חשיפת המבנה הלוגי של טקסט טיעון בשפה טבעית באמצעות הצרנתו בפרולוג (תִכנות בלוגיקה)

גילה שילה, נוע רגוניס

תקציר

טקסט טיעון הוא הסוגה הספרותית הדומיננטית ביותר מבין אלו הנלמדות בכל שכבות הגיל. במערכת החינוך עוסקים בו הן בגני ילדים המיועדים לגיל הרך הן במוסדות אקדמיים להשכלה גבוהה. על מנת להבין טקסט כזה נדרש לנתח את המבנה הלוגי של הטיעון, כלומר לזהות את הטענה ולהצדיקה או להפריכה - משימה לא פשוטה בהתחשב בכך שלעתים הטענות משולבות בטקסט באופן מורכב. טקסט טיעון כולל היסק משתמע או היסק שאינו משתמע; מתברר כי לעתים אצל חלק מן הלומדים יש כשל לוגי להבחין בהיסק.

מטרת מאמר זה היא לבחון את ההקבלה בין מבנה של טקסט טיעון לבין מבנה של תכנית לוגית הכתובה בפרולוג - שפת תִכנות לוגית (תִכנות בלוגיקה, PROgramming in LOGic). תהליך הפיתוח של תכנית לוגית מתחיל בניתוח טקסט וכרוך בזיהוי רכיבי היסוד שלו (ישויות) והקשרים ביניהם. תהליך דומה אמור להתקיים בעת ניתוח מבנה של טקסט טיעון. אם אכן קיימת הקבלה כזו, אזי אפשר לבחון את השפעת הלמידה של כלי היסק לוגיים (באמצעות פתרון של בעיות בתִכנות לוגי) על יכולתם של התלמידים להבין טקסט טיעון בשפה טבעית, או להפך.

מילות מפתח: אנלוגיה בין תחומי דעת, חינוך לשוני, טקסט טיעון, תִכנות לוגי בחינוך.

מבוא

טקסט הטיעון הוא סוגה ספרותית דומיננטית אשר נלמדת במערכת החינוך בכל שכבות הגיל. מחקרים מראים כי קוראי שפה טבעית, ובפרט קוראים צעירים, מתקשים לעתים להבין את המבנה של טקסט טיעון (פלד, תשנ"ח). על מנת להבין טקסט טיעון יש לנתח את המבנה הלוגי שלו, כלומר לזהות את הטענה שבטקסט ולהצדיקה או להפריכה.

זיהוי המבנה הלוגי של טקסט טיעון מצריך יכולת הפשטה. יכולת זו נדרשת גם בייצוג הידע באמצעות שפת תִכנות לוגית. זהו ייצוג הצהרתי (דקלרטיבי, declarative), לא תהליכי, אשר מבוסס על היסקים לוגיים. תִכנות בלוגיקה מאפשר התנסות באינטראקציה בין מבני ידע הצהרתיים, וזאת בעזרת מנגנון של היסק (inference) המובנה בשפת התִכנות. כתיבת תכניות בשפת תִכנות לוגית, הרצתן וקבלת משוב מִיָדי מן התוכנה באשר לנכונות ההיסק עשויות לקדם את ההבנה של מבנה הטיעון.

בטקסט טיעון יש היסק משתמע או לחלופין היסק שאינו משתמע. אצל חלק מן הלומדים יש כשל לוגי להבחין בהיסק. מהו היסק? היסק הוא אוסף טענות שאחת מהן היא מסקנה, והשאר הן הנחות. בהיסק תקֵף ההנחות מחייבות להסיק את המסקנה.

מאמר זה מנסה לערוך הקבלה בין מבנה של פִּסקה בטקסט טיעון לבין מבנה של תכנית לוגית הכתובה בפרולוג, שפת תִכנות לוגית. תִכנות לוגי מבוסס על היסקים לוגיים דוגמת אלה הקיימים במבנה של טקסט טיעון. תהליך הפיתוח של תכנית לוגית מתחיל בזיהוי רכיבי היסוד שלו והקשרים ביניהם; תהליך דומה אמור להתקיים בעת ניתוח מבנה של טקסט טיעון. בסופו של דבר המטרה היא לבחון את השפעת הלמידה של כלי היסק לוגיים על היכולת של תלמידים להבין טקסט טיעון בשפה טבעית. תִכנות לוגי מבוסס על שפה טבעית (בשונה מיתר גישות התִכנות); אפשר ללמוד אותו במגוון גילים, ובהתאם לגיל הלומדים משתנות מורכבויות ההפשטה הנדרשות מהם.

על מנת לבסס זאת נסקרים בהמשך המאמר מחקרים הקושרים בין שני תחומי דעת - תחום הבלשנות ותחום מדעי המחשב. לשם כך גם מוצגת דוגמה הממחישה את גישת התִכנות בלוגיקה. אחר כך מוצגות תבנית המבנה של טיעון בשפה טבעית ותבנית המבנה של הצרנת (מתן צורה, formalization) הטיעון הזה בפרולוג, שפת תכנות לוגית, ודוגמה להבהרת ההקבלה בין שתי שיטות הייצוג. לבסוף מסוכמות נקודות המבט החדשות אשר מתקבלות מן ההשוואה בין שתי השיטות, ומוצעים כיווני מחקר עתידיים אפשריים.

רקע תאורטי

בסעיף זה נסקרים שני גופי הידע המרכזיים אשר משמשים לביסוס ההקבלה בין ייצוג של טקסט טיעון בשפה טבעית לבין ייצוגו בשפת תכנות לוגית (תִכנות בלוגיקה). תחילה מוצגים חלק מנושאי המחקר הקושרים את תחום הבלשנות לתחום מדעי המחשב, והרעיון המובע במאמר נדון בהקשר של מחקר המשלב בין שני תחומי הדעת. בהמשך הסעיף מוצגים העקרונות של מבנה טקסט טיעון והעקרונות של תכנות בלוגיקה; באמצעות דוגמה מומחשת גישת התִכנות הזו, כמו גם הקִרבה שלה למבנה טקסט בשפה טבעית. עקרונות התִכנות בלוגיקה מוצגים כדי לאפשר לקורא שאינו בקי בתחום מדעי המחשב, ובפרט בתִכנות לוגי, להבין את הסוגיה.

בלשנות ומדעי המחשב

קיימות נקודות השקה רבות בין תחומי הדעת 'בלשנות' ו'מדעי המחשב'. אפרת (תשנ"ג) רואה במחשב כלי עזר יישומי ומחקרי, והיא מציינת את נקודות המפגש בין תחום מדעי המחשב לבין חקר הלשון בתחום הבלשנות: (א) תאוריות ושיטות מחקר ש"נולדו" במדעי המחשב הועתקו בהמשך אל חקר הלשון; (ב) הנחות תאורטיות בדבר הדמיון בין המחשב למוח האדם הביאו להדמיה ממוחשבת של ההתנהגות הלשונית והאנושית; (ג) עניינה של הבינה המלאכותית בהקניית כשרים לשוניים באמצעות פיתוחיה.

ב-1956 הגדיר הבלשן האמריקני היהודי נועם חומסקי את תורת השפות הפורמליות. חומסקי טען כי באמצעות מימוש של קבוצת חוקים לשוניים אפשר לייצר את כל המשפטים החוקיים בשפה (בסמן מור, תשע"א; חומסקי, 2003[1987]). תורה זו "נולדה" בתחום הבלשנות

ונועדה עבור שפות טבעיות, אך עם הזמן הפכה לכלי מרכזי במתמטיקה ובמדעי המחשב המשמש עבור שפות תִכנות.

המחקר אשר משלב בין שני תחומי הדעת האלה התפתח מאוד בשני העשורים האחרונים, והוא מכונה 'בלשנות חישובית'; דוגמות למחקרים מתקדמים העוסקים בשילוב הזה ניתן לראות באסופת המאמרים שערכו מרטין-וידה ומיטרנה (Martín-Vide & Mitrana, 2001). בלשנות חישובית עוסקת בפיתוח כלים חישוביים המסייעים להתמודד עם סוגיות בשפה הטבעית. למעשה, פיתוח היישומים החישוביים מתבסס על ניסיון תאורטי לזהות מבנים פורמליים בשפה טבעית; לאחר זיהוים של מבנים אלה נבחנת יכולתם להוות בסיס לפיתוח היסק חישובי אוטומטי באמצעות תכנית מחשב. המטרה היא למצוא פתרונות אלגוריתמיים לאתגרים שעניינם השפה הטבעית: תרגום אוטומטי משפה אחת לשפה אחרת, הבנת שפה טבעית, דיאלוג בין מחשב לבין אדם בשפה טבעית, ניתוח מסמכים וכן הלאה. ההתפתחויות בתחומי המידע והתקשורת הגבירו את הצורך בעיסוק אקדמי בבלשנות חישובית גם בתעשיית ההיי-טק, וקיימות חברות אשר מפתחות פתרונות לאתגרים אלה ונעזרות בבלשנים. בהתאם לכך התפתח מקצוע חדש של 'בלשן חישובי', וקיימות תכניות לימודים אקדמיות לתואר ראשון המכשירות אנשים למקצוע זה (בתחום היישומי ובתחום המחקרי). בפן המחקרי-תאורטי יש ניסיון לנתח את דרך הלמידה של בני אדם את השפה הטבעית ואת שימושם בה, וזאת באמצעות כלים מתחום מדעי המחשב ובפרט מתחום הבינה המלאכותית (AI: Artificial Intelligence). בפן המעשי מפתחים יישומי מחשב התומכים בשימוש בשפה הטבעית, כמו למשל תרגום או הבנה של שאלות בשפה טבעית לצורך הפעלת מנוע חיפוש. תחום זה של הבלשנות החישובית מכונה 'עיבוד שפה טבעית' (NLP: Natural Language Processing).

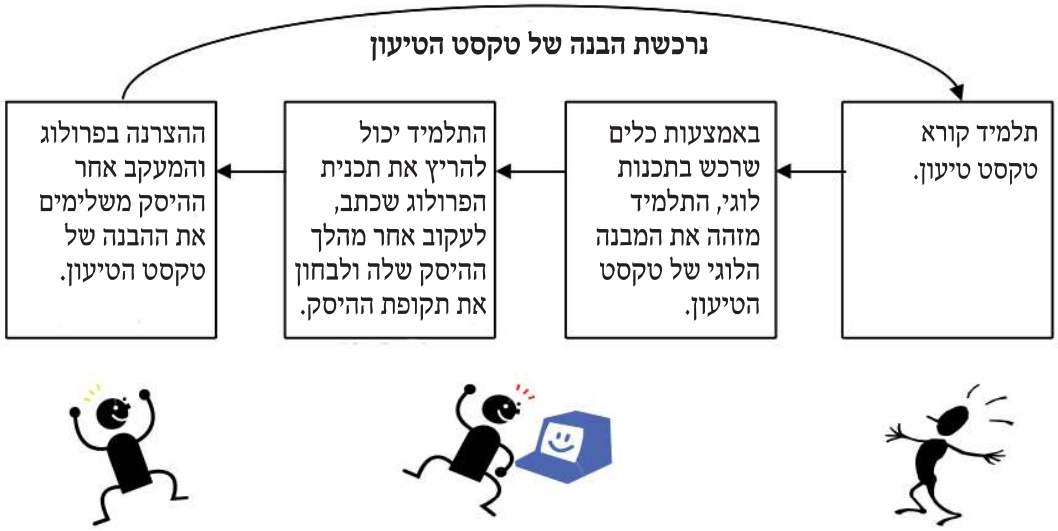
בשנות החמישים והשישים של המאה ה-20 התפתח תחום הבינה המלאכותית (Bratko, 1990; McCarthy, 1959; Sterling & Shapiro, 1994), והוא השפיע על הבלשנות החישובית. המחקר בתחום זה התמקד בלוגיקה ובהסקת מסקנות, והודות לו נבנו דגמים (מודלים) לסמנטיקה של שפה טבעית ומערכות מחשב ראשונות המשמשות להבנת שפה טבעית - כמו למשל שפת התִכנות פרולוג (Prolog). תכניות מחשב נכתבות בשפות מחשב, שפות שהן פורמליות ולא טבעיות. לעומת זאת כתיבה בשפת התִכנות פרולוג דומה לכתיבה בשפה טבעית: כל מילה בשפה הטבעית יכולה להיות חלק מתכנית הכתובה בפרולוג, והתחביר הפורמלי של פרולוג מינימלי ומתבסס על עקרונות של לוגיקה אנושית (אם-אז). בהתאם לכך פרולוג מכונה 'שפת תכנות לוגית'.

דוגמה לתחום מחקר נוכחי אשר משלב בין שתי הדיסציפלינות הוא 'לוגיקה עמומה' או 'לוגיקה מעורפלת' (fuzzy logic). בתחום המחקר הזה כלים לוגיים ממוחשבים מנתחים ידע (לרבות ידע לשוני) באופן חישובי ומסיקים מסקנות בתנאים סובייקטיביים, כלומר תנאים שאינם חד-משמעיים ומוחלטים (Dung, 1995; Freksa, 1994; Zadeh, 1997). דוגמה בסיסית לכך בהקשר של הבנת שפה טבעית היא ניתוח המשמעות של משפט הכולל מילים דוגמת

'מעט' או 'לעתים תכופות', מילים שעניינן הוא מצב עמום ולא חד-משמעי. דאנג (Dung, 1995) סוקר באופן מעמיק את יכולתו של הייצוג הלוגי להוות מנגנון חישובי המאפשר לבחון את דרך ההיסק האנושי בעת בניית טיעון והבנתו. אפרת (תשנ"ג) מציינת כי שפת התִכנות פרולוג מושתתת על תחשיב פסוקים (propositional calculus) מסדר ראשון; לדבריה, באמצעות תכנית לוגית אפשר לבדוק הגדרות לוגיות לשוניות.

תִכנות לוגי, בינה מלאכותית ומערכות מומחות הן תחומי דעת הנלמדים בבתי ספר תיכוניים בישראל במסגרת תכנית הלימודים במדעי המחשב (הברמן, 1998; רגוניס, 1997; שרץ, הברמן, בן זקן וגלוברמן, 1996; Haberman & Scherz, 2005; Haberman, Shapiro, & Scherz, 2002; Scherz, Haberman, Ragonis, & Shapiro, 1993). את הרעיונות אשר מוצגים בהמשך המאמר אפשר אפוא ליישם בבתי הספר התיכוניים בישראל, ולשם כך יש לבחון אותם באמצעות עריכת מחקר פעיל בקרב תלמידים בבית ספר תיכון.

כפי שתואר לעיל, תחומי המחקר המשלבים בין בלשנות לבין חישוביות הם רבים, מורכבים ומתקדמים. במאמר זה נדונים מבני טיעון בשפה הטבעית אשר צעירים מתקשים להבינם; נבחנת בו ההקבלה בין מבנה טיעון בשפה טבעית לבין הצרנתו בתִכנות לוגי, וזאת על מנת לבדוק אם למידת תִכנות בלוגיקה יכולה לשפר את ההבנה של טקסט טיעון בשפה טבעית. התהליך הקוגניטיבי המצופה מן הלומד מתואר להלן באיור 1.



איור 1: **התהליך הקוגניטיבי המצופה**

אפשר לשייך את היישום הזה לקטגוריה (3) במאמרה של אפרת (תשנ"ג) - עניינה של הבינה המלאכותית בהקניית כשרים לשוניים לפיתוחיה. תִכנות בלוגיקה, שפת תִכנות לוגית המשמשת לפיתוחים בתחום הבינה המלאכותית, נועד אפוא לקדם את היכולת הלשונית של תלמידים להבין טקסט טיעון.

טקסט טיעון

בטקסט טיעון המועֵן טוען טענה כלשהי (מביע את דעתו, משער השערה, חושב מחשבה), ואחר כך הוא נדרש להוכיח את דבריו. מטרת המועֵן היא לשכנע את הנמען שהוא צודק. המועֵן מנסה לבסס דעה מסוימת באמצעות הנמקות והוכחות למיניהן - היגדים משווים, הגבלות, הסתייגויות וכן הלאה. טקסט הטיעון מציג הנחות המובילות למסקנה (קופי, 1977[1953], עמ' 181-184; Antaki, 1994, p. 140); טקסטים כאלה שונים מטקסטים היצגיים (אקספוזיטוריים) אשר מציגים עובדות ורעיונות, מפרשים אירועים היסטוריים ותופעות חברתיות ומבהירים דעות בלי לנקוט עמדה (שראל, 1991; Goelman, 1982). בטקסט טיעון עיוני הניסיון הוא להוכיח את הדברים בצורה לוגית ועניינית, ולכן הוא פונה בעיקר אל מחשבתו של המועֵן ולא אל רגשותיו. אפשר למצוא בטקסטים עיוניים אמצעים המביעים רגש, אבל אלה מעטים בהשוואה לכמותם בטקסט הטיעון הריגושי.

כפי שצוין לעיל, טקסט טיעון כולל טענה גלויה כלשהי. בדרך כלל טענה זו מופיעה בראשית הטקסט, אך היא יכולה להופיע גם בסופו. מבנה הטיעון מתואר אצל כמה חוקרים: טולמין (Toulmin, 1969) (הלה מציג מודל המכיל חמישה חלקים של הטיעון, כמו גם אפשרות להבעת עמדה נגדית), ברוקס ו-וורן (Brooks & Warren, 1972), קופי (1977[1953]), ון דיק (van Dijk, 1980), מאן ותומפסון (Mann & Thompson, 1988), אזר (1999), שילה (אלון, גרילק ושילה, 2006) ולבנת (תשע"א).

תִכנות בלוגיקה

בסעיף זה מוצג תחילה הרעיון שבבסיס התִכנות בלוגיקה, ובהמשך מוצגת דוגמה קונקרטית המבהירה את משמעות התִכנות בשפה לוגית זו.

מהו תִכנות לוגי

תכנית מחשב היא כלי אשר נועד לבצע משימה כלשהי באמצעות שימוש במחשב. תכנית כזו נכתבת בשפת תִכנות (programming language). שפת תִכנות מאפשרת להגדיר באופן מפורט וחד-משמעי הוראות שהמחשב מסוגל לבצע. לכל שפת תִכנות יש אוסף כללים תחביריים (syntax) שלפיהם ההוראות נכתבות, ולכל כלל תחבירי יש משמעות סמנטית המגדירה את המשמעות של ביצוע ההוראה. שפת המחשב נועדה לגשר בין האדם (המתכנת, כלומר דובר השפה הטבעית) לבין המחשב, כי במחשב הייצוג הוא בינרי; מנגנוני הפעולה היסודיים שלו מבוססים על קודים בינריים, וזאת בהתאם לכללים של שפת מכונה (machine language).

בשפות התִכנות יש מבנים לייצוג ידע ומבנים לביצוע הוראות, ובאמצעותם נבנות תכניות מחשב. קיימות שפות תִכנות רבות, ואלו נחלקות למשפחות - פרדיגמות. לכל פרדיגמת תִכנות יש עקרונות אחרים לייצוג הידע ולאופן הביצוע של התכניות (Détienne, 2002). פרדיגמות

התִכנות נבדלות זו מזו בתבנית החשיבה, תבנית שלפיה מנתחים את הבעיה אשר מצריכה פתרון באמצעות תכנית מחשב. בכל פרדיגמת תִכנות יש כמה שפות תִכנות הנבדלות זו מזו בתחביר שלהן, אך לא באופן הרעיוני של הצרנת הבעיה או בכלי התִכנות העומדים לרשות המתכנת. הפרדיגמות המרכזיות הן פרדיגמה פרוצדורלית (procedural paradigm), פרדיגמה פונקציונלית (functional paradigm), פרדיגמה לוגית (logic paradigm) ופרדיגמה של תִכנות מונחה עצמים (OOP: Object-Oriented Programming). הפרדיגמה הלוגית שונה במהותה מיתר הפרדיגמות, כיוון שהיא משתמשת במבנים של הלוגיקה המתמטית כדי להציג מידע במחשב; נוסף על כך היא שונה מהן באופן הביצוע של התכניות. בתִכנות בלוגיקה יחסים (relations) משמשים ככלי ההפשטה העיקרי. יחסים הם הכלים אשר מאפשרים לקשר בין ערכים שונים באמצעות עובדות. המידע מוצג כהנחות לוגיות, ושפת התִכנות (באמצעות מנגנון ההיסק שלה) יודעת לעקוב אחַר היסקים ולבחון אם היסק הוא תקף או בטל (לא תקף).

שפת התִכנות הלוגי הרווחת והיחידה כמעט היא פרולוג (PROLOG: PROgramming in LOGic). זוהי שפה הצהרתית (declarative) המבוססת על לוגיקה מסדר ראשון ומשמשת ביישומים של בינה מלאכותית. את הרעיון בדבר תִכנות לוגי ביטא לראשונה ג'ון מקארתי בסוף שנות החמישים של המאה ה-20 (McCarthy, 1959). את שפת הפרולוג הגה אלן קולמרו בסוף שנות השישים של המאה הקודמת (Colmerauer, 1970), ומהדר (קומפיילר) ראשון שלה נבנה באוניברסיטת אקס-מרסיי ב-1972. שפה זו "נכנסה לשימוש משמעותי" והתפרסמה בשנות השמונים של המאה ה-20, בעת שהחל הפרויקט היפני לפיתוח הדור החמישי של שפות תִכנות (FGCS).

תכנית לוגית היא בסיס ידע הכולל הנחות לוגיות. זוהי הצרנה (formalization) של ה"סיפור" בשפה הטבעית. קיימים שני סוגי הנחות, עובדות (facts) וחוקים (rules). עובדות הן נתונים אשר משמעותם הלוגית היא כי ידוע שהם מתקיימים; חוקים מתארים קשרים לוגיים בין טענות, והם מנוסחים באמצעות כללים לוגיים. החוק כולל 'ראש חוק' ו'גוף חוק'; ראש החוק מתקיים, אם גוף החוק מתקיים (כלומר מקיום גוף החוק נובע קיומו של ראש החוק). ניתן לקבוע כי חוק הוא משפט טיעון המשתמש בשרשרת היסק (הוכחה) כדי להצדיק את קיומה של מטרה.

על מנת לבחון את תקפות ההיסקים של תכנית לוגית נתונה (אוסף ההנחות שבבסיס הידע), יש להציג שאילתה (query). השאילתה היא המסקנה של ההיסק, ומשמעות הצגתה היא שאילת השאלות: "האם ההיסק תקף? האם המסקנה אכן נובעת מן ההנחות?" הצגת השאילתה מפעילה את מנגנון ההיסק (inference engine) המובנה של השפה, והתוצאה היא קבלת תשובה לשאלה אם ניתן להסיק את הטענה שבשאילתה מבסיס הידע הקיים. אם לא ניתן להסיק את השאילתה מאוסף ההנחות שבבסיס הידע, התשובה המתקבלת מעידה כי אי-אפשר להסיק זאת. המונח המקובל 'הרצה של תכנית', מונח אשר קיים בפרדיגמות התִכנות

האחרות, אינו קיים בתִכנות בלוגיקה. במקרה הזה "הרצה" משמעותה הפעלת מנגנון ההיסק: המטרה היא למצוא שרשרת היסק באמצעות שימוש בלוגיקה, כזו אשר לפי בסיס הידע יכולה לספק את המוצג בשאילתה. האמצעים הטכניים אשר משמשים את מנגנון ההיסק של השפה הם מנגנון האחדה (unification) ומנגנון גישוש נסוג (backtracking). שני המנגנונים האלו פועלים יחדיו כדי לחפש הוכחה לשאילתה המוצגת.

דוגמות לתכניות בלוגיקה

המשמעות של תכנית בלוגיקה מוצגת להלן בשתי דוגמות יסודיות. הדוגמה הראשונה מבוססת על תחשיב פסוקים (clause calculus) בסיסי, והדוגמה השנייה על תחשיב מתארים (predicate calculus). עבור כל דוגמה מתוארות תכנית הפרולוג, השאילתה אשר מוצגת עבורה ובדיקת תקפות ההיסק, כלומר כיצד מתקבלת התשובה הנשענת על התכנית הנתונה ועל מנגנון ההיסק של השפה.

א. תכנית פרולוג פסוקי בנושא מזג האוויר

באיור 2 (שבעמוד הבא) מוצגת תכנית בסיסית אשר כתובה בפרולוג פסוקי ועוסקת במזג האוויר. באיור זה ניתן לראות את חלוקת התכנית לעובדות ולחוקים. המשמעות הסמנטית של העובדות היא שבמצבו הנוכחי של העולם יש ענן מסוג קומולונימבוס, יש חשמל סטטי ויש תנאים מתאימים לחימום האוויר. החוקים מוצגים במבנה של טענות "אם-אז": אם התנאים שבגוף החוק מתקיימים, אז ניתן להסיק את הרשום בראש החוק. המשמעות של החוק הראשון היא שחום האוויר יכול להיות 30,000 מעלות צלזיוס, אם יש חשמל סטטי וגם אם יש תנאים מתאימים לחימום האוויר. המשמעות של החוק השני היא שנוצר רעם, אם יש ענן מסוג קומולונימבוס וגם אם חום האוויר הוא 30,000 מעלות צלזיוס.

משמעות הצגת השאילתה "?- נוצר_רעם" היא "האם על בסיס הידע הקיים ניתן להסיק שנוצר רעם?" מנגנון ההיסק של שפת פרולוג מזהה שיש ראש של חוק ("נוצר_רעם"), ולצורך קיומו צריך להתקיים "יש_ענן_קומולונימבוס". התנאי הזה מתקיים, כי ידוע שיש עובדה כזו. נוסף על כך גם צריך להתקיים "חום_האוויר_30000_מעלות_צלזיוס". על מנת להוכיח זאת מנגנון ההיסק מזהה את ראש החוק "חום_האוויר_30000_מעלות_צלזיוס". לצורך קיומו של התנאי הזה צריך להתקיים "יש_חשמל_סטטי". תנאי זה מתקיים, כי ידוע שיש עובדה כזו. נוסף על כך צריך להתקיים גם "יש_תנאים_לחימום_האוויר", וזאת בהתאם לעובדה הידועה. כל התנאים הנדרשים מתקיימים, ולכן התשובה לשאילתה תהיה "כן".

התכנית[1]

עובדות

יש_ענן_קומולונימבוס.
יש_חשמל_סטטי.
יש_תנאים_לחימום_האוויר.

חוקים

חום_האוויר_30000_מעלות_צלזיוס:-
יש_חשמל_סטטי,
יש_תנאים_לחימום_האוויר.
נוצר_רעם:-
יש_ענן_קומולונימבוס,
חום_האוויר_30000_מעלות_צלזיוס.

השאילתה:
?- נוצר_רעם.
התשובה שתתקבל:
כן.

איור 2: **תכנית פרולוג פסוקי בתחום מזג האוויר**

ב. תכנית פרולוג בתחשיב מתארים בנושא המשפחה

באיור 3 מוצגת תכנית אשר כתובה בפרולוג בתחשיב מתארים (predicates) ועוסקת בקשרים בתוך המשפחה. העובדות מתארות את משפחת האבות התנ"כית.[2] במשפחה קיימים קשרים שונים בין הפרטים. בניית תכנית פרולוג העוסקת בקשרים במשפחה נועדה לקבל תשובות באשר לקשרים בין פלוני לאלמוני במשפחה: האם הם אחים? האם הם בני דודים? מי הסבא של פלוני? מהו מספר האחים של אלמוני? הקשרים המשפחתיים הם מאפייני ידע כלליים (יחסים) שאינם תלויים במשפחה זו או אחרת. לפיכך ניתן להגדיר את היחסים באופן כללי ומופשט ולהחיל אותם על משפחה א או ב באותו האופן בדיוק. מבנה העובדות הוא קבוע, ועליו בנויים היחסים; הדבר

1 להלן הסבר על אודות תחביר (syntax) הכתיבה של חוק (יחס) בפרולוג:
שפת התכנות מחייבת כתיבה של הטקסט ברצף וללא רווחים, ולכן מוסיפים את הסימן _ אשר מחבר את המילים (כדי שיהיה נוח יותר לקרוא את הטקסט).
הסימן :- משמעו **אם**.
הסימן , משמעו **וגם**.
החלק המופיע מימין לסימן :- מכונה 'ראש החוק', והחלק המופיע אחריו מכונה 'גוף החוק'. ראש החוק מתקיים, אם גוף החוק מתקיים.

2 דוגמה זו מקובלת בספרי תִכנות בלוגיקה, כמו למשל אצל שרץ ואחרים (1996, עמ' 169-170).

שישתנה הוא תוכן העובדות, כלומר המידע הבסיסי המתאר את הקשרים במשפחה. העובדות מתוארות באמצעות שלושה מבני ידע: (א) הורה - מגדיר מי הורה של מי; (ב) זכר - מגדיר מי מבני המשפחה הוא זכר; (ג) נקבה - מגדיר מי מבני המשפחה נקבה. בהתאם למבנים הכלליים, מבנים שיכולים לתאר כל משפחה, מוגדרים ארבעה קשרים במשפחה: (א) אב - מי האב של מי; (ב) אם - מי האם של מי; (ג) סב - מי הסב של מי; (ד) אחים - מי האח של מי (ללא קשר למין ובהתבסס על הורה משותף אחד). הקשרים האלה כלליים ואינם תלויים בעובדות על אודות משפחה מסוימת.

עובדות

הורה(אברהם, יצחק).
הורה(אברהם, עשו).
הורה(יצחק, יעקב).
הורה(יעקב, יהודה).
הורה(שרה, יצחק).
זכר(אברהם).
זכר(יצחק).
זכר(עשו).
זכר(יעקב).
זכר(יהודה).
נקבה(שרה).

חוקים

אב(X, Y) :- הורה(X, Y), זכר(X).
אם(X, Y) :- הורה(X, Y), נקבה(X).
סב(X, Y) :- אב(X, Z), הורה(Z, Y).
אחים(X, Y) :- הורה(X, Z), הורה(Y, Z), X \= Y.

השאילתה:

?- סבא (X, Y).

התשובות שיתקבלו:

X=אברהם
Y=יעקב;
X=יצחק
Y=יהודה;
לא.

איור 3: **תכנית פרולוג לייצוג יחסים במשפחה**

נבחן את היחס "אב":[3] אב(X ,Y) :- הורה(X ,Y), זכר(X). מיהו אב? מתי X הוא אב של Y ? X הוא אב של Y **אם** X הוא הורה של Y **וגם** X הוא זכר. מאיור 3 עולה כי ארבעת החוקים המוגדרים הם חוקים כלליים. הם אינם רלוונטיים רק למשפחה מסוימת, אלא יכולים להיות בסיס להיסק עבור כל משפחה. במעבר ממשפחה אחת למשפחה אחרת ישתנה רק תוכן העובדות.

המשמעות הסמנטית של הצגת השאילתה: "?- סב(X ,Y)" היא "האם ניתן להסיק מבסיס הידע מי הסב של מי?" אם ניתן להסיק זאת, יתקבלו תשובות הכוללות ערכים עבור המשתנים. אם לא ניתן להסיק זאת, תתקבל התשובה "לא". בבסיס הידע שבאיור 3 מתקיימים היחסים:[4] "סב(אברהם, יעקב)" ו"סב(יצחק, יהודה)". אין סב נוסף, ולכן התשובה האחרונה היא "לא". דרך נוספת לעקוב באמצעות תרשים אחַר תהליך ההיסק של השאילתה מוצגת בנספח 1 שבסוף המאמר.

מבנה בסיסי של טיעון בשפה טבעית ובשפת תִכנות לוגית

מבנה בסיסי של טיעון בשפה טבעית

בדרך כלל המבנה הבסיסי של טקסט טיעון הוא קבוע, וניתן לזהות בו ארבעה חלקים: פתיחה, טענה, הצדקה, סיום. להלן מוצגים שני מבנים בסיסיים של טקסט טיעון: (א) הטענה מופיעה בתחילת הטקסט או מיד לאחר הפתיחה; (ב) הטענה מופיעה בסוף הטקסט.

א. טענה גלויה (מפורשת) המופיעה בתחילת הטקסט

בראשית מבנה זה מופיעה פתיחה. בהמשך הטקסט בדרך כלל המועֵן מציג את טענתו, ואחר כך הוא מצדיק אותה באמצעות אחד או יותר מסוגי ההצדקה האפשריים (נתונים, דוגמות, הוכחות, פירוט, נימוקים וכן הלאה). הטקסט מסתיים באחד או יותר מסוגי הסיום האפשריים. יש לציין שקיימים טקסטים ללא פתיחה או ללא סיום. להלן סיכום של **סדר** החלקים בטקסט.

חלק ראשון - פתיחה מסוגים שונים

- הצגת הנושא - הצגת הנושא הנדון או הבעיה, הגדרת הנושא או מתן הסבר.
- רקע - מתן פרטים המהווים בסיס לדיון בנושא שעל הפרק: רקע היסטורי, רקע כלכלי, סיכום הרעיונות או המאורעות אשר מהווים רקע להעלאת הנושא, הצגת ביבליוגרפיה שנכתבה על אודות הנושא ואשר הכותב מתבסס עליה.
- סיפור המעשה - מתן דוגמה או תיאור אחר אשר יגרו את הקורא לעיין בטקסט.

---

3 כלומר **אם** מתקיים היחס הורה(X ,Y) **וגם** מתקיים היחס זכר(X), **אזי** מתקיים היחס אב(X ,Y).

4 הבה נבחן מדוע מתקיים היחס "סב(אברהם, יעקב)". בחוק מוגדר הכלל הזה: סב(X ,Y) :- אב(X ,Z), הורה(Z, Y). החוק קובע כי על מנת שיתקיים היחס "סב(אברהם, יעקב)", צריך להתקיים "אב(אברהם, Z)" וגם "הורה(Z, יעקב)". על אברהם להיות אפוא אב של פלוני, ואותו פלוני צריך להיות הורה של יעקב. ניתן להסיק מן הנתונים שיש פלוני המקיים זאת - יצחק: ידועה העובדה כי "אב(אברהם, יצחק)", ונוסף על כך ידועה העובדה כי "הורה(יצחק, יעקב)". לפיכך התנאים שבגוף החוק מתקיימים, ולכן ניתן להסיק כי "סב(אברהם, יעקב)".

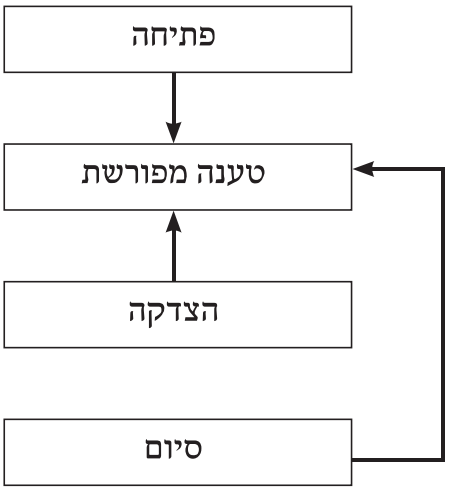
חלק שני - טענה (עמדה, דעה, השערה או תזה)

חלק שלישי - הצדקה מסוגים שונים (דוגמה, פירוט, הסבר, נימוק, הוכחה, השוואה, הגדרה). ניתן לשלב בין כמה סוגי הצדקות, כמו למשל הסבר + דוגמה.

חלק רביעי - סיום מסוגים שונים

- סיכום הנושאים שנדונו בטקסט.
- מסקנה הנובעת מן הנושאים שנדונו בטקסט.
- מתן המלצה בעקבות הסיכום או המסקנה של המוען.
- תחזית המציגה את העתיד לבוא (לדעתו של המוען).
- שילוב בין סוגים שונים של סיום, כמו למשל סיכום, מסקנה והמלצה.

איור 4 מציג באמצעות תרשים מבנה בסיסי של טיעון.[5]



איור 4: **מבנה בסיסי של טיעון**

ניתן לקבוע מהי העמדה או הטענה המובעת בטקסט לפי כמה קריטריונים:

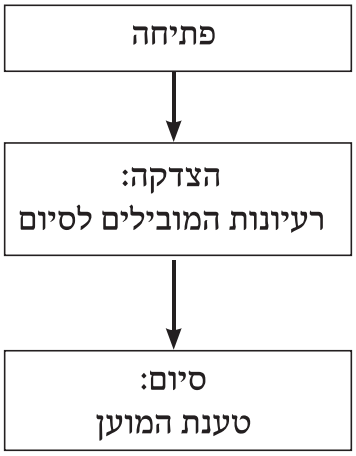
1. הופעתן של מילים מובהקות המביעות טענה, עמדה, דעה, השערה או תזה ('לדעתי', 'נראה לי', 'אני חושב', 'עמדתי היא' וכן הלאה).
2. הופעת הצדקה (מסוגים שונים) אחרי הטענה. ההצדקה רומזת לקיומה של הטענה, כי תפקידה הוא לשכנע את הנמען בצדקת המוען.

5 בשלב הזה של הדיון מוצג מבנה בסיסי של טקסט טיעון. קיימים מבנים נוספים, כמו גם סטיות מכוונות מן המבנה הבסיסי אשר נובעות מרצונו של המוען לשכנע רטורית את הנמענים. לא תמיד יופיעו כל החלקים בטקסט הטיעון - כך למשל לעתים הפתיחה או הסיום חסרים. בשלב הזה לא נדונים טקסטים שהטענה חסרה בהם או משתמעת (ולא גלויה), טקסטים שההצדקה בהם אינה מובילה אל הטענה וכן הלאה.

3. סיום הקטע חוזר אל הטענה באופנים שונים - חזרה מדויקת עליה, המלצה, מסקנה או תחזית באשר לעתיד לבוא.
4. טענת הכותב היא עיקר הטקסט, כלומר הרעיון המרכזי בו:
   - העיקר חוזר פעמיים לפחות - פעם ראשונה בהצגת הטענה ופעם שנייה בסיום.
   - ההצדקה רומזת לעיקר, כלומר לטענה - לעתים הטענה מובעת לפני ההצדקה, וההצדקה מנסה להוכיח אותה. פעמים אחרות הטענה חוזרת בסיום, וההצדקה מובילה אליה.

ב. טענה גלויה (מפורשת) המופיעה בסוף הטקסט ונובעת מן ההצדקה

במבנה זה הטענה מופיעה בסוף הטקסט. לפני הטענה מוצגת הצדקה, וזו כוללת רמזים לכוונת המוען. רמזים אלה מאפשרים לשער מהי הטענה ולהבינה בעת שזו מופיעה בסוף הטקסט. הטענה מוסקת מן הנאמר לפני כן: ניתן להבינה מן העובדות שהוצגו לפניה, מאחר שהן כוללות רמזים לכוונתו של המוען. איור 5 מציג מבנה של טקסט טיעון אשר הטענה מופיעה בסופו.



איור 5: **מבנה טיעון המתאפיין בכך שהטענה מופיעה בסוף הטקסט**

דרך זו אינה מובילה לזיהוי מִיָדי של הטענה. בדרך הראשונה שתוארה לעיל, הטענה הוצגה כבר בתחילת הטקסט. הדרך השנייה מחוכמת יותר, ורק אחרי קריאת הנושא והבנת ההצדקה הטענה מובנת ונעשית ברורה. הלומדים מתקשים יותר להבין מבנה כזה של טקסט טיעון, ולכן דרך זו אינה מומלצת ללומד הנמצא בראשית דרכו (כלומר בעת שהוא מנסה לרכוש את מיומנויות הכתיבה וליישמן).

שלבי פיתוח של תכנית בשפת תִכנות לוגית

הצגתו של תוכן בשפה טבעית הכולל קשרים לוגיים כתכנית בלוגיקה, מאפשרת לחשוף את הקשרים האלה ולהבחין בהיסק. להלן שלבי הפיתוח של תכנית בשפת תִכנות לוגית:

שלב 1 - הגדרת המטרות. בשלב הזה מוצג הנושא, מוגדרות מטרות התכנית ונקבעות השאלות אשר רוצים לקבל תשובות להן. בהתאם לשלב הזה יוגדרו כל מבני הידע (המתארים) של התכנית - חלקם ינוסחו כעובדות וחלקם כחוקים.

שלב 2 - בחירת מבנים לייצוג הנתונים הידועים. בבסיס ההיסק יש עובדות, ולכן תחילה יש לבחור את המבנה שאלו יוצגו בו. הגדרת החוקים (היחסים) בשלב 3 מתבססת על מבני העובדות. מבנה העובדות הוא החשוב, לא תוכן מסוים המיוצג בעזרתן.

שלב 3 - בחירת היחסים שיוגדרו. בשלב הזה בוחרים את מבנה המתארים (היחסים) שיוגדרו. בחירת המתארים מתבססת על שלב 1 (הגדרת המטרות). זהו השלב שנעשה בו פיתוח רעיוני של גופי החוק, כלומר קביעת התנאים אשר צריכים להתקיים כדי שהמתארים הנבחרים יתקיימו. בשלב 4 (שלב התִכנות) יוגדרו יחסים נוספים, ואלה ישמשו באופן מודולרי להגדרת היחסים המרכזיים.

שלב 4 - הצרנה בפרולוג (תִכנות). בשלב הזה כותבים את תכנית הפרולוג אשר מיישמת בשפת התִכנות את ההחלטות שהתקבלו בשלבים 2 ו-3. העובדות אשר מתארות את הנתונים מנוסחות בהתאם למבני הנתונים שנבחרו בשלב 2, ואילו כל אחד מהחוקים מנוסח בהתאם למבנה של ראש החוק שלו שנבחר בשלב 3.

שלב 5 - הצגת שאילתות לתכנית. השאילתות אשר מוצגות בשלב הזה מבטאות את מטרות התכנית. התשובות להן מעידות על תקפות ההיסקים או על אי-תקפותם.

הקבלה בין ניתוח מבנה בסיסי של טיעון בשפה טבעית לבין הצגתו בשפת תִכנות לוגית

בעת שבוחנים את האפשרות לכתוב פִסקת טיעון בשפה טבעית כתכנית פרולוג, יש להקפיד על שני נושאים מרכזיים. ראשית, על הייצוג בשפת תִכנות לוגית לשמר את המשמעות הסמנטית של תוכן הפִסקה בשפה הטבעית. שנית, הייצוג צריך לאפשר בדיקה של ההיסק הלוגי ה"מסתתר" בפסקה (אם הוא תקף או אינו תקף, כלומר היסק בטל). ניתן לבחור במבני ייצוג שונים עבור תכנית הפרולוג, ועל זו לממש את ההיסק של פסקת הטיעון (שלבים 2 ו-3 של פיתוח תכנית בשפת תִכנות לוגית). על כל חלופות הייצוג למיניהן לשמר את שני הרכיבים המרכזיים שהוזכרו לעיל - משמעות סמנטית ואפשרות לבדוק את ההיסק הלוגי. במאמר זה נבחרה החלופה של ייצוג באמצעות פרולוג פסוקי, וזאת על מנת להקל על קורא שאינו מכיר תִכנות לוגי. הייצוג באמצעות פרולוג פסוקי הוא הקרוב ביותר לשפה טבעית. בנספח 2 שבסוף המאמר מוצגת חלופה כללית של ייצוג באמצעות תחשיב מתארים. תחשיב המתארים עושה שימוש במשתנים (כפי שהוצג לעיל בדוגמה של "תכנית המשפחה"), והוא מאפשר לחשוף את מבנה פסקות הטיעון באופן כללי ומופשט יותר. ניתן לבצע הכללה והפשטה נוספות, אם הידע המוצג כבסיס ידע מהווה בסיס להיסק של 'מערכת מומחית' (רגוניס, 1997: 15-19). בהמשך הסעיף ההקבלה בין שני הייצוגים מתוארת מילולית, כמו גם באמצעות טבלה 1. ארבעת החלקים המרכזיים אשר

מובְנים בפִסקת טיעון בשפה הטבעית, מתבטאים בתכנית בפרולוג פסוקי (ללא משתנים), כפי שמתואר להלן.

חלק ראשון - פתיחה

בפתיחה מתואר הנושא הכללי שתכנית הפרולוג עוסקת בו. נושא זה אינו מתבטא בתכנית עצמה, אלא למשל בשם התכנית.

חלק שני - טענה

חלק זה מתבטא בהצגת השאילתה. השאילתה היא טענה שיש לבחון אם לפי הנתונים היא מתקיימת או לא. במונחים של שפת תכנות לוגית נשאל אם קיים היסק המתבסס על ההנחות (עובדות וחוקים) שבבסיס הידע (כלומר הטענה מתקיימת), או שמא לא קיים היסק כזה (כלומר הטענה אינה מתקיימת). הצגת השאילתה מבטאת עמדה (ולחלופין דעה, השערה או תזה). אם אין הצדקה לטענה, התשובה לשאילתה תהיה "לא". אם הטענה נכונה, אזי התשובה לשאילתה תהיה "כן".

חלק שלישי - הצדקה

ניסוח ההצדקה לקיום הטענה כולל שני חלקים. חלק אחד נכתב כחוקים בשפת פרולוג; חוקים אלה מתארים את היחסים בין חלקיה של פסקת הטיעון. החלק האחר נובע ממנגנון ההיסק המובנה בשפה; מנגנון זה בוחן שרשראות היסק המתבססות על החוקים ועל העובדות אשר מייצגים את פסקת הטיעון, והוא מספק תשובה בדבר האפשרות להוכיח את הטענה.

על מנת ללמוד על אודות ההצדקה לטענה, כלומר לעקוב אחר שרשרת ההיסק שהביאה לתשובה, אפשר להציג את עץ ההוכחה של הטענה (ראו דוגמה בנספח 1 שבסוף המאמר). לחלופין אפשר להשתמש במנגנון המעקב המובנה בשפת התִכנות הלוגית ולעקוב אחַר כל אחד משלבי תהליך ההיסק.[6]

חלק רביעי - סיום

בחלק זה מוצגות התשובות שהתקבלו לאחר הצגת השאילתה. אם אין הצדקה - הטענה לא תהיה נכונה, ההיסק לא יושלם והתשובה תהיה "לא". אם יש הצדקה (השאילתה "מצליחה"), אזי ניתן לקבל את הערכים המאפשרים הצלחה של שרשרת ההיסק.

---

6 ייצוג כבסיס ידע וכמעטפת של מערכת מומחית (מעטפת שתתאים לכל תוכן טיעוני) יאפשר לקבל את רצף ההצדקות המביא להצדקה הסופית כחלק מן התשובה לטענה. ההצדקה יכולה להתבסס על דוגמה, הסבר, נימוק, הוכחה או הגדרה, והיא גם יכולה לשלב ביניהם בהתאם למעטפת ההיסק שתיבנה כחלק מן המערכת המומחית.

מימוש של גופי החוק בשפת התִכנות שקול למסלולי הצדקה בשפה הטבעית. בדומה לכך הצגת השאילתה ובדיקתה באמצעות מנגנון ההיסק המובנה בשפת התִכנות שקולות לבחינת ההצדקה. טבלה 1 שלהלן מציגה את ההקבלה בין הייצוגים. בטבלה מוצגת השוואה בין המבנה של טקסט טיעון בשפה הטבעית (ארבעה חלקים) לבין המבנה של פיתוח תכנית לוגית (חמישה שלבים).

טבלה 1: **השוואה בין מבנה של פסקת טיעון לבין מבנה של פיתוח תכנית לוגית**

חלקים במבנה של טקסט טיעון	שלבים בפיתוח תכנית לוגית
חלק ראשון: פתיחה	שלב 1: הגדרת המטרות
חלק שני: טענה חלק שלישי: הצדקה	שלב 2: בחירת מבנים לייצוג הנתונים הידועים שלב 3: בחירת היחסים שיוגדרו בחירת המבנים לייצוג הנתונים (עובדות) והיחסים (חוקים) היא תוצאה של הניתוח הרעיוני של התוכן המוצג בפסקה. אלו הדרכים להצדקת הטענה, כלומר האמצעים שיובילו לקבלת התשובה על השאילתה. בפיתוח תכנית לוגית לא ניתן להפריד בין טענה לבין הצדקה.
	שלב 4: הצרנה בפרולוג (תִכנות) השלב הזה אינו מופיע בטקסט הטיעון בשפה הטבעית. זהו שלב פורמלי המחייב ידע בכלי התִכנות בשפה לוגית.
חלק רביעי: סיום (קיים קשר בינו לבין החלק השני והחלק השלישי)	שלב 5: הצגת שאילתות לתכנית בשלב זה יש ביטוי נוסף לחלקים "טענה" ו"הצדקה". הטענה מוצגת כשאילתה וההצדקה מתקבלת כתשובה, אך הייצוג המאפשר זאת מתבסס על החשיבה שמתבצעת בשלבים 2 ו-3. גם בטקסט טיעון בשפה הטבעית הסיום יכול לחזור אל הטענה (לחזור על הטענה או לנבוע ממנה).

מן הטבלה שלעיל עולה כי ניתן להקביל בין שני הייצוגים בכל הרכיבים המהותיים להבנה סמנטית של טקסט הטיעון. ההבדל ביניהם הוא בשלב של בניית התכנית הלוגית עצמה (שלב 4), שכן לשלב הזה אין מקבילה בשפה הטבעית.

הדגמה של ההקבלה בין ייצוג של טיעון בשפה טבעית לייצוגו בשפת תִכנות לוגית

פסקת הטיעון שלהלן כתובה בשפה טבעית. היא עוסקת ב"מחשב" ומסייעת להדגים את ניתוח המבנה של פסקה כזו. לאחר מכן מוצג המימוש שלה כתכנית לוגית, ובהמשך הסעיף נערכת הקבלה בין הייצוגים. מבנה הפסקה שנבחרה הוא של טענה גלויה המופיעה בראשית הטקסט. פסקה זו תשמש כבסיס לניתוח המשווה.

המחשב

באחרונה עסקו מחנכים רבים בנושא הכנסת המחשב למערכת החינוך בצורה רצינית. לדעתנו, המחשב חשוב בכל תחומי החיים, ולכן עלינו להגביר את השימוש בו. ניתן להדגים זאת בעזרת דוגמה מתחום הבנקאות: בזכות המחשב מידע רב מגיע לידינו בזמן קצר ביותר הן מהארץ והן מחו"ל על מצבן הכלכלי של חברות שונות, וכך מתאפשר לנו לערוך עסקים בכל מקום בעולם בזמן אמת. וכן דוגמה מתחום המחקר הרפואי: ניתן להציל חיי אדם בעזרת ביצועי המחשב בבדיקות מהירות המאבחנות את המחלה, או בקבלת מידע היכן בעולם או בארץ ניתן לקבל, למשל, מנת דם מסוג נדיר ועוד. מתוך דוגמות אלו עולה ומובנת חשיבותו של המחשב, על כן עלינו לחזק את הכנסתו של המחשב לתחומים שעדיין אין לו שליטה בהם. (שילה, 2003: 11)

דוגמה לניתוח המבנה של פִסקה בשפה טבעית

א. המילה "לדעתנו" מופיעה בראשית הטענה. היא אכן מסגירה את דעתו של המוען, אך חשוב לציין שדרך זו אינה בבחינת חובה - המוען יכול להביע את דעתו גם ללא ציון עובדה זו בגלוי ובמפורש.

ב. אם המוען מציג הוכחות או כל הצדקה מסוג אחר אחרי הטענה, הרי שכוונתו היא לשכנע את הנמען כי טענתו נכונה וכדאי לקבלה. בטקסט המודגם המוען אכן מציג "דוגמה", אמצעי שהוא אחד הסוגים של הצדקה, כדי להראות את חשיבותו של המחשב בכל תחום בחיינו.

ג. הטענה חוזרת כסיכום וכהמלצה בחלק האחרון של הטקסט: "על כן עלינו לחזק את הכנסתו של המחשב לתחומים שעדיין אין לו שליטה בהם".

ד. כפי שצוין לעיל בסעיף ב, הטענה חוזרת פעמיים לפחות. ייתכן שאפשר לראות חזרה שלישית עליה בהצדקה, כלומר בחלק אשר מוכיח-משכנע בצדקת דבריו של המוען. גם אם הטענה לא נאמרה מפורשות בפעם השלישית, אזי היא נרמזה - הדוגמות רומזות על חשיבותו של המחשב בהענקת מידע כלכלי, כמו גם בהצלת חיי אדם.

ייצוג הדוגמה כתכנית פרולוג

להלן מוצגת בנייה של תכנית פרולוג המייצגת פסקת טיעון. בניית התכנית היא בהתאם לשלבים של פיתוח תכנית לוגית אשר הוצגו לעיל, והייצוג הוא בפרולוג פסוקי. ייצוג באמצעות תחשיב המתארים מופיע בנספח 2 שבסוף המאמר.

שלב 1 - הגדרת המטרות. המטרה העיקרית היא לבדוק אם יש להגביר את השימוש במחשב. נוסף על כך חשובה ההצדקה, כלומר הנימוק מדוע יש להגביר את השימוש במחשב. המטרות הן אלו שיוצגו כשאילתות לתכנית.

שלב 2 - בחירת מבנים לייצוג הנתונים הידועים. הטקסט מציג סיבות לחשיבות השימוש במחשב ומפרט את התחומים ואת תת-התחומים ששימוש כזה תומך בהם. לפיכך בפרולוג יוצגו כעובדות אותם המשפטים בטקסט אשר מתוארים כעובדות.

דוגמה לניסוח עובדה: בעזרת_מחשב_ניתן_לערוך_עסקים_בכל_מקום_בעולם_בזמן_אמת.

שלב 3 - בחירת היחסים שיוגדרו. בהתאם למטרות שהוגדרו (בשלב 1) ולעובדות שנבחרו (בשלב 2), יוגדרו החוקים אשר יבססו את ההצדקה. כל משפט בטקסט אשר מציג היסק, יוצג בתכנית כחוק. המסקנה המבוקשת חייבת להופיע כראש של חוק כדי שיתאפשר להציג שאילתה עבורה. בתכנית יופיעו ראשי החוקים האלה:

- יש_להגביר_את_השימוש_במחשבים :- ...
- המחשב_חשוב :- ...
- המחשב_חשוב_ב‹תחום› :- ...

שלב 4 - הצרנה בפרולוג (תִכנות). תכנית הפרולוג מיישמת בשפת התִכנות את ההחלטות שהתקבלו בשלבים 2 ו-3. התכנית המלאה מופיעה באיור 6.

```
יש_להגביר_את_השימוש_במחשב :-
    המחשב_חשוב.

המחשב_חשוב :-
    המחשב_חשוב_בבנקאות,
    המחשב_חשוב_בעסקים,
    המחשב_חשוב_ברפואה.
המחשב_חשוב_בבנקאות:-
    בעזרת_מחשב_מידע_על_מצב_כלכלי_של_חברות_מגיע_בזמן_קצר_מהארץ_
    ומחול.
המחשב_חשוב_בעסקים :-
    בעזרת_מחשב_ניתן_לערוך_עסקים_בכל_מקום_בעולם_בזמן_אמת.
המחשב_חשוב_ברפואה :-
    בעזרת_מחשב_ניתן_להציל_חיי-אדם_בביצוע_בדיקות_מהירות_המאבחנות_מחלה;
    בעזרת_מחשב_ניתן_להציל_חיי-אדם_בקבלת_מידע_על_מנות_דם.
```

איור 6: **תכנית פרולוג המייצגת את פסקת הטיעון בנושא חשיבות המחשב**

שלב 5 - הצגת שאילתות לתכנית. לאחר השלמת כתיבת התכנית ניתן להציג את השאילתה אשר מתארת את המטרה שהוגדרה בשלב 1: "?- המחשב_חשוב". השאילתה והתשובה המתקבלת עבורה מופיעות באיור 7. מאחר שהייצוג הוא בפרולוג פסוקי, התשובות יכולות להיות רק "כן" או "לא". עם זאת, אפשר "לבקש" מהתוכנה להציג את המעקב אחַר ההיסק (הצגת כל שרשרת ההוכחה). פירוט המעקב הזה מופיע באיור 8.

בעזרת_מחשב_מידע_על_מצב_כלכלי_של_חברות_מגיע_בזמן_קצר_מהארץ_ומחול.
בעזרת_מחשב_ניתן_לערוך_עסקים_בכל_מקום_בעולם_בזמן_אמת.
בעזרת_מחשב_ניתן_להציל_חיי-אדם_בביצוע_בדיקות_מהירות_המאבחנות_מחלה.
בעזרת_מחשב_ניתן_להציל_חיי-אדם_בקבלת_מידע_על_מנות_דם.

?- יש_להגביר_את_השימוש_במחשב.
כן.

איור 7: **הצגת שאילתה וקבלת תשובה**

??- יש_להגביר_את_השימוש_במחשב.

מטרה1: יש_להגביר_את_השימוש_במחשב **אם**
מטרה2: המחשב_חשוב **אם**
מטרה3: המחשב_חשוב_בבנקאות, המחשב_חשוב_בעסקים, המחשב_חשוב_ברפואה
מטרה4: המחשב_חשוב_בבנקאות **אם**
מטרה5: בעזרת_מחשב_מידע_ על_מצב_כלכלי_של_חברות_מגיע...
הצלחה5 (עובדה): בעזרת_מחשב_מידע_ על_מצב_כלכלי_של_חברות_...
מטרה4 (הצלחה): **לכן** המחשב_חשוב_בבנקאות
מטרה6: המחשב_חשוב_בעסקים **אם**
מטרה7: בעזרת_מחשב_ניתן_לערוך_עסקים_בכל_מקום_בעולם_בזמן_...
הצלחה7 (עובדה): בעזרת_מחשב_ניתן_לערוך_עסקים_בכל_מקום_בעולם...
מטרה6 (הצלחה): **לכן** המחשב_חשוב_בעסקים
מטרה8: המחשב_חשוב_ברפואה **אם**
מטרה9: בעזרת_מחשב_ניתן_להציל_חיי_אדם_בביצוע_בדיקות...
הצלחה9 (עובדה): בעזרת_מחשב_ניתן_להציל_חיי_אדם_בביצוע_בדיקות...
מטרה8 (הצלחה): **לכן** המחשב_חשוב_ברפואה
מטרה3 (הצלחה): **לכן** המחשב_חשוב_בבנקאות,
המחשב_חשוב_בעסקים, המחשב_חשוב_ברפואה

מטרה2 (הצלחה): לכן המחשב_חשוב
מטרה1(הצלחה): לכן יש_להגביר_את_השימוש_במחשב

איור 8: **מעקב אחר היסק של שאילתה**

הקבלה בין הייצוגים

טבלה 2 מציגה הקבלה בין ייצוג בשפה הטבעית לייצוג בשפת פרולוג של הפִסקה בדוגמה שלעיל.

טבלה 2: **הקבלה בין ייצוג הדוגמה בשפה טבעית ובתכנית לוגית**

חלקים במבנה פסקת טיעון	ביטוי בטקסט בשפה טבעית	ביטוי בתכנית הלוגית
חלק ראשון: פתיחה	"באחרונה עסקו מחנכים רבים בנושא הכנסת המחשב למערכת החינוך בצורה רצינית."	ההחלטה על מתארי התכנית עוסקת בנושא אשר מופיע בפתיחה ובהצדקות. בדוגמה הנתונה נבחר ראש החוק הראשי הבא (זהו נושא הפִסקה, ועבורו תוצג השאילתה): יש_להגביר_את_השימוש_במחשב :-
חלק שני: טענה	"לדעתנו, המחשב חשוב בכל תחומי החיים, ולכן עלינו להגביר את השימוש בו."	קביעת ראש החוק הראשי קובעת גם את המתאר שיוצג כטענה בשאילתה לאחר השלמת כתיבת התכנית: ?- יש_להגביר_את_השימוש_במחשב. האם יש להגביר את השימוש במחשב? התשובה ("כן" או "לא") תיקבע בהתאם להצלחת ההיסק.

חלקים במבנה פסקת טיעון	ביטוי בטקסט בשפה טבעית	ביטוי בתכנית הלוגית
חלק שלישי: הצדקה	"ניתן להדגים זאת בעזרת דוגמה מתחום הבנקאות: בזכות המחשב מידע רב מגיע לידינו בזמן קצר ביותר הן מהארץ והן מחו"ל על מצבן הכלכלי של חברות שונות, וכך מתאפשר לנו לערוך עסקים בכל מקום בעולם בזמן אמת. וכן דוגמה מתחום המחקר הרפואי: ניתן להציל חיי אדם בעזרת ביצועי המחשב בבדיקות מהירות המאבחנות את המחלה, או בקבלת מידע היכן בעולם או בארץ ניתן לקבל, למשל, מנת דם מסוג נדיר ועוד."	מקרי ההצדקה הם גוף התכנית. בדוגמה הנדונה הנושאים שעניינם חשיבות המחשב יוצגו כראשי חוק, ואילו בגוף החוק תיבדק נחיצותם בתחום מסוים (להלן יוצג רק תחום העסקים): יש_להגביר_את_השימוש_במחשב :- המחשב_חשוב. המחשב_חשוב :- המחשב_חשוב_בבנקאות, המחשב_חשוב_בעסקים, המחשב_חשוב_ברפואה. המחשב_חשוב_בבנקאות:- בעזרת_מחשב_מידע_על_מצב_כלכלי_של_חברות_מגיע_בזמן_קצר_מהארץ_ומחול. (הערה: המשפט האחרון "חולק לשלושה חלקים" רק בגלל המקום המוגבל בטבלה)
חלק רביעי: סיום	"מתוך דוגמות אלו עולה ומובנת חשיבותו של המחשב, על כן עלינו לחזק את הכנסתו של המחשב לתחומים שעדיין אין לו שליטה בהם."	קבלת תשובה עבור השאילתה: ?- יש_להגביר_את_השימוש_במחשב. כן. על מנת לראות את ההסבר להיסק (בגרסה של פרולוג פסוקי) יש להפעיל את מנגנון המעקב המתואר באיור 8 שלעיל.

ניתן לראות בטבלה כי כל הרכיבים המאפיינים פסקת טיעון בשפה הטבעית מתבטאים בפיתוח תכנית בלוגיקה. כמו כן עולה מהטבלה שהחשיבה המשמעותית בתהליך התִכנות נעשית בעת בחירת המבנים לייצוג הידע, כלומר בשלב השני ובשלב השלישי. בשלבים הללו כותב התכנית

(הלומד) צריך לנתח את הפסקה כדי להבין את מבנה הידע המוצג בה. לשם כך הוא משתמש במבנה של משפט תנאי ("אם גוף החוק מתקיים, אזי ראש החוק מתקיים") ובקשרים הלוגיים "וגם" ו"או". ההצדקה היא אפוא החלק הדומיננטי ביותר בתכנית - הן בגלל תפקידה החשוב הן בגלל היקפה.

סיכום

במאמר זה הוצג ניתוח רעיוני של חשיפת המבנה הלוגי של טקסט טיעון בשפה טבעית באמצעות הצרנתו בתִכנות בלוגיקה. בשפה הטבעית קיימות כמה דרכים נפוצות להצגת טיעון. דרך אחת מציגה את הטענה בראשית הטקסט, ולאחריה הצדקה המוכיחה את הטענה; דרך אחרת היא להציג את ההצדקה בראשית הטקסט, ובסופו מוזכרת הטענה לראשונה. חשוב לציין כי בשלב ההצדקה מוצגים אותם הנתונים - הן במבנה הראשון הן במבנה השני. ההבחנה בין הטענה לבין הנתונים, כמו גם הדרך אשר באמצעותה הנתונים מובילים למסקנה, היא גורם המפתח שביסוד ההבנה של טקסט טיעון. הצגת טיעון בשפת תִכנות לוגית חושפת את המבנה הלוגי של הטיעון. על המבנה הלוגי אשר מוצג בתכנית המחשב להיות זהה לדרך הצגתו המילולית (בין שהטענה מוצגת בתחילת הפִסקה, בין שהיא מוצגת בסופה). ייתכן שהקניית כלֵי תִכנות בלוגיקה ללומדים, כלים המאפשרים להציג טענות באופן פורמלי, עקיב ואינטראקטיבי, תקל עליהם את הבנת הטקסט הטבעי; הכלים הפורמליים של התִכנות הלוגי יסייעו ללומדים לזהות בכל טקסט את המבנה הלוגי שלו, והודות לכך להבין את מושא הטענה. הלומדים יזהו את הבסיס להסקת המסקנות ואת הטענה שיש לבחון על בסיס זה. למעשה, כתיבת כל שורה בתכנית הפרולוג מחייבת להבין את הקשָרים הלוגיים שבטקסט. המבנים הפורמליים של שפת התִכנות מכוונים לניתוח של הטקסט, ניתוח אשר עולה בקנה אחד עם משמעותה של פסקת הטיעון. המאמר הדגים את ההקבלה הזו בין שפת התִכנות לבין פסקות טיעון בסיסיות. מובן כי ככל שהטקסט מורכב יותר, קשה יותר לנתחו; כלים פורמליים, כמו למשל ייצוג בשפת תִכנות, עשויים לעזור מאוד ללומד להבין את הנאמר.

כיום אנו במהלכו של מחקר אמפירי אשר נועד לבחון את הניתוח הרעיוני שהוצג במאמר זה. המשתתפים במחקר הם תלמידי כיתה י הלומדים תִכנות לוגי, כמו גם הבעה ולשון עברית. המחקר אמור לבדוק את ההשפעה ההדדית בין לימוד שפת תִכנות לוגית ליכולת לנתח טקסטים טיעוניים בשפה טבעית.

רשימת מקורות

אזר, מ' (1999). מבנים ארגומנטטיביים. בתוך ר' בן-שחר וג' טורי (עורכים), **העברית שפה חיה, ב** (9-23). תל-אביב: הקיבוץ המאוחד.

אלון, ע', גרילק, ל' ושילה, ג' (2006). **הטקסט הכתוב בעברית בת-ימינו: מאפיינים מבניים, תחביריים ולקסיקליים**. תל-אביב: מכון מופ"ת.

אפרת, מ' (תשנ"ג). שימוש המחשב, מדעי-המחשב והלשון העברית. **בלשנות עברית, 36**, 7-31.

בסמן מור, נ' (תשע"א). **בין שפה לפילוסופיה: נועם חומסקי באור חדש**. רמת-גן: אוניברסיטת בר-אילן.

הברמן, ב' (1998). **מבוא לבינה מלאכותית**. רחובות: מכון ויצמן למדע, המחלקה להוראת המדעים.

חומסקי, נ' (2003[1987]). **שפה ושאלות על הידע: הרצאות מנאגואה** (תרגום: נ' שובל). תל-אביב: רסלינג.

לבנת, ז' (תשע"א). **הרטוריקה של המאמר המדעי: הלשון וקהיליית השיח**. רמת-גן: אוניברסיטת בר-אילן.

פלד, נ' (תשנ"ח). **סוגות בדיבור ובכתיבה**. תל-אביב: מכון מופ"ת.

קופי, א"מ (1977[1953]). **מבוא ללוגיקה** (תרגום: ח' רותם). תל-אביב: יחדיו.

רגוניס, נ' (1997). **מבוא למערכות מומחות**. רחובות: מכון ויצמן למדע, המחלקה להוראת המדעים.

שילה, ג' (2003). **הבנת הטקסט וכתיבתו**. אבן-יהודה: רכס.

שראל, צ' (1991). **מבוא לניתוח השיח**. תל-אביב: אור-עם.

שרץ, ז', הברמן, ב', בן זקן, א' וגלוברמן, נ' (1996). **מדעי המחשב - תכנות לוגי (פרולוג)**. רחובות: מכון ויצמן למדע, המחלקה להוראת המדעים.

Antaki, C. (1994). *Explaining and arguing: The social organization of accounts*. London: Sage.

Bratko, I. (1990). *PROLOG programming for artificial intelligence* (2nd ed.). Wokingham, UK: Addison-Wesley.

Brooks, C., & Warren, R. P. (1972). *Modern rhetoric* (4th ed.). San Diego, CA: Harcourt Brace Jovanovich.

Colmerauer, A. (1970). Total precedence relations. *Journal of the ACM, 17*(1), 14-30.

Détienne, F. (2002). *Software design - cognitive aspects* (trans. F. Bott). London: Springer.

Dung, P. M. (1995). On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games. *Artificial Intelligence, 77*(2), 321-357.

Freksa, C. (1994). Responses to Elkan. *IEEE Expert, 9*(4), 20-21.

Goelman, H. (1982). Selective attention in language comprehension: Children's processing of expository and narrative discourse. *Discourse Processes, 5*(1), 53-72.

Haberman, B., & Scherz, Z. (2005). Evolving boxes as flexible tools for teaching high-school students declarative and procedural aspects of logic programming. *Lecture Notes in Computer Science, 3422*, 156-165.

Haberman, B., Shapiro, E., & Scherz, Z. (2002). Are black boxes transparent? High school students' strategies of using abstract data types. *Journal of Educational Computing Research, 27*(4), 411-436.

Mann, W. C, & Thompson, S. A. (1988). Rhetorical structure theory: Toward a functional theory of text organization. *Text, 8*(3), 243-281.

Martín-Vide, C., & Mitrana, V. (Eds.). (2001). *Where mathematics, computer science, linguistics and biology meet: Essays in honour of Gheorgue Pun*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

McCarthy, J. (1959). Programs with common sense. In H. Thomason (Ed.), *Proceedings of the Teddington conference on the mechanization of thought processes* (756-791). R, London: Her Majesty's Stationery Office.

Scherz, Z., Haberman, B., Ragonis, N., & Shapiro, E. (1993, July). *Expert systems by high school students in PROLOG environment*. Paper presented at the 7th International PEG Conference, Edinburgh, UK.

Sterling, L., & Shapiro, E. (1994). *The art of Prolog: Advanced programming techniques* (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.

Toulmin, S. E. (1969). *The uses of argument*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

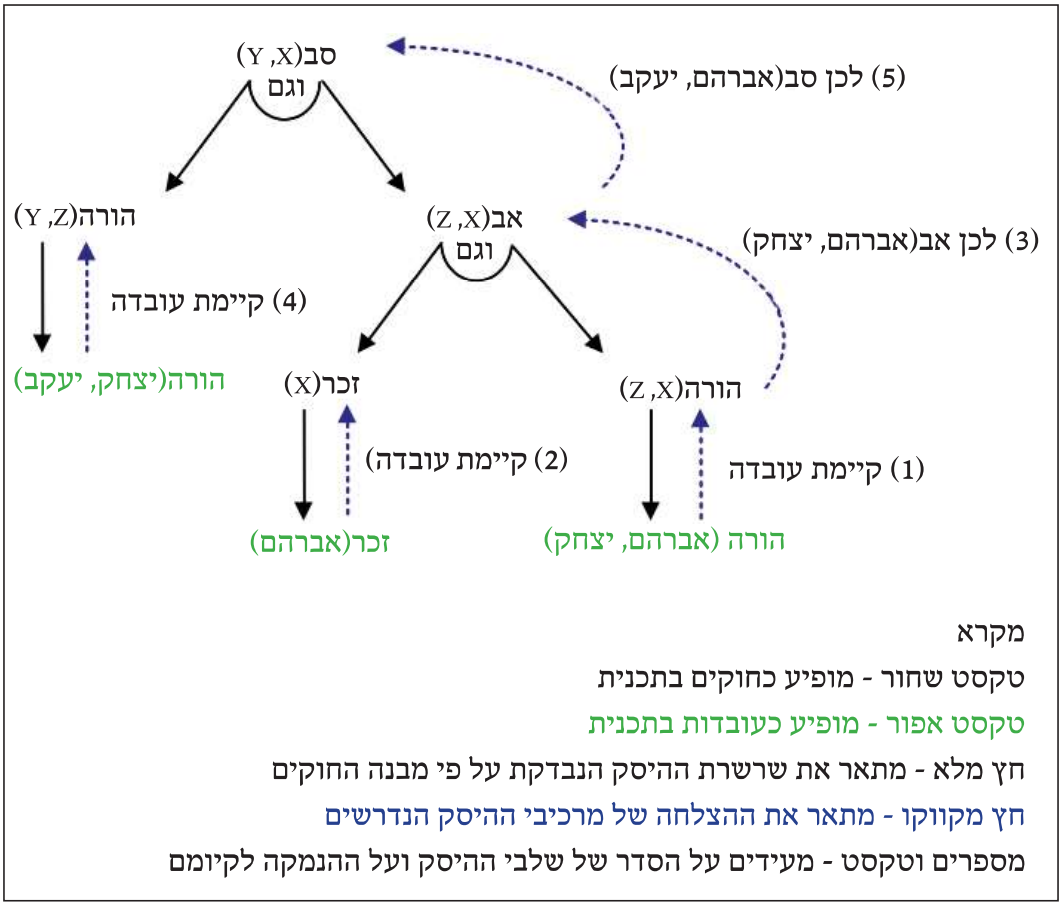
van Dijk, T. A. (1980). *Macrostructures: An interdisciplinary study of global structures in discourse, interaction, and cognition*. Hillsdale, NJ: Laurence Erlbaum.

Zadeh, L. A. (1997). Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems, 90*(2), 111-127.

נספח 1

תיאור מהלך היסק של שאילתה

איור 9 מציג את מהלך ההיסק של שאילתה באמצעות תרשים המכונה 'עץ הוכחה'. המעקב הוא אחַר השאילתה "סב(X, Y)", והנתונים לקוחים מהתכנית המוצגת באיור 3 בגוף המאמר.



איור 9: **עץ הוכחה למטרה: סב(X, Y)**

האיור מציג את שרשרת ההיסק שראשיתה בהצגת השאילתה "?- סב(X, Y)" וסופה בקבלת התשובה "X = אברהם, Y = יעקב". החלקים שבשחור מופיעים בתכנית.

נבדוק את המתאר "סב(X, Y)". לשם כך יש לבדוק תחילה את המתאר "אב(X, Z)". בבדיקה של המתאר "הורה(X, Z)" נמצאה העובדה: "הורה(אברהם, יצחק)". לפיכך יש ערכים למשתנים: X = אברהם, Y = יצחק. על מנת להשלים את בדיקת המתאר "אב" נבחן המתאר "זכר(אברהם)". קיימת עובדה כזו, ולכן מתקיים "אב(אברהם, יצחק)". על מנת להשלים את בדיקת המתאר "סב" נבחן את המתאר "הורה(יצחק, Y)". העובדה שנמצאת היא "הורה(יצחק, יעקב)", ולכן התשובה שמתקבלת היא "סב(אברהם, יעקב)". קיבלנו אפוא את ערכי המשתנים: X = אברהם, Y = יעקב.

נספח 2

נספח זה מתאר כיצד ניתן לייצג בפרולוג את הפִסקה "המחשב", פסקה אשר הוצגה בגוף המאמר, באמצעות תחשיב המתארים. דרך זו עושה שימוש במשתנים כדי לייצג את היחסים שעניינם תחום הדעת המיוצג בתכנית, והיא מאפשרת הכללה רבה יותר. התוכן הנדון מתבטא במתארים שונים (בעיקר בעובדות), וההיסק הוא כללי. ייצוג הפִסקה הוא בהתאם לשלבים של פיתוח תכנית לוגית אשר הוצגו בגוף המאמר.

שלב 1 - הגדרת המטרות. המטרה העיקרית היא לענות על השאלה אם המחשב חשוב. נוסף על כך חשובה ההצדקה, כלומר יש לנמק מדוע המחשב חשוב. המטרות הן אלו שיוצגו כשאילתות לתכנית.

שלב 2 - בחירת מבנים לייצוג הנתונים הידועים. הטקסט מציג סיבות לחשיבות השימוש במחשב ומפרט את התחומים ואת תת-התחומים ששימוש כזה תומך בהם. לפיכך מבנה העובדה שנבחר הוא הצגת תחומי המשנה שהמחשב מסייע בהם. להלן המבנה הכללי: תחום_משנה(_תחום, _תחום_משנה_של_התחום). כך למשל המשפט "המחשב משמש לשמירת מידע" יוצג באמצעות העובדה "תחום_משנה(מחשב, מידע)", ואילו המשפט "המידע משמש בתחום הכלכלה" יוצג באמצעות העובדה "תחום_משנה(מידע, כלכלה)".

שלב 3 - בחירת היחסים שיוגדרו. בהתאם למטרות שהוגדרו (שלב 1) ולמבנה הנתונים שנבחר (שלב 2), המתאר המרכזי אשר יוגדר וייתן תשובה לשאילתה הוא המתאר "הצדקה". עניינו של המתאר הזה הוא שני מתוארים: הטענה שרוצים להצדיק וההסבר לקיום ההצדקה. ראש החוק של מתאר זה הוא "הצדקה(_מה_חשוב, _הסבר)".

שלב 4 - הצרנה בפרולוג (תִכנות). תכנית הפרולוג מיישמת בשפת התִכנות את ההחלטות שהתקבלו בשלבים 2 ו-3. התכנית המלאה מופיעה באיור 10.

שלב 5 - הצגת שאילתות לתכנית. לאחר השלמת כתיבת התכנית ניתן להציג עבורה את השאילתה אשר עולה בקנה אחד עם המטרה שהוגדרה בשלב 1: "?- הסבר(מחשב, _הסבר)". השאילתה והתשובות המתקבלות עבורה מופיעות באיור 11.

```
% תחום_משנה(_תחום, _תחום משנה)
% הצדקה(_טענה, _הסבר)
% הסבר(_טענה, _הסבר)

תחום_משנה(מחשב, מידע).
תחום_משנה(מחשב, בדיקות_רפואיות).
תחום_משנה(מידע, כלכלה).
תחום_משנה(מידע, רפואה).
```

```
תחום_משנה(מידע, חינוך).
תחום_משנה(בדיקות_רפואיות, אבחון).
תחום_משנה(כלכלה, חברה_עסקית).
תחום_משנה(חברה_עסקית, מאזן).

הצדקה(_מה_חשוב, _הסבר):-
    תחום_משנה(_מה_חשוב, _),
הסבר_להצדקה(_מה_חשוב, _הסבר).

הסבר_להצדקה(_תחום, [ _תחום]):-
    תחום_משנה(_, _תחום),
    לא ( תחום_משנה(_תחום, _) ).

הסבר_להצדקה(_תחום, [ _תחום | _המשך_הסבר] ):-
    תחום_משנה(_תחום, _תת_תחום),
    הסבר_להצדקה(_תת_תחום, _המשך_הסבר).
```

איור 10: **תכנית פרולוג המייצגת את פסקת הטיעון בנושא חשיבות המחשב**

```
?- הצדקה(מחשב, _תשובה).
_תשובה = [מחשב,מידע,רפואה];
_תשובה = [מחשב,מידע,חינוך];
_תשובה = [מחשב,מידע,כלכלה,חברה_עסקית,מאזן];
_תשובה = [מחשב,בדיקות_רפואיות,אבחון];
```

איור 11: **הצגת שאילתה וקבלת תשובה**

הקבלה בין הייצוגים

טבלה 3 מציגה הקבלה בין שני ייצוגים, בשפה הטבעית ובשפת פרולוג, של הפִסקה בדוגמה שלעיל.

טבלה 3: **הקבלה בין ייצוג הדוגמה בשפה טבעית ובתכנית לוגית**

חלקי פסקת הטיעון	ביטוי בטקסט בשפה טבעית	ביטוי בתכנית הלוגית
חלק ראשון: פתיחה	"באחרונה עסקו מחנכים רבים בנושא הכנסת המחשב למערכת החינוך בצורה רצינית."	החלטה על מתארי התכנית עוסקת בנושא אשר מופיע בפתיחה ובהצדקות. להלן המבנים שנבחרו לייצוג זה: % תחום_משנה(_תחום, _תחום משנה) % הצדקה(_טענה, _הסבר) % הסבר_להצדקה(_טענה, _הסבר)
חלק שני: טענה	"לדעתנו, המחשב חשוב בכל תחומי החיים, ולכן עלינו להגביר את השימוש בו."	ההחלטה על מתארי התכנית קובעת גם את המתאר שיוצג כטענה בשאילתה לאחר השלמת כתיבת התכנית: ?- הצדקה(מחשב, _הסבר).
חלק שלישי: הצדקה	"ניתן להדגים זאת בעזרת דוגמה מתחום הבנקאות: בזכות המחשב מידע רב מגיע לידינו בזמן קצר ביותר הן מהארץ והן מחו"ל על מצבן הכלכלי של חברות שונות, וכך מתאפשר לנו לערוך עסקים בכל מקום בעולם בזמן אמת. וכן דוגמה מתחום המחקר הרפואי: ניתן להציל חיי אדם בעזרת ביצועי המחשב בבדיקות מהירות המאבחנות את המחלה, או בקבלת מידע היכן בעולם או בארץ ניתן לקבל, למשל, מנת דם מסוג נדיר ועוד."	תחום_משנה(מחשב, מידע). תחום_משנה(מחשב, בדיקות_רפואיות). תחום_משנה(מידע, כלכלה). תחום_משנה(מידע, רפואה). תחום_משנה(מידע, חינוך). תחום_משנה(בדיקות_רפואיות, אבחון). תחום_משנה(כלכלה, חברה_עסקית). תחום_משנה(חברה_עסקית, מאזן). הצדקה(_מה_חשוב, _הסבר):- תחום_משנה(_מה_חשוב, _), הסבר(_מה_חשוב, _הסבר). הסבר_להצדקה(_תחום, [_תחום]):- תחום_משנה(_, _תחום), לא (תחום_משנה(_תחום, _)). הסבר_להצדקה(_תחום, [_תחום | _המשך_הסבר]):- תחום_משנה(_תחום, _תת_תחום), הסבר_להצדקה(_תת_תחום, _המשך_הסבר).[7]

7 המתאר "הסבר_ההצדקה" הוא מתאר רקורסיבי אשר בונה את רשימת ההסבר. החוק החלופי הראשון שלו משמש לעצירה (כאשר לתחום אין תת-תחום), ואילו החוק החלופי השני ממשיך את השרשרת של מציאת הסבר לטענה.

חלקי פסקת הטיעון	ביטוי בטקסט בשפה טבעית	ביטוי בתכנית הלוגית
חלק רביעי: סיום	"מתוך דוגמות אלו עולה ומובנת חשיבותו של המחשב, על כן עלינו לחזק את הכנסתו של המחשב לתחומים שעדיין אין לו שליטה בהם."	קבלת תשובות עבור השאילתה: ?- הצדקה(מחשב, _הסבר). _הסבר = [מחשב,מידע,רפואה]; _הסבר = [מחשב,מידע,חינוך]; _הסבר = [מחשב,מידע,כלכלה,חברה_עסקית,מאזן];

ניתן לראות בטבלה כי כל הרכיבים המאפיינים פסקת טיעון בשפה הטבעית מתבטאים בפיתוח תכנית בלוגיקה. כמו כן עולה מהטבלה שהחשיבה המשמעותית בתהליך התִכנות נעשית בעת בחירת המבנים לייצוג הידע, כלומר בשלב השני ובשלב השלישי. בשלבים הללו כותב התכנית (הלומד) צריך לנתח את הפסקה כדי להבין את מבנה הידע המוצג בה.