



ΑΣΙ Χώρος

Κείμενα Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Ανάπτυξης

2015

20



Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Επιστημονικό Περιοδικό

αειχώρος

Διεύθυνση:
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας
και Περιφερειακής Ανάπτυξης
Περιοδικό ΑΕΙΧΩΡΟΣ
Πεδίον Άρεως, 383 34 ΒΟΛΟΣ
<http://www.aeihoros.gr>, e-mail: aeihoros@prd.uth.gr
τηλ.: 24210 – 74486

Επιμέλεια έκδοσης: Εύη Κολοβού
Λαγού: Παναγιώτης Μανέτος
Σχεδιασμός εξωφύλλου: Γιώργος Παρασκευάς-Παναγιώτης Μανέτος

Ανδρικοπούλου Ε., Κακδέρη Χ., Καυκαλάς Γ., Τασοπούλου Α.	4
Διαδρομές περιφερειακής ανθεκτικότητας: επιπτώσεις της κρίσης και προοπτικές χωρικής ανάπτυξης στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας	
Γεμεντζή Γ.	32
Αστική μορφή και μεταβολικές ροές - Παράγοντες και εργαλεία για τη διαμόρφωση ενός πλαισίου πολεοδομικού σχεδιασμού: Πιλοτική εφαρμογή στη Θεσσαλονίκη	
Κακλαμάνη Σ., Ντυκέν Μ.Ν.	66
Η πληθυσμιακή γήρανση στην ύπαιθρο χώρα: Μία ετερογενής κατάσταση με θετικές και αρνητικές επιπτώσεις	
Ανθοπούλου Θ., Πέτρου Μ.	96
Όψεις της κρίσης και της επιστροφής στον αγροτικό χώρο: Η συζήτηση για την αγροτική ανθεκτικότητα	
Μπίσκα Α., Στρατηγέα Α.	122
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η πορεία της Ελλάδας προς το 2020	
Καλογερόπουλος Κ., Χαλκιάς Χ., Πισσίας Β., Καραλής Σ., Ψαρογιάννης Α.	147
Χωροθέτηση μικρών ταμιευτήρων νερού ως μοχλός ανάπτυξης νησιωτικών περιοχών	
ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ	
Βλάμης Π.	176
Θεσμικές μεταρρυθμίσεις ως προαπαιτούμενο για την αξιοποίηση της περιουσίας του ελληνικού δημοσίου και των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης	

Χωροθέτηση μικρών ταμιευτήρων νερού ως μοχλός ανάπτυξης νησιωτικών περιοχών

Κλεομένης Καλογερόπουλος

Υποψήφιος Διδάκτορας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χρίστος Χαλκιάς

Αναπληρωτής Καθηγητής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Βαγγέλης Πισσίας

Καθηγητής, ΤΕΙ Αθήνας

Σωτήρης Καραλής

Καθηγητής Εφαρμογών, ΤΕΙ Αθήνας

Αθανάσιος Ψαρογιάννης

Τοπογράφος Μηχανικός, ΤΕΙ Αθήνας

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 εξέλιξη 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. Η μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), τη χρήση του υδρολογικού ομοιώματος SWAT και χρήση Λογισμικού Προσομοίωσης Ταμιευτήρα. Η Ν. Άνδρος επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης της εργασίας και η διαδικασία της περιλαμβάνει την υδρολογική ανάλυσή της και κατόπιν την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής (μέσω του υδρολογικού ομοιώματος 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 φράγματος, με την ταυτόχρονη δημιουργία ενός ταμιευτήρα νερού (εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή), με βάση τα ποσοστά αστοχίας απόληψης ορισμένου όγκου νερού ετησίως.

Λέξεις κλειδιά

Ταμιευτήρες, ανάπτυξη, GIS, προσομοίωση, SWAT.

Allocation of small reservoirs as a key of development in insular areas

Abstract

Water is known to be a critical resource for people, for life and business. For this reason, the exploitation is an important factor for progress and development and requires a set of actions in order to be able to manage this natural resource in a sustainable way. This paper describes a methodology for exploitation of water resources by creating small mountainous and upland reservoirs. The modeling performed using Geographic Information Systems (GIS) and the SWAT hydrologic model and by using Reservoir Simulation software. Andros Island was chosen as the case study area of this project and the process includes the hydrologic analysis and then assessing the runoff (through the water model SWAT for 100 years simulation) in a particular river catchment, the Afrouses catchment. In two different selected locations of the basin investigated the feasibility of building a dam, with the simultaneous creation of a water reservoir, based on the failure rates of abstraction fixed volume of water annually.

Keywords

Reservoirs, development, GIS, modelling, SWAT.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προστασία του περιβάλλοντος καταλαμβάνει ολοένα και περισσότερο μεγαλύτερη θέση στις συνειδήσεις των ανθρώπων, στην καθημερινή τους ζωή, στις εξαγγελίες των ιθυνόντων του κόσμου. Πάραυτα, τα προβλήματα δεν υποχωρούν και τα βήματα που γίνονται είναι συνήθως δειλά και οι συγκρούσεις που προκύπτουν 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 αιφόρου διαχείρισης του περιβάλλοντος, όσο και αν έχει παγκόσμια χαρακτηριστικά, αποτελεί ένα εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε οποιαδήποτε περιοχή μεμονωμένα. Η διαχείριση των υδατικών πόρων, του σημαντικότερου ίσως φυσικού πόρου, δεν θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί πέρα από αυτό το συνολικό πλαίσιο.

Τα νησιά των Κυκλάδων, εντάχθηκαν στο ελλαδικό μεταπολεμικό πρότυπο οικονομικής συσσώρευσης και δεν μπόρεσαν να χαράξουν μια ολοκληρωμένη μακροπρόθεσμη αναπτυξιακή στρατηγική. Συνέπεια αυτής της κατάστασης ήταν η επικράτηση κριτηρίων βραχυπρόθεσμης οικονομικής μεγέθυνσης που με τη σειρά τους υπονόμειναν την κοινωνικά ορθολογική και συνάμα αειφορική διαχείριση των νησιωτικών υδατικών πόρων.

Τα τελευταία χρόνια, τα κυκλαδίτικα νησιά, ακόμη κι' αυτά που, όπως η Άνδρος, χαρακτηρίζονται ως προικισμένα σε υδατικό δυναμικό, αντιμετωπίζουν κρίσεις έλλειψης νερού, περιοδικά μικρότερης ή μεγαλύτερης έντασης. Η συνεχώς αυξανόμενη και πολλές φορές υπερβάλλουσα εποχιακή ζήτηση, που δεν υπόκειται σε κανενός τύπου μηχανισμό κοινωνικής ρύθμισης, βρίσκεται αντιμέτωπη με μια χαμηλή προσφορά σε πόσιμο νερό, καθώς και σε νερό για αγροτικές και τουριστικές χρήσεις. Στις κρίσεις αυτές οι απαντήσεις που δίνονται είναι, ενίοτε, άμετρα και ανώφελα δαπανηρές, όμως, συνήθως, αποσπασματικές και βραχύβιες. Παράλληλα, την ίδια αυτή περίοδο, λόγω της χωρίς σχεδιασμό μεγέθυνσης του τουριστικού τομέα, άρχισε να εκδηλώνεται σε σχέση με το νερό και ένας «νέου τύπου» κοινωνικο-οικονομικός ανταγωνισμός που δεν απορρέει από τους γνώριμους τοπικισμούς, αλλά από τις αντιπαρατιθέμενες χρήσεις του.

Ορισμένες υδροβόρες τουριστικές επιχειρήσεις, για να μην οδηγηθούν σε ανάσχεση των δραστηριοτήτων τους, ασκούν ισχυρή πίεση στους άλλους χρήστες. Παρά το γεγονός ότι η ύδρευση έχει και νομοθετικά κατοχυρώσει την προτεραιότητά της (ελληνική νομοθεσία για τη διαχείριση των υδατικών πόρων όπως ο Ν. 1739/89 και ο Ν. 3199/03 για τη διαχείριση και την προστασία τους) στην κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων, η τροφοδότηση των πληθυσμών με πόσιμο νερό είναι, κυρίως εποχιακά, ανεπαρκής. Τα περισσότερα υδραυλικά έργα που έγιναν με σκοπό την αγροτική ανάπτυξη έχουν κατά κάποιο τρόπο δεσμευθεί για αστικές και τουριστικές χρήσεις, με αποτέλεσμα η έλλειψη νερού άρδευσης να συντείνει στη συρρίκνωση του αγροτικού τομέα και στη στρεβλή/μονομερή ανάπτυξη των νησιών. Ας σημειωθεί, όμως, πως η υδροβόρος, πράγματι, ελληνική γεωργία δεν σχετίζεται με την όποια «σπατάλη» ποτιστικού νερού στις Κυκλάδες.

Οι μελέτες που ανέθεσε το Υπ. Γεωργίας, πριν δύο δεκαετίες, για φράγματα ή λιμνοδεξαμενές στις Κυκλάδες, χωρητικότητας >300,000μ³ (καταχρηστικώς αποκαλούμενα τότε μικρά φράγματα) εφαρμόστηκαν σε ορισμένα νησιά και έδωσαν σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελεσματικές (ή επικουρικές) λύσεις στο πρόβλημα λειψυδρίας. Ωστόσο, οι προτάσεις των μελετών αυτών υπήρξαν, κατά πρώτο λόγο, δαπανηρές με αποτέλεσμα να μην προχωρούν ή να μην ολοκληρώνονται τα προτεινόμενα έργα. Οι απαιτούμενες επενδύσεις κυμάνθηκαν σε προϋπολογισμούς της τάξης των 5 έως 15 εκατομμυρίων ευρώ (σημερινές τιμές) για φράγματα-λιμνοδεξαμενές χωρητικότητας

500.000 έως 2.000.000μ³ ή και σε πολλές περιπτώσεις ακόμα μεγαλύτερης χωρητικότητας (Πισσίας κ.ά., 2010).

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη χωροθέτηση μικρών ορεινών ή ημιορεινών ταμιευτήρων των οποίων η βέλτιστη χωρητικότητα ορίζεται (ενδεικτικά) μεταξύ περίπου 50.000 έως 150.000μ³. Ο ορισμός αυτός καταρχήν δεν είναι αυθαίρετος, καθώς τόσο ο όγκος «κατωφλίου», όσο και ο όγκος «ανωφλίου» αποτελούν μεγέθη που συνδέονται με επιθυμητές τεχνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (Πισσίας κ.ά., 2010).

Η επιλογή των μικρών ταμιευτήρων εδράζεται πάνω σε μια λογική που λαμβάνει υπόψη τα οικονομικά κριτήρια, κοινωνικές αναγκαιότητες και περιβαλλοντικές δεσμεύσεις (Forzieri κ.ά., 2008). Δυνητικά μπορεί να αποτελέσει ένα αναγκαίο διαχειριστικό εργαλείο σε περιπτώσεις ενός μεταβαλλόμενου και ασταθούς ισοζυγίου.

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 νερού.

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 κ.ά., 2007) σε αντίρροπη δυναμική προς την συνεχώς αυξανόμενη ενασχόληση των ντόπιων πληθυσμών με τον τουρισμό (Khlifi κ.ά., 2010).
- Η εξασφάλιση της μείωσης της γρήγορης απορροής προς τη θάλασσα (όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα πλημμυρικά φαινόμενα), επιμηκύνοντας την περίοδο της ροής του ρέματος-ποταμού (Lajoie, 2007).
- Η ύπαρξη υδατοστεγανών θέσεων για τη δημιουργία ταμιευτήρων, ώστε να μειώνονται οι απώλειες από κατεΐσδυση. Μια εύλογη κατεΐσδυση είναι ζητούμενο, καθώς εμπλουτίζεται ο υπόγειος υδροφόρος. Ο εμπλουτισμός αυτός τροφοδοτεί τις πέριξ και κατάντη του φράγματος πηγές.
- Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά 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.

Η δυνατότητα ενός μικρού ορεινού ταμιευτήρα να αποτελεί στις περιπτώσεις μεταβαλλόμενου και ασταθούς υδατικού ισοζυγίου ένα ισχυρό διαχειριστικό εργαλείο, τον καθιστά όχι απλά χρήσιμο, αλλά αναγκαίο.

Λαμβάνοντας υπόψη τα φυσικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής, όπως επίσης το ανθρωπογενές τους περιβάλλον η χωροθέτηση των ταμιευτήρων γίνεται σε πρώτο χρόνο με όρους πρόκρισης/αποκλεισμού και σε δεύτερο χρόνο με όρους επιλεξιμότητας. Σκοπός είναι η μεγιστοποίηση του οφέλους με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων. Σε ό,τι αφορά στους παράγοντες πρόκρισης-επιλεξιμότητας μιας θέσεως εγκατάστασης λιμνοδεξαμενής, προέχουν συνήθως η αστική και αγροτική ζήτηση, ενώ εκτιμώνται οι αναπτυξιακοί μηχανισμοί γενικότερα. Σε ό,τι αφορά στις επιπτώσεις, ορισμένες από αυτές είναι μη «διαπραγματεύσιμες», οπότε το έργο δεν προκρίνεται (π.χ. όροι ασφάλειας του φράγματος, όροι υψηλής αβεβαιότητας σε ό,τι αφορά στην απόδοσή του, επιπτώσεις στα υπόγεια νερά, μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στην παρόχθια βιοποικιλότητα, όπως και σε αυτήν των κατάντη βιοτόπων κ.λπ.), άλλες κρίνονται ήπιες-αναστρέψιμες, οπότε προτείνονται κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισής τους.

Όταν σκοπός μιας μελέτης είναι η δημιουργία μικρών ταμιευτήρων, τότε η φυσικογεωγραφική και ανθρωπογεωγραφική ενότητα αναφοράς τους είναι, κατά κανόνα, η λεκάνη απορροής εντός της οποίας θα κατασκευαστούν. Σε αντίθεση με άλλες προγενέστερες μελέτες που κατέληγαν σε προτάσεις κατασκευής ταμιευτήρων πλήρους εκμετάλλευσης του υδατικού δυναμικού μιας λεκάνης με σκοπό την κάλυψη υπερτοπικής ζήτησης, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μερική εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης για την κάλυψη της τοπικής ζήτησης με σκοπό την εξασφάλιση της αειφορικής ανάπτυξης. Ο σκοπός αυτός είναι εκείνος που ορίζει -και τελικά περιορίζει- την κλίμακά των προτεινόμενων τεχνικών έργων. Προτείνονται συνεπώς ταμιευτήρες ωφέλιμου όγκου νερού <150.000μ³ έναντι ταμιευτήρων 500.000 έως 1.100.000μ³ που προτάθηκαν από τις προηγούμενες μελέτες.

Για τον λόγο αυτό, οι ως άνω ταμιευτήρες προορίζονται να καλύψουν μόνο τις κρίσιμες, πραγματικές, υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες οικισμών και αγροτικών περιμέτρων, μίας μόνο ή μικρού αριθμού όμορων λεκανών απορροής, η συνολική έκταση των οποίων δεν υπερβαίνει τις λίγες δεκάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Προορίζονται παράλληλα όμως να διασφαλίσουν και κατά περίπτωση να βελτιώσουν την περιβαλλοντική αρμονία.

Καθώς πρόκειται, σχεδόν αποκλειστικά, για ορεινούς-ημιορεινούς ταμιευτήρες αυτής της τάξης, η θέση εντός της λεκάνης όπου θα κατασκευαστεί ο ταμιευτήρας

επιλέγεται με βασικό κριτήριο την εναρμόνισή του με τις ανθρωπο-γεωγραφικές και φυσικο-γεωγραφικές συνθήκες της περιοχής επιρροής του.

Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία ξεκινά από την αρχική υπόθεση ότι ένα σύστημα μικρών ταμιευτήρων συνολικής χωρητικότητας έστω $V_{ολ}=(V_1+V_2+...+V_n)$, διάσπαρτων σε επιλεγμένες λεκάνες απορροής, είναι προτιμότερο από έναν μεγάλο ταμιευτήρα χωρητικότητας V' κατά τι μεγαλύτερης της $V_{ολ}$. Το γεγονός ότι μπορεί το κόστος του μεγάλου αυτού ταμιευτήρα να είναι μικρότερο του κόστους των πολλών μικρών ταμιευτήρων μικρότερης συνολικής χωρητικότητας καθώς και το γεγονός ότι θα προκύψει κόστος ανά κυβικό μέτρο νερού στους μικρούς ταμιευτήρες μεγαλύτερο από το μοναδιαίο κόστος νερού στον μεγάλο ταμιευτήρα, δεν αποτελεί αυτονόητο πρόκριμμα. Αυτή η φαινομενικά παράδοξη υπόθεση αποδεικνύεται, προϊόντος του χρόνου, ως η πιο σωστή, καθώς δεν εγκλωβίζεται από το αμφιλεγόμενο επιχείρημα των οικονομικών κλίμακας ούτε από το κριτήριο μιας υποθετικής οικονομικής ορθολογικότητας. Αντίθετα, συμπεριλαμβάνει πρόσθετα σημαντικά κριτήρια, όπως αυτά της τοπικής ανάπτυξης, της ορθολογικής χωροταξικής κατανομής, της χαμηλής περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και της κοινωνικο-οικονομικής περιφερειακής ισομετρίας.

Το μοντέλο διαχείρισης που προτείνεται για τις επιλεχθείσες θέσεις με τη δημιουργία μικρών ορεινών ταμιευτήρων, οφείλει να εξασφαλίζει τη μείωση της εκροής στη θάλασσα και την επιμήκυνση των περιόδων μιας εύλογης, ικανοποιητικής ροής στην κοίτη (θετικές επιπτώσεις/οικολογική παροχή) στην παρόχθια ζώνη επιρροής του ρέματος/ποταμού και στον κατάντη βιότοπο στη θέση εκβολής.

Τεχνικοί παράγοντες επιτυχούς λειτουργίας του φράγματος είναι η ύπαρξη κατάλληλων θέσεων για τη δημιουργία φράγματος μικρού ύψους, μικρών μεγεθών σχεδιασμού εν γένει, σε συνδυασμό με ικανοποιητικό όγκο ταμιευτήρα, ώστε να καλύπτει τους σκοπούς του έργου.

Επίσης, στην επιλογή της θέσης για τη δημιουργία των ταμιευτήρων λήφθηκαν υπόψη όλοι οι δυνατοί και εν δυνάμει περιορισμοί, όπως για παράδειγμα περιοχές με αρχαιολογικό ενδιαφέρον (χαρακτηρισμένους αρχαιολογικούς χώρους), περιοχές με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος (περιοχές NATURA) κ.λπ.

Από τις υπάρχουσες υδραυλικές-υδρολογικές-υδρογεωλογικές μελέτες που αφορούν στη ν. Άνδρο δεν μπορούν να συναχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τη γενική κατάσταση των υδατικών πόρων του νησιού. Παρέχεται ωστόσο η δυνατότητα, οι δυστυχώς λίγες αξιόλογες από αυτές να αξιοποιηθούν, μετά από προσεκτική και κριτική ανάγνωσή τους, αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλα οι πληροφορίες και οι ιδέες που περιέχουν. Σε ερευνητικό πρόγραμμα που εκπονήθηκε στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ με σκοπό να διερευνηθεί η «σκοπιμότητα ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου Συστήματος

Παροχής Υπηρεσιών Ύδρευσης Αποχέτευσης (Σ.Π.Υ.Υ.Α.) στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων», διατυπώνονται οι βασικές ιδέες και κατευθύνσεις που πρέπει να υιοθετηθούν απ' όσους επιχειρήσουν ένα πιο εξειδικευμένο σχεδιασμό μέτρων, έργων και πολιτικών. Η Άνδρος, έχοντας αποτελέσει ένα από τα πέντε πεδία υποδειγματικής μελέτης της εν λόγω έρευνας, μπορεί να ωφεληθεί σημαντικά από τα συμπεράσματά της. Στα συμπεράσματα αυτά περιλαμβάνονται προτάσεις που αφορούν στην αξιοποίηση της επιφανειακής απορροής με υδροσυλλεκτικά έργα -συγκέντρωσης και αποθήκευσης νερών- μικρής κλίμακας. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η δημιουργία πολύ μικρών ορεινών φραγμάτων ή λιμνοδεξαμενών, χωροθετημένων στις βασικές γεωγραφικές ενότητες του νησιού.

Όπου μικρής κλίμακας υδροσυλλεκτικά έργα εννοούνται τα φράγματα-λιμνοδεξαμενές χωρητικότητας από 50.000 έως το πολύ 150.000μ³ νερού. Το παράδειγμα αυτό υιοθετήθηκε κυρίως από την γειτονική Ιταλία (περίπου 8.000 ορεινοί ταμιευτήρες), την Τυνησία, πολλές χώρες της υποσαχάριας Αφρικής κ.λπ. με επιτυχία (P.N.U.D./O.P.E, 1987; Patrick, 1999).

Είναι διαπιστωμένο πως με τη δημιουργία ενός ταμιευτήρα μεταβάλλονται οι ισορροπίες στα κατά τόπους οικοσυστήματα. Οι επιπτώσεις από τη δημιουργία τους γενικά μπορεί να είναι θετικές (κάλυψη ζήτησης, προστασία από πλημμύρες κ.τ.λ.), 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 κ.ά., 2007).

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας δημιουργίας ταμιευτήρα (εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής) με την κατασκευή μικρού φράγματος. Η διερεύνηση αυτή είναι εφικτή με την εφαρμογή ενός υδρολογικού μοντέλου (για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε το υδρολογικό ομοίωμα SWAT) και την εκμετάλλευση των αποτελεσμάτων που δίνει όσον αφορά στην επιφανειακή απορροή (Schuol κ.ά., 2008). Ουσιαστικά πρόκειται για την 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.

2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ

Το πρόβλημα της διαχείρισης του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού προβλέπεται να ενταθεί στο άμεσο μέλλον, καθώς καθορίζεται:

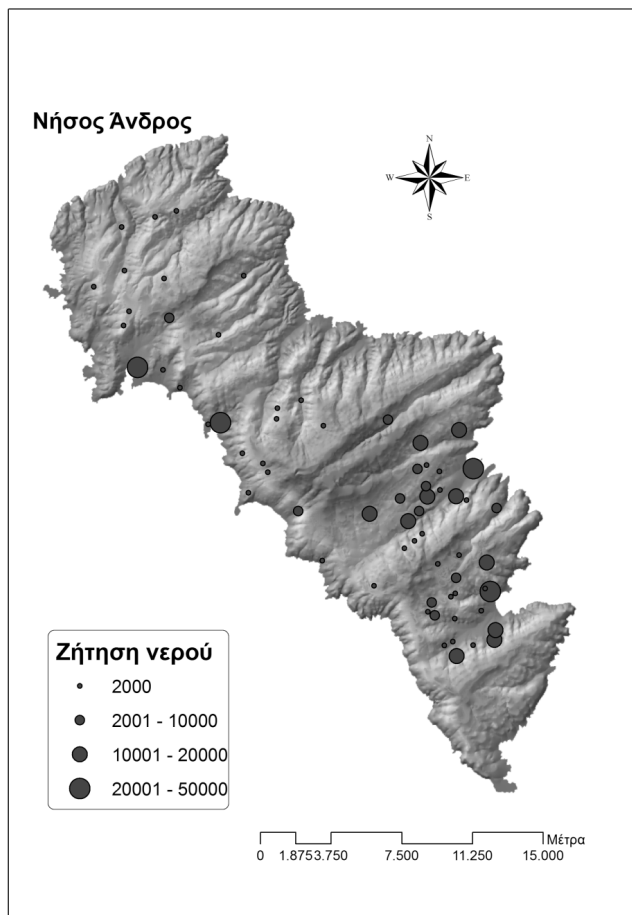
- α) από μη αντιστρεπτούς φυσικο-γεωγραφικούς παράγοντες όπως:

- Οι υδατοστεγείς γεωλογικοί σχηματισμοί δεν επιτρέπουν τη διαμόρφωση υπόγειων υδροφορέων ικανοποιητικής απόδοσης. Σημαντικό ποσοστό του κατεισδύοντος νερού απορρέει μέσω του υπεδάφους προς την θάλασσα.
 - Η μικρή έκταση των λεκανών απορροής, σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφο, συνεπάγονται μικρούς χρόνους συρροής και απορροής προς την θάλασσα, δεν ευνοούν συνεπώς τον φυσικό εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων.
 - Η ετήσια βροχόπτωση καθορίζει την επιφανειακή απορροή και την κατεΐσδυση.
 - Τα όρια άντλησης από τους παράκτιους κυρίως υδροφορείς είναι ελάχιστα, καθώς αυτοί κινδυνεύουν -αν δεν την έχουν ήδη υποστεί- από υφαλμύριση.
- β) από αυξητικούς για την ζήτηση νερού κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες, όπως:
- Η σημαντική αύξηση του εποχιακού πληθυσμού, παραθεριστικού-δεύτερης κατοικίας και τουριστών, κατά 4-5 φορές στη θερινή περίοδο, οπότε επικρατούν και οι χειρότερες υδρολογικές συνθήκες.
 - Τα μεγέθη του εποχιακού πληθυσμού αυξάνονται συνεχώς.
 - Δεν υπάρχουν σοβαρές περιβαλλοντικές μελέτες επιπτώσεων των όποιων έργων.
 - Παρά την ευρωπαϊκή οδηγία (60/2000) για τη διαχείριση των υδατικών πόρων δεν έχει γίνει ολοκληρωμένος σχεδιασμός για περιοχές αποκλεισμένες από την ηπειρωτική χώρα και λαμβάνονται συνεχώς αποσπασματικά μέτρα την περίοδο αιχμής της ζήτησης.
 - Πέραν των περιορισμένων δυνατοτήτων αύξησης της προσφοράς, η θεώρηση του προβλήματος δεν γίνεται από την σκοπιά της ρύθμισης της ζήτησης, που αποτελεί τον υποχρεωτικό κανόνα, με στόχο την ορθολογική και προπαντός αιεφορική διαχείριση του υδατικού δυναμικού.
 - Η ζήτηση εμφανίζεται μέχρι στιγμής ανελαστική, δηλαδή ανεξάρτητη από τη μεταβολή της τιμής του νερού, και δεν έχει παρατηρηθεί επίδραση (μείωση) στην κατανάλωση λόγω της οποίας αύξησης της τιμής του.

2.1. Ανάλυση της ζήτησης

Οι πιο πάνω εκτιμήσεις οδηγούν σε συμπεράσματα για τη ζήτηση που καλείται να καλύψει αστικές, τουριστικές χρήσεις και αρδευτικές ανάγκες. Βάσει εύλογων και διαφοροποιημένων υποθέσεων για την ημερήσια κατ' άτομο κατανάλωση, η σημερινή ζήτηση αιχμής για πόσιμο νερό εκτιμάται σε 10.000μ³/ημ., η δε συνολική ετήσια σε 600.000μ³. Η πρόβλεψη για το 2030 (ΕΜΠ, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, 2001), με την πληθυσμιακή εξέλιξη που εκτιμήθηκε πιο πάνω και με ελαφρώς διαφοροποιημένες τις ειδικές παροχές, την ανεβάζει στο 1.500.000μ³ όπου ένα μεγάλο μέρος (>500.000μ³) αφορά στην περίοδο της τουριστικής αιχμής.

Σχήμα 1: Ζήτηση νερού σε οικισμούς και αρδευόμενες περιμέτροι.



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Για αρδευτικό νερό, σύμφωνα με εκτιμήσεις του Υπ. Γεωργίας το έτος 2000 χρησιμοποιήθηκαν 3.400.000μ³ νερού, απ' τα οποία τα 1.400.000 αντλήθηκαν από γεωτρήσεις. Η εκτίμηση αυτή, που στηρίζεται στην υπόθεση άρδευσης 9.000 στρεμμάτων με ανά στρ. κατανάλωση 380μ³, είναι μάλλον υπερβολική. Μπορεί να υποστηριχτεί ότι οι σημερινές ανάγκες άρδευσης (εξαιρούμενης της σπατάλης) φτάνουν τα 2.000.000μ³, μέγεθος που δεν φαίνεται ότι θ' αυξηθεί το 2030, καθώς η γεωργική δραστηριότητα μάλλον υποχωρεί, ενώ η πιθανή (και ευκαταία) ανάκαμψή της δεν θα προσανατολιστεί σε υδροβόρες καλλιέργειες.

2.2. Υδατικό ισοζύγιο

Αναμφίβολα στην Άνδρο, σε αντίθεση με τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, οι σημερινές πραγματικές ανάγκες σε νερό, δηλαδή η εύλογη ζήτηση στην οποία δεν περιλαμβάνεται η σημερινή σπατάλη, μπορούν να καλυφθούν με μια ορθολογική χωροχρονική διαχείριση και ορισμένες απλές, αλλά ουσιαστικές βελτιώσεις του πλέγματος ζήτηση-προσφορά. Τούτο βέβαια προϋποθέτει την (εξαιρετικά δύσκολη) άμεση αλλαγή των καταναλωτικών συνθηκών και την σχετική κανονικότητα των υδρολογικών μεγεθών. Δεν θα καλύπτονται δηλαδή οι χρονιές έντονης ξηρασίας.

Στο κοντινό ωστόσο και προπαντός στο όχι μακρινό μέλλον, έστω σε μια προοπτική 30ετίας, με μια οριακή αύξηση των σημερινών επιπέδων γενικής προσφοράς, η κατάσταση θα γίνει από πολύ δύσκολη έως και εξαιρετικά κρίσιμη. Για να συμβεί μόνο το πρώτο ενδεχόμενο και να μη φτάσουμε στο δεύτερο -που συνεπάγεται μη αντιστρεπτές υποβαθμίσεις της λεγόμενης υδατικής κατάστασης, δηλαδή καταστροφή πόρων από υπερεκμετάλλευση- δεν αρκούν απλές βελτιώσεις. Θα χρειαστούν σοβαρές προσπάθειες ελέγχου και μείωσης της κατανάλωσης, καθώς κι ορθολογική διαχείριση του πλέγματος ζήτηση-προσφορά, τόσο σε επίπεδο νησιού κι όχι μικροπεριοχής, όσο και σε χρονικές διάρκειες που υπερβαίνουν τα ένα-δύο χρόνια. Θα χρειαστούν ακόμη σωστές παρεμβάσεις για μια εφικτή οικονομικά και επιτρεπτή περιβαλλοντικά αύξηση της προσφοράς, με την κατασκευή έργων. Μια πρόσθετη προσφορά έως 1.000.000μ³ νερού όπου τα 500.000μ³ μπορούν εύκολα να εξασφαλιστούν με μικρούς ορεινούς-ημιορεινούς ταμιευτήρες.

3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Σχετικά με τις τεχνικές απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευής μικρών ορεινών ταμιευτήρων, η εμπειρία έχει αποδείξει ότι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, οι οποίες ξεκινούν από αντιδιαμετρικά αντίθετες βασικές παραδοχές, είναι εξίσου εσφαλμένες.

Η πρώτη επιχειρεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του σχεδιασμού των μικρών ταμιευτήρων (στην περίπτωση μας ταμιευτήρων ωφέλιμου όγκου ύδατος $V < 150.000\mu^3$) υιοθετώντας όλες τις παραδοχές που απαιτούνται κατά τον σχεδιασμό των μεγάλων φραγμάτων και εφαρμόζοντας τις τεχνικές τους προδιαγραφές. Στην περίπτωση αυτή, το παραγόμενο τεχνικό έργο αποτελεί συχνά πιστό αντίγραφο σε μικρή κλίμακα, μια μινιατούρα δηλαδή, ενός μεγάλου έργου.

Η δεύτερη προσέγγιση αντιμετωπίζει το πρόβλημα υποτιμώντας τις βασικές-θεμελιώδεις απαιτήσεις σχεδιασμού και τις δυσκολίες κατασκευής ενός μικρού ταμιευτήρα. Παραβλέποντας συνελώς –ασυνείδητα ίσως– τα επιστημονικά δεδομένα που εξασφαλίζουν την διάρκεια ζωής, την βιωσιμότητα και προπαντός την ασφάλεια του έργου.

Η σωστή προσέγγιση προϋποθέτει συγκεκριμένη ανάλυση του κάθε συγκεκριμένου προβλήματος, ενσωματώνοντας με τον βέλτιστο τρόπο τα αναγκαία επιστημονικά και τεχνικά στοιχεία που εξασφαλίζουν αφενός την αξιοπιστία και αφετέρου την απλότητα, του έργου.

Σε ότι αφορά, καταρχήν, στην χωροθέτηση ενός ταμιευτήρα και στη συνέχεια στην τεχνική μελέτη του, τρία είναι τα κύρια προβλήματα που τίθενται προς λύση. Το πρώτο πρόβλημα έχει σχέση με την χωρητικότητα του ταμιευτήρα, το δεύτερο πρόβλημα έχει σχέση με την επιλογή της θέσης κατασκευής του και το τρίτο με τα υλικο-τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Η χωρητικότητα ενός ταμιευτήρα οφείλει απαραίτητα να συναρτάται με ένα πλήθος σημαντικών φυσικών και κοινωνικο-οικονομικών παραγόντων. Η αναγωγή του άμεσου οικονομικο-κοινωνικού οφέλους ως το κύριο και ενίοτε μοναδικό κριτήριο αποτελεί για τον λόγο αυτό ουσιώδες λάθος. Πολλές μελέτες, παρά την αναφορά τους και σε άλλα κριτήρια, υποπίπτουν σε αυτό το λάθος, καθώς στην πραγματικότητα τα υποβαθμίζουν. Έτσι, τον παράγοντα χρόνο περιορίζονται απλά να τον παραμετροποιούν, να τον εξετάζουν ως γραμμική συνθήκη, να μην τον εξετάζουν δηλαδή ως καθοριστική δυναμική συνθήκη. Παράλληλα, ενώ περιλαμβάνουν τεύχος μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δεν προτάσσουν τις βασικές υποθέσεις, την μεθοδολογία και τα ποιοτικά στοιχεία της περιβαλλοντικής έρευνας και δεν τα ενδογενοποιούν κατά την αξιολόγηση του ολικού οικονομικο-κοινωνικού οφέλους. Τα πολλαπλά κριτήρια καθορισμού της χωρητικότητας του ταμιευτήρα δεν συντίθενται, αλλά απλά αντιπαρατίθενται σε μια περιορισμένη λογική οικονομικού κόστους-οφέλους. Συγχέεται συνεπώς με αυτόν τον τρόπο η βελτιστοποίηση του ολικού αποτελέσματος με την μεγιστοποίηση του άμεσου οικονομικο-κοινωνικού οφέλους. Αυτή με την σειρά της καταλήγει μονοσήμαντα στην μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα (Πισσίας κ.ά., 2012β).

Η χωρητικότητα ενός ταμιευτήρα, οφείλει όμως να καθοριστεί βάσει του συνόλου των κριτηρίων -και εντός ορίων- που πιο πάνω αναφέρονται και καλείται να καλύψει μόνο τις εύλογες ανάγκες των χρηστών. Δεν είναι συνεπώς η προσφορά που προκύπτει από την ζήτηση (την όχι πάντοτε εύλογη), αλλά η ζήτηση είναι αυτή που επικαθορίζεται -και ενδεχόμενα περιορίζεται- από την εφικτή προσφορά. Στην περίπτωση συνεπώς της χωρητικότητας του ταμιευτήρα, ο καθορισμός του γίνεται ελέγχοντας την ζήτηση, όπως η σύγχρονη, περί αειφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, αντίληψη επιτάσσει. Σχετικά με το ζήτημα αυτό, ενισχύεται διεθνώς συνεχώς η άποψη για μερική μόνο απόληψη και αποθήκευση της ετήσιας απορροής μιας λεκάνης που θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 10% και 25% προκειμένου να μη διαταραχθεί το οικοσύστημα του ποταμού, χειμάρρου ή, πολύ περισσότερο, μικρού ρέματος που υπόκειται σε ρύθμιση ροής (μείωση) λόγω κατασκευής.

Σε ότι αφορά στον σχεδιασμό του ταμιευτήρα η τελική χωρητικότητά του οφείλει να συνυπολογίσει, μαζί με τον ωφέλιμο όγκο του, την ποσότητα των απωλειών νερού εντός του ταμιευτήρα λόγω εξάτμισης ή/και διήθησης-κατείσδυσης. Οφείλει ακόμη να προβλέψει τον όγκο του «νεκρού ύδατος», ο οποίος αντιστοιχεί στον όγκο των φερτών υλών που αποτίθενται στον πυθμένα του.

Κατά τη φάση του σχεδιασμού είναι απαραίτητη η μελέτη των επιπτώσεων που θα έχει η κατασκευή ενός τέτοιου έργου, που αν και μικρού, μπορεί να δημιουργήσει περισσότερα προβλήματα από αυτά που καλείται να επιλύσει.

Το κοινωνικό και οικονομικό περιβάλλον μπορεί να υποστεί αλλαγές από την κατασκευή ενός έργου ταμίευσης νερού και οι επιδράσεις αυτών των αλλαγών είναι πολύ ουσιαστικές. Το νερό είναι πόρος σε ανεπάρκεια και τα έργα για την παροχή του συνήθως έχουν μεγάλο κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος.

Επιπρόσθετα, οι αλόγιστες εκμεταλλεύσεις των υπόγειων υδροφόρων τείνουν να επιφέρουν ή έχουν ήδη προκαλέσει μη αναστρέψιμες επιδράσεις τόσο στη διαίτα των υπόγειων νερών όσο και στη ρύπανση αυτών. Σημαντικές είναι ακόμα και οι συνέπειες στην επιφάνεια του εδάφους με την εκδήλωση εκτεταμένων εδαφικών υποχωρήσεων. Συνεπώς, η κατασκευή ταμιευτήρων είναι άμεσης προτεραιότητας, καθώς το νερό που το χειμώνα χάνεται στη θάλασσα μέσω των ρεμάτων και ποταμών, συγκεντρώνεται για χρήση κατά τις άνυδρες περιόδους.

Με τη βοήθεια αυτών των έργων αρχικά επέρχεται βελτίωση των συνθηκών γεωργίας με εντατικοποίηση των παλαιών καλλιεργειών, αλλά και τη δημιουργία νέων σε άνυδρες εκτάσεις οι οποίες ενδεχομένως να μην χρησιμοποιούνται παλαιότερα. Έτσι συνήθως επέρχεται μακροπρόθεσμα αύξηση των οικιστικών ζωνών με την αύξηση του πληθυσμού στην περιοχή.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της ύπαρξης ενός ταμιευτήρα σε μία περιοχή είναι η αντιμετώπιση πυρκαγιών, καθώς μπορεί σε ώρα ανάγκης να προσφέρει τις αναγκαίες ποσότητες νερού, ενώ μειώνει τη στερεοπαροχή και συνεπώς και τη διαβρωτική δράση αυτής στα κατάντη του φράγματος τμήματα του ποταμού.

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «*Αξιοποίηση επιφανειακών απορροών στη Νήσο Άνδρο με τη δημιουργία ορεινών ταμιευτήρων νερού*», εξετάστηκαν, ερευνήθηκαν και προκρίθηκαν επτά υποψήφιες θέσεις για την κατασκευή φράγματος σε αρκετές λεκάνες απορροής του νησιού. Η παρούσα εργασία αφορά στην επιλογή της κατάλληλης θέσης (σε μία από τις εξεταζόμενες λεκάνες – αυτή των Αφρουσών) η οποία θα παρέχει, ανάλογα με την χωρητικότητα που θα επιλεγεί, τη μικρότερη δυνατή αστοχία στην ικανοποίηση της ζήτησης. Παρουσιάζεται μια μεθοδολογία που αναπτύχθηκε προκειμένου

να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία εύρεσης της κατάλληλης θέσης για την κατασκευή φράγματος (Πισσίας κ.ά., 2012α).

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

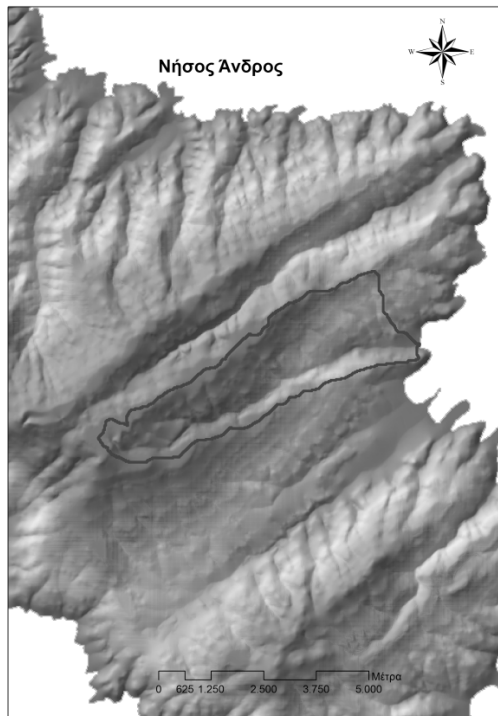
Η Άνδρος είναι μια από τις 47 διαχειριστικές ενότητες του υδατικού διαμερίσματος των νήσων Αιγαίου και είναι το βορειότερο νησί των Κυκλάδων. Η Άνδρος είναι το βορειότερο νησί των Κυκλάδων με πλούσια ομορφιά και πολύ έντονο ανάγλυφο και σχήμα επίμηκες με διεύθυνση από Β-ΒΔ προς Ν-ΝΑ. Είναι το δεύτερο νησί των Κυκλάδων, σε έκταση (μετά την Νάξο), καθώς καλύπτει 374χλμ² με περίμετρο 176χλμ. 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 997μ. Σαν περιοχή μελέτης, για την ανάπτυξη του μεθοδολογικού μοντέλου επιλέχτηκε η λεκάνη απορροής των Αφρουσών, της οποίας η επιφάνεια είναι 12,9χλμ², έχει περίμετρο 28,70χλμ, μέσο υψόμετρο 510μ και μέση κλίση περίπου 30%. Ο μόνιμος πληθυσμός της είναι 9.221 κάτοικοι με την απογραφή του 2011, 10.009 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2001, ενώ στην απογραφή του 1991 είχε μόνιμο πληθυσμό 8.781 κατοίκους.

4.1. Γεωλογία

Γεωτεκτονικά η Άνδρος ανήκει στην Αττικοκυκλαδική ζώνη και αποτελείται από δυο τεκτονικές ενότητες: την ανώτερη, ονομαζόμενη και ενότητα Μακροτάνταλου, ανωπαλαιοζωικής ηλικίας (παλαιότερη των 250 εκ. χρόνων) και την κατώτερη, ενότητα της κεντρικής-νότιας Άνδρου, άγνωστης ηλικίας. Οι περισσότερες λεκάνες απορροής, καθώς και οι εντός αυτών πιθανές ζώνες δημιουργίας φραγμάτων που εξετάστηκαν συνίστανται σε μεταμορφικές φάσης χαμηλών πιέσεων και υψηλών θερμοκρασιών, όπως μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι με αλβίτη, χλωρίτη, γρανάτη και γλαυκοφανές. Οι σχιστόλιθοι αυτοί είναι λιγότερο ή περισσότερο θρυμματισμένοι, τουλάχιστον στην επιφάνειά τους.

Επίσης, στην Άνδρο παρουσιάζονται πολλά ρήγματα, τα οποία όμως δεν καταστρέφουν τον πτυχωσιγενή ιστό, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων. Το μήκος των περισσότερων ρηγμάτων είναι αρκετά μεγάλο, ενώ το άλμα μεταπτώσεών τους σχετικά μικρό. Κατά την πλειοψηφία τους είναι κανονικά ρήγματα, ενώ είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η ηλικία τους.

Σχήμα 2: Η περιοχή μελέτης – Η λεκάνη απορροής των Αφρουσών.



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

4.2. Το κλίμα της Άνδρου

Το κλίμα της Άνδρου, ακόμη και στα ορεινά, είναι σχεδόν ήπιο λόγω της γειτνίασης με τη θάλασσα. Μετά το καλοκαίρι, θερμότερη εποχή είναι το φθινόπωρο. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο νησί παρουσιάζονται στις περιόδους που δεν πνέουν μελτέμια και ειδικά για σειρά ημερών, όμως αυτό είναι σπάνιο για την Άνδρο, γι' αυτό είναι και λίγες οι περιπτώσεις που η θερμοκρασία μπορεί να ξεπεράσει τους 40°C. Επίσης, οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρουσιάζονται στα πεδινά τμήματα και στη δυτική περιοχή της Άνδρου, όπου τα μελτέμια φτάνουν εξασθενημένα.

Η σύγκριση της θερμοκρασίας της Άνδρου με αυτή της Αττικής, καταδεικνύει ότι κατά τους ψυχρούς μήνες (Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο) η θερμοκρασία της Άνδρου είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της Αττικής και αντίστροφα την θερινή περίοδο. Τέλος, η Άνδρος σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά των Κυκλάδων είναι ψυχρότερη και ειδικά από τις

δυτικές Κυκλάδες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Άνδρος είναι βορειότερη από τα άλλα νησιά, αλλά και λόγω των βορείων ανέμων που είναι εντονότεροι στις βορειοανατολικές Κυκλάδες. Τα μελτέμια (καλοκαιρινοί τοπικοί άνεμοι που πνέουν στη Μεσόγειο και κυρίως στο Αιγαίο) ξεκινούν να πνέουν συνήθως τον Μάιο με μικρή συχνότητα και διάρκεια μέχρι το τέλος του Ιουνίου, όπου αρχίζουν να πνέουν εντονότερα μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου, για να εξασθενήσουν στη συνέχεια μέχρι το τέλος του Οκτωβρίου. Από όλες τις περιοχές της Ελλάδας, τη μεγαλύτερη συχνότητα και ένταση σε μελτέμια παρουσιάζει το συγκρότημα των Κυκλάδων και ιδιαίτερα η Άνδρος, Τήνος, Μύκονος και Αμοργός. Στην περιοχή της Άνδρου τα μελτέμια πνέουν κυρίως από βορειοδυτικές και βόρειες διευθύνσεις και η συχνότητά τους ανέρχεται τον Ιούλιο σε 80,20% και τον Αύγουστο σε 83,81%.

Στην Άνδρο συναντάται χιόνι στα ορεινά κυρίως τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο. Το νησί διακρίνεται για το υψηλότερο στις Κυκλάδες ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται από το ξηρό κλίμα και το άγονο έδαφος των υπόλοιπων νησιών και να είναι πλουσιότερο σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Τα μεγαλύτερα ύψη βροχής παρατηρούνται τους χειμερινούς μήνες και είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι είναι υπερδιπλάσια των αντίστοιχων της Αθήνας.

5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

5.1. Γενικά

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία αφορά στην εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου SWAT (Neitsch κ.ά., 2004) στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών της Ν. Άνδρου προκειμένου να υπολογιστούν οι μηνιαίες απορροές σε δύο επιλεγμένες θέσεις για την κατασκευή μικρού φράγματος. Οι προσομοιωμένες απορροές κατόπιν εισάγονται στο λογισμικό Προσομοίωση Ταμιευτήρα (Τεχνολογισμική) και εξετάζονται οι μηνιαίες αστοχίες προκειμένου να προκριθεί η βέλτιστη επιλογή θέσης φράγματος, ύψους φράγματος, ετήσιου όγκου απόληψης νερού με βάση το ποσοστό αστοχίας απόληψης του ζητούμενου όγκου νερού.

5.2. Το υδρολογικό μοντέλο SWAT

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 Γεωγραφικών (ΓΣΠ-GIS), με τις δυνατότητες που προσφέρουν

βοήθησαν στην ευκολότερη και ταχύτερη επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου να παραχθούν αξιόπιστα μοντέλα προσομοίωσης.

Όπως προαναφέρθηκε, το υδρολογικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το SWAT, ακρωνύμιο των λέξεων Soil and Water Assessment Tool. Η προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου με το SWAT (Zheng κ.ά., 2010) αφενός προϋποθέτει ένα μεγάλο πλήθος μετεωρολογικών και χωρικών δεδομένων, αφετέρου η εκτέλεσή του είναι αρκετά εύκολη, καθότι έχουν ξεπεραστεί πολλά από τα προβλήματα του παρελθόντος -σε σχέση με παλαιότερες εκδόσεις.

Το SWAT χρησιμοποιεί τις πιο γνωστές εξισώσεις της υδρολογίας έτσι ώστε να προσομοιώσει τις παραμέτρους του υδρολογικού κύκλου που εξετάζει, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Επίσης, το μοντέλο χρησιμοποιεί τον αριθμό καμπύλης για τον υπολογισμό της απορροής. Η μέθοδος αριθμού καμπυλών SCS (Soil Conservation Service) είναι μια εμπειρική μέθοδος, που αναπτύχθηκε κυρίως σε μικρές λεκάνες απορροής, 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.

Ένα από τα βασικά σημεία του υδρολογικού ομοιώματος SWAT είναι η δυνατότητα υποδιαίρεσης μιας υπολεκάνης σε μικρότερες λεκάνες που ονομάζονται Μονάδες Υδρολογικής Απόκρισης – ΜΥΑ (Hydrologic Response Unit – HRU). Οι ΜΥΑ είναι μικρότερες υδρολογικές οντότητες μέσα στις υπολεκάνες που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά υδρολογικού τύπου εδάφους, χρήσεων γης και κλίσης.

Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: i) τα χωρικά δεδομένα και ii) τα μετεωρολογικά δεδομένα.

5.2.1 Χωρικά δεδομένα

α) ένα τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (DEM): αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης των χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:50.000. Η ανάλυση του DEM που προκύπτει (25x25μ) καλύπτει τις ανάγκες της εργασίας, αφού τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους της ανάλυσης αυτής δίδουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (Charlot, 2005).

β) ένας χάρτης κάλυψης γης: στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης κάλυψης από το πρόγραμμα ILOTING του Υπουργείου Γεωργίας.

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

Πίνακας 1: Αντιστοιχία κατηγοριών ILOTING & SWAT.

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ
10	Δασικές εκτάσεις	FRST (Forest Mixed)
20	Αστική περιοχή	URLD (Urban Residential Low Density)
30	Λειβάδια - Βοσκοτόπια	PAST (Pasture)
40	Αρώσιμες καλλιέργειες	AGRR (Agricultural Land-Row crops)
50	Μόνιμες καλλιέργειες	AGRL (Agricultural Land Generic)

Πηγή: Ϊδια επεξεργασία

γ) ένας εδαφολογικός χάρτης για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια διασύνδεσης των υδρολογικών χαρακτηριστικών του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (Παπανικολάου, 1978) 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.

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

Πίνακας 2: Υδρολογικά/υδραυλικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων της Ν. Άνδρου.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Αδρόκοκκοι ασβεστίτικοι ψαμμίτες, ασβεστοαρενίτες, ψαμμίτες	D	ΜΕΤΡΙΑ-ΥΨΗΛΗ
Άλλουβια, προσχώσεις	C	ΧΑΜΗΛΗ-ΜΕΤΡΙΑ
Γρανίτες, γρανοδιορίτες, εκρηξιγενή πετρώματα	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
Μάρμαρα με παρεμβολές η εναλλαγές, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων κερατολίθων. Πυριτιωμένα μάρμαρα	C	ΧΑΜΗΛΗ-ΜΕΤΡΙΑ
Μάρμαρα, ασβεστόλιθοι, δολομίτες	D	ΜΕΤΡΙΑ-ΥΨΗΛΗ
Οφιόλιθοι, σερπεντινίτες, περιδοτίτες γάβροι, διαβάσεις κλπ.	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
Πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, αδρομερείς χειμαρρώδεις αποθέσεις, θαλάσσιες αναβαθμίδες	D	ΜΕΤΡΙΑ-ΥΨΗΛΗ
Σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες, χαλαζίτες	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
Φλεβικά πετρώματα (φλέβες, πηγματίτες κλπ.)	A	ΕΛΑΧΙΣΤΗ-ΠΟΛΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗ

Πηγή: Ϊδια επεξεργασία

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

Πίνακας 3: Αντιστοιχία υδροπερατότητας και τύπου εδάφους του SWAT.

ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
A	WINDSOR
C	VERGENNES
D	COVINGTON

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Ο επιλεγμένος χάρτης έχει ανάλυση ψηφίδας 25Χ25μ. 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 και McCray, 2008). Η συγκεκριμένη ανάλυση του υδρολιθολογικού χάρτη του I.G.M.E. κρίνεται ικανοποιητική όσον αφορά στα αποτελέσματα του SWAT (Chaplot, 2005).

5.2.2. Μετεωρολογικά δεδομένα

Το SWAT δίδει τη δυνατότητα στον χρήστη, είτε να εισάγει ιστορικά δεδομένα βροχοπτώσης, θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας, είτε να δημιουργήσει ένα στατιστικό μετεωρολογικό σταθμό, ελλείψει των προηγούμενων δεδομένων.

Η Ν. Άνδρος είναι ένα από τα πολλά μέρη της Ελλάδας, όπου παρουσιάζεται ανεπάρκεια πρωτογενών μετεωρολογικών δεδομένων. Τα λιγοστά που είναι διαθέσιμα βρίθουν λαθών και τα καθιστούν αναξιόπιστα.

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, όπου γίνεται συσχέτιση των βροχομετρικών δεδομένων κατά μήκος του άξονα Καρύστου-Νάξου, όπου η Άνδρος αντιμετωπίζεται σαν κομμάτι αυτού του άξονα προκειμένου να της αποδοθεί υδρολογική πληροφορία.

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 τις βροχοπτώσεις στην Κάρυστο και στη Νάξο κατά 70% και 30% αντίστοιχα.

Όσον αφορά στα δεδομένα θερμοκρασίας, στην ίδια μελέτη, με βάση τις συσχετίσεις των δεδομένων θερμοκρασίας της, η θερμοκρασία της Άνδρου προκύπτει από τα δεδομένα της Σύρου και της Καρύστου κατά 50% έκαστο.

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

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

5.2.3. Εκτέλεση Προσομοίωσης

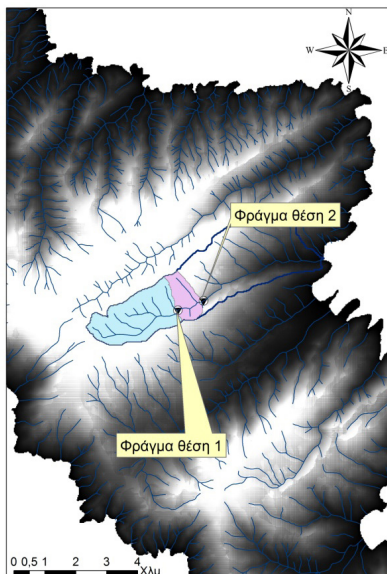
Με το πέρας της εισαγωγής και των μετεωρολογικών δεδομένων το SWAT είναι έτοιμο να εκτελέσει προσομοιώσεις. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας το χρονικό διάστημα προσομοίωσης για δύο επιλεγμένες θέσεις φράγματος (η επιλογή των δύο υποψήφιων θέσεων για την κατασκευή φράγματος έγινε με κριτήρια την μικρή υδροπερατότητα της περιοχής, την αντοχή του εδάφους στη δημιουργία φράγματος $\leq 15\mu$. και την συνολική ζήτηση νερού στην περιοχή) είναι από 1/1/2010 έως 31/12/2109 (100 έτη).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κρίνονται καταρχήν ικανοποιητικά με βάση τις παραδοχές που έχουν γίνει και βάσει των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν (Bourgaoui κ.ά., 2005; Kalogeropoulos κ.ά., 2011). Ένα γεγονός που πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα είναι πως η παρούσα εργασία αποτελεί μια πιλοτική εφαρμογή της μεθοδολογίας που έχει περιγραφεί και σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί επί του παρόντος ένα πλήρες εργαλείο λήψης απόφασης.

5.2.4. Έλεγχος (αξιολόγηση) του μοντέλου

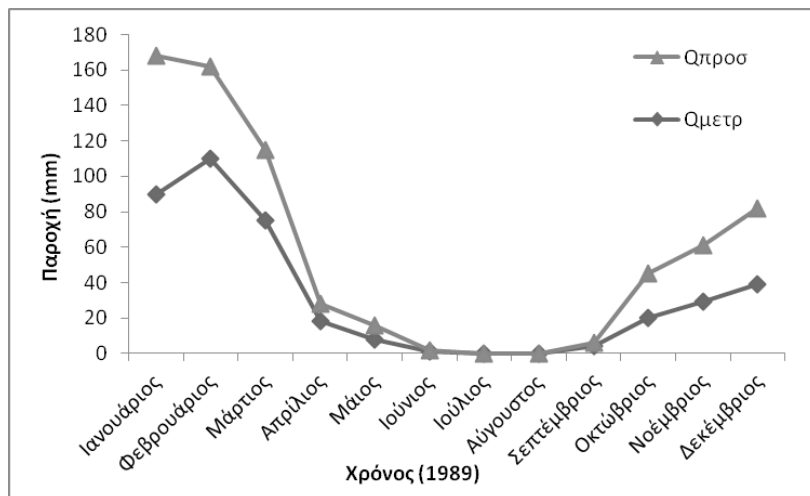
Η περίοδος που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να ελεγχθεί το μοντέλο είναι από 1/1/1989 έως 31/12/1989 (1 χρόνος). Αυτό είναι το μόνο χρονικό διάστημα που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα στάθμης παροχής (από σταθμηγράφο της ΔΕΗ που λειτούργησε το συγκεκριμένο διάστημα) και μετρήσεις παροχής (από προσωπικό της ΔΕΗ). Τα διαθέσιμα αυτά δεδομένα και οι μετρήσεις έγιναν στην λεκάνη της Βουρκωτής (βόρεια αυτής των Αφρουσών). Λόγω του γεγονότος ότι τα χαρακτηριστικά των δύο γειτονικών λεκανών απορροής μπορούν να αντιμετωπίζονται ως μεταβλητές σε μια χωρική βάση δεδομένων (Beven, 2008), μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα από τη λεκάνη της Βουρκωτής προκειμένου να διαπιστωθεί αν το μοντέλο ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σε σχέση με τα δεδομένα που εισάγονται.

Σχήμα 3: Η λεκάνη απορροής των Αφρουσών, οι δύο επιλεγμένες θέσεις φράγματος και οι ανάντη λεκάνες τους.



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Σχήμα 4: Μετρημένες και προσομοιωμένες παροχές από τη λεκάνη της Βουρκοτής.



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Προκειμένου να αξιολογηθεί το μοντέλο ο δείκτης Nash-Sutcliffe (δειχνει το βαθμό ταύτισης των προσομοιωμένων και μετρημένων τιμών και κυμαίνεται μεταξύ $-\infty$ και 1) και το R2 (δειχνει το μέγεθος της σχέσης των προσομοιωμένων και μετρημένων τιμών και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1) χρησιμοποιούνται (Shimelis κ.ά., 2008). Αν ο δείκτης Nash-Sutcliffe και το R2 είναι 1, τότε το μοντέλο θεωρείται το βέλτιστο δυνατό.

Ο συντελεστής Nash-Sutcliffe (Nash και Sutcliffe, 1970) δίδεται από τον τύπο:

$$E = \frac{\sum_{t=1}^T (Q_t^t - Q_s^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_t^t - \bar{Q}_o)^2} \quad (5)$$

όπου Q_o είναι η παρατηρημένη τιμή παροχής, Q_s είναι η προσομοιωμένη τιμή παροχής και t είναι η παρατηρημένη τιμή παροχής σε ένα χρόνο t .

Το R2 δίδεται από τον τύπο:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q})(Q_s - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_s - \bar{Q})^2}} \right]^2 \quad (6)$$

όπου Q_o είναι η παρατηρημένη τιμή παροχής, Q_s είναι η προσομοιωμένη τιμή παροχής και \bar{Q} είναι η μέση παρατηρημένη τιμή παροχής στη διάρκεια του χρόνου της αξιολόγησης του μοντέλου.

Πίνακας 4: Στατιστικοί δείκτες αξιολόγησης του μοντέλου.

	Μέτρηση		Προσομοίωση		Nash-Sutcliffe	R2
	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση		
Μηνιαία	245	75	238	63	0,79	0,85

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στη λεκάνη των Αφρουσών, συνολικά, κατέδειξαν για μέση ετήσια βροχόπτωση 565.2χλστ., επιφανειακή απορροή της τάξης των 291.1χλστ. περίπου. Η Διαχειριστική Μελέτη του Υπουργείου Ανάπτυξης για τη Ν. Άνδρο, με τη χρήση ενός αδρομερούς μοντέλου βροχής-απορροής τύπου Thornwaite, δίνει αντίστοιχα αποτελέσματα.

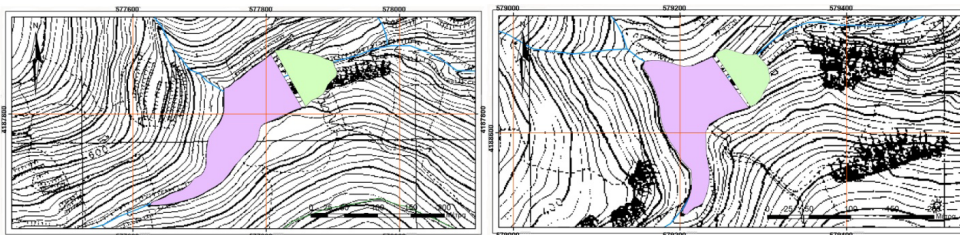
6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Το πρόγραμμα Προσομοίωση Ταμιευτήρα προσομοιώνει τη λειτουργία ενός ταμιευτήρα απλής ή πολλαπλής σκοπιμότητας, και επιπλέον μπορεί να μεταχειριστεί πρακτικά απεριόριστα σημεία που θα περιγράφουν τη μεταβολή της αποθηκευτικότητας του ταμιευτήρα με τη στάθμη (ως ζεύγη σημείων στάθμης-επιφάνειας).

Οι προσομοιωμένες τιμές της κατακρήμισης και της εκροής, σε κάθε μία από τις δύο επιλεγμένες θέσεις, που εξάγει το SWAT για τους 1200 μήνες προσομοίωσης (100 έτη) εισάγονται στο λογισμικό Προσομοίωση Ταμιευτήρα σαν δεδομένα εισόδου.

Για κάθε επιλεγμένη θέση φράγματος υπολογίζεται η καμπύλη στάθμης-επιφάνειας σε τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5.000 της Γ.Υ.Σ.

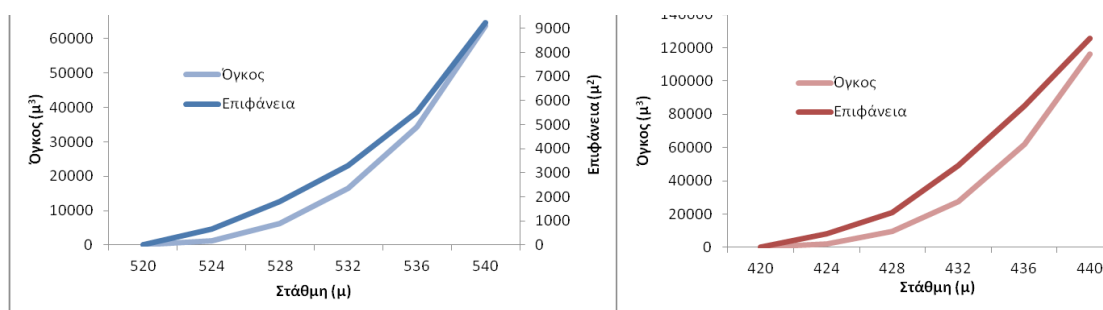
Σχήμα 5: Φράγμα στη θέση 1 και στη θέση 2 σε τοπογραφικό διάγραμμα 1:5.000 (Βλαστού και Κλωνή, 2010).



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Οι απαραίτητες για το λογισμικό καμπύλες στάθμης-επιφάνειας-όγκου για τις δύο επιλεγμένες θέσεις φράγματος παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα.

Σχήμα 6: Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας-όγκου (θέση 1 και θέση 2).



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

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

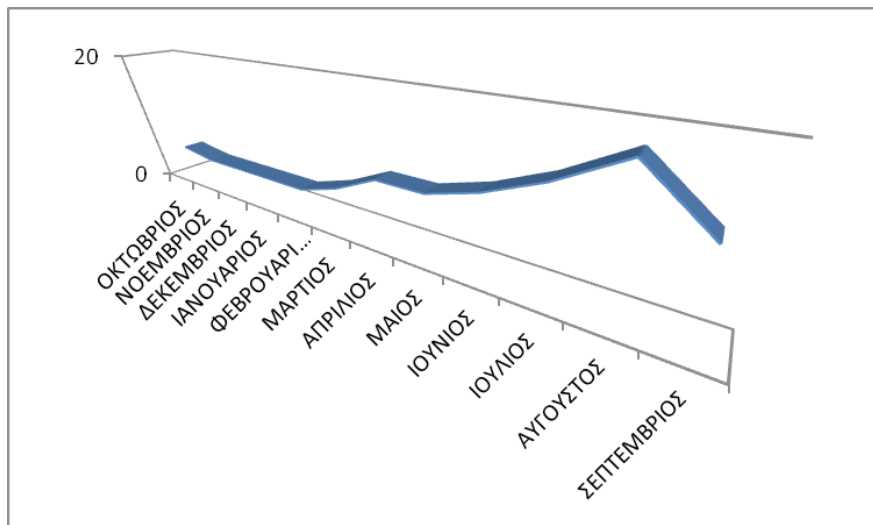
Από τα αποτελέσματα που παράγει το πρόγραμμα Προσομοίωση Ταμιευτήρα, αυτό που ενδιαφέρει άμεσα ώστε να απαντηθεί το παραπάνω ζήτημα είναι ο αριθμός των ανεπαρκειών σε μήνες. Έτσι για παράδειγμα, αν ο αριθμός ανεπαρκειών σε μήνες είναι 223 σε σύνολο 1200 μηνών (τα 100 χρόνια προσομοίωσης), η αστοχία που προκύπτει είναι: $= 0,18583$ ή $\approx 18,6\%$.

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής δημιουργήθηκαν τέσσερα σενάρια ετήσιου όγκου απόληψης νερού (50.000, 100.000, 150.000 και 200.000μ³) για κάθε θέση φράγματος και για οκτώ διαφορετικά ύψη φράγματος (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 και 15μ).

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ορίστηκε 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, όπου στο νησί καταφθάνουν οι πρώτοι παραθεριστές. Τον Ιούνιο, όπου υπάρχουν περισσότεροι παραθεριστές, αλλά και παραθεριστές του διημέρου (σαββατοκύριακα, καθότι η Άνδρος βρίσκεται πολύ κοντά στην Αθήνα), ο συντελεστής ανεβαίνει στο 11%. Τον Ιούλιο που παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση του εποχιακού πληθυσμού το ποσοστό ανεβαίνει στο 14%. Τον Αύγουστο παρατηρείται, όπως και στα περισσότερα τουριστικά μέρη, 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 στο διάγραμμα που ακολουθεί.

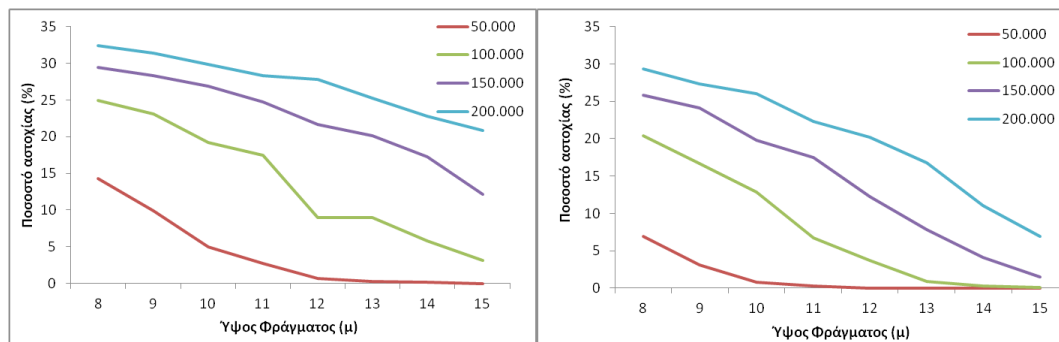
Σχήμα 7: Κατανομή μηνιαίων συντελεστών απώλησης.



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (αστοχία-ανεπάρκεια νερού σε μήνες στο σύνολο των 100 ετών της προσομοίωσης) για τις δύο επιλεγμένες θέσεις φράγματος παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

Σχήμα 8: Ποσοστά αστοχίας της προσομοίωσης στις θέσεις 1 και 2 αντίστοιχα.



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Όπως διακρίνεται από το παραπάνω διάγραμμα και για τις δύο θέσεις φράγματος, το ποσοστό της αστοχίας αυξάνεται, καθώς αυξάνεται ο ζητούμενος όγκος απώλησης νερού

για κάθε ύψος φράγματος και μειώνεται καθώς αυξάνει το ύψος φράγματος για κάθε όγκο απόληψης, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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 το μόνο οδηγό 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 50.000μ³, είναι δυνατή η δημιουργία ενός ταμιευτήρα στην θέση 1, όπου για ύψος φράγματος 8μ η αστοχία είναι 14.33% και για ύψος φράγματος 9μ 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 200.000μ³, η αστοχία ακόμα και για φράγμα 15μ 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, προκειμένου για μεγάλους απολήψιμους όγκους της τάξης των 200.000μ³. Σε αυτή την κατηγορία της απόληψης, φράγματα μέχρι 15μ 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 προκειμένου να ληφθεί μια απόφαση 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 (Καλογερόπουλος, 2011).

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 αξιόλογων πρωτογενών μετεωρολογικών δεδομένων οδήγησε στην κατασκευή ενός τεχνητού συνθετικού μετεωρολογικού σταθμού για την Άνδρο,

στηριζόμενου στα δεδομένα της Καρύστου, της Νάξου και της Σύρου (ΕΜΥ). Η ερευνητική προσπάθεια συνεχίζεται και τα στοιχεία επικαιροποιούνται συνεχώς με την τοποθέτηση μετεωρολογικού σταθμού στη λεκάνη απορροής των Αφρουσών.

- 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 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 καθιστά δύσκολη τη βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου και συνεπώς αναγκαστικά τα αποτελέσματα αξιολογούνται με βάση τη μικρή χρονοσειρά η οποία είναι διαθέσιμη.
- 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.
- Επιπλέον, η προσομοίωση αυτή έγινε μόνο 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 μπορεί 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 που προσφέρει η χρήση της Γεωπληροφορικής και τα υδρολογικά μοντέλα αποτελούν ένα ακόμη εργαλείο στη διάθεση του μελετητή-ερευνητή προκειμένου να προσομοιώσει καλύτερα το φυσικό περιβάλλον. Ίσως μεγαλύτερη αξία από αυτά καθαυτά 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.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσσα

- Βλαστού, Α. και Κλωνή, Α. (2010) *Μελέτη θέσεων ορεινών ταμιευτήρων στην Άνδρο*. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Τοπογραφίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΑΤΕΙ Αθήνας.
- ΕΜΠ. Τμήμα Χημικών Μηχανικών (2001) *Δημιουργία συστήματος παροχής υπηρεσιών ύδρευσης αποχέτευσης στα νησιά των Κυκλάδων*. Ερευνητικό Πρόγραμμα, 1η έκθεση προόδου.
- Καλογερόπουλος, Κ. (2011) *Αξιοποίηση του υδρολογικού μοντέλου SWAT στη διερεύνηση δημιουργίας λιμνοδεξαμενών*. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
- Παπανικολάου, Δ. (1978) *Γεωλογικός χάρτης της νήσου Άνδρου, σε κλίμακα 1/50.000 (1974-1976)*. Αθήνα: ΙΓΜΕ.
- Πισσίας, Ε., Καλογερόπουλος, Κ. και Ψαρογιάννης, Α. (2010) *Αξιοποίηση επιφανειακών απορροών στη Νήσο Άνδρο με τη δημιουργία ορεινών ταμιευτήρων νερού*. Ερευνητικό έργο, Έκθεση Προόδου Δράσης 1.
- Πισσίας, Ε., Καλογερόπουλος, Κ. και Ψαρογιάννης, Α. (2012α) *Αξιοποίηση επιφανειακών απορροών στη Νήσο Άνδρο με τη δημιουργία ορεινών ταμιευτήρων νερού*. Ερευνητικό έργο, Έκθεση Προόδου Δράσης 2, ΑΤΕΙ Αθήνας.
- Πισσίας Ε., Καλογερόπουλος Κ. και Ψαρογιάννης Α. (2012β) *Αξιοποίηση επιφανειακών απορροών στη Νήσο Άνδρο με τη δημιουργία ορεινών ταμιευτήρων νερού*. Ερευνητικό Έργο, Έκθεση Προόδου Δράσης 3, ΑΤΕΙ Αθήνας.

Υπουργείο Γεωργίας (1991) *Μελέτη μικρών λιμνοδεξαμενών στα νησιά Β. Κυκλάδων*.
Υδραυλικό Τεχνικό Μέρος.

Ξενόγλωσση

- Ashraf, M., Kahlown, M. and Ashfaq, A. (2007) “Impact of small dams on agriculture and groundwater development: A case from Pakistan”. *Agricultural Water Management*, 92 (1-2), pp. 90-98.
- Beven, K.J. (2008) *Rainfall-runoff modelling: The primer*. West Sussex: Wiley.
- Bourroui, F., Benabdallah, S., Jrad, A. and Bidoglio, G. (2005) “Application of the SWAT model on the Medjerda river basin (Tunisia)”. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30 (8-10), pp. 497-507.
- Chaplot, V. (2005) “Impact of DEM size and soil map on SWAT runoff, sediment, and NO₃-N loads predictions”. *Journal of Hydrology*, 312 (1-4), pp. 207-222.
- Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F. and 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*, 33 (1-2), pp. 74-85.
- Geza, M. and McCray, J. (2008) “Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions”. *Journal of Environmental Management*, 88 (3), pp. 393-406.
- Kalogeropoulos, K., Chalkias, C., Pissias, E. and Karalis, S. (2011) “Application of the SWAT model for the investigation of reservoirs creation”. In Lambrakis, N., et al. (eds.) *Advances in the research of aquatic environment*. Vol. 2. Berlin: Springer, pp. 71-79.
- Khlifi, S., Ameer, M., Mtimet, N., Ghazouani, N. and Belhadj, N. (2010) “Impacts of small hill dams on agricultural development of hilly land in the Jendouba region of northwestern Tunisia”, *Agricultural Water Management*, 97 (1), pp. 50-56.
- Lajoie, F., Assani, A., Roy, A. and Mesfioui, M. (2007) “Impacts of dams on monthly flow characteristics: The influence of watershed size and seasons”. *Journal of Hydrology*, 334 (3-4), pp. 423-439.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.E. (1970) “River flow forecasting through conceptual models: Part I: A discussion of principles”. *Journal of Hydrology*, 10 (3), pp. 282-290.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R. and Williams, J.R. (2004) “Soil and water assessment tool input/output file documentation version 2005”, Texas: Grassland, Soil and Water Research Laboratory.
- Omani, N., Tajrishy, M. and Abrishamchi, A. (2007) “Modeling of a river basin using SWAT model and GIS”. In: *Proceedings of Rivers*. Sarawak, Malaysia, 6-8 June.

- P.N.U.D. / O.P.E. (1987) “Ressources en eau dans les pays de l’ Afrique du nord, projet”.
RAB, 80/011.
- Patrick, P. (1999) *La valeur économique des hydrosystèmes*. Paris: Economica.
- Schuol, J., Abbaspour, K., Shrinivasan, R. and Hong, Y. (2008) “Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model”.
Journal of Hydrology, 352 (1-2), pp. 30-49.
- Shimelis, G., Ragahavan, S. and Bijan, D. (2008) “Hydrological modelling in the lake Tana basin, Ethiopia using SWAT model”. *The Open Hydrology Journal*, 2 (1), pp. 49-62.
- Zheng, J., Li, G., Han, Z. and Meng, G. (2010) “Hydrological cycle simulation of an irrigation district based on a SWAT model”. *Mathematical and Computer Modelling*, 51, (11-12), pp. 1312-1318.

Κλεομένης Καλογερόπουλος
Τμήμα Γεωγραφίας
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα, 17 671, Αθήνα
e-mail: Kalogeropoulos@hua.gr

Χρίστος Χαλκιάς
Τμήμα Γεωγραφίας
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα, 17 671, Αθήνα
e-mail: xalkias@hua.gr

Βαγγέλης Πισσίας
Τμήμα Τοπογραφίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
ΤΕΙ Αθήνας, Αγίου Σπυρίδωνος, Αιγάλεω, 12210, Αθήνα
e-mail: vpissias@yahoo.gr

Σωτήρης Καραλής
Τμήμα Τοπογραφίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
ΤΕΙ Αθήνας, Αγίου Σπυρίδωνος, Αιγάλεω, 12210, Αθήνα
e-mail: skaralis@teiath.gr

Αθανάσιος Ψαρογιάννης
Τμήμα Τοπογραφίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
ΤΕΙ Αθήνας, Αγίου Σπυρίδωνος, Αιγάλεω, 12210, Αθήνα
e-mail : apsarogiannis@yahoo.gr

ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΣΚΑΓΙΑΝΝΗΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ
ΓΟΣΠΟΔΙΝΗ ΑΣΠΑ
ΔΕΦΝΕΡ ΑΛΕΞΗΣ
ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΟΛΓΑ
ΨΥΧΑΡΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ
ΣΤΑΘΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Αραβαντινός Αθανάσιος	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Ανδρικόπουλος Ανδρέας	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βασεργόβεν Λουδοβίκος	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Γιαννακούρου Τζίνα	- Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Γιαννιάς Δημήτρης	- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δελλαδέτσιμας Παύλος	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Δεμαθάς Ζαχαρίας	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Ιωαννίδης Γιάννης	- Tufts University, USA
Καλογήρου Νίκος	- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)
Καρύδης Δημήτρης	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Κοσμόπουλος Πάνος	- Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ)
Κουκλέλη Ελένη	- University of California, USA
Λαμπριανίδης Λόης	- Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Λουκάκης Παύλος	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Λουρή Ελένη	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μαλούτας Θωμάς	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Μαντουβάλου Μαρία	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Μελαχροινός Κώστας	- Queen Mary, University of London
Μοδινός Μιχάλης	- Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΔΙΠΕ)
Μπριασουλή Ελένη	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Παπαθεοδώρου Ανδρέας	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Πρεβελάκης Γεώργιος-Στυλ.	- Université de Paris I, France
Φωτόπουλος Γιώργος	- Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Χαστάογλου Βίλμα	- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)

αιχώρος

ΤΕΥΧΟΣ 20 | ΕΤΟΣ
ISSUE 20 | YEAR 2015

Ανδρικοπούλου Ε., Κακτέρη Χ., Καυκαλάς Γ., Τασσοπούλου Α. 4

Διαδρομές περιφερειακής ανθεκτικότητας: επιπτώσεις της κρίσης και προοπτικές χωρικής ανάπτυξης στην περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας

Γεμεντζή Γ. 32

Αστική μορφή και μεταβολικές ροές - Παράγοντες και εργαλεία για τη διαμόρφωση ενός πλαισίου πολεοδομικού σχεδιασμού: Πιλοτική εφαρμογή στη Θεσσαλονίκη

Κακλαμάνη Σ., Ντυκέν Μ.Ν. 66

Η πληθυσμιακή γήρανση στην ύπαιθρο χώρα: Μία ετερογενής κατάσταση με θετικές και αρνητικές επιπτώσεις

Ανθοπούλου Θ., Πέτρου Μ. 96

Όψεις της κρίσης και της επιστροφής στον αγροτικό χώρο: Η συζήτηση για την αγροτική ανθεκτικότητα

Μπίσκα Α., Στρατηγέα Α. 122

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η πορεία της Ελλάδας προς το 2020

Καλογερόπουλος Κ., Χαλκιάς Χ., Πισσίας Β., Καραλής Σ., Ψαρογιάννης Α. 147

Χωροθέτηση μικρών ταμειυτήρων νερού ως μοχλός ανάπτυξης νησιωτικών περιοχών

ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Βλάμης Π. 176

Θεσμικές μεταρρυθμίσεις ως προαπαιτούμενο για την αξιοποίηση της περιουσίας του ελληνικού δημοσίου και των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης

ISSN
—
1109-5008

Website
—
<http://www.aeihoros.gr>