

Χαρτογράφηση του Εύρους Ζώνης των Φωνοσυντονισμών στο Σύγχρονο Φωνητικό Ιδίωμα του Ριζιτικού Τραγουδιού

Σπύρος Καλοζάκης, Αρετή Ανδρεοπούλου, Αναστασία Γεωργάκη
Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT)
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πανεπιστημιούπολη - Ζωγράφου, 157 84, Αθήνα.
skalozakis@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη, εστιάζει στους φωνοσυντονισμούς του σύγχρονου φωνητικού ιδιώματος στο Ριζιτικό τραγούδι. Ειδικότερα, αναφέρεται στο εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών (Formant Bandwidth) με την πραγματοποίηση μίας -πρώτης- καταγραφής του εύρους των δύο χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1, B2) στο Ριζιτικό τραγούδι, μέσα από ένα -ενδεικτικό- δείγμα δεκατεσσάρων (14) Κρητών τραγουδιστών των οποίων η καταγωγή προέρχεται από τρεις (3) διαφορετικούς Νομούς της Μεγαλονήσου (Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο). Η εφαρμογή από μέρους μας της τεχνικής του αντίστροφου φιλτραρίσματος (Inverse Filtering), κατέδειξε το σημαντικά «στενότερο» εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών των τραγουδιστών με καταγωγή από τα Χανιά για το φωνήεν /a/ σε σχέση με τους τραγουδιστές από το Ηράκλειο και το Ρέθυμνο, αναδεικνύοντας ταυτόχρονα το «έντονο» ένρινο στοιχείο ενός (1) Ρεθύμνιου τραγουδιστή κατά τη φωνητική εκφορά του παραπάνω φωνήεντος (/a/).

Mapping the Formant Bandwidth in the Modern Vocal Idiom of Rizitiko Singing

ABSTRACT

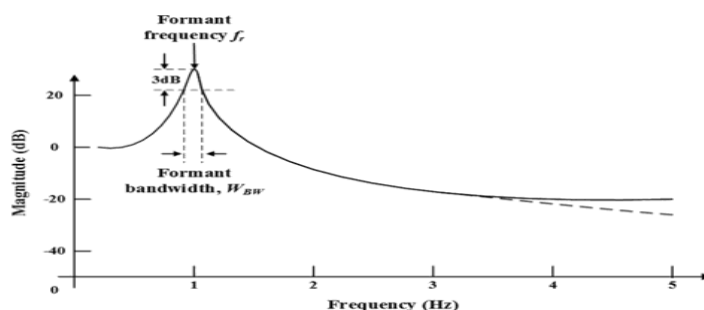
The present study, focuses on formant frequencies of the modern vocal idiom of Rizitiko singing. More specifically, it refers to Formant Bandwidth by carrying out a -first- recording of the bandwidth of the two lower formants (B1, B2) in Rizitiko singing, through an -indicative- sample of fourteen (14) singers whose origin derived from three (3) different Prefectures of Crete (Chania, Rethymnon, Heraklion). Our application of Inverse Filtering technique, demonstrated the significantly “narrower” Formant Bandwidth of the singers originated from Chania for vowel /a/ compared to the singers from Rethymnon and Heraklion, highlighting at the same time the “intense” nasal element during the phonetic utterance of the above vowel (/a/) of one (1) Rethymnian singer.

Εισαγωγή

Στο πλαίσιο των ερευνών που εξετάζουν ακουστικά την τραγουδιστική εκφορά σε φωνητικά στυλ του «πηγαίου» τραγουδιού (cultural singing) [1],[2] στο οποίο (πλαίσιο) εντάσσεται και η παρούσα εργασία, αλλά και σε έρευνα που ανέλυσε ακουστικά τραγουδιστικά στυλ του κλασικού ρεπερτορίου (όπερα) [3], παρατηρείται ότι δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα ηχοχρωματικά χαρακτηριστικά της φωνής και συγκεκριμένα στη διερεύνηση των προσαρμογών της φωνητικής οδού (vocal tract) μέσω των φωνοσυντονισμών κατά την τραγουδιστική επιτέλεση. Οι εκπεμπόμενοι ήχοι της ανθρώπινης φώνησης «μεταφέρονται» ακουστικά με μεγαλύτερη ευκολία (με μεγαλύτερο πλάτος/ένταση), όταν συμπίπτουν συχνοτικά με τις συχνότητες των φωνοσυντονισμών [4],[5]. Οι φωνοσυντονισμοί επομένως, συνιστούν τους συντονισμούς της φωνητικής οδού (vocal tract) στην πηγαία ηχητική διέγερση (voice source) η οποία παράγεται στη γλωττίδα [6] και για την ακουστική τους ανάλυση λαμβάνονται υπόψη τέσσερις (4) παράμετροι. Συγκεκριμένα: **1)** η κεντρική συχνότητα μέσω της οποίας «αντλούνται» σημαντικές πληροφορίες για τις προσαρμογές της φωνητικής οδού κατά την τραγουδιστική επιτέλεση (και ομιλία). **2)** Η στάθμη ισχύος, για την οποία τα συμπεράσματα τα οποία «εξάγονται» προκύπτουν από την εξέταση των μεγάλου μέσου όρου φασμάτων (Long Term Average Spectrum – LTAS), ώστε να «θεμελιωθεί» εν πολλοίς, μία σημαντική αύξηση του ηχητικού σήματος της άδουσας φωνής (και ομιλούσας) η οποία δεν ενέχει τη χρήση μικροφώνου. **3)** Η συσχέτισή τους είτε με τη συχνότητα φώνησης (θεμελιώδης συχνότητα), είτε με τις αρμονικές συχνότητες ή μέρη (partials) αυτών (αρμονικών), για την «ανίχνευση» τραγουδιστικών τεχνικών που ως σκοπό έχουν την αύξηση της ακουστότητας της φωνής σε σχέση με την ακουστότητα της ορχήστρας [7]. **4)** Το εύρος ζώνης αυτών (Formant Bandwidth).

1. Εύρος Ζώνης Φωνοσυντονισμών

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα [8], το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών συνδέεται με το πλάτος τους, ώστε όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης, τόσο μικρότερο είναι το πλάτος κορυφής, επομένως το επίπεδο πλάτους των αρμονικών. Για τη μέτρησή του, λαμβάνεται υπόψιν το πλάτος της ζώνης το οποίο σχηματίζεται τρία (3) Decibel (dB) κάτω από την κορυφή (peak) του φωνοσυντονισμού των αρμονικών, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1 Γραφική αναπαράσταση του εύρους ζώνης του φωνοσυντονισμού σχηματιζόμενο 3 dB, κάτω από την κορυφή του. Πηγή: (Kang et al., 2016) [8].

Με άλλα λόγια, το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών (Formant Bandwidth) μπορεί να οριστεί ως η συχνοτική περιοχή στην οποία η ενίσχυση διαφοροποιείται κατά -3 dB (κάτω) από την ενίσχυση της κεντρικής συχνότητας η οποία εξετάζεται.

1.1 Διερεύνηση του Εύρους Ζώνης των Φωνοσυντονισμών στο Τραγούδι: Μία Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στον μικρό αριθμό ερευνών που έχουν διεξαχθεί μεμονωμένα όσον αφορά το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών της άδουσας φωνής, οι οποίες εξέτασαν ακουστικά την τραγουδιστική στυλιστική εκφορά τόσο στο κλασικό ρεπερτόριο [3], όσο και στο «πηγαίο» τραγούδι [1],[2], σημειώνεται το ιδιαίτερο και ξεχωριστό ηχόχρωμα της φωνής των τραγουδιστών, όταν κατά την τραγουδιστική επιτέλεση ο πρώτος (F1) ή ο δεύτερος φωνοσυντονισμός (F2) συμπίπτει συχνοτικά είτε με τη θεμελιώδη συχνότητα (F0), είτε με τις αρμονικές συχνότητες ή μέρη (partials) αυτών¹ και ταυτόχρονα το εύρος ζώνης -αντίστοιχα- του πρώτου (B1) ή του δεύτερου φωνοσυντονισμού (B2) είναι «στενό» (μικρή συχνοτική τιμή), σε σχέση με τους τραγουδιστές των οποίων το εύρος ζώνης είναι ευρύτερο (μεγαλύτερη συχνοτική τιμή).

Το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών, συνδέεται με την ακουστική αντίληψη και τη λεπτομερή ακουστική ακρίβεια, αναφορικά με την αναγνώριση συλλαβών και λέξεων κατά την ομιλία και κατ' επέκταση στο τραγούδι. Ειδικότερα, η λεπτομέρεια (η δυνατότητα καλύτερης αντίληψης αναγνώρισης από τον ακροατή της συλλαβής που αρθρώνεται από τον ομιλητή/τραγουδιστή) μειώνεται, όσο αυξάνεται το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών (Broad Formant Bandwidth). Αντίστροφα, όσο στενεύει το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών (Narrow Formant Bandwidth) από τον ομιλητή/τραγουδιστή, ο ακροατής έχει μία σαφώς λεπτομερέστερη αντίληψη (φασματική «αποτύπωση») της λέξης και της συλλαβής που αρθρώνεται κατά το άκουσμά της [9]. Εν ολίγοις, η αντίληψη αναγνώρισης μίας συλλαβής (η μεγαλύτερη λεπτομέρεια της ακοής μας ως ακροατές) αυξάνεται, όσο το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών στενεύει (μικρή συχνοτική τιμή) και μειώνεται όσο αυτό (Formant Bandwidth) αποκτά μεγαλύτερο εύρος (μεγαλύτερη συχνοτική τιμή). Χαρακτηριστικά παραδείγματα των προηγούμενων δίνονται σε νεότερη έρευνα [10], η οποία σημειώνει ότι σε συνθήκες μεγάλης έντασης θορύβου (εργοστασιακό περιβάλλον) ή ακόμη και μουσικής (νυχτερινά κέντρα διασκέδασης), το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών στενεύει μεταξύ των συνομιλούντων (έστω και ασυναίσθητα), ούτως ώστε αυτοί να γίνονται καταληπτοί μεταξύ τους.

1.2 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Εύρος Ζώνης των Φωνοσυντονισμών

Σε προγενέστερη μελέτη [11], υπογραμμίζεται το γεγονός ότι το άνοιγμα της γλωττίδας είναι η κύρια αιτία ενός αυξημένου εύρους ζώνης για τον πρώτο φωνοσυντονισμό (B1), στοιχείο το οποίο -όπως προαναφέρθηκε- δεν προάγει τη λεπτομερή ακουστική αντίληψη της συλλαβής και της λέξης όταν αυτή προφέρεται κατά αυτόν τον τρόπο (αυξημένο εύρος), ενώ παράλληλα το εύρος μειώνεται όσο το

¹ Το φαινόμενο το οποίο περιγράφουμε, ονομάζεται «κούρδισμα» των φωνοσυντονισμών και στη διεθνή βιβλιογραφία το συναντάμε υπό τον όρο "Formant Tuning".

άνοιγμα της γλωττίδας μικραίνει (κλείνει). Επιπλέον, στην ίδια έρευνα [11] ένα σημαντικό συμπέρασμα το οποίο προέκυψε αναφορικά με το εύρος ζώνης του πρώτου φωνοσυντονισμού (B1), συνίσταται στη συσχέτισή του με την εκπνοή. Ειδικότερα, η παραπάνω έρευνα μέσα από τα ευρήματά της υποστηρίζει, ότι όσο περισσότερη η ροή του αέρα (airflow) κατά τη διαδικασία της αναπνοής (εκπνοή/peak flow) φέρει το φωνήεν που προφέρεται από τον ομιλητή ή τραγουδιστή, τόσο μεγαλύτερο το εύρος του B1. Παράλληλα, σε εκτεταμένη έρευνα [12] η οποία εξέτασε ακουστικά την Ολλανδική, την Αγγλική και τη Γερμανική Γλώσσα, υποστηρίζει ότι τα εύρη ζώνης των τριών χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1, B2, B3), συμβάλλουν στην ακουστική και στη φωνητική «ακεραιότητα» (phonetic integrity) των δυναμικά μεταβαλλόμενων ήχων.

2. Σχεδίαση της Πειραματικής Διαδικασίας για την Ανάλυση του Εύρους Ζώνης των Φωνοσυντονισμών στο Ριζίτικο Τραγούδι

Στόχος της παρούσας μελέτης, αποτέλεσε η πραγματοποίηση μίας -πρώτης- καταγραφής του εύρους ζώνης των δύο χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1,B2) του σύγχρονου φωνητικού ιδιώματος στο ριζίτικο τραγούδι, μέσα από ένα -ενδεικτικό- δείγμα δεκατεσσάρων (14) Κρητών τραγουδιστών των οποίων η καταγωγή προέρχεται από τρεις (3) διαφορετικούς Νομούς της Μεγαλονήσου (Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο). Συγκεκριμένα, το ηχητικό δείγμα περιλάμβανε έξι (6) τραγουδιστές από το Ρέθυμνο, τέσσερις (4) από τα Χανιά και τέσσερις (4) από το Ηράκλειο, οι οποίοι ηχογραφήθηκαν κατά την τραγουδιστική «εκτέλεση» (στην τονική βαθμίδα της ανιούσας μείζονας κλίμακας) του «ανοιχτού» φωνήεντος /α/ και εντός του τονικού εύρους των φωνών τους (comfortable pitch range).

2.1 Χώρος Ηχογραφήσεων και Επιλογή Τραγουδιστών

Όλοι οι συμμετέχοντες τραγουδιστές οι οποίοι συγκρότησαν το «σώμα» (corpus) των ηχογραφήσεων, επιλέχθηκαν βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Ενδεικτικά, μεταξύ αυτών αποτέλεσε το φύλο (άρρεν), καθώς το ριζίτικο επιτελείται αποκλειστικά και μόνο από ανδρικές φωνές, η ηλικία, καθώς ήταν ζητούμενο οι συμμετέχοντες να έχουν μικρή ηλικιακή απόσταση μεταξύ τους (η οποία κυμαίνεται μεταξύ 27 έως 43 ετών), η καταγωγή τους, η οποία έπρεπε να προέρχεται από τους τρεις (3) προαναφερθέντες Νομούς στους οποίους συναντάται το ριζίτικο, αλλά και το ρεπερτόριό τους το οποίο οπωσδήποτε έπρεπε να περιλαμβάνει το ριζίτικο. Ταυτόχρονα, λήφθηκε η απαραίτητη μέριμνα ώστε όλες οι ηχογραφήσεις να πραγματοποιηθούν στον ίδιο χώρο (σε ένα από τα πλήρως εξοπλισμένα στούντιο ηχογράφησης του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου) με τη χρησιμοποίηση -σε κάθε ηχογράφηση (session)- πανομοιότυπου εξοπλισμού και χώρου, για τη διασφάλιση του ίδιου ακουστικού περιβάλλοντος σε όλες ανεξαιρέτως τις ηχογραφήσεις.

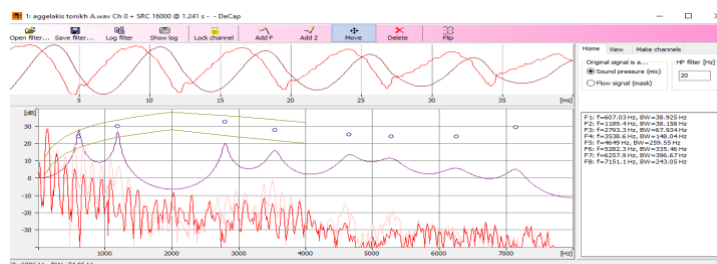
2.2 Επιλογή Λογισμικού Προγράμματος

Σε αντίθεση με την κεντρική συχνότητα των φωνοσυντονισμών της ανθρώπινης φωνής η οποία μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια, η ακριβής εκτίμηση του εύρους

ζώνης αυτών (φωνοσυντονισμών) συνιστά μία αρκετά δύσκολη και πολύπλοκη διαδικασία υπολογισμού [13]. Τούτο οφείλεται στο γεγονός, ότι τα περισσότερα λογισμικά προγράμματα τα οποία εξειδικεύονται στην εύρεση της κεντρικής συχνότητας των φωνοσυντονισμών, είτε αυτά χρησιμοποιούν κώδικα γραμμικής πρόβλεψης (Linear Prediction Code - LPC) για την «εξαγωγή» διάφορων παραμέτρων της φώνησης, είτε μη γραμμικό κώδικα (non Linear Code), δεν παρέχουν την απαιτούμενη ακρίβεια στην εύρεση του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών [10], [14]. Το λογισμικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών στη σύγχρονη εκδοχή του ριζίτικου τραγουδιού, ήταν το *Sopran* και η -λογισμική- επέκταση (plug-in) αυτού το *DeCap*². Το εν λόγω πρόγραμμα δεν χρησιμοποιεί αυτόματη μέθοδο εύρεσης ζώνης των φωνοσυντονισμών επί τη βάση κάποιου γραμμικού κώδικα και μοντέλου πρόβλεψης (LPC), ούτε βασίζεται στη μη γραμμική αλληλεπίδραση πηγής-φίλτρου. Αντιθέτως, βασίζεται στην μέθοδο του «αντίστροφου φιλτραρίσματος» (Inverse Filtering).

2.3 Μεθοδολογία - Τεχνική του Αντίστροφου Φιλτραρίσματος (Inverse Filtering)

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την «εξαγωγή» της φωνητικής παραμέτρου του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών στο ριζίτικο τραγούδι, βασίστηκε στην ψηφιακή επεξεργασία του ηχητικού σήματος της φωνής, με την εφαρμογή της τεχνικής του αντίστροφου φιλτραρίσματος κατά το πρότυπο (μεθοδολογία) προγενέστερων ερευνών οι οποίες εξέτασαν το εύρος ζώνης ανδρικών οπερατικών φωνών [3], αλλά και αυτό (εύρος ζώνης) της φωνής στο «πηγαίο» τραγούδι [1]. Έπειτα από μία σειρά απαραίτητων εργασιών στο πρόγραμμα *Sopran*, όπως -μεταξύ άλλων- η «εισαγωγή» των αρχείων ήχου και η μετατροπή της δειγματοληψίας αυτών (αρχείων), έλαβε χώρα η εφαρμογή της τεχνικής του αντίστροφου φιλτραρίσματος με τη χρήση της λογισμικής επέκτασης *DeCap* όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 2.1).



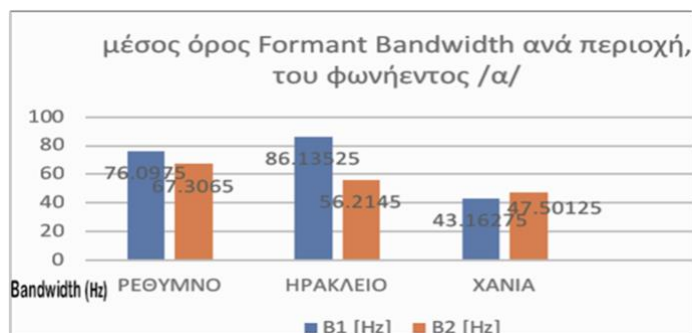
Εικόνα 2.1 Απεικόνιση προγράμματος *DeCap* των δύο σημάτων (flow glottogram και inverse filtered flow derivative), μετά τη διαδικασία του αντίστροφου φιλτραρίσματος, για την τονική βαθμίδα του φωνήεντος /a/, Ρεθυμνιακής καταγωγής τραγουδιστή.

² Καταλήξαμε στα προαναφερθέντα λογισμικά προγράμματα, ύστερα από εκτεταμένη έρευνα, αλλά και την -μετέπειτα- προσωπική επικοινωνία μας με τους Dr Johan Sundberg (Professor Emeritus, Royal Institute of Technology - KTH, Stockholm) και Dr Svante Granqvist (Professor, Royal Institute of Technology - KTH, Stockholm) του οποίου τα συγκεκριμένα λογισμικά αποτελούν προϊόν προσωπικής έμπνευσης και δημιουργίας (και διατίθενται στην ιστοσελίδα: www.tolvan.com).

Όπως γίνεται αντιληπτό, η εφαρμογή της τεχνικής του αντίστροφου φιλτραρίσματος, βασίστηκε στους απόλυτα χειροκίνητους (manual), «λεπτούς» και προσεκτικούς χειρισμούς επί του φάσματος της γλωττιδικής ροής (flow glottogram) και την επισημείωση των φωνοσυντονισμών (οι οποίοι απεικονίζονται ως διάφανοι κύκλοι στην προηγούμενη εικόνα) του φωνητικού σήματος. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα (*Sopran/DeCap*), κατέστησε εφικτή την εύρεση των κεντρικών συχνοτήτων και το αντίστοιχο εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών με τη βοήθεια ενός αντίστροφου φίλτρου (Inverse Filtering), προσφέροντας παράλληλα τη δυνατότητα εμφάνισης σε πραγματικό χρόνο του σήματος ροής που προκύπτει όταν χρησιμοποιείται αυτό το φίλτρο.

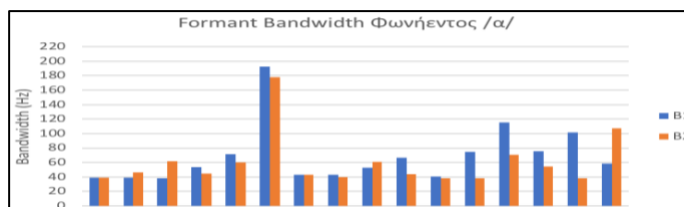
3. Αποτελέσματα

Σύμφωνα με την ανάλυση των μετρήσεων, καταδεικνύεται το σημαντικά «στενότερο» εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών των τραγουδιστών με καταγωγή από τα Χανιά για το φωνήεν /a/ σε σχέση με τους τραγουδιστές από το Ηράκλειο και το Ρέθυμνο. Το «στενότερο» (μικρότερο) εύρος των δύο χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1, B2) των τραγουδιστών από τα Χανιά, «αποτυπώνεται» στο ακόλουθο γράφημα (γράφημα 3.1) σε μορφή ιστογράμματος των μέσων όρων του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών ανά -κρητική- περιοχή.



Γράφημα 3.1 Ταξινομημένο ανά περιοχή (βάσει καταγωγής των τραγουδιστών) ιστογράμματα του εύρους ζώνης των δύο (2) χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1, B2) με μπλε και πορτοκαλί χρώμα αντίστοιχα, για το φωνήεν /a/.

Ταυτόχρονα οι μετρήσεις, «αποκάλυψαν» το -εμφανώς- μεγαλύτερο (υψηλότερο συχνοτικά) εύρος και για τους δύο υπό εξέταση φωνοσυντονισμούς (B1,B2) ενός (1) Ρεθύμιου τραγουδιστή, αναδεικνύοντας το «έντονο» ένρινο στοιχείο κατά την τραγουδιστική επιτέλεση του φωνήεντος /a/, όπως «αποτυπώνεται» στο γράφημα που ακολουθεί (γράφημα 3.2 επόμενης σελίδας). Στην περίπτωση του Ρεθύμιου τραγουδιστή, φαίνεται να ισχύει το συμπέρασμα προηγούμενης έρευνας σύμφωνα με το οποίο το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών, σχετίζεται -μεταξύ άλλων- με τη «ρηνικότητα» του φωνήεντος (vowel nasality) κατά τη φώνηση [13]. Ειδικότερα, μεταξύ των συμμετεχόντων τραγουδιστών, ο συγκεκριμένος κατά την ηχογράφησή του εμφανίστηκε (όπως ο ίδιος γνωστοποίησε) με κρυολόγημα συνοδεία καταρροής, μη μπορώντας να αναπνεύσει με ευκολία από τη μύτη.



Γράφημα 3.2 Συνολικό ιστόγραμμα του εύρους ζώνης των δύο (2) χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1, B2) με μπλε και πορτοκαλί χρώμα αντίστοιχα, του φωνήεντος /α/, των συμμετεχόντων τραγουδιστών, με την υψηλότερη συχνοτική τιμή για αυτούς (B1, B2) να ανήκουν σε Ρεθύμνιο τραγουδιστή (6^{ος} από δεξιά).

4. Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της τεχνικής του αντίστροφου φιλτραρίσματος η οποία χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα χρήσιμη -επίσης- για την κωδικοποίηση, τη σύνθεση και την τροποποίηση της φωνής [15], έδωσε τη δυνατότητα της «εξαγωγής» του σημαντικού συμπεράσματος του «στενότερου» εύρους ζώνης των δύο χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1,B2) των τραγουδιστών με καταγωγή από τα Χανιά, κατά τη σύγχρονη εκφορά του ριζίτικου τραγουδιού, αναδεικνύοντας ταυτόχρονα το «έντονο» ένρινο στοιχείο ενός Ρεθύμνιου τραγουδιστή. Παράλληλα, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας φανερώνουν την ιδιαιτερότητα του ηχοχρώματος των τραγουδιστών με καταγωγή από τα Χανιά, κατά την τραγουδιστική εκφορά. Ενδεχομένως, σημαντικό ρόλο σε τούτο, έχει η μουσική παραστατικότητα και η καταγωγή των Χανιωτών τραγουδιστών, η οποία συμπίπτει με αυτή του ριζίτικου τραγουδιού (Χανιά). Ακουστικά, αυτή η ιδιαιτερότητα του ηχοχρώματος οφείλεται στην τραγουδιστική στυλιστική εκφορά τους η οποία παράγει «στενό» εύρος ζώνης στους δύο χαμηλότερους φωνοσυντονισμούς (B1,B2), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ταυτόχρονα οι συγκεκριμένοι φωνοσυντονισμοί (F1,F2) συμπίπτουν («κουρδίζονται») με τις αρμονικές συχνότητες (Formant Tuning/) για το συγκεκριμένο φωνήεν (/α/), όπως παρουσιάστηκε σε προγενέστερη μελέτη μας [16].

Παρά το ενδεικτικό δείγμα το οποίο συμπεριλήφθηκε στις μετρήσεις συγκροτούμενο από δεκατέσσερις (14) γηγενείς τραγουδιστές της Κρήτης, οι οποίοι εξετάστηκαν κατά την τραγουδιστική επιτέλεση ενός (1) και μοναδικού φωνήεντος (/α/), εντούτοις τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνιστούν μία πρώτη «εικόνα» και μία αξιόπιστη «σκιαγράφιση» του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών της σύγχρονης Κρητικής τραγουδιστικής φωνής του ριζίτικου τραγουδιού.

5. Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς της παρούσας εργασίας, ευχαριστούν τους δύο Σουηδούς Καθηγητές Dr Johan Sundberg και Dr Svante Granqvist για τις πολύτιμες συμβουλές τους. Επίσης, ευχαριστούμε το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου, για την παραχώρηση του στούντιο ηχογραφήσεων και του τεχνικού εξοπλισμού του. Τέλος, ευχαριστούμε όλους ανεξαιρέτως τους συμμετέχοντες τραγουδιστές της παρούσας εργασίας.

6. Αναφορές

- [1] Sundberg, J., Lindblom, B., Hefele, A.M. “Voice Source, Formant Frequencies and Vocal Tract Shape in Overtone Singing. A Case Study”. *J. Logopedics Phoniatrics Vocology*. **48**(2) pp: 75-87 (2023).
- [2] Bloothoof, G., Bringmann, E., Cappellen, M., Luipen, J.B., Thomasen, K.P. “Acoustics and Perception of Overtone Singing”. *J. Acoust. Soc. Am.* **92**(4) (1992).
- [3] Sundberg, J., La, M.B., Gill, B.P. “Formant Tuning Strategies in Professional Male Opera Singers”. *Journal of Voice*, Vol. **27**, No. 3, pp: 278-288 (2013).
- [4] Sundberg, J. “Articulatory Interpretation of the Singing Formant”, *J. Acoust. Soc. Am.* **55**(4), pp: 838–844, (1974).
- [5] Sundberg, J. “*The Science of the Singing Voice*”. Illinois University Press, Northern Illinois, (1987).
- [6] Δελβινιώτης, Δ. Θεοδωρίδης, Σ. Αμαργιανάκης, Γ. «Σύγκριση των Φωνηέντων της Βυζαντινής Μουσικής με τα Αντίστοιχα της Ομιλίας και του Ανδρικού Οπερατικού Τραγουδιού». *Πρακτικά: 1^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Μουσικής Έρευνας*, Ινστιτούτο Έρευνας Μουσικής και Ακουστικής (I.E.M.A), (2001).
- [7] Joliveau, E., Smith, J., Wolfe, J. “Vocal Tract Resonances in Singing: The Soprano Voice,” *J. Acoust. Soc. Am.* **116**, pp: 2434–2439, (2004).
- [8] Kang, M., Islam, S., Islam, R., Jong-Myon Kim. “Accelerating the Formant Synthesis of Haegeum Sounds Using a General-Purpose Graphics Processing Unit”, Springer Link, *Multimedia Tools Appl.* **75**, pp:15445–15459, (2016).
- [9] Summerfield, Q., Foster, J., Tyler, R. “Influences of Formant Bandwidth and Auditory Frequency Selectivity on Identification of Place of Articulation in Stop Consonants”. Elsevier Science Publishers B.V. (1985).
- [10] Vincelas, L. “*Formant Bandwidth and Resilience of Speech to Noise*”. Master Thesis, ENS - Laboratoire Psychologie de la Perception - Hearing Group, Université Paris Descartes, Paris (2011).
- [11] Park, H. “Time Course of the First Formant Bandwidth”. *Linguistic Society of America*, **28**, pp: 213-224, (2002).
- [12] Peeters, W.J.M. “*Diphthong Dynamics: A Cross-Linguistic Perceptual Analysis of Temporal Patterns in Dutch, English, and German*”. PhD Thesis, The University of Utrecht, The Netherlands, Utrecht (1991).
- [13] Khodai-Joopari. M, Clermont, F. “A Comparative Study of Empirical Formulae for Estimating Vowel-Formant Bandwidths”. *Proceedings of the 9th Australian International Conference on Speech Science & Technology Melbourne*, Australian Speech Science & Technology Association Inc. (2002)
- [14] Harrison, P.T. “*Making Accurate Formant Measurements: An Empirical Investigation of the Influence of the Measurement Tool, Analysis Settings and Speaker on Formant Measurements*”. PhD Thesis, University of York, UK, (2013).
- [15] Kafentzis, P.G. “*On the Inverse Filtering of Speech*”. Master of Science Thesis, Department of Computer Science, University of Crete, Heraklion (2010).
- [16] Kalozakis, S., Georgaki, A., Kouroupetoglou, G. “Formant Tuning in Cretan Rizitiko Singing”. *Proceedings of the 12th International Workshop on Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications*, MAVIBA, Firenze, Italy, pp:127-130, (2021). <https://doi.org/10.36253/978-88-5518-449-6>