

אפיון והערכה של מערכת תומכת בקריאת דיבור עבור משתמשים לקויי שמיעה

בקי שוקן

הפקולטה לניהול, אוניברסיטת תל אביב
המחלקה לניהול וכלכלה, האוניברסיטה הפתוחה
beckysc@openu.ac.il

Characterization and Evaluation of Speech-Reading Support Systems for Hard-of-Hearing Students in the Class

Becky Schocken

Faculty of Management, Tel-Aviv University,
Department of Management and Economics,
The Open University of Israel

Abstract

Learning in class is a frustrating mission for the hearing-impaired student. While speech-reading is a necessary solution, there are some essential problems using it fluently in the class. This paper suggests an Information System to support aural communication via speech-reading, in order to enable equal conditions for hearing-impaired students. The main problem for a hard of hearing student, who relies on speech-reading, is that during speech-reading, one lacks a large amount of information that is available to a person with unimpaired hearing. We suggest a support system based on computer mediated communication. Two approaches for support were diagnosed: The Graded Cued Speech, and the "Phonology as Human Behavior" theory. The research had constructed a large database for spoken Hebrew, and developed a set of normative measures in order to evaluate the contribution of such support. The study also examined the performance of 105 speech-readers with the suggested support. The results demonstrate that the "Phonology as Human Behavior" is a promising approach. One could speech-read fluently, with only one or two additional signals produced by the support system.

Keywords: speech-reading, lip-reading, computer mediated communication, phonology as human behavior theory, cued speech system, technological support for hearing-impaired students.

תקציר

לימוד קבוצתי בכיתה הינה משימה מתסכלת עבור הסטודנט לקוי השמיעה. קריאת דיבור הינה ערוץ התקשורת הנדרש במהלך השיעור, אך קיימות בעיות מהותיות המקשות על ההבנה של הנאמר בכיתה. מאמר זה מציע מערכת מידע, התומכת בתקשורת באמצעות קריאת דיבור, במטרה לאפשר לסטודנט לקוי השמיעה שוויון הזדמנויות, כמו לחבריו השומעים. הבעיה המרכזית של הסטודנט קורא הדיבור, היא, שקריאת הדיבור משמיטה חלקים גדולים של המידע המועבר באמצעות שמיעה תקינה. אנו מציעים מערכת תומכת, המשלימה את החסר בקריאת דיבור, ומבוססת על תקשורת באמצעות מחשב. המחקר בדק שתי גישות תמיכה: שיטת הדיבור המרומז המדורג, וגישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם. במסגרת המחקר הוקם מדגם גדול של השפה העברית, ופותח סט של מדדים נורמטיביים להערכת התרומה של גישות

התמיכה לעיל. כמו כן, המחקר בדק ביצועים של 105 נבדקים ברמות תמיכה משתנות של שתי גישות התמיכה שהוצעו. התוצאות מראות כי תמיכה בגישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם הינה מבטיחה. ניתן לקרוא דיבור באופן שוטף, עם תמיכה מועטה של רמז אחד עד שניים המופקים באמצעות המערכת התומכת.

מילות מפתח: קריאת דיבור, קריאת שפתיים, תקשורת באמצעות מחשב, פונולוגיה כהתנהגות האדם, שיטת הדיבור המרומז, טכנולוגיות תומכות לתלמידים לקויי שמיעה.

מבוא

מאז ומתמיד שמשו אמצעים מבוססי טכנולוגיות מידע לביסוס קשר בין אנשים. טלפון, טלקס, פקס, וכיום גם האינטרנט, כבלים, סלולר, לוויינים וכד', משמשים תשתית לאמצעי תקשורת רבים ונפוצים בחיי היום יום. עבור אנשים לקויי שמיעה אמצעים אלה מאפשרים תמיכה משמעותית לשיפור קשיי התקשורת שלהם. התלמיד לקוי השמיעה נתקל באתגרים נוספים, הייחודיים לסביבת הלימוד בחדר הכיתה. סטודנט לקוי שמיעה במוסד להשכלה גבוהה, נדרש להשתתף בהרצאות פרונטליות הומות אנשים, ולהסתמך בעיקר על קריאת דיבור (קריאת שפתיים). המחקר המוצע כאן מציג ומעריך פתרון טכנולוגי המסייע במשימת קריאת השפתיים עבור סטודנטים לקויי שמיעה.

הבעיה בקריאת דיבור

כאשר התקשורת מתקיימת באמצעות שפה מדוברת, במקרים רבים ההבנה של לקוי השמיעה מוגבלת למה שהוא יכול לקלוט דרך קריאת הדיבור. הבעיה המרכזית של קריאת הדיבור היא, שהגאים אשר נשמעים שונים, נראים זהים בערוץ הויזואלי, ולכן קורא הדיבור נאלץ לנחש ביניהם. בשפה העברית קיימים כ- 20 עיצורים שונים שאדם שומע מבחין בהבדלים ביניהם, אך בקריאת הדיבור ניתן להבחין רק בחמש קבוצות נבדלות של עיצורים שהן: (1) פ' רפויה ו- ב' רפויה, (2) א/ע', ג', ק', ר', ו- ח', (3) ד', י', ל', נ', ס', ת/ט', צ' ו- ז', (4) ב', מ', פ', ש'. קבוצות אלה מכונות VISEMES (visual phonemes). כך למשל, כאשר קורא הדיבור נתקל במילה "מרק" /marak/, הוא לא יודע האם זו המילה שנאמרה, או אולי התכוון הדובר ל"ברק" /barak/ או "פרק" /parak/. (כרמי, 1994; פלאוט, 1988, 1994, Jackson).

שיטת הדיבור המרומז

"שיטת הדיבור המרומז" (Cued Speech System) הוצעה בסוף שנות ה-60 על ידי Cornett (1967, 1970). בשיטה זו התקשורת מתבצעת בשפה דבורה, אך מוסיפים לה רמזים חזותיים באמצעות כף היד והאצבעות. השילוב של צורת כף היד, יחד עם קריאת הדיבור, מגדיר חד משמעית את התוכן ההברתי של הגירוי הקולי. כך למשל, הפקת העיצור p מלווה במצב כף יד שהאצבע המורה פשוטה, ושאר האצבעות קפוצות, הפקת העיצור m מלווה במצב כף יד בו האגודל נמצאת בתשעים מעלות לשאר האצבעות, ובצורה כזו קורא הדיבור יכול להבחין בין ה- m ל- p. באופן דומה, מצב כף היד המלווה את העיצור m, מלווה גם את העיצורים f, ו- t, השייכים ל- VISEMES נפרדים (Cornett, 1967; Bratakos, 1995).

הפיתרון הטכנולוגי

הפיתרון הטכנולוגי מבוסס על הרעיון הבסיסי של שיטת הדיבור המרומז. הסטודנט לקוי השמיעה נמצא באולם ההרצאות, כאשר המרצה מדבר אל מיקרופון ומצולם במצלמת ווידאו. תמונת המרצה מוצגת על גבי מסך גדול בקדמת האולם, או במסך המחשב האישי של הסטודנט. בנוסף להגשה הברורה של פני המרצה על המסך, מותקנת במחשב מערכת, המזהה את המרכיבים העיצוריים של הדיבור, ומפיקה בהתאם רמזים על גבי המסך. בעבר נעשו ניסיונות ליישומים טכנולוגיים עבור שיטת הדיבור המרומז, אך הם לא זכו לשימוש נפוץ (Bratakos, 1995; Duchnowski et al., 1998). אחד ההסברים לכישלון של היישומים הטכנולוגיים לדיבור המרומז נעוץ בעובדה כי השיטה מפיקה רמזים עבור כל העיצורים בגירוי הדיבור. עיצורים אלה מתחלפים בקצב מסחרר של אלפיות שנייה, ולא ניתן, באמצעות הראייה, לעקוב אחרי השתנות הרמזים המופקים אוטומטית במקביל לדיבור רגיל. כאשר הרמזים מופקים על ידי הדובר עצמו, הוא מתאים את קצב הדיבור שלו לפי יכולתו להפיק את תנועות כף היד. יוצא, כי בהפקה ידנית קצב השתנות הרמזים הינו איטי, ומוגבל ליכולת לשנות את מצבי כף

היד. אבל, כאשר מדובר על מערכת אוטומטית המתלווה לדיבור רגיל של מרצה בכיתה, קצב החלפת הרמזים על המסך הינו מהיר מאד. קורא הדיבור צריך להתמודד עם הדינמיקה של תנועות השפתיים, וגם עם רמזים מרצדים המתחלפים במהירות, וזה מאמץ גדול מאד. יחד עם זאת, אין צורך בקליטת כל מרכיבי הגירוי הקולי כדי להבין מה שנאמר (Boothroyd, 1988). ידע השפה, ההקשר, ונושא השיחה, משלימים חלק מהחסר. לכן, קורא השפתיים יכול לסבול מידה מסוימת של אי וודאות אודות העיצורים בגירוי הדיבור. שאלת המחקר היא, עבור אלו עיצורים בכל VISEME נכון להצמיד רמזים תומכים, כאשר המטרה היא לאפשר מקסימום מידע במינימום רמזים.

שתי גישות תמיכה להקצאת רמזים

המחקר מציע שתי גישות להקצאת רמזים תומכים לעיצורים בכל VISEME. גישת הדיבור המרומז המדורג מבוססת על שיטת הדיבור המרומז, אבל סדר הרמזים נקבע לפי מידת השכיחות של העיצורים בשפה. כאשר המערכת מפיקה רמז אחד (נניח, נקודה אדומה המוקרנת ליד שפתי הדובר), הרמז יוקצה לעיצורים m, v, t ולתנועות aeiou בלבד, מפני שעיצורים אלה משתייכים ל-VISEMES נפרדים, והם השכיחים ביותר בין כל העיצורים באותו ה-VISEME. באופן דומה, כאשר המערכת תפיק רמז שני (נניח, נקודה ירוקה), הרמז יוקצה לעיצורים l, b ו-r, שהם הבאים בתור בסדר השכיחות ב-VISEME אליהם הם משתייכים. גישה זו מכונה "גישת הדיבור המרומז המדורג", שכן היא מדרגת את הרמזים לפי סדר שכיחותם בשפה/VISEMES.

גישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם מבוססת על הנחת היסוד כי רכישת הגאי השפה והבנת התפוצה הבלתי אקראית שלהם, דומה לרכישת מיומנויות אקסטרנה-לינגוויסטיות אחרות הדורשות מוטוריקה עדינה בדיבור. התיאוריה מבוססת על הגורם האנושי המורכב מהאינטליגנציה, דהיינו היכולת להגיע למסקנות מופשטות מרחיקות לכת על סמך מספר מצומצם ביותר של רמזים, וכן על הפעלת שיקולים כלכליים במטרה להגיע ליעילות והקטנת המאמץ. מסיבה זו, לכל השפות בעולם יש מספר דומה של פונמות (בין 20-40), ויחס דומה בין מספר הגאים קלים והגאים קשים להפקה, כאשר ההגאים הקלים יותר נמצאים בשימוש יותר נפוץ בשפה, ואילו ההגאים הקשים יותר הם פחות נפוצים, אבל מאפשרים לייצר הבחנות תקשורתיות נוספות (טובין, 1995; Diver, 1979; Tobin, 1997). הסיבות המסבירות את תפוצת העיצורים בשפה לפי תיאורית הפונולוגיה כהתנהגות האדם, ביחד עם תובנות אודות המאמץ הנדרש לזיהוי עיצורים שונים באמצעות קריאת דיבור (Auer & Bernstein, 1995). שמשו בסיס להקצאת סיגנלים עבור העיצורים ב-VISEMES השונים. הסיגנל הראשון מציין את מאפיין הקוליות של העיצורים (העיצורים p, f, sh, t, k, x, h, מקבלים את הרמז הראשון). הסיגנל השני את מאפיין האפיות ואת התנועות (העיצורים m, n וכן התנועות aeiou, מקבלים את הרמז השני). הסיגנל השלישי מבחין בין העיצורים החוככים, לסותמים ומחוככים (העיצורים t, ts, k, d, g מקבלים את הרמז השלישי).

הערכת גישות התמיכה

המחקר הגדיר מספר מדדים המעריכים את ערך המידע של הרמזים המופקים על ידי המערכות, על פי ההבחנה שבין ערך מידע ראלי, נתפס ונורמטיבי (Ahituv, 1989). המדדים הנורמטיביים מבוססים על רמה עיצורית ורמה מילונית של השפה, כאשר חלק מהמדדים מבוססים על תורת התקשורת של Shannon & Weaver (1949). מדדי ערך המידע הראלי והנתפס מבוססים על מחקר אמפירי, שבדק את הביצועים בפועל של קריאת דיבור תחת התמיכה של שתי הגישות לעיל, ובמספר רמזים משתנה.

מדדי ערך מידע נורמטיבי

לצורך חישוב המדדים הנורמטיביים נבנה מדגם גדול של השפה העברית, באמצעות טקסטים שהורדו מהאינטרנט, בהיקף כולל של כ-13,800,000 מילים. הטקסט הועבר לתעתיק פונמי, שמאפשר לחשב את שכיחות העיצורים בשפה, וכן לבנות מילון של "עברית מושמעת". במילון כזה, מילים הומונימיות נחשבות לערך משותף. למשל, המילה kara, היא ערך יחיד במילון המושמע, למרות שאפשר לכתוב אותה באופנים שונים. המילון המושמע מציג גם את שכיחות המילים בשפה, שחושבה לפי תפוצתן במדגם. בנוסף, נקבעה חלוקה וייזימית של הגאי הדיבור על פי מחקרים אמפיריים, עבור השפה האנגלית (Erber, 1974; Owens & Blazek, 1985), ועבור השפה העברית (לביא, 1995). החלוקה וייזימית של הגאי הדיבור אפשרה להגדיר מילון מצומצם של "עברית

נראית", המבוסס על קריאת דיבור. המילון של השפה המושמעת כלל 100,000 ערכים, ואילו המילון ה"נראה" כולל כ- 30,000 ערכים בלבד.

מדדי ערך המידע הנורמטיבי משקפים ממדים שונים של הפער בין העברית המושמעת לעברית הנראית. הטבלה בנספח 1 מציגה את מדדי ערך המידע הנורמטיבי שחושבו על המודל המילוני של קריאת הדיבור. מדדים אלה משקפים יחסים שונים בין המילון המושמע למילון הנראה של השפה העברית. הטבלה בנספח 2 מציגה את מדדי ערך המידע הנורמטיבי שחושבו על המודל העיצורי של השפה, דהיינו, יחסים שונים בין החלוקה הפונימית של גירוי הדיבור לחלוקה הוויזימית. הטבלאות בנספחים 3 ו-4, מציגות את התוצאות של מדדי ערך המידע הנורמטיבי עבור שיטת הדיבור המרומו המדורג וגישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם, בהתאמה. רמות התמיכה מתייחסות לקריאת הדיבור "נטו", ולמספר הולך וגדל של רמזים תומכים, עד אשר מגיעים למצב של הבחנה מלאה של כל הפונמות, כמו בשמיעה תקינה.

מדדי ערך מידע ראלי ונתפס

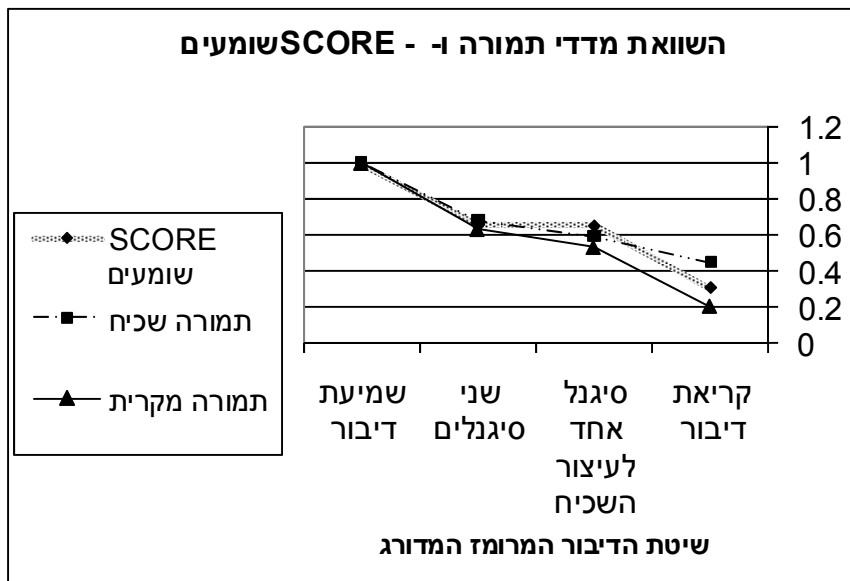
נערך מחקר אמפירי בו נבדקים התבקשו לקרוא שפתיים של דוברת בסרט ווידאו, ולרשום ע"ג טפסים מתאימים מה שהבינו מהנאמר. תנאי הניסוי היו רמות תמיכה שונות של המערכת, דהיינו הקצאות סיגנלים שונות בגישת הדיבור המרומו המדורג, ובגישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם. מדדי ערך המידע הראלי היו SCORE, שחישב את שיעור המילים שזוהו נכון באמצעות קריאת דיבור, וה- JUDGE שהגדיר את מידת ההבנה של המסר, לפי קביעה של שופט חיצוני שקרא את הטקסט שהנבדקים כתבו והשווה למה שנאמר על ידי הקריינית. מדד ערך המידע הנתפס היה ה- SELF, שהגדיר את רמת הביטחון העצמי של הנבדק כפי שהעריך את מידת הבנתו את מה שנאמר, מייד עם סיום כתיבת כל משפט בניסוי. מדדי ה- SELF וה- JUDGE נערכו בסקאלה שבין 1 (המסר לא הובן) ל- 5 (המסר הובן במלואו).

תוצאות

נתקבל כי גישת התמיכה לפי הפונולוגיה כהתנהגות האדם הינה עדיפה לפי כל המדדים שהוגדרו.

אחד המדדים הנורמטיביים שהוגדרו היה ה- ECS, המבטא את גודל הקבוצה הממוצע של מילים שלא ניתן להבחין ביניהן באמצעות קריאת דיבור. בקריאת דיבור בסיסית ללא תמיכה, נמצא כי גודל הקבוצה הממוצע של מילים דומות הוא 45 מילים. כלומר, כאשר קורא הדיבור נתקל במילה, עליו לנחש בינה לבין עוד 44 מילים שנראות בדיוק כמוה. תמיכה בסיגנל ראשון, לפי שיטת הדיבור המרומו, המדורג מורידה את גודל הקבוצה הממוצע ל- 14 מילים. ואילו תמיכה בסיגנל הראשון, לפי הפונולוגיה כהתנהגות האדם, מורידה את גודל הקבוצה ל- 8.4 מילים בלבד! באופן דומה, הסיגנל השני מוריד את גודל הקבוצה הממוצע ל- 5.5 מילים בשיטת הדיבור המרומו המדורג, ול- 3.6 מילים בפונולוגיה כהתנהגות האדם. שאר המדדים שהוגדרו מציגים תוצאות דומות. תוצאה מעניינת במיוחד הראתה כי, עפ"י תורת התקשורת של Shannon & Weaver (1949), ידע השפה מפצה על אי הוודאות בקריאת הדיבור, כאשר ניתנים שני סיגנלים בלבד לפי הדיבור המרומו המדורג, או 1.3 סיגנלים לפי הפונולוגיה כהתנהגות האדם.

גם המחקר האמפירי מראה כי הביצועים של הנבדקים היו טובים יותר בתמיכה לפי גישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם. איור 1 ואיור 2 להלן מציגים את מדד ה- SCORE (שעור זיהוי נכון של המילים בקריאת דיבור), מול מדדי התמורה של הרמה העיצורית של השפה, בשתי גישות התמיכה. ניתן לראות בבירור כי, למרות הדמיון במדדים הנורמטיביים, הביצועים (מדד ה- SCORE) לפי גישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם, הם טובים בהרבה.



איור 1. השוואת מדדי תמורה ו- SCORE: גישת הדיבור המרומז המדורג



איור 2. השוואת מדדי תמורה ו- SCORE: גישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם

סיכום ומסקנות

לאור תוצאות המדדים שחושבו, ולאור הביצועים של הנבדקים במחקר האמפירי, נראה כי מערכת תומכת בקריאת דיבור, לפי הרעיון הבסיסי של הקצאת רמזים מבחינים לעיצורים השייכים לאותו VISEME, עשויה לשפר משמעותית את קשיי התקשורת של אנשים לקויי שמיעה, המסתמכים על קריאת דיבור. יתרון משמעותי למערכת המתוארת כאן הוא שהטכנולוגיה לסיווג העיצורים של גירווי הדיבור כבר קיימת ברמת אמינות מספקת (Duchnowski et al., 2000). כמו כן, הציוד הנדרש (מחשב, מקרן, מסך, מצלמת וידאו, מיקרופון) הינו שגרת, ומצוי בכל מוסדות הלימוד.

המערכת המתוארת כאן מתאימה במיוחד ללימודים במוסדות להשכלה גבוהה, בה הסטודנטים לומדים בהרצאות פרונטליות מרובות משתתפים. המערכת מאפשרת, בראש ובראשונה, תנאי צפייה מיטביים בפני הדובר, באמצעות מסך גדול בקדמת הכיתה. בנוסף לכך, הרמזים התומכים שיתווספו לתנועות השפתיים של הדובר, יאפשרו לסטודנט לקוי השמיעה להשתתף בשיעור וללמוד את החומר, בשוויון תנאים לחבריו השומעים.

מקורות

- טובין, י' (1995). פונולוגיה כהתנהגות האדם – מבוא. **דבור ושמיעה, כתב העת של האגודה הישראלית של קלינאי התקשורת**, עמ' 1-19.
- כרמי, (1994). תפיסת Visemes בשפה העברית. בתוך: ע' לביא, (1995). **השפעת מבנה ההברה והתנועה המלווה על תפיסת ה-Viseme בעברית**. עבודה סמינריונית באודיולוגיה בחוג ללימודי הפרעות בתקשורת אוני' תל-אביב.
- לביא, ע' (1995). **השפעת מבנה ההברה והתנועה המלווה על תפיסת ה-Viseme בעברית**. עבודה סמינריונית באודיולוגיה בחוג ללימודי הפרעות בתקשורת אוני' תל-אביב.
- פלאוט, א' (1994). **תלמידים לקויי שמיעה אתגרים בחינוך ובהוראה**. הוצאת ספרים "אח" בע"מ, עמ' 219-209.
- Ahituv, N., (1989). Assessing the value of information: Problems and approaches. *Proceedings of ICIS-89, Boston, MA*, 315-325.
- Auer, E. T. Jr., & Bernstein, I. (1995). Homophony in speechreading: effects of phonemic equivalence classes on the structure of the lexicon. In D. G. Stork & M. E. Hennecke (Eds.) *Speechreading by humans and machines: Models, systems and applications*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 169-178.
- Bernstein, L. E. & Auer, E. T. Jr. (1995). Word recognition in speechreading. In D. G. Stork & M. E. Hennecke (Eds.) *Speechreading by humans and machines: Models, systems and applications*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 17-26.
- Bernstein, L., & Auer E. T. Jr. (1997). Speechreading and the structure of the lexicon: Computationally modeling the effects of reduced phonetic distinctiveness on lexical uniqueness. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 102 (6), 3704-3710.
- Boothroyd, A. (1988). Linguistic factors in speechreading. *The Volta Review*, Vol. 90. 77-87.
- Bratakos M. (1995). The Effect of imperfect cues on the reception on cued speech, (Master of Engineering in Electrical Engineering), Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, Massachusetts.
- Cornett, R. O. (1967). Cued speech. *American Annals of the Deaf*, 112, 3-13.
- Diver, W. (1979). Phonology as human behavior. In D. Aaronson & P. Reiber (eds.) *Psycholinguistic research: Implications and applications*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. 161-186.
- Duchnowski, P., Braida, L., Lum, D., Krause, J., Sexton, M., & Banthia, S. (1998). Automatic generation of cued speech for the deaf: Status and outlook. In *Proceedings of the International Conference on Auditory-Visual Speech Processing*, Terrigal, Australia
- Duchnowski, P., Lum D., Krause, J., Sexton, M., Bratakos, M., & Braida, L. (2000). Development of speechreading supplements based on automatic speech recognition. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 47(4), 487-496.
- Erber, N. (1974). Visual perception of speech by deaf children: Recent developments and continuing Needs. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 39(2), 178-185.
- Jackson, P. L. (1988). The theoretical minimal unit for visual speech perception visemes and coarticulation. *The Volta review* 90, 99-115.
- Owens, E. Blazek, B. (1985). Visemes Observed by Hearing-Impaired and Normal-Hearing Adult Viewers. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28, 381-393.
- Shannon, C.E. & Weaver W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana
- Tobin, Y. (1997). *Phonology as human behavior: Theoretical implications and clinical applications*. Durham, NC: Duke University Press.

נספח 1. המודל המילוני – המדדים התיאורטיים שחשבו במחקר

שם המדד	הסבר מילולי
ECS – Frequency weighted expected class size	מספר המילים הממוצע שלא ניתן להבחין ביניהן באמצעות קריאת דיבור
%WU - Frequency weighted percent words unique	מספר המילים הממוצע שהן חד משמעיות עבור קורא הדיבור
PIE – Percentage information extracted	שעור האינפורמציה שניתן לחלץ מקריאת הדיבור, יחסית לשמיעת דיבור תקינה, עפ"י תפוצת המילים במדגם
AVE – Average entropy	האנטרופיה הממוצעת של קריאת הדיבור, מחושבת לפי תפוצת המילים במדגם

נספח 2. המודל העיצורי – המדדים התיאורטיים שחשבו במחקר

שם המדד	הסבר מילולי
אנטרופיה	האנטרופיה של קריאת הדיבור, מחושבת לפי תפוצת העיצורים במדגם
תמורה לפי בחירת עיצור שכיח	הסתברות לזיהוי נכון של העיצורים לפי אסטרטגיית ניחוש של העיצור השכיח בכל VISEME
תמורה לפי בחירת עיצור מקרי	הסתברות לזיהוי נכון של העיצורים, לפי אסטרטגיית ניחוש מקרי בין העיצורים ב-VISEME

נספח 3. ערכי המדדים הנורמטיביים לכל רמות התמיכה בגישת הדיבור המרוזמ המדורג

מדד/רמת התמיכה	תמורה - שכיח הסתברות	תמורה - מקרי הסתברות	אנטרופיה ביטים	%WU אחוזים	ECS יח' מילים	PIE אחוזים	AVE ביטים
קריאת דיבור "נטו"	0.45	0.20	2.20	8.99	45.25	83.35	2.24
1 – סיגנל ראשון	0.59	0.53	1.40	28.45	13.95	91.90	1.09
2 – שני סיגנלים	0.68	0.63	1.06	43.48	5.54	95.77	0.57
3 – שלושה סיגנלים	0.75	0.71	0.71	58.31	2.92	97.84	0.29
4 – ארבעה סיגנלים	0.80	0.76	0.40	70.76	1.79	98.99	0.13
5 – חמישה סיגנלים	0.83	0.80	0.20	78.78	1.36	99.45	0.07
6 – ששה סיגנלים	1.00	1.00	0.00	100.00	1.00	100.00	0.00

נספח 4. ערכי המדדים התיאורטיים לכל רמות התמיכה בגישת הפונולוגיה כהתנהגות האדם

ממד/רמת התמיכה	תמורה - שכיח הסתברות	תמורה - מקרי הסתברות	אנטרופיה ביטים	%WU אחוים	ECS יח' מילים	PIE אחוים	AVE ביטים
	מודל עיצורי			מודל מילוני			
קריאת דיבור "נטו"	0.45	0.20	2.20	8.99	45.25	83.35	2.24
1 – סיגנל ראשון	0.59	0.35	1.38	30.78	8.44	93.70	0.85
2 – שני סיגנלים	0.72	0.57	1.00	47.41	3.62	96.80	0.43
3 – שלושה סיגנלים	0.83	0.71	0.45	64.40	1.91	98.67	0.18
4 – ארבעה סיגנלים	1.00	1.00	0.00	100.00	1.00	100.00	0.00