένες εμφανίσεις ψαμμιτών και κροκαλοπαγών με παρεμβολές ιλυολίθων του φλύσχη.
- Επίσης, συναντώνται μεταλλικοί σχηματισμοί του νεογενούς και του τεταρτογενούς, που έχουν πληρώσει τα τεκτονικά βυθίσματα της Β. Πελοποννήσου. Αυτοί οι σχηματισμοί αποτελούνται από εναλλαγές χονδρομερών υλικών (κροκάλες, κροκαλοπαγή, άμμοι) με πιο λεπτομερή (άργιλοι, μάργες, ιλύες) και συναντώνται σε μεγάλη έκταση του δυτικού τμήματος της λεκάνης.
- Τέλος, στις παραλιακές πεδινές εκτάσεις συναντώνται σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις, που έχουν ως υπόβαθρο νεογενείς και πλειστοκαινικούς σχηματισμούς στις περισσότερες περιπτώσεις.

Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί, και ιδιαίτερα οι αλπικοί, έχουν υποστεί επανειλημμένες τεκτονικές διεργασίες με αποτέλεσμα τόσο την πτύχωση και την διάρρηξη των σχηματισμών όσο και τις ευρύτερες μετακινήσεις ζωνών, όπως η επώθηση της ζώνης Ωλονού-Πίνδου επάνω στην ζώνη Γαβρόβρου-Τριπόλεως. Οι έντονες τεκτονικές διεργασίες, που συνέβησαν στην περιοχή και που είχαν ως αποτέλεσμα την ισχυρή καταπόνηση των ανθρακικών σχηματισμών, σε συνδυασμό με τις εναλλαγές διαπερατών και αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών (στρωμάτων) εξ αιτίας των λεπιώσεων είχαν ως αποτέλεσμα την διαμόρφωση των επί μέρους υδρολογικών συστημάτων και λεκανών, γιατί πολλές φορές τα κύρια ποτάμια, παραπόταμοι και ρεύματα της περιοχής κινούνται κατά μήκος αυτών των τεκτονικών διαρρήξεων (ΥΠΕΚΑ, 2012).

Όπως προκύπτει από τις γεωλογικές ενδείξεις της περιοχής, η κοιλάδα του Πείρου σχηματίστηκε έπειτα από τεκτονικές διεργασίες ταφρογένεσης με τον άξονα της τάφρου να

έχει κατεύθυνση Δ.ΒΔ.-Α.ΝΑ. Η τάφος συνέβαλε στον αποχωρισμό του Παναχαϊκού από τον Ερύμανθο ενώ ταυτόχρονα δημιούργησε χώρο για την ιζηματογένεση των μεγάλου πάχους κροκαλοπαγών (ιδιαίτερα ανατολικά της Χαλανδρίτσας). Αυτά τα κροκαλοπαγή είναι σημαντικός υπόγειος υδροφορέας, γιατί συμμετέχει στην υπόγεια μεταβίβαση καρστικών νερών από τους ασβεστόλιθους του Παναχαϊκού και του Ερύμανθου προς τη περιοχή του Πείρου (Δίγκα 2012, Περιφερειακή Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων V 1995).

Η κοιλάδας του Πείρου οφείλει την γένεσή της σε ανοδικές κινήσεις των πετρωμάτων κατά το ανώτερο Πλειστόκαινο με αποτέλεσμα την ανύψωση της περιοχής. Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνεται τόσο από τα απότομα πρανή της λεκάνης του Πείρου όσο και τις ποτάμιες αναβαθμίδες του. Την ανύψωση της περιοχής ακολούθησε διάβρωση και περαιτέρω εκβάθυνση της κοιλάδας ενώ το σύνολο των φερτών υλικών του Πείρου αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς (Πλειστόκαινο και Ολόκαινο). Τα Πλειστοκαινικά υλικά έχουν συγκολληθεί σε κροκαλοπαγή, ενώ τα Ολοκαινικά είναι χαλαρά και καλύπτουν κυρίως τη περιοχή της σημερινής κοιλάδας του Πείρου (Δίγκα 2012, Περιφερειακή Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων V 1995).

Η τεκτονική της περιοχής είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία της λεκάνης του ποταμού Πείρου, ο οποίος πηγάζει από το ορεινό συγκρότημα του Ερύμανθου (μέγιστο υψόμετρο 2.224 m), καθώς και πλήθος χειμάρρων με απότομες κλίσεις της κοίτης τους (Βουδούρης, 1995). Η ροή του Πείρου εμφανίζει συχνά μαιανδρική μορφή, κατά την κίνησή του επί αλλουβιακών πεδίων ενώ στους μαιάνδρους υπάρχουν οριζόντιες και κατακόρυφες εναλλαγές από άμμο, χαλίκια και κροκάλες (Βουδούρης, 1995).

Εκτός από την τεκτονική, τα γεωλογικά στρώματα της περιοχής παίζουν καθοριστικό ρόλο στην κατείδυση, γιατί ρυθμίζουν το ποσοστό των κατακρημνίσεων που θα διασχίσουν την λεκάνη απορροής και θα φτάσουν στην έξοδό της ως απορροή. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στη λεκάνη του ποταμού Πείρου και το ποσοστό της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνουν έχουν υπολογιστεί σε: πελαγικοί ασβεστόλιθοι 30%, λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι 7%, ραδιολαρίτες 8%, φλύσχης 10%, σύγχρονες και παλαιές τεταρτογενείς αποθέσεις 25%, και πλειστοκαινικές αποθέσεις 20% (Μεχλέρη, 2008).

3.3 Μορφολογία

Γενικά, οι τεκτονικές διεργασίες που συμβαίνουν σε μια περιοχή καθορίζουν την τεκτονική δομή και την μορφολογία της. Η μορφολογία της λεκάνης του ποταμού Πείρου, από τις πηγές μέχρι την εκβολή του στην θάλασσα, περιλαμβάνει ορεινές, ημιορεινές και πεδινές περιοχές, όπως άλλωστε φαίνεται στους χάρτες των Σχημάτων 3-5.

Το νοτιοανατολικό τμήμα της ευρύτερης λεκάνης είναι ορεινό, με έντονο και τραχύ ανάγλυφο ενώ η τεκτονική δομή της περιοχής χαρακτηρίζεται από έντονες πτυχώσεις, επιπτεύσεις και επωθήσεις, που οδηγούν στη δημιουργία τεκτονικών λεπίων. Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου ανάγλυφου, οι κύριοι παράγοντες που έχουν επιδράσει είναι οι ενδογενείς τεκτονικές διεργασίες (πτύχωση – ανύψωση – ρήγματα) και η διάβρωση που δημιούργησε το υδρογραφικό δίκτυο στο οποίο κυριαρχεί η κατακόρυφη διάνοιξη χαραδρώσεων, με την βοήθεια των εξωγενών παραγόντων (βροχές, χιόνι, παγετός, άνεμος) (Καραθανάση, 2009).

Το δυτικότερο τμήμα της λεκάνης είναι ημιορεινό. Εμφανίζει μορφολογικό ανάγλυφο που εξομαλύνεται σταδιακά και χαρακτηρίζεται από έντονες φλυσχικές λοφώδεις εξάρσεις που διακόπτονται από περιοχές ηπιότερου ανάγλυφου. Στα χαμηλότερα υψομετρικά τμήματα της ζώνης αυτής όπως επίσης και κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, πλειο-πλειστοκαινικές και τεταρτογενείς αποθέσεις καλύπτουν τον φλύσχη. Οι αποθέσεις αυτές συνδέονται με διάφορα τεκτονικά γεγονότα (π.χ., άνοδος της στάθμης της θάλασσας) και με ποταμοχειμάρριες αποθέσεις του υδρογραφικού δικτύου, δηλαδή με υλικά που προέρχονται από την αποσάθρωση και διάβρωση του μητρικού πετρώματος και στην συνέχεια την μεταφορά και απόθεση των προϊόντων της αποσάθρωσης. Για να δημιουργηθεί η συγκεκριμένη μορφή του υδρογραφικού δικτύου είχαν επίδραση οι παρακάτω παράγοντες: α) η λιθολογία, δεδομένου ότι η παρουσία του φλύσχη, που είναι μη υδατοπερατό πέτρωμα, δεν ευνοεί την κατείσδυση αλλά την επιφανειακή απορροή του νερού, β) η διαβρωτική δράση του νερού εξ αιτίας επιφανειακών απορροών, γ) διάφορες κλιματολογικές παράμετροι, όπως η ένταση των βροχοπτώσεων, και δ) διάφορες γεωλογικές διεργασίες της περιοχής, όπως τεκτονική, σεισμικότητα, κλπ. (Καραθανάση, 2009).

Τέλος, το βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης Πείρου είναι πεδινό, με ήπιο ανάγλυφο. Αυτό το τμήμα αποτελείται κυρίως από πλειο-πλειστοκαινικές και τεταρτογενείς αποθέσεις που

σχετίζονται με τεκτονικά γεγονότα (π.χ., άνοδος της στάθμης της θάλασσας) και με ποταμοχειμάρριες αποθέσεις που συνδέονται με φαινόμενα διάβρωσης (Καραθανάση, 2009). Κατά συνέπεια, η μορφολογία και οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της λεκάνης του Πείρου, γιατί η συγκεκριμένη λεκάνη αναπτύσσεται στο φλύσχη της Ζώνης Γαβρόβου- Τρίπολης, καθώς και στους ασβεστόλιθους της Ζώνης Ωλονού-Πίνδου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τα όρια χαρακτηρισμού των περιοχών και η ταξινόμησή τους σε πεδινές, ημιορεινές και ορεινές είναι αυθαίρετη και παρουσιάζει αποκλίσεις ανάλογα με την Υπηρεσία και την εφαρμογή (Ζιακόπουλος, 2016). Πιο συγκεκριμένα:

- Η Γενική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος χαρακτηρίζει τις περιοχές με βάση το υψόμετρο. Στην «Υψομετρική Κατανομή της Ελλάδος» του 1938: χαμηλή χαρακτηρίζεται η περιοχή που έχει υψόμετρο 0-200m, ημιορεινή για υψόμετρο 201-500m, ορεινή για υψόμετρο 501-1.500m, και υψηλή για υψόμετρο από 1.501m και πάνω.
- Η Κοινοτική Οδηγία 75/268/ΕΟΚ, που αναφέρεται σε θέματα γεωργίας, παίρνει υπ' όψη της το υψόμετρο και την κλίση. Για να χαρακτηριστεί μια περιοχή ορεινή τα όρια είναι πάνω από 600-800m για το υψόμετρο και πάνω από 20% για την κλίση.
- Η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδας (Ε.Σ.Υ.Ε., 1995) χαρακτηρίζει ως: **πεδινές** τις κοινότητες που η εδαφική περιοχή τους βρίσκεται στο σύνολό της ή κατά το μεγαλύτερο μέρος σε οριζόντιο ή ελαφρά κεκλιμένο έδαφος και σε υψόμετρο μικρότερο των 800m από την επιφάνεια της θάλασσας. Ως **ημιορεινές**, οι κοινότητες που η εδαφική περιοχή τους βρίσκεται στους πρόποδες των βουνών ή η έκτασή τους μοιράζεται η μισή περίπου στην πεδιάδα και η άλλη μισή στο βουνό, αλλά πάντα με υψόμετρο μέχρι 800m, για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής της κοινότητας. Τέλος, **ορεινές** χαρακτηρίζονται οι κοινότητες που είτε το μεγαλύτερο μέρος τους βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των 800m είτε η εδαφική τους επιφάνεια είναι πολύ κεκλιμένη και κατ' εξοχήν ανώμαλη, χωρίζεται δε από χαράδρες ή καλύπτεται από ορεινούς όγκους που δημιουργούν πολλαπλές εδαφικές πτυχώσεις με υψομετρικές διαφορές μεγαλύτερες από 400m.
- Τέλος, το Υπουργείο Γεωργίας το 1997 εξειδικεύει την παραπάνω ταξινόμηση και χαρακτηρίζει ως ορεινούς τους Δήμους και τις Κοινότητες σύμφωνα με τις παρακάτω προϋποθέσεις αναφορικά με το υψόμετρο και την κλίση που η κτηματική τους έκταση

να βρίσκεται: α) σε υψόμετρο άνω των 800m, β) σε υψόμετρο μεταξύ 600-800m και κλίση τουλάχιστον 16%, και γ) υψόμετρο κάτω από 600m και κλίση τουλάχιστον 20%.

Στη συγκεκριμένη εργασία, η περιοχή μελέτης, που είναι τμήμα της ευρύτερης λεκάνης του ποταμού Πείρου, είναι η ζώνη εκείνη που περικλείεται με το σκούρο γαλάζιο χρώμα στον χάρτη του Σχήματος 7. Επίσης, σε αυτόν τον χάρτη φαίνεται το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης αλλά και της ευρύτερης, και η θέση του σημείου υδρομέτρησης. Σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιήθηκαν 1682 στοιχεία με υψόμετρα από διάφορες θέσεις της περιοχής μελέτης και ομαδοποιήθηκαν ανά 100m. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα ομαδοποιημένα υψόμετρα σε αντιστοιχία με το ποσοστό της επιφάνειας που καταλαμβάνει η κάθε ομάδα. Τα δεδομένα από τα 1682 στοιχεία παρουσιάζονται αναλυτικά (χωρίς ομαδοποίηση) στο Σχήμα 8 με μορφή συνεχούς αθροιστικής καμπύλης, η οποία παριστάνει την επί τοις εκατό αθροιστική επιφάνεια της περιοχής σε συνάρτηση με το υψόμετρο. Επίσης, στο Σχήμα 9 δίνεται η κλίση του εδάφους για την περιοχή μελέτης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατός ο συσχετισμός μεταξύ υψομέτρων και κλίσεων, γιατί δεν είναι αποτυπωμένες σε χάρτη οι θέσεις που αντιστοιχούν στα συγκεκριμένα υψόμετρα.

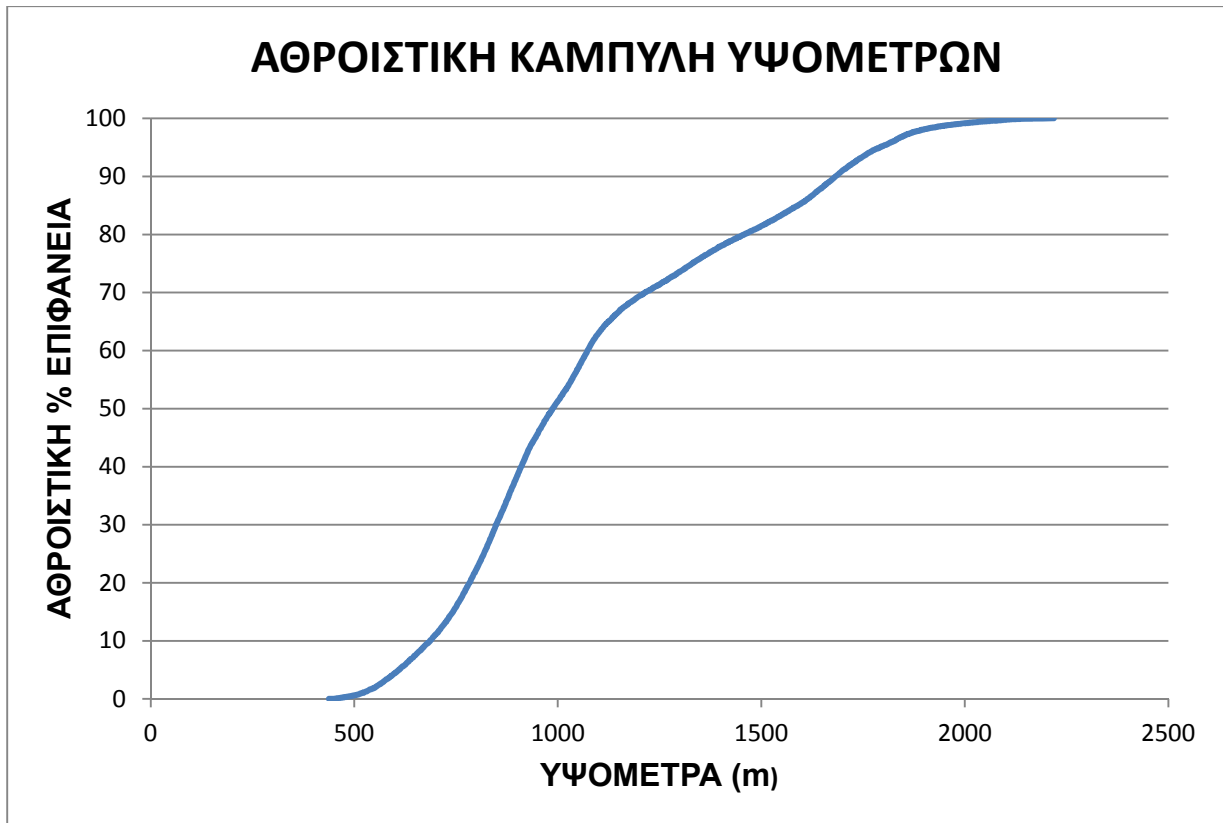
Από τον Πίνακα 1 και τα Σχήματα 7-9, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Γενικά, η περιοχή μελέτης έχει ελάχιστο και μέγιστο υψόμετρο 438 και 2.219m αντίστοιχα ενώ το μέσο υψόμετρο που αντιστοιχεί στα 1682 υψόμετρα είναι 1.088m.
- Το ποσοστό της περιοχής με υψόμετρο μικρότερο από 500m είναι μόλις 0,61%. Αντίστοιχα, το ποσοστό της περιοχής μελέτης με υψόμετρα μικρότερα των 600m είναι 4,45% και με υψόμετρα μικρότερα των 800m το ποσοστό ανεβαίνει στο 22,36%. Τέλος, το ποσοστό της περιοχής μελέτης με υψόμετρα μεταξύ 600 και 800m είναι 17,91%.
- Αντίστοιχα, το ποσοστό της περιοχής με υψόμετρα μεγαλύτερα από 800m, πάνω από το οποίο μια περιοχή χαρακτηρίζεται ως ορεινή, ανεξάρτητα κλίσεων, είναι πολύ μεγάλο και φθάνει το 77,64%.
- Αναφορικά με την κλίση (Σχήμα 9), η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από μεγάλες κλίσεις. Γενικά, οι περιοχές με μικρή κλίση εδάφους (μικρότερη από 20%) εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Επίσης, σε πολύ μικρότερη έκταση συναντιούνται περιοχές με μικρή κλίση

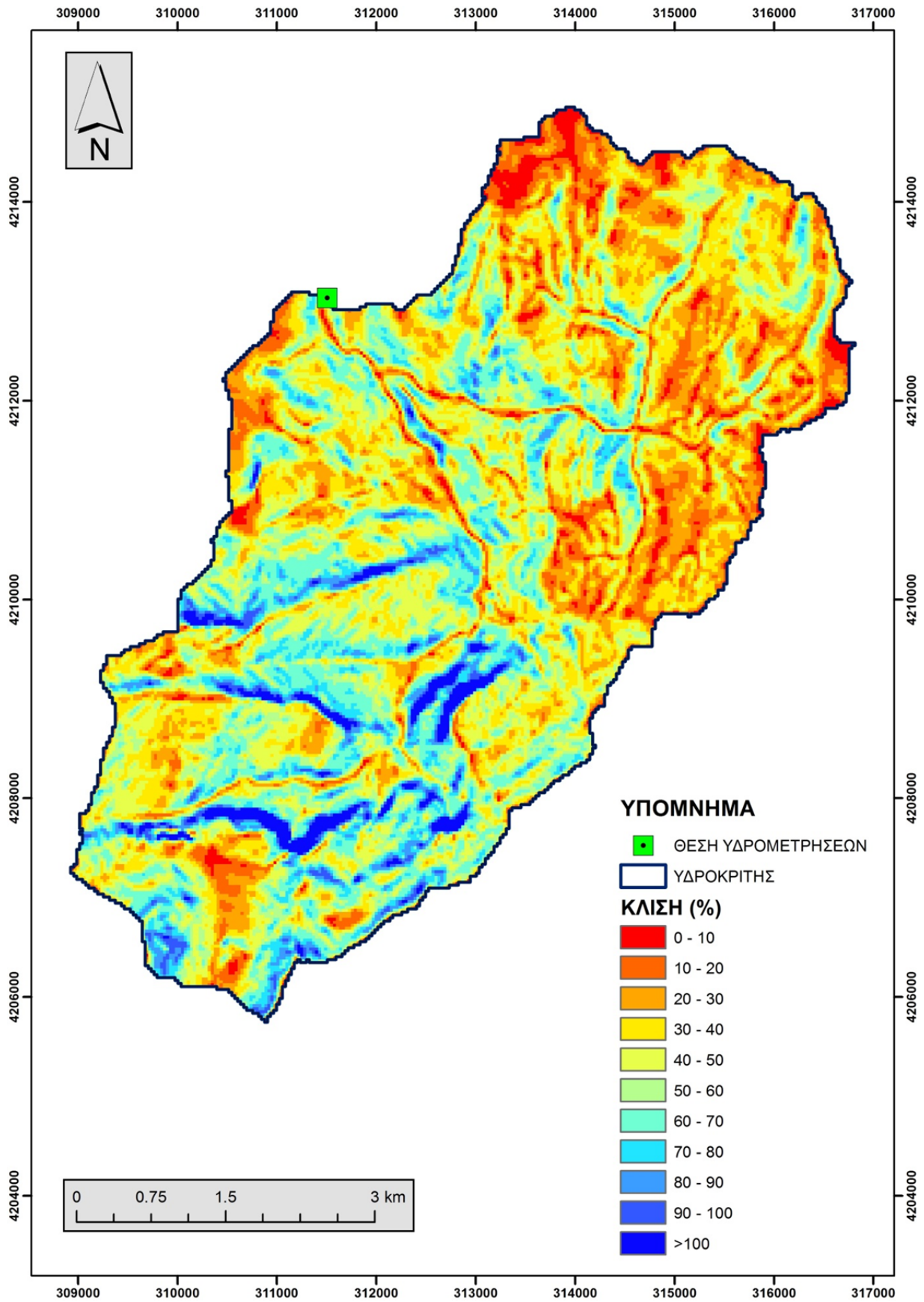
Πίνακας 1. Αντιστοιχία υψομέτρου και ποσοστού επιφάνειας στην περιοχή μελέτης

Εύρος Υψομέτρων (m)	Ποσοστό Επιφάνειας (%)	Αθροιστικό Ποσοστό Επιφάνειας (%)
438-500	0,61	0,61
501-600	3,84	4,45
601-700	6,66	11,11
701-800	11,25	22,36
801-900	16,04	38,40
901-1000	12,90	51,30
1001-1100	11,71	63,01
1101-1200	6,37	69,38
1201-1300	4,23	73,61
1301-1400	4,40	78,01
1401-1500	3,45	81,46
1501-1600	4,03	85,49
1601-1700	5,57	91,06
1701-1800	4,22	95,28
1801-1900	2,83	98,11
1901-2000	1,05	99,16
2001-2100	0,60	99,76
2101-2200	0,22	99,98
2201-2219	0,02	100,00

- Αντίθετα, το ποσοστό της περιοχής με κλίσεις μεγαλύτερες από 20%, πάνω από το οποίο μια περιοχή χαρακτηρίζεται ως ορεινή, είναι πολύ μεγάλο με τάξη μεγέθους 75-80%. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ποσοστό της περιοχής με μεγάλη κλίση είναι σε συμφωνία με το ποσοστό των περιοχών με μεγάλο υψόμετρο. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι περιοχές με μεγάλο υψόμετρο πιθανόν να ταυτίζονται με τις περιοχές μεγάλης κλίσης.
- Με βάση τα δεδομένα και τις παραπάνω παρατηρήσεις, η περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί κατά κύριο λόγο ορεινή στο μεγαλύτερο τμήμα της έκτασής της (περίπου 80%) ενώ το υπόλοιπο τμήμα ημιορεινό και πεδινό.



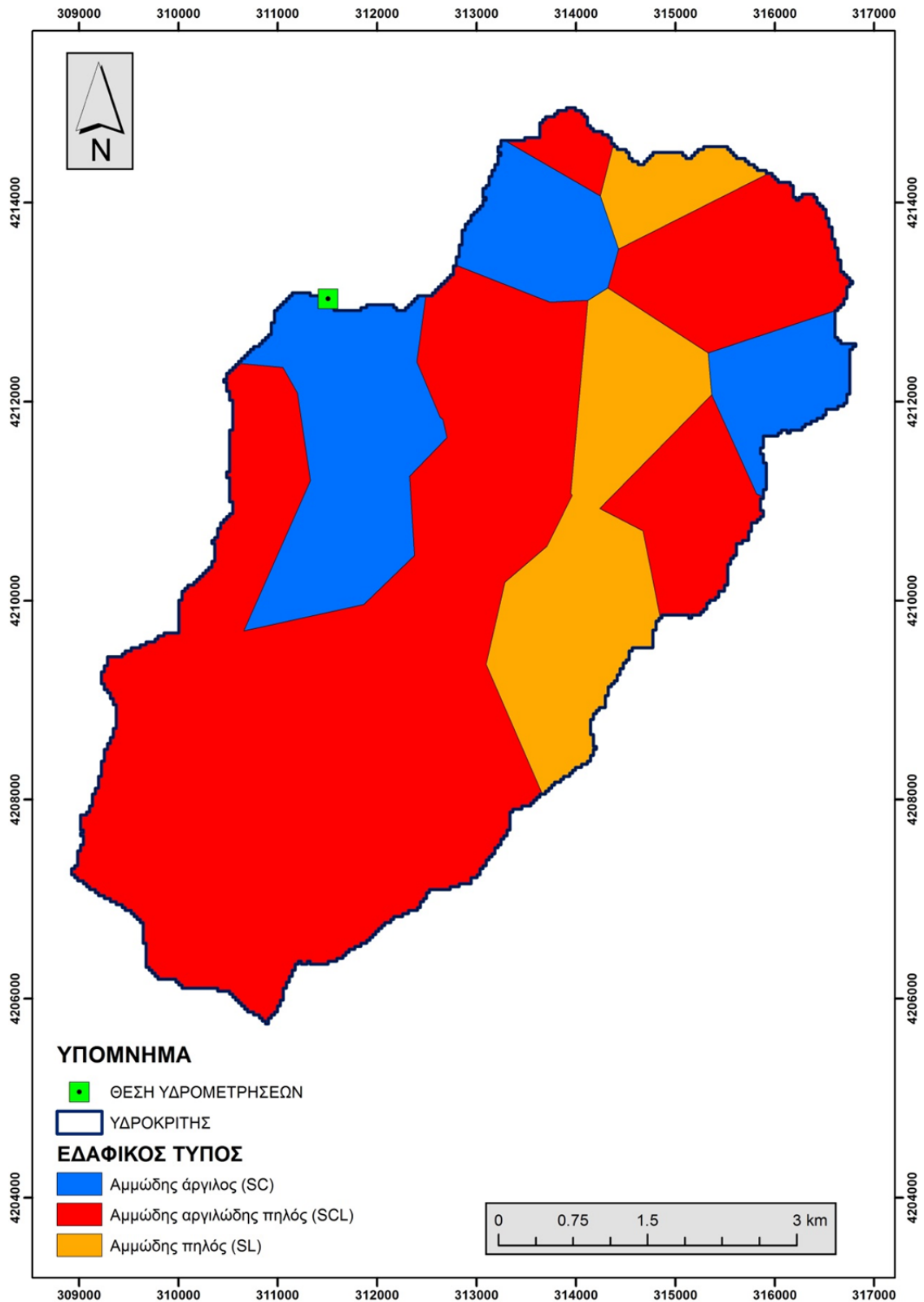
Σχήμα 8. Αθροιστική καμπύλη υψομέτρων της λεκάνης του ποταμού Πείρου



Σχήμα 9. Κλίση εδάφους στην περιοχή μελέτης

3.4 Τύποι εδάφους

Ο εδαφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης φαίνεται στο Σχήμα 10 ενώ στον Πίνακα 2 δίνεται η έκταση του κάθε τύπου εδάφους και το ποσοστό που καταλαμβάνει στην περιοχή.



Σχήμα 10. Εδαφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

Πίνακας 2. Τύποι εδαφών της περιοχής μελέτης και έκταση που καταλαμβάνουν

Εδαφικός Τύπος	Έκταση (km ²)	Ποσοστό %
Αμμώδης άργιλος (SC, Sandy Clay)	7,3	19,06
Αμμώδης αργιλώδης πηλός (SCL, Sandy Clay Loam)	25,1	65,54
Αμμώδης πηλός (SL, Sandy Loam)	5,9	15,40
Σύνολο	38,3	100,00

Από τον εδαφολογικό χάρτη του Σχήματος 10 και τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι ο εδαφικός τύπος που κυριαρχεί στην περιοχή μελέτης είναι ο αμμώδης αργιλώδης πηλός, ο οποίος καλύπτει έκταση 25,1km² που αντιστοιχεί στο 65,54% της περιοχής. Δεύτερος σε έκταση είναι η αμμώδης άργιλος, με έκταση 7,3 km² που αντιστοιχεί στο 19,06% του εδάφους ενώ 5,9 km² καλύπτονται από αμμώδη πηλό (15,40% του εδάφους).

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, ορίσαμε 23 θέσεις στην περιοχή μελέτης και προσδιορίσαμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες τους με χρήση GPS. Στη συνέχεια, πήγαμε στις συγκεκριμένες θέσεις και πήραμε δείγματα με χρήση δειγματολήπτη εδάφους. Τέλος, τα δείγματα αυτά αναλύθηκαν στο εργαστήριο με τη μέθοδο Bouyoucos. Τόσο οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας όσο και τα αποτελέσματα της ανάλυσης με την μέθοδο Bouyoucos παρουσιάζονται με λεπτομέρειες στο κεφάλαιο «Μεθοδολογία».

3.5 Υδρογραφικό δίκτυο

Η περιοχή μελέτης είναι τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Πείρου, που βρίσκεται στην βορειοδυτική Αχαΐα. Υπάγεται στο Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου (ΥΔ 02, λεκάνη απορροής GR28), το οποίο είναι ένα από τα δεκατέσσερα υδατικά διαμερίσματα στα οποία έχει διαιρεθεί ο ελληνικός χώρος με βάση τον Νόμο 1739/1987 (ΦΕΚ 201/Α/20-11-1987). Όπως φαίνεται στον χάρτη του Σχήματος 11, το Υδατικό Διαμέρισμα 02 περιλαμβάνει τμήματα των περιφερειών Πελοποννήσου και των Ιόνιων νησιών και η συνολική του έκταση του υπολογίζεται στα 7396,55km². Το Υδατικό Διαμέρισμα 02 της Βόρειας Πελοποννήσου αποτελείται από τις λεκάνες απορροής Πείρου - Βέργα – Πηνειού, τα Ρέματα Παραλίας Βόρειας Πελοποννήσου, και Κεφαλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου.

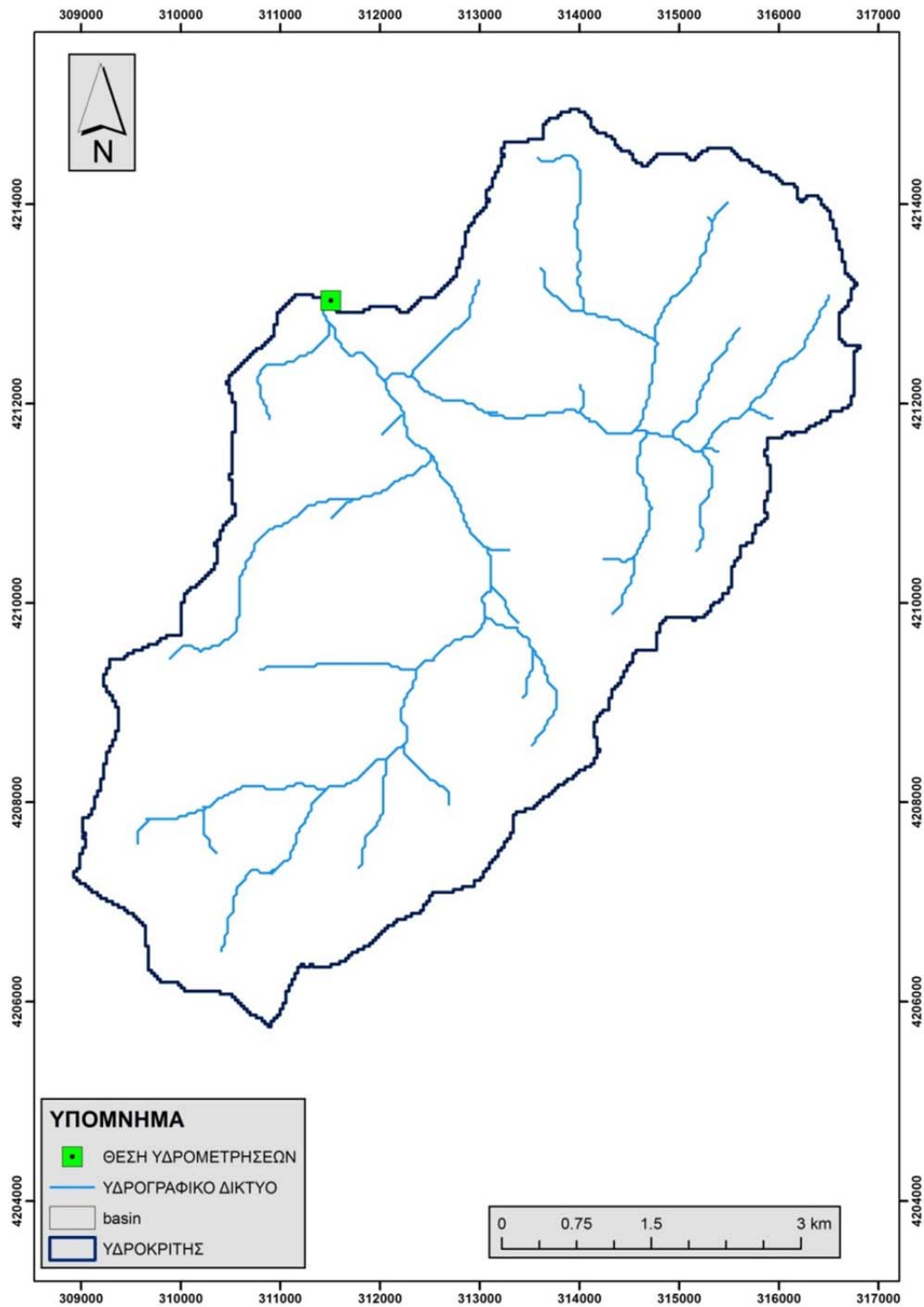
Η λεκάνη απορροής του ποταμού Πείρου, που θεωρείται ενιαία με την λεκάνη του Παραπείρου, έχει έκταση 578km² ενώ το μήκος της κύριας κοίτης του Πείρου είναι 42,6km.



Σχήμα 11. Υδατικό Διαμέρισμα 02 Πελοποννήσου και λεκάνες απορροής 027 και 028 (ΥΠΕΚΑ, 2013)

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Πείρου χαρακτηρίζεται από την ακτινωτή διάταξη χειμάρρων, υδατορεμάτων και ποταμοχειμάρρων, οι οποίοι πηγάζουν από το όρος Ερύμανθος, διασχίζουν την ορεινή και ημιορεινή περιοχή της λεκάνης και καταλήγουν στο κύριο ρεύμα του ποταμού Πείρου. Ο ποταμός Πείρος είναι ο κυριότερος αποδέκτης των επιφανειακών απορροών της ομόνομης λεκάνης και παρουσιάζει ροή νερού σε όλη τη διάρκεια του έτους. τροφοδοτείται κυρίως από πηγαίες αναβλύσεις, τα χιόνια στα

ορεινά και απευθείας από τις βροχές, ενώ προς τα καπάντη εμπλουτίζεται από νερά χειμάρρων και ρυακιών. Ο ανώτερος κορμός του ποταμού αρχίζει από τα ψηλότερα σημεία του όρους Ερύμανθος.



Σχήμα 12. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης

Ο Πείρος συγκεντρώνει τις απορροές χειμάρρων και σε αυτό το ανώτερο τμήμα κυριαρχούν τα φαινόμενα της διάβρωσης, οι σχετικά μεγάλες κλίσεις και οι απότομες πλαγιές. Η διαδρομή του χαρακτηρίζεται από ελιγμούς, από μικρές κλίσεις (μικρότερες από 20%) και από ομαλές πλαγιές. Στον κατώτερο κορμό του ποταμού Πείρου, το οποίο παρουσιάζει κλίση πολύ ομαλή και χωρίς ελιγμούς, υπερισχύει η απόθεση υλικών. Ο ποταμός εκβάλλει στον Πατραϊκό κόλπο, στην παραλία του Γιαλού Αλισσού (Δημοτική Ενότητα Δύμης, Δήμος Δυτικής Αχαΐας) και οι εκβολές του αποτελούν το φυσικό γεωγραφικό σύνορο μεταξύ της παραλίας του Αλισσού και της Κάτω Αχαΐας.

Αντίστοιχα, στον χάρτη του Σχήματος 12 απεικονίζεται το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, που είναι τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Πείρου, καθώς επίσης η ανάπτυξη των διαφόρων τμημάτων του και η θέση υδρομέτρησης. Η λεκάνη απορροής (υδροκρίτης) της συγκεκριμένης περιοχής έχει εμβαδόν $38,3\text{km}^2$ και περίμετρο $37,1\text{km}$. Αποτελείται από 61 κλάδους, από τους οποίους ο μικρότερος έχει μήκος 42m και ο μεγαλύτερος 2.964m , ενώ το μέσο μήκος των 61 κλάδων είναι 730m .

Αντίστοιχα, στους Πίνακες 3-5 δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των υδρομετρήσεων ανά μήνα και ημέρα για τα έτη 2011, 2012 και 2013, ενώ στο Σχήμα 13 φαίνεται η μέση μηνιαία παροχή για τα παραπάνω έτη. Από αυτά τα αποτελέσματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για το έτος 2011, παρατηρούμε ότι μειωμένες μέσες παροχές (μικρότερες από $0,5\text{m}^3/\text{s}$) παρατηρούνται για την περίοδο μεταξύ Ιουλίου και Νοεμβρίου, με την ελάχιστη μέση μηνιαία παροχή να είναι αυτή του Νοεμβρίου με $0,19\text{m}^3/\text{s}$. Αντίθετα, οι μεγαλύτερες παροχές (μεγαλύτερες από $1\text{m}^3/\text{s}$) παρατηρούνται για τους μήνες Ιανουάριο-Μάιο και τον Δεκέμβριο, με την μέγιστη να είναι αυτή του Μαρτίου με $3,2\text{m}^3/\text{s}$.
- Οι παρατηρήσεις για το 2012 είναι περίπου ίδιες με το 2011, με εξαίρεση την παροχή του Σεπτεμβρίου που είναι $0,62\text{m}^3/\text{s}$. Το 2012, η ελάχιστη παροχή καταγράφηκε τον Αύγουστο με $0,32\text{m}^3/\text{s}$ ενώ η μέγιστη τον Φεβρουάριο με $2,54\text{m}^3/\text{s}$. Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι για το 2012 δεν υπάρχουν στοιχεία παροχών από τον Μάρτιο μέχρι και τον Ιούνιο.
- Επίσης, οι ίδιες ποιοτικές παρατηρήσεις με το 2011 ισχύουν και για το 2013, με εξαίρεση τον Νοέμβριο που καταγράφηκε σημαντική παροχή νερού $1,2\text{m}^3/\text{s}$. Το 2013,

η ελάχιστη παροχή καταγράφηκε τον Οκτώβριο με $0,32\text{m}^3/\text{s}$ και η μέγιστη τον Μάρτιο με $3,54\text{m}^3/\text{s}$.

- Γενικά, για κάθε ένα έτος οι πρώτοι μήνες (Ιανουάριος-Απρίλιος) δίνουν μεγάλες μέσες παροχές (μεταξύ 2 και $3,54\text{m}^3/\text{s}$), και μάλιστα οι μέγιστες για τα τρία έτη παρατηρούνται σε αυτό το διάστημα. Στη συνέχεια, για τους μήνες Μάιος-Οκτώβριος παρατηρείται βαθμιαία ελάττωση της μέσης παροχής που κυμαίνεται μεταξύ 0,27 και $0,67\text{m}^3/\text{s}$, ενώ τους δυο τελευταίους μήνες των ετών 2011-2013 παρατηρείται εκ νέου αύξηση κυμαινόμενες μεταξύ 0,51 και $2,25\text{m}^3/\text{s}$, με εξαίρεση τον Νοέμβριο του 2011 που κατέγραψε την ελάχιστη ετήσια παροχή.
- Συγκρίνοντας τις μέσες ετήσιες παροχές, προκύπτει ότι η μεγαλύτερη παροχή καταγράφηκε το έτος 2013 με $1,495\text{m}^3/\text{s}$, ακολουθεί αυτή του 2011 με $1,23\text{m}^3/\text{s}$ και η μικρότερη είναι αυτή του 2012 με $1,13\text{m}^3/\text{s}$. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η μέση παροχή του έτους 2012 είναι πλασματική, γιατί λείπουν στοιχεία για μήνες που καταγράφονται μεγάλες παροχές έτους (Μάρτιος-Ιούνιος). Αν υπολογιστεί η μέση παροχή για το 2011 για τους ίδιους μήνες, τότε η παροχή ελαττώνεται σε $0,945\text{m}^3/\text{s}$. Επίσης, το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει συγκρίνοντας τις μέσες παροχές των αντίστοιχων μηνών των ετών 2011 και 2012. Άρα, η μεγαλύτερη μέση ετήσια παροχή παρατηρήθηκε το 2013 και η μικρότερη το 2011.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα υδρομέτρησης για το έτος 2011 (παροχή σε m³/s)

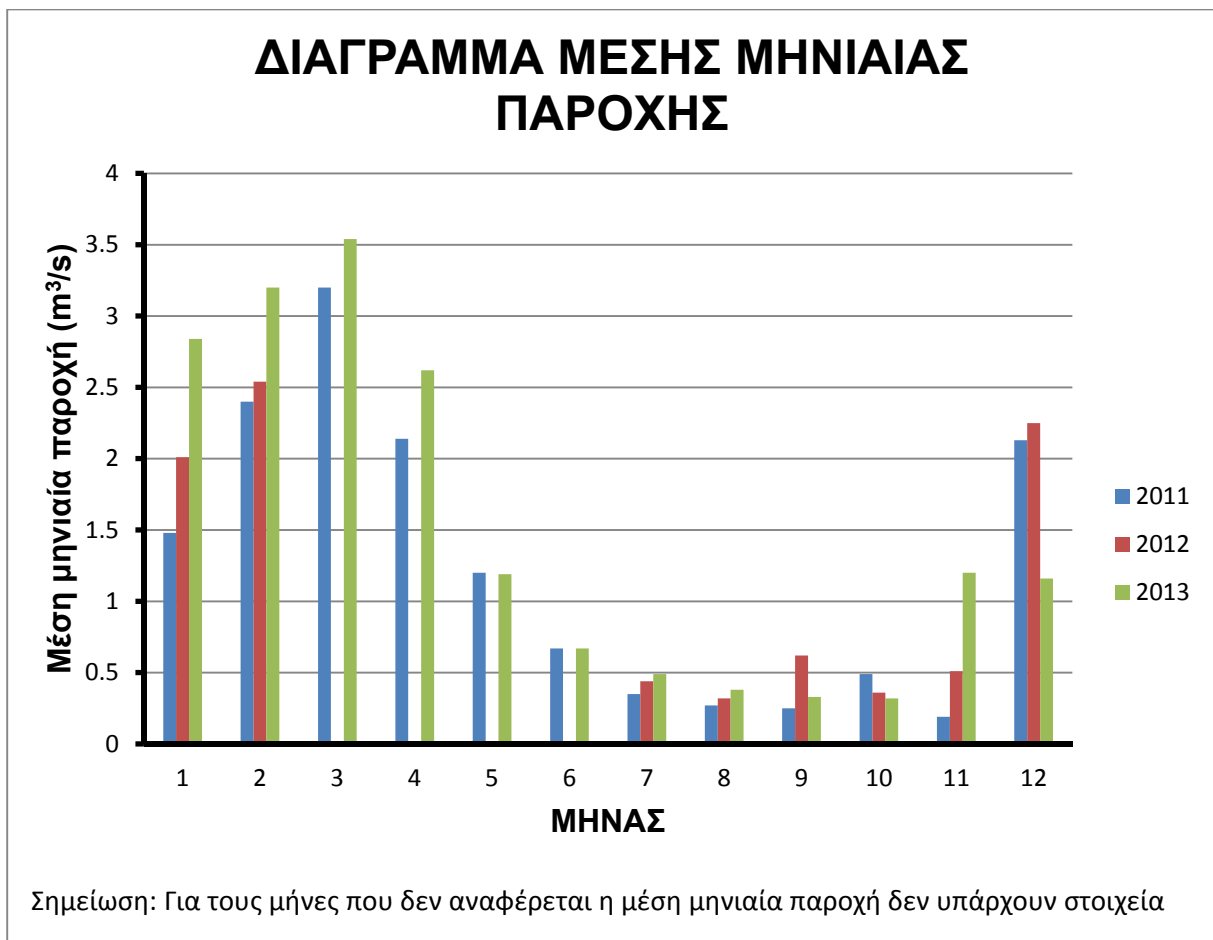
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ΜΟ
1	1.32	2.86	1.99	1.98	1.63	0.79	0.53	0.28	0.28	0.23	0.22	0.18	1.02
2	1.28	2.63	1.84		1.60	0.78	0.52	0.28	0.27	0.24	0.21	0.18	0.89
3	1.25	2.40	2.23		1.57	0.77	0.52	0.28	0.26	0.25	0.21	0.19	0.90
4	1.52	2.62	4.28		1.54	0.75	0.52	0.28	0.26	0.25	0.20	0.19	1.13
5	1.69	2.59	3.71		1.49	0.74	0.52	0.28	0.26	0.26	0.20	0.19	1.08
6	1.55	2.33	3.21		1.51	0.73	0.51	0.28	0.26	0.26	0.19	0.21	1.00
7	1.43	2.20	6.76		1.67	0.72	0.51	0.28	0.25	0.26	0.19	0.26	1.32
8	1.36	2.16			1.55	0.71	0.50	0.28	0.26	0.21	0.18	1.60	0.88
9	1.31	2.17			1.48	0.69	0.41	0.28	0.26	0.16	0.18	1.43	0.84
10	1.27	2.24	6.43		1.43	0.67	0.31	0.28	0.26	0.19	0.18	0.76	1.27
11	1.23	2.21	4.91		1.37	0.67	0.30	0.28	0.26	0.22	0.18	0.55	1.11
12	1.20	2.12	4.19		1.32	0.66	0.29	0.28	0.26	0.22	0.18	0.47	1.02
13	1.20	2.08	3.69		1.29	0.84	0.29	0.28	0.27	0.18	0.19	0.44	0.98
14	1.18	2.04	3.38		1.23	0.72	0.29	0.28	0.26	0.16	0.19	1.99	1.07
15	1.14	1.99	3.14		1.18	0.68	0.29	0.27	0.23	0.16	0.18	3.87	1.20
16	1.11	1.92	2.99	1.68	1.14	0.67	0.28	0.27	0.23	0.98	0.18	1.98	1.12
17	1.09	1.78	2.90	1.67	1.11	0.66	0.28	0.26	0.24	3.22	0.18	2.09	1.29
18	1.05	1.68	3.68	2.49	1.09	0.64	0.28	0.27	0.25	1.93	0.18	2.36	1.32
19	1.04	1.69	3.60	3.14	1.08	0.63	0.28	0.26	0.24	1.12	0.18	3.20	1.37
20	1.03	2.02	3.57	2.77	1.05	0.62	0.27	0.26	0.23	0.76	0.18	4.41	1.43
21	1.02	2.06	3.90	2.54	1.00	0.62	0.27	0.26	0.24	0.59	0.18	5.99	1.56
22	1.02	2.26	3.20	2.46	0.98	0.61	0.28	0.26	0.25	0.50	0.18	4.71	1.39
23	1.03	5.29	2.76	2.33	0.95	0.60	0.28	0.25	0.24	0.44	0.18	8.31	1.89
24	1.09	3.64	2.47	2.13	0.92	0.60	0.28	0.26	0.24	0.38	0.18	5.05	1.44
25	1.24	2.96	2.27	1.99	0.90	0.60	0.28	0.26	0.24	0.36	0.18	3.45	1.23
26	1.41	2.65	2.11	1.90	0.88	0.61	0.28	0.26	0.25	0.32	0.18	2.72	1.13
27	1.39	2.37	2.02	1.86	0.88	0.62	0.28	0.25	0.23	0.30	0.18	2.29	1.06
28	1.27	2.17	1.95	1.86	0.86	0.62	0.28	0.25	0.22	0.27	0.18	1.96	0.99
29	4.01		1.93	1.80	0.85	0.59	0.27	0.25	0.22	0.26	0.18	1.75	1.10
30	4.06		1.94	1.73	0.84	0.54	0.28	0.26	0.23	0.24	0.18	1.61	1.08
31	3.04		1.89		0.81		0.28	0.26		0.23		1.55	1.15
ΜΟ	1.48	2.4	3.2	2.14	1.2	0.67	0.35	0.27	0.25	0.49	0.19	2.13	

Πίνακας 4. Αποτελέσματα υδρομέτρησης για το έτος 2012 (παροχή σε m³/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ΜΟ
1	1.58	1.64						0.36	0.26	0.43	0.39	0.91	0.80
2	1.52	1.56						0.37	0.26	0.42	0.39	1.00	0.79
3	1.38	1.57						0.36	0.26	0.41	0.40	1.20	0.80
4	1.30	1.73						0.35	0.26	0.41	0.39	2.90	1.05
5	1.23	1.94						0.34	0.26	0.40	0.38	3.10	1.09
6	1.19	4.47						0.34	0.27	0.39	0.38	2.22	1.32
7	6.09	4.83						0.33	0.27	0.37	0.37	2.91	2.17
8								0.33	0.27	0.36	0.47	3.31	0.95
9								0.32	0.27	0.36	1.60	2.43	1.00
10								0.32	0.27	0.36	0.96	4.50	1.28
11							0.51	0.32	0.27	0.35	0.74	3.24	0.91
12							0.50	0.34	0.27	0.35	0.63	3.53	0.94
13							0.49	0.33	0.28	0.34	0.58	3.35	0.90
14							0.49	0.33	0.28	0.36	0.55	2.43	0.74
15							0.48	0.32	0.40	0.37	0.52	2.11	0.70
16							0.47	0.31	2.22	0.35	0.50	1.87	0.96
17							0.47	0.31	2.72	0.34	0.49	1.94	1.04
18							0.46	0.31	1.46	0.33	0.47	2.18	0.87
19							0.45	0.30	1.15	0.32	0.46	3.12	0.97
20							0.43	0.30	0.94	0.32	0.45	2.76	0.87
21	1.29						0.43	0.30	0.82	0.32	0.45	2.33	0.85
22	2.09						0.43	0.30	0.77	0.33	0.44	2.07	0.92
23	1.91						0.42	0.30	0.68	0.33	0.43	1.96	0.86
24	1.66						0.42	0.30	0.62	0.32	0.42	1.82	0.79
25	2.21						0.42	0.30	0.58	0.32	0.42	1.67	0.85
26	2.51						0.42	0.30	0.56	0.32	0.41	1.55	0.87
27	2.49						0.40	0.30	0.52	0.32	0.41	1.47	0.84
28	2.15						0.39	0.27	0.49	0.32	0.40	1.41	0.78
29	1.94						0.38	0.26	0.46	0.33	0.40	1.38	0.74
30	1.83						0.38	0.26	0.44	0.40	0.43	1.43	0.74
31	1.73						0.37	0.26		0.39		1.50	0.85
ΜΟ	2.01	2.54					0.44	0.32	0.62	0.36	0.51	2.25	

Πίνακας 5. Αποτελέσματα υδρομέτρησης για το έτος 2013 (παροχή σε m³/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ΜΟ
1	1.44	2.85	3.19	3.32	1.51	0.83	0.58	0.39	0.37	0.26	0.30	1.57	1.38
2	1.38	2.68	2.90	2.99	1.47	0.81	0.58	0.38	0.37	0.33	0.30	1.70	1.32
3	1.31	2.54	2.74	2.79	1.49	0.80	0.56	0.37	0.38	0.27	0.30	2.94	1.37
4	1.25	2.55	2.73	3.08	1.48	0.78	0.55	0.37	0.38	0.26	0.30	2.15	1.32
5	1.20	2.54	2.59	2.88	1.44	0.77	0.53	0.37	0.38	0.26	0.30	1.89	1.26
6	1.18	2.35	2.47	2.68	1.40	0.76	0.52	0.37	0.38	0.26	0.34	1.70	1.20
7	1.16	2.24	2.39	2.69	1.36	0.74	0.51	0.37	0.38	0.26	0.51	1.55	1.18
8	1.10	2.59	2.33	2.86	1.33	0.72	0.51	0.37	0.40	0.26	0.52	1.48	1.21
9	1.06	3.23	2.51	6.21	1.32	0.71	0.50	0.37	0.39	0.26	0.41	1.42	1.53
10	1.01	2.97	3.74	4.81	1.25	0.69	0.50	0.37	0.39	0.26	0.37	1.30	1.47
11	0.98	3.05	3.72	3.76	1.21	0.68	0.50	0.35	0.39	0.34	0.35	1.22	1.38
12	1.40	2.83	3.64	3.37	1.18	0.68	0.51	0.36	0.38	0.31	0.39	1.13	1.35
13	2.19	2.62	3.65	3.13	1.19	0.68	0.50	0.36	0.37	0.29	0.80	1.07	1.40
14	2.20	3.15	3.31	2.95	1.17	0.68	0.49	0.36	0.42	0.28	1.02	1.02	1.42
15	1.80	3.18	4.02	2.82	1.70	0.66	0.49	0.36	0.37	0.30	3.68	0.97	1.70
16	1.63	3.23	6.79	2.64	1.33	0.65	0.49	0.37	0.33	0.30	1.52	0.91	1.68
17	2.03	3.08	5.55	2.40	1.21	0.64	0.49	0.37	0.34	0.39	0.99	0.87	1.53
18	3.93	2.98	4.57	2.24	1.18	0.63	0.48	0.37	0.32	0.58	0.78	0.83	1.57
19	8.20	2.83	4.09	2.12	1.12	0.62	0.48	0.38	0.29	0.46	0.67	0.81	1.84
20	6.18	4.20	3.77	2.01	1.06	0.62	0.49	0.38	0.28	0.38	0.60	0.78	1.73
21	4.80	4.21	3.68	1.89	1.05	0.62	0.49	0.39	0.27	0.35	0.70	0.76	1.60
22	4.44	3.72	3.97	1.81	1.02	0.61	0.49	0.40	0.27	0.34	0.72	0.73	1.54
23	4.22	3.96	4.35	1.77	0.99	0.61	0.49	0.39	0.27	0.33	1.15	0.70	1.60
24	4.08	4.06	3.60	1.71	0.99	0.61	0.49	0.39	0.26	0.33	1.12	0.68	1.53
25	4.03	3.91	3.20	1.69	0.98	0.61	0.50	0.39	0.26	0.32	3.83	0.67	1.70
26	4.71	4.32	3.03	1.68	0.94	0.60	0.44	0.39	0.26	0.31	3.62	0.66	1.75
27	4.78	4.13	3.70	1.66	0.91	0.60	0.39	0.40	0.26	0.31	3.11	0.65	1.74
28	4.14	3.59	3.61	1.63	0.90	0.60	0.39	0.39	0.26	0.31	3.13	0.98	1.66
29	3.70		3.34	1.59	0.87	0.59	0.39	0.38	0.26	0.31	2.38	1.01	1.35
30	3.33		3.16	1.53	0.86	0.59	0.39	0.38	0.26	0.31	1.84	0.90	1.23
31	3.06		3.29		0.85		0.39	0.38		0.31		0.83	1.30
ΜΟ	2.84	3.2	3.54	2.62	1.19	0.67	0.49	0.38	0.33	0.32	1.20	1.16	



Σχήμα 13. Μέση μηνιαία παροχή νερού στη θέση υδρομέτρησης για τα έτη 2011-2013

3.6 Κλίμα

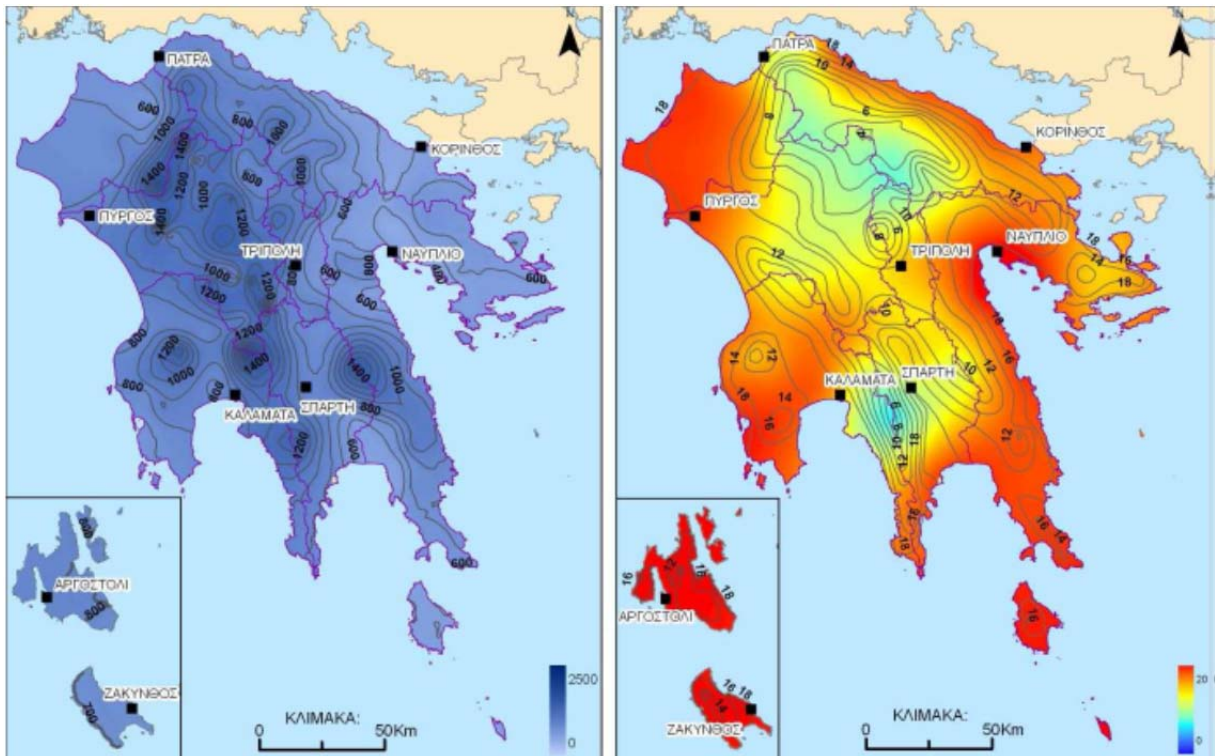
Ο όρος «κλίμα» (ή μακροκλίμα) αναφέρεται στις γενικές ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν, στη διάρκεια του χρόνου, σε μία μεγάλης έκτασης περιοχή της γης και χαρακτηρίζεται από μια ομάδα μετεωρολογικών δεδομένων, όπως θερμοκρασία, υγρασία, βροχοπτώσεις, κλπ. Αντίθετα, ο όρος «καιρός» αναφέρεται στις στιγμιαίες ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Το κλίμα μιας γεωγραφικής περιοχής διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από τους παρακάτω τρεις παράγοντες: α) το γεωγραφικό πλάτος, β) την αναλογία ξηράς/θάλασσας και γ) το ανάγλυφο (υψόμετρο). Τα κλίματα συνήθως διαιρούνται σε μεγάλες κατηγορίες με βάση το γεωγραφικό πλάτος και διακρίνονται σε: πολικά (ή αρκτικά), ψυχρά εύκρατα, ήπια εύκρατα και τροπικά. Όροι όπως υποτροπικά ή υπαρκτικά υποδηλώνουν ενδιάμεσα κλίματα.

Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης εξετάζονται στο πλαίσιο της μελέτης του κλίματος του νομού Αχαΐας. Η Αχαΐα βρίσκεται στο ΒΔ άκρο της Πελοποννήσου και βρέχεται από το Ιόνιο πέλαγος (δυτικά) και από τους κόλπους Πατραϊκό και Κορινθιακό (βόρεια), ενώ το εσωτερικό του νομού καλύπτεται από ορεινούς όγκους με μέγιστο υψόμετρο 1500-2200μ.

Γενικά, το κλίμα της Αχαΐας είναι εύκρατο αλλά ποικίλει ανάλογα με το υψόμετρο, την απόσταση από την θάλασσα και τα τοπικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής. Στις παράκτιες περιοχές το κλίμα είναι τυπικό μεσογειακό με ήπιους χειμώνες, πιο υγρούς στα δυτικά και λιγότερο στα ανατολικά και θερμά, ξηρά καλοκαίρια, με κάποιες βροχοπτώσεις στα δυτικά και ελάχιστες στα ανατολικά. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στα παράλια είναι περίπου 17°-18°C. Στο εσωτερικό του νομού και καθώς ανεβαίνει το υψόμετρο, το κλίμα είναι περισσότερο ψυχρό με δριμύτερους χειμώνες και πιο δροσερά καλοκαίρια, με περισσότερες βροχοπτώσεις (κυρίως στα ορεινά). Εξαιρέση αποτελούν τα χαμηλά πεδινά της ενδοχώρας, στα οποία τα καλοκαίρια είναι πιο θερμά καλοκαίρια σε σχέση με τις παράκτιες περιοχές.

Σχετικά με την λεκάνη απορροής Πείρου-Βέργα-Πηνειού (GR028), στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης, γενικά χαρακτηρίζεται από σημαντικό ύψος κατακρημνισμάτων που κυμαίνονται από περίπου 780mm στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης μέχρι 1000mm στο νοτιοδυτικό. Το σημαντικότερο ύψος βροχοπτώσεων παρατηρείται στις περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο, όπως είναι φυσικό. Τα παραπάνω μέσα κατακρημνίσματα ανά έτος αντιστοιχούν κατά προσέγγιση σε όγκο νερού ίσο με 1574,3Mm³ (ή 1,57 δις κυβικά μέτρα) που τροφοδοτεί την λεκάνη κατ' έτος. Το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων καταγράφεται μεταξύ Οκτωβρίου και Μαρτίου. Στην ορεινή περιοχή του Ερυμάνθου, που ανήκει και η περιοχή μελέτης, το ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται μεταξύ 800 και 1200mm, ενώ στην κορυφή μπορεί να φθάσει και τα 1600mm (Σχήμα 13). Στα ανάντη τμήματα των ποταμών το ύψος βροχής κυμαίνεται μεταξύ 600 και 800mm ενώ στα παράλια μεταξύ 400 και 600mm. Αντίστοιχα, η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή μελέτης είναι περίπου 10 °C (Σχήμα 14).



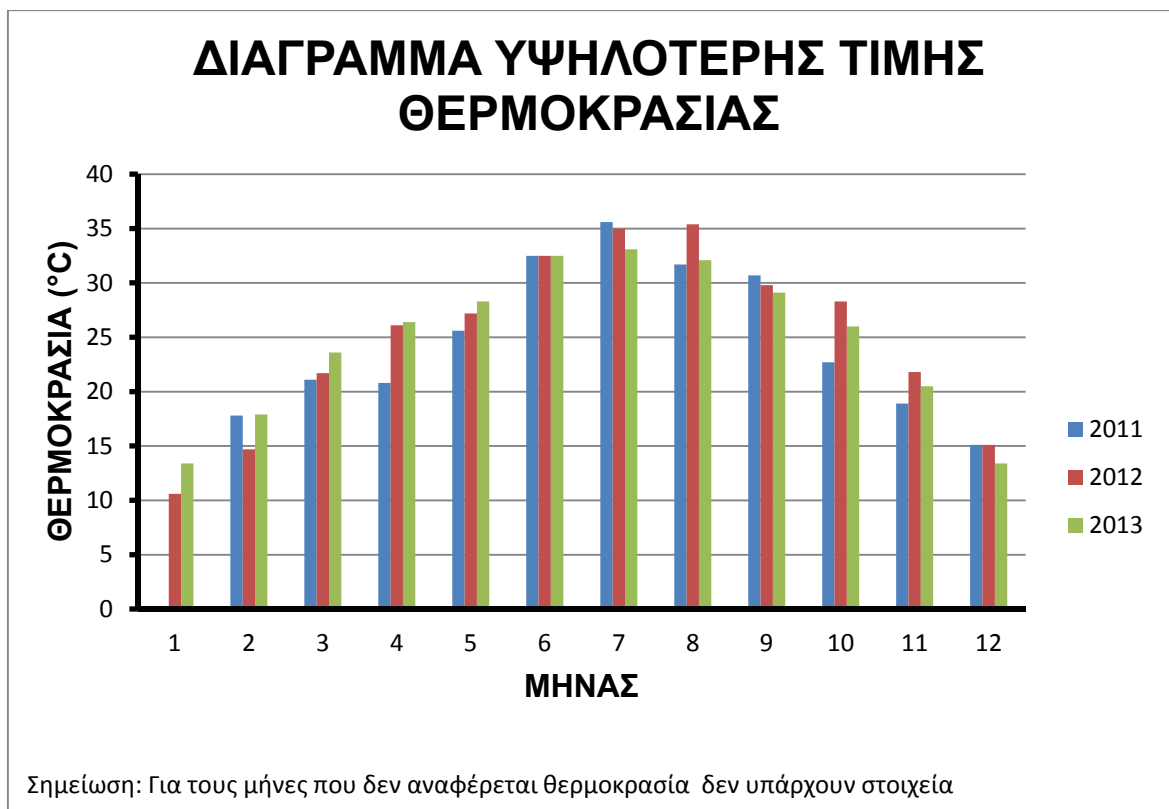
Σχήμα 14. Χάρτης με μέσα ετήσια ύψη βροχής (αριστερά) και μέσες ετήσιες θερμοκρασίες (δεξιά) της Πελοποννήσου (ΥΠΕΚΑ, 2013).

3.7 Μετεωρολογικά δεδομένα

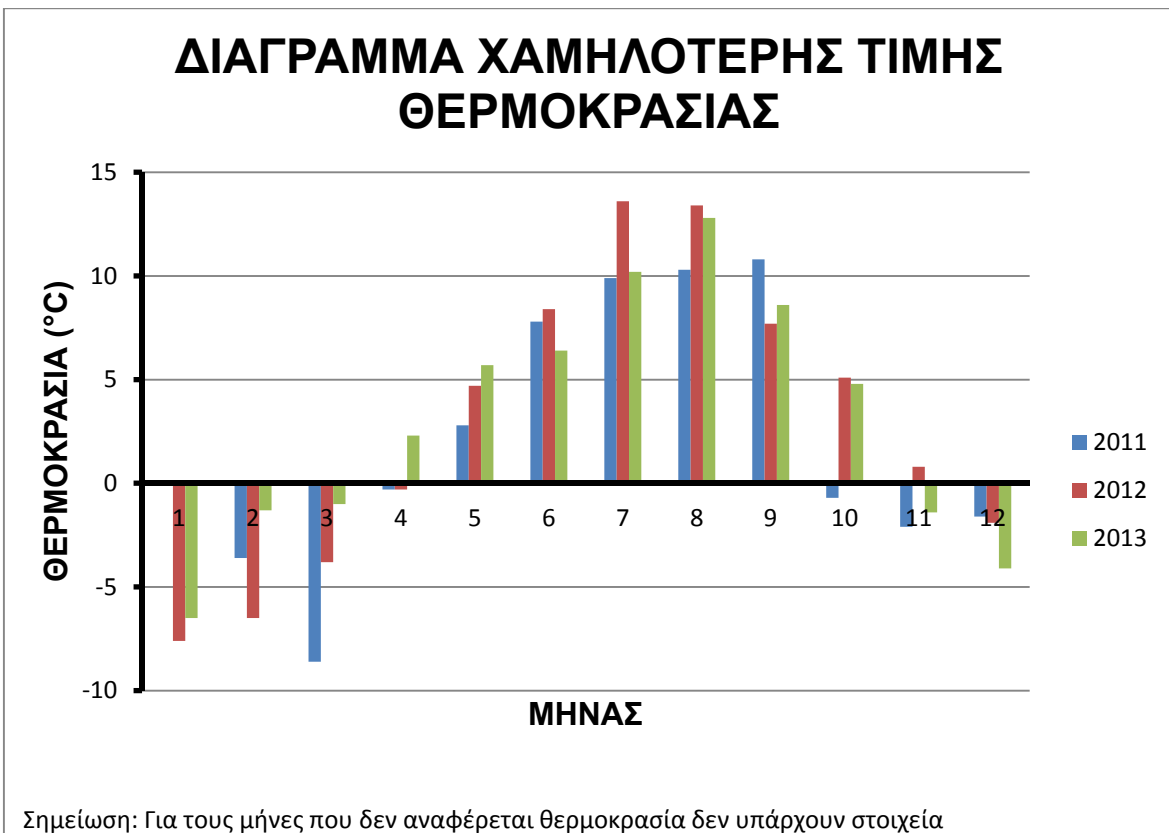
Τα μετεωρολογικά δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου ArcGIS-SWAT σε αυτήν την εργασία προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό που είναι εγκατεστημένος στην θέση Κάτω Βλασσία της περιοχής μελέτης (Σχήμα 7). Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αναφέρονται στις εξής παραμέτρους: θερμοκρασία (μέγιστη, ελάχιστη και μέση), κατακρήμνιση (ύψος βροχής), υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου. Τα παραπάνω στοιχεία αφορούν τα έτη 2011, 2012 και 2013 και παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

3.7.1 Θερμοκρασία

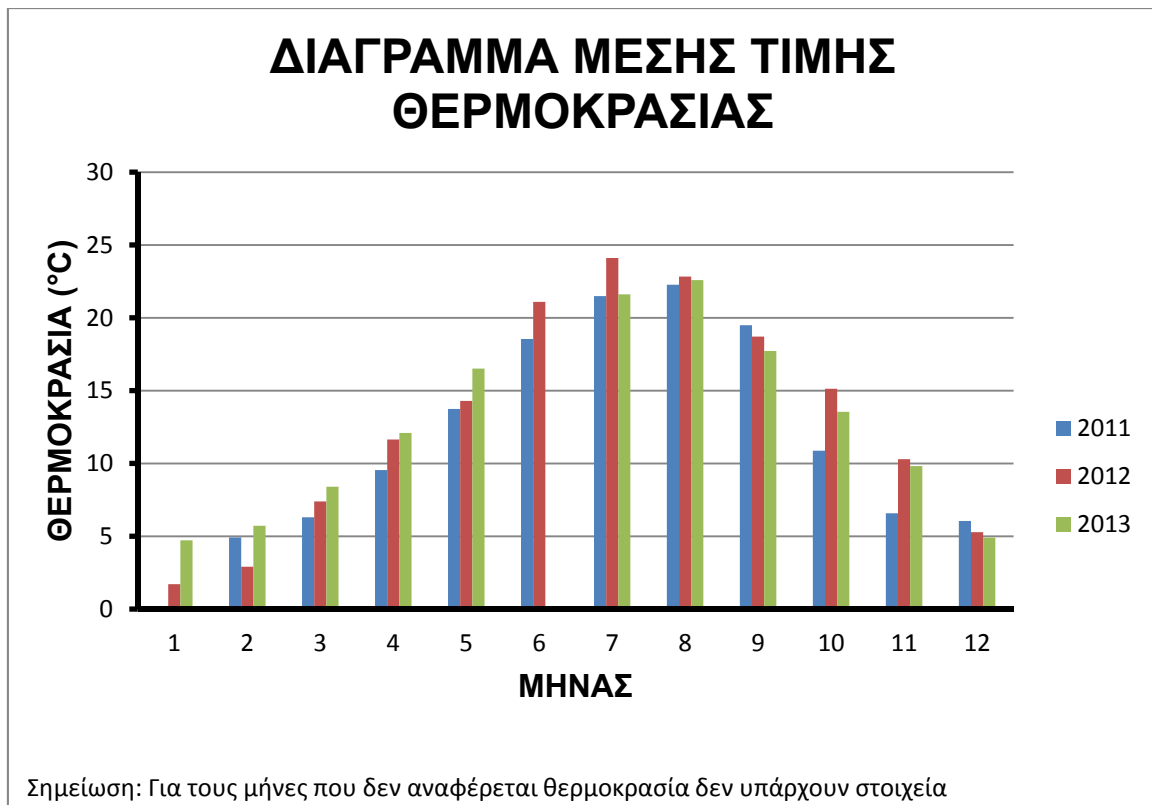
Τα στοιχεία που αναφέρονται στις θερμοκρασίες των ετών 2011-2013 φαίνονται στα διαγράμματα των Σχημάτων 15-17, τα οποία αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες (Σχήμα 15), μικρότερες (Σχήμα 16) και μέσες (Σχήμα 17) τιμές θερμοκρασίας. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:



Σχήμα 15. Διάγραμμα υψηλότερων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2011-2013.



Σχήμα 16. Διάγραμμα χαμηλότερων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2011-2013.



Σχήμα 17. Διάγραμμα μέσων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2011-2013.

- Το εύρος των υψηλότερων τιμών θερμοκρασίας για τα συγκεκριμένα έτη κυμαίνεται μεταξύ 10 και 36 °C, με την μεγαλύτερη τιμή να καταγράφεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και στα τρία έτη. Οι 3 μεγαλύτερες τιμές (35-36 °C) καταγράφηκαν τον: Ιούλιο του 2011 με 35,6 °C, Αύγουστο του 2012 με 35,4 °C και τον Ιούλιο του 2012 με 35 °C. Αντίστοιχα, η μικρότερη τιμή καταγράφεται τον Ιανουάριο του 2012 με 10,6 και του 13,6 °C ενώ δεν υπάρχουν στοιχεία για το 2011. Ειδικότερα, για την περίοδο Δεκέμβριος-Ιανουάριος των ετών 2011-2013 οι μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας που καταγράφηκαν ήταν μικρότερες από 15 °C ενώ τους υπόλοιπους μήνες μεγαλύτερες. Επομένως, οι τιμές των υψηλότερων θερμοκρασιών για τα έτη 2011-2013 μπορούν να χαρακτηριστούν ως αρκετά υψηλές.
- Αντίστοιχα, το εύρος των χαμηλότερων τιμών θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -8,6 °C (Μάρτιος 2011) και 13,7 °C (Ιούλιος 2012). Οι τρεις χαμηλότερες τιμές που καταγράφηκαν ήταν -8,6 °C (03/2011), -7,6 °C (01/2012) και -6,5 °C (02/2012 και 01/2013). Γενικά, κατά το διάστημα Νοέμβριος-Απρίλιος οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας είναι κάτω από το μηδέν, ενώ τους υπόλοιπους μήνες (Μάιος-Οκτώβριος) κυμαίνονται μεταξύ 2,8 και 13,6 °C. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι

χαμηλότερες τιμές θερμοκρασιών για τα έτη 2011-2013 παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα.

- Το διάγραμμα με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας παρουσιάζει την ίδια μορφή με το αντίστοιχο με τις υψηλές. Οι μέσες θερμοκρασίες για τα έτη 2011-2013 κυμαίνονται μεταξύ 1,71 °C (01/2012) και 24,11 °C (07/2012). Οι μέγιστες τιμές καταγράφονται για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και κυμαίνονται μεταξύ 21 και 24 °C περίπου ενώ οι ελάχιστες για την χρονική περίοδο Νοέμβριος-Μάρτιος κυμαινόμενες μεταξύ 1,71 °C (01/2012) και περίπου 10 °C (11/2012 και 11/2013).
- Από το διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας προκύπτει ότι η μέγιστη μέση θερμοκρασία καταγράφεται 5 φορές κατά το 2013 (μήνες: Ιανουάριος-Μάιος), 5 κατά το 2012 (Ιούνιος-Αύγουστος, Οκτώβριος-Νοέμβριος), και 2 για το 2011 (Σεπτέμβριος, Δεκέμβριος) με μικρή όμως διαφορά από τα άλλα δυο έτη. Συνεπώς, τα έτη 2012 και 2013 φαίνονται να είναι θερμότερα από το 2011.

3.7.2 Κατακρήμνιση

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται αναλυτικά και με ακρίβεια το μηνιαίο ύψος βροχής για τα έτη 2011-13 στον μετεωρολογικό σταθμό της Κάτω Βλασσίας. Επίσης, με βάση αυτά τα δεδομένα έγινε το διάγραμμα του Σχήματος 18.

Πίνακας 6. Μηνιαίο ύψος βροχής για τα έτη 2011-13 στον σταθμό της Κάτω Βλασσίας

Μήνας	Ύψος βροχής (mm)		
	2011	2012	2013
Ιανουάριος	-	134,6	263,6
Φεβρουάριος	128,5	261,2	228,4
Μάρτιος	221,1	50,6	192,8
Απρίλιος	97,4	190,0	52,6
Μάιος	89,4	157,8	106,4
Ιούνιος	47,2	0,0	6,4
Ιούλιος	0,0	0,0	0,4
Αύγουστος	18,2	39,8	0,2
Σεπτέμβριος	16,6	139,6	33,4
Οκτώβριος	196,6	47,6	96,4
Νοέμβριος	1,2	89,4	321,8
Δεκέμβριος	264,0	242,2	75,0



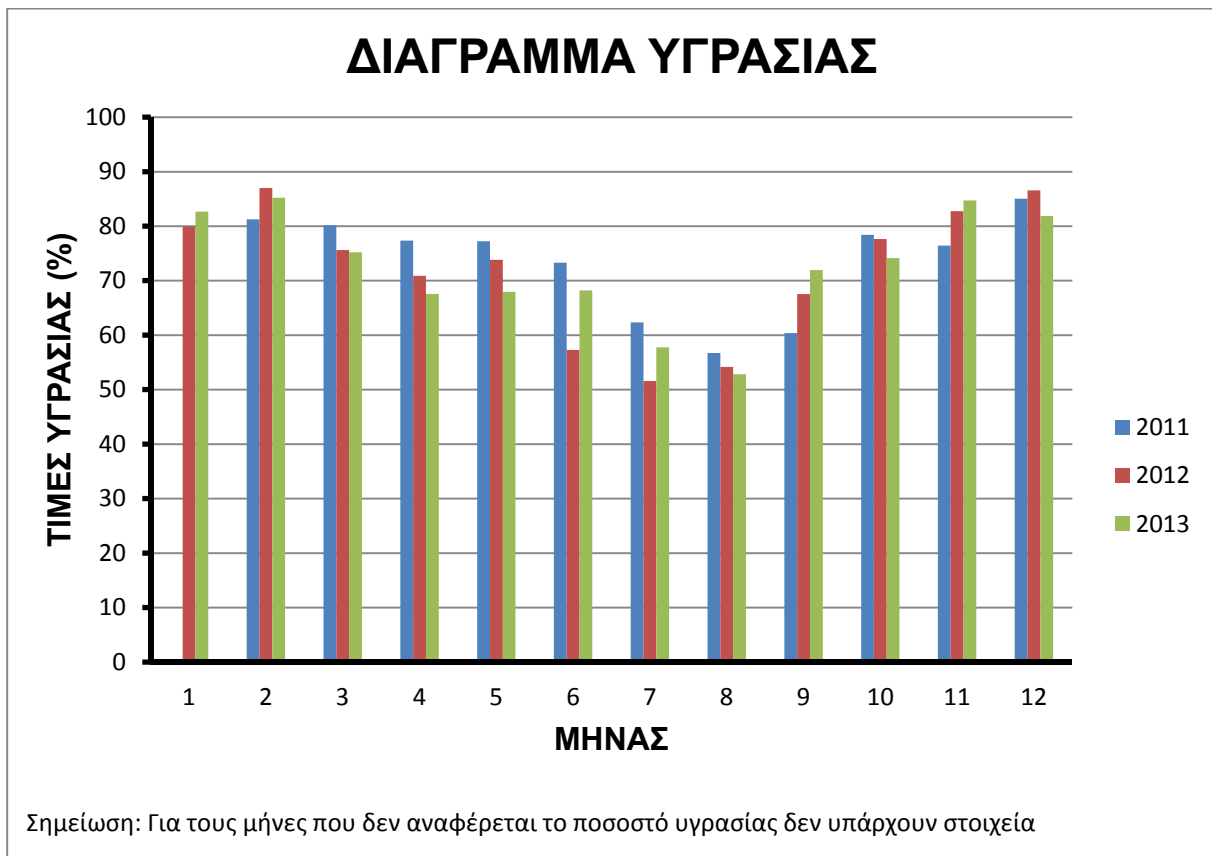
Σχήμα 18. Διάγραμμα κατακρήμνισης για τα έτη 2011-2013.

Με βάση τα δεδομένα που καταγράφηκαν στον σταθμό, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Γενικά, το ύψος βροχής δεν παρουσιάζει κάποια κανονικότητα στην μεταβολή του ούτε μεταξύ των μηνών για το ίδιο έτος ούτε μεταξύ των ετών για τον ίδιο μήνα.
- Είναι σαφές ότι το μικρότερο ύψος βροχής καταγράφεται γενικά την περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος, με χαρακτηριστικό ότι τον Ιούλιο το ύψος βροχής ήταν μηδενικό για όλα τα έτη. Επίσης, παρατηρείται ότι ο Σεπτέμβριος παρουσιάζει κάποια αστάθεια, όπως προκύπτει από το μεγάλο ύψος βροχής που καταγράφηκε το 2012, όπως και ο Ιούνιος αλλά σε μικρότερο βαθμό.
- Γενικά, το μεγαλύτερο ύψος βροχής καταγράφεται την περίοδο Οκτώβριος-Μάιος, όχι όμως για όλα τα έτη. Το μέγιστο ύψος βροχής καταγράφεται τον Νοέμβριο του 2013 με 321,8mm ενώ ακολουθούν οι μήνες 12/2011 με 264,0mm, 01/2013 με 263,6mm και 02/2012 με 261,2mm.

3.7.3 Υγρασία

Στο διάγραμμα του Σχήματος 19 δίνεται το ποσοστό υγρασίας για τα έτη 2011-13. Από αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια κανονικότητα στην μεταβολή της υγρασίας μεταξύ των μηνών για κάθε έτος χωριστά. Πιο συγκεκριμένα, αυξημένα ποσοστά υγρασίας καταγράφονται την περίοδο Ιανουάριος-Φεβρουάριος κάθε έτους, με τιμές μεγαλύτερες από 80%. Για τους επόμενους μήνες (Μάρτιος-Ιούνιος), παρατηρείται βαθμιαία ελάττωση με το ποσοστό υγρασίας να κυμαίνεται μεταξύ 80 και 60% αντίστοιχα. Οι ελάχιστες τιμές καταγράφονται το διάστημα Ιούλιος-Αύγουστος (γενικά 50 έως 60%). Τέλος, από τον Σεπτέμβριο κάθε έτους παρατηρείται σταδιακή αύξηση της υγρασίας μέχρις ότου αποκτήσει εκ νέου αυξημένες τιμές (μεγαλύτερες από 80%) τους δυο τελευταίους μήνες του κάθε έτους.



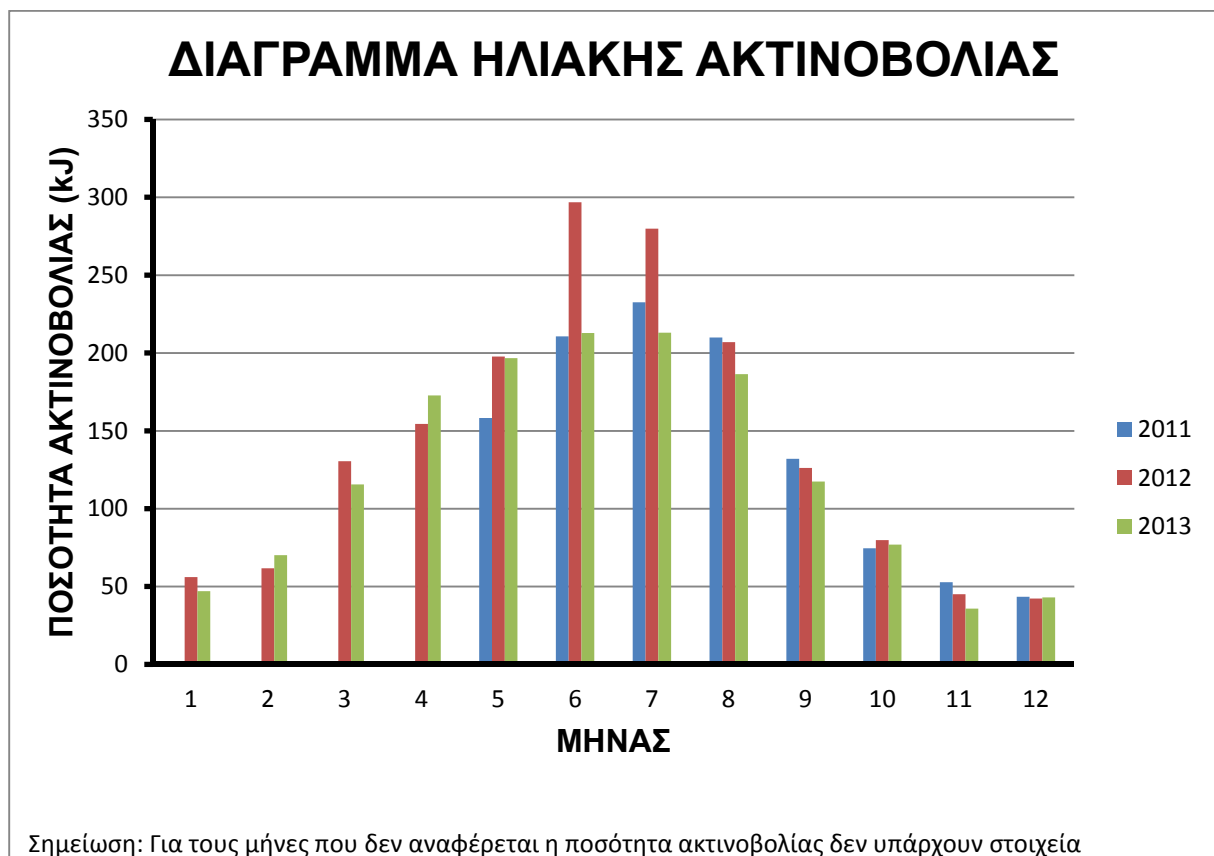
Σχήμα 19. Διάγραμμα υγρασίας για τα έτη 2011-2013.

3.7.4 Ηλιακή ακτινοβολία

Στο διάγραμμα του Σχήματος 20 δίνεται η ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας στον μετεωρολογικό σταθμό της Κάτω Βλασσίας για τα έτη 2011-13. Από αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια κανονικότητα στην μεταβολή της ποσότητας ακτινοβολίας

μεταξύ των μηνών για κάθε έτος χωριστά, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα:

- Την περίοδο Ιανουάριος-Φεβρουάριος κάθε έτους παρατηρούνται μικρές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας (μικρότερες από 71kJ). Για τους επόμενους μήνες (Μάρτιος-Μάιος) παρατηρείται βαθμιαία αύξηση, με την ακτινοβολία να κυμαίνεται μεταξύ 115 και 198kJ αντίστοιχα. Το διάστημα Ιούνιος-Αύγουστος καταγράφονται οι μέγιστες τιμές ακτινοβολίας (από 210 μέχρι 297kJ), όπως άλλωστε αναμενόταν. Η ακτινοβολία αρχίζει να ελαττώνεται από τον Σεπτέμβριο, που είναι στα επίπεδα του Μαρτίου, και παίρνει τις ελάχιστες τιμές (κάτω από 50kJ) τους δυο τελευταίους μήνες του κάθε έτους.
- Για τον ίδιο μήνα των διαφόρων ετών, η ακτινοβολία δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, με εξαίρεση τον Ιούνιο και Ιούλιο του 2012, όπου η ακτινοβολία παρουσιάζει σημαντική μεταβολή σε σχέση με τα έτη 2011 και 2013.

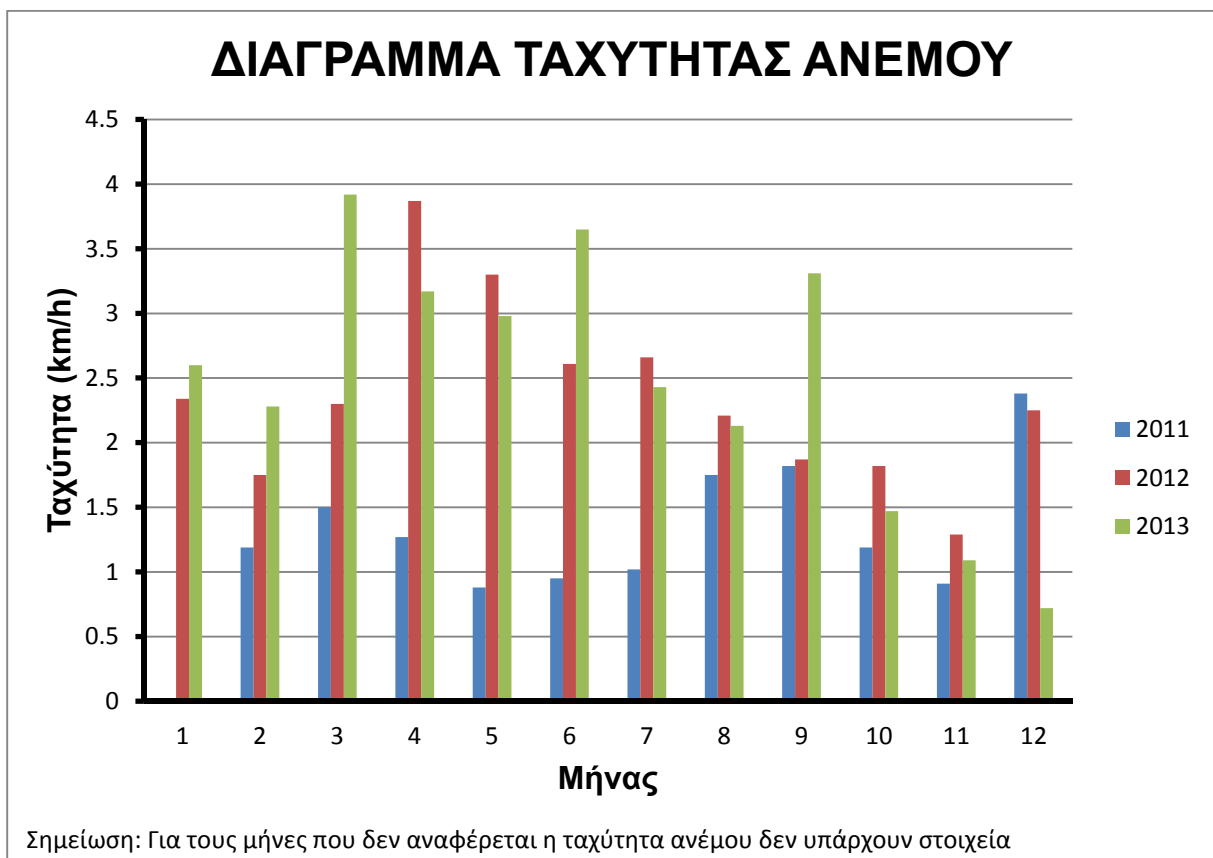


Σχήμα 20. Διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας για τα έτη 2011-2013.

3.7.5 Ταχύτητα ανέμου

Στο διάγραμμα του Σχήματος 21 δίνεται η ταχύτητα του ανέμου όπως καταγράφηκε στον μετεωρολογικό σταθμό της Κάτω Βλασσίας για τα έτη 2011-13. Από αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι:

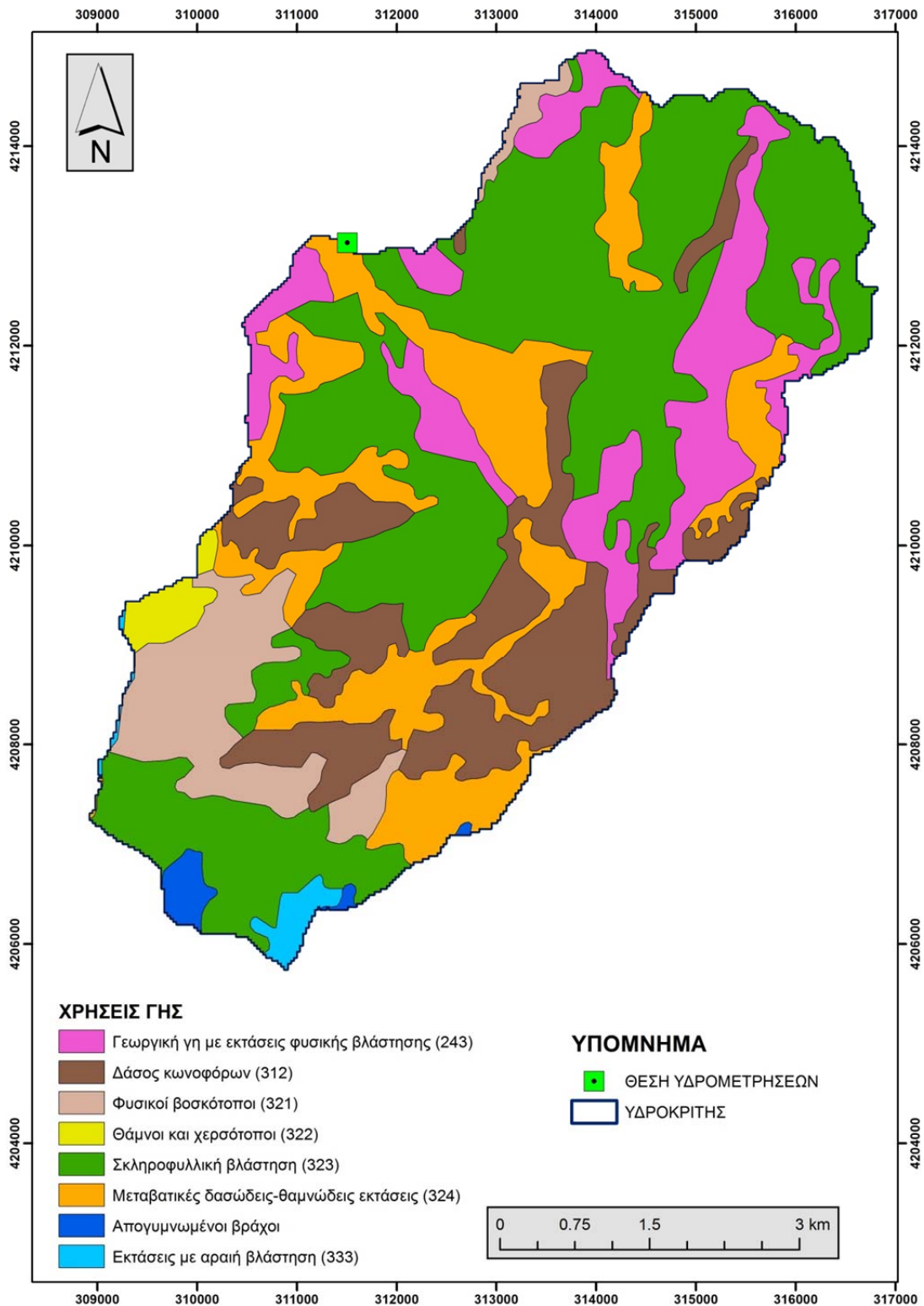
- Δεν παρατηρείται κάποια κανονικότητα στην μεταβολή της ταχύτητας μεταξύ των μηνών για το ίδιο έτος. Συγκρίνοντας τις τιμές της ταχύτητας για τα έτη 2012 και 2013, δεν προκύπτει κάποια κανονικότητα μεταξύ των ετών, ενώ οι τιμές της ταχύτητας για το 2011 είναι σαφώς μικρότερες από τις αντίστοιχες των ετών 2012 και 2013.
- Οι ελάχιστη τιμή που καταγράφηκε ήταν 0,88km/h (05/2011) ενώ η μέγιστη 3,92km/h (03/2013). Αναλυτικότερα, για το 2011 οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ 0,88 και 2,38km/h, για το 2012 μεταξύ 1,29 και 3,87 km/h, και για το 2013 μεταξύ 0,72 και 3,92km/h.



Σχήμα 21. Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου για τα έτη 2011-2013.

3.8 Χρήσεις γης

Στον χάρτη του Σχήματος 22 απεικονίζονται οι σημερινές χρήσεις γης. Επίσης, στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται η έκταση και το ποσοστό επί τοις εκατό για κάθε χρήση.



Σχήμα 22. Σημερινές χρήσεις γης της περιοχής μελέτης

Πίνακας 7. Χρήσεις γης της περιοχής μελέτης και έκταση που καταλαμβάνουν

Χρήση Γης	Έκταση (km ²)	Ποσοστό %
Γεωργική γη με εκτάσεις φυσικής βλάστησης (243)	5,0	13,06
Δάσος κωνοφόρων (312)	6,3	16,45
Φυσικοί βοσκότοποι (321)	3,1	8,09
Θάμνοι και χερσότοποι (322)	0,5	1,31
Σκληροφυλλική βλάστηση (323)	15,7	40,99
Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις (324)	7,1	18,54
Απογυμνωμένοι βράχοι (332, σκούρο γαλάζιο χρώμα)	0,3	0,78
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση (333)	0,3	0,78
Σύνολο	38,3	100,00

Από τα παραπάνω, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η γεωργική γη με διάσπαρτες εκτάσεις φυσικής βλάστησης (κωδικός CORINE 2.4.3) ανήκει στην υποκατηγορία κατά CORINE «Ετερογενείς γεωργικές περιοχές» και καλύπτει μόλις το 13% περίπου της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης.
- Το υπόλοιπο 87% της έκτασης της περιοχής μελέτης ανήκει στην ομάδα 3 «Δάση και ημι-δασικές περιοχές» σύμφωνα με την ταξινόμηση CORINE (Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία, 2017). Από αυτό το ποσοστό περίπου το 16,5% αντιστοιχεί στην κατηγορία «Δάση» με κωδικό κατά την ταξινόμηση χρήσης γης CORINE 3.1, το 69% αντιστοιχεί στην κατηγορία «Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης» (κωδικός 3.2), ενώ περίπου το 1,5% αντιστοιχεί στην κατηγορία «Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση» (κωδικός 3.3).
- Η κατηγορία «Δάση και ημι-δασικές περιοχές» της περιοχής μελέτης αποτελείται αποκλειστικά από βλάστηση της υποκατηγορίας «Δάσος κωνοφόρων» (κωδικός CORINE 3.1.2). Αυτή η υποκατηγορία περιλαμβάνει βλάστηση κυρίως με δένδρα, θάμνους και άλλη χαμηλή βλάστηση, όπου κυριαρχούν τα κωνοφόρα είδη (π.χ., δάση με πεύκα, έλατα, κέδρους).
- Η κατηγορία 3.2 «Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης» υποδιαιρείται στις εξής υποκατηγορίες: α) Φυσικοί βοσκότοποι (κωδικός 3.2.1). Είναι χαμηλής παραγωγικότητας βοσκότοποι, βρίσκονται συχνά σε περιοχές με ανώμαλο και ανισόπεδο έδαφος και περιλαμβάνουν βραχώδεις περιοχές, φρύγανα και χερσότοπους. Καταλαμβάνουν περίπου το 8,1% της περιοχής μελέτης β) Θάμνοι και χερσότοποι

(κωδικός 3.2.2). Η γη έχει βλάστηση με χαμηλή και κλειστή εδαφοκάλυψη, όπου κυριαρχούν οι θάμνοι, τα φρύγανα και η ποώδης βλάστηση. Οι παραπάνω θαμνώδες δημιουργούνται σε χαμηλά και μέσα υψόμετρα με ασβεστολιθικό υπόστρωμα κατά κύριο λόγο. Καταλαμβάνουν περίπου το 1,3% της περιοχής μελέτης. γ) Σκληροφυλλική βλάστηση (κωδικός 3.2.3), η οποία με 41% καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης. Η βλάστηση είναι θαμνώδης και σκληροφυλλική και περιλαμβάνει θάμνους όπως η μακκία και τα φρύγανα. δ) Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 3.2.4), που καταλαμβάνουν περίπου το 18,5% της περιοχής μελέτης. Περιλαμβάνουν θαμνώδη ή ποώδη βλάστηση με διάσπαρτα δένδρα. Αυτές οι εκτάσεις μπορεί να αντιπροσωπεύουν είτε υποβαθμισμένο δασικό οικοσύστημα είτε δασική έκταση σε φάση αναγέννησης-αναδάσωσης.

- Η κατηγορία 3.3 «Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση», υποδιαιρείται στις εξής υποκατηγορίες: α) Απογυμνωμένοι βράχοι (κωδικός 3.3.2). Η έκταση αυτή αποτελεί περίπου το 0,8% της περιοχής μελέτης και περιλαμβάνει βράχους και προεξοχές βράχων, απότομες πλαγιές και βραχώδεις εξάρσεις λόφων. β) Εκτάσεις με αραιή βλάστηση (κωδικός 3.3.3), που καταλαμβάνουν το 0,8% της περιοχής. Αποτελούνται από εκτάσεις με χαρακτηριστικά τούνδρας, στέπας καθώς επίσης από περιοχές με αμμολόφους. Σε αυτήν την υποκατηγορία εντάσσεται και η αραιή βλάστηση των ψηλών βουνών (αλπική ζώνη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Κοκκομετρική ανάλυση εδάφους

4.1.1 Εισαγωγή

Γενικά, «κοκκομετρική ανάλυση» ή «μηχανική ανάλυση» κάποιου υλικού (π.χ., έδαφος, πέτρωμα, μέταλλευμα) ορίζεται η τεχνική εκείνη με την οποία το υλικό ταξινομείται σε διάφορα κλάσματα με βάση το μέγεθος των κόκκων του. Ειδικότερα για έδαφη, κοκκομετρική ανάλυση είναι η εργαστηριακή τεχνική με την οποία γίνεται ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύστασής του, δηλαδή της επί τοις εκατό περιεκτικότητάς του σε άμμο, ιλύ και άργιλο. Οι περισσότερες αναλύσεις εδάφους, εκτός εκείνων που αφορούν τις φυσικές του ιδιότητες, γίνονται σε λεπτομερές υλικό, δηλαδή στα τεμαχίδια του εδάφους που περνάνε από κόσκινο με άνοιγμα οπών 2mm. Η στερεή φάση του εδάφους υποδιαιρείται, με βάση πάντα την διάμετρο των τεμαχιδίων της, στα εξής κλάσματα (Πίνακας 8):

Πίνακας 8. Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με την κοκκομετρία τους (Σινάνης, 2015).

Κλάσμα	Διάμετρος κόκκων (mm)	
	Διεθνές Σύστημα	Αμερικάνικο Σύστημα
Χονδρή άμμος	2 – 0,2	2 – 0,2
Λεπτή άμμος	0,2 – 0,02	0,2 – 0,05
Ιλύς	0,02 – 0,002	0,05 – 0,002
Άργιλος	< 0,002	< 0,002

Η γνώση του ποσοστού συμμετοχής του καθενός κλάσματος στη σύσταση των εδαφών, είναι βασικό κριτήριο για το χαρακτηρισμό τους. Επίσης, η σύσταση του εδάφους στα τρία κλάσματα είναι σημαντική για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες, επειδή το κάθε κλάσμα έχει διαφορετική ορυκτολογική σύσταση, μέγεθος και ειδική επιφάνεια, και, συνεπώς, επηρεάζει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους με διαφορετικό τρόπο.

Τα τεμαχίδια της άμμου των εδαφών, θεωρούνται συνήθως αδρανή δομικά συστατικά, που αποτελούνται κυρίως από πρωτογενή ορυκτά, με μικρή ειδική επιφάνεια επειδή έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος. Αντίθετα, τα τεμαχίδια της αργίλου έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους και θεωρούνται το ενεργό συστατικό του εδάφους. Η άργιλος αποτελείται κατά κανόνα από δευτερογενή ορυκτά που έχουν αρνητικό φορτίο, με αποτέλεσμα να συγκρατούν, κυρίως υπό ανταλλάξιμη μορφή, διάφορα ανόργανα στοιχεία και

νερό που είναι απαραίτητα για την θρέψη των φυτών. Από τα παραπάνω κλάσματα, τα τεμαχίδια της αργίλου κατά κύριο λόγο αλλά και τα άλλα (ιλύς, άμμος) σχηματίζουν συσσωματώματα, δηλαδή ομάδες τεμαχιδίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο πιο μικρό είναι το μέγεθος των τεμαχιδίων τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση για να σχηματιστούν συσσωματώματα.

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών σε αυτή της εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Bouyoucos, η οποία είναι η πιο διαδεδομένη γιατί είναι απλή και γρήγορη. Εκτός από αυτή, άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η μέθοδος του σιφωνίου, η μέθοδος Weil, και η μέθοδος Gee-Bauder.

Η μέθοδος Bouyoucos προσδιορίζει την κοκκομετρική σύσταση ενός αιωρήματος εδάφους (και εν συνεχεία υπολογίζεται η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους) με μετρήσεις της πυκνότητάς του με ειδικά σχεδιασμένο πυκνόμετρο (Σινάνης, 2015). Η μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση της πυκνότητας ενός εδαφικού αιωρήματος σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα και σε συγκεκριμένο βάθος και στον συσχετισμό της με τη μάζα των αιωρούμενων τεμαχιδίων στο συγκεκριμένο βάθος την ίδια χρονική στιγμή. Η ακτίνα αυτών των τεμαχιδίων μπορεί να υπολογιστεί, στο χρόνο και το βάθος που γίνονται οι μετρήσεις, από την εξίσωση Stokes (Εξίσωση 1).

$$V = \frac{2(D-d)gx^2}{9\eta} \quad (1)$$

όπου:

V = η ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων σε cm/sec

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας 981 cm/sec²

D = η πυκνότητα των τεμαχιδίων σε g/cm³

d = η πυκνότητα του υγρού σε g/cm³

x = η ακτίνα των σφαιρικών τεμαχιδίων σε cm

η = ο συντελεστής ιξώδους του υγρού σε dyne · sec/cm² (1 dyne = g · cm/sec²)

Η εξίσωση μετασχηματίζεται ώστε η ακτίνα να είναι συνάρτηση του βάθους, στο οποίο βρίσκεται βυθισμένο το πυκνόμετρο κατά τη χρονική στιγμή της ανάγνωσης. Το βάθος εκφράζεται ως συνάρτηση των χαρακτηριστικών του πυκνομέτρου (διαστάσεις, όγκος) και της ένδειξής του. Με τη βοήθεια, επομένως, των παραπάνω σχέσεων μπορεί από την ένδειξη

του πυκνομέτρου να ευρεθεί το βάθος και από αυτό η ακτίνα των τεμαχιδίων που βρίσκονται στο συγκεκριμένο βάθος μετά από ορισμένο χρόνο (Σινάνης, 2015).

4.1.2 Διαδικασία προσδιορισμού

Η διαδικασία, που ακολουθήσαμε για τον προσδιορισμό της σύστασης των 23 δειγμάτων που πήραμε με δειγματολήπτη εδάφους από τις αντίστοιχες θέσεις της περιοχής μελέτης, είναι η εξής:

- Στην αρχή, κοσκινίζουμε το κάθε δείγμα για να απομακρυνθεί το χονδρομερές υλικό και το ξηραίνουμε στον αέρα.
- Από το ξηραμένο δείγμα, ζυγίζουμε 50g εδάφους σε ζυγό ακριβείας.
- Τοποθετούμε το δείγμα σε κύπελλο με αναδευτήρα (mixer)
- Προσθέτουμε 40ml διαλύματος διασποράς στο κύπελλο με το δείγμα του εδάφους και αναδεύουμε για 2min. Η προσθήκη του διαλύματος διασποράς γίνεται για την αποσύνθεση των συσσωματωμάτων και τη δημιουργία μεμονωμένων τεμαχιδίων. Το αντιδραστήριο διασποράς που χρησιμοποιήθηκε ήταν το εξαμεταφωσφορικό νάτριο, $(\text{NaPO}_3)_6$.
- Προσθέτουμε στο κύπελλο νερό βρύσης σε ύψος 5cm επάνω από το υπάρχον μίγμα.
- Αναδεύουμε το συνολικό μίγμα για 5min στην χαμηλή ταχύτητα του αναδευτήρα.
- Μετά τα 5min, αδειάζουμε το μίγμα στον κύλινδρο Βουγούκος φροντίζοντας να χυθεί όλο το υλικό στον κύλινδρο.
- Τοποθετούμε το πυκνόμετρο στον κύλινδρο και συμπληρώνουμε με νερό βρύσης μέχρι την χαραγή των 1130ml με το πυκνόμετρο μέσα στον κύλινδρο.
- Πωματίζουμε τον κύλινδρο με το χέρι και ανακινούμε (πάνω-κάτω) το μίγμα 10 φορές. Στη συνέχεια, αφήνουμε το μίγμα να ηρεμήσει και παίρνουμε μέτρηση πυκνότητας και θερμοκρασίας μετά από 40sec. Πλένουμε το πυκνόμετρο με νερό και ξαναπαίρνουμε μέτρηση πυκνότητας και θερμοκρασίας μετά από 2h.
- Ταυτόχρονα κάνουμε την ίδια διαδικασία σε άλλο κύλινδρο χωρίς όμως εδαφικό δείγμα. Αυτή η δοκιμή λέγεται «μάρτυρας» και παίρνουμε μάρτυρα κάθε 5 δοκιμές με δείγμα εδάφους.

Τα αποτελέσματα από των εργαστηριακών δοκιμών της μεθόδου Βουγούκος δίνονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Αποτελέσματα μετρήσεων με τη μέθοδο Βουγούκος

A/A Δείγματος	Χρόνος	Πυκνότητα g/cm ³	Θερμοκρασία °C	pH
D1	40 sec	27	24.9	9.86
	2 h	23	25	9.80
D2	40 sec	30	25.3	9.41
	2 h	26	25.1	8.55
D3	40 sec	27	23.8	9.38
	2 h	18	23.9	8.41
D4	40 sec	27	24.4	10.1
	2 h	23	24.1	9.32
D5	40 sec	26	25.3	9.40
	2 h	15	26	8.43
D6	40 sec	26	24.3	8.5
	2 h	20	25	5.32
D7	40 sec	27	29	10.05
	2 h	22	26.6	9.97
D8	40 sec	20	25.8	10.09
	2 h	15	25.5	9.95
D9	40 sec	28	24.6	8.40
	2 h	19	24.4	8.58
D10	40 sec	25	24.3	10.08
	2 h	20	24.6	9.65
D11	40 sec	33	23.9	9.56
	2 h	27	23.3	9.56
D12	40 sec	22	24.7	10.22
	2 h	16	25	10.34
D13	40 sec	33.5	25.5	9.61
	2 h	27.5	25.4	9.62
D14	40 sec	25	24.3	10.09
	2 h	17	24	9.91
D15	40 sec			
	2 h			
D16	40 sec	24	24.3	9.10
	2 h	13	24.5	8.20
D17	40 sec	31	23.4	9.38
	2 h	25	24.1	8.70
D18	40 sec	30	24.7	9.23
	2 h	17	25.2	8.40
D19	40 sec	26	29	9.88
	2 h	22.5	25.6	9.98
D20	40 sec	31	23.6	9.95
	2 h	23	25.9	9.78
D21	40 sec	35	24.3	9.10
	2 h	24	24.5	9.55
D22	40 sec	27	26.8	9.64
	2 h	22	25.8	9.57
D23	40 sec	20	25.5	10.11
	2 h	22	26	10.15

4.2 Πειραματικά αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των δοκιμών προσδιορισμού της σύστασης των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, δίνονται στους Πίνακες 10 και 11.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα προσδιορισμού κοκκομετρικής σύνθεσης εδάφους.

Κωδ. Δειγμ.	Συντεταγμένες			Σύσταση			Εδαφ. Τύπος	Υδρολ. Ομάδα
	X	Ψ	Z (m)	Άμμος %	ΐλύς %	Άργιλ %		
D11	312336	4209222	817	43,66	12,36	43,98	SCL	C
D21	311944	4211634	613	43	21,88	34,7	SC	D
D18	312052	4212271	488	39	35,7	25,12	SC	D
D13	316107	4211970	855	45,7	12,06	42,24	SC	D
D17	312120	4212641	643	51,96	11,58	36,46	SC	D
D2	313302	4214012	1069	52,82	8,12	39,06	SC	D
D20	311978	4210833	798	48	14,62	37,54	SC	D
D22	310789	4213313	653	54	10,6	35,48	SC	D
D1	312731	4212558	697	59,06	7,94	33	SCL	C
D10	312989	4210668	579	63	9,82	26,76	SCL	C
D14	315641	4213373	980	59,42	16,18	24,4	SCL	C
D19	312722	4210880	585	54,6	12,04	33,36	SCL	C
D23	310615	4211438	860	69,8	0,0	30,2	SCL	C
D3	313823	4214913	1033	60	17,94	22,34	SCL	C
D4	313388	4211958	601	59,36	8,18	32,46	SCL	C
D6	314953	4211446	734	61,42	12,58	26	SCL	C
D7	315336	4210263	844	56,6	11,44	31,96	SCL	C
D9	312738	4210044	924	57	18,12	24,64	SCL	C
D12	313716	4209820	816	69	11,82	19	SL	A
D16	315022	4214603	1131	65	21,88	12,7	SL	A
D5	314653	4211845	670	59,22	22,18	18,6	SL	A
D8	314233	4210044	924	74	10,18	16,3	SL	A

Υπόμνημα: SCL=Αμμώδης Αργιλώδης Πηλός, SC=Αμμώδης Άργιλος, SL= Αμμώδης Πηλός

Πίνακας 11. Γεωλογικά χαρακτηριστικά δειγμάτων

Κωδ. Δειγμ.	Γεωλογία	Κωδ. Δειγμ.	Γεωλογία
D11	ασβεστόλιθος πολύ μικρό πάχος	D19	ασβεστόλιθος
D21	ασβεστόλιθοι – ραδιολαρίτης	D23	ασβεστόλιθος
D18	ασβεστόλιθος μικρού πάχους	D3	ασβεστόλ. με ίασπη μεγάλου πάχους
D13	ραδιολαρίτης παχύ έδαφος	D4	ασβεστόλ. με ίασπη, παχύ έδαφος
D17	ασβεστολ. μικρού πάχους έδαφος	D6	φλύσχης παχύ έδαφος
D2	ραδιολαρίτης μικρού πάχους	D7	ραδιολαρίτης εδάφους?
D20	ραδιολαρίτης	D9	ασβεστόλ. μικρού πάχους έδαφος
D22	ασβεστόλιθος	D12	ραδιολαρίτης παχύ έδαφος
D1	κορήματα	D16	
D10	ασβεστόλ. μικρού πάχους έδαφος	D5	ασβεστόλιθοι μικρού πάχους
D14	ασβεστόλιθος με ραδιολαρίτη	D8	ασβεστόλιθος μικρού πάχους

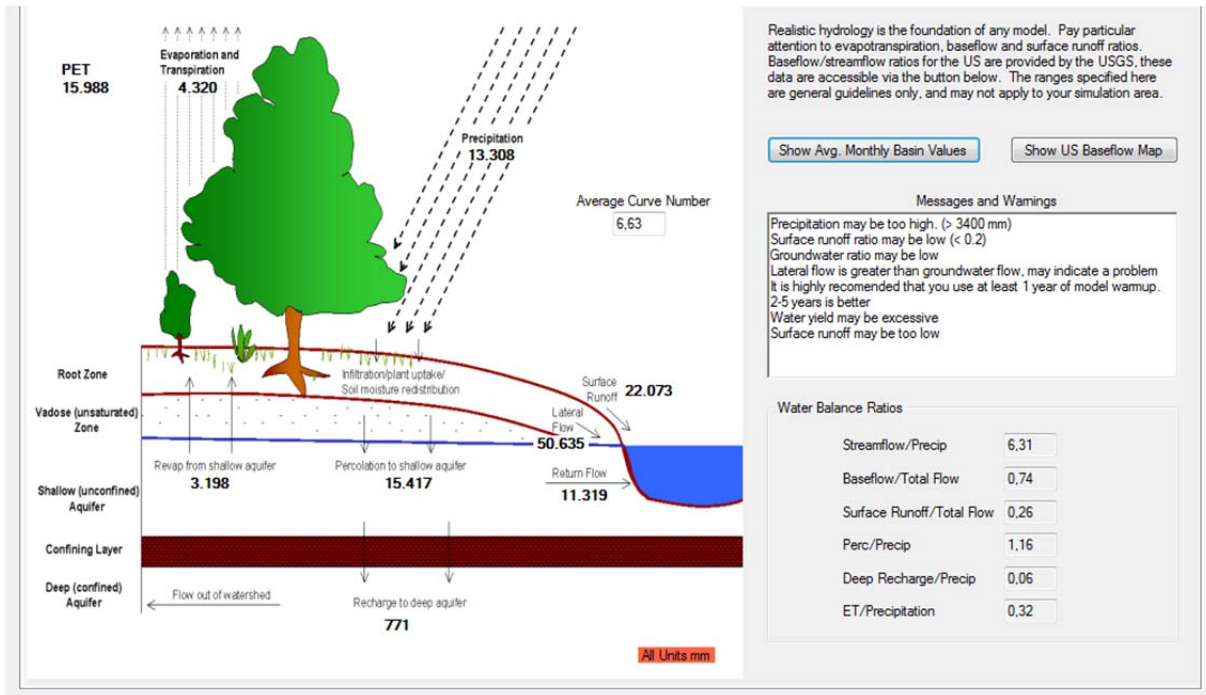
Τα εδάφη ταξινομούνται σε υδρολογικές ομάδες, οι οποίες υποδηλώνουν τον ελάχιστο ρυθμό διείσδυσης του νερού σε γυμνά εδάφη έπειτα από παρατεταμένη διαβροχή. Ο ρυθμός διείσδυσης είναι ο ρυθμός με τον οποίο το νερό μπαίνει στο έδαφος στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτός ο ρυθμός ελέγχεται από τις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης, ο ρυθμός διείσδυσης υποδεικνύει και τον ρυθμό με τον οποίο κινείται μέσα στο έδαφος, πράγμα που εξαρτάται από τα εδαφικά στρώματα. Υπάρχουν οι εξής τέσσερις υδρολογικές ομάδες, κάθε μια από τις οποίες έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (USDA, 1986):

- Ομάδα Α. Αυτά τα εδάφη έχουν μικρό δυναμικό απορροής και μεγάλο ρυθμό διείσδυσης νερού ακόμα και όταν έχουν διαβραχεί πλήρως. Η υφή του εδάφους περιλαμβάνει άμμο, πηλώδη άμμο, και χαλίκι ενώ η ταχύτητα κίνησης του νερού είναι μεγαλύτερη από 0,76cm/h.
- Ομάδα Β. Αυτά τα εδάφη χαρακτηρίζονται από μέτριο ρυθμό διείσδυσης νερού όταν διαβραχούν πλήρως. Η υφή που περιλαμβάνεται σε αυτήν την ομάδα είναι ο ιλυώδης πηλός (silty loam) ή πηλός, ενώ η ταχύτητα κίνησης του νερού είναι μεταξύ 0,38 και 0,76cm/h
- Ομάδα C. Τα εδάφη αυτά έχουν μικρό ρυθμό διείσδυσης του νερού όταν διαβραχούν πλήρως με νερό και αποτελούνται κυρίως από εδαφικό στρώμα που εμποδίζει την κίνηση του νερού προς τα κάτω και από εδάφη με μέτρια έως λεπτομερή υφή. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνεται ο αμμώδης αργιλώδης πηλός. Αυτά τα εδάφη έχουν ταχύτητα κίνησης νερού μεταξύ 0,13 και 0,38cm/h.
- Ομάδα D. Αυτή η ομάδα εδαφών χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλο δυναμικό απορροής και πολύ μικρό ρυθμό διείσδυσης νερού. Η υφή εδαφών που περιλαμβάνεται σε αυτήν την κατηγορία είναι αργιλώδης πηλός, ιλυώδης αργιλώδης πηλός (silty clay loam), αμμώδης άργιλος, ιλυώδης άργιλος (silty clay), και άργιλος. Το μέγεθος των τεμαχιδίων είναι πολύ μικρό (μεταξύ 0,002 και 0,75mm). Η ταχύτητα του νερού είναι μικρότερη από 0,13cm/h.

4.3 Εφαρμογή του μοντέλου ArcGIS-SWAT

Για την προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού της Κάτω Βλασσίας και τα εδαφολογικά στοιχεία όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις των 23 δειγμάτων που πήραμε από διάφορες θέσεις της περιοχής μελέτης. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την

προσομοίωση ήταν το ArcGIS-SWAT με εφαρμογή της μεθόδου των πολυγώνων Thyssen. Οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων που υπολογίστηκαν από το μοντέλο ArcGIS-SWAT παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Από την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψε το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του ποταμού Πείρου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 23.



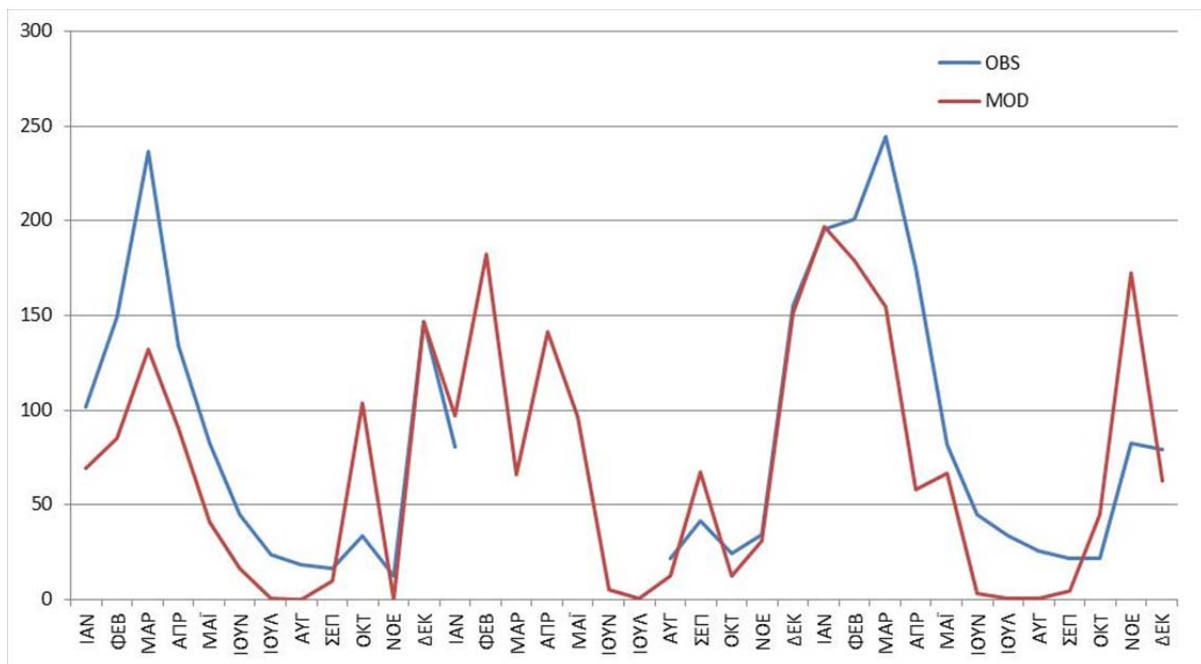
Σχήμα 23. Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής ποταμού Πείρου

Με βάση το μοντέλο ArcGIS-SWAT, οι τιμές των διαφόρων υδρολογικών παραμέτρων και λόγων ισοζυγίου νερού είναι οι εξής:

- Κατακρήμνιση (Precipitation): 13.308mm
- Εξατμισοδιαπνοή (Evaporation and Transpiration): 4.320mm
- Δυνατή Εξατμισοδιαπνοή (PET, Potential Evaporation and Transpiration): 15.988mm
- Επιφανειακή Απορροή (Surface Runoff): 22.073mm
- Πλευρική Απορροή (Lateral Flow): 50.635mm
- Διήθηση προς αβαθή υδροφόρο ορίζοντα (Percolation to swallow aquifer): 15.417mm
- Επανεξάτμιση από αβαθή υδροφόρο ορίζοντα (Re-evaporation from swallow aquifer): 3.198mm
- Επιστροφή Ροής (Return Flow): 11.319mm
- Επαναφόρτιση βαθέος υδροφόρου ορίζοντα (Recharge to deep aquifer): 771mm

- Ροή Ρεύματος/Κατακρήμιση (Streamflow/Precipitation): 6,31
- Βασική Ροή/Συνολική Ροή (Baseflow/Total Flow): 0,74
- Επιφανειακή Απορροή/Ολική Ροή (Surface Runoff/Total Flow): 0,26
- Διήθηση/Κατακρήμιση (Percolation/Precipitation): 1,16
- Βαθιά Επαναφόρτιση/Κατακρήμιση (Deep Recharge/Precipitation): 0,06
- Εξατμισοδιαπνοή/Κατακρήμιση (ET/Precipitation): 0,32

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι ίσως κάποιες τιμές να είναι υπερεκτιμημένες, όπως το ύψος κατακρήμισης που υπολογίστηκε σε 13.308mm ενώ δεν προκύπτει από τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο πιθανό να μην είναι συμβατό με τα δεδομένα της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 24. Αποτελέσματα προσομοίωσης μοντέλου ArcSWAT στη λεκάνη του π. Πείρου, όπου φαίνονται οι πραγματικές (OBS) και οι προσομοιωμένες (MOD) τιμές επιφανειακής απορροής

Επίσης, από το μοντέλο ArcGIS-SWAT υπολογίστηκαν οι τιμές επιφανειακής απορροής (στήλη Water Yield στο Παράρτημα) της λεκάνης του ποταμού Πείρου για την περίοδο 2011-13. Οι προσομοιωμένες τιμές MOD παρουσιάζονται στο Σχήμα 24 μαζί με τις πραγματικές OBS που μετρήθηκαν στον μετεωρολογικό σταθμό της Κάτω Βλασσίας. Από την σύγκριση μεταξύ πραγματικών και προσομοιωμένων τιμών επιφανειακής απορροής προκύπτει ότι η απόκριση του μοντέλου μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική. Όμως πρέπει να σημειωθεί ότι

στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει διαφορά μεταξύ των τιμών, με τις τιμές που υπολογίστηκαν από την προσομοίωση να είναι συστηματικά μικρότερες από τις πραγματικές. Σε αρκετές περιπτώσεις αυτή η διαφορά είναι σημαντική, όπως στις περιόδους Ιανουάριος-Σεπτέμβριος 2011 και Απρίλιος-Αύγουστος 2013. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, όπως τον Οκτώβριο 2011 και τον Νοέμβριο 2013 οι προσομοιωμένες τιμές είναι σημαντικά μεγαλύτερες των πραγματικών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Αυτή η πτυχιακή εργασία είχε ως θέμα την προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου του νομού Αχαΐας χρησιμοποιώντας το υδρολογικό μοντέλο ArcGIS-SWAT και εφαρμόζοντας την μέθοδο των πολυγώνων Thyssen. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά, μορφολογικά, εδαφικά, υδρογραφικά, κλιματικά, μετεωρολογικά δεδομένα και χρήσεων γης της περιοχής (λεκάνη απορροής) της περιοχής μελέτης. Τα μετεωρολογικά δεδομένα ήταν αυτά που καταγράφηκαν στον σταθμό της Κάτω Βλασσίας από τον Ιανουάριο 2011 μέχρι τον Δεκέμβριο 2013. Τα εδαφολογικά στοιχεία προέκυψαν από εργαστηριακές δοκιμές σε 23 δείγματα από επιλεγμένες θέσεις της περιοχής μελέτης, τα οποία αναλύθηκαν με την μέθοδο Bouyoucos. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πτυχιακή συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Από τα δεδομένα που αφορούν τα υψόμετρα και τις κλίσεις προκύπτει ότι το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης είναι ορεινό δεδομένου ότι τόσο οι περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο από 800m όσο και με κλίσεις μεγαλύτερες από 20% καταλαμβάνουν το 75-80% της περιοχής.
- Ο εδαφικός τύπος της περιοχής είναι κατά κύριο λόγο αμμώδης αργιλώδης πηλός (σε ποσοστό 65,54%) ενώ το υπόλοιπο καταλαμβάνεται από αμμώδη άργιλο (σε ποσοστό 19,06%) και αμμώδη πηλό (ποσοστό 15,40%).
- Γενικά, οι πρώτοι μήνες (Ιανουάριος-Απρίλιος) δίνουν μεγάλες μέσες παροχές (μεταξύ 2 και 3,54m³/s), και μάλιστα οι μέγιστες για τα έτη 2011-2013 παρατηρούνται σε αυτό το διάστημα. Για τους μήνες Μάιος-Οκτώβριος παρατηρείται βαθμιαία ελάττωση της μέσης παροχής που κυμαίνεται μεταξύ 0,27 και 0,67m³/s, ενώ τους δυο τελευταίους μήνες των ετών 2011-2013 παρατηρείται εκ νέου αύξηση κυμαινόμενες μεταξύ 0,51 και 2,25m³/s, με εξαίρεση τον Νοέμβριο του 2011 που κατέγραψε την ελάχιστη ετήσια παροχή. Αναφορικά με τις μέσες ετήσιες παροχές, η μεγαλύτερη καταγράφηκε το 2013 και η μικρότερη το 2011, λαμβάνοντας υπ' όψη συγκριτικά στοιχεία παροχών των μηνών του 2012 που δεν έχουν καταγραφεί.
- Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από εύκρατο κλίμα, με μέση ετήσια θερμοκρασία περίπου 10 °C και ετήσιο ύψος βροχής μεταξύ 800 και 1200mm, ενώ στην κορυφή μπορεί να φθάσει και τα 1600mm.
- Με βάση τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της Κάτω Βλασσίας, το ύψος βροχής γενικά δεν παρουσιάζει κάποια κανονικότητα στην μεταβολή του ούτε μεταξύ

των μηνών για το ίδιο έτος ούτε μεταξύ των ετών για τον ίδιο μήνα. Το μικρότερο ύψος βροχής καταγράφεται γενικά την περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος, με τον Ιούλιο να παρουσιάζει μηδενικό ύψος και στα τρία έτη. Αντίστοιχα, το μεγαλύτερο ύψος βροχής καταγράφεται την περίοδο Οκτώβριος-Μάιος, όχι όμως για όλα τα έτη. Το μέγιστο ύψος βροχής καταγράφεται τον Νοέμβριο του 2013 με 321,8mm ενώ ακολουθούν οι μήνες 12/2011 με 264,0mm, 01/2013 με 263,6mm και 02/2012 με 261,2mm.

- Το εύρος των υψηλότερων τιμών θερμοκρασίας για τα έτη 2011-2013 κυμαίνεται μεταξύ 10 και 36 °C, με την μεγαλύτερη τιμή (35-35,6 °C) να καταγράφεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και στα τρία έτη.
- Το εύρος των χαμηλότερων τιμών θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -8,6 °C (Μάρτιος 2011) και 13,7 °C (Ιούλιος 2012). Γενικά, κατά το διάστημα Νοέμβριος-Απρίλιος οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας είναι κάτω από το μηδέν, ενώ τους υπόλοιπους μήνες (Μάιος-Οκτώβριος) κυμαίνονται μεταξύ 2,8 και 13,6 °C.
- Οι μέσες θερμοκρασίες για τα έτη 2011-2013 κυμαίνονται μεταξύ 1,71 °C (01/2012) και 24,11 °C (07/2012), με τα έτη 2012 και 2013 να φαίνονται θερμότερα από το 2011, όπως προκύπτει από την συχνότητα εμφάνισης των μέγιστων μέσων θερμοκρασιών ανά μήνα.
- Αναφορικά με την υγρασία, υπάρχει μια κανονικότητα στην μεταβολή της μεταξύ των μηνών για κάθε έτος χωριστά. Πιο συγκεκριμένα, την περίοδο Ιανουάριος-Φεβρουάριος καταγράφονται ποσοστά υγρασίας με τιμές μεγαλύτερες από 80%, την περίοδο Μάρτιος-Ιούνιος το ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ 80 και 60%, την περίοδο Ιούλιος-Αύγουστος παρατηρούνται οι ελάχιστες τιμές (50 έως 60%), και από τον Σεπτέμβριο παρατηρείται σταδιακή αύξηση μέχρις ότου αποκτήσει εκ νέου αυξημένες τιμές (μεγαλύτερες από 80%) τους δυο τελευταίους μήνες του κάθε έτους.
- Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας ακολουθεί την ίδια τάση μεταβολής με το ποσοστό υγρασίας ενώ δεν υπάρχει κανονικότητα στην μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου.
- Αναφορικά με τις χρήσεις γης, η γεωργική γη με διάσπαρτες εκτάσεις φυσικής βλάστησης καλύπτει μόλις το 13% περίπου της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης, 85,5% καλύπτεται από δάση και ημι-δασικές περιοχές, ενώ το 1,5% καταλαμβάνεται από απογυμνωμένους βράχους και έκταση με αραιή βλάστηση.
- Από την εφαρμογή του παραπάνω προγράμματος και με σύγκριση μεταξύ προσομοιωμένων και πραγματικών (καταγραφέντων) τιμών επιφανειακής απορροής,

προκύπτει ότι η απόκριση του μοντέλου ArcGIS-SWAT αναφορικά με την προσομοίωση της παροχής του ποταμού Πείρου για τα έτη 2011-2013 μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική. Όμως πρέπει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει διαφορά μεταξύ των τιμών, με τις τιμές που υπολογίστηκαν από την προσομοίωση να είναι συστηματικά μικρότερες από τις πραγματικές. Σε αρκετές περιπτώσεις αυτή η διαφορά είναι σημαντική, όπως στις περιόδους Ιανουάριος-Σεπτέμβριος 2011 και Απρίλιος-Αύγουστος 2013. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, όπως τον Οκτώβριο 2011 και τον Νοέμβριο 2013 οι προσομοιωμένες τιμές είναι σημαντικά μεγαλύτερες των πραγματικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγλική

- Arnold, J. G., 1990. ROTO—a continuous water and sediment routing model. In: Watershed Planning and Analysis in Action, Proceedings, IR Conference, Watershed Management/IR Div/ASCE, Durango, Colorado, pp. 580–590.
- Arnold, J.G., and Allen, P.M., 1993. A comprehensive surface-ground water flow model, *J. Hydrogeology*, 142(1-4), pp.47-69.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., and Williams, J.R., 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), pp. 73-89.
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Volk, M., Williams, J. R., and Bosch, D. D., 2010. Assessment of different representations of spatial variability on SWAT model performance, *Transactions of the ASABE*, 53(5), pp. 1433-1443.
- Bathurst, J.C., 1986. Physically-Based Distributed Modelling of an Upland Catchment Using the Systeme Hydrologique Europeen. *Journal of Hydrology*, 87, pp. 79-102.
- Brown, L.C., and Barnwell, T.O. Jr., 1987. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual, Report, EPA/600/3-87/007, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US EPA, Athens, Georgia.
- De Zeeuw, J.W., 1973. Hydrograph analysis for areas with mainly groundwater runoff, in: *Drainage Principle and Applications*, Vol. II, Chapter 16, Theories of field drainage and watershed runoff, Publication 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, pp. 321-358.
- Dile, Y.T. and Srinivasan, R., 2014. Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: An application in the Blue Nile River Basin. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 50(5), pp. 1226-1241.
- Dile, Y.T., Daggupati, P., George, C., Srinivasan, R., and Arnold, J., 2016. Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model, *Environmental Modelling & Software*, 85, pp. 129-138.
- ESRI, 2004. ArcGIS 9: What is ArcGIS?, webpage: <http://www.co.shasta.ca.us/docs/libraries/gis-docs/docs/ArcWhatever> (πρόσβαση: 24 Ιουνίου 2017).

- Gassman, P.W., Reyes, M., Green, C.H., and Arnold, J.G., 2007. The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions, *Trans. ASABE*, 50(4), pp. 1211-1250.
- Gassman, P.W., Arnold, J.G., Srinivasan, R., and Reyes, M., 2010. The Worldwide Use of the SWAT Model: Technological Drivers, Networking Impacts, and Simulation Trends, in: *ASABE – 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment 2010*, pp. 226-233.
- Gassman, P.W., Sadeghi, A.M., Srinivasan, R., 2014. Application of the SWAT Model Special Section: Overview and Insights, *Journal of Environmental Quality*, 43, pp. 1-8.
- Google, 2017. Εικόνες ©2017, CNES, Airbus, Digital Globe, Δεδομένα Χάρτη, webpage: <https://www.google.gr/maps/@38.1447717,21.5808966,2484m/data=!3m1!1e3> (πρόσβαση 17 Δεκεμβρίου 2017).
- Karmakar, S., 2017. Hydrologic Simulation Models, Module 9, webpage: <http://nptel.ac.in/courses/105101002/downloads/module9/lecture1.pdf> (πρόσβαση: 6 Ιουνίου 2017).
- Kiniry, J. R., Williams, J. R. Gassman, P. W. & Debaeke, P., 1992. A general, process-oriented model for two competing plant species, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 35(3), pp. 801–810.
- Knisel, W. G., 1980. CREAMS, a field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems, US Dept. of Agriculture, Conservation of Resources, Report No. 26.
- Kraijenhoff van de Leur, D.A., 1973. Rainfall-runoff relations and computational models, in: *Drainage Principle and Applications*, Vol. II, Chapter 16, Theories of field drainage and watershed runoff, Publication 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, pp. 245-320.
- Krysanova, V., Hattermann, F., and Wechsung, F., 2007. Implications of complexity and uncertainty for integrated modelling and impact assessment in river basins, *Environmental Modelling Software*, 22, pp. 711-709.
- Krysanova, V., and Srinivasan, R., 2015. Assessment of climate and land use change impacts with SWAT, *Reg Environ Change*, 15(3), pp. 431-434, doi:10.1007/s10113-014-0742-5.
- Lichty, R.W., and Liscum F., 1978. A Rainfall-Runoff Modeling Procedure for Improving Estimates of T Year (Annual) Floods for Small Drainage Basins, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations 78-7, Lakewood, CO.

- Leonard, R. A., Knisel, W. G., and Still, D. A., 1987. GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 30(5), pp. 1403–1418.
- Marathon Data Systems, 2017. ArcGIS, webpage: http://www.marathondata.gr/pdfs/arcgis_desktop_products.pdf (πρόσβαση: 24 Ιουνίου 2017).
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation Version 2009, Technical Report 406, Texas A&M University, Texas Water Resources Institute, 647 p.
- Nix, S.J., 1991. Applying Urban Runoff Models, *Water Environment and Technology*, 3(6), pp. 47-49.
- Olivera, F.M., Valenzuela, R., Srinivasan, R., Choi, J., Cho, H., Koka, S., and Agrawal, A., 2006. ArcGIS-SWAT: A geodata model and GIS interface for SWAT, *J. American Water Resources Association*, 42(2), pp. 295-309.
- Orykta.gr, 2017. Webpage: <http://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas> (πρόσβαση: 20 Δεκεμβρίου 2017).
- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., and Mimikou, M., 2012. Decision support for diffuse pollution management, *Environmental Modelling Software*, 30, pp. 57-70.
- Schuol, J., Abbaspour, K., Srinivasan, R., and Yang, H., 2008. Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model, *J. Hydrology*, 352, pp. 30-49.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach towards a rational classification of climate, *Geographical Review*, 38, pp. 55 – 94.
- Thornthwaite, C.W., and Mather, J.R., 1955. The water balance. *Publications in Climatology*, 8(1), pp. 5-86.
- US Department of Agriculture (USDA), 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*, 210-VI-TR-55, Second Edition, 164p.
- Williams, J. R., 1980. SPNM, a model for predicting sediment, phosphorus, and nitrogen yields from agricultural basins. *Water Resources Bulletin* 16(5), pp. 843–848.
- Williams, J. R., Nicks, A. D., and Arnold, J. G., 1985. SWRRB, a simulator for water resources in rural basins, *ASCE Hydrology J.*, 111(6), pp. 970–986.

Ελληνική

- Αντωνάκος, Α., 2012. Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) για Επίλυση Προβλημάτων Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας στο Νομό Κορινθίας, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 307 σελ.
- ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, 2017. α) webpage: <https://el.wikipedia.org/wiki/Πείρος>, β) webpage: https://el.wikipedia.org/wiki/Λακκόματα_Αχαΐας (πρόσβαση: 17 Δεκεμβρίου 2017).
- Βουδούρης Κ., 1995. Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ. Τμήματος του νομού Αχαΐας, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 276 σελ.
- Δίγκα Αικ., 2012. Αξιολόγηση της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την κατασκευή του φράγματος των ποταμών Πείρου - Παραπεύρου στο Νομό Αχαΐας και εκτίμηση της εφαρμογής των περιβαλλοντικών όρων από τη μελέτη των επιπτώσεων του έργου στο περιβάλλον, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών "Οικολογία - Διαχείριση και Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος", Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Βιολογίας, 285 σελ.
- Δόικος, Κ., 2015. Προσομοίωση της ροής του ποταμού Στρυμόνα και διερεύνηση των πλημμυρών της άνοιξης του 2015, Διπλωματική Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», ΑΠΘ, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 118σελ.
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας (ΕΣΥΕ), 1995. Κατανομή της εκτάσεως της Ελλάδος κατά βασικές κατηγορίες χρήσεων γης, Αθήνα.
- Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρία, 2017. Περιγραφή των τύπων κάλυψης γης του Corine 2000, 9σελ., απόδοση στα ελληνικά: Ρ. Τρίγκου, webpage: http://files.ornithologiki.gr/docs/hcbm/Description_Corine_2000_Landcover.pdf (πρόσβαση: 28 Δεκεμβρίου 2017).
- Ευστρατιάδης, Α., 2008. Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.
- Ζιακόπουλος, Δ., 2016. Πεδινά, ημιορεινά και ορεινά, 17 Δεκεμβρίου 2016, webpage: http://ziakopoulos.blogspot.gr/2016/12/blog-post_80.html (πρόσβαση: 26 Δεκεμβρίου 2017).
- Ζωγάκης Χ., 2013. Σύγκριση μοντέλων γεγονότος και συνεχούς προσομοίωσης για την εκτίμηση πλημμυρικών μεγεθών. Εφαρμογή στη λεκάνη του Νέδοντα, Μεταπτυχιακή Εργασία, Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», ΕΜΠ.

- Καραθανάση Ι., 2009. Προσδιορισμός Ανθρωπογενών Πιέσεων στη Λεκάνη Απορροής του Πείρου ποταμού, Μεταπτυχιακή Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Μαράτος, Γ.Ν., 1972. Γεωλογία της Ελλάδος: Στρωματογραφία-Τεκτονική-Μεταλλογένεσις-Ορυκτός Πλούτος, τόμος 1, Γεωτεχνικών Γραφείων ΓΕ.ΜΕΛ.ΕΡ, Αθήνα, 191σελ.
- Μεγλήρη Β., 2008. Υδρολογική προσομοίωση λεκανών απορροής με ελλιπή δεδομένα. Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 166σελ.
- Μιμίκου Μ., Μαμάσης, Ν. 2009. Διάλεξη στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» Ενότητα III: Μοντελοποίηση (Προσομοίωση – Θεωρία, Υδατικά Προβλήματα), http://users.itia.ntua.gr/nikos/adv_hydrology/modela09.pdf (πρόσβαση: 3 Ιουνίου 2017).
- Παναγόπουλος, Ι., 2011. Υδρολογικό Μοντέλο SWAT, Διάλεξη του μαθήματος «Προχωρημένη Υδρολογία», Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 11-4-2011, Διαφάνεια Νο 16.
- Περιφερειακή Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων V, 1995. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Αρδευτικού Έργου Αχαΐκού (Ν. Αχαΐας), Πάτρα.
- Ρουμελιώτης Μ., 2001. Μοντελοποίηση και Προσομοίωση, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 256 σελ.
- Σινάνης, Κ., 2015. Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, ΕΜΠ, Ζωγράφου, 161σελ.
- Τουριστική Πύλη Νομού Αχαΐας, 2017. Γενικές Πληροφορίες – Ο Νομός Αχαΐας, webpage: <http://www.elabs.dreamhosters.com/achaea/el/general-info/achaia-prefecture> (πρόσβαση: 17 Δεκεμβρίου 2017).
- ΥΠΕΚΑ, 2012. Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ – Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας, Αθήνα, 128σελ.
- ΥΠΕΚΑ, 2013. Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου (GR02), Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα, 467σελ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

(Προσομοιωμένες τιμές επιφανειακής απορροής από την εφαρμογή του μοντέλου ArcGIS-SWAT)

1 SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664 0/ 0/ 0 0: 0: 0

General Input/Output section (file.cio):
11/7/2017 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

Number of years in run: 3
Area of watershed: 38.347 km2

1 SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
11/7/2017 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

Annual Summary for watershed in year 1 of simulation

UNIT TIME	PREC (mm)	SURQ (mm)	LATQ (mm)	GWQ (mm)	PERCO LATE (mm)	TILE Q (mm)	SW (mm)	ET (mm)	PET (mm)	WATER YIELD (mm)	SED YIELD (t/ha)	NO3 SURQ	NO3 LATQ	NO3 PERC	NO3 CROP	N ORGANIC	P SOLUBLE	P ORGANIC	TILENO3 (kg/ha)
1	127.20	20.16	49.34	0.05	11.39	0.00	75.96	6.81	14.57	69.55	39.75	0.01	0.64	1.44	0.00	316.64	0.01	38.79	0.00
2	128.70	18.35	59.99	6.84	29.75	0.00	77.40	22.57	40.94	85.28	19.79	0.01	0.77	3.75	0.00	57.74	0.00	7.07	0.00
3	184.00	37.91	72.37	21.64	29.87	0.00	73.26	48.07	99.95	132.35	42.99	0.02	0.57	3.60	0.00	110.43	0.01	13.53	0.00
4	132.30	22.76	45.47	21.82	12.32	0.00	74.02	50.85	135.10	90.68	29.19	0.01	0.26	1.58	0.00	23.46	0.00	2.87	0.00
5	90.80	2.15	24.30	13.62	0.39	0.00	53.03	84.66	174.97	40.75	2.15	0.00	0.02	0.00	1.77	0.17	0.00	0.02	0.00
6	48.00	0.62	13.95	1.19	0.10	0.00	6.65	80.26	191.65	16.31	0.22	0.00	0.01	0.00	2.94	0.02	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.54	5.11	206.82	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	1.33	201.27	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	34.60	0.00	9.52	0.00	0.00	0.00	2.43	23.05	163.34	9.77	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	196.60	33.84	69.73	0.00	1.91	0.00	48.27	45.24	139.11	103.77	14.64	0.02	0.35	0.33	0.00	23.28	0.00	2.86	0.00
11	1.20	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	38.49	10.98	100.59	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	263.20	37.48	108.43	0.69	38.80	0.00	81.90	29.25	54.62	146.76	39.06	0.02	1.33	9.70	0.00	25.22	0.00	3.12	0.00
2011	1206.80	173.28	453.14	65.86	124.54	0.00	81.90	408.19	1522.94	696.25	187.78	0.10	4.07	20.40	4.71	556.95	0.03	68.26	0.00

1 SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
11/7/2017 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

Annual Summary for watershed in year 2 of simulation

UNIT TIME	PREC (mm)	SURQ (mm)	LATQ (mm)	GWQ (mm)	PERCO LATE (mm)	TILE Q (mm)	SW (mm)	ET (mm)	PET (mm)	WATER YIELD (mm)	SED YIELD (t/ha)	NO3 SURQ	NO3 LATQ	NO3 PERC	NO3 CROP	N ORGANIC	P SOLUBLE	P ORGANIC	TILENO3 (kg/ha)
1	135.40	37.48	47.42	11.63	24.34	0.00	81.10	32.55	44.22	96.96	61.69	0.01	0.67	5.48	0.00	96.15	0.00	11.80	0.00
2	255.00	45.09	111.20	25.17	55.96	0.00	90.05	26.46	37.86	182.15	46.31	0.01	1.24	10.67	0.00	10.61	0.00	1.30	0.00
3	56.80	4.34	27.31	33.51	10.71	0.00	72.53	39.52	93.25	66.21	4.85	0.00	0.24	1.70	0.00	0.19	0.00	0.02	0.00
4	190.00	55.88	61.41	23.08	21.06	0.00	73.72	50.37	140.79	141.43	97.88	0.01	0.49	3.67	0.00	20.86	0.00	2.55	0.00
5	157.60	30.98	46.60	17.65	3.54	0.00	68.47	81.57	168.95	96.27	17.80	0.00	0.06	0.43	5.73	0.67	0.00	0.08	0.00
6	0.20	0.00	0.27	4.26	0.16	0.00	5.39	63.11	202.60	5.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	1.16	4.23	222.23	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	39.80	0.01	12.07	0.00	0.00	0.00	1.28	27.60	210.38	12.63	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
9	139.60	14.68	52.06	0.00	0.01	0.00	39.36	34.71	180.49	67.14	4.09	0.03	0.19	0.00	0.00	0.42	0.00	0.05	0.00
10	47.40	0.15	12.25	0.00	0.00	0.00	44.97	28.89	144.03	12.71	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	84.00	5.81	25.34	0.00	0.57	0.00	60.50	33.23	92.27	31.38	2.76	0.01	0.11	0.10	0.00	0.17	0.00	0.02	0.00
12	247.80	34.27	112.82	3.88	49.78	0.00	82.23	32.27	42.51	151.28	31.00	0.01	1.68	13.19	0.00	1.17	0.00	0.15	0.00
2012	1353.60	228.68	508.75	119.33	166.13	0.00	82.23	454.51	1579.58	864.49	266.42	0.08	4.76	35.26	5.74	130.23	0.01	15.98	0.00

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
11/7/2017 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

Annual Summary for Watershed in year 3 of simulation

UNIT TIME	PREC (mm)	SURQ (mm)	LATQ (mm)	GWQ (mm)	PERCO LATE (mm)	TILE Q (mm)	SW (mm)	ET (mm)	PET (mm)	WATER YIELD (mm)	SED YIELD (t/ha)	NO3 SURQ	NO3 LATQ	NO3 PERC	NO3 CROP nutrient/ha	N ORGANIC	P SOLUBLE	P ORGANIC	P TILENO3 (kg/ha)
1	263.60	69.93	108.06	18.53	52.44	0.00	84.21	31.99	44.43	197.12	51.38	0.01	1.41	11.62	0.00	72.91	0.00	8.93	0.00
2	228.20	49.56	95.80	32.90	46.13	0.00	90.94	28.83	43.54	179.17	64.09	0.01	0.95	8.09	0.00	11.58	0.00	1.42	0.00
3	191.40	38.81	73.39	40.99	28.79	0.00	81.20	61.41	107.16	154.52	36.47	0.00	0.55	4.37	0.00	4.34	0.00	0.53	0.00
4	54.20	7.00	18.52	31.46	4.58	0.00	53.81	51.59	149.86	58.37	11.05	0.00	0.08	0.56	0.01	0.45	0.00	0.06	0.00
5	106.40	14.27	35.62	15.62	0.97	0.00	24.91	84.44	172.30	66.78	16.69	0.01	0.07	0.03	4.22	0.55	0.00	0.07	0.00
6	6.40	0.00	1.32	1.09	0.04	0.00	3.06	26.89	200.58	3.40	0.00	0.00	0.01	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.40	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.76	2.70	218.57	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.73	213.15	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	18.20	0.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.88	13.24	179.29	4.72	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	111.60	3.37	41.45	0.00	0.00	0.00	28.24	39.39	141.56	45.15	1.22	0.00	0.15	0.00	0.00	0.11	0.00	0.02	0.00
11	298.60	52.77	119.59	0.13	34.78	0.00	73.86	45.34	94.60	172.75	74.31	0.02	1.14	8.11	0.00	5.51	0.00	0.73	0.00
12	98.20	15.43	38.22	8.62	13.94	0.00	76.52	28.28	61.87	62.74	22.91	0.01	0.38	3.03	0.00	0.66	0.00	0.08	0.00
2013	1377.40	251.16	536.27	149.34	181.66	0.00	76.52	414.84	1626.93	946.09	278.13	0.07	4.81	35.81	4.83	96.11	0.01	11.83	0.00

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
11/7/2017 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

Average Plant Values (kg/ha)

HRU 1	SUB 1	RNGE	Yld =	206.0	BIOM =	295.4
HRU 2	SUB 2	RNGE	Yld =	206.7	BIOM =	296.4
HRU 3	SUB 3	RNGE	Yld =	206.7	BIOM =	296.4
HRU 4	SUB 4	FRST	Yld =	283.3	BIOM =	404.6
HRU 5	SUB 5	ORCD	Yld =	379.4	BIOM =	541.9
HRU 6	SUB 6	ORCD	Yld =	380.3	BIOM =	543.3
HRU 7	SUB 7	ORCD	Yld =	372.2	BIOM =	531.6
HRU 8	SUB 8	FRSE	Yld =	430.9	BIOM =	615.5
HRU 9	SUB 9	RNGE	Yld =	205.2	BIOM =	294.3
HRU 10	SUB 10	FRSE	Yld =	408.4	BIOM =	583.5
HRU 11	SUB 11	FRSE	Yld =	429.2	BIOM =	613.1
HRU 12	SUB 12	PAST	Yld =	459.4	BIOM =	639.2
HRU 13	SUB 13	FRST	Yld =	283.0	BIOM =	404.4
HRU 14	SUB 14	RNGE	Yld =	206.2	BIOM =	295.7
HRU 15	SUB 15	FRST	Yld =	283.5	BIOM =	405.1
HRU 16	SUB 16	ORCD	Yld =	372.4	BIOM =	532.0
HRU 17	SUB 17	RNGE	Yld =	162.3	BIOM =	232.8
HRU 18	SUB 18	RNGE	Yld =	162.6	BIOM =	233.2
HRU 19	SUB 19	FRSE	Yld =	429.7	BIOM =	613.8
HRU 20	SUB 20	FRST	Yld =	283.1	BIOM =	404.4
HRU 21	SUB 21	FRST	Yld =	282.8	BIOM =	404.1
HRU 22	SUB 22	RNGE	Yld =	206.0	BIOM =	295.4
HRU 23	SUB 23	RNGE	Yld =	204.4	BIOM =	293.2
HRU 24	SUB 24	FRST	Yld =	283.0	BIOM =	404.3
HRU 25	SUB 25	RNGE	Yld =	205.9	BIOM =	295.3
HRU 26	SUB 26	RNGE	Yld =	205.9	BIOM =	295.4
HRU 27	SUB 27	FRST	Yld =	283.4	BIOM =	404.9

HRU STATISTICS

AVE ANNUAL VALUES

HRU	SUB	SOIL	AREAKm2	CN	AWCmm	USLE_LS	IRRmm	AUTONkh	AUTOPkh	MIXEF	PRECmm	SURQGENmm	GWQmm	ETmm	SEDth	NO3kg	ORGNkg	BIOMth	YLDth	SURQmm
1	1	Bd80-1-2	.253E+01	69.00	70.00	3.92	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	229.10	605.26	425.22	245.02	1.15	65.76	0.40	0.28	229.10
2	2	I-Po-od-	.216E+01	69.00	70.00	5.08	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	224.65	627.03	416.71	126.35	5.42	352.44	0.40	0.28	224.65
3	3	I-Po-od-	.182E+01	69.00	70.00	4.68	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	225.45	623.22	418.27	114.04	5.27	351.32	0.40	0.28	225.45
4	4	I-Po-od-	.123E+01	60.00	70.00	6.27	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	118.02	730.16	418.49	67.01	6.32	336.81	0.55	0.38	118.02
5	5	I-Po-od-	.111E+01	66.00	70.00	4.10	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	178.83	651.07	432.73	64.69	5.20	340.30	0.73	0.51	178.83
6	6	I-Po-od-	.109E+01	66.00	70.00	3.33	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	180.42	641.15	437.89	52.80	4.80	333.48	0.73	0.51	180.42
7	7	Bf10-2-3	.167E+01	77.00	100.00	4.66	0.00	0.93	0.00	0.27	1330.83	582.80	106.16	581.97	538.06	0.52	80.29	0.72	0.50	582.80
8	8	Bd80-1-2	.287E+01	55.00	70.00	9.20	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	73.76	774.20	419.84	174.33	1.84	64.63	0.83	0.58	73.76
9	9	I-Po-od-	.159E+01	69.00	70.00	11.34	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	211.78	673.80	396.75	259.34	6.63	355.88	0.40	0.28	211.78
10	10	Bf10-2-3	.212E+01	70.00	100.00	8.49	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	514.41	163.49	586.30	932.74	0.52	80.18	0.79	0.55	514.41
11	11	I-Po-od-	.107E+01	55.00	70.00	12.59	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	68.91	812.06	398.56	82.87	7.60	338.31	0.83	0.58	68.91
12	12	I-Po-od-	.359E+01	69.00	70.00	9.58	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	207.68	655.65	416.70	223.95	5.75	357.16	0.86	0.62	207.68
13	13	I-Po-od-	.163E+01	60.00	70.00	11.82	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	111.08	770.54	398.10	123.79	7.50	350.49	0.55	0.38	111.08
14	14	I-Po-od-	.221E+01	69.00	70.00	10.41	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	214.02	669.17	397.83	249.55	6.55	355.82	0.40	0.28	214.02
15	15	I-Po-od-	.477E+00	60.00	70.00	3.23	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	122.85	700.55	431.28	31.96	4.93	299.86	0.55	0.38	122.85
16	16	Bf10-2-3	.146E+00	77.00	100.00	4.14	0.00	0.92	0.00	0.27	1330.83	586.35	99.23	584.57	361.86	0.50	80.20	0.72	0.50	586.35
17	17	Bf10-2-3	.520E+00	79.00	100.00	5.27	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	609.41	108.59	555.20	682.88	0.42	80.18	0.31	0.22	609.41
18	18	Bf10-2-3	.261E-01	79.00	100.00	4.12	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	617.67	94.24	559.41	379.11	0.38	80.07	0.32	0.22	617.67
19	19	I-Po-od-	.569E+00	55.00	70.00	10.14	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	71.18	796.84	406.95	63.46	7.26	329.03	0.83	0.58	71.18
20	20	I-Po-od-	.351E-01	60.00	70.00	8.96	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	114.49	750.75	408.51	61.38	7.06	333.19	0.55	0.38	114.49
21	21	I-Po-od-	.732E+00	60.00	70.00	14.06	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	107.95	782.41	392.93	130.68	7.65	350.96	0.55	0.38	107.95
22	22	I-Po-od-	.405E+01	69.00	70.00	8.30	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	217.19	651.88	406.61	215.85	6.24	355.52	0.40	0.28	217.19
23	23	I-Po-od-	.138E+01	69.00	70.00	12.04	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	210.02	677.35	395.85	268.88	6.66	355.93	0.40	0.28	210.02
24	24	I-Po-od-	.193E+01	60.00	70.00	9.50	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	113.57	752.94	407.74	103.50	7.13	347.75	0.55	0.38	113.57
25	25	Bd80-1-2	.880E+00	69.00	70.00	7.94	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	221.48	633.51	415.26	431.33	1.53	66.02	0.40	0.28	221.48
26	26	Bd80-1-2	.697E+00	69.00	70.00	8.83	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	219.74	639.37	412.83	464.32	1.59	66.04	0.40	0.28	219.74
27	27	Bd80-1-2	.221E+00	60.00	70.00	5.68	0.00	0.00	0.00	0.27	1330.83	120.23	710.80	428.23	122.66	1.50	64.05	0.55	0.38	120.23

AVE MONTHLY BASIN VALUES

MON	RAIN (MM)	SNOW FALL (MM)	SURF Q (MM)	LAT Q (MM)	WATER YIELD (MM)	ET (MM)	SED YIELD (T/HA)	PET (MM)
2	201.57	48.42	37.22	87.95	147.12	25.65	42.89	40.30
3	144.07	15.43	27.02	57.69	117.70	49.67	28.10	100.12
4	125.50	0.00	28.55	41.80	96.83	50.94	46.04	141.91
5	118.27	0.00	15.80	35.50	67.93	83.56	12.22	172.07
6	18.20	0.00	0.21	5.18	8.37	56.75	0.07	198.28
7	0.13	0.00	0.00	0.00	0.72	4.01	0.00	215.87
8	13.40	0.00	0.00	4.02	4.52	9.89	0.00	208.27
9	64.13	0.00	4.89	21.96	27.21	23.67	1.36	174.37
10	118.53	0.00	12.45	41.14	53.88	37.84	5.30	141.57
11	127.93	7.53	19.53	48.32	68.11	29.85	25.69	95.82
12	203.07	17.67	29.06	86.49	120.26	29.93	30.99	53.00

AVE ANNUAL BASIN STRESS DAYS
 WATER STRESS DAYS = 65.63
 TEMPERATURE STRESS DAYS = 9.40
 NITROGEN STRESS DAYS = 0.19
 PHOSPHORUS STRESS DAYS = 0.03
 AERATION STRESS DAYS = 0.00

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
11/7/2017 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 1330.8 MM
 SNOW FALL = 107.34 MM
 SNOW MELT = 106.15 MM
 SUBLIMATION = 1.18 MM
 SURFACE RUNOFF Q = 220.73 MM
 LATERAL SOIL Q = 506.35 MM
 TILE Q = 0.00 MM
 GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 113.19 MM
 GROUNDWATER (DEEP AQ) Q = 7.11 MM
 REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 31.98 MM
 DEEP AQ RECHARGE = 7.71 MM
 TOTAL AQ RECHARGE = 154.17 MM
 TOTAL WATER YLD = 847.39 MM
 PERCOLATION OUT OF SOIL = 159.64 MM
 ET = 432.0 MM
 PET = 1598.8MM
 TRANSMISSION LOSSES = 0.00 MM
 SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
 TOTAL SEDIMENT LOADING = 247.50 T/HA
 TILE FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 EVAPORATION FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 SEEPAGE INTO SOIL FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
 OVERFLOW FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)

1

SWAT Dec 23 2016 VER 2016/Rev 664

General Input/Output section (file.cio):
11/7/2017 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

NUTRIENTS

ORGANIC N = 264.727 (KG/HA)
 ORGANIC P = 32.470 (KG/HA)
 NO3 YIELD (SQ) = 0.081 (KG/HA)
 NO3 YIELD (LAT) = 4.609 (KG/HA)
 NO3 YIELD (TILE) = 0.000 (KG/HA)
 SOLP YIELD (TILE) = 0.000(KG/HA)
 SOLP YIELD (SURF INLET RISER) = 0.000 (KG/HA)
 SOL P YIELD = 0.014 (KG/HA)
 NO3 LEACHED = 30.913 (KG/HA)
 P LEACHED = 0.133 (KG/HA)
 N UPTAKE = 5.164 (KG/HA)
 P UPTAKE = 0.855 (KG/HA)
 NO3 YIELD (GWQ) = 0.177 (KG/HA)
 ACTIVE TO SOLUTION P FLOW = -0.939 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE P FLOW = 10.752 (KG/HA)
 N FERTILIZER APPLIED = 0.044 (KG/HA)
 P FERTILIZER APPLIED = 0.000 (KG/HA)
 N FIXATION = 0.000 (KG/HA)
 DENITRIFICATION = 2.117 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG N = 56.993 (KG/HA)
 ACTIVE TO STABLE ORG N = -13.025 (KG/HA)
 HUMUS MIN ON ACTIVE ORG P = 9.770 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG N = 1.190 (KG/HA)
 MIN FROM FRESH ORG P = 0.282 (KG/HA)
 NO3 IN RAINFALL = 0.000 (KG/HA)
 INITIAL NO3 IN SOIL = 31.858 (KG/HA)
 FINAL NO3 IN SOIL = 48.023 (KG/HA)

INITIAL ORG N IN SOIL = 77256.914 (KG/HA)
 FINAL ORG N IN SOIL = 76307.320 (KG/HA)
 INITIAL MIN P IN SOIL = 3894.486 (KG/HA)
 FINAL MIN P IN SOIL = 3880.074 (KG/HA)
 INITIAL ORG P IN SOIL = 9463.973 (KG/HA)
 FINAL ORG P IN SOIL = 9339.518 (KG/HA)
 NO3 IN FERT = 0.044 (KG/HA)
 AMMONIA IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG N IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 MINERAL P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 N REMOVED IN YIELD = 3.426 (KG/HA)
 P REMOVED IN YIELD = 0.442 (KG/HA)
 AMMONIA VOLATILIZATION = 0.000 (KG/HA)
 AMMONIA NITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 NO3 EVAP-LAYER 2 TO 1 = 9.863

DIE-GRO P Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP Q = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO P SED = 0.0 (No/M2)
 DIE-GRO LP SED = 0.0 (No/M2)
 BACT P RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT LP RUNOFF = 0.0 (No/M2)
 BACT P SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT LP SEDIMENT = 0.0 (No/M2)
 BACT P INCORP = 0.0 (No/M2)
 BACT LP INCORP = 0.0 (No/M2)

NITRATE SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 AMMONIA SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG N SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGN SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGP SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 SOL P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 BOD SEPTIC = 0.00 (kg/ha)