

Σύνοψη υδρολογικής διερεύνησης Ρόδου στα πλαίσια του έργου «Έργα Ύδρευσης Ρόδου από το φράγμα Γαδουρά - Β φάση: Προμελέτες, οριστικές μελέτες κλπ., μελέτες έργων υδραγωγείων και ΕΕΝ - Τεύχη Δημοπράτησης»

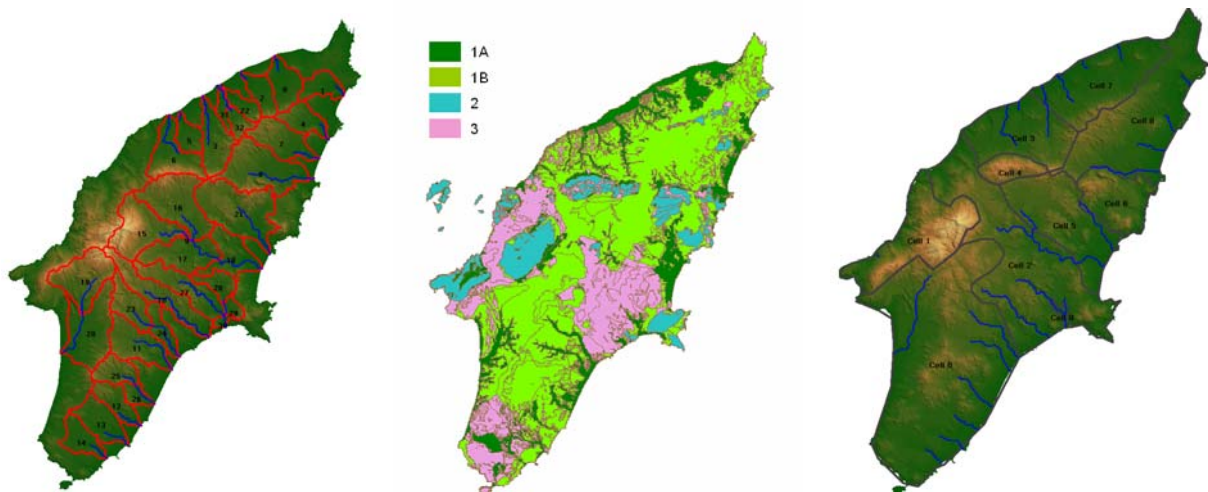
Ανδρέας Ευστρατιάδης και Ευάγγελος Ρόζος, Φεβρουάριος 2011

Σκοπός της μελέτης και μεθοδολογία

Η μελέτη αποσκοπεί στην κατάρτιση του μηνιαίου υδρολογικού ισοζυγίου της Ρόδου, για την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής σε χαρακτηριστικές θέσεις και της κατεΐσδυσης, ήτοι της τροφοδοσίας των υποκείμενων υδροφόρων στρωμάτων, μέσω της οποίας εκτιμώνται τα αντίστοιχα ρυθμιστικά αποθέματα. Το μεθοδολογικό πλαίσιο περιλαμβάνει τα εξής στάδια: Αρχικά, βαθμονομήθηκε το υδρολογικό μοντέλο Υδρόγειος για την αναπαραγωγή της παρατηρημένης απορροής στη λεκάνη του Γαδουρά, κατά την περίοδο 2000-2010. Στη συνέχεια, οι παράμετροι που προέκυψαν για τη συγκεκριμένη λεκάνη, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικές κατηγορίες εδαφών (μονάδες υδρολογικής απόκρισης), εφαρμόστηκαν στο σύνολο του νησιού. Το νησί χωρίστηκε σε υπολεκάνες και υδρογεωλογικές ενότητες, το υδατικό ισοζύγιο των οποίων εκτιμήθηκε μέσω στοχαστικής προσομοίωσης, με είσοδο συνθετικές βροχοπτώσεις μήκους 1000 ετών. Οι αντίστοιχες συνθετικές έξοδοι του μοντέλου Υδρόγειος (συνθετικές χρονοσειρές απορροής και κατεΐσδυσης) χρησιμοποιήθηκαν στις διαχειριστικές αναλύσεις, μέσω του λογισμικού WEAP.

Γεωγραφικά δεδομένα και επεξεργασίες

Η Ρόδος διαχωρίστηκε σε 33 υπολεκάνες, με οδηγό τη σχηματοποίηση που υποβλήθηκε στα πλαίσια της διαχειριστικής μελέτης του ΥΠΑΝ. Επιπλέον, οι εδαφικοί σχηματισμοί ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις μονάδες υδρολογικής απόκρισης (ΜΥΑ). Οι ομάδες 1Α και 1Β περιλαμβάνουν σχηματισμούς μέτριας περατότητας (κυρίως προσχώσεις), η ομάδα 2 περιλαμβάνει σχηματισμούς υψηλής περατότητας (π.χ. ασβεστόλιθοι), ενώ η ομάδα 3 περιλαμβάνει σχηματισμούς χαμηλής περατότητας (π.χ. φλύσχης). Τέλος, το νησί διαχωρίστηκε σε 9 υδρογεωλογικές ενότητες, που τροφοδοτούνται από την κατεΐσδυση διαμέσου κάθε συνδυασμού υπολεκανών και ΜΥΑ. Οι επεξεργασίες των χωρικών δεδομένων έγιναν με το σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας MapWindow (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Χάραξη υπολεκανών και υδρογραφικού δικτύου (αριστερά), σχηματοποίηση μονάδων υδρολογικής απόκρισης (κέντρο) και χάραξη υδρογεωλογικών ενότητων (δεξιά).

Υδρομετεωρολογικά δεδομένα και επεξεργασίες

Συλλέχθηκαν και επικαιροποιήθηκαν τα μηνιαία βροχομετρικά δείγματα 13 σταθμών, για τα οποία έγιναν τυπικές επεξεργασίες (έλεγχοι και συμπληρώσεις). Από τη χωρική ανάλυση των δεδομένων, εκτιμήθηκε η σχέση μεταβολής του ύψους βροχής συναρτήσει του υψομέτρου, ήτοι η βροχοβαθμίδα, που υπολογίστηκε σε 0.60 mm/m. Για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης στις 33 υπολεκάνες, υπολογίστηκαν οι συντελεστές επιρροής κάθε σταθμού, με τη μέθοδο ολοκλήρωσης των πολυγώνων Thiessen, ενώ για τη «μεταφορά» των χρονοσειρών από το μέσο υψόμετρο των σταθμών στο μέσο υψόμετρο κάθε υπολεκάνης εφαρμόστηκε η μέθοδος του συντελεστή υψομετρικής αναγωγής.

Με βάση τα μηνιαία μετεωρολογικά δείγματα πέντε σταθμών, εκτιμήθηκαν η χρονοσειρά εξάτμισης από τον ταμιευτήρα του Γαδουρά και οι χρονοσειρές δυνητικής εξατμοδιαπνοής των διαφόρων υπολεκανών, με εφαρμογή των μεθόδων Penman και Penman-Monteith, αντίστοιχα.

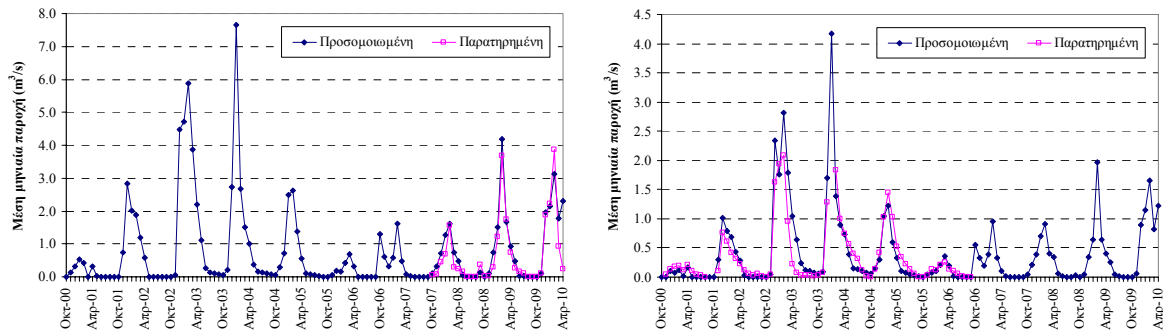
Όσον αφορά στα δεδομένα απορροής, εντοπίστηκαν διάφορες κατηγορίες δεδομένων. Μια πρώτη αφορά σε σποραδικές μετρήσεις παροχής σε 10 θέσεις ρεμάτων, που έχουν πραγματοποιηθεί από την ΥΕΒ ΝΑ Δωδεκανήσου. Η εν λόγω πληροφορία, εξαιτίας του αραιού δείγματος μετρήσεων, είναι σε ελάχιστο βαθμό αξιοποιήσιμη. Αντίθετα, εξαιρετικής σημασίας είναι τα δεδομένα του υδρομετρικού σταθμού της γέφυρας Λαέρμων, που ελέγχει την παροχή του νότιου κλάδου του ρέματος Γαδουρά, έκτασης λεκάνης απορροής 51.6 km². Ο σταθμός λειτουργεί από το Νοέμβριο του 2000, καταγράφοντας τη στάθμη του ποταμού ανά 10 min. Στα πλαίσια της μελέτης πραγματοποιήθηκαν εκτενείς έλεγχοι και αναλύσεις (π.χ. κατάρτιση νέας σχέσης στάθμης-παροχής), για την αξιόπιστη εκτίμηση της χρονοσειράς μέσης μηνιαίας παροχής της περιόδου 2000-2010. Ακόμη, εκτιμήθηκε η μηνιαία απορροή στη θέση του φράγματος, με επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα ως προς τις εισροές. Τα δείγματα παροχής στις δύο αυτές θέσεις του Γαδουρά (γέφυρα Λαέρμων και φράγμα) χρησιμοποιήθηκαν, στη συνέχεια, για τη βαθμονόμηση του μοντέλου Υδρόγειος.

Προσαρμογή μοντέλου Υδρόγειος στη λεκάνη Γαδουρά

Η εκτίμηση των υδατικών πόρων της Ρόδου ανά υπολεκάνη είναι δυνατή μόνο με χρήση υδρολογικού μοντέλου, καθώς η διαθέσιμη υδρομετρική πληροφορία είναι ανεπαρκής, με εξαίρεση τη λεκάνη του Γαδουρά. Η εν λόγω λεκάνη, έκτασης 183.3 km², είναι από τις πλέον αξιόλογες, από πλευράς υδατικού δυναμικού, και η σημαντικότερη από διαχειριστική σκοπιά, καθώς εκεί βρίσκεται το ομώνυμο φράγμα. Από τις αναλύσεις των δεδομένων προέκυψαν συστηματικά και αξιόπιστα δείγματα βροχόπτωσης και απορροής για την περίοδο 2000-2010. Μάλιστα, η λεκάνη είναι αντιπροσωπευτική των φυσιογραφικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών της Ρόδου, καθώς περιλαμβάνει περιοχές με όλους τους κυρίαρχους εδαφικούς τύπους, που στην παρούσα προσέγγιση ορίζονται ως μονάδες υδρολογικής απόκρισης (ΜΥΑ). Προφανώς, η υδρολογική δίαιτα του Γαδουρά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των ΜΥΑ της λεκάνης, για τα οποία γίνεται η υπόθεση ότι περιγράφονται από τις εννοιολογικές παραμέτρους του μοντέλου Υδρόγειος. Το μοντέλο αναπαριστά τις υδρολογικές διεργασίες, επιφανειακές και υπόγειες, καθώς και τη διαχείριση των απολήψεων νερού για διάφορες χρήσεις, και έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε σύνθετα υδροσυστήματα του ελληνικού χώρου. Στόχος είναι η προσαρμογή (βαθμονόμηση) του μοντέλου στη λεκάνη του Γαδουρά και, ακολούθως, η «μεταφορά» των βελτιστοποιημένων τιμών των παραμέτρων στις ΜΥΑ όλων των υπολεκανών της Ρόδου, για την υδρολογική προσομοίωση του συνόλου του νησιού.

Η εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου Υδρόγειος βασίστηκε σε μια πολυκριτηριακή προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία επιδιώχθηκε η βέλτιστη προσαρμογή του σε δύο θέσεις ελέγχου, όπου διατίθενται συστηματικές, καθώς και στην έξοδο, όπου διατίθεται περιορισμένο δείγμα υδρομετρήσεων.

Το πλήθος των παραμέτρων, σε συνδυασμό με το σχετικά μικρό μήκος δείγματος, είχαν ως συνέπεια τον εντοπισμό πληθώρας διατυπώσεων του μοντέλου που αναπαράγουν εξίσου καλά των ιστορικών εισροές του φράγματος (όπου δόθηκε η μεγαλύτερη έμφαση). Προκειμένου να εντοπιστεί μια κατά το δυνατό πιο ρεαλιστική λύση, πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές δοκιμές. Η σύγκριση των τελικών προσομοιωμένων με τις μετρημένες παροχές ανάντη του φράγματος και στη γέφυρα Λαέρμων δίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Προσομοιωμένες και παρατηρημένες χρονοσειρές μέσης μηνιαίας παροχής ανάντη του φράγματος Γαδουρά (αριστερά) και στον υδρομετρικό σταθμό της γέφυρας Λαέρμων (δεξιά).

Στοχαστική υδρολογική προσομοίωση Ρόδου

Αρχικά, εφαρμόστηκε το μοντέλο Κασταλία για τη γέννηση σημειακών βροχοπτώσεων μήκους 1000 ετών. Διαμορφώθηκε ένα πολυμεταβλητό σχήμα στοχαστικής προσομοίωσης δέκα μεταβλητών, το οποίο αναπαράγει τα στατιστικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων ιστορικών βροχομετρικών δειγμάτων και τις μεταξύ τους συσχετίσεις. Οι σημειακές χρονοσειρές ολοκληρώθηκαν στην επιφάνεια των 33 υπολεκάνων της Ρόδου, με τη μέθοδο Thiessen με υψομετρική αναγωγή. Όσον αφορά στη δυναμική εξατμοδιαπνοή, δεν κρίθηκε αναγκαία η χρήση συνθετικών χρονοσειρών, καθώς η διακύμανσή της από έτος σε έτος είναι περιορισμένη. Συνεπώς, σε όλες τις υπολεκάνες θεωρήθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές της λεκάνης του Γαδουρά. Με τα παραπάνω δεδομένα εισόδου επιφανειακής βροχόπτωσης και δυναμικής εξατμοδιαπνοής, και με χρήση των βελτιστοποιημένων τιμών παραμέτρων, εφαρμόστηκε το μοντέλο Υδρόγειος για τη στοχαστική υδρολογική προσομοίωση των 34 υπολεκάνων της Ρόδου. Στη συνέχεια, οι συνθετικές χρονοσειρές κατεισδυσες από κάθε εδαφικό τμήμα (συνδυασμό υπολεκάνης και ΜΥΑ) ολοκληρώθηκαν στην επιφάνεια των αντίστοιχων εννέα υδρογεωλογικών ενότητων.

Από την ανάλυση των προσομοιωμένων χρονοσειρών προέκυψε ότι, για το σύνολο του νησιού και σε μέση ετήσια κλίμακα, το ύψος βροχής στη Ρόδο φτάνει τα 760 mm, από τα οποία 504 mm (66.3%) είναι απώλειες λόγω εξατμοδιαπνοής, 149 mm (19.6%) κατεισδύουν στον υπόγειο υδροφόρο και 107 mm (14.0%) απορρέουν επιφανειακά. Από την ποσότητα νερού που κατεισδύει, μικρό τμήμα της εκφορτίζεται επιφανειακά, μέσω πηγών, ένα τμήμα χρησιμοποιείται από τις γεωτρήσεις, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα απορρέει υπόγεια στη θάλασσα.

Στην έκθεση δίνονται αναλυτικά ισοζύγια για κάθε υπολεκάνη και κάθε υδρογεωλογική ενότητα, καθώς και στοιχεία εισροών στις θέσεις των υφιστάμενων και μελλοντικών έργων αξιοποίησης (φράγματα και λιμνοδεξαμενές). Ειδικότερα, για το φράγμα Γαδουρά εξετάστηκαν δύο σενάρια βροχοπτώσεων, τα οποία αναπαράγουν τις μέσες σημειακές τιμές των τελευταίων 25 και 10 ετών (σενάρια Α και Β, αντίστοιχα). Η μέση ετήσια απορροή του φράγματος για τα δύο σενάρια εκτιμάται σε 21.9 και 24.4 hm³, αντίστοιχα.