

Εφαρμογή Πολυκριτηριακής Ανάλυσης στην εκτίμηση των επιπτώσεων λεκανών απορροής ποταμών που εκρέουν σε κοινή παράκτια περιοχή

Βασιλική Ζέλιου, Ουρανία Τζωράκη, Δήμητρα Κίτσιου, Ιωάννης Μπατζάκας

Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, mar08018@marine.aegean.gr, rania.tzoraki@aegean.gr, dkit@aegean.gr, batzakas@marine.aegean.gr

Περίληψη

Στη παρούσα μελέτη αναπτύσσεται μια μεθοδολογία βασιζόμενη στη πολυκριτηριακή ανάλυση με κύριο στόχο τη σύγκριση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλείται από διαφορετικές λεκάνες απορροής ποταμών που εκρέουν στον κόλπο της Καλλονής Λέσβου. Η μεθοδολογία βασίστηκε (α) στο διαχωρισμό της περιοχής μελέτης σε ζώνες που αντιστοιχούν στις βασικές λεκάνες απορροής, (β) σε συλλογή δεδομένων από την περιοχή μελέτης για την ποσοτικοποίηση των κριτηρίων και (γ) στην εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης με χρήση του λογισμικού DEFINITE. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λεκάνη απορροής του Τσικνιά είναι αυτή που προκαλεί τη μεγαλύτερη επιβάρυνση, ενώ η ιεράρχηση των υπολοίπων λεκανών εναλλάσσεται και εμφανίζει μεγάλη ευαισθησία ανάλογα με την πολυκριτηριακή μέθοδο που εφαρμόζεται.

Λέξεις-κλειδιά: Πολυκριτηριακή ανάλυση, δείκτες, παράκτιο περιβάλλον, λεκάνη απορροής, ΓΣΠ

Application of Multicriteria Analysis to compare river basins affecting a semi-enclosed basin

Vasiliki Zeliou, Ourania Tzoraki, Dimitra Kitsiou, Ioannis Batjakas

Department of Marine Sciences, University of the Aegean, mar08018@marine.aegean.gr, rania.tzoraki@aegean.gr, dkit@aegean.gr, batzakas@marine.aegean.gr

Abstract

A methodology is developed based on the multi-criteria analysis comparing the land based pollution fluxes of different river basins. The methodology was based on the (a) separation of the study area into zones corresponding to the main river basins draining into the Kalloni Gulf, (b) collection of data from the study area and (c) application for MCA using DEFINITE software. The analysis showed that the Tsikni basin is causing the greatest burden, whereas the hierarchy of the other basins shows high sensitivity depending on the multicriteria method applied.

Keywords: Multicriteria Analysis, indicators, coastal environment, basin, GIS

1. Εισαγωγή

Ο πλούτος και η ποικιλία των πόρων της παράκτιας ζώνης αποτελεί πόλο έλξης με αποτέλεσμα να παρατηρείται συγκέντρωση της ανθρώπινης δραστηριότητας και ανάπτυξη οικισμών κατά μήκος των ακτών και των εκβολών των ποταμών σε όλο τον κόσμο. Εκτιμάται ότι 40% των ανθρώπων στον κόσμο ζουν σε αυτή τη σχετικά μικρή, αλλά πολύ παραγωγική και εξαιρετικά δυναμική περιοχή που προμηθεύει περίπου το 75-90% των παγκόσμιων αλιευμάτων. Η Ατζέντα 21 (1992, Κεφάλαιο 17.3) προέβλεπε ότι το έτος 2020 τουλάχιστον τα δύο τρίτα του πληθυσμού της γης θα ζει σε απόσταση 60 χλμ. από την ακτή και συνεπώς θα πρέπει να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι για την εκτίμηση των προβλημάτων που θα προκύψουν και τη λήψη διορθωτικών μέτρων.

Οι πολυκριτηριακές μέθοδοι ανάλυσης αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης του παράκτιου περιβάλλοντος (Kitsiou et al., 2002). Η βασική αρχή τους στηρίζεται στην ιεράρχηση εναλλακτικών περιπτώσεων βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Στην παρούσα μελέτη αναπτύσσεται μια μεθοδολογία βασισμένη στην

πολυκριτηριακή ανάλυση με κύριο στόχο τη σύγκριση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλείται από διαφορετικές λεκάνες απορροής ποταμών που καταλήγουν στο ίδιο ημί-κλειστο παράκτιο σύστημα. Πεδίο μελέτης αποτελεί ο κόλπος της Καλλονής Λέσβου, που κυρίως κατά την περίοδο των υψηλών βροχοπτώσεων, εμφανίζει ευτροφικά επεισόδια με αποτέλεσμα την απαγόρευση της αλιείας λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων μικροβιακού φορτίου με άμεσες επιπτώσεις στην αλιευτική οικονομία.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Ο κόλπος της Καλλονής εμφανίζει ευτροφικά επεισόδια λόγω τόσο αυτόχθονων αιτιών όσο και ανθρωπογενών. Μεταξύ των ανθρωπογενών παραγόντων συμπεριλαμβάνονται γεωργικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, αστικοποίηση και τουρισμός. Τα ποτάμια μεταφέρουν στη θάλασσα οργανική ύλη, ενώσεις θρεπτικών και άλλους ρύπους, κυρίως κατά τη διάρκεια έντονων πλημμυρικών επεισοδίων (Tzoraki et al., 2014). Οι επιφάνειες των λεκανών απορροής των ποταμών που απορρέουν στον κόλπο της Καλλονής (Σχήμα 1) είναι 406 km². Σε σχέση με την συνολική επιφάνεια της Λέσβου (1633.6 km²) το ποσοστό της περιοχής που τα εδάφη της ξεπλένονται στον Κόλπο είναι 24.5%, δηλαδή ουσιαστικά το ένα τέταρτο του νησιού. Οι πιο σημαντικοί ποταμοί από άποψης επιφάνειας αποστράγγισης και μεγέθους ροής είναι στο βόρειο τμήμα του κόλπου ο Τσικινιάς (84.6 km²) και ο Μυλοπόταμος (50 km²), στα δυτικά η Ποταμιά (48.6 km²) και στην ανατολική πλευρά του κόλπου ο Βούβαρης (24.3 km²).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίστηκε (α) στο διαχωρισμό της περιοχής μελέτης σε ζώνες που αντιστοιχούν στις βασικές λεκάνες απορροής του Κόλπου, (β) σε συλλογή δεδομένων από την περιοχή μελέτης και (γ) στην εφαρμογή διάφορων μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης με χρήση του λογισμικού DEFINITE (Janssen et al., 2001).

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που εφαρμόστηκαν είναι η Μέθοδος Κυρίαρχου Σήματος (Regime Method), η Μέθοδος Βαρύνουσας Άθροισης (Weighted Summation) και η Evamix Method. Οριοθετήθηκαν τέσσερις ζώνες (Λεκάνες απορροής: Τσικινιά, Μυλοπόταμος, Βούβαρης και Ποταμιά) οι οποίες και ιεραρχήθηκαν. Οι δείκτες/κριτήρια που επιλέχθηκαν διακρίνονται σε δείκτες πίεσης που αποτυπώνουν την ένταση που υφίσταται η περιοχή μελέτης από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και σε δείκτες κατάστασης που είναι σύνθετοι ποιοτικοί δείκτες και περιγράφουν την υφιστάμενη κατάσταση των υπό μελέτη λεκανών απορροής. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν και το εύρος τιμών τους αναφέρονται στον Πίνακα 1. Η ροή γλυκού νερού αναφέρεται στη μέση τιμή μηνιαίων μετρήσεων της εκροής των 4 ποταμών στη θάλασσα για το διάστημα 2014-15. Τα ποσοστά (%) καλλιεργούμενων εκτάσεων, βοσκοτόπων και των δασικών εκτάσεων υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του χάρτη χρήσεων γης (CORINE 2000). Τα φορτία αζώτου και φωσφόρου αντιστοιχούν στην ετήσια εκροή φορτίων που εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο εκροής συντελεστών της Land Ocean Interaction in the Coastal Zone (LOICZ).

Η κάθε μέθοδος εφαρμόστηκε δύο φορές, με και χωρίς απόδοση βαρών στα κριτήρια. Τα κριτήρια ιεραρχήθηκαν ανάλογα με τη σημαντικότητα τους ως εξής:

- 1) Ροή γλυκού νερού
- 2) Ποσοστό (%) καλλιεργούμενων εκτάσεων ανά λεκάνη απορροής - Ποσοστό (%) βοσκοτόπων ανά λεκάνη απορροής
- 3) Φορτίο αζώτου (N) - Φορτίο φωσφόρου (P) - Αριθμός αλιευτικών σκαφών
- 4) Μέγιστη συγκέντρωση νιτρικών μετά από πλημμυρικό επεισόδιο - Πληθυσμιακή πυκνότητα - Ποιότητα θαλασσινού νερού
- 5) Ποσοστό μεταβολής πληθυσμού (έτη 2000-2010)
- 6) Ποσοστό (%) δασικών εκτάσεων ανά λεκάνη απορροής
- 7) Δείκτης τρωτότητας (CVI)

Τέλος, η ιεράρχηση των ζωνών / λεκανών απορροής αξιολογήθηκε ως προς την ευαισθησία της (Sensitivity Analysis) αποδίδοντας στις τιμές των κριτηρίων ένα ποσοστό 20% αβεβαιότητας (σφάλματος).

Πίνακας 1. Δείκτες πίεσης και κατάστασης

Δείκτες/Κριτήρια (μονάδα μέτρησης)	Εύρος Τιμών
Ροή γλυκού νερού (Mm^3gr^{-1})	12-15,6
Ποσοστό (%) καλλιεργούμενων εκτάσεων ανά λεκάνη απορροής	2,6-33,2
Ποσοστό (%) βοσκοτόπων ανά λεκάνη απορροής	17,65-55
Φορτίο αζώτου (N) ($tnyr^{-1}$)	1,02-15,7
Φορτίο φωσφόρου (P) ($tnyr^{-1}$)	0,06-1,29
Αριθμός αλιευτικών σκαφών	18-40
Πληθυσμιακή πυκνότητα (άτομα km^{-2})	9-104
Δείκτης τρωτότητας (CVI)	7,82-8,75
Ποσοστό (%) δασικών εκτάσεων ανά λεκάνη απορροής	12,3-79,8
Ποιότητα θαλασσινού νερού (E-coli/ 1000mL)	1366-6000
Ποσοστό μεταβολής πληθυσμού (έτη 2000-2010)	-0,02-0,01
Μέγιστη συγκέντρωση νιτρικών μετά από πλημμυρικό επεισόδιο (mgL^{-1})	0.8 - 3.5



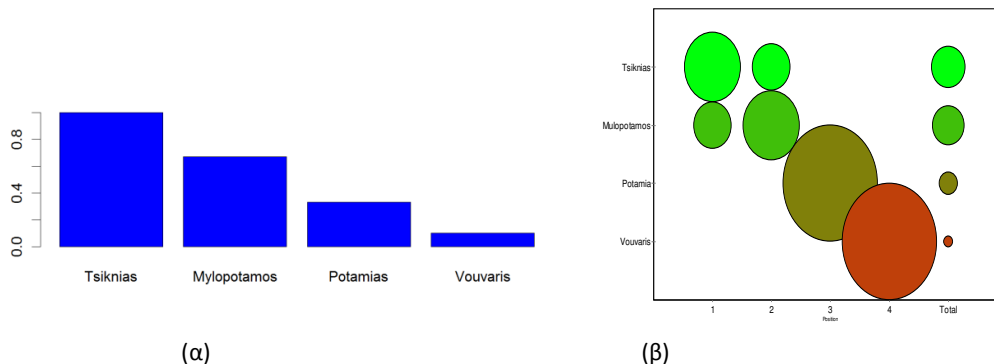
Εικ.1 Λεκάνη απορροής Κόλπου Καλλονής, όπου από αριστερά προς δεξιά απεικονίζονται οι υπολεκάνες της Ποταμιάς, του Τσικνιά, του Μυλοπόταμου και του Βούβαρη αντίστοιχα.

3. Αποτελέσματα

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου Κυρίαρχου Σήματος χωρίς βάρη παρατηρείται ότι η λεκάνη απορροής που προκαλεί μεγαλύτερη επιβάρυνση στον κόλπο Καλλονής είναι αυτή του Τσικνιά, ακολουθεί του Μυλοπόταμου, της Ποταμιάς και τέλος του Βούβαρη (Σχήμα 2α). Οι δύο πρώτες θέσεις της ιεράρχησης παρουσιάζουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα σε σχέση με τις δύο τελευταίες (Σχήμα 2β). Η εφαρμογή της μεθόδου Κυρίαρχου Σήματος με χρήση βαρών δεν αλλάζει τη θέση του Τσικνιά, που εξακολουθεί να έχει τη μεγαλύτερη επιβάρυνση και ακολουθεί ο Μυλοπόταμος. Η Ποταμιά έρχεται στην 3^η θέση, ενώ η λεκάνη απορροής που προκαλεί μικρότερη επιβάρυνση είναι αυτή του Βούβαρη. Η μέθοδος Βαρύνουσας Αθροίσης χωρίς βάρη αλλάζει την ιεράρχηση φέρνοντας στην 3^η θέση τον Βούβαρη και στην 4^η την Ποταμιά με μικρή όμως απόσταση μεταξύ τους. Με την απόδοση βαρών η Ποταμιά έρχεται στην 2^η θέση και ακολουθούν ο Μυλοπόταμος και ο Βούβαρης. Η μέθοδος Enavix χωρίς βάρη δίνει την ίδια ιεράρχηση, όπως και η μέθοδος Κυρίαρχου Σήματος με πολύ μικρή αβεβαιότητα στα αποτελέσματα. Κατά τη χρήση της Enavix με βάρη ο Τσικνιάς βρίσκεται στην 1^η θέση, ενώ οι υπόλοιπες τρεις λεκάνες αλλάζουν θέση, με την Ποταμιά να ιεραρχείται 2^η και το Μυλοπόταμο 3^ο. Μεγαλύτερη αβεβαιότητα παρουσιάζεται στην 2^η και στην 3^η θέση. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης

Μέθοδος	Τσικνιάς	Μυλοπόταμος	Ποταμιάς	Βούβαρης
Κυρίαρχου Σήματος χωρίς βάρη	1.0	0.67	0.33	0.1
Κυρίαρχου Σήματος με χρήση βαρών	0.99	0.68	0.33	0.1
Βαρύνουσας Άθροισης χωρίς βάρη	0.74	0.59	0.30	0.31
Βαρύνουσας Άθροισης με χρήση βαρών	0.62	0.49	0.50	0.28
EvamixMethod χωρίς βάρη	0.32	0.13	-0.23	-0.22
EvamixMethod με βάρη	0.28	0.03	0.06	-0.37



Εικ.2 Μέθοδος Κυρίαρχου Σήματος (α) ιεράρχηση και (β) ανάλυση ευαισθησίας ζωνών.

4. Συζήτηση/Συμπεράσματα

Η λεκάνη απορροής του Τσικνιά είναι αυτή που προκαλεί τη μεγαλύτερη επιβάρυνση στον Κόλπο Καλλονής σε σχέση με τις υπόλοιπες, γεγονός που επιβεβαιώθηκε με τη χρήση και των τριών μεθόδων με και χωρίς απόδοση βαρών στα κριτήρια. Τη θέση της λεκάνης που επιβαρύνει λιγότερο τον κόλπο "διεκδικούν" οι λεκάνες του Βούβαρη και της Ποταμιάς ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιούνται και τη χρήση ή μη βαρών στα κριτήρια. Μικρότερη αβεβαιότητα στα αποτελέσματα παρουσίασε η μέθοδος Βαρύνουσας Άθροισης χωρίς βάρη, ακολουθούμενη με μικρή διαφορά από τις μεθόδους Βαρύνουσας Άθροισης με βάρη και Evamix χωρίς βάρη. Προτείνεται ολοκληρωμένη διαχείριση του κόλπου της Καλλονής με έμφαση στην λεκάνη απορροής του Τσικνιά και στον έλεγχο των σημειακών και διάχυτων πηγών ρύπανσης.

5. Βιβλιογραφία

- Janssen, R., van Herwijnen, M., Beinart, E., 2001. DEFINITE – Case studies and user manual, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands.
- Kitsiou, D., Coccossis, H., Karydis, M., 2002. Multi-dimensional evaluation and ranking of coastal areas using GIS and multiple criteria choice methods. *Science of the Total Environment*, 284, 1-17.
- Tzoraki, O., Nikolaidis, N., Cooper, D., Kassotaki, E., 2014. Nutrient mitigation in temporary river basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 2243-2257.
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) (1992) Agenda 21 and the UNCED Proceedings. Oceania Publications, New York