

25.45x34.24	1	8	עמוד	הארץ - כותרת	23/01/2020	71709461-5
הטכניון מכון טכנולוגי לישראל - 80616						

חיידק שהוא גם מחשב: רעיונות דיגיטליים יוצרים ביולוגיה חדשה

חוקרים יצרו חיידק שיודע לערוך חישובים מתמטיים, במטרה לרתום את יכולת החישוב הביולוגית למען האדם. היישומים עשויים להיות נרחבים: מניטור רעלנים ועד טיפול בתאים סרטניים

אסף רונאל

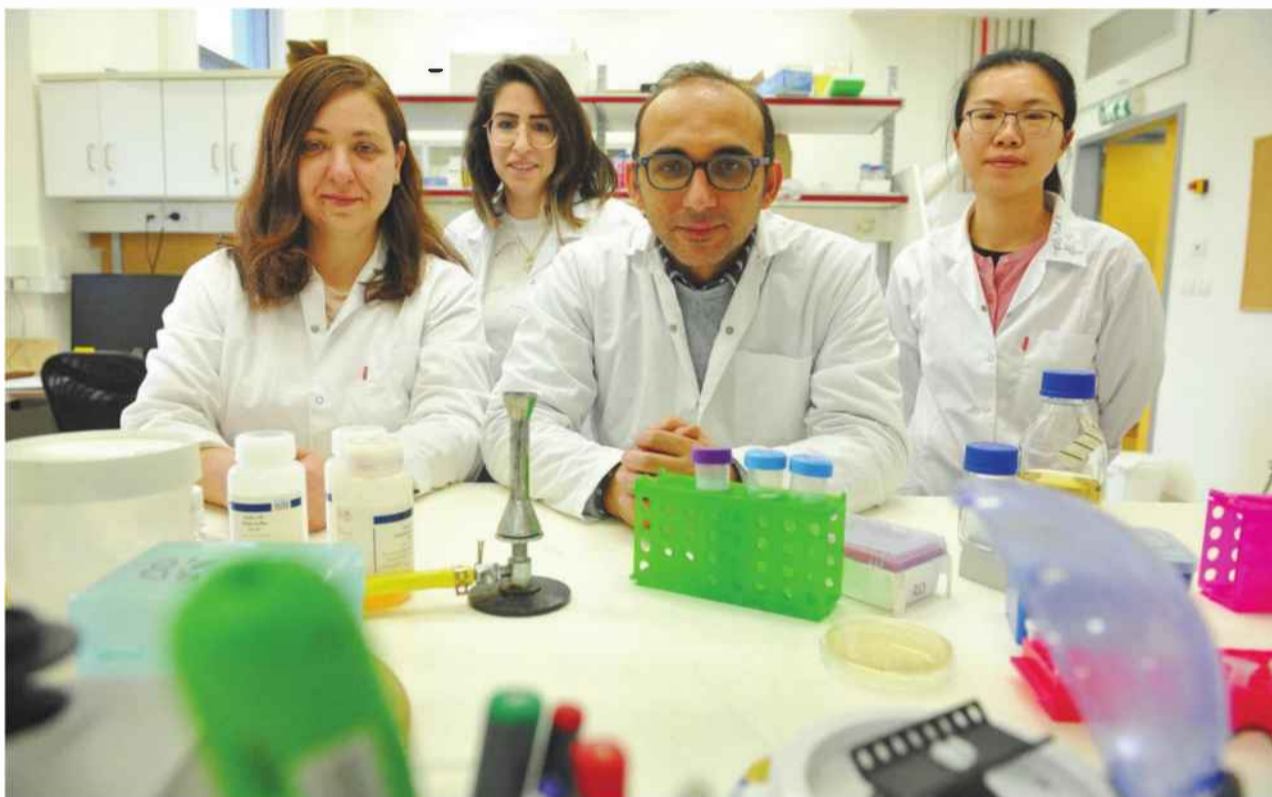
מחשבים מילאו ועדיין ממלאים תפקיד מפתח במהפכה שמתחוללת בעשרות השנים האחרונות ומשנה את החיים האנושיים מן היסוד. אך האמת היא שהטכנולוגיה הדיגיטלית – שמשפיעה כיום על כל תחום מי החיים – מבוססת על מנגנון פשוט מאוד. מדובר במתג בעל שני מצבים: כבוי או פעיל – אפס או אחד. רבים מהפיתוחים של עשרות השנים האחרונות יצאו מתוך מנגנון פשוט זה כדי לבנות את המערכות המשוכללות ביותר הקיימות לרשות בני האדם.

אולם, מה אם ניתן ליישם את אותם כלים חישוביים על מנגנונים בסיסיים אחרים? זו השאלה שבוחנים במעבדתו של פרופ' מנחם רונאל דניאל בטכניון, שם בונים החוקרים מחשבים ביולוגיים בתוך חיידקים. יום אחד, כך מקווים החוקרים, חיידקים אלו יפעלו בעזרת פעולות חישוביות כדי לקדם מגוון מטרות – ממעקב אחר פגיעות בגוף, דרך ייצור נקי, מדויק וחסכוני יותר של תרופות וחומרים אחרים, ועד לשימושים רפואיים שאפתניים יותר, כמו זיהוי תאים סרטניים בגוף והפעלת המערכת החיסונית נגדם. רק לאחרונה פרסם דניאל מחקר המציג פיתוח בתחום ניטור הרעלנים.

"מה זה מחשב? לעכד מידע", שואל של מחשב? לעכד מידע, שואל ועונה פרופ' דניאל. "המחשבים לוקחים מידע מכל מיני סוגים, כמו לחיצה על כפתור, תמונה ועוד, מתרגמים אותם לאותות חשמליים, מעבדים אותם בעזרת חישובים מתמטיים וחישובים לוגיים ואז מציגים את תוצאת החישוב". בענף הביולוגיה ישנו המוח, שברור כי הוא יודע לעשות חישובים, וישנם תאי הגוף. לפני כ-20 שנה, מסביר דניאל, החלו ביולוגים ופיזיקאים להראות שגם תאים אלו עושים חישובים – כלומר שמערכות טבעיות שבנויות על חלבונים וריאקציות כימיות פועלות כמו מחשב.

לפי פרופ' דניאל, במחשבים ביולוגיים שכאלה ניתן יהיה לייצר בינה מלאכותית חיה

מקובל לחשוב על הביולוגיה בהקשר זה כתת-קטגוריה של כימיה: מערכים שני חומרים ומקבלים חומר שלישי. אולם לדברי פרופ' דניאל, האינפורמציה הביולוגית פועלת בצורה הנדסית – כמו שעון. יש אותות שעולים ויורדים כל הזמן. תא ביולוגי יודע לזכור מצבים, למשל לזכור אם מצב החלבון גבוה או נמוך, הוא אומר ומוסיף כי "החלבונים עצמם עושים חישובים". כעשור לאחר שהחלו



פרופ' דניאל עם החוקרות במעבדתו, אתמול. מימין: ד"ר שימינג לי, ד"ר מונא חביב רונאל ונטלי ברגר. צילום: רמי שלוש

מסיבות אלו, במעבדות כרחבי העולם מנסים לשכלל את הכלים הללו. בין היתר, בבריטניה עובדים על הגברת האות שפולט החיידק בתגובה לחשיפה למתכת רעיונית. ואילו מערכת ביולוגית שנתגלה ב-MIT מזהה דימומים ודלקות בגוף.

במעבדה שלו, אומר דניאל, הוא והדוקטורנטית נטלי ברגר השקיעו את מרצם בבניית

מפיקים תלוי במשתנים רבים. אולם, על אף שהרעיון מוכר הוא לא הצליח לצאת מן המעבדה, כי איש לא הצליח עד היום לבנות מערכות חיידקיות שישמרו על יציבות ויפקו תוצאות אמין. אחת הבעיות היא שחיידקים אלו לא מסוגלים להבדיל בין סוגי רעלים, וגם לא לומר מתי הרעל נקלט. בנוסף, האות שהחיידקים מפיקים תלוי במשתנים רבים.

את הבקרה עליו. שימוש נוסף במחשבים הביולוגיים הוא כחיידקים מדויקים במיוחד. חוקרות וחוקרים יודעים זה זמן רב כי ניתן להשתמש בחיידקים מהונדסים גנטית כדי לזהות חומרים רעילים המ"שבים את פעולת הדנ"א של בני האדם, משום שחומרים אלה מ"שבים גם את פעולת הדנ"א של החיידק, וכאשר הדנ"א משת"בש בחיידק הוא מבטא חלבונים

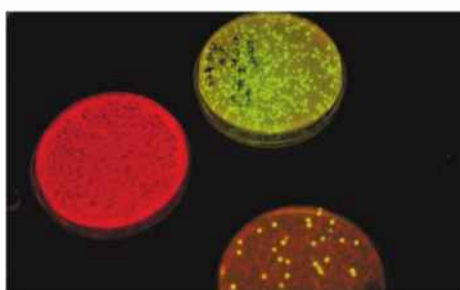
מדעניות ומדענים לבחון את היכולת החישובית של תאים, מוסיף דניאל, עלה הרעיון לנסות לשנות את המערכת החישובית הביולוגית למען צרכים אנושיים. "אם אנחנו מצליחים להבין את חוקי התכנון והעיצוב שקיימים בטבע, ולהשוות ביניהם לחוקים לפיהם פועל מחשב רגיל, או נוכל להתאים את החוקים של המחשב לטבע או להיפך, ולבנות ביולוגיה חדשה – מחשבים ביולוגיים".

השלב הראשון בדרך להגשמת יעד זה היה לקחת מהמחשב האלקטרוני את הרעיון הדיגיטלי – של אפס ואחד – ליישם אותו בחיידק ולבנות מתגים המ"בוססים על חלבונים. אולם הפוטנציאל של המערכות הביולוגיות רחב בהרבה. במסגרת הפוסט-דוקטורט שלו במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס, עבד דניאל על הרחבת האפשרויות החישוביות מעבר לגבולות הדיגיטליים – כלומר חישוב שתוצאתו לא חייבת להיות אפס או אחד.

"על סמך הרעיונות הללו בניתי מחשב ביולוגי", הוא אומר. "הראיתי שניתן לבנות מחשב – חיידק – שיודע לעשות חישובים מתמטיים. המידע, הקלט, נכנס אליו בצורה של חומרים כימיים כמו סוכר, והתוצאה, הפלט, הוא חלבון שמתבטא בתא ומפיק אור. כך אפשר למדוד את האור ולכמת את התוצאה". בין השאר, החיידק שלו ידע לחבר (לסכום) כמות של שני חומרים או למדוד את היחס בין הכמות של שני החומרים.

שכלול המערכת

ומה השימושים של פיתוחים אלו? לדברי דניאל, לשליטה ביכולת החישובית של תאים ביולוגיים יכולים להיות שלושה יישומים עיקריים מיידיים, שהראשון בהם הוא להשתמש במחשבים הביולוגיים כדי לייצר את תהליך הייצור של חומרים כימיים ולשפר



צילום: רמי שלוש

חיידק שהוא גם מחשב עשוי להביא לביולוגיה מסוג חדש

הטכנולוגיה הדיגיטלית, שמשפיעה על כל תחום מי החיים המודרניים, מבוססת על עיקרון פשוט: מתג בעל שני מצבים, כבוי או פעיל. על בסיס זה, פיתחו חוקרים בטכניון תאים שיודעים לערוך חישובים מתמטיים, לסכם כמות של שני חומרים או למדוד את היחס ביניהם. בעתיד, הם מקווים, תשרת הביולוגיה החדשה את בני האדם בדרכים שונות, ממעקב אחר פגיעות בגוף ועד לזיהוי תאים סרטניים בגוף והפעלת המערכת החיסונית נגדם.

אסף רונאל, עמוד 8