

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

“Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου”

Κατεύθυνση “Διαχείριση και Ανάλυση Γεωγραφικών Δεδομένων”

(Γεωπληροφορική)

Αξιοποίηση του υδρολογικού μοντέλου SWAT στη διερεύνηση δημιουργίας λιμνοδεξαμενών

Διπλωματική εργασία του

Κλεομένη Καλογερόπουλου

Αθήνα, Μάρτιος 2011

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

“Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου”

Κατεύθυνση “Διαχείριση και Ανάλυση Γεωγραφικών Δεδομένων”

(Γεωπληροφορική)

Αξιοποίηση του υδρολογικού μοντέλου SWAT στη διερεύνηση δημιουργίας λιμνοδεξαμενών

Διπλωματική εργασία του

Κλεομένη Καλογερόπουλου

Επιβλέπων καθηγητής:

Χρίστος Χαλκιάς,

Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος 2011

“Ψυχήσιν Θάνατος ύδωρ γενέσθαι,
ύδατι δε θάνατος γην γενέσθαι,
εκ γης δε ύδωρ γίνεται,
εξ ύδατος δε ψυχή”.

Ηράκλειτος, 544-464 π.Χ.

Ευχαριστίες

Ξεκινώντας αυτή την εργασία θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου για την ευκαιρία που μου έδωσαν να συμμετάσχω σε ακόμη ένα Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, αυτό της “*Εφαρμοσμένης Γεωγραφίας και Διαχείρισης του Χώρου*” στην κατεύθυνση “*Διαχείριση και Ανάλυση Γεωγραφικών Δεδομένων*” (Γεωπληροφορική). Οι γνώσεις και οι εμπειρίες που αποκόμισα γνωρίζω πως θα μου είναι χρήσιμες στην επαγγελματική μου πορεία, αλλά και στην προσωπική μου ζωή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Χρίστο Χαλκιά για την βοήθεια και την αμέριστη συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τον ευχαριστώ, επίσης, που δέχτηκε να επιβλέψει την παρούσα εργασία, δίνοντάς μου τη δυνατότητα να ασχοληθώ με κάτι που βρίσκεται στα άμεσα ενδιαφέροντά μου, συνδυάζοντας δύο αντικείμενα με τα οποία ασχολούμαι τα τελευταία 10 χρόνια. Αυτό της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων και αυτό της Γεωπληροφορικής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, στον Καθηγητή ΕΚΠΑ κ. Στουρνάρα Γεώργιο για τις σημαντικές παρατηρήσεις του που βοήθησαν στη βελτίωση του τελικού κειμένου, και στον Λέκτορα του Χαροκοπείου κ. Καλογήρου Σταμάτη που με τα σχόλιά του συνέβαλλε στην αρτιότητα της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του ΑΤΕΙ Αθήνας κ. Βαγγέλη Πισσία, για την βοήθειά του σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων, υδραυλικής και για την παροχή των απαραίτητων ψηφιακών δεδομένων για την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων, καθώς και για τη δυνατότητα να «τρέξω» στο εργαστήριο Υδατικών Πόρων του Τμήματος Τοπογραφίας (ΑΤΕΙ Αθήνας) την εμπορική εφαρμογή *Προσομοίωση Ταμιευτήρα* της εταιρείας Τεχνολογισμική.

Ένα ακόμη φίλο που θα ήθελα να ευχαριστήσω είναι ο Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός Σωτήρης Καραλής, ο οποίος με βοήθησε τα μέγιστα στα πρώτα βήματά μου με το υδρολογικό μοντέλο SWAT και το λογισμικό Προσομοίωση Ταμειευτήρα. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις συναδέλφους Τοπογράφους Μηχανικούς Τ.Ε. Βλαστού Αναστασία και Κλωνή Κατερίνα για τη παροχή των διαγραμμάτων, τα οποία χρησιμοποίησα για τις ανάγκες της εργασίας αυτής.

Έναν ακόμη άνθρωπο στον οποίο χρωστώ ευγνωμοσύνη και που θα ήθελα επί τη ευκαιρία να ευχαριστήσω είναι ο Επίκουρος Καθηγητής του ΑΤΕΙ Αθήνας Ανδρέας Τσάτσαρης για την παροχή των ψηφιακών δεδομένων κάλυψης γης, στοιχεία απαραίτητα για την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγο και σύντροφό μου Κατερίνα Σπηλιά για τη συμπαράσταση και τη βοήθειά της, ώστε να ανταπεξέλθω στις δυσκολίες που αντιμετώπισα στην εργασία αυτή και ελπίζω βέβαια να μην θεωρηθώ αμετροεπής αφιερώνοντάς της το παρόν πόνημα.

Κλεομένης Καλογερόπουλος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	8
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	10
Περίληψη	11
Abstract	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι.....	15
Εισαγωγή.....	15
1.1 Υδατικοί πόροι	15
1.1.1 Οι υδατικοί πόροι και η διαχείρισή τους στην Ελλάδα.....	16
1.1.2 Οι υδατικοί πόροι στην Άνδρο	20
1.1.3 Ο ρόλος των Μικρών Ορεινών Ταμιευτήρων (ΜΟΤ)	20
1.2 Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 60/2000	23
1.3 Αντικείμενο & δομή της εργασίας	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ.....	30
GIS & Υδρολογία.....	30
2.1 Εισαγωγικά για τα GIS.....	30
2.2 Υδρολογία	32
2.2.1 Ο υδρολογικός κύκλος	33
2.2.2 Υδρολογικά μοντέλα	35
2.3 Χωρική υδρολογία (Spatial Hydrology).....	37
2.4 Τα υδρολογικά μοντέλα & το SWAT	42
2.4.1 Περιγραφή του μοντέλου SWAT	42
2.4.2 Η υδρολογία του μοντέλου	47
2.4.3 Η βασική εξίσωση του μοντέλου	50
2.4.4 Εφαρμογές του μοντέλου	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ.....	55
Φράγματα & Λιμνοδεξαμενές	55
3.1 Γενικά	55
3.2 Φράγματα	58
3.3 Λιμνοδεξαμενές	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙV.....	64
Η περιοχή μελέτης – Η Ν. Άνδρος	64
4.1 Η Άνδρος	64
4.1.1 Ιστορικά στοιχεία	65
4.1.2 Ανθρωπογενές περιβάλλον	66
4.1.3 Διοικητική Διαίρεση	68

4.1.4 Κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά	68
4.2 Κλίμα	68
4.3 Γεωλογία	70
4.4 Υδρογεωλογία	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ V.....	76
Ανάπτυξη του υδρολογικού μοντέλου	76
5.1 Γενικά	76
5.2 Δεδομένα εισόδου	79
5.2.1 Τρισδιάστατο Μοντέλο Εδάφους (DEM).....	79
5.2.2 Χάρτης Κάλυψης Γης (land cover)	85
5.2.3 Εδαφολογικός χάρτης (soil map).....	87
5.2.4 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	91
5.2.4.1 Βροχομετρικά δεδομένα	91
5.2.4.2 Δεδομένα θερμοκρασίας	93
5.2.4.3 Ηλιακή ακτινοβολία	95
5.2.4.4 Ταχύτητα ανέμου	95
5.3 Εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου	96
5.4 Αποτελέσματα για δυο θέσεις φραγμάτων.....	97
5.4.1 Προσομοίωση στη Θέση 1	98
5.4.2 Προσομοίωση στη Θέση 2.....	102
5.5 Σύνοψη αποτελεσμάτων	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI.....	108
Διαχείριση Ταμιευτήρα	108
6.1 Γενικά	108
6.2 Δεδομένα εισόδου	111
6.2.1 Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας	112
6.2.2 Κατακρήμνιση	116
6.2.3 Θερμοκρασία.....	116
6.2.4 Εισροή ανά ημέρα.....	116
6.2.5 Γεωγραφικό πλάτος.....	117
6.2.6 Ετήσια ποσότητα απόληψης & μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της εκροής	118
6.2.7 Όγκοι λειτουργίας	120
6.3 Εκτέλεση προσομοιώσεων	121
6.4 Αποτελέσματα	123
6.5 Συζήτηση αποτελεσμάτων	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII	127
Αποτελέσματα	127
7.1 Γενικά	127
7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	134
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	134
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	137
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - Αποτελέσματα Προσομοίωσης του SWAT	145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ – Αποτελέσματα προσομοίωσης SWAT για τη λεκάνη των Αφρουσών (συνολικά)	148

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III – Πίνακας Φραγμάτων & Λιμνοδεξαμενών του Υπουργείου Γεωργίας	151
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV – Μετρήσεις του Ανδριώτη μελισσοκόμου	156

ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1 Καταγραφή πλημμυρικού φαινομένου (22/01/2010 – 04:00πμ) από τον σταθμηγράφο στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών.	27
Γράφημα 2 Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 1).	113
Γράφημα 3 Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 2).	115
Γράφημα 4 Κατανομή μηνιαίων συντελεστών απόληψης με βάση το σενάριο που δημιουργήθηκε για τη ζήτηση.	119

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (πηγή: Υπ. Ανάπτυξης).	17
Εικόνα 2 Η επίδραση των μεγάλων φραγμάτων παγκοσμίως (πηγή: Nilsson et al. 2005).	22
Εικόνα 3 Σταθμηγράφος στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών.	26
Εικόνα 4 Βροχόμετρο στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών.	27
Εικόνα 5 Σχέση υδρολογίας με συναφείς επιστήμες (πηγή: http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Mulabo/research/index.html).	32
Εικόνα 6 Ο υδρολογικός κύκλος (πηγή: USGS).	33
Εικόνα 7 Ο υδρολογικός κύκλος (πηγή: Μιμίκου).	34
Εικόνα 8 Ένα Υδρολογικό Σύστημα Πληροφοριών.	39
Εικόνα 9 Το CUAHSI-HIS.	40
Εικόνα 10 Σύστημα Λεκάνης Απορροής SWAT (Καραλής και Ζαχαριά 2009).	47
Εικόνα 11 Χημικές διεργασίες στο κύριο υδατόρεμα (Καραλής και Ζαχαριά 2009).	50
Εικόνα 12 Κατασκευασμένα φράγματα & Λιμνοδεξαμενές από το Υπουργείο Γεωργίας (πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).	57
Εικόνα 13 Κάτοψη λιμνοδεξαμενής και φράγματος.	58
Εικόνα 14 Χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα, Φανερωμένη Μεσσαρά, Ηράκλειο Κρήτης (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).	60
Εικόνα 15 Λιθόρριπτο φράγμα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος, Λειβάδι Πάτμου (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).	60
Εικόνα 16 Φράγμα & λιμνοδεξαμενή, Ερεσός Λέσβου (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).	61
Εικόνα 17 Φράγμα & λιμνοδεξαμενή, Λειβάδι Αστυπάλαιας (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).	62
Εικόνα 18 Οι οικισμοί της Ν. Άνδρου.	69
Εικόνα 19 Γεωλογικός χάρτης Ν. Άνδρου (πηγή: Παπανικολάου 1978, Ι.Γ.Μ.Ε., με ίδια επεξεργασία).	71
Εικόνα 20 Βρύσες με φυσική ροή στους Μένητες.	72
Εικόνα 21 Υδρογεωλογικός χάρτης Ν. Άνδρου (πηγή: Παπανικολάου 1978, Ι.Γ.Μ.Ε., με ίδια επεξεργασία).	73
Εικόνα 22 Διαβάθμιση υδροπερατότητας Ν. Άνδρου (πηγή: Παπανικολάου 1978, Ι.Γ.Μ.Ε., με ίδια επεξεργασία).	74
Εικόνα 23 Το βασικό μενού του SWAT.	77
Εικόνα 24 Δημιουργία Project.	79

Εικόνα 25 Εισαγωγή DEM.....	79
Εικόνα 26 Εισαγωγή και επεξεργασία DEM.....	80
Εικόνα 27 Πλήρωση του DEM.	81
Εικόνα 28 Κατεύθυνση ροής.....	82
Εικόνα 29 Κωδικοποίηση κατεύθυνσης ροής.....	82
Εικόνα 30 Δημιουργία ρεμάτων και εξόδων λεκανών απορροής.....	83
Εικόνα 31 Επιλογή εξόδου.....	84
Εικόνα 32 Η λεκάνη των Αφρουσών.....	84
Εικόνα 33 Περιγραφή της λεκάνης των Αφρουσών.....	85
Εικόνα 34 Χάρτης κάλυψης γης & αντιστοιχία δεδομένων.....	86
Εικόνα 35 Αντιστοιχία υδρολιθολογικού χάρτη με τύπο εδάφους από τη βάση του SWAT..	88
Εικόνα 36 Δημιουργία επιπέδου κλίσεων.....	89
Εικόνα 37 Δημιουργία MYA.....	90
Εικόνα 38 Αναφορά (report) του SWAT για τις MYA.....	90
Εικόνα 39 Συσχέτιση βροχών στον άξονα Καρύστου-Νάξου.....	92
Εικόνα 40 Εισαγωγή του συνθετικού μετεωρολογικού σταθμού.....	94
Εικόνα 41 Η καρτέλα για τα έτη προσομοίωσης.....	96
Εικόνα 42 Υπολογισμός παραμέτρων για κάθε έτος προσομοίωσης.....	96
Εικόνα 43 Αναφορά των αποτελεσμάτων.....	97
Εικόνα 44 Σημεία ζήτησης νερού στη Ν. Άνδρο (ύδρευση & άρδευση, Πισσίας 2010).....	98
Εικόνα 45 Κάλυψη γης (θέση 1).....	99
Εικόνα 46 Υδροπερατότητα (θέση 1).....	99
Εικόνα 47 Κλίσεις (θέση 1).....	100
Εικόνα 48 Η λεκάνη απορροής των Αφρουσών και η ανάντη λεκάνη στη θέση 1 (πηγή: ArcGIS Explorer, με ίδια επεξεργασία).....	101
Εικόνα 49 Κάλυψη γης (θέση 2).....	102
Εικόνα 50 Υδροπερατότητα (θέση 2).....	102
Εικόνα 51 Κλίσεις (θέση 2).....	103
Εικόνα 52 Η λεκάνη απορροής των Αφρουσών και η ανάντη λεκάνη στη θέση 2 & 1(πηγή: ArcGIS Explorer, με ίδια επεξεργασία).....	104
Εικόνα 53 Η λεκάνη των Αφρουσών, οι δύο θέσεις φράγματος που μελετώνται και οι ανάντη λεκάνες απορροής (πηγή: ArcGIS Explorer, με ίδια επεξεργασία).....	104
Εικόνα 54 Σουίτα πακέτων Works 2009 της Τεχνολογισμικής.....	108
Εικόνα 55 Το μενού της Προσομοίωσης Ταμιευτήρα.....	109
Εικόνα 56 Το φράγμα στη θέση 1 πάνω σε τοπογραφικό διάγραμμα 1:5.000.....	112
Εικόνα 57 Το φράγμα στη θέση 2 πάνω σε τοπογραφικό διάγραμμα 1:5.000 (Βλαστού και Κλωνή 2010).....	114
Εικόνα 58 Εισαγωγή καμπύλης στάθμης-επιφάνειας στο πρόγραμμα.....	115
Εικόνα 59 Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων.....	117
Εικόνα 60 Εισαγωγή γεωγραφικού πλάτους & υπολογισμός της μέσης αστρονομικής διάρκειας της ημέρας.....	117
Εικόνα 61 Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της ετήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού.....	120
Εικόνα 62 Όγκοι λειτουργίας.....	121
Εικόνα 63 Αποτελέσματα εκτέλεσης προγράμματος.....	122

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Υδατικό ισοζύγιο Ελλάδας (πηγή: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον – Αειφόρος Ανάπτυξη, 2007).....	18
Πίνακας 2 Ζήτηση νερού ανά χρήση ανά Υ.Δ. (Κουτσογιάννης κ.α., 2008).....	19
Πίνακας 3 Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων (πηγή: Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος 1999).....	56

Πίνακας 4 Εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού της Άνδρου (πηγή: ΕΣΥΕ)	66
Πίνακας 5 Εκτίμηση αύξησης του πληθυσμού -μόνιμου και εποχιακού- (πηγή: Ειδική Χωροταξική Μελέτη Νήσου Άνδρου).	67
Πίνακας 6 Αντιστοιχία κατηγοριών ILOT & SWAT.....	86
Πίνακας 7 Υδρολογικά/υδραυλικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων Ν. Άνδρου.....	87
Πίνακας 8 Αντιστοιχία υδροπερατότητας και τύπου εδάφους του SWAT.	88
Πίνακας 9 Κατηγορίες κλίσεων.	89
Πίνακας 10 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις Ν. Άνδρου.	93
Πίνακας 11 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες Ν. Άνδρου.....	94
Πίνακας 12 Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία (μέρες στον μήνα).	95
Πίνακας 13 Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (m/s).....	95
Πίνακας 14 Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη θέση 1 (1 ^ο έτος προσομοίωσης).	100
Πίνακας 15 Επεξήγηση ορολογίας των αποτελεσμάτων του SWAT (Arnold & Di Luzio 2002).....	101
Πίνακας 16 Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη θέση 2 (1 ^ο έτος προσομοίωσης).	103
Πίνακας 17 Πίνακας καμπύλης στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 1).	113
Πίνακας 18 Πίνακας καμπύλης στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 2).	114
Πίνακας 19 Μέσες υπερετήσεις μηνιαίες θερμοκρασίες.....	116
Πίνακας 20 Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της ετήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού.	119
Πίνακας 21 Σύνολο αστοχιών σε μήνες ανά σενάριο ετήσιας απόληψης & ύψους φράγματος (θέση 1).	123
Πίνακας 22 Ποσοστό αστοχιών (%) προσομοίωσης (θέση 1).	123
Πίνακας 23 Σύνολο αστοχιών σε μήνες ανά σενάριο ετήσιας απόληψης & ύψους φράγματος (θέση 2).	124
Πίνακας 24 Ποσοστό αστοχιών (%) προσομοίωσης (θέση 2).	124

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Κατανομή του νερού της Γης (πηγή: USGS).....	16
Σχήμα 2 Κατηγορίες Υδρολογικών Μοντέλων (πηγή: Μιμίκου, ΕΜΠ).....	37
Σχήμα 3 Σχηματική αναπαράσταση προσέγγισης χωρικής υδρολογίας σε αντιδιαστολή με τα υδρολογικά μοντέλα φυσικής βάσης (Maidment 1996).	38
Σχήμα 4 Βασική περιγραφή του CUAHSI-HIS.	41
Σχήμα 5 Ο σκοπός του CUAHSI-HIS σχηματικά.....	41
Σχήμα 6 Τα βήματα της προσομοίωσης με τη χρήση του SWAT (Καραλής και Ζαχαριά 2009).....	44
Σχήμα 7 Ο βασικός υπολογιστικός βρόχος (loop) του μοντέλου (Καραλής και Ζαχαριά 2009).	45
Σχήμα 8 Οι δρόμοι του νερού στο SWAT (Καραλής και Ζαχαριά 2009).....	46
Σχήμα 9 Παράδειγμα αριθμού καμπύλης (πηγή: SCS).	52
Σχήμα 10 Σκαρίφημα χωμάτινου φράγματος (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).	59
Σχήμα 11 Διάγραμμα ροής.....	77
Σχήμα 12 Διάγραμμα ροής Προσομοίωσης Ταμιευτήρα.	110

Περίληψη

Το νερό, ως γνωστόν, είναι ένας πόρος κρίσιμος για τον άνθρωπο, για τη ζωή του και τις δραστηριότητές του. Για το λόγο αυτό, η αξιοποίησή του είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την πρόοδο και την εξέλιξή του και απαιτείται ένα σύνολο δράσεων προκειμένου, τον φυσικό αυτό πόρο, να μπορέσει να τον διαχειριστεί με τρόπο βιώσιμο.

Η παρούσα εργασία περιγράφει μια μεθοδολογία αξιοποίησης υδατικών πόρων με τη δημιουργία μικρών ορεινών και ημιορεινών ταμιευτήρων νερού. Αυτό γίνεται με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), του υδρολογικού μοντέλου SWAT και του Λογισμικού Προσομοίωση Ταμιευτήρα της εταιρείας Τεχνολογισμική.

Η εργασία δομήθηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε ο αναγνώστης να λαμβάνει τις πληροφορίες και τις γνώσεις οι οποίες απαιτούνται προκειμένου να αντιληφθεί αφενός μεν τη χρησιμότητα της υιοθέτησης των υδρολογικών ομοιωμάτων στη μελέτη διαφόρων έργων, αφετέρου δε τα στάδια τα οποία ακολουθούνται στην παρούσα μοντελοποίηση. Έτσι, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η εργασία χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη. Αυτό της θεωρητικής και επιστημονικής τεκμηρίωσης και αυτό της τεχνικής ολοκλήρωσης της μοντελοποίησης. Στο πρώτο μέρος αναφέρονται τα Κεφάλαια I έως και IV και στο δεύτερο μέρος τα κεφάλαια V και VII.

Η Ν. Άνδρος επιλέχθηκε ως η περιοχή μελέτης της εργασίας και η διαδικασία της μελέτης αυτής περιλαμβάνει την υδρολογική ανάλυσή της και κατόπιν την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής (μέσω του υδρολογικού μοντέλου SWAT για 100 χρόνια προσομοίωσης) σε μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής, τη λεκάνη των Αφρουσών. Σε δύο διαφορετικές επιλεγμένες θέσεις της λεκάνης διερευνάται το κατά πόσο είναι εφικτή η κατασκευή ενός μικρού φράγματος, με την ταυτόχρονη

δημιουργία ενός ταμιευτήρα νερού (λιμνοδεξαμενή), με βάση τα ποσοστά αστοχίας απόληψης ορισμένου όγκου νερού ετησίως.

Λέξεις κλειδιά: αξιοποίηση υδατικών πόρων, ΓΣΠ, SWAT, Προσομοίωση Ταμιευτήρα.

Abstract

Water is known to be a critical resource for human life and his activities. For this reason, utilization is an important factor for progress and development and requires a set of actions in order to manage water resources in a sustainable way.

This paper describes a methodology for exploitation of water resources for the creation of small mountainous and upland reservoirs. This can be done through the use of Geographic Information Systems (GIS), while using the SWAT hydrological model and the use of Reservoir Simulation software by Technologismiki.

This study was structured in a way that the reader receives the information and knowledge necessary to understand both the usefulness of the adoption of hydrologic models in order to study various projects and all the steps followed in this modeling. It could be said that the work is divided into two main sections. The first one is the theoretical and scientific background and verification (includes Chapter I, II, III & IV) and the second one is the technical integration of current modeling (includes Chapters V, VI & VII).

Andros was chosen as the case study area. This project involves the hydrologic analysis and the assessment of runoff (using SWAT model for a 100 years simulation) in a particular basin, the Afrouses basin.

In two different selected locations, is investigated the feasibility of constructing a dam with the simultaneous creation of a reservoir based on annual failure rates of deliverability of certain volume of water.

Keywords: water resources exploitation, GIS, SWAT, Reservoir Simulation.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

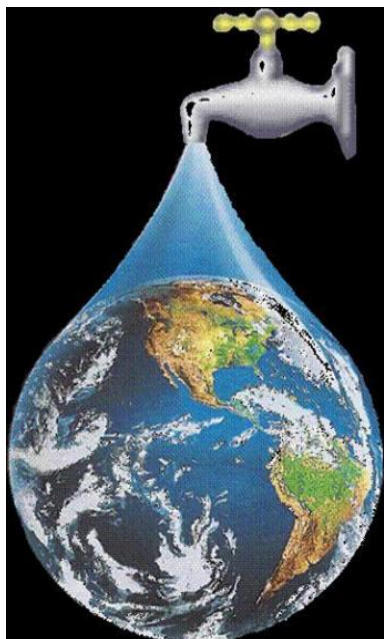
Εισαγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1 Υδατικοί πόροι

Το νερό, ως γνωστόν, είναι ένα από τα απαραίτητα στοιχεία για τη διατήρηση της ζωής. Είναι ταυτόχρονα ένας αναντικατάστατος φυσικός πόρος, καθώς και ένα οικονομικό αγαθό που με το πέρασμα των χρόνων, λόγω της πίεσης που δέχεται (λιγότερες βροχοπτώσεις, μεγαλύτερες ξηρασίες, αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, αύξηση της ζήτησής του σε όλες τις χρήσεις -αστική, βιομηχανική, γεωργική κτλ) γίνεται ολοένα και περισσότερο κατανοητή η αξία του από τις κυβερνήσεις και από τον κόσμο γενικότερα.



Σήμερα υπολογίζεται ότι περίπου το ένα πέμπτο του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε χώρες που αντιμετωπίζουν πίεση στους υδατικούς τους πόρους ή και λειψυδρία. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2025, περισσότεροι από τρία δισεκατομμύρια άνθρωποι θα ζουν σε συνθήκες έντονης πίεσης και έλλειψης νερού. Αυτό μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε συγκρούσεις μεταξύ χωρών και περιοχών, με καταστροφικά αποτελέσματα¹.

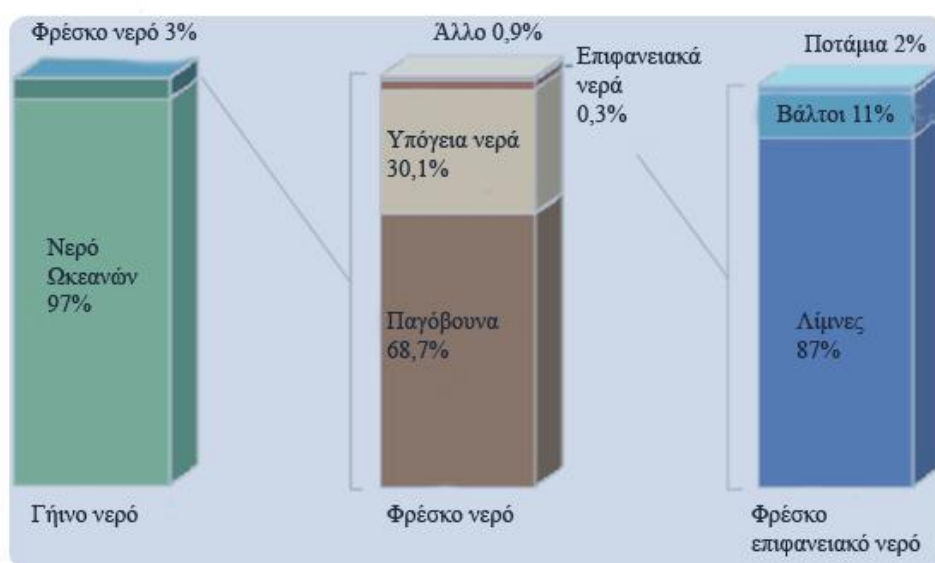
Είναι αναγκαία, λοιπόν, η ενσωμάτωση της έννοιας της διαχείρισης των υδατικών πόρων στις πολιτικές πρακτικές όλων των εμπλεκομένων. Η χρήση ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των υδατικών πόρων μπορεί να

¹ Από την ιστοσελίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών
<http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.html>

εξασφαλίσει την οικονομική, περιβαλλοντική και τεχνική ανάπτυξή τους και εν συνεχεία την αειφορία των υδρολογικών συστημάτων.

Οι προκλήσεις οι οποίες συνδέονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων είναι ολοένα και μεγαλύτερες. Φαινόμενα όπως η αύξηση του πληθυσμού, η μεγαλύτερη κατανάλωση, η ανεπάρκεια του νερού, η επέκταση της επιχειρηματικής δραστηριότητας, η ταχεία αστικοποίηση που παρατηρείται στις αναπτυγμένες αλλά και στις αναπτυσσόμενες χώρες, η ρύπανση και η εξάντληση των υδροφορέων και τέλος η αλλαγή του κλίματος, συμβάλλουν καθοριστικά στο να υιοθετηθούν πρακτικές και πολιτικές διαχείρισης προκειμένου να μειωθεί η πίεση που ασκούν οι άνθρωποι στο νερό αλλά και το νερό στους ανθρώπους, καθώς μεταξύ τους υφίσταται μια αμφίδρομη σχέση.

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η κατανομή του νερού της γης και γίνεται φανερό πως ο άνθρωπος έχει διαθέσιμο για άμεση εκμετάλλευση μόνο το 3% του νερού του πλανήτη (φρέσκο νερό)².



Σχήμα 1 Κατανομή του νερού της Γης (πηγή: USGS).

1.1.1 Οι υδατικοί πόροι και η διαχείρισή τους στην Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια η προστασία του περιβάλλοντος καταλαμβάνει όλο και μεγαλύτερη θέση στις συνειδήσεις των ανθρώπων, στην καθημερινή τους ζωή, στις

² Χωρίς να υπολογίζεται σε αυτό το σημείο η εκμετάλλευση του θαλασσινού νερού με μεθόδους αφαλάτωσης κτλ.

εξαγγελίες των ιθυνόντων σε όλο τον κόσμο. Παρόλα αυτά όμως, τα προβλήματα διαχείρισης του περιβάλλοντος δεν υποχωρούν και τα βήματα που γίνονται είναι συνήθως δειλά, με συνέπεια οι συγκρούσεις που προκύπτουν να είναι έντονες. Το πρόβλημα είναι πολυδιάστατο και πηγάζει κυρίως από την αναπτυξιακή πολιτική που ακολουθήθηκε και ακολουθείται, στην ταύτιση της όποιας ανάπτυξης με την οικονομική μεγέθυνση και την μεγιστοποίηση του κέρδους.

Η πολιτική αειφόρου διαχείρισης του περιβάλλοντος, όσο και αν έχει παγκόσμια χαρακτηριστικά, αποτελεί ένα εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε οποιαδήποτε περιοχή. Η διαχείριση των υδατικών πόρων, του σημαντικότερου ίσως φυσικού πόρου, δεν θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί πέρα από το συνολικό αυτό πλαίσιο.

Στην Ελλάδα, τα προηγούμενα χρόνια, υπήρχε μια πολυδιάσπαση αρμοδιοτήτων, όσον αφορά στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Πολλά υπουργεία (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ανάπτυξης, Γεωργίας, Υγείας κτλ), πολλές υπηρεσίες (ΟΤΑ, δήμοι, νομαρχίες) είχαν επωμιστεί και ένα κομμάτι της διαχείρισης. Έτσι, για παράδειγμα σε κάθε υδατικό διαμέρισμα (Εικόνα 1) η εμπλοκή όλων των παραπάνω φορέων δημιουργούσε πρόβλημα στη βάση μιας ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Αυτό αρχίζει και εκλείπει με την πάροδο του χρόνου, καθώς η δαμόκλειος σπάθη της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιβάλλει κανόνες και οδηγίες προς την κατεύθυνση της αειφορικότερης διαχείρισής τους.



Εικόνα 1 Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (πηγή: Υπ. Ανάπτυξης).

Η οδηγία 60/2000 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους υδατικούς πόρους συμβάλλει αποφασιστικά προς την κατεύθυνση μιας ενιαίας πολιτικής αντιμετώπισης των υδατικών πόρων εντός των τειχών της.

Στην Ελλάδα, οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι κρίνονται επαρκείς στο σύνολο της χώρας. Εκτός από περιοχές που είναι κατά παράδοση περιοχές με γεωργία και συνεπώς κατά το πλείστον αρδευόμενες, στις υπόλοιπες περιοχές παρατηρείται μια πλεονάζουσα υδατική ποσότητα. Είναι, επίσης, σημαντικό σε αυτό το σημείο να αναφερθεί το γεγονός πως στην Ελλάδα το πρόβλημα έγκειται κυρίως στη χώρο-χρονική ανισοκατανομή της προσφοράς και της ζήτησης των υδατικών πόρων (Κουτσογιάννης, 2008). Έτσι σε πολλές περιπτώσεις ενώ το ισοζύγιο είναι πλεονασματικό, παρουσιάζονται συχνά ελλείψεις σε νερό.

	Υδατικά διαμερίσματα	Έκταση (km ²)	Όγκος Βροχής (hm ³)	Εξάτμιση ⁵ (hm ³)	Υδατικό Δυναμικό (hm ³)	Προσφορά ⁴ (hm ³)	Ζήτηση ⁴ (hm ³)	Παρατηρήσεις ⁴
01	Δυτικής Πελοποννήσου	7301	8031	3614	4417	73	55	Πλεονασματικό
02	Βόρειας Πελοποννήσου	7310	6404	2824	3580	122	104	Πλεονασματικό
03	Ανατολικής Πελοποννήσου	8477	6553	3290	3273	56	67	Ελλειμματικό
04	Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	10199	13973	5310	8663	417	82	Πλεονασματικό
05	Ηπείρου	10026	17046	6818	10228	206	39	Πλεονασματικό
06	Αττικής	3207	1642	1150	492	64	64	Οριακά πλεονασματικό ¹
07	Ανατ. Στερεάς Ελλάδας	12341	9516	5257	4259	128	176	Ελλειμματικό ²
08	Θεσσαλίας	13377	10434	6260	4174	223	337	Ελλειμματικό
09	Δυτικής Μακεδονίας	13440	10470	5654	4816	159	136	Πλεονασματικό
10	Κεντρικής Μακεδονίας	10389	6068	3034	3034	137	130	Οριακά πλεονασματικό
11	Ανατολικής Μακεδονίας	7280	4917	2722	2195	354	132	Πλεονασματικό
12	Θράκης	11177	8574	5325	3249	424	253	Πλεονασματικό
13	Κρήτης	8335	7500	4874	2626	130	133	Οριακά ελλειμματικό ³
14	Νήσων Αιγαίου	9103	5192	3104	2088	7	25	Ελλειμματικό
Σύνολο χώρας		131962	116330	59236	57094	2500	1733	Πλεονασματικό

Πίνακας 1 Υδατικό ισοζύγιο Ελλάδας (πηγή: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον – Αειφόρος Ανάπτυξη, 2007).

¹Οι υδατικοί πόροι είναι κατά βάση μεταφερόμενοι από γειτονικά διαμερίσματα.

²Οι αρδευόμενες εκτάσεις κατά ΕΣΥΕ φαίνονται υπερεκτιμημένες και γι' αυτό, το διαμέρισμα, ενώ έχει σήμερα οριακά επαρκείς πόρους, εμφανίζεται ως έντονα ελλειμματικό.

³Σήμερα, η ζήτηση καλύπτεται πλημμελώς κυρίως από πηγές και γεωτρήσεις.

⁴Οι τιμές και τα χαρακτηριστικά τους αφορούν κυρίως το μήνα Ιούλιο.

⁵Οι τιμές είναι σχετικά υπερεκτιμημένες.

Οι αριθμοί του προηγούμενου πίνακα δεν προέρχονται στο σύνολό τους από μετρήσεις αλλά και από συμπλήρωση ελλিপών στοιχείων με λογισμικά προγραμμάτων. Επίσης, ο τομέας των υπογείων νερών είναι χαρακτηρισμένος, ακόμα και από τους συντάκτες του πίνακα, ως πολύ ελλειμματικός σε στοιχεία.

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το έντονο, κατακερματισμένο ανάγλυφο σε συνδυασμό με το μικρό ύψος κατακρημνισμάτων που ευνοεί την απορροή εις βάρος της κατεισδύσεως και φυσικά η έντονη ηλιοφάνεια και οι άνεμοι που ευνοούν την εξάτμιση και την ολόπλευρη προσβολή από τη θάλασσα που, σε συνδυασμό με τη μικρή έκταση, ευνοούν την υφαλμύρωση. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται κυρίως τα νησιά που σηκώνουν το βάρος του μεγαλύτερου μέρους του τουρισμού στην Ελλάδα.

Στον πίνακα που ακολουθεί αποτυπώνεται η εικόνα με τη ζήτηση νερού ανά χρήση και ανά υδατικό διαμέρισμα.

Υ.Δ.	Υδατικά διαμερίσματα	Άρδευση	Κτηνοτροφία	Υδρευση	Βιομηχανία	Λοιπές	Σύνολο
01	Δυτικής Πελοποννήσου	201,0	5,0	23,0	3,0	20,0	252,0
02	Βόρειας Πελοποννήσου	401,5	6,6	41,7	3,0		452,8
03	Ανατολικής Πελοποννήσου	324,9	4,7	22,1			351,7
04	Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	366,5	9,0	22,4			397,9
05	Ηπείρου	153,5	10,3	33,9	4,3		202,0
06	Αττικής	99,0	2,5	420,0	17,5		539,0
07	Ανατ. Στερεάς Ελλάδας	773,7	9,9	41,6	12,6		837,8
08	Θεσσαλίας	1550,0	13,0	69,0			1632,0
09	Δυτικής Μακεδονίας	609,4	7,9	43,7	30,0	80,0	771,0
10	Κεντρικής Μακεδονίας	527,6	8,0	99,8	80,0		715,4
11	Ανατολικής Μακεδονίας	627,0	5,8	32,0			664,8
12	Θράκης	825,2	7,1	27,9	11,0		871,2
13	Κρήτης	320,0	10,2	42,3			372,5
14	Νήσων Αιγαίου	80,2	6,8	37,2			124,2
Σύνολο χώρας		6859,5	106,8	956,6	161,4	100,0	8184,3

Πίνακας 2 Ζήτηση νερού ανά χρήση ανά Υ.Δ. (Κουτσογιάννης κ.α., 2008).

Στον προηγούμενο πίνακα οι λοιπές χρήσεις για τα διαμερίσματα Δυτικής Πελοποννήσου και Δυτικής Μακεδονίας αναφέρονται σε νερό ψύξης των Η/Υ Σταθμών Μεγαλόπολεως και Πτολεμαΐδας.

1.1.2 Οι υδατικοί πόροι στην Άνδρο

Η Ν. Άνδρος χαρακτηρίζεται ως ένα νησί προικισμένο σε σχέση με το υδατικό της δυναμικό. Παρόλα αυτά, όπως και πολλά νησιά του συμπλέγματος των Κυκλάδων, έτσι και η Άνδρος παρουσιάζει κατά καιρούς ελλείψεις στο υδατικό ισοζύγιο της. Η έλλειψη αυτή είναι είτε μεγάλης, είτε μικρότερης έντασης περιοδικά.

Το ζήτημα αυτό προκύπτει από την συνεχώς αυξανόμενη εποχιακή ζήτηση, η οποία ενίοτε είναι υπερβάλλουσα (κατασπατάληση νερού σε ιδιωτικές πισίνες, παρωχημένοι υδροβόροι τρόποι ποτίσματος κτλ.). Η ζήτηση αυτή είναι εν μέρει αντιμετωπίσιμη από τις εκάστοτε αρχές, αλλά συνήθως “δεν υπόκειται σε κανενός τύπου μηχανισμό κοινωνικής ρύθμισης” (Πισσίας 2010). Τα μέτρα που λαμβάνονται προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ζήτηση αυτή συνήθως είναι δαπανηρά, χωρίς να γίνεται προσπάθεια συνολικής αντιμετώπισης του θέματος της διαχείρισής της.

Σημαντική είναι επίσης η αντιπαράθεση που δημιουργείται στην Άνδρο, αλλά και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας (κυρίως τις νησιωτικές), όπου παρατηρείται ένας ανταγωνισμός μεταξύ των διαφορετικών χρήσεων νερού. Έτσι, για παράδειγμα, οι τουριστικές επιχειρήσεις, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, ζητούν να κατέχουν την πρωτιά όσον αφορά στην παροχή νερού προς αυτές, σε βάρος των αγροτικών επιχειρήσεων οι οποίες κατά το πλείστον είναι μικρές. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί μια “φυσική” απόρροια της στρέβλωσης του μοντέλου της κοινωνικο-οικονομικής ανάπτυξης, η οποία εφαρμόστηκε στη μεταπολεμική Ελλάδα (σε αυτό το θέμα θα γίνει εκτενέστερη αναφορά παρακάτω).

1.1.3 Ο ρόλος των Μικρών Ορεινών Ταμιευτήρων (MOT)

Το παρόν πόνημα προσπαθεί να αναδείξει, όπως ήδη έχει αναφερθεί, μια μεθοδολογία για την επιλογή κατάλληλων θέσεων για τη δημιουργία μικρών ορεινών ταμιευτήρων.

Η επιλογή των μικρών ταμιευτήρων εδράζεται πάνω σε μια λογική η οποία λαμβάνει υπόψη οικονομικά κριτήρια, κοινωνικές αναγκαιότητες και περιβαλλοντικές δεσμεύσεις (Forzieri et al. 2008). Δυνητικά “μπορεί να αποτελέσει ένα αναγκαίο διαχειριστικό εργαλείο σε περιπτώσεις ενός μεταβαλλόμενου και ασταθούς ισοζυγίου” (Πισσίας 2010).

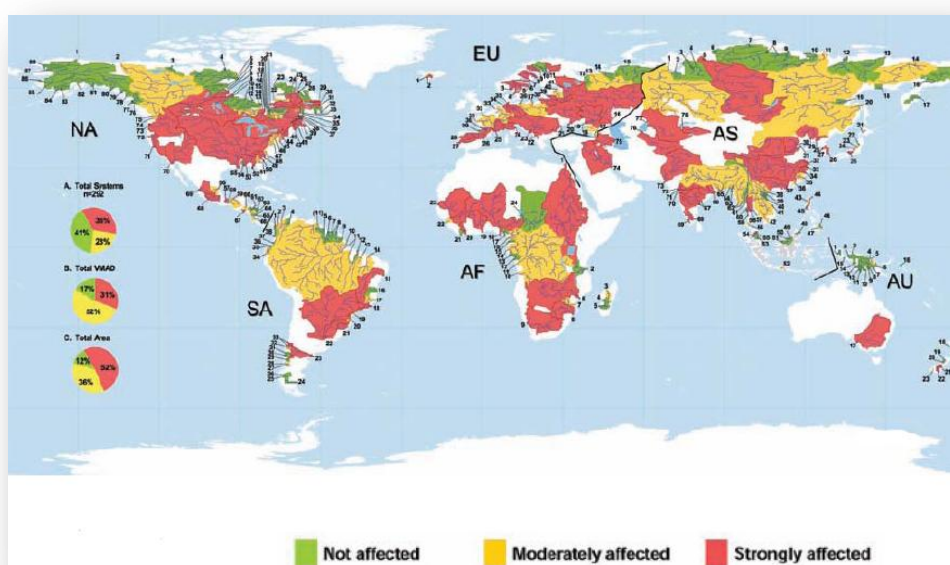
Είναι γεγονός πως η παροχή νερού στην κατανάλωση (ύδρευση & άρδευση) επιβάλλεται να καθορίζεται από τη ζήτηση. Συνεπώς, λόγω της χώρο-χρονικής ανισοκατανομής της προσφοράς και της ζήτησης, είναι απαραίτητη η αποθήκευση νερού³.

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την κατασκευή μικρών φραγμάτων και την ταυτόχρονη δημιουργία μικρών ταμιευτήρων σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές είναι τα εξής:

- ✚ Η αστική και η αγροτική χρήση στην περιοχή, με την ταυτόχρονη ανάπτυξη δραστηριοτήτων -αύξηση της αγροτικής παραγωγής (Ashraf et al 2007) σε αντίρροπη δυναμική προς την συνεχώς αυξανόμενη ενασχόληση των ντόπιων πληθυσμών με τον τουρισμό (Khelifi et al 2010).
- ✚ Η εξασφάλιση της μείωσης της απορροής προς τη θάλασσα, επιμηκύνοντας την περίοδο της ροής του ρέματος-ποταμού (Lajoie 2007).
- ✚ Η ύπαρξη υδατοστεγανών θέσεων για τη δημιουργία ταμιευτήρων, ώστε να μειώνονται οι απώλειες από κατείδυση. Μια εύλογη κατείδυση είναι ζητούμενο, καθώς εμπλουτίζεται ο υπόγειος υδροφόρας. Ο εμπλουτισμός αυτός τροφοδοτεί τις πέριξ και κατάντη του φράγματος πηγές.
- ✚ Η τοπογραφία της περιοχής, ώστε να υπάρχουν οι προϋποθέσεις δημιουργίας ταμιευτήρα ικανοποιητικού όγκου που να καλύπτει τη ζήτηση.
- ✚ Η προστασία των κατάντη οικισμών και των εν γένει ανθρώπινων δραστηριοτήτων (από πλημμύρες επί παραδείγματι).
- ✚ Η δημιουργία περιβαλλοντικών “οάσεων”, καθώς ταυτόχρονα με τον ταμιευτήρα δημιουργείται και “*ένας μικρός ορεινός βιότοπος που επιτρέπει τη διατήρηση και ανάπτυξη δραστηριοτήτων στις ορεινές περιοχές, σε αντίρροπη κατεύθυνση προς την συνεχώς αυξανόμενη τάση αστικοποίησης και εκμετάλλευσης των παραθαλάσσιων και παράκτιων περιοχών*” (Πισσίας 2010).

³ Κατσίρη Α., Κουτσογιάννης Δ., *Ταμιευτήρες: Αναγκαιότητα, επιπτώσεις και διαχείρισή τους. Το παράδειγμα του ταμιευτήρα Ταυρωπού*, σημειώσεις για το Διατμηματικό μάθημα: Περιβάλλον & Ανάπτυξη, Ε.Μ.Π., 2005.

Είναι διαπιστωμένο πως με τη δημιουργία ενός ταμιευτήρα μεταβάλλονται κάποιες ισορροπίες στα κατά τόπους οικοσυστήματα. Οι επιπτώσεις από τη δημιουργία τους γενικά μπορεί να είναι θετικές (κάλυψη ζήτησης, προστασία από πλημμύρες κτλ), αλλά και αρνητικές, όπως για παράδειγμα κατάκλυση περιοχών, αλλαγή στην γεωμορφολογία της κοίτης, των όχθων, των παράκτιων περιοχών λόγω της συγκράτησης φερτών και πολλά άλλα (Omani et al. 2007). Στην εικόνα που ακολουθεί καταγράφεται η επίδραση των φραγμάτων (μικρών και κυρίως μεγάλων) παγκοσμίως.



Εικόνα 2 Η επίδραση των μεγάλων φραγμάτων παγκοσμίως (πηγή: Nilsson et al. 2005).

Εν κατακλείδι, μπορεί να ειπωθεί πως η κατασκευή φραγμάτων, δυνητικά, είναι δυνατόν να επιφέρει συνέπειες που να αφορούν στο φυσικό περιβάλλον (βιοφυσικές συνέπειες) και στο ανθρωπογενές περιβάλλον (Magilligan & Nislow 2005), δηλαδή κοινωνικο-οικονομικές και γεωπολιτικές συνέπειες, οι οποίες είναι μετρήσιμες και αναγκαίες, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη σε αναλύσεις κόστους-οφέλους (Brown 2009) προκειμένου να υιοθετούνται βέλτιστες αποφάσεις και βιώσιμες πολιτικές.

1.2 Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 60/2000⁴

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνώρισε από πολύ νωρίς την αναγκαιότητα της υιοθέτησης κατάλληλων δράσεων, προκειμένου να αποφύγει μια πιθανή μείωση της ποσότητας και επιδείνωση της ποιότητας των εσωτερικών υδάτων των κρατών-μελών της. Στόχος ήταν εξ αρχής η διαμόρφωση μιας συνολικής πολιτικής αντιμετώπισης αυτών των θεμάτων, η οποία θα οδηγούσε στη διατήρηση, στη βελτίωση και στην προστασία των υδάτινων συστημάτων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στις 23 Οκτωβρίου 2000 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξέδωσαν την οδηγία 60/2000 (Water Framework Directive), η οποία αποτελεί το νομικό πλαίσιο για την προστασία των υδατικών πόρων, θεωρώντας το νερό ως περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό αγαθό.

Δίνεται μεγάλη σημασία από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην ενσωμάτωση (αλλά και στον έλεγχο εφαρμογής) της παραπάνω οδηγίας στις εθνικές νομοθεσίες των κρατών-μελών, προκειμένου να αντιμετωπίζονται τα θέματα συνολικά. Η ενσωμάτωση της οδηγίας στην ελληνική νομοθεσία πραγματοποιήθηκε με την ψήφιση του νόμου 3199/2003.

Μία από τις βασικές παραμέτρους της οδηγίας είναι η απαίτηση από όλα τα μέλη-κράτη να εκπονήσουν διαχειριστικά πλάνα (ολοκληρωμένα προγράμματα διαχείρισης) σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, ώστε εντός της λεκάνης να εξασφαλίζεται η αειφορική διαχείρισή της. Η οδηγία καθορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο τα μέλη-κράτη είναι υποχρεωμένα να προβούν σε ολοκληρωμένους σχεδιασμούς ανά ποτάμια λεκάνη σε μακροσκοπικό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο υπολεκάνης. Οι δράσεις, οι οποίες επιβάλλεται να αναπτυχθούν, περιλαμβάνουν προγράμματα και σχέδια διαχείρισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων, ιδιαίτερων τομέων της οικονομίας (γεωργία, βιομηχανική χρήση κτλ.), των ειδικών χαρακτηριστικών κάθε οικοσυστήματος κτλ. Κατά συνέπεια, ο παραπάνω σχεδιασμός συνεπάγεται την παρακολούθηση των υδάτων, την εκτίμηση των αναγκών σε νερό για το σύνολο των χρήσεων και τον καθορισμό των στόχων και των τρόπων επίτευξής τους⁵.

⁴ Η οδηγία είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20090625:EL:HTML>

⁵ Φυτιάνος Κων/νος, Διάλεξη στο Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης & Αυτοδιοίκησης, Ιούλιος 2008, Σημειώσεις για το Επιμορφωτικό Σεμινάριο με θέμα «Διαχείριση Υδατικών Πόρων».

Η οδηγία 60/2000 αναφέρει ρητά ότι το ύδωρ δεν είναι εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα, αλλά αποτελεί κληρονομιά η οποία πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα εργασία φιλοδοξεί με τη χρήση ενός υδρολογικού μοντέλου να προσομοιώσει τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου σε μια μικρή λεκάνη απορροής. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς την κατεύθυνση του ορθολογικού σχεδιασμού και την υιοθέτηση κατάλληλων πολιτικών για την βιώσιμη διαχείριση των λεκανών απορροής σύμφωνα με την οδηγία 60/2000.

Ένα ζήτημα που αξίζει να επισημανθεί εξ αρχής είναι το γεγονός πως τα περισσότερα υδρολογικά μοντέλα (ομοιώματα) έχουν δημιουργηθεί εκτελώντας προσομοιώσεις σε λεκάνες απορροής μεγάλων ποταμών (μόνιμης ροής και μεγάλης παροχετευτικότητας) και κατά συνέπεια είναι προς εξέταση και πολλές φορές υπό αίρεση τα αποτελέσματά τους, όταν αυτά εφαρμόζονται σε λεκάνες απορροής όπως αυτές της Άνδρου για παράδειγμα, όπου δεν υπάρχουν μεγάλα ποτάμια, παρά μόνο μικρά ρέματα διακοπτόμενης ροής. Αυτή είναι και η πρώτη μεγάλη παραδοχή που γίνεται στην παρούσα εργασία, το γεγονός δηλαδή πως τα περισσότερα υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα που υιοθετούνται από τους επιστήμονες, κυρίως στον ελλαδικό χώρο, αφορούν μεταφορά μιας συγκεκριμένης τεχνογνωσίας χωρίς ταυτόχρονα να γίνεται εξειδίκευση στον ελλαδικό χώρο (Pisinaras et al. 2010).

Εν κατακλείδι, η οδηγία πλαίσιο 60/2000 μπορεί να συνοψιστεί στις παρακάτω δράσεις από την πλευρά όλων των κρατών μελών⁶.

- ✚ Προστατεύει όλα τα ύδατα - ποτάμια, λίμνες, παράκτια ύδατα και υπόγεια ύδατα.
- ✚ Θέτει φιλόδοξους στόχους, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι όλα τα ύδατα θα ανταποκρίνονται στην «**καλή κατάσταση**» μέχρι το 2015.
- ✚ Δημιουργεί σύστημα διαχείρισης για τις λεκάνες απορροής των ποταμών που αναγνωρίζει ότι τα υδροφόρα συστήματα δεν σταματούν στα εθνικά σύνορα.
- ✚ Απαιτεί τη διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ των χωρών και όλων των εμπλεκόμενων μερών.

⁶ Η οδηγία είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20090625:EL:HTML>

- ✚ Εξασφαλίζει την ενεργό συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανισμών και των τοπικών κοινοτήτων στις δραστηριότητες της διαχείρισης των υδάτων.
- ✚ Εξασφαλίζει μείωση και έλεγχο της ρύπανσης από όλες τις πηγές, όπως η γεωργία, η βιομηχανική δραστηριότητα, οι αστικές περιοχές, κ.λπ.
- ✚ Απαιτεί πολιτικές τιμολόγησης του νερού και εξασφαλίζει ότι *ο ρυπαίνων πληρώνει*.
- ✚ Εξισορροπεί τα συμφέροντα του περιβάλλοντος με αυτούς που εξαρτώνται από αυτό.

Είναι αναγκαίο να τονισθεί το γεγονός ότι η Οδηγία δίνει μεγαλύτερο βάρος στην ποιότητα των νερών και όχι στην ποσότητα δεδομένου ότι εκπονήθηκε με τα δεδομένα της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης (έντονη ρύπανση, υπερεπάρκεια νερού) και όχι της Μεσογείου (έντονη ρύπανση συν υφαλμύρωση, έλλειψη νερού). Επιπλέον, δεν εξετάζει τη διαχείριση ολιστικά καθώς τα υπόγεια νερά έχουν τελείως διαφορετικές υδρογεωλογικές λεκάνες από τα επιφανειακά (λεκάνες απορροής). Και, τέλος, η μετατροπή του νερού από φυσικό, κοινωνικό αγαθό σε οικονομικό αγαθό οδηγεί τελικά στην εμπορευματοποίησή του (Στουρνάρας 2007).

1.3 Αντικείμενο & δομή της εργασίας

Το αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας δημιουργίας μικρού ταμιευτήρα με την κατασκευή μικρού χωμάτινου φράγματος. Η διερεύνηση αυτή είναι εφικτή με την εφαρμογή ενός υδρολογικού μοντέλου -για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε το υδρολογικό μοντέλο SWAT⁷- και την εκμετάλλευση των αποτελεσμάτων που δίνει όσον αφορά στην επιφανειακή απορροή (Schuol et al. 2008). Ουσιαστικά πρόκειται για τη χρήση, γενικότερα, των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου βροχής-απορροής, προκειμένου να διερευνηθεί αν η προκύπτουσα επιφανειακή απορροή είναι τέτοια ώστε να δικαιολογεί τη δημιουργία μιας λιμνοδεξαμενής-ταμιευτήρα.

Η εφαρμογή του SWAT πραγματοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση των βροχομετρικών δεδομένων της Καρύστου (EMY) και της Νάξου (EMY). Αφού έγινε

⁷ Διατίθεται δωρεάν στην ιστοσελίδα <http://swatmodel.tamu.edu/software/arcsbat>.

στατιστική επεξεργασία αυτών των δεδομένων προέκυψε ένας τεχνητός σταθμός για τη Ν. Άνδρο, ο οποίος είναι απαραίτητος για την εκτέλεση του SWAT⁸.

Το εμπειρικό σκέλος της παρούσας εργασίας εκπονήθηκε στα πλαίσια της ενασχόλησης του υποφαινόμενου, σαν ερευνητή, στο ερευνητικό έργο με τίτλο “Αξιοποίηση επιφανειακών απορροών στη Νήσο Άνδρο με τη δημιουργία ορεινών ταμιευτήρων νερού”. Το έργο αυτό ανέθεσε η Νομαρχία Κυκλάδων και οι τρεις Δήμοι της Άνδρου (Δήμος Άνδρου, Κορθίου & Υδρούσας) στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθηνών, στο Εργαστήριο Υδατικών Πόρων του Τμήματος Τοπογραφίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών. Επιστημονικός υπεύθυνος στο εν λόγω έργο είναι ο Καθηγητής Βαγγέλης Πισσίας. Ένα σημαντικό γεγονός, στα πλαίσια του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου, είναι η τοποθέτηση μετρητικών οργάνων (βροχογράφου και σταθμηγράφου) στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών. Η Άνδρος, όπως θα αναλυθεί ιδιαιτέρως παρακάτω, πάσχει από πρωτογενή δεδομένα και για το λόγο αυτό θεωρείται σημαντική η προσπάθεια δημιουργίας βροχομετρικής και σταθμημετρικής χρονοσειράς (raw data) με την ταυτόχρονη δημιουργία σειράς υδρομετρήσεων (με μυλίσκους).



Εικόνα 3 Σταθμηγράφος στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών.

⁸ Η διαδικασία θα περιγραφεί σε επόμενο Κεφάλαιο της εργασίας.



Γράφημα 1 Καταγραφή πλημμυρικού φαινομένου (22/01/2010 – 04:00πμ) από τον σταθμηγράφο στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών⁹.



Εικόνα 4 Βροχόμετρο στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών.

Η εργασία δομήθηκε με τρόπο ώστε ο αναγνώστης να λαμβάνει τις πληροφορίες και τις γνώσεις που απαιτούνται προκειμένου να αντιληφθεί αφενός τη

⁹ Ο σταθμηγράφος τη συγκεκριμένη στιγμή κατέγραψε στάθμη -νερού- τριών (3) μέτρων.

χρησιμότητα της υιοθέτησης των υδρολογικών μοντέλων στη μελέτη διαφόρων έργων και αφετέρου τα στάδια που ακολουθούνται στην παρούσα μοντελοποίηση. Έτσι, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η εργασία χωρίζεται σε δύο κύρια τμήματα. Αυτό της θεωρητικής και επιστημονικής τεκμηρίωσης και αυτό της τεχνικής ολοκλήρωσης της μοντελοποίησης. Στο πρώτο μέρος αναφέρονται τα Κεφάλαια I έως και IV και στο δεύτερο μέρος τα κεφάλαια V και VI.

Το Κεφάλαιο I αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας και αναφέρεται στους υδατικούς πόρους παγκοσμίως και στην Ελλάδα, τη διαχείρισή τους και την οδηγία 60/2000 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία και διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στο Κεφάλαιο II γίνεται μια εισαγωγή στα θέματα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), της υδρολογίας, του υδρολογικού κύκλου, των υδρολογικών μοντέλων και του υδρολογικού μοντέλου SWAT το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

Στο Κεφάλαιο III γίνεται αναφορά στα φράγματα και τις λιμνοδεξαμενές, καθώς η εργασία εξετάζει τη δυνατότητα κατασκευής φράγματος με την ταυτόχρονη δημιουργία μικρού ταμιευτήρα.

Το Κεφάλαιο IV αποτελεί παρουσίαση της Ν. Άνδρου.

Στο Κεφάλαιο V περιγράφεται η ανάπτυξη και η εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου SWAT.

Στο Κεφάλαιο VI περιγράφεται η εφαρμογή του λογισμικού Προσομοίωση Ταμιευτήρα της εταιρείας Τεχνολογισμικής.

Το Κεφάλαιο VII αποτελεί ουσιαστικά τον επίλογο της εργασίας. Σε αυτό συνοψίζονται οι παραδοχές και τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που προτείνεται, καθώς και ιδέες για περαιτέρω ανάπτυξη της.

Τέλος, σε αυτό το σημείο να τονιστεί πως ο υποφαινόμενος φέρει την απόλυτη ευθύνη όσων γράφονται και διατυπώνονται στο παρόν πόνημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι Ι

GIS & Υδρολογία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

GIS & Υδρολογία

2.1 Εισαγωγικά για τα GIS

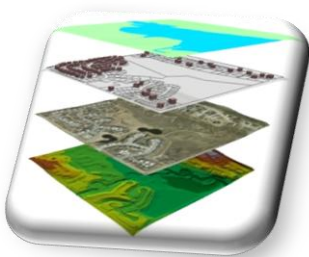
Η ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα προσομοιώνει τα φυσικά φαινόμενα δεν είναι εύκολο εγχείρημα. Η δυσκολία αυτή εμφανίζεται και κατά την προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου, καθώς υπάρχει είτε έλλειψη της πλήρους γνώσης λειτουργίας του, είτε τις περισσότερες φορές, έλλειψη πρωτογενών δεδομένων-μετρήσεων. Η εισαγωγή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS), με τις δυνατότητες που προσφέρουν, συνετέλεσαν στην ευκολότερη και ταχύτερη επεξεργασία των δεδομένων, προκειμένου να παραχθούν αξιόπιστα μοντέλα προσομοίωσης.



Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι μια τεχνολογία, η οποία αναπτύσσεται ραγδαίως. Με την εξέλιξη/ανάπτυξη που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών (υλικό-hardware), έχει επέλθει μια εξέλιξη στα λογισμικά τύπου ΓΣΠ. Έτσι, πλέον, αποτελούν ένα εργαλείο για τους επιστήμονες, το οποίο συμβάλλει στη μελέτη, κατανόηση και διαχείριση των διάφορων φαινομένων και δραστηριοτήτων που συμβαίνουν στο χώρο. Βασικός άξονας ενός ΓΣΠ είναι η δομημένη γεωγραφική πληροφορία, όπου κάθε τι στο χώρο περιγράφεται και προσδιορίζεται ως προς το σχήμα, τη θέση (ως προς ένα σύστημα αναφοράς), καθώς και ως προς τις ιδιότητές του.

Ο Burrough (1986) ορίζει τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών σαν «ένα σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, την αποθήκευση, την ανάκτηση, το μετασχηματισμό και την παρουσίαση χωρικών δεδομένων που προέρχονται από τον πραγματικό κόσμο και για ένα ορισμένο σύνολο σκοπών». Ο Aronoff (1989) από την άλλη πλευρά αντιμετωπίζει τα ΓΣΠ σαν μία βάση χωρικών δεδομένων, η οποία περιέχει όλες εκείνες τις διαδικασίες που απαιτούνται για την αποθήκευση και διαχείριση γεωαναφερμένων δεδομένων. Μία άλλη πτυχή των ΓΣΠ είναι η λειτουργία τους σε ένα περιβάλλον ενός οργανισμού, όπου γίνεται λόγος πλέον για ένα σύστημα λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνει την ενσωμάτωση δεδομένων με σαφή τοποθεσία στο χώρο για την επίλυση ενός προβλήματος (Cowen 1988).

Θα μπορούσε να ειπωθεί, γενικά, ότι ένα ΓΣΠ είναι ένα ψηφιακό σύστημα και αποτελεί σύνολο υλικού, λογισμικού και διαδικασιών, το οποίο με την κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική αναφορά (Χαλκιάς 2006).



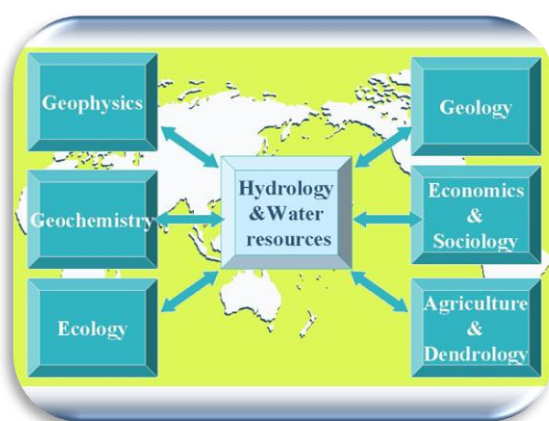
Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως υπάρχουν πολλοί ορισμοί για το τι είναι ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Με απλά λόγια είναι η σύνδεση της γεωγραφικής πληροφορίας με ποιοτικά χαρακτηριστικά (περιγραφική πληροφορία), με αποτέλεσμα να δίνουν τη δυνατότητα για μια ολοκληρωμένη διαχείρισή τους (Gregory and Ell 2007).

Η δυνατότητα που δίνει ένα ΓΣΠ για την αξιοποίηση γεωγραφικών πληροφοριών με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και κατά συνέπεια την υιοθέτηση και λήψη απόφασης, έχουν οδηγήσει επιστήμονες από όλους τους κλάδους στο να εντάξουν το ΓΣΠ στην πρακτική τους. Έτσι, πλέον υπάρχουν εφαρμογές των ΓΣΠ στην εγκληματολογία, στην ιστορία, στη διαχείριση των φυσικών πόρων, στις επικοινωνίες, στις συγκοινωνίες, στην ιατρική (κυρίως στην επιδημιολογία) και σε πολλές άλλες που καλύπτουν όλο το φάσμα της ζωής και της καθημερινότητας του ανθρώπου.

2.2 Υδρολογία

Η υδρολογία είναι η επιστήμη η οποία ασχολείται με τις φυσικές διεργασίες που σχετίζονται με την προέλευση, την κυκλοφορία και την κίνηση του νερού -σε όλες του τις μορφές (στερεή, υγρή και αέρια)- στη γη (υπογείως και επιφανειακώς), αλλά και στην ατμόσφαιρα (Patra 2001). Αυτός είναι και ο ορισμός που δόθηκε κατά τη Διεθνή Υδρολογική Δεκαετία (1965-1974), η οποία οργανώθηκε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 1999). Λόγω της πολυπλοκότητας των διεργασιών που συμβαίνουν, η επιστήμη της υδρολογίας εντάσσει στο πεδίο της πληθώρα αντικειμένων, τα οποία βοηθούν στην κατανόηση των διεργασιών αυτών.

Έτσι η υδρολογία, ανάλογα με τον τρόπο που διαχειρίζονται τα δεδομένα της, μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω κατηγορίες:



Εικόνα 5 Σχέση υδρολογίας με συναφείς επιστήμες (πηγή: <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Mulabo/research/index.html>).

- ✚ Μαθηματική
- ✚ Στατιστική
- ✚ Στοχαστική
- ✚ Συστηματική
- ✚ Εμπειρική
- ✚ Αριθμητική

Γενικά, η υδρολογία χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, την επιστημονική που αφορά κυρίως στην επιστημονική-ακαδημαϊκή κοινότητα και την εφαρμοσμένη υδρολογία που αφορά

κυρίως στους μηχανικούς εφαρμογής και περιλαμβάνει τις εκτιμήσεις των υδατικών πόρων, τη μελέτη των διεργασιών του υδρολογικού κύκλου (θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στη συνέχεια), την κατανόηση των χαρακτηριστικών στη φύση, καθώς και τη μελέτη και επίλυση προβλημάτων, όπως οι ξηρασίες και οι πλημμύρες. Η σχέση των δύο αυτών κατηγοριών είναι αμφίδρομη, καθώς η μια τροφοδοτεί συνεχώς την άλλη με δεδομένα. Η μεν επιστημονική τροφοδοτεί την εφαρμοσμένη με το κατάλληλο υπόβαθρο (τύπους φόρμουλες κτλ), η δε εφαρμοσμένη την επιστημονική με τα δεδομένα από τις διάφορες εφαρμογές.

Οι βασικές απαιτήσεις της υδρολογίας για νέα δεδομένα ικανοποιούνται με παρατηρήσεις και μετρήσεις στοιχείων από τις κατακρημνίσεις, τις απορροές, τις

δηθήσεις, τις παροχές ποταμών, τις εξατμίσεις κτλ. Με τα παραπάνω δεδομένα και σε συνεργασία με τα συγγενή επιστημονικά πεδία, είναι δυνατόν να δοθούν οι καλύτερες δυνατές λύσεις σε πολλά προβλήματα που ανακύπτουν στους επιστήμονες, μηχανικούς κτλ (Wilson 1977).

Η υδρολογία, καθώς ασχολείται με όλες τις φυσικές διεργασίες του νερού, είναι ένα επιστημονικό πεδίο που έχει άμεση σχέση με τον άνθρωπο και το περιβάλλον¹⁰. Η σπουδαιότητά της φαίνεται εμφανώς στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των υδραυλικών κατασκευών (για ύδρευση, αποχέτευση, άρδευση, υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, έργα ελέγχου πλημμυρών, πλοήγηση σε ποτάμια, διώρυγες κτλ., έλεγχο φερτών υλικών και διαβρώσεων), που καταδεικνύουν την αναμφισβήτητη συμβολή της επιστήμης της υδρολογίας ως προς το ευ ζην (Chow et al. 1988). Ο ρόλος της εφαρμοσμένης υδρολογίας είναι ακριβώς αυτός: να παράσχει βοήθεια στην ανάλυση των διαφόρων προβλημάτων και να οδηγήσει στην υιοθέτηση εκείνων των πρακτικών και πολιτικών σχεδιασμού με στόχο την αειφορικότερη διαχείριση και ανάπτυξη των υδατικών πόρων και κατ' επέκταση τη βελτίωση της ζωής του ανθρώπου.

2.2.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Η ανάγκη του ανθρώπου να κατανοήσει τις φυσικές διαδικασίες, ώστε να τις θέσει υπό τον έλεγχο του, τον οδήγησε στο να τις μελετήσει και τελικά να τις ποσοτικοποιήσει. Να τις εξηγήσει δηλαδή με τη βοήθεια των μαθηματικών. Μια διαδικασία, την οποία προσπάθησε και προσπαθεί ακόμα να αποδώσει με τα μαθηματικά είναι αυτή του υδρολογικού κύκλου.



Εικόνα 6 Ο υδρολογικός κύκλος (πηγή: USGS).

Οι μελετητές των γεωεπιστημών, στη σύγχρονη εποχή, αντιμετωπίζουν τον πλανήτη ως ένα μεγάλο σύνθετο και πολύπλοκο δίκτυο φυσικών, χημικών και βιολογικών αλληλεπιδράσεων. Η προσέγγιση

¹⁰ Από την ιστοσελίδα του Global Water Forum <http://www.globalwaterforum.org/>

αυτή είναι γνωστή ως συστημική. Η προσέγγιση των διαφόρων συστημάτων μεταχειρίζεται τη Γη ως ένα συνδυασμό διαφόρων υποσυστημάτων καθένα εκ των οποίων μπορεί να εξεταστεί μεμονωμένα ή και σε απόλυτη συνάφεια με τα υπόλοιπα. Τα υποσυστήματα αυτά είναι η γεώσφαιρα, η ατμόσφαιρα, η υδρόσφαιρα και η βιόσφαιρα.

Το πεδίο μελέτης της υδρολογίας περιλαμβάνει τους ωκεανούς (υδρόσφαιρα) και εκτείνεται από το εσωτερικό της λιθόσφαιρας (μέχρι βάθους περίπου 1km) στην επιφάνεια της γης έως την ατμόσφαιρα μέχρι ύψους περίπου 15km. Μέσα σε αυτό το ευρύτερο σύστημα εξελίσσεται ο υδρολογικός κύκλος (Μιμίκου και Μπαλτάς 2006).

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει μια σύνθετη διαδικασία, κατά την οποία τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα πέφτουν στο έδαφος, διηθούνται, απορρέουν επιφανειακά ή υπογείως και μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα για να συνεχιστεί ο κύκλος αυτός.

Η μοντελοποίηση του υδρολογικού κύκλου έγκειται στη μαθηματική περιγραφή του, κατά την οποία αποδίδονται, όσο πιο πιστά γίνεται, όλες οι επιμέρους διαδικασίες του.



Εικόνα 7 Ο υδρολογικός κύκλος (πηγή: Μιμίκου).

Η ανάπτυξη των υδρολογικών ομοιωμάτων με τη βοήθεια των GIS, δίνει τη δυνατότητα στον μελετητή να τα παραμετροποιεί, προκειμένου τα αποτελέσματά του να είναι περισσότερο αξιόπιστα. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί -και κατά περιπτώσεις συμβαίνει- καθώς τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια προσπάθεια ανάπτυξης μιας

ολοκληρωμένης οντολογικής προσέγγισης και κατάρτισης ενός οντολογικού πλαισίου -σε ανώτερο επίπεδο- των ΓΣΠ με την υδρολογία και τα υδρολογικά μοντέλα (Sui et al. 1999).

2.2.2 Υδρολογικά μοντέλα

Ως υδρολογικό μοντέλο μπορεί να οριστεί η προσομοίωση της συμπεριφοράς και απόκρισης ενός φυσικού συστήματος από ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών (Μιμίκου 2006). Χρησιμοποιώντας δεδομένα πεδίου και διάφορες υποθέσεις, σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς, εκτιμώνται ποσοτικά οι υδρολογικές μεταβλητές οι οποίες είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν στο πεδίο.

Τα μοντέλα αυτά, περιγράφουν είτε μεμονωμένα γεγονότα (event-type), όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας, είτε τη διαχρονική εξέλιξη ενός φαινομένου (π.χ. του υδρολογικού κύκλου) σε μια χωρικά πεπερασμένη ενότητα (π.χ. μια λεκάνη απορροής). Στην πρώτη περίπτωση, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται συνήθως μέσω εμπειρικών ή συστημικών προσεγγίσεων (π.χ. μοναδιαίο υδρογράφημα), παραλείποντας τις διεργασίες όπως η εξατμοδιαπνοή και η διήθηση. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση η προσέγγιση διέπεται από ένα φυσικό ή εννοιολογικό υπόβαθρο, αναπαριστώντας σε συνεχή χρόνο (continuous-time) τις κύριες, τουλάχιστον, διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού, με τη χρήση εργαλείων προσομοίωσης.

Η ανάπτυξη ενός υδρολογικού μοντέλου περιλαμβάνει κάποια βασικά στάδια (Ευστρατιάδης 2008):

1. Επιλογή διεργασιών για προσομοίωση (perceptual model).
2. Διατύπωση μαθηματικών εξισώσεων - Εννοιολογική μοντελοποίηση (conceptual model).
3. Κωδικοποίηση υπολογιστικής διαδικασίας (procedural model).
4. Υπολογισμό παραμέτρων - Βαθμονόμηση (model calibration).
5. Αποτίμηση συνέπειας και ακρίβειας (model validation).

Γενικά, η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

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

- + την κλίμακα εργασίας.

Για να επιλυθούν μαθηματικά οι διεργασίες που αφορούν στον υδρολογικό κύκλο έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα υδρολογικών μοντέλων που χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες (Μιμίκου 2006).

Έτσι, υπάρχουν μοντέλα ανάλογα με τη δομή των μεταβλητών τους:

- + **Στοχαστικά.** Μια τουλάχιστον μεταβλητή έχει στοχαστικά χαρακτηριστικά. Λαμβάνουν υπ' όψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά των μεταβλητών.
- + **Προσδιοριστικά.** Δίνουν σαφή και μονοσήμαντα αποτελέσματα, καθώς δεν υπάρχει καμία μεταβλητή με στοχαστικά χαρακτηριστικά.

Υδρολογικά μοντέλα ανάλογα με το κατά πόσο προσεγγίζουν ή όχι τις φυσικές διεργασίες:

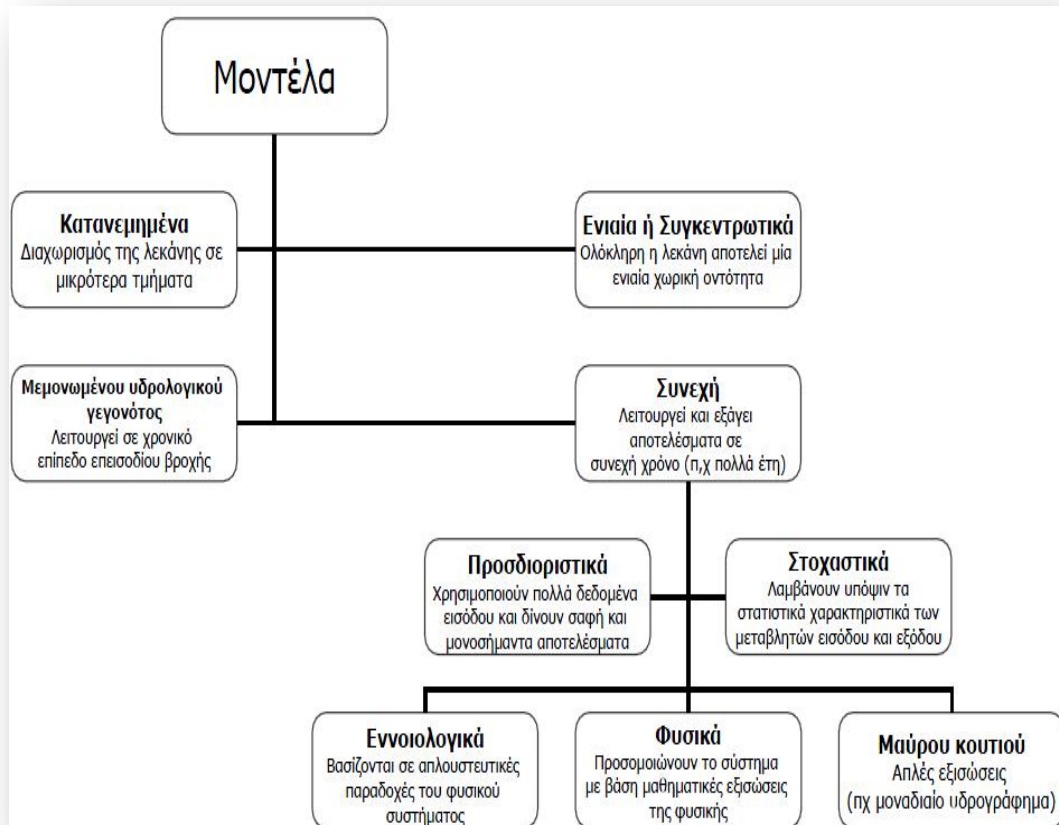
- + **Φυσικής βάσης.** Είναι θεωρητικά πλήρη σε πολύ μεγάλη χωρική κλίμακα, αλλά παρουσιάζουν αδυναμία σε μικρότερες κλίμακες.
- + **Εννοιολογικά.** Οι φυσικές διεργασίες περιγράφονται στις εξισώσεις με απλουστευμένες παραδοχές.
- + **Εμπειρικά ή μαύρου κουτιού.** Χρησιμοποιούνται εξισώσεις χωρίς φυσική σημασία.

Υδρολογικά μοντέλα ανάλογα με τη χωρική κλίμακα:

- + **Συγκεντρωτικό.** Ολόκληρη η υδρολογική λεκάνη αποτελεί μία ενιαία χωρική οντότητα και οι χρονοσειρές δεδομένων ολοκληρώνονται σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης, για την οποία θεωρούνται ενιαίες τιμές παραμέτρων. Η εκτίμηση της απορροής γίνεται στην έξοδο της λεκάνης.
- + **Ημικαταμεμημένο.** Η υδρολογική λεκάνη χωρίζεται σε μικρότερες διακριτές περιοχές, σε κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχούν διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων. Οι υπολογισμοί γίνονται για κάθε ενότητα ξεχωριστά και η απόκριση κάθε ενότητας «μεταφέρεται» στην έξοδο της λεκάνης.
- + **Καταμεμημένο.** Το φυσικό σύστημα κατατέμενεται σε μικρής κλίμακας χωρικές ενότητες που καλούνται κελιά. Προκύπτουν είτε από την εφαρμογή ενός ορθογωνικού κανάβου δεδομένης ισοδιάστασης, είτε έχουν ακανόνιστο γεωμετρικό σχήμα. Τα κελιά αντιπροσωπεύουν ομοιογενή και ισότροπα εδαφικά τμήματα, στα οποία αντιστοιχούν διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων.

Υδρολογικά μοντέλα ανάλογα με τη χρονική κλίμακα:

- ✚ **Μεμονωμένο υδρολογικό γεγονός.** Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας.
- ✚ **Συνεχή.** Περιγράφουν τη διαχρονική εξέλιξη του ισοζυγίου υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας.



Σχήμα 2 Κατηγορίες Υδρολογικών Μοντέλων (πηγή: Μιμίκου, ΕΜΠ).

Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές συνδυάζουν δύο ή περισσότερους τύπους μοντέλων στην προσπάθειά τους να προσομοιώσουν ιδανικότερα τον υδρολογικό κύκλο. Τα μοντέλα αυτού του τύπου ονομάζονται **υβριδικά**.

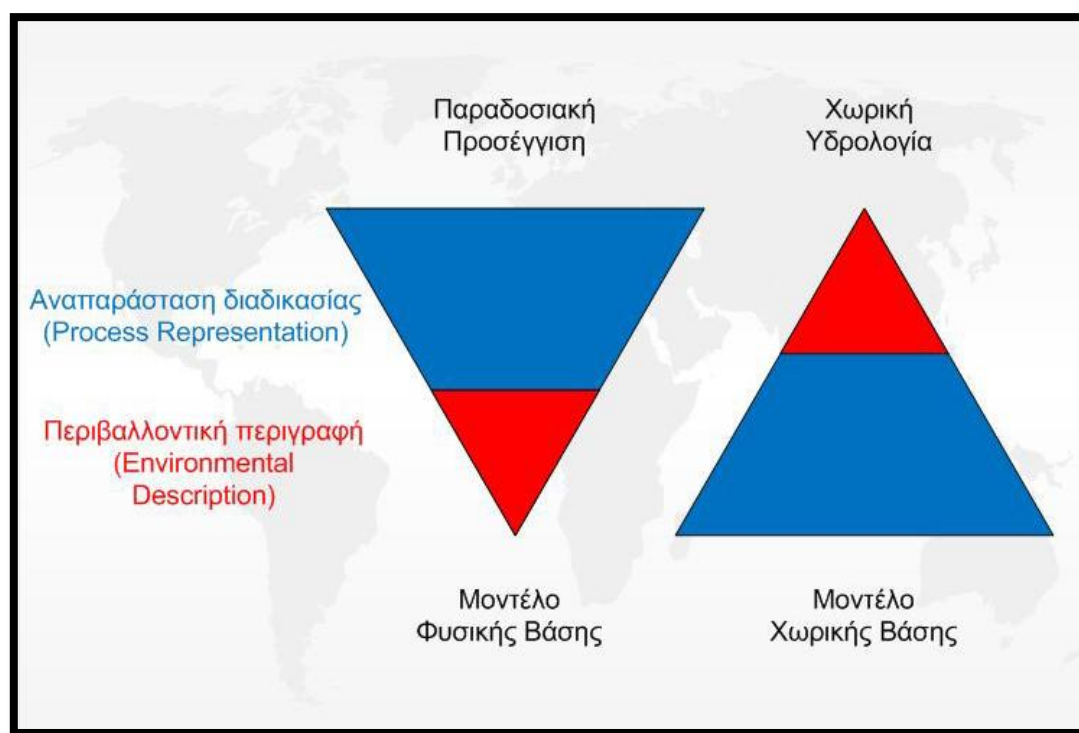
2.3 Χωρική υδρολογία (Spatial Hydrology)

Μια έννοια που αρχίζει να χρησιμοποιείται ευρέως στο εξωτερικό είναι αυτή της χωρικής υδρολογίας (Spatial Hydrology). Σύμφωνα με τον ορισμό που έχει

επικρατήσει, χωρική υδρολογία είναι η επιστήμη η οποία εξετάζει την κίνηση του νερού και των συστατικών του στον πλανήτη γη, χρησιμοποιώντας τη δομή, τις βάσεις των χωρικών δεδομένων και τις λειτουργίες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Maidment 1996).

Η χωρική υδρολογία είναι η απάντηση στο ερώτημα πώς η μοντελοποίηση της υδρολογίας μπορεί να προκύψει μέσα σε ένα χωρικό πλαίσιο που τα ΓΣΠ παρέχουν.

Μπορούν με άλλα λόγια, αντί της ένωσης των διαφόρων μοντέλων με βάσεις δεδομένων, να δημιουργηθούν νέα υδρολογικά μοντέλα, τα οποία να εκμεταλλεύονται τα χωρικά δεδομένα που παρέχουν τα ΓΣΠ; Η απάντηση στην ερώτηση αυτή προϋποθέτει μια αντιστροφή στην παραδοσιακή προσέγγιση της υδρολογίας, όπου δινόταν πάντα έμφαση στο πως αντιπροσωπεύονται φυσικές διεργασίες και όχι πρωταρχικά στην ψηφιακή περιγραφή του περιβάλλοντος και μετά στην περιβαλλοντική περιγραφή των διαδικασιών με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα.



Σχήμα 3 Σχηματική αναπαράσταση προσέγγισης χωρικής υδρολογίας σε αντιδιαστολή με τα υδρολογικά μοντέλα φυσικής βάσης (Maidment 1996).

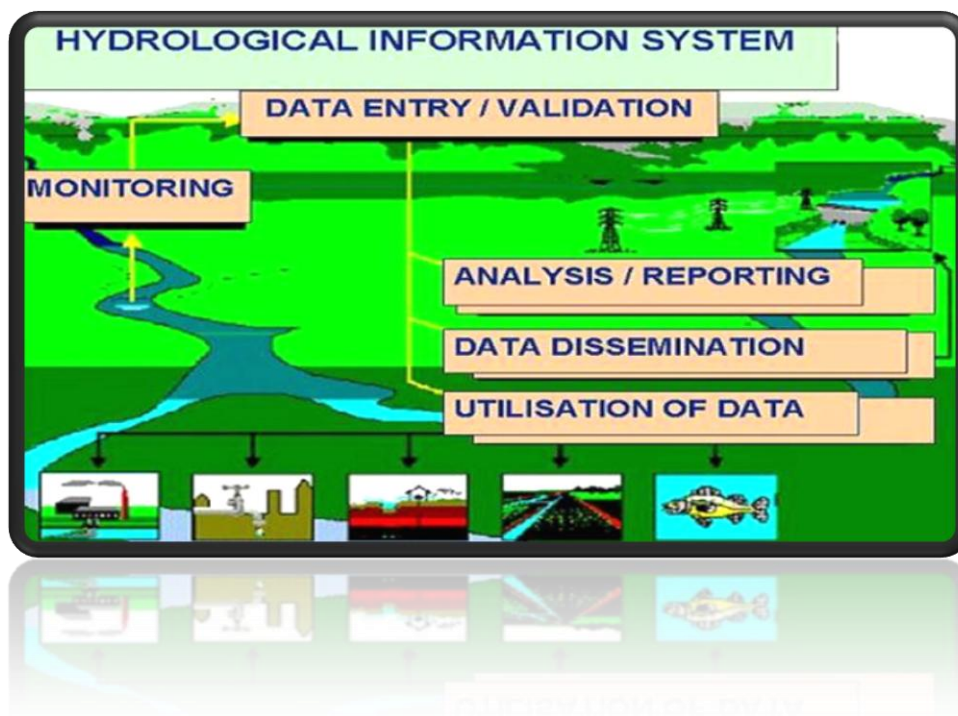
Είναι αυτονόητο πως στην κατασκευή ενός χωρικού προτύπου υδρολογίας (μοντέλου) οι ιδιότητες του συστήματος θα είναι μεταβλητές στο χώρο, έτσι μια χρονική σειρά, για κάθε μια από τις μεταβλητές, πρέπει να παραχθεί για κάθε

εδαφολογική μονάδα στην περιοχή της ανάλυσης. Με βάση αυτή την προσέγγιση είναι δυνατόν να περιγραφούν όλες οι ιδιότητες του νερού από τα μοντέλα της χωρικής υδρολογίας.

Η παραπάνω προσέγγιση έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη ενός νέου κλάδου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Ο κλάδος αυτός ονομάζεται Υδρολογικά Συστήματα Πληροφοριών (Hydrologic Information System – HIS)¹¹.

Οι λειτουργίες σε ένα τέτοιο σύστημα μπορούν να καταταγούν, σε γενικές γραμμές, στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ✚ Εκτίμηση των αναγκών των χρηστών.
- ✚ Δημιουργία ενός δικτύου παρατήρησης.
- ✚ Διαχείριση των ιστορικών δεδομένων.
- ✚ Συλλογή - μεταφορά δεδομένων.
- ✚ Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων.
- ✚ Ανταλλαγή δεδομένων και υποβολή εκθέσεων.
- ✚ Αποθήκευση δεδομένων και διάδοση πληροφορίας.



Εικόνα 8 Ένα Υδρολογικό Σύστημα Πληροφοριών¹².

¹¹ Maidment D. (2005) *Hydrologic Information System*, Status Report.

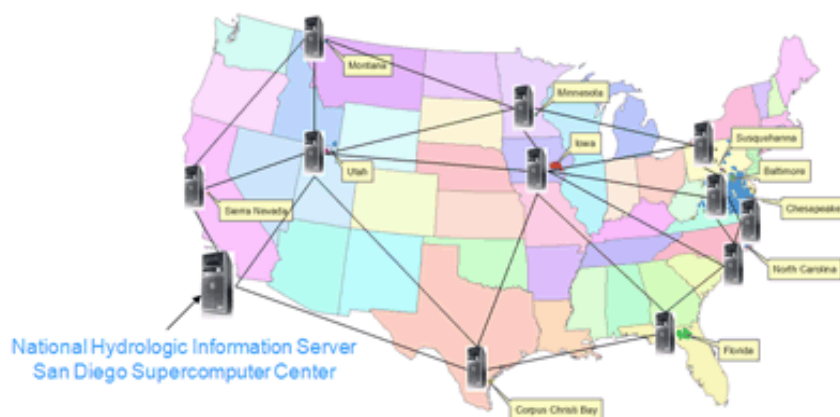
¹² Από την ιστοσελίδα: <http://hpihp.org/Hydrology%20Project-II/hisc.htm>

Ο προγραμματισμός, ο σχεδιασμός και η διαχείριση των υπηρεσιών νερού για οικιακή, βιομηχανική, γεωργική χρήση και για την παραγωγή ενέργειας οδήγησαν στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων, προς το παρόν κυρίως στην Αμερική. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε ένα συγκεκριμένο Υδρολογικό Σύστημα Πληροφοριών, το CUAHSI-HIS.



Εικόνα 9 Το CUAHSI-HIS¹³.

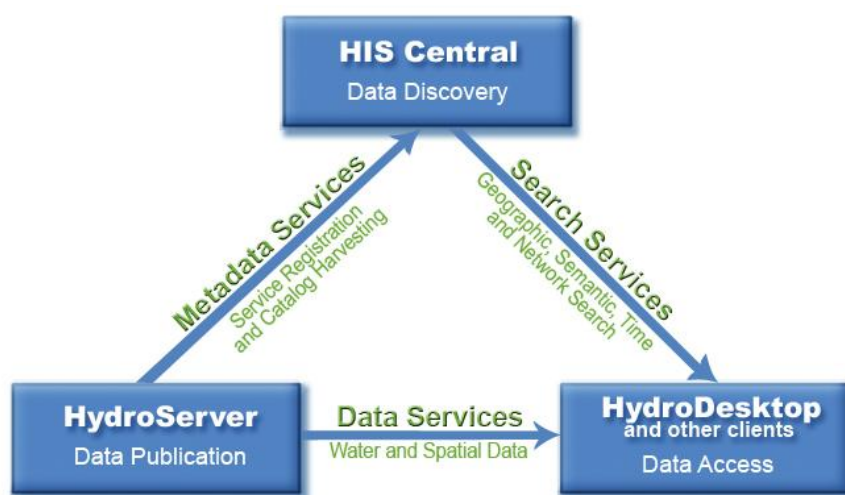
Αξιοσημείωτη, ως προς την ανάπτυξη των HIS, είναι η συνεργασία των Πανεπιστημίων του Τέξας (UNIVERSITY OF TEXAS, AUSTIN, Center for Research in Water Resources), του Αϊντάχο (IDAHO STATE UNIVERSITY,



Utah Water Research Laboratory), του Σαν Ντιέγκο (SAN DIEGO

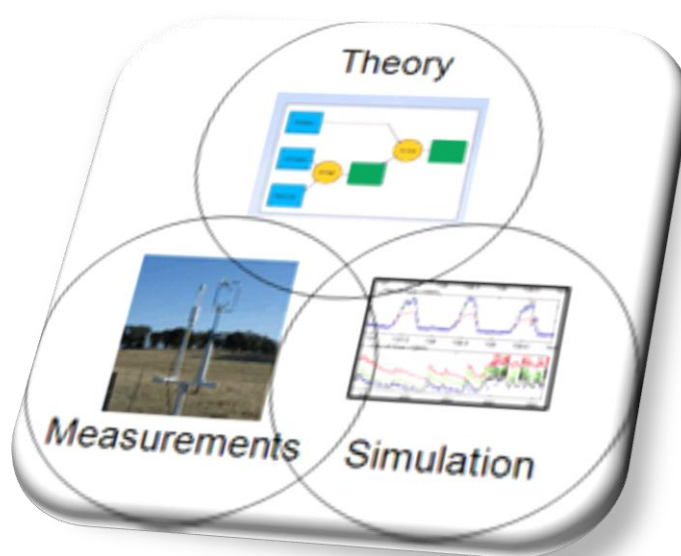
¹³ Από την ιστοσελίδα του CUAHSI-HIS <http://his.cuahsi.org/index.html>

SUPERCOMPUTER CENTER, Spatial Information Systems Lab), του Ντρέξελ (DREXEL UNIVERSITY, Department of Civil & Architectural Engineering) και της Νότιας Καρολίνας (UNIVERSITY OF SOUTH CAROLINA, Department of Civil & Environmental Engineering), τα οποία έχουν προχωρήσει σε ένα διαδικτυακό HIS με την ονομασία CUAHSI Hydrologic Information System (Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science, Inc.).



Σχήμα 4 Βασική περιγραφή του CUAHSI-HIS.

Ο σκοπός του παραπάνω προγράμματος είναι η παραγωγή μετρήσεων - πρωτογενών δεδομένων και προσομοιώσεων σε όλη την έκταση των ΗΠΑ και η ταυτόχρονη ανάπτυξη μιας γεωβάσης με όλα τα δεδομένα αυτού του προγράμματος.



Σχήμα 5 Ο σκοπός του CUAHSI-HIS σχηματικά.

2.4 Τα υδρολογικά μοντέλα & το SWAT

Η ενσωμάτωση της υδρολογίας και των διεργασιών της στα συστήματα των γεωγραφικών πληροφοριών έχει φτάσει σε τέτοιο σημείο, ώστε μπορούν πλέον με πολύ μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία να προσομοιωθούν οι διεργασίες αυτές. Είναι πολλά τα υδρολογικά ομοιώματα-μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως και ένα από τα κυριότερα είναι το SWAT (Arnold et al. 1998) με πολλές εκατοντάδες εφαρμογών ανά τον κόσμο. Άλλα γνωστά υδρολογικά μοντέλα είναι τα εξής¹⁴:

- ✚ MIKE SHE (Refsgaard and Storm 1995),
- ✚ ANSWERS (Beasley et al. 1980),
- ✚ ANSWERS Continuous (Bouraoui et al. 2002),
- ✚ KINEROS (Woolhiser et al. 1990),
- ✚ PRMS (Leavesley et al. 1983),
- ✚ DWSM (Borah et al. 2002),
- ✚ CASC2D (Ogden and Julien 2002),
- ✚ HSPF (Bingner and Theurer 2001) κτλ.

Τα παραπάνω μοντέλα είναι συνεχούς χρόνου και μπορεί να γίνει διαχείριση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Από τα πιο ολοκληρωμένα προγράμματα-μοντέλα είναι το MIKE SHE και το SWAT.

Στην παρούσα εργασία έγινε επιλογή του μοντέλου SWAT κυρίως για το λόγο ότι υπήρχαν διαθέσιμα τα δεδομένα εισόδου τα οποία χρειάζεται το μοντέλο, προκειμένου να δώσει τα αποτελέσματα που ζητούνται. Ένας επιπλέον λόγος είναι ότι το SWAT διατίθεται δωρεάν¹⁵ (σε σχέση με το MIKE SHE).

2.4.1 Περιγραφή του μοντέλου SWAT

Το όνομα **SWAT** αποτελεί το ακρωνύμιο των λέξεων **S**oil and **W**ater **A**ssessment **T**ool. Πρόκειται για ένα μοντέλο φυσικής βάσης, συνεχούς χρόνου, το οποίο δημιουργήθηκε προκειμένου να προσομοιώνει -για μεγάλες περιόδους- τον αντίκτυπο των πρακτικών διαχείρισης της γης πάνω στο νερό, στα φερτά υλικά και στα αγροτικά χημικά (Neitsch et al. 2005). Είναι από τα πλέον διαδεδομένα μοντέλα βροχής-απορροής που χρησιμοποιούνται ευρέως ανά τον κόσμο.

¹⁴ Καμπέραϊ Βικέλ, *Διερεύνηση της εναισθησίας του ομοιώματος SWAT στην πυκνότητα της βροχομετρικής πληροφορίας για την προσομοίωση της απορροής υδρολογικής λεκάνης*, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΠΜΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Ε.Μ.Π., 2007.

¹⁵ Διατίθεται δωρεάν από την ιστοσελίδα <http://swatmodel.tamu.edu/software/arcsbat>

Τα δεδομένα εισόδου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) τα μετεωρολογικά δεδομένα και β) τα χωρικά δεδομένα. Στην πρώτη κατηγορία μπορούν να επιλεγούν ιστορικά δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας ή να δημιουργηθεί ένας στατιστικός μετεωρολογικός σταθμός, ελλείψει των προηγούμενων δεδομένων.

Τα χωρικά δεδομένα που απαιτούνται είναι: α) ένα τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (DEM), β) ένας εδαφολογικός χάρτης και γ) ένας χάρτης κάλυψης γης.

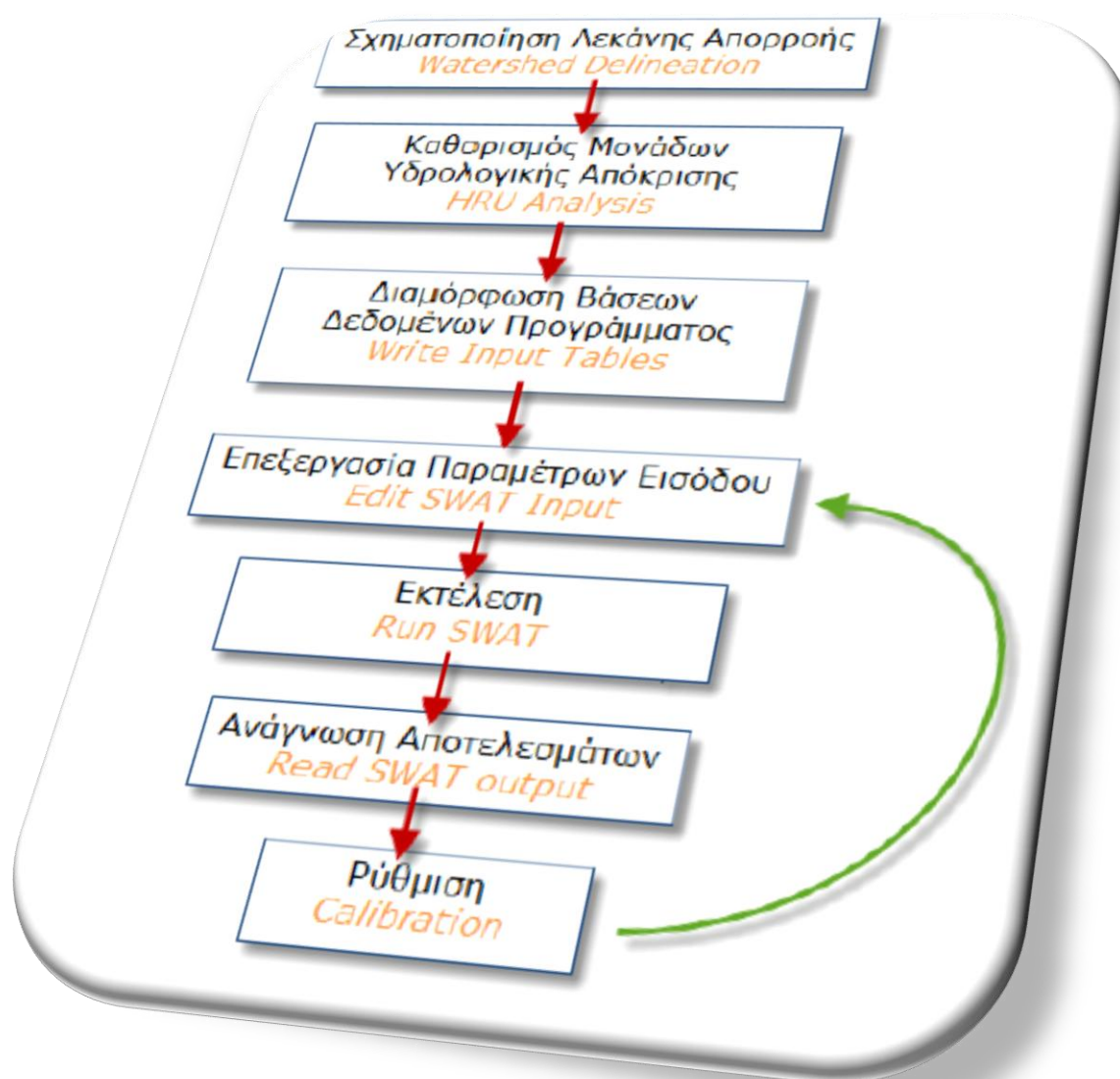
Στα δεδομένα εισόδου θα γίνει εκτενέστερη αναφορά παρακάτω, όπου θα παρουσιαστούν όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εμπειρική εφαρμογή.

Ένα από τα βασικά σημεία του υδρολογικού μοντέλου SWAT είναι η δυνατότητα υποδιαίρεσης μιας υπολεκάνης σε μικρότερες λεκάνες που ονομάζονται Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης – MYA (Hydrologic Response Unit – HRU). Οι MYA είναι μικρότερες υδρολογικές οντότητες μέσα στις υπολεκάνες που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά υδρολογικού τύπου εδάφους (ίδιας υδροπερατότητας -στοιχεία εδαφολογικού χάρτη), χρήσεων γης και κλίσης. Κάθε MYA αντιμετωπίζεται ξεχωριστά από το μοντέλο και κατόπιν όλες μαζί συνθέτουν το τελικό αποτέλεσμα, σε ό,τι αφορά στον υδρολογικό κύκλο.

Ο διαχωρισμός αυτός δίνει στο χρήστη την ικανότητα να επιτύχει μια λεπτομερή ρύθμιση του μοντέλου στη λεκάνη. Πιο συγκεκριμένα, το όφελος από τη χρήση των Μονάδων Υδρολογικής Απόκρισης έγκειται στην αύξηση της ακρίβειας που προσθέτουν στην πρόβλεψη των αποφορτίσεων της λεκάνης. Η ανάπτυξη της βλάστησης μπορεί να διαφέρει γεωγραφικά μέσα στη λεκάνη και συνεπώς όταν οι διαφοροποιήσεις αυτές λαμβάνονται υπόψη, η καθαρή ποσότητα της απορροής που εισέρχεται στο κύριο υδατορεύμα θα είναι πολύ πιο ακριβής¹⁶.

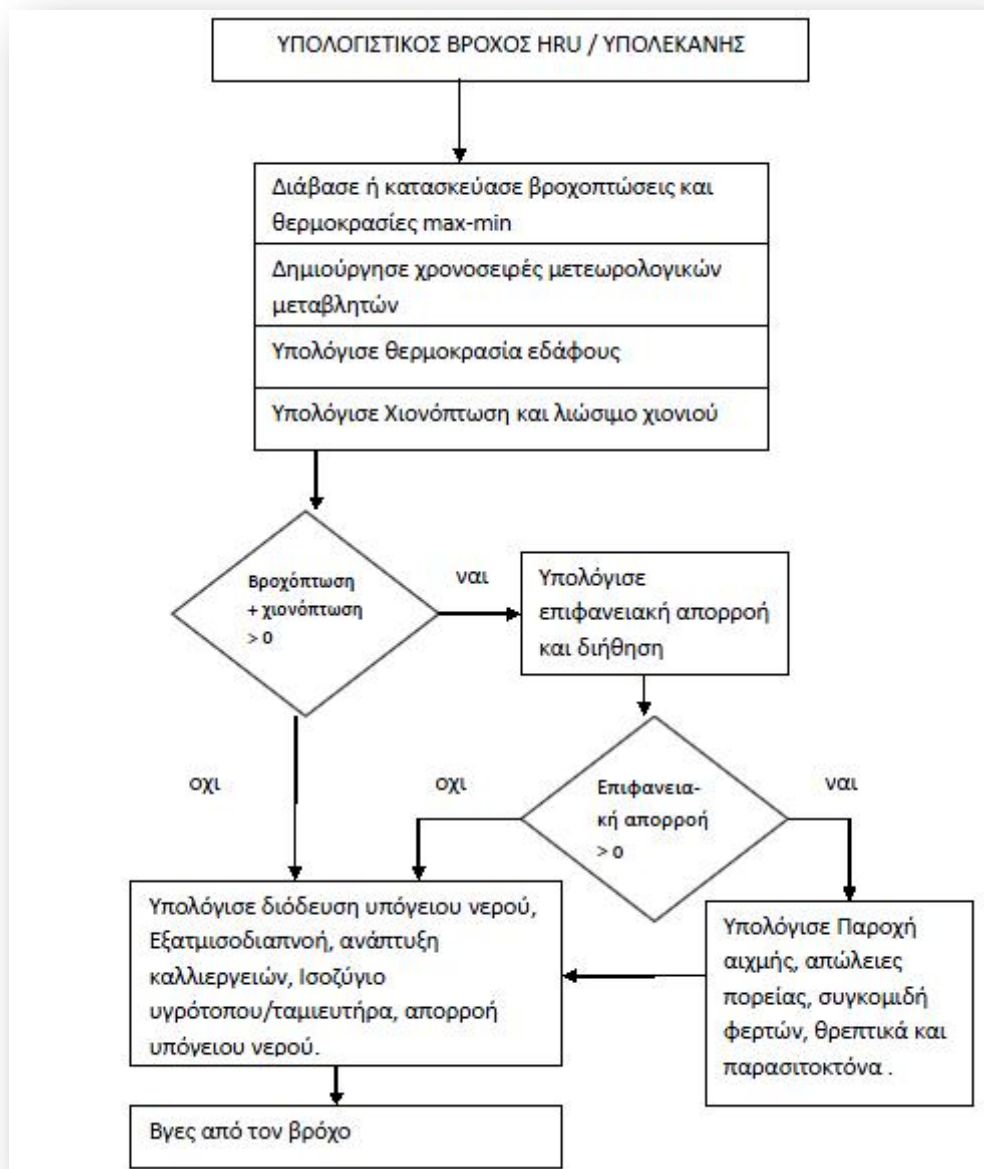
Τα διαδοχικά βήματα που ακολουθούνται για μια επιτυχή προσομοίωση είναι αυτά που φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 6), όπου περιγράφονται οι βασικές διεργασίες του μοντέλου για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου σε μια λεκάνη απορροής. Οι διαδικασίες αυτές περιλαμβάνουν το σχηματισμό της λεκάνης απορροής και των μικρότερων μονάδων της (των Μονάδων Υδρολογικής Απόκρισης), τη διαμόρφωση των μετεωρολογικών δεδομένων, την επεξεργασία των παραμέτρων, την εκτέλεση του μοντέλου, την ανάγνωση των αποτελεσμάτων και τη βαθμονόμηση του μοντέλου.

¹⁶ Καραλής Σ., Ζαχαριά Χ. (2009) *Εισαγωγή στο SWAT*, Σημειώσεις ΙΕΚΕΜ-ΤΕΕ για το σεμινάριο «Περιβαλλοντικά Μοντέλα Νερού».



Σχήμα 6 Τα βήματα της προσομοίωσης με τη χρήση του SWAT (Καραλής και Ζαχαριά 2009).

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η *αρχιτεκτονική* των υπολογισμών που χρησιμοποιεί το SWAT στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 7) αναπαρίσταται ο βασικός υπολογιστικός βρόχος (loop) του μοντέλου υπό μορφή λογικού διαγράμματος.

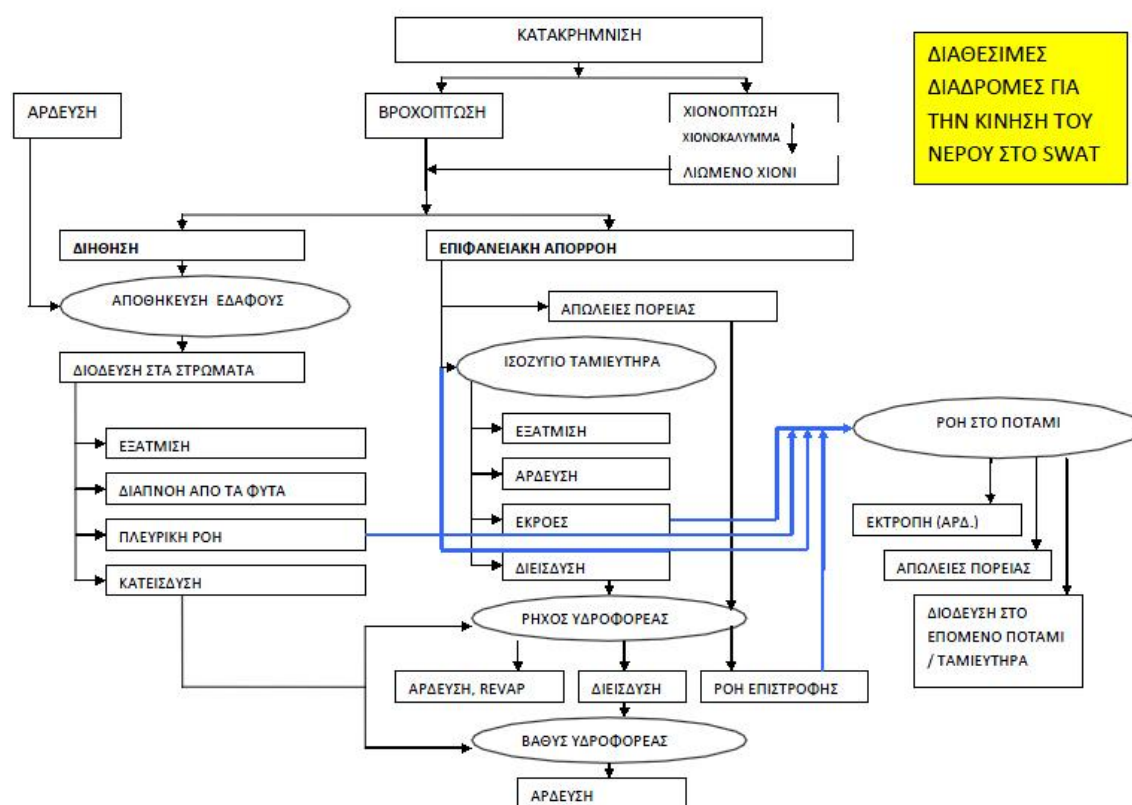


Σχήμα 7 Ο βασικός υπολογιστικός βρόχος (loop) του μοντέλου (Καραλής και Ζαχαριά 2009).

Ο παραπάνω βρόχος περιγράφει τη διαδικασία κατά την οποία με βάση τις βροχοπτώσεις που δίδονται σαν δεδομένα εισόδου στο SWAT, είτε αναζητούνται τα ιστορικά δεδομένα (τα διαβάζει από τα αρχεία εισόδου), είτε υπολογίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες (από τον συνθετικό σταθμό που έχει δοθεί). Στη συνέχεια δημιουργούνται οι αντίστοιχες χρονοσειρές των μετεωρολογικών μεταβλητών, υπολογίζεται η θερμοκρασία εδάφους, η χιονόπτωση και το λιώσιμο του χιονιού. Αν το σύνολο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι μεγαλύτερο του μηδενός, τότε το SWAT υπολογίζει την επιφανειακή απορροή και τη διήθηση. Αν η επιφανειακή απορροή είναι μεγαλύτερη του μηδενός, τότε το

SWAT υπολογίζει την παροχή αιχμής, τις απώλειες πορείας, τη συγκομιδή των φερτών και στοιχεία σχετικά με τα αγροτικά χημικά (θρεπτικά και παρασιτοκτόνα). Στη συνέχεια υπολογίζει τη διόδευση του υπόγειου νερού, την εξατμισοδιαπνοή, την ανάπτυξη των καλλιεργειών, το ισοζύγιο του υγρότοπου/ταμιευτήρα και την απορροή του υπόγειου νερού. Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται ο βρόχος. Αν η επιφανειακή απορροή είναι μικρότερη του μηδενός υπολογίζονται κατευθείαν η διόδευση του υπόγειου νερού μέχρι την ολοκλήρωση του βρόχου, όπως περιγράφηκε νωρίτερα. Τέλος, αν το σύνολο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι μικρότερο του μηδενός υπολογίζονται κατευθείαν η διόδευση του υπόγειου νερού μέχρι την ολοκλήρωση του βρόχου, όπως περιγράφηκε νωρίτερα.

Ακολουθεί η σχηματική αναπαράσταση των δρόμων του νερού (Σχήμα 8) που το SWAT θεωρεί και υπολογίζει.



Σχήμα 8 Οι δρόμοι του νερού στο SWAT (Καραλής και Ζαχαριά 2009).

Από το παραπάνω σχήμα είναι κατανοητό πως τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή και χιόνι) τροφοδοτούν με νερό την επιφανειακή απορροή και τη διήθηση (στη διήθηση συμβάλλει και η άρδευση). Στην επιφανειακή απορροή

υπάρχουν απώλειες πορείας προς τον ρηχό και τον βαθύ υδροφόρα. Επίσης, τροφοδοτείται το κυρίως υδατόρεμα με νερό (και μέσω ενός ταμιευτήρα αν υπάρχει).

Στη διήθηση γίνεται αποθήκευση και διόδευση νερού στα διάφορα στρώματα του εδάφους, τροφοδοτείται ο ρηχός και ο βαθύς υδροφόρας και μέσω της πλευρικής ροής γίνεται διόδευση του νερού στο βασικό υδατόρεμα.

Στη συνέχεια περιγράφονται λεπτομερέστερα οι σημαντικότερες υδρολογικές διαδικασίες που χρησιμοποιεί το SWAT.

2.4.2 Η υδρολογία του μοντέλου

Καθώς το νερό κατακρημνίζεται μπορεί να κατακρατηθεί στο φύλλωμα των φυτών/δέντρων ή να πέσει στο έδαφος. Το νερό στο έδαφος μπορεί να διηθηθεί στο ριζόστρωμα ή να απομακρυνθεί με την επιφανειακή απορροή. Η απορροή πραγματοποιείται σχετικά γρήγορα προς το υδρογραφικό δίκτυο. Το νερό στο έδαφος μπορεί να κατακρατηθεί στο χώμα ή να επιστρέψει στη ροή των ρεμάτων (πλευρική ροή).



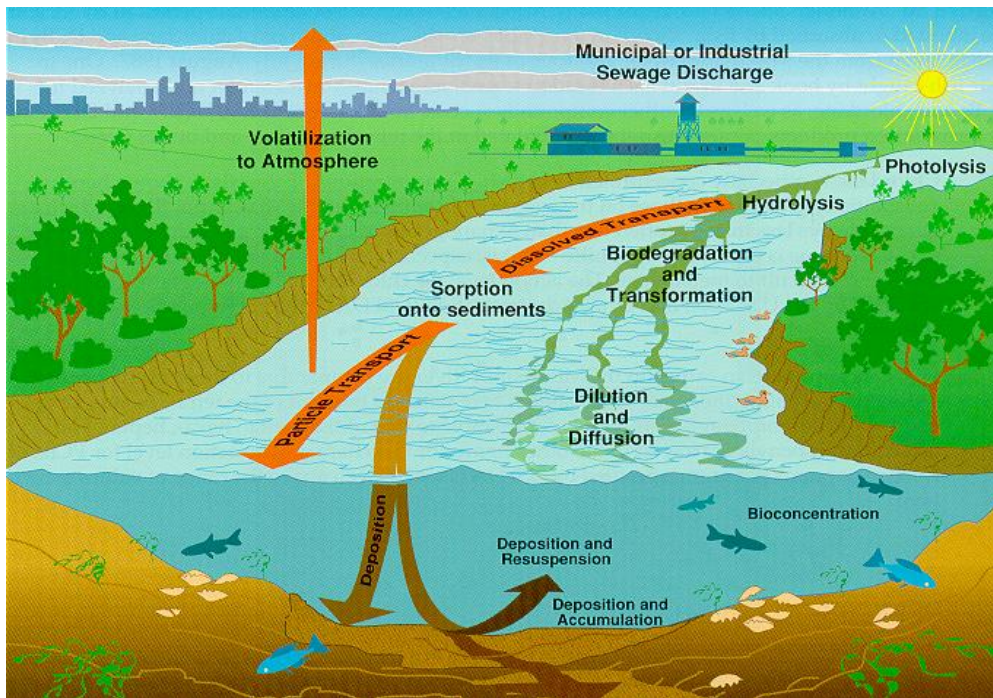
Εικόνα 10 Σύστημα Λεκάνης Απορροής SWAT (Καραλής και Ζαχαριά 2009).

Οι σημαντικότερες υδρολογικές διαδικασίες που χρησιμοποιεί το μοντέλο είναι οι εξής (Καραλής και Ζαχαριά 2009):

- ✚ **Κατακράτηση στο φύλλωμα:** Με τη χρήση της μεθόδου του αριθμού καμπύλης για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής η αποθήκευση στο φύλλωμα λαμβάνεται υπόψη. Το μοντέλο επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει τη μέγιστη ποσότητα νερού που αποθηκεύεται στο φύλλωμα στη μέγιστη δυνατή του ανάπτυξη (μέγιστος δείκτης ανάπτυξης φυλλώματος – maximum leaf area).
- ✚ **Διήθηση:** Καθώς η διήθηση από την επιφάνεια στο έδαφος συνεχίζεται, το προφίλ του εδάφους αποθηκεύει μεγαλύτερη υγρασία, με συνέπεια ο ρυθμός διήθησης να μειώνεται, μέχρι να φτάσει σε μια σταθερή τιμή. Η τελική κατάσταση είναι ισοδύναμη με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Επειδή η μέθοδος του αριθμού καμπύλης για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής λειτουργεί σε ημερήσιο βήμα και δεν είναι δυνατό να υπολογίσει άμεσα τη διήθηση, η ποσότητα του νερού που διηθείται υπολογίζεται σαν η διαφορά ανάμεσα στην ποσότητα της βροχόπτωσης και την ποσότητα της επιφανειακής απορροής.
- ✚ **Αναδιανομή:** Η αναδιανομή αναφέρεται στην κίνηση του νερού στο εδαφικό προφίλ, εφόσον η είσοδος του νερού έχει σταματήσει. Η αναδιανομή προκαλείται από διαφορετικές περιεκτικότητες νερού στα διαφορετικά στρώματα (δέκα το μέγιστο) που μπορούν να υπάρξουν στο προφίλ του εδάφους. Η τεχνική της διόδευσης ανάμεσά τους γίνεται με τη θεώρηση συνδεδεμένων δεξαμενών.
- ✚ **Εξατμισοδιαπνοή:** Η εξατμισοδιαπνοή περιλαμβάνει συνολικά τις μετατροπές του νερού από την υγρή στην αέρια φάση του. Περιλαμβάνει την εξάτμιση από Λίμνες/Ταμιευτήρες, ποτάμια, από το έδαφος, τις επιφάνειες του φυλλώματος, τη διαπνοή από τα φυτά και την εξαέρωση από το χιόνι.
- ✚ **Πλευρική ροή:** Αναφέρεται στη λεγόμενη και επιδερμική ή υποδερμική ή υποδόρια ροή, αυτή δηλαδή που συμβαίνει στο εδαφικό προφίλ προς το υδατόρεμα και δεν αφορά στον ρηχό υδροφορέα. Σε κάθε εδαφικό στρώμα χρησιμοποιείται ένα μοντέλο κινηματικής αποθήκευσης (kinematic storage) για τον υπολογισμό της πλευρικής ροής.
- ✚ **Επιφανειακή απορροή:** Με τον όρο αυτό εννοείται ειδικά η επιφανειακή ροή, αυτή δηλαδή που συμβαίνει υπό μορφή στρώματος

νερού πάνω στην πλαγιά. Το SWAT υπολογίζει τη ροή αυτή για κάθε Μονάδα Υδρολογικής Απόκρισης (MYA), είτε με μια τροποποιημένη μέθοδο αριθμού καμπύλης, είτε με τη μέθοδο Gree-Ampt (η οποία απαιτεί υπό-ημερήσια δεδομένα βροχής). Η μέγιστη πλημμυρική απορροή υπολογίζεται με μια τροποποιημένη ορθολογική μέθοδο. Ο χρόνος της συγκέντρωσης υπολογίζεται με τη χρήση του τύπου του Manning, συνυπολογίζοντας την επιφανειακή απορροή, καθώς και αυτή στο ποτάμι.

- ✚ **Συμβάλλοντα υδατορέματα:** Δύο τύπων ρέματα θεωρούνται μέσα στην υπολεκάνη. Το βασικό ρέμα και τα δευτερεύοντα. Τα δευτερεύοντα ρέματα δεν λαμβάνουν ροή από τα υπόγεια νερά. Τα χαρακτηριστικά των δευτερευόντων ρεμάτων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης.
- ✚ **Απώλειες πορείας:** Οι απώλειες αυτές, που λέγονται και απώλειες μετάβασης, αναφέρονται στην τροφοδότηση του υπόγειου υδροφορέα από τη ροή μέσα σε εφήμερα κανάλια, όταν αυτά διέρχονται από ημιέρημες-ξηρές περιοχές. Οι απώλειες αυτές είναι συνάρτηση του πλάτους και του μήκους του καναλιού, καθώς και του χρόνου που διαρκεί η ροή.
- ✚ **Βασική ροή ή ροή επιστροφής:** είναι η ποσότητα του νερού στο κανάλι που προέρχεται από τον υπόγειο υδροφορέα. Στο SWAT ο υπόγειος υδροφορέας χωρίζεται σε έναν ρηχό μη περιορισμένο υδροφορέα, από τον οποίο ένα τμήμα επιστρέφει στην επιφάνεια και σε έναν βαθύ υδροφορέα, που παροχετεύει νερό σε ρέματα εκτός λεκάνης.
- ✚ **Λίμνες – Ταμιευτήρες / Υγρότοποι:** Το μοντέλο επιτρέπει την μοντελοποίηση των αποθηκεύσεων νερού σε δεξαμενές. Ο ταμιευτήρας μπορεί μόνο να τοποθετηθεί στην έξοδο μιας υπολεκάνης και λαμβάνει όλο το εκρέον νερό, ενώ ο υγρότοπος αποτελεί ένα υποσύνολο της επιφάνειας της υπολεκάνης.



Εικόνα 11 Χημικές διεργασίες στο κύριο υδατόρεμα (Καραλής και Ζαχαριά 2009).

Το υδρολογικό μοντέλο SWAT έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί και να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, που αφορούν στις χημικές διεργασίες οι οποίες συμβαίνουν στο υδατόρεμα και στα αγροτικά χημικά που χρησιμοποιούνται στη γεωργία (Εικόνα 11). Η παρούσα εργασία δεν εξετάζει καθόλου τη συγκεκριμένη δυνατότητα του μοντέλου.

2.4.3 Η βασική εξίσωση του μοντέλου

Το SWAT χρησιμοποιεί τις πιο γνωστές εξισώσεις της υδρολογίας, έτσι ώστε να προσομοιώνει τις παραμέτρους του υδρολογικού κύκλου που εξετάζει, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η γενική εξίσωση που χρησιμοποιεί για την περιγραφή του υδρολογικού κύκλου είναι:

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

όπου SW_t είναι το περιεχόμενο του εδάφους σε νερό, t είναι ο χρόνος σε ημέρες, R είναι η ημερήσια κατακρήμνιση, Q η επιφανειακή απορροή, ET η εξατμισοδιαπνοή, P η διήθηση και QR η υπόγεια ροή (Arnold & Di Luzio 2002).

Όπως ήδη αναφέρθηκε το μοντέλο χρησιμοποιεί τον αριθμό καμπύλης για τον υπολογισμό της απορροής. Η μέθοδος αριθμού καμπυλών SCS (Soil Conservation Service) είναι μια εμπειρική μέθοδος, ευρέως χρησιμοποιούμενη στις ΗΠΑ. Η μέθοδος αυτή ορίζει και μια μέθοδο κατασκευής Μοναδιαίου Υδρογραφήματος, με την οποία είναι δυνατόν να εκτιμηθούν/υπολογιστούν οι χρόνοι συγκέντρωσης του νερού (Cheng et al. 2006). Παρόλο που ανά τον κόσμο αρχίζει και χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος, στην Ελλάδα δεν υπάρχουν πολλές περιπτώσεις εφαρμογής της. Κύριο πρόβλημα παραμένει ο χαρακτηρισμός και η κατάταξη των εδαφολογικών τύπων όσον αφορά στα υδρολογικά τους χαρακτηριστικά (A, B, C & D). Τούτο σημαίνει πως και για την παρούσα εργασία υπάρχει μια επιφύλαξη όσον αφορά στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν (γίνεται αναφορά στο Κεφάλαιο V σχετικά με τις προϋποθέσεις και τις αιρέσεις της χρησιμοποίησης των δεδομένων).

Ο αριθμός καμπύλης (Curve Number – CN) είναι συνάρτηση των παρακάτω (Γεωργιάδου 2004):

- ✚ Του υδρολογικού τύπου του εδάφους.
- ✚ Της αρχικής υγρασίας.
- ✚ Της κατανομής χρήσεων γης στη λεκάνη απορροής.

Η βασική εξίσωση του αριθμού καμπύλης εξάγεται σε συνάρτηση με την εξίσωση απορροής και είναι η εξής:

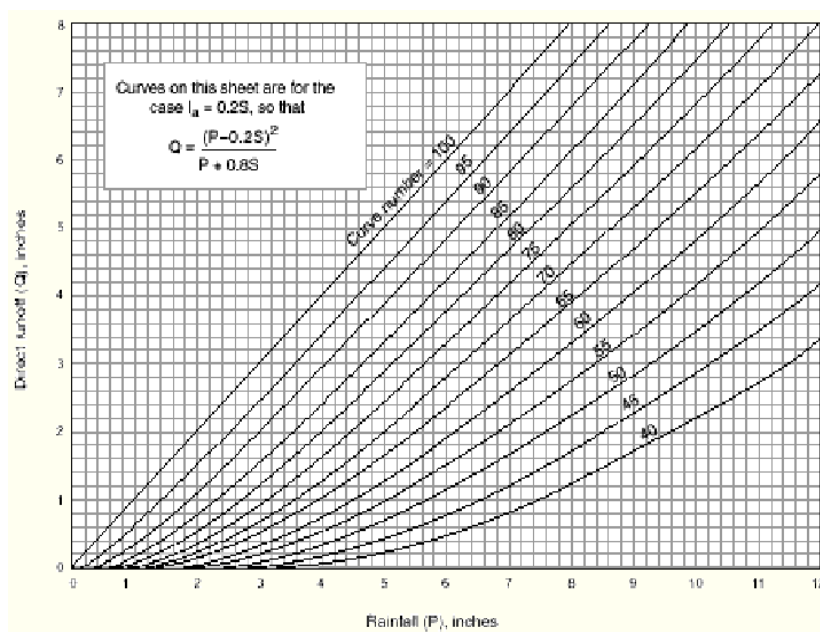
$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2)$$

όπου Q είναι η απορροή, P είναι η κατακρήμνιση, S είναι η μέγιστη δυνητική υγρασία αφού αρχίσει η απορροή και I_a η μέγιστη δυνητική υγρασία πριν αρχίσει η απορροή.

Ο αριθμός καμπύλης (CN) συνδέεται με τη μέγιστη δυνητική υγρασία αφού αρχίσει η απορροή (S) με την εξίσωση:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3)$$

Ο αριθμός καμπύλης κυμαίνεται από το 30 μέχρι το 100. Τα μικρότερα νούμερα δείχνουν μικρή δυνητικά απορροή και πηγαίνοντας προς τα μεγαλύτερα νούμερα παρουσιάζεται μεγαλύτερη απορροή (Hawkins et al. 2009).



Σχήμα 9 Παράδειγμα αριθμού καμπύλης (πηγή: SCS).

2.4.4 Εφαρμογές του μοντέλου

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το υδρολογικό μοντέλο SWAT έχει χρησιμοποιηθεί ανά τον κόσμο σε πολλές εφαρμογές την τελευταία δεκαετία. Πολλές από τις εφαρμογές έχουν πραγματοποιηθεί από τις ανάγκες των διαφόρων κυβερνητικών οργανισμών, ιδιαίτερα στις ΗΠΑ και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι εφαρμογές αυτές έχουν σαν στόχο τις άμεσες εκτιμήσεις των ανθρωπογενών αλλαγών, την αλλαγή του κλίματος, καθώς και άλλες επιδράσεις σε ένα ευρύ φάσμα των υδατικών πόρων.

Ενδεικτικά αναφέρεται μια από τις πρώτες σημαντικές εφαρμογές του SWAT, η οποία αναπτύχθηκε εντός της Υδρολογικής Μονάδας Μοντέλων (Hydrologic Unit Model), σύστημα μοντελοποίησης των ΗΠΑ (HUMUS) (Arnold et al. 1999), το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή για να υποστηριχθούν οι αναλύσεις της USDA για την επιβολή του αμερικανικού νόμου περί διατήρησης Εκτίμησης Πόρων του 1997. Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση των ρύπων και τις επιπτώσεις των γεωργικών και αστικών χρήσεων του νερού.

Επίσης, το SWAT έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην Ευρώπη και συμπεριλήφθηκε σε πολλά projects που υποστηρίζονται από διάφορες υπηρεσίες της

Ευρωπαϊκής Επιτροπής (EC). Αρκετά μοντέλα, συμπεριλαμβανομένου του SWAT, χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος σε πέντε διαφορετικές λεκάνες απορροής στην Ευρώπη, κατά την Κλιματική και Οικονομική Υδροχημεία των επιφανειακών υδάτων (CHESS), το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση για το Ερευνητικό Πρόγραμμα για το Περιβάλλον και το Κλίμα (CHESS, 2001). Εννέα μοντέλα, συμπεριλαμβανομένου του SWAT δοκιμάστηκαν σε 17 διαφορετικές ευρωπαϊκές λεκάνες απορροής, ως μέρος του σχεδίου EUROHARP, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ενέργεια, το Περιβάλλον και την Αειφόρο Ανάπτυξη (EESD-EUROHARP, 2006). Στόχος της έρευνας ήταν να διερευνηθεί η ικανότητα των μοντέλων για την εκτίμηση μη σημειακών πηγών απωλειών του αζώτου και του φωσφόρου τόσο του γλυκού νερού στα ρέματα, όσο και στα παράκτια ύδατα.

Ενδεικτικά, αναφέρονται παρακάτω μερικές από τις κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών του SWAT (Gassman et al. 2007):

- ✚ Βαθμονόμηση και ανάλυση ευαισθησίας.
- ✚ Αντίκτυπο κλιματικών αλλαγών.
- ✚ Υδρολογία με τη χρήση GIS.
- ✚ Υδρολογική αξιολόγηση.
- ✚ Μεταβολή των ρυθμίσεων ή των αποτελεσμάτων εισαγωγής δεδομένων.
- ✚ Σύγκριση με αποτελέσματα άλλων μοντέλων.
- ✚ Σύνδεση με άλλα μοντέλα.
- ✚ Αξιολόγηση ρύπανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι Ι Ι

Φράγματα & Λιμνοδεξαμενές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

Φράγματα & Λιμνοδεξαμενές

3.1 Γενικά

Είναι γνωστό πως τα τελευταία χρόνια, λόγω της συνεχιζόμενης αύξησης της ζήτησης του νερού και της παράλληλης μείωσης των αποθεμάτων, πολλές περιοχές ανά τον κόσμο αντιμετωπίζουν έντονες πιέσεις. Συνέπεια είναι η συνεχής μεταβολή του ισοζυγίου της ζήτησης και της προσφοράς νερού, σε βάρος της προσφοράς. Αυτό συμβαίνει διότι όλο και περισσότεροι άνθρωποι καταναλώνουν όλο και περισσότερο νερό σε όλες τις χρήσεις. Το βασικό ζήτημα που προκύπτει είναι η ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Η διαχείριση αυτή είναι αναγκαίο να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του σήμερα, αλλά και του αύριο. Αυτό σημαίνει πως τα διαχειριστικά σχέδια είναι απαραίτητο να επιλύουν τα προβλήματα του παρόντος, χωρίς να επιβαρύνουν τη διαχείριση των μελλοντικών πρακτικών (Επιτροπή Brundtland του ΟΗΕ για την αειφόρο ανάπτυξη, 1987).

Για τη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων σημαντικό, αν όχι πρωτεύοντα, ρόλο κατέχουν τα υδραυλικά έργα και κυρίως αυτά της σύλληψης του νερού. Αποτελούν ουσιαστικά έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων, με κύριο σκοπό την πληρέστερη κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού σε νερό.

Το μοντέλο ανάπτυξης το οποίο υιοθετήθηκε στην Ελλάδα, λόγω των κοινωνικοοικονομικών -και άλλων- συνθηκών που επικρατούσαν κατά το παρελθόν, στηρίχθηκε κυρίως σε έργα αξιοποίησης υπογείων υδάτων με φρέατα και γεωτρήσεις, ενώ η κατασκευή έργων αποταμίευσης των επιφανειακών υδάτων με φράγματα και λιμνοδεξαμενές αποτέλεσε μεταγενέστερη λύση, κυρίως με τις μελέτες του Υπουργείου Γεωργίας στο πρόσφατο παρελθόν.

Γενική κατηγορία Έργων	Ειδική κατηγορία Έργων	Τυπικά Υδραυλικά Έργα
A. Έργα ανάπτυξης και αξιοποίησης υδατικών πόρων	A1. Αξιοποίηση των άμεσα διαθέσιμων υδατικών πόρων	1. Πηγές 2. Υδατορεύματα 3. Λίμνες 4. Υδροφορείς
	A2. Ανάπτυξη των ολικών διαθέσιμων υδατικών πόρων	1. Ταμειυτήρες 2. Έργα εκτροπής 3. Έργα εμπλουτισμού υδροφορέων
	A3. Μεταφορά και διανομή των υδατικών πόρων	1. Υδραγωγεία 2. Δίκτυα διανομής

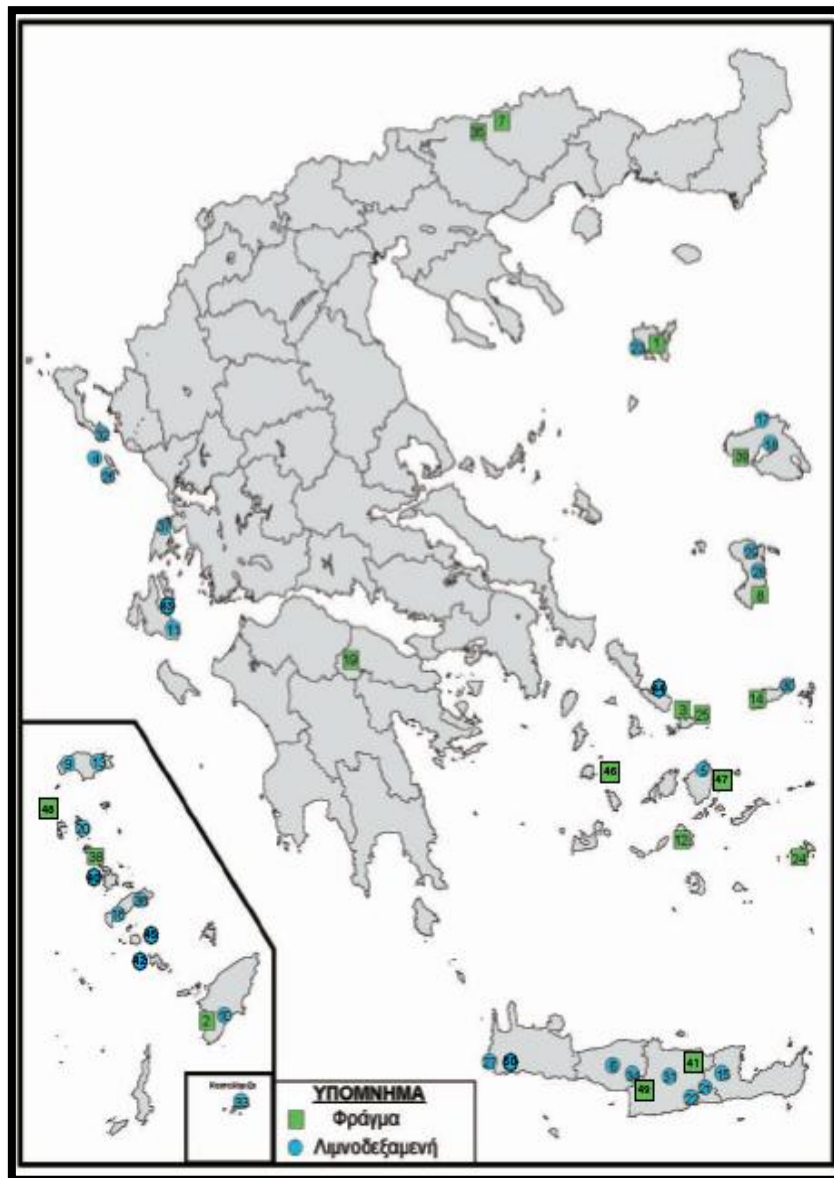
Πίνακας 3 Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων (πηγή: Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος 1999).

Πολλά βέβαια από αυτά τα έργα στην πορεία είτε δεν έγιναν πράξη, είτε κατασκευάστηκαν με πολύ μεγάλα κόστη και τελικά δεν απέδωσαν. Χαρακτηριστικά, στην ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος αναφέρεται:

“Αν και ο βαθμός ανάπτυξης των έργων αξιοποίησης των επιφανειακών νερών στη χώρα μας είναι σχετικά περιορισμένος και υπάρχουν πρόσθετες δυνατότητες θα πρέπει ωστόσο να γίνει κατανοητό ότι η γενικότερη τάση μείωσης των προς εκμετάλλευση πόρων είτε λόγω κλιματικών αλλαγών η/και λόγω της εντεινόμενης ρύπανσης των νερών σε συνδυασμό με τις υιοθετημένες και από τη χώρα μας αυστηρότερες Ευρωπαϊκές απαιτήσεις ως προς την προστασία των υδρόβιων οικοσυστημάτων, επιβάλλουν περιορισμούς και καθιστούν δαπανηρότερα τα αναπτυξιακά αυτά έργα. Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η ανάγκη να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στη διαχείριση της ζήτησης και να μην θεωρούνται πλέον ως δεδομένες οι παραδοσιακές καταναλώσεις, οι παραδοσιακές απώλειες, η αδιαφορία ως προς τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης καθώς και η παραδοσιακή μέθοδος κοστολόγησης και τιμολόγησης του νερού”¹⁷.

¹⁷ Από την ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=247>

Παρόλα αυτά, στις περιοχές που κατασκευάστηκαν φράγματα ή λιμνοδεξαμενές άρχισαν να αντιμετωπίζονται με αποτελεσματικό τρόπο οι επικρατούσες συνθήκες απερίμωσης και έκτοτε επικρατεί ένα καθεστώς αναπτυξιακής πνοής.



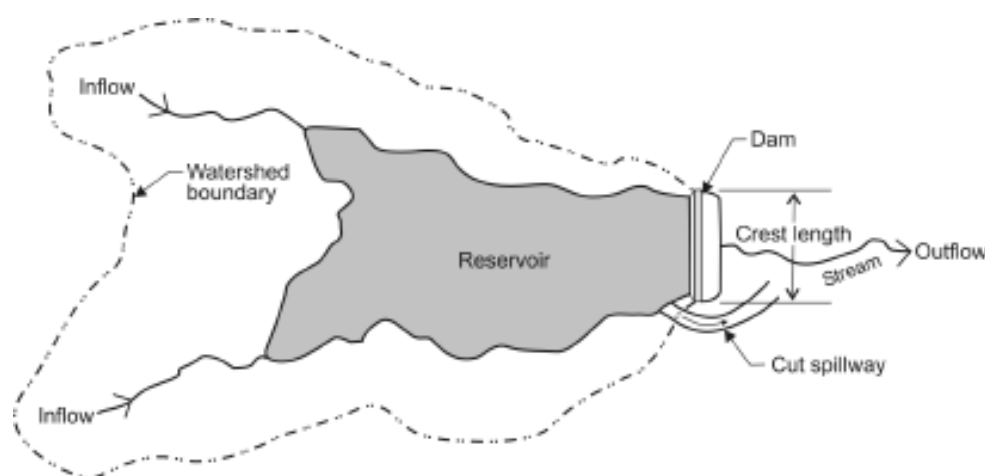
Εικόνα 12 Κατασκευασμένα φράγματα & Λιμνοδεξαμενές από το Υπουργείο Γεωργίας¹⁸ (πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).

Παράλληλα αναπτύχθηκαν αξιόλογα οικοσυστήματα χλωρίδας και πανίδας στο νέο περιβάλλον που δημιουργήσε η παρουσία του νερού. Έτσι αναβαθμίστηκε και η

¹⁸ Βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τον κατάλογο φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών του Υπουργείου Γεωργίας.

οικολογική αξία αυτών των περιοχών. Οι «τεχνητές λίμνες» που δημιουργήθηκαν μπορούν να αποτελέσουν πόλο έλξης για αναψυχή του ανθρώπινου δυναμικού που διαβιώνει στην ευρύτερη ζώνη, αλλά και για επενδύσεις αγρο-τουριστικών μονάδων κτλ.

Στο σημείο αυτό να τονιστεί πως το παρόν Κεφάλαιο δεν αποτελεί αναλυτική προσέγγιση από την οπτική ενός Πολιτικού Μηχανικού, σχετικά με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των φραγμάτων. Αποτελεί εισαγωγή σε θέματα κατασκευής των φραγμάτων και των λιμνοδεξαμενών που δημιουργούνται, απόρροια της κατασκευής τους.



Εικόνα 13 Κάτοψη λιμνοδεξαμενής και φράγματος¹⁹.

3.2 Φράγματα

Τα φράγματα είναι υδραυλικά έργα που κατασκευάζονται στα ποτάμια και τους χείμαρρους, ώστε να γίνει εφικτή η κατακράτηση και εν γένει η αξιοποίηση της επιφανειακής απορροής για ύδρευση, άρδευση, προστασία από πλημμύρες, παραγωγή ενέργειας κτλ (Kundzewicz 1998).

Η κατασκευή των φραγμάτων αποτέλεσε πολιτική επιλογή των ιθυνόντων κατά το παρελθόν στην Ελλάδα. Αποτέλεσε έναν τρόπο να μετρηθούν και να αξιοποιηθούν οι επιφανειακές απορροές με τρόπο συστηματικό, προκειμένου να υπάρχει επάρκεια νερού για ύδρευση, άρδευση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

¹⁹ Από την ιστοσελίδα [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex4613](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex4613) (Government of Alberta, Canada)

Κατά το παρελθόν το Υπουργείο Γεωργίας υλοποίησε ένα πολύ μεγάλο πρόγραμμα κατασκευής φραγμάτων, όπου το κύριο χαρακτηριστικό του ήταν η επίλυση των προβλημάτων άρδευσης κατά περιοχή. Επιπλέον, η κατασκευή των φραγμάτων αυτών συνεισέφερε και στην επάρκεια νερού για όλες τις προαναφερθείσες χρήσεις (Bohlen and Lewis 2009).

Τα φράγματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα υλικά κατασκευής και τη γεωμετρία τους. Έτσι υπάρχουν φράγματα:

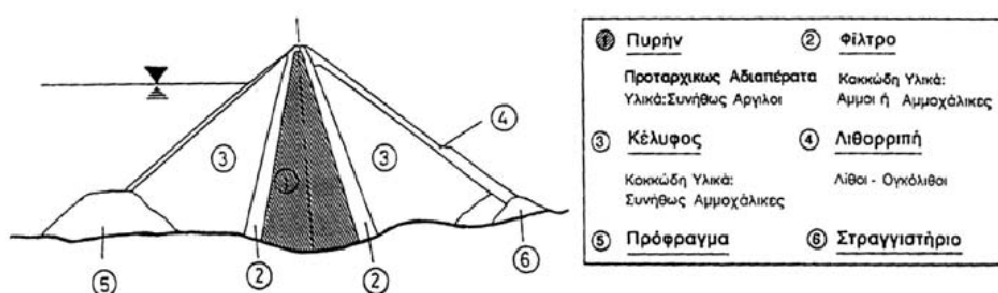
- ✚ Εύκαμπτα.
- ✚ Άκαμπτα.
- ✚ Μικτά ή σύνθετα.

Τα πρώτα κατασκευάζονται κυρίως από γαιώδη υλικά όπως η άργιλος, η άμμος, οι κροκάλες κτλ. Μια επιπλέον κατηγοριοποίηση, λόγω της χρησιμοποίησης αυτών των υλικών είναι η εξής:

- ✚ Χωμάτινα.
- ✚ Λιθόρριπτα.

Στα άκαμπτα φράγματα χρησιμοποιείται κυρίως σκυρόδεμα, λόγω των μεγαλύτερων υδραυλικών πιέσεων που ασκούνται στο μέτωπο του φράγματος (Li et al. 2008) και αυτά χωρίζονται στις κάτωθι κατηγορίες:

- ✚ Φράγματα βαρύτητας.
- ✚ Τοξωτά.



Σχήμα 10 Σκαρίφημα χωμάτινου φράγματος (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).

Τα χωμάτινα φράγματα (με αργιλικό αδιαπέρατο πυρήνα) είναι πιο εύκολα στην κατασκευή τους και είναι πιο οικονομικά από τα άκαμπτα φράγματα, στα οποία χρησιμοποιείται σκυρόδεμα που ανεβάζει το κόστος κατασκευής.



Εικόνα 14 Χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα, Φανερωμένη Μεσσαρά, Ηράκλειο Κρήτης (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).

Τα λιθόρριπτα φράγματα είναι χωμάτινα φράγματα με μια πιο απλοποιημένη μορφή, χωρίς τις ζώνες υλικών που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο σχήμα. Στα φράγματα αυτά το αδιαπέρατο στοιχείο τους αποτελείται από μια πλάκα σκυροδέματος και το κύριο σώμα τους από χονδρόκοκκα υλικά²⁰.



Εικόνα 15 Λιθόρριπτο φράγμα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος, Λειβάδι Πάτμου (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).

²⁰ Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, *Τα Φράγματα και οι Λιμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων*, Ειδική Γραμματεία Γ' Κ.Π.Σ., Φεβρουάριος 2006.

Βασικά κριτήρια για την επιλογή θέσης φράγματος αποτελούν η υδατοστεγανότητα της λεκάνης κατάκλυσης, η αντοχή του εδάφους θεμελίωσης και η ύπαρξη κατάλληλων υλικών για την κατασκευή του αναχώματος²¹.

3.3 Λιμνοδεξαμενές

Οι λιμνοδεξαμενές είναι μικροί ταμιευτήρες επιφανειακών υδάτων, που κατασκευάζονται είτε μέσα στις κοίτες χειμάρρων (επιποτάμεις), είτε έξω από αυτές σε φυσικές ή τεχνητές λεκάνες κατάκλυσης (εξωποτάμεις). Στην Ελλάδα ο όρος «λιμνοδεξαμενή» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, στο πλαίσιο του προγράμματος μελέτης και κατασκευής αυτών των τεχνικών έργων κατά τη δεκαετία του '80.



Εικόνα 16 Φράγμα & λιμνοδεξαμενή, Ερεσός Λέσβου (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).

Σήμερα με τον όρο «λιμνοδεξαμενή» αναφέρονται συνήθως οι εξωποτάμιοι ταμιευτήρες επιφανειακών υδάτων (εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή). Πρόκειται για λεκάνες κατάκλυσης, που διαμορφώνονται με εκσκαφές και φράσσονται με ανάχωμα, το οποίο κατασκευάζεται σε επιλεγμένη περιοχή με κατάλληλα μορφολογικά χαρακτηριστικά, συνήθως αμφιθεατρικής μορφής.

²¹ Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, *Τα Φράγματα και οι Λιμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων*, Ειδική Γραμματεία Γ' Κ.Π.Σ., Φεβρουάριος 2006.



Εικόνα 17 Φράγμα & λιμνοδεξαμενή, Λειβάδι Αστυπάλαιας (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης).

Οι λιμνοδεξαμενές είναι σύνθετα έργα αποτελούμενα από τρία διακριτά τεχνικά έργα:

- ✚ Το χώρο του ταμιευτήρα που διαμορφώνεται τεχνητά, όπως προαναφέρθηκε.
- ✚ Το φράγμα εκτροπής στο χείμαρρο του οποίου θα αξιοποιηθούν οι απορροές.
- ✚ Τον αγωγό μεταφοράς του νερού από το φράγμα εκτροπής έως τον ταμιευτήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Η περιοχή μελέτης – Η Ν. Άνδρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Η περιοχή μελέτης – Η Ν. Άνδρος

4.1 Η Άνδρος

Η Άνδρος είναι το βορειότερο νησί του συμπλέγματος των Κυκλάδων, μεταξύ της Εύβοιας και της Τήνου, με πλούσια ομορφιά, πολύ έντονο ανάγλυφο και με σχήμα επίμηκες με διεύθυνση από Β-ΒΔ προς Ν-ΝΑ. Είναι το δεύτερο νησί των Κυκλάδων σε έκταση (μετά τη Νάξο), καθώς καλύπτει 374km² με περίμετρο 176km. Όλο το νησί έχει ορεινή τοπογραφία με μια κεντρική οροσειρά που κορυφώνεται στο Πέταλο και την Κουβάρα, με ψηλότερη κορυφή τον Προφήτη Ηλία με υψόμετρο 997m.

Κοντά στο νησί υπάρχουν πολλές μικρές βραχονησίδες, βραχώδεις και αρκετά διαμελισμένες. Στο νησί σχηματίζονται πολλοί όρμοι και ένα φυσικό λιμάνι (Σταματελάτος και Βάμβα-Σταματελάτου 2001) το Γαύριο, που είναι το κύριο λιμάνι του νησιού, με τακτική σύνδεση με τη Ραφήνα, ενώ τα λιμάνια στο Μπατσί, στη Χώρα και στο Κόρθι διαθέτουν υποδομή ιδιωτικών και αλιευτικών σκαφών. Τα μεσαιωνικά, νεοκλασικά και νησιώτικα σπίτια της Άνδρου, τα στενά δρομάκια, τα μουσεία και οι παραλίες της αποτελούν μεγάλο πόλο έλξης των επισκεπτών.

Στο βόρειο τμήμα του νησιού υπάρχουν οι δυο κύριοι οικισμοί, το Γαύριο και το Μπατσί. Ο πρώτος φιλοξενεί το λιμάνι, ενώ και οι δυο μαζί διαθέτουν τις κύριες τουριστικές υποδομές του νησιού.

4.1.1 Ιστορικά στοιχεία²²

Το όνομα του νησιού προέρχεται κατά πάσα πιθανότητα από τον στρατηγό Άνδρο από την Κρήτη, μυθικό οικιστή της μινωικής περιόδου. Οι αρχαιολογικές ανασκαφές αποδεικνύουν την ύπαρξη αναπτυγμένων οικισμών από τους μυκηναϊκούς χρόνους ή και παλαιότερα. Το νησί έρχεται στο προσκήνιο της ιστορίας κατά τη Γεωμετρική Περίοδο (9ος-7ος αιώνας π.Χ.), όπως μαρτυρούν ίχνη οικισμού που σώζονται στη Ζαγορά, στη ΝΔ ακτή του νησιού κοντά στο Ζαγανιάρι. Κατά την ιστορική παράδοση Ίωνες από την Αθήνα είναι οι πρώτοι ξένοι που έρχονται στην Άνδρο (Σταματελάτος και Βάμβα-Σταματελάτου 2001).

Πρωτεύουσα της Άνδρου κατά τη διάρκεια της κλασσικής εποχής ήταν η *Παλαιόπολη*²³. Η ευημερία της περιόδου αυτής φαίνεται από την πλούσια νομισματοκοπία. Σχετικά ευρήματα μαζί με τον Ερμή της Άνδρου φιλοξενούνται στο Αρχαιολογικό Μουσείο στη Χώρα. Τον 7ο αιώνα π.Χ. η Άνδρος συμμετείχε μαζί με τους Χαλκιδείς στον αποικισμό της Χαλκιδικής και των παραλιακών περιοχών της Θράκης, δημιουργώντας αποικίες όπως η Άκανθος, η Σάνη, τα Στάγειρα και η Άργιλος. Το 480 π.Χ. το νησί καταλαμβάνουν οι Αθηναίοι αλλά σύντομα αποχωρούν, ενώ το 476 π.Χ. η Άνδρος γίνεται μέλος της Α' Αθηναϊκής Συμμαχίας. Από το 425 π.Χ. συμμετέχει στον Πελοποννησιακό Πόλεμο στο πλευρό των Αθηναίων, αλλά το 408 π.Χ. συμμαχεί με τη Σπάρτη, με αποτέλεσμα ο Αθηναϊκός στρατός να καταλάβει το Γαύριο αλλά σύντομα και πάλι αποχωρούν, καθώς η Σπάρτη στέλνει στρατιωτική φρουρά. Το 393 π.Χ. οι Αθηναίοι υπό τον Κόνωνα διώχνουν τους Σπαρτιάτες και μερικά χρόνια αργότερα, το 376 π.Χ., η Άνδρος γίνεται μέλος της Β' Αθηναϊκής Συμμαχίας. Το 338 π.Χ., μετά τη μάχη της Χαιρώνειας, η Άνδρος περιέρχεται στον Φίλιππο Β' της Μακεδονίας και πέντε χρόνια αργότερα την καταλαμβάνουν οι Πέρσες του Φαρνάβαζου. Από αυτό το σημείο και μέχρι το 41 π.Χ. που το νησί παραδίδεται στους Ροδίους από τους Ρωμαίους, η Άνδρος γνωρίζει εναλλάξ κατακτητές τους Μακεδόνες και τους Πτολεμαίους της Αιγύπτου, μέχρι να καταλήξει στους Ρωμαίους (Σταματελάτος και Βάμβα-Σταματελάτου 2001).

Η Άνδρος, ακολουθώντας μαζί με τα άλλα νησιά του Αιγαίου τη μοίρα της ηπειρωτικής χώρας, βρέθηκε διαδοχικά υπό την κατοχή των Ρωμαίων, των Φράγκων

²² Από την επίσημη ιστοσελίδα του Δήμου Άνδρου www.andros.gr

²³ Στην Παλαιόπολη της Άνδρου, ο υποφαινόμενος (μαζί με τον Α. Ψαρογιάννη) εκπόνησε την πτυχιακή του εργασία στο ΑΤΕΙ Αθήνας με θέμα: «Αποτύπωση αρχαιολογικού χώρου Παλαιόπολης Άνδρου», 2000.

και των Οθωμανών. Από τον 11ο αιώνα μ.Χ. χρονολογούνται οι βυζαντινού ρυθμού εκκλησίες, όπως ο Ταξιάρχης στο Υψηλόν, στη Μελίδα και στη Μεσσαριά και η Κοίμηση της Θεοτόκου στο Μεσαθούρι. Το 14ο αιώνα ιδρύθηκε το μοναστήρι της Αγίας (Ζωοδόχος) κοντά στο Μπατσί, ενώ η μονή Αγίου Νικολάου θεμελιώθηκε το 1560 και ανακατασκευάστηκε τον 18ο αιώνα. Η μονή Παναχράντου ιδρύθηκε στα μέσα του 17ου αιώνα. Στην Αγία Τριάδα στο Κόρθι στεγαζόταν από το 1813 το πρώτο προεπαναστατικό σχολείο της Άνδρου, που ιδρύθηκε από το Σαμουήλ Πλασίμη και διαθέτει ανεξάρτητο κτίσμα το οποίο φιλοξενούσε τους δασκάλους, καθώς και σημαντική βιβλιοθήκη.

Στις 10 Μαΐου 1821 ο Θεόφιλος Καΐρης ύψωσε το λάβαρο της επανάστασης και έτσι σηματοδοτείται η νεότερη ιστορία του νησιού, κατά την οποία η Άνδρος βρέθηκε στον κολοφώνα της οικονομικής της ευημερίας, χάρη στην ισχυρή ναυτιλία της.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι ο Ανδριώτης Δημήτρης Μωραΐτης εγκαινίασε τη γραμμή Ελλάδας - Βορείου Αμερικής στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ το 1939 η Άνδρος ήταν δεύτερη, μετά τον Πειραιά, σε αριθμό νηολόγησης πλοίων.

4.1.2 Ανθρωπογενές περιβάλλον

Όσον αφορά στο ανθρωπογενές περιβάλλον του νησιού, ο πληθυσμός της Άνδρου ανέρχεται στους 10.000 κατοίκους, περίπου, σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Παρατηρείται μια ελαφρώς αυξητική τάση σε σχέση με την περασμένη δεκαετία καθώς με βάση τα στοιχεία της απογραφής του 1991 ο πληθυσμός της Άνδρου ήταν 8.781 κάτοικοι. Βέβαια, η προσπάθεια προσδιορισμού του πληθυσμού καθίσταται, όπως και στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, δύσκολη καθώς μεγάλα τμήματα του πληθυσμού μετακινούνται την περίοδο της απογραφής στα μέρη καταγωγής τους.

ΕΤΟΣ	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ
1971	10.457
1981	9.020
1991	8.781
2001	10.009

Πίνακας 4 Εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού της Άνδρου (πηγή: ΕΣΥΕ)

Επίσης, ένα μείζον θέμα στην καταμέτρηση του πληθυσμού προκύπτει και από την εσωτερική μετακίνηση των οικονομικών μεταναστών οι οποίοι, λόγω της αύξησης της προσφοράς εργασίας κατά τους θερινούς μήνες (τουρισμός, οικιστική ανάπτυξη κτλ.), επιλέγουν να εγκατασταθούν σε τουριστικές περιοχές όπως η Άνδρος.

ΕΤΟΣ	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΣΚΕΠΤΩΝ
1991	8.820	67.911
1997	8.820	88.438
2007	9.517	137.341

Πίνακας 5 Εκτίμηση αύξησης του πληθυσμού -μόνιμου και εποχιακού- (πηγή: Ειδική Χωροταξική Μελέτη Νήσου Άνδρου).

Ένα ακόμη πρόβλημα εμφανίζεται στις περιοχές με έντονη τουριστική ανάπτυξη -και φυσικά στην Άνδρο. Σε αυτές τις περιοχές ο προσδιορισμός του μόνιμου και εποχιακού, κυρίως, πληθυσμού καθίσταται ακόμα πιο προβληματικός. Υπάρχουν πολλά στοιχεία, τις περισσότερες φορές αντικρουόμενα, τα οποία παρουσιάζουν διάφορους αριθμούς και εκτιμήσεις για το μέγεθος του εποχιακού πληθυσμού. Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να τονιστεί το γεγονός πως σε μελέτες ύδρευσης-αποχέτευσης το μέγεθος του πληθυσμού (μόνιμου και εποχιακού) αποτελεί ένα κρίσιμο ποσοτικό μέγεθος. Αυτό συμβαίνει -μεταξύ άλλων- διότι καθορίζει εν πολλοίς με ικανοποιητική ακρίβεια το μέγεθος της ζήτησης του νερού για τις διάφορες χρήσεις του (οικιακή, βιομηχανική, αγροτική κτλ.).

Τα παραπάνω αποτελούν ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα περιοχών, όπως των Κυκλάδων, που ακολουθώντας το γενικότερο μεταπολεμικό πρότυπο ανάπτυξης με ταυτόχρονη έλλειψη αναπτυξιακής στρατηγικής και πολιτικής, δεν κατάφεραν να διαχειριστούν με αποτελεσματικότητα τους φυσικούς τους πόρους, και κυρίως το νερό, με συνέπεια την ανεπαρκή τροφοδότηση με πόσιμο νερό, περιοχών, που ως επί το πλείστον, αναπτύχθηκαν άναρχα συμβάλλοντας σε μια μονομερή ανάπτυξη τους (εγκατάλειψη του αγροτικού τομέα επί παραδείγματι)²⁴.

²⁴ ΕΜΠ, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, *Δημιουργία Συστήματος Παροχής Υπηρεσιών Ύδρευσης Αποχέτευσης στα Νησιά των Κυκλάδων*, Ερευνητικό Πρόγραμμα, 1^η Έκθεση Προόδου, 2001.

4.1.3 Διοικητική Διαίρεση

Τα τελευταία χρόνια η Άνδρος χωριζόταν διοικητικά (με τη μεταρρύθμιση του σχεδίου *Καποδίστριας*) σε τρεις δήμους. Στο βόρειο τμήμα του νησιού ο Δήμος Υδρούσας (με 11 Δημοτικά Διαμερίσματα), στο κεντρικό τμήμα του νησιού ο Δήμος Άνδρου (με 5 Δημοτικά Διαμερίσματα) και στο Νότο ο Δήμος Κορθίου (με 6 δημοτικά Διαμερίσματα).

Από 1-1-2011 οι τρεις Δήμοι συνενώθηκαν σε έναν -αυτόν του Δήμου Άνδρου- με βάση το σχέδιο *Καλλικράτης* στους Ο.Τ.Α.

4.1.4 Κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά

Ο κινητήριος μοχλός της οικονομικής ανάπτυξης στη Ν. Άνδρο -όπως και στα υπόλοιπα νησιά των Κυκλάδων- είναι ο τουρισμός. Το μοντέλο αυτό της ανάπτυξης είναι, όπως προαναφέρθηκε, το γενικότερο μοντέλο του νησιωτικού χώρου στην Ελλάδα. Οι υπόλοιποι κλάδοι απασχόλησης, πλέον, είναι συνυφασμένοι με τον τουρισμό, καθώς τον εξυπηρετούν και τους εξυπηρετεί. Η αμφίδρομη αυτή σχέση έχει αφενός τα πλεονεκτήματά της (ο αγροτικός τομέας αν και έχει εγκαταλειφθεί σε μεγάλο ποσοστό συνεχίζει και λειτουργεί στα πλαίσια κάλυψης των βασικών αναγκών των τουριστών σε αγροτικά προϊόντα), αφετέρου έχει οδηγήσει σε υποβάθμιση τον δευτερογενή τομέα απασχόλησης (μεταποίηση, βιομηχανία-βιοτεχνία).

Ένα σημαντικό κοινωνικο-οικονομικό χαρακτηριστικό του νησιού είναι η ναυτιλία, στην οποία οι Ανδριώτες έχουν πολύ μεγάλη παράδοση, αλλά και ο κλάδος αυτός με το πέρασ των χρόνων εξασθενεί.

4.2 Κλίμα

Η Άνδρος, λόγω του έντονου ανάγλυφού της, των ορεινών της όγκων και των τρεχούμενων νερών της, εμφανίζει τοπικά μικροκλίματα (είναι παρατηρημένο πως στο βόρειο τμήμα της οι βροχοπτώσεις είναι πιο έντονες σε σχέση με το νότιο), τα οποία και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη ή όχι βλάστησης, στην ανάπτυξη της γεωργίας και στην εμφάνιση της πανίδας. Το κλίμα του νησιού χαρακτηρίζεται γενικά ως ήπιο μεσογειακό (όπως σε όλες τις Κυκλάδες), με

μαλακούς χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια, οπότε και πνέουν τα περίφημα μελτέμια. Στα παράλια όμως και στις κοιλάδες με βλάστηση το κλίμα θεωρείται υγρό.



Εικόνα 18 Οι οικισμοί της Ν. Άνδρου.

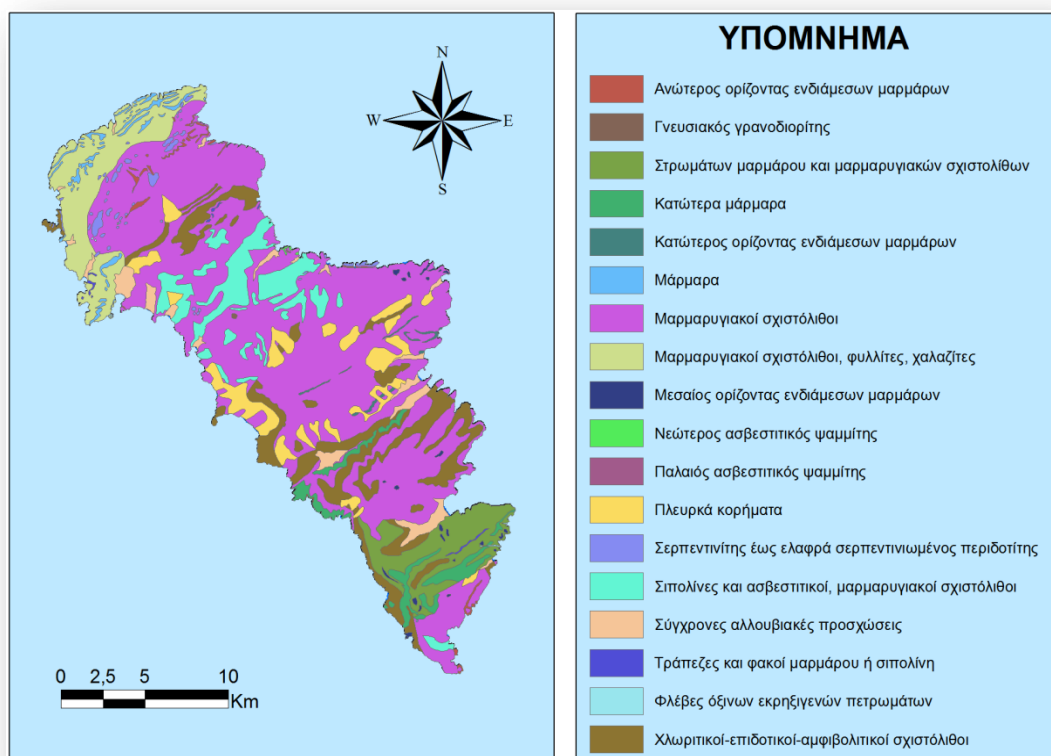
Δεν παρατηρούνται μεγάλες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας, με μέση ετήσια θερμοκρασία 18°C, ενώ η μέγιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία ανέρχεται στους 25°C για το μήνα Ιούλιο και η κατώτατη κυμαίνεται στους 12°C για το μήνα Ιανουάριο. Μετά το καλοκαίρι θερμότερη εποχή είναι το φθινόπωρο, ωστόσο ακόμα και το καλοκαίρι η θερμοκρασία του αέρα είναι σχετικά χαμηλή, χάρη στα μελτέμια που πνέουν με ΒΔ ή ΒΑ διευθύνσεις, κυρίως από τα τέλη Ιουλίου μέχρι τις αρχές Σεπτεμβρίου. Επικρατούντες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι οι βόρειοι άνεμοι μέσης ταχύτητας 11-16 m/sec, με μικρότερη όμως ένταση στο δυτικό τμήμα του νησιού, όπου σημειώνονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα ανατολικά. Αντίθετα παρατηρείται μεγαλύτερη σχετική υγρασία και συγκέντρωση υδρατμών στις ανατολικές πλαγιές των βουνών.

Αξιοσημείωτο είναι το ετήσιο ύψος βροχής, σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά του συμπλέγματος των Κυκλάδων, όπου στις παράκτιες περιοχές κυμαίνεται σε 450-500 χιλιοστά κατά μέσο όρο, ενώ στα ορεινά υπερβαίνει συχνά τα 900 χιλιοστά. Κατά την περίοδο 1997-1998 οι έντονες βροχοπτώσεις, σε συνδυασμό με το στένεμα της κοίτης των χειμάρρων από προσχώσεις, μπάζα ή κτίσματα, οδήγησε σε πλημμυρικά φαινόμενα σε ορισμένες περιοχές. Στα ορεινά (σε υψόμετρο άνω των 400 μέτρων), σε οικισμούς όπως ο Πιτροφός, η Άρνη, οι Στραπουργιές, η Βουρκωτή (βλέπε Εικόνα 18), παρατηρούνται χιονοπτώσεις σχεδόν κάθε χρόνο και κυρίως το Γενάρη και το Φλεβάρη. Οι μέρες με παγετό είναι σπάνιες (8 κατά μέσο όρο ετησίως)²⁵.

4.3 Γεωλογία

Το νησί της Άνδρου, όπως και οι υπόλοιπες Κυκλάδες κάποτε αποτελούσαν ενιαία γη με την Εύβοια, μέχρι πριν από 3-4 εκατομμύρια χρόνια. Έπειτα όμως από έντονες τεκτονικές διεργασίες στην περιοχή του Αιγαίου και των Κυκλάδων, επήλθε ο κατακερματισμός της ξηράς αυτής σε επιμέρους νησιά, ανάμεσα στα οποία και η Άνδρος.

²⁵ Από το Ερευνητικό έργο «Ερευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στην Άνδρο», 2006.



Εικόνα 19 Γεωλογικός χάρτης Ν. Άνδρου (πηγή: Παπανικολάου 1978, Ι.Γ.Μ.Ε., με ίδια επεξεργασία).

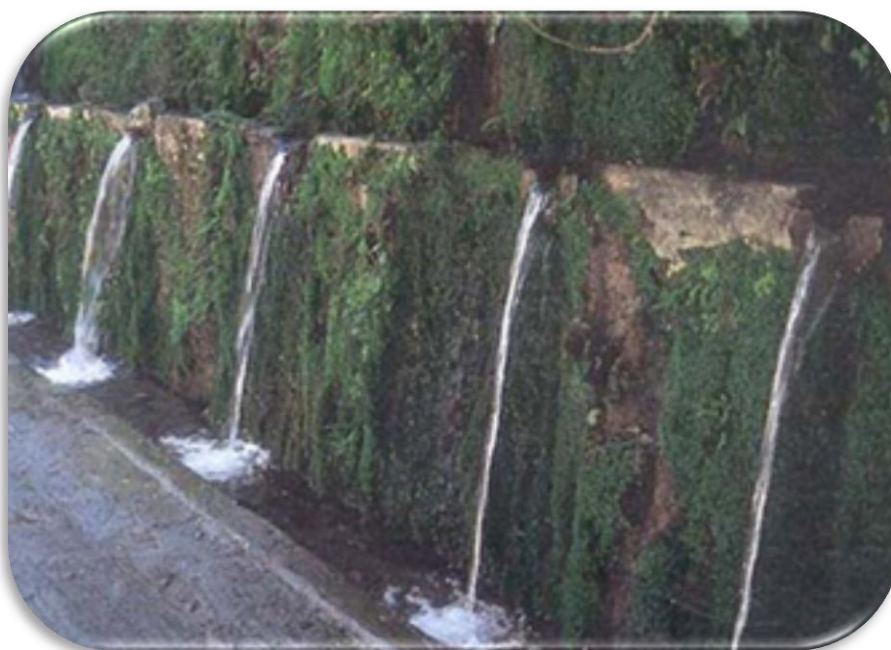
Τα πετρώματά της είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου μεταμορφωμένα, με επικρατέστερους τους σχιστόλιθους και κυρίως τους μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, ενώ εμφανίζονται λιγότερο χλωριτικοί, επιδοτικοί ως αμφιβολιτικοί. Υπάρχουν ακόμη λίγα μάρμαρα, κυρίως στο νότιο τμήμα του νησιού, που βρίσκονται σε συμφωνία στρώσης με τους σχιστόλιθους και αποτελούν τον βαθύτερα εμφανιζόμενο σχηματισμό της Άνδρου.

Σεισμοτεκτονικά δεν ανήκει σε περιοχή με σεισμική δραστηριότητα και κατά τους ιστορικούς και πρόσφατους χρόνους δεν έχουν αναφερθεί σεισμοί στην περιοχή. Τα κύρια συστήματα ρηγμάτων παρουσιάζουν τις εξής διευθύνσεις: α) ΒΔ-ΝΑ, β) ΒΑ-ΝΔ και γ) Β-Ν²⁶.

²⁶ Από το Ερευνητικό έργο «Ερευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στην Άνδρο», 2006.

4.4 Υδρογεωλογία

Το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού παρουσιάζει ασύμμετρη ανάπτυξη εκατέρωθεν της κύριας υδροκριτικής γραμμής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Η ανάπτυξη δε των υδρογραφικών συστημάτων γίνεται κατά παράλληλες ζώνες διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Οι λεκάνες επιφανειακής απορροής ταυτίζονται με τις υδρογεωλογικές και σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνούν τα 10 τετραγωνικά χιλιόμετρα, στοιχείο σπάνιο για τις Κυκλάδες. Έχει πραγματοποιηθεί υδρογεωλογική μελέτη του νησιού από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.).

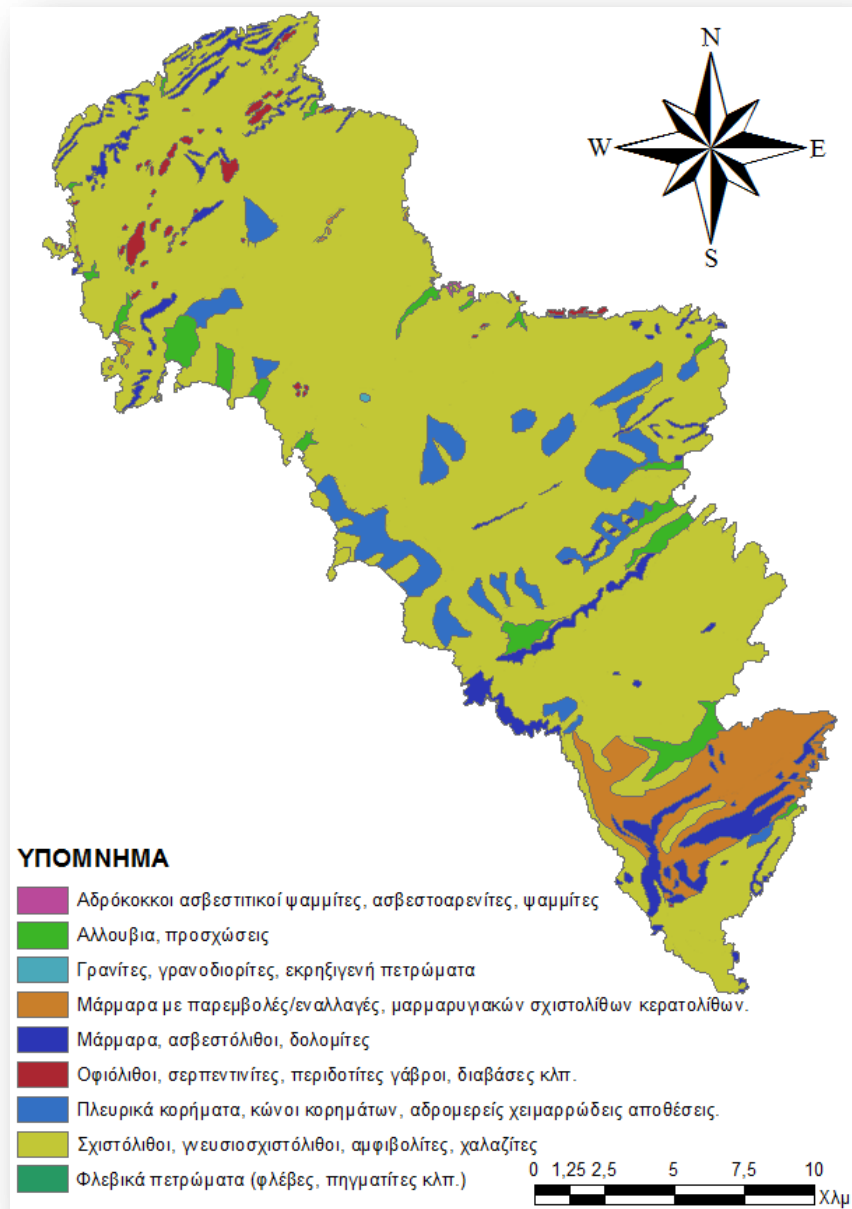


Εικόνα 20 Βρύσες με φυσική ροή στους Μένητες²⁷.

Από αυτή προκύπτει ότι σχετικά με την υδρογεωλογική συμπεριφορά των πετρωμάτων του νησιού, οι σχιστόλιθοι, που αποτελούν το επικρατέστερο πέτρωμα, θεωρούνται πρακτικά υδατοστεγανοί σχηματισμοί και μόνο σε περιπτώσεις αποσάθρωσης επιτρέπουν την εισχώρηση νερού. Είναι γνωστό πως στη φύση δεν υπάρχουν αδιαπέρατοι σχηματισμοί, αλλά σχηματισμοί μεγαλύτερης ή μικρότερης περατότητας. Οι σχιστόλιθοι ανήκουν στα, λεγόμενα, σκληρά διερρηγμένα πετρώματα (hard fissured, fractured, rocks) που έχουν πολύ περισσότερο νερό από όσο θα περίμενε κανείς, το ίδιο και οι σερπεντίνες. Για τα πετρώματα αυτά, η Διεθνής

²⁷ Από την επίσημη ιστοσελίδα του Δήμου Άνδρου www.andros.gr

Ένωση Υδρογεωλόγων (International Association of Hydrogeologists – IAH) έχει ιδρύσει ειδική επιστημονική επιτροπή για τη μελέτη της τροφοδοσίας, διακινήσεως, εκφορτίσεως, προστασίας και υδραυλικής αυτού του λεγόμενου μέσου ασυνεχειών (Στουρνάρας 2007).



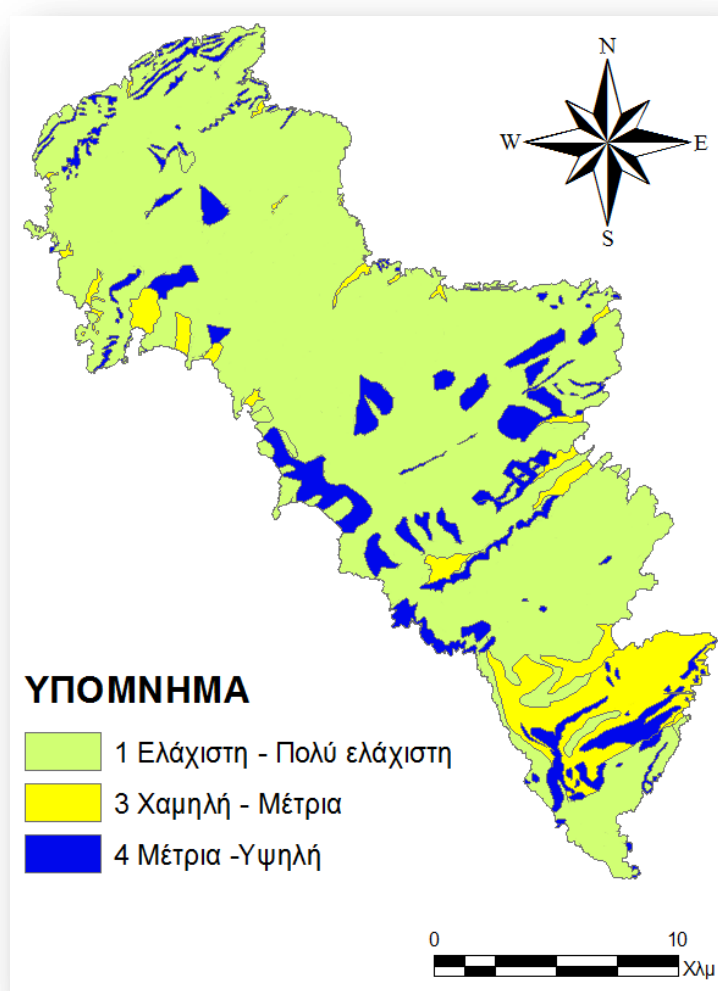
Εικόνα 21 Υδρογεωλογικός χάρτης Ν. Άνδρου (πηγή: Παπανικολάου 1978, Ι.Γ.Μ.Ε., με ίδια επεξεργασία).

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας, που εκφορτίζεται με τη μορφή πηγών μικρής συνήθως παροχής. Αντίθετα, τα μάρμαρα

είναι υδροπερατά και η καρστικοποίησή τους ευνοεί την ανάπτυξη υδροφόρου ορίζοντα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στον Όρμο Κορθίου, στην επαφή των μαρμάρων με στεγανούς σχηματισμούς αναπτύσσονται πηγές, ενώ σε άλλες, όπως στην περιοχή Κοχύλου, τροφοδοτούνται πηγάδια.

Οι σερπεντίνες-περιδοτίτες είναι μικρής υδροπερατότητας, η οποία οφείλεται κυρίως στις διαρρήξεις του ανωτέρου τμήματος των πετρωμάτων, όπως στην περιοχή του Γαυρίου. Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί (αλλούβια) είναι και αυτοί γενικά υδατοπερατοί, ανάλογα με τη λιθολογική τους σύσταση, την κοκκομετρία, καθώς και τη μορφή και διάταξη των κόκκων τους²⁸.



Εικόνα 22 Διαβάθμιση υδροπερατότητας Ν. Άνδρου (πηγή: Παπανικολάου 1978, Ι.Γ.Μ.Ε., με ίδια επεξεργασία).

²⁸ Από το Ερευνητικό έργο «Ερευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στην Άνδρο», 2006.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Ανάπτυξη του υδρολογικού μοντέλου

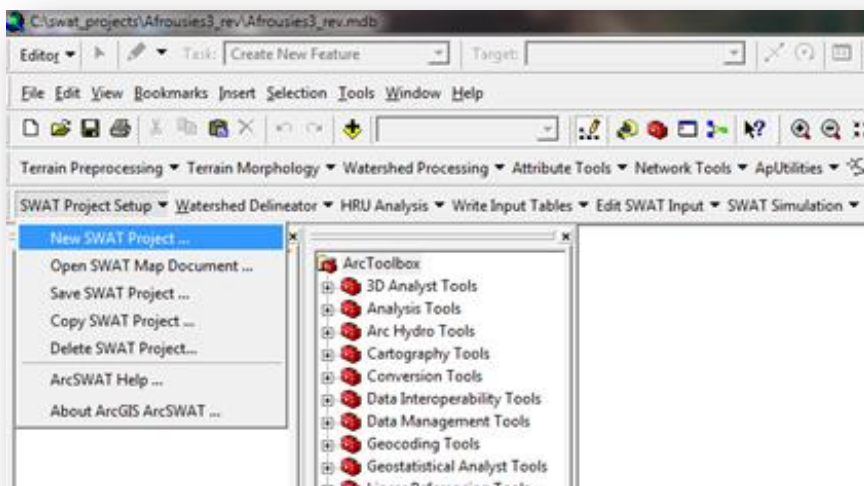
Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο V

Ανάπτυξη του υδρολογικού μοντέλου

5.1 Γενικά

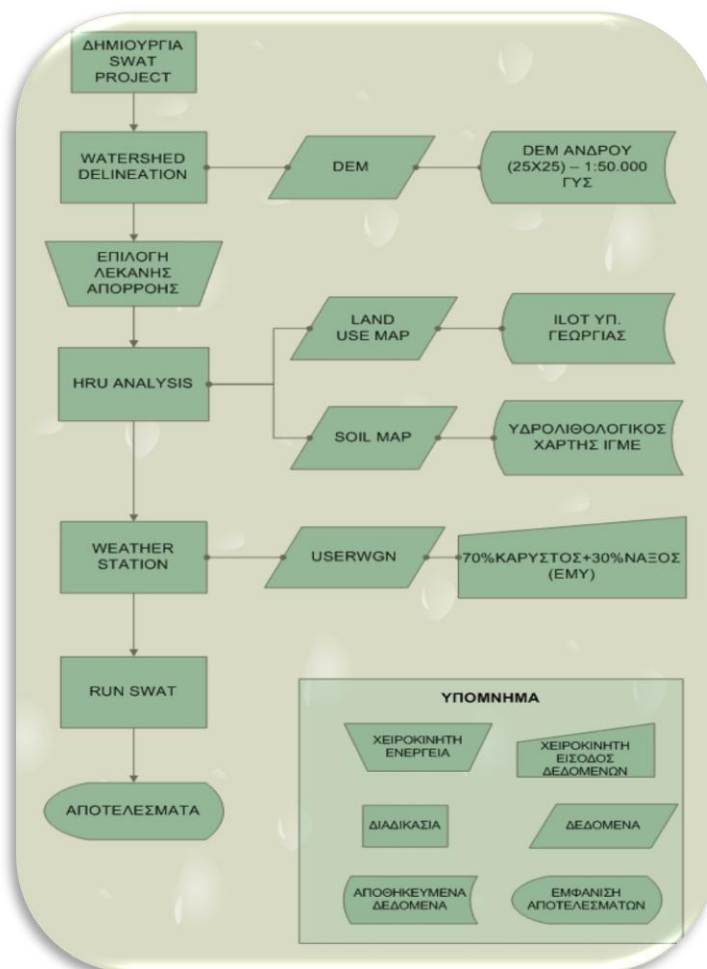
Η προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου με το SWAT (Zheng et al. 2010), αφενός προϋποθέτει ένα μεγάλο πλήθος μετεωρολογικών και χωρικών δεδομένων, αφετέρου η εκτέλεσή του (τρέξιμο) είναι αρκετά εύκολη, καθότι έχουν ξεπεραστεί πολλά από τα προβλήματα του παρελθόντος -σε σχέση με παλαιότερες εκδόσεις- και φυσικά αποτελεί ευκολία το γεγονός πως τα διαδοχικά βήματα του μοντέλου εκτελούνται σειριακά (σειριακή εκτέλεση των υπομενού του προγράμματος). Αυτό σημαίνει πως το πρόγραμμα δεν επιτρέπει στον χρήστη να προχωρήσει στο επόμενο βήμα, χωρίς να έχει τελειώσει το προηγούμενο.

Επίσης, η έκδοση SWAT 2009, η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, έχει τη δυνατότητα να τρέξει σαν επέκταση στο λογισμικό ArcGIS. Αυτό διευκολύνει ιδιαίτερα το χρήστη προκειμένου να έχει άμεση εποπτεία των ενεργειών του με άμεση απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε ένα γνώριμο και εύκολο περιβάλλον, όπως αυτό του ArcGIS (Jacobs et al. 2007).



Εικόνα 23 Το βασικό μενού του SWAT.

Το σχήμα που ακολουθεί απεικονίζει το διάγραμμα ροής της εκτέλεσης των εργασιών-ρουτίνων του μοντέλου.



Σχήμα 11 Διάγραμμα ροής.

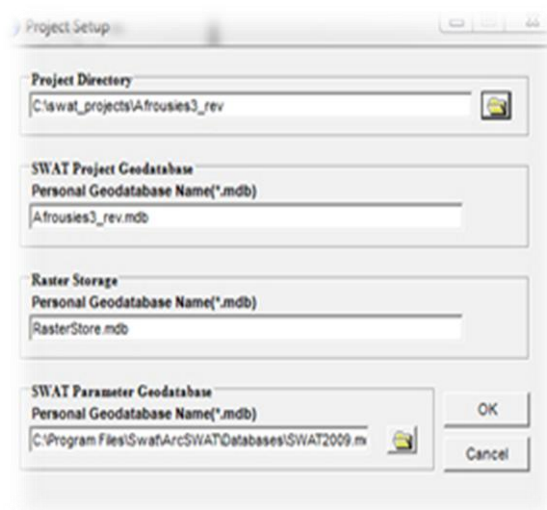
Όπως διακρίνεται, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- + Δημιουργία του project.
- + Υδρολογική ανάλυση με βάση το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της Άνδρου που έχει προέρθει από ψηφιοποίηση των χαρτών Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000. Το παραγόμενο DEM έχει ανάλυση ψηφίδας (pixel) 25X25m.
- + Επιλογή της λεκάνης απορροής (λεκάνη Αφρουσών).
- + Δημιουργία Μονάδων Υδρολογικής Απόκρισης MYA/HRU με βάση το χάρτη ILOTING²⁹ του Υπουργείου Γεωργίας όσον αφορά στην κάλυψη γης και του υδρολιθολογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (κλίμακας 1:50.000) όσον αφορά στον εδαφολογικό χάρτη.
- + Εισαγωγή του συνθετικού τεχνητού μετεωρολογικού σταθμού, όπου τα δεδομένα έχουν εξαχθεί με μεθόδους στατιστικής υδρολογίας, με βάση τα δεδομένα της Καρύστου και της Νάξου (Ε.Μ.Υ.) όσον αφορά στα βροχομετρικά δεδομένα, της Καρύστου και της Σύρου (Ε.Μ.Υ.) όσον αφορά στα δεδομένα θερμοκρασίας, της Σύρου (Ε.Μ.Υ.) όσον αφορά στα ανεμολογικά στοιχεία και ενός σταθμού από τη βάση του SWAT, με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος με τη λεκάνη των Αφρουσών, όσον αφορά στα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας.
- + Εκτέλεση του μοντέλου.
- + Εμφάνιση αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα παραπάνω βήματα και αναλύονται περισσότερο οι διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την εκτέλεση του μοντέλου, όπως επίσης, γίνεται εκτενέστερη περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του ζητούμενων αποτελεσμάτων.

Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε, δημιουργείται το project και κατόπιν εισάγονται τα απαιτούμενα δεδομένα.

²⁹ Η κάθε πινακίδα του Ploting δημιουργήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΟΚΧΕ και το πρότυπο της Γ.Υ.Σ., στη διανομή ΕΓΣΑ 1987, και κλίμακα 1:5.000.

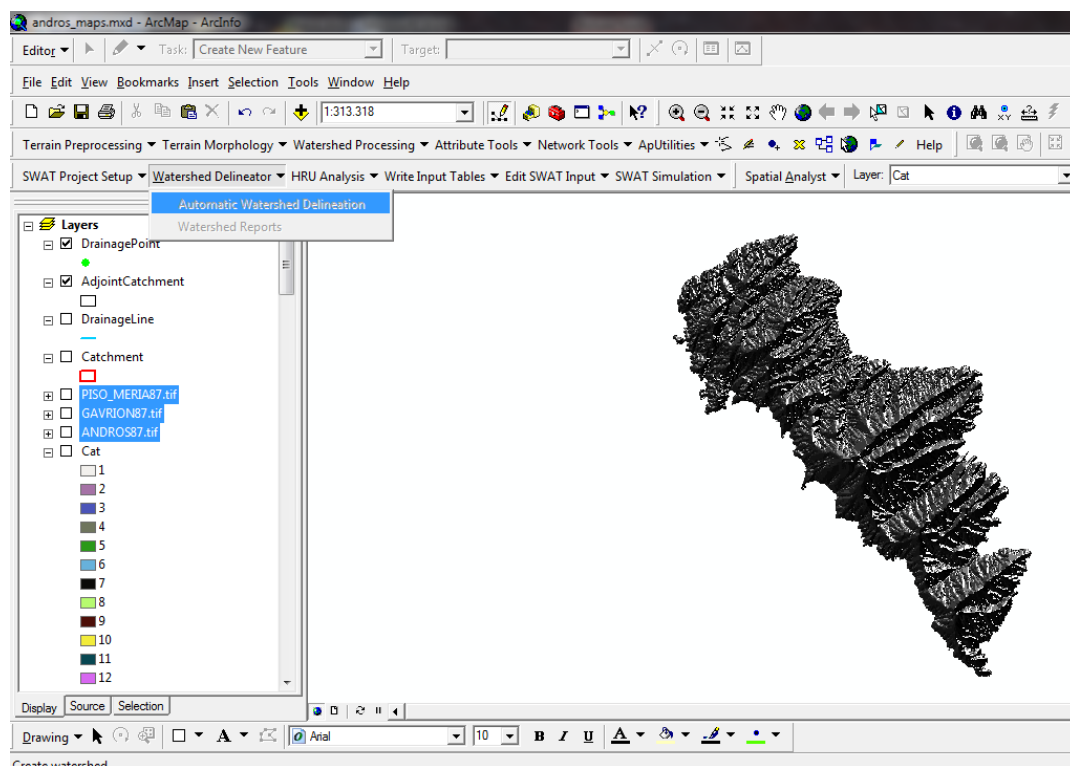


Εικόνα 24 Δημιουργία Project.

5.2 Δεδομένα εισόδου

5.2.1 Τρισδιάστατο Μοντέλο Εδάφους (DEM)

Εφόσον δημιουργηθεί το project, μέσα στο οποίο θα γίνει η επεξεργασία των δεδομένων, γίνεται η εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους (DEM).

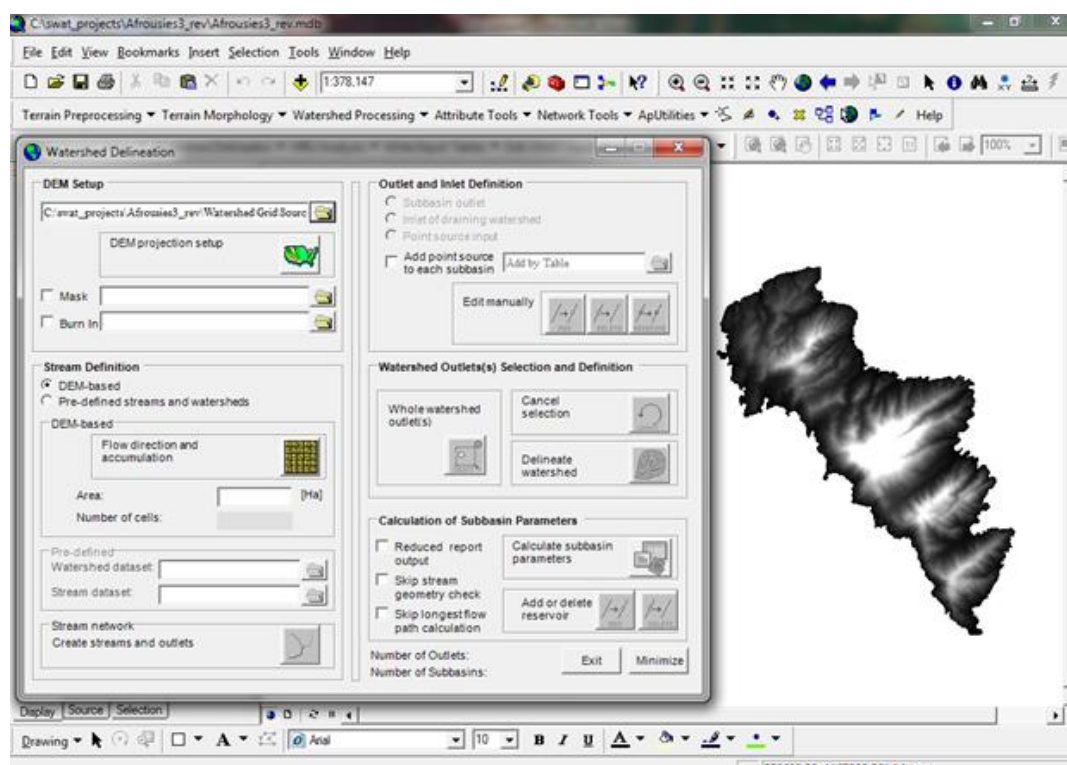


Εικόνα 25 Εισαγωγή DEM.

Για την εισαγωγή του DEM δίνεται η δυνατότητα να αντληθούν τα δεδομένα από τον σκληρό δίσκο ή μέσα από τα δεδομένα που ήδη υπάρχουν στο περιβάλλον του ArcGIS.

Το DEM που χρησιμοποιείται είναι το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης των ισοϋψών καμπυλών (καμπύλες ανά 20m και βοηθητικές καμπύλες ανά 10m), των υψομετρικών σημείων, των τριγωνομετρικών και του υδρογραφικού δικτύου των τριών φύλλων χάρτου (Φύλλο Άνδρου, Γαυρίου και Πίσω Μεριά) της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:50.000³⁰.

Η συγκεκριμένη ανάλυση του DEM που χρησιμοποιείται καλύπτει τις ανάγκες της εργασίας, αφού τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους της ανάλυσης αυτής δίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (Chaplot 2005).



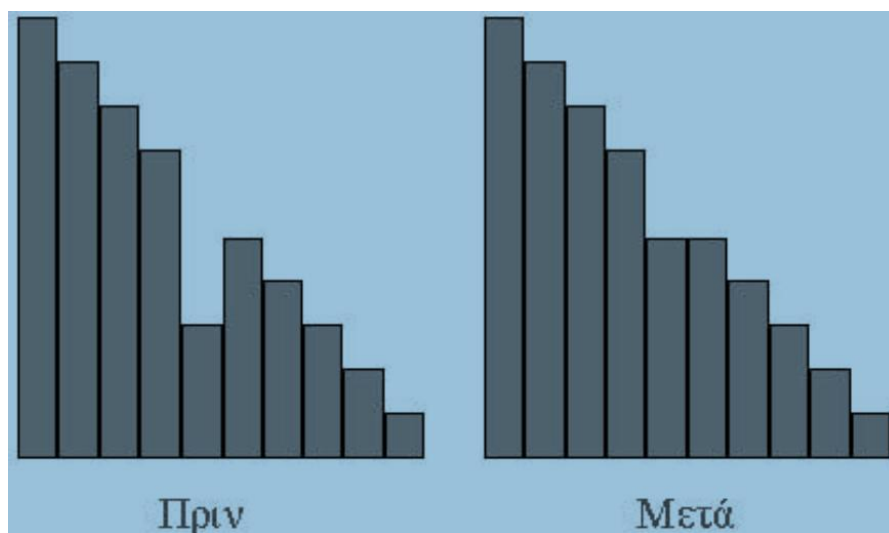
Εικόνα 26 Εισαγωγή και επεξεργασία DEM.

Μετά την εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους της Ν. Άνδρου (25X25 pixel) πραγματοποιείται μια σημαντική διαδικασία, που πρέπει να προηγηθεί προκειμένου να διορθωθούν κάποιες λεπτομέρειες-αστοχίες του DEM και η οποία

³⁰ Η κατασκευή του DEM έγινε με την εντολή TOPOGRID του ArcGIS.

είναι μια προ-επεξεργασία του εδάφους. Σε αυτήν υπάγεται και η διαδικασία πλήρωσης του DEM (Εικόνα 27), των ψευδών τοπικών ταπεινώσεων ή υπέρμετρων ανυψώσεων.

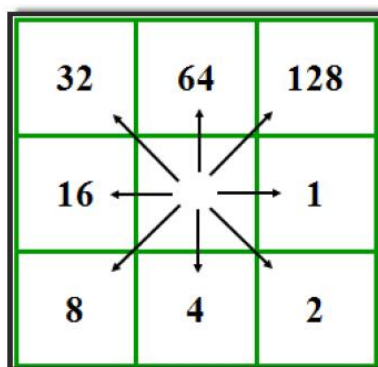
Πραγματοποιείται έτσι το «γέμισμα» των βυθισμάτων -filling sinks- (Schäuble et al. 2008), λόγω προβλημάτων του DEM. Με αυτό τον τρόπο επιλύονται προβλήματα παγίδευσης του νερού σε αυτά τα βυθίσματα.



Εικόνα 27 Πλήρωση του DEM.

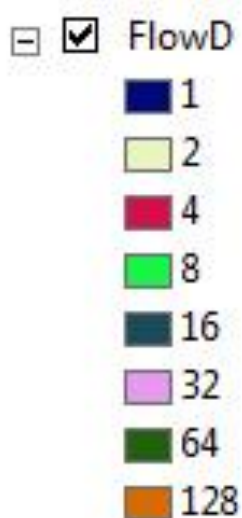
Κατόπιν, ακολουθεί η υδρολογική ανάλυσή του μέσα από τις διαδικασίες της κατεύθυνσης ροής (FLOWDIRECTION) και της συσσωρευτικής ροής (FLOWACCUMULATION).

Συγκεκριμένα, για την κατεύθυνση ροής, για κάθε ψηφίδα (pixel) του DEM αναζητούνται οι 8 ψηφίδες που την περιβάλλουν και, με βάση το υψόμετρο που έχουν και την απόσταση μεταξύ τους, υπολογίζεται η ροή. Είναι προφανές πως το νερό θα ρέει από τις ανάντη περιοχές προς τις κατάντη. Από τα σημεία δηλαδή μεγαλύτερου υψομέτρου προς τα σημεία με μικρότερο υψόμετρο. Επειδή ακριβώς ο έλεγχος γίνεται με τις ψηφίδες που γειτνιάζουν με την κάθε υπό μελέτη ψηφίδα, οι διευθύνσεις ροής που εξάγονται από το μοντέλο είναι Ανατολικά, Νοτιοανατολικά, Νότια, Νοτιοδυτικά, Δυτικά, Βορειοδυτικά, Βόρεια και Βορειοανατολικά.



Εικόνα 28 Κατεύθυνση ροής.

Συνεπώς, η κωδικοποίηση που δίνει το ArcGIS για τις παραπάνω διευθύνσεις, αντίστοιχα, είναι οι αριθμοί 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 και 128.

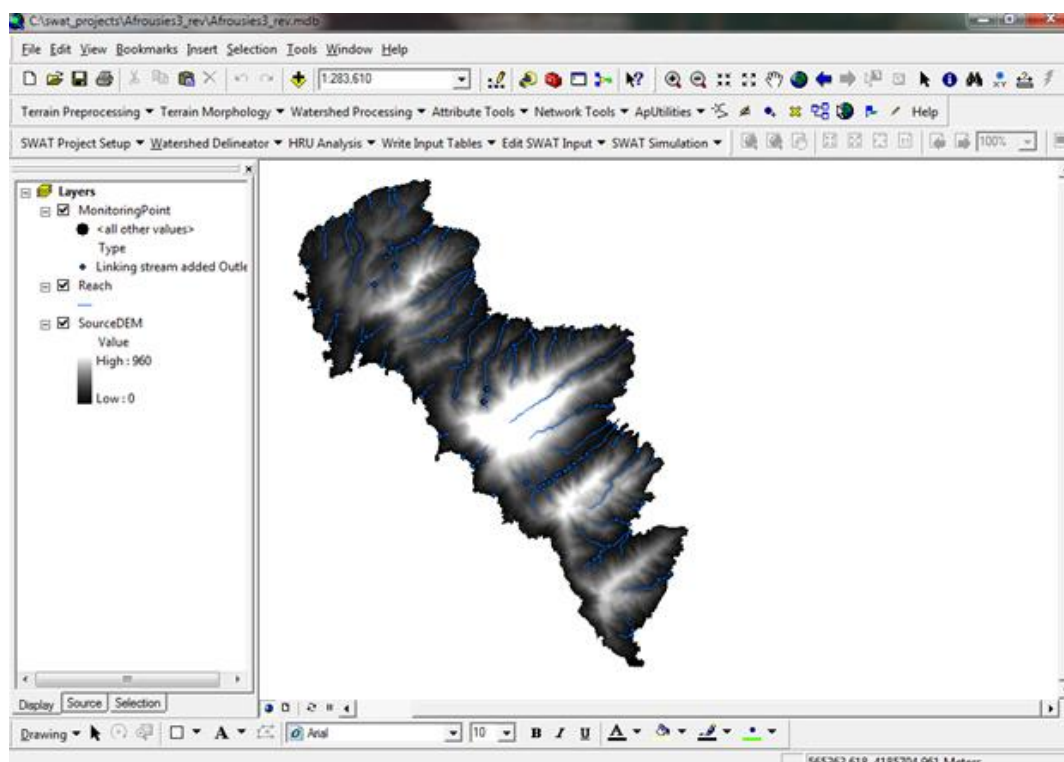


Εικόνα 29 Κωδικοποίηση κατεύθυνσης ροής.

Έχοντας υπολογίσει την κατεύθυνση ροής του νερού σε κάθε pixel, είναι δυνατόν να υπολογιστεί για καθένα από αυτά το πλήθος των pixel που οδηγούν (από ανάντη) το νερό προς αυτό το pixel που εξετάζεται. Η δημιουργία δηλαδή ενός επιπέδου, όπου η πληροφορία του κάθε pixel αναπαριστά τη συγκέντρωση της ροής του νερού. Οι τιμές που αναμένονται κοντά στους υδροκρίτες είναι κοντά στο μηδέν, ενώ οι τιμές που αναμένονται κατάντη στις κοίτες απορροής είναι συνεχώς μεγαλύτερες.

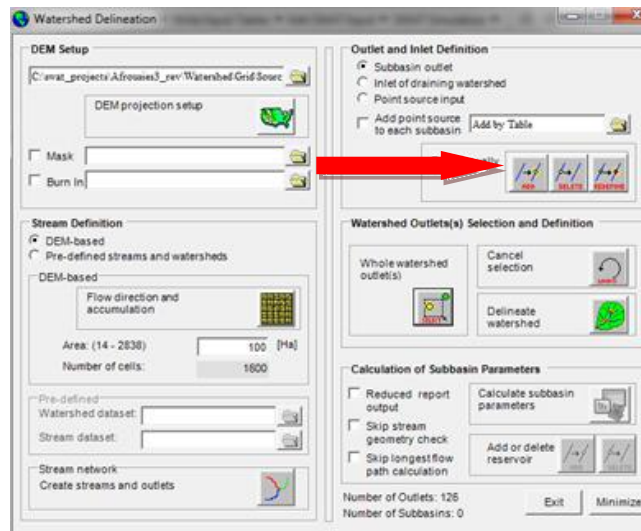
Στη συνέχεια τίθεται ως κατώφλι στην περιοχή Area του μενού του SWAT, τα 100Ha που αντιστοιχούν με λεκάνη απορροής 1Km². Οι λεκάνες που θα δημιουργηθούν με αυτό τον τρόπο θα είναι μεγαλύτερες του 1Km².

Κατόπιν γίνεται η δημιουργία των ρεμάτων και των εξόδων κάθε λεκάνης απορροής (streams and outlets) στο μενού (στην αριστερή στήλη) του SWAT (Εικόνα 26).



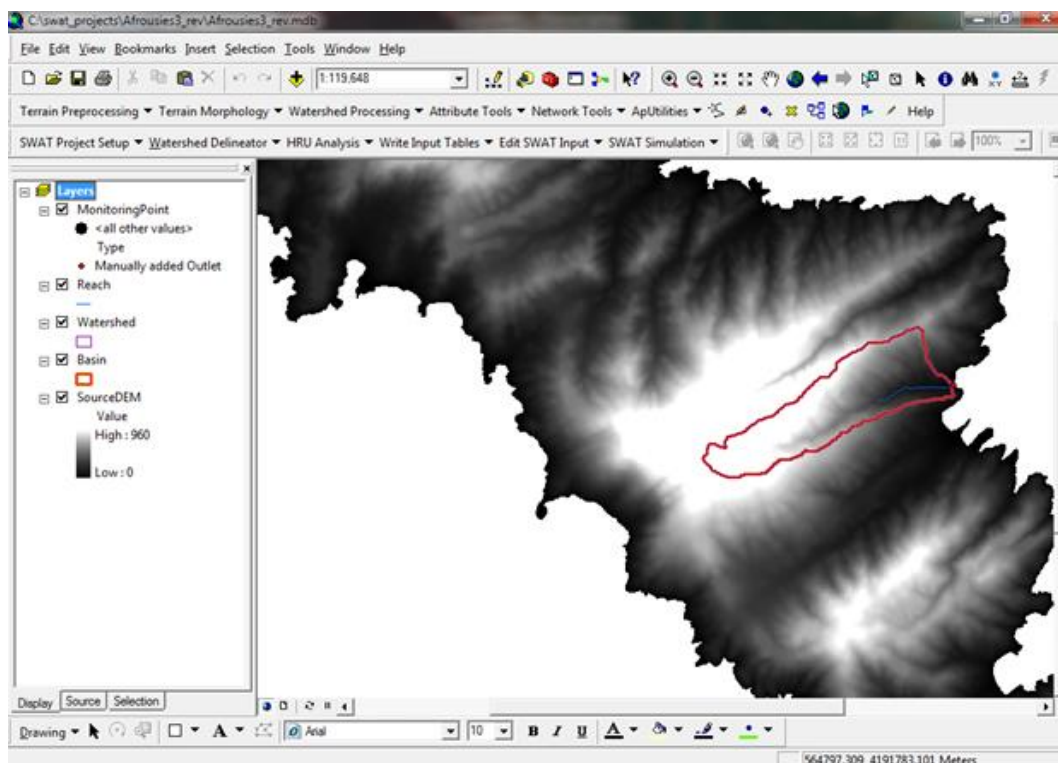
Εικόνα 30 Δημιουργία ρεμάτων και εξόδων λεκανών απορροής.

Η διαδικασία συνεχίζεται με την επιλογή συγκεκριμένων εξόδων λεκανών απορροής. Σε αυτό το σημείο επιλέγεται η λεκάνη των Αφρουσών, για την οποία θα γίνει η διερεύνηση της πιθανής δημιουργίας ταμιευτήρων.

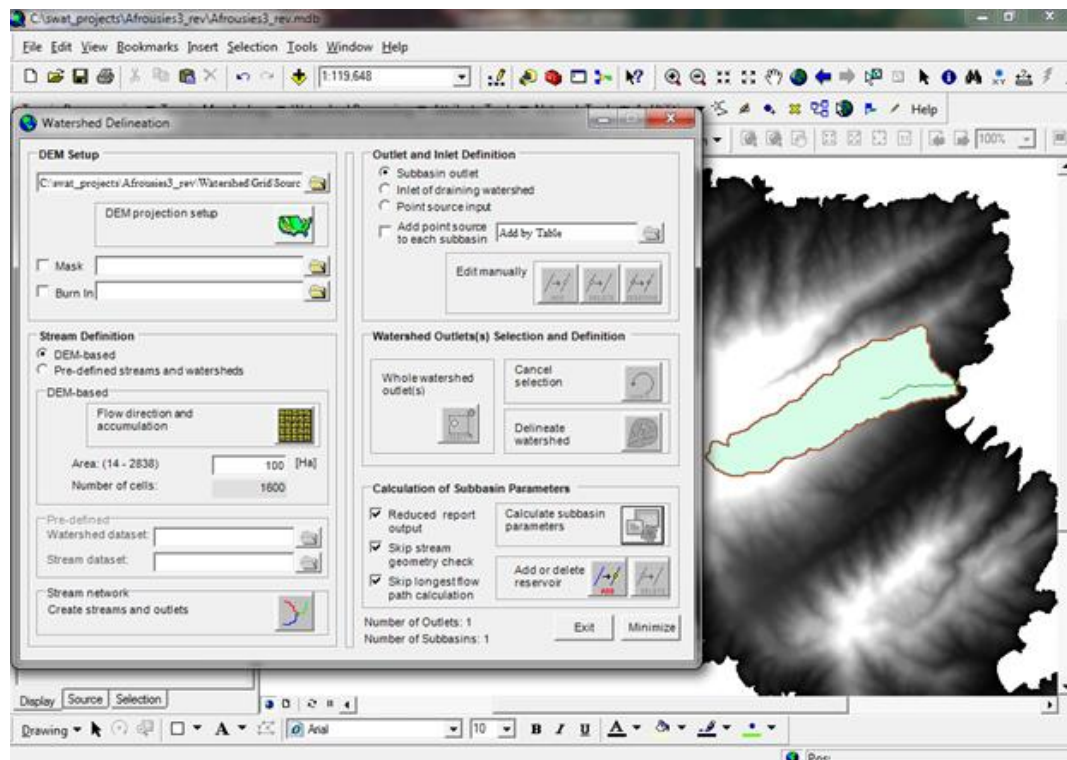


Εικόνα 31 Επιλογή εξόδου.

Επιλέγοντας τη λεκάνη των Αφρουσών, το SWAT την υπολογίζει και την περιγράφει.



Εικόνα 32 Η λεκάνη των Αφρουσών.



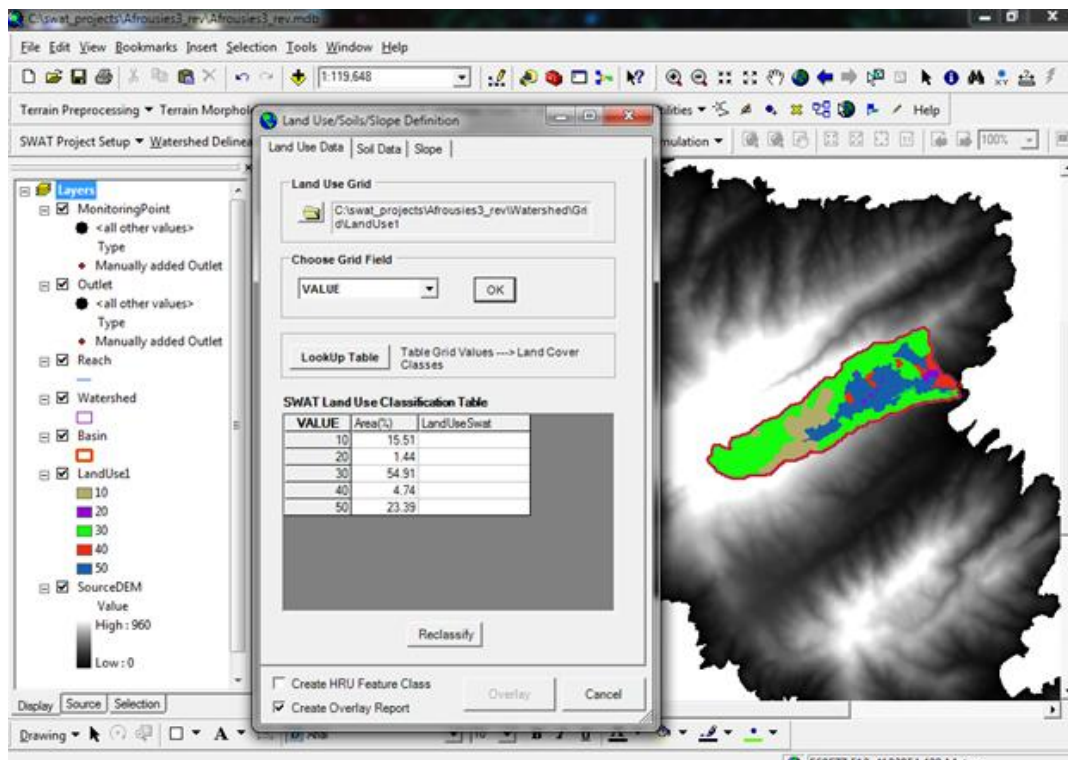
Εικόνα 33 Περιγραφή της λεκάνης των Αφρουσών.

Η παραπάνω διαδικασία είναι απαραίτητο να γίνει δύο φορές, μια για κάθε επιλεγμένη θέση φράγματος και να εκτελεστεί το μοντέλο για κάθε μία από αυτές. Για λόγους οικονομίας θα γίνει αναφορά με screenshots μόνο για την λεκάνη απορροής των Αφρουσών και όχι για κάθε θέση ξεχωριστά.

5.2.2 Χάρτης Κάλυψης Γης (land cover)

Το επόμενο υπομενού κατά τη σειριακή εκτέλεση του προγράμματος είναι το HRU Analysis, στο οποίο εισάγονται ο χάρτης κάλυψης γης, ο εδαφολογικός χάρτης και υπολογίζονται οι κλίσεις μέσα στη λεκάνη.

Για το χάρτη κάλυψης γης χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης κάλυψης από το πρόγραμμα ILOTING του Υπουργείου Γεωργίας.



Εικόνα 34 Χάρτης κάλυψης γης & αντιστοιχία δεδομένων.

Η αντιστοιχία των χρήσεων γης του ILOTING με τις χρήσεις γης από τη βάση του SWAT παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ (ILOT)	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ (SWAT)
10	Δασικές εκτάσεις	FRST
20	Αστική περιοχή	URLD
30	Λειβάδια - Βοσκοτόπια	PAST
40	Αρόσιμες καλλιέργειες	AGRR
50	Μόνιμες καλλιέργειες	AGRL

Πίνακας 6 Αντιστοιχία κατηγοριών ILOT & SWAT.

Στον παραπάνω πίνακα η κωδικοποίηση του SWAT έχει ως εξής:

- FRST (Forest Mixed) – Μεικτές δασικές εκτάσεις.
- URLD (Urban Residential Low Density) – Οικισμοί μικρής οικιστικής πυκνότητας.
- PAST (Pasture) – Λειβάδια

-  AGRR (Agricultural Land-Row crops) – Εποχικές καλλιέργειες.
-  AGRL (Agricultural Land Generic) – Καλλιέργειες.

5.2.3 Εδαφολογικός χάρτης (soil map)

Στην Ελλάδα, ως γνωστόν, δεν έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα για τη δημιουργία εδαφολογικών χαρτών. Για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια διασύνδεσης των υδρολογικών χαρακτηριστικών των διαθέσιμων γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε. με τη βάση του SWAT. Η διασύνδεση αυτή πραγματοποιήθηκε κάνοντας χρήση της υδροπερατότητας των πετρωμάτων από τους χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. με την αντίστοιχη υδροπερατότητα των εδαφών στη βάση του μοντέλου.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως η συγκεκριμένη παραδοχή έγινε προκειμένου να εφαρμοστεί το μοντέλο στα ελληνικά δεδομένα.

Ακολουθεί ο πίνακας με τα υδρολογικά/υδραυλικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων της Ν. Άνδρου από τους χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Αδρόκοκκοι ασβεστιτικοί ψαμμίτες, ασβεστοαρενίτες, ψαμμίτες	4	D	METPIA-YΨHΛH
Αλλούβια, προσχώσεις	3	C	XAMHΛH-METPIA
Γρανίτες, γρανοδιορίτες, εκρηξιγενή πετρώματα	1	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
Μάρμαρα με παρεμβολές ή εναλλαγές μαρμαρυγιακών σχιστολίθων κερατολίθων. Πυριτιωμένα μάρμαρα	3	C	XAMHΛH-METPIA
Μάρμαρα, ασβεστόλιθοι, δολομίτες	4	D	METPIA-YΨHΛH
Οφιόλιθοι, σερπεντινίτες, περιδοίτες γάβροι, διαβάσες κλπ.	1	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
Πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, αδρομερείς χειμαρρώδεις αποθέσεις, θαλάσσιες αναβαθμίδες	4	D	METPIA-YΨHΛH
Σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες, χαλαζίτες	1	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
Φλεβικά πετρώματα (φλέβες, πηγματίτες κλπ.)	1	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ

Πίνακας 7 Υδρολογικά/υδραυλικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων Ν. Άνδρου.

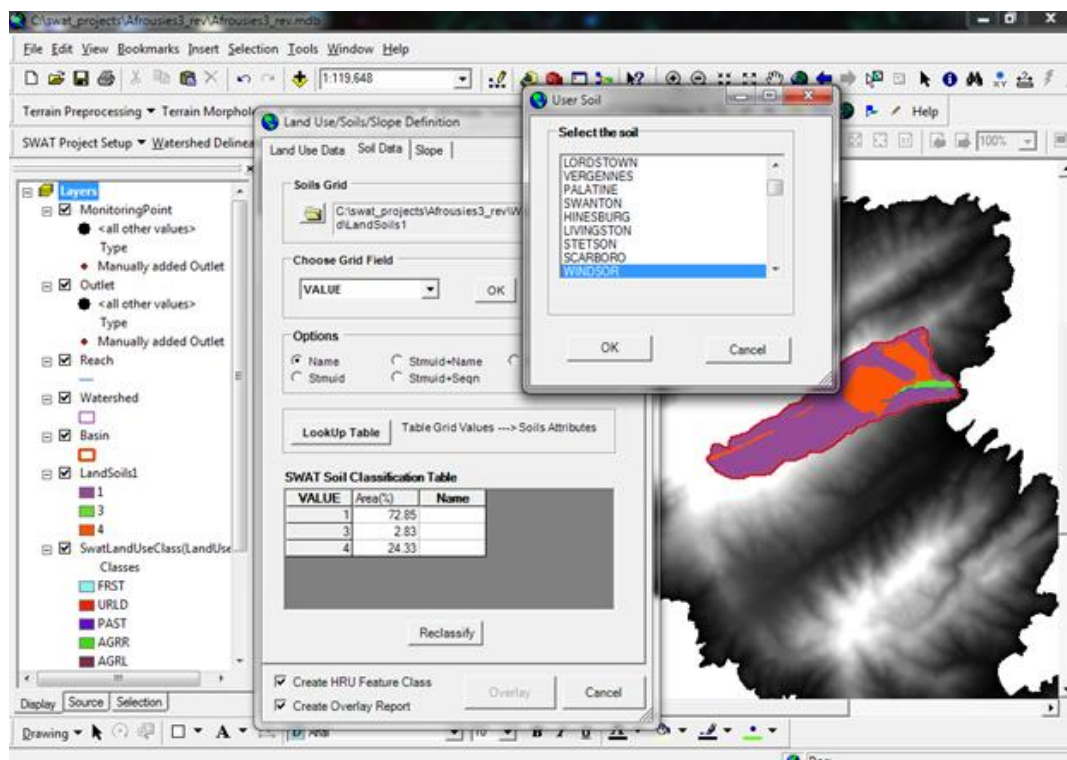
Η αντιστοιχία που πραγματοποιήθηκε με βάση την υδροπερατότητα παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
A	WINDSOR
C	VERGENNES
D	COVINGTON

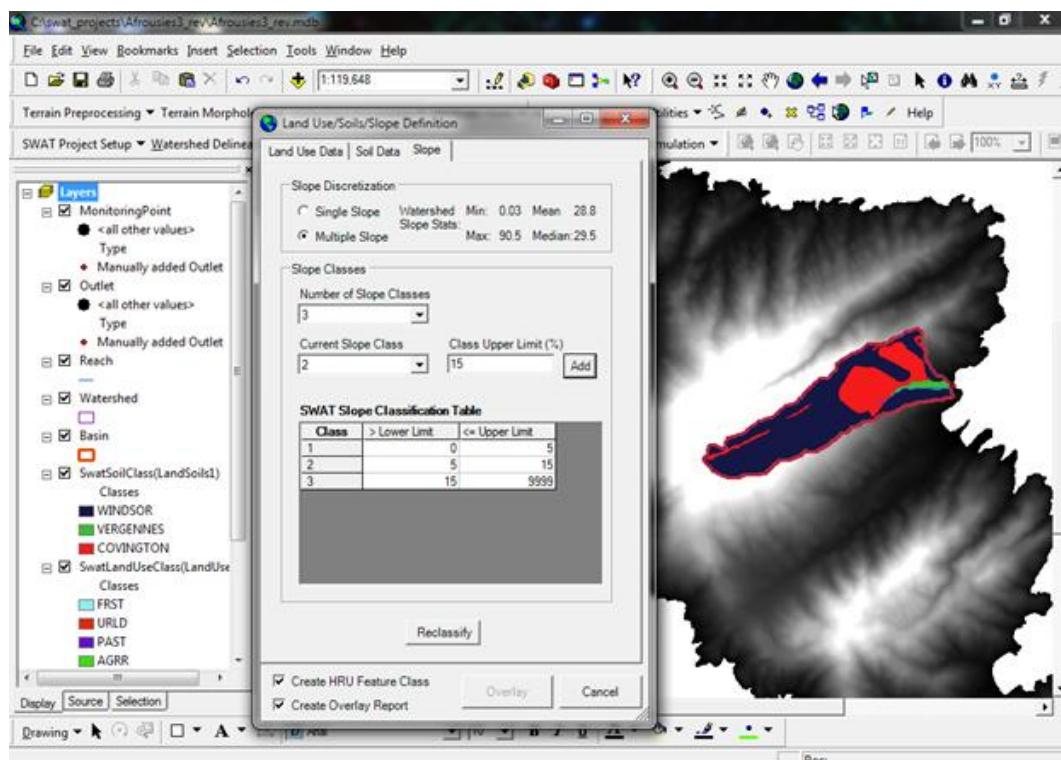
Πίνακας 8 Αντιστοιχία υδροπερατότητας και τύπου εδάφους του SWAT.

Στη συνέχεια επιλέγεται ο υδρολιθολογικός χάρτης (Ι.Γ.Μ.Ε.) της Ν. Άνδρου και με βάση αυτόν το χάρτη γίνεται η αντιστοίχιση που αναφέρθηκε νωρίτερα.

Ο επιλεγμένος χάρτης έχει ανάλυση ψηφίδας 25X25m. Η ανάλυσή του είναι ένα κρίσιμο μέγεθος για την προσομοίωση του SWAT, καθώς όσο πιο ακριβής είναι τόσο καλύτερα είναι τα αποτελέσματα που παρέχει το μοντέλο (Geza and McCray 2008). Η συγκεκριμένη ανάλυση του υδρολιθολογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. κρίνεται ικανοποιητική όσον αφορά στα αποτελέσματα του SWAT (Chaplot 2005).



Εικόνα 35 Αντιστοιχία υδρολιθολογικού χάρτη με τύπο εδάφους από τη βάση του SWAT.



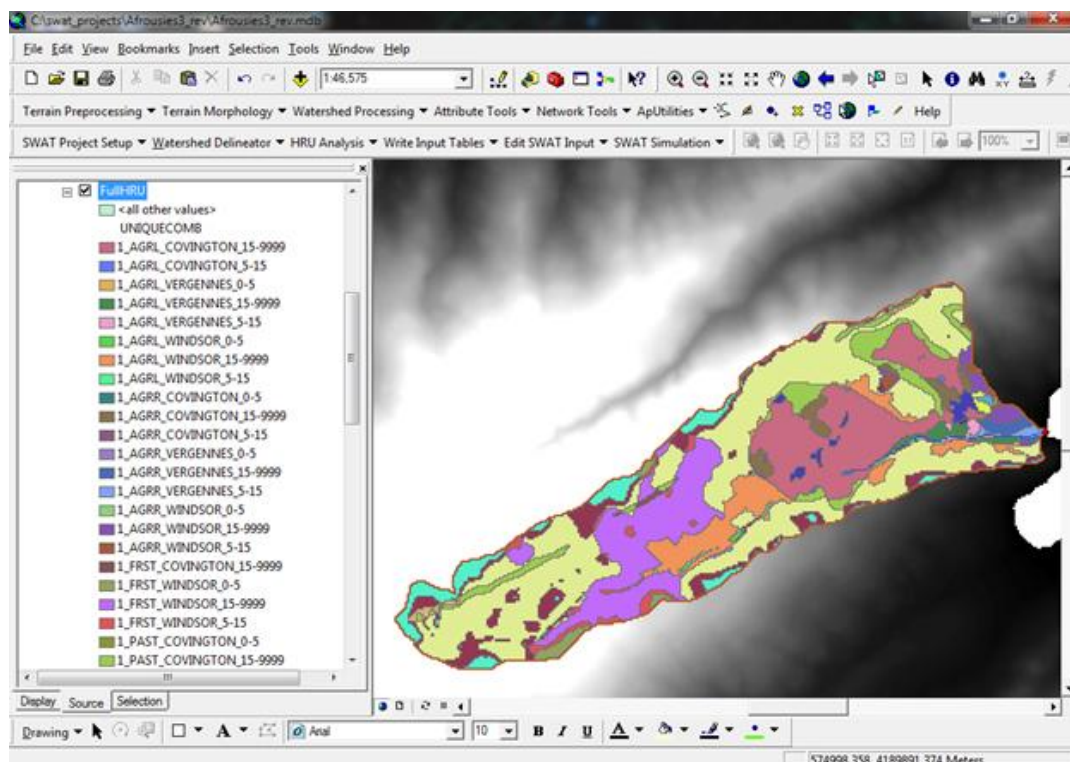
Εικόνα 36 Δημιουργία επιπέδου κλίσεων.

Το τελευταίο στάδιο, ώστε να δημιουργηθούν οι Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης, είναι η δημιουργία ενός επιπέδου κλίσεων από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και η κατηγοριοποίησή του σε τρεις κατηγορίες.

ΚΛΑΣΗ	% ΚΛΙΣΗ
1	0-5
2	5-15
3	15-9999

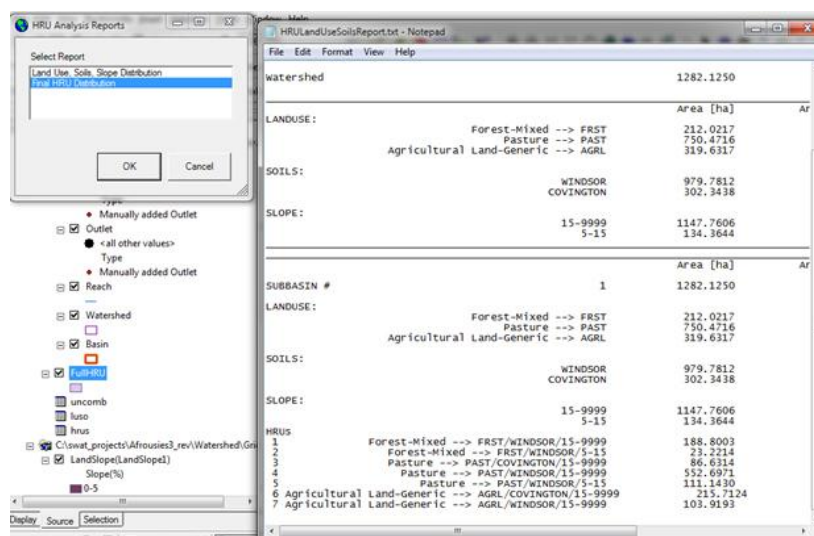
Πίνακας 9 Κατηγορίες κλίσεων.

Με την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών δημιουργούνται οι Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης και ολοκληρώνεται και η εισαγωγή των χωρικών δεδομένων.



Εικόνα 37 Δημιουργία ΜΥΑ.

Το SWAT δίνει ένα report σχετικά με τις ΜΥΑ που δημιουργήθηκαν, ώστε ο χρήστης να μπορεί να ελέγξει τι έχει δημιουργηθεί σε κάθε Μονάδα Υδρολογικής Απόκρισης, ποια είναι η επιφάνεια της κάθε ΜΥΑ και από τι αποτελείται (κάλυψη γης, έδαφος, κλίση).



Εικόνα 38 Αναφορά (report) του SWAT για τις ΜΥΑ.

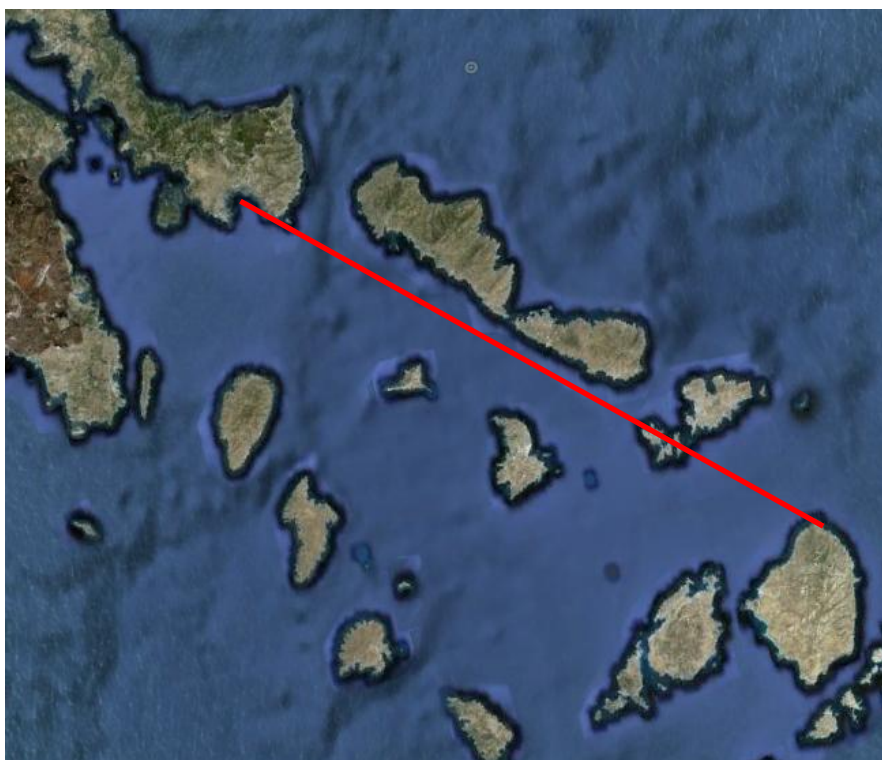
5.2.4 Μετεωρολογικά δεδομένα

5.2.4.1 Βροχομετρικά δεδομένα

Έχει ήδη αναφερθεί πως ο χρήστης του SWAT έχει τη δυνατότητα να εισάγει ιστορικά δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας ή να δημιουργήσει έναν στατιστικό μετεωρολογικό σταθμό ελλείψει των προηγούμενων δεδομένων.

Για τη Ν. Άνδρο, οι μόνες διαθέσιμες πρωτογενείς πληροφορίες είναι αυτές της Δ.Ε.Η. για την περίοδο 1986-1993 (βροχομετρικά δεδομένα) και 1986-1989 (υδρομετρικά δεδομένα). Κατά την εξέταση αυτών των στοιχείων, διαπιστώθηκαν σημαντικά λάθη κυρίως στα βροχομετρικά δεδομένα, που οφείλονται στην εσφαλμένη επιτόπια καταγραφή του ύψους βροχής, καθιστώντας τα σε μικρό βαθμό και υπό όρους μόνον αξιοποιήσιμα. Τα λάθη καταγραφής που αφορούν στις βροχομετρικές μετρήσεις δεν επιτρέπουν πλήρη αξιοποίηση των -λίγων έστω- υδρομετρικών στοιχείων που καταγράφονταν την ίδια περίοδο, καθώς, σε πρώτο χρόνο, δεν μπορούν να υπάρξουν αξιόπιστες συσχετίσεις των μετρήσεων στάθμης-παροχής ρεμάτων με τα βροχομετρικά μεγέθη των λεκανών απορροής της Άνδρου. Δεν επιτρέπουν συνεπώς, σε δεύτερο χρόνο, τη δημιουργία σειράς υδρογραφημάτων που θα αναπαριστούν ικανοποιητικά το φαινόμενο της απορροής.

Για το λόγο αυτό, για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας προτιμήθηκε η δημιουργία ενός συνθετικού στατιστικού μετεωρολογικού σταθμού. Τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού αυτού προέρχονται από τη μελέτη: «Μελέτη Μικρών λιμνοδεξαμενών στα νησιά Β. Κυκλάδων» του Υπουργείου Γεωργίας, στην οποία γίνεται συσχέτιση των βροχομετρικών δεδομένων κατά μήκος του άξονα Καρύστου-Νάξου και η Άνδρος αντιμετωπίζεται σαν κομμάτι αυτού του άξονα, προκειμένου να της αποδοθεί υδρολογική πληροφορία.



Εικόνα 39 Συσχέτιση βροχών στον άξονα Καρύστου-Νάξου.

Στην παραπάνω μελέτη αναφέρεται πως με βάση τις συσχετίσεις των βροχομετρικών δεδομένων της Ε.Μ.Υ., οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις για την Ν. Άνδρο προσδιορίζονται από τη σχέση:

$$P_{ΑΝΔΡΟΥ} = 0,70 * P_{ΚΑΡΥΣΤΟΣ} + 0,30 * P_{ΝΑΞΟΣ} \quad (4)$$

Με βάση την παραπάνω σχέση και με την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων της ΕΜΥ από τους σταθμούς Καρύστου και Νάξου, υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις για την Άνδρο και εισάγονται στη βάση του SWAT (βάση SWAT2009.mdb, πίνακας userwgn).

Οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις για την Ν. Άνδρο παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	51.1
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	74.0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	114.5
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	103.4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	88.8
ΜΑΡΤΙΟΣ	73.2
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	29.4
ΜΑΙΟΣ	14.5
ΙΟΥΝΙΟΣ	6.0
ΙΟΥΛΙΟΣ	2.2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2.8
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	9.5
ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ	569.4

Πίνακας 10 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις Ν. Άνδρου.

Επίσης, αξιοποιήθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα γνωστού Ανδριώτη μελισσοκόμου/ερασιτέχνη υδρολόγου³¹, ο οποίος κατά το χρονικό διάστημα 1981-2001 κατέγραφε καθημερινά τη βροχόπτωση στην Ν. Άνδρο με αυτοσχέδιο βροχόμετρο.

5.2.4.2 Δεδομένα θερμοκρασίας

Όσον αφορά στα δεδομένα θερμοκρασίας, στην ίδια μελέτη, με βάση τις συσχετίσεις των δεδομένων θερμοκρασίας της Ε.Μ.Υ., για τα νησιά όπου υπήρχαν σταθμοί κατά το παρελθόν, προκύπτει η παρακάτω σχέση προσδιορισμού των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών:

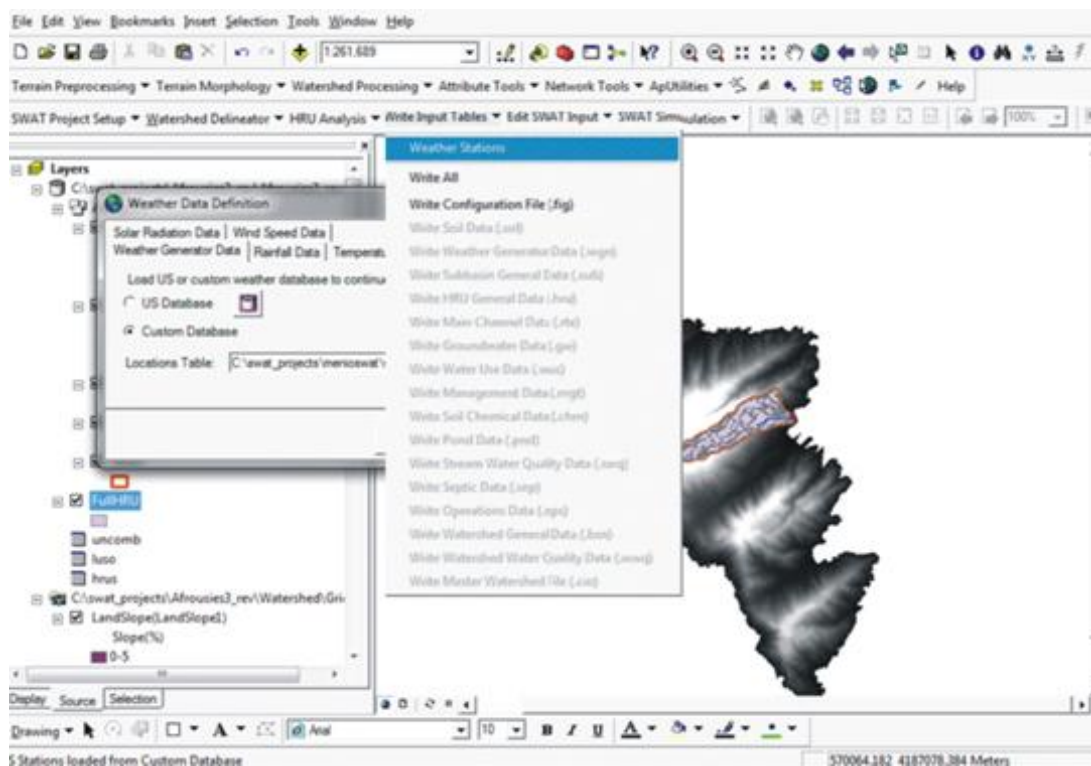
$$T_{ΑΝΔΡΟΥ} = 0,50 * T_{ΣΥΡΟΣ} + 0,50 * T_{ΚΑΡΥΣΤΟΣ} \quad (5)$$

Ομοίως, οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την Ν. Άνδρο παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

³¹ Χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια δεδομένα προκειμένου να υπολογιστούν οι βροχερές μέρες ανά μήνα.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19.5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15.4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12.7
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11.4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	11.3
ΜΑΡΤΙΟΣ	12.8
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16.0
ΜΑΙΟΣ	20.2
ΙΟΥΝΙΟΣ	24.6
ΙΟΥΛΙΟΣ	26.9
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26.4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24.0
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	18.4

Πίνακας 11 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες Ν. Άνδρου.



Εικόνα 40 Εισαγωγή του συνθετικού μετεωρολογικού σταθμού.

5.2.4.3 Ηλιακή ακτινοβολία

Για την ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού από τη βάση του SWAT (SWAT2009.mdb) με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος με τη λεκάνη απορροής των Αφρουσών.

ΜΗΝΑΣ	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	9.42
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12.27
ΜΑΡΤΙΟΣ	16.41
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	19.40
ΜΑΙΟΣ	22.95
ΙΟΥΝΙΟΣ	25.01
ΙΟΥΛΙΟΣ	24.50
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	23.12
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	19.22
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	15.54
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	11.40
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	9.05

Πίνακας 12 Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία (μέρες στον μήνα).

5.2.4.4 Ταχύτητα ανέμου

Για τα δεδομένα της ταχύτητας ανέμου χρησιμοποιήθηκαν τα κοντινότερα διαθέσιμα δεδομένα, αυτά του σταθμού της Σύρου.

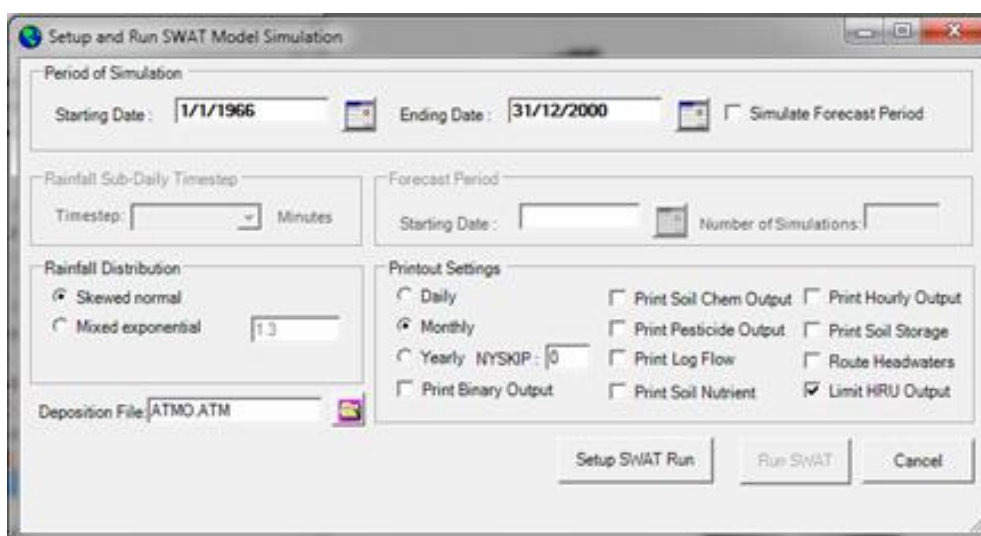
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	5.5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	5.6
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	6.2
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	7.0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	6.9
ΜΑΡΤΙΟΣ	6.9
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	5.4
ΜΑΙΟΣ	4.6
ΙΟΥΝΙΟΣ	4.0
ΙΟΥΛΙΟΣ	3.8
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6.0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	6.0

Πίνακας 13 Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (m/s)³².

³² Υπουργείο Γεωργίας, *Οριστική μελέτη Φράγμα στη θέση ΑΤΕΝΙ Άνδρου*, Τεχνική Έκθεση, 1993.

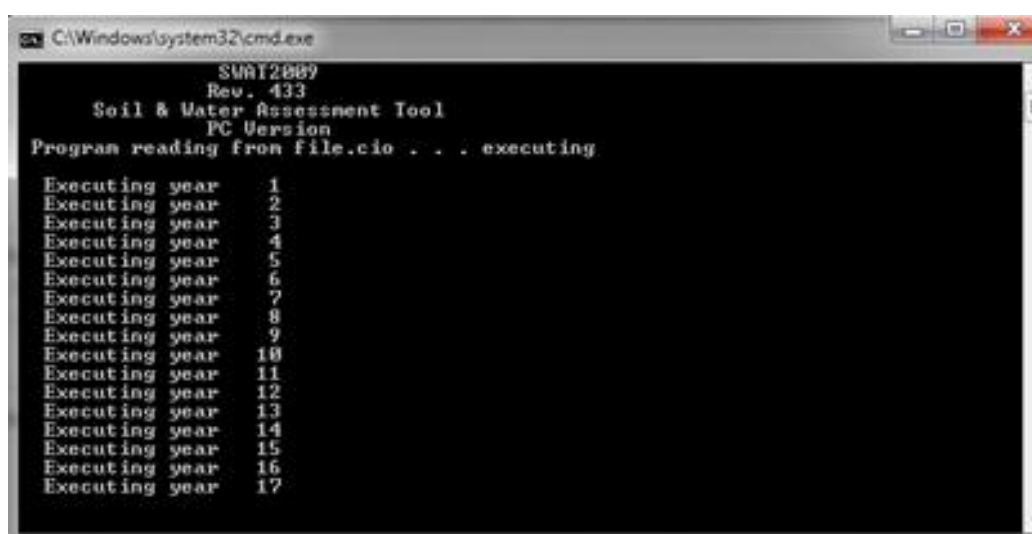
5.3 Εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου

Με το πέρας της εισαγωγής των μετεωρολογικών δεδομένων, ακολουθεί η εκτέλεση των διαφόρων σεναρίων προσομοίωσης.



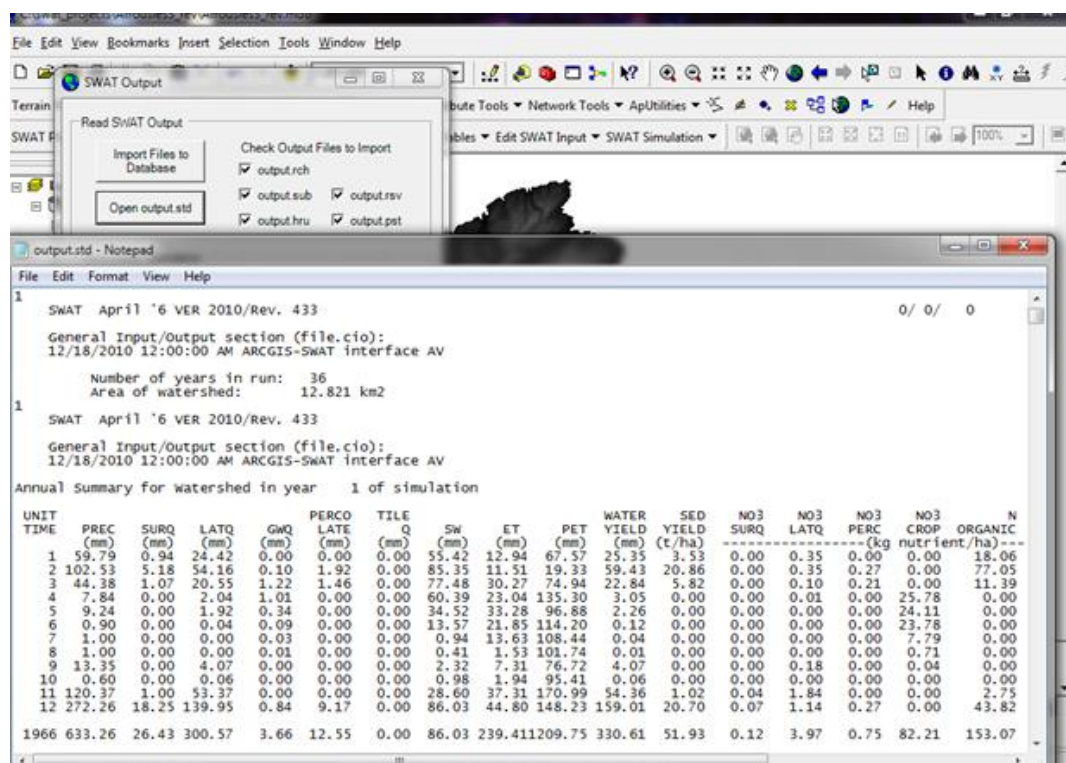
Εικόνα 41 Η καρτέλα για τα έτη προσομοίωσης.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας το χρονικό διάστημα προσομοίωσης για τις δύο θέσεις φράγματος και για τη λεκάνη των Αφρουσών συνολικά είναι από 1/1/2010 έως 31/12/2109 (100 έτη). Με την επιλογή εκτέλεση (Run SWAT), το μοντέλο ξεκινά τον υπολογισμό των παραμέτρων του υδρολογικού κύκλου για κάθε χρόνο προσομοίωσης.



Εικόνα 42 Υπολογισμός παραμέτρων για κάθε έτος προσομοίωσης.

Τελειώνοντας την προσομοίωση, ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα σε μια πρώτη γενική αναφορά (report).



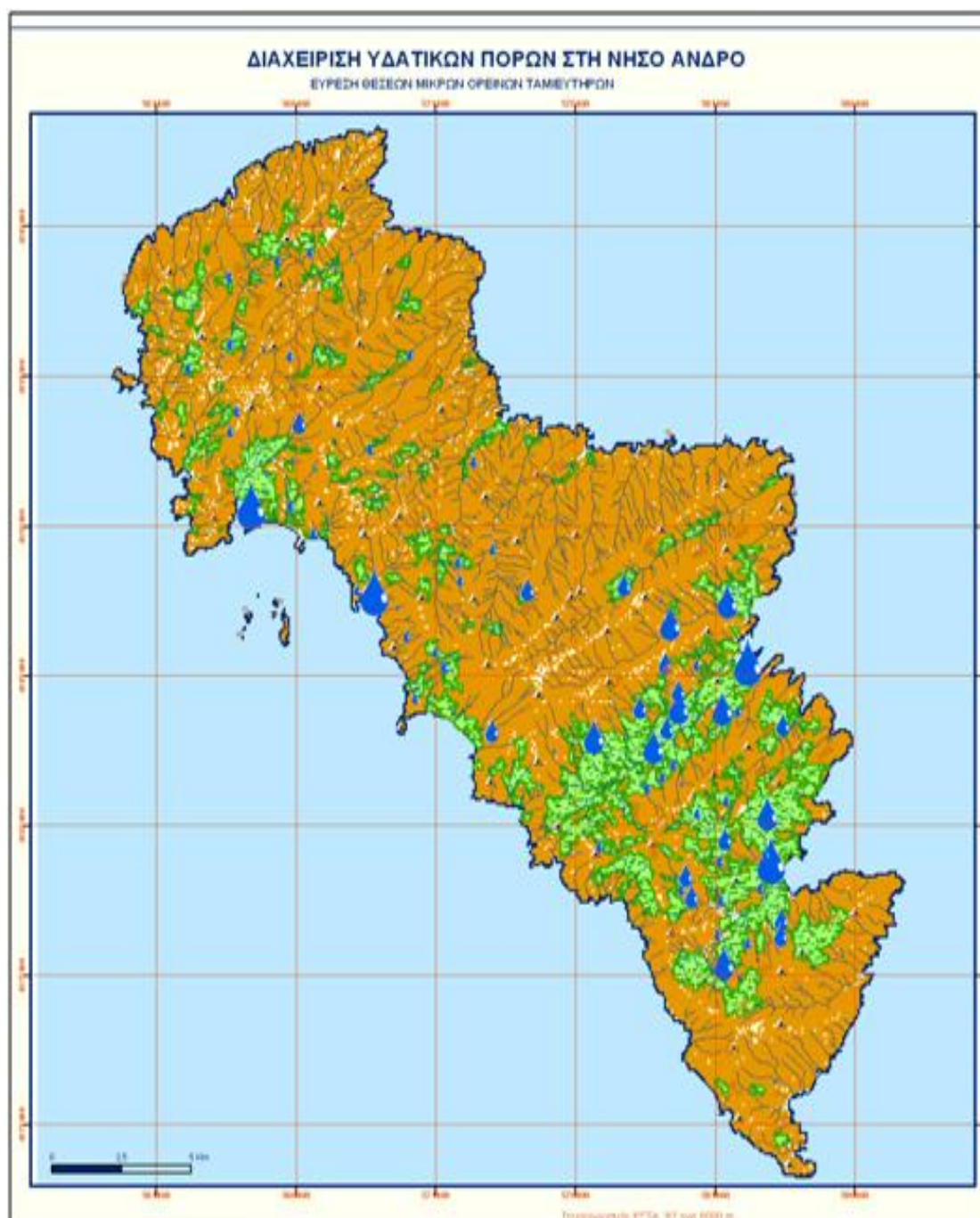
Εικόνα 43 Αναφορά των αποτελεσμάτων.

5.4 Αποτελέσματα για δυο θέσεις φραγμάτων

Η επιλογή των δύο υποψήφιων θέσεων για την κατασκευή φράγματος έγινε με κριτήρια την μικρή υδροπερατότητα της περιοχής, την αντοχή του εδάφους στη δημιουργία φράγματος $\leq 15\text{m}$ και τη συνολική ζήτηση νερού στην περιοχή.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 44) παρατηρείται μια μεγάλη ζήτηση στη λεκάνη της Χώρας (Άνδρου).

Για να μη δημιουργηθεί στην ίδια λεκάνη ταμιευτήρας, όπου σε μια ενδεχόμενη αστοχία μπορούν να κινδυνεύσουν ανθρώπινες ζωές, αλλά και αρόσιμες εκτάσεις, επιλέχθηκε η λεκάνη των Αφρουσών (βορείως της λεκάνης της Άνδρου), με μεγάλη δυναμικότητα στην επιφανειακή απορροή.



Εικόνα 44 Σημεία ζήτησης νερού στη Ν. Άνδρο (ύδρευση & άρδευση, Πισσίας 2010).

5.4.1 Προσομοίωση στη Θέση 1

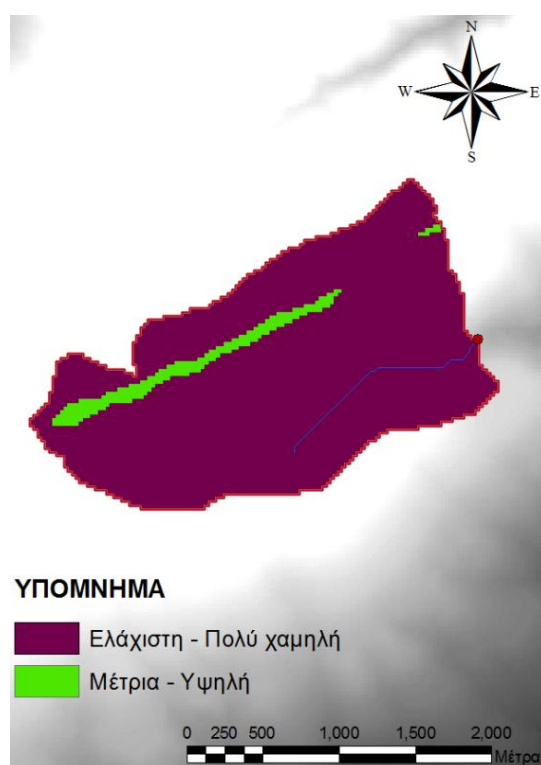
Η υποψήφια θέση 1, με συντεταγμένες³³ (577775.00,4187875.00) στο ΕΓΣΑ 87 ορίζει ανάντη λεκάνη απορροής εμβαδού 3,63km² και περιμέτρου 10,9km.

³³ Οι συντεταγμένες αφορούν στην έξοδο (outlet) της λεκάνης απορροής όπου ανάντη αυτής της εξόδου δημιουργείται η υπό εξέταση λιμνοδεξαμενή.

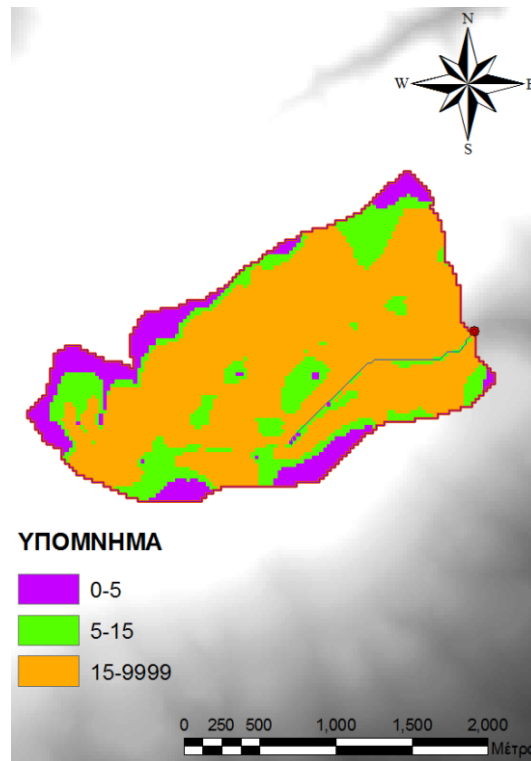
Τα χωρικά δεδομένα της θέσης 1 παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 45 Κάλυψη γης (θέση 1).



Εικόνα 46 Υδροπερατότητα (θέση 1).



Εικόνα 47 Κλίσεις (θέση 1).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη θέση 1 παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

UNIT					PERCO	TILE					WATER	SED
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET	YIELD	YIELD	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(t/ha)	
1	77.13	0	25.57	0	0	0	52.62	18	49.16	25.57	0	
2	90.58	0.16	52.18	0.45	7.43	0	72.22	11.11	18.06	52.79	0.03	
3	73.81	0	32.27	4.39	6.97	0	68.64	38.41	70.9	36.66	0	
4	7.5	0	1.6	4.49	0	0	50.28	24.26	140.3	6.09	0	
5	7.53	0	1.58	2.21	0	0	19.52	36.7	106.55	3.79	0	
6	2.88	0	0	0.46	0	0	2.49	19.91	132.96	0.46	0	
7	2.58	0	0	0.18	0	0	0.74	4.33	129.02	0.18	0	
8	3.14	0	0.1	0.07	0	0	0.34	3.44	112.27	0.16	0	
9	10.87	0	3.04	0.02	0	0	0.55	7.61	84.92	3.07	0	
10	23.17	0	6.9	0.01	0	0	2.01	14.82	86.32	6.91	0	
11	89.68	0	40.68	0	0	0	26.43	24.58	75.54	40.68	0	
12	218.6	0.87	117.81	1.64	23.97	0	66.3	35.75	116.8	120.32	0.17	
2010	607.46	1.03	281.72	13.92	38.37	0	66.3	238.94	122.81	296.66	0.2	

Πίνακας 14 Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη θέση 1 (1^ο έτος προσομοίωσης).

Ο προηγούμενος πίνακας είναι ενδεικτικός των αποτελεσμάτων που δίδει το SWAT. Η επεξήγηση των στηλών του προηγούμενου πίνακα, γίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Όρος	Επεξήγηση
PREC	Κατακρήμνιση
SURQ	Επιφανειακή απορροή
LATQ	Πλευρική εισροή
GWQ	Βασική Απορροή
PERCOLATE	Κατείσδυση
TILE	Αποστράγγιση
SW	Ποσότητα νερού στο εδαφικό προφίλ
ET	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή
PET	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή
WATER YIELD	Επιφανειακή απορροή
SED YIELD	Φερτά υλικά

Πίνακας 15 Επεξήγηση ορολογίας των αποτελεσμάτων του SWAT (Arnold & Di Luzio 2002).

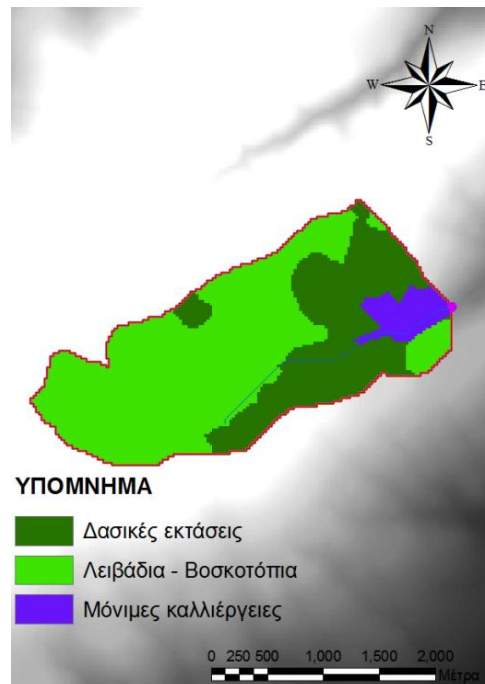


Εικόνα 48 Η λεκάνη απορροής των Αφρουσών και η ανάντη λεκάνη στη θέση 1 (πηγή: ArcGIS Explorer, με ίδια επεξεργασία).

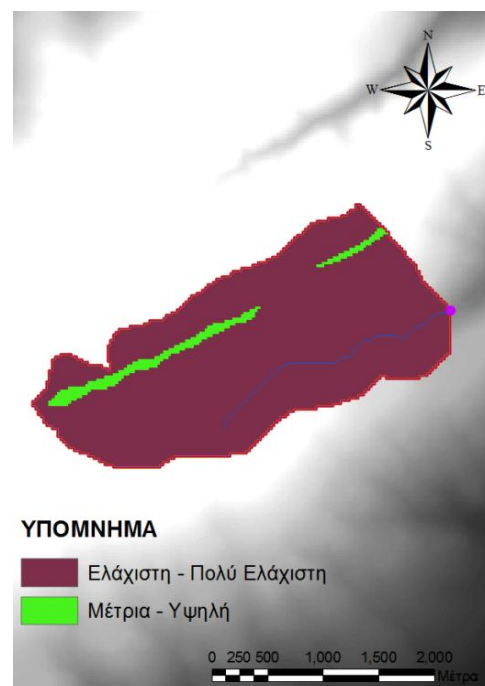
5.4.2 Προσομοίωση στη Θέση 2

Η υποψήφια θέση 2, με συντεταγμένες (578600.046,4188162.515) στο ΕΓΣΑ 87 ορίζει ανάντη λεκάνη απορροής εμβαδού 4,73km² και περιμέτρου 12,7km.

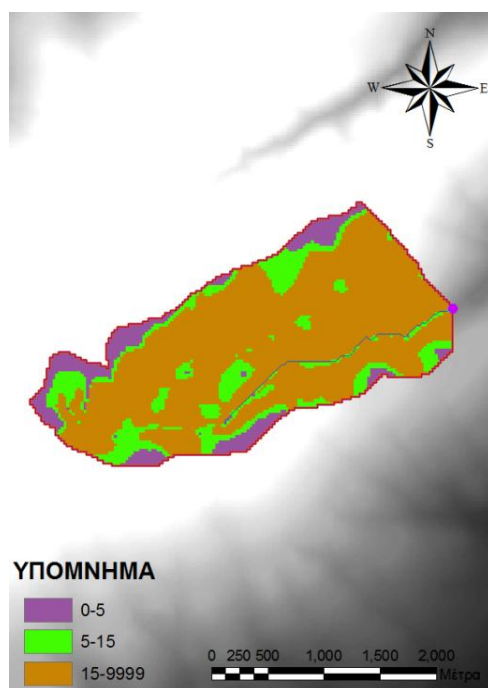
Τα χωρικά δεδομένα της θέσης 2 παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 49 Κάλυψη γης (θέση 2).



Εικόνα 50 Υδροπερατότητα (θέση 2).



Εικόνα 51 Κλίσεις (θέση 2).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη θέση 2 διακρίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

UNIT					PERCO	TILE		WATER				SED
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET	YIELD	YIELD	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(t/ha)	
1	77.13	0.00	26.12	0.00	0.00	0.00	52.10	17.98	49.20	26.12	0.00	
2	90.58	0.15	53.06	0.43	7.00	0.00	71.32	11.05	17.99	53.63	0.03	
3	73.81	0.00	32.78	4.13	6.53	0.00	67.74	38.32	70.83	36.91	0.00	
4	7.50	0.00	1.64	4.21	0.00	0.00	49.59	24.03	140.32	5.85	0.00	
5	7.53	0.00	1.61	2.08	0.00	0.00	21.04	34.47	106.23	3.70	0.00	
6	2.88	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	2.76	21.16	132.64	0.43	0.00	
7	2.58	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.74	4.60	128.73	0.17	0.00	
8	3.14	0.00	0.10	0.06	0.00	0.00	0.35	3.43	111.97	0.16	0.00	
9	10.87	0.00	3.12	0.02	0.00	0.00	0.62	7.48	84.68	3.14	0.00	
10	23.17	0.00	7.06	0.01	0.00	0.00	1.99	14.74	86.29	7.07	0.00	
11	89.68	0.00	41.57	0.00	0.00	0.00	25.73	24.37	75.65	41.58	0.00	
12	218.60	0.81	119.78	1.55	22.51	0.00	65.47	35.44	117.11	122.13	0.16	
2010	607.46	0.95	286.84	13.09	36.05	0.00	65.47	237.071	121.64	300.87	0.19	

Πίνακας 16 Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη θέση 2 (1^ο έτος προσομοίωσης).



Εικόνα 52 Η λεκάνη απορροής των Αφρουσών και η ανάντη λεκάνη στη θέση 2 & 1 (πηγή: ArcGIS Explorer, με ίδια επεξεργασία).



Εικόνα 53 Η λεκάνη των Αφρουσών, οι δύο θέσεις φράγματος που μελετώνται και οι ανάντη λεκάνες απορροής (πηγή: ArcGIS Explorer, με ίδια επεξεργασία).

5.5 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κρίνονται καταρχήν ικανοποιητικά με βάση τις παραδοχές που έχουν γίνει και βάσει των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν (Bouraoui et al. 2005).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στη λεκάνη των Αφρουσών συνολικά, κατέδειξαν για μέση ετήσια βροχόπτωση 565.2mm, επιφανειακή απορροή της τάξης των 291.1mm περίπου. Αυτό σημαίνει πως ο ετήσιος συντελεστής απορροής της λεκάνης των Αφρουσών είναι 0.52. Η υδατική ικανότητα της λεκάνης είναι 23mm/Km². Σε αυτό το σημείο να υπενθυμιστεί πως η μέση ετήσια βροχόπτωση που εισήχθη στο μοντέλο είναι 569.4mm (σχεδόν ταυτόσημη με αυτή που το SWAT υπολόγισε).

Το νούμερο αυτό έρχεται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα νούμερα που αναφέρονται στη Διαχειριστική Μελέτη του Υπουργείου Ανάπτυξης, όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 661mm και η απορροή 293mm. Με τη χρήση ενός αδρομερούς μοντέλου βροχής-απορροής τύπου Thornwaite, ο συντελεστής απορροής της λεκάνης εμφανίζεται ελαφρώς μειωμένος και είναι 0.44, αλλά η υδατική ικανότητα της λεκάνης είναι 23mm/Km², ίδια με αυτή που υπολόγισε το SWAT.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, μια μεγάλη παραδοχή που γίνεται σε αυτή την εργασία είναι το ποσό της βροχόπτωσης για τη Ν. Άνδρο λόγω έλλειψης αξιόπιστων πρωτογενών δεδομένων. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε τεχνητός μετεωρολογικός σταθμός (Birhanu et al. 2007). Τα μόνα διαθέσιμα δεδομένα που υπάρχουν για την Ν. Άνδρο, όπως προειπώθηκε, είναι αυτά της ΔΕΗ για την περίοδο 1986-1993, κατά την οποία λειτούργησε βροχόμετρο στη Βουρκωτή (λεκάνη βόρεια των Αφρουσών). Τα δεδομένα αυτά δεν ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθούν σε αυτή την εμπειρική εφαρμογή.

Στη διαχειριστική μελέτη του Υπουργείου Ανάπτυξης γίνεται προσπάθεια για την επιφανειακή ολοκλήρωση της σημειακής πληροφορίας. Η προσπάθεια αυτή βασίζεται στην επιλογή του πλέον αντιπροσωπευτικού σταθμού (σταθμός βάσης) για κάθε λεκάνη απορροής, από τον οποίο με κατάλληλη υψομετρική αναγωγή προκύπτει η επιφανειακή μεταβλητή.

Για τη Ν. Άνδρο ως σταθμός βάσης για τη βροχόπτωση επιλέχθηκε ο σταθμός της Χίου (Πυργί), με μέση ετήσια βροχόπτωση 573mm, όπου με την υψομετρική αναγωγή δίνει για τις Αφρουσές 661mm.

Η παραπάνω προσέγγιση μπορεί να είναι λογική από πλευράς τιμών βροχοπτώσεων, θεωρείται όμως υπό αίρεση λόγω της απόστασης της Χίου από την Άνδρο και του διαφορετικού μικροκλίματος της κάθε περιοχής.

Επιπλέον, για την παρούσα εργασία δεν λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα των φερτών υλικών, καθώς έχει γίνει ήδη η παραδοχή της αντιστοίχισης των υδρολογικών/υδραυλικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων της Άνδρου με συγκεκριμένους τύπους εδαφών από τη βάση του μοντέλου.

Τέλος, δεν εξετάζονται καθόλου τα αποτελέσματα των αγροτικών χημικών που εξάγει το μοντέλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

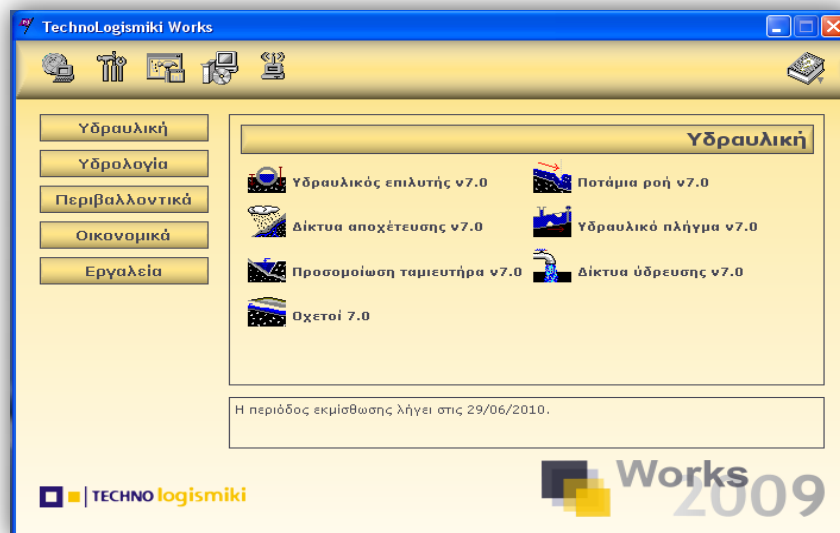
Διαχείριση Ταμειυτήρα

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο VI

Διαχείριση Ταμιευτήρα

6.1 Γενικά

Το πρόγραμμα *Προσομοίωση Ταμιευτήρα* είναι ένα από τα 19 πακέτα που προσφέρει η εταιρεία *Τεχνολογισμική*. Τα προγράμματα (*Works 2009*) χωρίζονται σε κατηγορίες, ανάλογα με την εφαρμογή τους. Οι εφαρμογές διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες: Υδραυλική, Υδρολογία, Περιβαλλοντικά και Οικονομία.



Εικόνα 54 Σουίτα πακέτων Works 2009 της Τεχνολογισμικής.

Το πρόγραμμα *Προσομοίωση Ταμιευτήρα* (version 7.0) προσομοιώνει τη λειτουργία ενός ταμιευτήρα απλής ή πολλαπλής σκοπιμότητας και προαιρετικά

εκτελεί ανάλυση διακινδύνευσης για την παραγωγή ενέργειας ή την ποσότητα απολήψιμου νερού ή και για τα δύο.

A/A	Ημερομηνία	Αποθηκευμένος όγκος (m³)	Καταστράμνωσις (m³)	Εξατμισοδιαπονοή (m³)	Εισροή (m³)	Εξροή (m³)	Ενέργεια (kWh)
1	N/A	34276.000	197.618	46.966	96012.154	10000.000	0.000
2	N/A	34276.000	232.879	48.692	198219.851	8000.000	0.000
3	N/A	34276.000	189.112	72.796	137653.718	8000.000	0.000
4	N/A	34276.000	19.216	126.565	22867.189	8000.000	0.000
5	N/A	34276.000	19.293	193.760	14280.896	8000.000	0.000
6	N/A	2369.349	7.379	321.273	1727.242	12000.000	0.000
7	N/A	5989.960	6.610	360.074	675.877	18000.000	0.000
8	N/A	1352.000	8.045	337.348	600.780	18000.000	0.000
9	N/A	1352.000	27.851	250.110	11527.464	22000.000	0.000
10	N/A	1352.000	59.365	157.335	25946.186	28000.000	0.000
11	N/A	34276.000	229.773	69.977	152749.315	36000.000	0.000
12	N/A	34276.000	560.895	55.748	451786.580	24000.000	0.000
13	N/A	34276.000	539.306	46.966	562442.736	10000.000	0.000
14	N/A	34276.000	323.369	48.692	397566.165	8000.000	0.000
15	N/A	34276.000	53.472	72.796	112646.250	8000.000	0.000
16	N/A	34276.000	76.301	126.565	79152.765	8000.000	0.000
17	N/A	34276.000	21.804	193.760	24031.200	8000.000	0.000
18	N/A	31556.723	16.808	321.273	9907.180	12000.000	0.000
19	N/A	14094.795	6.621	360.074	1125.462	18000.000	0.000
20	N/A	1352.000	8.378	337.348	413.836	18000.000	0.000
21	N/A	1784.017	43.864	250.110	23392.871	22000.000	0.000
22	N/A	1352.000	45.222	157.335	19112.314	28000.000	0.000
23	N/A	34276.000	170.742	69.977	119855.610	36000.000	0.000
24	N/A	34276.000	305.844	55.748	232314.416	24000.000	0.000

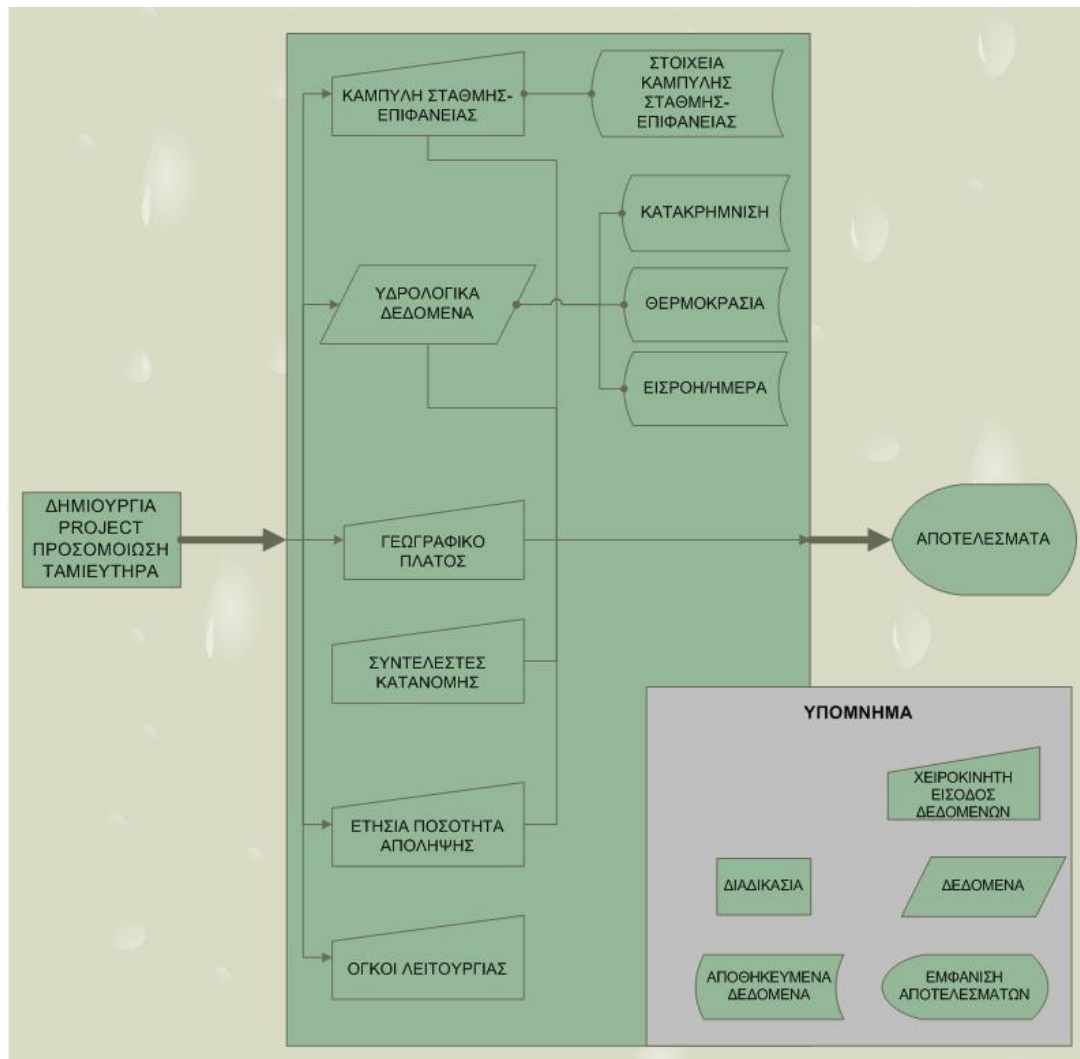
A/A	Ημερομηνία	Αστοχία	Ανάλυση
1	N/A	Υπερχείλιση	62606.806
2	N/A	Υπερχείλιση	184009.050
3	N/A	Υπερχείλιση	129770.033
4	N/A	Υπερχείλιση	14759.840
5	N/A	Υπερχείλιση	4679.318
6	N/A	Αντλίσματα νερού	-13096.363
7	N/A	Αντλίσματα νερού	-11066.647
8	N/A	Αντλίσματα νερού	-2151.784
9	N/A	Υπερχείλιση	83964.111
10	N/A	Υπερχείλιση	413717.137
11	N/A	Υπερχείλιση	552935.066
12	N/A	Υπερχείλιση	377056.127
13	N/A	Υπερχείλιση	104026.926
14	N/A	Υπερχείλιση	71102.501
15	N/A	Υπερχείλιση	13533.644
16	N/A	Αντλίσματα νερού	-5172.939

Εικόνα 55 Το μενού της Προσομοίωσης Ταμιευτήρα.

Το πρόγραμμα μπορεί να μεταχειριστεί πρακτικά απεριόριστα σημεία που θα περιγράφουν τη μεταβολή της αποθηκευτικότητας του ταμιευτήρα με τη στάθμη (ως ζεύγη σημείων στάθμης-επιφάνειας). Η ανάλυση μπορεί να περιοριστεί μόνο στις απολήψιμες ποσότητες του νερού ή εάν πρόκειται για υδροηλεκτρικό φράγμα, μπορεί να προστεθεί και η παραγωγή ενέργειας.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πινακοποιημένα ή/και με τη μορφή γραφημάτων, τα οποία μπορούν εύκολα να τυπωθούν ή να εξαχθούν σε τρίτα προγράμματα για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

Το σχήμα που ακολουθεί απεικονίζει το διάγραμμα ροής της εκτέλεσης των εργασιών του προγράμματος.



Σχήμα 12 Διάγραμμα ροής Προσομοίωσης Ταμιευτήρα.

Όπως διακρίνεται, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- ✚ Δημιουργία project.
- ✚ Εισαγωγή καμπύλης στάθμης-επιφάνειας από τα Τοπογραφικά Διαγράμματα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) κλίμακας 1:5.000 της περιοχής των Αφρουσών.
- ✚ Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων. Τα δεδομένα της βροχόπτωσης (κατακρήμνισης) και η εισροή ανά ημέρα προέρχονται από τα συνθετικά δεδομένα που παράγει το SWAT. Τα δεδομένα της θερμοκρασίας είναι οι μέσες μηνιαίες τιμές που προήρθαν από την επεξεργασία των δεδομένων της Καρύστου και της Σύρου (Ε.Μ.Υ.), όπως έχει ήδη αναφερθεί.
- ✚ Εισαγωγή γεωγραφικού πλάτους.

- + Εισαγωγή συντελεστών κατανομής της ζήτησης ανά μήνα.
- + Την ετήσια ποσότητα απόληψης.
- + Εισαγωγή των όγκων λειτουργίας του ταμιευτήρα.
- + Εκτέλεση προσομοίωσης.
- + Εμφάνιση αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικότερα τα παραπάνω βήματα.

6.2 Δεδομένα εισόδου

Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την εκτέλεση του προγράμματος *Προσομοίωση Ταμιευτήρα* είναι τα εξής:

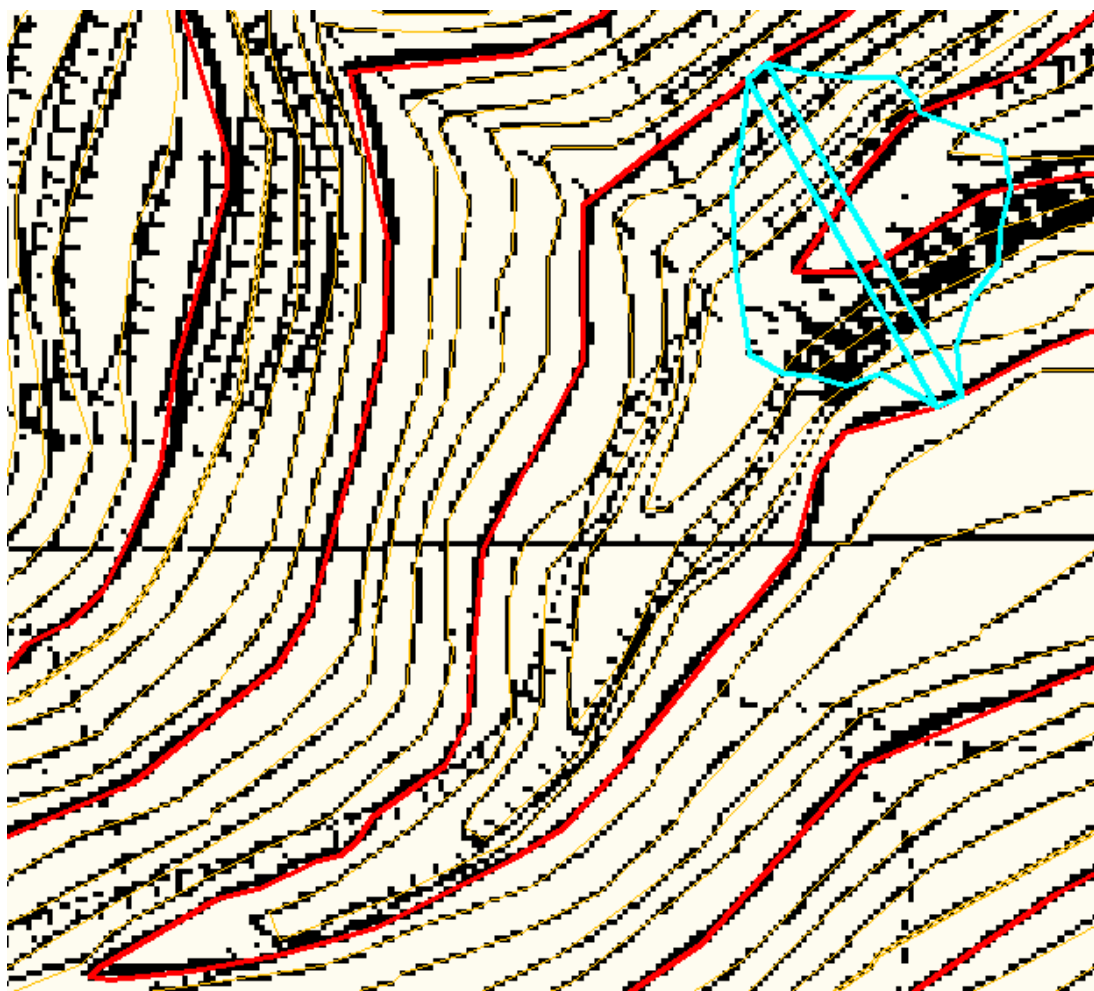
- + Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας.
- + Υδρολογικά δεδομένα.
 - Κατακρήμνιση (mm).
 - Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$).
 - Εισροή ανά ημέρα (m^3/d).
- + Γεωγραφικό πλάτος.
- + Ετήσια ποσότητα απόληψης (m^3).
- + Μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της εκροής.
- + Όγκοι λειτουργίας (m^3) με βάση κατώτερης και ανώτερης στάθμης λειτουργίας.

Τα αποτελέσματα που δίνει το πρόγραμμα είναι:

- + Αποθηκευμένος Όγκος (m^3).
- + Κατακρήμνιση (m^3).
- + Εισροή (m^3).
- + Εκροή (m^3).
- + Ενέργεια (Kwh).
- + Αστοχία.
 - έλλειψη νερού,
 - υπερχείλιση,
 - έλλειψη ενέργειας.
- + Απόκλιση.

6.2.1 Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας

Για την επιλεγμένη θέση 1 η καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου υπολογίζεται από το τοπογραφικό διάγραμμα 1:5.000 της Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) με την τοποθέτηση σε αυτό της θέσης του φράγματος, αλλά και του ίδιου του φράγματος. Για τις ανάγκες της εργασίας θεωρείται φράγμα 2:1.



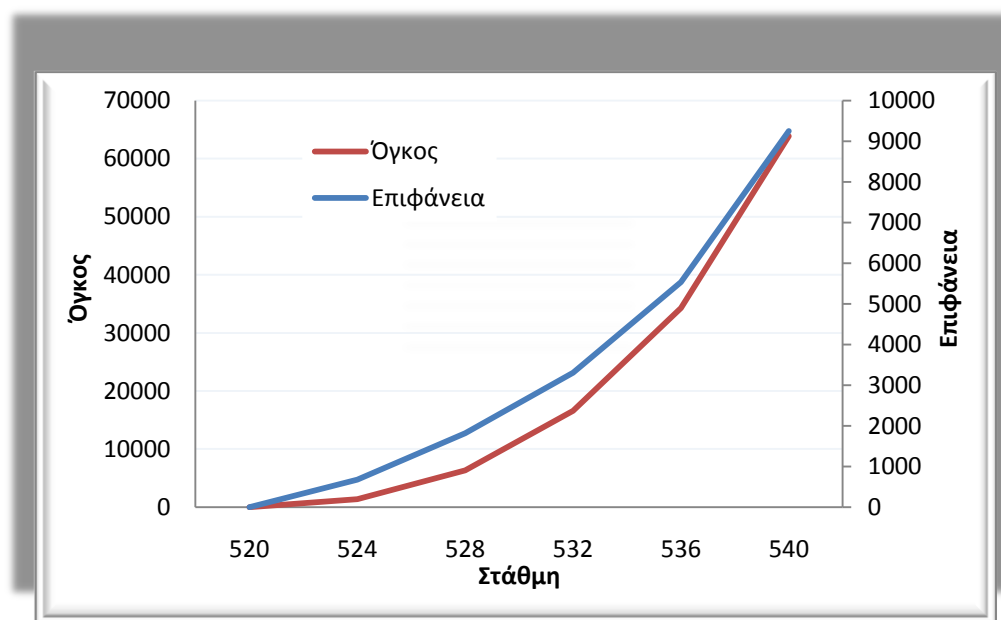
Εικόνα 56 Το φράγμα στη θέση 1 πάνω σε τοπογραφικό διάγραμμα 1:5.000³⁴.

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

³⁴ Βλαστού Α., Κλωνή Α., Μελέτη Θέσεων Ορεινών Ταμιευτήρων στην Άνδρο, Πτυχιακή Εργασία, ΑΤΕΙ Αθήνας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Τοπογραφίας, 2010.

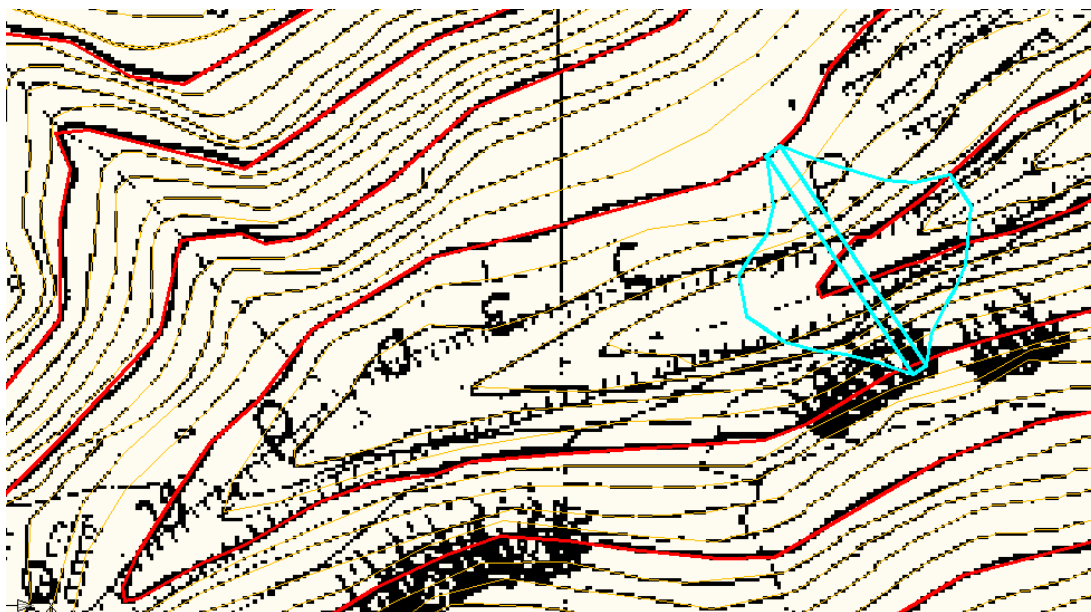
ΣΤΑΘΜΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΟΓΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ
(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³)
520	0	1352	0
524	676	4988	1352
528	1818	10248	6340
532	3306	17688	16588
536	5538	29578	34276
540	9251		63854

Πίνακας 17 Πίνακας καμπύλης στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 1).



Γράφημα 2 Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 1).

Ομοίως, για την επιλεγμένη θέση 2:



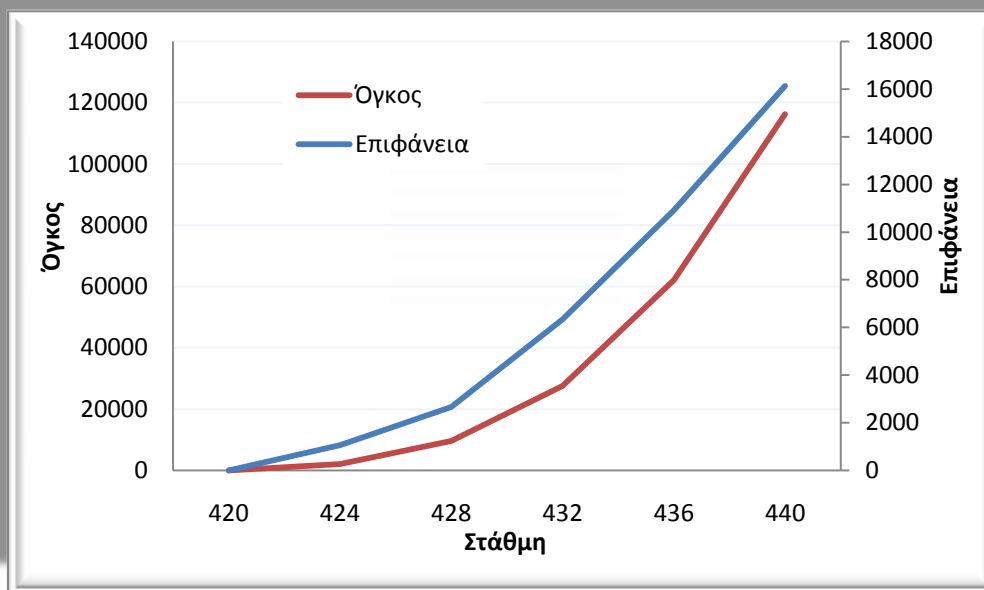
Εικόνα 57 Το φράγμα στη θέση 2 πάνω σε τοπογραφικό διάγραμμα 1:5.000 (Βλαστού και Κλωνή 2010).

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΣΤΑΘΜΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΟΓΚΟΣ ΜΕΤΑΞΥ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ
(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³)
420	0	2128	0
424	1064	7452	2128
428	2662	18012	9580
432	6344	34528	27592
436	10920	54106	62120
440	16133		116226

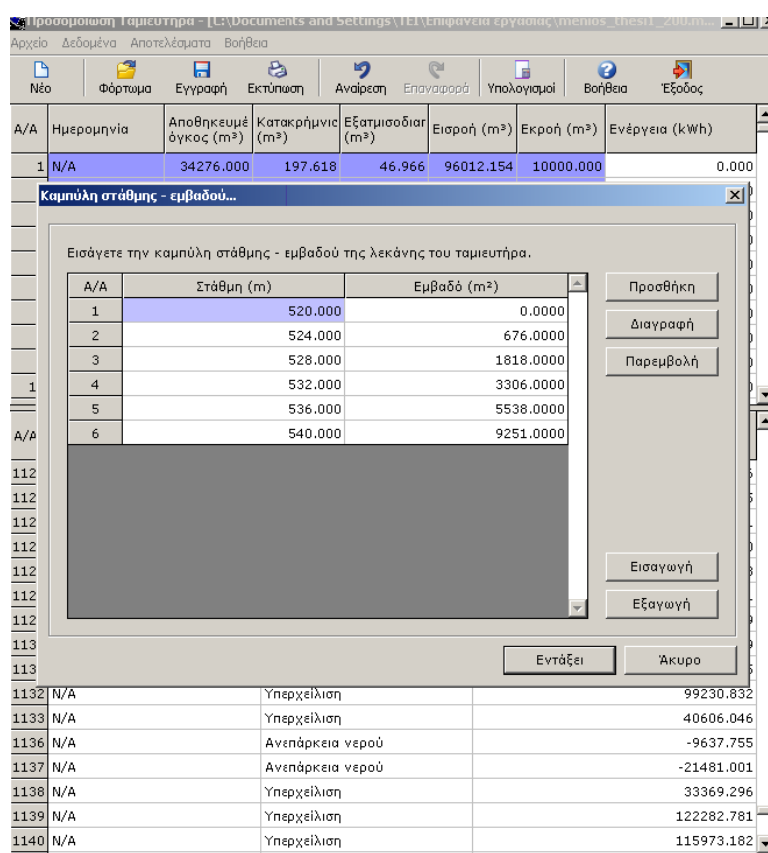
Πίνακας 18 Πίνακας καμπύλης στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 2).

Η καμπύλη παρουσιάζεται στο γράφημα που ακολουθεί.



Γράφημα 3 Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 2).

Τα παραπάνω εισάγονται στο πρόγραμμα ξεχωριστά για κάθε θέση.



Εικόνα 58 Εισαγωγή καμπύλης στάθμης-επιφάνειας στο πρόγραμμα.

6.2.2 Κατακρήμνιση

Τα δεδομένα της βροχόπτωσης που εισάγονται είναι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του SWAT. Έτσι, εισάγονται στο πρόγραμμα δεδομένα κατακρήμνισης 1200 μηνών (100έτη x 12μήνες).

6.2.3 Θερμοκρασία

Τα δεδομένα της θερμοκρασίας που εισάγονται είναι η μέση θερμοκρασία που είχε εισαχθεί και στο SWAT με αναγωγή στο υψόμετρο των επιλεγμένων θέσεων της λεκάνης απορροής, με βάση τη θερμοβαθμίδα (μείωση 6°C ανά 1000m)³⁵.

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	16,5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	12,4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	9,7
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	8,4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	8,3
ΜΑΡΤΙΟΣ	9,8
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	13,0
ΜΑΙΟΣ	17,2
ΙΟΥΝΙΟΣ	21,6
ΙΟΥΛΙΟΣ	23,9
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	23,4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,0
ΕΤΟΣ	15,4

Πίνακας 19 Μέσες υπερετήσιες μηνιαίες θερμοκρασίες.

Θεωρείται ότι η μέση θερμοκρασία είναι ίδια για όλους τους αντίστοιχους μήνες μέσα στα 100 έτη της προσομοίωσης.

6.2.4 Εισροή ανά ημέρα

Τα δεδομένα εισαγωγής της εισροής ανά ημέρα είναι τα αποτελέσματα του SWAT στην απορροή κάθε μήνα (Water Yield), αφού μετατραπεί από χιλιοστά (mm) σε κυβικά μέτρα ανά ημέρα (m³/d).

³⁵ Υπουργείο Γεωργίας, Μελέτη μικρών λιμνοδεξαμενών στα νησιά Β. Κυκλάδων (Κέα, Άνδρος, Σύρος, Μύκονος, Τήνος, Σέριφος, Σίφνος, Κύθνος, Μήλος, Κίμωλος) – Αναγνωριστική Μελέτη, 1991.

Υδρολογικά δεδομένα...

Δεδομένα

A/A	Ημερομηνία	Κατακρήμνιση (mm)	Θερμοκρασία (°C)	Εισροή (m³/d)
1	N/A	77.13	8.4	3097.166
2	N/A	90.58	8.3	6394.189
3	N/A	73.81	9.8	4440.442
4	N/A	7.50	13.0	737.651
5	N/A	7.53	17.2	459.064
6	N/A	2.88	21.6	55.718
7	N/A	2.58	23.9	21.802
8	N/A	3.14	23.4	19.380
9	N/A	10.87	21.0	371.854
10	N/A	23.17	16.5	836.974
11	N/A	89.68	12.4	4927.365
12	N/A	218.60	9.7	14573.760
13	N/A	210.49	8.4	18143.314
14	N/A	126.21	8.3	12824.715
15	N/A	20.87	9.8	3633.750
16	N/A	29.78	13.0	2553.315
17	N/A	8.51	17.2	775.200
18	N/A	6.56	21.6	302.812
19	N/A	2.35	23.9	36.338
20	N/A	3.27	23.4	13.324
21	N/A	17.12	21.0	754.609
22	N/A	17.65	16.5	616.526

Προσθήκη
Διαγραφή
Παρεμβολή
Ημερομηνία

Εντάξει Άκυρο

Εικόνα 59 Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων.

6.2.5 Γεωγραφικό πλάτος

Εισάγεται το γεωγραφικό πλάτος του ταμιευτήρα. Το γεωγραφικό πλάτος αναφέρεται στο κέντρο βάρους του ταμιευτήρα και με βάση αυτό υπολογίζεται η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας. Το γεωγραφικό πλάτος που εισάγεται στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το 37,9.

Επιλογή γεωγραφικού πλάτους...

Επιλέξτε το μέσο γεωγραφικό πλάτος του ταμιευτήρα. Με βάση την τιμή αυτή θα υπολογιστούν οι μηνιαίες τιμές της μέσης αστρονομικής διάρκειας ημέρας σε ώρες.

Γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες, θετικό για το Βόρειο Ημισφαίριο.

Μήνας	N (h)
Ιανουάριος	9.67
Φεβρουάριος	10.56
Μάρτιος	11.71
Απρίλιος	12.95
Μάιος	14.02
Ιούνιος	14.58
Ιούλιος	14.36
Αύγουστος	13.46
Σεπτέμβριος	12.27
Οκτώβριος	10.99
Νοέμβριος	9.93
Δεκέμβριος	9.42

Εικόνα 60 Εισαγωγή γεωγραφικού πλάτους & υπολογισμός της μέσης αστρονομικής διάρκειας της ημέρας.

6.2.6 Ετήσια ποσότητα απολήψιμης & μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της εκροής

Εισάγονται η ετήσια απολήψιμη ποσότητα νερού και το ποσοστό μη ελεγχόμενων διαφυγών (όπως πχ διαρροές και διαφυγές από τη λεκάνη του ταμιευτήρα). Απαιτούνται επίσης οι μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της ετήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού.

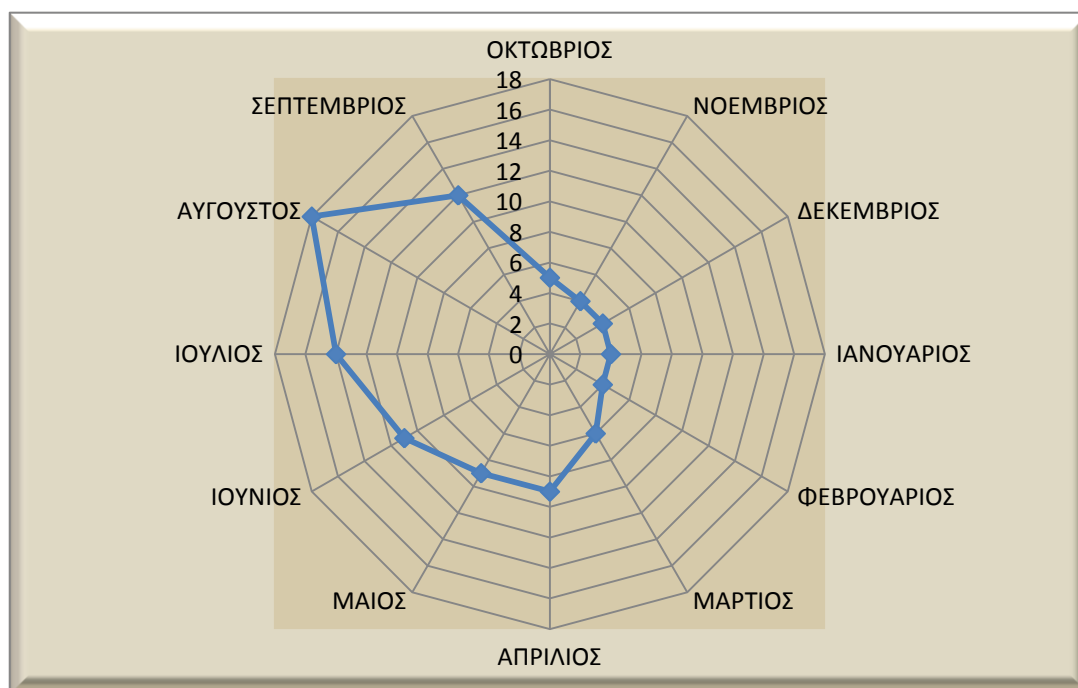
Η ετήσια απολήψιμη ποσότητα νερού εισάγεται ανάλογα με το σενάριο που πρόκειται να εξεταστεί (αναλυτικά παρακάτω).

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας έχει οριστεί ένα σενάριο σχετικά με την απολήψιμη ποσότητα, κατά το οποίο τους μήνες με χαμηλή κατανάλωση στην Άνδρο, από Οκτώβριο έως και Μάρτιο (περίοδος χωρίς μεγάλες ανάγκες σε νερό οικιακής χρήσης και άρδευσης), οι συντελεστές κατανομής είναι μικρότεροι (από 4 έως 6% της συνολικής απολήψιμης ποσότητας). Τον Απρίλιο παρουσιάζεται αύξηση του εποχιακού πληθυσμού (λόγω του Πάσχα) και το ποσοστό πηγαίνει στο 9%. Ομοίως και τον μήνα Μάιο, που στο νησί καταφθάνουν οι πρώτοι παραθεριστές. Τον Ιούνιο, που υπάρχουν περισσότεροι παραθεριστές αλλά και παραθεριστές του διημέρου (σαββατοκύριακα, καθότι οι Άνδρος βρίσκεται πολύ κοντά στην Αθήνα), ο συντελεστής ανεβαίνει στο 11%. Τον Ιούλιο παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση του εποχιακού πληθυσμού και το ποσοστό ανεβαίνει στο 14%. Τον Αύγουστο, όπως και στα περισσότερα τουριστικά μέρη, παρατηρείται η αιχμή του εποχιακού πληθυσμού και το ποσοστό ανεβαίνει στο 18% (περίπου το 1/5 της ετήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού). Και τέλος τον Σεπτέμβριο, το ποσοστό πέφτει στο 12%, διότι υπάρχουν ακόμη παραθεριστές στο νησί.

Οι μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της ετήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού περιγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΜΗΝΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (%)
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	4
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	4
ΜΑΡΤΙΟΣ	6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	9
ΜΑΙΟΣ	9
ΙΟΥΝΙΟΣ	11
ΙΟΥΛΙΟΣ	14
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	18
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	12

Πίνακας 20 Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της ετήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού.



Γράφημα 4 Κατανομή μηνιαίων συντελεστών απόληψης με βάση το σενάριο που δημιουργήθηκε για τη ζήτηση.

Εκροές από τον ταμιευτήρα...

Ετήσια ποσότητα εξερχόμενου όγκου (m³)

Ποσοστό μη ελεγχόμενων διαφυγών (0-0.5)

Εισάγετε τους μηνιαίους συντελεστές κατανομής της εκροής από τον ταμιευτήρα.

Μήνας	Συντελεστής
Οκτώβριος	0.0500
Νοέμβριος	0.0400
Δεκέμβριος	0.0400
Ιανουάριος	0.0400
Φεβρουάριος	0.0400
Μάρτιος	0.0600
Απρίλιος	0.0900
Μάιος	0.0900
Ιούνιος	0.1100
Ιούλιος	0.1400
Αύγουστος	0.1800
Σεπτέμβριος	0.1200

Εισαγωγή
Εξαγωγή
Ισοκατανομή

Εντάξει Άκυρο

Εικόνα 61 Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της ετήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού.

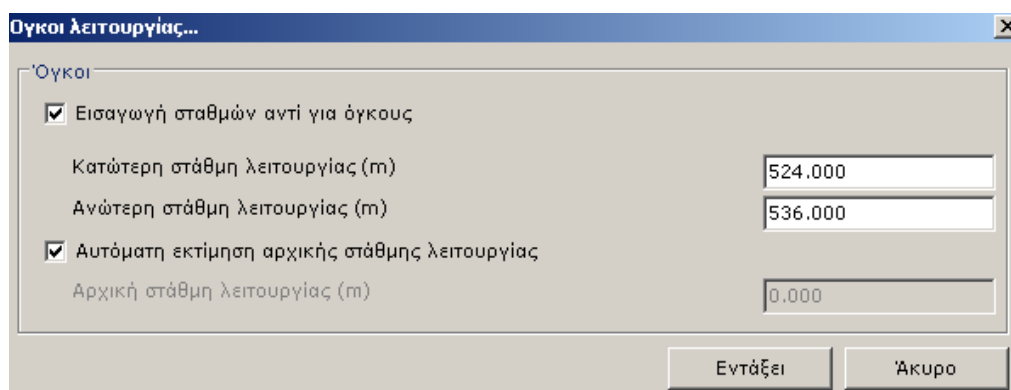
6.2.7 Όγκοι λειτουργίας

Εισάγονται η μέγιστη και η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα (ή όγκοι, ανάλογα με το ποια επιλογή είναι ενεργή). Για τον πρώτο μήνα της προσομοίωσης, η αρχική στάθμη (ή ο όγκος) μπορεί να εισαχθεί από τον χρήστη ή να υπολογιστεί αυτόματα από το πρόγραμμα. Στη δεύτερη περίπτωση, η αρχική στάθμη θα είναι το ημιάθροισμα της ελάχιστης και της μέγιστης.

Στο σημείο αυτό να διευκρινιστεί, πως με την εισαγωγή της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας ορίζεται το ποσό του νερού που είναι διαθέσιμο για απόληψη, χωρίς να αδειάσει ο ταμιευτήρας και η μέγιστη ορίζει ουσιαστικά το ύψος του φράγματος.

Για τις ανάγκες της εργασίας θα εξεταστούν φράγματα μέχρι 15m (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 & 15m), ύψος που ορίζει το όριο για μικρά φράγματα³⁶.

Έτσι για παράδειγμα στην πρώτη επιλεγμένη θέση φράγματος όπου το απόλυτο υψόμετρο είναι 520m, θεωρείται η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας τα 524m, πράγμα που σημαίνει πως στον ταμιευτήρα θα μένουν πάντα 1.352m^3 , για φράγμα 15m η ανώτατη στάθμη λειτουργίας θα είναι 535m.



Εικόνα 62 Όγκοι λειτουργίας.

6.3 Εκτέλεση προσομοιώσεων

Στο μενού **Αποτελέσματα** εκτελούνται οι υπολογισμοί και παράγονται συγκεκριμένα αποτελέσματα ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη. Οι επιλογές που είναι διαθέσιμες είναι οι ακόλουθες:

- + Εκτέλεση υπολογισμών.
- + Αναφορά υπολογισμών.
- + Καμπύλη στάθμης-εμβαδού-όγκου.
- + Γράφημα αποθηκευμένου όγκου.
- + Ανάλυση διακινδύνευσης (Risk Analysis).
- + Πίνακας διακινδύνευσης.
- + Γράφημα επιλεγμένης αστοχίας.

³⁶ Η Διεθνής Ένωση Μεγάλων Φραγμάτων ορίζει πως ένα φράγμα είναι μικρό όταν α) το ύψος του δεν υπερβαίνει τα 15m, β) όταν ο ταμιευτήρας που δημιουργείται δεν υπερβαίνει σε χωρητικότητα τα $1.000.000\text{m}^3$ και γ) όταν το μήκος στέψης δεν υπερβαίνει τα 500m.

Προσομοίωση Ταμιευτήρα - [C:\Documents and Settings\TEI\Επιφάνεια εργασίας\menios_thesi1_200.m...]							
Αρχείο Δεδομένα Αποτελέσματα Βοήθεια							
Νέο Φόρτωμα Εγγραφή Εκτύπωση Αναίρεση Επανάφορά Υπολογισμοί Βοήθεια Έξοδος							
A/A	Ημερομηνία	Αποθηκευμέ όγκος (m³)	Κατακρήμνις (m³)	Εξατμισοδιαγ (m³)	Εισροή (m³)	Εκροή (m³)	Ενέργεια (kWh)
1	N/A	34276.000	197.618	46.966	96012.154	10000.000	0.000
2	N/A	34276.000	232.079	48.692	198219.851	8000.000	0.000
3	N/A	34276.000	189.112	72.796	137653.718	8000.000	0.000
4	N/A						0.000
5	N/A						0.000
6	N/A						0.000
7	N/A						0.000
8	N/A						0.000
9	N/A						0.000
10	N/A						0.000
Αναφορά υπολογισμών... Εκκίνηση προσομοίωσης N/A Αριθμός ετών μοντελοποίησης: 100 Αριθμός μηνών μοντελοποίησης: 1200 Προβλήματα παρεμβολών επιφάνειας - όγκου: (μήνες): 0 Αρχικός αποθηκευμένος όγκος (m³): 10720.000 Μέγιστος αποθηκεύσιμος όγκος (m³): 34276.000 Ελάχιστος αποθηκεύσιμος όγκος (m³): 1352.000 Αριθμός αστοχιών (μήνες): 966 Αριθμός υπερχειλίσεων (μήνες): 743 Αριθμός ανεπαρκειών (μήνες): 223 Αριθμός αστοχιών ενέργειας (μήνες): 0							
1121	N/A						5531.446
1124	N/A						-5308.555
1125	N/A						-14235.491
1126	N/A						-4825.790
1127	N/A						53768.748
1128	N/A						847908.491
1129	N/A						870843.209
1130	N/A		Υπερχείλιση				566620.149
1131	N/A		Υπερχείλιση				137625.115
1132	N/A		Υπερχείλιση				99230.832
1133	N/A		Υπερχείλιση				40606.046
1136	N/A		Ανεπάρκεια νερού				-9637.755
1137	N/A		Ανεπάρκεια νερού				-21481.001
1138	N/A		Υπερχείλιση				33369.296
1139	N/A		Υπερχείλιση				122282.781
1140	N/A		Υπερχείλιση				115973.182

Εικόνα 63 Αποτελέσματα εκτέλεσης προγράμματος.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η εργασία αυτή εξετάζει τη δυνατότητα κατασκευής ενός φράγματος σε δύο διαφορετικά επιλεγμένα σημεία της λεκάνης απορροής των Αφρουσών, με την ταυτόχρονη δημιουργία ενός ταμιευτήρα νερού (λιμνοδεξαμενή), με βάση τα ποσοστά αστοχίας απόληψης ορισμένου όγκου νερού ετησίως.

Από τα αποτελέσματα που παράγει το πρόγραμμα Προσομοίωση Ταμιευτήρα, αυτό που ενδιαφέρει άμεσα ώστε να απαντηθεί το παραπάνω ζήτημα είναι ο αριθμός των ανεπαρκειών σε μήνες.

Έτσι για το παράδειγμα της παραπάνω εικόνας είναι:

Αριθμός ανεπαρκειών (μήνες) = 223

Σύνολο μηνών = 1200

Η αστοχία που προκύπτει είναι $\frac{223}{1200} = 0,18583$ ή $\approx 18,6\%$.

6.4 Αποτελέσματα

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής δημιουργήθηκαν τέσσερα σενάρια ετήσιου όγκου απόληψης νερού (50, 100, 150 & 200.000m³) για κάθε θέση φράγματος και για οκτώ διαφορετικά ύψη φράγματος (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 και 15m).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (αστοχία-ανεπάρκεια νερού σε μήνες στο σύνολο των 100 ετών της προσομοίωσης) για την πρώτη επιλεγμένη θέση φράγματος παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (m ³)	ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (m)							
	8	9	10	11	12	13	14	15
50.000	172	119	59	33	8	3	2	0
100.000	299	277	230	209	108	107	69	38
150.000	353	340	323	297	260	241	207	146
200.000	389	377	358	340	334	303	274	250

Πίνακας 21 Σύνολο αστοχιών σε μήνες ανά σενάριο ετήσιας απόληψης & ύψους φράγματος (θέση 1).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η αστοχία σε ποσοστό, όπως αναλύθηκε παραπάνω.

ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (m ³)	ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (m)							
	8	9	10	11	12	13	14	15
50.000	14,33	9,92	4,92	2,75	0,67	0,25	0,17	0,00
100.000	24,92	23,08	19,17	17,42	9,00	8,92	5,75	3,17
150.000	29,42	28,33	26,92	24,75	21,67	20,08	17,25	12,17
200.000	32,42	31,42	29,83	28,33	27,83	25,25	22,83	20,83

Πίνακας 22 Ποσοστό αστοχιών (%) προσομοίωσης (θέση 1).

Όπως διακρίνεται το ποσοστό της αστοχίας αυξάνεται, καθώς αυξάνεται ο ζητούμενος όγκος απόληψης νερού για κάθε ύψος φράγματος και μειώνεται καθώς αυξάνει το ύψος φράγματος για κάθε όγκο απόληψης, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο.

Ομοίως, για τη θέση 2 τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (m ³)	ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (m)							
	8	9	10	11	12	13	14	15
50.000	83	37	9	3	0	0	0	0
100.000	245	200	155	80	44	11	4	1
150.000	309	289	237	210	147	93	49	18
200.000	352	328	312	267	242	202	132	83

Πίνακας 23 Σύνολο αστοχιών σε μήνες ανά σενάριο ετήσιας απόληψης & ύψους φράγματος (θέση 2).

Ο αντίστοιχος πίνακας του ποσοστού της αστοχίας για τη θέση 2 ακολουθεί.

ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (m ³)	ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (m)							
	8	9	10	11	12	13	14	15
50.000	6,92	3,08	0,75	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
100.000	20,42	16,67	12,92	6,67	3,67	0,92	0,33	0,08
150.000	25,75	24,08	19,75	17,50	12,25	7,75	4,08	1,50
200.000	29,33	27,33	26,00	22,25	20,17	16,83	11,00	6,92

Πίνακας 24 Ποσοστό αστοχιών (%) προσομοίωσης (θέση 2).

Ομοίως για τη θέση 2 το ποσοστό της αστοχίας αυξάνεται, καθώς αυξάνεται ο ζητούμενος όγκος απόληψης νερού για κάθε ύψος φράγματος και μειώνεται καθώς αυξάνει το ύψος φράγματος για κάθε όγκο απόληψης.

6.5 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση των διάφορων προσομοιώσεων με το λογισμικό Προσομοίωση Ταμιευτήρα, είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστούν σαν σενάρια συνδυασμού απολήψιμου όγκου και ύψους φράγματος.

Σαφώς και δεν αποτελούν πανάκεια προκειμένου να ληφθεί μια απόφαση για τη δημιουργία ενός ταμιευτήρα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τα συμπεράσματα από την προσομοίωση ταμιευτήρα είναι τα εξής:

1. Για μικρούς απολήψιμους όγκους, έως 50.000m^3 , είναι δυνατή η δημιουργία ενός ταμιευτήρα στη θέση 1, όπου για ύψος φράγματος 8m η αστοχία είναι 14.33% και για ύψος φράγματος 9m η αστοχία πέφτει κάτω από 10% (9.92%).
2. Για την κάλυψη της ζήτησης μεγάλων όγκων απόληψης είναι φανερό πως η θέση 1 είναι ακατάλληλη προκειμένου να δημιουργηθεί ταμιευτήρας, καθώς για 200.000m^3 , η αστοχία ακόμα και για φράγμα 15m είναι της τάξης του 20%, αρκετά μεγάλη και μη αποδεκτή για να καλύψει τη ζήτηση (με βάση τα αποτελέσματα η αστοχία παρουσιάζεται κυρίως την περίοδο αιχμής, δηλαδή το καλοκαίρι). Συνεπώς η θέση 1 είναι ανεπαρκής για να καλύψει τις ανάγκες σε νερό.
3. Η θέση 2 προκρίνεται ως η πιο αξιόπιστη λύση, στην περίπτωση μεγάλων απολήψιμων όγκων της τάξης των 200.000m^3 . Σε αυτή την κατηγορία της απόληψης, φράγματα μέχρι 15m ύψος, είναι ικανοποιητικά προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες με μια ικανοποιητική αστοχία της τάξης του 7% περίπου.

Όπως προαναφέρθηκε, τα συμπεράσματα αυτά δεν αποτελούν πανάκεια στη λήψη μιας απόφασης προς την κατεύθυνση της κατασκευής ενός φράγματος και την ταυτόχρονη δημιουργία μιας λιμνοδεξαμενής. Είναι απαραίτητο να συνυπολογιστούν και να ιεραρχηθούν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόφαση αυτή. Για παράδειγμα, η λεπτομερής εξέταση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών καθώς και η καταγραφή στο πεδίο των μετεωρολογικών συνθηκών ενδέχεται να οδηγήσουν σε τροποποιήσεις του μοντέλου. Σε κάθε περίπτωση όμως η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε παραπάνω αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο διαχειριστικό εργαλείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

Αποτελέσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

Αποτελέσματα

7.1 Γενικά

Η παρούσα εργασία περιγράφει την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων με τη δημιουργία μικρών ορεινών και ημιορεινών ταμιευτήρων νερού, η οποία βασίζεται στη Γεωπληροφορική.

Ο κλάδος της Γεωπληροφορικής μπορεί να συνδυαστεί αρμονικά με την επιστήμη της υδρολογίας, της υδρογεωλογίας, της υδραυλικής, της μετεωρολογίας και να συμβάλλει εν γένει στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Με τη σύζευξη αυτή αξιοποιείται η περιγραφική και η χωρική πληροφορία με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο, προκειμένου να δοθούν αξιόπιστα αποτελέσματα, τα οποία θα οδηγήσουν στην υιοθέτηση των βέλτιστων και πιο βιώσιμων πρακτικών.

Σαν περίπτωση μελέτης επιλέχθηκε η Ν. Άνδρος (και συγκεκριμένα η λεκάνη απορροής των Αφρουσών), η οποία έχει ορισμένα χαρακτηριστικά με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Το γεγονός πως το νησί παρουσιάζει ικανοποιητικές βροχοπτώσεις την περίοδο από Σεπτέμβριο μέχρι και Απρίλιο, σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες της ξηρής περιόδου και την έλλειψη πρωτογενών μετεωρολογικών δεδομένων, οδήγησε στην επιλογή του σαν περίπτωση μελέτης, καθώς είναι σημαντικό να πραγματοποιούνται εργασίες σε περιοχές που δεν υπάρχει επάρκεια δεδομένων.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε περιλαμβάνει την υδρολογική ανάλυση του νησιού και την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου SWAT για 100 χρόνια (ήτοι 1200 μήνες). Κατόπιν τα αποτελέσματα (συνθετικές σειρές βροχοπτώσεων και απορροής για τα 100 χρόνια της προσομοίωσης) εισήχθησαν στο λογισμικό Προσομοίωση Ταμιευτήρα της εταιρείας Τεχνολογισμική και διερευνήθηκε η

εφικτότητα κατασκευής φράγματος, με ταυτόχρονη δημιουργία ενός ταμιευτήρα, με βάση τα ποσοστά αστοχίας απόληψης ορισμένου όγκου νερού ετησίως από τον ταμιευτήρα.

Όπως κατέδειξαν τα αποτελέσματα της εφαρμοσθείσας μεθοδολογίας με τα δεδομένα που εισήχθησαν, στη λεκάνη των Αφρουσών, για μέση ετήσια βροχόπτωση 569,4mm, η επιφανειακή απορροή είναι της τάξης των 313,2mm περίπου. Αυτό σημαίνει πως ο ετήσιος συντελεστής απορροής της λεκάνης των Αφρουσών εκτιμήθηκε ότι είναι 0,55 και η υδατική ικανότητα της λεκάνης 24mm/Km².

Με τη χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων του υδρολογικού μοντέλου SWAT η *Προσομοίωση Ταμιευτήρα* κατέδειξε πως είναι δυνατή η κατασκευή φράγματος στη επιλεγμένη θέση 1, για μικρούς ετήσιους όγκους απόληψης (μέχρι 50.000m³) και για ύψος φράγματος όχι μικρότερο των 9m, ενώ για μεγαλύτερους ετήσιους όγκους απόληψης (μέχρι 200.000m³) και για ύψη περί των 14-15m³⁷ είναι κατάλληλη η επιλεγμένη θέση 2.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως είναι εφικτή η δημιουργία μικρών ταμιευτήρων νερού, εφόσον πληρούνται κάποια κριτήρια που έχουν οριστεί εξ αρχής. Είναι βέβαιο πως με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία προκύπτουν κάποια στοιχεία-απόρροια των διάφορων προσομοιώσεων που εκτελούνται κατά τη διάρκειά της και μέσα σε ένα ορισμένο -εξ αρχής- πλαίσιο παραδοχών, οι οποίες επεβλήθησαν από διάφορους παράγοντες. Οι κυριότερες παραδοχές εξ αυτών είναι οι εξής:

- ✚ Η ανυπαρξία αξιολογών πρωτογενών μετεωρολογικών δεδομένων οδήγησε στην κατασκευή ενός τεχνητού συνθετικού μετεωρολογικού σταθμού για την Άνδρο, στηριζόμενου στα δεδομένα της Καρύστου, της Νάξου και της Σύρου (EMY).
- ✚ Για τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας έγινε χρήση ενός σταθμού από τη βάση του SWAT, με το ίδιο (περίπου) γεωγραφικό πλάτος με την Άνδρο.
- ✚ Η αντιστοιχία των χωρικών δεδομένων (του εδαφολογικού χάρτη) με τη βάση του SWAT είναι υπό εξέταση, καθώς επί παραδείγματι, όσον αφορά στις ιδιότητες του εδάφους, η βάση του SWAT δίνει μια πλειάδα δεδομένων τα οποία είναι απαραίτητο να συνδεθούν με τις ιδιότητες των

³⁷ Η συγκεκριμένη εργασία αφορά μικρούς ταμιευτήρες, πράγμα το οποίο σημαίνει πως η μόνη από τις τρεις προϋποθέσεις που εξετάζονται, για να ορίζεται ένα φράγμα μικρό, είναι το ύψος φράγματος να είναι μέχρι 15m. Το μήκος στέψης δεν πρόκειται να ξεπεράσει τα 500m και το μέγεθος του ταμιευτήρα το 1.000.000m³.

εδαφών στις Αφρουσές. Αυτό είναι μια εργασία που απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις εδαφολογίας. Η αντιστοίχιση στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε με βάση την υδροπερατότητα του εδάφους. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η αντιστοίχιση αυτή πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες λειτουργίας του μοντέλου, στηριζόμενη στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και στους υπάρχοντες υδρολιθολογικούς χάρτες. Κατά συνέπεια, η επιλογή αυτή στερεί τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα των φερτών υλικών που δίνει το SWAT, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως μείωση όγκου στον ταμιευτήρα στον κάθε χρόνο της προσομοίωσης.

- ✚ Η έλλειψη αξιόπιστων δεδομένων απορροής στο νησί κάνει αδύνατη τη βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου και συνεπώς αναγκαστικά τα αποτελέσματα αξιολογούνται συγκριτικά με αυτά άλλων μελετών, όπως για παράδειγμα με το αδρομερές μοντέλο βροχής-απορροής τύπου Thornthwaite της Διαχειριστικής Μελέτης του Υπουργείου Ανάπτυξης.
- ✚ Για την προσομοίωση του ταμιευτήρα θεωρήθηκε πως η θερμοκρασία ανά μήνα είναι σταθερή (χρησιμοποιήθηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία, όπως αυτή προέκυψε από την επεξεργασία δεδομένων παρελθόντων ετών) για τα 100 χρόνια της προσομοίωσης.
- ✚ Επίσης, η προσομοίωση του ταμιευτήρα πραγματοποιήθηκε μόνο για φράγμα με κλίση 2:1.
- ✚ Επιπλέον, η προσομοίωση αυτή έγινε με ένα σενάριο κατανομής της ζήτησης ανά μήνα.

Οι παραπάνω παραδοχές ορίζουν ένα συγκεκριμένο πλαίσιο αβεβαιότητας, μέσα στο οποίο τα αποτελέσματα της εργασίας αξιολογούνται ανάλογα. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονισθεί το γεγονός πως η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε αποτελεί ένα υπόδειγμα ποσοτικοποίησης της επιφανειακής απορροής, η οποία ενδέχεται να ενταχθεί σε ένα ευρύτερο πλαίσιο διαχειριστικής εφαρμογής. Τούτο σημαίνει πως σε πρακτικό επίπεδο, πριν την υλοποίηση οποιουδήποτε έργου (κατασκευής φράγματος) επιβάλλεται η διενέργεια γεωλογικής μελέτης έτσι ώστε να αποσαφηνιστούν οι τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες. Αυτή η μελέτη ενδέχεται να αναδείξει την ανάγκη πρόσθετων μέτρων προς αποφυγή ενδεχόμενων αστοχιών. Εξάλλου, η παρούσα εργασία εντάσσεται σε ένα γενικότερο πλαίσιο διαχείρισης και διερευνά ένα συγκεκριμένο σενάριο μοντελοποίησης. Η μοντελοποίηση αυτή προσφέρει

αποτελέσματα που συνεχώς μπορούν να βελτιστοποιούνται καθώς τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται γίνονται ολοένα και πιο αξιόπιστα.

Η δυνατότητα λοιπόν που προσφέρει η Γεωπληροφορική και τα μοντέλα αποτελούν ένα ακόμη εργαλείο στη διάθεση του μελετητή-ερευνητή προκειμένου να προσομοιώσει καλύτερα το φυσικό περιβάλλον. Ίσως μεγαλύτερη αξία από αυτά καθ'αυτά τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου σεναρίου έχει ότι με την προτεινόμενη μοντελοποίηση μπορούν να ληφθούν αυτοματοποιημένα ποσοτικά αποτελέσματα για πληθώρα διαφορετικών σεναρίων έτσι ώστε να προσομοιωθούν οι σημερινές αλλά και οι αναμενόμενες μελλοντικές συνθήκες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο χρήστης του SWAT έχει τη δυνατότητα να παραμετροποιεί στοιχεία της βάσης δεδομένων του μοντέλου προκειμένου να το προσαρμόσει στις ανάγκες του, καθώς στοιχεία και δεδομένα που χρησιμοποιεί μπορούν να βελτιώνονται και να αναθεωρούνται διαρκώς. Το γεγονός αυτό μετατρέπει το SWAT σε μια αξιόπιστη λύση προκειμένου να διερευνηθούν διάφορα φαινόμενα (απορροή, φερτά, κλιματική αλλαγή κτλ)

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η διαχείριση των υδατικών πόρων επιβάλλει τη συνεχή παρακολούθησή τους, με σκοπό την προστασία τους και τη διαρκή επικαιροποίηση των διαχειριστικών σχεδίων και των πολιτικών για τη βιωσιμότερη αξιοποίησή τους. Η υιοθέτηση των κατάλληλων πρακτικών είναι δυνατό να οδηγήσει στην αναβάθμιση των υδατικών πόρων ποιοτικά και ποσοτικά.

Η παρούσα εργασία, μέσα σε αυτό το πλαίσιο, προτείνει μια συγκεκριμένη μεθοδολογία αξιοποίησης της επιφανειακής απορροής στη Ν. Άνδρο. Η πρόταση αυτή μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός μεγαλύτερου διαχειριστικού σχεδίου ανάπτυξης του νησιού, αλλά και γενικότερα νησιωτικών συμπλεγμάτων, όπου, λόγω της απομόνωσης από το ηπειρωτικό σύμπλεγμα, η αειφορική διαχείριση των κατά τόπους φυσικών πόρων είναι επιβεβλημένη.

Η περαιτέρω διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος μπορεί να περιλαμβάνει κάποιες συγκεκριμένες δράσεις, οι οποίες μπορούν να δώσουν αποτελέσματα που να προσεγγίζουν κατά το δυνατόν την πραγματικότητα. Τέτοιες δράσεις μπορεί να είναι, αρχικά, η βαθμονόμηση του μοντέλου (Green and Griensven 2008) στα δεδομένα της Άνδρου και ανάλυση ευαισθησίας του (Kannan et al. 2007). Κάτι τέτοιο μπορεί να

γίνει εφικτό, καθώς ήδη, όπως αναφέρθηκε, έχουν τοποθετηθεί όργανα μέτρησης στη λεκάνη των Αφρουσών (από το Εργαστήριο Υδατικών Πόρων του Τμήματος Τοπογραφίας του ΑΤΕΙ Αθήνας), ένας βροχογράφος και ένας σταθμηγράφος και παράλληλα γίνονται τακτικά υδρομετρήσεις με μυλίσκους στα ρέματα της Άνδρου. Τα αποτελέσματα απορροής μπορούν να συγκριθούν με αυτά άλλων μεθόδων (Bourletsikas et al. 2006), καθώς επίσης και με τη χρήση δορυφορικών εικόνων όσον αφορά στην επιφάνεια του ταμιευτήρα (Finch 1997) και κατ' επέκταση τον διαθέσιμο όγκο απόληψης.

Επίσης, μπορούν να γίνουν προσομοιώσεις λαμβάνοντας υπόψη διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής (Wu and Johnston 2007), υποεκτιμημένα μετεωρολογικά δεδομένα και διερευνώντας κάθε φορά τις απορροές που δίνει το SWAT (Ficklin et al. 2009). Ένα ακόμη ζήτημα είναι η αλλαγή στην απορροή από συστηματική αλλαγή των χρήσεων γης (Ullrich and Volk 2009).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για τις προσομοιώσεις στις δύο επιλεγμένες θέσεις φράγματος, καθώς και για τη λεκάνη απορροής των Αφρουσών, συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας από μετεωρολογικό σταθμό των ΗΠΑ, με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος με την Άνδρο. Είναι εφικτή η περαιτέρω βελτιστοποίηση των προσομοιώσεων, χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον Ευρωπαϊκό Άτλαντα Ηλιακής Ακτινοβολίας (ESRA screen – European Solar Radiation Atlas)³⁸.

Η σύνταξη ενός εδαφολογικού χάρτη της Άνδρου με επιτόπου μετρήσεις και καταγραφές θα συνεισέφερε στην παραγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων από το SWAT (Muttiah and Wurbs 2002).

Εξίσου σημαντική είναι η διερεύνηση συγκεκριμένων/μεμονομένων πλημμυρικών φαινομένων μέσω της ημερήσιας προσομοίωσης του μοντέλου, προκειμένου να μελετηθούν χάρτες σχεδιασμού πλημμύρας, καθώς και σενάρια προστασίας από καταστροφικά γεγονότα (Ko and Cheng 2004). Η συγκεκριμένη διερεύνηση έχει νόημα και σε σχέση με τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, καθώς για παράδειγμα μια μικρή αύξηση στη θερμοκρασία θα επιφέρει αύξηση στην εξατμισοδιαπνοή και κατά συνέπεια μείωση στην απορροή (Frederick and Major 1997).

³⁸ Από την ιστοσελίδα <http://www.helioclim.net/esra/radiation.html>

Όπως προαναφέρθηκε, στην παρούσα εργασία δεν εξετάστηκε καθόλου η εκτίμηση των φερτών υλικών (sediments), την οποία αποδίδει το μοντέλο με τα υπόλοιπα αποτελέσματα. Η εκτίμηση αυτή είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη (εφόσον υπάρχουν και πιο αξιόπιστα εδαφολογικά δεδομένα), καθώς διαδραματίζει ένα κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία του ταμιευτήρα, όσον αφορά στον διαθέσιμο όγκο απόληψης νερού (Mixon et al. 2008).

Επιπλέον, μπορούν να διερευνηθούν τα αποτελέσματα στην προσομοίωση ταμιευτήρα υπό το πρίσμα διαφορετικών σεναρίων όσον αφορά στην αλλαγή των συντελεστών κατανομής της ζήτησης ανά μήνα, αλλά και διαφορετικών όγκων απόληψης από τον ταμιευτήρα ανάλογα με την εκάστοτε ζήτηση. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να γίνει και σύγκριση με εργασίες σχετικά με τη διαχείριση ταμιευτήρα με καμπύλες ελέγχου³⁹ (Adeloye et al. 2003).

Ένα σημείο που θα άξιζε, επιπροσθέτως, να διερευνηθεί περαιτέρω είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων για την επιλογή της θέσης για κατασκευή φράγματος, της παρούσας εργασίας με τα αποτελέσματα άλλων εργασιών που έχουν γίνει κατά καιρούς και αφορούν στη θέση και στο μέγεθος του ταμιευτήρα (Sawunyama et al. 2006), αλλά και του μεγέθους του φράγματος συγκρινόμενο με πιο κλασσικές μεθόδους προσδιορισμού του (Furnans and Austin 2008).

Τέλος, είναι εφικτή η μέτρηση-ποσοτικοποίηση της αειφορίας των λιμνοδεξαμενών που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, με τη χρησιμοποίηση μιας μεθοδολογίας⁴⁰ μέτρησής της με συγκεκριμένους δείκτες, όπως για παράδειγμα η ανθεκτικότητα του έργου, η αξιοπιστία, η τρωτότητα και η σχετική τρωτότητα (Loucks 1997).

Οι παραπάνω προτάσεις αποτελούν ένα πολύ ικανοποιητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορεί ένας ερευνητής να κινηθεί, έτσι ώστε να μπορέσει να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα λήψης απόφασης προς την κατεύθυνση της δημιουργίας ή όχι ταμιευτήρων σε διάφορες ορεινές και ημιορεινές περιοχές στην Ελλάδα.

Να αναφερθεί σε αυτό το σημείο πως στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Αξιοποίηση επιφανειακών απορροών στη Νήσο Άνδρο με τη δημιουργία ορεινών ταμιευτήρων νερού» εξετάζεται η δυνατότητα εφαρμογής της μεθοδολογίας που

³⁹ Control curves.

⁴⁰ Kalogeropoulos Kleomenis, *Sensitivity of quantitative sustainability indices to water resources planning characteristics*, Dissertation for partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Water Resources Engineering Management, Department of Civil and Offshore Engineering, Heriot-Watt University, Edinburgh, September 2002.

αναπτύχθηκε σε λεκάνες αντίστοιχης κλίμακας στα νησιά του Αιγαίου και όχι μόνο, καθώς η εφαρμογή στην Άνδρο αποτελεί ένα πρόγραμμα πιλότο (pilot).

Τα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι σαφώς ασφυκτικά, έτσι ώστε να μπορέσει να επεκταθεί σε τόσα πολλά και ενδιαφέροντα πεδία όπως της υδρολογίας, της υδρογεωλογίας, της στατιστικής, των υδρολογικών μοντέλων και εντέλει της διαχείρισης των φυσικών πόρων. Εξάλλου δεν είναι και αυτός ο σκοπός της εργασίας, η οποία στόχευσε κυρίως στην εφαρμογή μιας μεθοδολογίας που δυνητικά μπορεί να υιοθετηθεί μέσα σε ένα γενικότερο πλαίσιο αειφορικής διαχείρισης του πολύτιμου φυσικού πόρου το οποίο λέγεται **ύδωρ**.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρουλακάκης Ν., Κουτσόπουλος Κ. (2005) *Εφαρμογές Λογισμικού ARCGIS 9x με Απλά Λόγια*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου,.

ΕΜΠ, *Έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στην Άνδρο, Ερευνητικό Έργο*, Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, 2006.

Βλαστού Α., Κλωνή Α., *Μελέτη Θέσεων Ορεινών Ταμιευτήρων στην Άνδρο*, Πτυχιακή Εργασία, ΑΤΕΙ Αθήνας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Τοπογραφίας, 2010.

Γεωργιάδου Κ., Εκτίμηση Πλημμυρικών Μεγεθών σημαντικών λεκανών απορροής της Ν. Άνδρου κοντά σε οικισμούς του νησιού, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., 2004.

ΕΜΠ, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Δημιουργία Συστήματος Παροχής Υπηρεσιών Ύδρευσης Αποχέτευσης στα Νησιά των Κυκλάδων, Ερευνητικό Πρόγραμμα, 1η Έκθεση Προόδου, 2001.

Ευστρατιάδης Α., Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, 2008.

Καμπέραϊ Βικέλ, Διερεύνηση της ευαισθησίας του ομοιώματος SWAT στην πυκνότητα της βροχομετρικής πληροφορίας για την προσομοίωση της απορροής υδρολογικής λεκάνης, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΠΜΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Ε.Μ.Π., 2007.

Καπλανίδης Α., Τα φράγματα και οι λιμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Πρακτικά Συνεδρίου ΤΕΕ.

Καραλής Σ., Ζαχαριά Χ., *Εισαγωγή στο SWAT*, Σημειώσεις ΙΕΚΕΜ-ΤΕΕ για το σεμινάριο «Περιβαλλοντολογικά Μοντέλα Νερού», 2009.

Κατσίρη Α., Κουτσογιάννης Δ., *Ταμιευτήρες: Αναγκαιότητα, επιπτώσεις και διαχείρισή τους. Το παράδειγμα του ταμιευτήρα Ταυρωπού*, σημειώσεις για το Διατμηματικό μάθημα: Περιβάλλον & Ανάπτυξη, Ε.Μ.Π., 2005.

Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος Θ. (1997) *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 2, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα,.

Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ. (1999) *Τεχνική Υδρολογία*, ΕΜΠ, 3η έκδ.

Κουτσογιάννης, Δ., Ανδρεαδάκης Α., Μαυροδήμου Α., Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Φεβρουάριος, 2008.

Μιμίκου Μ., Μπαλτάς Ε. (2006) *Τεχνική Υδρολογία*, εκδ. Παπασωτηρίου, 4η έκδ.

Μιμίκου Μ., (2006) *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, εκδ. Παπασωτηρίου, 3η έκδ.

Παπανικολάου Δ. (1978) Γεωλογικός Χάρτης της Νήσου Ανδρου, σε κλίμακα 1/50.000 (1974-1976), Έκδοση ΙΓΜΕ (Δημ. 13).

Πισσίας Βαγγέλης, Αξιοποίηση επιφανειακών απορροών στη Νήσο Άνδρο με τη δημιουργία ορεινών ταμιευτήρων νερού, Ερευνητικό Έργο, Έκθεση Προόδου Δράσης 1, ΑΤΕΙ Αθήνας, 2010.

Σταματελάτος Μ., Βάμβα-Σταματελάτου (2001) *Επίτομο Γεωγραφικό Λεξικό της Ελλάδας*, εκδ. Ερμής.

Στουρνάρας Γεώργιος (2007) ΝΕΡΟ Περιβαλλοντική Διάσταση & Διαδρομή, Εκδόσεις Τζιόλα.

Τεχνολογισμική, Οδηγός χρήσης προγραμμάτων της εταιρείας.

Τσόγκας Χ., Τσόγκα Ε. (2006) *Υδροδυναμικά Έργα-Φράγματα*, Εκδόσεις Ίων.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, *Τα Φράγματα και οι Λιμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων*, Ειδική Γραμματεία Γ' Κ.Π.Σ., Φεβρουάριος 2006.

Υπουργείο Γεωργίας, Μελέτη Μικρών λιμνοδεξαμενών στα νησιά Β. Κυκλάδων, 1991.

Υπουργείο Γεωργίας, Μελέτη μικρών λιμνοδεξαμενών στα νησιά Β. Κυκλάδων (Κέα, Άνδρος, Σύρος, Μύκονος, Τήνος, Σέριφος, Σίφνος, Κύθνος, Μήλος, Κίμωλος) – Αναγνωριστική Μελέτη, 1991.

Υπουργείο Γεωργίας, Οριστική μελέτη Φράγμα στη θέση ΑΤΕΝΙ Άνδρου, Τεχνική Έκθεση, 1993.

Φυτιάνος Κων/νος, Διάλεξη στο Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης & Αυτοδιοίκησης, Σημειώσεις για το Επιμορφωτικό Σεμινάριο με θέμα «*Διαχείριση Υδατικών Πόρων*», Ιούλιος 2008.

Χαλκιάς Χρίστος, (2006) *Όροι & Έννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών*, Εκδ. Ίων.

Χαλκιάς Χρίστος, *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*, Σημειώσεις, Καλλιθέα, 2007.

Wilson E. (1977) *Υδρολογία*, [μτφρ. Η. Βασιλόπουλος], εκδ. Μ. Γκιούρδας.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adeloye A., Psarogiannis A., Montaseri M. (2003) Improved heuristic reservoir operation using control curves incorporating the vulnerability norm, Water Resources Systems-Hydrological Risk, Management and Development (Proceedings of symposium HS02b held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003), IAHS Publ. no. 281, p. 192-199.

Arnold J.G., Di Luzio M. et al. (2002) *Soil and Water Assessment Tool User's Manual*, Blackland Research Center, Texas.

Arnold J.G., Di Luzio M. et al. (2002) *Soil and Water Assessment Theoretical documentation*, Blackland Research Center, Texas.

Ashraf M., Kahlowan M., Ashfaq A. (2007) *Impact of small dams on agriculture and groundwater development A case from Pakistan*, Agricultural Water Management, Vol. 92, p. 90-98.

Birhanu B., Ndomba P., Mtalo F. (2007) *Application of SWAT for Mountainous Catchment*, Catchment and Lake Research, LARS.

Bohlen C., Lewis L. (2009) *Examining the economic impacts of hydropower dams on property values using GIS*, Journal of Environmental Management, Vol. 90, p. S258-S269.

Bouraoui F., Benabdallah S., Jrad A., Bidoglio G. (2005) *Application of the SWAT model on the MedJerda river basin (Tunisia)*, Physics and Chemistry of the Earth, vol. 30, p. 497-507,.

Bourletsikas Athanasios, Baltas Evangelos, Mimikou Maria (2006) *Rainfall-Runoff Modeling for an Experimental Watershed of Western Greece Using Extended Time-Area Method and GIS*, Journal of Spatial Hydrology, Vol. 6, no. 1.

Brown P., Tullos D., Tilt B., Magee D., Wolf A. (2009) *Modeling the cost and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective*, Journal of Environmental Management Vol. 90.

Brundtland, G.H., (1987) World Commission on Environment and Development Our Common Future, Oxford University Press,.

Chaplot V. (2005) Impact of DEM size and soil map on SWAT runoff, sediment, and NO₃-N loads predictions, Journal of Hydrology Vol. 312, p. 207-222.

Cheng Q., Ko C., Yuan Y., Ge Y., Zhang S. (2006) GIS modeling for predicting river runoff volume in ungauged drainages in the Greater Toronto Area, Canada, Computers & Geosciences, Vol. 32, p. 1108-1119.

Chow V., Maidment D., Mays L. (1988) *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Editions.

Chow, V.T., Maidment D.R., Mays L.W. (1988) *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.

Coroza O., Evans D., Bishop I. (1997) *Enhancing runoff modeling with GIS*, Landscape and Urban Planning, Vol. 38, p. 13-23.

Ficklin D., Luo Y., Luedeling E., Zhang M. (2009) *Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT*, Journal of Hydrology, Vol. 374, p. 16-29.

Finch J. W. (1997) Monitoring small dams in semi-arid regions using remote sensing and GIS, Journal of Hydrology, Vol. 195, p. 335-351.

Forzieri G., Gardenti M., Caparrini F., Castelli F. (2008) A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A

case study in the region of Kidal, Mali, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 33, p. 74-85.

Frederick K.D., Major D. C. (1997) *Climate change and water resources*, Climatic Change, Vol. 37, p. 7-23.

Furnans J., Austin B. (2008) *Hydrographic survey methods for determining reservoir volume*, Environmental Modelling & Software, Vol. 23, p. 139-146.

Gassman P., Reyes M., Green C., Arnold J. (2007) *The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 50 (4), p. 1211-1250.

Geza M., McCray J. (2008) Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions, *Journal of Environmental Management*, Vol. 88, p. 393-406.

Green C.H., Griensven A. van (2008) *Autocalibration in hydrologic modeling Using SWAT2005 in small-scale watersheds*, Environmental Modelling & Software, Vol. 23, p. 422-432.

Hawkins R., Ward T., Woodward D., Van Mullem J. (2009) *Curve Number*, Hydrology.

Gregory I., Ell P. S. (2007) *Historical GIS: technologies, methodologies and scholarship*, Cambridge Studies in Historical Geography.

Institute of Meteorology and Water Management, *Study Of Historical Floods In Central And Eastern Europe From An Integrated Flood Management Viewpoint*, Poland, Warsaw, WMO/GWP Associated Programme on Flood Management, 2005.

Jacobs J., Angerer J., Vitale J., Shrinivasan R., Kaitho R. (2007) *Mitigating Economic Damage in Kenya's Upper Tana River Basin: An application of Arc-View SWAT*, Journal of Spatial Hydrology, Vol. 7, No. 1, 2007.

Kalogeropoulos Kleomenis, *Sensitivity of quantitative sustainability indices to water resources planning characteristics*, Dissertation for partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Water Resources Engineering Management, Department of Civil and Offshore Engineering, Heriot-Watt University, Edinburgh, September 2002.

Kannan N., White S., Worrall F., Whelan M. (2007) Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modeling in SWAT-2000, Journal of hydrology, Vol. 332, p. 456-466.

Khelifi S., Ameer M., Mtimet N., Ghazouani N., Belhadj N. (2010) *Impacts of small hill dams on agricultural development of hilly land in the Jendouba region of northwestern Tunisia*, Agricultural Water Management, Vol. 97, p. 50-56.

Ko C., Cheng Q. (2004) GIS spatial modeling of river flow and precipitation in the Oak Ridges Moraine area, Ontario, Computers & Geosciences, Vol. 30, p. 379-389.

Kundzewicz Z. W. (1998) *Comparative assessment of reservoirs with non-reservoir alternatives*, Sustainable Reservoir Development and Management, Report by the IAAS/ICWRS Project Team, IAHS Publ. no. 251.

Lajoie F., Assani A., Roy A., Mesfioui M. (2007) *Impacts of dams on monthly flow characteristics. The influence of watershed size and seasons*, Journal of Hydrology, Vol. 334, p. 423-439.

Li S., Liang H., Li A. (2008) A semi-analytical solution for characteristics of a dam-reservoir system with absorptive reservoir bottom, Journal of Hydrodynamics, Vol. 20, No. 6, p. 727-734.

Loucks D. P. (1997) Quantifying trends in system sustainability, *Hydrological Science Journal*, Vol. 42, p. 513-530.

Magilligan F., Nislow K. (2005) *Changes in hydrologic regime by dams*, *Geomorphology*, Vol. 71, p. 61-78.

Maidment, D.R., (1993) *Handbook of Hydrology*, (Editor in Chief), McGraw-Hill.

Maidment, D.R., Djokic D. (2000), *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with GIS*, ESRI Press, Redlands CA.

Mixon D., Kinner D., Stallard R., Syvitski J. (2008) *Geolocation of man-made reservoirs across terrains of varying complexity using GIS*, *Computers & Geosciences*, Vol. 34, p. 1184-1197.

Muttiah R., Wurbs R. (2002) Scale-dependent soil and climate variability effects on watershed water balance of the SWAT model, *Journal of Hydrology*, Vol. 256, p. 264-285.

Neitsch, S.L., Arnold J. G., Kiniry J. R., Williams J. R. (2001) *Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation version 2000*.

(Available at: <http://www.brc.tamus.edu/swat/doc.html>)

Neitsch, S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan R., Williams J.R. (2004) *Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation Version 2005*. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA-ARS.

Nilsson, C. et al. (2005) Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems, *Science*, 308.

Omani N., Tajrishy M., Abrishamchi A. (2007) *Modeling of a River Basin using SWAT Model and GIS*, *Rivers '07*, Malaysia.

Patra K. C. (2001) *Hydrology and Water Resources Engineering*, Alpha Science, 2001.

Pisinaras V., Petalas C., Gikas G., Gemitzi A., Tsihritzis A. (2010) Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), *Desalination*, Vol. 250, p. 274-286.

Sawunyama T., Senzanje A., Mhizha A. (2006) Estimation of small reservoir storage capacities in Limpopo River. Basin using geographical information system (GIS) and remotely sensed surface areas: Case of Mzingwane catchment, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 31, p. 935-943.

Schäuble H., Marinoni O., Hinderer M. (2008) A GIS-based method to calculate flow accumulation by considering dams and their specific operation time, *Computers & Geosciences*, Vol. 34, p. 635-646.

Schuol J., Abbaspour K., Shrinivasan R., Hong Y. (2008) Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model, *Journal of Hydrology*, Vol. 352, p. 30-49.

Sui D., Maggio R. (1999) *Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects*, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 23, p. 33-51.

Ullrich A., Volk M. (2009) Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity, *Agricultural Water Management*, Vol. 96, p. 1207-1217.

Wu K., Johnston C. (2007) Hydrological response to climatic variability in a Great Lakes Watershed: A case study with the SWAT model, *Journal of Hydrology*, Vol. 337, p. 187-199.

Zheng J., Li G., Han Z., Meng G. (2010) *Hydrological cycle simulation of an irrigation district based on a SWAT model*, Mathematical and Computer Modelling, Vol. 51, p. 1312-1318.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - Αποτελέσματα Προσομοίωσης του SWAT

Ο πίνακας που ακολουθεί αποτελεί μέρος των αποτελεσμάτων που εξάγει το SWAT και παρουσιάζει τα ετήσια αποτελέσματα της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής στις δύο επιλεγμένες θέσεις.

YEAR	PRECIPITATION (mm)	ΘΕΣΗ 1 WATER YIELD (mm)	ΘΕΣΗ 2 WATER YIELD (mm)
2010	607.46	296.66	300.87
2011	628.82	421.18	422.22
2012	566.93	293.54	296.37
2013	413.52	199.23	200.74
2014	537.67	283.88	286.56
2015	771.44	455.87	459.19
2016	603.11	361.54	363.42
2017	676.29	366.04	369.34
2018	496.94	265.50	267.06
2019	834.44	464.66	469.29
2020	847.53	568.80	569.99
2021	471.22	251.30	252.15
2022	404.26	213.63	215.32
2023	349.51	188.59	189.71
2024	498.93	230.49	234.35
2025	425.60	224.03	225.31
2026	588.99	323.69	326.44
2027	532.64	282.50	285.14
2028	341.52	165.51	166.76
2029	612.97	324.25	327.21
2030	689.41	373.61	377.20
2031	612.04	353.03	354.42
2032	558.39	313.80	315.83
2033	519.16	257.40	260.61
2034	775.68	479.52	482.03

2035	534.52	304.20	304.63
2036	502.06	265.74	266.77
2037	618.86	355.43	356.88
2038	660.11	349.92	354.46
2039	235.75	108.76	109.15
2040	671.45	357.68	362.48
2041	510.85	300.83	301.29
2042	595.11	318.31	321.34
2043	732.80	429.00	432.19
2044	744.09	479.05	480.12
2045	767.67	456.43	458.78
2046	522.21	325.94	327.24
2047	400.74	225.72	227.16
2048	684.62	376.56	380.17
2049	449.18	243.39	243.55
2050	682.76	360.11	364.60
2051	593.64	340.68	342.60
2052	237.55	102.07	103.12
2053	786.92	479.82	483.12
2054	598.57	319.38	321.50
2055	382.48	167.57	169.50
2056	286.53	116.06	117.53
2057	617.08	354.59	357.27
2058	620.03	341.90	344.61
2059	597.95	330.69	333.31
2060	453.73	242.54	244.08
2061	618.03	340.10	343.17
2062	528.52	285.96	287.45
2063	459.16	216.34	219.43
2064	487.89	265.89	267.79
2065	540.76	305.17	307.11
2066	467.56	243.73	246.26
2067	489.57	262.92	264.74
2068	729.42	464.51	466.56
2069	479.12	267.94	269.74
2070	603.19	324.00	326.99
2071	601.94	330.81	333.16
2072	484.67	269.69	271.04
2073	717.91	446.35	449.25
2074	431.47	265.97	266.64

2075	447.07	195.99	199.86
2076	441.49	225.77	227.41
2077	641.22	322.15	326.01
2078	458.28	240.64	242.50
2079	742.33	422.40	426.28
2080	488.24	317.95	318.01
2081	501.03	211.05	214.71
2082	433.24	265.38	267.60
2083	515.64	314.04	315.18
2084	768.72	511.14	512.73
2085	252.79	101.22	103.22
2086	510.77	237.86	240.87
2087	634.89	364.86	367.19
2088	440.74	176.21	179.31
2089	617.47	386.16	387.07
2090	463.86	260.41	262.00
2091	655.71	377.91	381.08
2092	469.99	286.55	286.90
2093	492.04	239.46	242.47
2094	431.84	224.85	227.37
2095	554.06	311.61	313.30
2096	699.51	388.12	390.99
2097	776.70	498.27	501.05
2098	721.78	449.84	450.86
2099	316.37	146.45	147.30
2100	652.37	359.45	362.67
2101	1170.54	659.80	663.35
2102	615.38	365.43	366.97
2103	586.76	259.11	261.85
2104	604.5	448.76	449.53
2105	730.19	371.04	374.27
2106	594.22	348.56	352.16
2107	691.03	416.36	417.24
2108	490.64	270.68	272.67
2109	516.42	323.55	324.61
2110	580.61	307.45	310.84

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II – Αποτελέσματα προσομοίωσης SWAT για τη λεκάνη των Αφρουσών (συνολικά)

UNIT TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	PERCOLATE	TILE Q	SW	ET	PET	WATER YIELD	SED YIELD
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(t/ha)
2010	607,5	7,72	267,75	3,39	9,9	0	83,72	259,351	118,25	278,82	20
2011	628,8	44,74	320,11	28,41	26,22	0	57,1	266,181	51,23	393,18	87,07
2012	566,9	10,42	250,53	8,95	9,82	0	58,62	295,311	228,76	269,86	20,26
2013	413,5	19,41	159,9	4,95	5,48	0	50,52	236,641	111,05	184,25	46,57
2014	537,7	7,08	239,46	9,77	11,14	0	44,01	287,251	100,48	256,29	19,93
2015	771,4	45,03	360,85	19,08	21,19	0	64,87	323,131	185,03	424,89	90,85
2016	603,1	36,76	285,88	15,2	17,23	0	56,37	271,281	143,2	337,79	74,27
2017	676,3	16,42	311,91	10,02	17,67	0	83	303,161	146,14	338,27	18,13
2018	496,9	6,74	217,32	11,38	8,21	0	59,11	289,731	128,56	235,42	11,79
2019	834,4	39,33	390,22	12,26	24,13	0	113,79	318,201	189,94	441,74	60,9
2020	847,5	86,87	418,29	34,33	35,48	0	96,38	332,221	152,68	539,39	121,51
2021	471,2	16,03	193,01	14,6	6,93	0	60,64	271,371	191,87	223,6	24,94
2022	404,3	6,29	177,4	7,06	7,59	0	60,53	229,181	79,08	190,71	6,01
2023	349,5	7,5	156,71	7,26	7,28	0	19,13	223,871	219,95	171,45	13,09
2024	498,9	4,21	215,73	0,89	5,26	0	71,21	220,121	72,09	220,8	6,6
2025	425,6	9,63	180,67	9,83	7,01	0	37,21	263,611	118,24	200,11	23,34
2026	589	12,92	270,86	10,58	11,87	0	42,43	287,201	149,94	294,31	24
2027	532,6	6,88	241,87	8,29	10,8	0	61,48	253,951	101,71	257	9,19
2028	341,5	5	136,96	5,65	5,04	0	12,77	244,391	110,24	147,58	4,49
2029	613	11,59	273,62	10,12	11,37	0	29,91	290,211	136,86	295,31	34,46
2030	689,4	17,09	321,29	9,01	14,73	0	64,17	310,101	219,35	347,33	23,19
2031	612	26,69	276,14	17,37	15,02	0	45,78	309,371	179,97	320,15	71,4
2032	558,4	14,59	258	12,23	13,46	0	39,03	283,091	197	284,77	38,02
2033	519,2	3,45	228,25	4,84	7,1	0	53,69	264,531	183,5	236,52	4,82
2034	775,7	42,39	381,74	20,48	26,28	0	80,88	296,511	151,34	444,53	85,3
2035	534,5	45,06	220,9	14,75	12,23	0	62,35	276,891	163,54	280,64	62,65
2036	502,1	11,05	210,21	12,82	13,26	0	25,23	288,081	137,44	234,06	29,56
2037	618,9	31,14	277,76	16,67	18,46	0	23,64	310,421	71,15	325,52	80,84
2038	660,1	16,5	299,85	9,78	12,75	0	60,74	292,961	94,2	326,08	31,59
2039	235,8	3,54	82,97	6,41	5,52	0	6,31	199,281	128,92	92,9	3,98
2040	671,5	19,5	302,29	9,79	11,95	0	72,77	269,561	109,09	331,55	52,97
2041	510,9	24,67	231,46	14,12	14,65	0	30,96	282,641	142,93	270,22	59,23
2042	595,1	15,56	272,27	7,79	11,16	0	63,75	262,741	103,12	295,58	27,91
2043	732,8	21,26	356,97	14,14	23	0	96,44	296,791	71,5	392,3	35,9
2044	744,1	70,99	355,66	28,38	25,92	0	70,23	319,921	153,1	454,94	134,9
2045	767,7	48,75	359,12	20,18	24,39	0	82,61	322,221	105,53	427,95	86,86
2046	522,2	33,69	249,7	18,09	15,33	0	49,39	256,911	203,73	301,44	70,13
2047	400,7	4,96	186,72	8,83	8,98	0	34,06	216,511	64,97	200,48	8,23
2048	684,6	24,48	311,44	10,51	18,31	0	87,94	274,771	72,13	346,37	35,56
2049	449,2	24,52	181,01	14,36	9,26	0	29,11	295,831	146,73	219,83	58,25

2050	682,8	19,71	311,87	6,21	13,81	0	72,74	290,371	176,7	337,74	41,44
2051	593,6	28,58	265,7	14,91	12,64	0	61,17	300,561	154,39	309,13	41,8
2052	237,6	0,68	87,38	3,27	0,99	0	21,2	189,581	128,1	91,32	1,1
2053	786,9	37,95	391,37	15,93	21,53	0	77,65	276,841	162,7	445,17	69,22
2054	598,6	23,66	256,52	10,82	14,38	0	88,08	293,721	127,85	290,93	28,87
2055	382,5	1,85	145,83	5,45	0,22	0	42,63	281,831	215,95	153,12	2,6
2056	286,5	0,2	99,76	2,95	3,33	0	23,82	202,001	120,36	102,9	0,25
2057	617,1	18,07	296,76	11,84	13,31	0	38,93	274,211	140,08	326,65	49,45
2058	620	19,89	283,42	10,96	12,41	0	48,94	294,161	137,32	314,24	55,88
2059	598	13,22	275,99	10,85	15,51	0	68,22	271,201	139,05	300,01	21,2
2060	453,7	8,81	198,92	10,33	8,1	0	42,98	266,011	160,67	218,03	21,75
2061	618	18,46	286,64	8,54	13,16	0	76,54	265,771	172,91	313,61	36,34
2062	528,5	19,94	227,6	13,26	11,52	0	30,27	316,741	161,68	260,75	55,75
2063	459,2	2,89	193,84	3,32	4,09	0	43,72	243,791	114,77	200,04	14,81
2064	487,9	11,28	221,52	9,17	10,38	0	31,14	258,311	189,53	241,91	21,81
2065	540,8	12,17	243,76	14,63	16,05	0	36,37	255,211	32,89	270,49	32,97
2066	467,6	5,64	211,65	6,01	7,07	0	38,29	248,391	110,18	223,26	15,1
2067	489,6	5,39	219,92	9,48	10,58	0	35,67	257,001	131,52	234,76	14,03
2068	729,4	57,38	353,09	18,46	20,45	0	53,46	278,681	122,46	428,88	205,66
2069	479,1	9,16	224,4	10,13	11	0	31,52	259,381	208,07	243,64	23,51
2070	603,2	19,74	272,64	8,02	11,87	0	62,97	265,731	151,81	300,36	31
2071	601,9	16,76	270,42	11,99	12,91	0	55,43	310,361	163,59	299,14	50,9
2072	484,7	13	213,87	12,88	12,35	0	24,68	276,881	172,14	239,71	31,85
2073	717,9	51,72	356,61	13,7	18,72	0	66,53	248,321	106,14	421,98	113,4
2074	431,5	30,84	192,56	13,45	11,63	0	12,89	250,821	203,16	236,82	56,92
2075	447,1	2,84	186,73	0,01	0,14	0	45,21	223,551	197,22	189,57	7,46
2076	441,5	5,2	189,47	7,97	8,98	0	25,15	259,001	158,72	202,62	15,05
2077	641,2	23,14	279,08	3,7	9,56	0	67,32	285,631	211,78	305,89	40,93
2078	458,3	6	198,58	9,58	5,84	0	50,06	264,741	93,03	214,12	18,02
2079	742,3	22,34	355,42	11,48	21,52	0	94,04	295,991	137,9	389,18	44,78
2080	488,2	35,83	232,37	19,83	12,9	0	43,05	262,891	75,65	287,98	98,01
2081	501	5,76	191,37	2,32	3,96	0	61,08	233,201	118,22	199,44	10,83
2082	433,2	9,96	220,61	8,68	10,72	0	66,17	233,491	101,74	239,22	19,93
2083	515,6	19,5	247,89	15,07	14,73	0	42,06	251,981	111,97	282,4	62,99
2084	768,7	69,64	384,17	29,79	32,97	0	31,56	300,021	261,02	483,49	144,6
2085	252,8	2,48	98,38	0	0	0	26,09	158,121	217,46	100,86	5,02
2086	510,8	4,66	210,63	4,14	5,24	0	39,35	277,111	110,35	219,41	6,65
2087	634,9	27,06	294,94	13,83	15,51	0	41,01	295,741	216,69	335,78	69,63
2088	440,7	3,78	160,13	1,65	3,35	0	58,99	221,001	117,56	165,53	4,15
2089	617,5	49,22	288,69	16,47	20,78	0	80,43	268,371	55,87	354,31	93,27
2090	463,9	16,19	206,39	12,78	9,52	0	43,69	271,031	92,91	235,29	35,32
2091	655,7	25,9	315,75	10,33	16,81	0	77,4	263,191	138,06	351,89	49,06
2092	470	21,93	215,86	19,67	16,8	0	26,34	267,621	150,33	257,4	56,91
2093	492	7,61	210,46	4,27	5	0	38,02	255,871	73,73	222,33	26,56
2094	431,8	8,31	193,92	6,15	7,14	0	41,92	219,331	82,46	208,36	20,81
2095	554,1	27,59	245,51	11,73	13,04	0	42,43	266,381	207,98	284,78	56,78

2096	699,5	16,98	324,91	12,34	18,29	0	83,24	298,721	102,45	354,19	46,31
2097	776,7	95,65	370,2	13,51	22,9	0	102,27	264,841	60,1	479,31	181,43
2098	721,8	41,76	344,45	27,49	24,85	0	79,74	337,481	150,81	413,61	95,29
2099	316,4	3,39	117,18	7,08	1,81	0	27,86	246,771	151,76	127,63	7,22
2100	652,4	19,79	304,12	9,42	13,66	0	59,38	282,551	152,4	333,3	43,48
2101	1071	89,01	512,84	27,93	38,54	0	105,29	383,831	158,87	629,68	261,48
2102	615,4	27,63	280,22	25,57	21,6	0	69,17	323,141	71,49	333,35	79,3
2103	586,8	11,23	220,51	6,84	11,08	0	91,66	229,821	33,94	238,55	26,86
2104	604,5	65,46	321,7	35,95	33,8	0	57,29	309,081	160,04	422,99	162,78
2105	730,2	26,33	308,08	11,77	15,21	0	72,96	340,951	188,07	346,13	72,26
2106	594,2	18,56	299,54	8,07	17,55	0	105,2	247,311	134,39	326,12	37,96
2107	691	47,54	312	33,15	29,8	0	80,75	327,971	70,06	392,6	117,8
2108	490,6	17,7	223,91	8,52	9,88	0	73,62	247,511	139,04	250,11	38,95
2109	516,4	40,56	241,2	16,24	14,12	0	41,84	253,001	112,52	297,94	87,94

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ – Πίνακας Φραγμάτων & Λιμνοδεξαμενών του Υπουργείου Γεωργίας

(πηγή: Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης)

Α/Α	ΦΡΑΓΜΑ/ ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΘΕΣΗ	ΤΥΠΟΣ	ΥΨΟΣ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ ΣΤΕΨΗΣ (m)	ΟΓΚΟΣ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ	ΩΦΕΛΙΜΟΣ ΟΓΚΟΣ	ΧΡΗΣΗ
1	ΦΡΑΓΜΑ	ΚΟΝΤΙΑ Ν. ΛΗΜΝΟΥ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΑΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	24,5	254	167.000	1.100.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
2	ΦΡΑΓΜΑ	ΑΠΟΛΑΚΚΙΑ Σ Ν. ΡΟΔΟΥ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΑΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	46,7	405,5	756.000	7.600.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
3	ΦΡΑΓΜΑ	ΜΑΡΑΘΙΑ Ν. ΜΥΚΟΝΟΥ	RCC ΜΕ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚ Η ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤ ΟΣ ΑΝΑΝΤΗ	30	265	32.500	2.900.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
4	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΛΑΚΚΑΣ ΠΑΞΩΝ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	220	45.000	68.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
5	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΕΓΓΑΡΩΝ Ν. ΝΑΞΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	15	220	200.000	570.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
6	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΒΙΖΑΡΙΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ Ν. ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	800	200.000	660.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
7	ΦΡΑΓΜΑ	ΛΕΥΚΟΓΕΙΩ Ν ΔΡΑΜΑΣ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΑΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	32	360	834.829	11.954.480	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
8	ΦΡΑΓΜΑ	ΖΥΦΙΑ Ν. ΧΙΟΥ	ΧΩΜΑΤΙΝΟΣ ΟΜΟΓΕΝΕΣ	23	215	130.000	370.000	ΑΡΔΕΥΣΗ

9	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΒΕΛΑΝΙΔΙΑ ΜΑΡΑΘΟΚΑ ΜΠΟΥ Ν. ΣΑΜΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	13	430	110.000	342.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
10	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΣΚΟΛΟΝΙΤΗ Ν. ΡΟΔΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	11	1050	200.000	450.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
11	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΑΓ. ΕΙΡΗΝΗ ΛΙ ΚΕΦΑΛΛΟΝΙ ΑΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	927	102.318	500.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
12	ΦΡΑΓΜΑ	ΜΥΛΟΠΟΤΑ ΜΟΥ Ν. ΙΟΙΥ	ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΟ ΑΝΑΧΩΜΑ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	23	120	90.000	215.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
13	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΜΥΤΙΛΗΝΙΩ Ν Ν. ΣΑΜΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	250	70.000	150.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
14	ΦΡΑΓΜΑ	ΡΑΧΩΝ Ν. ΙΚΑΡΙΑΣ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	29	235	163.100	1.000.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
15	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΧΑΥΤΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ Ν. ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12,5	1151	370.000	860.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
16	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΜΕΣΑΡΙΑΣ Ν. ΚΩ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	120	135.000	225.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
17	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΜΗΘΥΜΝΑΣ Ν. ΛΕΣΒΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	13	280	120.000	580.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
18	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΚΕΡΑΜΙ- ΚΑΛΛΟΝΗΣ Ν. ΛΕΣΒΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	13	450	170.000	560.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
19	ΦΡΑΓΜΑ	ΦΕΝΕΟΥ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	56	225	683.000	5.179.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
20	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΠΑΝΑΓΙΑΣ Ν. ΛΕΙΨΩΝ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	8,5	240	19.000	36.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ

21	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΚΑΡΑΒΑΔΩ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ Ν. ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΣΤΟ ΑΝΑΧΩΜΑ	9	490	4.584	110.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
22	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΣΚΙΝΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ Ν. ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	1150	310.000	380.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
23	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΘΑΝΟΥΣ Ν. ΛΗΜΝΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	13	180	58.400	90.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
24	ΦΡΑΓΜΑ	ΛΕΙΒΑΔΙΟΥ Ν. ΑΣΤΥΠΑΛΛΙ ΑΣ	ΧΩΜΑΤΙΝΟΣ ΟΜΟΓΕΝΕΣ	31,5	235	100.000	875.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
25	ΦΡΑΓΜΑ	ΑΝΩ ΜΕΡΑΣ Ν. ΜΥΚΟΝΟΥ	RCC ΜΕ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚ Η ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤ ΟΣ ΑΝΑΝΤΗ	31	170	44.000	1.000.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
26	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΚΑΚΗΣ ΛΑΓΚΑΔΑΣ ΠΑΞΩΝ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	15	260	83.000	138.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
27	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΑΓ. ΘΕΟΔΩΡΟΙ ΧΑΝΙΩΝ Ν. ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	1240	300.000	650.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
28	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΥΚΟΥΣΗ Ν. ΧΙΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	451	110.000	180.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
29	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΒΙΚΙ Ν. ΧΙΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	11	265	24.000	150.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
30	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΥ (ΧΡΙΣΤΟΣ) Ν. ΙΚΑΡΙΑΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	10,5	181	26.000	80.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
31	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΓΕΡΓΕΡΗΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ Ν. ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12	800	112.000	255.000	ΑΡΔΕΥΣΗ

32	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΜΟΣΧΟΠΟΥ ΛΟΥ Ν. ΚΕΡΚΥΡΑΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΧΩΡΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	11	150	95.000	160.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
33	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΚΙΟΛΙΑ Ν. ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖ ΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	5,6	185	71.500	82.500	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
34	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΓΩΝΟΜΙΟΥ ΑΝΩΓΕΙΩΝ Ν. ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	19	250	42.000	750.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
35	ΦΡΑΓΜΑ	ΚΑΤΑΦΥΤΟ Υ ΔΡΑΜΑΣ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	33,5	300	71.700	750.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
36	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΠΛΑΤΥ Ν. ΚΩ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	10		132.000	342.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
37	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΚΑΡΥΑΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	10,5	450	145.000	402.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
38	ΦΡΑΓΜΑ	ΠΑΡΘΕΝΙ Ν. ΛΕΡΟΥ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	25,5	185	106.000	785.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
39	ΦΡΑΓΜΑ	ΕΡΕΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	41	350	780.000	2.450.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
40	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	11,5	447	130.000	155.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
41	ΦΡΑΓΜΑ	ΙΝΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ (ΕΞΩΠΟΤΑΜΙ Α)	30,5	300	500.000	1.750.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
42	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΑΓ. ΕΙΡΗΝΗ ΤΗΛΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	9	800	46.000	312.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
43	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	Ι 1-2 ΚΕΦΑΛΛΟΝΙ ΑΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΕΝΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	12		400.000	500.000	ΥΔΡΕΥΣΗ

44	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΛΙΒΑΔΑ ΤΗΝΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΣΤΟ ΑΝΑΧΩΜΑ	15	780	12.450	298.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
45	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΠΑΛΟΙ ΝΙΣΥΡΟΥ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	9,5	447	25.000	78.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
46	ΦΡΑΓΜΑ	ΣΤΕΝΟ ΣΕΡΙΦΟΥ	RCC ΜΕ ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚ Η ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤ ΟΣ ΑΝΑΝΤΗ	29	186	70.000	720.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
47	ΦΡΑΓΜΑ	ΦΑΝΕΡΩΜΕ ΝΗΣ ΝΑΞΟΥ	ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΟ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	49	270	451.000	1.467.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
48	ΦΡΑΓΜΑ	ΛΕΙΒΑΔΙ ΠΑΤΜΟΥ	ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΟ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	29,5	223,5	120.000	450.000	ΥΔΡΕΥΣΗ - ΑΡΔΕΥΣΗ
49	ΦΡΑΓΜΑ	ΦΑΝΕΡΩΜΕ ΝΗ ΜΕΣΣΑΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ	ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ	76	485	3.077.770	19.670.000	ΑΡΔΕΥΣΗ
50	ΛΙΜΝΟΔΕ ΞΑΜΕΝΗ	ΧΡΥΣΟΣΚΑΛ ΙΤΙΣΣΑ ΧΑΝΙΩΝ ΚΡΗΤΗΣ	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΜΕ ΑΚΑΛΥΠΤΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	11,5		350.000	560.000	ΑΡΔΕΥΣΗ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV – Μετρήσεις του Ανδριώτη μελισσοκόμου

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τις μετρήσεις του Ανδριώτη μελισσοκόμου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της δημιουργίας του συνθετικού σταθμού που χρησιμοποιεί το SWAT προκειμένου να εκτελέσει τις ζητούμενες προσομοιώσεις.

Έτος	Βροχόπτωση (mm)
1982	386
1983	590
1984	594
1985	500
1986	262
1987	541
1988	486
1989	288
1990	270
1991	488
1992	401
1993	340
1994	503
1995	497
1996	358
1997	745
1998	661
1999	380
2000	281

