



אם יש אמת באומדנים שמתפרסמים, קרוב לעשרה מיליארד איש יאיישו את כדור הארץ כבר בשנת 2050. המשמעות היא תוספת של עוד כשני מיליארד פיות להאכלי, ואלה יתגוררו בערים ובמטרופוליני ענק לצד שטחי טבע וחקלאות מרדולים.

כבר בסוף המאה ה־18 הוזייר הדמוגרף הבריטי תומאס מלתוס מהפער המובנה שבין גידול אוכלוסיית העולם לגידול אספקת המזון: בעוד הראשונה גדלה באופן אקספוננציאלי, המשאבים – הכוללים גם את תוצרי החקלאות – גדלים באופן ליניארי, התוצאה לרידיו: קסטרופה ורעב כבד. אומנם "עקרון האוכלוסייה" שלו נעשה אבן יסוד בתולדות הכלכלה הדמוגרפית ולקחיו שינו את מדיניות הרווחה במקומות מסוימים, אבל מלתוס נתפס על ידי מבקרים כפסימיסט חסר חוון: ההתפתחויות החקלאיות, ההתקדמות המדעית והדירות הטכנולוגיה שינו את היחס שבין היצע לביקוש – לפחות במדינות מפותחות. כיצד תיראה החקלאות, אחד העיסוקים הקדומים והנפוצים בעולם, כשהטכנולוגיה מתפתחת ללא הרף, הטמפרטורה עולה ועולה, והאנושות מתיישבת על ארמט כוכבים אחרים? כדי לראות את העתיד הלא רחוק, מסבירים המומחים, צריך להבין את ההווה.

אחת הבעיות המרכזיות שלנו בעולם החקלאות כיום היא שאנחנו בקצה כושר הייצור שלנו", מקדימה ואומרת ד"ר כרמית זיו ממכון וולקני, שעוסקת בחקר איכותה של תוצרת חקלאית לאחר הקטיף. "כרגע אנחנו נמצאים במצב שבאופן עקרוני יש מספיק אוכל לכלכל את העולם, אבל הוא לא מחולק בצורה מאוזנת. הצפי הוא שבשנת 2050 כבר לא נוכל לייצר את כמות המזון שאנחנו צריכים. הטענה של משרד החקלאות הישראלי ומקביליו בעולם היא שקושי כל חייבים לעצמצם את אוכין המזון. רק לסכר את האוון: כשלים מהמזון שאנחנו מייצרים וראוי למאכל אדם משולך לפח. זה קורה ממש שחי"י המרף של יבול חקלאי מתצברים בגלל ניהול לא נכון לאורך שרשרת



טעימה מהעתיד

מקררים חכמים שיתאימו את עצמם לכל ירק בנפרד, ולוויינים שידעו לזהות כמה חרקים יש במטע: בעתיד הלא רחוק, מהפכת הטכנולוגיה והמידע צפויה לשנות את איכות התוצרת החקלאית. השאלה היא אם כל זה יסייע לנו מול שינויי האקלים, שפוגעים כבר עכשיו בגידולים

הטיפול, מהשדה ועד לצלחת. זה מתחיל בזה שלא קוטפים כמו שצריך, לא משנעים כמו שצריך, היבול נפגע בשהייתו אצל הסיטונאים והקמעונאים, ובסוף כשהוא מגיע לבית הצרכן. אנחנו משקיעים אנרגיות אדירות ומשאבים עצומים כדי לייצר את המוצרים, ובסוף הם נורקים. תבריי ואני עוסקים במציאת פתרונות לצמצום האובדן הזה. בעיניי, העתיר טמון בפתרונות הללו".

אלא שורכים מרכזיות ומקובלות להגן על הירקות והפירות שלנו מפני קלקל, כמו חומרי הדברה, מוקשים מהענף, ובצדק, בשל מורעות הולכת וגדלה למזון בריא. נראה שהמגמה הירוקה תמשיך להתפשט במחוזותינו ולהכתיב התנהלות. "הלחץ הצרכני עובר בחוזה: אנחנו רוצים מזון ללא מזהמים, ואנחנו רוצים מזון שישמור על הערכים התזונתיים שלו, למשל שוויטמן C עדיין נשמר בו. עם זאת, אם אנחנו רוצים למנוע קלקולים שנגרמים על ידי מיקרואורגניזמים, פטריות וחידודים, אנחנו חייבים למצוא דרכים אחרות להתמודד עם אותם גורמי ריקבון. המטרה שלנו כבר היום היא למצוא אלטרנטיבות ירדותיות לסביבה ולאדם, שיאפשרו לנו הארכת חיי המרץ של התוצרת החקלאית. אני רואה בעתיד חומרים הדברה אלטרנטיביים, אני צופה הדברה ביולוגית נרחבת ושכיחה, ואני צופה התאמה מדויקת, מבוקרת ומנוטרת של תנאי האחסון, ברגש על אחסון בקור, אך לא רק".

להקשיב לתפוח

אחסון בקור עשוי להישמע טריוויאלי, אבל התחום, מתברר, מורכב מכפי שהוא נשמע. "לכל פרי או ירק יש התנאים המסוימים שהוא זקוק להם, ואני מאמינה שבעתיד יהיה טיפול מותאם אישית לתוצרת שלנו, שיאפשר לצרכנים לקנות בצורה מושכלת", סבורה זיו. "קחי לדוגמה את הטמפרטורה. כיום טמפרטורת האחסון במקרר הביתי היא אחידה, אבל עגבנייה צריך לאחסן ב־12 מעלות, פלפלים ב־7, ותפוחים בחצי מעלה. היום אנחנו עובדים עם כל התוצרת כמקשה אחת, בחורים לקרר לפי ממוצע הטמפרטורה הנדרש לאחסון, אבל התוצרת הטרייה היא אורגניזם חי – אין אדם שדומה למשנתו ואין

גם עגבנייה שדומה לאחותה. יש דרגות הבשלה שונות, הן זקוקות לתנאים שונים.

"בתחום הזה אין לי ספק, מקררים חכמים בחקלאות הם העתיד: אני מאמינה שיהיו במקרר תאים עם תת־חלוקות, שבכל אחד מהם תשרוד טמפרטורה מותאמת למוצר. אנחנו גם מפתחים כלים כמו מצלמות ומודלים של אינטליגנציה מלאכותית, שבאמצעותם נדע להגיד על כל עגבנייה מה מצבה ומה התנאים האופטימליים שגורשים כדי לאחסן אותה לטווח ארוך. היום אני קונה מנגו, ופתחת אותו, אוכלת ומגלה שהוא היה זקוק לעוד יומיים כדי להבשיל, והשלב הבא כמובן הוא הפח. מתי לאחוריה פתחת אבוקדו שהיה בשל בדיוק במידה הנכונה? אני צופה שתהיה מצלמה בבלאפון שתסרוק את המוצר ויתגן מידע חיוני עלי. במקרר שלי יהיו חיישנים שיגידו לי שעכשיו כדאי לאכול את המנגו הזה, ואילו את השני כדאי להשאיר להתבשל עוד יומיים".

מתי נראה מקררים כאלה בשוק?

"זה לא יקרה מחר, אבל בעוד 10־15 שנה יהיו מקררים חכמים והיו גם אריות כמות. אם אני אהובת את המשמשים שלי המוצים ואת אהבת אותם מתוקים, יהיה לך אינדיקטור שיגיד לך מה מצב הפרי ומתי את רוצה לאכול אותו. כבר היום עובדים על מצלמות היפר־ספקטרליות וחיישנים ביו־נסטוריים שיכולים לזהות את הנדיפות של המוצרים, כלומר מתי הריח שלהם, וכך להגיד אם המוצר מתחיל להתקלקל. כשלא טוב לפרי והוא נמצא בעקה הוא משרד אותות, אנחנו רק צריכים לקרוא אותם. לדעתי בדיוק בתחום הזה תבוא הבשורה: אינפורמציה יהיה זיהוי של המצב הפתולוגי שלו – כלומר האם קיצו קרוב".

בקרר הבשלה אינה דבר חדש, וכבר היום יש כלים משוכללים לעקוב אחר הפירות והירקות שלנו. אבל לדברי זיו, הכלים הללו יעלו כמה מדרגות. "גם היום יש מערכי מיון שמטפלים באופן פרטי בכל פלפל וכל מנגו. הפירות מסועים על מעין קעריות ועוברים מול מצלמה, ובעזרת מדרי וגודל וקצב אפשר לקבוע דרגת הבשלה. יש צי"פ על כל קערית וכך הפרי מתגלגל לקופסה המתאימה.

בעתיד אפשר יהיה להרחיב את זה, לא לקבוע רק לפי גודל ואיכות, אלא לפי נוכחות פתוגנים. לא תמיד צבע הפרי מעיד על מצבו, יש הרבה פירות שההבשלה שלהם לא באה לידי ביטוי בשינוי צבע. אומנם בעתיד אף אחד כנראה לא ילך לסופרמרקט, אבל כשצרכן יקנה את התוצרת החקלאית יהיו חיישנים שיגידו לו מה מצב הפרי, והוא יקנה על סמך ההעדפה שלו. אנחנו אוטוטו שם. עוד כמה שיפורים טכנולוגיים ויש לנו את זה. אם את שואלת על חמישים שנה קדימה, אני מאמינה שהטכנולוגיות הדיגיטליות, אחסון מותאם אישית, אינדיקטורים למצב הבשלה ולמצב פיזיולוגי של הפרי, גם במערך המיון, גם במערך השיווק וגם במקררים הביתיים – ישנו את התמונה".

הנגיפים באים

אז מקררים חכמים יהיו לנו, אבל גם הם לא יצליחו לסייע לנו עם העולם המתחמם. הרו"ח האחרון שיצא בתחילת אוגוסט ממכשפי הפאנל הבינ"ממשלתי לשינוי האקלים של האו"ם, הציג מצב אקלימי טורד מנוחה. הוא התבסס על אלפי מחקרים מדעיים ומאות מרענים ברחבי העולם, ותיאר עלייה באירועי מזג אוויר קיצוניים, וטמפרטורה ממוצעת שצפויה להגיע למעלה וחצי יותר מזו ששרתה בעידן הטרום־עשיתי. כיצד תשפיע ההתחממות הגלובלית על החקלאות?

נושאת ההתחממות הוא קריטי כי הוא משנה לחלוטין את כללי המשחק", אומרת זיו. "שינוי במעלה אחת הורג לנו את התצילים למשל. חלק מהגידולים שלנו רגישים מאוד לכל שינוי, ולצערני זה גורם לפגיעה אדירה ביבול ובאיכות התוצרת. כבר היום רואים התפרצות של מחלות חדשות בעקבות החום. אנחנו רואים מחלות שידענו שנמצאות על אש קטנה ולא ירמו בעיות, ופתאום הפכו לצרה הגדולה של החקלאות. פתאום יש לנו כמות אדירה של וירוסים בתוצרת הטרייה, כיוון שהם מועברים על ידי חרקים וההתחממות הגלובלית הביאה לגידול אדיר בכמות שלהם. אנחנו לא מצליחים להשתלט על החרקים שמפיצים את הוירוסים, ואני חוששת לאן נגיע בנושא הזה בעוד כמה עשורים".

הנגיפים שבהם מדובר אינם מסוכנים לבני אדם, מרגיעה זיו. אז איפה ניכרת השפעתם? "אנשים אומרים 'משנה בטעם של המלפפונים לא אותו דבר', הם לא מחזיקים מעמד במקרר – זו השפעה ישירה של נוכחות הוורוסים. הם לא תמיד נראים על הפרי, אבל הם משפיעים על הפיזיולוגיה שלו ומשנים את הטעם. שמת לב שהיו לנו כמה עונות מוזעזעות של אבטיחים בלתי אכילים? מאיפה הם באו? הלהקות פתאום רגישות לפטריות. הן תמיד היו שם ולא היוו בעיה, ופתאום 50 אחוזים מהדלעות נרקבות. אלה שינויים דרמטיים, וזו רק ההתחלה. למשל תפוצת כנימות עש הטבק, שהן וקטורים להרבה מאוד וירוסים, השתנתה כיוון שמחזור החיים שלהם תלוי טמפרטורה. ככל שחם יותר הן יופיעו מוקדם יותר ובמקומות שלא היו נפוצים קודם, והמשמעות היא עוד וירוסים. אנחנו

חוקרים היום את ההשפעות של נוכחות וירוסים בגידולים שאף פעם לא נדרשנו להתייחס אליהם. זה כבר משפיע על האכיות ומקצר חיי המרץ של התוצרת הטרייה. הטעם משתנה, וזה רק הימיר".

ומה הפתרון?

"בשל בעיות האקלים שהופך להיות קיצוני ובלתי סדיר, נתקשה מאוד לגרל בשטחים פתוחים. גיאלץ להיכנס לגידולים מבוקרי טמפרטורה שייקרו מאוד את העלויות. הכול יגודל במבנים מבוקרי טמפרטורה שיהיו גם מבוקרי חרקים. זה לא יהיה פתור על צד הדימון. נוכל יגרם לצרות אחרות: ברגע שנכנסים מבנים לתמונה יש פתוגנים אחרים שמשגשגים בלחות גבוהה, והם עושים קסטטרופות. כיום אנחנו יודעים לגרל בבתי רשת לא חדרי לקרוא חרקים, באירופה מגדלים בבת צמיחה מכוסים וזכוכית, באמירויות עובדים עם מבנים מבוקרים בלחץ גבוה כדי למנוע כניסת חרקים מדיקים ופתוגנים אחרים – אבל לעיתים הם מתקשים לשמור על הטמפרטורה והכול קורס. מדברים על חקלאות אורבנית מעל הגגות, אבל היא לא יכולה לספק את כל המזון לכלל האוכלוסייה. זה

נחמד בתור גימיק, אבל זה לא יעבוד בכמויות מסחריות גדולות. זה טוב לגידולי עלים, לא למטעים או לתפוחי אדמה. החקלאות העירונית היא טרנד מבורך שנכנס והוא ייתן פתרון חלקי, אבל הוא מייקר מאוד את הגידול והוא מייצר בעיות אחרות, כמו התמוטטויות מפטריות בגלל הלחות הגבוהה. קשה לשמור על סטריליות. אני צופה לעולם המתחמם בעיות גדולות בתחום החקלאות, אם לא נעצור את המגמה".

משהו טוב עשוי לצאת מזה? אולי נתחיל לגרל בישראל גידולים טרופיים אקזוטיים שלא חלמנו לגרל כאן?

"גם אם כן, שכרנו בהפסדנו. את יודעת, זה כמו עם הקורונה. הדבר הטוב היחיד שקרה הוא שהנגיף דחף אותנו לטיפול בבעיות ישנות ולייעול. הגענו למצב משברי, והאנושות לא פועלת עד שאין לה משברים. אם לא נפעל עכשיו, לא יהיה לנו מה לאכול".

גם ר"ר ישי נצר מאוניברסיטת אריאל, חוקר בכיר במר"מ מורח, חווה מהפכה גדולה במישור האינפורמציה. כמי שעוסק בהשקיה וחקלאות מדייקת – בייחוד בכרמים – הוא מבין את הצורך בנתונים בכמויות גדולות וברוולוציה גבוהה. "אני מאמין שיהיו חברות או מערכות שלמות שיעסקו באופן אינטנסיבי במדעי הנתונים. לרשות החקלאי עומדים היום נתונים, אבל הם לא מספיק מפורטים. הנתונים יתמכו בכל הפעילות של החקלאי, החל מכמה להשקות, כמה לרסן, איפה לרסס ומתי. דבר חשוב מאוד הוא עניין הדיפרנצציה. נכון להיום אם יש לי בשטח 5,000 גפנים, אני נותן לכולם אותה השקיה ואותו דישון. אבל יש לי גפן שנמצאת בתחתית השטח לצד ערוץ ודימה סמוי מן העין, ויש אחת שיושבת על הסלע, והצרכים של שתיהן שונים לחלוטין. לא פלא שצמח אחד מניב במקטע אחד 1.8 ק"ג ובמקטע אחר 9.9 ק"ג. כבר



יזעל, יוסי נצן, מחקר



יזעל, יושע נצן, מחקר

כשהחקלאי ישתול את המטע המידע יוטמע, ויהיו מערכות שיוכלו לתת את הצרכים לכל צמח בצורה דיפרנציאלית". כבר כיום עומדים לרשות החקלאי לוווינים, מטוסים ורחפנים, אבל הפער המשמעותי ברוולוציה יעשה את השינוי. "פיקסל אחד מלוויין מכסה כיום שטח של עשרה אלף מטרם. אלה עדיין לא הלוויינים הצבאיים שאהה יכול לקרוא בעזרתם כיתוב של מוצב", אומר נצר. "אני מאמין שעם השנים טכנולוגיות הלוויינים בחקלאות תגיע לרוולוציה שאפשר יהיה לראות עורק של עלה או לאתר גו של פרפר לילה על צץ הדימון. נוכל לצלם ולהגיע לרמת דיוק גדולה. התחום מצריך כמובן אלגוריתמיקה, אמצעי צילום מדויקים מאוד, תכניות של צילומים ומהירות מחשוב שיוכלו לעבד באופן חזק ומהיר את המידע – כדי שיוכלו לאמוד למשל מספר חיפושיות על עשרות דונמים. מעבר לזה אני מאמין שכל התחומים – השקיה, דישון, הגנת הצומח – ייהנו מאמצעים אופטיים משוכללים, מערכות ניתוח ומערכות קבלת החלטות שיופעלו על בסיס האלגוריתמיקה הזאת. גם הכלים שיהיו בשטח – טרקטורים אוטונומיים או כל כלי תנועה

אחר – יאספו נתונים על השטח. מישור יצטרך לקבל את ההחלטה, אבל המערכות ינועו ויתנהלו באופן כמעט אוטומטי. נכון להיום בענף כרם היין – הומידה, הבציר והריסוסים נעשים על ידי מכונות, וכמות ימי העבודה לרדום היא כבר נמוכה. אני צופה שהיא תרד משמעותית גם בענפי גידול אחרים".

ומה יהיה מקומו של החקלאי בכל הסיפור?

"תמיד יהיה לו מקום. החקלאי יעשה הכול, עם האלגוריתמיקה ומערכות קבלת ההחלטות המשוכללות. החקלאי יידרש לתת את חוות הדעת הפרטית שלו. מי שחושב שהכול יהיה אוטומטי מגיע כנראה מתחומי ההנדסה. אנחנו אנשי האגרונמיה לא נותר על חקלאי".

מאיצים את האבולוציה

אם הכול ילך כמתוכנן, בעוד חמישים שנה סוגיית החקלאות תסריד לא רק את יושבי הארץ, אלא גם את מתיישבי מאדים החרשים. מארק וואטני, גיבור ספר המדע הבדיוני של אנדי ויר "לבד על מאדים", נקלע לבדו לכוכב האדום ושרד בבדידות בזכות תושייתו. לא תסם הוא התגלגל לדמות בסרט בגילומו של מאט דיימון. פתרון לרעב מצא וואטני בדמות תפוחי אדמה המתאימים לגידול בתוך המגורים. הוא השתמש באדמת מאדים, קומץ אדמה מכדור הארץ, ובצואה שלו ושל חבריו למסע כדי לגרל לעצמו את המזון. בניגוד אליי, אנשי משיתם מאדים ינחתו בבטחה ויהיו מצוידים בכל שניתן בהתחשב במגבלת המשקל. גם בנושא החקלאי יצטרך לקבל מענה ראוי.

ד"ר גור פינס, חוקר בתחום הגנת הצומח במכון וולקני, עוסק בתחום ששמו ביולוגיה סינתטית. במהלך הפוסט־דוקטורט שלו באוניברסיטת קולורדו בארה"ב, הוא שיתף פעולה עם חוקר אחר שמתמחה בתחום, אדם ארקין. "הוא

ד"ר כרמית זיו: "בעתיד כשצרכן יקנה את

התוצרת החקלאית, יהיו חיישנים שיגידו לו

מה מצב הברי, והוא יקנה על סמך ההעדפה

שלו. אנחנו אוטוטו שם"

ד"ר ישי נצר: "לחקלאי תמיד יהיה מקום.

הוא יעשה הכול, עם האלגוריתמיקה

ומערכות קבלת ההחלטות המשוכללות.

אנחנו האגרונומים לא תוותר על החקלאי"

כתב מאמר על הדרך שבה התחום יתרום לקולוניזציה של כוכבי לכת אחרים, והוא אומר שהאסטרונאוטים יהיו חייבים לייצר לעצמם את האוכל שלהם, לרפא את עצמם ממחלותיהם, למחור לעצמם את המים, ולייצר את החמצן. הוצאת דברים מהאטמוספירה אל המאדים היא יקרה מאוד. בעיני ארקין, אחד המפתחות המרכזיים למשימה הזו הוא ביולוגיה סינתטית, שבה אנחנו מהנדסים מקורי אורגניזמים וצמחים כך שיתאימו לתנאי מאדים.

"אני מאמין שהחקלאות במאדים תתחיל בקנה מידה מיקרוביאלי. אנחנו משתמשים במיקרוביום כל הזמן: מייצרים איתם יין, אופים לחם עם שמרים, מכינים יוגורט עם פרוביוטיקה, וגם יודעים להנדס אותם. זה כבר לא מדע בדיוני. יש חוקר באוניברסיטת ברקלי שעובד על היתכנות חקלאות במאדים: יש לו חדר שלם שהוא סימולטור של מאדים, עם האדמה הכי קרובה למקור שיצרו מהאנליזה שקיבלו ממאדים, וטמפרטורה ולחץ אטמוספרי ששרורים שם, והוא מנסה לגרל שם כל מיני דברים. בנצטר להנדס את הביולוגיה לצרכינו, כיוון שדברים שקורים באופן

◀

תמשיכו בכל הכוח

◀ המשך מעמוד 13

מארה"ב ואירופה. הפחתה של בירוקרטיה שמתגלגלת בסוף גם לצרכן היא צורך עצום ונכון".

השר קובע

קאופמן־פס, אחד המינויים הסרוגים בממשלה הנוכחית, גדלה בבית ציונידתי בנתניה ("סניף נתניה מרכז, שבט ברמה. עכשיו כולם ידעו בת כמה אני", היא צוחקת). את הצלחתה היא מייחסת לעבודה קשה, ולערכים שספגה בבית הוריה. "הייתי תמיד תלמידה מאוד טובה, והיה לי חשוב שיהיו לי ציונים טובים. ההורים אמרו לי שהשמיים הם הגבול. אימא שלי תמיד אמרה לי שאני הכי חכמה, שאין שום דבר שעומד בפניי, שאני יכולה לכבוש כל מטרה".

היא עברה מסלול נורמטיבי של בת הציונות הדתית: שנתיים שירות לאומי, שליחות ציונית בארה"ב עם בני עקיבא, תארים באוניברסיטת בראילן. אבל המסלול הרגיל לא מביא את כולנו בסופו להיות מנכ"לית של משרד ממשלתי חשוב, אני אומרת לה. "השכלה היא הדרך, ואחרי זה חריצות ומוטיבציה", היא משיבה. "הלכתי לאוניברסיטה אחרי שסיימתי שנתיים של שירות, מתוך מטרה ללמוד ולהתחיל לעבוד. תמיד הייתי ממוקדת במטרה. לכל אישה צעירה אני אומרת: קודם כול השכלה, אחר כך תעבדי קשה ותסמני מטרות. הרבה נחישות. אפשר להיות בכל מקום משפיע. כל אחת צריכה לממש את עצמה בדרכה, עם היכולות והרצונות שלה, ולכבוש כל פסגה".

גם אם את "דוסיית"?

"דווקא כי את דוסיית. איזה כיף זה להיות דתייה ולעסוק בהתיישבות, בחקלאות, בעבודה ציבורית. זה מתיישב עם כל הערכים שלנו. הערכים מהבית שגדלתי בו נתנו לי תפיסת עולם מאזנת ורחבה, עם הרבה חמלה. התמיכה מבית היא חשובה מאוד, כשאת אשת משפחה וגם אשת קריירה. בעלי הוא הרוח תחת כנפיי".

למגזר הציבורי היא נכנסה מיד עם תום לימודיה, ומבחינתה העבודה בו היא "הגשמת חלום". "כל דבר שאת עושה הוא בעל משמעות ציבורית", היא מסבירה, "כל מהלך, כל תקנה – ממלאים אותך מבפנים. זו שליחות. גם ביום רע אני עושה משהו טוב. גם ביום קשה אני מקדמת תהליך כלשהו. במעלה הדרך עשיתי שינוי מקצועי מיועצת משפטית למנהלת, שינוי שהוא לא מובן מאליו. אנשים נתנו לי הזדמנות. החשבת הכללית מיכל עבאדיי בווינג'ו נתנה לי את התפקיד הניהולי הראשון שלי. אחר כך סימנתי מטרות של תפקידים כלכליים בכירים. שר החקלאות נתן לי הזדמנות להיות מנכ"לית, שהוא התפקיד הכי משמעותי בשירות הציבורי. מי שמוביל את הספינה, שמנהל תקציבים אדירים, 1,800 עובדים".

מה עושים אחרי תפקיד כזה?

"אני עוד לא חושבת על זה. יש קדנציה ארוכה לפנינו, הממשלה יציבה, יהיה לנו תקציב מדינה. חלק מההצלחה וההתקדמות זה להיות עד הסוף במקום שבו אני נמצאת ולהגשים את היעדים שלי".

בניגוד לתפקידים הקודמים שלך, מנכ"ל משרד ממשלתי הוא תפקיד בתווך שבין המקצועי לפוליטי. את מרגישה את הפוליטיקה בתפקיד הזה?

"אני לא עוסקת בפוליטיקה. מנכ"ל הוא משרת אמן, אבל גם התפקיד המקצועי הבכיר ביותר במשרד. עובדי ציבור צריכים חרי־משמעות לקיים את מדיניות השר והממשלה. זה הדבר הנכון והבריא. אני בכירה שמאחוריי קריירה, היכרות ממשלתית וניסיון מקצועי, ואני באה לממש את מדיניות השר ולעשות זאת במקצועיות מקסימלית. אני לא גורם נבחר, אני גורם מבצע. אני יכולה להציף סוגיה ולהגיד מה אני חושבת, אפשר להביע עמדות ודרכים לפעילות, אבל יש שר שמכריע ומוביל את המדיניות הממשלתית. ברגע שהשר מחליט אנחנו נממש את המדיניות שלו". ●

ריקי ממן

אביב, הסטודנט דן אלון וד"ר קרין מיטלמן. הרעיון הוא לבחון בעזרת טכנולוגיית קריספר, אם ניתן לזהות מוזיקים בכמעט אפס כבירה. עד כה יצא שמעה של הטכנולוגיה בעיקר בזכות פוטנציאל העריכה הגנומית שלה, ובכך שזיכתה את החוקרות שמאחוריה בפרס נובל. כיום היא משמשת את פינס ועמיתיו כביו־סנסור, כלי אבחון שמוזהה את אויבי החקלאות בעזרת רצף גנטי.

הניסוי ממשיך למעשה את פועלו של פינס על הכוכב שלנו: "כיום אנחנו משתמשים בקריספר במכון וולקני כדי לזהות כל מיני מוזיקים בחקלאות. בדיוק פרסמתי עם ד"ר זיו שפיגלמן מאמר שבו אנחנו מבחינים בין שני וירוסים שקיימים בעגבנייה. אפילו שהם דומים מאוד מבחינה גנטית, הטכנולוגיה עזרה לנו לזהות הבדל קטן ברצף".

גם בעיית זחלי זבובי פירות, אימת החקלאים הישראליים, עשויה להיות בעתיד מאחורינו. בבגרותם זבובי הפירות קלים לאבחנה, אך נכון להיום הזחלים קשים מאד לזיהוי גם לעין מומחה. האויב המעופף מהווה גורם לעיכוב בייצוא סחורה חקלאית, בשל בדיקות ארוכות וניטור בישראל ובארץ היעד. "החזון שלנו הוא לייצר מעין ערכת בדיקה שהנטר בשדה יוכל להשתמש בה בעצמו, כי יתרונה של המערכת הספציפית הוא שהיא כמעט אינה דורשת מכשירים. להערכתנו תוך שעתיים נדע מה יש לנו ביד. פתרונות כאלה יהיו נפוצים בעתיד, בדיקות מהירות ואמינות. אנחנו מתכננים גם לדגום בתי חולים ולברוק בעזרת הטכנולוגיה אם יש עלייה בכמות הגנים שעמידים לאנטיביוטיקה".

אחד השימושים המעניינים של הכלי האבחוני תהיה להקנות פתרון לאסטרונאוטים שעתידיים לבלות זמן רב בנסיעות ארוכות, ובזמן הנסיעה והנחיתה יהיו מנותקים מכל מקור סיוע. "הם יצטרכו ללמוד להסתדר לבד. אני מאמין שבעזרת הכלי הזה, שהוא כלי פשוט יחסית, הם יוכלו לעשות דיאגנוסטיקה לעצמם ולמצב היבולים שהם יגדלו. הם יוכלו לזהות וירוסים, רימות, פטריות. כמובן כל זה בהנחה שמדובר באויב שאינו חיידקי ומבוסס על דנ"א".

יהיו וירוסים וזחלי זבובים בחלל?

"זחלים כנראה שלא, בהנחה שהאסטרונאוטים יעשו עבודה טובה וישמרו על סטריליות לפני שהם עולים לחללית. אבל הווירוסים יגיעו איתם לחלל, אין מנוס, ולכן הטכנולוגיה שלנו יכולה להועיל. הניסוי שלנו בא לברוק אם הטכנולוגיה ישימה באפס כבירה, כי לפחות על סמך הספרות אין לנו תמונה ברורה במצב של מיקרו־כבירה.

"לדעתי העתיד החקלאי נמצא בטכנולוגיות האלה. אנחנו מכירים את עובד האדמה הקלאסי, עם הטוריה והטרקטור, אבל בעיניי גם לייצר דלק ביולוגי ושמרים זו חקלאות. לייצר כימיקלים שאנו זקוקים להם זו חקלאות. אני עובד למשל על פרויקט של ייצור פרומוני מין של מוזיקים בשמרים כדי למשוך אותם למלכודת. הכול נמצא תחת הגדרת הגג של חקלאות. אני מאמין שתהיה לנו תעשיית בשר מלאכותי וחלב מלאכותי, שתופסים תאוצה ויקטינו את סבל בעלי החיים. העתיד כבר כאן". ●



ד"ר גור פינס: "אם נגיע

למאדים עם אורגניזם

שיוע לשרוד באטמוספירה

ובטמפרטורה הנמוכות, וגם

יצליחו לגדל אותו במסות

גדולות – תהיה חקלאות על

המאדים"

אבולוציוני טבעי לוקחים זמן, ואין לנו את הזמן הזה. אנחנו מאיצים את האבולוציה, ואני מאמין שבעוד כחמישים שנה נהיה במקום מתקדם מאוד בביו־לוגיה סינתטית".

אם נתחיל לפתח חקלאות במאדים, היא תתחיל לחזין את עצמה ולהתפתח בעצמה?

"שום דבר הוא לא בבחינת שגר ושכח. אנחנו לא נשלח תפוח אדמה ונסמוך עליו שהוא יתפתח לחקלאות. אם נגיע למאדים עם אורגניזם שיוע לשרוד באטמוספירה ובטמפרטורה הנמוכות שיש שם, ויפתחו אותו כך שהוא ידע לשרוד בעצמו, ואם הוא יהיה מהונדס כדי לעשות מעין פוטוסינתזה – לספוג את הפחמן הדורחמצני ולשחרר חמצן כמו צמחים – וגם יצליחו לגדל אותו במסות גדולות – תהיה חקלאות על המאדים. הנדסת הביו־לוגיה לצרכינו היא מעמודי התווך של הביו־לוגיה הסינתטית. הרבה מעבדות בארץ ובעולם עובדות על זה".

איתן סטיבה, שבתחילת 2022 צפוי להיות הישראלי השני בחלל, יבצע במשימת החלל שלו ניסוי שמוביל ד"ר פינס יחד עם ד"ר דוד בורשטיין מאוניברסיטת תל־



▶ **"חוזה אנכית" בדנמרק, שנועדה לחסוך שטחי גידול חקלאיים**
צילום: ?? ENG