



## המחשב אינו כל יכול\*

דוד הראל, תרגמה מאנגלית: תמר אלמוג, ספרי עליית הגג, הוצאת ידיעות אחרונות. 271 עמ', 84 ש"ח  
! דרוד

איך לרצף חדר במרצפות שכל אחת מהן צבועה בארבעה צבעים, מבלי ששני שטחי צבע במרצפות שכנות יהיו זהים. תוך זמן קצר מתחוויר לקוראים שמדובר בבעיה בלתי ניתנת לפתרון. "אין, ולעולם לא יהיה, אלגוריתם שיפתור את בעיית הריצוף!" כותב הראל ומדגיש שבעיות מהסוג הזה, המכונות "בלתי ניתנת להכרעה" אינן נדירות במיוחד. הראל מכיר את הטיעון שלפיו מחשב חזק יותר יוכל לפתור את הבעיה, ולכן הוא מגיב מיד: "ובכן קורא יקר, לא, אתה לא יכול... איך יכול לפתור אותה, וגם אף אחד אחר אינו יכול לעשות זאת, ולא משנה כמה עשיר, סבלני או חכם הוא יהיה" (עמ' 63).

בהמשך מדגים הראל כמה בעיות נוספות שנראות על פניהן מדהימות, כמו מקרים שבהם המתמטיקאים אינם מסוגלים לומר מתי התוכנית עוצרת. משעשע במיוחד לגלות שהמתמטיקאים מתמודדים עם קטגוריה המכונה "בעיות בלתי ניתנות לחישוב ביותר". נראה שהתוספת "ביותר" נולדה בראשם של מתמטיקאים מתוסכלים במיוחד, שלא יכלו להמחיש עוד עד כמה הבעיה סבוכה.

בעיות אחרות שבהן עוסק הראל הן בעיות שיתכן שניתן יהיה לפתור אותן, אבל זמן הפעולה של המחשב הנדרש עד שיגיע לפתרון כה ממושך, עד שהוא הופך את עצם פתרון הבעיה לחסר כל משמעות. לעתים יש צורך במחשב בעל כל כך הרבה זיכרון שגם "אילו היתה כל סיבית בגודל של פרוטון, לא היה מספיק כל היקום הידוע כדי להכיל את המכונה הזאת" (עמ' 123). בחלק מהמקרים יש צורך בסבלנות כדי לצלוח את ההסברים המעט מורכבים למי שאינו עוסק בבניית משוואות בחי" היומיום.

בהמשך הספר בוחן הראל כמה אפשרויות שיוכלו "לסלק את החדשות הרעות". כך לדוגמה הוא בוחן האם מחשב מקבילי עשוי לפתור חלק מהבעיות שנחשבו לבלתי פתירות. התשובה שלו היא "לא". מאידך הוא מותיר מקום לתקווה בכל הקשור לפתרון בעיות שהוא מכנה "בלתי סבירות", זאת בשל חוסר הסבירות הקיצוני באשר ליכולתם של המחשבים הקיימים לפתור אותן.

לקראת סוף המאה ה-20 הבינו בני האדם עד כמה הם תלויים במחשבים. הסיבה לכך היתה באג 2000. כמעט כל המומחים הסבירו מה יקרה אם ברגע נתון יחדלו כל המחשבים לעבוד בגלל שמישהו לא חשב שלקלט השנה יש להקצות ארבע ספרות (כלומר "2000") ולא רק שתיים (כלומר "00"). מיליארדי דולרים הוצאו בתקופה שלפני ה-31 בדצמבר 1999 כדי להתאים את המחשבים לעידן החדש.

בעוד שבדיעבד כולם יודעים שדבר מבין התחזיות האפוקליפטיות לא אירע, הרי שהאנושות קלטה בתוך כך עד כמה היא זקוקה למחשבים באותה תקופה, התחושה בקרב רבים היתה שמחשבים יכולים לעשות הכל ואין בלתם. לתחושה זו תורמים מאמצי השיווק של ענקי המחשוב כמו חברת אינטל, שמנסה לשכנע אותנו שהמעבר המרכזי (CPU) האחרון שפיתחה הוא מהיר יותר, חזק יותר ויודע לעשות יותר דברים מהמעבד הקודם. או חברת מיקרוסופט שמדי שנתיים משיקה מערכת הפעלה חדשה שהופכת את המחשב, לפחות לטענתה, ליישות מדהימה ביכולותיה המסוגלת לעשות כל דבר שרק תחפוץ.

הספר של פרופ' דוד הראל ממכון ויצמן ברחובות, שזכה השנה בפרס ישראל, הוא משב רוח מרענן מבחינה זו שהוא בא לנתץ את הנחת המוצא - שהמחשב מסוגל לעשות הכל. הוא עושה זאת כבר בשם הספר: "המחשב אינו כל יכול". בשבעת פרקי הספר מנסה הראל להוכיח את התזה שאותה הוא מרחיב לכדי ביטול ההנחה שככל שהמחשבים יהיו חזקים יותר, כך ילכו ויצטמצמו הבעיות שעמן המחשב אינו מסוגל להתמודד. הראל קובע כי הבעיה ברוב המקרים אינה טכנולוגית אלא תיאורטית: המחשב פשוט אינו מסוגל לפתור חלק מהבעיות שנציב בפניו, אלה לדבריו, החדשות הרעות.

הראל מתחיל מאבני הבניין הבסיסיות ביותר בעולם המתמטיקה, כדי שלקורא יהיה המטען המספיק להבין את טיעונו. כך לדוגמה הוא מסביר מהו אלגוריתם, וכיצד תוכנות המחשב ניגשות לטפל באלגוריתמים שונים. כבר בפרק השני של הספר ממחיש הראל את טענותיו באמצעות הצגת בעיה שנראית תחילה פשוטה, ושמה "בעיית הריצוף":

\*Computer Ltd. What they really can't do David Harel



בראיון לעיתון "גלובס" לקראת צאת הספר, ביקש הראל, כמעט בבהלה, להתרחק מהכינוי המטריד "מדע פופולרי". "אני מעדיף לכנות זאת 'תיבה אקספוזיטורית'. חלום הבלהות של מדען הוא להיזכר רק כמי שכתב ספרות פופולרית", אמר בראיון. אין חשש שהראל ייזכר ככזה.

ראשית, הספר נמצא דרגה אחת או שתיים מעל ספרי המדע הפופולריים שכן הוא דורש מידה מסוימת ולא בלתי מבוטלת של הבנה מתמטית. למרות שהספר אינו דורש חמש יחידות בגרות במתמטיקה, הידע הנדרש רחוק מלהיות טריוויאלי ולעתים יש לקרוא פעם אחר פעם את המשפטים השונים כדי לרדת לעומקם (וגם זה לא תמיד מצליח). זאת ועוד, הראל נחשב למדען מהשורה הראשונה וייתכן שהיה יכול להרשות לעצמו לפשט את טיעונו במעט כדי לקרב לנושא קוראים נוספים, מבלי לחשוש שעמיתיו יזלזלו בו רק משום שבחר להסביר להמונים מה שכבר כל כך ברור להם עצמם.

יש לציין שהספר, שיוצא כעת במהדורה העברית, רחוק מלהיות ספר חדש. המהדורה הראשונה התפרסמה כבר בשנת 2000. השוואת שני הספרים מלמדת שהראל ועורכי המהדורה בעברית כמעט לא עידכנו את הספר (ואם עשו זאת, לא הצלחנו להבחין בכך) למרות שחלפו כבר ארבע שנים מזמן פרסומו. ייתכן שהראל מרגיש שדבר לא השתנה מאז, לפחות בכל הקשור בסוגיות התיאורטיות שבהן הוא דן. ייתכן שהוא צודק, ובכל זאת, חבל שהקורא הישראלי לא זוכה בצימוק כלשהו שאולי היה מפצה אותו על ההמתנה הארוכה והבלתי מוצדקת לתרגום הספר לערבית.

מצד שני, אין לחסוך בשבחים מהראל, שבשיאה של ההתלהבות הטכנולוגית מהמחשבים והאינטרנט בחר לפרסם ספר שבו ניתן היה להשתמש כסיכה, כדי לתקוע אותה בבועה שהלכה והתנפחה, וראתה במחשבים וביכולתם החישובית את חזות הכל.

בעיות אחרות שבהן עוסק הראל הן בעיות שיתכן שניתן יהיה לפתור אותן, אבל זמן הפעולה של המחשב הנדרש עד שיגיע לפתרון כה ממושך, עד שהוא הופך את עצמו פתרון הבעיה לחסר כל משמעות. לעתים יש צורך במחשב בעל כל כך הרבה זיכרון שגם "אילו היתה כל סיבית בגודל של פרוטון, לא היה מספיק כל היקום הידוע כדי להכיל את המכונה הזאת" (עמ' 123). בחלק מהמקרים יש צורך בסבלנות כדי לצלוח את ההסברים המעט מורכבים למי שאינו עוסק בבניית משוואות בחי" היוםיום. בהמשך הספר בוחן הראל כמה אפשרויות שיוכלו "לסלק את החדשות הרעות". כך לדוגמה הוא בוחן האם מחשוב מקבילי עשוי לפתור חלק מהבעיות שנחשבו לבלתי פתירות. התשובה שלו היא "לא". מאידך הוא מותיר מקום לתקווה בכל הקשור לפתרון בעיות שהוא מכנה "בלתי סבירות", זאת בשל חוסר הסבירות הקיצוני באשר ליכולתם של המחשבים הקיימים לפתור אותן.

הראל נוגע גם במונחים נוספים שמעוררים תקוות בקרב אנשי המחשבים, כמו מחשבים קוונטים או חישוב מולקולרי. בעוד שהראל מסכים שמדובר בתחומים מלהיבים, הוא ספקני באשר ליכולתם לסלק לחלוטין את החדשות הרעות. למרות זאת בפרק השישי מצביע הראל על הדרך שבה ניתן לרתום לטובתנו את הסיבוכיות העצומה בתחומים רבים, כמו במקרים של הצפנה שבה מספרים עצומים ומורכבים דווקא מגינים עלינו.

הפרק השביעי והאחרון בספר מעט זר למהלך הטבעי של הספר. בעוד שהראל עוסק בהסברים להדיוטות באשר לסיבות שבגינן מחשבים אינם מסוגלים לבצע כל דבר, בפרק האחרון הוא מתמקד בדעותיו האישיות באשר ליכולת הבינה המלאכותית ובאפשרות שיום אחד תגיע למצב שבו היא תשווה לרמת הבינה האנושית. גם במקרה הזה הראל אינו אופטימי (או פסימי, תלוי בנקודת המבט), ואינו חושב שהרובוטים או המחשבים יגיעו אי פעם ליכולת האינטלגנציה האנושית. זה טוב ויפה, אבל במקרה הזה, זוהי רק דעתו של הראל וימים יגידו אם הוא צודק או לא.

## שלמי תודה:

אנו מודים למר מיכאל הנדלזלץ, עורך המדור "ספרים" ב"הארץ", ממנו לקוחה כתבה זאת (הארץ, ספרים 12, 2.6.04), ולמר יובל דרור, שברשותם האדיבה הבאנו את הכתבה.