

יעקב הכהן-קרנר

**שיטות ייצוג ידע ושיטות היסק במחשבת חז"ל
ודמיון לשיטות מקבילות בבינה מלאכותית**

הקשר בין דברי חז"ל ובין ייצוג ידע והיסק בצורה פורמלית הינו דו-סטרי. מחד גיסא, ניסוחם של ידע והיסק העסיק את חז"ל. חז"ל ייצגו ידע לסוגיו השונים באמצעות מבני ידע מתאימים והשתמשו בשיטות היסק מגוונות לביצוע משימות, כגון: ניתוח סוגיות, הסקת מסקנות ופסיקת הלכות. מאידך גיסא, בשנים האחרונות נעשו מספר נסיונות מעניינים הן בתחום התיאורטי והן בתחום המעשי להסביר או לנתח את דברי חז"ל בעזרת כלים מדעיים לייצוג ידע והיסק. במאמר זה נציג אוסף חלקי של שיטות ייצוג ידע ושיטות היסק במחשבת חז"ל. לגבי מרבית השיטות נראה דמיון בלתי-מבוטל לחלק מן השיטות בהן משתמשת הבינה המלאכותית - אחד מתחומי המחקר הבולטים והפוריים במדעי המחשב. אין אנו טוענים כי חז"ל המציאו את הבינה המלאכותית או הכירו את מושגיה. אולם, בהחלט ניכר כי חלק משיטות ייצוג הידע ושיטות ההיסק בהן משתמשים כיום בתחום הבינה המלאכותיות היו נהירים לחז"ל שנים רבות קודם לכן, לפחות מן הבחינה הבסיסית. נראה לנו כי בכך תורם המאמר לחיזוק הקשר בין תורה ומדע בכלל ובין תורה ובינה מלאכותית בפרט, ומאפשר תרומה והפריה הדדית בין ההיגיון של חז"ל ובין המחשבה המדעית המגולמת בבינה מלאכותית.

א. מבוא

ניסוחם של ידע והיסק העסיק את חז"ל. חז"ל ייצגו ידע לסוגיו השונים באמצעות מבני ידע מתאימים, כגון: תבניות, קיצורים, ראשי-תיבות, מבנים רקורסיביים ומבנים אסוציאטיביים. בנוסף, חז"ל השתמשו בשיטות היסק מגוונות כהיסק מבוסס כללים, היסק מבוסס תקדימים, סטטיסטיקה והסתברות לביצוע משימות, כגון: ניתוח סוגיות, הסקת מסקנות ופסיקת הלכות.

* הגני מודה לרבי ומורי אליהו קרופניק, לעמיתי אפרים ניסן ולשופט אנונימי שהאירו את עיני בהערות והארות רבות וחשובות. כמו-כן הגני מודה לרבנים דוד גולן והרצל חסידים, לעמיתי יאיר וייסמן, ואחרון אחרון חביב לרעייתי, נוות-ביתי, על עזרתם והערותיהם המועילות.

זדען

גומק
דברי
שגים
לא-
זיהם
שתי
זעדד
זאת
זומה
זריות
זלוגי
זאורח

זבות,
זלב.

זספר
זכפרק
זאוריות
זשישה
זכריאת

זמדעית
זאם יש
זמנה...
זערכים
ז, עמ'

זמגוון
זתשתית

ליברמן בספרו יונית ויונות בארץ ישראל¹ הראה כי בשיטותיהם של חז"ל ניכרות בכירור דרכי הטיפול בתופעות תרבותיות שונות, המיוחסות בדרך כלל לרוח היונות, וזאת למרות שפורמליזציה זו לא נוסחה בעזרת נוטציה (שיטת סימון מתמטית) כמקובל כיום במדע המערבי. שטיינזלץ² דן במאמרו בחקר הלוגיקה של התלמוד ומבדיל בינה ובין השכל הישר (common sense), אותו הוא מכנה "שכל בעלי-בתים". זיני משווה במאמרו³ בין הלוגיקה היהודית ללוגיקה המערבית ומראה כיצד סתירות ופרדוקסים הקיימים בלוגיקה המערבית נפתרים בלוגיקה היהודית.

מסתבר שהקשר בין דברי חז"ל ובין ייצוג ידע והיסק בצורה פורמלית הינו דו-סטרי. בשנים האחרונות נעשו מספר נסיונות מעניינים, הן בתחום התיאורטי והן בתחום המעשי, להסביר או לנתח את דברי חז"ל בעזרת כלים מדעיים לייצוג ידע והיסק. ברכפלד⁴ דן בשאיפה ובקווים המנחים לחקר השיטתיות במחשבה התלמודית ובמחשבה ההלכתית של חז"ל. ברקוביץ⁵ מציע מספר סוגים של לוגיקות לטיפול בסוגיות התלמודיות ויעקב מנחם שויקה⁶ מדגים טיפול וביאור של סוגיה תלמודית מסוימת בעזרת מבנה לוגי אלגברי. דוגמאות נוספות יוצגו בהמשך המאמר.

נראה כי חלק מן השיטות שננקטו על-ידי חז"ל לייצוג ידע ולהיסק דומות במידה בלתי-מבוטלת לחלק מן השיטות בהן משתמשת הבינה המלאכותית לייצוג ידע ולהיסק. בינה מלאכותית (Artificial Intelligence) היא לפי אחת מהגדרותיה המקובלות: "מדע המאפשר למחשבים לבצע משימות הנחשבות לדורשות בינה מבני-אדם המבצעים אותן".⁷ בינה מלאכותית עוסקת, למעשה, בנסיון להקנות למחשבים "בינה אנושית", לפחות מבחינת התוצאות, כבצע משימות הנחשבות אינטלגנטיות. המרכיבים העיקריים של בינה הם ידע והיסק וביטוייה הם ביישומם.

בסעיפים הבאים יידונו ויודגמו מספר שיטות שננקטו על-ידי חז"ל לייצוג ידע ולהיסק. עבור חלק מכריע משיטות אלו נציג דמיון לא מבוטל לשיטות מקבילות בתחום הבינה המלאכותית. בדרך כלל נתאר את דברי חז"ל ולאחר מכן נציג את הדמיון לשיטה מקבילה בבינה מלאכותית. במיעוט המקרים נציג את הדברים בכיוון ההפוך, שכן אופיים המורכב קל יותר להגדרה ולהדגמה בבינה מלאכותית תחילה.

ב. שיטות ייצוג ידע בחז"ל ודמיון לשיטות ייצוג ידע בבינה מלאכותית

חז"ל הגדירו וניסחו ידע לצורותיו השונות: נתונים, כללים ותקדימים, וייצגו אותו בעזרת מבני ידע מתאימים, כגון: תבניות, ראשי-תיבות, מבנים רקורסיביים, קיצורים, רשתות אסוציאטיביות.

- 1 ש' ליברמן, יונית ויונות בארץ ישראל, ירושלים, תשכ"ג.
- 2 ע' שטיינזלץ (אבן-ישראל), "האם ישנה לוגיקה תלמודית?", ספר הגיון, מחקרים בדרכי חשיבה של חז"ל, הוצאת מכון-צומת, אלון-שבות (1995) [להלן: ספר הגיון], עמ' 14-21.
- 3 א"ר זיני, "לוגיקה ומטפיזיקה בדרשות חז"ל", ספר הגיון, עמ' 65-78.
- 4 מ' ברכפלד, "מחשבה שיטתית בלימוד תורה", ספר הגיון, עמ' 11-12.
- 5 ד' ברקוביץ, "חידוש והיסק — חסד ודין בהגיון הקודש", ספר הגיון, עמ' 79-85.
- 6 י"מ שויקה, "האונאה שתות", ספר הגיון, עמ' 153-163.
- 7 דברי מרוץ מינסקי, המצוטטים אצל: ג' קופלנד, בינה מלאכותית, תל-אביב, 1995.

תבניות

עורכי התלמוד הבבלי ערכו חלקים גדולים מן המשא ומתן בגמרא במגוון נרחב של תבניות החל בתבניות קצרות ופשוטות וכלה בתבניות מורכבות. תועלתן של התבניות מרובה ללומדים ממספר סיבות:

1. הן מקלות על זכירת הסוגיה.
2. הן מאפשרות להבין את מבנהו הכללי של המשא ומתן בסוגיה.
3. הן מאפשרות לזהות מהי מסקנת הגמרא.
4. הן מאפשרות לזהות דמיון בין סוגיות שונות ולהסיק מסקנות בהתאם לדמיון ולשוני.

להלן נדגים ארבע תבניות, שתי הראשונות פשוטות ושתי האחרונות מורכבות:

1. "אמר מר..." פירושה שעכשיו מתחיל עניין חדש ומובא בהקשר לכך דבר שאמר מר.
2. "ומר אמר..." פירושה שאנו מצויים עדיין באותו עניין ומר חולק על דברי קודמו.
3. "תנו רבנן X. אין לי אלא ב-Y, X מניין? קל וחומר ומה X ש-Y ש- לא כן שכן" (למשל בבלי פסחים מא ע"א) פירושה שדבר המתקיים ב-X מתקיים אף ב-Y משום קל וחומר.
4. "מאי טעמא פליגי בה X ו-Y. חד אמר - וחד אמר - בשלמא למאן דאמר - שפיר. אלא למאן דאמר - אמאי הרי - אלא -" (למשל בבלי סוכה לה ע"א).

תבנית (pattern)⁸ מוגדרת כתיאור מבני של רכיב שבתוכו ישנה התייחסות למספר רכיבי-משנה שהושארו בלתי-מוגדרים. תבנית יכולה להכיל סימולים מיוחדים עבור רכיבי-משנה משתנים בתבנית. ההתאמה בין שתי תבניות או בין מבנה ספציפי לתבנית מכונה כבינה מלאכותית pattern matching. תהליך זה משווה בין שתי תבניות כדי לראות אם הן זהות או דומות. באמצעות תהליך זה ניתן כמו אצל חז"ל לזהות דמיון בין פריטי-מידע שונים ולהסיק מסקנות בהתאם לדמיון ולשוני. ניתן למשל לזהות זהות בין תבניות אם ישנה התאמה בין רכיבי המשנה שלהן בהתאמה. לדוגמה, שתי התבניות (צבע Y X) ו-(צבע תפוח ירוק) ניתנות להתאמה בעזרת ההצבות: X - תפוח ו-Y = ירוק.

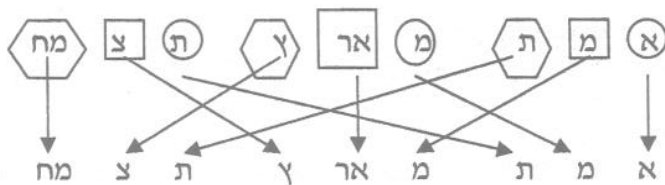
מבנים רקורסיביים

רקורסיה (recursion) במדעי המחשב פירושה התייחסות של יחידת תכנות (כגון פונקציה, פרוצדורה, מבנה נתונים) לעצמה. מאפיין זה קיים בחלק משפות התכנות והוא הוכנס לראשונה בשפת LISP, שפה שתוכננה ונבנתה עבור בינה מלאכותית. לדוגמה, פונקציית העצרת $f(n) = n!$ מוגדרת עבור $n > 0$ באופן הבא: $f(n) = 1 * 2 * \dots * n$ (עבור $n = 0$ מוגדר $f(0) = 1$). אותה פונקציה ניתנת להגדרה רקורסיבית עבור $n > 0$ בצורה הבאה: $f(n) = n * f(n-1)$. הרקורסיה מובעת בכך שהפונקציה f מוגדרת באמצעות עצמה. השימוש ברקורסיה אפשרי הן מבחינת ייצוג ידע והן מבחינת היסק. היסק באמצעות רקורסיה ב"יד החזקה" של הרמב"ם לצורך פתרון בעיות של חלוקת ממון בין מספר בעלי-חוב הודגם ונותר על-ידי גדעון ארליך במאמרו.⁹ אולם השימוש העיקרי בחז"ל ברקורסיה מתבטא מבחינת ייצוג ידע. ידועים מספר שימושים ברקורסיה המורכבת מראשי-תיבות כמוכן הבא: אותיות המרכיבות מילה

S. C. Shapiro, ed., *Encyclopedia of Artificial Intelligence* (2 volumes), New York, 1990 8
 9 ג' ארליך, "שימוש ברקורסיה ביד החזקה", הגיון, 2 (1992), עמ' 118-128.

משמשות כראשי-תיבות המגלמים מספר מילים, ביניהן נמצאת גם המילה המקורית. שימוש מפורסם בכך הוא השימוש המובע במילה "שבת" כאשר מתבוננים באותיותיה כראשי תיבות ניתן לקבל שינה בשבת תענוג, או אז מתקבל שהמילה שבת כוללת בתוכה שימוש במילה שבת עצמה. מובאה זו מובאת על-ידי ילקוט ראובני על פרשת ואתחנן בשם זר זהב בשם האר"י זצ"ל.¹⁰ רקורסיה נוספת פחות מפורסמת על שבת היא שבת בתורה תחדש (לא נמצא מקור). רקורסיה קדומה המוזכרת על-ידי מקובלים מצויה במילה "אדם" — אדם דוד משיח (לא נמצא מקור). רקורסיה נוספת כלולה במונח "דוק" — דוק ותמצא קל (לא נמצא מקור).

לעניות דעתנו, הרקורסיה המורכבת והיפה מכולם הינה הרקורסיה המורכבת משלוש המילים "אמת מארץ תצמח" (תהילים פה, יב), המובאת ע"י אבודרהם¹¹ בברכות קריאת שמע שלאחריה, ד"ה ואמרו כלם, וזה לשונו: "... ופסוק זה כפול הוא כיצד אמת מארץ תצמח ראשי תיבות אמת. תיבות שניות מארץ, תיבות אחרונות תצמח". רקורסיה זו מוצגת בפירוט באיור א, לקמן:



איור א: רקורסיה משולשת המובעת במילים "אמת מארץ תצמח"

רקורסיה זו מיוחדת בכך שביטוי המורכב משלוש מילים מכיל אותן שלוש מילים בעזרת רקורסיה, באופן הבא: כל מילה מחולקת לשלושה חלקים (בתרשים כל חלק נמצא בתוך צורה גיאומטרית שונה). כאשר נוטלים את החלק הראשון מכל מילה מורכבת המילה השנייה. כאשר נוטלים את החלק השלישי מכל מילה מורכבת המילה השלישית. בנוסף, המילה הראשונה "אמת" מגלמת בעצמה רקורסיה פשוטה כאלו שהובאו קודם לכן, כלומר: "אמת" — אמת מארץ תצמח.

בדברי בעל הטורים, המפורסם בביאוריו על התורה, ניתן אף למצוא רקורסיה המורכבת מסופי-תיבות: עבור הביטוי "משה איש האלוקים" (שמות יא, ג) מביא בעל הטורים ס"ת (סופי תיבות) "השם" ובהיפוך "משה" ודורש רמז שנכפלה גדולתו.

פלינדרומים

פלינדרום הינו מושג לשוני המציין מילה או משפט שאפשר לקרוא אותם מתחילת המילה לסופה ולהיפך. אמנם מושג זה אינו מיוחד לבינה מלאכותית, אך מוכר היטב לתלמידים הנדרשים לכתוב תכנית המזהה פלינדרום בשפת פרולוג, אחת משפות התכנית שנכתבו עבור בינה מלאכותית. דוגמה מפורסמת מחז"ל לפלינדרום מובאת ומבוארת על-ידי בעל

10 ר' כק, ילקוט ראובני, וראשא, תרמ"ז, ד"צ ירושלים, תשכ"ב.

11 ד' ברבי יוסף ברבי דוד בן אבודרהם, אבודרהם, פירוש הברכות והתפלות, ירושלים, תשכ"ג.

הטורים. בפירושו לפס' יב בשמות פרק ל מבאר "ונתנו. אם תקראנה למפרע יהיה גם כן ונתנו. לומר לך מה שאדם נותן לצדקה יחזור אליו. ולא יחסר לו בשביל זה כלום".

גימטריות ונוטריקונים

גימטריות ונוטריקונים (נידונים בפירוט בספריו של צבי חיים זאלב¹²) הם בין שלושים ושתיים מידות דרבי אליעזר בנו של רבי יוסי הגלילי (ספר שלם המוקדש לשלושים ושתיים מידות הינו ספרו של הלל גרשם¹³). לשיטות אלו הגדרות שונות וחז"ל השתמשו בהן לקידוד ידע בייצוגים שונים (ראה דוגמאות בסוף מסכת ברכות בתלמוד הבבלי). שיטות אלו הינן כלליות ואינן ייחודיות לבינה מלאכותית.

קשרים אסוציאטיביים

חז"ל מרבים לנקוט קשרים אסוציאטיביים. סוגיות רבות מן התלמוד הבבלי כוללות בתוכן רצף של נושאים שונים הקשורים ביניהם באמצעות קשרים אסוציאטיביים מגוונים, למשל: במסכת פסחים כד ע"ב וכה ע"א ישנה סוגיה בה עוסקים בזה אחר זה בחלב חי, חלב של שור הנסקל, כלאי הכרם, בשר בחלב, ערלה, חמץ בפסח, עציץ נקוב בכרם ועצי אשירה. הרב עדין אבן-ישראל (שטיינזלץ) מסביר בספרו את התפיסה העומדת בעומקם של הקשרים האסוציאטיביים וכך הוא כותב: "תפישת התורה כמפת-כל הביאה לצד נוסף בספרות התלמודית — מעבר מתחום לתחום בלא להדגיש את ההבדלים שבין התחומים השונים. הדיון התלמודי על פי דרכו האסוציאטיבית אינו נעצר רק בתחום ההלכה. ברור כי בהלכה קיימת תפיסה של מכלול — אשר על פיה כל נושא עשוי להיות קשור קשר פנימי אל כל נושא אחר, ולעיתים תוך כדי דיון בבעיה הקשורה בהלכות נישואין תעבורנה ההוכחות מן התחום של החוק הפלילי עד לדיני הקרבנות, בלא לראות הבדל מהותי ביניהם. אך יותר מכך. דיון הלכתי בנושא מאד ארצי עשוי לעיתים לגלוש, בלי כל הדגשה של מעבר מודע, אל תחום המוסר, האליגוריה או המיטאפיסיקה. רק בתלמוד ניתן למצוא ביטוי כמו 'בנושא זה נחלקו שני חכמים מארץ ישראל ויש אומרים שמחלוקת זו היתה בין שני מלאכים בשמים' בלא להרגיש כל זרות בצירוף זה של דברים"¹⁴.

הנושא של רשתות אסוציאטיביות נידון ומיושם בתחומים שונים, ביניהם בבינה מלאכותית. מבואות לנושא זה ניתן לראות בספרו של Findler¹⁵ הסוקר סוגים שונים של רשתות אסוציאטיביות כשיטות לייצוג ידע האדם ובספרו של Sowa¹⁶ המציג את העקרונות של רשתות סמנטיות.

- 12 צ"ח זאלב, הספר גימטריות, [ללא שנה ומקום]; צ"ח זאלב, גימטריא ונוטריקון: שתיים מל"ב מידות שהתורה נדרשת בהן, הוצאה מחודשת ע"י דפוס יהודה, ירושלים [ללא שנה].
- 13 ה' גרשם, משנת רבי אליעזר או מדרש שלושים ושתיים מדות, ניו יורק, תרצ"ד. הודפס מחדש ע"י הוצאת מקור, ירושלים, תשל"ל.
- 14 ע' שטיינזלץ (אבן-ישראל), התלמוד לכל, ירושלים, תשל"ז, עמ' 76.
- 15 N. V. Findler, *Associative Networks*, Academic Press, New York, 1979
- 16 J. F. Sowa, ed., *Principles of Semantic Networks: Explorations in the Representation of Knowledge*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1991

ג. שיטות היסק בחז"ל ודמיון לשיטות היסק בבניה מלאכותית

המונח לוגיקה מוגדר כהיסק מופשט המיוצג על-ידי תורת חשיבה המושתתת על אכסיומות מסוימות והמנוסחת בצורה מתמטית. הלוגיקות הקלאסיות/הסטנדרטיות הן הלוגיקות הידועות והשימושיות ביותר. ללוגיקה הקלאסית שני מאפיינים עיקריים: (1) ההיסקים הינם דדוקטיביים (מן הכלל אל הפרט) בלבד. כלומר כל היסק הוא מהצורה: אם $a \rightarrow b$ אז $b \rightarrow a$ (2) עקרון המונטוניות: עובדות וחוקים שונים המתוספים למערכת אינם פוגעים בנכונותם של עובדות וחוקים הקיימים כבר במערכת.

הלוגיקה הלא-קלאסית הינה למעשה הרחבה או שינוי של הלוגיקה הקלאסית בכך שהיא מאפשרת הסקה במקרה של חוסר ידע והסקה בדרגת אמונה מסוימת. בלוגיקה כזו לא מתקיים עקרון המונטוניות שהוזכר לעיל. כלומר, היקשים יכולים להתבטל עקב התוספות מידע חדש. ההיקשים "נכונים" לזמן ביצועם בלבד. בלוגיקה הלא-קלאסית, כמו בחיים עצמם, הדגש הוא על הדינמיות. כלומר, עובדות וחוקים חדשים יכולים לשנות את פני העולם. דוגמה ידועה לעקרון אי-המונטוניות היא הדוגמה הבאה: X היא ציפור, ציפורים בדרך כלל יכולות לעוף – X יכולה לעוף. אם תתוסף העובדה ש- X היא יען או שהציפור פצועה, אזי ההיסק הנ"ל לא יהיה נכון.

דניאל ווייל מציע במאמרו¹⁷ מודל של לוגיקה לא-קלאסית עבור חז"ל ומשווה בינו לבין הלוגיקה הקלאסית המושתתת על עקרונות ההגיון היווני. דוגמה מעניינת לשימוש בלוגיקה המודלית, אחת מסוגי הלוגיקות הלא-קלאסיות מתואר במאמרה של רונן.¹⁸ רונן מציעה פתרון לבעיה הפילוסופית היהודית המפורסמת "הכל צפוי והרשות נתונה" (פרקי אבות פ"ג מ"ט) באמצעות שימוש בלוגיקה זו.

הנחת העולם הסגור

הנחת העולם הסגור הינה אחד ממאפייניה של הלוגיקה הלא-קלאסית. מובנה הוא שאם טענה מסוימת X לא ניתנת להסקה מהנתונים אזי הסק X (כלומר, לא X). מאפיין זה מוזכר גם אצל חז"ל למשל לגבי פירוש למצוות כיבוד אב ואם. במכילתא (מסכת דבחדש פרשה ח) נכתב "כבוד את אביך ואת אמך אם כבודתן למען יאריכון ימיך ואם לאו למען יקצרון שדברי תורה נוטריקון שכן דברי תורה נדרשין מכלל הן לאו מכלל לאו הן" (מוזכר גם ברש"י, שמות כ יב).

בדומה להנחת העולם הסגור קיים עקרון הסתירה האומר כי לא ייתכן שטענה לוגית והיפוכה יהיו נכונים בו-זמנית. ארליך טוען במאמרו¹⁹ כי הן מבחינה תלמודית והן מבחינה הלכתית עקרון הסתירה תקף, כלומר אמת יש רק אחת. לדעתו, הביטוי "אלו ואלו דברי אלקים חיים" קשור לתחום האגדה או משמש למליצה שפירושה המעשי הוא ששתי הדעות דנות במקרים שונים. חולק עליו שגיא²⁰ בטענתו כי הביטוי "אלו ואלו דברי אלקים חיים" מבטא אפשרות לריבוי ההכרעות ההלכתיות הסותרות. שגיא מציג שלושה מודלים שונים לטיפול בריבוי ההכרעות ההלכתיות הסותרות וטוען כי גם אם נקבעת ההלכה כדעה מסוימת אין הדעה השנייה מוטעית ואין נשללת או נדחית.

17 ד' ווייל, "הגיון ההשלמה של חז"ל וההגיון היווני", הגיון, 1 (1989), עמ' 102-124.

18 י' רונן, "ידיעה, בחירה ולוגיקה מודלית", הגיון, 2 (תשנ"ג), עמ' 85-95.

19 ג' ארליך, "אלו ואלו", ספר הגיון, עמ' 143-152.

שלוש-עשרה מידות שהתורה נדרשת בהן

חלק משיטות הלמידה המיושמות בבינה מלאכותית נמנות עם שלוש-עשרה המידות שהתורה נדרשת בהן. הסברים מפורטים ודוגמאות למכביר בנוגע לשלוש-עשרה מידות שהתורה נדרשת בהן ניתן למצוא בספריהם של אוסטרובסקי²¹ ועמיאל²². נכתבו אף מספר ספרים שלמים על המידה של גזירה שווה.²³ לוינגר מציג במאמרו את שלוש עשרה המידות ומבארן בדרך חדשה.²⁴ יעקב הכהן-קרנר, אוהד זכריה והראל קטיעי מציגים במאמרם מערכת ממוחשבת להוראת שלוש עשרה המידות שפותחה כפרוייקט גמר במכון לב.²⁵ בפיסקה הבאה נדון במושג למידה אינדוקטיבית שבא לידי ביטוי בחלק מן המידות שהתורה נדרשת בהן.

למידה אינדוקטיבית

למידה אינדוקטיבית (Generalization / Inductive Reasoning) פירושה למידה מן הפרט אל הכלל או בקצרה — הכללה. כלומר דבר המתקיים עבור פרט אחד או מספר פרטים מוכלל עבור קבוצה שלמה לה משותף מן התכונות הקיימות בפרט או במספר הפרטים.

דוגמאות מובהקות להכללה בחז"ל הינן הלמידה באמצעות המידות של בניין אב מכתוב אחד, בניין אב משני כתובים, כלל ופרט וכלל. נושא זה נידון בהרחבה במאמרו של רחנפלד.²⁶ האינדוקציה המתמטית במשנה ובתלמוד נסקרה באופן מפורט על-ידי גדעון ארליך במאמרו.²⁷

המושג "בניין אב" הוגדר באנציקלופדיה התלמודית כך: "דבר המפורש בתורה במקום אחד, או בשנים ושלושה מקומות, משמש יסוד ללמוד ממנו גם במקומות דומים אחרים". מידה זו פירושה שיסוד מסוים הנאמר במקום אחד או יותר בתורה לגבי דבר מסוים חל גם לגבי שאר המקומות בתורה שם מוזכר דבר זה. כלומר, אותו מקום/מקומות שלמדים משם נקרא/ים אב ושאר המקומות הלמדים ממנו הם כיוצאי ירכו. כאשר לשני עניינים יש תכונה דומה, ניתן ללמוד דין מעניין לעניין.

דוגמה לבניין אב מכתוב אחד הוא הלימוד מהביטוי "ועז בת שנתה" (במדבר טו כז) ולמדים מזה שכל מקום שנכתב בו עז, צריכה היא להיות בת שנתה. דוגמה נוספת לבניין אב מכתוב אחד היא הדוגמה הבא: "לא יקום עד אחד באיש — ממשמע שנאמר עד, איני יודע

- 20 א' שגיא, "אלו ואלו דברי א-להים חיים — על אפשרות ריבוי ההכרעות ההלכתיות הסותרות", ספר הגיון, עמ' 113-141.
- 21 מ' אוסטרובסקי, המדות שהתורה נדרשת בהן, ירושלים, תרפ"ד.
- 22 מ"א עמיאל, המדות לחקר ההלכה, ירושלים, תרצ"ט.
- 23 ד' גאלאמב, התורה והתלמוד: חלק קונטרס המדות — מידת גזירה שווה, ספר רביעי, הוצאת סעאיני, תרצ"ב; מ' צ'רניק, מידת "גזירה שווה": צורותיה במדרשים ובתלמודים, מכון הברמן למחקרי ספרות, לוד, תשנ"ד; א' שוארץ, הגזירה השווה, מתורגם בידי דר' יהודה ליב לנדא, קרקא, תרנ"ח.
- 24 י"מ לוינגר, "שלוש-עשרה מידות שהתורה נדרשת בהן: דרך חדשה להצגתן", בד"ד, 5 (קיץ תשנ"ז), עמ' 81-100.
- 25 י' הכהן-קרנר, א' זכריה וה' קטיעי, "ערכה ללימוד שלוש-עשרה המידות שהתורה נדרשת בהן", שמעתין, 142-141 (אייר-אב תש"ס), עמ' 97-103.
- 26 ע' רחנפלד, "הכללה הלכתית", הגיון, 3 (תשנ"ו), עמ' 52-58.
- 27 ג' ארליך, "האינדוקציה המתמטית במשנה ובתלמוד", הגיון, 1 (1989), עמ' 44-68.

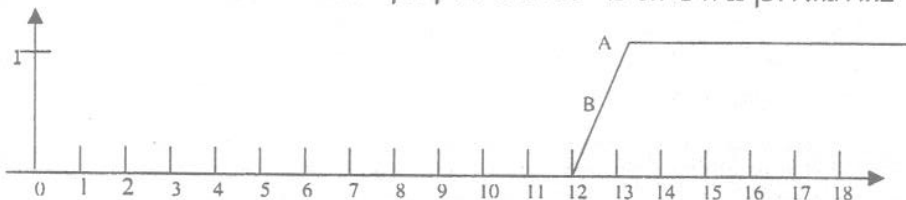
שהוא אחד? ומה תלמוד לומר אחד? — זה בניין אב. כל מקום שנאמר עד, הרי כאן שניים עד אשר יפרוט לך הכתוב אחד" (סוטה ב). כלומר, מפסוק זה אנו בונים את העיקרון: לכל מקרה בתורה שבו נאמר עד ללא תוספת שהיא, אין פירושו עד אחד אלא יחידת ערות אחת, שהיא כידוע שניים.

דוגמה לבניין אב משני כתובים היא הלימוד של חז"ל במכילתא (פרשת משפטים מסכת דנזיקין פרשה ט) מהפסוקים: "וכי יכה איש את עין עבדו או את עין אמתו ושחתה לחפשי ישלחנו תחת עינו. ואם שן עבדו או שן אמתו יפיל לחפשי ישלחנו תחת שנו" (שמות כא כו וכו). בעזרת בניין אב משני כתובים, למדו חז"ל שלא רק בהפלת שן ועין יוצא עבד לחופשי, אלא בכל איברים המקיימים את התכונות המיוחדות לשן ועין — מומים קבועים וראשי איברים ובגלוי ובמתכוון ושאינם יכולים לחזור. דוגמה נוספת מובאת בספרא (פרשת ויקרא פתיחתא [ו]) "בנין אב משני כתובים כיצד לא פרשת הנרות הרי פרשת שלוח טמאים ולא פרשת שלוח טמאים הרי פרשת הנרות הצד השוה שבהן שהם בצו מיד ולדורות אף כל דבר שהוא בצו יהא מיד ולדורות".

התמודדות עם מושגים מעורפלים

מושג מעורפל הוא מושג שלא ניתן להגדרה באופן חד ומדויק. דוגמה למושג מעורפל אצל חז"ל הוא המושג "מופלא הסמוך לאיש". פירושו רש"י (על-פי גירסת הב"ח) במסכת נזיר כט ע"ב "קטן שיודע להפליא ולומר בזמן שהוא סמוך לאיש דהיינו בן י"ב לשם מי נדר לשם מי קידש". בגמרא שם יש מחלוקת בין רבי לר' יוסי ב"ר יהודה האם מושג זה הוא מדרבנן (רבי) על-פי פירוש" צריך לבדוק את הקטן האם יודע לשם מי נדר, או שמושג זה הינו מדאורייתא (ר' יוסי ב"ר יהודה) ואין צריך לבדוק את הקטן האם יודע לשם מי נדר. הרמב"ם פסק שזה מדאורייתא (משנה תורה, הלכות נדרים פ"א ה"ד). אולם, לפי הדעה שזה מדרבנן, קטן שגילו בין י"ב שנה ויום ובין י"ג שנה ויום יש לבדוק אם נדרו נדר. דעה זו מובאת גם בספרי (פרשת נשא פסקא כב): "...ת"ל איש ולא קטן אם כן למה נאמר כי לפליא להביא את מי שיודע להפלות מכאן אמרו בן שתיים עשרה שנה ויום אחד נדריו נבדקין [בן שלש עשרה שנה ויום אחד נדריו קיימים]".

איור ב מציג שתי פונקציות. פונקציה A מתארת את העובדה שהמושג "מופלא הסמוך לאיש" הינו מדאורייתא ולכן נדריו תקפים החל מתחילת הזמן של "מופלא הסמוך לאיש", כלומר החל מ"ב שנים ויום אחד בלבד. לעומתה, פונקציה B, שהינה פונקציה אפשרית לתיאור העובדה שהמושג "מופלא הסמוך לאיש" הינו מדרבנן, כלומר שנדריו של קטן נבדקים החל מהזמן של "מופלא הסמוך לאיש" ועד גיל של י"ג שנה ויום. על-פי פונקציה B אנו מניחים כי נערים בתקופה שבין י"ב שנה ויום ובין י"ג שנה ויום מתפתחים בממוצע בהדרגה. ולכן נניח כי הסיכוי שנדרם שייבדק אכן ייחשב כנדר גם הוא יתפתח בהדרגה.



איור ב: "מופלא הסמוך לאיש"

פונקציה A הינה מהסוג המכונה פונקציית crisp (פונקציה קשיחה, חדה). כל קטן שגילו בין י"ב שנה ויום ז'בין י"ג שנה ויום נדרו נדר. פונקציה B הינה דוגמה ל-"fuzzy function", פונקציה הדרגתית רציפה, שבאמצעותה חז"ל מתמודדים עם המושג "מופלא הסמוך לאיש" מדרבנן. פונקציה זו יש בה לא רק ערכים בבחינת "שחור" או "לבן" אלא גם "אפור". פונקציה כזו מתאימה טוב יותר לתיאור של מושג מעורפל (מושגים הלקוחים מן המציאות שאין להם הגדרה חדה והחלטית במציאות) בכלל ו"מושגים מעורפלים" תורניים המצריכים בדיקה בפרט (כמו ב"מופלא הסמוך לאיש").

הדוגמה שהובאה לעיל בדבר "מופלא הסמוך לאיש" הדגימה את המושג fuzzy function שהינו המושג הבסיסי ביותר בתורה מתמטית המכונה "לוגיקה רכה" (fuzzy logic). ההתמודדות עם מושגים מעורפלים בבניה מלאכותית מתבצעת באמצעות תורה זו. ספר בסיסי בתחום הינו הספר שחובר ע"י McNeill and Thro.²⁸

היסק אנלוגי

היסק אנלוגי פירושו היסק המבוסס על דמיון. היסק אנלוגי בא לידי ביטוי בהדמיית מצב נדון למצב אחר באופן עקרוני ובהסקת מסקנות מתאימות עבור המצב הנדון לפי המסקנות במצב האחר על בסיס הדמיון והשוני שנמצאו. חז"ל התייחסו לסוג היסק זה במונח "מדמי מילתא למילתא".

אמנם, בדרך כלל דימוי מילתא למילתא יושם על-ידי מורי הוראה מומחים בלבד וזאת משום שחז"ל הגבילו את השימוש בסוג של היקש, לדוגמה: "וואין לדמות מילתא למילתא בדברים אלו, ואין לך בו אלא מה שאמרו חכמים) טור ורא"ש וראב"ד ורשב"א שולחן ערוך" (שו"ע יו"ד סימן קכד סעיף יט) ו-"... ע"כ מהנכון להסופר שיזהר בתו"מ שלא להניף ידו על שום אות לתקנו באיזה תיקון אחר שכתב האות שאחריו אם לא דבר שנמצא כתוב בפירוש בספרי הפוסקים שזה מותר לתקן אפילו אח"כ ולא ידמה בעצמו מילתא למילתא" (מ"ב סימן לו, משנת סופרים הקדמה).

דוגמאות נוספות להסקה אנלוגית, אע"פ שאינן מכונות דימוי מילתא למילתא פזורות למכביר בתלמוד הבבלי. לדוגמה, ההיסק המובא במסכת מכות יח ע"ב: "אמר ר' אלעזר אמר ר' הושעיא בכורים הנחה מעכבת בהן קרייה אין מעכבת בהן ומי אמר ר' אלעזר הכי והא אמר רבי אלעזר אמר רבי הושעיא הפריש בכורים קודם לחג ועבר עליהן החג ירקבו מאי לאו משום דלא מצי למיקרי עליהן ואי ס"ד קרייה אין מעכבת בהן אמאי ירקבו כדרבי זירא דאמר ר' זירא כל הראוי לבילה אין בילה מעכבת בו וכל שאינו ראוי לבילה בילה מעכבת בו". ההיסק האנלוגי בסוגיה זו נעשה בצורה הבאה: ידוע כבר מר' זירא כי מנחה המובאת בקרבן לבית המקדש צריכה להיות ראויה לבילה (לבילה עם השמן). כלומר, אם המנחה ראויה לבילה אזי אף-על-פי שלא נבללה היא כשרה. אולם, אם היא לא ראויה לבילה אזי אינה כשרה. הגמרא דנה בביכורים האם צריכים לקריאה (מקרא ביכורים) ומסיקה על-פי הדימוי לסוגיה על בילה שביכורים צריכים להיות ראויים לקריאה. כלומר, אם הביכורים ראויים לקריאה אזי אף-על-פי שלא הייתה קריאת ביכורים, הביכורים מותרים לאכילת כהן. אולם, אם הביכורים לא היו ראויים לקריאה, אזי הביכורים אסורים לאכילת כהן.

F. M. McNeill and E. Thro, *Fuzzy Logic: A Practical Approach*, Academic Press, New York, 28 1994

ן שניים
ון: לכל
ית אחת,

ם מסכת
לחפשי
ות כא כו
צא עבר
קבועים
בספרא
שת שלוח
ולדורות

נ מעורפל
ז) במסכת
שם מי נדר
נג זה הוא
שמושג זה
זם מי נדר.
לפי הדעה
דר. דעה זו
ור כי יפליא
נבדקין [בן]

ולא הסמוך
וך לאיש",
ה אפשרית
יו של קטן
פי פונקציה
ים בממוצע
ח בהדרגה.



היסק אנלוגי שכוח בשימוש בבינה מלאכותית באופנים שונים, שאחד העיקריים שבהם מכונה היסק מבוסס תקדימים (על-כך ראה דיון בהמשך).

סטטיסטיקה והסתברות

הסטטיסטיקה עוסקת באיסוף, ארגון, סיכום, הצגה וניתוח של נתונים בשיטות מדעיות וכן בהסקת מסקנות בנות-תוקף וקבלת החלטות המבוססות על ניתוח כזה²⁹ ואילו תורת ההסתברות היא המכשיר המתמטי הדין בתופעת הסדירות הסטטיסטית.³⁰ לעתים חז"ל משתמשים בענייני ספק בהכרעותיהם במושגים הרלוונטיים לסטטיסטיקה והסתברות, כגון: רוב, גורל, תוחלת, הסתברות מותנה ועוד. להלן נביא מספר דוגמאות לשימושים סטטיסטיים שונים:

- קבלת החלטה על-פי הרוב. לעתים רוב זה נקבע בהתבסס על נתונים סטטיסטיים. למעשה, זה נובע מן הכתוב "אתרי רבים להטות" (ראה תלמוד בבלי חולין יא ע"א). שלזינגר³¹ מביא כדוגמה לכך את המשנה הבאה בכתובות פ"א מ"י, י ע"ב: "מתנ' א"ר יוסי מעשה בתינוקת שירדה למלאות מים מן העין ונאנסה אמר רבי יוחנן בן נורי אם רוב אנשי העיר משיאין לכהונה הרי זו תינשא לכהונה" (המושג "משיאין לכהונה" פירושו, אין פוסלין בביאתן את האשה מלהינשא לכהן). דרך-אגב, רבינו עובדיה מברטנורא ואחרים הזכירו בפירושם שם שלהלכה נפסק שצריך רוב מיוחס יותר (אם כי גם הוא רוב הסתברותי) כדלקמן: "אע"ג דרובא חד סגי בעלמא, מעלה עשו ביוחסין, והכא אצרכוה רבנן תרי רובי, רוב סיעה העוברת שם ורוב העיר. ואין משיאין לכתחלה לכהונה אלא בתרי רובי, וכן הלכה".

- קבלת החלטה בהסתמך על המושג הסתברות מותנה. מושג זה מובנו שכאשר יש תלות בין המאורע A למאורע B, אזי $P(A)$ ההסתברות למאורע A הופכת להיות $P(A|B)$, כלומר ההסתברות למאורע A כאשר ידוע שהתרחש מאורע B. שלזינגר מביא במאמרו הנ"ל דוגמה לקבלת החלטה בהסתברות מותנה (מבלי לכנות זאת במונח הסטטיסטי) באמצעות דברי ר' עקיבא איגר בתוספותיו למשנה הנ"ל. ר' עקיבא איגר כותב שבעיר שיש בה נ"א כשרים ונ' פסולים, כהן מבין אנשי העיר שידוע שלא הוא זה שאנס, אסור לו להתחתן עם התינוקת משום שלגביו (שהוא כשר, כי כהן בוודאי משיא לכהונה) יש נ' כשרים ונ' פסולים.

נראה כיצד המושג של הסתברות מותנה שהוגדר לעיל מתקיים כאן:

$A =$ מותר לכהן להתחתן עם התינוקת (כאשר לא ידוע מי אנס). ההסתברות שמותר לכהן להתחתן עם התינוקת היא $P(A) = 51/100$ ו- $P(A) > 0.5$ כלומר רוב, ולכן מותר לכהן להתחתן עם התינוקת.

$B =$ הוא כהן שידוע שלא הוא זה שאנס. כאן אנו נזקקים לחשב לגבי כהן זה את $P(A|B)$, ההסתברות המותנה שיהיה מותר לו להתחתן עם התינוקת כאשר הוא כהן שידוע שלא הוא זה שאנס היא כאן כמובן $P(A|B) = 50/100 = 0.5$, וזה איננו רוב כנדרש ולכן הוא איננו יכול להתחתן עמה. בהמשך דבריו, מביא שלזינגר שלפי זה

29 מ"ר שפיגל, סטטיסטיקה (סדרת שאום: תיאוריה ובעיות), הוצאת סטימצקי, 1971.

30 א' גמזו, מבוא לתורת ההסתברות, הוצאת האוני' העברית, ירושלים, תשי"ח.

31 מ' שלזינגר, "הסתברות מציונותיות ו/או צדדים הלכתיים בהכרעת ספק", הגי'ן, 4 (1997), עמ' 66-72.

לאחיו הדר בעיר אחרת מותר להתחתן עמה וההסבר הוא שלגביו ההסתברות היא 51/100.

- קבלת החלטה בהסתמך על המושג תוחלת. תוחלת היא מושג סטטיסטי המביע את הממוצע הצפוי להתקבל עבור משתנה מקרי לאחר מספר רב של ניסיונות: קליין³² מציג מחלוקת בנושא מעילה (כריתות פ"ה מ"ב) בין ר' טרפון לר' עקיבא כאשר דעתו של ר' עקיבא מוצגת באמצעות המושג הסטטיסטי תוחלת.
- שילת³³ מברר ומראה כי ההליכה אחר הרוב במחלוקת הינה כלל הסתברותי. דיון לגבי סוגים של רוב ושימוש בהם ניתן לראות במאמרו של טיילור.³⁴ המושגים של רוב וקבוע נידונים במאמריהם של קופל³⁵ ו-Werblowsky.³⁶ דוגמאות נוספות לחישובים הסתברותיים ניתן לראות במאמרו של שלזינגר ובמאמרו של מרצבך ומילר.³⁷ מאמרו של מרצבך הודן בתהליכים מקריים לפי תפיסת חז"ל,³⁸ מאמרו הודן במקריות ואקראיות,³⁹ מאמרו הודן בהגרלה בעידן התפילה,⁴⁰ בסטטיסטיקה ובברכה הסמויה מן העין.⁴¹ קגן דן בנושא של חוקי פסק במקום ספק.⁴²

היסק מבוסס-כללים

היסק מבוסס-כללים (rule-based reasoning) פירושו פתרון בעיות בעזרת אוסף כללים המנוסחים מראש הפועלים על עובדות הנמצאות במסד הנתונים. כל כלל מורכב מאוסף של תנאים, שאם כולם מתקיימים, מבוצעת תוצאת הכלל והיא מתוספת כעובדה למסד הנתונים. בנוסף, מנוסחים כללים לקביעת סדר-עדיפויות לשימוש בכללים הנ"ל וכללים הדנים בפתרון סתירות בין כללים.

חז"ל השתמשו רבות בכללים מנוסחים מראש. בראש ובראשונה מפורסם השימוש בשלוש-עשרה מידות שהתורה נדרשת בהן (ראה דיון בכך קודם לכן). אולם חז"ל לדורותיהם כתבו ספרים שונים המכילים אוספי כללים נוספים בתחומים תורניים רבים בכלל, ובתחום הבנת התלמוד ודרכי לימודו בפרט. בין היתר ניתן להזכיר את הספרים הבאים: "יעיר און עין זוכר" להרב חיים יוסף דוד אזולאי⁴³ הודן בכללי הגמרא, כללי הפוסקים וכללי הדינים, ספר "דרכי נועם" ובו כללים לבא אל פתח שער התלמוד שנכתב

- 32 א' קליין, "חישוב הסתברותי במשנה", הגיון, 1 (1989), עמ' 91-94.
- 33 י' שילת, "ההליכה אחר הרוב במחלוקת — כלל הסתברותי?", ספר הגיון, עמ' 105-111.
- 34 נ' טיילור, "קריטריונים של עדות, רוב, חזקה וקבוע", הגיון, 1 (1989), עמ' 12-22.
- 35 מ' קופל, "מה בין 'קבוע' ל'פריש'", הגיון, 1 (1989), עמ' 9-11.
- 36 Y. Werblowsky, "Rov and Probability", HIGAYON, 4, (1997), pp. 5-22.
- 37 מ' שלזינגר, "הסתברות מציאיתית ו/או צדדים הלכתיים בהכרעת ספק", הגיון, 4 (1997), עמ' 66-72; ע' מרצבך ור' מילר, "חישוב הסתברותי והיבט רוחני בטוגית חמשה ולדות שנתערבו", הגיון, 3 (תשנ"ו), עמ' 155-160.
- 38 ע' מרצבך, "תהליכים מקריים לפי תפיסת חז"ל", הגיון, 1 (תשמ"ט), עמ' 31-38.
- 39 ע' מרצבך, "על מקריות ואקראיות", הגיון, 3 (תשנ"ו), עמ' 48-51.
- 40 נ' טיילור וע' מרצבך, "הגרלה בעולם התפילה", הגיון, 4 (1997), עמ' 105-112.
- 41 ע' מרצבך, "הסטטיסטיקה והברכה הסמויה מן העין", בד"ד, 2 (חורף תשנ"ו), עמ' 5-10.
- 42 ד' קגן, "חוקי פסק במקום ספק", הגיון, 1 (תשמ"ט), עמ' 23-30.
- 43 ח' ד' אזולאי, יעיר און עין זוכר, תרמ"ה, הוצאה מחודשת ע"י המוסד לעידוד התורה, תשנ"ב.

ע"י רבי שלמה די אוליוירה, 44 ספריו של שלמה אלגאזי: גופי הלכות, 45 הליכות אלי, 46 הליכות עולם לרב ישועה הלוי, 47 הכולל בהוצאתו הנ"ל גם את "כללי הגמרא" על הליכות עולם למרן רבי יוסף קארו (נמצא גם כספר בפני עצמו); 48 "יבין שמועה" על הליכות עולם של אלגאזי, "יד מלאכי" האנציקלופדיה של מלאכי הכהן, 49 שליטת וערך את כללי הגמרא, כללי הפוסקים וכללי הדינים, "פחד יצחק השלם" — האנציקלופדיה לערכי התורה שבעל-פה בסדר אלף-בית, הכוללת גם היא כללים הלכתיים שונים ותבניות, שנכתבה ע"י יצחק למפרונטי, 50 "ספר דרך תבונות" לרמח"ל משה חיים לוצאטו, 51 המביא עקרונות, כללים ותבניות להבנת סוגיות הש"ס, ספר "צפנת פענח" לרבינו יוסף ראזין, 52 הדין בכללי התורה והמצוות, "דרכי וכללי הגמרא מרבתינו הקדמונים: רבינו יצחק קנפאטון, רבינו עמנואל הספרדי, רבינו הרדב"ז" וכללים נוספים שנתפרסמו בספר חדש שנדפס, 53 "דרכי התלמוד" לרב יצחק קנפאטון, 54 "שערי למוד", המביא עקרונות וכללים להבנת סוגיות הש"ס, שנכתב בידי אליהו קרופניק, 55 ו"ספר כריתות" להרב שמשון מקינון, 56 כולל בתוכו חמישה חלקים: ביאור שלוש עשרה מידות שהתורה נדרשת בהן, מידות הקדשים, שלושים ושתיים מידות של רבי אליעזר בנו של רבי יוסי הגלילי, דרכי התנאים והאמוראים וכללים במשנה ותלמוד.

מערכות מחשב מבוססות-כללים

Levenson הציע בעבודת הדוקטורט שלו, 57 מודל ממוחשב לתיאור תהליך ניתוח טקסט תלמודי בשיטת הלימוד הבריסקאית. שיטת לימוד זו מתאפיינת, בדרך כלל, בהצגת שתי אלטרנטיבות הגיוניות המייצגות דעות שונות בוויכוח שהוזכר בתלמוד או במפרשיו, לפירוש הסוגיה המביאות למסקנות סותרות. המודל יושם במערכת מחשב אינטליגנטית מבוססת-כללים המשמשת לאימון סטודנטים לתלמוד.

- 44 ש' די אוליוירה, ספר דרכי נועם, מפתח הכללים לבא אל פתח שער התלמוד, הוצאה מחודשת ע"י המוסד לעידוד התורה [ללא שנה].
- 45 ש' אלגאזי, גופי הלכות, ת"א, תשד"ם.
- 46 ש' אלגאזי, הליכות אלי, ירושלים, תשנ"ח.
- 47 י' הלוי, הליכות עולם, ירושלים, תשנ"ח.
- 48 י' קארו, כללי הגמרא, ווארשא, תרמ"ג.
- 49 מ' הכהן, יד מלאכי, הוצאת המוסד לעידוד לימוד התורה, ספריית בני תורה המרוכות, ירושלים, תשנ"א.
- 50 י' בן שמואל למפרונטי, פחד יצחק השלם, הוצאה שנייה, הוצאת צבי קאנל, תרצ"ה.
- 51 מ' ח' לוצאטו, ספר דרך תבונות, תרמ"ז, נדפס מחדש ע"י הוצאת אשכול, ירושלים, תשל"ג.
- 52 י' ראזין, צפנת פענח, הוצאת מכון "צפנת פענח", ירושלים, תשל"ד.
- 53 י' קנפאטון, ע' הספרדי, הרדב"ז, דרכי וכללי הגמרא מרבתינו הקדמונים: הוצאה מחודשת ע"י המוסד לעידוד התורה, לא ידועה שנת ההוצאה לאור.
- 54 י' קנפאטון, דרכי התלמוד לר' יצחק קנפאטון, בעריכת יצחק שמשון לנגה, הוצאת העורך, תשמ"א.
- 55 א' קרופניק, שערי למוד, הוצאת המוסד לעידוד התורה [ללא שנה].
- 56 ש' מקינון, ספר כריתות, הוצאת דברי סופרים, ירושלים, תשמ"ג.
- 57 S. Levenson, *An Analysis of the Problem-Solving Technique of a Talmudical Expert*, Ph.D. Thesis, New York University, 1984, Also appears in University Microfilms International, 8505431, Ann Arbor, Michigan, 1986

חז"ל גם קבעו עשרות כללים לפסיקת הלכה, ביניהם כללים לפסיקה במחלוקות תנאים. אמנם, נאמר במסכת סוטה (כב ע"א) שהפוסקים הלכה מתוך המשנה הם מבלי עולם ורש"י שם מביא מספר טעמים: הם אינם מבינים את טעמי המשניות, יש משניות שהן דעת יחיד ואין הלכה כמותן, לעתים המשניות חסרות ועוד. לכן, חז"ל קבעו שאין למדין הלכות אלא מן האמוראים בגמרא, מכיוון שהם הבינו את סברות התנאים, ירדו לטעמי הדברים, וידעו להכריע נכונה. אולם, יחד עם זאת, כתבו מספר פוסקים (ראה האנציקלופדיה התלמודית בשם הרשב"א והר"י פיק) שכאשר נאמר במשנה שההלכה נפסקה כפלוני והיא אינה סותרת את הכללים הסדורים לנו, אכן כך ההלכה.

מערכת נוספת, שבנייתה עדיין לא נסתיימה, נבנתה במכון לב בהנחיית. המערכת מציעה פסקים (לא להלכה) עבור משניות על-פי כללי-פסיקה לגבי משנה בודדת בלבד. הכללים לפסיקת הלכה במחלוקות תנאים נוסחו על-ידי חז"ל והובאו במקורות שונים (למשל: ברייתות וגמרות). לוקטו על-ידינו כמאה כללים ממקורות שונים (ובראשם מן האנציקלופדיה התלמודית בערכים השונים במושג הלכה). הכללים סווגו לארבע קבוצות שונות:

1. כללים פשוטים — כללים הדנים במחלוקת בין תנאים, לדוגמה:
 - ר' יהודה ור' מאיר הלכה כר' יהודה
 - הלכה כרבי עקיבא מחברו
 - בית הלל ובית שמאי הלכה כבית הלל
 2. כללים תבניתיים — כללים הנכונים באופן כללי במחלוקת בין תנאים. לדוגמה:
 - יחיד ורבים הלכה כרבים
 - אין הלכה כתלמיד נגד רבו
 - הלכה כסתם משנה
 3. כללי-על (meta-rules) — כללים הדנים בפתרון סתירות בין כללים. לדוגמה:
 - באותה משנה מחלוקת ואחרי זה סתם, הלכה כסתם
 - באותה משנה סתם ואחרי זה מחלוקת, אין הלכה כסתם
 - הכלל של הלכה כרבי אליעזר בן יעקב נדחה מפני הכלל של הלכה כרבי יוסי מחברו
 4. כללים ספציפיים — כללים הדנים במשניות ספציפיות. לדוגמה:
 - אין הלכה כרבן שמעון בן-גמליאל בשלושה מקרים ספציפיים (כלל אחד לכל מקרה)
 - הלכה כרבי אליעזר בארבעה מקרים ספציפיים (כלל אחד לכל מקרה)
- בנוסף נוסחו סדרי-עדיפויות לשימוש בכללים אלה על-מנת לאפשר הכרעה מהירה והכרעה בסתירות בין הכללים הנ"ל שאינם מטופלים על-ידם, כדלקמן:
1. אם יש כלל ספציפי, הלך על פיו והלכה כמותו וסיים
 2. מצא את כל הכללים הרלוונטיים והסק עפ"י כל אחד מהם
 3. אם אין סתירה בכללים הצג את המסקנה האחידה וסיים
 4. אם יש סתירה/ות בין מסקנות היוצאות מכללים רלוונטיים כלשהם
 5. אם יש כללי-על הפותרים [את כל] סתירה/ות זו/אלו השתמש ב/הם והלכה לפי/הם

גלי, 46
ליכות
עולם
מרא,
תורה
ה ע"י
ונות,
כללי
רבינו
ירכי
וגיות
תוכו
ושים
ללים

זקסט
שתי
ישיר,
גטית

ית ע"י

שלים,

זמוסד

זמ"א.

S. Le
Thesi

6. אם אין כלל-על הפותר סתירה זו הצג את כל הדעות עפ"י כל הכללים הרלוונטיים
7. הצע הערכה פשוטה לפסיקה עפ"י רוב דעות מבין הדעות הנ"ל
8. הצע הערכה משוקללת לפסיקה עפ"י רוב משקלות מבין הדעות הנ"ל

היסק מבוסס-תקדימים

היסק מבוסס-תקדימים (case-based reasoning) פירושו פתרון בעיות באמצעות ניסיון, שניתן לבטאו על-ידי מקרים דומים פתורים. היסק מבוסס-תקדימים עוסק בהתאמת פתרונות ישנים למצבים חדשים, בשימוש בתקדימים ישנים למתן הסבר למקרים חדשים או בבקרה של פתרונות חדשים.

ידוע שבמקרים רבים ההיסטוריה תוזרת על עצמה וכבר אמר החכם מכל אדם "מה שהיה הוא שיהיה ומה שנעשה הוא שיעשה ואין כל חדש תחת השמש". יש דבר שיאמר ראה זה חדש הוא כבר היה לעלמים אשר היה לפנינו" (קהלת א, ט-י). התורה מדריכה אותנו ללמוד מההיסטוריה ומבעלי הניסיון כפי שנכתב בפרשת האזינו: "זכר ימות עולם בינו שנות דר ודר שאל אביך ויגדך זקניך ויאמרו לך" (דברים לב, ז). הלימוד מניסיון הוא זה שמקנה לאדם את חכמתו, כנאמר בפרקי אבות "בן זומא אומר איזהו חכם הלומד מכל אדם שנאמר מכל מלמדי השכלתי..." (פרקי אבות פ"ד מ"א). חכמה זו מאפשרת לאדם לחזות את העתיד ולדעת כיצד להתנהג בהווה "איזוהי דרך ישרה שידבק בה האדם... רבי שמעון אומר הרואה את הנולד" (פרקי אבות פ"ב מ"ט). ומסביר ברוך הלוי עפשטיין (עפ"י פירושו של רש"י לפס' הנ"ל מספר דברים) בספרו⁵⁸ בעמ' קמה ש"המסתכל במה שעבר אפשר שיכוין מזה את העתיד, ומה שעבר מכונה נולד שכבר נולד. והכנה שרואה את התולדה הבאה עפ"י מה שנולד כבר".

חז"ל השתמשו רבות בתקדימים מסוגים שונים בבואם לבצע או לחזק היסק כלשהו או למנוע היסק כלשהו. בד"כ השימוש בתקדים מאופיין על-ידי שימוש במילת מפתח או במילות מפתח. להלן נדגים מספר שימושים בתקדימים ותפקידם:

- "מעשה ב..." המובא לעתים כראיה להלכה שקדמה לו (למשל ברכות פ"א מ"א).
- "תנאי נמי הכי" להבאת ברייתא מסייעת המחזקת דעה מסוימת.
- "התנן" / "התניא" להבאת קושיה ממשנה/מברייתא.
- "תנאי שקלת מעלמא? תנאי היא, אישמיטיה הא" — לא נעשה שימוש בתקדים בעוד שהיה צריך להשתמש בו.
- "לימא כתנאי" (למשל פסחים כג ע"א וסוכה לג ע"א) המנסה להציג מחלוקת אמוראים כמחלוקת קודמת בין תנאים. הצגה כזו, מטרתיה העיקריות הן לעורר קושיה על האמוראים מדוע הם חולקים בסוגיה בה כבר חלקו גדולים מהם, ולדעת כמי לפסוק הלכה על-פי זיהוי האמורא ההולך לפי תנא מסויים ואז שימוש בידע כדי לדעת כפי מי הלכה במחלוקת התנאים הנ"ל.

תסריט - script

ה-⁵⁹script הינו מבנה ידע שהוגדר בבינה מלאכותית לייצוג סיפור עלילתי (רצף של

58 ב' הלוי עפשטיין, ברוך שאמר על פרקי אבות, תל-אביב [ללא שנה].

59 R. C. Schank and R. P. Abelson, *Scripts, Plans, Goals and Understanding: an Inquiry into Human Knowledge Structures*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1977

מאורעות) בס
אנשים. הוא מ
מצבים, התלוי
רוב את ארבע
מהמסעדה. אי

ה-⁶⁰script
בהינתן סיפור
לדוגמה, אדם
למסעדה והזמי
למשל כי אכל
השימוש ב-
באנציקלופדיה
הסוברים, שהלו
שנים עשר חוד
השאלה היא אי
מחלוקת ראשון
לשחיטתה, ולכן
כי הגבינות מותר
זאת נטרפה עתו

מאורעות) בסיסי. ה-script הינו תסריט ידוע ומקובל בקרב קבוצה גדולה יחסית של אנשים. הוא מתואר על-ידי סדרת מאורעות סבירים קבועה מראש, מרוכת פעולות ומועטת מצבים, התלויה בהקשר מסוים, למשל: התסריט של אכילה במסעדה כולל בתוכו על-פי רוב את ארבעת המאורעות / הסצינות הבאות: כניסה למסעדה, הזמנה, אכילה ויציאה מהמסעדה. איור ג מתאר תסריט זה.



איור ג: תסריט המסעדה

ה-script מנוסח על-פי ניסיון ומיועד להבנת מאורעות חדשים מאותו הקשר. למשל, בהינתן סיפור שידוע לנו סופו ניתן להבין מה כנראה התרחש בתחילתו בעזרת ה-script. לדוגמה, אדם שראינו כי אכל ויצא מן המסעדה, אנו מבינים כי קודם לכן הוא נכנס למסעדה והזמין ארוחה. זוהי הבנה הגיונית אם כי לא מחוייבת המציאות, משום שייתכן למשל כי אכל את הדברים שהוזמין חברו, שיצא החוצה.

השימוש ב-script ניתן להדגמה עבור נושאים שונים. לדוגמה, נראה מקרה המובא באנציקלופדיה התלמודית (כרך יג, ערך חזקה, סעיף יא "כשלא נתבררה בשעתה"): על-פי הסוברים, שהלכה כמותם, שטריפה אינה חיה שנים עשר חודש, הרי בהמה שחייתה מעל שנים עשר חודש, נשחטה ונמצאה טרפה, הרי נתברר למפרע שבהמה זו נולדה כשרה. השאלה היא אימתי אומרים אנו שנטרפה הבהמה סמוך ללידתה או סמוך לשחיטתה. ישנה מחלוקת ראשונים האם מעמידים את הבהמה על חזקתה שנולדה כשרה ונטרפה רק סמוך לשחיטתה, ולכן למשל הגבינות שנעשו מחלבה קודם שחיטתה — כשרות. ישנם הפוסקים כי הגבינות מותרות משום חזקה הבאה מכוח הרוב, הואיל ורוב הבהמות אינן טריפות ולכן זאת נטרפה עתה. לפי שיטת פוסקים אלו נציג את המקרה כולו באמצעות איור ד.



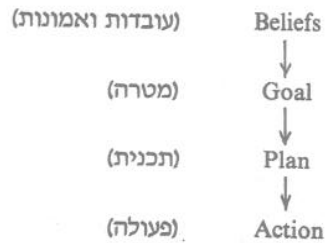
איור ד: תסריט הזן בגבינות מבהמה שנשחטה ונמצאה טריפה

יים
זמן
ז א
מה
ראה
ותנו
בינו
א זה
אדם
חזות
מעון
רושו
ופשו
ולדה
הו או
נח או
א"
ו בעוד
זלוקת
לעורר
ולדעת
דע כדי
נף של
R. C. S

לכן, אם לא ידועה לנו תחילת הסיפור: כיצד נולדה הבהמה (כשרה או טריפה) ואם נולדה כשרה מתי נטרפה, אלא ידוע לנו רק כי הבהמה נשחטה לאחר יותר משנים עשר חודש בהם חייתה ואז נמצאה טריפה. אזי לפי ה-script הנ"ל, על-פי החזקה הבאה מכוח הרוב (אף-על-פי שאינה וודאית), אזי הגבינות שנעשו מחלבה לפני שחיטתה מותרות.

תבנית הסבר המכילה כוונות — intent explanation

ה-intent explanation⁶⁰ הינה תבנית הסבר שהוגדרה בכינה מלאכותית לצורך ביאור פעולה מסוימת על-פי כוונותיה. מבנה ידע זה מיועד לבאר את מעשיו של מקבל ההחלטה או לחזות מעשה שיעשה או צריך להיעשות עפ"י עובדות המקרה, אמונותיו של מקבל ההחלטה וכוונותיו. Schank מציע עבור ה-intent explanation את המבנה הכללי הבא (איור ה):



איור ה: ה-intent explanation

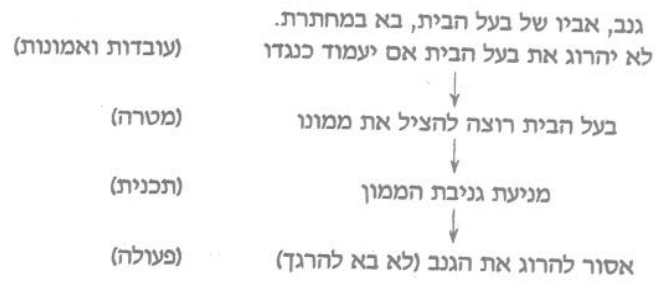
להלן נביא משנה שניתן להציג באמצעות ה-intent explanation. משנה ו במסכת סנהדרין פרק ח אומרת "הבא במחתרת נדון על שם סופו. היה בא במחתרת ושבר את החבית. אם יש לו דמים חייב. אם אין לו דמים פטור". נבאר את הרישא של משנה זו "הבא במחתרת נדון על שם סופו" על-פי פירושו של קהתי המבוסס על הגמרא למשנה זו (סנהדרין עב ע"א) ומפרשיה: מובן כי גנב הבא במחתרת אין לו דמים, כלומר מותר להרגו. הסיבה שמותר להרגו היא משום שהוא נדון על שם סופו, כלומר משום ההערכה שסופו להרוג את בעל הבית אם יעמוד כנגדו להציל את ממונו. והרי ידוע כי "חזקה אין אדם מעמיד עצמו על ממונו", כלומר, אין אדם מותר כשרואה שעומדין ליטול את ממונו. והגנב יודע זאת ובוודאי החליט שאם בעל הבית יעמוד כנגדו יהרגנו, ולכן אמרה התורה "הבא להרגך השכם להרגו". אולם, אם ברור שהגנב לא בא במחתרת אלא עבור ממון, ולא יהרוג את בעל הבית אם יעמוד כנגדו, כגון אב הבא במחתרת על בנו, שידוע שרחמי האב על הבן, אסור להרגו וההורגו חייב כהורג נפש. ניתן להדגים ביאור זה באמצעות שני intent explanations: אחד (איור ו) עבור גנב זר הבא במחתרת ואחד (איור ז) עבור גנב הבא במחתרת, שהוא אביו של בעל הבית.

R. C. Schank, *Explanation Patterns: Understanding Mechanically and Creatively*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1986 60

שיטות ייצוג ידע ושיטות היסק במחשבת חז"ל



איור 1: intent explanation עבור גנב זר הבא במחתרת



איור 2: intent explanation עבור גנב, אביו של בעל הבית, הבא במחתרת

ה. סיכום ומחקר עתידי

מאמר זה מציג ומדגים מגוון נרחב של שיטות בהן השתמשו חז"ל לייצוג ידע והיסק. יחד עם זאת מציג המאמר דמיון רב בין שיטות אלו ובין שיטות מקבילות בבינה מלאכותית. אין אנו טוענים כי חז"ל המציאו את הבינה המלאכותית או הכירו את מושגיה. אולם, בהחלט, ניכר כי חלק משיטות ייצוג הידע ושיטות ההיסק בהן משתמשים כיום בתחום הבינה המלאכותית היו נהירים לחז"ל שנים רבות קודם לכן, לפחות מן הבינה הבסיסית. נראה לנו כי בכך תורם המאמר לחיזוק הקשר בין תורה ומדע בכלל ובין תורה ובינה מלאכותית בפרט, ומאפשר תרומה והפריה הדדית בין ההיגיון של חז"ל ובין המחשבה המדעית המגולמת בבינה מלאכותית. מחקר עתידי יוכל להעמיק בחקר הדמיון והשוני בין אופני הייצוג וההתמודדות עם ידע והיסק בחז"ל ובין אופנים אלו בבינה מלאכותית וללמוד מתחום אחד למשנהו.

מחד גיסא, יהיו דברים שניתן ללמוד מחז"ל, כגון:

- בתחומים בהם משתמשים בהיסק מבוסס-תקדימים ניתן ללמוד מרעיונות מגוונים הנמצאים בשימוש בתקדימים בחז"ל. למשל, ביישומים משפטיים – לעמת בין תקדימים, להשוות מחלוקות למחלוקות קודמות ולפסוק בהתאם, לבקר מדוע לא השתמשו בתקדים כשיכלו לעשות זאת.

- בהיסקים המבוססים על סטטיסטיקה והסתברות ניתן להגדיר בצורה ברורה יותר מתי היסקים מסוימים יתקבלו כקבילים ומתי לא.
- מאידיך גיסא, ייתכן כי ניתן יהיה להכין את דברי חז"ל טוב יותר או לייצגם בצורה המתאימה יותר לתקופתנו באמצעים של בינה מלאכותית, תיאורטיים ומעשיים כאחד. למשל:
- להשתמש בשיטות הצגת ידע לביצוע אחזור אינטליגנטי על־פי אסוציאציות והקשרים.
- לנסח תורות לוגיות שניתן יהיה להשתמש בהן להבנת ו/או להבהרת מספר נושאים עקרוניים, כגון: המשא ומתן בגמרא, דרשות חז"ל.

מובן שיש לסייג את הלימוד האפשרי. ישנם דברים שלא ניתן ללמוד מתחום לתחום. חז"ל משתמשים בכללים ייחודיים רק להם, כגון: שימוש ב"גזירה שווה" שהינו הלכה למשה מסיני, בקדשים "אין למדין למד מן הלמד", גימטריות, ו"דברי תורה מדברי קבלה לא ילפינן". בינה מלאכותית מטפלת גם בתחומים שאין בהם נפקא מינה (לפחות לא במישורין) לעניינים תורניים, כגון: בעיות בתורת המשחקים, יישומים הנדסיים, וגרפיקה ממוחשבת.

מ

ח
ש
4)
ב
ל
ש
מ
ה
ש
ו
ה
מ
ז
ב
ב
פ
ו
1
2