

השפעת מאפיינים אקוסטיים, פונטיים ולקסיקליים על זיהוי מילים ברעש בקרב מאזינים צעירים דוברי עברית בעלי שמיעה תקינה

ניצה חורב וחנה פוטר – כ"ץ

תפיסת הדיבור בחיי היומיום מתנהלת כמעט תמיד על רקע רעש מסוגים שונים, כך שמצבי האזנה יום-יומיים מהווים אתגר מתמיד למערכת התפיסתית של בעלי שמיעה תקינה ובאופן מיוחד למערכת התפיסתית של מאזינים עם ירידה בשמיעה (Wilson & McArdle, 2005). תפיסת דיבור מערבת הן מנגנוני עיבוד מטה-מעלה (bottom-up), של עיבוד הפרטים האקוסטיים בגירויי הדיבור והעברתם במסילת השמע העולה והן מנגנוני עיבוד מעלה-מטה (top-down) המערבים רמות גבוהות יותר של עיבוד כגון ידע לשוני - לקסיקאלי המשפיע על התפיסה (Davis & Johnsruide, 2007; Wilson & McArdle, 2005). בעוד שהבנת משפטים מערבת במידה רבה מנגנוני עיבוד מעלה-מטה, הכוללים ידע לקסיקלי, הקשר סמנטי ותחבירי וזיכרון עבודה, נשען זיהוי מילים בודדות במידה רבה יותר על מנגנוני עיבוד מטה-מעלה (Davis & Johnsruide, 2007; Wilson & McArdle, 2005). עם זאת, בעת תפיסת מילים על רקע רעש, חלק מהפרטים האקוסטיים של הגירוי ממוסכים כך שהמאזין נדרש להישען במידה רבה יותר על מנגנוני עיבוד מעלה-מטה. גורמים אקוסטיים, פונטיים ולקסיקליים מערבים במידה שונה את שני מנגנוני העיבוד, ולפיכך משקלם היחסי עשוי להשתנות בעת שנדרשת תפיסת מילים בודדות בתנאי רעש (McArdle & Wilson, 2008). מאחר ששפות שונות נבדלות במצאי הפונמי שלהן, בביטויים האקוסטיים לכל ניגוד פונולוגי ובארגון הלקסיקלי שלהן, המשקל היחסי של גורמים אלו עשוי להשתנות משפה לשפה. השפעת משתנים אקוסטיים, פונטיים ולקסיקליים על זיהוי מילים על רקע רעש בשפה העברית טרם נחקרה, אפיונם חשוב לשם בניית כלים לאבחון תפקודי של מערכת השמיעה, לבניית תכניות התערבות ולהערכת תוצאותיהן.

השפעת **המשתנים הלקסיקאליים** על מידת הקושי של זיהוי מילים באופנות האודיטורית נבדקה במספר מחקרים בשפה האנגלית (Auer, Bernstein, &)

Tucker, 2000; Benki, 2003b; Connine, Mullennix, Shernoff, & Yelen, 1990; Dirks, Takayanagi, Moshfegh, Noffsinger, & Fausti, 2001; Luce & Pisoni, (Goh, Yap, Lau, Ng, & Tan, 2016), הצרפתית, (1998; McArdle & Wilson, 2008 Ferrand et al.,-ראה ב-), ההולנדית (Ernestus & Cutler, 2015) ובשפות נוספות (ראה ב-), המתייחס (2018). מרביתם התייחסו למדד שכיחות המילה (word frequency), מספר המופעים של המילה בשפה הכתובה. באופן עקבי נמצא כי מילים שכיחות מזוהות בקלות רבה יותר בהשוואה למילים פחות שכיחות (Connine et al., 1990; Dirks et al., 2001; Ferrand et al., 2018; Luce & Pisoni, 1998 Ernestus and Cutler (2015) מצאו בשפה ההולנדית, כי שכיחות המילה בעיתונות הכתובה מנבאת במידה יותר את זמני התגובה במטלת שיפוט לקסיקלי באופנות השמיעתית, בהשוואה לשכיחות המילה במאגר של כיתוביות סרטים, העשוי לשקף יותר את השפה הדבורה. משתנה לקסיקלי נוסף אשר נמצא כמשפיע על מידת הקושי בזיהוי מילים הוא מידת מוכרות המילה (word familiarity). מידת מוכרות המילה היא משתנה סובייקטיבי המתייחס למידת החשיפה של הפרט אל המילה או להערכתו עד כמה המילה מוכרת בקרב הדוברים הילידים של השפה. על אף שתוקף משתנה זה נתון בספק, מידת מוכרות המילה נמצאה כמשתנה אשר עשוי לנבא את מידת הקושי בזיהוי מילים (Auer et al., 2000; Connine, 2008; McArdle & Wilson, 2008 Black, et al., 1990). נמצא כי גם במילים שכיחות הייתה השפעה למוכרות המילה, כך שמילים מוכרות יותר זוהו בקלות רבה יותר (Black, 1952). בשפה העברית משתנים לקסיקלים אלו נמצאו כמשפיעים על זיהוי מילים כתובות [ראה סקירה ב Frost and Bentin (1992)]. באופנות השמיעתית, נבדקה ההשפעה של הסטטוס הלקסיקלי של צירופי CVC שהוגשו על רקע רעש לבן ביחס אות-רעש של 0 dB. נמצא כי דוברי עברית צעירים בעלי שמיעה תקינה וכן ילדים ומבוגרים מושתלי שתל השבלול, מזהים בקלות רבה יותר הברות המהוות מילים משמעותיות בעברית לעומת מילות תפל (Taitelbaum-Swead & Fostick, 2017), וכי בכל קבוצות הגיל (4-80 שנים) התרומה של הערוץ האודיטורי לזיהוי המילים באופנות האודיטורית-ויזואלית היתה גדולה יותר במילים משמעותיות לעומת מילות תפל (Taitelbaum-Swead & Fostick, 2016). השפעת מוכרות המילה ושכיחותה על זיהוי מילים חד-הברתיות ברעש, טרם נחקרה בשפה העברית.

המשתנים האקוסטיים הם המשתנים המיוחסים לתכונות הפיזיקליות של גל הקול – משך, עוצמה ותדירות. שני משתנים אקוסטיים אשר נמצאו כמשפיעים על מידת הקושי של זיהוי מילים הם משך המילה ועוצמתה. בקרב דוברי אנגלית נמצא כי מילים בעלות עוצמה גבוהה יותר ומילים בעלות משך ארוך יותר זוהו בקלות רבה יותר. תרומתם של משתנים אלו היא כנראה בשיפור הנגישות השמיעתית (audibility) לאות האקוסטי (McArdle & Wilson, 2008).

המשתנים הפונטיים הם המשתנים הקטגוריים המתייחסים לתכונות העיצורים והתנועות. מרבית המחקרים שבחנו את השפעת המשתנים הפונטיים על זיהוי מילים ברעש עשו זאת בקרב דוברי השפה האנגלית (Benki, 2003a; Cutler, Weber, Smits, & Cooper, 2004; Dubno & Levitt, 1981; McArdle & Wilson, 2008; Miller & Nicely, 1955; Phatak & Allen, 2007; Phatak, Lovitt & Allen, 2008; Woods, Yund, Herron, & Crudlaoich, 2010).

McArdle and Wilson (2008) בחנו את השפעת אופן החיתוך, מקום החיתוך, הקוליות וזהות התנועה על זיהוי מילים חד-הברתיות על רקע רעש מלמול (Multi-Talker Babble – MTB) אשר כלל שישה דוברים, וכן את השפעת מיקום העיצור במילה על תפיסת מאפיינים אלו. המילים נלקחו מתוך מבחן ה-NU-6 באנגלית, כלומר היו מאוזנות מבחינת שכיחותן בשפה ומבחינת הפיזור הפונטי. עוצמת המילים לא נורמלה, כדי לא להפר את יחסי העוצמה הטבעיים שבין עיצורים שונים.

בנוגע לאופן חיתוך נמצא כי מילים שהכילו מחוככים (affricates) זוהו בקלות הרבה ביותר, ואילו מילים שהכילו שוטפים (liquids) היו הקשות ביותר לזיהוי. Dubno and Levitt (1981) שבדקו זיהוי הברות CV ו-VC בקרב דוברי אנגלית, בשקט ועל רקע רעש קפיטריה, מצאו כי אחוזי הזיהוי של מחוככים ושל מקורבים היו גבוהים משמעותית משל סותמים, חוככים ואפיים. בניגוד לכך, Meyer ועמיתיו, שבדקו בקרב דוברי צרפתית זיהוי מילים חד-הברתיות על רקע רעש סביבתי טבעי, מצאו כי אחוזי הזיהוי הגבוהים ביותר היו של חוככים שורקים, לאחריהם עיצורים צליליים (sonorants) ואפיים, ולבסוף סותמים וחוככים לא שורקים, שהיו הקשים ביותר לזיהוי. עם זאת, מיקום העיצור במילה השפיע על המדרג לפי אופן החיתוך: בעוד שבמיקום תחילי עיצורים אפיים ומקורבים היו

קלים יותר לזיהוי בהשוואה לעיצורים סותמים וחוככים, במיקום סופי העיצורים החוככים היו הקלים ביותר לזיהוי (Meyer, Dentel, & Fanny, 2013).

באשר למקום החיתוך, במחקרם של McArdle and Wilson (2008) נמצא כי מקום החיתוך הדו־שפתי היה הקשה ביותר, ואילו מקום החיתוך הקל ביותר היה בתר־מכתשי, וזאת בדומה לממצאיהם של Dubno and Levitt (1981) שהראו כי עיצורים קדמיים היו קשים יותר לזיהוי בהשוואה לעיצורים אחוריים יותר. Meyer ועמיתיו (2013) מצאו עדיפות למקום החיתוך המכתשי בהשוואה למקום חיתוך שפתי, גם כאשר הוסרו מהניתוח השורקים /f/ ו- /s/, כך שההבדל בין מקומות החיתוך אינו יכול להיות מוסבר רק בהבדלים שבין חוככים שורקים (מכתשיים) ללא שורקים (שפתיים) בעוצמת רעש החיכוך.

בבדיקת השפעת הקוליות במחקרם של McArdle and Wilson (2008) נמצא כי מילים אשר הכילו עיצורים בלתי קוליים נתפסו בקלות רבה יותר בהשוואה למילים אשר הכילו עיצורים קוליים. Dubno and Levitt (1981) מצאו, לעומת זאת, כי השפעת הקוליות לא היתה עקבית בין העיצורים. Meyer ועמיתיו (2013) מצאו בצרפתית אינטראקציה בין מיקום העיצור במילה לבין הקוליות, כך שעיצורים קוליים זוהו טוב יותר במיקום תחילי ועיצורים בלתי קוליים זוהו טוב יותר במיקום סופי.

בעזרת ניתוח שגיאות הזיהוי (confusion matrix) ניתן לדרג את התכונות אופן החיתוך, מקום החיתוך והקוליות לפי מידת עמידותן לרעש המיסוך. במספר מחקרים נמצא כי ניגוד הקוליות הוא העמיד ביותר להשפעת רעש, לאחריו אופן החיתוך, והפגיע ביותר היה מקום החיתוך (Benki, 2003a; Miller & Nicely, 1955; Phatak & Allen, 2007; Phatak et al., 2008; Wang & Bilger, 1973; Woods et al., 2010). במחקר ששימש מודל למחקרי ה-confusion matrix מצאו Miller and Nicely (1955) בהברות CV שהוצגו ברעש לבן, כי בעוד שקוליות ואפיות זוהו גם ביחס אות לרעש של -12dB, מקום החיתוך היה קשה לזיהוי ביחסי אות-רעש גרועים מ-6dB. ממצא זה, של עמידות זיהוי ניגוד הקוליות והאפיות בהברות CV לרעש מיסוך מסוג רעש לבן, אושש גם במחקרם של Phatak ועמיתיו (2008). עם זאת, סוג רעש המיסוך עשוי להשפיע על עמידות התכונות, ובנוכחות רעש מסוג Speech-Weighted Noise (SWN) נפגעה יכולת הזיהוי של האפיים,

אולם הקוליות נותרה עמידה להשפעת רעש המיסוך (Phatak & Allen, 2007). ניגוד הקוליות נמצא הקל ביותר לתפיסה גם בתנאי ניסוי המשקפים יותר את הסביבה הטבעית, שבהם נמדדו בקרב דוברי צרפתית אחוזי הזיהוי בתלות במרחק מהדובר ובנוכחות רעש סביבתי אחיד (Meyer et al., 2013).

באשר להשפעת מיקום העיצור במילה, מרבית המחקרים שחקרו זיהוי עיצורים בהברות מסוג CVC מצאו כי בנוכחות רעש מסוג Speech Spectrum Noise (SSN), עיצורים תחיליים זוהו טוב יותר מאשר עיצורים סופיים (Benki, 2003a; Redford & Diehl, 1999; Woods et al, 2010 Dubno & Levitt, 1981). לעומת זאת, במחקרים אחרים שבהם הרעש הממסך היה רעש מלמול (Cutler et al., 2004) או רעש סביבתי טבעי (Meyer et al., 2013), נמצאו תוצאות הפוכות: העיצורים הסופיים זוהו בדיוק רב יותר מאשר העיצורים התחיליים.

זיהוי העיצורים מושפע גם מהתנועה המהווה את גרעין ההברה, כפי שעולה מממצאיהם של Wang and Bilger (1973), שחקרו בקרב דוברי אנגלית זיהוי עיצורים ברעש רחב-פס. במחקרם נמצאו אחוזי זיהוי גבוהים יותר בהברות VC ו-CV שכללו את התנועה /u/ בהשוואה לתנועה /a/. השפעת התנועה /i/, לעומת זאת, השתנתה בתלות מיקום העיצור בהברה. בהברות CV, עיצורים לפני התנועה /i/ היו הקשים ביותר לזיהוי, ובהברות VC עיצורים אחרי התנועה /i/ היו דווקא הקלים ביותר לזיהוי. בניגוד לכך, Dubno and Levitt (1981) מצאו כי זיהוי עיצורים בהברות VC ו-CV על רקע רעש קפיטריה, היה הטוב ביותר בהברות שכללו את התנועה /a/ בהשוואה לתנועות /i/ ו-/u/, ללא תלות במיקום העיצור בהברה. בדומה לכך, גם בקרב דוברי צרפתית נמצא כי העיצורים במילות תפל במבנה VCVCV שהוצגו עם רעש לבן, זוהו טוב יותר בלוויית התנועה /a/ בהשוואה ל /i/ (Benoit, Mohamadi, & Kandel, 1994). בניגוד לממצאים אלו, בערבית נמצא כי אחוזי הזיהוי של העיצורים בהברות CV היו הגבוהים ביותר בהברות שכללו את התנועה /a:/ ו-/i:/ (לא נמצא הבדל בין הברות אלו) והנמוכים ביותר בהברות עם התנועה /u/ (Sanker, 2015). כמו כן, בקרב דוברי אנגלית, בחלק מהמחקרים נמצא כי זיהוי עיצור תחילי וזיהוי עיצור סופי מושפעים באופן שונה מזהות התנועה בהברה: עיצורים תחיליים מזהים טוב יותר כשהם

מקדימים את התנועה /a/, ועיצורים סופיים מזוהים טוב יותר כשהם מופיעים לאחר תנועות גבוהות [i/] במחקרם של Woods ושות' (2010) ו-Wang and Bilger (1973); /u/ במחקרם של [Redford and Diehl (1999)].

באשר לזהות התנועה, McArdle and Wilson (2008) מצאו כי התנועה /u/ הייתה הקלה ביותר לזיהוי, לאחריה /i/, ולבסוף /a/. עם זאת, ראוי לציין כי במחקר זה לא נערך ניתוח שגיאות לכל פונמה, אלא שהשוואה בין התנועות התבססה על זיהוי המילה כולה. במחקרה של Gordon-Salant (1985), שבדקה בקרב דוברי אנגלית זיהוי הברות תפל במבנה CV במספר יחסי אות-רעש מסוג SSN, אחוזי הזיהוי הגבוהים ביותר היו של התנועה /i/, כנראה בזכות הפורמנט השני הגבוה יותר של התנועה, שהיה עמיד יותר להשפעות רעש המיסוך מסוג SSN. לעומת זאת, בעת שימוש ברעש מסוג SWN, התואם יותר את ספקטרום סיגנל הדיבור, לא נמצא הבדל משמעותי בזיהוי התנועות בהברות תפל במבנה CV ע"י מאזינים דוברי אנגלית (Phatak and Allen, 2007). במחקר בקרב דוברי צרפתית נמצא כי במילות תפל במבנה VCVCV שהוצגו עם רעש לבן, התנועה /a/ הייתה הקלה ביותר לזיהוי, לאחריה /i/, והקשה ביותר הייתה /y/ (Benoit et al., 1994). לא ברור אם הבדלים אלו במדרג הקושי של התנועות מקורם בסוג רעש המיסוך שהושמע או בשפת האם של המאזינים. מניתוחי שגיאות הזיהוי עלה באופן עקבי כי גובה התנועה, הנתפס לפי תדירות הפורמנט הראשון, עמיד יותר להשפעות רעש בהשוואה לקדמיות התנועה, הנתפסת לפי תדירות הפורמנט השני (Benki, 2003a).

ניתוח אחוזי הזיהוי של כל פונמה מאפשר להתוות גם מדרג של דרגת קושי בתפיסת העיצורים השונים על רקע רעש. כך, לדוגמה, Phatak ועמיתיו סיווגו את העיצורים שהוגשו בהברות CV לשלוש קבוצות בהתאם לאחוזי הזיהוי שלהם על רקע רעש לבן (Phatak et al., 2008) ועל רקע רעש מסוג SWN (Phatak & Allen, 2007). המדרג שהתקבל בשני סוגי הרעש בקרב דוברי אנגלית היה מעט שונה, בשל מיסוך סלקטיבי יותר של העיצורים ברעש מסוג SWN. מחקרים בקרב דו־לשוניים ובקרב דוברי שפות אחרות, הראו כי שפת האם של המאזין משפיעה על מדרג זה, בהתאם למצאי הפונטי ולמגבלות הפונוטקטיות בשפת האם (בערבית, מאזינים חד־לשוניים ודו־לשוניים Sanker, 2015; בצרפתית מאזינים חד־לשוניים Meyer et al., 2013; באנגלית מאזינים דו־לשוניים Broersma & Scharenborg, 2010).