



כסלו תשע"ח  
דצמבר 2017

# איגרת

גיליון 39

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים



## תמונת השער:

### בלוט של אלון מצוי

פירות דומים נמצאו בחפירת האתר  
האשלי בגשר בנות יעקב.  
ראו מאמרה של פרופ' נעמה גורן-ענבר  
בעמ' 12-23.  
צילום: ד"ר יואל מלמד

עורכת (הדוברת ומנהלת קשרי הציבור): אביטל בר  
עריכת לשון: יהודית (דיתיק) ידלין וטלי אמיר  
תצלומים: ארכיון דוברות האקדמיה ומקורות אחרים  
עיצוב והפקה: נאוי קצמן עיצוב גרפי

### האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

רחוב ז'בוטינסקי 43  
כיכר אלברט איינשטיין, ירושלים 9104001  
טל' 02-5676222, פקס' 02-5666059  
avital@academy.ac.il, www.academy.ac.il

### מועצת האקדמיה

פרופ' נילי כהן (הנשיאה)  
פרופ' דוד הראל (סגן הנשיאה)  
פרופ' איתמר וילנר (יו"ר החטיבה למדעי הטבע)  
פרופ' יוסף קפלן (יו"ר החטיבה למדעי הרוח)  
פרופ' רות ארנון (הנשיאה הקודמת)  
גליה פינצי (המנהלת)

# תוכן העניינים

## 3 הרצאות הבכורה של החברים החדשים בתשע"ז

4 פנאופטיקון בעיירה: ג'רמי בנת'ם ומסעותיו במזרח אירופה. פרופ' ישראל ברטל

12 אדם ונוף בעמק החולה הקדמון. פרופ' נעמה גורן-ענבר

24 כוחו של העבר: מודרניות, אימפריות והגילוי מחדש של העולם העתיק. פרופ' בילי מלמן

32 חומר רך: מכתבי חרטומים ועד מחלות מפרקים. פרופ' יעקב קליין

40 חידות על עצים, ממדים גבוהים, בחירות, חישוב ורעש. פרופ' גיל קלעי

48 פיענוח הקוד הנסתר ברצפי הרנ"א. פרופ' גדעון רכבי

## 57 באקדמיה

59 ידיעות בקצרה

68 האקדמיה הצעירה - חממה לרעיונות וליוזמות. מאת אסף אוני ואביטל בר

74 דיאיון עם פרופ' יהושע יורטנר, מאבות ההשכלה הגבוהה בישראל. מאת עודד כרמלי

80 החוקרים השבים - ארבעה סיפורי הצלחה של "מרכז הקשר" באקדמיה. מאת אסף אוני ואביטל בר

## 88 בהוצאה לאור

92 ספרים חדשים מאת חברי האקדמיה

96 רשימת חברי האקדמיה



**הרצאות  
החברים  
החדשים  
בתשע"ז**

# פנאופטיקון בעיירה: ג'רמי בנת'ם ומסעותיו במזרח אירופה



## מאת פרופ' ישראל ברטל

### 1. מהפכה תעשייתית באחוזת פאודלית

אפתח בתודות לחברות האקדמיה וחבריה אשר מצאו אותי ראוי להצטרף למוסד נכבד זה. בחרתי לדבר על מפגשי יהודים עם הנאורות המערבית ולעמוד על מקרה מוקדם שבו פגשו בני קבוצה אתנית-דתית מרובת אוכלוסין זו בסימנים ראשונים של אתגרי המודרנה בארצות מזרח אירופה. מפגשי היהודים והמודרנה היו כבר מראשית ימיה של ההיסטוריוגרפיה היהודית החדשה מוקדי מחקר טעוני דעות, גדושי אמונות ומוטי השקפות. כאלה הם פני הדברים גם בהיסטוריוגרפיה הישראלית העכשווית. בתוכה טבועות, אם במודע ובמכוון, ואם שלא מדעת ובספונטניות, עקבות של זרמים, אי־אולוגיות ודפוסי חשיבה ששורשיהם בחוויות שלהי המאה השמונה-עשרה.

כותרת הרצאתי עשויה להישמע מוזרה אף באוזני אלו הבקיאים בתולדות הנאורות האירופית. מה לפילוסוף, המשפטן והמתקן החברתי הבריטי ג'רמי בנת'ם (1745–1832) ולעיירה במזרח אירופה של ימי חלוקות פולין? הדברים אמורים במפגש נשכח מלב

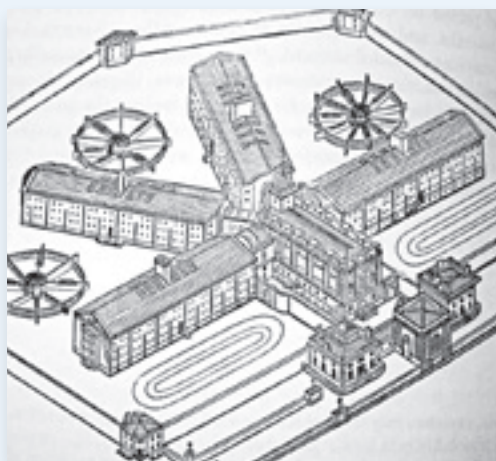
שהתרחש בשלהי המאה השמונה-עשרה בין נציג מובהק של המודרנה המערבית לקהילה היהודית הגדולה בשוליים המזרחיים של היבשת. אציע הערות אחדות על הקשריו ההיסטוריים של המפגש הזה ואתה על השלכותיו ההיסטוריוגרפיות.

ב־18 בחודש יוני 1784 שיגר סמואל בנת'ם (1757–1831), מהנדס ספינות אנגלי צעיר ושאפתן, שנמנה עם סגל הקצינים של הצי הרוסי הקיסרי, מכתב נלהב לאחיו, המשפטן ג'רמי בנת'ם, שבלונדון. מומחה הספנות הנמרץ שלח אותו מקרמנצ'וג שבאוקראינה המרכזית, שבה עשה בשירות הנסיך פוטיומקין, מקורבה רב ההשפעה ועתיר הנכסים של הקיסרית יקטרינה השנייה. סמואל הציע לאחיו המלומד ללכת בעקבותיו, להצטרף למאות אנגלים שנהרו באותם ימים לאימפריה המתעצמת כדי לעשות רווחים ולהשתתף במיזם ההתפשטות הטריטוריאלית, שהתווה מחדש את מפת אירופה. הוא הפציר בו לשבת עימו באחוזת סמוכה לעיירה קריצ'ב, בשטחים הכבושים במזרח רוסיה הלבנה שסיפח הצבא האימפריאלי הרוסי בקיץ 1772 ממלכות פולין-ליטא.

ג'רמי בנת'ם נענה לבקשת אחיו, יצא למסע מזרחה, וב-14 בחודש פברואר 1786 הגיע לעיירה הנידחת וקבע מושבו באחוזה סמוכה. כמעט שנתיים התגורר שם, סייע לאחיו בעסקיו וקבע עיתים לעיון ולכתיבה.

שניים מחיבוריו, האחד בכלכלה מדינית והשני בתכנון חברתי – "הגנת הנשך" (1787) ו"פנאופטיקון" (1791) – נכתבו אפוא במקום סמוך ונראה ל"שטעטל" שבבעלות נסיך רוסי. המבוא לחיבור על הנשך, שבו התפלמס בנת'ם עם אדם סמית' והעיר על הפעילות הפיננסית של היהודים, נשלח כמכתב מ-"Crichoff, in White Russia," January 1787.

## 2. פנאופטיקון: אוטופיה אנטי־קורפורטיבית בשירות משטר ריכוזי



דגם בית הכלא בפנטונוויל, שתכנן הארכיטקט ג'ושואה ג'ב (1840-1842). מתוך: *Report of the Surveyor-General of Prisons, London, 1844*

יומן המסע שכתב הפילוסוף והמתקן החברתי הבריטי וחליפת המכתבים שניהל עם אחיו, עם אביו ועם אחדים מעמיתיו באנגליה מתעדים מציאות פוליטית, פעילות כלכלית והוויה תרבותית בגבול פולין-רוסיה. אף שניחן בחדות עין ובחריפות שכל, לא השכיל

המשפטן הלונדוני נתבקש לסייע לאחיו במימוש תוכניותיו הצבאיות ובפיתוח יוזמותיו העסקיות. וכך כתב סמואל לג'רמי: "שווה בנפשך גם זאת שבפעם הראשונה הריני מעורב בעסק של ממש ששמי הטוב תלוי בו. חשוב על התנאים הנוחים שאני יכול להגשים בהם את תוכניותיי העסקיות. חשוב על כך שזמן רב לא הייתי מורגל ביישום. חשוב על חולשת זיכרוני והערך בעצמך את הסיוע שתוכל להגיש לי [כדי] להנחותני עוד פעם בדרך הנכונה. תן דעתך לכך שמלבד בניית ספינות הרי לפניי כר נרחב לניצול כישרונות שיש בי או שעתיד אני לרכוש. [...] הקיסרית צפויה להפליג מאחוזה זו של הנסיך לשוט משם במורד הדנייפר". אחוזות פוטיומקין בקריצ'ב שבגוברניה (פלך) מוהילב היו עד חלוקת פולין הראשונה בשנת 1772 בבעלות משפחת האצולה הפולנית רבת ההשפעה רדז'יוויל. ב-1777 נמנו בפלך 11,455 יהודים – 5,494 מהם ישבו בערים, ו-5,961 גרו בעיירות ובכפרים. מיזמי תעשייה לא היו דבר חדש בעיירה. קודם הסיפוח הרוסי הייתה קריצ'ב מרכז תעשייה משגשג. פעלו בה מנופקטורות לעיבוד עורות ולייצור זכוכית, חבלים ואריגי פשתן.

היזם האנגלי ביקש להשתלב בתוכניותיו הצבאיות של פוטיומקין לבנות צי ספינות נהר ולציידן לצורכי קידום הקולוניזציה הרוסית בשטחים שמצפון לים השחור שנכבשו זה מקרוב מן הטורקים, ולהיערך לקראת מלחמה נוספת עם האימפריה העות'מאנית. מיקום העיירה התאים ביותר להקמת מערך מפעלים לציוד ספנות: נהר הסוז' שעליו ישבה נשפך לדנייפר, והדבר אפשר להשיט את המוצרים אל המספנות האימפריאליות שהוקמו ביוזמת פוטיומקין בחרסון; נתיבי מסחר חיברו את העיירה עם נמלי הים הבלטי ריגה וקניגסברג; בכפרים שמסביבה היה כוח עבודה של עשרות אלפי צמיתים; אוכלוסייה יהודית גדולה מילאה תפקיד חיוני בכלכלה האחוזה. היהודים שעברו בן לילה משלטון אחד למשנהו המשיכו לספק לבעלי האחוזה החדשים שירותים וסיפקו להם גם מוצרים נחוצים.

בשילוב חידושים אנרגטיים, המצאות טכנולוגיות, ארכיטקטורה חדשנית ומנהל ריכוזי. זה היה אותו סמואל בנת'ם, שבניהולו הופעלה לראשונה, שנים מעטות לאחר ששב מרוסיה לאנגליה, שיטת ייצור המוני (מעין "סרט נע") במספנה בפורטסמות'.

בראשית שנות התשעים שיוקו השניים יחדיו את רעיון הפנאופטיקון באנגליה ובארצות אחרות. במקור היה מדובר בבית כלא שתוכננתו הארכיטקטונית וההנחיות לסוהרים נועדו לאפשר פיקוח יעיל ומוחלט על האסירים, בכל רגע ומכל נקודה נתונה. אולם אחרי שראה החיבור אור, הורחבו יישומיו האפשריים של הפנאופטיקון לשורת מוסדות שתכליתם השלטת משמעת ופיקוח טוטאלי על עבודה, על התנהגות ואף על מחשבות: בתי ספר, מחנות צבא, בתי חרושת, בתי מחסה לחולי נפש ובתי עבודה (Work Houses) ליתומים, בני עניים, קבצנים, יהודים נודדים ושאר טעוני תיקון המידות. מישל פוקו עמד על כך שבנת'ם הועיד את הפנאופטיקון להשלטת המשמוע המושלם, שאין מפלט ממנו, וגם לחינוך האסיר-נתיך-חוסה-עובד-חייל-תלמיד למשמעת עצמית: חברת הנתונים בפנאופטיקון תהיה במעקב טוטאלי אחר כל יחיד, והיחידים הממושמעים יפנימו את הפיקוח, וכך המפקח והמפוקח, הממשמע והממושמע יפעלו כגוף חברתי אחד – חברה משמעתית.

הפנאופטיקון היה תוצר רדיקלי של ההגות החברתית בעידן הנאורות. חברו בו חתירה נמרצת לחינוך ולעיצוב מחדש של בני ובנות אנוש בשיטה מדעית וחזון ההאחדה והמשמוע (disciplining) של הנתינים במדינה הריכוזית או של החוסים באחד ממוסדותיה. אולם עד כה לא הושם לב להקשר העירתי-אחוזתי של הרעיון. לדעתי, ניתן לראות בדגם המוסד הריכוזי לחינוך ולעיצוב מחדש, שלידתו בקריצ'ב, מעין צילום מהופך של הקורפורציה הבינימית, שעדיין פרוחה ושגשגה באירופה.

בנת'ם לתעד כמה תופעות גלויות ובולטות. קטעים מן היומנים ומהמכתבים שאותם אני חוקר זה שנים בכמה ארכיונים באנגליה, עוסקים ביהודי העיירות. ניתן למצוא בהם מפתחות להבנת תמונת העולם של נוסע מערבי, איש עידן הנאורות, בשוליים המזרחיים של היבשת. עיון במפגש בין בנת'ם ליהודי העיירה מעורר תהיות על הדרך שבה מתווים עד היום אידאולוגיה, פוליטיקה וגם אנאכרוניזם גרידא, כיווני מחקר היסטורי בתהליכי המודרניזציה של היהודים.



עמוד השער של המהדורה הראשונה של "פנאופטיקון" (דבלין, 1791)

רעיון ה"פנאופטיקון" – שג'רמי בנת'ם העלה על הכתב בעיירה קריצ'ב – זכה בשעתו להיות בעל השפעה. הוא אף יושם הלכה למעשה בכמה מדינות באירופה ובצפון אמריקה. חוקרי המהפכה התעשייתית מייחסים לאח הצעיר סמואל, הממציא והיזם הכלכלי, חלק בהמצאת הפנאופטיקון. היה גם מי שעמד על הרקע הרוסי הייחודי להתפתחות ההמצאה. מוסכם כי היזם הנמרץ שאף לנצל את כוח העבודה של הצמיתים באחוזות פוטיומקין בשום שכל ולפתח תעשייה על יסוד חשיבה מדעית,



ניתן לגלות בהמה כזאת, אף שלא איבדנו זמן במצוד אחריה, נכנסה השבת".<sup>2</sup>

במסעו חזרה אל אנגליה לן בנת'ם בעיר סלונים: "[...] הוכרתי להיזקק לחדר אצל יהודי, לא פונדק אלא בית פרטי – שהיה כבר מוסק וערוך כראוי. הוא תבע שני רובלים, אך לקח אחד. שולחנות 3, אחד מהם רחב מאוד, סגלגל בעל דפנות עשויות כהלכה וצבוע לסירוגין אדום וירוק, 7 או 8 כיסאות נאים תואמים לו. 2 ארונות ספרים מזוגגים: האחד אדום וירוק, והאחר מעץ לא מעובד מגולף בגסות, ולו שידה מאלון לא מעובד. ספרים ב־2 לא פחות מ־250 או 300 כרכים. רובם צנומים בתבנית פוליו – כולם בעברית. בעל הבית רב, המחזיק חנות כלי עבודה שהמוצרים בה מצוירים על תריס חלונו. אחד הספרים שהראה לי היה האלמנטים של אאוקלידס: אחר על אסטרונומיה, ובו סרטוט בכתב יד שעליו אמר כי הוא עצמו צייר. שערן מגושם אף הוא צבוע ירוק [...] כל תכולת חנותו, כך הבטיחני, הייתה מאנגליה או מאוסטריה (שטריה). מאום לא יוצר בפולין. אין מנופקטורה מכל סוג שהוא בסלונים, אף שהיא עיר גדולה למדי. [...]"<sup>3</sup>



הסכמת ר' שמשון בן מרדכי מסלונים לספר "אוקלידוס"

הקהילה היהודית ומוסדות העיר במזרח אירופה היו גופים קורפורטיביים לכל דבר. ה"חירויות" שמהן נהנתה העיירה ברפובליקת האצילים הפולנית, ביזור הסמכויות וריבוי בעלי התפקידים, המונופוליים הכלכלי של ה"קהל" והאופי הדתי-הטוטאלי של החיים – אלו נראו בעיני מבקריה של העיירה בעידן הנאורות ובעיני תלמידיהם, סופרי תנועת ההשכלה היהודית, מופעים מובהקים של סדר אי-רציונלי, מיושן, לא פרודוקטיבי וחסר תועלת (ואף עוין לשלטון המרכזי ומעכב משמוע מרצון). האחים לבית בנת'ם התגייסו, מיוזמתם, לניסוי חברתי-כלכלי שעלה בקנה אחד עם מטרות הרפורמות שביקש השליט האבסולוטיסטי הנאור לערוך במרחבי מזרח אירופה. היהודים, ובייחוד מאות אלפי בני השכבות הנמוכות שגדשו את העיירות במרכז אירופה ובמזרחה, היו אחת מן הבולטות בקבוצות האתניות-דתיות שנחשבו טעונות חינוך מחדש ו"רגרציה" בעיני מתקנים חברתיים ופקידי שלטון אימפריאליים.

### 3. יהודים הם השדרה השלישית

הנוסע האנגלי נחשף במסעותיו למציאות דמוגרפית שונה מזו שהכיר באנגליה: יהודים היו בכל מקום, במספרים ניכרים. הוא גילה עניין במקומם במסחר הקמעונאי, בתחבורה, בתקשורת ובהספקת שירותי דרך לנוסעים. הוא שרבט בפנקסו הערות עוקצניות על אודות פעילותם הכלכלית. לאביו בלונדון כתב על יהודי כפרי מסביבות בלזי שבמולדביה שבביתו לן בינואר 1786: "ספק ורוכל, כמו כל היהודים, אך באילו סחורות לא עלה בידי לדעת".<sup>4</sup>

לאחר שחצה את הגבול העות'מאני-פולני ונסע באוקראינה, גילה בעיירה צ'צ'לניק כי "כאן, כמו ביאסי, התערבה הדת והטילה עליי קללה. מקצה אחד של אוקראינה הפולנית לקצה האחר לא יזוע סוס נוצרי בלא סרסור-יהודי שיניעו. לפני שהיה



בית הכנסת הגדול בעיר סלונים (נחנך בשנת 1642)

כמים לים מכסים. ואף כי קטן יעקב ודל הוא זה הקטן גדול יהי' ובעתה אחישנה [...] שיעתיק מחכמת הלימודיות הכתובים בכל לשון מלשוננו הקדושה. כי היא האבן הראשה".

בנת'ם לא היה יכול לדעת כי הפילוסוף שלמה מיימון, מי שלימים גלה מליטא לברלין, הלך מעירו נייסוויז' לבית מי שכינה בזיכרונותיו "הרב בעיר ס",<sup>5</sup> ושאל ממנו ספרים באופטיקה, בפיזיקה וברפואה, כולם בלשון הגרמנית. אף שהתרשם מגודלה של סלונים ולמד ממארחו היהודי משהו על יבוא סחורות מאנגליה, לא הזכיר בנת'ם את מפעליו הכלכליים המרשימים של בעלי העיר, שיזם חפירת תעלה שקישרה את נתיבי המים בין הים הבלטי לים השחור (!) המיזם הכלכלי-מדיני, שלו היו שותפים סמואל בנת'ם והנסיך פוטימקין – היוזמה לביטול האופי היבשתי כביכול של הפעילות הכלכלית העיירתית בלב רוסיה הלבנה – נסתר מעיני ג'רמי בנת'ם, שעבר בשתיקה על קיומה של "תעלת אוגינסקי".

#### 4. אפיקים חלופיים של נאורות

פגישה מקרית ב"עיר פרטית" של אציל פולני רם-מעלה חשפה לפני הנוסע האנגלי טפח ממערך חברתי-כלכלי שלא הכיר עד אז. הוא בילה ערב במחיצתו של מלומד יהודי, סוחר אמיד ואספן ספרים שחי ופעל בעיירה בבעלות מדינאי בכיר בדוכסות ליטא, שהיה יזם כלכלי, פטרוני אומנויות, שוחר תרבות, המערב ומחבר מאמר ב"אנציקלופדיה" הצרפתית הנודעת. בעל הבית שבו לן (בנת'ם לא הזכיר את שמו ברשימותיו) היה ר' שמשון בן מרדכי, רבה של סלונים, שכתב בשנת תקל"ח (עשור שנים לפני שפגש באורח האנגלי) הסכמה נלהבת לתרגום ספר הגאומטרייה של אאוקלידס, פרי עטו של ר' ברוך משקלוב.

ר' ברוך, מחברם של ספרי מתמטיקה ורפואה בלשון העברית, מרואי פניו של הגאון מווילנה, זכה בה לשבחים: "עתה לא יבוש יעקב ותמלא הארץ דעה

בהמה לשאת אותו, לא דיר־חזירים להניח בו את ראשו, אלא הוא חייב יהודי לסייע לו להשיג כל אלו? [...] אם זאת עליונות הראש היהודי? מהו הראש הפולני הילידי? לי תיאוריה בלתי־נעימה פחות לגבי האומה. עוסקים בלתי־קרואים אלו הם 'השדרה השלישית' ונמצאים בתווך בין עם של אדונים לעם של עבדים, בארץ שאיננה מציעה די כדי למשוך אליה תאבי רווחים טובים יותר".<sup>6</sup>

לדעת בנת'ם, שמר המעמד הבינוני (שהיה למעשה מיותר!) על יתרונו הכלכלי, משום שהתנאים לא עודדו יזמים מוכשרים יותר מן היהודים. האם רמז ליוזמות מן הסוג שביקש אחיו סמואל לפתח? דבריו על סלונים, שאין בה וולו מנופקטורה אחת, ועל כך שהרב־הסוחר היהודי שבביתו לן משווק מוצרי פלדה מיובאים, מתקשרים יפה לעניין זה. המציאות הכלכלית במחוזות שבהם מילאה העיירה היהודית תפקיד חיוני נראתה לו מפגרת וטעונה שיפור. השיפור יחול בדרך שבה ביקש אחיו הצעיר סמואל לנהל בקריצ'ב מערך מפעלים, מצוידים במיטב הטכנולוגיה של ראשית המהפכה התעשייתית, מפוקחים ומנוהלים בסדר ובמשטר, בשירותה של אימפריה ריכוזית מתעצמת. היהודים, חברי ישות קורפורטיבית ששלטה בענפי המסחר הקמעונאי, בתחבורה ובמתן השירותים, נראו בעיניו של בנת'ם כמי שעיקבו יוזמות ייצור מקומי מחומרי הגלם שהיו מצויים בשפע בסביבה הקרובה.

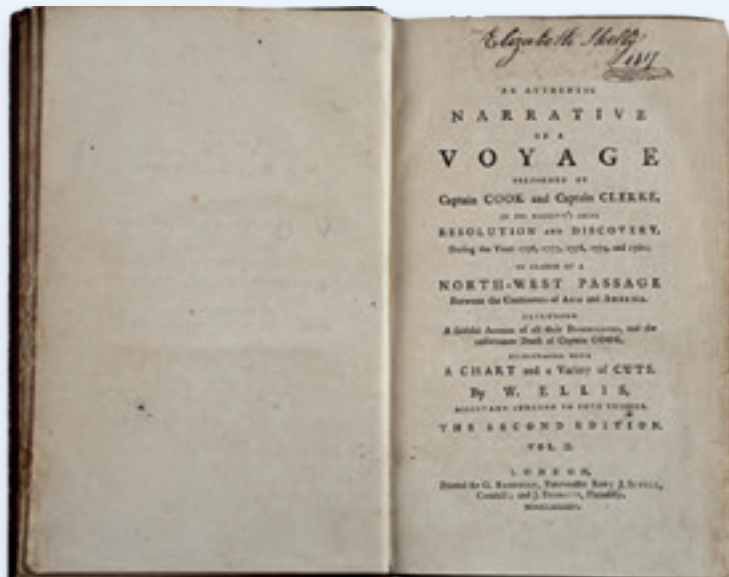
המבקר הבריטי הסתייג באותה מידה משליטת המאגנטים הפולנים באמצעי הייצור ובכוח העבודה, שדיכאה יוזמות כלכליות, מנעה תחרות ושימרה את תפקידיהם הכלכליים המסורתיים של היהודים. ניתן לשער מדוע לא התלהב מן הפטרונות התרבותיות של אנשי האצולה, שייבאו תרבות מן המערב. ייתכן כי זאת הייתה הסיבה להתעלמותו מיוזמותיו הכלכליות והתרבותיות של פטרוֹן האומניות ועמיתו של דידרו, מיכל אוגינסקי, שבעירו בילה לילה אחד. ◀



אוקלידוס, האג 1780 (תרגום עברי של החלק הראשון של "יסודות" מאת אוקלידוס)

נעלמה ממנו גם הידיעה כי אוגינסקי היה בעליה של מנופקטורה בסלונים עצמה. מתמיה גם היעדר כל זכר לפעילותו של אוגינסקי בשדה התרבות, שהקנתה לעירו את הכינוי "אתונה הצפונית". האציל מסלונים היה מלחין, חוקר מוזיקה, שוחר תיאטרון ואופרה, שהתכתב עם דני דידרו, הכיר את המלחין יוזף היידן וכתב מאמר עבור האנציקלופדיה הצרפתית(!) בנת'ם, שוחר התועלתנות, לא הבחין בכל אלו. נסתרו ממנו המסלולים החלופיים שבהם לחלו השפעות ממערב אירופה למזרח היבשת.

הוא לא הבחין בגווניה של התקבלות השפעה זו בקבוצות האוכלוסייה השונות. עיירות פולין-ליטא היו בעיניו מחוזות פיגור טעוני גאולה. תפקודם הכלכלי של היהודים הדגים פיגור זה כתולדה של הסדר הפיאודלי־קורפורטיבי, שבו שלטו האצילים הפולנים, בעלי העיירות. הוא קבע בלשון בוטה: "[...] בכל רחבי פולין אין אדם יכול להשיג בעצמו יריעת בד להתכסות בה, לא פרוסת לחם שחור למאכל, לא



עמוד השער של הכרך השני מן המהדורה השנייה של *An Authentic Narrative of A Voyage* (מסעות קפיטן קוק וקפיטן קלרק בשנים 1776-1780), לונדון 1783

עיירות יהודיות, שמילאו תפקיד כלכלי חיוני, בעל אופי שמרני ביותר. אם תרצו, נערך בקריצ'ב ניסוי חברתי-כלכלי חלוצי שערער על הסדר הפאודלי של רפובליקת האצילים הפולנית-ליטאית והיה קריאת תיגר מוקדמת של סדר עולם חדשני על העיירה, פרנסותיה, מנהגיה ותרבותה. סמואל התגייס לקידום כלכלה מונופוליסטית בשירות מדינה תאבת שטחים, צמאת ריכוזיות ושואפת חדשנות טכנולוגית; מדינה שהביורוקרטים שלה אימצו לשעה חזון נאורות רדיקלית של עיצוב אדם חדש, נטול זיקה לעברו הקרוב ומשולל עיגון בהווה החברתית שבה נולד.

ג'רמי חשף במכתביו וברשימות היומן שלו את מה שזיהה כחולשות סדר העולם הישן, שבתוכו שגשגה העיירה היהודית. תחנות בנתיביה החלופיים של התפשטות הנאורות המערבית בשוליה המזרחיים של היבשת זכו לתיעוד אקראי במכתביו וביומן המסע שלו, אך לא התחברו לשיח הקדמה הרדיקלי שעיצב את ראייתו. הוא התקשה לשלב בתמונת עולמו

שלושה ספרים ביקש האח סמואל בנת'ם שישלחו אליו מאנגלייה: "מסע קוק. היו לי סיבות מספר לרצות בו. אך כיוון שאתה מוסר לי שהוא כה יקר, הנח לזאת. סמית' על עושר האומות. לבטח עדיפה המהדורה החדשה. כן, בוודאי אנציקלופדיה בריטניקה"<sup>7</sup>. אך נראה כי בשעה שביקשו שני האחים לעיין באנציקלופדיה הבריטית, ללמוד מניסונו של נוסע בריטי בעולם החוף-אירופי ולרענן את ידיעותיהם בהגות הכלכלית העדכנית, לא העלו בדעתם כי עיר יהודית ברוסיה הלבנה שייכת לאחד מכותבי הערכים באנציקלופדיה הצרפתית(!)

#### 5. סיכום: מרשימות נוסע מערבי לקונווצייה היסטוריוגרפית

עיון ה"פנאופטיקון" נולד מחוויית המפגש של היזם והממציא סמואל בנת'ם עם היבטיה הכלכליים-חברתיים של סביבה קורפורטיבית-פאודלית – מערך אחוזות הענק של האצולה הפולנית, שנפרס על פני אלפי קילומטרים מרובעים, ובתוכו מאות

המאה השמונה-עשרה אל מחקרי היסטוריונים של המאה העשרים.

במציאות ההיסטורית המורכבת ורבת הגוונים של העת החדשה המוקדמת השתרגו רשתות חברתיות, כלכליות, פוליטיות ותרבותיות על פני המרחב האירופי וחפפו אחת את האחרת. בנקודות המפגש ביניהן התחוללו תמורות ששינו את פניהן של הקבוצות האתניות, וזו היהודית בתוכן. אולם ההיסטוריונים, שהיו משוקעים במשך מאתיים שנה ויותר בנרטיבים השונים של שלל תנועות, זרמים וזהויות אתניות-לאומיות במרכז אירופה ובמזרחה, פרסו רשתותיהם בכיוון אחר ולא נתנו דעתם לנקודות מפגש שלא תאמו את זיכרון העבר שביקשו להנחיל לדורות הבאים. ■

נאורות שעלתה בקנה אחד עם משק פאודלי; הצגת תיאטרון פרי עטו של וולטר שיהודי עיירה בבעלות אציל מידידי דני דידרו נמנו עם צוות מפיקה; רב – יבואן מוצרי פלדה בריטיים, שרשתות עסקיו וגם הסכמות לספרים הממלאים את ארונו חיברו בין לונדון לאמסטרדם לוילנה לקניגסברג ולריגה.

מסלולי הנאורות החלופיים, שחיברו בין חצרות האצולה הפולנית לספריות הרבנים ולמחסני הסוחרים שבמרחבי יבשת אירופה, הוסתרו בדרך כלל במה שנראה כמסלול הלינארי-דטרמיניסטי של התפשטות הקדמה ממערב למזרח בשירות המדינה הריכוזית הממשמעת. מסלול זה התגלגל כקונוונצייה היסטוריוגרפית מכתבי אידיאולוגים של

Correspondence of Jeremy Bentham, III, p. 449 (1)

Correspondence of Jeremy Bentham, III, p. 454 (2)

Correspondence of Jeremy Bentham, III, p. 603–604 (3)

ספר אוקלידוס, האג תק"ם, הסכמת ר' שמשון. (4)

ספר חיי שלמה מימון (כתוב בידי עצמו), עם מבוא מאת פ' לחובר, תרגם י"ל ברוך, ירושלים ותל אביב תש"ב, עמ' 118. ראו הנוסח המקורי בגרמנית: *Salomon Maimon's Lebensgeschichte von ihm selbst geschrieben und herausgegeben*, I–II, Berlin 1792, p. 144

Correspondence of Jeremy Bentham, III, p. 454 (6)

Correspondence of Jeremy Bentham, III, p. 256 (7)

לקריאה נוספת:

Boralevi, C., 1984. *Bentham and the Oppressed*, Berlin and New York, Walter de Gruyter.

Christie, I. R., 1993. *The Bentham in Russia, 1780-1791*, Oxford and Providence, Berg Publishers.

G. Cross, A. G., 1997. *By the Banks of the Neva: Chapters from the Lives and Careers of the British in Eighteenth Century Russia*, Cambridge, Cambridge University Press.

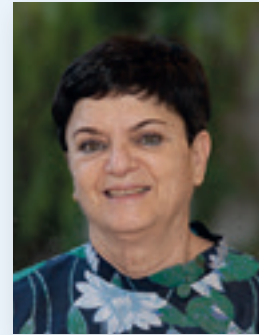
Teller A., 2016. *Money, Power, and Influence in Eighteenth-Century Lithuania, The Jews and the Radziwill Estates*, Stanford, Stanford University Press.

Werrett, S., 1999. "Potemkin and the Panopticon: Samuel Bentham and the Architecture in Eighteenth Century Russia", *Journal of Bentham Studies*, 2: 1–25.

Id., 2008. "The Panopticon in the Garden: Samuel Bentham's Inspection House and Noble Theatricality in Eighteenth-Century Russia", *Ab Imperio*, 3: 47–70.

Wolff, L., 1994. *Inventing Eastern Europe: The Map of Civilization on the Mind of the Enlightenment*, Stanford, Stanford University Press.

# אדם ונוף בעמק החולה הקדמון



## מאת פרופ' נעמה גורן-ענבר

### מה אכלו הקדמונים?

השאלה מה אכלו הקדמונים היא נושא מחקר מרכזי בחקר תולדות האדם. מקורות מזון זמינים הם תנאי חיוני לקיומו של האדם ולהעמדת צאצאיו, והיעדרם יכול לגרום להכחדת אוכלוסיות. זמינות מקורות המזון משתנה מאזור לאזור ומאקלים אחד למשנהו ותלויה בין השאר בעונתיות. השאלה מה אכלו ההומינידים כרוכה בגורם עיקרי נוסף והוא מהות יכולותיהם המגוונות שמשנות לאורך ציר ההתפתחות האנושית. שחזור הדיאטה של ההומינידים הקדמונים הוא אבן יסוד בניתוח התהליך של התפתחות האדם ובלמוד יכולות הסתגלותו לסביבתו ולהישרדותו בה.

מהם הכלים המחקריים שיסייעו בידנו ללמוד על אודות מהותה של הדיאטה האנושית הקדומה ועל הרכבה? לפני הניסיון להשיב על השאלה הזאת יש קודם כול להבהיר כי ללימוד הדיאטה האנושית ולשחזור משמשים אותנו כל המחקרים שעניינם הוא העבר. מבין המחקרים המקיפים הללו, העוסקים בשחזורם של הסביבות הקדומות,

של אקלימי העבר, של המערכות האקולוגיות ושל הכיסוי הביולוגי של בעלי חיים וצמחים, למחקר הארכאולוגי הפרהיסטורי נודעת חשיבות עליונה. המחקר הארכאולוגי מציג את שרידי התרבות החומרית, ועל כן הוא מסייע בניתוחו של אופי הפעילות האנושית ובשחזור. וכך, אף שהעדויות הישירות לנוכחות אדם באתרים ארכאולוגיים פרהיסטוריים, כמו עצמות שלד, נדירות ביותר, חשיפתם של שרידי התרבות החומרית וממצאים ביולוגיים אחרים מאפשרים דיון נרחב בנושא.

### ההנחות המקובלות במחקר והבעיות העולות מהן

בבסיס התפיסה המחקרית הרווחת קיימת ההשערה כי הדיאטה של בני האנוש הקדמונים שונה מזו של האדם המודרני (*Homo sapiens sapiens*), שיכולותיו ההסתגלותיות והקוגניטיביות המפותחות מיצבו אותו כמין השליט על פני כדור הארץ. הפערים שבין מיני אדם קדומים ובין האדם המודרני בכל הקשור ליכולות לנצל משאבי מזון זמינים פורשו במחקר פירושים שונים. היו חוקרים שראו בניאנדרטלים

במקרים רבים יש עדויות המורות בבירור על פעילות אנושית בטיפול בפגרים או בבשר ציד, המתבטאות בסימני החיתוך שהותירו חורפות כלי האבן בפגיעתן בעצמות, וכן יש עדויות רבות לביקוע עצמות למטרות אכילת מח העצם.

אחת הסוגיות השנויות במחלוקת חריפה בין החוקרים עולה מניתוח שרידי העצמות של בעלי החיים שמתגלים באתרים הארכאולוגיים הפרהיסטוריים והיא אופן השגת הבשר למאכל: האם ההומינידים הקדומים אכלו נבלות שמצאו בסביבתם וששרידיהן הם שנחשפים באתרים הללו? או שמא כבר בתקופות קדומות יכלו ההומינידים לצוד חיות שונות, ובהן חיות בעלות מסת משקל גדולה ביותר כמו פילים, קרנפים והיפופוטמים, שצידן היה כרוך ברמת סיכון גבוהה. הדיון בסוגיה הזאת קשור ישירות לבעיה מרכזית שמלווה את המחקר הארכאולוגי והיא בעיית שימור החומרים האורגניים מעולם החי והצומח. כך למשל נתאפשרה הגדרת העדויות הוודאיות הקדומות ביותר לציד, שגילן מוערך בכ-300,000 שנה, באתר שונינגן שבגרמניה רק בזכות גיליון של חניתות עץ ששימשו לציד סוסים. חניתות העץ הנדירות הללו נשתמרו הודות לתנאי קרקע ייחודיים, ששיקפו תמונת מצב קדומה ללא פגיעה. אולם ברוב האתרים הפרהיסטוריים מצב שימור החומרים האורגניים אינו כזה, והתמונה העולה גם ממחקרי עצמות מודרניים מלמדת שתהליכי בליה שונים, ובעיקר בליה כימית, מעלימים עדויות כאלה. לפיכך ייתכן שבאתר ארכאולוגי פרהיסטורי יחשפו על גבי מפלס חיים אחד אזורים שנשתמרו בהם עצמות בעלי חיים ואזורים שהם נטולי עצמות, כמו למשל באתר מערת כבארה שבהרי הכרמל. לאור כל אלה נשאלת השאלה: האם העדויות שנחשפות בחפירות הארכאולוגיות הפרהיסטוריות אכן משקפות נאמנה את מרכיבי הדיאטה של ההומינידים הקדומים? ◀

יצורים (*Homo sapiens neanderthalensis*) מפותחים פחות מהאדם המודרני, שלא ניצלו מקורות תזונה זמינים מפאת היעדר יכולות טכנולוגיות או קוגניטיביות. אחרים ראו בניאנדרטלים יצורים אנושיים בעלי יכולות זהות לאלו של האדם המודרני. מרבית החוקרים רואים בהומו ארקטוס (*Homo erectus*), שמוחו הגדול יחסית מבסס אותו כמין האדם הקדום ביותר, את מי שהתנהגותו הייתה דומה במאפייניה להתנהגות האדם המודרני. התנהגותו של ההומו ארקטוס נבדלת מזו של קודמיו, שרובם משתייכים לענף האוסטרלופיתקוס: נפח מוחם היה קטן בהרבה, ותזונתם הייתה שונה מאוד מזו של האדם המודרני. מחקר/לימוד התזונה של היצורים הקדומים הללו נשען לרוב על תכונות המשנן והמורפולוגיה של שרידי הגולגולות וכולל ניתוח אוסטאולוגי ומיקרוסקופי של חלקי שלד כמו גם אנליזות איזוטופיות שונות. היצורים הקדומים חולקו במחקר לשתי מחלקות עיקריות: אוכלי עשב ואוכלי בשר. אוכלי העשב התאפיינו במשנן ובלסתות עצומים, ואוכלי הבשר התאפיינו בשיניים ובלסתות קטנות משל אוכלי העשב.

העדויות הארכאולוגיות, שהן כאמור מקור המידע הראשון בחשיבותו בלימוד על התזונה בתקופות קדומות, מקורן באתרים שיש בהם שרידים שעיקרם כלי אבן מסותתים ועצמות בעלי חיים. שימור העצמות הוא תלוי-אקלים וקרקע, ולכן הוא שונה מאתר לאתר. יתר על כן, באזורים נרחבים בעולם אף אין כל שימור של עצמות, מסיבה זו, ומכאן גם החסך הגדול בכל הנוגע לשחזור תזונת ההומינידים באזורים הללו. עם זאת נוכחותן הרבה יחסית של עצמות בעלי חיים באתרים ארכאולוגיים אחרים, וכבר באתרים קדומים ביותר שהם בני כשלושה מיליוני שנים, מורה שההומינידים ניזונו מבשר וממח עצם. נוכחות העצמות לבדן איננה מספקת, שכן יש אתרים שבהם לא נמצא קשר בר-זמני בין שרידי בעלי החיים ובין שרידי כלי האבן. ואולם,



איור 1. מפת מיקום



בנות יעקב, על המכלול הארכאולוגי שטמון בה. אתר גשר בנות יעקב ידוע מאז שנות השלושים של המאה העשרים, ובשנים 1935–1968 נסקר ונחפר אזור האתר שמצפון לגשרים בידי דורותי גארוד, משה שטקליס ודוד גלעד. פעולותיהם היו מצומצמות ביותר בהיקפן והתמקדו בגדה הימנית שממערב לנהר הירדן. שטקליס פרסם בשנת 1960 תיעוד מקיף של המחקרים השונים שנעשו באתר עד אותה העת.

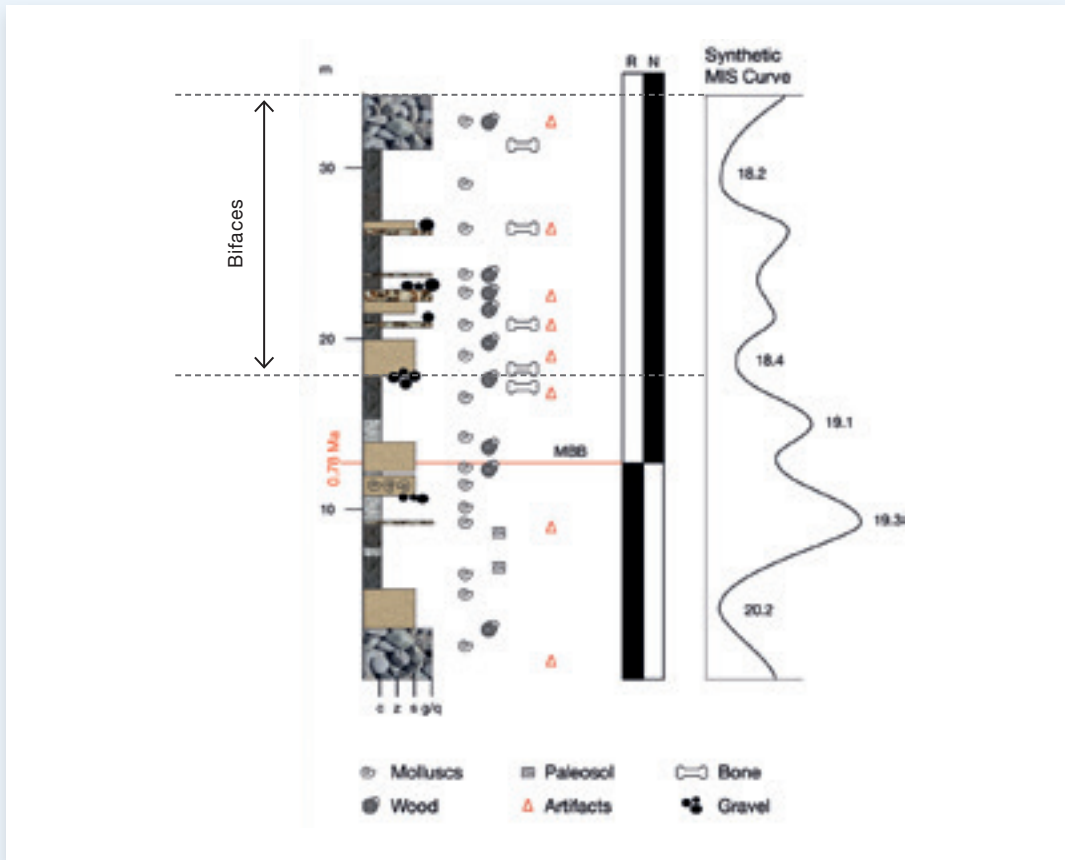
בשנים 1989–1997 חודשה הפעילות המחקרית הארכאולוגית ביוזמתה של מחברת המאמר ומטעם האוניברסיטה העברית בירושלים. החפירה המחודשת, שהתמקדה בגדה השמאלית שממזרח לירדן, התבצעה על גבי רבדים נטויים וחייבה יישום של שיטת חפירות ייחודית, שכללה בין השאר חפירת שש תעלות בדיקה, ששימשו בסיס לחפירת שטחים גדולים יותר, על פי הסטרטיגרפיה של האתר שנצפתה בהן. התמונה שהתקבלה מן התעלות הראתה כי האתר ספוח מים, והרבדתו משוכבת לעומק של 34 מטר (איור 2). לימוד הסדימנטים שבשכבות האתר השונות הראה כי מדובר בחילופי רבדים שמייצגים אגם וחופי אגם שבהם עדויות מעטות לנוכחות של מערכות נחליות. כל מערך השיכוב נמצא עשיר בחומרים אורגניים כמו שרידי עצים, שיחים, מטפסים, סות, פירות, זרעים ופולן, ברכיכות מים מתוקים, בשרידי בעלי חיים מדגים ועד פיל, ובכמויות גדולות של פריטי אבן מסותתים, שרידי התרבות החומרית. לימוד הממצא לסוגיו גילה את פעילות ההומינידים לאורך כל החתך, אם כי עצמותיהם לא נתגלו.

ניתוח המערכת הגאולוגית של האתר כפי שנחשפה בחפירות הארכאולוגיות מחד ובשני קידוחים שנקדחו בתחומו מאידך, מראה כי תצורת בנות יעקב הורבדה על גבי בזלות שגילן נע בין 1.3 ל-1.5 מיליון שנה. הן בקידוחים והן בשטח החפירה התגלה היפוך מגנטי שמתוארך ל-0.78 מיליון שנה (איור 2). ◀

מצב השימור של חומרים אורגניים שמקורם בצומח גרוע אף יותר. חקר הממצאים באתרים פרהיסטוריים, ובייחוד אלה שמקורם בתהליכים בתר-הרבדיים טאפונומיים (post depositional processes), מלמד כי במרבית האתרים החומרים האורגניים הצמחיים נעלמים לחלוטין. עתה ברור לחוקרים כי שרידים צמחיים נשמרים רק בתנאים ייחודיים, ואלו קיימים בשני סוגי סביבה: בסביבה צחיחה במיוחד ובסביבה ספוחת מים (waterlogged). סקירת האתרים הארכאולוגיים הידועים מהתקופות הפרהיסטוריות ומהתקופות ההיסטוריות מורה כי שכיחות האתרים משני הסוגים שבהם משתמרים החומרים האורגניים הצמחיים, שמרכיבים לעיתים את תפריט המזון האנושי, היא מזערית. עם זאת בתחומי ארץ ישראל יש דוגמאות לשני טיפוסים האתרים הללו. ממצאים בוטניים קדומים ידועים הן ממדבר יהודה הצחיח, באתרים כמו נחל חימר, מערות נחל משמר ומצדה, והן מאתרים ספוחי מים כמו עתליתיים, נווה ים וכפר גלים שבים התיכון וכן מן האתר אוהלו שלחופי אגם הכינרת. אחד האתרים הפרהיסטוריים הבולטים בארץ ישראל שנשתמר בו ממצא צמחי עשיר ונדיר שיכול ללמד גם על תזונתו הקדומה של האדם בן התרבות האשליית, הוא האתר המרשים שנחפר בחפירות ארכאולוגיות בגשר בנות יעקב.

#### גשר בנות יעקב: האתר וייחודו

האתר האשלי בגשר בנות יעקב שעל הירדן משתרע על פני יותר משלושה קילומטר מצפון לגשרים שחוצים את הנהר (איור 1) ומדרום להם. האתר חשוף אך בחלקו, במקוטע, בתוך רבדיה של "תצורת בנות יעקב" ונגלה לעין בשתי הגדות של הירדן ובאפיקו. במיקומו בעמק הירדן הצפוני, בעמק החולה, הושפע האתר במידה רבה מהאופי הטקטוני הלא יציב של האזור, שממזרח לו מצוי הלוח הערבי וממערב לו מצוי הלוח של סיני. תנודותיהם של שני הלוחות גרמו לעיוותים, לתזוזות ולנטיות שונות של תצורת



איור 2. חתך סטרטיגרפי מורכב של רצף השכבות בחפירות גשר בנות יעקב

התרבות האשליית באפריקה לאזוריה. מכלול כלי האבן מורכב משלושה סוגי חומרי גלם שונים: בזלת, אבן גיר וצור. מסורות סיתות ייחודיות מאפיינות כל אחד מחומרי הגלם, והן נצפות לאורך כל הרצף התרבותי. מסורות אלה מלמדות על יכולת תכנון וביצוע טכנולוגי, על יכולות קוגניטיביות מפותחות ועל שימור הידע התרבותי לטווחי זמן ארוכים.

### המזון

על גבי המפלסים השונים שבאתר ובזיקה למכלול כלי האבן לסוגיהם התגלו שרידים אורגניים מעולם החי והצומח התורמים תרומה רבה לשחזור תפריט מזונו של האדם בן התרבות האשליית.

תיארוך הבזלות וההיפוך המגנטי מחד והניתוח הסדימנטולוגי המתאפיין במחזוריות מאידך תומכים בהשערה כי הרבדים שנחשפו בחפירות הארכאולוגיות הצטברו במהלך כ-0.1 מיליון שנה. המפלסים הרבים נושאי הממצאים התרבותיים, שחלקם נמצאו עשירים במיוחד, ממוקמים מעל להיפוך המגנטי ועד לראש רצף ההרבדה, וההערכה היא שמשך זמנם היה כ-0.05 מיליון שנה.

התרבות החומרית שמאפיינת את כל הרצף, מהשכבות התחתונות ועד לשכבות העליונות, היא התרבות האשליית, ומסורת סיתות הכלים היא אפריקנית וכוללת אבני יד וקופיצים שמסותתים בשיטה דומה לשיטת הסיתות שמאפיינת את

פוטנציאל המזון מן הצומח		פוטנציאל המזון מן החי	
22,714	זרעים ופירות	13 מינים	דגים
20,912	הגדרות לרמת מין וסוג	19 טקסונים	ציפורים
1,802	לא מוגדרים	12 מינים	מיקרו־יונקים
9,148	שרידי צמחים אכילים	5 מינים	דו־חיים
		4 מינים	זוחלים
		19 מינים	יונקים בינוניים וגדולים
55 מינים המניבים: זרעים, פירות, אגוזים, עלים, גבולים, איברי אגירה תת־קרקעיים (שורשים ופקעות) אכילים		70 מינים; 34 סוגים	

חלון 2. פלורה

חלון 1. פאונה

דגים, ניכרה העדפה ברורה לדגי קרפיון ענקיים, שהם עצמם ניזונו מרכיכות. מעורבותם של תושבי עמק החולה הקדום בעיבוד מזונם מן החי הותירה את רישומה על עצמות היונקים למיניהם. סימנים שמעידים על פיצוח עצמות לשם מיצוי מח העצם, הרקמה המועדפת של בעלי החיים לאורך ההיסטוריה האנושית הקדומה, מתאפיינים בתווים ייחודיים וטיפוסיים שהותירו אחריהן מכות כלי האבן. השימוש בכלים על גבי העצמות הותר מגוון סימנים נוספים, והעיקריים שבהם מזוהים כסימני חיתוך (cut marks) שצורתיהם השונות



איור 3. שרידי עצמות היחמור (באדום) כפי שהתגלו בשכבה ארכאולוגית בחפירות

### מזון מן החי

מגוון גדול ועשיר של מיני בעלי חיים שהתגלה בחפירות האתר (חלון 1) מורה על בתי הגידול שהיו בסביבת האתרים ומשקף הן סביבות לחות והן סביבות יבשות. אף ששרידי בעלי חיים התגלו בכל שכבות האתר, אין אפשרות להוכיח ששרידיהם של רכיכות, דו־חיים, זוחלים, ציפורים או מיקרו־יונקים היו מרכיבים בתפריט המזון האנושי. אולם נמצאו באתר גם שרידים של מיני בעלי חיים, ובייחוד שרידי יונקים בינוניים וגדולים כמו פילים, היפופוטמים, קרנפים, פרות בר, איילים וסוסים, שללא ספק היו חלק מן התפריט הקדום.

כימות הממצא של שרידי היונקים וניתוחו מורים כי תושבי עמק החולה הקדמון העדיפו בתפריטם בעלי חיים מסוימים על פני אחרים. היחמור (*Dama sp.*), למשל, הוא המין המועדף לאורך כל הרצף התרבותי, ושרידיו באתר מייצגים פרטים שלמים (איור 3).

בדומה לזה, אם כי בשכיחות נמוכה יותר, נצפתה עדיפות לפילים ולהיפופוטמים (איור 4). גם דגים היו מרכיב עיקרי בתפריט, ומתוך מגוון רחב של משפחות ומינים ושל יותר מ־40,000 שרידי עצמות



ניתוח הנתונים הצמחיים תורם לראשונה תרומה ניכרת גם לביאור הזמינות העונתית של המזון הצמחי באתר ומגלה כי בכל אחת מהשכבות הארכאולוגיות יש ייצוג של ארבע עונות (איור 7) (תוצאה זו משקפת את מינימום זמן החשיפה של המפלט, ואילו הסף המרבי אינו ידוע).

שימור הממצא הבוטני באתר ספוח המים בגשר בנות יעקב חייב אטימה מהירה יחסית של המפלסים הארכאולוגיים הנחפרים, משום שבחשיפה ממושכת היו המרכיבים האורגניים מתחמצנים ומתכלים.

### מה מלמד אותנו הממצא מלבד הגדרת התפריט?

מלימוד המכלולים הארכאוזואולוגיים והארכאובוטניים עולות תובנות רבות, והראשונה שבהן היא היכולת לשחזר את סביבת החי והצומח של עמק החולה הקדמון. התושבים הקדמונים שפעלו בתוך הנוף הזה וניצלו את עושר משאביו בחרו בחירות מגוונות בתפריטם. הקדמונים השכילו לנצל את הפוטנציאל הטמון הן בבתי הגידול הלחים והן בבתי הגידול היבשתיים, על מגוון בעלי החיים והצמחים שאפיינו אותם.

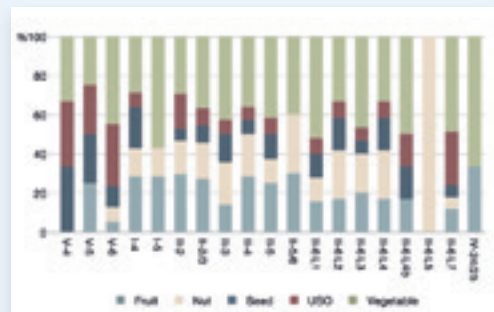
אף על פי שניצול בתי גידול לחים נתפס במחקר כיכולת שמאפיינת את האדם המודרני, העדויות מהאתר בגשר בנות יעקב מצביעות ללא ספק על יכולותיהם המפותחות של הקדמונים להתמודד עם גופי המים ולנצלם לתועלתם. היכולות הללו באות לידי ביטוי בניצול אינטנסיבי הן של הדגה והן של אגוזי המים.

הצורך להשיג מזון מן החי ומן הצומח מבתי גידול שונים חייב את ההומינידים להכיר את מחזור החיים של כל אחד מן המינים השונים, את התנהגותם, את העונתיות שלהם ואת הפוטנציאל התזונתי

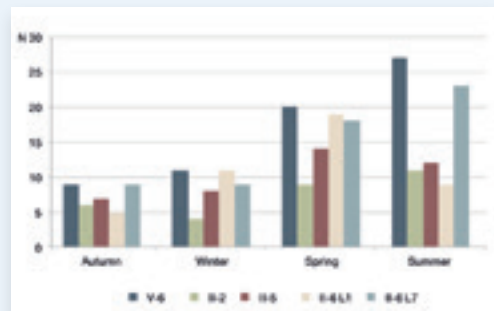
הצמחים האכילים הקיימים היום לאלה שהוגדרו באתר עולה כי 55 מינים שונים של צמחים שהוגדרו בחפירות הארכאולוגיות באתר היו מקורות מזון, ולרבים מהם היה יותר מאיבר אכיל אחד (איור 5).

המינים האכילים שנצפו באתר, למשל אגוזי מים, מצויים בכל השכבות הארכאולוגיות שנחפרו, ובחלקם גם בשכבות שאינן נושאות את שרידי התרבות החומרית (היות שחלק מהצמחים הללו מקורו בבתי גידול לחים). ניתוח סטטיסטי של שכיחות שרידיהם של מיני הצמחים הללו מורה כי כמויות הצומח האכיל שהתגלו במפלסי התרבות הארכאולוגיים גדולות במובהק.

הטיפוסים השונים של הצמחים האכילים מיוצגים במרבית השכבות הארכאולוגיות באתר, ודגם ניצולם דומה לאורך החתך הסטרטיגרפי (איור 6).



איור 6. שכיחות טיפוסית הצמחים האכילים בשכבות השונות לאורך ציד הזמן



איור 7. שכיחות המינים המייצגים את עונות השנה השונות במדגם שכבות שונות

למוקדי האש נמצאו אבנים שבהן גממיות, סדנים קטנים ודקים ומיני מקבות, וכולם קשורים להכנת אגוזי מים, אגוזים שונים אחרים וצמחים שהופכים לאכילים רק לאחר שטופלו באש.

## סיכום

ממצאי התרבות האשליית הקשורים למזונם של ההומינידים הקדמונים בעמק החולה מלמדים על תפריט מגוון שכולל מרכיבים רבים מעולם החי והצומח (איור 8) שמקורם בבתי גידול שונים. ממצאים אלו סותרים הנחות קודמות שמייחסות את מרביתו של המזון בתקופות הללו למקורות מן החי.

עתה ניתן לקבוע חד-משמעית שהדיאטה של האדם בן התרבות האשליית באתר גשר בנות יעקב הייתה מגוונת, ושהשימוש באש אפשר לו להרחיב את מגוון משאבי המזון ולנצל בייעילות.

יש לנו עתה מידע לא רק על אודות מרכיבי המזון שבהם השתמשו המתיישבים הקדומים אלא גם על העדפותיהם המובחנות בתפריטם. ואולם, על אף שפע הנתונים שהתקבלו מהניתוח הארכאוזואולוגי ומן הניתוח הבוטני באתר, הרי שהיחס שבין מרכיבי החי ובין מרכיבי הצומח בתפריט האשלי נשאר בחזקת נעלם.

ולבסוף, התמודדותם של הקדמונים עם מגוון האפשרויות הרחב להשגת המזון, שהצריכה דרכי פעולה שונות, מורה על יכולות קוגניטיביות מפותחות בהרבה מאלו שנטו לייחס להם בעבר. יכולות אלו דומות ברבים ממאפייניהן ליכולות המיוחסות לאדם המודרני. ■

הגלום בהם. המגוון הרחב של מיני הצמחים ומיני בעלי החיים שנוצלו למאכל מורה על ידע תרבותי נרחב, שבא לידי ביטוי גם בהעדפה ברורה של מינים מסוימים, כמו היחמור, מינים מסוימים של קרפיונים ואגוזי מים. יכולותיהם המפותחות של יושבי האתר, שגילו 0.78 מיליון שנה, נלמדו למשל מאופן ביתור היחמורים שנותח באמצעות סימני החיתוך על גבי העצמות.

יכולות הקדמונים מגשר בנות יעקב דומות ליכולותיו של האדם המודרני כפי שנצפו על עצמות יחמורים שנחפרו באתר בגליל המערבי, שגילו 0.03 מיליוני שנה.

## האש

השימוש באש הוא מרכיב חשוב ביותר בהכנת מזון מהחי ומהצומח. עדויות לשימוש באש התגלו באתר גשר בנות יעקב בכל השכבות שבהן התגלו שרידי התרבות האשליית, אף על פי שלא נמצאו עדויות ישירות לצלייה ולבישול. אין כל ספק שהשימוש באש היה חלק בלתי נפרד מהתרבות באתר, ובייחוד בהעצמת ניצול משאבי המזון.

יש הרואים בגידול הניכר בנפח המוח של ההומינידים בני התרבות האשליית ומקבילותיה (*Homo erectus*) ובני זמנו) תוצאה ישירה של עיבוד המזון בעזרת האש. ידוע כי עיבוד בשר בעזרת אש מייעל את תהליך עיכולו של מזון מן החי, וכי הטיפול באש חיוני לנטרול רעלנים שמצויים במזון מן הצומח.

נוסף על זה, קיימות באתר עדויות מרחביות שקושרות את השימוש באש עם שלל פעילויות אחרות שקשורות בהכנת מזון. למשל: בסמיכות

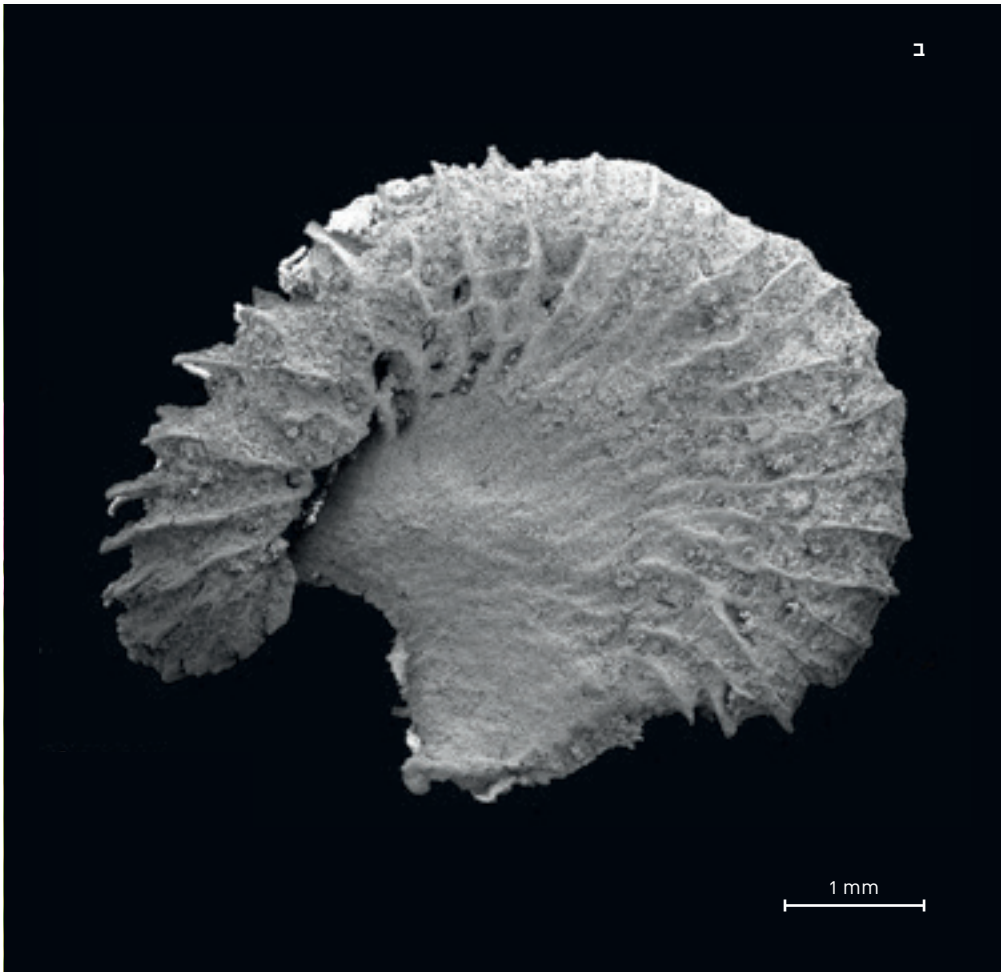
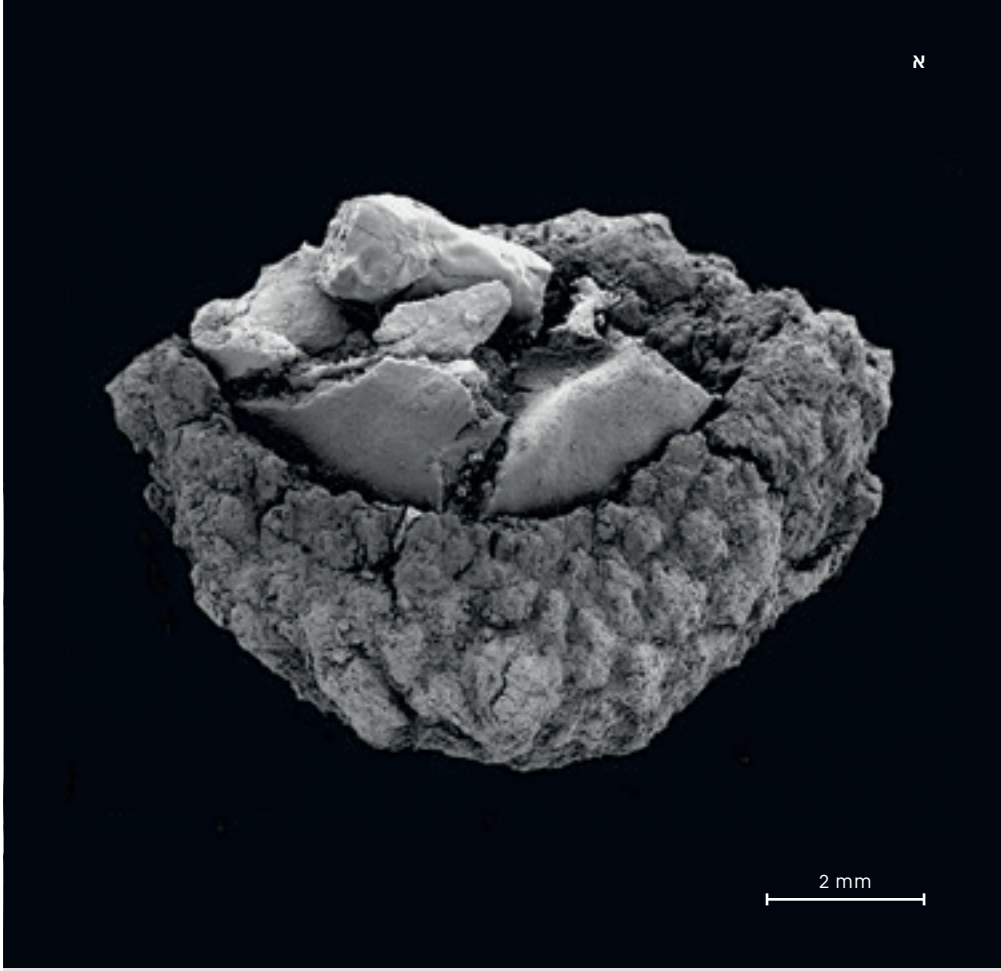
בעמודים 22–23 איור 8 א. אלון מצוי (*Quercus calliprinos*); ב. חוטמית (*Hollyhock — Alcea sp.*); ג. מונטיה קטנה (Water Chickweed — *Montia fontana ssp. chondrosperma*); ד. שיזף מצוי (*Ziziphus spina-christi*); ח. מונטיה קטנה (Christ's thorn jujube — *Ziziphus spina-christi*).

## ביבליוגרפיה:

- 1) Alpers N, Sharon G, Zohar I, Biton R, Melamed Y, Kislev ME, et al. Spatial organization of hominin activities at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Science*. 2009;326:1677–80.
- 2) Goren-Inbar N. Culture and cognition in the Acheulian industry – a case study from Gesher Benot Ya'aqov. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2011b;366:1038–49.
- 3) Goren-Inbar N, Alpers-Afil N, Sharon G, Herzlinger G. The Acheulian Site of Gesher Benot Ya'aqov: The Lithic Assemblages. Goren-Inbar N, editor. Dordrecht: Springer; under review.
- 4) Goren-Inbar N, Feibel CS, Verosub KL, Melamed Y, Kislev ME, Tchernov E, et al. Pleistocene Milestones on the Out-of-Africa Corridor at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Science*. 2000;289:944–74.
- 5) Goren-Inbar N, Melamed Y, Zohar I, Akhilesh K, Pappu S. Beneath Still Waters – Multistage Aquatic Exploitation of *Euryale ferox* (Salisb.) during the Acheulian. *Internet Archaeology*. 2014;37.
- 6) Goren-Inbar N, Sharon G, Alpers-Afil N, Herzlinger G. A new type of anvil in the Acheulian of Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2015.
- 7) Melamed Y, Kislev M, Geffen E, Lev-Yadun S, Goren-Inbar N. Hominin plant foodstuff and diet at the Acheulian site of Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *PNAS*. 2016;113(51):14674–9.
- 8) Rabinovich R, Gaudzinski S, Goren-Inbar N. Systematic butchering of Fallow deer (*Dama*) at the early Middle Pleistocene Acheulian site of Gesher Benot Ya'aqov, (Israel). *Journal of human Evolution*. 2008;54:134–49.
- 9) Rabinovich R, Gaudzinski-Windheuser S, Kindler L, Goren-Inbar N. The Acheulian Site of Gesher Benot Ya'aqov: Mammalian Taphonomy – The Assemblages of Layers V-5 and V-6. Dordrecht: Springer; 2012.
- 10) Sharon G, Alpers-Afil N, Goren-Inbar N. Cultural conservatism against variability in the continual Acheulian sequence of Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Journal of Human Evolution*. 2011;60:387–97.
- 11) Stekelis M. The paleolithic deposits of Jisr Banat Yaquub. *The Bulletin of the Research Council of Israel*. 1960;G9:61–87.
- 12) Zohar I, Biton R. Land, lake, and fish: Investigation of fish remains from Gesher Benot Ya'aqov (paleo-lake Hula). *Journal of Human Evolution*. 2011;60:343–56.
- 13) Zohar I, Goren M, Goren-Inbar N. Fish and ancient lakes in the Dead Sea Rift: The use of fish remains to reconstruct the ichthyofauna of paleo-Lake Hula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2014;405:28–41.

תודותיי נתונות לתלמידיי הרבים שבעזרתם נחשפו ומוינו הממצאים מהאתר האשלי של גשר בנות יעקב, שכן עבודתו של הארכיאולוג הינה עבודת צוות. תודות מיוחדות נתונות לתלמידיי בעבר ולעמיתי בהווה שסייעו רבות לחקר ההיבטים השונים של התנהגות האדם: ד"ר נירה אלפרסון-אפיל, מר גדי הרצלניגר, פרופ' גונן שרון וד"ר רבקה רבינוביץ. יבואו על הברכה ד"ר יואל מלמד (על התצלומים שבאיור 8) ומר אריק בלטינשטר (על התצלום שבאיור 1). מר גיא חיורוני תרם את כישוריו בנושא האיורים (איורים 1–7). רוגית שביט-חיורוני עזרה בעריכת המאמר בשלבי הראשונים – תודות מיוחדות לה על עזרתה זו.

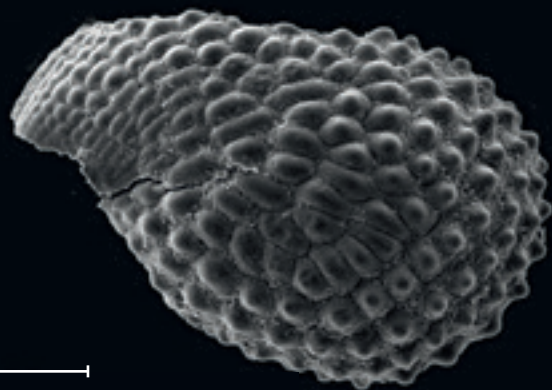
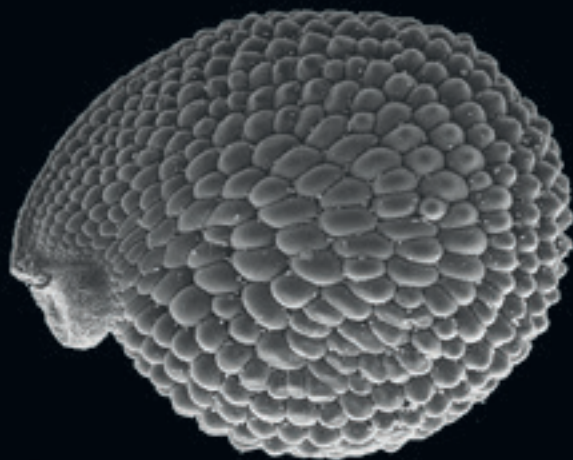
N



O



λ



0.5 mm

τ



# כוחו של העבר: מודרניות, אימפריות והגילוי מחדש של העולם העתיק



## מאת פרופ' בילי מלמן

כהוגים והיסטוריונים ליברלים רבים וכמו הקהל שהאזין לו, הוא ראה בחשיפת העבר הקרוב והרחוק מפתח לקדמה במדינות ובחברות, ובדמוקרטיזציה של הגישה לעבר – חלק ממדיניות הרווחה שהונהגה בדמוקרטיות ליברליות בעקבות מלחמת העולם השנייה. "רווחה" יושמה לא רק בתחומי כלכלה וחברה אלא גם בתרבות שמשטרים ליברליים ראו בגישה אליה זכות אזרחית מן המעלה הראשונה. סוגיית עתידם של העבר הקדום ושל הארכאולוגיה העסיקה גם את המשתתפים בוועידה אזורית שהתכנסה בירושלים והקדימה בחודשיים את הכינוס הלונדוני. השתתפו בה כמה מחשובי הארכאולוגים – יהודים, נוצרים ומוסלמים – בתחומי המנדט הבריטי בפלשתינה-א"י, המנדט הצרפתי בסוריה ולבנון ובמצרים. חזון העתיד שלהם כלל כינון סדר חדש לטיפול בעתיקות שיבוסס על שיתוף פעולה אזורי ובין-לאומי.

### 2.

פירס, עמיתו והמאזינים להם היטיבו לדעת כי ההכרה בכוחו של העבר בהווה אינה מאפיינת רק

### 1.

בין שישה לשמונה באוגוסט 1943, באחד מרגעי השפל של מלחמת העולם השנייה, התכנסה בלונדון ועידה בנושא "עתיד הארכאולוגיה" לאחר תום המלחמה הטוטאלית. בנאום הפתיחה לוועידה ציין סר צ'רלס פירס, ארכאולוג ואדריכל, שהיה המפקח הראשי על העתיקות בבריטניה במשך שני עשורים ומנסח החוק הבריטי של 1913 לשימור עתיקות ומונומנטים היסטוריים: "האדם אינו חי על תותחים... אנו בהווה דואגים בעיקר להישרדותם של הדברים ההופכים את החיים ראויים לחיותם... אל תראו בארכאולוגיה חפירה ונבירה בעבר".

היסטוריה, ובעיקר ההיסטוריה של הזמן העתיק, סבר פירס, היא ה"מדע" שעיקרו "כיצד לנהל את העתיד". היסטוריונים מקצועיים כמוני וכעמיתיי ידחו הנחה זו על שני חלקיה: הם יטילו ספק בהיות ההיסטוריה מדע ויגרסו כי בדיסציפלינה ההיסטורית המודרנית העבר נחקר בשל עבריותו ובמושגיו שלו ולא כדי לצפות עתיד. אך לפירס, הקשר בין עבר לעתיד, להווה שהיה עבר ויהיה עתיד, היה מובן מאליו.

ידע שונים, כאנתרופולוגיה וארכאולוגיה, אומנים וסופרים. העולם הקדום נכח בכל, ונוכחותו הייתה חומרית ומוחשת: במוזאונים, במרחב העירוני – באתרים שסימלו את המודרנה, מבתי חרושת לייצור מוצרי צריכה המוניים בשיטת הסרט הנע, שנבנו בסגנון "כמו מצרי", ועד לבתי קולנוע בסגנון "אר דקו מצרי", שהתפתח בשנות השלושים של המאה העשרים, ומבתי קברות ועד לבתי כלא ותחנות מטרה שבאדריכלות שלהם מוזגו רכיבים של אדריכלות מצרית או אשורית. גילויים ארכאולוגיים סנסציוניים בטריטוריות קולוניאליות שבשליטת המערב – מסופוטמיה, מוהנג'ודארו והראפה שבתחום הראג' הבריטי בהודו – וגילוי שרידי תרבויות פרה-היסטוריות במצרים ובלוב הקסימו בני אדם מודרנים. חומריותו של העבר הקדום, שבאה לידי ביטוי בשרידי תרבויות מטריאליות, תיווכה בינן לבני המאה העשרים והפכה אותו למוחשי. חומריות זו נכרכה בתמורות עמוקות בהתייחסות לעבר הקדום, בהתפתחות ראיות חדשות של העולם הפיזי ושל מקורות האדם ובפולמוס על מקורות ציביליזציות מודרניות וההייררכיות שביניהן, הייררכיות שבעידן שביין שתי מלחמות העולם נוסחו במושגים גזעיים. תמורות אלו התרחשו בין היתר בשל התפתחות מחקר שיטתי של העולם העתיק בשדות ידע חדשים שהפכו לדיסציפלינות, והראשון שבהם הוא הארכאולוגיה המתמקצעת, אך היו גם תולדה של התפתחות טכנולוגיות מודרניות של ההאצה בזמן ושל התנסות חדשה במרחב. כפי שנכתב בשנת 1931 על צ'רלס לאונרד וולי (Woolley), אחד הארכאולוגים המפורסמים בתקופה שביין שתי מלחמות העולם, שחשף את שרידי התרבות השומרית באור-תל מוקייר בדרום עיראק: חקר העבר הוא עניינו של כל אחד, ו"הנושא של ההיסטוריה של העתיק הוא האדם המודרני".

החשיפה באמצעות הפירה ארכאולוגית לא רק גילתה עולמות פיזיים נעלמים שבמערב הוכרו ◀

את העידן שאנו, ההיסטוריונים של הזמן הקרוי "חדש", מתחמים בין ראשיתה של המאה השמונה-עשרה לראשיתה של המאה העשרים, מכנים אותו "מודרניות" ומאפיינים אותו בשינויים אינטנסיביים. עם השינויים אפשר למנות פיתוח מואץ של סביבת האדם, שימוש בטכנולוגיות ויישומן, עלייתם והתגבשותם של משטר כלכלי וארגון עבודה והון המוגדרים קפיטליזם תעשייתי, עיור מואץ, עלייתן של מדינות אומה שהתפתחו למדינות אימפריה, רפלקסיביות, או התבוננות מושכלת וביקורתית של יחידים בעצמם, בסביבתם, במבנים חברתיים ומדינתיים, ואחרון – אם כי בענייננו הוא הראשון – חוויית זמן ומרחב חדשה לחלוטין. גם העניין בהיסטוריה הקדומה אינו טיפוסי לבני אדם מודרנים: מצרים העתיקה הקסימה את שוכני העולם ההלני. השיגעון למצרים – "אגיפטומניה" – התפרץ בעידן הרנסאנס, בתקופת הנאורות במאה השמונה-עשרה ובעידן הלאומיות במאה התשע-עשרה, גם אם לא הגיע אז לממדי האגיפטומניה שאחזה בעולם המערבי עם חשיפת קברו של המלך הילד מן השושלת השמונה-עשרה במצרים, תות אנח אמון, ב-1922.



שחזור של בית החרושת לסיגריות "קארס", לונדון; החתונל המצרי היה סמל בית החרושת וסמל של מותג הסיגריות בין המלחמות.

אולם בעשורים שהיסטוריונים, חוקרי תרבות וסוציולוגים מכנים "מודרניות מאוחרת" – משלהי המאה התשע-עשרה ועד למחצית הראשונה של המאה העשרים – השיגעון לעתיק התייחד בעוצמתו ובהיקפו חסרי התקדים. הוא הדביק מומחים משדות



בית החרושת לסיגריות "קארס" בלונדון, 1930 לערך: דוגמה לאגיפטומניה בין שתי מלחמות העולם. בניין המפעל, שתואר כאחד ייצור מודרני, נראים רכיבי אדריכלות מצרית המחקים ממצאים שנתגלו בחפירות ארכאולוגיות.

עירו של אחנאתון – הוא אמנחותפ הרביעי מהשושלת השמונה-עשרה בממלכה החדשה – חשפו ארכאולוגים גרמנים ובריטים לפני מלחמת העולם הראשונה ומשלחות חפירה בריטיות לאחריה. העיר תוארה בעיתונות התקופה כעיר מודרנית או אוטופיה פרוורית – "עמרנהטופיה" – ברוח הפרוורים שנבנו באירופה בין שתי מלחמות העולם ואפשרו מגורים בסביבה בריאה מחוץ לערים התעשייתיות הצפופות. פרעה אחנאתון עצמו תואר כרפורמטר דתי מודרני וכאיש משפחה בן הזמן החדש. עיר המדינה אור (Ur) תוארה כמגה-עיר גלובלית, מרכזה של אימפריית סחר ימית המנוהלת ברציונליות "מודרנית". חפצים שהתגלו בקברים המלכותיים שנחשפו בה – ובהם כלי נגינה, משחקים, עדיים, מכלי תמרוקים וכלי נשק – הוצגו כאסתטיים ו"מודרניים". אפילו ארכאולוגים פרה-היסטוריים תיארו היבטים מודרניים של כלים מתקופת האבן שבאורכה עלתה על ההיסטוריה.

רק מטקסטים כתנ"ך, כתבי הקלסיקונים או ספרי מסעות, אלא גם סרטטה את גבולות הזהות המודרנית. החפירה כפרקטיקה וכמהלך מחקרי הייתה נושא ומטפורה מרכזית במדעים שונים שכינתי אותם "מדעי החפירה", ובהם הגאולוגיה, האנתרופולוגיה הפיזית, הארכאולוגיה והפלאונטולוגיה, ובצידם גם בתחום הפסיכולוגיה ובספרות. חשיפת שכבות העבר הקדום וחקר ריבודן שימשו אמצעי להבחנה בין בני אדם מודרניים ללא מודרניים ולעיתים להדגשת ההיררכיה שביניהם. בה בעת הייתה החפירה גם דרך למציאת הדומה ביניהם ולתהייה עמוקה באשר לייחודו של האנושי והמודרני ואף למותר האדם המודרני מן אבותיו. העבר הקדום עבר מודרניזציה, הומשג במונחי המודרנה המאוחרת והשווה להווה. וכך לדוגמה תוארו החפצים שנתגלו בקברו המפואר של תות אנח אמון – מודרניים ועכשוויים. את עמרנה, היא אחתאתון, שבמצרים התיכונה,

או כדי לסייע לתבוע בעלות על טריטוריות, לגייס את הלאום באמצעות העבר לשם הגשמת חזון של עתיד או כדי לכוון משטרים פוליטיים, הן דמוקרטיים והן טוטליטריים, ולהכשירם. את השימוש בעבר לצורכי משטר כזה מתאר המסאי והסופר הבריטי ג'ורג' אורוול בדיסטופיה "1984", שהתפרסמה ב־1949, ושהאנטי־גיבור שלה, וינסטון, יודע כי "זה השולט בעבר שולט בעתיד". בהתפתחות הראויה לציון של חקר העבר הקדום, ובמיוחד בארכאולוגיה, ראו היסטוריונים רבים ביטוי ללאומיות. יתרה מזאת, ההיסטוריוגרפיה של ההיסטוריה ושל הארכאולוגיה מבוססת לרוב על מה שניתן לכנות "לאומיות מתודולוגית": העניין בעולם העתיק נחקר כפרק בהיסטוריה של מדינות אומה. וכך, הגילוי מחדש של מצרים – בידי אורינטליסטים בריטים או צרפתים או בידי אגיפטולוגים מצרים במהלך המאה העשרים – נבחן עד כה בעיקר כמיזם של מדינות אומה במערב או של תנועות לאומיות שהתפתחו בטרטוריות שמדינות אלו שלטו בהן, כגון התנועה הלאומית במצרים. הארכאולוגיה בכלל נבחרת לעיתים כ־ersatz nationalism: תחליף ללאומיות ותמריץ לה בעת ובעונה אחת.

חוקרים מצביעים כמובן על ההקשרים הקולוניאליים של הארכאולוגיה אך עושים זאת באופן כוללני, דוגמטי ומוגבל. ההיסטוריה הלאומית שבתה את ליבם של היסטוריונים של המודרנה כי היא מספקת לא רק מסגרת גאוגרפית והיסטורית – אחרי הכול העידן המודרני היה עידן עלייתה של הלאומיות – אלא גם מתודולוגיה. אבל כדי להבין את המודרנה יש לפרוץ את הלאומיות המתודולוגית ולבחון יחידות שהן גדולות ממדינת האומה, כגון אימפריה או אזור, או קטנות ממנה – כמו ערי הענק המודרניות. במחקריי בעבר וכן בספרי הנוכחי "אימפריות של עתיקות: מודרניות והגילוי מחדש של המזרח הקדום במאה העשרים" אני מציעה להיחלץ מהמסגרת המגבילה של מדינות



אור, תל מוקאייר. תצלום אווירי, 1927

הארכאולוגית הפרה־היסטורית ג'קטה הוקס למשל, שכתבה ספרים פופולריים על תקופת האבן, חיברה שירים "לשלד פרימיטיבי שנחשף בכרמל". ב־1932 השתתפה הוקס בחפירתה של מערת טאבון בנחל המערות. במערה נחשפו גולגולתה השברירית ולסתה של אישה ניאנדרטלית. שירה של הוקס ל"האישה הניאנדרטלית", "שאת גלימת הבשר העתיקה שלה אני נושאת", היה מלא אמפתיה, שגישרה על פני עשרות אלפי שנים שהפרידו בין הארכאולוגית לעצמות החשופות שמצאה.

### 3.

בשיגעון לעבר וגם בצמיחת ההיסטוריה כתחום חקר מובחן היסטוריונים רואים תוצר של עליית הלאומיות והיווצרות מדינות אומה. גילוי העבר, כך הם מרבים להדגיש, נועד לשנע את ההיסטוריה לצורך שחרור לאומי או התפשטות מדינת האומה,

או" חפץ עתיק" והן "הזמן העתיק" ו"עתיקות" (antiquities); השינוי השני הוא הלגליזציה שלהם בחוק הבין-לאומי והאינטרנציונליזציה, או העיסוק חסר התקדים בשימור שרידי עבר והדיון הבלתי פוסק עליו על במות בין-לאומיות. חשיפת העבר הפכה לנושא להסדרה ופיקוח בין-לאומיים: בארגונים בין-לאומיים, בתוך הדיסציפלינות החדשות לחקר העבר ובאמצעי התקשורת הבין-לאומיים – העיתונות והרדיו המתפתח.

מה היה "עתיק" ומה היו "עתיקות" על פי ההגדרה החדשנית? מנסחיה ביקשו ליצור "ארכאולוגיה" וחקר עבר בין-לאומיים, כלומר לקבוע נהגים וסטנדרטים אוניברסליים שייושמו ויהפכו את שרידי העבר הקדום לנגישים יותר, ומכאן את העבר עצמו ל"דמוקרטי" ולנחלתן של קבוצות רוב, ואת החפירה ל"מדעית" יותר. בנוסחים הללו ובדיונים עליהם הוגדרו מחדש גם הטמפורליות של העתיק והערך שלה. עתיקותו של הממצא הארכאולוגי נקבעה לראשונה בחקיקה על פי סרגל זמן. "הזמן החדש" של מה שהוגדר "עתיק" היה שונה במהותו מכל הגדרה של עתיקות בחוקים שחוקקו מדינות או אימפריות לאומיות קודם לכן. לדוגמה, ההגדרה העות'מאנית של עתיקות – על פי חוק מ'1913 – הייתה טקסונומית, כלומר היא פירטה סוגים של "עתיקות" על פי החומרים והמרקם שלהם ולא על פי זמן יצירתם. גם החוק הבריטי ל"שימור של מונומנטים היסטוריים", מאותה שנה, לא הציב סרגל זמן. אי אפשר לפרש את השינוי כניגוד בין חוק במטרופולין לבין חוק בטריטוריות אימפריאליות, מכיוון שגם בראג' ההודי שבשליטת בריטניה לא הוגדרו "עתיקות" הגדרה כרונולוגית. על פי הכרונולוגיה החדשה, שהתגבשה בזמן מלחמת העולם הראשונה, "עתיקות" היו כל חפץ או עצם, נייד או נייח (מבנה לדוגמה), שנוצר בידי בני אדם ונחשף על פני הקרקע או מתחת לה, או שרידים של צמחים ובעלי חיים מלפני שנת 1700. יש להגן עליהם



ארכאולוגיה כסנסציה: "שחזור אותנטי" של אחד מ"הקברים המלכותיים", אילוסטרייטד לונדון ניו, יוני 1928

האומה כיחידות חקר וכמתודה<sup>1</sup>. התפתחות העניין במזרח הקרוב הקדום, ברומא או ביוון העתיקות לא התרחשה בנפרד ביחידות לאומיות אלא בזיקה למבנים ולמסגרות רחבים ממדינות האומה.

הגילוי מחדש של העולם העתיק בעידן המודרנה המאוחרת התרחש במסגרות אימפריאליות וגלובליות: באימפריות הענק שהיו אופן הארגון הפוליטי, החברתי והכלכלי הנפוץ והעמיד בעולם עד למלחמת העולם השנייה, ורבים טוענים שגם לאחריה, ובאמצעות גופים על-לאומיים חדשים כמו חבר הלאומים, שנוצר לאחר המלחמה שקדמה לה, ובהם ארגונים למחקר ולשיתוף פעולה אינטלקטואלי ואקדמי. ארגונים אלה מילאו תפקיד מרכזי בשני השינויים המהותיים ביותר בזיקה לעבר הקדום, חשיפתו מכאן וההיחשפות אליו של קהלים שונים מכאן, ובאופן חקר שרידיו. השינוי האחד הוא הגדרתו מחדש, בין פרוץ מלחמת העולם הראשונה לבין תום מלחמת העולם השנייה, של המונח antiquity, שהוראתו היא הן "דבר עתיק"

הראשונה. בסדר העולמי הזה למזרח הקרוב הקדום היה מקום מיוחד במינו ושונה מהמקום שיוחס לאתרים אחרים של ציביליזציות עתיקות כמו אלה של עמק האינדוס או אלה שנחשפו במרכז אמריקה ובדרומה, בין היתר בשל הקשר ההדוק שבין הגילויים הארכאולוגיים להגדרת העתיקות החדשה ולהתפתחותה של אימפריה מסוג חדש בעקבות השינויים הגאוגרפיים שגרמה מלחמת העולם הראשונה. בליבו של סדר זה ניצבו רעיון המנדטים ושיטתם: שלטון קולוניאלי המואצל על ידי ארגון על-לאומי – חבר הלאומים – על אומות אימפריאליות ומתנהל להלכה בשמו ועבורו בפיקוח בין-לאומי (וליתר דיוק, בפיקוח של החברות בחבר).

כפי שמחקרים חדשים על שיטת המנדטים מראים, "מנדט" היה בעת ובעונה אחת רעיון מדיני, אופן של משילה, סט של פרוצדורות ונהגים של שליטה, ולא פחות מכל אלה – דרך לדבר בה על צורה של קולוניאליזם, ארגומנטציה בדבר הלגיטימיות לשלוט. שיטת המנדטים הייתה מבוססת על הייררכייה ציביליזציונית (שפורשה בתקופה כגזעית) מחד, ועל תפיסה של אפוטרופסות של שליטים על הכפופים להם מאידך. זאת ועוד, מלכתחילה היה המנדט – וכך אני מפרשת את השיטה כולה – פרויקט של מודרניזציה. סעיף 22 הידוע באמנת חבר הלאומים משנת 1919 הגדירו: שלטון שמטרתו, במיוחד במנדטים מסוג A – כלומר בשטחים לשעבר במזרח התיכון של האימפריה העות'מאנית המובסת שנמסרו לאימפריות הצרפתית והבריטית – הייתה לחנוך את העמים המתפתחים "בחיים הקשים בעולם המודרני". המנדט העניק לבריטניה בשטחי המנדט החדשים שלה לא רק אפוטרופסות על ההווה של הטריטוריות הקולוניאליות שגבולותיהן הוגדרו מחדש ועל העתיד שלהן אלא גם על העבר שלהן. רעיון המודרניזציה, באמצעות פיתוח, ניצב בלב ליבו של הגילוי מחדש של העולם העתיק, והמנדט מסוג A היה במוקד הגילוי.

וההגנה מוסדרת בחוק. 1700, הגבול הכרונולוגי העליון בתיקוף החדש, נחשב בדיונים על המודרניות למסמן שלה והוצג כמנוגד ל"עתיק". המאה השמונה-עשרה, שזו השנה הראשונה במניינה, הייתה המאה של הנאורות ושל התיעוש במערב אירופה, שני מאפיינים מרכזיים של המודרניות. עם זאת התיקוף החדש לא עמד בסתירה לקוסמולוגיה התנ"כית ולהשקפה ה"קריאציוניסטית" (creationist), שגרסה כי העולם "צעיר", וכך גם האדם, וכי הם נבראו במעשה אלוהי. השקפה זו נוסחה בבריטניה במאה השבע-עשרה בידי הארכיבישוף אשר (Ussher), ועל פיה היה העולם בן כ-6,000 שנים. ראוי לציין כי מן התיקוף החדש, ומכאן שגם מההגנה על עתיקות, הודרו מבנים, שרידים וארטיפקטים עות'מאניים לא מעטים.



"Queen Shub-ad's 5000-Year-Old Golden Hair Dress, an Ur Treasure" – כותרת בשבועון "אילוסטרייטד לונדון ניוז", 30 ביוני, 1926

הגדרת הקדמוניות החדשה הזאת, ש"מתחה" את גבולות העתיק אל תוככי הזמן החדש, הייתה אפוא אימפריאלית במובהק: היא יושמה בתוך סדר עולמי אימפריאלי חדש שהתגבש בעקבות מלחמת העולם

אינטלקטואלי (Commission internationale - pour la coopération intellectuelle-CICI) שבז'נווה, שכללה כמה מענקי המדע והרוח במאה העשרים, ובהם אלברט איינשטיין, מרי קירי והפילוסוף והפסיכולוג אנרי ברגסון. בהצעתו, שהפכה עד מהרה להחלטה של הנציבות - אחת הראשונות שלה - עמד ברגסון על היעדר "הסדרה" של חקר, רישום, הפצה ותנועה של עתיקות דווקא בתקופה שבה היקף הגילוי שלהן גדל גידול חסר תקדים. מורשת העבר של העולם הקדמון ובעיקר ממצאים ארכאולוגיים היו נתונים בסכנות הכחדה, שוד וסחר לא חוקי.

ברגסון היה ככל הנראה הראשון שטבע את המונח "משטר עתיקות" או "משטר חפירות". מהלך האינטרנציונליזציה וההאחדה של הטיפול בעתיקות שהוחל בז'נווה הפך שיטתי בתוך כדי הדיון הממושך בו ברשת צפופה של גופים בין-לאומיים חדשים כמו "המכון הבין-לאומי לשיתוף פעולה אינטלקטואלי", "האיחוד האקדמי הבין-לאומי" ו"משרד המוזאונים הבין-לאומי (Office international des musées) (OIM), המוכר לנו כיום בגלגולו כ"אונסק"ו". הגופים הללו חיברו את רעיון משטר העתיקות לרעיון שיטת המנדטים, ובייחוד למנדטים המתקדמים מסוג A, כלומר מנדטים במזרח התיכון. הקשר שבין משטר עתיקות לשיטה האימפריאלית החדשה הפך לבלתי ניתן להתרה. הרטוריקה של המנדט וזו של משטר העתיקות זהות. בשתייהן מודגש הרציונל של שלטון קולוניאלי מסוג חדש כמכשיר לפיתוח לתקופת זמן מוגבלת. כפי שצוין בדוח "הערות על משטר החפירות הבינלאומי החדש" ממאי 1929: מדינות ריבוניות שלהן "תרבות גבוהה", והן שולטות בעמים אחרים, הן קטגוריה אחת. ארצות ש"הציביליזציה שלהן מפותחת פחות" הן "דבר אחר". על אלו הנמנות עם הקבוצה הראשונה (המקיימות ממילא מחקר מדעי של העבר) קשה לכפות רגולציה הרבה יותר משקשה לכפותה על אלה שבקבוצה

הקשר ההדוק בין מערך החשיפה של העבר לבין אופן השליטה החדש בולט בהמשגה ובהגדרה של עתיקות בהסכמים בין-לאומיים (כמו הסכם סוור שבין מעצמות ההסכמה המנצחות במלחמה לאימפריה העות'מאנית, שאף על פי שמעולם לא אושר בידי התורכים, היה הבסיס לחקיקה מנדטורית בנושא עתיקות ומורשת עבר), באמנת חבר הלאומים ובשלל כתבי המנדט או הבנות המנדט בפלשתינה-א"י, בעבר הירדן, בסוריה והלבנון ובמסופוטמיה-עיראק, שהייתה אזור מנדט בריטי עד לשנת 1932. מצרים לכאורה מייצגת שלטון קולוניאלי במתכונת ותיקה יותר, בהיותה פרוטקטורט בזמן המלחמה וישות עצמאית לכאורה מ-1922. אך הדיון החדש הבין-לאומי הפומבי על עתיקות הוחל גם עליה.

העיסוק האינטנסיבי בעתיקות והחשיבות שיוחסה להן באים לידי ביטוי בכך שבכתבי המנדט, שהיו מסמכי יסוד שלו, הסעיפים העוסקים ב"עתיקות" ובעניינין - הגדרתן, הגישה אליהן, חשיפתן, שימורן, הבעלות עליהן, חלוקתן, חקירתן ופרסום חקירתן - הם מרכזיים. לדוגמה, הסעיף העוסק בעתיקות הוא הסעיף הארוך ביותר בכתב המנדט על פלשתינה-א"י. פקודות וחוק העתיקות שלה, שנחשבו למודל לחקיקה האימפריאלית החדשה בכללותה, שכללו את נושא הבעלות על העבר שנגע גם לבעלות על קרקע שבה התגלו עתיקות ושהוכרזה אתר "מונומנט היסטורי". ראייתן והגדרתן החדשות של עתיקות לא היו בבחינת אות מתה, אלא כללן כינון של מנגנון קולוניאלי להפעלתן או לממשן שגלש מתחומי האימפריות המנדטוריות למסגרות אימפריאליות ותיקות יותר ואף למדינות שבהן לא היו בנמצא הסדרה ומנגנונים לטיפול בעתיקות, כמו למשל המדינות החדשות שנוצרו במרכז אירופה ובמזרחה לאחר המלחמה. המנדט מסוג A הפך ציר ומודל לניסיון האמבציוזי ליצור מסגרת בין-לאומית ואחידה שתהווה "משטר עתיקות". הביטוי והרעיון שמאחוריו נהגו ונוסחו לראשונה בנציבות הבין-לאומית לשיתוף פעולה



הציביליזציות האימפריאליות הקדומות. תקופת השיא של גידול הקולוניאליזם הייתה אפוא גם עידן של משבר אימפריאלי, פרי של מתח לא פתור, בין המגמות האימפריאליות הבינ־לאומיות וניסיון לאוניברסליזציה של הטיפול בנכסי עבר לשאיפות לאומיות לנכס את העבר הקדום.

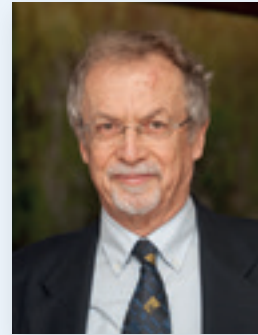
על המנדט על העבר ניטש ויכוח עז בין ארגונים בין־לאומיים, ממשלים קולוניאליים, תנועות לאומיות, מומחים – ארכאולוגים והיסטוריונים – וצרכני ההיסטוריה. כולם עסקו בסוגיות כמו למי הבעלות על העבר – לאנושות כולה (ומהי האנושות?)? ללאום (המצרי? העיראקי? הסורי?)? לחופרים עצמם־אנשי מדע שחשפו את אוצרותיו? למי שעתיקות התגלו בקרקע שבבעלותם או בהחזקתם? הוויכוחים ביניהם מהדהדים בארכיונים קולוניאליים שבהם התייעוד הפנומנלי של המעשה הארכאולוגי היה אמצעי לממשל ולמודרניזציה. העתיד של העבר, באמצעות משטר עתיקות סדור ואחיד, דומיין כעתיד אימפריאלי גם בעיני מי שהתנגדו לו. הם עדיין פעלו בתוך עולם אימפריאלי וחשבו במושגים של אימפריות. בפרפרזה על דברי ברגסון, לעתיקות, לרישומן, לניטורן ולשמירה עליהן הייתה חשיבות בעולם המודרני. הסדר העולמי השתנה עד לבלי הכר. חבר הלאומים כשל בניסיונותיו לכונן סדר פוליטי ושלוש עולמי. הסכנות למורשת העבר לא חלפו. ולנו, חקירת הגילוי מחדש של העתיק היא דרך לחשוף את ההיסטוריות הכרוכות זו בזו של הבינ־לאומי, האימפריאלי והגלובלי ושל המקומי, ואת הזיקות ביניהן למודרניות, ולחשוב עליהן מחדש. ■

השנייה. אך ברור כי רק מדינות בעלות השפעה פוליטית ומדעית בתחום הגילוי מחדש של העבר העתיק תוכלנה לשכלל וליישם את ההסדרה הבינ־לאומית של הטיפול בעתיקות. ההיגיון המעגלי של האינטרנציונליזציה קבע כי משטר עתיקות אינו יכול להיכפות על המעצמות האימפריאליות אשר תכפינה אותו על הכפופים להן ועל מדינות אחרות לצורך פיתוחן. שטחי המנדט מסוג A, וגם תושביהם, היו אזורים־ביניים, intermediary places, בלתי ניתנים לסיווג, ולפיכך מתאימים לניסוי החדש, ממוקמים בין תרבויות מתקדמות ללא מתקדמות. בד בבד הן היו מחסני ענק של שרידי אימפריות עבר שנחשבו למקור הציביליזציה האנושית. מקום התווך שלהן – בין מדינות האימפריה השולטות בהן לאזורים קולוניאליים מפותחים פחות – הפך את אזורי המנדט למתווכים בין אירופה לטריטוריות הקולוניאליות.

העידן ההיסטורי שבו התגבשו האינטרנציונליזציה של הגדרת העבר הקדום והניסיון ליצור מארג מנגנונים בין־לאומיים לטיפול בשרידי מורשת היסטורית, כמו גם הסדר האימפריאלי החדש שבתוכו התפתחו, מכונה "המומנט הווילסוניאני", על שם וודרו וילסון, נשיאה של ארצות הברית, שבארבע־עשרה הנקודות המפורסמות שלו מנוסחת הזכות להגדרה עצמית של אומות. היה זה רגע היסטורי שבו נוסחה הזכות ל"הגדרה עצמית" של עמים. הציפיות שעורר בקרב תנועות לאומיות באירופה, אסיה ואפריקה והשינויים בעקבות המלחמה עוררו מפץ לאומי, בין היתר באותם שטחי אימפריות שבהם נחשפו אוצרותיהן של

1) הספר עתיד לראות אור בהוצאת הספרים של אוניברסיטת אוקספורד. תודתי נתונה להוצאה שהתירה לי לפרסם את המאמר.

# חומר רך: מכתבי חרטומים ועד מחלות מפרקים



## מאת פרופ' יעקב קליין

ייצוב זה מאפשר את השימוש בו כדיו לכתיבה, ובתוספת פיגמנטים המעניקים לו צבע – גם לציור. את התוצאות ניתן לראות בפירוסיים המרשימים ששרדו מאז, למשל באיור 1 ג.

איך הגומי הערבי יוצר השפעה מייצבת זו? היום אנו יודעים כי תערובת חלקיקי הפיח במים, שאותה פיתחו המצרים הקדמונים כדיו, היא אחת הצורות המוקדמות של תפזורת קולואידליות (או קולואידים) מעשה ידי אדם. קולואידים הם תרחיפים של חלקיקים מוצקים בנוזל שגודלם נע בין כ־10 ל־1,000 ננומטרים (להלן: נ"מ).



איור 1. כאשר מערבבים אותם עם גומי ערבי, החלקיקים נותרים נפרדים, והתערובת נותרת שחורה.

תגלית מדהימה מלפני כ־4,500 שנה פתרה אז בעיה מרכזית בתקשורת, באומנות וביצירת רשומות קבועות במצרים העתיקה. כאשר תשחורת פחמן – פיח שמקורו בעשן או בלהבה – מעורבת היטב עם מים, נוצר נוזל שחור. נוזל זה יכול כעיקרון לשמש דיו או צבע. אולם בתוך דקות חלקיקי הפיח שהפכו את הנוזל לשחור נצמדים זה לזה, ונוצרים גושים השוקעים על תחתית הכלי בהותירם מים חסרי צבע מעל למשחה שחורה מגורענת שאינה יכולה לשמש דיו (איור 1א). התגלית הייתה כי הוספת כמות קטנה של גומי ערבי – שרף מעצי שיטה מקומיים – למים עם תשחורת הפחמן יחד מייצבת את הנוזל השחור למשך חודשים (איור 1 ב).



איור 2. חלקיקי פיח מעורבב במים יוצרים נוזל שחור, אבל במהרה הם נצמדים זה לזה ושוקעים, בהיפרדם מן המים.



איור 1. בדיו כזה - לעיתים בתוספת פיגמנט - ניתן להשתמש לציור על גבי פפירוסים. בתמונה: פפירוס אני (Ani, המוזאון הבריטי) מלפני 3,300 שנה

עוד סוג נפוץ של חומרים "רכים" במובן זה הוא פולימרים - מולקולות ארוכות דמויות-שרשרת, הבנויות ממולקולות קטנות יותר אשר מחוברות זו לזו. מוצרי פלסטיק מורכבים מפולימרים, וכמותם גם ג'לים - רשתות של פולימרים חדורים בנוזלים, לעיתים קרובות במים (אז הם נקראים הידרוג'לים). רוב החומרים הביולוגיים, כולל רקמות, דם (שהוא סוג של קולואיד) ותאים, הם למעשה חומר רך, וכך גם חומרים רבים אחרים. ◀

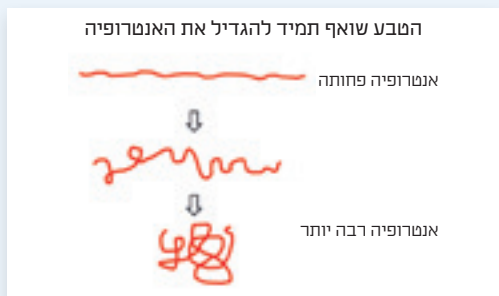
נ"מ אחד הוא מיליארדית (1/1,000,000,000) המטר, מידה שהיא פי כשלושה או ארבעה מגודלה של מולקולה טיפוסית (כגון מולקולת מים). חלקיקים בטווח גודל זה נקראים גם ננו-חלקיקים, והם מצויים בשימוש נפוץ בננוטכנולוגיה. קולואידים, הכוללים חומרים בשימוש יום-יומי, ממזון ועד תרופות, הם צורה נפוצה אחת של חומר רך - חומר אשר אינו משתייך ישירות לאחד משלושת מצבי הצבירה הקלאסיים: גז, נוזל פשוט או מוצק.

לודוויג בולצמן (Ludwig Boltzmann), ואשר  
 חרוטה בשיש שעל קברו:

$$S = k_B \cdot \log(W) \quad (1)$$

$k_B$  הוא קבוע ("קבוע בולצמן"), ו- $\log(W)$  הוא הלוגריתם של  $W$ , מספר המצבים האפשריים של המערכת. מן המשוואה עולה שכלל  $W$  גדל, כן גדלה האנטרופיה  $S$ . כדי להמחיש כיצד משוואה זו מתארת התנהגות של חומרים רכים בחיי היום-יום ניתן לבחון דוגמה אופיינית – גומייה. הגומייה מורכבת מרשת של שרשראות פולימריות גמישות. אלו נמתחות כאשר הגומייה נמתחת (חלקו העליון של איור 2א): לשרשרת מתוחה תצורות או מצבים אפשריים פחותים מלשרשרת מכווצת (למעשה, לשרשרת מתוחה לחלוטין תצורה אפשרית יחידה – קו ישר). לפיכך על פי משוואה (1), האנטרופיה הקשורה למספר המצבים האפשריים קטנה כאשר השרשרת מתוחה.

אבל אחד מחוקי התרמודינמיקה מלמד כאמור כי בטבע האנטרופיה שואפת לגדול, ולכן שרשרת מתוחה מושכת חזרה את קצותיה כדי לקרובם זה לזה ולהתכנס לצורתה המכווצת יותר (תחתית איור 2א). בתבנית המכווצת של השרשרת קיימות תצורות אפשריות רבות ושונות שבהן קצותיה יהיו קרובים יותר זה לזה.



איור 2 א. לשרשרת פולימר מתוחה תצורות אפשריות פחותות, ולכן אנטרופיה קטנה מלשרשרת מכווצת. מסיבה זו שרשראות מתוחות נוטות להתכווץ (זהו מקור אלסטיית הגומי).

כדי להעריך את ההשפעה המייצבת של הגומי הערבי על פיזור תשחורת הפחמן יש להבין שההיצמדות (הלא רצויה) של חלקיקי הפיח (איור 1א) נובעת מכוחות מולקולריים המושכים אותם זה אל זה. כוחות אלה, הידועים ככוחות ואן דר ואלס (van der Waals) על שם המדען ההולנדי שתיאר אותם לראשונה, פועלים בין כל שני משטחים הקרובים זה לזה (ונובעים מתנועתם המהירה של אלקטרונים טעונים שלילית סביב הפרוטונים הטעונים חיובית שבאטומים). הגומי הערבי עשוי ממולקולות פולימר ארוכות וגמישות המתמוססות במים, ופעולתן היא אשר מונעת את היצמדות חלקיקי הפיח זה לזה.

על מנת להבין פעילות מייצבת זו יש להבין ראשית את מאפייני החומר הרך. ניתן להמחיש את משמעות המילה "רך" בהקשר זה באמצעות תפיסת האף בין שתי אצבעות והזזתו מצד לצד. תכונות הרקמה והסחוס שמרכיבים את האף מאפשרות תנועה זאת: הן הסחוס (שאליו נשוב בהמשך) והן הרקמה הם חומרים רכים.

ברמה המיקרוסקופית "רכותם" נובעת מהמידות האופייניות של המכלולים המולקולריים המרכיבים את אבני הבניין של החומר, כ-5–100 נ"מ. הקשרים החלשים בין יחידות מולקולריות אלו מאפשרים להן להתעוות בקלות, וכך מתקבלים חומרים בעלי טווח רכות גדול. רכיב חשוב נוסף של חומרים רכים ברמה המולקולרית הוא האנטרופיה שלהם (המסומנת באות  $S$ ): זהו מדד למידת אי-הסדר, או במונחים בסיסיים יותר: למספר התצורות השונות שבהן מערכת מסוימת עשויה להיות. חוקי התרמודינמיקה – המדע העוסק בחקר האנרגיה וצורתיו השונות – מלמדים אותנו בין היתר שהאנטרופיה של מערכת שואפת בדרך כלל לגדול (ולכן המערכת מתנגדת להקטנת האנטרופיה). אף שאין זה מאמר טכני, אציין כאן משוואה בסיסית אחת באשר ל- $S$ , שגילה הפיזיקאי האוסטרי הדגול

האלסטיות של הגומייה, והיא הסיבה לכך שהוספת גומי ערבי לתפזורת פיה מייצרת דיו יציב: הגומי עשוי ממולקולות פולימריות מסיסות במים, אשר נדבקות (נספחות) על פני השטח של חלקיקי הפיה הזעירים. פולימרים אלו על פני השטח דוחים זה את זה כדי להימנע ממצב של הפחתה באנטרופיה שלהם, ולכן מונעים מחלקיקי הפחמן מלהיצמד זה לזה – וכך מתקבל דיו יציב (איור ג2).

כ־4,500 שנה לאחר יצירת דיו מסוג זה בחנה קבוצת המחקר שלי במכון ויצמן למדע, לראשונה ישירות ובשיטתיות במעבדה, את יחסי הגומלין בין משטחים מצופי פולימרים. הדבר נעשה באמצעות שיטות המבוססות על מדידת הכוחות הפועלים בין שני משטחים חלקים-אטומית (איור ג3) שעל גביהם נספחו פולימרים. המכשיר, שתוכנן ונבנה במעבדתי, משמש למדידת הדחייה והמשיכה בין המשטחים וכן את מידת החיכוך ביניהם, ברמה המולקולרית (מכשיר זה מודד את מאזן הכוחות בין המשטחים ונקרא בפנינו "מאזניים לכוחות פני שטח", ובלועזית: [Surface Force Balance – SFB]).

התוצאות, שאחדות מהן מוצגות באיור ג3, מראות ישירות כיצד משטחים מצופים בפולימר דוחים זה את זה, כפי שקורה בחלקיקי תשחורת הפחמן בדיו המצרי הקדום (איור ג2). להפתעתנו גילינו שכאשר כמות הפולימרים הספוחים על פני המשטח היא קטנה, הם יוצרים מעין גשר (איור ג3), ואז נוצרת דווקא משיכה בין המשטחים. כאשר נספחים פולימרים נוספים, המשיכה הופכת לדחייה (איור ג3). תופעת הגישור הזה משמשת בתעשייה להפרדת חלקיקים מתוך תרחיף (למשל מי ביוב) באמצעות "הדבקתם" לגושים גדולים השוקעים על התחתית. כך משמשים פולימרים הן לייצוב ננו-חלקיקים, דהיינו לשמירתם נפרדים ומפוזרים כמו בדיו, או לשקיעתם בגושים בתוך תמיסה – לפי כמות הפולימר שעל פני השטח. גם בטבע ניתן לצפות בהשפעות הגישור הפולימרי. ◀

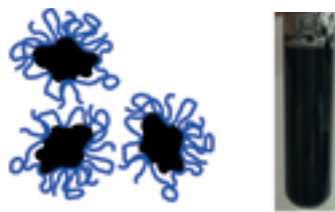
במילים אחרות, הערך של  $W$  ממשוואה (1) גדל, ובעקבותיו גדלה האנטרופיה, לפי העדפת הטבע. לכן כאשר מותחים גומייה, היא מושכת חזרה – ההתנגדות להפחתת האנטרופיה שלה הופכת אותה לאלסטית.

אותו עיקרון של אובדן אנטרופיה גורם לפולימרים בתמיסה לדחות זה את שכנו.



איור 2 ב. כך הפחתה לא רצויה במספר התצורות האפשריות - ובעקבותיה באנטרופיה - מתרחשת כאשר מולקולות פולימריות באות במגע זו עם זו, ובעקבות זאת נוצרת דחייה ביניהן.

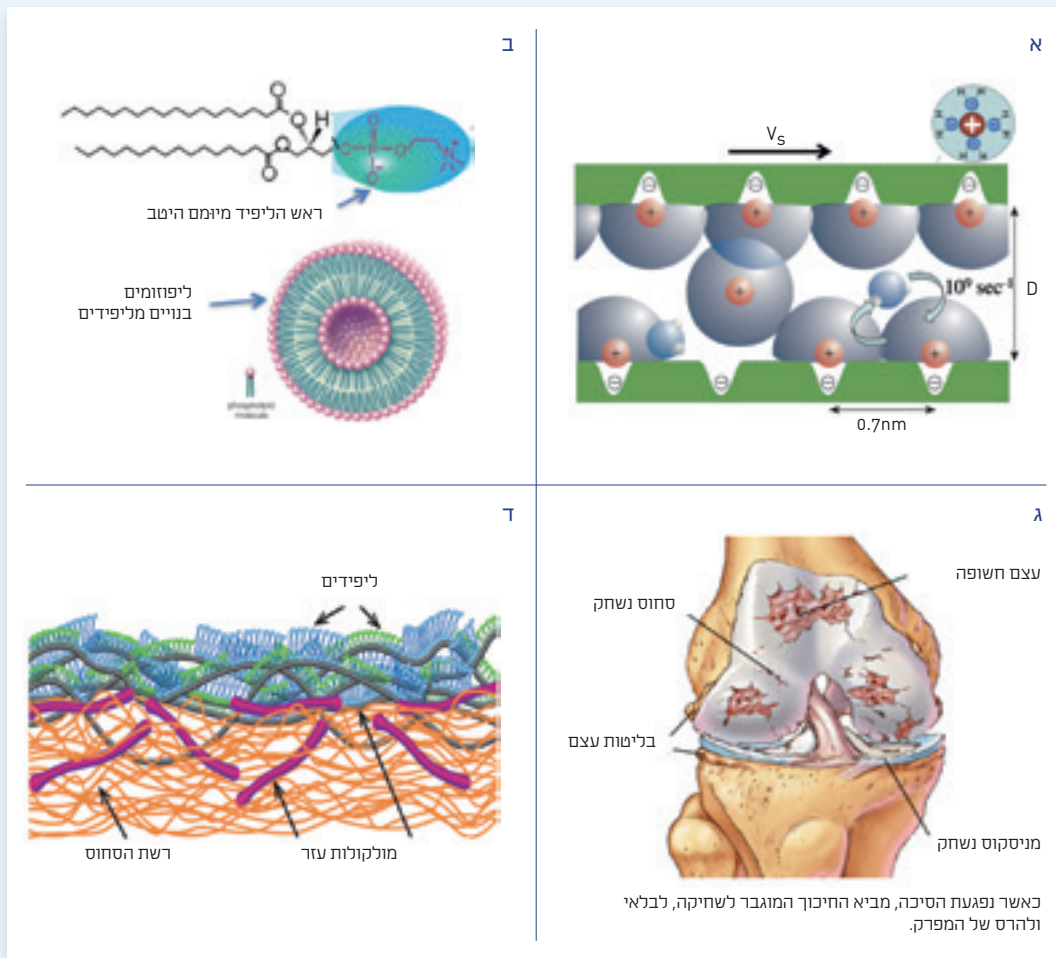
ספיחת פולימרים שבשרף עץ השיטה יוצרת פגושים המונעים הידבקות החלקיקים.



איור 2 ג. עובדה זו מסבירה את יציבותם של ננו-חלקיקי תשחורת הפחמן אשר מצופים בפולימרים שמקורם בגומי ערבי מומס (ראו איור 1 ב).

השפעה דומה של צמצום מספר התצורות האפשריות של שרשרת פולימרית יש גם למצב שבו פולימר אחד נוגע בפולימר אחר (איור ג2). קרבה זו בין שני הפולימרים מקטינה את מספר התצורות האפשריות  $W$  (משום ששני חלקי פולימר אינם יכולים להיות באותה נקודה בעת ובעונה אחת – תופעה הידועה כ"נפח חסום"). לכן האנטרופיה קטנה כאשר פולימרים מצויים בקרבה יתרה זה לזה. היות שהטבע מתנגד להקטנת האנטרופיה, הפולימרים ימנעו מצב של קרבה כזו באמצעות דחייה הדדית. הדחייה היא אנטרופית במקורה, כמו





איור 4 א. יונים ממוימים שבהם מים מקיפים מטען (למעלה מימין) יכולים לשמש מסבים מולקולריים בתהליך המכונה סיכת מים; ב. קבוצות הראש בליפידים ממוימות במיוחד, והן נחשפות כאשר ליפידים יוצרים ליפוזומים; ג. שכבות הסחוס המצפות את המפרקים בגוף עלולות להתבלות ולהתפרק אם החיכוך ביניהן גבוה מדי; ד. מבנה ליפיד/פולימר המצפה משטח סחוס, שסביר לחשוב שהוא האחראי לחיכוך הנמוך בסחוס במפרקים בריאים.

מכשיר ה-SFB שלנו גילינו שבמקרים מסוימים מולקולות המים עצמן מעניקות סיכה טובה מאוד. מולקולות המים,  $H_2O$ , היא בסך הכול ניטרלית מבחינה חשמלית, אך החמצן (O) נושא מטען שלילי קטן, ואילו שני המימנים (H) נושאים כל אחד מטען חיובי קטן. בעקבות זאת מולקולות המים מתקרבות ליונים טעונים במים ומקיפות אותם. מכנים מולקולות מים אלו מי מים כדי להבחין בינן לבין מולקולות מים רגילות שאינן מקיפות מטענים. ◀

השכיחה ביותר. בישראל בלבד חולים בה כחצי מיליון איש, ובאירופה ובארצות הברית – עשרות רבות של מיליונים. הבנת מנגנון הסיכה של הסחוס יכולה לסייע לפיתוחם של טיפולים טובים יותר. זהו אחד התחומים שבהם קבוצת המחקר שלי פועלת.

מאחר שכל הרקמות הביולוגיות – לרבות הסחוס – שרויות בנוזלים פיזיולוגיים מימיים, מדדנו חיכוך וסיכה בין משטחים השרויים במים. באמצעות

דואליות זו של אהבה-שנאה אחראית ליצירת הדור-שכבה הליפידית המרכיבה את מרבית הממברנות בגוף, שבה הראשים ההידרופיליים חשופים למים, ואילו הזנבות ההידרופוביים מורחקים מן המים בתוך הדור-שכבה ומושכים זה את זה, ובכך נשמרת שלמות הממברנה. מתברר כי לאחדים מהליפידים הנפוצים ביותר (פוספטידיל-כולינים, phosphatidylcholines, איור 4ב) קבוצות ראש ממוימות טוב במיוחד. כל קבוצה כזו מוקפת במעטה המורכב מעשר או יותר מולקולות מים, מה שהופך ליפידים אלו לחומרי סיכה מוצלחים במיוחד, הפועלים באמצעות מנגנון סיכת המים שתיארנו. ליפידים במים עשויים ליצור מבנים כדוריים קטנים, הנקראים ליפוזומים (איור 4 ב).

באמצעות מכשיר ה-SFB גילינו במעבדתי שציפוי משטחים בשכבת ליפוזומים עשוי להפחית במידה עצומה את החיכוך ביניהם, גם בלחצים הגבוהים שמופעלים במפרקים שלנו. כדי להמחיש את יעילות הסיכה ניתן לדמות את החיכוך המופחת בין שכבות ליפוזומים אלו ליכולת להחליק משקולת בת עשר טונות המונחת על כף היד באמצעות דחיפתה באצבע אחת (נדרשת דחיפה של כ-1 ק"ג בלבד).

כושר הסיכה המצוין של הסחוס המפרקי יוחס בעבר למולקולות רבות ושונות. על סמך הניסויים האחרונים במעבדתנו הצענו כי פני השטח של הסחוס מצופים למעשה בשכבה המורכבת מכמה ממולקולות אלו, הפועלות יחד. המשטח העליון של שכבה זו, אשר מתחכך בשכבה זהה על פני הסחוס שמנגד, מורכב ממולקולות ליפידים שבהן קבוצות הראש הממוימות לעילא חשופות (איור 4ד), ובכך מספקות הפחתת חיכוך ניכרת באמצעות סיכת מים. הסבר זה סולל את הדרך לפיתוח חומרי סיכה מבוססי-ליפידים. את אלו יהיה ניתן להזריק למפרקים הסובלים מדלקת מפרקים ניוונית על מנת להפחית את החיכוך בין משטחי הסחוס,

הצד הימני העליון של איור 4א מדגים יוני נתרן טעונים חיובית  $+Na$  (כמו אלו שמקורם במלח שולחן,  $NaCl$ , מומס במים), מוקפים בשכבה של מולקולות מים. לשכבה זו – המכונה מעטה מים – שתי תכונות ששילובן הייחודי מביא לסיכה יעילה: בשל המשיכה החשמלית החזקה בין יוני הנתרן הטעונים-חיובית לבין אטום החמצן (הטעון-שלילית) במי המים, מוחזק המעטה בכוח רב באמצעות היון המרכזי.

עם זאת הוא נוזלי ביותר. כך נוצרות שכבות אשר נצמדות בחוזקה (ולכן הן עמידות בלחץ), אך בה בעת אותן שכבות הן נוזליות למדי, ולכן הן זורמות בקלות בעת החלקה ופועלות למעשה כמסבים כדוריים זעירים. לכידת יונים בעלי מעטה מים בין שני משטחים המחליקים זה על פני זה (איור 4א) מפחיתה במידה עצומה את החיכוך ביניהם. יונים ממוימים אלו הם אפוא חומרי סיכה טובים להפליא. למנגנון זה של הפחתת חיכוך באמצעות מעטה עשוי מולקולות מים סביב מטען קראנו "סיכת מים"; אנו מאמינים שבכוחו של מנגנון זה להסביר את רוב תהליכי הסיכה בגוף החי.

גילינו כי סוגים שונים של מולקולות מסיסות במים – ולא רק יונים ממוימים דוגמת  $+Na$  – ניתנים לחיבור למשטחים ליצירת שכבה המסכה באמצעות סיכת המים המתוארת לעיל. לדוגמה: פולימרים בעלי מטען ופולימרים ניטרליים המורכבים ממונומרים (אותן יחידות המרכיבות את השרשראות) ממוימים.

גילינו שליפידים (מולקולות שומן) מסוימים יוצרים שכבות המקנות סיכה מצוינת גם בלחצים החזקים ביותר המופעלים במפרקים שלנו. ליפידים, הנפוצים מאוד במערכות חיות, בתאים ובאיברים, מורכבים מזנבות "שונאי מים" (הידרופוביים), המחברים לקבוצת ראש "אוהבת מים" (הידרופילית).





משטחים מצופים בפולימרים – אותם כוחות שייצבו את הדיו הקדום. נוכחות הפולימרים על פני שטח יכולה להשפיע לא רק על כוחות בין-משטחיים אלא גם על החיכוך ביניהם כשהם מחליקים זה כנגד זה.

לכך נודעת משמעות מיוחדת ברקמות הגוף שבהן מתרחשת תנועה כזו, כאשר חיכוך חלש, שמקורו בסיכה יעילה, יכול להיות חיוני לבריאותן. במפרקים שלנו – כגון מפרקי הירך או הברכיים – החיכוך העדין נובע מהשילוב שבין פולימרים לליפידים. אלה יוצרים שכבה המקנה יכולת סיכה גבוהה, ובעקבותיה – חיכוך עדין מאוד בין משטחי סחוס הנעים זה כנגד זה כשאנו מכופפים את המפרק. יעילות הסיכה נובעת ממעטה המיום המקיף את ראש הליפיד החשוף. המעטה יכול לשאת את הלחצים הגדולים שעל המפרקים אך להישאר נוזלי מאוד, ובכך מקנה שכבת סיכה דקה, שאותה כינינו סיכת מיום.

אנו מקווים כי באמצעות יצירת מכלולי ליפידים (ליפוזומים) והזרקתם למפרקים להקטנת החיכוך נוכל להקל על חולי דלקת מפרקים ניוונית, מחלת המפרקים השכיחה ביותר המשפיעה על מיליונים, אשר קשורה בהרס הסחוס – כנראה בשל כשל בסיכת הסחוס. ■

ובכך להקל על הסובלים מן המחלה. מולקולות הליפידים בפני עצמן אינן מתמוססות במים בגלל זנבותיהן ההידרופוביים, אך כאשר הן מתכנסות לצורת ליפוזום, הזנבות מבודדים מהמים באמצעות הראשים ההידרופיליים (איור 4ב), וכך הליפוזומים בעצמם מתמוססים בקלות. זהו אחד הרעיונות שמנחים את מחקרנו כעת – יצירת ליפוזומים מתאימים להזרקה למפרקים חולים להקלת הדלקת הניוונית.

## סיכום

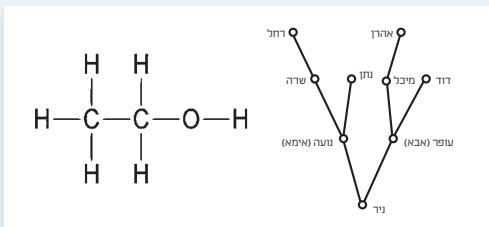
תכונות חומרים רכים, ובהם חומרים שכיחים – מפולימרים, ג'לים וקולואידים ועד מזון ורקמות חיות – תלויות בכוחות המולקולריים הפועלים בין מרכיביהם. כוחות אלה מאפשרים לננו-חלקיקים בנוזל להישאר נפרדים ולא להיצמד זה לזה ולשקוע, מה שמקנה לקולואידים את מאפייניהם הייחודיים.

בזמנים קדומים הושגה מניעת ההיצמדות של חלקיקי תשחורת הפחמן באמצעות המסת פולימרים (גומי ערבי) וערבובם עם פיח ליצירת דיו יציב – המצאה שקידמה את תחומי התקשורת והאומנות. לאחרונה הצליחה קבוצת המחקר שלי למדוד ישירות בפעם הראשונה ובשיטתיות את הכוחות הפועלים בין

# חידות על עצים, ממדים גבוהים, בחירות, חישוב ורעש



## מאת פרופ' גיל קלעי



איור 1. מימין: עץ משפחה; משמאל: הנוסחה הכימית לאתנול

עץ הוא "גרף" הבנוי מ"קודקודים" ומ"צלעות", ולו שתי תכונות: הוא "קשיר" ואין בו "מעגלים".

בהסבר הזה החלפתי מונח אחד שיש להסבירו במשפט שלם המורכב מכמה מונחים שעדיין יש להסבירם. אנסה בהמשך להסביר זאת ביתר פירוט ובעזרת דוגמאות, אבל אעיר שניתן לראות בהרצאה שלי כמספרת סיפור שאני מבקש לעניין אתכם בו, אף שמפאת קוצר היריעה חלקים ממנו יישארו סתומים (גם במחקר עצמו ניתן לראות ניסיון להבין סיפור מעניין מאוד, שמפאת קוצר ידנו חלקים רבים בו סתומים, ואף יישארו כאלה).

ספר כאן על כמה חידות מתמטיות שהעסיקו אותי במהלך השנים, ואף אחשוף לפניכם כמה מסודות המקצוע. החידה הראשונה עוסקת בחישוב מספרם של מבנים מתמטיים הנקראים "עצים"; החידה השנייה עוסקת בצורות גאומטריות בממדים גבוהים; החידה השלישית עוסקת בחסינות של שיטות בחירות בפני טעויות בספירת קולות; השאלה הרביעית עוסקת בהיתכנות של "מחשבים קוונטיים" – מערכות פיזיקליות היפותטיות שאם ייבנו יביאו למהפכה בתחום החישוב.

### חידה 1: כמה עצים דו־ממדיים יש?

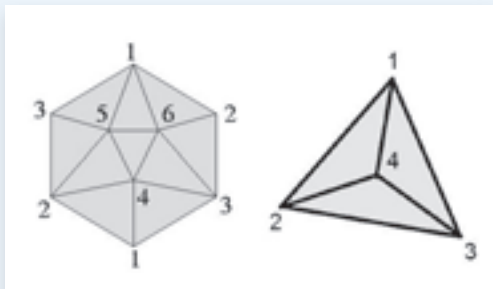
מתמטיקאים לעיתים קרובות משתמשים במילים לצרכים שלהם. למשל: "שדות" במתמטיקה שונים משדות בטבע, ו"חבורות" אינן באמת חבורות של אנשים, וגם "עצים" אינם העצים המוכרים לנו מחיי היום־יום. עבור מתמטיקאי עץ הוא מונח מתמטי:

אנו מרשים לצלעות ליצור מבנה מעגלי אבל דורשים שכל "חור" שנוצר על ידי הצלעות יהיה ניתן למילוי באמצעות פאות משולשיות. לתכונה זו קוראים "קשירות חד-ממדית". עוד לפני שידעתי כיצד להגדיר בדיוק עצים דו-ממדיים, הצעתי תשובה חינונית זאת לספירתם:

מספר העצים הדו-ממדיים בעלי  $n$  קודקודים

$$\text{הוא } n^{(n-2)(n-3)/2}$$

התשובה נכונה ל- $n=3,4,5$ , אבל הייתה בה בעיה חמורה: היא שגויה ל- $n=6$  (!) ל- $n=6$  הנוסחה נותנת 46,656, אבל אני הצלחתי לזהות 46,608 עצים דו-ממדיים בעלי שישה קודקודים ועוד 12 מקרים מפוקפקים (שגם אם נכלול אותם לא נגיע לתוצאה המבוקשת). הדרך שלי להתמודד עם הבעיה, והינה אני כבר מגלה לכם את אחד מרזי המקצוע, הייתה לשנות את השאלה ולהתאים אותה לתשובה המבוקשת.



איור 3. מימין: עץ דו-ממדי בעל 4 קודקודים, 6 צלעות ו-3 פאות משולשיות; משמאל: עץ דו-ממדי מפוקפק בעל 6 קודקודים, 15 צלעות ו-10 פאות משולשיות (בציור שלושה קודקודים ושלוש צלעות מיוצגים פעמיים, ויש לנסות לדמיין כיפול של הצורה הגאומטרית שמזהה קודקודים וצלעות שמופיעים פעמיים).

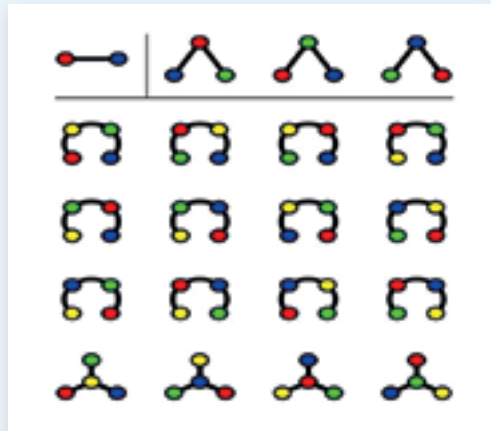
הרעיונות שבאו לידי ביטוי בשינוי השאלה ובהתאמתה לתשובה המבוקשת פותחים צוהר לכמה נושאים מרכזיים במתמטיקה המודרנית. נושא חשוב הקשור לענף של המתמטיקה הקרוי "טופולוגיה" הוא קשירות רב-ממדית. הנושא התפתח בסוף המאה התשע-עשרה ותחילת המאה העשרים, והוא קשור למתמטיקאים בטי (Betti) ופואנקרה (Poincaré). ◀

מכל מקום, מתמטיקאי אנגלי חשוב, ששמו ארתור קיילי (Cayley), הצליח לחשב את מספר כל העצים שיש להם  $n$  קודקודים מסומנים, והגיע לנוסחה הזאת, הקרויה על שמו:

נוסחת קיילי:

**מספר העצים בעלי  $n$  קודקודים הוא  $n^{n-2}$**

המוטיבציה של קיילי הגיעה דווקא מכימיה, כיוון שעצים משמשים לתיאור מולקולות כימיות – הקודקודים הם האטומים, והצלעות הם הקשרים הכימיים.



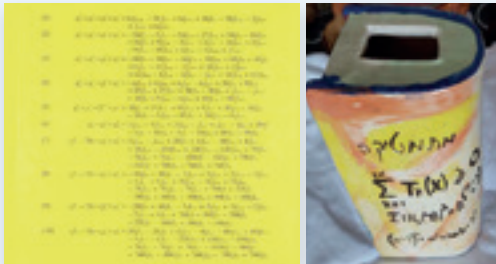
2. בתמונה אנו רואים את כל העצים בני שניים, שלושה וארבעה קודקודים מסומנים (הקודקודים מסומנים בצבעים שונים). נתבונן בגרף השמאלי בשורה השנייה, שקודקודיו מסומנים בצהוב, ירוק, אדום וכחול. אם נשמיט צלע, למשל את הצלע שבין הקודקוד הכחול לקודקוד הירוק, נפגע בתכונת הקשירות, כלומר נקבל שני חלקים לא קשורים. אם נוסיף צלע, למשל מהקודקוד האדום לכחול, נקבל מבנה מעגלי.

נוסחת קיילי קובעת, כפי שמחישה התמונה, שיש עץ אחד בעל שני קודקודים, שלושה עצים בעלי שלושה קודקודים, ו-16 עצים בעלי ארבעה קודקודים.

ניתן לראות בעצים מבנים גאומטריים חד-ממדיים, וכאשר הייתי תלמיד דוקטורט צעיר ב-1980 התעניינתי באפשרות להגדיר עצים דו-ממדיים (ואף בממדים גבוהים יותר) ולהרחיב את נוסחת קיילי. בעצים דו-ממדיים שניסיתי להגדיר יש מלבד קודקודים וצלעות גם "פאות" משולשיות. בממד 2

$$\sum |H_{k-1}(K)|^2 = n^{\binom{n-2}{k}}$$

אעיר לסיום פרק זה שהמושג "עצים" חשוב בענפים שונים של המתמטיקה, ומתמטיקאים עוסקים גם בעצים אינסופיים ובהרחבות רב-ממדיות שלהם (שקוראים להם "בניינים"). הקשר בין מבנים בדידים (כמו עצים) למבנים רציפים חשוב לכל ארבע החידות שלנו, ואזכיר שאיליה ריפס הגדיר מושג רציף רב-השפעה של "עצים ממשיים". ולבסוף אעיר כי נתי ליניאל, יובל פלד ואנוכי חזרנו לאחרונה להתמודד עם השאלה המקורית של ספירת עצים דו-ממדיים, בלי משקולות.



איור 4. נוסחאות מתמטיות מאפשרות לנו לקודד בתמציתיות רעיונות מורכבים, אך יש להן גם שימושים לא צפויים: ברנרד בנט (Benet) השתמש בעבודת אומנות בנוסחה מתמטית שלי לחקר ממדים גבוהים (משמאל), ואחותי תמר קלעי הכינה לי קופת חיסכון מקרמיקה שעליה נוסחאות במתמטיקה (מימין). מלבד הנוסחה לעצים דו-ממדיים בוודאי תזהו עליה נוסחה מוכרת:  $(a+b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$ . אבי הציג לי אותה כשהייתי בן שש, והיא מייד שבתה את ליבי. כאשר שיתפתי בסיפור עמיתים למקצוע ברחבי העולם, התברר שכמה מהם חוו חוויה דומה.

**חידה 2 (בורסוק, 1933):**  
**האם תמיד אפשר לכסות קבוצה בממד n**  
**ב- $n+1$  קבוצות בקוטר קטן יותר?**

נעבור עכשיו לחידה השנייה, המפליגה לעולמות של הממדים הגבוהים. אזכיר שקוטר של קבוצה הוא המרחק הגדול ביותר בין שתי נקודות בה. מציע החידה קרול בורסוק (Borsuk) היה מתמטיקאי פולני חשוב, הידוע בתרומותיו הרבות לענף הגאומטרייה. בין השאר גילה גוף גאומטרי, הקרוי "החצוצרה של

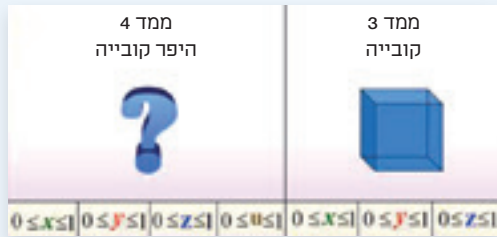
\* בטי, מתמטיקאי איטלקי שחי בסוף המאה התשע-עשרה, התאים לגוף דו-ממדי מספר שמודד קשירות חד-ממדית. כאשר המספר של בטי הוא אפס, הגוף הוא "קשיר" בעיני בטי.

\* פואנקרה הבין שיש להתאים פרמטר עדין יותר: חבורה (!) הנקראת "חבורת ההומולוגיה". כאשר המספר של בטי שווה 0, חבורת ההומולוגיה היא בעלת מספר סופי של איברים. הגוף הוא "קשיר" בעיני פואנקרה רק כאשר בחבורה הזאת יש איבר אחד בלבד.

פואנקרה היה אחד מגדולי המתמטיקאים מאז ומעולם, ועבודתו הניחה יסודות מתמטיים גם לתורת היחסות הפרטית של איינשטיין. פואנקרה עצמו לא השתכנע מתורתו של איינשטיין ומיאן לקבל אותה.

כאן אנו פוגשים את מושג ה"חבורה", שהיה נושא מרכזי במחקר המתמטי במאה התשע-עשרה, וגם את מושג ה"הומולוגיה", שהתגלה והפך למרכזי במאה העשרים.

מה שהתברר לי בנוגע לעצים דו-ממדיים הוא שכדי לקבל את הנוסחה המבוקשת, מבנים שמספר בטי שלהם מתאפס, יש לסופרם לפי ריבוע מספר האיברים של חבורת ההומולוגיה שלהם. 12 המקרים המפוקפקים הם בדיוק מקרים שבטי קבע עבורם "קשיר", אבל בחבורת ההומולוגיה שלהם יש שני איברים, ולפיכך צריך לספור אותם ארבע פעמים (!) הנוסחה שמצאתי ושימחה אותי מאוד קבעה שלכל מספר של קודקודים (וגם לכל ממד) יש להביא בחשבון את העצים לפי ההגדרה של בטי, אבל באותם מקרים שאין הסכמה בין בטי לפואנקרה, יש לספור אותם עם משקל ששווה לריבוע גודל חבורת ההומולוגיה. את התוצאה במלואה ניתן לתאר בנוסחה מתמטית פשוטה למראה:



איור 6. כאשר מתארים את הקובייה התלת־ממדית בעזרת אלגברה, קל להרחיב את ההגדרה לארבעה ממדים.

הדוא"לית המשעשעת הזאת:

גיל: על מה נעבוד בביקור שלך בישראל?

ג'ף: נפתור את בעיית בורסוק!!

גיל: ומה נעשה בשבוע השני??

ג'ף: נכתוב את המאמר.

למרבה ההפתעה, זה בדיוק מה שקרה. הביקור של ג'ף ומשפחתו היה רצוף בתקלות, ורק במוצאי שבת של השבוע הראשון נפגשנו לדון בשאלה וחשבנו על כיוון לפתור אותה. למחרת המשכנו לדון בה בבית בלגיה באוניברסיטה, והדברים נראו פשוטים יותר ויותר עד שהגענו לפתרון. מצאנו בנייה בממדים גבוהים (מעל ממד אלפיים) שמראה שהתשובה היא שלילית.

באוזני מתמטיקאים ניתן לתאר את הבנייה שלנו בשבע מילים: "מכפלה טנסורית של ספירת היחידה ה־ $n$ ־ממדית בעצמה".

ההוכחה גם היא פשוטה ומשתרעת על פני חצי עמוד. אבל קצרה ופשוטה ככל שתהא, היה מסובך להגיע אליה. ג'ף, שלמד ספרות אנגלית לתואר ראשון, מצא ציטוט הולם לתיאור המצב מהספר "מובי דיק" של הרמן מלוויל: "However contracted, that definition is the result of expanded meditation"

השתמשנו בשני רעיונות בהוכחה: הרעיון האחד הוא לעבור מבעיה רציפה לבעיה בדידה שעוסקת בגרפים, והרעיון השני הוא לנקוט את הגישה האסימפטוטית ולנתח את המצב בממדים גבוהים. שני הרעיונות קשורים קשר הדוק למתמטיקאי מפורסם מהמאה העשרים – פול ארדש.

בורסוק", שקשור לעצים דו־ממדיים, שעליהם דיברתי בחידה הראשונה. בורסוק הבין שבשני ממדים התשובה לחידה חיובית ונובעת מתוצאה מ־1906 על אריזת צורות במשושים. הוא האמין, וכך גם רבים אחרים, שהתשובה חיובית בכל ממד.



איור 5. בציור הימני אנו רואים צורה גאומטרית כחולה בקוטר 1. הציור השמאלי מדגים שניתן לחסום אותה במשושה משוכלל, שניתן לחלקו לשלושה מחומשים בעלי קוטר קטן מאחד.

כמה מילים של הסבר על ממדים גבוהים. המרחב המוכר לנו הוא תלת־ממדי. מהי בכלל המשמעות של מרחבים מממדים גבוהים יותר? מפתיע אך זו שאלה שלמתמטיקאי קל לענות עליה, וההסבר לכך הוא בקשר שבין גאומטרייה לבין אלגברה, שאותו פיתח רנה דקארט. דקארט הבין, ואנו כבר רגילים לזה, שניתן לייצג נקודה במישור באמצעות שתי קואורדינטות (שני מספרים), ונקודה במרחב – באמצעות שלוש קואורדינטות. מדוע לעצור בשלושה ממדים? הרי באמצעות עשר קואורדינטות אפשר "לתאר" ללא קושי גאומטרייה עשר־ממדית, ובאמצעות מאה קואורדינטות – גאומטרייה מאה־ממדית. בעזרת האלגברה אפשר להגדיר מרחק בין שתי נקודות גם במרחבים מממד גבוה ולתאר עצמים גאומטריים באמצעות נוסחאות אלגבריות. זכורה לי הרצאת הבכורה של יורם לינדנשטראוס כאן באקדמיה ב־1985, שבה הוא תיאר מרחבים אף עם אינסוף־ממדים.

בתחילת שנות התשעים עבדתי על השאלה של בורסוק עם ג'ף קהאן, שותף אמריקאי למחקר. לעיתים ניסינו להוכיח שהתשובה חיובית, ולעיתים שהיא שלילית. ג'ף היה לקראת ביקור בארץ, והתנהלה בינינו תכתובת

גם שכל שיטה חסינה בפני רעש "קרובה" לשיטת רוב משוקלל. בעבודה מאוחרת יותר הראו אודונול, אולסקייביץ' ומוסל כי שיטת הרוב חסינה ביותר יחסית לשיטות שאינן דיקטטוריות באופיין.

העבודה שלנו התפרסמה בשנת 1999, שנה לפני שעלתה השאלה לכותרות בבחירות לנשיאות בארצות הברית, והיא לא עסקה כלל בבחירות. וכאן אפשר לגלות סוד מקצועי נוסף: מתמטיקאים ממחזרים את המודלים שלהם, ואותו מודל יכול לשמש למטרות שונות. אנו התעניינו במודל מכיוון אחר לגמרי: רצינו להבין את בעיית הפרקולציה במישור. מודל הפרקולציה הוא מודל מתמטי שמקורו בפיזיקה סטטיסטית, והוא מומחש באיור 8. במאמר שלנו הראינו שאם נאמץ שיטת בחירות על פי מודל הפרקולציה, תהיה שיטה זו רגישה מאוד לרעש. תובנה זו אינה מועילה כלל בתכנון שיטות בחירות טובות, אבל היא מאפשרת להבין תופעות מעניינות בחקר מודל הפרקולציה.

לאחר הבחירות לנשיאות בארצות הברית בשנת 2000 ניסינו איתי, עודד, אלחנן מוסל ואני להבין את הרלוונטיות לבחירות של המודל שלנו ושל מושג הרגישות לרעש שהגדרנו. האם מדד הרגישות לרעש שהצענו רלוונטי אף על פי שההנחה שבבסיסו, שלפיה כל בוחר מצביע באקראי ובהסתברות שווה לאחד המועמדים, רחוקה מהמציאות? הניסיון לקשר בין מודלים במתמטיקה לבין שאלות הנוגעות לבחירות (ובהרחבה רבה יותר למדעי החברה) הוא מרתק ומסובך, וזכות ראשונים לקשר הזה שמורה למרקוז קונדורסט, מתמטיקאי ופילוסוף, דמוקרט, איש זכויות אדם ופמיניסט צרפתי מהמאה השמונה-עשרה.

ה"פרדוקס של קונדורסט" קובע שייתכן שבבחירות להנהגת המדינה שבהן שלוש מועמדות: ציפי, שלי, ואילת, רוב המצביעים יעדיפו את ציפי על שלי, ורוב

### חידה 3: מהן שיטות הבחירות החסינות בפני מעויות בספירת הקולות?

בחידתי השלישית, המתמטיקה פוגשת שימושים מעשיים: הבנה ותכנון של שיטות בחירות.

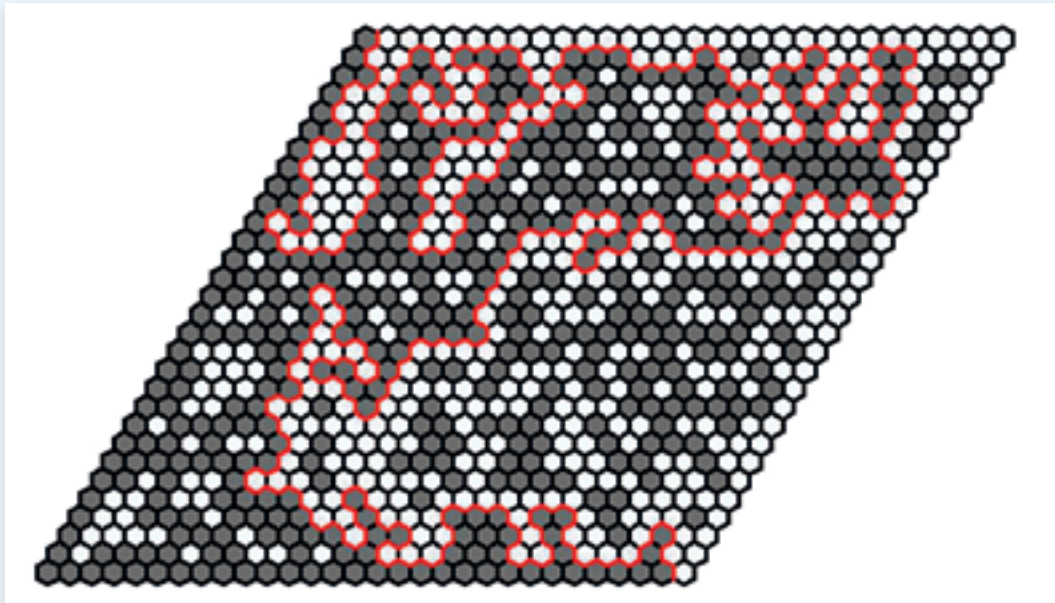


איור 7. ספירה חוזרת של קולות בפלורידה 2000

רבים ודאי זוכרים את המראה של ספירת הקולות החוזרת בפלורידה בבחירות לנשיאות בארצות הברית בשנת 2000. האם שיטת הבחירות האמריקאית, המבוססת על אלקטורים, היא מטבעה רגישה לשגיאות יותר משיטת הרוב רגישה להן? ומהי השיטה היציבה ביותר? איתי בנימיני, עודד שרם ואנוכי חקרנו בעיות אלה ודומות להן.

השאלה ששאלנו היא זו: כשיש שני מועמדים, וכל מצביע בוחר ביניהם באקראי ובהסתברות שווה (ללא תלות), מה היציבות של התוצאה כאשר בספירת הקולות אחוז אחד מהקולות נספר הפוך (במתמטיקה נוהגים לכנות שגיאות כאלה "רעש")?

הגדרנו מתמטית מדד לרגישות לרעש של שיטות בחירות ומצאנו ששיטות רוב משוקלל חסינות בפני רעש, כלומר שכאשר הסיכוי לשגיאה קטן, הסיכוי שהשגיאות יטו את התוצאה קטן אף הוא. הראינו



איור 8. מודל הפרקולציה במישור: כל משושה מקבל בהסתברות  $1/2$  צבע אפור ובהסתברות  $1/2$  צבע לבן.

המקבילים באמצעות האקסיומות האחרות התבררו כבלתי אפשריים, וההבנה הזאת הצמיחה סוגים אחרים של גאומטרייה לא-אוקלידית. המאמץ להוכיח מתמטית שבמתמטיקה עצמה אין סתירות התברר כבלתי אפשרי (משפט גדל).

אחת התובנות החשובות של המאה העשרים היא שהמחשב אינו כול-יכול, ושיש בעיות חישוב פשוטות לניסוח שגם בעזרת מחשבים לעולם לא נוכל לפתור. יהושע ברי-הלל כתב עבודה מפורסמת בשנות השישים על הקושי שבתרגום ממוחשב בין שפות. הוא לא הצביע על מגבלה עקרונית שלעולם לא נתגבר עליה, אלא על קשיים רציניים שרבים מאנשי הבינה המלאכותית של דורו החמיצו. ענר שלו כתב בחוברת הראשונה של כתב העת "אודיסאה" מאמר מרתק שנקרא "אי-אפשר", הפותח בקפאק, מסיים בעקרון אי-הוודאות במכניקת הקוונטים ועוסק באי-האפשרות במדע ומעבר לו.

◀ אנו נשאל על האפשרות של מחשבים קוונטיים.

המצביעים יעדיפו את שלי על אילת, אבל בכל זאת רוב המצביעים יעדיפו את אילת על ציפי (כדי לראות זאת קִשְבוּ על שלושה סוגי מצביעים ומספר שווה של מצביעים מכל סוג. מצביע מהסוג הראשון מדרג את שלי ראשונה, את ציפי שנייה ואת שלי שלישית. מצביע מהסוג השני מדרג את ציפי ראשונה, את אילת שנייה ואת שלי שלישית. מצביע מהסוג השלישי מדרג את אילת ראשונה, את שלי שנייה ואת ציפי שלישית). מתברר שכאשר מנסים להעריך הסתברותית את הסיכוי לתופעה כזו, חישובי הרגישות לרעש באים לידי ביטוי.

לפני שאעבור לחידה האחרונה, אקדים ואומר שחלק חשוב במחקר המתמטי, ובמחקר המדעי כולו, הוא הבנת המגבלות והקשיים שלנו עצמנו. מאמצים של מאות בשנים למצוא נוסחה לפתרון משוואות ממעלה חמישית פינו את מקומם להבנה שהנוסחה המבוקשת איננה בנמצא, וזו הייתה נקודת ההתחלה של האלגברה המודרנית (ובמרכזה תורת החבורות). מאמצים של מאות שנים להוכיח את אקסיומת

למודל: מערכות קוונטיות הן מטבען "רועשות" ולא יציבות. פטר שור עצמו מצא מפתח לפתרון אפשרי לבעית הרעש: צפנים מתקני שגיאות קוונטיים (אגב, אחד הכיוונים ליצירת צפנים קוונטיים נקרא "חישוב קוונטי טופולוגי", והוא מבוסס על חבורות ההומולוגיה שפואנקרה גילה בראשית המאה הקודמת, ושהזכרתה בחידה הראשונה).

באמצע שנות התשעים חקרו דורית אהרונוב ומיכאל בן-אור (בד בבד עם שתי קבוצות אחרות) את מודל המחשב הקוונטי הרועש והראו שמחשבים קוונטיים רועשים עדיין מאפשרים לבצע ניסים ונפלאות, ובלבד שהמהנדסים יצליחו להוריד את רמת הרעש מתחת לסף מסוים. זה היה הישג מרשים, המונח בבסיסן של שתי האפשרויות האלה: אפשרות אחת, שמבטאת דעה רווחת, היא שבניית מחשבים קוונטיים אפשרית, שהאתגר שנותר הוא הנדסי מעיקרו, שמחשבים כאלה ייבנו בעשורים הקרובים, ושבשנים הקרובות יצליחו לבנות במעבדה את הצפנים הקוונטיים באיכות הדרושה לתיקון שגיאות.

אפשרות שנייה, שמבטאת את עמדתי, היא שיהיה בלתי אפשרי לבנות צפנים קוונטיים שדרושים

#### חידה 4: האם חישוב קוונטי אפשרי?

מציאת נתיבים לא צפויים וקיצורי דרך לחישוב מאפיינת הישגים רבים במתמטיקה ובמדעים. בשנות השבעים של המאה הקודמת גילה מיכאל רבין תגלית מפתיעה - אקראיות יכולה להיות לעזר בחישוב.

מודל המחשב הקוונטי, שנתגלה על ידי פיינמן ודויטש, מבוסס על המכניקה הקוונטית. המודל הוצע בשנות השמונים, והוא מאפשר לבצע ניסים ונפלאות בתחום החישוב. המחשב הקוונטי הוא מערכת פיזיקלית היפותטית המנצלת תופעות קוונטיות כמו התאבכות כדי להעצים את כוח החישוב. חקר החישוב הקוונטי משלב באופן מרתק פיזיקה, מתמטיקה ומדעי המחשב.

בשנות התשעים גילה פטר שור שמחשבים קוונטיים יאפשרו לבצע משימות חישוביות מסוימות מהר במאות סדרי גודל ממחשבים רגילים, ובייחוד יאפשרו לשבור את רוב שיטות ההצפנה הנהוגות כיום. אז גם הועלו הספקות הראשונים בנוגע



לא! זו עמדתי על בסיס ניתוח המודל של חישוב קוונטי רועש בסקאלות שונות.



כן (דעה רווחת)! קבוצות רבות של פיזיקאים ניסויניים נמצאות במרוץ להדגמת עליונות חישובית קוונטית ואף לבניית מחשבים קוונטיים שבהם אלפי יחידות חישוב.

איור 9. האם חישוב קוונטי אפשרי?



גודל? בטווח הקרוב יותר, האם יהיה ניתן לבנות צפנים קוונטיים שיאפשרו אינפורמציה קוונטית יציבה שיהיו אבני בניין למחשבים קוונטיים? והאם יהיה ניתן להדגים בקרוב עליונות חישובית קוונטית באמצעות מערכות קוונטיות פשוטות? כמיליארד וחצי דולר לשנה מוקצים לעשרות קבוצות מחקר (בעיקר ניסוייות) למחקר גלוי בטכנולוגיות קוונטיות, והרבה מזה מיועד להשגת היעדים שציינתי. לפי הניתוח שלי, כל היעדים האלה נידונים לכישלון!

האם הצלחתי בניתוח החלופי שאני מציע לאותו מודל עצמו לגרום למומחים שהציעו וחקרו את המודל הזה לשנות את עמדתם? כלל וכלל לא! מומחים אחרים טוענים שכעיקרון, רעש ושגיאות אינם יכולים להיות מכשול מהותי לחישוב קוונטי. גם האינטואיציה של פיזיקאים ניסיוניים העוסקים בכך נוטה לאופטימיות.

אם עמדתי תתברר כנכונה, ניתן לצפות שבצד האכזבה, הבנת כישלון החישוב הקוונטי יישא פירות בחקר מערכות קוונטיות. מובן שאני סקרן מאוד לראות מה יהיו פני הדברים.

מכל מקום, ניתן לראות שאפילו במתמטיקה, ובעיקר במקומות שבהם המתמטיקה נפגשת עם תחומי מדע וחיים אחרים, ניתן למצוא ויכוחים ואי-הסכמות נוקבים, מעניינים ומרגשים. ■

לחישוב קוונטי, וגם יהיה בלתי אפשרי להדגים עליונות חישובית קוונטית במערכות קוונטיות אחרות. אנסה להסביר למה.

המחקר שלי מבוסס על אותו מודל של רעש שהביא את החוקרים בשנות התשעים דווקא לאופטימיות בנוגע לחישוב קוונטי, והוא מצביע על הצורך בניתוח שונה בסקאלות שונות. הניתוח שלי מראה שמחשבים קוונטיים רועשים בסקאלה הקטנה (של עד כמה עשרות יחידות חישוב) מבטאים כושר חישוב פרימיטיבי כל כך, שלא יאפשר יצירת צפנים קוונטיים שנדרשים כאבני בניין עבור מחשבים קוונטיים בסקאלה גדולה יותר.

תשאל הקוראת: כיצד העולם הקוונטי הרועש מאפשר אינפורמציה וחישוב קלאסי? ההבדל בין אינפורמציה קלאסית לקוונטית קשור לחידה 3. קידוד בעזרת חזרות ופיענוח בעזרת כלל הרוב מאפשר אינפורמציה וחישוב קלאסי: שיטת הרוב "מתקנת שגיאות" וחסנה בפני רעש, ולכן אפשר לממש אותה במערכת חישובית פרימיטיבית מאוד. הדבר מאפשר, בסקאלות גדולות יותר, אינפורמציה וחישוב קלאסי.

חידת המחשב הקוונטי מרתקת מאוד: האם יהיה ניתן לפרוץ את המגבלות של החישוב הקלאסי ולזרז את משך החישוב לבעיות מסוימות במאות סדרי

אני, רעייתי ומשפחתי מלאי שמחה ואסירי תודה על הבחירה בי לאקדמיה הלאומית למדעים שלנו. ברצוני להודות מקרב לב למורי, עמיתי ותלמידי, ואציין במיוחד את מדריכי לדוקטורט, עמיתי וחברי היקר פרופ' מיכה אשר פרלס. תודתי למיה בר-הלל וללאונרד שולמן על הערותיהם למאמר זה ולבתי נטע קלעי על איורים 7-9.

# פיענוח הקוד הנסתר ברצפי הרנ"א

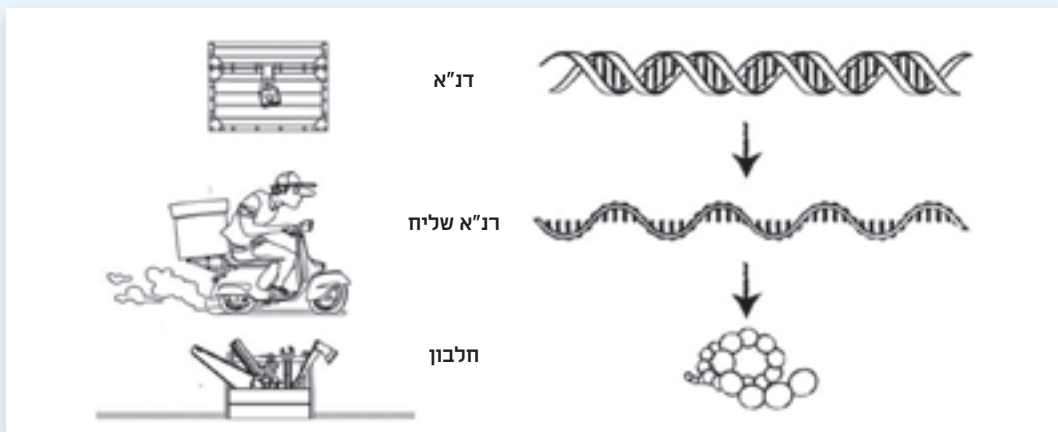


## מאת פרופ' גדעון רכבי

במשך השנים שחלפו מאז גיבוש הדוגמה המרכזית התברר שהתמונה מסובכת יותר, ושהתהליכים המבקרים את ביטויי הגנים ותוצריהם החלבונים הם מורכבים ביותר. רבדים נוספים של בקרת ביטוי גנים מתגלים, והבנתנו את התהליך עדיין רחוקה משלמות.

התמונה ה"פשוטה" של בקרת ביטוי גנים התבססה על ההבנה שחומצות גרעין, דנ"א ורנ"א, בנויות ממספר קטן של אבני בניין. ידוע שדנ"א מורכב

הדוגמה המרכזית של הביולוגיה המולקולרית, שהתבססה על תגליות מפתח במאה העשרים, מפתיעה בפשטותה: המידע הגנטי אגור בדנ"א, וקטעי דנ"א משועתקים לעותקי רנ"א שליח המשמשים תבנית לתרגום חלבונים. החלבונים השונים משמשים ליצירת מבנים, לביצוע פעולות כמו העברת אותות, זירוז תגובות ביוכימית, ייצור תנועה ולהגנה מגורמים מזהמים. האופן שבו אנחנו נראים ופועלים נקבע על פי מגוון החלבונים שבגופנו.



איור 1. הדוגמה המרכזית. מימין מתוארת הדוגמה המרכזית של הביולוגיה המולקולרית. המידע הגנטי אגור בדנ"א, רנ"א שליח מעתיק קטעי דנ"א ומעביר את המידע לייצור חלבון. החלבונים אחראים למגוון גדול של תפקידים מבניים וביצועיים בתאים, ברקמות וביצור החי.

למרות זאת אין זהות בין התאים הרבים שברקמות ובאיברים השונים שבגופנו. תא כבד שונה מתא מוח, תא עוברי שונה מתא בשל של מבוגר, ותא תקין שונה מתא סרטני. הבדלים מסוימים ברצף הדנ"א יכולים לתרום לשונות התאים. לדוגמה, בתאי מערכת החיסון היוצרים נוגדנים מתרחש שינוי ברצפי הדנ"א. תאים ממאירים נוצרים בעקבות מוטציות. אך עיקר השינוי בין תא לתא נובע מהעובדה שבכל סוג תא מתבטאים אלפי גנים שונים, ורמת ביטויים קובעת את צורת התא הייחודי ואת תפקודו. השינויים הקובעים את מידת הביטוי של גנים, מלבד המידע הבסיסי האגור ברצפי הדנ"א בקידוד ארבע האותיות T, C, G, A, ידועים כשינויים אפיגנטיים (פירוש המילה "אפיגנטיקה" היוונית הוא "מעל לגנטיקה").

המידע על בקרה אפיגנטית של ביטוי גנים התמקד עד השנים האחרונות בשתי רמות של שינויים: רמת בקרה אפיגנטית אחת התמקדה בשינויים בדנ"א, כאשר הצורה הנלמדת ביותר של אפיגנטיקה ברמה זו מבוססת על שינוי כימי – תוספת של קבוצת מתיל (CH<sub>3</sub>) לאות C ליצירת 5-מתילציוטוזין (m5C). מחקר מתילציית הדנ"א, שחיים סידר ואהרן רזין מהאוניברסיטה העברית בירושלים הם מחלוציו ומוליכיו, חשף את המנגנונים האחראים ליצירת אותיות m5C בגנום, את השפעת השינויים האלה על מידת התבטאותם של גנים בתאים ואת התמיינותם של תאים לכיוונים שונים בעקבות הבקרה האפיגנטית, המושפעת מצידה מגורמים סביבתיים שמחוץ לתא.

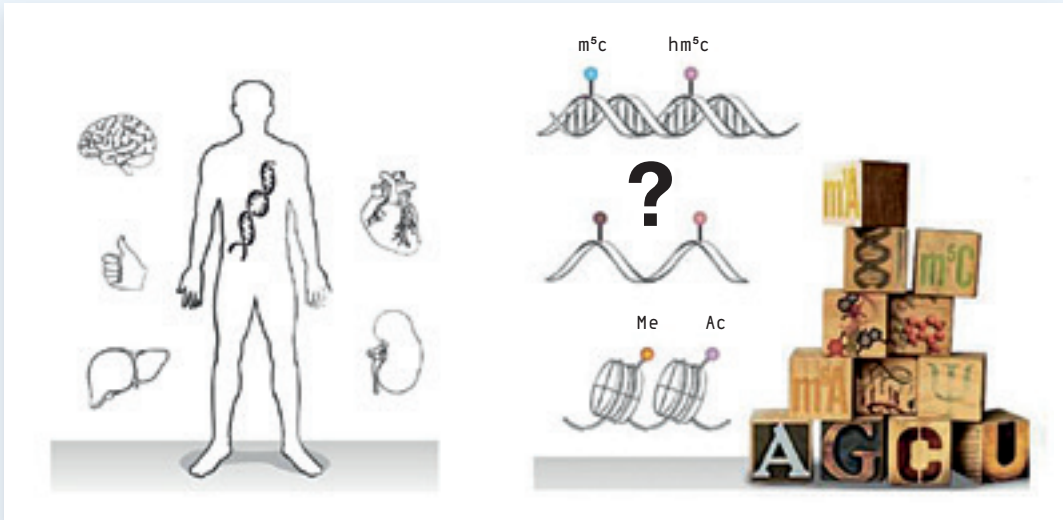
רמה נוספת של בקרה אפיגנטית המוכרת זה שנים רבות היא תוצאת שינויים בחומצות אמינו מסוימות המרכיבות חלבונים הנקראים היסטונים, שתפקידם לארוז את הדנ"א בתאים. מולקולות הדנ"א הארוכות שבגרעיני תאי הגוף, השונים ארוזות בדחיסות רבה מאוד ככרומוזומים, ולהיסטונים תפקיד מרכזי באריזה יעילה זו. ◀

מארבע אבני בניין ("אותיות"): אדנין (A), ציטוזין (C), גואנין (G) ותימדין (T). בדומה לזה, מקובל שרנ"א מורכב אף הוא מארבע אבני בניין: אדנין (A), ציטוזין (C), גואנין (G) ואורציל (U). החלבונים הנוצרים בריבזומים לפי המידע המועבר ברנ"א השליח בנויים מעשרים אבני בניין המכונות חומצות אמינו. חלוקת התפקידים לפי הדוגמה המרכזית היא פשוטה: דנ"א אחראי לשמירת המידע הגנטי, ורנ"א עוסק בהעברת המידע שלפיו נוצרים החלבונים האחראים למגוון תפקידים – מבניים ותפקודיים. בעשרות השנים שחלפו מאז הגדרת הדוגמה המרכזית התברר שלרנ"א תפקידים חשובים ורבים. מוכרים סוגים שונים רבים של רנ"א, בגדלים שונים, הממלאים תפקידים מגוונים ביותר. ממצאים חשובים ומפתיעים לימדו שמולקולות רנ"א מסוימות ניחנו בפעילות קטליטית המאפשרת זירוז תהליכים ביוכימיים בדומה לזרזים חלבוניים. תגלית חשובה זו והמידע הרב שנאסף על חשיבותו של רנ"א מבני ותפקודי הובילו להנחה שמולקולות החיים הראשונות על פני כדור הארץ היו מולקולות רנ"א. הנחה זו ידועה כ"היפותזת עולם הרנ"א".

המידע הגנטי האגור כדנ"א בכל אחד מהתאים השונים בגופנו דומה להפליא לזה שבתאים האחרים.



איור 2. רנ"א ידו בכול. סוגי הרנ"א הרבים הם בעלי מגוון פעילויות. רנ"א מעורב באגירת מידע גנטי, בהעברתו, בתרגומו ובתפקידים מבניים וביצועיים.



איור 3. בקרה אפיגנטית. משמאל: הדנ"א בכל אחד מתאי האדם זהה, אך תאים מתמיינים ליצירת רקמות ואיברים שונים; מימין: ההסבר העיקרי להתמיינות תאים בעלי דנ"א זהה לכיוונים שונים הוא קיום בקרה אפיגנטית. עד לאחרונה הוכרה בקרה אפיגנטית המבוססת על מודיפיקציות כימיות של דנ"א ושל החלבונים ההיסטוניים האורזים את הדנ"א. בשנים האחרונות זוהו כמה מודיפיקציות של רנ"א שליח שהן הבסיס לאפיגנטיקת רנ"א.

אל"ף-בי"ת עשיר כל כך, מתאימה לקיום סוגי רנ"א רבים ומגוונים בעלי יכולת לבצע מנעד תפקידים גדול, כיאה לחשיבותם ב"עולם הרנ"א" הקדמון ובעידן הנוכחי, שגם בו לרנ"א תפקיד מרכזי ביותר.

עד לעשור האחרון נאסף מידע על קיום בסיסי רנ"א "לא שגרתיים" בעיקר כשמדובר במולקולות רנ"א המצויות במספר עותקים גדול בתא, כמו מולקולות רנ"א ריבוזומלי (rRNA), המשמשות לבניית הריבוזומים שבהם מבוצע תרגום הרנ"א לחלבון, ומולקולות רנ"א מעביר (tRNA), המשמש לשינוע חומצות האמינו אל הריבוזומים, שם מבוצעת בניית החלבונים. עד השנים האחרונות לא היו בנמצא שיטות המאפשרות מיפוי של בסיסי רנ"א לא שגרתיים במולקולות רנ"א הקיימות בתא במספר קטן של עותקים כמו מולקולות רנ"א שליח. בשנים הראשונות של המאה העשרים ואחת התחוללה מהפכה טכנולוגית חשובה בזכות פיתוח שיטות מכשור ותמיכה ביואינפורמטית, המאפשרים קביעת רצפי דנ"א (ובעקיפין גם רצפי רנ"א) במהירות

שינויים אפיגנטיים בהיסטונים השונים, כמו תוספת או הסרה של קבוצת מתיל (CH<sub>3</sub>) או אצטיל (Ac), קובעים אם הדנ"א המקודד לחלבון מסוים יהיה ארוז בדחיסות שאינה מאפשרת את העתקתו לרנ"א שליח, או שיימצא במבנה פתוח המאפשר את ביטוי הגן ויצירת רנ"א שליח שיתורגם לחלבון.

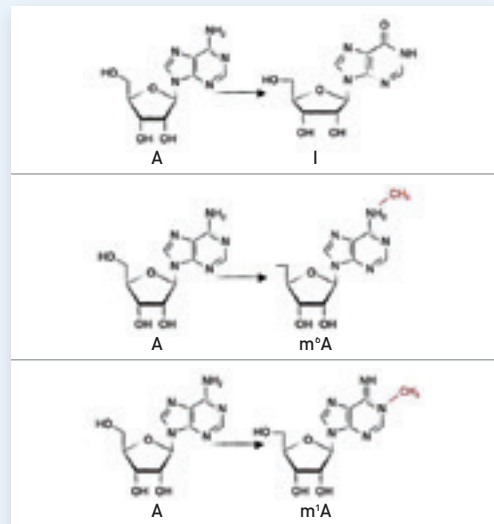
מחקרי קבוצתי שבמרכזו חקר הסרטן של המרכז הרפואי "שיבא" עם עמיתים ושותפים מהארץ ומהעולם לימדו על רמת בקרה אפיגנטית חשובה נוספת – אפיגנטיקה ברמת הרנ"א. מחקרים ביוכימיים שנעשו בעשרות השנים האחרונות, שהתבססו על פירוק דנ"א ורנ"א לאבני הבניין הבסיסיות, לימדו שנוסף על ארבע האותיות המוכרות המרכיבות חומצות גרעין אלו, קיימות עוד אותיות, שהן בסיסים שונים, הנוצרים בהוספה או בהסרה של קבוצות כימיות בתהליכים מגוונים. נמצא שסך האותיות המרכיבות את מולקולות הדנ"א קטן מתריסר, ואילו ברצפי הרנ"א מספרם הוא יותר ממאה אותיות. העובדה שלמולקולות הרנ"א השונות

תהליך עריכת רנ"א מוכר זה עשרות שנים, אך עד למחקרנו, שפורסם בשנת 2004, הוכרו רק אתרי עריכה ספורים. מאמרנו, שמחברו הראשון הוא ארז לבנון, שעסק בנושא בעבודת הדוקטור שלו בהדרכת, זיהה אלפי אתרים של עריכת A ל-I ברצפי רנ"א של אדם ולימד שמדובר בתופעה שכיחה וחשובה מאוד. מחקרנו הסתמך על בחינת מספר גדול של רצפי רנ"א ורנ"א שליח במאגרי מידע זמינים. כאשר האות A מצויה במקום מסוים בגנום, ורצף הכולל אות זו מועתק ליצירת רנ"א שליח הכולל מבנה דו-גדילי, פעולת העריכה הופכת את האות A ל-I. מערכות תאיות חשובות, כמו מערכת תרגום הרנ"א לחלבון, מזהות את האות I כ-G בשל הדמיון המבני שבין שני הבסיסים. שיטות לקביעת רצפי הרנ"א מזהות גם הן I כ-G. במחקרנו השוינו בשיטות ביואינפורמטיות את רצפי הרנ"א לרצפי רנ"א שליח וחיפשנו את המיקומים שבהם מצויה A בגנום (רנ"א), ו-G המסמלת בדרך כלל I מצויה במקום התואם בטרנסקריפטום (רנ"א). גישה זו הפכה לשיטה המקובלת לזיהוי עריכת רנ"א.

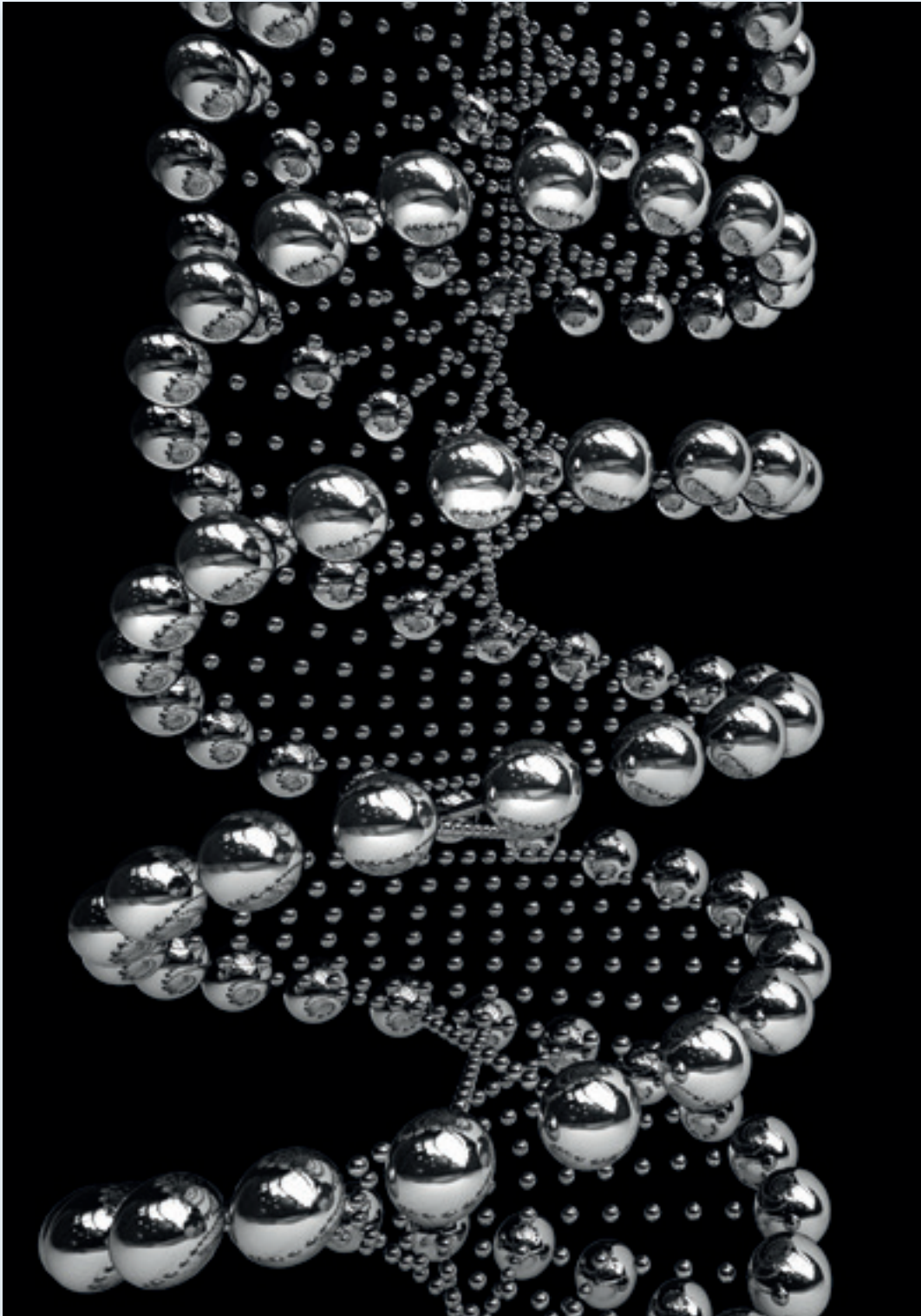
עבודתנו שפורסמה ב-*Nature Biotechnology* ועבודות נוספות שבאו בעקבותיה לימדו על היקף התהליך של עריכת הרנ"א ואפשרו לפענח תופעות ביולוגיות ומצבי מחלה הקשורים לתהליך זה. דוגמה מוכרת לחשיבותה של עריכת רנ"א היא השינוי ברצף הרנ"א השליח המקודד לאחת מתת-היחידות של הקולטן למוליך העצבי (ניורטרנסמיטור) גלוטמט. עריכה תקינה של הרנ"א השליח מביאה ליצירת חלבון המונע כניסה עודפת של סידן לתאים בעקבות קשירת גלוטמט לקולטן. כאשר יש פגם בעריכה באתר המקודד לחלבון זה, יש כניסה עודפת של סידן לתאי המוח, ועודף הסידן עלול לגרום למותם של ניורונים. במצבי מחלות ניווניות מוחיות כמו ניוון שרירים (amyotrophic lateral sclerosis) או מחלת אלצהיימר (Alzheimer disease) נמצא שיבוש בעריכת רצף הרנ"א המקודד לתת-היחידה של ◀

גבוהה ביותר ובמחיר סביר. התקדמות טכנולוגית זו כונתה בשמות שונים, למשל "קביעת רצפי רנ"א מקבילה מסיבית" ו"קביעת רצפי רנ"א מהדור הבא". הטכנולוגיה מתקדמת במהירות, קצב קביעת הרצפים מואץ מדור לדור של מכשור, ועלות הריצוף פוחתת והופכת שווה לכל נפש. תרומת המהפכה של "קביעת רצפי רנ"א מהדור הבא" לתחומי הביולוגיה והרפואה השונים היא עצומה. קבוצת המחקר שלנו זיהתה את הפוטנציאל הטמון בטכנולוגיות הריצוף המתקדמות למיפוי נוכחותם של בסיסי רנ"א לא שגרתיים ברצפי רנ"א שליח ובסוגי רנ"א נוספים המיוצגים בתאים במספר זעום של עותקים.

המודפיקציה הראשונה שאיתה התמודדנו היא תוצאת דה-אמינציה (הסרת קבוצה אמינית), ההופכת אדנין (A) לאינוזין (I). תהליך זה מכונה עריכת A ל-I, והוא מבוצע בעזרת זרזים (הידועים כחלבוני adenosine deaminase acting on RNA, ADAR) המזהים A המצוי במקטע שבו רנ"א יוצר אזור דו-גדילי והופכים אותו ל-I.



איור 4. מודיפיקציות רנ"א שליח. שלושה סוגים של מודיפיקציית ה"אות" אדנין (A) ברנ"א שליח ליצירת "אותיות בלתי מקובלות" מסוג אינוזין (I), 6-מתילאדנין (m<sup>1</sup>A) ו-8-מתילאדנין (m<sup>2</sup>A).



לחלבון ובתחילת האזור שאינו מקודד המצוי בקצה ה-3' של מולקולות הרנ"א. ממצא זה העלה את האפשרות שסימון רנ"א שליח ב- $m^6A$  קשור לבקרת יציבות הרנ"א ולבקרת יעילות התרגום לחלבון. אזורים נוספים של רנ"א שליח שנמצאו מסומנים ב- $m^6A$  הם אקסונים ארוכים. ידוע זה שנים שרנ"א שליח ראשוני המשועתק מרצפי הדנ"א מכיל מקטעים שייכללו ברנ"א הבשל – המכונים "אקסונים" – ומקטעים שישולקו בתהליך עיבוד הרנ"א הראשוני ולא ייכללו ברנ"א הבשל, הידועים כ"אינטרונים". אורך ממוצע של אקסונים בטרנסקריפטום האדם הוא 170 בסיסים. נמצא ש-87% מהאקסונים שבהם נמצאו אותיות  $m^6A$  הם באורך 400 בסיסים ומעלה. עבודתנו לימדה לראשונה שסימון ב- $m^6A$  מעורב בתהליך השחבור (splicing), שהוא התהליך שבו מסולקים האינטרונים מהרנ"א השליח הראשוני ונותרים רק האקסונים. עיטור  $m^6A$  נמצא חשוב במיוחד לתהליך שחבור חליפי (alternative splicing) המאפשר יצירת מולקולות רנ"א שליח שונות מתעתיק ראשוני אחד, ומסייע ביצירת מגוון חלבונים מגן בודד. נמצא כי הקשר שבין מיקום מועדף לסימון ב"אות לא מקובלת" לבין תפקוד שהודגם בצורה משכנעת באמצעות מיפוי  $m^6A$  הוא עיקרון חשוב שהנחה מחקרים נוספים, בקבוצתנו ובקבוצות מחקר נוספות בעולם, ותרם לזיהוי וללימוד של מודיפקציות נוספות של אותיות הרנ"א.

כאשר נחקרת מודיפקציה אפיגנטית כלשהי ברמת הדנ"א, ברמת החלבונים ההיסטונים האורזים את הדנ"א וברמת הרנ"א, יש חשיבות רבה לזיהוי החלבונים העוסקים בהוספת המודיפקציה הכימית הספציפית (כמו תוספת קבוצת מתיל לאדנוזין ליצירת  $m^6A$ ) והחלבונים בעלי יכולת סילוק המודיפקציה. החלבונים המוסיפים את המודיפקציה מכונים "כותבים" (writers), והחלבונים המסירים את המודיפקציה מכונים "מוחקים" (erasers). פיענוח כותבי  $m^6A$  החל בעבודתם החלוצית

הקולטן לגלוטומט, וייתכן שזהו ההסבר לתופעות קשות המאפיינות מחלות אלו. נמצא שהפרעות בעריכת רנ"א שכיחות בסוגי סרטן שונים. לדוגמה, רנ"א שליח המקודד לחלבון 1 Azin עובר עריכה באתר ספציפי, והשינוי ברצף מתורגם לשינוי במבנהו ובפעילותו של החלבון, שידוע כמבקר את מחזור התא. עלייה בעריכת 1 Azin נקשרה לחלוקה מהירה של תאי סרטן הכבד ולמחלה אלימה יותר. ממצאים אלו ועדויות רבות נוספות מדגימים כיצד שיבושים בתהליך "אפיטרנסקריפטומי" עלולים לגרום למחלות או להחמרת סימני המחלה ותוצאותיה.

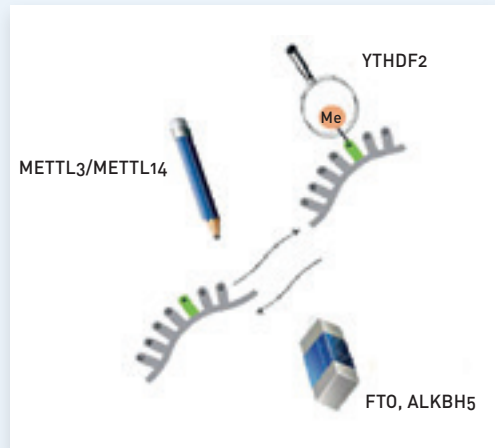
בשנת 2012 פורסם בכתב העת המדעי *Nature* מאמר של קבוצת המחקר שלנו, שסיכם את עבודת הדוקטור של דן דומיניסיני לצד חוקרים נוספים. המאמר תיאר זיהוי אות מעניינת וחשובה ברצפי רנ"א שליח –  $m^6A$  (מתיל אדנוזין). עבודות משנות השבעים של המאה הקודמת ואילך לימדו שאות זו מצויה במולקולות רנ"א, כולל ברנ"א שליח, ורמזו שיש לאות זו חשיבות רבה בתהליכי התמיינות והישרדות של תאים בצורות חיים שונות. עם זאת היעדר שיטה שתאפשר מיפוי וחקר של תפקוד  $m^6A$  במולקולות רנ"א שאינן שכיחות כמו רנ"א שליח היה מכשול בפני המשך המחקר והעמקת הידע בתחום. דן דומיניסיני, ועמו שרון מושקוביץ, ניטן אמריליו וחוקרים אחרים בקבוצתנו, פיתחו שיטה המשלבת שימוש בנוגדן המכוון נגד  $m^6A$  עם ניצול יכולות לקביעת רצפים מהדור החדש. פריצת דרך טכנולוגית זו הובילה למיפוי ולהבנה של תפקודי  $m^6A$  והפכה לנקודת ציון חשובה במחקר ה"אפיטרנסקריפטום". נמצא שהאותיות  $m^6A$  אינן מפוזרות לאורך מולקולות הרנ"א השליח באקראי, ויש להן מיקומים מועדפים. ממצא זה מלמד שלנוכחות  $m^6A$  תפקיד חשוב.

שני סוגי מיקום מועדף של  $m^6A$  נמצאו במולקולות רנ"א שליח רבות. במקרים רבים נמצא  $m^6A$  ממוקם סמוך לאתר סיום אזור הרנ"א המקודד

שליח ב- $m^6A$  חשוב לבקרת יציבותו ופירוקו של הרנ"א השליח, לבקרת תהליך תרגום הרנ"א לחלבון, לבקרת שחבור, לקביעת מיקום הרנ"א בגרעין התא או בציטופלסמת התא ועוד. יצירת תאי אב עובריים שאין בהם סימון רנ"א ב- $m^6A$  באמצעות פגיעה בגן METTL3 המקודד ל"חלבון כותב  $m^6A$ " אפשרה לנו להראות שלבקה באמצעות מודיפיקציה זו נודעת חשיבות כבר בשלבים מוקדמים של התפתחות העובר. נמצא שתאי אב עובריים בשלב הראשוני, שאין בו כלל סימני התמיינות, אינם נזקקים לסימון רנ"א ב- $m^6A$ . לעומת זאת תאי אב עובריים המראים סימני התמיינות מוקדמים זקוקים לסימון רנ"א ב- $m^6A$ , ובהיעדר מודיפיקציה זו נעצרת התפתחות העובר. מעבודתנו שפורסמה בכתב העת Science וממחקרים נוספים ניתן ללמוד על החשיבות הפיזיולוגית של מודיפיקציית רנ"א מסוג  $m^6A$ . כמו כן קיימות עדויות המלמדות שהפרעה בבקרת  $m^6A$  קשורה למחלות כמו סרטן, מחלות ניווניות של המוח והשמנה. לאחרונה נמצא גם שנגיף ה-HIV, האחראי לתסמונת החסר האימוני הנרכש (AIDS), משתמש בסימון  $m^6A$  כדי להעביר את רצפי הרנ"א שלו מגרעין התא לציטופלסמה, שם מבוצעת הכפלת הרצפים ליצירת חלקיקי נגיף חדשים. הבנת תהליכי הכתיבה, המחיקה והקריאה של  $m^6A$  יכולה אפוא להוביל לפיתוח תרופות למחלות חמורות ושכיחות.

פיצוח קוד האפיטרנסקפטום נמשך, ולאחרונה זוהו עוד אותיות לא שכיחות במחקר קבוצתנו בשיתוף עם קבוצתו של He משיקו, ובקבוצות אחרות.

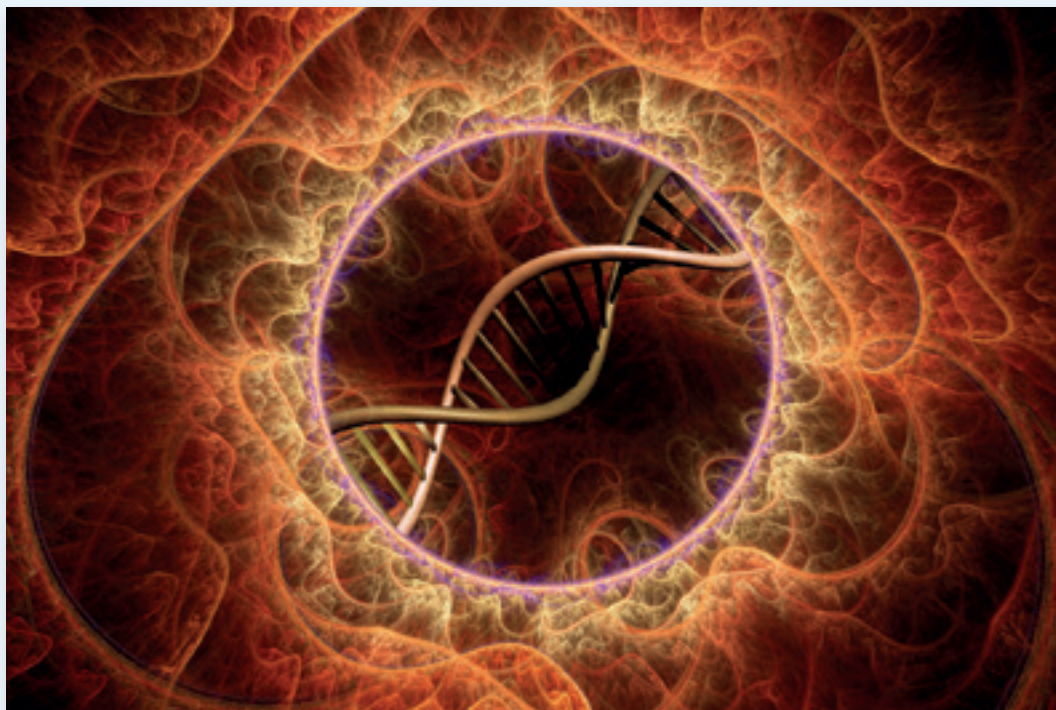
לפני כשנה פרסמנו ב-*Nature* את חקר האות 1-מתילאדנוזין ( $m^1A$ ) ומיפוייה. המיפוי נעשה בגישה דומה לזו שנקטנו במיפוי  $m^6A$ , המשלבת שימוש בנוגדן ספציפי וקביעת רצפים מתקדמת. מיפוי  $m^1A$  לימד שגם פיזור מודיפיקציה זו אינו אקראי, ובחלק ניכר ממולקולות הרנ"א השליח נמצא  $m^1A$  סמוך לאתר תחילת התרגום של הרנ"א השליח.



איור 5. "כתיבת", "מחיקת" ו"קריאת" מודיפיקציה כימית. המודיפיקציות הכימיות האחראיות לבקרה האפיגנטית "נכתבות" ו"נמחקות" בעזרת חלבונים זרזים. זיהוי המודיפיקציה והפעלת פעולות ביוכימיות בתא מבוצע על ידי חלבונים "קוראים". התמונה מראה חלבונים המעורבים ב"כתיבה", ב"מחיקה" וב"קריאה" של המודיפיקציה  $m^6A$ .

של Bokker וחבריו, ו"מוחקי"  $m^6A$  זהו בקבוצתו של He באוניברסיטת שיקגו. נוסף על אלה קיימים עוד חלבונים המזהים את הסימון האפיגנטי ומתווכים את התהליכים הביוכימיים שיוסרתו בעקבות הסימון. זוהו חלבונים שונים מסוג זה, המכונים "קוראים" (readers), המעדיפים להיקשר לקבוצות הכימיות המסמנות רצפי דנ"א או היסטונים. היה ניתן לצפות שיימצאו גם חלבונים הקוראים מודיפיקציות של האפיטרנסקריפטום. על מנת לזהות קוראים של  $m^6A$  יצרנו מקטעי רנ"א סינתטיים המכילים רצף טיפוסי שהאות A במרכזו יכולה להפוך ל- $m^6A$ . יצירת שתי גרסאות של אותו רצף של רנ"א, האחת מסומנת בקבוצת מתיל ( $m^6A$ ), והשנייה, שבה אין מצויה קבוצת המתיל (A), אפשרה למצוא חלבונים המעדיפים להיקשר לרצף הממותל ואינם נקשרים לרצף שאינו ממותל. כך זיהינו את הקוראים של  $m^6A$ , השייכים לקבוצת חלבוני YTH, שתפקידם לא היה מוכר טרם מחקרנו. אפיון קוראי  $m^6A$  סלל את הדרך לאפיון פעילויות שונות המווסתות באמצעות סימון רנ"א שליח ב- $m^6A$ . בניסויים שבהם נמנע ייצור קוראי  $m^6A$  בתאים נמצא כי עיטור מולקולות רנ"א





למיקום המודיפיקציות, תפקידן ומנגנונים המבקרים את קיומן ואת השפעתן על התהליכים הביוכימיים שהן מבקרות. ניתן לצפות שבעתיד הלא רחוק יתרחב מאוד הידע שלנו על השתתפות אותיות רבות ושונות בבקרת ביטוי גנים. ניתן לשער שקיימים קשרים בין מודיפיקציות שונות, ושהבנת ה"קוד" הצפון במולקולות הרנ"א, הנתרם על ידי כל אחת מהאותיות הלא שגרתיות לחוד, ובשילובן, תעשיר ביותר את תפיסתנו את המנגנונים של בקרת ביטוי גנים וייצור חלבונים בהתאם. המידע שכבר נאסף מלמד שמודיפיקציות הרנ"א חשובות וחיוניות לתהליכים של התמיינות תאים תקינים ותפקודם, וששיבוש בכתבת מודיפיקציות אלו, במחיקתן ובקריאתן יכול לגרום מצבי מחלה שונים. חקר התופעות וזיהוי המנגנונים והמולקולות המבקרים תהליכים אלו (תחום המוכר כיום כחקר האפיטורנסקריפטום) צפויים לתרום, מלבד להבנה הבסיסית, גם ליישום תרגומי לשימושים רבים וחשובים. ■

נמצא שמדובר במודיפיקציה שמורה אבולוציונית, הממוקמת בעותקי רנ"א של עכבר באותו מיקום כמו ברנ"א של אדם, והיא ניתנת לזיהוי אף בשמרים. נמצא שסימון רנ"א שליח ב- $m^1A$ , בדומה לסימון ב- $m^6A$ , הוא דינמי ומשתנה בהגיבו לגורמים סביבתיים כמו חסר בגלוקוז או עקת חום. מיקום  $m^1A$  סמוך לתחילת הרצף המקודד לחלבון מרמז שייתכן שמודיפיקציה זו קשורה לבקרת יעילות תרגום הרנ"א השליח לחלבון. ואומנם נמצא כי רמת ייצור חלבונים המקודדים על ידי מולקולות רנ"א שליח, מסומנות ב- $m^1A$ , גבוהה במידה ניכרת מרמת ייצור החלבונים המקודדים על ידי רנ"א שאינו מסומן במודיפיקציה.

אנחנו נמצאים בתחילת עידן מלהיב, שבו נחשפות בזו אחר זו מודיפיקציות של רנ"א שליח ושל סוגי רנ"א נוספים. פיתוח השיטות לזיהוי כל אחת מהאותיות הלא שגרתיות מוביל לממצאים מרתקים בנוגע



# באקדמיה



# ידיעות בקצרה

## קשרים בין־לאומיים

במסגרת ההסכמים לשיתוף פעולה מדעי בין האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים ובין אקדמיות עמיתות בעולם התקיימו במהלך השנה האחרונה כמה כינוסים וביקורי חוקרים חשובים.

### כינוס עם האקדמיה הלאומית דיי לינצ'יי (Accademia Nazionale dei Lincei, איטליה)

בחודש נובמבר התקיים בבית האקדמיה בירושלים כינוס בנושא "חידושים בטיפול אימונו־פרמקולוגי בסרטן ובמחלות אלרגיות" בהשתתפות נשיא האקדמיה דיי לינצ'יי פרופ' אלברטו קוואדרו קורציו (Alberto Quadro Curzio) וחוקרים בעלי שם בתחום מאיטליה ומישראל. פרופ' יוסף ירדן ניהל את הכינוס מטעם האקדמיה. נשיאי שתי האקדמיות דנו בהמשך שיתוף הפעולה והוחלט לקיים בשנה הבאה באיטליה כינוס נוסף שיהיה הפעם במדעי הרוח והחברה.

### החברה המלכותית הבריטית (Royal Society)

בשנת 2015 הסכימו האקדמיה והחברה המלכותית הבריטית על קיום סדנאות מדעיות ממוקדות משותפות, ביקורים קצרים הדדיים של מדענים בכירים והענקת מלגות יוקרה מטעם כל אחת מהאקדמיות במדינתה לבת־דוקטורנטים מן המדינה האחרת המתקבלים לתפקיד מחקר. ב־2016 שיתוף הפעולה הורחב והוחל על סדרת סדנאות שנוסדה לזכרו של סר ראלף קון (Sir Ralph Kohn) בנושא "מדע, טכנולוגיה ואתיקה". באוקטובר 2017 התקיימה הסדנה הראשונה בנושא "פרטיות בעידן הטכנולוגי" (חברי הוועדה המארגנת: פרופ' נילי כהן, פרופ' דוד הראל, פרופ' רות גביון, פרופ' יוסף שילה). הסדנה בחנה בין השאר את השפעותיהן של טכנולוגיות דיגיטליות חדשות על תפיסת הפרטיות ואת הגישות השונות לשמירה על פרטיות מתוך ניצול היתרונות הטמונים בטכנולוגיות אלה.

בחדש יולי התארח פרופ' איתמר וילנר, יו"ר החטיבה למדעי הטבע באקדמיה, בתערוכת המדע השנתית שמארגנת החברה המלכותית בלונדון. התערוכה הייתה פתוחה לציבור הרחב, ובכלל בני נוער, ומדענים צעירים ממיטב האוניברסיטאות הבריטיות הציגו בה חידושים מדעיים בתחומי האנרגיה (דלקים חלופיים, הפיכת אנרגיית השמש לאנרגיה חשמלית), הסביבה (טיפול במזהמים וחומרים ידיותיים לסביבה) ומדע החומרים.

האקדמיה מציינת בברכה ובהוקרה את הנצחתו של סר ראלף קון במרכז על שמו בבניין החברה המלכותית הבריטית. סר ראלף קון, שנפטר בשנת 2016, היה ידיד אמת של ישראל ופעל רבות למען הידוק הקשרים המדעיים בין האקדמיה לחברה המלכותית הבריטית.

### חתימת מזכר הבנות עם האקדמיה הצ'כית למדעים

נשיאת האקדמיה פרופ' נילי כהן ונשיאת האקדמיה הצ'כית למדעים פרופ' אווה זשימלובה (Eva Zažímalová) חתמו בחודש יוני על מזכר הבנות בנוגע לשיתוף פעולה מדעי. הוחלט על קיום סדנאות דו-לאומיות בתחומים אקדמיים שונים. הסדנה הראשונה תהיה בישראל בסוף 2018 ותייחד למדעי הצמח.

### כינוסים משותפים עם האקדמיה הלאומית הגרמנית למדעים לאופולדינה (Leopoldina)

בתחילת חודש אפריל התקיים בברלין כינוס משותף עם האקדמיה הלאומית הגרמנית למדעים לאופולדינה בנושא "משפטים וכלכלה", שארגן נשיא האקדמיה לשעבר פרופ' מנחם יערי והשתתפו בו נשיאת האקדמיה פרופ' נילי כהן, חברי האקדמיה וחוקרים נוספים מתחומים אלו. בפגישה בין נשיאת האקדמיה לנשיא הלאופולדינה פרופ' ירג הקר (Prof. Jörg Hacker) הוסכם על המשך שיתוף הפעולה בין שתי האקדמיות בתחומי מדעי הטבע ומדעי החברה והרוח.

### ביקור של פרופ' קתרין ברשיניאק מן המכון הצרפתי - האקדמיה הצרפתית למדעים (Institut de France – Académie des sciences)

במסגרת חיזוק קשרי המדע הבין-לאומיים התארח בבית האקדמיה בחודש ינואר המזכירה הקבועה של האקדמיה הצרפתית למדעים פרופ' קתרין ברשיניאק (Catherine Bréchnignac). בפגישה עבודה עם נשיאת האקדמיה פרופ' נילי כהן, הנשיאה הקודמת פרופ' רות ארנון וסגן הנשיאה פרופ' דוד הראל הוסכם על הידוק הקשרים בין שתי האקדמיות וקיום כינוסים בצרפת ובישראל לציון 70 שנה למדינת ישראל.





## סדנה דו-לאומית עם החברה המלכותית של קנדה (The Royal Society of Canada)

על פי ההסכם עם החברה המלכותית של קנדה לכינון סדרת כינוסים במדעי הרוח ובמדעי הטבע לסירוגין, התקיים באקדמיה ב-12-13 בדצמבר 2016 כינוס דו-לאומי במדעי הרוח בנושא "ספרות והיסטוריה: מבט מהשוליים". בראש הכינוס ישב יו"ר החטיבה למדעי הרוח באקדמיה פרופ' יוסף קפלן, והרצו בו חוקרים חשובים, קנדים וישראלים, בחקר הספרות וההיסטוריה. שתי ההרצאות המובילות היו של חברת האקדמיה פרופ' מרגלית פינקלברג ושל נשיא החברה המלכותית של קנדה פרופ' צ'אד גאפילד (Chad Gaffield).

## ביקור רשמי של נשיאת האקדמיה במתקן CERN

בסוף ינואר ביקרו נשיאת האקדמיה פרופ' נילי כהן ויו"ר ות"ת פרופ' יפה זילברשץ במתקן CERN בז'נבה שבשווייץ. במתקן פועלת המעבדה המובילה בעולם לחקר החלקיקים האלמנטריים (The European Particle Laboratory). זה שנים רבות הוא משרת את המדענים הישראלים ומסייע להם להגיע לחזית המחקר הבינ-לאומי ולתרום לו.

את הביקור הוביל פרופ' אליעזר רבינוביץ', סגן נשיא הוועדה המנהלת של CERN וראש הוועדה לאנרגיות גבוהות של האקדמיה. בשנת 2014 הצטרפה ישראל ל-CERN כחברה ה-21 בארגון.

## טקס חנוכת מאיץ החלקיקים SESAME

נשיאת האקדמיה פרופ' נילי כהן והנשיא לשעבר פרופ' יהושע יורטנר הצטרפו למשלחת הרשמית של משרד המדע לטקס החגיגי שהתקיים בירדן, בהשתתפות מלך ירדן עבדאללה השני ומשלחות מרחבי המזרח התיכון, לרגל חנוכת מאיץ החלקיקים SESAME (מתקן הסינכרוטרון במזרח התיכון). בטקס השתתפה גם יו"ר ות"ת פרופ' יפה זילברשץ. בניית המיזם, שהחלה לפני כ-20 שנה, הושלמה באחרונה כחלק משיתוף פעולה מדעי ומדיני יחיד במינו שנתמך בישראל על ידי משרד המדע והאקדמיה. במיזם יעבדו יחד מדענים מאיראן, טורקיה, ירדן, מצרים, פקיסטן, קפריסין, הרשות הפלסטינית וישראל.

## כינוס Kavli Frontiers of Science – KAVLI



כינוסי KAVLI הם פרי שיתוף פעולה בין האקדמיה ובין האקדמיה הלאומית האמריקאית למדעים (NAS). במסגרת התוכנית, אשר החלה לפעול בשנת 2013, מתקיים בכל שנתיים כינוס בין-תחומי במדעי הטבע בהשתתפות מדענים צעירים מצטיינים משתי המדינות. הכינוס מתקיים בישראל ובארצות הברית לסירוגין. בפברואר השנה התקיים הכינוס השלישי באירוויין שבקליפורניה. פרופ' דוד הראל מלווה את התוכנית מטעם האקדמיה.

## German-Israeli Frontiers of the Humanities Symposium – GISFOH

זו סדרת כינוסים רב תחומיים המשותפת לאקדמיה ולקרן הומבולדט (Alexander von Humboldt Foundation) מגרמניה. בכל כינוס משתתפים כ-50 חוקרים צעירים ישראלים וגרמנים מתחומי מדעי הרוח והחברה. מטרת הסדרה הן לעודד חילופים חוצי גבולות לאומיים של רעיונות בין-תחומיים ולהעניק לחוקרים הזדמנויות ליצירת קשר, להפריה הדדית ולכינון שיתופי פעולה. הכינוס התשיעי התקיים בספטמבר 2017 ויוחד לנושא Negotiating the Other, Confronting the Self. את המיזם מובילה מטעם האקדמיה פרופ' מרגלית פינקלברג.



## כינוסים והרצאות באקדמיה

### סדרת "בשערי האקדמיה"

סדרת המפגשים "בשערי האקדמיה" מתקיימת זו השנה השלישית, והיא מתמקדת בכל שנה בנושא רב תחומי אחר.

בשנתה השנייה של הסדרה, שנת הלימודים תשע"ז, היא עסקה בנושא "מהפכות". במפגשים סקרו את הנושא חברי אקדמיה, חוקרים ואנשי רוח מתחומים שונים ודנו במהפכה החקלאית, במהפכת הדפוס, במהפכת הפרט, במהפכת הדיבור העברי, במהפכת הגנטיקה החדשה ובמהפכת המזעור.

לרגל שנת השבעים למדינת ישראל האקדמיה מקדישה את סדרת המפגשים השנתית השלישית לקשר בין מדע ובין מדינה. נושאי המפגשים הם קברניטים, אקדמיה ומדע בישראל, מדע וטכנולוגיה בעידן חברות הענק: סיכויים וסיכונים, אקדמיה ומדע כמרכיב בחוסן הלאומי, מצב (מדעי) הרוח, מעמדה המדעי של ישראל מבית ומחוץ וחינוך מדעי טכנולוגי. חברי הוועדה המארגנת של סדרה זו הם חברי האקדמיה פרופ' ידן דודאי, פרופ' דוד הראל, פרופ' אבנר הולצמן ופרופ' ישראל פינקלשטיין.

סדרת המפגשים זוכה להצלחה רבה בקרב הציבור הרחב. המפגשים זמינים לצפייה באתר האקדמיה.

### הכינוס הרב-תחומי השנתי השני במדעי הטבע ובמדעי הרוח לשנת תשע"ז - "שפות"

בחודש פברואר התקיים באקדמיה הכינוס הרב תחומי השנתי השני, שיוחד הפעם לשפות ולרשתות תקשורת. השתתפו בו חוקרים שבחזית המחקר בארץ ובעולם מהתחומים של מדעי החיים, הבלשנות, המתמטיקה ומדעי המחשב. הכינוס הציע מבט על המנסה לפענח את סודות התקשורת במרחבים השונים של עולם הדומם, עולם החי והתרבות.

בכינוס נשא את הרצאתו פרופ' אנטוניו דמסיו (Antonio Damasio), חוקר והוגה דעות חלוצי בתחום חקר המוח וההתנהגות מאוניברסיטת דרום קליפורנייה וממכון סאלק בסן דייגו, בנושא *Languages of Body and Mind: Homeostasis, Feeling, and Creative Intelligence*. ההרצאה עסקה ברגשות, בקבלת החלטות ובמנגנוני התודעה האנושית.

בשנת תשע"ח יעסוק הכינוס הרב תחומי בנושא "זמן", ואת הרצאת האורח יישא פרופ' ג'ואל כהן (Joel E. Cohen) מאוניברסיטת רוקפלר ומאוניברסיטת קולומביה בנושא *Life Time: The Meanings and Limits of Age*. חברי הוועדה המארגנת של כינוס זה הם פרופ' ידן דודאי (יו"ר), פרופ' יורם בילו, פרופ' נעמה גורן-ענבר, פרופ' דוד הראל ופרופ' יעקב קליין. ◀

## כינוס לציון 100 שנה להצהרת בלפור

בתחילת חודש נובמבר אירחה האקדמיה כינוס מדעי בין-לאומי לציון 100 שנה להצהרת בלפור בהשתתפות היסטוריונים בעלי שם מישראל ומחו"ל שבחנו ציון דרך חשוב זה על רקע הנסיבות ההיסטוריות של אותה תקופה ודנו בהשפעות הפוליטיות של ההצהרה ובדרך קבלתה בעולם, בארץ ובציבור הפלסטיני. חברי הוועדה המארגנת היו פרופ' יוסף קפלן (יור), פרופ' שלמה אבינרי, פרופ' בילי מלמן ופרופ' ב"ז קדר. הכינוס היה פתוח לציבור.

לצד הכינוס מוצגת באקדמיה תערוכה בנושא הצהרת בלפור, המכנסת תעודות היסטוריות ופריטים ממוגון סוגים וחומרים שהושאלו מארכיונים ומאוספים, בעיקר מישראל ומבריטניה. מוצגים בה פריטי מקור לצד העתקי פקסימיליה של תעודות, מכתבים, תצלומים, כרזות וקטעי עיתונות המשקפים אירוע מכונן זה על ציר הזמן – מאז תחילת הדיונים הלא-פורמליים על ניסוח ההצהרה עד להקמת המדינה ואף לאחר מכן.

## הרצאות שנתיות

### ההרצאה השנתית על שם מרטין בובר, הנשיא הראשון של האקדמיה

פרופ' ג'ונתן ישראל (Jonathan Israel) מהמכון ללימודים מתקדמים בפרינסטון נשא בנובמבר 2017 את הרצאת בובר השנתית בנושא *Jewish Emancipation in the Western World* (1780–1860): What Kind of Enlightenment Made It Possible? יו"ר החטיבה למדעי הרוח באקדמיה פרופ' יוסף קפלן הציג את המרצה.

### ההרצאה השנתית ע"ש אלברט איינשטיין

חתן פרס נובל פרופ' אדוורד מוזר (Prof. Edvard Moser) נשא בחודש מרס את הרצאת איינשטיין השנתית בנושא *Grid Cells and Neural Networks for Space*. פרופ' שמעון אולמן הציג את המרצה, ופרופ' איתמר וילנר, יו"ר החטיבה למדעי הטבע, נשא דברים קצרים. אולם ההרצאות באקדמיה היה גדוש בקהל מגוון של סטודנטים, חוקרים צעירים ובכירים וכן אנשים מן הציבור הרחב. במהלך ביקורו בארץ נפגש פרופ' מוזר עם חוקרים העוסקים בתחומו.



## פרסים ומלגות

### פרסי בלווטניק

בחודש מרס נחנכה בישראל תוכנית פרסי בלווטניק בשיתוף פעולה עם האקדמיה למדעים של ניו יורק וקרן משפחת בלווטניק. פרסי בלווטניק חולקים כבוד למדענים צעירים ומביעים באמצעות ציון הישגיהם יוצאי הדופן, הכרה בהבטחה הגלומה בהם לתגליות מדעיות בעתיד ועידוד חדשנותם המחקרית.

הפרסים יוענקו מדי שנה לשלושה חברי סגל עד גיל 42 בשלושה תחומים: מדעי החיים, מדעי הפיזיקה וההנדסה ומדעי הכימיה. סכום כל אחד מהפרסים הוא 100,000 דולר. הזוכים בפרסי בלווטניק למדענים צעירים לשנת 2018 הם ד"ר צ'רלס דיזנדרוק מהפקולטה לכימיה ע"ש שוליק, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל; פרופ' ענת לוי מהפקולטה להנדסת חשמל ע"ש אנדרו וארנה ויטרבי, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל; ד"ר עודד רכבי מהמחלקה לנירוביולוגיה ובית הספר סגול למדעי המוח, אוניברסיטת תל אביב.

יושבי ראש ועדת הפרס הם פרופ' אהרן צ'חנובר, חבר האקדמיה וחתן פרס נובל, ואליס רובינשטיין, נשיא ומנכ"ל האקדמיה למדעים של ניו יורק. בוועדות המקצועיות שבחרו את המועמדים בכל אחד משלושת התחומים נכללו מדענים מובילים מישראל ומהקהילה המדעית הבין-לאומית. יושבי ראש ועדות השיפוט היו פרופ' איתמר וילנר, פרופ' עדי קמחי ופרופ' מוטי שגב. פרופ' ידן דודאי מלווה מקצועית את התוכנית ואת הקשר עם האקדמיה של ניו יורק.

### פרס ע"ש גרשם שלום בתחום חקר הקבלה לשנת 2018

ועדת האקדמיה בראשותו של פרופ' יוסף קפלן, יו"ר החטיבה למדעי הרוח, בחרה בפרופ' חביבה פֶּדְיָה לזוכת הפרס בחקר הקבלה על שם פרופ' גרשם שלום לשנת 2018. פרופ' פדיה היא ראש מרכז אליישר לחקר מורשת יהדות ספרד והמזרח ופרופסור להיסטוריה של עם ישראל באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. טקס הענקת הפרס יתקיים ב-21 בפברואר 2018 בבית האקדמיה.

### מלגות אדמס ומלגת רות ארנון

שמונה מלגות אדמס הוענקו לדוקטורנטים מצטיינים בטקס החגיגי השנתי שנערך בבית האקדמיה במסגרת סמינר אדמס. הסמינר אירח השנה את נשיא האקדמיה לשעבר פרופ' מנחם יערי, שהרצה על "הצדק והשוק".

לינדה אדמס־טרוי, בתו של מר מרסל אדמס מייסד תוכנית המלגות, העניקה את המלגות בשם אביה, ובנה יוני טרוי בירך בשם הסבא והמשפחה. עוד בירך בטקס חבר האקדמיה פרופ' מוטי שגב, יו"ר ועדת תוכנית מלגות אדמס. פרופ' רות ארנון, נשיאת האקדמיה לשעבר, העניקה בטקס את "מלגת רות ארנון להכשרת בתר־דוקטורט", המוענקת זו השנה השנייה לבוגרת תוכנית אדמס.



## ועדות מומחים

בתוקף תפקידה של האקדמיה על פי חוק לייעץ לממשלה בפעולות הנוגעות למחקר ולתכנון מדעי בעלי חשיבות לאומית, היא ממנה מפעם לפעם ועדות לבחינת תחומים שונים. הוועדות מגישות את מסקנותיהן והמלצותיהן למועצת האקדמיה.

### הוועדה לבדיקת תחום מדע הדתות באוניברסיטאות המחקר בישראל

הוועדה שקדה במהלך תשע"ז על הכנת דוח המסכם את מסקנותיה והמלצותיה. יו"ר הוועדה הוא חבר האקדמיה פרופ' גדליה סטרומזה. הוועדה סיימה את עבודתה, והדוח שכתבה אושר במועצת האקדמיה והופץ.

### ועדה לבדיקת מצב הקניין הרוחני ורישום הפטנטים בישראל

הוועדה בראשות פרופ' יוסף קוסט מונתה בסוף 2015 והתבקשה לבדוק את הנושא "השפעת פעילותה של רשות הפטנטים הישראלית על התעשייה המקומית ועל קידום פעילות המו"פ במדינה". הוועדה נתבקשה לבחון את מכלול הפעולות בתחום זה בכל הקשור לקניין רוחני ולקידום הצמיחה הכלכלית. במהלך שנת תשע"ו נפגשה הוועדה עם אנשי מפתח בתחום, ובשנת תשע"ז היא סיכמה את פעילותה. מסקנתה הייתה שאין כיום נתונים מדעיים המאפשרים לבחון את היחס שבין אופן פעולת רשות הפטנטים לבין הצמיחה הכלכלית.

## ועדת מומחים בנושא איכות החיים בישראל

הוצע לאקדמיה הלאומית הישראלית למדעים לכונן ועדת מומחים לבדיקת הנושא של איכות חיים (well-being) בישראל, על כל היבטיו. לאחר בדיקה החליטה האקדמיה לאמץ הצעה זו ולכונן ועדה שתבחן את הנושא. יו"ר הוועדה הוא נשיא האקדמיה לשעבר פרופ' מנחם יערי.

## ועדה לבדיקת לימודי השואה באוניברסיטאות

בעצתו של פרופ' יהודה באואר הוחלט להקים ועדה לבדיקת תחום לימודי השואה באוניברסיטאות. הוועדה תפעל בראשותו של פרופ' ישראל ברטל.

## פורום הצעירים

פורום הצעירים של האקדמיה מורכב מקבוצות של חוקרים צעירים מצטיינים הנפגשים מספר פעמים בשנה כדי לדון בנושא משותף מזוויות שונות. מטרת הפורום לקדם קשר ופעילות מחקרית-אינטלקטואלית משותפת בין חוקרים וחוקרות ממוסדות שונים. בראש כל קבוצה עומד חבר אקדמיה המרכז את פעילותה וקובע את הנושא שתעסוק בו.

## פורום צעירי מדעי הרוח והחברה

בשנת תשע"ז הוקמה הקבוצה השלוש-עשרה של פורום צעירי מדעי הרוח והחברה. בראש הקבוצה עמד פרופ' יורם בילו והנושא שנבחר הוא "איחוז (spirit possession) ממבט בין-תרבותי ובין-תחומי".

שנת תשע"ח היא השנה הארבע-עשרה לפעילותו של פורום הצעירים הזה. מנחת הקבוצה המתחילה את פעילותה השנה היא פרופ' בילי מלמן. הקבוצה עוסקת בנושא "אימפריות: קולוניאליזם, תרבות וכוח בעת החדשה, מהמאה ה-15 ועד למאה ה-21".

## פורום הצעירים בחטיבה למדעי הטבע

פורום הצעירים במדעי הטבע הוקם בשנת תשע"ז בהובלתו של פרופ' איתמר וילנר, ראש החטיבה. הפורום עוסק בנושאים העומדים בחזית המחקר המדעי. בשנת תשע"ז הוא עסק בנושא "תורשה אפיגנטית", ועמד בראשו פרופ' חיים סידר.

בשנת תשע"ח פועלת קבוצה נוספת של פורום הצעירים בראשותו של פרופ' יוסף קוסט. הנושא שבו עוסקת הקבוצה הוא ביוטכנולוגיה.

האקדמיה הצעירה הישראלית  
 الأكاديمية الشابّة الإسرائيلية  
 THE ISRAEL YOUNG ACADEMY



# האקדמיה הצעירה - חממה לרעיונות וליוזמות

בשנה החולפת פעלו חברי האקדמיה הצעירה ביותר מ־20 ועדות שונות. הנושאים הבולטים שקודמו בוועדות היו אלה: אירוח כינוס האקדמיות הצעירות האסייתיות בירושלים בפברואר 2018 וכינוס שהוקדש למדעי הרוח באוניברסיטה ובבתי הספר; תרגום משחק החשיבה "המסע אל מונדוס", המדמה מחקר אקדמי באמצעות חבורת ילדים שנחתו על כוכב זר, והטמעתו במערכת החינוך הישראלית.

מאת אסף אוני ואביטל בר

האקדמיה הצעירה הישראלית, שנוסדה בשנת 2012 על ידי האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, משמשת חממה של רעיונות ויוזמות שיתרמו למינוף היכולות של המערכת האקדמית בישראל. האקדמיה הצעירה פועלת לחזק את הקשר בין המערכת האקדמית הישראלית לבין קובעי המדיניות ובין המערכת האקדמית לבין החברה, לפתח את יכולות המדענים הצעירים בישראל, לקדם את המחקר ואת היכולות המדעיות ולהציע פתרונות לבעיות בענייני מדע וחינוך שיש להן חשיבות לאומית ובין-לאומית.

באקדמיה הצעירה חברים בראשית תשע"ח כ־30 חוקרים וחוקרות מובילים ממדעי הרוח, הטבע והחברה. החברים נבחרים לכהונה בת ארבע שנים על סמך מצוינות מחקרית ומעורבות חברתית ואקדמית. בעת בחירתם עליהם להיות בני 45 לכל היותר. חברי האקדמיה רואים בתקופה זו של הקריירה שלהם נקודת זמן ייחודית, שבה מחד הם נהנים מביטחון מקצועי



המציגים בכינוס מדעי הרוח, האוניברסיטה ובתי הספר וחברי האקדמיה הצעירה

כחברי סגל מן המניין ומהערכה אקדמית על הישגיהם, ומאידך מחויבים פחות למטלות אקדמיות ומנהליות יחסית לשלבי המשך בקריירה. מלבד זאת, ההיכרות והקשרים עם השלבים המוקדמים יותר של הקריירה האקדמית – תלמידי מחקר, בתר־דוקטורנטים וסגל מתחיל וצעיר – עודם קרובים וחזקים ומאפשרים להם לראות ולהבין את צורכי הקהילה הצעירה. חברי הוועד המנהל היוצא, שנבחר בידי האספה הכללית של האקדמיה הצעירה, הם פרופ' רון מילוא – יו"ר, פרופ' אלישבע באומגרטן ופרופ' מיכל פלדמן. לוועד המנהל החדש, שהחל את תפקידו בסוף ספטמבר, נבחרו פרופ' ערן בוכבינדר (יו"ר), פרופ' מונא חורי־כסאברי וד"ר אודי זומר.

בשנה החולפת פעלו חברי האקדמיה הצעירה ביותר מ־20 ועדות שונות שהקימה אקדמיה זו על מנת לקדם נושאים שונים.

## להלן סקירה של כמה מהפעילויות המרכזיות: ◀

### אירוח האקדמיות הצעירות האסייתיות בירושלים בפברואר 2018



בתאריכים 11–13 בפברואר 2018 תארח האקדמיה הצעירה הישראלית כינוס בירושלים לחוקרים מאסיה. את היוזמה לארח את הכינוס ואת ההכנה לקראתו מובילה ועדה של האקדמיה הצעירה בראשות פרופ' ליאת איילון, ובה חברים גם פרופ' ניסים אוטמזגין, ד"ר אודי זומר, פרופ' מונא חורי-כסאברי, פרופ' דן פאר ופרופ' יובל פלדמן.

מטרות הכינוס הן לייצר קשרי מחקר ופעילות אקדמית עם אסיה וגם ללמוד על הפעילויות של האקדמיות הצעירות שבה ועל התארגנויות דומות ביבשת זו. ברקע היוזמה מצויה העובדה כי למרות מיקומה של ישראל באסיה רוב קשרי המחקר הישראליים הם עם חוקרים מאירופה ומארצות הברית. אולם במדינות אסייתיות כמו סין, יפן, הודו ודרום-קוריאה יש היום התפתחויות חשובות ורבות והשקעה מסיבית במחקר, והאקדמיה הצעירה מקווה כי דרך קשרי עבודה שייוצרו בין חוקרים ישראלים לחוקרים מאסיה יגדל מספר ההזדמנויות לקבלת מימון למחקרים משותפים. המטרה ארוכת הטווח היא למצב את ישראל כמובילה אזורית בתחום המחקר.



קול קורא להגשת תקצירים להשתתפות בכינוס האקדמיות הצעירות האסייתיות

הכינוס עצמו יעסוק בין השאר במימון ציבורי אל מול מימון פרטי של מחקר מדעי ובמודלים חדשים של השקעה ממשלתית במחקר. את ההרצאה הראשית תישא כלת פרס נובל לכימיה לשנת 2009, חברת האקדמיה פרופ' עדה יונת. עוד יישאו הרצאות בכינוס כמה מחברי האקדמיה הצעירה בעבר ובהווה, ובהם פרופ' יונתן בן-דב, ד"ר שרון אהרונסון-להבי ופרופ' דן פאר.

### מדעי הרוח, האוניברסיטה ובתי הספר



במרס השנה התקיים כינוס שיזמה האקדמיה הצעירה בנושא מדעי הרוח, האוניברסיטה ובתי הספר. הכינוס, שהיה בשיתוף עם המזכירות הפדגוגית של משרד החינוך, נולד מתוך רצון להירתם למאמץ המגולם בתוכנית החומש החדשה של המל"ג לחיזוק מדעי הרוח.

הכינוס התקיים בבית האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים בירושלים, והשתתפו בו אישים מובילי מדיניות ועשייה מן המערכת האקדמית וממערכת החינוך, ובכללם מפמ"רים, מורים,





למעלה: פאנל בכינוס בהנחיית האקדמיה הצעירה; למטה: הזמנה לכינוס מדעי הרוח, האוניברסיטה ובתי הספר

מנהלי בתי ספר, מרצים, חוקרים, נציגי רשויות מקומיות, יזמים חינוכיים ועוד. השתתפו גם נציגי ות"ת פרופ' יוסי שיין וסגנית יו"ר המזכירות הפדגוגית גב' רחלה שיפר. פרופ' נילי כהן, נשיאת האקדמיה, פתחה את הכינוס בדברי ברכה.

בכינוס היו שישה מושבים בנושאים שונים, פאנל מפמ"רים ותצוגת פוסטרים. בסך הכול הוצגו 26 מיזמים, חלקם כבר פועלים כיום, וחלקם רעיונות בשלים ליוזמות עתידיות. ההרצאות כולן זמינות כקטעי וידאו באתר של האקדמיה הצעירה:

[www.young.academy.ac.il](http://www.young.academy.ac.il)

במהלך הכינוס נשמעו קולות רבים ומגוונים שקראו לחיזוק מדעי הרוח. דובר על חשיבותן של עבודות גמר בתיכון, על גיוס הרשויות המקומיות לעניין מבחינה רעיונית ותקציבית, על החלת תוכניות התערבות כבר בחטיבות הביניים ועוד. דובר רבות גם על ההכרח בשיתוף פעולה בין משרד החינוך לרשויות המקומיות ולמגזר השלישי, ונוצרה פלטפורמה ליצירת שיתופי פעולה עתידיים.

באקדמיה הצעירה פעילות כיום כמה ועדות שמקדמות את הנושאים שבהם דנו בכינוס, ובהן ועדת מדעי הרוח (יו"ר: ד"ר ספי הנדלר), המקדמת את תחום מדעי הרוח באקדמיה הישראלית, ופורום מפמ"רים (יו"ר: פרופ' רון מילוא), האחראי לקשר עם המפקחים הראשיים של מקצועות לימוד בתיכונים.

## סקר מצבם של חוקרים וחוקרות צעירים באוניברסיטאות בישראל



בינואר השנה פרסמה האקדמיה הצעירה את מסקנות הסקר שערכה בשנת 2015 בקרב חוקרים וחוקרות צעירים בישראל כדי להבין את צורכיהם העיקריים. המחקר פנה לאנשי ונשות אקדמיה אשר החלו את עבודתם בעשר השנים האחרונות במסלול לקביעות באחת מהאוניברסיטאות ומכוני המחקר בארץ. 594 חוקרים צעירים ענו לשאלון.

הסקר העלה כי לצד שביעות הרצון מתנאי המחקר במוסדות שבהם נקלטו (רמת סביבת המחקר, גישה לספריות ומאגרי מידע וכד') ומהיחס והתמיכה שהם זוכים להם מחוקרים ותיקים, דיווחו החוקרים והחוקרות החדשים על מחסור במידע, הן בשלב הגשת הבקשה למשרה והן לאחר הקליטה. נקודה מדאיגה שעלתה היא פער רחב כמעט בכל הנושאים

שנבחנו בסקר בין חוקרים וחוקרות ממדעי הרוח והחברה, שהביעו אי־שביעות רצון ממצבם, לשאר החוקרים, ששביעות רצונם הייתה רבה. בהודעה שפרסמה האקדמיה הצעירה עם פרסום מסקנות הסקר נכתב: "המסקנה היא שחוקרים צעירים במדעי הרוח והחברה מקופחים כמעט בכל התחומים, הן על ידי האוניברסיטאות והן מצד עמיתיהם הבכירים".

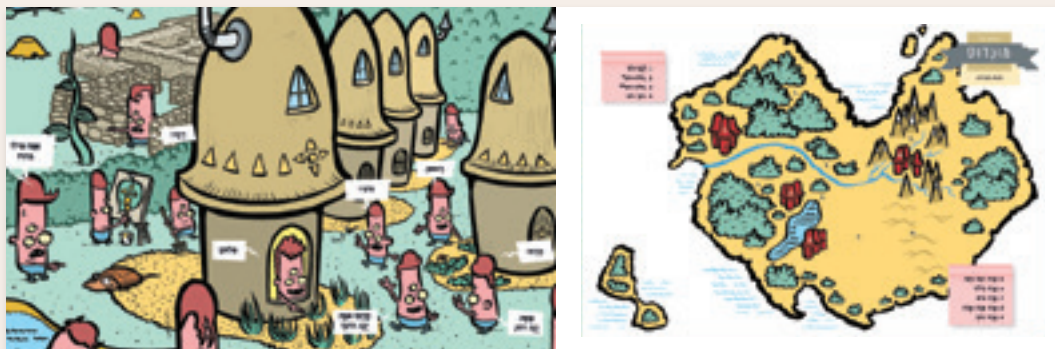
בעקבות הסקר קיימה האקדמיה הצעירה פגישות אישיות עם רוב נשיאי האוניברסיטאות בישראל ועם רבים מהרקטורים, והוחלט על דרכי פעולה ברמה של כל מוסד. את העבודה על הסקר ריכזה ועדת שאלון מדענים צעירים (פרופ' מאיה שולדינר, פרופ' ליאת איילון ופרופ' אודי נקר). האקדמיה הצעירה פועלת לביצוע סקר המשך.

## משחק חשיבה - "המסע אל מונדוס"



השנה המשיכה האקדמיה הצעירה הישראלית להתקדם לעבר השקתו של משחק החשיבה "המסע אל מונדוס", שפותח באקדמיה הצעירה ההולנדית ושנועד לעודד תלמידים לעשות מחקר מדעי ולהכיר להם את העולם האקדמי. האקדמיה עובדת על תרגום המשחק, המדמה נחיתה על כוכב לכת אחר והבנת המתרחש בו, לעברית ולערבית ועל התאמתו לקהל הישראלי.

את הפעילות מרכזת ועדת משחק חשיבה (יו"ר: פרופ' עודד הוד) באקדמיה הצעירה. פרופ' הוד הציג בתחילת השנה את המשחק, עדיין בגרסתו האנגלית, בפני תלמידי תיכון באילת. לאחר הפעילות החינוכית אמר פרופ' הוד כי "הפעילות הייתה מוצלחת ביותר, והיה ממש קשה לעצור את המשחק ולשכנע את התלמידים לחזור למקומם כשתם הזמן". "לאחר המשחק", ציין, "היה דיון פורה שארך יותר מחצי שעה על מגוון נושאים, והגענו גם לדיון על מודלים של התקדמות מדעית (אינקרמנטלי לעומת מהפכני) ועל מאבקם והתמדתם של פרופ' עדה יונת ופרופ' דן שכטמן בדרך לתגליות המהפכניות שלהם". בהמשך השנה נחשף המשחק בידי פרופ' הוד ופרופ' אבי צדוק בפורומים רבים ומגוונים במערכת החינוך. התרגום לעברית מושלם בימים אלה, והחלו ההכנות לקראת תרגומו לערבית.



לוחות מתוך המשחק



## מפגש הסתיו 2017 של האקדמיה הצעירה

מפגש הסתיו השנתי של האקדמיה הצעירה נערך בסוף ספטמבר בזיכרון יעקב. החברים התכנסו ליומיים של עבודה אינטנסיבית, שבמהלכם עדכנו ראשי הוועדות את המליאה בעשייה שלהם בשנה האחרונה וגייסו חברים חדשים לסייע בהמשך קידום היוזמות בשנה הבאה. הנושאים היו רבים ומגוונים ועסקו בטווח הרחב של פעילויות האקדמיה הצעירה, כולל דיונים בפעילותה של ועדת מדעי הרוח (יו"ר: ד"ר ספי הנדלר), קידום התוכנית "ראשונות במדע" לקידום תלמידות בתי הספר במדע (יו"ר: פרופ' נירית דודוביץ), פיתוח קשרי החוץ של האקדמיה הצעירה (יו"ר: פרופ' ניסים אוטמזגין), ייצוג האקדמיה לפי הצורך בוועדת החינוך ובוועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת (יו"ר: ד"ר קרן וינשל), קידום נושא האתיקה בפרסומים מדעיים (יו"ר: פרופ' ליאת איילון) והקמת מרכזי כתיבה באוניברסיטאות שיהיו אמונים על פיתוח כישורי הכתיבה והביטוי בעל פה של סטודנטים וחברי סגל (יו"ר: פרופ' ערן בוכבינדר).

עם היוזמות החדשות שננקטו השנה נמנית ועדה ייעודית שמתעתדת לבדוק את הצרכים ואת החסמים של סטודנטים ושל סגל מהחברה הערבית. בוועדה חברים פרופ' השאם אבו ריא, פרופ' מונא חורי-כסאברי, פרופ' ליאת קוזמא וד"ר יעל שטרנהל. עוד נוסף מדור "חוקרים פרטיים" ביוזמת פרופ' מיכל שרון, בסיוע פרופ' אילת ברעם-צברי ובשיתוף עם ynet, שבו יפרסמו פעם בשבוע תמונה המשקפת עשייה מהתחום המדעי, ויצורף הסבר של המדען הרלוונטי. יוזמה זו, שמנגישה את המדע לציבור הרחב, יצאה לדרך בנובמבר. ועוד.



השר אקוניס עם חברי האקדמיה הצעירה

היה גם מפגש עם אופיר אקוניס, שר המדע והטכנולוגיה. במפגש שיתפו החברים את השר בעשייתה של האקדמיה ושמעו מהשר על העשייה של משרדו. השר העניק לחברים ספר שיצא בעקבות תערוכת המדע בנתב"ג, שאותה יזמה האקדמיה הצעירה בשיתוף עם משרד המדע. השר הזמין את החברים "להציע רעיונות בצורה אגרסיבית ישירות אליי".

בפעילות חברתית בתום הדיונים ערכו החברים סבב אישי, ובו שיתפו כל אחד ואחת מהם את כולם ב"חלום שלי איך לשנות את העולם/המדינה/האקדמיה לטובה".

במפגש הסתיו הוקדש זמן גם לעבודה בצוותים ולסיעור מוחות, והחברים קיבלו עליהם ■ להמשיך ולקדם את היוזמות השונות בשנה הקרובה.

# "האנרכייה המחקרית" אצלנו היא מנוע אדיד לחדשנות

**ריאיון עם פרופ' יהושע יורטנר, מאבות ההשכלה הגבוהה בישראל**  
כל חוקר, סטודנט וסתם אזרח בישראל קוצר היום את פירות  
המהפכות של יהושע יורטנר, אדריכל הצומת הגורלי שבין השכלה  
גבוהה, מחקר מדעי ומדיניות ציבורית. ריאיון עם האיש שסירב  
לבן-גוריון

מאת עודד כרמלי

נדמה שכל הכרכים הכבדים במשרדו של פרופ' יהושע יורטנר בן ה-84 לא יספיקו להכיל את  
קורות חייו, את הישגיו המחקריים והציבוריים ואת רשימת תארו ופרסיו. השנה ניתן להוסיף  
עוד פרס לרשימה הארוכה והוא "פרס ההשכלה הגבוהה לאיש אקדמיה ותיק מטעם המועצה  
להשכלה גבוהה" – אותה מועצה שיורטנר עצמו היה ממבצרי מעמדה האוטונומי.

יורטנר, חתן פרס ישראל בכימיה לשנת 1982 ופרופסור אמריטוס באוניברסיטת תל אביב,  
נולד בפולין בשנת 1933 ועלה לארץ כפליט שואה ב-1940. לאחר שקיבל דוקטורט מטעם  
האוניברסיטה העברית בירושלים ("בטקס חלוקת התארים, בן-גוריון שאל אותי איזה מין שם  
זה, יורטנר. אמרתי לו שהוא משקף מסורת משפחתית ארוכת שנים"), ייסד שם את בית הספר  
הראשון בישראל לכימיה עיונית.

את המהפכה הראשונה שלו חולל יורטנר ב-1964, כששב מהשתלמות בתר-דוקטורט  
באוניברסיטת שיקגו כדי להשתלב באוניברסיטת תל אביב הצעירה. יורטנר, אז ראש המחלקה  
החדשה לכימיה, שינה מן היסוד את המבנה האירופי שהיה נהוג עד אז באוניברסיטאות  
הישראליות.

"עד לשנות השישים היה המבנה של המחלקות למדעי הטבע באוניברסיטאות המחקר שלנו מבוסס על המבנה האירופי: ראש המחלקה הוא שמנהיג את המחלקה מבחינה אדמיניסטרטיבית ומבחינה מחקרית", מסביר פרופ' יורטנר. "ארצות הברית עברה למודל אקדמי דמוקרטי, ואנחנו הבאנו את 'הבשורה הדמוקרטית' למחלקה לכימיה – ומשם לכל המחלקות באוניברסיטת תל אביב ולכל האוניברסיטאות בישראל. כיום כל חבר סגל בעל קביעות בישראל הוא אוטונומי מבחינה מחקרית, ללא כפיפות לראש המחלקה".



ראשית המחקר בכימיה עיונית באוניברסיטה העברית בירושלים. יהושע יורטנר מבצע עבודה חישובית על מכונת חישוב במחלקה לכימיה פיזיקלית בשנת 1956.

תוכניות ההוראה לתואר הראשון ותוכניות המחקר וההוראה לתארים גבוהים שגיבש יורטנר במחלקה החדשה התבססו על גישה בין-תחומית חלוצית, הכוללת גם פיזיקה וביופיזיקה. הושם דגש על הוראת מתמטיקה ופיזיקה ברמה גבוהה לכימאים לתואר הראשון, וחוללה מהפכה מושגית בהכנסת "מכניקת הקוונטים" כבסיס לכימיה המודרנית. שלא במפתיע, כבר באמצע שנות השבעים דירג מדד (אינדקס) הציטוטים את המחלקה לכימיה בראשותו של יורטנר במקום הראשון מבין כל אוניברסיטאות המחקר שמחוץ לארצות הברית.

בד בבד עם פועלו במחלקה לכימיה תרם יורטנר לבניית התשתית האקדמית של אוניברסיטת תל אביב כולה, ראשית כסגן רקטור, לאחר מכן כרקטור בפועל ולבסוף כסגן נשיא האוניברסיטה. משנת 1969 החל יורטנר לקדם את מערכת ההשכלה הגבוהה והמחקר המדעי בישראל גם במישור הלאומי כחבר המועצה להשכלה גבוהה, כחבר המועצה הלאומית למחקר ופיתוח, כמדען הראשי של משרד התקשורת בראשות שמעון פרס וכיועץ לענייני מדע של שלושה ראשי ממשלה: שמיר, רבין ופרס.

בשנת 1974 תיקנה הכנסת את חוק ההשכלה הגבוהה – להבטחת החופש האקדמי והמוסדי. יורטנר שירת בוועדה לתיקון החוק, בראשותו של שופט בית המשפט העליון חיים כהן, אשר הגדירה לראשונה את מסגרות ההשכלה הגבוהה והמחקר המדעי בישראל. באותה שנה כיהן יורטנר כחבר גם בוועדת פרופ' רחל שלון, אשר קבעה את עקרונות הפעילות של הוועדה לתכנון ולתקצוב (ות"ת) של המועצה להשכלה גבוהה. בוועדה חשובה זאת תרם יורטנר לגיבוש המסגרת הערכית, העקרונית והתקציבית של הות"ת. לאחר מכן כיהן כחבר מליאת הות"ת הראשונה, בראשותו של פרופ' נתן רוטנשטרייך.

"צריך להבין שהות"ת הוא גוף ייחודי הנשען על מודל בריטי", אומר יורטנר. "בכך שהממשלה הסמיכה את המערכת בחוק לחלק את תקציבי ההשכלה הגבוהה, הבטחנו את החופש שלנו כאנשי מקצוע, חוקרים. כך, למשל, כשקיבלנו הצעה מדוד בן-גוריון להקים אוניברסיטה בשדה בוקר, אני, בשבתי כיו"ר הוועדה לבחינת הנושא, יכולתי לסרב לבן-גוריון ולקבוע שאין צורך באוניברסיטה נוספת אלא במכון לחקר המדבר. אין הרבה מדינות בעולם שפועלות במודל כזה שבמסגרתו ועדה מקצועית להשכלה גבוהה ולמחקר מדעי יכולה לא לקבל הצעה של ראש מדינה (ומייסדה...)".

בשנים 1980–1986 כיהן יורטנר כסגן נשיא האקדמיה הלאומית למדעים, ובשנים 1986–1995 – כנשיאה. במסגרת זו ייצג את מדינת ישראל בכמה וכמה מיזמים בין-לאומיים של "מדע גדול". אולי הדוגמה המובהקת לפועלו בתחום היא ייסודה של הוועדה הלאומית לאנרגיות גבוהות, שהביאה את ישראל ברבות השנים לחברות מלאה במאיץ החלקיקים CERN – המדינה הלא-אירופית היחידה במתקן המוביל בעולם לחקר אנרגיות גבוהות.

אלא שיורטנר האיץ הרבה יותר מחלקיקים. ב-1989 האיץ בממשלה לקלוט את המדענים הבולטים מקרב יהודי ברית המועצות ואף הגיש לראש הממשלה פרס תוכנית בנושא. כאשר הכסף לתוכנית בושש לבוא, לא אמר יורטנר נואש – ורתם את "קרן ברכה" האמריקנית ליצירת מלגות קליטה, בהיקף של 6 מיליון דולר, ל-30 מדענים בולטים ממדינות חבר העמים. בשנת 1991, ובעיצומה של מלחמת המפרץ, מצא ראש הממשלה יצחק שמיר זמן לפגישה ארוכה עם יורטנר ועם ששת המדענים הראשונים שנקלטו כמלגאי "קרן ברכה" (שמיר התעניין מאוד במה שהיה להם לומר. כאילו לא הייתה מלחמה בחוץ").



פעולת האקדמיה למדעים לקליטת עלייה מדעית. ראש הממשלה יצחק שמיר מקבל בלשכתו, בעיצומה של מלחמת המפרץ בשנת 1991, את נשיא האקדמיה פרופ' יהושע יורטנר, המציג לפניו מדענים.

ברם המהפכה הגדולה ביותר שחולל יורטנר הייתה הקמת הקרן הלאומית למדע. בשנות השמונים של המאה העשרים נשחק לחלוטין המחקר הבסיסי במדינת ישראל, שאז נוהל ברובו כתקציבי מחקר עצמאיים של אוניברסיטאות המחקר, בשל המיתון הכלכלי. באפריל 1985 פנה יורטנר



פעולת האקדמיה למדעים ליצירת הקרן הלאומית למדע. ביקור של ראש הממשלה יצחק רבין באקדמיה באוקטובר 1994 לפתיחת הכינוס הבין-לאומי על "תמיכה לאומית במחקר בסיסי"

בנאום הפתיחה בכינוס אמר ראש הממשלה רבין: "בשם ממשלת ישראל ובשמי הנני רוצה להביע תודה והוקרה לקהילה האקדמית מדעית של מדינת ישראל. אתם יצרתם נקודת הזנק שתיצור הזדמנויות ייחודיות לעתיד". ראש הממשלה רבין משוחח עם פרופ' אפרים קציר ופרופ' יהושע יורטנר.

לראש הממשלה פרס והזמינו להשתתף בישיבת מועצת האקדמיה. בישיבה דרמטית זו הציג יורטנר לפני פרס את המשבר החריף במחקר בישראל – ואת השלכותיו הלאומיות החמורות.

"זאת הייתה ישיבה ביקורתית מאוד", הוא מספר, "הן בנוגע להיקף התמיכה של ממשלת ישראל במחקר המדעי והן בנוגע לאופן התמיכה. בסוף הישיבה אמר פרס: 'לפי חוק, תפקיד האקדמיה הוא לייעץ לממשלת ישראל בנושאי מדע בעלי חשיבות לאומית – אז קדימה, תכינו לממשלה תוכנית אב למחקר מדעי בישראל'. חצי שנה אחר כך הגשנו לפרס את תוכנית האב למחקר בסיסי, שביסודה הקמת הקרן הלאומית למדע".

בנובמבר 1985 ערכה ממשלת ישראל בראשותו של יצחק שמיר שתי ישיבות ממשלה שהוקדשו למחקר המדעי בישראל. "עד אמצע שנות השמונים לא היה כדבר הזה שנשיא האקדמיה למדעים יוזמן לישיבות ממשלה", מסביר יורטנר. "כששאלתי את מזכיר הממשלה כמה זמן אני צריך לדבר, הוא אמר לי: 'אל תדאג, אם זה לא יעניין את רה"מ – הוא כבר יפסיק אותך לבד'. לשמחתי, הוא לא הפסיק אותי, ואף זימן מייד ישיבת ממשלה שנייה, שבעקבותיה כתב לשר האוצר להקצות משאבים רבים יותר למחקר בסיסי. הממשלה קיבלה את תוכנית האב".

ב-1989 הוקמה הקרן הלאומית למדע כעמותה עצמאית, בנפרד ממוסדות המחקר. בשנת 2014 הופרדה הנהלת הקרן גם מהנהלת האקדמיה למדעים, ובכך הושלם תהליך הקמת ישות ציבורית-מדעית בלתי תלויה, הפועלת על יסוד עקרונות של מצוינות תחרותית. כיום הקרן הלאומית למדע היא הגוף העיקרי שתומך במחקר מדעי בישראל, בתקציב שנתי של כ-700 מיליון ש"ח.

יורטנר: "זאת הייתה משנתו של פרופ' ארנסט דוד ברגמן, היו"ר הראשון של 'הזרוע למחקר בסיסי' של האקדמיה (שקמה עוד לפני אימוץ תוכנית האב): אין מדע בסיסי ומדע יישומי – יש מדע טוב ויש מדע נחות. תמיד יש יחסי גומלין בין מדע בסיסי ליישומי, ומדינת ישראל הוכיחה את זה. ההשקעה במחקר בסיסי הוכיחה עצמה בכל ההיבטים, מהיישומים הביטחוניים ועד חברות ההזנק. אולם כדי לראות את פירות ההשקעה, באקדמיה ומחוצה לה, צריך להשקיע את הכספים לפי מצוינות מדעית אובייקטיבית לחלוטין, ללא כל התייחסות מוסדית או אחרת".

"לא בכל מקום זה קיים. בגרמניה, למשל, לשר המדע ולגופים שהוא ממנה יש השפעה אדירה על חלוקת תקציבי המחקר. המודל הישראלי הוכיח ש'האנרכייה המחקרית' הנשענת על

## מאת פרופ' יהושע יורטנר

### מדעי הכימיה בישראל

#### "ההומניזציה של המדע תוביל את האנושות של הארץ המובטחת" פרופ' אהרון קציר, הנשיא השני של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

בתחומי התפתחותם של מדעי הכימיה המודרניים הייתה ישראל בתחילת הדרך מעצמה מדעית של אדם אחד, הכימאי הפיזיקלי פרופ' לדיסלאוס פרקש, אשר גויס לאוניברסיטה העברית בירושלים על ידי מדינאי המדע והמנהיג הדגול פרופ' חיים ויצמן. פרופ' פרקש הקים בשנים 1935–1938 מחלקה מפוארת של מחקר מדעי והוראה אוניברסיטאית בכימיה פיזיקלית, ניסיונית, תעשייתית ועיונית.

לאחר מכן התפתחו כאן מרכזים ברמה עולמית: בכימיה אורגנית – בידי פרופ' דוד ברגמן במכון ויצמן למדע ובאוניברסיטה העברית; בכימיה סינתטית – בידי פרופ' דויד גינצבורג בטכניון. התפתחויות מרשימות ביותר נרשמו במכון ויצמן למדע הן בכימיה פיזיקלית-עיונית והן בכימיה הניסיונית: בתחום הפולימרים – בידי פרופ' אהרון קציר; בחקר מבנה ופונקצייה של חלבונים – בידי פרופ' אפרים קציר; בכימיה ביולוגית – בידי פרופ' מיכאל סלע; בכימיה של איזוטופים – בידי פרופ' ישראל דוסטרובסקי. בתחומי הכימיה העיונית והמדעים המולקולריים הניח פרופ' חיים פקריס במכון ויצמן את אבני הבניין לחקר החומר באמצעות פיתוח מחשבי הענק "גולם 1" ו"גולם 2" לניתוח המבנה האלקטרוני של אטומים ומולקולות ולחקרו.

בהמשך הדרך הפכה ישראל למעצמה מדעית בתחום הכימיה התאורטית, שבה שני מרכזים בולטים בתחומי הכימיה העיונית של הדינמיקה הכימית, שנוסדה בידי פרופ' רפאל לוין באוניברסיטה העברית ובידי באוניברסיטת תל אביב. לשמחתנו, ברבות השנים הצטרפו עוד מוסדות וחוקרים בולטים להצטיינות הבין-לאומית במדעי הכימיה.

השלכותיו מרחיקות הלכת של המחקר בכימיה עיונית בשנות היווצרותו (*in statu nascendi*, בלשון הכימאים) בשנות השישים והשבעים של המאה העשרים שיקף אסימטריה ברורה. בתחילת הדרך סבלה



מצוינות מדעית היא מנוף אדיר ליצריות ולחדשנות. ההצלחות המרשימות שלנו מבוססות על אי-מעורבות, על מערכת שצומחת מהשטח כלפי מעלה (bottom-up). לא ישרה ועדה של פרופסורים ואמרה שהעיתיד נמצא בננוטכנולוגיה – החוקרים הצעירים עצמם הם שמשכו לכיוונים האלה, ומערכת ההשכלה הגבוהה בישראל נתנה להם את החופש ואת התמיכה לקדם את תחומם כראות עינם. מסורת מפוארת זאת של אוטונומיה מוסדית ואישית של מערכת המחקר המדעי וההשכלה הגבוהה חייבת להימשך גם בעתיד”.

לדברי יורטנר, השילוב הזה של מערכת השכלה גבוהה אוטונומית, מקצועית, א-פוליטית, בעלת מבנה מחלקתי דמוקרטי עם קרן לאומית למחקר בסיסי שתומכת בחוקרים עצמם – הוא סוד ההצלחה של ה-Start up Nation.

מערכת המחקר מחוסר איזון בין המחקר הניסיוני לזה העיוני, במידה רבה בגלל מחסור במשאבים הדרושים לרכישת ציוד מעבדה מתקדם ויקר, אולם במידת מה גם בשל “הטיה” תרבותית לעבר המדעים העיוניים. פער זה הלך והצטמצם ולמעשה נעלם בשני העשורים האחרונים בעקבות הקמת הקרן הלאומית למדע, שיעודה קידום המחקר הבסיסי ופיתוח מחקר ייעודי בתחומים ניסיוניים מתקדמים כמו הננוטכנולוגיה. ואכן, רמתם הגבוהה ביותר של מדעי הכימיה בישראל משקפת הצטיינות מדעית בולטת לפי אמות מידה בין-לאומיות.

מדעי הכימיה הקימו את המסגרת הניסיונית והמושגית של החומר – למבנה, לתפקיד (הפונקציה) ולשינויים, כפי שנחקר ברמה המולקולרית. למעשה זהו המושג “אימפריאליזם כימי”, כלומר: בכל פעם ובכל דרך שתחום מדעי כרוך במידע מולקולרי, הוא משתייך למעשה לתחום המדעים הכימיים. התחומים המסורתיים של הכימיה, הכוללים כימיה אנאורגנית ואורגנית, כימיה פיזיקלית וכימיה ביולוגית, עברו האחדה פנימית בין-תחומית. יתר על כן, ואף חשוב במיוחד, הגבולות בין התחומים המדעיים המסורתיים כמו כימיה, פיזיקה, מדעי החומר, ננו-מדע וביולוגיה הולכים ומיטשטשים.

בפועל עלייתו של “התחום הרב-תחומי” העשירה, גיוונה והרחיבה את המדעים הכימיים שהלכו והתחזקו. כך גם במערכת המחקר הישראלית, באוניברסיטאות המחקר ובמעבדות הלאומיות חל תהליך של התרחבות, התעצמות והצטיינות של מדעי הכימיה. התפתחות הכימיה היא תרומה סגולית ומכרעת לשגשוג המחקר המדעי הבין-תחומי והרב-תחומי במדעים בכלל.

ההכרה הבין-לאומית במדעי הכימיה שבהילת המדע הישראלי השתקפה בהענקת פרסי נובל בכימיה ובתחומים המשיקים לה: לפרופ' אברהם הרשקו ולפרופ' אהרן צ'חנובר מהטכניון, שזכו בפרס נובל בכימיה על גילוי אחד מהתהליכים המחזוריים החשובים ביותר בתא שמאפשר את פירוק החלבונים – מערכת האוביקוויטין; לפרופ' עדה יונת על מבנה הריבוזום – בית החרושת לחלבונים; לפרופ' דן שכטמן על מבנה הקואזי-גבישים. עבודות חלוציות דגולות אלה הן הוכחה ממשית למצוינות המחקר לפי אמות המידה העולמיות הגבוהות ביותר בתחומים הניסיוניים של מדעי הכימיה – המבנית והביולוגית.

# החוקרים השבים



דיאיון עם ארבעה סיפורי הצלחה של "מרכז הקשר" באקדמיה  
מאת אסף אוני ואביטל בר

## ד"ר צביקה גרנות

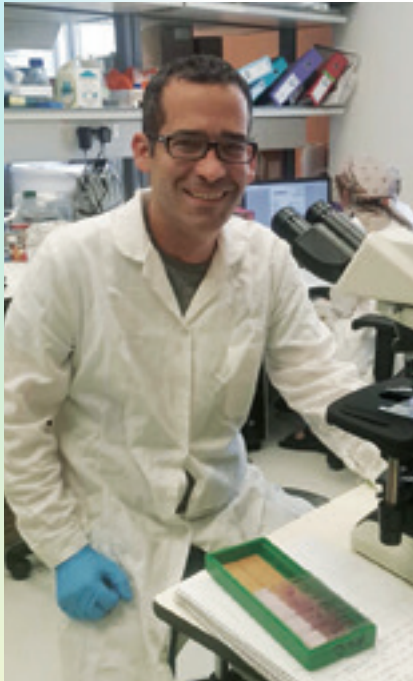
"בזמן הבת־דוקטורט אתה קצת מנותק מהנעשה בישראל.  
זה בדיוק המקום שבו מרכז הקשר מסייע"

"מראש היה ברור לי שאנחנו נוסעים לבת־דוקטורט על מנת לחזור לישראל", אומר ד"ר צביקה גרנות מהאוניברסיטה העברית בירושלים. "השאלה הייתה רק מתי יבשילו התנאים, מתי אשלים את המחקר שנסעתי לעשות, ומתי תהיה משרה מתאימה בשבילי בישראל". ד"ר גרנות חוקר את הדרכים שבהן המערכת החיסונית נלחמת בסרטן במעבדה שהוא מוביל בחוג למדעים בירפואיים באוניברסיטה העברית, שבה עשה גם את כל תארו הקודמים. בבת־דוקטורט שלו השתלם במוסד הרפואי היוקרתי לחקר הסרטן "ממוריאל סלואן קטרינג" שבניו יורק.

"אנחנו חוקרים במעבדה את הדרך שבה המערכת החיסונית הורגת תאים סרטניים ומתמקדים בסוג תא שדי הזנח עד עכשיו – נויטרופיל", מסביר ד"ר גרנות. "הוא הזנח כי הוא התא הנפוץ ביותר במערכת החיסון והוא גם הפשוט ביותר. עד עכשיו הסתכלו עליו כעל תא במערכת החיסון שאחראי לחסל חיידקים ולא תאים סרטניים. אנחנו מנסים להבין טוב יותר את התפקיד שלו, ואולי אחת ההשלכות תהיה שנלמד כיצד לגייס אותו למלחמה בגידולים סרטניים".

אשר לחזרה לישראל ד"ר גרנות אומר כי בתחום מדעי החיים הבשלת התנאים לחזרה משמעותה השלמת מחקר ופרסומו בעצמן. "למה בעצם נוסעים לעשות בת־דוקטורט? הסיבה העיקרית היא לרכוש מיומנויות חדשות ולהראות שאתה מסוגל לעשות מחקר עצמאי, ושהאוניברסיטה תרצה לגייס אותך כדי שתקים מעבדה ותזוּם רעיונות חדשים. הנקודה שבה אתה יכול להגיש מועמדות למשרה היא אחרי שהשלמת מחקר, ואחרי שהוא פורסם בכתב עת חשוב".

מבחינה פרקטית ד"ר גרנות מספר כי נעזר במרכז הקשר לחוקרים ישראלים וממליץ גם לחוקרים אחרים השוהים בחו"ל לעשות זאת. "בעצם, בזמן הבתר-דוקטורט אתה קצת מנותק מהמצב באוניברסיטאות, משום שאתה לא בארץ. התקשורת עם המוסדות האקדמיים היא די מינימלית. זה בדיקת המקום שבו מרכז הקשר מסייע. הייתי אומר שבישראל הוא חשוב כפליים, משום שבניגוד למקומות אחרים בעולם האוניברסיטאות כאן לא ממש מפרסמות את עצמן. הן יודעות שיש ביקוש למשרות שהן מפרסמות, וזו אחריות החוקרים להתעדכן, בין השאר באמצעות הירשמות למרכז הקשר".



**"כאן עלינו להיות קטנים, זריזים וחרिפים!"**

ד"ר גרנות מספר כי לאחר ארבע שנים ב"ממוראל סלואן קטרינג", ולאחר שהשלים מחקר במקום, הגיע לישראל לסבב ראינות וקיבל הצעות למשרה בארבעה מוסדות מחקר ישראלים. על המשרות האפשריות למד מההודעות של מרכז הקשר. לאחר תקופה קצרה החליט לבחור באוניברסיטה העברית. "כל ההליך היה קצר מאוד אצלי - מהרגע שקיבלתי את המשרה ועד לחזרה עברו חודשיים בלבד", הוא אומר.

"אשתי והילדים שמחו מאוד לחזור לישראל", אומר ד"ר גרנות, שמספר כי עם זאת המעבר ממנהטן לירושלים דרש הסתגלות מסוימת: "עשיתי את כל התארים שלי בירושלים, אז המקום לא זר לי, אבל עדיין, אחרי חמש שנים בניו יורק קשה לחזור".

ד"ר גרנות מוסיף שתי עצות לחוקרים ישראלים המעוניינים לחזור: הראשונה היא מעשית מאוד, הוא אומר: "ודאו שההצעה שקיבלתם היא אמינה, שהמוסד האקדמי עומד מאחוריה, ולא סוג של הבטחה בעל פה. ודאו שההצעה שיש לכם מתועדת וכתובה"; "העצה השנייה היא לברר היטב אילו אמצעים יעמדו לרשותכם כשתחזרו. זה עוזר בין השאר כדי לדעת איזה ציוד או אילו מלגות צריך לסדר מראש לפני החזרה. מדען שסיים בתר-דוקטורט הוא אולי חוקר מוצלח מאוד, אבל הוא לא יודע לנהל מעבדה - קחו כל עזרה שמישהו יכול להציע".

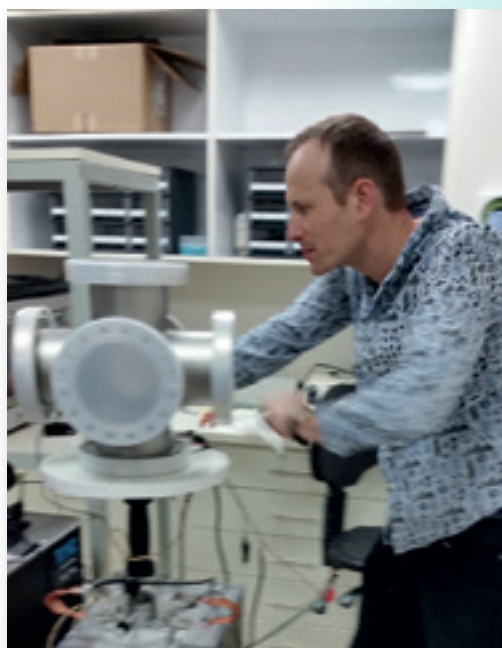
מבחינה מקצועית ד"ר גרנות אומר שהוא מרוצה מאוד מהמצב בישראל. "מובן שאי אפשר להשוות את ישראל לארצות הברית מבחינת התשתיות. הציוד הרב שיש שם ואיכותו, הכסף שזמין שם למחקר, הוא בסקלה אחרת. אבל דרך ההתמודדות שלנו כאן בישראל היא להיות קטנים, זריזים וחריפים. להתמודד עם הכסף הגדול שם אין לנו יכולת, אז אנחנו צריכים לפצות בחדשנות. זה משהו שאנחנו משתדלים לעשות במעבדה. לנצל את הכסף בצורה שקולה יותר, כי יש פחות ממנו".

## ד"ר יואב לינזון

### "אם אתם מעוניינים לחזור לאקדמיה הישראלית - צריך לקחת מה שאפשר"

ד"ר יואב לינזון מספר כי עשה דרך אקדמית פתלתלה עד שהגיע למשרה האקדמית המחקרית שלו כיום כראש המעבדה לחקר מערכות אופטו־מכניות זעירות באוניברסיטת תל אביב. הסיבה לכך, בין השאר, הייתה העדפתו לחזור לישראל מיד אחרי הבת־דוקטורט - ולא להמתין בחו"ל עד שתתפנה המשרה המתאימה עבורו.

הבת־דוקטורט שלו התחיל בשנה באוניברסיטת מונטריאול והמשיך בשנתיים נוספות באוניברסיטת קורנל שבאיתקה (צפון מדינת ניו יורק). הוא אומר: "רציתי לחזור בסתיו 2011, אבל לאחר סבב ראיונות ראיתי שאין כל משרה אפשרית בשבילי באוניברסיטאות המחקר. לכן קיבלתי הצעה מהמכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה בכרמיאל, וכיהנתי שם כמרצה בכיר, העוסק בעיקר בהוראה וגם מפעם בפעם בפרויקט מחקר ניסיוני המשותף לקבוצות אחרות בארץ (אחד באוניברסיטת תל אביב והשני בטכניון בחיפה), עד שנת 2014. בשלהי שנה זו עברתי למשרה הנוכחית באוניברסיטת תל אביב. מה שכיוון אותי היה הרצון לחזור לישראל לחיות בקרבת המשפחה ולא להישאר עוד בחו"ל".



**"מרכז הקשר עזר לי להבין טוב יותר את המנטליות האקדמית המקומית"**

ד"ר לוינזון חקר בדוקטורט שלו אופטיקה לא־לינארית במוליכי גלים פוטוניים בהנחייתו של פרופ' שמשון ברעד בבית הספר לפיזיקה ואסטרונומיה. "עבדתי בזמני עם שותף איטלקי זוטר מאוניברסיטת מונטריאול במהלך עבודת הדוקטור שלי. כתבנו יחד הצעת מחקר. ההצעה התקבלה, ובקיץ 2005 נסעתי

לקנדה כדי להתחיל מחקר ישיר במונטריאול עוד במהלך הדוקטורט שלי, אשר הסתיים רק בשנת 2008. טקס הסיום של הדוקטורט היה אחרי שהתחלתי את הבת־דוקטורט, וטסתי לישראל בטקס שנת 2009 כדי להשתתף בו". בשלהי שהותו בקנדה החליט ד"ר לינזון להחליף תחום ולהתמקד בנגור־אלקטרו־מכניקה, תחום שהיה לו ייצוג זעום בלבד בישראל באותה התקופה. בעבודתו כיום קבוצת המחקר בראשותו עוסקת בשני תחומים מרכזיים - סיבים אופטיים והתקנים מבוססי־סיליקון על שבב לצורך הפעלה וחישה של מיקרו־וננו־מכונות.

הוא אומר כי על המשרה באורט בראודה שמע ממרכז הקשר, במסגרת הודעות רבות שקיבל מהמרכז על משרות פנויות ועל קולות קוראים של מוסדות מחקר, מכללות וגופי תעשייה. ד"ר לינזון מספר כי נרשם למרכז הקשר בקיץ 2010, שנה לפני שחזר, משום שרצה להתעדכן בכל המשרות המתפנות בישראל, וכן השתתף בסדנאות רבות בקורנל העוסקות בדגשים לראיונות פנים אל פנים ובכתב. "בתקופה היא דיברו בארץ הרבה על 'בריחת המוחות', והיו הרבה יוזמות שנועדו לצמצם אותה. מרכז הקשר שימש לי כתובת שמרכזת את המידע הרלוונטי. אני חושב שזה משאב חשוב מאוד למי שרוצה לחזור, ואני עצמי מרגיש שהסיוע שקיבלתי ממרכז הקשר היה מהותי מאוד בתחילת הדרך חזרה. זה עזר בין השאר לא להיעלב במקרה של דחייה ולהבין טוב יותר את המנטליות האקדמית המקומית".

אשר למשרת החוקר במכללת אורט בראודה אומר ד"ר לינזון כי "זה לא היה קלאסי בשבילי, אבל הם הלכו לקראתי הרבה. פיזיקה והנדסה אופטית הייתה בזמנה מחלקה שהתפתחה בקצב מהיר, ונתנו לי שטח להקים עמדת מעבדה מקומית צנועה. יש יתרונות גם במכללה, במיוחד למישהו שהוא תאורטיקן ואשר איננו זקוק למשאבים אנושיים ופיזיים רבים". ד"ר לינזון מספר כי גם בעת המחקר וההוראה במכללה שמר על קשר רציף עם אוניברסיטת תל אביב. כעבור כמה שנים, כשפרשו כמה חוקרים, וחלה התרחבות ניכרת בפקולטה להנדסה, הגיש שוב מועמדות – והתקבל.

"אני חושב שמהניסיון שלי אפשר לגזור עצה כללית למי שרוצה לחזור לישראל", הוא אומר: "צריך לקחת מה שאפשר". "ידעתי מראש שאני רוצה לחזור לישראל בכל מקרה, ושמסע ההשתלמות שלי הוא לתקופה מוגבלת. לא רציתי לחפש משרה בחו"ל, שזו אסטרטגיה שונה ממה שראיתי אצל עמיתים שאישו משרת בתר־דוקטורט. בביקורים שלי בארץ נפגשתי פחות או יותר עם נציגים מכל האוניברסיטאות. בפגישות הציעו לי לחכות בחו"ל שנה-שנתיים למשרה מתאימה, אבל לא רציתי".

הוא מוסיף ואומר: "המסקנה שלי היא שצריך להיות גמיש, גם מבחינת החזרה לישראל וגם מבחינת המחקר המדעי אחרי שמוצאים משרה אקדמית בישראל... אני מכיר חוקרים שניסו והצליחו אבל גם כאלה שהיו צריכים לחכות שנה-שנתיים בחו"ל, ובסוף חזרו. גם יש חוקרים שנשארים, חלק מהם מרוצים יותר וחלק מרוצים פחות. מה שאפשר לומר הוא שבישראל אף אחד לא פוסל אותך בצורה קרה, בניגוד למה שאולי יכול לקרות בארצות הברית ובאירופה. תמיד יאמרו 'השנה זה לא מתאים, אבל אולי בעתיד'. צריך פשוט להתמיד בחיפוש, ולא לוותר... עצה נוספת שאני יכול לתת, היא לחשוב היטב איך מגדירים את המחקר, לנסות להציג בצורה ברורה מהו תחום הידע החדש שתביא למוסד האקדמי שבו אתה מעוניין להשתלב, הצגה אמינה מבחינת נתוני ה־track record שצברת, וכיצד תרחיב אותו עם סיכוי גבוה להצלחה".



## ד"ר שירה מור

**"הרבה חוקרים ישראלים שהיו בחו"ל, גם כאלה שהצליחו לחזור, אמרו לי 'הלוואי שהיינו יודעים על מרכז הקשר'"**

ד"ר שירה מור מספרת שהייתה באקדמיה בחו"ל רוב חייה המקצועיים. היא עשתה תואר ראשון, תואר שני ודוקטורט באוניברסיטת ניו יורק, כשהיא מתמחה באינטליגנציה תרבותית בתחום הפסיכולוגיה הארגונית, ואז כיהנה במשך שנתיים כמרצה בהולנד ובספרד, לפני שהצליחה במאי 2015 לחזור ולהשתלב באקדמיה הישראלית. "ניסיתי לחזור לארץ כמה פעמים. כבר ב־2012 נקבעו לי ראיונות עבודה. זה היה בזמן מבצע 'עמוד ענן', והיו אזעקות לפני כל פגישה", היא נזכרת. "זה היה הסיבוב הראשון שלי, ואז לא נעזרתי במרכז הקשר. היה מוסד אקדמי שהציע לי בתר־דוקטורט ללא שכר, אז ויתרתי – ולקחתי את אחת ההצעות שקיבלתי באירופה".

ד"ר מור מספרת שבנובמבר 2014 יצרה קשר עם מנהלת מרכז הקשר, בת־שבע שור. אמרתי לה: "בת־שבע, אני רוצה לחזור הביתה – עזרי לי לעשות את זה". היא לקחה את זה כפרויקט אישי ועשתה את שהיה ביכולתה. תהליך מציאת המשרה בישראל לקח זמן... המשרה הראשונה כסגל בכיר שקיבלתי בארץ הייתה רק באוקטובר 2016, בפקולטה למדעי החברה של אוניברסיטת תל אביב, ועכשיו – שנה אחרי – אני מתחילה בתפקיד של מרצה בכירה בבית הספר למנהל עסקים של מכללת הקריה האקדמית אונו".



**"לא צריך להנמיך ציפיות – צריך רק לשנות אותן"**

"ברמה האישית", היא אומרת, "שמחתי מאוד לחזור לארץ אחרי 11 שנות היעדרות. ברמה המקצועית היה שוק מסוים. המחקר בעולם הפך לגלובלי, אך לא כל המוסדות בארץ עשו את ההתאמה לסטנדרטים בין־לאומיים".

לדבריה, העצה המרכזית שלה לחוקרים המעוניינים לחזור לישראל היא לתכנן הרבה זמן מראש. "צריך לבוא לכאן. אפשר לנסות לתכנן מעבר בשלבים. להכיר חוקרים אחרים, להעביר קורסים, לתת הרצאות, ליצור קשרים. לדאוג שיכירו אותך ברמה האישית, וגם לראות איך המחקר האקדמי בישראל מתאים מבחינה אקדמית למחקר שלך. אני חושבת שלא צריך להנמיך ציפיות בנוגע למחקר בישראל אלא רק לשנות ציפיות. אנחנו לא באירופה: המשאבים והצרכים הם שונים, וזה דורש התאמה וזמן התאקלמות".

ד"ר מור אומרת כי במהלך עבודתה האקדמית בארצות הברית ובאירופה פגשה "הרבה מאוד חוקרים ישראלים בתחום מדעי החברה שבאו לישראל להתראיין, לא קיבלו הצעות והחליטו לחזור ולהמשיך באוניברסיטאות זרות". היא מספרת כי בעקבות הניסיון האישי שלה בחזרה לישראל ובהיעזרות במרכז הקשר, "הרבה חברים טובים שלי שהיו בחו"ל קיבלו ממני המלצה למרכז הקשר, וגם כאלה שהצליחו לחזור לארץ אמרו לי שהלוואי שהיו יודעים על מרכז הקשר, כי זה היה מקל את התהליך".

## ד"ר דנה רייכמן

**"היה ברור לנו שהטיסה לנתב"ג, ולא ממנו, צריכה להיות השלב האחרון בפוסט"**



**"מרכז הקשר סייע לי גם למצוא סטודנטים מתאימים לאיש את המעבדה. הם פרסמו שאנו מחפשים מועמדים, ובזכות הפרסום קיבלנו פניות רבות"**

ד"ר דנה רייכמן נסעה עם בעלה הפיזיקאי ועם ילדיה לבת-רדוקטורט באוניברסיטת אן-ארבור שבמישיגן. את התואר השני ואת הדוקטורט שלה עשתה במכון ויצמן, ותחום המחקר שלה כיום באוניברסיטה העברית בירושלים הוא כיצד תאים ואורגניזמים מתמודדים עם תנאי סביבה משתנים מבחינת תפקוד החלבונים בהם. "כשתנאי הסביבה משתנים מבחינת טמפרטורה, חמצון או כל גורם אחר", היא אומרת, "מבנה החלבונים בתא עלול להיפגע. השאלה שאני חוקרת היא כיצד התאים מתפקדים במצבים כאלה, וכיצד הם מגינים על החלבונים מפני נזק למבנה ולתפקוד שלהם".

משפחת רייכמן הייתה ארבע שנים בארצות הברית, מ-2008 ועד ל-2012. לדברי ד"ר רייכמן, "בתחום מדעי החיים זו תקופת פוסט קצרה יחסית". לדבריה, אחרי תקופה קצרה בלבד היה ברור להם כי הם מעוניינים לחזור לישראל – גם מבחינה אישית וגם מבחינה מקצועית. "היה ברור לנו שהטיסה לנתב"ג – ולא ממנו – צריכה להיות הנסיעה האחרונה שלנו", היא אומרת, ◀

"זה לא קשור; למשפחה, כי זה הבית; ישראל היא גם המקום שאתה מבין הכי טוב ויכול להתבטא בו בקלות ונוחות. גם המדע הישראלי הוא טוב, האנשים מצוינים, ויש הרבה שיתופי פעולה, שהם נוחים לביצוע כאן בישראלים יותר מבחו"ל. למעשה, לא חיפשנו אלטרנטיבה לחיים בישראל".

שנה לפני חזרתם נרשמה ד"ר רייכמן לאתר מרכז הקשר והחלה לעבור על המשרות שהוא הפיץ למנויו. "היתרון הגדול במרכז הקשר הוא הריכוז של כל המידע ותהליך ההגשה. אני לא יודעת איך זה היום, אבל כשאנחנו היינו בחו"ל לא היה ברור בדיוק מה עליך לעשות כשאתה מחפש משרה בארץ. נכון, אפשר לשאול ולברר עם חברים, אבל זה לא תמיד קל. זאת, לעומת המצב באקדמיה האמריקאית, שם התהליך די מובנה".



ד"ר רייכמן וקבוצת המחקר שלה במעבדה

ד"ר רייכמן מספרת כי לקראת סוף הבתר־דוקטורט שלה טסה לישראל לעשרה ימים, שבהם "קיימתי ראיונות כמעט בכל אוניברסיטה". היא אומרת כי "עונת המועמדים והראיונות היא בדרך כלל בחג המולד, כשכל הבתר־דוקטורנטים באים לישראל ממילא [אז גם מקיים מרכז הקשר את הכינוס השנתי שלו, המלווה ביריד תעסוקה]. אני באתי קצת אחר".

המאמץ השתלם, וד"ר רייכמן עומדת כיום בראש מעבדה באוניברסיטה העברית. עם זאת היא ערה לקושי למצוא משרה באקדמיה הישראלית: "אצלנו מדובר בהצלחה של 50%. בעלי לא מצא משרה אקדמית בארץ, אבל החלטנו שזה בסדר לחזור גם למשרה אקדמית אחת. היו לו סיכויים גדולים למצוא משרה אקדמית בארצות הברית, אבל החלטנו לחזור".



לדבריה, "מקצועית זה תמיד מאתגר לחזור. כשאתה מגיע מבתר־דוקטורט למשרת ניהול קבוצה מדעית שלך אתה מתחיל עבודה שלא למדת איך לעשות אותה. אתה יודע לחקור, אבל פתאום אתה צריך לפנות לאפיקים חדשים כמו גיוס מענקי מחקר וסטודנטים, צריך למצוא דרך יעילה למלא את המעבדה הריקה... "ד"ר רייכמן מציינת כי הסתייעה במרכז הקשר אף אחרי חזרתה – במציאת צוות למעבדה שהקימה: "מרכז הקשר סייע לי גם למצוא סטודנטים מתאימים לאייש את המעבדה החדשה. הם פרסמו שאנו מחפשים מועמדים, ובזכות הפרסום קיבלנו פניות רבות".

"גם משפחתית לקח לנו זמן להסתגל", היא אומרת. "הגענו בדיוק בתקופת מלחמה, היה צריך להתמודד עם אזעקות ופחדים אישיים ועם מסגרות חינוך והשתלבות מחדש בארץ". "למרות זאת", היא אומרת, "לא חשבנו לחזור לחו"ל. היה ברור לנו שאין דרך חזרה".

בתור המלצה לחוקרים ישראלים הנמצאים בבתר־דוקטורט בחו"ל, ד"ר רייכמן אומרת כי כדאי לנצל את הזמן מבחינה אישית ולא רק מקצועית, "שיפנו זמן לטיולים לפני שחוזרים לארץ. שלא יעבדו מסביב לשעון. אנחנו מרגישים שלא ראינו מספיק מקומות". ועוד דבר אחד: "אם יש לכם אפשרות להישאר זמן מסוים בחו"ל אחרי שקיבלתם את המשרה, כדאי לנצל את זה לבניית המעבדה כאן – זה רווח אדיר".



# בהוצאה לאור

## אסופות כתבים עבריים מימי הביניים

כרך ג: כתב אשכנזי

בעריכת עדנה אנגל ומלאכי בית־אריה

הסדרה "אסופות כתבים עבריים מימי הביניים" היא מפירות מפעל פלאוגרפיה העברית של האקדמיה. הסדרה מתעדת ומתארת טיפוסים של כתיבות עבריות על פי מבחר של כתבי יד שמצוינים בהם תאריכים, שנבחרו מתוך אלפי כתבי היד שתועדו ונחקרו במאתיים ספריות ברחבי העולם, ומיינת אותם על פי אזורים וזמנים. סדרה זו משמשת כלי השוואתי לזיהוי טיפוסים כתיבות ולאומדן זמנם של כתבי יד ללא ציון תאריך. הכרך הראשון בסדרה עסק בכתב המזרחי ובכתב התימני; הכרך השני - בכתב הספרדי; כעת יצא לאור הכרך השלישי בסדרה, העוסק בכתב האשכנזי - כתב הספר העברי ששימש למן הרבע האחרון של המאה השתיים־עשרה לפחות באזורי גרמניה ושכנותיה, בצפון צרפת ומרכזה ובאנגליה, ומשלהי המאה הארבע־עשרה גם בצפון איטליה, שלשם היגרו יהודים מאזורי גרמניה ושם גם התיישבו יהודים מצרפת לאחר שגורשו ממנה.



ספרי הסדרה כוללים מבחר מגוון של כתבי יד, המוצגים במפתחים שבכל אחד מהם תמונה של עמוד לדוגמה מכתב היד, ככל האפשר בגודל אמיתי, ומולה טבלה מסורטטת של מגוון צורות האותיות המופיעות בכתב היד הזה (לאו דווקא בעמוד המובא לדוגמה). בצד הטבלה מובאים פרטים על כתב היד - זמן כתיבתו, מקום כתיבתו, סוג הכתב, שם הסופר, יעד ההעתקה, תוכן כתב היד בקיצור, הערות העורכים ומראה מקום לעמוד המוצג.

הספרים בתבנית גדולה ומהודרת. הכרך השלישי הוא דו־לשוני בעברית ובאנגלית.

תשע"ז/2017. 504 עמודים. 24 x 34 ס"מ. כריכת בד.

*Dynamics of Continuity, Patterns of Change*  
*Between World History and Comparative Historical Sociology*

In memory of Shmuel Noah Eisenstadt

ed. **Benjamin Z. Kedar, Ilana Friedrich Silber, Adam Klin-Oron**

הקובץ יצא לאור בהוצאה משותפת של האקדמיה ומכון ון ליר בירושלים. מובאים בו מאמרים המבוססים על הרצאות שנישאו בסדנה מטעם האקדמיה ומכון ון ליר לזכרו של פרופ' שמואל נח אייזנשטדט ועל ערב העיון לזכרו שהיה באקדמיה במלאת שנה למותו. הקובץ באנגלית.

**תוכן העניינים**

*Benjamin Z. Kedar*

On Shmuel Noah Eisenstadt: Opening Remarks

*Irit Meir*

On a Personal Note – My Father

*Björn Wittrock*

A Contemporary Classic: Shmuel Noah Eisenstadt's Research Program and Its Contexts

*Wolfgang Knöbl*

Confronting World/Global History with Eisenstadt's Civilizational Analysis: Promises and Problems

*Benjamin Z. Kedar*

Cultural Persistence Despite Total Political Collapse: The Role of Elites

*Yuri Pines*

Post-imperial Emperors? Traditional Chinese Political Culture and Its Afterlife

*Elisabeth S. Clemens*

Dynamics of Nation-Building: Benevolence and Liberalism in American Political Development

*Luis Roniger*

Multiple Modernities, World History, and the Global Rise of Human Rights

*Gabriel Motzkin*

The Problem of Scale in Comparative History

*Yuval Noah Harari*

Does History Have a Direction?

S.N. Eisenstadt: List of Publications (compiled by B.Z. Kedar)

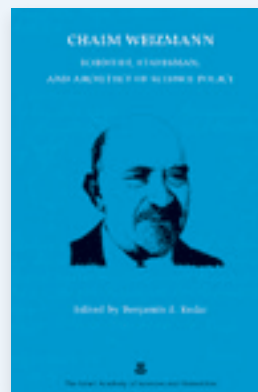
2017. 300 עמודים. 15 x 24 ס"מ. כריכת בד.

## Chaim Weizmann

*Scientist, Statesman, and Architect of Science Policy*

Ed. Benjamin Z. Kedar

הספר הוא תרגום לאנגלית של הכרך "חיים וייצמן: המדען, המדינאי ומדינאי-המדע" שיצא לאור בעברית בהוצאת האקדמיה בשנת תשע"ה (2015). נכללים בו מאמרים המבוססים על הרצאות שנישאו בכינוס לציון שישים שנה למותו של וייצמן שקיימה האקדמיה בינואר 2013. כמו כן מובאים בספר 33 תצלומים.



### תוכן העניינים

#### *Benjamin Z. Kedar*

Introduction: Chaim Weizmann, Scientist and Statesman

#### *Joshua Jortner*

Weizmann's Organic Chemistry in Academia and Industry

#### *Shaul Katz*

Weizmann's Science Policy

- I. Weizmann the Scientist: The Early Period
- II. The University Plans, 1902–1925
- III. From Jerusalem to Rehovot, from a Research and Teaching University to Research Institutes

#### *Hedva Ben-Israel*

Weizmann and the Hebrew University

#### *Issachar Unna*

Wealth or Genius? The Struggle of Weizmann and Einstein for Academic Excellence at the Hebrew University

#### *Ruth Arnon*

The Weizmann Institute of Science: A Living Memorial to the Founder of Scientific Research in Israel

#### *Benjamin Z. Kedar*

The Description of Weizmann's First Encounter with Balfour, 1906: Legendary or Factual?

#### *Shlomo Avineri*

Weizmann: The Making of a Statesman

**Shulamit Volkov**

Weizmann and His Scientific Colleagues in Germany: Competitors and Standard-Bearers

**Benny Morris**

Weizmann and the Arabs

**Raphael Mechoulam**

Weizmann: Applied Science and Patents

**Raphael Lamed and Edward A. Bayer**

Discovery of the Cellulosome: In the Footsteps of Weizmann's Vision for Biofuels

Chaim Weizmann: List of Scientific Publications

*compiled by Benjamin Z. Kedar*

Chaim Weizmann: List of Patents

*compiled by Yigal Burstein*

Unpublished Passages on Science in the Drafts of Weizmann's Autobiography,

*Trial and Error*

Illustrations



2017. 340 עמודים. 15 x 24 ס"מ. כריכה קשה.



## ספרים חדשים מאת חברי האקדמיה

**משה בריאשר**, חקרי מערב, עיונים בלשונות ובמסורות, באורחות חיים בתעודות של יהודי המגרב, ניו הייבן: התכנית למדעי היהדות באוניברסיטת ייל בשיתוף עם המרכז ללשונות היהודים וספריותיהם האוניברסיטה העברית בירושלים, 2017.

**ישראל ברטל**, ירושלים לדורותיה: בין התחדשות לשמרנות: ירושלים בשלהי התקופה העות'מאנית, מהדורה שנייה מורחבת ומעודכנת, רעננה: האוניברסיטה הפתוחה, תשע"ז.

**אהרן ברק**, עיונים חוקתיים, מבחר כתבים, ג, צפיריים: נבו, 2017.

**אהרן ברק**, על בית המשפט העליון ושופטיו, מבחר כתבים, ד, צפיריים: נבו, 2017.

**אברהם גרוסמן**, תמורות בחברה היהודית בימי הביניים, ירושלים: מוסד ביאליק, 2017.

**אבנר הולצמן**, עד הלום: תחנות בספרות העברית, ירושלים: כרמל, תשע"ו, 615 עמודים.

**אבנר הולצמן** (עורך), כתבי מיכה יוסף ברדיצ'בסקי, כתבים, יג, מאמרים 1909-1913, בני ברק: הקיבוץ המאוחד בשיתוף עם בית שלום עליכם, 2016, 319 עמודים.



**Moshe Halbertal**, *The Beginning of Politics: Power in the Biblical Book of Samuel* (co-authored with Stephen Holmes), New Jersey: Princeton University Press, 2017.

**Avner Holtzman**, *Hayim Nahman Bialik: Poet of Hebrew*, New Haven and London: Yale University Press (Jewish Lives Series), 2017, 250 + VIII pp.

Shahar Arzi and **Moshe Idel**, *Der Dibbuk im Gehirn: Kabbala und Neurowissenschaft*, trs. E-M. Thimme and J. Schroeder, Berlin: Jüdischer verlag im Suhrkamp, 2016.

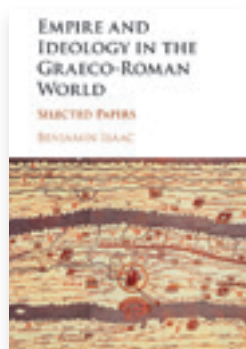
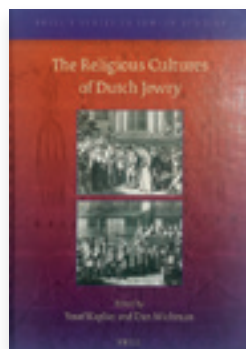
**Moshe Idel**, *Estudios sobre la cabala en Cataluña*, tr. X. Guerrero, Barcelona: Alpha Decay, 2017.

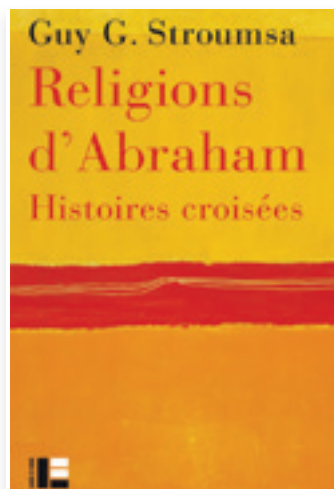
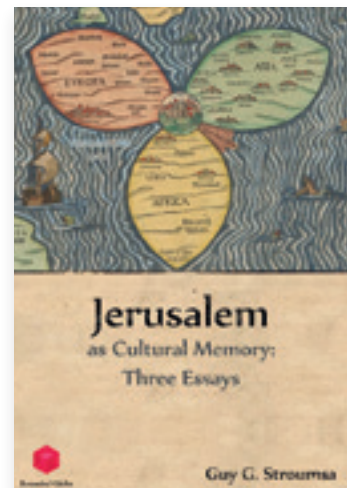
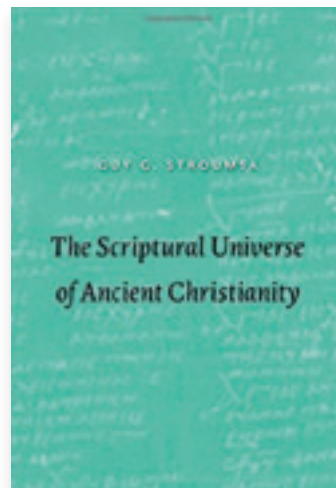
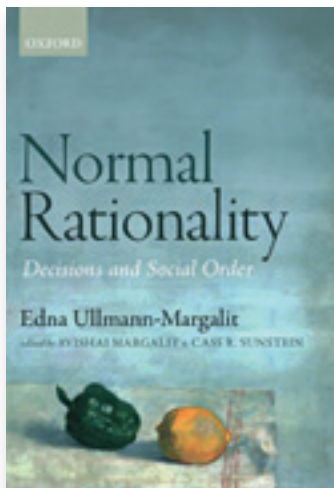
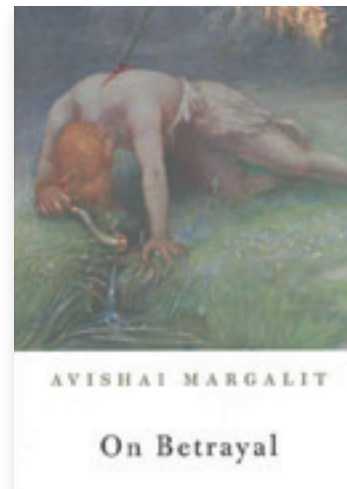
**Benjamin Isaac**, *Empire and Ideology in the Graeco-Roman World: Selected Papers*, Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

**Yosef Kaplan** and Dan Michman (eds.), *The Religious Cultures of Dutch Jewry*, Leiden-Boston: E.J. Brill, 2017, xxx + 368 pp.

**Yosef Kaplan** (ed.), *Early Modern Ethnic and Religious Communities in Exile*, Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, 2017, xiii + 383 pp.

Ruth Fine, **Yosef Kaplan**, Shimrit Peled and Yoav Rinon (eds.), *Eros, Family and Community*, Hildesheim, Zürich and New York: Georg Olms AG (forthcoming December 2017), 272 pp.







**James Kugel (Yaakov Kaduri)**, *The Great Shift: Encountering God in Biblical Times*, New York, NY: Houghton-Mifflin, 2017, 476 pp.

---

**Avishai Margalit**, *On Betrayal*, Cambridge, MA and London: Harvard University Press, 2017, p. 332.

---

Edna Ullmann-Margalit, *Normal Rationality: Decisions and Social Order*, **Avishai Margalit** and Cass R. Sunstein (eds), Oxford: Oxford University Press, 2017, p. 291.

---

**Guy Stroumsa**, *The Scriptural Universe of Ancient Christianity*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2016.

---

**Guy Stroumsa**, *Jerusalem as Cultural Memory: Three Essays* (Rounded Globe Publications Online; 2017).

---

**Guy Stroumsa**, *Religions d'Abraham: Histoires croisées*, Geneva: Labor et Fides, 2017.

---

**Guy Stroumsa**, Hagit Amirav and Emmanouela Grypeou (eds.), *Apocalypticism and Eschatology in Late Antiquity: Encounters in the Abrahamic Religions 6th–8th Centuries*, Turnhout: Peeters, 2017.

---

**Guy Stroumsa**, *The Making of the Abrahamic Religions in Late Antiquity*, Oxford and New York: Oxford University Press, 2015, Paperback edition 2017.

## רשימת חברי האקדמיה תשע"ח

### החטיבה למדעי הטבע

גיל קלעי	יהושע יורטנר	שפי גולדוסר	דוד הראל
עדי קמחי	יוסף ירדן	יורם גרונו	סגן הנשיאה
דוד קשדן	אלכסנדר לובוצקי	עמירם גרינוולד	איתמר וילנר
אלי קשת	יוסי לוייה	גדעון דגן	יו"ר החטיבה
מיכאל רבין	רפאל דוד לויין	ידין דודאי	עודד אברמסקי
מישל רבל	אלכסנדר לויצקי	מרדכי הייבלום	שמואל אגמון
אהרון רזין	אילון לינדנשטראוס	אהוד הרושובסקי	יקיר אהרונוב
גדעון רכבי	דוד מילשטיין	חיים הררי	אמנון אהרוני
מרדכי שגב	רפאל משולם	אברהם הרשקו	שמעון אולמן
יוסף שילה	אברהם ניצן	מאיר וילצ'יק	משה אורן
דן שכטמן	חיים סידר	דניאל ויס	יונינה אלדר
שהרן שלח	מיכאל סלע	יעקב זיו	נוגה אלון
שלמה שמאי (שיץ)	הלל פורסטנברג	ירון זילברברג	יוסף אמרי
עדי שמיר	דב פרוהמן	אורי זליגסון	רות ארנון
זאב תדמור	אהרן צ'חנובר	אילן חת	זליג אשחר
יגאל תלמי	יוסף קוסט	רשף טנא	צבי בן־אברהם
	יעקב קליין	עדה יונת	יוסף ברנשטיין

### החטיבה למדעי הרוח

מרדכי עקיבא פרידמן	חווה טורניאנסקי	איל בנבנישתי	נילי כהן
ב"ז קדר	מנחם יערי	יזאב בנימיני	נשיאה
איתן קולברג	יעקב כדורי	משה בריאשר	יוסף קפלן
אשר קוריאט	עמיחי מזר	ישראל ברטל	יו"ר החטיבה
יעקב קליין	בילי מלמן	רות ברמן	שלמה אבינירי
אריאל רובינשטיין	אבישי מרגלית	אהרן ברק	ישראל אומן
שלומית רמון־קינן	נדב נאמן	רות גביזון	משה אידל
יואל רק	רות נבו	נעמה גורן־ענבר	בנימין איזק
דוד שולמן	דוד נבון	אברהם גרוסמן	רוני אלנבלום
זאב שטרנהל	גדליה סטרומזה	אבנר הולצמן	יצחק אנגלרד
בן־עמי שילוני	אריאל פורת	משה הלברטל	יהודה באואר
דוד שמיידלר	מרגלית פינקלברג	אלחנן הלפמן	יורם בילו
שאול שקד	ישראל פינקלשטיין	דון הנדלמן	מיכל בירן
אריאל ששה־הלוי	אנדרו פלקס	סרג'יו הרט	מלאכי בית־אריה
	דניאל פרידמן	שלומית וולקוב	יהושע בלאו
	יוחנן פרידמן	עמנואל טוב	יעקב בלידשטיין



האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים  
المجمع الوطني الإسرائيلي للعلوم والآداب  
THE ISRAEL ACADEMY OF SCIENCES AND HUMANITIES



רחוב ז'בוטינסקי 43, כיכר אלברט איינשטיין, ירושלים מיקוד 9104001  
טל' 02-5676222, פקס' 02-5666059, דוא"ל avital@academy.ac.il



[www.academy.ac.il](http://www.academy.ac.il)