

# מה חשוב יותר במדע - ההצלחה או הכישלון?

**פרופ' עודד שוסיוב**, מכון רוברט סמית למדעי הצמח והגנטיקה, הפקולטה לחקלאות, מדעי המזון והסביבה רחובות; והמרכז לננומדע וננוטכנולוגיה, גבעת רם, האוניברסיטה העברית בירושלים

לעולם לא אשכח את הבעת הפנים של אחד מתלמידי המחקר במעבדה שלי לפני זמן לא רב כשאמרתי לו שאני לא ממש מתעניין בתוצאות של ניסוי שהצליח. הוא היה מופתע ונבוך. הסברתי לו שבעיניי ניסוי שהצליח הוא לא באמת מעניין. כאשר אנחנו מתכננים ניסוי, יש לנו איזו שהיא הנחה (היפותזה) המספקת הסבר אפשרי כלשהו לתופעה בטבע שאין לה הוכחה מספקת. ניסוי "מוצלח" הוא כזה שמוכיח שההנחה היתה נכונה. אם כן, מה רע בכך? ובכן ניסוי "מוצלח" אינו מקדם באמת את ההבנה של תופעות ומנגנונים שחורגים מהבנתנו, שהרי בדרך כלל מתווה הניסוי וההשערה על תוצאה מוצלחת מבוססת על ידע קודם. אני מתעניין הרבה יותר בניסויים "שנכשלו". ניסויים כאלו מחייבים אותנו להשקיע זמן רב יותר במחשבה מעמיקה, ולעיתים תוצאה לא צפויה עשויה להוות פריצת דרך בהבנה של מנגנונים חדשים.

בתחילת שנות ה-90 הייתי חוקר צעיר בפקולטה לחקלאות באוניברסיטה העברית. חזרתי מפוסט דוקטורט בארה"ב והתקבלתי כאיש סגל אקדמי במחלקה למטעים וצמחי נוי. באותם ימים התמקד המחקר שלי בחלבון קושר תאית (צלולוז), Cellulose Binding Domain-CBD אשר במשך השנים התברר כחלבון בעל מגוון תפקידים בטבע וכבעל פוטנציאל יישומי בתחומי חיים נרחבים, החל מיישומים בתעשייה, ברפואה ובחקלאות.

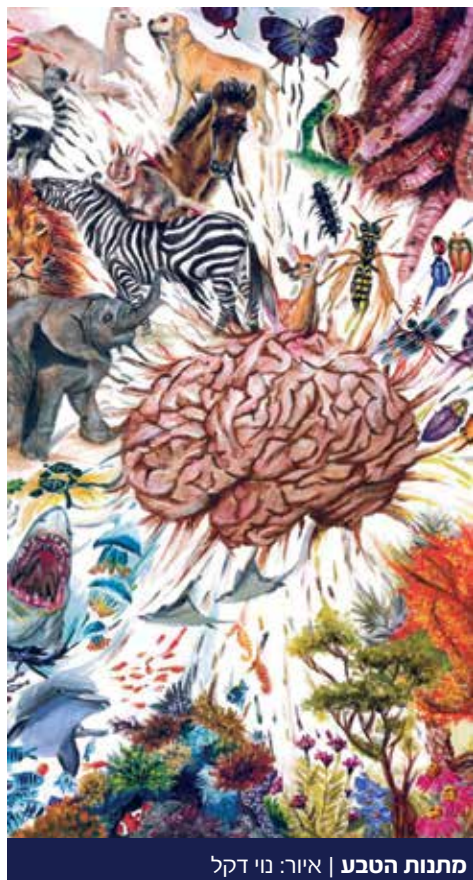
כחוקר צעיר במסלול האקדמי נדרשתי בין יתר הדברים לפרסם בכתבי עת מדעיים ולבסס את מעמדי כחוקר בחקלאות. מכיוון שבעת ההיא המחקר שלי היה בעיקרו מולקולרי ללא כיוון חקלאי ברור, תפס אותי יום אחד לשיחה במסדרון המחלקה פרופ' רפי גורן שהיה באותה העת ראש המחלקה. פרופ' גורן הרגיש מחויבות לסייע לי למקד את המחקר שלי בתחום החקלאי על מנת שבבוא היום, כשוועדת המינויים תדון בתיק האישי שלי, לא תעלה הטענה שאינני ממלא את חובתי כחוקר בפקולטה לחקלאות. טענה כזו עלולה היתה לגרום לכך שלא אקבל קביעות ואפוסטר מהאוניברסיטה. מובן שהקשבתי קשב רב ואף שאלתי אותו אם יש לו איזה רעיון למחקר שמעניין את חקלאי ישראל. רפי לא היסס והציג בפניי בעיה קשה - ריבוי חרצנים בפירות הדר. לדבריו של פרופ' גורן, המתחרים בעולם הצליחו לפתח זנים של פירות הדר חסרי חרצנים אשר דוחקים את התוצרת הישראלית מהשווקים באירופה. הוא גם הציע לי לכתוב תוכנית מחקר למועצת פרי הדר ולקבל תקציב לנושא. כך אכן עשיתי וגם זכיתי בתקציב. הרעיון שאותו הצעתי נראה לי אז - וגם היום - מעט הזוי. יצירת החרצן (זרע) בפרי תלויה ביכולתו של גרגר אבקה שנוחת בראש עמוד העלי המצוי במרכזו של הפרח, לפתח תא הקרוי נחשון. הנחשון מתארך וחוזר דרך רקמת עמוד העלי עד אשר הוא מגיע לשחלה ומפריה את הביצית. מניעת התארכות הנחשון מונעת את יצירת החרצן. הרעיון שלי היה ליישם את החלבון CBD על פרחי ההדר. ההנחה בבסיס המחקר היא היתה ש-CBD ייקשר לנחשון האבקה, ימנע את גדילתו ובאופן כזה ימנע את יצירת החרצנים. כניסוי מקדים התבקש תלמיד מחקר שלי, לימים דר' איתי שפיגל, לבחון את יכולת החלבון CBD לעכב את התארכות תאי נחשון אבקה במבחנה. איתי הגיע אליי בוקר אחד עם שתי מבחנות וחיוך רחב על פניו. "הניסוי הצליח! הכריז איתי. יש רק בעיה אחת, התבלבלתי ברישום על המבחנות". מה זאת אומרת? שאלתי. "פשוט על המבחנה שכתוב CBD התאים ארוכים יותר ממבחנת הביקורת ללא CBD, וזה כמובן לא הגיוני כי CBD אמור לגרום להם להיות קצרים יותר". "טוב", אמרתי לאיתי, "בוא נחזור על הניסוי". בבוקר חזר איתי עם פנים מודאגות. "הניסוי נכשל". "תפרט", ביקשתי. "במבחנה עם CBD התאים ארוכים יותר..."



ברגע זה התגלה לנו קצה חוט למנגנון חדש הגורם בטבע להתארכות תאי צמח. במהלך השנים, כתוצאה מאותו ניסוי "שנכשל", פיתחנו טכנולוגיה להאצה של קצב גידול צמחים. חברת פוטורג'ן אשר הוקמה על בסיס הטכנולוגיה החדשה, הצליחה לפתח עצי יער מהונדסים גנטית הגדלים בקצב מהיר יותר מעצים רגילים ובכך להקטין את הצורך בכריתת יערות גשם בעולם, ולשפר את רוחיות היער התעשייתי המיועד לייצור סיבים לתעשיית הנייר. החברה נמכרה בכ-100 מיליון דולר לאחת מחברות היער והנייר הגדולות בעולם, ועצי היער שפותחו בחברה היו לעצים מהונדסים גנטית הראשונים שאושרו לשימוש מסחרי. מרכז הפיתוח של החברה נשאר בפרק המדע ברחובות, ועל כך גאוותנו. במבט לאחור נכשלנו בניסיון להקטין את מספר החרצנים בפירות הדר. הסיפור לא תם, ה-CBD ממשיך לספק לנו תגליות.

לפני כ-10 שנים קיבלנו פנייה ממספר חוקרים באיטליה, שוודיה ופינלנד להצטרף לתאגיד מחקר שתכליתו היתה לפתח שיטת ייצור של סיבים ננומטריים בשם Nano Crystals CNC-Cellulose המהווים את השלד שממנו בנויים צמחים. הסיב הננומטרי הזה התגלה כבר בשנות החמישים, אולם רק עם התפתחות עולם הננוטכנולוגיה שפיתחה אמצעי אפיון משוכללים, נתגלה לעולם סיב שמידותיו הן כ-100 ננומטר אורך ו-5 ננומטרים עובי. סיב אשר ביחס למשקלו חזק פי כמה מפלדה! התכונות המכניות המרשימות הללו מדיימות במיוחד בהתחשב בעובדה שהסיב בנוי מסוכר...

אנליסטים בכל העולם סבורים ש-CNC יהיה החומר הננומטרי החשוב ביותר לכל התעשייה. החל מתעשיית הרכב, החלל, הבנייה, הרפואה, הספורט והמזון - כל זאת בשל מספר תכונות מדיימות ש-CNC מקנה לחומרים אחרים שאליהם הוא מוסף. אני ממליץ להתבונן בסרטון הבא: <https://www.youtube.com/watch?v=R3HH4iN8aDM>



מתנות הטבע | איור: נוי דקל

החוקרים האירופיים פנו אלינו משום שסברו ש-CBD עשוי לסייע בהפקת CNC. בתום מחקר של חמש שנים הסתבר ש-CBD אינו מסייע בהפקת CNC, אולם החשיפה שלנו במעבדות האוניברסיטה העברית לאתגר החשוב הזה הובילה אותנו בסופו של דבר לפיתוח טכנולוגיה חדשנית להפקת CNC בשיטה יעילה מבוצת הפסולת של תעשיית הנייר הממוחזר.

בבסיס הטכנולוגיה הבוצה עוברת טיפול בחומצה חלשה שמסייעת בהרחקת תוספים שבדרך כלל מצויים בבוצת נייר כגון גיר. בהמשך סיבי הצלולוז מטופלים בריאקטור בחומצה מרוכזת בתנאים שבהם האזורים האמורפיים בסיב עוברים עיכול ומשתחרר גלוקוז. זאת בעוד שהאזורים הקריסטליניים מופרדים מהחומצה. לאחר מספר שטיפות במים ה-CNC מורחף במים ומתקבל תרחיף שקוף. אחד היתרונות של הטכנולוגיה החדשה הוא שאיננו צריכים לכותר עצים כדי להפיק CNC. כמות הבוצה שמצטברת בעולם מתעשיית הנייר הממוחזר היא עצומה. אירופה לבדה מייצרת 11 מיליון טון בוצה ביום. זו כמות מספקת לבנייה של הר בגובה 3 ק"מ שבסיסו מגרש כדורגל....

זוהי בעיה גדולה לאיכות הסביבה. אך עבורנו זהו חומר גלם נפלא לייצור CNC. הטכנולוגיה בשלה, והאוניברסיטה העברית רשמה פטנטים שעל בסיסם הוקמה חברת מלודאה (<http://www.melodea.eu/>). והיום החברה מפיקה CNC בהיקף תעשייתי בארץ ובשוודיה.

מגוון השימושים ב-CNC הוא עצום. החל מאריזות חכמות למזון, חיזוק חוטי טקסטיל לביגוד ומיגון, תוסף לצבעים לשיפור עמידותם, ציפוי נורות LED, חיזוק פולימרים בתחום הפלסטיקה, חומרי בנייה, דיו למדפסות תלת-קמד, שתלים רפואיים ועוד.

מומלץ להתבונן בסרטון שהוצג בביאנאלה לארכיטקטורה בוונציה שבה הדגמנו כיצד ניתן להדפיס מחסה במדבר שעשוי מ-CNC וממרכיבים נוספים המאפשרים יצירת מחסה בעל יכולות קליטת מים מלחות הבוקר, הפקת אנרגיה מהשמש ושימוש באנרגיה לצינון המים ורצפת המחסה, וכל זאת בחומרים בני קיימא שמקורם בטבע (<https://www.youtube.com/watch?v=jbtGTJXC9n0>).

עבודתי כחוקר באוניברסיטה הביאה אותי במהלך השנים להכרה שמקור ההשראה הטוב ביותר עבורי כמדען הוא הטבע. במהלך מליארדי שנים של אבולוציה יצר הטבע חומרים מופלאים שהלוואי שהיינו יכולים ליהנות ולו מקצת מהם. חומרים כמו CNC, חלבון הרזילין המיוצר על ידי פרעושים ומאפשר להם לקפוץ פי 100-200 מגובהם, סיבי קולגן מאדם המאפשרים היום פיתוח שתלים לשחזור רקמות ואף הדפסת אברים בתלת-קמד. כל אלו הם רק קצה קרחון עצום של חומרי טבע שממתנים לנו לגלותם ולהפיק מהם תועלת לאדם ולסביבה. אני ממליץ גם להתבונן בהרצאת TED שנתתי בפריז ובה אני מתאר את ההזדמנות המופלאה שהטבע מספק לנו:

[https://www.ted.com/talks/oded\\_shoseyov\\_how\\_we\\_re\\_harnessing\\_nature\\_s\\_hidden\\_superpowers/transcript](https://www.ted.com/talks/oded_shoseyov_how_we_re_harnessing_nature_s_hidden_superpowers/transcript)

בסיומה אני מצטט את פבלוב שאמר: "אם אתה מחפש רעיון חדש, פתח ספר ישן". והתוספת שלי היא שלמעשה, הספר כבר נכתב. אין שום צורך להמציא את הגלגל מחדש. הוא נכתב על פני מליארדי שנים של אבולוציה, והטקסט הוא ה-DNA של היצורים החיים בטבע. כל שעלינו לעשות זה לקרוא את הטקסט הזה, לפענח את הקוד ולהתחיל את הקדמה שלנו מאותה נקודה.