

Διαμόρφωση πολυκριτήριου υποδείγματος για την εκτίμηση της αποδοτικότητας κατανάλωσης αρδευτικού νερού

Ι. Δημητριάδης¹, Γ. Αραμπατζής²

¹ Τ.Ε.Ι. Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, ΜΠΣ Διαχείριση Υδάτινων Πόρων στη Μεσόγειο 1^ο Χλμ Δράμας Μικροχωρίου, 66100, Δράμα Τηλ. 25210-60402, email: dijomarine@hotmail.com

² Αναπληρωτής Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανταζίδου 193, 68200, Ορεστιάδα, Τηλ. 25520-41158, email: garamp@fmenr.duth.gr

Περίληψη

Στις ημιξηρες περιοχές της Μεσογείου, οι υδατικοί πόροι δέχονται εξαιρετικές πιέσεις λόγω της χαμηλής μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων. Μεγαλύτερος καταναλωτής νερού παραμένει ο τομέας των γεωργικών καλλιιεργειών. Διάφορες έρευνες εκτίμησαν ότι περίπου το 70% της κατανάλωσης είναι μη αποδοτική εξαιτίας μιας σειράς προβλημάτων που εντοπίζονται στην εύρεση, συλλογή και εφαρμογή των υδατικών πόρων. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευή ενός ενιαίου μοντέλου πολλών κριτηρίων, με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας, για την ταυτοποίηση των παραγόντων που επιδρούν στην κατανάλωση του νερού στις γεωργικές καλλιιεργειες της Ελλάδας. Λήφθηκαν υπόψη τόσο ποιοτικοί όσο και ποσοτικοί παράγοντες, εσωτερικοί και εξωτερικοί, τα είδη των καλλιιεργειών, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, η εμπειρία των γεωργών κ.α. Έμφαση δόθηκε στη αναζήτηση βιβλιογραφικών δεδομένων ώστε τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται να είναι κατάλληλα για τις ελληνικές συνθήκες. Η σταδιακή αύξηση της αποδοτικότητας στη κατανάλωση νερού θα δημιουργήσει πλεόνασμα διαθέσιμων υδατικών πόρων. Η ορθή κατανομή του πλεονάσματος μπορεί να ενισχύσει –έμμεσα– την ανάπτυξη των λειμώνων και κατ' επέκταση την οικολογική και οικονομική τους σημασία.

Λέξεις κλειδιά: λειμώνες, κατανάλωση νερού, αρδευόμενες καλλιιεργειες, Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία

Εισαγωγή

Τα λιβάδια κάλυπταν μέχρι και το 25% της παγκόσμιας επιφάνειας στο παρελθόν. Το ποσοστό αυτό σιδιακά συρρικνώθηκε λόγω της εντατικής ανάπτυξης των αρδευόμενων καλλιιεργειών, οι οποίες επιβαρύνουν τους υδατικούς πόρους ποσοτικά και ποιοτικά (Vickery et al. 2001). Οι αρδευόμενες καλλιιεργειες αποτελούν σήμερα τον μεγαλύτερο καταναλωτή νερού παγκοσμίως (FAO 2002). Υπολογίστηκε ότι περίπου το 70% του αρδευόμενου νερού καταναλώνεται μη αποδοτικά και άσκοπα (Karamanos et al. 2005). Ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης δεν αναμένεται να περιοριστεί στο άμεσο μέλλον λόγω της διαρκούς ανάγκης για παραγωγή αγροτικών προϊόντων για εγχώρια και μη κατανάλωση. Σημαντική αναμένεται η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική γεωργία (Karamanos et al. 2011). Η υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων για άρδευση λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας στην διατήρηση των λιβαδιών (Nian et al. 2014). Ένα υγιές λειμωνικό οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από επάρκεια νερού. Τα λειμωνικά οικοσυστήματα συγκροτούν υψηλής βιολογικής αξίας ενδιαιτήματα με σημαντική βιοποικιλότητα. Η επάρκεια νερού και η ποικιλία θρεπτικών στοιχείων αποτρέπει φαινόμενα έντονου ανταγωνισμού μεταξύ των ειδών (Balvanera et al., 2006). Το έδαφος αποκτά έντονη φυτική κάλυψη και αποτρέπονται φαινόμενα διάβρωσης. Η φυτική κάλυψη με τη σειρά της προσφέρει σκίαση που αυξάνει τη

σχετική υγρασία του εδάφους και μειώνει τον ρυθμό εξάτμισης του νερού (Conant et al., 2001). Τέλος ο υδροφόρος ορίζοντας παραμένει σε υψηλά επίπεδα και κοντά στην επιφάνεια ενισχύοντας περαιτέρω την ανάπτυξη των ριζών και κατ' επέκταση των φυτών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός ενιαίου μοντέλου πολλών κριτηρίων που θα εκτιμά την κατανάλωση νερού στις αρδευόμενες καλλιέργειες (στις οποίες περιλαμβάνονται και λειμώνες) της Ελλάδας κατά περίπτωση. Για την κατασκευή της μεθοδολογίας, αναζητήθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την τελική κατανάλωση και ο βαθμός αυτής της επίδρασης. Το μοντέλο αξιολόγησε καλές πρακτικές που οδηγούν σε αποδοτικότερη χρήση του νερού με τη βοήθεια κριτηρίων που χαρακτηρίζουν την ελληνική γεωργία. Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να δοθούν κατευθύνσεις για μελλοντική πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας.

Υλικά και Μέθοδοι

Για την κατασκευή του μοντέλου πολλών κριτηρίων χρησιμοποιήθηκε η Ιεραρχική Αναλυτική Διαδικασία (Analytical Hierarchy Process – AHP) και το λογισμικό Expert Choice. Η AHP είναι μια πολύ δημοφιλής μέθοδος Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (Multi-Criteria Analysis Method – MCDA) με σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η ενσωμάτωση της υποκειμενικότητας των κρίσεων και η ενθάρρυνση της συμμετοχής πολλών εμπλεκόμενων στη λήψη αποφάσεων (Fülör 2005). Η AHP πραγματοποιεί συγκρίσεις κατά ζεύγη (pairwise comparisons) ανάμεσα στα κριτήρια και στις εναλλακτικές των κριτηρίων και υπολογίζει το επίπεδο σημαντικότητας (συντελεστής βαρύτητας) (Saaty 1980).

Για την αξιολόγηση, χρησιμοποιήθηκε μια λίστα από κριτήρια και οι επιμέρους εναλλακτικές τους που χαρακτηρίζουν την ελληνική γεωργία. Τα κριτήρια προήλθαν αρχικά από την αναζήτηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Οι εναλλακτικές των κριτηρίων χαρακτηρίζουν τις εν δυνάμει καταστάσεις των κριτηρίων και βοήθησαν στην αξιολόγηση του κριτηρίου που ανήκαν. Η ελληνική βιβλιογραφία ήταν περιορισμένη για αυτό τόσο τα κριτήρια όσο και οι εναλλακτικές τους προήλθαν από την αναζήτηση ξενόγλωσσης βιβλιογραφίας και προσαρμόστηκαν στα ελληνικά δεδομένα.

Στη συνέχεια, για την επαλήθευση των επιλεγθέντων αλλά και την αναζήτηση νέων κριτηρίων πραγματοποιήθηκε συζήτηση με ομάδες συμφερόντων (stakeholders) (γεωπόνοι, γεωργοί κ.α.) με τη συμπλήρωση κατάλληλα διαμορφωμένων ερωτηματολογίων. Το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε σε 50 μέλη του αγροτικού συνεταιρισμού Αργυρούπολης στο νομό Δράμας, τα οποία και το συμπλήρωσαν. Το ερωτηματολόγιο είχε τη μορφή ταξινόμησης βασικών κριτηρίων από το 1 (λιγότερο σημαντικό) έως το 9 (εξαιρετικά σημαντικό), ενώ δινόταν η δυνατότητα να προστεθούν παράγοντες που δεν αναφέρονταν.

Τελικά επιλέχθηκε να παρουσιαστούν 5 κριτήρια ενδεικτικά τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Τα ποιοτικά κριτήρια αξιολογούν την παρουσία ή απουσία μιας μεταβλητής, ενώ τα ποσοτικά κριτήρια αποτελούνται από καθαρά μετρήσιμους δείκτες. Κάθε κριτήριο είχε μια σειρά από εναλλακτικές που βοηθούσαν στην αξιολόγηση του κριτηρίου που ανήκαν.

Η κύρια μέθοδος άρδευσης αποτέλεσε το πρώτο ποιοτικό κριτήριο. Ταξινομήθηκαν 5 συνηθισμένες μέθοδοι άρδευσης σύμφωνα με τη μέση απαιτούμενη ποσότητα νερού που χρειάζονται για μια συγκεκριμένη περιοχή (Evans et al., 1996). Η ύπαρξη ή όχι κάποιου προγραμματισμού στην άρδευση αποτελούσε το δεύτερο ποιοτικό κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε (Clemson, 1984).

Το τελευταίο ποιοτικό κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το είδος της καλλιέργειας. Το συγκεκριμένο κριτήριο συσχετίστηκε με την ανάγκη σε νερό της κύριας καλλιέργειας της περιοχής μελέτης. Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε μια ομαδοποίηση των καλλιεργειών (Πίνακας 1) με σημείο αναφοράς την ανάγκη σε νερό του γρασιδιού (γκαζόν) (FAO, 1986).

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση καλλιεργειών βάση των αναγκών τους σε νερό

Εναλλακτική 1	Εναλλακτική 2	Εναλλακτική 3	Εναλλακτική 4	Εναλλακτική 5
-30% (καταν.)	-10% (καταν.)	ίση καταν. με γρασίδι	+10% (καταν.)	+20% (καταν.)
Εσπεριδοειδή	Αγγούρια	Καρότα	Φασόλια	Ρύζι
Ελιές	Ραπανάκια	Μαρούλι	Κριθάρι	Ζαχαροκάλαμο
Σταφύλια	Κολοκύθια	Λάχανο	Αραβόσιτος	Μπανάνες
		Μπρόκολο	Βαμβάκι	Ξηροί καρποί
		Κρεμμύδια	Ντομάτες	Οπωροφόρα με κέλυφος
		Φιστίκια	Μπιζέλια	
		Πεπόνι	Βρώμη	
		Πιπεριές	Μελιτζάνες	
		Σπανάκι	Πατάτες	
			Ζαχαρότευτλα	
			Ηλιόσπορος	
			Σιτάρι	
			Καπνός	

Μεγάλη έμφαση δόθηκε στην ανακύκλωση του νερού. Το ποσοστό επί της συνολικής κατανάλωσης που προέρχονταν από μεθόδους ανακύκλωσης (McDonald, 2013), καθόρισε το κριτήριο ‘Μέθοδοι Ανακύκλωσης Νερού’.

Τέλος, η εμπειρία των γεωργών εκτιμήθηκε πως επηρεάζει την κατανάλωση νερού. Με την πάροδο των χρόνων οι γεωργοί αποκτούν εμπειρία και μαθαίνουν ή εκπαιδεύονται να προσαρμόζουν τη κατανάλωση νερού ανάλογα με την περίπτωση (McCown, 2002). Το συγκεκριμένο κριτήριο κρίθηκε ότι μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, παρόλα αυτά μια κατηγοριοποίηση της εμπειρίας για τη δημιουργία των εναλλακτικών σε τριετίες αναμένονταν να δώσει πολύτιμες πληροφορίες.

Μετά τον ορισμό των κριτηρίων και των εναλλακτικών τους, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις σε ζεύγη αρχικά μεταξύ των κριτηρίων και στη συνέχεια για τις εναλλακτικές των κριτηρίων για τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας. Οι συγκρίσεις σε ζεύγη ακολούθησαν την θεμελιώδη κλίμακα απολύτων αριθμών του Saaty, δημιουργώντας συστοιχίες συντελεστών βαρύτητας, μία για τα κριτήρια και οι υπόλοιπες εσωτερικά για τις εναλλακτικές του κάθε κριτηρίου (Saaty 1980).

Ο συνολικός συντελεστής βαρύτητας των εναλλακτικών προέκυψε από τον πολλαπλασιασμό του συντελεστή βαρύτητας του κριτηρίου που ανήκαν επί του εσωτερικού συντελεστή βαρύτητας της εναλλακτικής. Για την τελική αξιολόγηση επιλέχθηκε μια εναλλακτική από κάθε κριτήριο και η τελική βαθμολογία υπολογίστηκε από το άθροισμα των συνολικών συντελεστών βαρύτητας. Από το εύρος των βαθμολογιών δημιουργήθηκαν 5 ποιοτικές κλάσεις ποιότητας, ώστε να κατηγοριοποιηθεί η τελική βαθμολογία, της υπό μελέτης περιοχής, σε μια ποιοτική κλάση ποιότητας.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Από τις δυαδικές συγκρίσεις των κριτηρίων και των εναλλακτικών προέκυψαν τα αποτελέσματα του Πίνακα 2. Ως προς τις μεθόδους άρδευσης, το πότισμα με σταγόνες αξιολογήθηκε ως η πιο αποδοτική μέθοδος (20.8%). Αυτό οφείλεται κυρίως στην εξοικονόμηση νερού που επιτυγχάνεται από την εγκατάσταση της. Οι υπόλοιπες μέθοδοι βαθμολογήθηκαν με μικρότερα βάρη.

Πίνακας 2. Τα κριτήρια, οι εναλλακτικές και συντελεστές βαρύτητας τους

Κριτήριο	Εναλλακτικές	Εσωτ. Συντ. Βαρύτητας (%)	Συν. Συντελ. Βαρύτητας (%)
Μέθοδοι Άρδευσης (0.376)	Μικρονεκαστήρες	3.6	1.4
	Ψεκαστήρες όπλου	5.2	2
	Περιστροφή μεσαίας πίεσης	14.4	5.4
	Περιστροφή χαμηλής πίεσης	21.5	8.1
	Πότισμα με σταγόνες	55.2	20.8
Μέθοδοι Ανακύκλωσης Νερού (% ανακυκλώσιμο νερό) (0.315)	> 30%	19.8	19.8
	10 - 30%	8.8	8.8
	< 10%	3	3
Προγραμματισμός Άρδευσης (0.14)	Ναι	83.3	11.6
	Όχι	16.7	2.3
Εμπειρία των Γεωργών (0.112)	0-3 χρόνια	5.4	0.6
	3-6 χρόνια	12	1.3
	6-9 χρόνια	30.7	3.4
	> 10 χρόνια	51.9	5.8
Είδος Καλλιέργειας (σε σχέση με το γρασίδι) (0.057)	30% λιγότερο	51.7	2.9
	10% λιγότερο	25.8	1.5
	ίσο	12.4	0.7
	10% περισσότερο	6.2	0.4
	20% περισσότερο	3.9	0.2
Σύνολο			100

Το κριτήριο «Μέθοδοι Ανακύκλωσης Νερού» αναφέρονταν στο ποσοστό νερό που προέρχεται από ανακυκλώσιμες πηγές. Η χρησιμοποίηση ανακυκλώσιμου νερού σε ποσοστό μεγαλύτερο από 30% βαθμολογήθηκε με 19.8%. Επίσης, σημαντικό ρόλο φάνηκε να παίζει ο προγραμματισμός της άρδευσης (11.6%). Η εμπειρία των γεωργών λήφθηκε υπόψη με το σκεπτικό ότι σταδιακά με την πάροδο του χρόνου ο γεωργός βελτιώνει τις ικανότητες του. Οι γεωργοί με εμπειρία πάνω από 10 χρόνια βαθμολογήθηκαν με 5.8%. Τέλος, η ανάγκη των καλλιεργειών σε νερό κρίθηκε μικρότερης σημαντικότητας, καθώς η επιλογή καλλιεργειών που καταναλώνουν μέσο όρο 30% λιγότερο νερό από το γρασίδι βαθμολογήθηκε με 2.9%.

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει της ποιοτικές κλάσεις που δημιουργήθηκαν βάση των βαρών που υπολογίστηκαν. Δημιουργήθηκαν πέντε ποιοτικές κλάσεις και στη συνέχεια κανονικοποιήθηκαν ώστε να συμφωνούν με το εύρος της τελικής βαθμολογίας. Το εύρος [7.5 -60.9] υπολογίστηκε από την επιλογή της χειρότερης εναλλακτικής και της καλύτερης εναλλακτικής από κάθε κριτήριο. Έμφαση δόθηκε στην μέτρια και κακή κατάσταση – 50% του συνολικού εύρους – με σκοπό οι γεωργοί να επιτυγχάνουν δυσκολότερα τις υψηλότερες κλάσεις.

Πίνακας 3. Οι ποιοτικές κλάσεις και το εύρος κάθε κλάσης

Κατάσταση	Εύρος (%)
Εξαιρετική (15%)	53.1 - 60.9
Πολύ Καλή (15%)	45 - 53
Καλή (20%)	34.3 - 44.9
Μέτρια (25%)	21 - 34.2
Κακή (25%)	7.5 - 20,9

Συμπεράσματα

Από το μοντέλο εκτίμησης της κατανάλωσης νερού που κατασκευάστηκε προκύπτει πως η σωστή επιλογή των κατάλληλων εναλλακτικών οδηγεί άμεσα ή έμμεσα στην αποδοτικότερη χρήση νερού και τη σταδιακή μείωση της σπατάλης. Η σταδιακή διαθεσιμότητα περισσότερων υδατικών πόρων φαίνεται να ευνοεί έμμεσα την ανάπτυξη λειμώνων και λιβαδιών μέσω της εφαρμογής καλών πρακτικών (Masubele et al. 2014). Αυτή θα συμβάλει στην ανάπτυξη της κτηνοτροφίας και στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη της υπαίθρου.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην υποκειμενικότητα. Παρόλα αυτά, ο δείκτης συνέπειας (consistency ratio) των κρίσεων ήταν στα επιτρεπτά όρια. Τέλος, η περαιτέρω προσθήκη κριτηρίων και εναλλακτικών κρίνεται απαραίτητη για να επιτευχθεί πιο ολοκληρωμένη ανάλυση όλων των παραμέτρων που επιδρούν στην χρήση νερού στη γεωργία.

Βιβλιογραφία

- Balvanera, P., A.B., Pfisterer, N., Buchmann, J.S., He, T., Nakashizuka, D., Raffaelli and B., Schmid, 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9 (10): 1146-1156.
- Clemson (2014) Water Management and Scheduling. Clemson Cooperative Extension. The article is available online.
- Conant, R.T., K., Paustian and E.T., Elliott, 2001. Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11 (2): 343-355.
- Evans R., Sneed R.E., Hunt J.H., 1996. Irrigation Management Strategies to improve water and energy-use efficiencies. North Carolina Cooperative Extension Service. The article is available online.
- FAO, 1986. Irrigation Water Management: Irrigation water needs. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- FAO, 2002. World agriculture: towards 2015/2030. Summary report. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Fülöp, J., 2005. Introduction to Decision Making Methods In Introduction to Decision Making Methods. Laboratory of Operations Research and Decision Systems.
- Karamanos, A., S., Aggelides and P., Londra, 2005. Irrigation systems performance in Greece. *Options Mediterraneennes: Serie B* 52, pp 99-110.

- Καραμάνος Α., Σκούρτος Μ., Βολουδάκης Δ., Κοντογιάννη Α., Μαχλέρας Α., 2011. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία. Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα, Υποκεφάλαιο 2.4. Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα.
- Masubele, M.L., M.T., Hoffman, W.J., Bond and J. Gambiza, 2014. A 50 year study shows grass cover has increased in shrublands of semi-arid South Africa. *Journal of Arid Environments*, 104: 43-51.
- McCown R.L. (2002). Changing systems for supporting farmers' decisions: Problems, paradigms, and prospects. *Agricultural Systems* 74 (1): 179-220.
- McDonald K., 2013. Thirty-five Water Conservation Methods for Agriculture, Farming, and Gardening. The article is available online.
- Nian, Y.Y., X., Li, J., Zhou and X.L., Hu, 2014. Impact of land use change on water resource allocation in the middle reaches of the Heihe River Basin in northwestern China. *Journal of Arid Land*, 6 (3): 273-286.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. Mc Graw Hill, New York.
- Vickery, J.A., J.R., Tallowin, R.E., Feber, E.J., Asteraki, P.W., Atkinson, R.J., Fuller and V.K., Brown, 2001. The management of lowland neutral grasslands in Britain: Effects of agricultural practices on birds and their food resources. *Journal of Applied Ecology*, 38 (3): 647-664.

Configuration of a multicriteria model to estimate the efficiency of irrigation water consumption

I. Dimitriadis¹, G. Arabatzis²

¹ M.Sc in Management of Water Resources in the Mediterranean, Technological Educational Institute of Eastern Macedonia and Thrace, 1st Km Dramas Microchoriou, 66100 Drama, Greece. Email: dijomarine@hotmail.com

² Associate Professor, Democritus University of Thrace, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Pantazidou 193, 68200, Orestiada, Phone 25520-41158, email: garamp@fmenr.duth.gr

Abstract

The water resources in Mediterranean are under ongoing pressures due to the semi-arid conditions of the region. Irrigated agriculture remains the major consumer of freshwater. It was estimated that more than 70% of irrigation water is considered inefficient due to series of problems. The aim of this paper was the development of a multi-criteria decision-making tool in order to evaluate which factors influenced the water consumption during irrigation in Greek cultivations. It was used both qualitative and quantitative criteria, such as the type of crops, the irrigation methods etc. The potential reduction of water consumption for irrigation will strengthen the development indirectly, through the implementation of sustainable grassland management.

Key words: grasslands, water consumption, irrigated cultivations, Analytical Hierarchy Process