

אוניברסיטת בר אילן

הגדרה מדעית-הנדסית למושג "קול הברה"

דוד מטס

עבודה זו מוגשת כחלק מהדרישות לשם קבלת
תואר מוסמך

במחלקה לחינוך של אוניברסיטת בר-אילן

תשע"ה

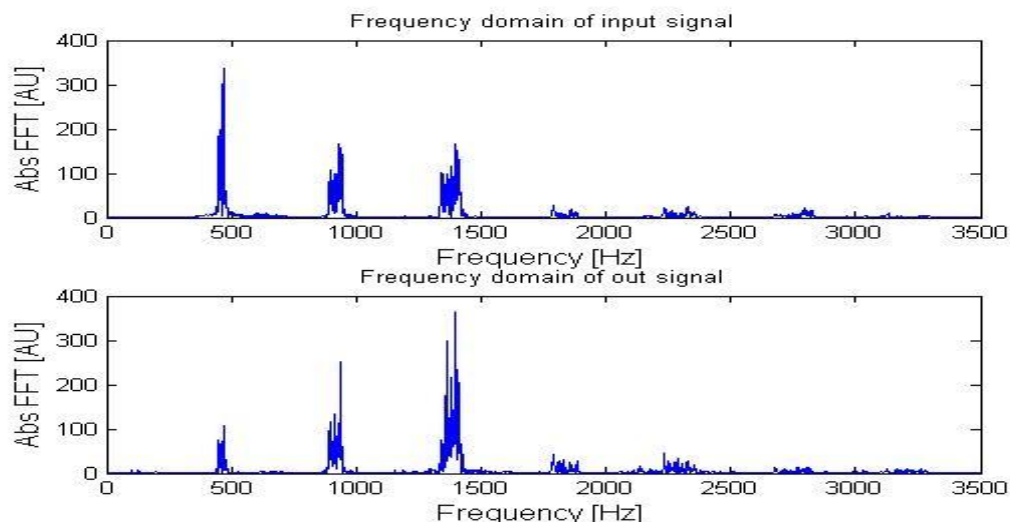
רמת גן

תקציר

מצוות עשה מיוחדת לראש השנה היא המצווה לשמוע קול שופר, כדברי הרמב"ם (הלכות שופר סוכה ולולב א, א): "מצוות עשה של תורה לשמוע תרועת השופר בראש השנה, שנאמר "יום תרועה יהיה לכם" (במדבר כט, א)". המשנה במסכת ראש השנה ג, ה קובעת שכדי לצאת ידי חובה, יש לשמוע את קול השופר ולא קול הברה, ועל כן מי ששומע קול הברה למשל ממי שתוקע בתוך בור – אינו יוצא ידי חובה. הראשונים והפוסקים לא ביארו מהו אותו קול הברה, וכיצד ניתן להבחין האם הקול ששמענו הוא קול שופר או קול הברה. כמו כן, קול הברה זה חדר גם לנושאים נוספים בהלכה, לדוגמה במצוות שמיעה באמצעות כלים מודרניים כרמקול ומכשירים לכבדי שמיעה.

מטרתנו, בעבודת מחקר זו, היא לנסות להגדיר לראשונה בצורה מדעית מהו קול שופר ומהו קול הברה, ולאפשר שימוש בכלים מדעיים כדי להבחין ביניהם.

לשם כך נעשו ניסויים בחדר אקוסטי המדמה מערה/בור בעלי הדהוד. לקול השופר (ככל כלי נגינה) יש תדר בסיס והרמוניות נוספות. כאשר שומעים קול שופר, שומעים בו זמנית את תדר הבסיס של השופר וכן תדרים רבים נוספים המהווים הרמוניות של תדר זה. מסקנת המחקר היא שניתן להגדיר קול הברה את המקרה שבו מתרחשת התאבכות הורסת של תדר הבסיס, כך שתדר זה כמעט "נעלם", אך יתר ההרמוניות אינן מונחתות (באופן יחסי). [בתמונה](#) ניתן לראות ניתוח של אחת מהקלטות השופר. תדר הבסיס של תקיעת שופר זו היה 470 הרץ. בגרף העליון ניתן לראות את תדר הבסיס של השופר יחד עם תדרי ההרמוניות הנלוות לו, ובגרף התחתון ניתן לראות כי תדר זה כמעט נעלם בקול השופר שנשמע מחוץ לחדר/מערה:



תמונה 1: תמונת התדר של הקלטת שופר בניסוי שבוצע. למעלה – ההקלטה הצמודה לשופר, כאשר ניתן לראות כי תדר הבסיס בעל עוצמה גבוהה, ולמטה מחוץ לחדר – תדר הבסיס מונחת משמעותית בכ- 75% (מ- 320 ל- 80). במקביל בהרמוניות הראשונה והשניה האמפליטודה במוצא עלתה כיוון שסך כל האנרגיה נשמר.

לפי תוצאות מחקרנו ניתן להגדיר באופן מדעי (באמצעות בדיקת תדר ההקלטה) מתי הקול הנשמע הוא קול שופר ומתי הוא קול הברה. באמצעות הגדרה זו נוכל גם להסביר חלק ממחלוקות הראשונים בסוגיות הגמרא. כמו כן, להגדרה זו השלכות רבות למכשור מודרני שבו אנו משתמשים כיום כדוגמת מכשירי שמיעה וטלפונים. נחלקו האחרונים האם הקול הנשמע באמצעות מכשירים אלו הוא קול הברה או קול אמיתי, ועל פי העיקרון שאנו מציעים, ניתן לבדוק בצורה מדעית לגבי כל מכשור, האם הוא מקיים את תנאי קול השופר (שומר על תדר בסיס ועל יחסים זהים בין תדר בסיס להרמוניות) או שהינו מוגדר כקול הברה.

עתה נסקור את הפרקים השונים המופיעים במסגרת העבודה.

הפרק הראשון דן ברקע המדעי לעבודה. ראשית נסביר בו מהם גלי קול וכיצד ניתן לנתח אותם במישור הזמן ובמישור התדר. בהמשך נעמוד על תופעות ייחודיות של גלי קול בכלי נגינה, בהד ובמקרים נוספים (כדיבור), וכן נסביר על תופעת ההתאבכות בגלים אלו. בהמשך נעמוד על מערכת הטלפוניה והתפתחותה, ונסיק מכך השלכות לאפשרות קיומן של תופעות ההתאבכות באות טלפוניה בימינו. כמו כן תוסבר מערכת השמיעה באוזן.

הפרק השני מהווה מבוא תורני לעבודתנו. הפרק דן ביסוד דין קול הברה המופיע במשנה לגבי התוקע לבור, תוקפו ותנאי קיומו. כמו כן נדון בפרק בהגדרת קול הברה ביחס לקול שופר ובהגדרתו המילולית של המושג "קול הברה". בהמשך נביא את מחלוקת הראשונים לגבי פסק ההלכה בקול הברה בבור ובאתרים נוספים שבהם שייך המושג "קול הברה". הסעיף האחרון בפרק עוסק במי ששמע תקיעה חלקית כשרה, שאת יתר התקיעה לא שמע או שמע כקול הברה.

הפרק השלישי דן בשימוש בכלים מדעיים בשירות ההלכה. ראשית נדונה מצוות השמיעה בימינו ע"י שימוש בטכנולוגיה מודרנית – הגדרת חרש ושימוש במכשיר שמיעה, וקיום מצוות שמיעה ברמקול ובטלפון. בשלב השני נדון ביחס בין תורה ומדע באופן כללי, ובאפשרות שימוש בכלים מדעיים לשם הכרעת ספקות הלכתיים.

הפרק הרביעי מציג את הכלים שבהם אנו משתמשים לצורך הניסוי, הן הכלים הפיזיים (חדר אקוסטי, שופר, מערכות הקלטה) והן כלי ניתוח ממוחשבים (תוכנת Matlab). בהמשך נדון בשיטות המחקר, כיצד נוכל לנתח קול שופר, כיצד ננתח קול הברה וכיצד ננתח שילוב של שניהם.

בפרק החמישי נפרט את שלושת הניסויים שבוצעו. הניסוי הראשון (המרכזי) שבוצע בחדר האקוסטי מספר פעמים עם חזרות מרובות הוא שידור קול שופר והקלטתו בתוך החדר ומחוצה לו. ננתח את תוצאות הניסוי כדי לקבל קריטריון (המושפע מיכולת ספקטרלית) מהו קול שופר בלבד, מהו קול הברה (חלקי או מלא) ומהו קריטריון ההבחנה ביניהם. במסגרת ניסוי זה נוודא שהקריטריון שלנו ל"קול הברה" אכן עומד במבחני שמיעה, וניתן לקבוע שיש הבדל בין קול שופר לקול הברה. הניסוי השני הוא יצירת התאבכות הורסת במערכת הטלפוניה בצורה מלאכותית (בתקשורת דיגיטלית). בניסוי זה נראה כיצד לבטל תדר באות המוצא, באמצעים דיגיטליים, באמצעות תוכנת Matlab. כמו

כן, בניסוי השלישי נבדוק (באופן תיאורטי בלבד) באילו תנאים תיווצר התאבכות הורסת במערכת הטלפוניה.

בפרק השישי ננתח את תוצאות הניסויים השונים שבפרק 5 ונסיק מסקנות לגבי מיקומו של "קול הברה" וקריטריון ה"התאבכות ההורסת" הגורם "לקול הברה". ע"פ עיקרון זה נסביר מחלוקות ראשונים בהגדרת קול הברה וכן בדיני תקיעה בבור ובאורך השמיעה הנדרש (כאשר מקצת התקיעה פסולה). כמו כן, ע"פ המסקנה בהגדרת קול הברה, נדון בשימוש באמצעים טכנולוגיים למצוות שמיעה (טלפון קווי, סלולרי ועוד), ושייכותם למושג "קול הברה" ע"פ תוצאות הניסוי. לאחר מכן **נסכם** את הניסוי, את תוצאותיו ואת השלכותיו, ונוודא באילו מקרים תיתכן התאבכות הורסת של קול השופר מהמערה, כדי למצוא מקרה של "קול הברה" בעולם המודרני.