

Επιστροφή στην Αχαράβη: Καταγραφή και ανάλυση του ηχητικού περιβάλλοντος και ηχοτοπίου μιας προστατευόμενης περιοχής

Θεοφάνης Μαραγκός^{1*}, Άγγελος Τσαλιγόπουλος², Νικόλαος Στεφανάκης³, Ανδρέας Μνιέστρης¹, Αθανάσιος Επιτήδειος⁴, Γιάννης Ματσίνοσ², Διονύσιος Θ. Γ. Κατερέλος⁴

¹Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

²Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

³Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

⁴Τμήμα Τεχνών Ήχου & Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

* fmaragkos@ionio.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λιμνοθάλασσα Αντινιώτη στην Αχαράβη, Κέρκυρα, είναι ένας κρίσιμος υγροβιότοπος ενταγμένος στο δίκτυο Natura 2000, ο οποίος αντιμετωπίζει αυξανόμενες προκλήσεις. Το 2006 πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα για την καταγραφή του ηχητικού περιβάλλοντος της περιοχής, ενώ ακολούθησε νέα μελέτη δώδεκα χρόνια αργότερα, το 2018-2019. Οι ηχογραφήσεις υψηλής ποιότητας αναλύθηκαν με σκοπό την εξαγωγή ακουστικών δεικτών, συμπεριλαμβανομένων του Δείκτη Ακουστικής Πολυπλοκότητας και του Δείκτη Βιοακουστικής. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές μεταβολές στη βιοποικιλότητα και στα επίπεδα θορύβου με την πάροδο του χρόνου, υπογραμμίζοντας την επιτακτική ανάγκη για προστασία αυτού του μοναδικού οικοσυστήματος από ανθρώπινες παρεμβάσεις.

Revisiting Acharavi: Recording and analysis of the sound environment and soundscape of a protected area

ABSTRACT

The Antinioti lagoon in Acharavi, Corfu, is a critical wetland within the Natura 2000 network, facing growing conservation challenges. In 2006, an extensive sound environment survey was conducted in the area, with a follow-up study twelve years later in 2018-2019. High-quality recordings were analyzed to extract acoustic biodiversity indices, including the Acoustic Complexity Index and Bioacoustic Index. Results showed significant changes in biodiversity and noise levels over time, highlighting the urgent need to protect this unique ecosystem from human disturbance.

1. Εισαγωγή

Η περιοχή της Αχαράβης στη βόρεια Κέρκυρα, με τη χαρακτηριστική ρηχή λιμνοθάλασσα Αντινιώτη, αποτελεί ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον οικοσύστημα που φιλοξενεί μια πληθώρα πουλιών και μικρών θηλαστικών, μεταξύ των οποίων το απειλούμενο είδος της βίδρας (*Lutra-Lutra*). Παρά το γεγονός πως η λιμνοθάλασσα Αντινιώτη αποτελεί έναν από τους πιο ευαίσθητους και ενδιαφέροντες οικοτόπους στο Ιόνιο και προστατεύεται από τη συνθήκη Natura 2000, η ανάγκη προστασίας της εντείνεται λόγω των σχεδιαζόμενων ξενοδοχειακών μονάδων.

Το 2006 η ευρύτερη περιοχή της λιμνοθάλασσας αποτέλεσε τον τόπο διεξαγωγής μιας εκτεταμένης έρευνας με σκοπό τη χωροχρονική καταγραφή του ηχητικού περιβάλλοντος, καθώς και την ανάπτυξη θεματικών χαρτών ήχου. Αυτή η έρευνα πραγματοποιήθηκε από την πρώτη στην Ελλάδα διεπιστημονική ομάδα Ακουστικής Οικολογίας, η οποία ιδρύθηκε με πρωτοβουλία του ΕΡΗΜΕΕ (Εργαστήριο Ηλεκτροακουστικής Έρευνας και Εφαρμογών) του Τμήματος Μουσικών Σπουδών του Ιονίου Πανεπιστημίου [1].

Η εξέλιξη του κλάδου της ακουστικής, του σχετικού εξοπλισμού και της ανάλυσης του ηχητικού σήματος, έχουν προσφέρει νέα εργαλεία ανάλυσης των ηχητικών περιβαλλόντων με έμφαση στο οικολογικό περιεχόμενό τους. Εκτός από τους δείκτες έντασης που αναδεικνύουν το αποτύπωμα του θορύβου, μέσω του κλάδου της οικολογικής ακουστικής (Ecoacoustics) δημιουργήθηκαν οι ακουστικοί δείκτες [2]. Ως ακουστικός δείκτης μπορεί να οριστεί, το στατιστικό μέγεθος που συνοψίζει κάποια πτυχή της κατανομής της ακουστικής ενέργειας και άλλων πληροφοριών σε μία ηχογράφιση. Ο Δείκτης Ακουστικής Πολυπλοκότητας (ACI) είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους ακουστικούς δείκτες, βασισμένος στην παρατήρηση ότι οι βιοτικοί ήχοι, όπως το κελάηδισμα των πουλιών, έχουν μεταβλητή ένταση, ενώ οι ανθρωπογενείς ήχοι έχουν σταθερή. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η επανάληψη της καταγραφής του ηχητικού περιβάλλοντος της Αχαράβης χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο δειγματοληψιών. Το υψηλής ποιότητας ιστορικό αρχείο των καταγραφών του 2006, αναλύθηκε με τα νέα εργαλεία της οικολογικής ακουστικής και συγκρίθηκε με νέα δεδομένα από εξίσου σύγχρονο εξοπλισμό υψηλής πιστότητας. Στόχος της έρευνας ήταν η ανάλυση των διακυμάνσεων των επιπέδων ακουστικής βιοποικιλότητας και των επιπέδων θορύβου σε βάθος χρόνου.

2. Μέθοδοι

2.1 Περιοχή μελέτης

Η μελέτη διεξήχθη στο βόρειο τμήμα της Κέρκυρας στη λίμνη Αντινιώτη. Η συγκεκριμένη λίμνη έχει υψηλό οικολογικό ενδιαφέρον και είναι μέρος του δικτύου NATURA 2000. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1, το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης καλύπτεται από μια λιμνοθάλασσα που κυριαρχείται από βιολογικές και ανθρώπινες δραστηριότητες [3]. Το ηχητικό περιβάλλον της περιοχής διαμορφώνεται από ηχητικά γεγονότα που παράγονται από τις δραστηριότητες του τοπικού πληθυσμού και άλλων επισκεπτών κατά την καλοκαιρινή περίοδο, της ενδημικής πανίδας, οικοσπίτων ζώων και φυσικών φαινομένων. Δώδεκα χρόνια μετά την αρχική

προσπάθεια, την περίοδο 2018-2019 επαναλήφθηκαν οι καταγραφές σε 5 (A04, A05, A06, A07 και A13) από τα 15 σημεία της λιμνοθάλασσας, καλύπτοντας το βορειότερο και πιο απομονωμένο τμήμα της.



Εικόνα 2.1. Περιοχή μελέτης (Πηγή Matsinos et al., 2008)

2.2 Συλλογή Δεδομένων

Χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο καταγραφών που είχε χρησιμοποιηθεί το 2006, συλλέχθηκαν ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα σε δύο χρονικούς κύκλους, έναν ημερήσιο και έναν εποχιακό. Ο ημερήσιος κύκλος περιλάμβανε οκτώ δεκάλεπτες δειγματοληψίες σε ένα εικοσιτετράωρο (μία για κάθε τρεις ώρες), ενώ ο εποχιακός τέσσερις περιόδους για ένα έτος (μία για κάθε ηλιοστάσιο και ισημερία) [3]. Οι καταγραφές πραγματοποιήθηκαν Σεπτέμβρη και Δεκέμβρη του 2018, καθώς και Μάρτη και Ιούνιο του 2019. Κάθε δεκάλεπτη δειγματοληψία ήταν χωρισμένη σε σαράντα μικροπερίόδους των 15 δευτερολέπτων. Ο διαμερισμός αυτός κρίθηκε αναγκαίος για την καλύτερη συλλογή των δεδομένων και για την πληρέστερη αποτύπωση της μικρομεταβολής του ηχητικού περιβάλλοντος [4] [5].

Τα ποσοτικά δεδομένα που συλλέχθηκαν, ακολουθώντας τη μεθοδολογία της προηγούμενης έρευνας [1], αποτελούνταν από ηχογραφήσεις υψηλής ποιότητας και από ακουστικές μετρήσεις. Τόσο οι ηχογραφήσεις όσο και οι ηχομετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τα μικρόφωνα να είναι τοποθετημένα σε τρίποδα ύψους περίπου 170 cm (ύψος αυτιών του μέσου ανθρώπου) στοχεύοντας τις 0 μοίρες προς τον βορρά σε κάθε σημείο. Στην προηγούμενη έρευνα του 2006 είχε χρησιμοποιηθεί η συμπτωτική στερεοφωνική τεχνική ηχογράφηση M/S (Mid/Side) με μικρόφωνα της εταιρείας Schoeps (το CCM-5, με πολικό διάγραμμα παντοκατευθυντικό ως Mid και το CCM-8, με πολικό διάγραμμα δικατευθυντικό ως Side) με την κατάλληλη αντανεμική προστασία [1]. Η M/S τεχνική επιλέχθηκε διότι αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς συμπτωτικές τεχνικές στερεοφωνικής ηχογράφησης καθώς είναι πολύ εύκολη στην εφαρμογή, ενώ ταυτόχρονα χαρακτηρίζεται από την πολύ καλή απόδοση της στερεοφωνικής εικόνας τόσο των ηχητικών πηγών όσο και του περιβάλλοντος χώρου [6] [7].

Για τις καταγραφές του 2018-19 χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ηχογράφησης ambisonics με το μικροφωνικό σύστημα Ambeo VR της Sennheiser. Το Ambeo αποτελείται από 4 καρδιοειδείς κάψες σε τετραεδρική διάταξη, ενσωματωμένες σε ένα ενιαίο συμπαγές σώμα, με τη δυνατότητα συλλογής ηχητικών κυμάτων από 360 μοίρες. Η ηχογράφηση με τη μέθοδο ambisonics επιλέχθηκε διότι παρέχει πολλές δυνατότητες στη χωροτοποθέτηση του ήχου κατά την αναπαραγωγή [8] και είναι συμβατή με οποιοδήποτε αριθμό καναλιών/ηχείων [9] [10]. Στη συγκεκριμένη έρευνα ήταν σημαντικό να μπορεί να εξαχθεί ηχητική πληροφορία από μόνο ένα κανάλι ήχου που είναι χρήσιμο για περιβαλλοντικές εφαρμογές, στερεοφωνική πληροφορία για σύγκριση με τις προηγούμενες καταγραφές που είχαν πραγματοποιηθεί το 2006, αλλά και για χρήση σε καλλιτεχνικές και παιδαγωγικές εφαρμογές. Επίσης, θα έπρεπε από το σύστημα καταγραφής να μπορεί να εξαχθεί τρισδιάστατη ηχητική πληροφορία για απόδοση σε πληθώρα ηχείων (surround 5.1, 7.1 κ.λπ.) και ταυτόχρονα πληροφορία για αμφιωτική (binaural) τρισδιάστατη απόδοση σε ακουστικά, αναγκαία για πληρέστερη ηχητική αποτύπωση σε εφαρμογές που απαιτούν εμπύθιση (immersion) [11]. Όλες οι ηχογραφήσεις αποκωδικοποιήθηκαν στο Reaper Digital Audio Workstation από A φορμά σε B φορμά Classic FuMa [W, X, Y, Z] με χρήση του αλγόριθμου Ambeo A-B Converter Plugin που συνοδεύει το μικρόφωνο, μαζί με το απαραίτητο φίλτρο για βελτίωση της συχνοτικής απόκρισης του μικροφώνου. Έπειτα, οι ηχογραφήσεις αποκωδικοποιήθηκαν σε στέρεο φορμά και με τη χρήση του JS ATK FOA Decode Stereo.

Η διαδικασία της ηχομέτρησης πραγματοποιήθηκε με χρήση του ηχόμετρου και φασματικού αναλυτή υψηλής ακρίβειας (class 1) της εταιρείας Bruel & Kjaer Type 2250, ενώ το 2006 είχε χρησιμοποιηθεί το Cesva SC-310 (class 1). Στις ηχομετρήσεις, και στις δυο έρευνες, για κάθε χρονικό διάστημα (15 sec) καταγράφηκε η ισοδύναμη συνεχής ηχητική στάθμη Leq με σταθμισμένα φίλτρα A και Z, καθώς επίσης και σε πραγματικό χρόνο η ηχητική στάθμη ανά οκτάβα από 31.5 Hz - 16 kHz. Για τις ηχομετρήσεις του 2006 η συλλογή των δεδομένων έγινε αυτόματα με την επιλογή logging στο ηχόμετρο (40 ηχομετρήσεις χρονικής διάρκειας 15 sec σε 10 λεπτά), ενώ για τις ηχομετρήσεις του 2018-19 η συλλογή έγινε χειροκίνητα (20 ηχομετρήσεις των 15 sec σε 10 λεπτά).

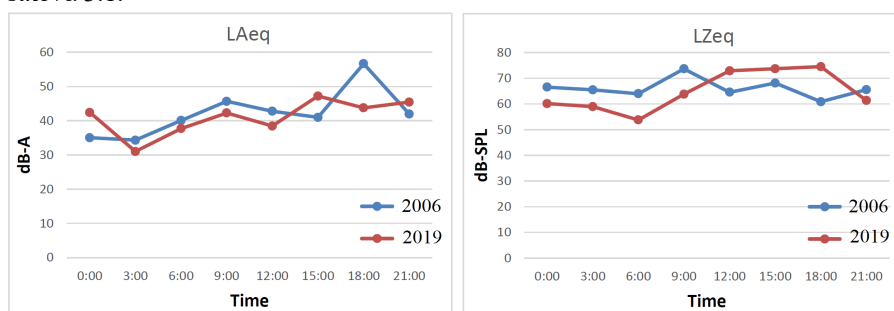
2.3 Ανάλυση Δεδομένων

Τα ασυμπίεστα *.wav αρχεία αναλύθηκαν στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R χρησιμοποιώντας τα πακέτα seewave, tuneR, ineq και soundecology προκειμένου να εξαχθούν οι ακουστικοί δείκτες βιοποικιλότητας. Επιπλέον, αξιοποιώντας τις μεθόδους και τα εργαλεία που παρέχονται από τον κλάδο της οικολογικής ακουστικής (ecoacoustics), υπολογίστηκαν οι ακουστικοί δείκτες άλφα (α), συμπεριλαμβανομένου του Δείκτη Ακουστικής Πολυπλοκότητας (Acoustic Complexity Index - ACI) [12], του Δείκτη Βιοακουστικής (Bioacoustics Index - BIO) [13-14] και της Ακουστικής Εντροπίας (Acoustic Entropy - H) [15]. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό λογισμικό R, και πιο συγκεκριμένα, τα πακέτα seewave [16] και soundecology [17]. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού R (V.4.3.1). Τα πακέτα dplyr για τη χειραγώγηση και την περίληψη δεδομένων και τα ggplot2 για την οπτικοποίηση δεδομένων.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους όλων των δεικτών για κάθε σημείο μέτρησης. Τα δεδομένα συγκρίθηκαν στατιστικά προκειμένου να προσδιοριστεί εάν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων θορύβου και των επιπέδων των ακουστικών δεικτών για κάθε περίοδο μέτρησης. Επιπλέον, για να εξεταστεί η σχέση μεταξύ του θορύβου και των ακουστικών δεικτών, πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχέτισης παρείχαν πληροφορίες σχετικά με την ένταση και την κατεύθυνση της συσχέτισης μεταξύ των επιπέδων θορύβου και των ακουστικών δεικτών για κάθε περίοδο μέτρησης.

3. Αποτελέσματα

Ο έλεγχος κανονικότητας Shapiro-Wilk έδειξε ότι οι τιμές των δεικτών αποκλίνουν σημαντικά από την κανονική κατανομή ($p < 0.05$). Ως εκ τούτου, πραγματοποιήθηκαν μη παραμετρικές αναλύσεις. Οι ωριαίες διακυμάνσεις της στάθμης του ήχου φαίνονται για την καλοκαιρινή περίοδο και για τις δύο χρονιές στην εικόνα 3.1.

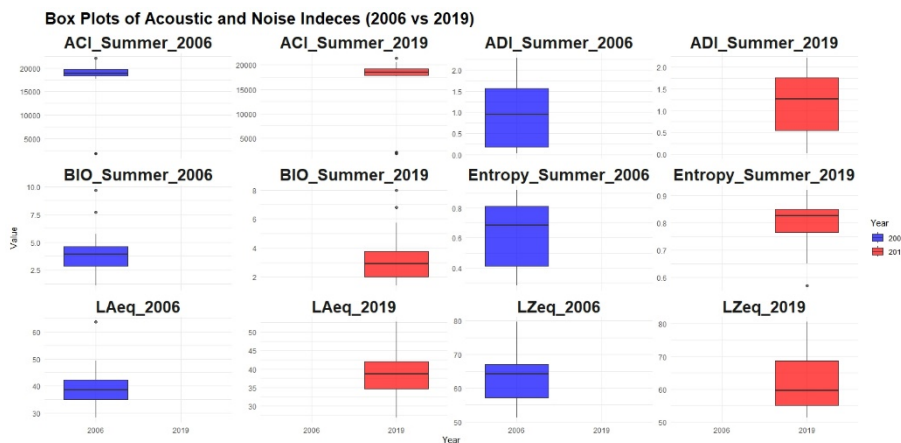


Εικόνα 3.1. Ωριαίες διακυμάνσεις του Leq την καλοκαιρινή περίοδο με φίλτρο A (αριστερά) και γραμμικό (δεξιά)

Οι διαφορές στις μετρήσεις είναι εν γένει μικρές, αποτυπώνοντας την ίδια χαρακτηριστική αύξηση της στάθμης κατά τη μετάβαση από τις νυχτερινές στις πρωινές ώρες. Το γεγονός ότι οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν ήταν καλές και στις δύο περιπτώσεις καθιστούν τις αντίστοιχες ηχογραφήσεις ιδανικές για σύγκριση μεταξύ τους, σε μια προσπάθεια να αναδειχθούν και ποιοτικές διαφορές ανάμεσα στις δύο χρονιές που εξετάζονται. Αξίζει να αναφερθεί ότι αν και οι υπόλοιπες εποχές (άνοιξη, φθινόπωρο, χειμώνας) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες διαφορές στη μέση ηχητική στάθμη, οι διαφορές αυτές φαίνεται οφείλονται κατά κύριο λόγο στις καιρικές συνθήκες (αέρας, βροχή κ.λπ.), καθιστώντας δύσκολη την οποιαδήποτε απόπειρα ποσοτικής σύγκρισης ανάμεσα στις δύο χρονιές.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η διαφορά στα επίπεδα των ακουστικών και θορυβωδών δεικτών κατά τη διάρκεια των ετών, πραγματοποιήθηκαν στατιστικές δοκιμές σύγκρισης (paired samples t-test). Χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες δοκιμές t, συγκρίναμε τους μέσους όρους των ακουστικών δεικτών και δεικτών θορύβου για το καλοκαίρι του 2006 και 2019. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα boxplot στην Εικόνα 3.2, οι δείκτες παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ των περιόδων μέτρησης.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα της δοκιμής t για δείγματα έδειξαν μόνο δύο στατιστικά σημαντικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης BIO ($t = 1.99$, $p = 0.050$) και ο δείκτης Ακουστικής Εντροπίας ($t = -4.89$, $p = 0.00001$) παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών. Αυτές οι διαφορές μπορεί να είναι το αποτέλεσμα περιβαλλοντικών αλλαγών κατά τη διάρκεια των ετών, συμπεριλαμβανομένων αλλαγών στη βλάστηση, τη δομή του ενδιαιτήματος ή ακόμη και τις κλιματικές συνθήκες. Επιπλέον, η αρνητική στατιστική t για τα επίπεδα Ακουστικής Εντροπίας υποδηλώνει ότι το μέσο επίπεδο εντροπίας της πρώτης ομάδας (2006) είναι χαμηλότερο από αυτό της δεύτερης (2019). Εκτός από τις περιβαλλοντικές αλλαγές που έχουν συμβεί, ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η αύξηση του θορύβου από οχήματα, αεροπλάνα κ.λπ. θα μπορούσαν να εξηγήσουν αυτήν την αύξηση των επιπέδων Ακουστικής Εντροπίας. Στη συγκεκριμένη ανάλυση δεν βρέθηκαν άλλες σημαντικές διαφορές. Ωστόσο, παρά το γεγονός έλλειψης κάποιας στατιστικής σημαντικότητας, τα επίπεδα θορύβου ($LAeq_mean\ 2006/2019$: $t = 0.28$, $p = 0.781$, $M=38,77\ dBA$, $LZeq_mean2006/2019$: $t = 0.67$, $p = 0.506$, $M=61,84\ dBZ$) αναδεικνύουν το γεγονός ότι τα επίπεδα θορύβου ήταν αρκετά υψηλότερα το 2019.

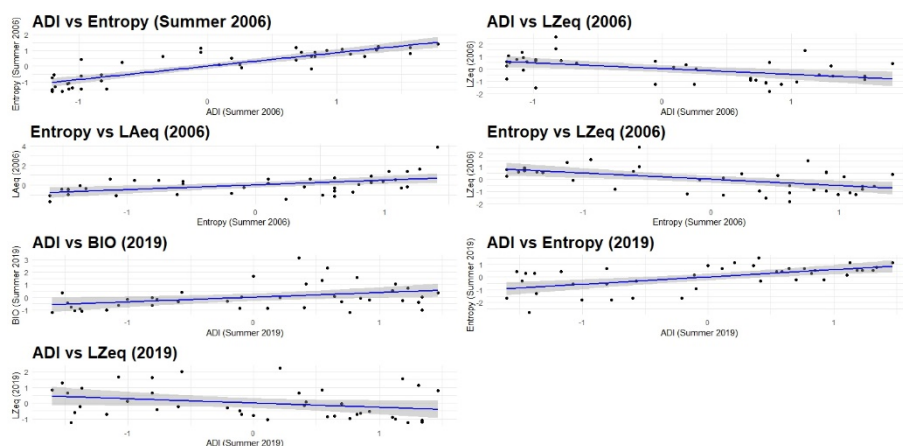


Εικόνα 3.2 Boxplots ακουστικών και δεικτών θορύβου για τα έτη 2006 και 2019

Συνοπτικά, τα t-tests δείχνουν ότι μόνο οι μετρικές BIO και Entropy παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων, με την Entropy να εμφανίζει ιδιαίτερα σημαντική διαφορά. Οι άλλες μετρικές (ACI, ADI, LAeq και LZeq) δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Προκειμένου να μελετηθεί η σχέση μεταξύ των επιπέδων των δεικτών ακουστικής και θορύβου πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης κατάταξης Spearman. Τα αποτελέσματα έδειξαν πολυάριθμες θετικές και αρνητικές συσχετίσεις που υποδηλώνουν τόσο ευθείες όσο και αντίστροφες σχέσεις. Για το καλοκαίρι του 2006, παρουσιάστηκε μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών ακουστικής ποιικιλίας (ADI) και του δείκτη θορύβου LZeq ($R^2 = -0.4391$, $p = 0.0052$), υποδεικνύοντας ότι καθώς αυξάνεται η μία μεταβλητή, η άλλη τείνει να μειώνεται. Αντίστοιχες αντίστροφες σχέσεις μεταξύ δεικτών θορύβου και ακουστικών δεικτών, έχουν εμφανιστεί τόσο σε αστικά όσο και φυσικά περιβάλλοντα [18]. Το καλοκαίρι του

2019, παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ του ADI και του δείκτη βιοακουστικής BIO ($R^2 = 0.3967$, $p = 0.0113$). Τέλος, για το 2019, σημειώθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ του ADI και του LZeq ($R^2 = -0.3265$, $p = 0.0398$). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2, η ανάλυση δείχνει αρκετές σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών, υποδηλώνοντας πιθανές σχέσεις μεταξύ των επιπέδων θορύβου και διαφόρων ακουστικών δεικτών.



Εικόνα 3.3 Scatter plots συσχετισμένων μεταβλητών

Συνολικά, οι ισχυρές θετικές και αρνητικές συσχετίσεις που εντοπίστηκαν απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση για την κατανόηση της οικολογικής και ακουστικής δυναμικής της περιοχής που μελετήθηκε.

4. Συμπεράσματα

Οι ηχογραφήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τις επιλεγμένες τεχνικές στις δύο καταγραφές (2006 και 2018-19) καταδεικνύουν την αναγκαιότητα χρήσης εξοπλισμού υψηλής ποιότητας και πιστότητας κατάλληλου για καταγραφή πεδίου. Η αξιοποίηση των ηχογραφήσεων μπορεί να γίνει σε πολλαπλά επίπεδα, από ερευνητικά έως καλλιτεχνικά. Επιπλέον, η σύγκριση ηχογραφήσεων από τα ίδια σημεία και τις ίδιες χρονικές περιόδους και εποχές μπορεί να αξιοποιηθεί στο εκπαιδευτικό τομέα της Ακουστικής Οικολογίας.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι οι δείκτες ακουστικής βιοποικιλότητας και θορύβου παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών 2006 και 2019, με τις μεταβολές αυτές να σχετίζονται πιθανώς με περιβαλλοντικές αλλαγές και ανθρωπογενείς επεμβάσεις. Οι αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών θορύβου και των ακουστικών δεικτών που εμφανίστηκαν το 2006 και το 2019, αναδεικνύουν την επιρροή του θορύβου στην ακουστική ποικιλία και πολυπλοκότητα σε βάθος χρόνου. Συνεπώς, ο θόρυβος επηρεάζει την οικολογική ισορροπία της περιοχής. Αυτές οι διαπιστώσεις επισημαίνουν την ανάγκη για συνεχιζόμενη παρακολούθηση και προστασία των οικολογικά ευαίσθητων περιοχών.

5. Αναφορές

- [1] Α. Μνιέστρης, et al. «Έρευνα και Μελέτη Ελληνικών Ηχοτοπίων», *Ακουστική 2006*, ΕΛΙΝΑ, Ηράκλειο (2007)
- [2] J. Sueur & A. Farina, Ecoacoustics: The Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound. *Biosemiotics*, **8(3)**, 493–502 (2015)
- [3] Y. G. Matsinos, et al. “Spatio-temporal variability in human and natural sounds in a rural landscape”, *Landscape Ecology*, **23**, pp. 945-959 (2008)
- [4] A. D. Mazaris, et al. “Spatio-temporal analysis of an acoustic environment: interactions between landscape features and sounds”, *Landscape Ecology*, Vol. 2009, **24**, pp. 817-831 (2009)
- [5] B.L. Krause. *Wild soundscapes in the national parks: an educational program guide to listening and recording*. National Park Service (2002).
- [6] F. Rumsey & T. McCormick, *Sound and Recording*, Sixth Edition. Focal Press pp 493-498 (2009)
- [7] Θ. Μαραγκός, et al. «Περιπτωσιολογική Μελέτη Τεχνικών Ηχογράφησης Ηχοτοπίων» 4^ο Συνέδριο Ακουστικής Οικολογίας, Μυτιλήνη, Ελλάδα, pp 300-311 (2016)
- [8] D. G. Malham & A. Myatt, “3-D sound spatialization using ambisonic techniques” *Computer music journal*, **19.4**, pp 58-70 (1995)
- [9] M. A. Gerzon, “Multi-system Ambisonic Decoder” *Wireless World* **83**, pp 43-47 (1977)
- [10] M. A. Gerzon, “Ambisonics in Multichannel Broadcasting and Video”, *Journal of the Audio Engineering Society* **33(11)** pp 859–871(1985)
- [11] Θ. Μαραγκός, Α. Μνιέστρης, Α. Επιτήδειος «Ηχογραφώντας το Ηχοτόπιο Εν Κινήσει», 6^ο Συνέδριο Ακουστικής Οικολογίας, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα (2021)
- [12] A. Farina & P. Li “The Acoustic Complexity Indices (ACIs)”. In A. Farina & P. Li (Eds.), *Methods in Ecoacoustics: The Acoustic Complexity Indices*, Springer International Publishing, pp 31–70 (2021)
- [13] J.Sueur, T. Aubin, C. Simonis “Seewave, a Free Modular Tool for Sound Analysis and Synthesis”. *Bioacoustics*, **18(2)**, pp 213–226 (2008)
- [14] LJ Villanueva-Rivera. (2013). An Introduction to the soundecology Package [Computer software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/soundecology/vignettes/intro.html>
- [15] H. Wickham, et al. (2023) dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.1.4. Available at: <https://github.com/tidyverse/dplyr> (Accessed: [29/8/2024])
- [16] R: The R Project for Statistical Computing [Internet]. [cited 2024 Aug 29]. Available from: <https://www.r-project.org/>
- [17] H. Wickham, et al. (2023) dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.1.4. Available at: <https://github.com/tidyverse/dplyr> (Accessed: [29/8/2024])
- [18] Α. Tsaligopoulos, S. Kyvelou, Α. Karapostoli, Ν. Bobolos, Τ. Tsintzou, D. F. Lekkas, Y. G. Matsinos, “Sound complexity as a strategy for livable and sustainable cities: The case of an urban waterfront”. *Noise Mapping*, **10(1)** (2023)