



# AJES Journal

כתב עת רב תחומי להנדסה ומדע

# אפקה - כתב עת להנדסה ומדע

גיליון שני, אוקטובר 2020

**Afeka Journal of Engineering and Science**

Second Issue, October 2020

[ajes@afeka.ac.il](mailto:ajes@afeka.ac.il)

עורך ראשי: ד"ר קותי שוהם

עורך מדעי: ד"ר ירון כהן צמח

עורך לשוני: מר רן כהן

הופק ע"י מחלקת שיווק ותקשורת

אפקה המכללה האקדמית להנדסה

עיצוב העטיפה: יעל שומר

עימוד והבאה לדפוס: נילי אמיר שגיא

אפקה - המכללה האקדמית להנדסה בתל-אביב

רח' מבצע קדש 38 תל-אביב

[Afeka.ac.il](http://Afeka.ac.il)



## תוכן העניינים

5	דבר העורכים
7	דבר הנשיא
9	1. דורון אביטל ביסמרק עם אייפון: עידן התבונה לאן
21	2. עומר בק בסיעתא דשמיא: התעופה האזרחית תחת משבר הקורונה
27	3. רונן בר-אל קורונה, מדע ורגולציה - נקודת מבטו של כלכלן
33	4. שרון גבע בטון ופרחים: דימויה הציבורי של המהנדסת פרופ' רחל שלון
39	5. שרון גורדון המהפכות הטכנולוגיות של הכסף - איך למדנו לספור ולאהוב את המדינה
47	6. גלית ולנר הפילוסופיה של הטכנולוגיה הדיגיטלית
53	7. איציק יוסף סיפורו של שעון: איך גילו שכדור הארץ מאט את קצב סיבובו
61	8. עידן מיליצ'ר טכנולוגיה, מיניות וטיפול מיני מקוון
69	9. יוסי רוזנוקס וארנון בנטור גילוי דעת: חינוך מהנדסים במאה ה-21
75	10. גבי שפט חשיבה ביקורתית ויצירתיות בלימודי הנדסה



## דבר העורכים

קוראים יקרים,

משבר הקורונה פרץ אל תוך ההוויה הישראלית באביב תש"פ ושינה את חיינו באחת. מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל עברה להוראה מקוונת תוך ימים ספורים והתאימה את אופי הלימודים לדרישות הריחוק החברתי. המהלך דרש גמישות מחשבתית, התארגנות טכנולוגית, פיתוח שיטות הוראה, פיתוח אמצעי הערכת הישגים ועוד. אנו חושבים שהצלחתה של האקדמיה בישראל ראויה לכל שבח, לאור התמודדותה האיכותית עם המציאות המורכבת שנכפתה עלינו. זו מעידה על בעיקר על איכותם של אנשי הסגל האקדמי והמנהלי במכללות ובאוניברסיטאות ברחבי הארץ.

המאמרים הממלאים את הגיליון השני של כתב העת הרב תחומי "אפקה" נכתבו בזמן משבר הקורונה. חלקם משקפים את ההשפעות של המשבר בתחומים שונים שההנדסה משמשת בהם גורם ישיר. כך, לדוגמה, פרופ' יוסי רוזנוקס ופרופ' ארנון בנטור כותבים על השינוי הצפוי והנדרש בהכשרת מהנדסים בשנים הקרובות. קברניט עומר בק כותב על ההתמודדות של ענף התעופה האזרחית עם המשבר החמור ביותר שעובר על חברות התעופה מאז הקמתן. ד"ר עידן מיליצ'ר מספר על האופן שבו טיפולים פסיכולוגיים, ובמיוחד טיפולים בתחום המיני, מתבצעים בעזרת אמצעים מקוונים. ד"ר רונן בר-אל דן בשאלת יעילות הפרדת רשויות הפיקוח על תרופות וחיסונים, על רקע המרוץ למציאת חיסון ל-Covid-19.

נראה שבאופן בלתי נמנע, המרחב האסוציאטיבי החדש שלנו משפיע על האופן שבו אנו קוראים את שאר המאמרים המופיעים בגיליון. לדוגמה, ד"ר איציק יוסף מדבר על הצורך בתיאוריות סיבתיות בניגוד למודלים סטטיסטיים כדי לספק תחזיות מדויקות לגבי העתיד. ד"ר גבי שפט מדגיש את חשיבותם של חשיבה ביקורתית ויצירתית ולימוד עצמי בעולם ההנדסה. ד"ר דורון אביטל כותב על תופעת טראמפ כנקודת יחוס לבחינת הסדר הליבראלי של "עולם שטוח". ד"ר שרון גבע מדברת על נשים בעולם ההנדסה דרך הסיפור של רחל שלון, שהייתה האישה הראשונה שהגיעה לדרגת פרופסור בטכניון. ד"ר שרון גורדון מראה כיצד התפתחות הכסף נוצרה באמצעות מהפכות טכנולוגיות. ד"ר גלית ולנר חושפת את התהליך שכולנו חווים ובו הטכנולוגיה מתחילה לכוון את המשתמשים ולא המשתמשים את הטכנולוגיה.

אנו בפתחה של שנה אקדמית חדשה, שנת תשפ"א. הגל השני של המגפה מכה בישראל ובמדינות שונות בעולם, ועל אף שמדי פעם אנו מתבשרים על התקדמות במציאת חיסון לנגיף נראה כי יחלוף עוד זמן לא מועט עד שנעבור את המשבר. יחד עם הקושי, המורכבות והסבל של בני אדם ברחבי העולם ובישראל, המשבר שאנו חווים אילץ את כולנו לחשוב מחדש על חיינו ולפעול באופן יצירתי כדי לצלוח אותו. זוהי שעתה היפה של האקדמיה הישראלית.

קריאה נעימה

ד"ר קותי שוהם - עורך ראשי

ד"ר ירון כהן צמח - עורך מדעי

מר רן כהן - עורך לשוני



## דברי פתיחה

אני שמח וגאה לכתוב דברי ברכה לגיליון השני של כתב העת להנדסה ומדעים של מכללת אפקה.

המהנדסות והמהנדסים הישראלים הם סוד כוחה האמיתי של התעשייה הישראלית, ובפרט של תעשיית ההיי־טק. כדי שמדינת ישראל תוכל לשמר את מעמדה הבין־לאומי בתחום, לפתח את הכלכלה ולהמשיך להרחיב את הענף, היא זקוקה למהנדסים מצוינים שימשיכו לעמוד בחזית המחקר והפיתוח של טכנולוגיות מתקדמות. משבר הקורונה הפוקד אותנו הוכיח לעולם עד כמה חיוניים מהנדסים להתמודדות עם אירועים מורכבים כמו מגפות - ולעיתים הם אף מצילים חיים.

כמי שמחנכים את הדור הבא של המהנדסים, מוטלת על כתפינו אחריות להתפתחותם האישית והמקצועית של כל אחד ואחת מהסטודנטים והסטודנטיות שלנו. נוסף על ידע מדעי והנדסי עדכני נדרשים בוגרי לימודי ההנדסה האקדמיים להפגין כישורים אישיים כמו עבודה בצוות רבת־חומי, יכולת תקשורת אפקטיבית, למידה עצמית, חשיבה ביקורתית ויצירתיות. באפקה אנו מציידים את בוגרינו בכישורים הנדרשים להם להצלחה מקצועית, להשתלבות בתפקידי מפתח בתעשייה, לפיתוח המחקר המדעי ולצמיחה כפרטים התורמים לחברה האנושית.

ההבנה כי למהנדסים השפעה מכרעת על התפתחות חיינו על פני הגלובוס, לצד ההבנה כי בעידן המודרני נדרשים מהנדסים להפגין גם כישורים חיוניים ולא רק ידע, הובילו אותנו זה מכבר ליצור שינוי עמוק וחוצה־ארגון בתהליכי ההכשרה והחינוך של הסטודנטים באפקה. אפשר לראות זאת בין היתר בתוכניות הלימודים, בפדגוגיה בכיתות, בפעילויות שמחוץ לתוכנית הלימודים, במרחבים הפיזיים של הקמפוס, בקשר שאנו מטפחים עם התעשייה שמעסיקה את הבוגרים שלנו ובדיאלוג שאנו מקיימים עם מערכת החינוך שממנה מגיעים אלינו הסטודנטים בתחילת דרכם האקדמית.

משבר הקורונה איים לשבש את החיים האקדמיים בישראל ובעולם כולו, אך הוא יכול לשמש גם הזדמנות לצמיחה ולהתפתחות. בתחילת המשבר נאלצנו לעבור בן־לילה להוראה מרחוק, כמו מוסדות אקדמיים רבים ברחבי העולם, אך החלטנו שאיננו "מעתיקים" את חוויית הלמידה בכיתה למרחב המקוון. הבנו שהתמודדות מוצלחת עם המשבר מחייבת אותנו לפתח חוויית למידה מקורית וייחודית המשלבת בין הוראה מקוונת ופרונטלית והוראה סינכרונית וא-סינכרונית. כך נולדה הפדגוגיה החדשה שאנו מיישמים היום באפקה.

אם כן, תפיסת החינוך של מהנדסים באפקה השתלבה היטב עם היכולת שלנו להתמודד עם המשבר, ואף אפשר לומר שכעת אנו נמצאים בעיצומם של תהליכים שישפיעו על אפקה לשנים ארוכות. המשימה העיקרית שלנו - לחנך מהנדסים מצוינים בעלי הידע והכישורים הנדרשים בעולם המודרני - תמשיך לעמוד איתנה לנגד עינינו, ואנו נמשיך לראות בכל אתגר הזדמנות להתפתחות וצמיחה. אנו כבר משקיעים מאמצים להכין את עצמנו ליום שאחרי המשבר, כדי שהייחודיות שלנו כמוסד אקדמי צופה פני עתיד תישמר ותתחזק.

השנה, שנת תשפ"א, חוגגת מכללת אפקה את שנתה ה־25. במהלך השנים שחלפו מאז היווסדה בנינו מוסד לחינוך מהנדסים ייחודי, איכותי, גדול ושוקק, שזוכה למעמד אקדמי ולאומי מכובד. מכללת אפקה פעלה ופועלת לחינוך מהנדסים מצוינים ולהרחבת הידע המדעי וההנדסי, ואנשיה חדורי שליחות אקדמית, חינוכית ואנושית, נכונים לעמוד מול אתגרים ולהתמודד עם שינויים. במהלך שנה"ל תשפ"א נוסף לעמול על שימור ההווי הייחודי לאפקה ונעודד חיי קמפוס תוססים ועדכניים המותאמים למגבלות התקופה. הניסיון שרכשנו בהוראה ולמידה מרחוק יסייע לנו לגבש שיטות פדגוגיות עדכניות המשלבות הוראה פרונטלית ומקוונת ולפתח הוראה אקדמית מעוררת סקרנות, מקנה מוטיבציה ומעודדת דיון אינטראקטיבי ולמידה עצמית, כזו שתתרום לרצונם של הסטודנטים להפוך למהנדסים שמשנים עולם.



בכל תהליך של התפתחות וצמיחה קיומו של שיח רב־תחומי ער הוא חיוני. אין דרך נכונה אחת לחינוך מהנדסים, ובתקופה כזו, שבה חוסר הוודאות כמעט מוחלט, החלפת דעות - בין אנשי אקדמיה וחינוך, סטודנטים ועובדים בתעשייה - כל אחד עם תרומתו והשקפת עולמו - חשובה יותר מתמיד.

זהו גם הבסיס לכתב העת שאנו מוציאים לאור כאן באפקה. כתב העת הוא ערוץ שמקנה לנו הזדמנות להחליף דעות זה עם זה ולשתף אחרים בניסיון שלנו. הוצאתו לאור אינה רק הישג בעל משמעות אקדמית עבור המכללה, אלא גם הישג בעל משמעות אישית לכל השותפים לעשייתו ולכל מי שהשקיעו מאמצים בחקר ובכתיבה גם בשנה כה מורכבת ושונה.

תודתי נתונה לכותבים ולעוסקים במלאכה.

קריאה מהנה ומשכילה,

פרופ' עמי מויאל

נשיא

אפקה - מכללה האקדמית להנדסה בתל אביב

# ביסמורק עם אייפון: עידן התבונה לאן

דורון אביטל

דורון אביטל הוא בעל תואר דוקטור בלוגיקה ופילוסופיה מאוניברסיטת קולומביה בניו יורק (4002). הוא החזיק בכמה תפקידי מפתח במודיעין הצבאי, קריירה שהגיעה לשיאה במינויו למפקד יחידת העלית המובחרת ביותר של צה"ל (4991-2991). ד"ר אביטל עמד בראש בית הספר לניהול הייטק ע"ש ג'ורג' לכן באוניברסיטת תל אביב, וייסד את מכון BRM לטכנולוגיה וחברה בפקולטה לניהול. לאחר מכן עמד בראש הספרייה הלאומית באוניברסיטה העברית ירושלים, וייעץ לקרן ההון סיכון אברג'ין. בבחירות 9002 הצטרף ד"ר אביטל לפוליטיקה כחלק ממפלגת קדימה, ושירת כחבר כנסת, כחבר בוועדת החוץ והביטחון ובוועדת החוקה והבייל את משלחת הכנסת למועצה האירופית. ד"ר אביטל חיבר את הספר "לוגיקה בפעולה" (כינרת זמורה ביתן, 2102).

**מאמר זה מנתח את "תופעת טראמפ" כנקודת ייחוס לבחינה של מהלך היסטורי כולל שעיקרו מתקפה חובקת עולם נגד הסדר הליברלי של "עולם שטוח". המהלך מקבל משנה תוקף כיום עם מגפת הקורונה והשלכותיה הגלובליות. הייחודיות של המהלך הנפרש במאמר זה היא הבחינה שלו דרך הפריזמה של הדיון בלוגיקה ובשפה שעמד במרכז סיפורה של הפילוסופיה האנליטית של המאה העשרים. שם ניטעו הזרעים שמהדהדים במשבר הפוליטי והכלכלי של מינונו ושהביאו לבסוף לקריסתו של הסדר הליברלי הישן.**

## עידן התבונה לאן<sup>1</sup>

היבחרו של דונאלד טראמפ לנשיאות ארצות הברית נתפס על ידי החוגים הליברליים במערב - האליטות האינטלקטואליות וגם חלקים נרחבים של האליטות הפיננסיות ולבטח במנועי הצמיחה של ההייטק ושל מהפכת המידע והתקשורת - כמתקפה על ההיגיון המכונן של עידן התבונה והמודרניות. תומס פרידמן ב"ניו יורק טיימס", נציג מוביל של הציטיגייסט הליברלי, תיאר זאת כ"מתקפה על האמת ועל המדע". שימו לב: הבחירה בטראמפ אינה נתפסת כבחירה בחלופה פוליטית אלא מתקפה על מושגים האמורים כביכול להיות חפים ממשמעות "פוליטית", קרי, אמת ומדע.

ואכן, ה"ניו יורק טיימס", עיתון המייצג אצל האליטות של המערב הלוחך רוח כללי ומוביל, התייצב במאמרי המערכת והדעות שלו כאפוזיציה פוליטית ואינטלקטואלית למה שניתן לכנות "תופעת טראמפ": תגובת-נגד עולמית רחבה להיגיון של כוחות הגלובליזציה. העיתון מזהה למעשה את היגיון הגלובליזציה, פוליטי וגיאופוליטי כאחד - הגיונו של "עולם שטוח"<sup>2</sup> - עם קול ההיגיון של עידן התבונה (the voice of reason). לפי קו מחשבה זה, תופעת טראמפ מייצגת מתקפה על הרציונליות, על האמת, על המדע ועל העובדות - כפי שמושגים אלה נוסחו ועוצבו החל בעמנואל קאנט, אם להזכיר את אחד מהענקים המכוננים של פרויקט הנאורות.

1. המאמר הזה מבוסס על עבודת מחקר שכתבתי כעמית מחקר של בית הספר לפוליטיקה וממשל באוניברסיטת תל אביב, בשנה האקדמית 2016-2017. תחילתו טרם בחירתו של טראמפ לנשיאות ארצות הברית וכתביכתי הסתיימה אחריה. המהלך המתואר במאמר מקבל משנה תוקף כעת עם מגפת הקורונה והשלכותיה ומבשר את סימונו של עידן הסדר הליברלי הישן של המחצית השנייה של המאה ה-20. השתמשתי בכותרת "ביסמורק עם אייפון" לתאר את הרוח של הזמנים החדשים. הקפדתי להשאיר את רוח הדברים כפי שהופיעו במאמר המקורי ולא לנסות את הטענה עם תובנות בדיעבד מתוך האירועים של ימינו אנו, להוציא אולי הערת ביניים כזו או אחרת (שתסומן בכוכבית) שיכולה להאיר כיצד מה שנכתב במאמר המקורי תורם את המהלכים הדומטיים הנפרשים כעת אל מול עינינו.

2. "עולם שטוח" מושג שטבע פרידמן בספרו "העולם הוא שטוח" (2005) שבו הוא מבשר עידן חדש של גאופוליטיקה שיתופית המונעת על ידי מהפכת האינפורמציה והטכנולוגיה המתקדמת. הגיונו של העולם השטוח הוא ההיגיון המאיים כעת מאז משבר 2008, והמחייב רבייה ומחשבה מחודשת.

מאמר אחד, שפורסם ב"ניו יורק טיימס" ב-27 בפברואר, 2017 ושמו "מהממה את הקו הזה הוא של דיוויד ברוקס. כותרתו היא: "פרויקט הנאורות או עידן התבונה". המאמר שואב תובנות מעבודתו של צ'ארלס הייל, מרצה מאוניברסיטת ייל. המהלך במאמר הוא פשוט וסכמטי. אני מאמין שלא נחטא לו אם נפרק אותו באופן הפשטני הבא:

- 1.1 פרויקט הנאורות יצר את העולם המודרני
- 1.2 העולם המודרני הוא סיפור הצלחה במדע ובטכנולוגיה
- 1.3 העולם המודרני, באמצעות הפרקטיקה ומוסדותיו הפוליטיים, חותר לקדמה מוסרית
- 1.4 בבסיס ההצלחה נמצא מרד בסמכות כמקור ידע והחלפתה בתבונה הארוגה לכללים
- 1.5 המוסדות הפוליטיים המודרניים, באנלוגיה, בנויים על שלטון חוק או על כללים
- 1.6 הצלחת המודרניות היא תוצאה של הגעה לאמת על דרך של חקירה מדעית מבוססת עובדות וספקנות בריאה
- 1.7 וכן, על מקסימום שיתופיות גלובלית בדרך ליישוב סכסוכים באופן רציונלי ולא-אליים
- 1.8 פרויקט הנאורות מותקף ברחבי העולם על ידי אישים כמו טראמפ ופוטין ועל ידי החלטות כמו הברקזיט
- 1.9 המתקפה מאיימת להחליף את הרציונליות המדעית והלא-אישית - כמו גם את הכבוד לכללים ולמוסדות המאפיינים את פרויקט הנאורות - בהכרעות שמקורן באינסטינקטים הבריאים של אנשים פשוטים, תודעת העומק של האומה או יחידים סמכותיים בהנהגה כמייצגים של העם ושל רוחו
- 1.10 פרויקט הנאורות הותקף גם בעבר. עתה עלינו להילחם ולהשיב אותו על כנו

מאמרו של ברוקס מייצג הלוך רוח שליט באליטות במערב. מאז בחירתו של טראמפ, אופנתי לומר שמדובר בסימום של עידן התבונה. וזאת, אם על דרך של חרדה, כאב, או השלמה, אם, אצל המתנגדים, על דרך של שמחה גלויה ואם, כמו אצל ברוקס, בקריאה להשבת הסדר של הנאורות על כנו: קריאת קרב להחזרת הסדר הישן.

מה שאנו נטען פה הוא כי נדרשת למעשה בחינה מחודשת של ההיגיון הפוליטי והגיאופוליטי של הנאורות. נדרשת נאורות חדשה המודעת לכשליה של זו ששלטה עד כה, כשלים שקיבלו משנה תוקף בפרק של המודרניות, במאה ה-20 ובמחציתה השנייה, עם ההאצה של מהפכת התקשורת של סוף המאה ה-20 ותחילת המאה ה-21.

לביקורת על כשליה של הנאורות יש כמובן רקע פילוסופי עשיר המופיע בדרך כלל תחת הכותרת של מחשבה "פוסט-מודרנית". קול חשוב ומרכזי במחשבה הזו הוא כמובן של מישל פוקו. מושג מרכזי מוביל בהגותו הוא "ההיסטוריה של ההווה". במובן עמוק, מה שננסה לעשות פה הוא להתבונן אל תוך הלוגיקה של ההיסטוריה של ההווה הפוליטי הנוכחי. אמת, מרבית החקירה המתייחסת להווה הפוליטי של זמננו ולעוצמתם של הכוחות הנלחמים ב"היגיון השטוח" של הגלובליזציה, מתרכזת באופן טבעי ברקע הכלכלי-חברתי של התופעה: עלייתו של הקפיטליזם הפיננסי שבו שורת הרווח מאפילה על שורת הערך, משבר 2008 ואי השוויון המאמיר, התואם המתערער בין השפה האתית העשירה שהיא all inclusive למציאות הכלכלית של "רצפת הייצור"; זו המודרת מכוח פיננסי ופוליטי, וכעת, באמצעות דמויות כמו זו של טראמפ, מורדת באליטה השלטת ובשפתה, כמו למשל בשפת "זכויות אדם".

לוגיקת הנאורות, אם נמשיך בקו הזה של האליטה השלטת, אינה נתפסת יותר ככוח משחרר של תבונה המורדת בסמכות, אלא כדיכוי פוליטי וכלכלי השואב את כוחו בדיוק מאותה לוגיקה גלובלית "שטוחה". למשל, מודלים תורת-משחקיים של כלכלה, העשויים לתרץ מצב עניינים של אי-שוויון זועק לשמיים בחלוקת המשאבים כנקודת שיווי משקל כלכלית הכרחית, משל הייתה חוק טבע.

### עידן התבונה: "הדיבור החדש"

אנחנו נבחר פה לבקר את הנושא על הפרק דרך זווית חדשה: זו של הדיון הלוגי-פילוסופי של הפילוסופיה האנגליטית של המאה ה-20. מושא החקירה המרכזי של הדיון בפילוסופיה האנגליטית הוא הדיון במשמעות: מה ניתן לומר על המשמעות של ביטויי השפה? איזו הבניה של השפה ושל הלוגיקה שלה נדרשים כדי להבטיח הבנה ולמנוע כשלי תקשורת? זהו דיון שמושאי החקירה שלו הם שפה ולוגיקה - הלוגיקה מופיעה פה בתפקיד של דקדוק על-שפתי - וממנו נגזר באופן טבעי גם הדיון באמת ובעובדות: כי הרי מהי אמת עובדתית אליבא הפילוסופיה האנגליטית של המאה ה-20 אם לא מימוש במציאות של התחייבות-משמעות הניתנת בשפה?

הדיון הזה בלוגיקה, בשפה, באמת ובעובדות, נעשה מורכב ומתעתע יותר ויותר ככל שבוחנים אותו מקרוב. הוא מופיע לפתע בעוצמה בקדמת הבמה הפוליטית, ודאי עם תחילת כהונתו של טראמפ. מהן עובדות ומהן עובדות אלטרנטיביות? מהו ניזוז ומהו פייק ניזוז? מי נמצא - באנלוגיה להדפסת כסף או הטבעה של מטבעות - בפוזיציה של סמכות להטביע עובדות? איזו התחייבות-משמעות למשל עשויה להסתתר מאחורי הבטחת הבחירות הנודעת של טראמפ לבנות חומה בגבול מקסיקו-ארצות הברית?

אין זה פלא אפוא שבחודשים שאחרי היבחרו של טראמפ, הספר שעולה לראש טבלאות המכירות הוא "1984", מאת ג'ורג' אורוול, ואיתו הרעיון של תחשיב שפה חדש, "ניו-ספיק", או "הדיבור החדש" המחייב כעת את האזרחים ושבו משוכנות מחדש המשמעויות הישנות כך שהן מסונכרנות באופן מלא עם כוונות השלטון של "האח הגדול". אלא שמבט מעמיק יותר על ההיגיון המכונן שעומד מאחורי "הדיבור החדש" חייב ליצור בנו אי-נוחות קלה ולהעלות את השאלה הבאה: האם שפת התקינות הפוליטית, שפתו של העולם הגלובלי והשטוח, אינה נמצאת בתואם מלא יותר עם רעיון "הדיבור החדש" מאשר שפתו המתגלגלת, האינסטינקטיבית וחסרת האחריות פעמים רבות כל כך של טראמפ עצמו, ובאופן כללי של מתנגדי "ההיגיון השטוח"?

הנה, למשל, הסבר לגבי הרציונל ולגבי התקוות שמאחורי מהפיכת "הדיבור החדש", הישר מדפי "1984":

אם כך, המהפכה תושלם רק כאשר השפה תהיה מושלמת?

[כן], הסוד הוא לעבור מתרגום למחשבה ישירה, לתגובה אוטומטית.<sup>3</sup>

מן הידועות היא שבמרוץ שבין ברק אובמה להילארי קלינטון בדרך למועמדות של המפלגה הדמוקרטית לנשיאות ב-2008, הייתה זו קלינטון שבסרטון יוטיוב ויראלי נפלא, שזכה למיליוני צפיות, הוצגה כאח הגדול המכתיב שפה מושלמת; שפה שבה המחיצות שבין תרגום למחשבה ישירה ולתגובה אוטומטית, נופלות זו אחר זו. השפה "המושלמת" שאותה דוברת קלינטון נתפסת בסרטון זה לא כשפה משחררת, מונעת כשלי תקשורת או משרתת את צורכי העם, אלא כשפה של דיכוי. בסרטון המעוצב על גבי סרטון פרסומת של אפל מ-1984, העם הלבוש במדי אסירים משתחרר משליטתה של השפה הדכאנית, המושלמת (אך הריקה) של קלינטון המופיעה בתפקיד האח הגדול, ואנחנו למדים שבחירת אובמה תבטיח ש-2008 לא תהיה 1984.

3. מותן "1984", השואל הוא גיבור הספר העמית העונה לו הוא חבר בוועדת "הדיבור החדש". הוא משתף את הגיבור בהתלהבותו מיצירת המילון החדש, תחשיב שפה חדש ומעודק, המטונכך כעת עם המדע הערכני ועם רוחה של החברה הטוטליטרית הנשלטת על ידי "האח הגדול".

אז מיהו "האח הגדול" ומהו הדיבור החדש, הדכאני? האם מדובר בעצם בבירוקרטיית הדיבור החדש של התקינות הפוליטית ושל ההיגיון השטוח של כוחות הגלובליזציה? ברוחו של קארל מרקס, שלפיו שולטת בעולם "קונספירציה ללא קונספירטור", עשויה בירוקרטיית הדיבור החדש של התקינות הפוליטית להיתפס כמנגנון דכאני, אולי ללא "אח גדול", אך כזו המפוקחת על ידי "פקידות בכירה" של מומחי משמעות וצנזורים של שפה; כשאלה פועלים גם בשירות אושיות ומטרות כלכליות: אינטרסים של אנשי עסקים גלובליים, כותבי טורים ב"ניו יורק טיימס", תפקידים עתירי פנסיה באקדמיות המערביות, כלכלנים של הבנק העולמי, ממלאי תפקידים בארגוני זכויות אדם בינלאומיים - חוג האנשים שאותו ניתן לשים תחת הכותרת של התכנסות דאבוס היוקרתית. לחלופין, האם הדיבור החדש של "אחים גדולים" ליטרליים יותר, בדמותם של מנהיגים סמכותיים או סמכותניים המעצבים שפה ומציאות, עובדות ועובדות אלטרנטיביות, כרצונם ולפי מטרותיהם הלוקליות והמשתנות - הוא המתאים יותר כאנלוגיה לספרו של אורוול?

מה שנקרא כעת מחדש לדיון, לכן, הוא שאלות יסוד של שפה, של משמעות, של אמת ושל עובדות - של הסוגייה היסודית ביותר אולי של עצם ההיתכנות של משמעות ליטרלית. אלא שהפעם הדיון הלוגי-פורמלי הזה מקבל תפנית פוליטית וגיאו-פוליטית דרמטית. הנה, למשל, מיד עם היבחרו של טראמפ מיהר ריינס פרייבוס, ראש הסגל של הבית הלבן לשעבר, להעמיד את ההבחנה בין מי ששפתו היא דיבור ליטרלי - כן, כנראה, לתפיסתו מדבר האויב הליברלי - לבין מי שמדבר ברצינות, כפי שנשיאו מדבר, לטעמו. דיבור ליטרלי הוא כזה שיש בו מחויבות הדוקה, מונחית כללים, אבל הוא ריק - ודכאני, קצת כמו מרכז תפוח - רומז פרייבוס. לדבר ברצינות, לעומת זאת, משמעו אולי להתייחס בקלילות לשלשלאות הלוגיות של מחויבות למשמעות ליטרלית ודווקא לכן להיות מסוגל לעשות שימוש רציני ואחראי בשפה, המכוון לפעולה פוליטית ממשית.

אין להמעיט בחשיבותה של ההבחנה האחרונה. היא מחקה הבחנה אחרת משמעותית ביותר, זו שבין הליטרלי לאמיתי, בין משהו שעונה ליטרלית להגדרות המושגיות של דבר לבין המפגש עם הדבר האמיתי. לאלה האמונים על הטריולוגיה של "המטריקס" בוודאי יזכיר הבדל זה את ההבדל שבין האומצה העסיסית שעליה מתענג סייפר - הבוגד בחבריו לטובת סוכני המטריקס - כשהוא יודע שהיא אמנם עונה להגדרות הטעם הליטרליות של אומצה בתפריט אך היא אינה הדבר האמיתי. סייפר מסכם את הדיון הקולינרי-פילוסופי הזה בהכרזה הידועה: בורות היא אושה.

### עידן התבונה: ויטגנשטיין ואשליית האידיאל

לטובת הדיון הזה נידרש ללודוויג ויטגנשטיין - אולי הגיבור האמיתי של הפילוסופיה האנליטית של המאה ה-20 (ויטגנשטיין מת בקיימברידג', אנגליה, ב-1951). במרכז עבודתו עומד מאבק הרואי נגד הפוזיטיביזם התקני שמושל בכיפה האינטלקטואלית של המערב. הדיון של ויטגנשטיין הוא בלוגיקה, בשפה, במשמעות, באמת ובעובדות. זהו דיון לוגי-פורמלי אבל בה-במידה זהו דיון בעל משמעות פוליטית אדירה. הכיצד יכול אם כך דיון לכאורה לוגי-פורמלי-טכני להחזיק את המפתח להבנת התמורות הפוליטיות המהפכניות שאנחנו דנים בהן?

במובן זה נהיה חייבים להודות שדיון לוגי-פילוסופי נוכח תמיד ברקע של תמורות פוליטיות משמעותיות. מבוכה לוגית הנעוצה במרקם החיים הפוליטיים של תקופה, סופה שהיא מהדהדת בצורת החיים של התקופה, משל הייתה תדר הרסני שיוריד בסיומו של יום את התקופה היסטורית על ברכיה, נכנעת בפני סופה ההכרחי. די שנהרהר בסיפור המיתולוגי על גילוי המספרים האי-רציונאליים. מדוע לפי המיתולוגיה נשמר הגילוי בסוד על ידי חברי האסכולה הפיתגוראית? הגילוי המפתיע חייב היה להיחווה על ידי מגליו כתקלה לוגית חריפה המאיימת לערער את יסודות הבניין האפיסטמי שעליו עמלו; יסוד מכונן של הבניין הוא הנחה שלפיה העולם ניתן לתיאור כיחסים בין מספרים טבעיים. התקלה הלוגית מהדהדת בעוצמה כה רבה שכן לפי הסיפור חבר האסכולה הפיתגוראית החושף את הגילוי, כנראה היפאסוס, נענש בשל כך על ידי האלים בטביעה. הסיפור מלמד לענייננו. לתוצאה השייכת לכאורה באופן בלבדי למרחב הלוגי-מתמטי יש משמעות פוליטית נרחבת המחייבת ענישה חסרת רחמים.

כך נמצא, יתברר, גם סיפורה של הלוגיקה של המאה העשרים על הפרדוקסים המכוננים שלה והאופן שבו סיפורה מדהדה בצורת החיים, פרקטיקה ופוליטיקה, של תרבות המערב הליברלית. מהו אם כן הפוזיטיביזם התקני וסיפורה של הלוגיקה במאה העשרים, מושאי הביקורת של ויטגנשטיין?

ובכן, בקיצור נמרץ, סיפורה של הלוגיקה במאה העשרים הוא הניסיון הפוזיטיביסטי לכפוף תחילה את המתמטיקה ובעקבותיה את השפה הטבעית למערכת עקבית וקשיחה של כללי משמעות, אם תרצו - מפעל של ביורוקרטיה סמנטית הדוקה, שתרגמו לבסוף לחיי המעשה היה הניסיון לכפוף את הפרקטיקה האנושית, כמו אפילו את האתיקה, למערכת מוצרנת היטב של כללים. המוטיבציה של מהלך התקינות המוצרנת של הפוזיטיביזם המודרני ברורה. זהו מהלך רפורמטיבי של תקינות בראי האידיאל: תקשורת ופרקטיקה הנחים על אדנים לוגיים מוצקים, חפים מכשליה המוכרים של השפה הטבעית והפרקטיקה האנושית המועדת באופן טבעי לטעויות.<sup>4</sup>

אנקדוטה היסטורית ידועה, שזכתה לביטוי בספר הקרוי "דוקרנו של ויטגנשטיין", מתעדת מפגש המתרחש בין ויטגנשטיין, דמות מטילת מורא בקיימברידג' של שנות המלחמה ואחריה, לבין פילוסוף המדע קרל פופר. במוקד הדיון: האם אכן ישנן בעיות פילוסופיות גדולות, טענה שכלפיה עמדתו של ויטגנשטיין היא מכוננת. בעיות פילוסופיות אינן אלא מבוכות לוגיות או מבוכים לשוניים חסרי מוצא - פסאודו-בעיות המתעוררות בשפתו של ויטגנשטיין כשהשפה "יוצאת לחופשה". פופר מחזיק בעמדה שלפיה הבעיות הפילוסופיות, אף אם אינן מדעיות, הן עדיין בעיות אמת הדורשות פתרון או תשובה אינפורמטיבית. ויטגנשטיין, לעומתו, חושב על התרתן של הבעיות כמבוכות לשוניות כפעולה אמנציפטרית המשחררת אותנו מאזיקה של תמונה הכופה עצמה על יכולתנו לראות את פני הדברים נכוחה ולפעול בהתאם. הרגע המכונן של הוויכוח הוא על אתיקה. מהלך ההצרנה הפוזיטיביסטי של השפה והפרקטיקה אינו עוצר כמוכך בגבולות האתיקה. ויטגנשטיין, שטען פעם כי לו היה ספר אתיקה - מסמך של אתיקה מוצרנת היטב כמערכת כללים - הייתה הספרייה שבו הספר ממקום עולה באש, מאתגר את פופר להמציא לו כלל אתי תוך שהוא אווז בצורה מאיימת בדקך הפחמים מהאח. פופר ממחר להשיב לאתגר ומציע את הכלל, "לא לאיים בדקך על מרצה אורח", וויטגנשטיין פורש בזעם ובטריקת דלת. קרל פופר אולי הפגין שנינות אבל החמיץ את העומק של הדיון ואת עיקר מתקפתו של ויטגנשטיין נגד הפוזיטיביזם המושל בכיפה - והבטחון היהיר שהוא מפגין בעוצמת מכניקת ההצרנה הלוגית שלו שאינה עוצרת אפילו בגבולותיה המקודשים של האתיקה.

הנה ציטוט מפתח מתוך "חקירות פילוסופיות" של ויטגנשטיין. רעיון הנושא שלו הוא שבחתיירה לשלמות, בדרך לתנאים האידיאליים של תקינות של תקשורת, שפה ולוגיקה אנו עשויים לאבד אחיזה במציאות וביכולת שלנו לתאר ולעצב אותה באופן ראוי ואחראי:

ככל שאנו בוחנים את שפתנו האקטואלית לעומק, מתחדד המתח בינה לבין דרישתנו (כיוון שטוהר הבדולח של הלוגיקה, לא היה, כמוכך, תוצאה של חקירה, אלא של דרישה). המתח נעשה בלתי ניתן להכלה. הדרישה נמצאת כעת בסכנה להיפך לריקה. עלינו על קרח חלק היכן שאין חיכוך, ולכן במובן מסוים התנאים הם אידיאליים, אבל גם, דווקא בגלל זה, אין אנו מסוגלים ללכת. אנו רוצים ללכת, לכן אנו צריכים חיכוך. חזרה למשטח המחוספס!<sup>5</sup>

ההבנה המחודשת של המהפכה הוויטגנשטיינית ותרגומה אל תוך ההיגיון הפוליטי והגיאופוליטי החדש היא אתגר חשוב ונדרש כעת. הנה, למשל, בפוזיטיביזם הקלאסי נתפס משפט בשפה כביטוי מצוטט, הנתון כביכול במירכאות, ייצור של מנגנון הייצוג הפורמלי שלנו, כשהסרת המירכאות פירושה תרגום המשפט באופן ישיר לחומרמה של המציאות, באופן שהוא חף פוליטי. כך גם עשויים לתפקד משפטי ציווי או התחייבות בחירות, אם תרצו.

4. גם פה יתברר, באנלוגיה ישירה למפעל הפיתגוראי, שהאדנים של הפרוגרמה הלוגית מאוימים בסודה של פרדוקסים שיש להם אופי מבני זומה, מתוצאת אי השלמות של קורט גדל לתוצאת לוגיים-טקולם והפרדוקסים המכוננים כמו זה של ראסל, המונחים בבסיסה של תורת הקבוצות.

5. פסקה 107, מתוך "חקירות פילוסופיות", תרגום חופשי. בחרתי לתרגם את המקור הגרמני "unertraglich" על דרך של "בלתי ניתן להכלה", ולא "בלתי נסבל", שהוא התרגום הליטרי ההולם יותר.

האינטואיציה היסודית היא של יחסי שיקוף מכוננים בין שפה לעולם, בין מערכת פורמלית לפרקטיקה מטריאלית, בין ייצוג פורמאלי, למשל ייצוגה של טענה בשפה, לעובדה האמפירית שאליה היא מכוונת. אך אם נפרדים אנו מתמונת השיקוף או מהאשליה של התרגום האוטומטי של הייצוגים הסימבוליים אל תוך חומריות של המציאות, נמצא את עצמנו פוסעים אל תוך תמונה חדשה של שפה ופרקטיקה. עתה נידרש להבין מחדש כיצד השפה רוכשת את המציאות, הפעם לא באופן של תרגום ישיר, אוטומטי-כביכול, ברוח "הדיבור החדש", אלא כפעולה שיש לה אופי פוליטי יצירתי ומחדש, אבל בו-בזמן לא מסלף ולא מטעה. זהו אתגר לא פשוט אבל את הצעדים הלוגיים היסודיים פילס בעבורנו ויטגנשטיין בעבודתו.

דגם התקינות הליברלית, אם כך, אינו אלא ניסיון להשיג אותם "תנאים אידיאליים" שמפניהם מזהיר ויטגנשטיין, ושמשמעותו, בקצה האידיאלי, היא מפגש עם משטח הקרח החלקלק שאינו מאפשר לנו ללכת. ההליכה כאן היא מטפורה לדיבור וככלל לפעולה בעלת משמעות, כזו היכולה להניע דברים. זהו דימוי חוזר מבית מדרשו של ויטגנשטיין, שלפיו בהשגה של התנאים האידיאליים, התקניים כביכול, הרי בהיעדר חיכוך יחדל מפעולתו הגלגל שאמור להניע את מרחב המשמעות או הפעולה. הוא ידמה לגלגל מניע במצב של Idle. ההיגיון הפוליטי והגיאופוליטי החדש שאותו עלינו לחפש כעת הוא הגיונו של "המשטח המחוספס".

### עידן התבונה: תקינות פוליטית ותנאי האפשרות של משמעות

אנו נמצאים כעת בשלהי תקופת השליטה של התקינות הפוליטית הלגאלית ככוח פוליטי מניע. מדובר לא רק על אופי השיח הציבורי והפוליטי והכוחות השולטים בו אלא על עצם הרעיון הארגוני, למשל, של השגת "התנאים האידיאליים" לתפקודן של מערכות, בחתירה כביכול לשלמות; ההתכנסות לנקודת קצה אידיאלית ברוח טיעונו של פוקויאמה. חשבו, לדוגמה, על צבא יעיל ואידיאלי בכך שחייליו מוגנים מפגיעה. צבא כזה ייכשל באופן טבעי במבחן תעודת הזהות שלו, שהיא הגנה על האזרחים. כך גם ארגון כלכלי שיראה מולו רק את תחשיב הרווח וההפסד ויחשוב כי כסף הוא המוצר - כפי שעשויים לחשוב בעלי המניות השולטים בחברה - ולא עצם המוצר עצמו המיוצר על ידי החברה והמכונן את תעודת הזהות שלה. בהקשר הזה מלמדים דבריו של מנכ"ל טויוטה, בן המשפחה המייסדת של החברה, הלוקח את השליטה על החברה בתקופה משברית ומשרטט בחדות את עוצמת התקלה שמאחורי המשבר במילים: "נהפכנו מחברה המייצרת מכוניות לחברה המייצרת כסף". חדות הבנתו מאפשרת לחברה לשוב להיות חברה המכוניות המובילה בעולם. אין ספק שמשבר 2008 אופיין על ידי אי ההבנה היסודית הזאת, שרישומה במרחב הכלכלי והחברתי משמעותו לבסוף היא דריסת ההבחנה בין רווח (ספקולנטי) לערך (ממשי) או במובן הרחב יותר בין "הצלחה" לבין הישג ממשי - בין האומצה הליטרלית המושלמת אך שקרית של המטריקס לבין אומצת האמת של "המשטח המחוספס".

מתחזקת פה גם החשיפה של המבנה הלוגי של תקלה פוליטית עמוקה: מה שהינו דגם פרטי נורמטיבי שמתאפשר כצורת חיים בסביבה מטריאלית מוגדרת עובר תהליך של אבסטרקציה המושלכת כעת אל החברה פנימה ואל העולם החוצה כדרישה נורמטיבית-דוגמטית מחייבת המעניקה לבעליה יתרון לא-הוגן בהתקשרות. אם תרצו, "האידיאל" - אידיאל התקינות המושלמת - שהינו מושא הביקורת של ויטגנשטיין מתברר כאבסטרקציה לוקלית המתיימרת לתוקף נורמטיבי אוניברסלי כביכול. בשפתו של ויטגנשטיין, סרגל המדידה המתיימר להיות "מושלם" אינו אלא "פרטי" וככזה מאבד את יכולתו למלא את ייעודו או את השימוש שבעבורו הוא נדרש.<sup>6</sup> זהו עיקרה של הביקורת המכונה פוסטמודרנית נגד הפוזיטיביזם המודרני. עבודתו של ויטגנשטיין היא הארטילריה הלוגית ההכרחית פה נגד הניסיון לקעקע את הביקורת הזו, כאילו ממנה ההידרדרות לרלטיביזם שבו כל דאלים גבר היא בלתי נמנעת. ההיפך הוא נכון. דמות האב של עידן

6. לדיון מפורט בסוגיית הסרגל המושלם והפרטי, הקורא מחזקן לעיין במאמרי "The Standard Metre in Paris", בכתב העת הבריטי Philosophical Investigations, 2008, כרך 31.

התבונה, עמנואל קאנט, ידוע בכך שקריאה בטקסטים של הפילוסוף הסקוטי דייוויד יום העירה אותו, בלשונו, מתרדמתו הדוגמטית; מן הדין כעת להתעורר מהתרדמה הדוגמטית של תנועה עיוורת במסילות לוגיות כביכול תקינות, מקובעות, מוצרנות היטב ומראש, כתחליף לעוגניה האמיתיים של התבונה האוטונומית שאליה כיוונה הנאורות של קאנט.

תקינות פוליטית ככוח מניע של הפרקטיקה האנושית חייבת לפיכך להיות דבר של העבר. ביסודה, כפי שאנו מסבירים, היא יושבת על תפיסה פוזיטיביסטית באופיה שאיבדה קשר עם התנאים ההיסטוריים-מטריאליים של משמעות.<sup>7</sup> היגיון אפריורי של משמעות חייב לפנות מקומו לבחינה (אפוסטריורית) מטריאלית מחודשת של התנאים המשתנים המקבעים את המשמעות של התבטאויותינו כמו גם של פעולותינו. מהלך התקינות המוצרנת של הפוזיטיביזם המודרני שדגלו היא הלוגיקה המודרנית מתורגם בסיומו של דבר לתרבות כוללת של תקינות פוליטית לגאלית - שאינה אלא הפקעה של צורת החיים של תרבות ליברלית מערבית ותרגומה לסד ביורוקרטי המתהדר בתוקף אתי אוניברסלי והכופה עצמו על תרבויות המתקיימות בסביבות מטריאליות שונות. בהומור ציני - יאמרו אויביה של התקינות הפוליטית - נוכל לחשוב עליה כהפקעה של צורת החיים של תרבות אוכלי עשב, כמו הזכרה המתיימרת לכפות את עצמה על קהילת האריות בשם קדמה פרוגרסיבית אתית.

גם מושגים מקודשים ליברלית כמו "זכויות אדם" לא ייהנו יותר מחסינות פוליטית, עד כמה שהם הובנו כנקודת ייחוס נורמטיבית מחייבת בבניית החברה פנימה, ובאותה המידה גם בהכרעות של יחסי חוץ. "זכויות אדם" יובנו כעת כתוצר של אבסטרקציה מקומית של צורת חיים ספציפית, למשל של מיליה מערבי-ליברלי הנהנה מרווחה כלכלית יחסית, שבשמה של הדרישה לחלות אוניברסלית מעניק לעצמו יתרון יחסי לא-הוגן בבואו להתקשר כלכלית או אחרת עם מדינות וחברות אחרות. הדבר אנלוגי לסיסמה "שונות היא ערך", סיסמה מובילה באוניברסיטאות האמריקאיות, שמזמינה - מתחת לכסות של נדיבות כלפי הרבגוניות של צבעים, אתניות ואורחות חיים שהתלמידים מביאים למגרש החינוכי - עדיפות לצבע הבסיס הלבן; הלבן הוא גם כביכול אחד מן הצבעים על הרצף אבל בעצם צבע הבסיס שעליו ייתכנו מופעי צבע אחרים, באנלוגיה לאורחות חיים ולנורמות שמקורן הוא "האחר".

גם "הפוליטיקה של הייצוג" תצטרך להיבחן מחדש - מן המערכות השלטוניות ועד לעולמות התקשורת והאקדמיה, כמו גם מוסדות בין-לאומיים. פוליטיקת הייצוג עם מנגנוני "ההעדפות המתקנות" שלה תצטרך להיבחן ולהיות מופעלת בזהירות מחודשת. זאת, מכיוון שדרכה מובטח כביכול ייצוג אבל לא תמיכה ועידוד בכישרון-אמת, שרק הוא יכול להניע תיקון ועמיד עם אופק בריא. הכוונה היא דווקא לאותם חתכים שההעדפה המתקנת מנסה כביכול להבטיח את ייצוגם במסדרונות הכוח השונים. הסיבה לכך היא שבאופן טבעי ההעדפה המתקנת מקדמת את בחירתם של אלה שממלאים את פונקציות הייצוג באופן "מקצועי" - "כמייצגים מקצועיים" אומנותם היא הייצוג ולא תחום התוכן שאותו הם אמורים לשרת. התוצאה היא העמקתם של הפערים שאותם ההעדפה מנסה כביכול לתקן.

גם ההבנה הליטרלית של הערך הקרוי שוויון תצטרך כעת להיבחן מחדש. ברוח זו כתב לפני שנים רבות הפילוסוף והפסיכואנליטיקן אריך פרום כי טעותה של תקופתנו נעוצה באופן שבו מבלי משים החלפנו את המושג "שוויון" עם מושגים כמו "דומות" או "אותו הדבר", כלומר, "Equality" הובן כ-"Sameness". גיל הפרישה לנשים ולגברים אינו יכול להיות זהה ליטרלית בשם הערך של שוויון, מאחר שהתנאים המטריאליים

7. רק צאו וחשבו על מושג מכוון שאיתו גדל כל ילד בתרבות האמריקאית והוא זה של "המרחב האישי", מרחב גבולות זמיוני המשורטט סביב האזרח ושפלישה אליו היא פעולה המוגדת כאליומה. רק באחרונה, בהתבטאויות לקראת צאת ספרה, דיברה הילארי קלינטון על האופן שבו פלש טראמפ בעימות הטלוויזיוני המרכזי ביניהם אל תוך המרחב האישי שלה. מעניין שבזמן אמת לא מצאה קלינטון את כוחות הנפש להתרות ולעצור בדיבור או במחווה את התנהגותו הבריונית ללא ספק של טראמפ. ואולם עצם הרעיון של "מרחב חסינות אישי" כזה, שאיתו כביכול נע כל אזרח ואזרח ושמונע חיכוך והתנגשות בין זה לזה, מחייב סביבה פיזית מרווחת. מרחב כזה לא יתאים לחברות של משפחות מרובות ילדים ולאוכלוסיות שבתיות החיות מכורת מציאות חיים בצפיפות. משבר הקורונה הנכחי הציף דרך הדרישה לשמירה על "מרחק חברתי" כמרחב חסינות ממשי המונע הידבקות אפשרית. החברות המרווחות יותר באופן טבעי מוגנות יותר.



שבהם מתמודדים וימשיכו להתמודד גברים ונשים, אבות ואימהות, שונים. הביטוי האמיתי של "ערך השוויון" בסוגיית גיל הפרישה, לכן, מן הדין שלא יהיה ליטרלי.

גם החיפוש בשם ערך השוויון אחר ליבה משותפת של זהות, מכנה משותף מכונן, צריכה להיקרא לדיון ביקורתי מחודש בין אם ברמת המדינות פנימה, או ברמת ההיגיון הגיאופוליטי שמעצב את היחסים בין המדינות. ביקרנו כבר את הכשל של "שוונות היא ערך": המכנה המשותף, אותה ליבת זהות משותפת, המכוננת נניח את האמריקאי או את הצרפתי, אינו יכול לתפקד כצבע בסיס חף ממיקום ערכי, היסטורי, מטריאלי; לאמץ אותו ככזה משמעותו היא אחת - מתן במסווה עמדת יתרון חברתית או פוליטית לחתך או למגזר מוגדר. במקום החיפוש אחר ליבת חיתוך משותף, עלינו לחשוב במונחים של השלמה של חלקי פאזל, שבהגדרה אין ביניהם כביכול חיתוך משותף, אבל הם מרכיבים יחדיו תמונה דינמית משותפת. ערך השוויון יבוא פה לידי ביטוי על דרך של שותפות בפרויקט, לאומי או אחר, שבו כל החברים הם שותפי אמת ומביאים למגרש את יתרונותיהם הייחודיים והמשלימים.

ערך השוויון גם עשוי להיות מתורגם באופן נורמטיבי מדכא, שאינו מתיר חריגה הנדרשת להתמודדות עם חיכוך ועם תנאים מטריאליים משתנים ואינו מאפשר את צמיחתן של דמויות ייחודיות מובילות שיכולות לעצב דרך חדשה ולהמציא פתרונות יצירתיים. וכך, היחיד הייחודי, זה הפורץ והמעצב דרך חדשה, נתפס לעתים קרובות כחריג, המאיים על מוסכמות החברה. העיתונאי הווינאי החריף של תחילת המאה ה-20, קרל קראוס, הביע רעיונות דומים בטוריו ברגע היסטורי אחר, עם התפוררות הסדר (הביורוקרטי) הישן של האימפריה האוסטרו-הונגרית. כך הוא כותב על "זכויות אדם": "כשלא היו זכויות אדם, ליחיד הייחודי היו זכויות אדם. זה היה לא אנושי. אחר כך נוצר הערך של שוויון, וזכויות האדם נלקחו מן היחיד הייחודי". נשאלת השאלה לגבי המידה שבה אנחנו נמצאים כעת ברגע היסטורי דומה, התפוררות הסדר הליברלי הישן ואיתו עידן התקינות הפוליטית על ביורוקרטיית המשמעות הסמויה שלו - אבסטרקטית אמנם ולכן סמויה מן העין יותר מן הסדר הישן של הביורוקרטיה האוסטרו-הונגרית שאליו מתייחס קראוס, אבל עם נוכחות בעלת עוצמה אדירה בכל אורחות חיינו, מן הפוליטי והחברתי ועד הגיאופוליטי.

### עידן התבונה: תקשורת ושיפוט

גם מקומה ומעמדה של התקשורת נבחן כעת מחדש. מן המפורסמות היא שאפלטון חשש מאוד מכוחה המשחית, כך לתפיסתו, של האמנות. בדיעבד נוכל להגן על עמדתו של אפלטון ולומר כי חשש מכוחה המשחית של אמנות גרועה, אבל אפלטון מרחיק לכת ומביע את החשש שאפילו משורר נפלא כמו הומרוס, העומד מול קהל ששומע בצמא את תיאוריו הפואטיים על מעללי אכילס, עשוי לשגות ולחשוב שהוא עצמו אכילס או אפילו מתעלה על אכילס. התקשורת בעוצמתה הנוכחית, אם נמשיך את קו המחשבה הזו, עשויה לשגות ולראות בגיבורי הפעולה - המנהיגים הפוליטיים, הגנרלים או מובילי התעשייה והכלכלה - רק ניצבים בעלילה שהם למעשה מחבריה ואולי אפילו גיבוריה האמיתיים. כשאתוס הפעולה והכבוד לגיבורי הפעולה, ביקורתי ככל שיהיה, מונמך לאתוס של ביקורת ספקנית המשוחררת מאחריות כוללת או ישירה לתוצאות הפעולה, אנחנו עשויים להיקלע לאווירה הציבורית של ימינו אנו שבה התקשורת נהפכת למושא הזעם של ציבור רחב, ציבור "רצפת הייצור", החש מנוצל ומחוץ למשחק הכוח הכלכלי-חברתי. מצב עניינים זה מספק באופן טבעי כר נרחב לעלייתם של מנהיגים פופוליסטים לא אחראיים הנבנים באופן ציני מהזעם הזה.

כך גם רוח השיפוט המוסרני המנשבת במדיה ובחוגים הליברלים ביחס לגיבורי העבר. ראו, למשל, את המהומות סביב ניתוח האנדרטה לכבודו של הגנרל רוברט לי, מפקד צבא הדרום האמריקאי, צבא הקונפדרציה, במלחמת האזרחים האמריקאית. רוח כזו נושבת במקומות רבים ואחרים בעולמנו הרוגש, מניתוח מונומנטים של עבר פגאני על ידי דאע"ש במלחמת האזרחים הסורית ובמקומות אחרים ועד, להבדיל, עריית ניו יורק -

השוקלת ברצינות, בעקבות מחאה ליברלית, אם מן הראוי להשאיר על כנו את פסלו של כריסטופר קולומבוס, מגלה אמריקה. הפסל מוצב כיום בגאון בכיכר קולומבוס, שעל שמו, במנהטן. תקינות פוליטית שופטת את העבר בקטגוריות סמנטיות שאינן זמינות מטריאלית לאנשי העבר ולגיבוריו - קצת כמו לדרוש מדמויות העבר לשלם במטבעות של זמננו. אנו יכולים, למשל, להניח בבטחה שהגנרל יוליסס גרנט, בן זמנו של הגנרל לי, ושהוביל את הלחימה מולו, לא היה מצטרף למסע המחאה הצדקני הזה והיה שמח לראות את פסלו של יריבו עומד על כנו. אירונית במיוחד העובדה שהלוך הרוח השיפוטי - העסוק בשיפוץ ובניקוי העבר מדמויות שלא עונות כעת ובדיעבד לקריטריונים מחמירים של אורחות חיינו הנוכחיים - מזכיר את אופן הפעולה הסובייטי, שאותו נהגו לגחך במערב, שבו סולקו מן המסמכים והצילומים הרשמיים עדויות לקיומם של בכירים שטוהרו מעמדות כוח.

רוח התקינות הפוליטית השיפוטית שהשתלטה על קריאת ההיסטוריה היא מסוכנת. יותר מכול היא גורמת לכך שנחמץ את המפגש עם ההיסטוריה כפי שאכן התרחשה, עם אנשיה ועם גיבוריה כמו גם עם הנסיבות המטריאליות שאינן התמודדו. זהו הלוך רוח הלוקה בתיאור פשטני של ההיסטוריה משל הייתה שרשרת של אסונות לא-הכרחיים שהובלו על ידי מנהיגים לא-אחראים. ההיסטוריון נהפך לשופט והמחקר ההיסטורי הופך לאיסוף עדויות לביסוס אשמתו או חפותו של הגיבור. אל מול מה, עלינו לשאול את עצמנו, מעריך ומודד ההיסטוריון-השופט התקני את המהלך האקטואלי של פני ההיסטוריה? הוא יכול להעריך זאת רק אל מול סרגל פוליטי תקני אידיאלי, כלומר, "תנאים אידיאליים", המושאלים מן הנסיבות המטריאליות של ימינו. אלה לובשים צורה של מסלול היסטורי פיקטיבי, שאל מולו נראית ההיסטוריה אכן כחריגה אחת מתמשכת וגיבוריה לכן לא פעם כפושעים.

הלוך רוח שיפוטי ומוסרי זה הוא חלק מן האתוס הפוסטקולוניאלי השולט כעת במסדרונות האקדמיה והתקשורת של המערב. ביסודו של הלוך רוח זה נמצאת קריאה פשטנית וביקורתית במיוחד של ההיסטוריה ובמיוחד של העבר הקולוניאלי של המערב, שלו במובנים רבים חב המערב את עוצמתו הכלכלית. ברקע של הלוך רוח אינטלקטואלי זה נמצאת המחשבה כאילו יש נקודת ייחוס "אידיאלית", פעמים אפילו אולי בדמות מצב טבעי קדם-קולוניאלי, ששיבה אליו מייצגת צדק; באנלוגיה לא מקרית לתפיסה אוטופית של הטבע ושל הסביבה, טרם ההתערבות הסביבתית האנושית המסיבית של המהפכה התעשייתית.<sup>8</sup>

כך גם המחשבה על קדמה וההחלפה מבלי משים של המושג של קידמה (Progress) - אולי המושג המכונן של המודרניות - טכנולוגית או מבנית-פוליטית עם הרעיון של קידמה מוסרית. אפשר לומר שאצל הליברל התקני, קידמה אינה אלא צורה אחרת לדבר על הבניה של החיים הפוליטיים והחברתיים כך שעצם החיכוך, ההתמודדות עם ההכרח להתיר דילמות מוסריות, ייהפך לעניין של העבר. מדובר ברעיון הבל שלפיו ההיענות לצו המוסרי היא ניסיון אפריורי להבנות את צורת החיים כך שהדילמה המוסרית לא תתעורר כלל. באנלוגיה גסה לדיוני מוסר פשטניים בתנועות הנוער: אם אתה במטוס שיש לנטוש אותו ובו 20 איש ו-19 מצנחים בלבד, מה עליך לעשות?! הליברל הפשטני חושב על עולם ועל צורת חיים אידיאלית שבהם מצנחי המילוט האתיים כבר ארוזים ומוכנים מראש לכל נוסעי המטוס.<sup>9</sup> התסכול, לכן, אצל הליברל התקני הוא עצם הופעתה של הדילמה המוסרית, כזו שאינה עונה מראש לניסוח של דפוס והתרה אידיאליים. "הליברל הכושל" מתרעם, לפיכך, נגד עצם ההכרח להתמודד עם הכרעה מוסרית ורואה בהתעוררות של דילמה כזו כשל או מחדל מבני של המערכת הפוליטית-חברתית ומנהיגיה.

8. הדיון באקלים ובתזונה של ההתערבות האנושית לתופעת ההתחממות הגלובלית הוא בהחלט נקודת ייחוס במרחב הזה ולא פלא, לכן, שהוא נהפך לסוגיה פוליטית ומושא מתקפה של שמרנים ספקנים, כמו למשל, טראמפ. גם באירופה מעניין כיצד ספקנות כלפי הפרויקט של האיחוד האירופי התלכדה ומתלכדת פעמים רבות עם ספקנות לגבי סוגיית ההתחממות הגלובלית כתוצר של פעילות אנושית.

9. החליפו מצנחים ארוזים היטב במכונות הנשמה ותקבלו את תמונת מצב הדיון הלהט עם התפרצות הקורונה.

## המשטח המחוספס: מחזרה ליטרלית להרחבה מטריאלית

הגיונו של המשטח המחוספס מעמיד לכן במרכז את החיכוך ואת ההתמודדות המחודשת עם הדילמה המוסרית, על כל הרוחב והמורכבות הפוליטית והגיאופוליטית שלה. למעשה, בהגדרה, הדילמה המוסרית - במובן עמוק כל החלטה פוליטית או גיאופוליטית היא דילמה בעלת אופי מוסרי - אינה עונה לתנאים אידיאליים מוקדמים או כאלה המושאלים מדילמות העבר. תידרש לה התרה מחודשת בעלת אופי מרחיב, שבה כלל המושגים והערכים המודגמים בסיפורי מופת של העבר חייבים להיות מתורגמים ומנוסחים מחדש בתנאים המטריאליים של הווה. להרחבה הסינתטית הזו של העבר יש אופי יצירתי ומקדם שאינו היענות משפטית-תקנית פורמלית.

"הליברל הכושל" מודרך על ידי תמונה של עולם עקבי, כאילו הוא מובנה דרך רשת של כללים המתיישבים בעקביות מופלאה - אך עקביות מופלאה זו של סדרי עולם ותמונת עולם היא תוצאת התרה של מי שעבורו, ברגע המפגש עם המציאות, המציאות הייתה סבך כמעט פרדוקסלי, מבוך של כללים, הבנות וערכים, המאיימים להתנגש ולכלות זה את זה. על זה כבר אמר פיזיקאי הקוונטים הידוע נילס בוהר, כי כל מפגש עם פרדוקס הוא מפגש עם תקווה, תקווה להתקדמות על דרך של התרה. לא כך עבור "הליברל הכושל": עבורו זה תירוץ להסביר את כישלוננו, קצת כמו אדם שנימוסי החצר שלו הם ללא רכב עד שהוא מזהה איום, ולו הקל שבקלים, על עמדתו ומעמדו. לכאן משתייכים אלו החושבים, למשל, שנימוסים וערכים הם עניין של ימי רגיעה לעומת זמנים של מאבק או מלחמה, שבהם אין להם מקום כלל. ההפך הוא הנכון. מבחנם של נימוסים וערכים הוא קודם כול בעת קונפליקט. "תרבות של מלחמה", למשל, אינו ביטוי שהוא אוקסימורון או סתירה פנימית - ההפך, זה מבחנה האמיתי של כל תרבות על כלליה וערכיה המכוננים.

אין, אם כך, נקודת ייחוס היסטורית של "צדק טבעי" שאליה יש לשוב ולא דפוס צודק המוכן להשלכה, אלא תנועה קדימה הממציאה את עצמה כל פעם מחדש והמונחית על ידי אירועי וכאבי העבר יחד עם הגיונות ואילוטי "הריאל פוליטיק" של ההווה, המחייבים פתרון והתרה הוגנים. עלינו לוותר על הלוגיקה של היענות פורמלית א-זמנית לדפוס, או זו של חזרה: הלוגיקה של הנדסה לאחור של העבר ושיפוצו כביכול מפשעיו - אתוס המונע מן הפחד ליפול לטרגדיות העבר יותר מאשר האומץ להיות ראוי לגדולתו - כמפתח מוטעה בבניית העתיד.

כשדנתי בכך במכון מחקר אירופי רק באחרונה, מיהר אחד הנוכחים זריזי המחשבה למתג את מערכת המושגים שהשתמשת, כמו את הגיונות הפעולה הישנים-חדשים שהעליתי, בביטוי: "ביסמרק עם אייפון". זאת, בדיוק במובן של גישה לתכנון ועיצוב העתיד המוותרת על הלוגיקה המוטעית של חזרה, ובמקומה מאמצת לוגיקה שאינה מתחמקת מן ההכרח של חיכוך מטריאלי בבנייה מחודשת של עתיד, בפעולה כמו גם בהבניה המושגית; בתרגום היצירתי, הממציא את עצמו מחדש, של ערכי המופת של העבר בעולם המטריאלי של הווה. מדובר באתוס של תכנון ושל פעולה המונע על ידי כובד תחושת האחרייות, של כל אחד בתחומו ובקבוצת הייחוס והפעולה שלו, אל מול ההכרח להרחיב ולתרגם את מורשת העבר במה שנוכח מטריאלית בעולמנו.

## \* הערת סיכום קורונה

איני יכול לסיים את המסה הזו, שעיקריה ההבנה שהסדר הליברלי הישן חייב לפנות דרכו לסדר חדש, מבלי להידרש למשבר הקורונה. משבר הקורונה מציב מראה מכוונת בפני הסדר הליברלי הישן. נדמה אותו לתדר של הפרעה היסטורית המכילת היטב לערער סדר ישן, משל היה גשר תלוי שהסערה מפעילה תדר הייחודי הגורם לקריסתו. כשתיארתי קודם את הבקיעים הלוגיים הנפערים ביסודותיו של הסדר הליברלי הישן, לא התעכבתי על נגזרת של "אשליית האידיאל" של הסדר ליברלי הישן, שעניינה הלוך רוח שאינו אוהד סיכונים והמטפח, אט אט, תרבות של אי לקיחת סיכונים משותפים. התעכבתי ארוכות על היבט זה של כלכלת הסיכונים של הסדר הליברלי הישן בספרי "לוגיקה בפעולה" (2012).<sup>10</sup> לענייננו פה, חשוב להבין שכגודל עוצמת השיפוט הקטגורי לאחור של הליברל, שיפוט המצויד בחוכמה-בדיעבד שהינה עיוורת לתנאים המטריאליים של גיבורי הפעולה המבוקרים, כך גם החולשה המערכתית לפעול באופן אמיץ עם פנים לעיצוב מרחיב ולא ליטרלי של העתיד. הנגזרת היא אכן הלוך רוח של סלידה מסיכון (risk aversion) המתגמל שחקנים שאינם מסתכנים ומעניש אמיצים מסתכנים; אם תרצו, מעודד את הספרים של מילרם ושורת רווח על פני אנשי הפעולה ומייצרי הערך. התהליך הזה, מעצם טבעו, בכוח של אינרציה פנימית, הולך ומתעצם עד נקודת פריקה וקריסה בלתי נמנעת מהסוג שכבר פגשנו במשבר של 2008. כלכלת הסיכונים שאליה משבר הקורונה הטיל את העולם תחייב, לכן, כעת בנייה של מודל חדש המוותר על אשליית השליטה בשם האידיאל ויצירת תרבות חדשה של לקיחת סיכונים משותפים במחשבה כמו בפעולה.

עדיין, החשש הגדול הצופה פני עתיד הוא הפער המתרחב בין עולם האפשרויות המילוליות, ההכרזות, לתרגומן לעולם הפעולה. ערנות לפער הזה שבין מילה לפעולה, בין מיידיות האון-ליין של הטקסט לבין המרחב הממשי, היא הכרחית כעת. ולכן, גם ערנות להפתעות דרמטיות הכרחית. חוסר תיאום בין ההגאים ומכווני השליטה של מערכות ומנהיגים לבין התנועות הממשיות של כלי שיט, באנלוגיה למערכות הפעולה של עולמנו, הוא מתכון לאסונות קולוסאליים. האם נידרש כעת, בעקבות משבר חילופי הסדר העולמי, והאצת התהליכים בעקבות משבר הקורונה, לסדרת משברים קשה נוספת? החכם הרומי הגדול סנקה תהה בספרו "על קוצר הזמן", "האם יכול להיות דבר רדוד יותר מאשר אמונתם של אלה המתפארים בידעת הבאות?". לא אציע, לפיכך, תחזית הצופה פני עתיד, אלא במושגיו של פוקו, כפי שהשתדלתי לעשות במאמר זה, מבט נוקב אל תוך הדינמיקה של ההיסטוריה של ההווה.

10. דורון אביטל, "לוגיקה בפעולה", 2012, הוצאת זמורה-כינרת ביתן.



# בסיעתא דשמיא: התעופה האזרחית תחת משבר הקורונה (COVID-19)

קברניט עומר בק

עומר בק הוא הטייס הראשי של צי מטוסי ה-ATR של חברת ישראיר.

תרומתה של התעופה האזרחית להתפתחות האנושית ניכרת בכל תחומי החיים, כך שלמעשה כמעט ולא ניתן לדמיין את עולמנו בלעדיה. 2019 הייתה שנת שיא של התעופה האזרחית ובה נשבר שיא במספר הטיסות היומיות ותנועת הנוסעים. אלמלא תקלת הייצור בבואינג 737 הייתה זו גם השנה הבטוחה ביותר לטסים. לתעופה האזרחית בישראל יש חשיבות דרמטית לביטחונה, לקשריה התרבותיים ולעוצמתה הכלכלית של המדינה. המאמר יסקור בקצרה את מצבה של התעופה האזרחית בעולם ובישראל, יטען שמשבר הקורונה משקף את שבירותן של חברות התעופה הישראליות, ידגיש את הצורך לסייע להן במצבי משבר כמו זה שאנו חווים ב-2020 ויחדד את הפעולות הנדרשות מחברות התעופה כדי לצלוח משבר עמוק שכזה.

## התעופה האזרחית בעולם ובישראל - עובדות ונתונים

ב-25 באוגוסט 1919 המריא מלונדון מטוס של חברת תעופה שלימים תיקרא בריטיש איירווייז, ואחרי זמן טיסה קצר חרכו גלגליו את מסלול הנחיתה של שדה התעופה של פריז. הייתה זאת הטיסה המסחרית הסדירה הבין-לאומית הראשונה בעולם. על הטיסה היה נוסע אחד, ששילם אלף ליש"ט בעבור הכרטיס, ומעט סחורות שהועברו מהאי הבריטי ליבשת. מאה שנים לאחר מכן, פרסם ארגון חברות התעופה הבין-לאומי (- IATA The International Air Transport Association)<sup>1</sup> נתונים שלפיהם ב-2019 בלבד נערכו ברחבי העולם כ-39 מיליון טיסות, ותנועת הנוסעים העולמית בתעופה עמדה על יותר מ-4.3 מיליארד נוסעים (נתון שניתן להבין את משמעותו אם זוכרים שאוכלוסיית העולם כולה מוערכת ב-7.8 מיליארד בני אדם). תנועת הסחורות באמצעות האוויר בשנה זו עלתה על 35% מכלל הסחר העולמי, והגיעה לכ-60 מיליון טונות של מטען, שערכם הכספי מוערך ב-6 טריליון דולר.<sup>2</sup>

בסוף יולי 2019 תיעדה אפליקציית המעקב אחרי מטוסים FlightRadar24 יותר מ-225 אלף טיסות ביממה אחת, נתון שמעיד ככל הנראה על היום העמוס ביותר בתולדות התעופה.<sup>3</sup> 2019 הייתה גם אחת השנים

1. ראו הדו"ח של IATA שהתפרסם ב-2019: <https://www.iata.org/contentassets/c81222d9c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/iata-annual-review-2019.pdf>  
ראו גם טיטום בעברית של עיקרי הדו"ח באתר רשות התעופה האזרחית של ישראל (רת"א):  
2. ראו את הדו"ח האחרון של ארגון הפעולה של התובלה האווירית ATAG: The Air Transport Action Group <https://www.atag.org/our-publications/latest-publications.html>  
3. ראו את הדיווח ב-Business Insider: <https://www.businessinsider.com/most-flights-ever-225000-flightradar24-flight-tracking-2019-7>

הבטוחות ביותר בתעופה הבין-לאומית.<sup>4</sup> לפי הסקירה השנתית של רשת בטיחות תעופה (ASN - Aviation

Safety Network), מתוך עשרות מיליוני הטיסות שבוצעו בעולם ב-2019 התרחשו רק 20 תאונות אוויריות קטלניות שגבו את חייהם של 283 בני אדם (ומתוכן רק שלוש תאונות בטיסות מסחריות שהתרחשו באירופה ובצפון אמריקה ובהם נספו שני אנשי צוות אוויר ושלושה נוסעים).<sup>5</sup>

כיום אנו יכולים לטוס ממקום אחד על פני הגלובוס למקום אחר בכמה שעות, במטוס נוסעים סילוני החותך את השמיים במהירות שקרובה למהירות הקול. בפברואר 2019, מטוס נוסעים מדגם דרימליינר של חברת בואינג, שטס מלוס אנג'לס ללונדון, אף הגיע למהירות של 1289 קמ"ש, כשבמקור הוא תוכנן לטוס במהירות של כ-900 קמ"ש.<sup>6</sup> יתרה מזאת, ההתפתחות הטכנולוגית הפכה את מטוסי הנוסעים ליעילים במיוחד,<sup>7</sup> והיציבות הגיאופוליטית, בעולם המערבי בעיקר, סייעה בפתיחת השמיים ברחבי העולם והפכה את התחרות בתחום התעופה האזרחית לחריפה.

תרומתה של התעופה האזרחית להתפתחות האנושית ניכרת בכל תחומי החיים, כך שלמעשה כמעט שלא ניתן לדמיין את עולמנו בלעדיה. אנו טסים אמנם ממקום גיאוגרפי אחד לאחר, אבל אנו עושים יותר מזה - אנו עוברים מתרבות מסוימת לתרבות שונה וחוזרים עם רעיונות וחוויות; אנו יוצאים ממדינה עם גבולות מוגדרים ומגיעים למדינה עם גבולות פתוחים, ואולי מקווים שגדרות הגבול יוסרו בכל העולם; אנו ממריאים ונוחתים, נוחתים וממריאים ומביאים איתנו הזדמנויות כלכליות, קשרים חברתיים, מאכלים חדשים-ישנים, מרכיבי חיים אנושיים שנוודדים על פני הגלובוס ומעשירים את המין האנושי.

בתוך כך, תרומת התעופה האזרחית לכלכלת העולם עומדת 3.6% מהתל"ג העולמי, והיא מגוונת ומשמעותית ביותר. לפי ארגון הפעולה של התחבורה האווירית ATAG, חברות התעופה תורמות להיווצרותם של יותר מ-65.5 מיליון מקומות עבודה ברחבי העולם, שרק כ-15% מתוכם מועסקים ישירות בשירותי התעופה. רובם של מקומות העבודה נוצרים באופן עקיף בתחומי המסחר, התיירות, התחבורה וכיו"ב, וחלקם אף בחברות הנוצרות כנגזרת של מחקר ופיתוח טכנולוגיים ותעשייתיים שמקורם בעולם התעופה ועברו לשימושים אחרים כמו רפואה, רכב, היי-טק ולואו-טק. כלומר, מדובר במכפיל של 6.6 מקומות עבודה על כל עובד בחברת תעופה.<sup>8</sup>

ישראל השתלבה היטב במגמה העולמית בתחום התעופה, ושיעור הגידול במספר הטיסים בכל שנה בעשור האחרון עלה על הממוצע העולמי. השנתון הסטטיסטי האחרון שפרסמה הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס), 9 מלמד שבשנת 2018, מספר הטיסות היוצאות והנכנסות מישראל ואליה עלה על 154 אלף. מספר הנוסעים בטיסות אלה עלה על 22 מיליון בני אדם, וכמות המטען עמדה על כ-350 אלף טון. מתוך נתונים אלה, יותר מ-43 אלף טיסות נעשו על ידי שלוש חברות התעופה הישראליות המרכזיות - אל על, ארקיע וישראייר,<sup>10</sup> שהטיסו כ-7 מיליון נוסעים בעזרת צי של 56 מטוסי נוסעים ושלושה מטוסי מטען ישראליים, וכן

4. אם לא מביאים בחשבון את תאונת ה-Max Boeing 737 של חברת Air Ethiopia, שבה נהרגו 157 נוסעים, 2019 הייתה אחת השנים הבטוחות לתעופה המסחרית. ראו דיווח מסכם של רשת CNBC:

<https://www.cnbc.com/2020/01/02/deaths-from-commercial-airplane-crashes-fell-more-than-50percent-in-2019.html>

5. ראו הנתונים הסטטיסטיים לשנת 2019 של (ASN (Aviation Safety Network):

[https://aviation-safety.net/graphics/infographics/ASN\\_infographic\\_2019.jpg](https://aviation-safety.net/graphics/infographics/ASN_infographic_2019.jpg)

6. ראו דיווח מפורט בעניין ב-Washington Post:

<https://www.washingtonpost.com/weather/2020/02/09/british-air-record-flight-speed-atlantic/>

7. רק כ-2% מפליטת הפחמן הדו-חמצני (CO2) הנגרמת על ידי האנושות נוצרים כתוצאה מהטסת מסחריות של נוסעים ומטען:

<https://www.atag.org/our-publications/latest-publications.html>

8. ראו את הדו"ח באתר ATAG:

<https://www.atag.org/component/attachments/attachments.html?id=708>

9. ראו את השנתון הסטטיסטי לישראל לשנת 2019 באתר הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה:

<https://www.cbs.gov.il/he/publications/doclib/2019/19.shnatonttransportandroadsafety/diagrams19.pdf>

10. בישראל פועלות שלוש חברות תעופה מסחריות המטיסות נוסעים ומטען: אל על, ארקיע וישראייר. בינואר 2020 הגישה חברת התעופה ק.א.ל. בקשה להטסת נוסעים לרתי"א, בעוד שעד עתה יש לה אישור להטסת מטענים בלבד. ראו דיווח בעיתון דה מרקר:

<https://www.themarker.com/consumer/tourism/1.8373971>

מטוסים חכורים.<sup>11</sup>

ארגון התעופה הבינלאומי IATA וחברת המחקר אוקספורד אקונומיקס (Oxford Economics) פרסמו בראשית 2018 דו"ח על התעופה האזרחית בישראל. מהדו"ח עולה שהתעופה האזרחית תורמת לכלכלה הישראלית יותר מ-27 מיליארד דולר המהווים 6% מהתל"ג וכ-265 אלף מקומות עבודה. באופן ישיר ענף התעופה המסחרית בישראל תורם לתל"ג כ-7.2 מיליארד דולר, והוא מעסיק כ-33,700 עובדים בקרב חברות התעופה, בחברות המפעילות את נמלי התעופה, בחברות הפועלות בשטח נמלי התעופה (חנויות, מסעדות וכדומה), בנציגויות של יצרניות מטוסים ובספקי שירותים בתחום הניווט האווירי.<sup>12</sup>

### תעופה בעולם ובישראל בזמן משבר הקורונה - עובדות ופתרונות אפשריים

המגמות החיוביות בענף התעופה האזרחית בשנים האחרונות הביאו את ארגוני התעופה ברחבי העולם לפרסם נתונים אופטימיים כאשר לצפוי בשמיים בשנת 2020. אבל אז הגיע משבר הקורונה, והתפשטותה של המחלה העולמית COVID-19 נגרמת מהנגיף בארבעת החודשים הראשונים של השנה האזרחית, גרמה לירידה התלולה ביותר בהיסטוריה של התעופה האזרחית. מספר הטיסות המסחריות הבינלאומיות עמד באפריל על כ-10% מהתנועה האווירית טרום המשבר, והניסיונות של מדינות שונות להחזיר את החיים לשגרה לא הובילו את ענף התעופה האזרחית לפעילות תקינה בקיץ 2020.

דו"ח המתאר תמונה עגומה של התעופה האזרחית בעולם התפרסם בשלהי אפריל 2020 על ידי הארגון הבינ-לאומי לתעופה האזרחית (ICAO) The International Civil Aviation Organization.<sup>13</sup> מהדו"ח עולה שבשנת 2020, הירידה המוערכת במספר הנוסעים בטיסות בין-לאומיות ביחס לשנת 2019 תנוע בין 44% ל-80%, והנזק המצטבר לענף התעופה יגיע לכ-314 מיליארד דולר, שמהווים ירידה של כ-55% במחזורי החברות התעופה. כתוצאה מכך, הירידה בהכנסות של שדות התעופה תהיה 45%, וההכנסות מתיירות ברחבי העולם יגיעו רק לשליש מההכנסות ב-2019.

נכון לתחילת אפריל, 40% ממטוסי הנוסעים בעולם - כ-10,500 מטוסים - מקורקעים. לאחרונה החלו להתמלא חניוני המטוסים בכל שדות התעופה, במיוחד במדינות שבהן האקלים יבש וחם, ועלויות העמדת המטוסים בהם יקרה. כלומר, מאפייני האקלים חיוניים לצורך שמירה על תקינות המטוסים והיכולת להחזיר אותם לכשירות טיסה ללא נזקים וללא עלויות גבוהות.

בדומה לכך, הפגיעה בתעופה האזרחית בישראל תהיה משמעותית. הערכה של IATA היא שתנועת הטיסים בישראל תרד ב-9 מיליון נוסעים, כלומר ירידה בשיעור של 40%, תוך פגיעה בהכנסות חברות התעופה הישראליות בסכום של יותר מ-2 מיליארד דולר, ואובדן של עשרות אלפי משרות באופן ישיר ועקיף.

הבנת המשבר שאתו מתמודדות חברות התעופה מחייבים הכרה של האילוצים הכלכליים שבהם הן נתונות. המודל הכלכלי של חברות התעופה, כפי שעולה מתוך הנתונים שתוארו לעיל, הוא מודל קמעונאי המוני המבוסס בעיקרו על מה שנהוג לכנות יצירת "יתרונות לגודל", או באנגלית Economies of Scale. המשמעות היא שעל חברות התעופה להטיס כמה שיותר נוסעים ומטען כדי להשיג כוח קנייה שבעזרתו הן יקבלו תנאים

11. ראו בעניין זה דיווח בעיתון "מכלילסט":

<https://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3772463,00.html>

12. ראו את הדו"ח באתר IATA:

[/https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/israel--value-of-aviation](https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/israel--value-of-aviation)

13. ראו את הדו"ח באתר ICAO:

[https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO\\_Coronavirus\\_Econ\\_Impact.pdf](https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf)

ראו גם את הדו"ח של IATA שפורסם ב-14.04.20:

[/https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/covid-fourth-impact-assessment](https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/covid-fourth-impact-assessment)



לכלליים כדאיים ונוחים יותר מהספקים השונים, וייעלו את התהליכים באופן שיוזיל את ההוצאות הקבועות וחלק מההוצאות המשתנות ביחס לנוסע.

לפיכך, כדי להתחרות בהצלחה בשוק התעופה העולמי, חברות התעופה מציעות כרטיסי טיסה במחיר המגלם רווח נמוך ביחס להוצאות הכרוכות באספקת השירות. לעיתים הן אף מוכרות את הכרטיס בהפסד כדי להקטין את הנזק הכלכלי מטיסה דלילה בנוסעים, ומתוך תקווה שיצליחו למכור לנוסע שירותים משלימים כמו נופש בבית מלון והשכרת רכב, ואולי אף מוצרים פטורים ממכס.<sup>14</sup> אבל כך יוצא שחברות התעופה רגישות פחות לשינוי במחירי הטיסות, ורגישות מאוד לירידה בנפח הנוסעים, וזו הסיבה שמשבר הקורונה מאיים להביא עשרות רבות של חברות תעופה לכדי חדלות פירעון.<sup>15</sup>

לדוגמה, מחירו של מטוס מדגם בואינג 787 חדש הוא כ-200 מיליון דולר,<sup>16</sup> ועלות הפעלתו השנתית מוערכת בעשרות מיליוני דולרים,<sup>17</sup> וכך גם הפחת החשבונאי עליו. חברות התעופה משלמות על המטוסים בדרך של לקיחת הלוואה ארוכת טווח, ואת החזרי הלוואה הן מכסות באמצעות התזרים הצפוי ממכירת כרטיסי טיסה. לכן, ירידה בתזרים המזומנים גוררת פגיעה ישירה ביכולת של חברות התעופה לעמוד בהחזרי הלוואות על המטוסים. ויתרה מזאת, משבר ארוך טווח כפי שצפוי קעת גורר ירידה בשווי השוק של המטוסים עצמם, שמהווים ערובה להחזר הלוואה.

חברת דלתא האמריקאית משרתת חוב של כ-8 מיליארד דולר, הכנסותיה השנתיות (revenue) מוערכות ב-40 מיליארד דולר בשנה, והרווח התפעולי (earnings) שלה עומד על כ-4 מיליארד דולר בשנה. מכאן ברור שעצירת פעילותה לכמה חודשים היא דרמטית, שהיכולת שלה לעמוד בהחזרי הלוואות על רכישת המטוסים עלולה להיות מוטלת בספק. לכן אנו עדים לקריסה במחיר המניה של דלתא ובשווי השוק שלה שירד לאחרונה ביותר מ-50%, מכ-36 מיליארד דולר קודם לפריצתו של משבר הקורונה ועד לכ-16 מיליארד דולר בסוף אפריל 2020.

נוסף על כך, אי הוודאות באשר לפרק הזמן שיידרש כדי לצאת ממשבר הקורונה מקשה על חברות התעופה לצמצם הוצאות; זאת, בשונה ממצב שבו חברת תעופה מחליטה באופן יזום לצמצם את פעילותה. לדוגמה, עלויות השמירה על כשירות הטייסים הן גבוהות אך מתחייבות גם אם הם מוצאים לחל"ת,<sup>18</sup> וכן גם עמידה בהחזרי הלוואות שמימנו את רכישת המטוסים, עלות החניה של המטוסים לאורך זמן ועלות פעולות התחזוקה שיאפשרו לשמר את תקינותם (שהרי חברת התעופה זקוקה להם ביציאה מהמשבר ולכן אינה מעוניינת למכור אותם, מה גם שתתקשה למצוא קונה במחיר סביר). אכן, חברות התעופה מצמצמות בעלויות כוח האדם, מורידות שכר לכלל בעלי התפקידים, עוצרות פרויקטים שנמצאים בפיתוח ומשתדלות לדחות תשלומים לספקים, אך לפעולות אלה יש משמעות מוגבלת על תזרים המזומנים שלהן. במילים פשוטות, לא מדובר בתעשייה שניתן "לכבות" ו"להדליק" ברגע וללא נזקים, וככל שהמשבר הנוכחי יימשך ה"הדלקה" עלולה לעלות מחיר יקר ולהימשך זמן רב. אכן, הסבת חלק מהמטוסים למטוסי מטען עשויה לצמצם את הנזק, בהתחשב בעליית היקף המטענים הקשורים בהתמודדות עם המשבר, כמו ציוד מיגון וציוד רפואי, אך

14. חשוב לשים לב לתופעה כלכלית דינמית מרתקת המתרחשת מרגע שחברת תעופה מציעה טיסת נוסעים מסחרית ועד לרגע שבו ניתן לחשב את הרווח התפעולי שהתקבל ממנה. נקודת שיווי המשקל בין עקומת ההיצע (S) לעקומת הביקוש (D) לכל אחד מכרטיסי הטיסה משתנה מרגע תחילת המכירה (שיווק) ועד סיומה (סגירת טיסה במערכות המכירה). לכן אנו האים תופעה בלתי נמנעת של אפליית מחירים (Price Discrimination), שבה חברת התעופה חייבת לנקוט אסטרטגיית תמחור שבה המוצרים והשירותים הזוהים שהיא מציעה נמכרים במחירים שונים.

15. ראו ניתוח מעניין של דורון צור על מצבה של חברת דלתא בעיצומו של משבר הקורונה. הניתוח הופיע בעיתון גלובס: <https://www.themarket.com/blogs/dorontsur/BLOG-1.8739960>

16. ראו: <https://www.statista.com/statistics/273941/prices-of-boeing-aircraft-by-type/>

17. ראו מאמר המנסה לבנות "עלויות הפעלה סטנדרטיות" (DOC) של דגמים שונים של מטוסים, ובהם ה-787 של בואינג: Minwoo, L., Larry K. B. L., Wenbin, S., (2019), "Analysis of Direct Operating Cost of Wide-Body Passenger Aircraft: A Parametric Study Based on Hong Kong", Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 32, Issue 5, May 2019, pp.1222-1243.

18. טייס נדרש לעבור מבחן רמה על ידי בוחן מטעם רשות התעופה האזרחית כל 6 חודשים; המבחן נערך בסימולטור טיסה שבו נבחן הטייס על ביצוע תהליכי חירום ותקלות, שימוש במערכות המטוס, בקיאותו בספרות של המטוס והיכרותו עם עולם הטיסה הרחב. בהקשר זה ישנו ניסיון של IATA לתאם בין רשויות התעופה במדינות השונות כדי להאריך את תקופת הרישיונות השונים הנדרשים מאנשי צוות האוויר: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-04-27-03>.

אנו רואים שאין מדובר בהליך פשוט.<sup>19</sup>

בשל הקושי ב"כיבוי" זמני, חברות התעופה עושות כל שביכולתן לייצר תנועה, כאמור גם במחיר הפסדי ולעיתים כדי לספק ביקושים מיוחדים שחלקם מגיעים בערוץ המדיני-דיפלומטי. באופן חריג ביחס לסביבה העסקית, חברת ישראייר טסה במחצית שנת 2020 יותר מאשר בתקופה המקבילה אשתקד. החברה מפעילה בשגרה 10-11 מטוסים (7 בבעלותה ועוד 3-4 חכורים), ובמהלך משבר הקורונה היא ערכה טיסות חילוץ של ישראלים מאירופה, טיסות מטען רפואי מהמזרח הרחוק וטיסות נוסעים לשימור הקשר של תושבי אילת והדרום עם מרכז הארץ (בעיקר בשל הצורך בטיפולים רפואיים). בארבעת החודשים הראשונים של 2020 הפעילה ישראייר את מטוסייה בהיקף של 4321 שעות טיסה, לעומת 4250 שעות טיסה בתקופה המקבילה אשתקד (נתון המשקף ביצוע של 101.6%). מתוך כ-8000 הנוסעים שעברו בנמל תעופה בן גוריון בחודש אפריל, כ-2000 טסו בחברת ישראייר (כ-25% מהתנועה, לעומת התקופה המקבילה אשתקד שבה ישראייר תפסה 2.5% מכלל התנועה בנתב"ג). המספרים הגבוהים באופן חריג מפתיעים לנוכח הנסיבות והם מדגישים את הצורך והיכולת לבצע התאמות מהירות תחת ניהול אמיץ, ניצול יתרות מזומנים שנשמרו בחוכמה לזמנים קשים שכאלה וחיוזוק הקשר עם לקוחות החברה (חלק מהטיסות התקיימו במחירי הפסד בשל מגבלות הקורונה ושיעורי תפוסה נמוכים), כל זאת מתוך רצון להישאר חיוניים מבחינה כלכלית ונוכחים בסדר היום הציבורי בישראל, ולקבל הכרה בתרומה האסטרטגית-מדינית. חשיבה יצירתית, מהירה ואמיצה מכניסה את החברה למצב הישרדותי יציב, מאטה את קצב שריפת המזומנים ולא פחות חשוב - מציבה את החברה מוכנה ליום שאחרי. שיתוף הפעולה הכן ויחסי האמון המוחלטים בין ההנהלה לעובדים בחברת ישראייר יצרו תשתית וקרקע פורייה להוצאת תוכנית עסקית נושמת בסביבת המשבר הדינמית, המחייבת הירתמות של כל כוח האדם שנשאר בחברה.

גם אם נתחיל לצאת מהמשבר בקרוב, התאוששות ענף התעופה האזרחית עלולה להיות איטית, במיוחד בתחום הטיסות הבין-לאומיות. אנו נראה מטוסי נוסעים שישובו לטוס מבלי למלא את כל מושבי המטוס, ומבלי לכסות את עלויות הטיסה במלואן, וגם תפעול הטיסות ימשיך להיות מורכב לזמן לא ידוע. תפעול טיסה בין-לאומית בעולם מוכה מגפה הוא מבצע מורכב, הן בהטסת נוסעים והן בהובלה אווירית של מטענים. הטסת נוסעים מחייבת לבדוק אותם ולוודא את בריאותם טרם העלייה למטוס, וכן יש צורך למגן את צוות הקבינה ולחטא את המטוס לאחר הטיסה, במיוחד אם עולה חשד להימצאותו של חולה במטוס. הטסת מטענים מביאה את המטוס ליעדים שונים ברמות סיכון אפידמיולוגיות משתנות, וגורמי סיכון להידבקות עלולים לעבור מארץ לארץ עם הסחורה המוטסת ולהפיץ את המחלה.<sup>20</sup>

צעד נוסף שעשוי לסייע להתאוששות הכלכלית של הענף הוא סיוע של ממשלות ברחבי העולם. בניגוד למגזרים אחרים, תחום התעופה, מעצם היותו תחום ברמת סיכון גבוהה בהקשר הבטיחותי, מחייב פיקוח הדוק של רשויות התעופה המקומיות והבין-לאומיות. האחזקה של המטוסים נדרשת להיות מוקפדת, ושמירת הכשירות של צוות המטוס, ובמיוחד הטייסים, מחויבת להיות מקצועית ביותר. מעמסה רגולטורית זו מוצדקת, כמובן, אך יש בה כדי להכביד את עלויות התפעול של חברות התעופה, ויש מקום להתחשב בכך בעת משבר שבו השוק אינו מתפקד באופן שמשקף את העלויות הללו.<sup>21</sup>

יתרה מזאת, ביחסים שבין חברות התעופה לממשלות ישראל משתקף מצב מיוחד המצדיק סיוע ממשלתי. בחברות התעופה הישראליות עובדים רבים הם אנשי צוות אוויר שהם חלק מהמערך הלוחם והמקצועי של חיל האוויר הישראלי. רבים מהם משרתים במילואים מספר רב של ימים במהלך כל שנה. עובדה זו

19. על אף הטבות של מטוסים ואנשי צוות אוויר ישנו מחסור ניכר ביכולת העברת מטענים באוויר. ראו את פרסום IATA בעניין זה: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-04-28-01>.

20. ראו את כתבתה של מיכל רז חיימוביץ שעוסקת בנקודת המבט של הטייסים בישראל במהלך המשבר. הכתבה התפרסמה בעיתון "גלובס": <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001326305>.

21. ראו את הקריאה של IATA ושל ITF (Transport Workers' Federation) לסייע ממשלתי מיוחד לחברות התעופה בזמן המשבר: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-04-27-03>.

משרתת היטב את חברות התעופה הישראליות משום שהן זוכות לאנשי צוות אוויר מיומנים, אך גם משרתת היטב את ביטחון מדינת ישראל שכן הטייסים נמצאים בכשירות טיסה מתמדת, בגמישות גבוהה, ונכונים לקריאה בכל עת. יתרה מזאת, קיומו של ענף תעופה אזרחית חיוני ופעיל משרת היטב את המצב הגיאופוליטי הייחודי שישראל נמצאת בו. התעופה האזרחית הישראלית מוכיחה פעם אחר פעם את חיוניותה וייחודיותה בהקשר זה: בעתות מלחמה ומבצעים צבאיים חברות זרות ממעטות לטוס לישראל, ואף חדלות מכך לתקופות ארוכות, וחברות התעופה הישראליות שומרות על תנועה אווירית של נוסעים. על כך יש להזכיר מבצעי הטסה להעלאת יהודים מהעולם, שרשרת אווירית לאספקת מטענים חיוניים בתקופות משבר, חילוץ ישראלים מרחבי העולם וכיו"ב.

צעד נוסף שחשוב שיתרחש בישראל הוא שינוי מבני של הענף. כפי שהוסבר, המודל הכלכלי של כל חברות התעופה בעולם מתבסס על יתרונות לגודל, לכן יש מקום לשקול בחיוב את מיזוגן של שלוש חברות התעופה הישראליות, אל על, ישראייר וארקיע, לחברת תעופה אחת שתוכל להתמודד עם התחרות העזה בתחום.<sup>22</sup> צמצום התחרות שצפוי מהמהלך עשוי שלא לפגוע במחירי כרטיסי הטיסה, במיוחד משום רפורמת "השמיים הפתוחים" שהוכתרה בהצלחה ושהביאה לזינוק חד במספר הטיסות השבועיות בין ישראל ליעדים שונים בעולם.<sup>23</sup> כך יוצא שמלבד תרומתה הכללית של התעופה האזרחית לעולמנו, כפי שתואר בתחילת המאמר, יש מספר רב של נימוקים בטיחותיים, ביטחוניים, כלכליים ואחרים שמצדיקים סיוע ממשלתי מיוחד לחברות התעופה הישראליות בזמן משבר הקורונה.

ייתכן שהמשבר שכלכלת העולם חווה כתוצאה מהתפשטות נגיף הקורונה והצעדים שנדרשו כדי לשמור על בריאות הציבור יביאו לשינוי מהותי בדוקטרינה העסקית של חברות שהפעלתן מחייבת השקעה משמעותית בנכסים, בעוד שחוסן תלוי מדי ביכולת התזרימית החיובית שלהן. לדעתי, המשבר מחדד את הצורך של כל גוף עסקי, ובוודאי של חברות תעופה, לפתח כלים ניהוליים שיאפשרו תפעול זריז, גמיש ומסתגל, וכן אסטרטגיות מכירה שיגלמו את הסיכון הכלכלי הכרוך בהפעלתן, כך ששולי הרווח שלהן יאפשרו חוסן פיננסי נרכש. ברבור שחור עשוי תמיד להופיע, רק שהפעם הוא נראה כמו נגיף.

22. ראו את מאמרו של יורם גבזון ב"דה מרקר" המציג את אפשרות המיזוג של שלוש חברות התעופה הישראליות: <https://www.themarket.com/markets/premium-1.8800812>.

23. ראו את מאמרו של איתן אבראל ב"דה מרקר" היוצא נגד אפשרות המיזוג של שלוש חברות התעופה הישראליות:

<https://www.themarket.com/markets/premium-1.8815249>. ראו גם את מאמרו של דני שדה באתר החדשות "Ynet" הסוקר את התוצאות של מדיניות "השמיים הפתוחים" במלאת חמש שנים ליישום הרפורמה: <https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-5241635,00.html>.

# קורונה, מדע ורגולציה - נקודת מבטו של כלכלן

רונן בר-אל

ד"ר רוני בר-אל הוא כלכלן מן המחלקה לכלכלה וניהול באוניברסיטה הפתוחה. מחקריו עוסקים בכלכלה ציבורית, מדיניות כלכלית, כלכלת ביטחון וכלכלה התנהגותית.

**מאמר קצר זה דן בשאלת יעילות וטיוב עבודות רשויות הפיקוח על תרופות וחיסונים. ראשית, הוא מניח את היסודות הכלכליים לתעשיית הפרמצבטיקה, לאחר מכן הוא מציג ראיות אמפיריות לתפקיד הרגולציה בפיתוחם של תרופות וחיסונים, ולבסוף הוא מציג הצעות מדיניות.**

## 1. הקדמה

בימים אלה מצפים בני האדם על פני כל כדור הארץ לפריצת הדרך המדעית אשר תושיע את האנושות מפני הנגיף SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2) שגורם למחלה בשם COVID-19 (World Health Organization, 2020).

מגפה זו פוגעת בפרנסתם של מיליארדי אנשים ברחבי העולם ורבים מהם מגיעים אף לחרפת רעב מסכנת חיים. נכון לכתבת שורות אלה, יש בעולם מיליוני מקרים מאובחנים של קורונה ומאות אלפי מתים, אך מספרים אלה כנראה גבוהים הרבה יותר, מאחר שבכרבות מארצות העולם לא טורחים לבדוק במה האדם חולה וממה נובעת העלייה בתחלואה ובתמותה.

נכון לרגע זה, נזקיה של המגפה, במונחי תחלואה ותמותה, אינם נראים כה גרועים. אולם, לנגד עיניה של האנושות עומד זיכרון השפעת הספרדית שהשתוללה בעולם בין ינואר 1918 לדצמבר 1920, הדביקה כחמש-מאות מיליוני אנשים וקטלה 50-100 מיליוני אנשים (Center of Disease Control and Prevention, 2020) וכן זיכרון השפעת האסייתית שהתחוללה בין 1957 ל-1958 וקטלה בין מיליון לארבעה מיליוני אנשים (Department of Health and Social Care [UK], 2020).

התחלואה והנזקים הקשים שהמיטו מגפות העבר הביאו את הממשלות ברחבי העולם לנקוט צעדים של סגר ומניעת התקהלות, כדי להביא לצמצום מגע בין אנשים ובכך לצמצום אפשרויות הדבקה. לפיכך, עיקר נזקיה של מגפה זו הם נזקים כלכליים הנובעים ישירות מצעדי המניעה.

מגפה זו צפויה להביא לירידת התוצר העולמי ב-5.2% ב-2020, והכלכלות המפותחות צפויות להתכווץ אף ב-7%. במילים אחרות, לפי הערכות מיוני 2020, העולם צפוי לאבד יותר מ-4.5 טריליון דולרים (The World

(Bank, 2020). מאחר שסופה של המגפה אינו נראה באופק ונזקיה צפויים להאמיר, הבנק העולמי הגדיר את המשבר הכלכלי שהיא גורמת כאחד המשברים הקשים ביותר זה עשרות שנים.

מדענים רבים ברחבי העולם שוקדים ימים כלילות על מציאת חיסון, אולם זהו רק השלב הראשון. את החיסון יש לייצר בכמויות עצומות, יכולת הקיימת בעיקר בחברות תרופות מסחריות, וכן יש להפיצו ברחבי הכדור. חיסון כזה יביא לכך שחיייהם של רבים יינצלו והנזק הכלכלי העצום שעוד צפוי לנו כרגע לא יתממש.

מאמר זה דן בשלב נוסף בדרך לחיסון המיוחל - שלב הרגולציה. כל תרופה וחיסון עוברים שלבים ארוכים של בקרה על ידי גופי פיקוח ממשלתיים טרם הפצתם לציבור, כדי לבדוק שהם בטוחים לשימוש. לא פעם הושמעה ביקורת על גופי הפיקוח על כך שתהליך הביקורת המוקפד שהם מעבירים כל תרופה וחיסון מייקר את הפיתוח, מונע ומאריך פיתוחן של תרופות וחיסונים ובכך גורם נזק גדול שאף עולה על התועלת הנובעת מכך שהתרופות והחיסונים שיוצאים לשוק הם בטוחים יחסית (Klein, 2000, 2008).

עם זאת, אין להכחיש כי הידיעה שתורפות הנמצאות בשוק עברו פיקוח, בקרה ואישור גורמת לנו הצרכנים לא לפחד כאשר אנו נוטלים תרופה ולהרגיש די בטוחים (לפחות רובנו) כאשר אנו מקבלים חיסון.

ימים אלה ממחישים לנו את החליפין בין בטיחות לאיכות ורמת חיים. מחד-גיסא, כל יום שהרגולטור יעכב את החיסון יביא לנזק כלכלי רב ואובדן תועלת עצום מעצם ההגבלות אשר מוטלות עלינו כאנשים חופשיים. מנגד, מהרגע שבו יהיה חיסון מאושר, רובנו נרגיש בטוחים ליטול אותו.

בפרק 2 יתוו היסודות הכלכליים של תעשיית הפרמצבטיקה; פרק 3 דן בתפקיד הרגולציה בהליך פיתוחם של תרופות וחיסונים; ופרק 4 מסכם ומציע המלצות לשינוי מדיניות הפיקוח על תרופות וחיסונים.

## 2. רקע כלכלי

### צרכן החיסון

כאשר אדם צורך תרופה או חיסון הוא מקבל בנוזל, זריקה או כדור חומר שאין הוא יודע מה הרכבו, השפעותיו ונזקיו. במובן זה, האדם נמצא במצב המכונה מידע לא סימטרי. זהו מצב שבו ליצרן התרופה יש מידע רב יותר על המוצר שאותו הוא מוכר מאשר לצרכן. האדם הבריא שצריך להחליט אם להתחסן נגד קורונה הוא בדרך כלל אדם שונא סיכון ולכן מקנן בו החשש שמא החיסון אינו בטוח לשימוש ועשוי לגרום לו לנזקים איומים. חשש זה יביא רבים מן הצרכנים לסרב ליטול את החיסון.

חיסון יוצר מה שהכלכלנים מכנים השפעות חיצוניות חיוביות. כלומר, האדם המחוסן אינו חולה ולכן אינו מדביק. האדם הכווד אינו מפנים את השפעותיו החיוביות על כלל החברה ולכן, בהיעדר בקרה קפדנית, מספר מועט מדי של אנשים יטלו את החיסון. כתוצאה מכך, פוטנציאל התחלואה וההדבקה ימשיך להיות גבוה. כדי להפיג חשש זה מעביר הרגולטור (לשם דוגמה, מינהל המזון והתרופות האמריקאי - FDA) כל חיסון תהליך בקרה מוקפד וארוך, כדי לצמצם את ההסתברות שמייחס כל אדם לכך שהחיסון מזיק ובכך להגדיל את מספר האנשים שיסכימו ליטול אותו.

### הרגולטור

הרגולטור הוא שליח ציבור. הציבור שרוי בבורות רציונאלית (Downs, 1957), כלומר אין לו היכולת, הידע והזמן ללמוד על טיבו האמתי של החיסון. על-כן, הוא מוסר בידי של הרגולטור את הסמכות לבדוק את טיבו האמתי של חיסון ולשחרר לשוק רק את החיסונים הבטוחים.

בין הציבור לרגולטור קיימת בעיית סוכן-מנהל (Jensen & Meckling, 1976). בעוד שלציבור יש אינטרס שחיסונים בטוחים יצאו לשוק ומהר, לרגולטור יש גם אינטרס לשמור על שמו הטוב.

כאשר הרגולטור צריך להחליט אם לאשר חיסון אם לאו, הוא יכול לעשות שני סוגי טעויות: לאשר חיסון שאינו בטוח ואפקטיבי במאת האחוזים או לא לאשר חיסון בטוח ואפקטיבי. ככל שהרגולטור מקדיש יותר זמן לבדיקות, הוא מעכב חיסונים טובים אך גם מונע אישורם של חיסונים שהם פחות טובים.

אם יטעה ויאשר חיסון שאינו בטוח לגמרי, הרי שהוא ישלם מחיר (איש) בדמות תביעות, פרסום שלילי ועוד. אם יטעה וידחה יציאתם לשוק של חיסונים טובים, הלחץ הציבורי יהיה קטן יותר וכך גם הסיכוי לתביעות. שכן, מבחינת הציבור, אין חיסון והכל חלק מהתהליך ש"לוקח זמן". על-כן, הרגולטור מעדיף לא לקחת על עצמו סיכונים מיותרים.

#### הפירמות

יצירת תרופה חדשה היא תהליך ארוך ומסוכן. פעמים רבות פירמות מנסות לפתח תרופה, משקיעות ממון רב, אך תהליך הפיתוח נכשל והתרופה אינה יוצאת לשוק. מה לגבי התרופות הטובות שכן יצאו בסופו של דבר לשוק? גם תרופות אלה עברו תהליך ארוך של בקרה ורישוי, תהליך אשר ייקר ועיכב את יצורן. כתוצאה מכך, הציבור אינו נהנה מן התרופות במשך זמן רב וכשיצאו, שילם כסף רב על רכישתן שכן החברה המפתחת רצתה לנצל את זמן הפטנט הקצר יחסית שנותר לה כדי לגרוף רווחים (על זמן פטנט אופטימלי ראו, למשל, Nordhaus, 1972). עם זאת, עומדים לרשות הציבור תרופות וחיסונים יעילים ובטוחים.

### **3. התעשייה הפרמצבטית**

#### מחקר ופיתוח

התעשייה הפרמצבטית היא תעשייה עתירת הוצאות מחקר ופיתוח. היקף הוצאותיה על מו"פ שני רק לתעשיית המחשבים והאלקטרוניקה, והיא ניצבת בראש רשימת הוצאות המו"פ לעובד (Lakdawalla, 2018) . עם גילוייה של מולקולה אשר מטפלת במחלה מסוימת, היא נרשמת כפטנט. הסיבה לרישום המוקדם הוא ההליך הציבורי של בחינת התרופה שאינו מאפשר שמירה יעילה של סודות מסחריים (Morton & Kyle, 2011). אחרי ניסויים מוצלחים על חיות, מוגשת בקשה לרגולטור על-מנת שיאשר ניסויים בבני אדם. לאחר מכן, נערכים שלושה שלבים של ניסויים קליניים בבני אדם. בשלב הראשון בודקים את התרופה על בני אדם בריאים כדי לוודא שהיא אינה מסוכנת; בשלב שני מנסים כמויות שונות על אנשים חולים; בשלב השלישי מנסים את התרופה או החיסון על בני אדם כאשר קבוצת הבקרה בניסוי מקבלת תרופת פלסבו.

כ-70% מן התרופות או החיסונים אשר מגיעים לשלב הראשון שורדים את המבחנים ומגיעים לשלב השני, וכ-30%-40% מן התרופות והחיסונים בשלב השני ימצאו כבטוחים מספיק כדי להגיע לשלב השלישי. בסך הכול, כ-20%-30% מן התרופות והחיסונים שהחלו את השלב הראשון יסיימו את השלב השלישי ויאשרו לשימוש (Adams & Brantner, 2006). תהליך זה צפוי לארוך 8-10 שנים ולעלות כ-500 מיליון דולר (Blume-Kohout & Sood, 2013; Broom, 2020).

זכויות הפטנט מוענקות בדרך כלל ל-15-20 שנה, אולם החברה המפתחת יכולה ליהנות מהם רק מרגע שהמוצר מגיע לשוק, דבר שקורה זמן רב לאחר קבלת זכויות הפטנט. כשפגות זכויות הפטנט, הפירמה המפתחת ניצבת בפני תחרות עם פירמות המתמחות בייצור תרופות שאיבדו את זכויות הפטנט שלהן (כדוגמת חברת טבע הישראלית).

#### מהירות האישור ופיתוח תרופות וחיסונים

המהירות שבה יוצאים התרופה או החיסון לשוק קובעת את משך הזמן שבו החברה המפתחת תיהנה מזכויות המונופולין שמעניקה לה הגנת הפטנט, ולפיכך משפיעה על רווחיה. עד כמה משפיעה מהירות האישור על פיתוח תרופות חדשות? ב-1992 העביר הקונגרס האמריקאי חוק שאיפשר למינהל המזון והתרופות האמריקאי

(FDA) לגבות עמלות מיצרני התרופות כדי לממן את תהליך אישור התרופות והחיסונים (Prescription Drug User Fee Act - PDUFA). כתוצאה מחוק זה התקצר משמעותית זמן אישור התרופות והחיסונים (Olson, 2002).

(2009) Vernon, Golec, Lutter & Nardinelli מצאו כי קיצור זמן האישור ב-10% מביא לעליית הוצאות המחקר והפיתוח של חברות התרופות ב-1.4% עד 2%, כך שקיצור זמן האישור שנבע מן החוק הביא לעליית הוצאות המחקר והפיתוח של החברות במדגם ב-5% עד 7.2%. אישורן המהיר של התרופות הביא להצלתן של 140,000 עד 310,000 שנות חיים בעשור שלאחר אישורן (Philipson, Berndt, Gottschalk & Sun, 2008).

מעבר לעלייה בתועלת הצרכנים שמשמשים בתרופות חדשות יותר, הנובעת משיפור איכות החיים, מניעת אישפוזים והארכת החיים (Lichtenberg, 2007), מעודדים הרווחים הנובעים מכניסה מוקדמת לשוק את פיתוחן של תרופות וחיסונים נוספים. כל שנה נוספת של זכויות פטנט מגדילה את מספר התרופות שנכנסות לשוק ב-0.2% (Gilchrist, 2016).

מהירות האישור של תרופות וחיסונים חדשים גורמת גם לעיוות הקצאת המקורות למחקר ופיתוח. בעוד שמסלול לאישור תרופות, למשל למניעת סרטן או טיפול בסרטן בשלבים מוקדמים, הוא ארוך, תרופות המיועדות לטיפול בסרטן בשלבים מתקדמים עוברות מסלול אישור מהיר. מאחר שזמן הפטנט נתון הרי שחברות מפנות את רוב מאמציהן לפיתוח תרופות לטיפול בחולים קשים וכנראה אינן מקדישות מספיק מאמצים לפיתוח תרופות למניעתן של מחלות אלה, דבר שמביא לאובדן של שנות חיים רבות (Budish, Roin, Williams, 2015). נוסף על כך, מסלול האישור הארוך והיקר תורם לכך שחברות התרופות מתרכזות בשווקים שבהם צפויים רווחים גדולים וזונחות שווקים קטנים יותר (Dubois, de Mouzon, Scott-Morton, Seabright, 2015).

#### מהירות האישור וגודל החברה

בבואם לאשר תרופה או חיסון מושפעים הרגולטורים גם מן המוניטין שיש לחברה שביקשה את אישור הרגולטור למוצריה. לכן, חברות ותיקות וגדולות זוכות למסלולי אישור מהירים יותר מאשר חברות קטנות (Olson, 1997; Thomas, 1990). דבר זה תורם לריכוזיות של שוק התרופות והחיסונים ועליית מחיריהם. מיותר לציין כי כאשר הכסף הגדול קורץ, חברות אלה אינן מגלות עניין רב מדי בכל הנוגע לאחריות חברתית כלפי כל החולים (Leisinger, 2005).

#### **4. סיכום ומסקנות**

מאמר זה הציב את השאלה העומדת לפתחנו ביתר שאת בימים אלה של מגפה עולמית: האם ניתן לזרז את הגעתן של תרופות וחיסונים לצרכנים?

ראיות אמפיריות רבות מצביעות על כך שלתהליך האישור הארוך והיקר של תרופות מחירים כבדים, שכן הוא מעכב את הגעתם של מוצרים טובים לשוק ובכך גורם לאובדן שנות חיים ואיכות חיים, הוא מעוות את הקצאת המקורות למו"פ וכן הוא נותן יתרון בידי חברות גדולות, ובכך תורם לריכוזיות השוק ולעליית מחירים.

מן העבר השני, הפיקוח ההדוק מעלה את תועלת הצרכנים מפני שהוא גורם לכך שהתרופות, החיסונים והמכשור הרפואי אשר בידינו בטוחים יחסית לשימוש.

אכן, החולים אינם מתמרמרים, אולי מחוסר ידיעה, בשל העובדה שהם אינם מקבלים תרופה שאינה נמצאת בשוק אך יכלה להיות שם. אולם גם איננו רואים את זעקתם של אלה שצרכו את התרופות והחיסונים ונפגעו מכך.

האם ניתן להגיע לעולם אידיאלי בזמן הקרוב, עולם שבו תרופות בטוחות מאושרות במהירות? כנראה שלא, אולם בהחלט ניתן לשפר. כמובן, לא נרצה שחומרים מסוכנים ממש יגיעו לשוק אולם בהחלט ניתן להתפשר מעט במבחני האפקטיביות של הטיפולים (Grennan & Town, 2020; Isakov, Lo & Montazerhodjat, 2019) ולעבור ללמידה לאחר אישור.

בעידן שבו הידע מופץ במהירות בקרב הקהילה הרפואית, ניתן להגיע למצב שבו הקהילה הרפואית תסנן לעצמה במהירות את התרופות והחיסונים הטובים ביותר. כמו כן, דרישה חריפה יותר מחברות התרופות לאחריות חברתית ומוסרית המגובה בחוקים מתאימים תביא לכך שהן יבדקו את עצמן היטב לפני שהן מוציאות מוצרים לשוק, ולו מפחד של תביעות ענק.

שיפור כזה בעבודת הרגולטור יביא לכך שיותר אנשים ייהנו משירותי רפואה טובים יותר ובמחירים נמוכים יותר.

השפעתו העצומה של נגיף הקורונה על בריאותם וחייהם של אנשים רבים וכן על הכלכלה כולה הביאה את מינהל המזון והתרופות האמריקאי לבחון את בטיחותם ויעילותם של תרופות וחיסונים במסלול מהיר במיוחד (U.S. Food and Drug Administration, 2020). השאלה שעלינו לשאול היא אם נוכל להתקרב לעולם שבו כל התרופות והחיסונים עוברים מסלול פיקוח ובקרה מהיר כך שיותר אנשים ייהנו מתרופות וחיסונים טובים יותר, יעילים יותר וזולים יותר.

דומה כי ימים אלה של נזק כלכלי עצום שנגרם בעטייה של מגפה עולמית הם זמן מצוין לבחון מחדש את יעילות עבודתו של הרגולטור, ולהביא לשיפור.



## ביבליוגרפיה

Adams, C. P., & Brantner, V. V. (2006). Estimating the cost of new drug development: is it really \$802 million? *Health Affairs*, 25(2), 420-428.

Blume-Kohout, M. E., & Sood, N. (2013). Market size and innovation: Effects of Medicare Part D on pharmaceutical research and development. *Journal of Public Economics*, 97(1), 327-336.

Broom, D. (2020). 5 charts that tell the story of vaccines today.

Budish, E., Roin, B., & Williams, H. (2015). Do Firms Underinvest in Long-Term Research? Evidence from Cancer Clinical Trials. *American Economic Review*, 105(7), 2044-2085.

Center of Disease Control and Prevention. (2020). 1918 Pandemic (H1N1 virus). Retrieved June 10, 2020, from <https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/1918-pandemic-h1n1.html>

Department of Health and Social Care (UK). (2020). Coronavirus: action plan A guide to what you can expect across the UK. Retrieved from [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/869827/Coronavirus\\_action\\_plan\\_-\\_a\\_guide\\_to\\_what\\_you\\_can\\_expect\\_across\\_the\\_UK.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/869827/Coronavirus_action_plan_-_a_guide_to_what_you_can_expect_across_the_UK.pdf)

Downs, A. (1957). An Economic Theory of Political Action in a Democracy. *Journal of Political Economy*, 65(2), 135-150.

Dubois, P., de Mouzon, O., Scott-Morton, F., & Seabright, P. (2015). Market size and pharmaceutical innovation. *RAND Journal of Economics*, 46(4), 844-871.

Gilchrist, D. S. (2016). Patents as a spur to subsequent innovation? Evidence from pharmaceuticals. *American Economic Journal: Applied Economics*, 8(4), 189-221.

Grennan, M., & Town, R. J. (2020). Regulating innovation with uncertain quality: Information, risk, and access in medical devices. *American Economic Review*, 110(1), 120-161.

Isakov, L., Lo, A. W., & Montazerhodjat, V. (2019). Is the FDA too conservative or too aggressive?: A Bayesian decision analysis of clinical trial design. *Journal of Econometrics*, 211(1), 117-136.

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3, 305-360.

Klein, D. B. (2000). Policy medicine versus policy quackery: Economists against the FDA. *Knowledge, Technology & Policy*, 13(1), 92-101.

Klein, D. B. (2008). Colleagues, Where Is the Market Failure? Economists on the FDA. *Econ Journal Watch*, 5(3), 316-348.

Lakdawalla, D. N. (2018). Economics of the pharmaceutical industry. *Journal of Economic Literature*, 56(2), 397-449.

Leisinger, K. M. (2005). The corporate social responsibility of the pharmaceutical industry: idealism without illusion and realism without resignation. *Business Ethics Quarterly*, 15(4), 577-594.

Lichtenberg, F. R. (2007). Benefits and Costs of Newer Drugs: An Update. *Managerial and Decision Economics*, 28, 485-490.

Morton, F. S., & Kyle, M. (2011). Markets for pharmaceutical products. In *Handbook of Health Economics* (Vol. 2) (pp. 763-823).

Nordhaus, W. (1972). The optimum life of a patent: reply. *The American Economic Review*, 62(3), 428-431.

Olson, M. K. (1997). Firm characteristics and the speed of FDA approval. *Journal of Economics and Management Strategy*, 6(2), 377-401.

Olson, M. K. (2002). How Have User Fees Affected the FDA? *Regulation*.

Philipson, T., Berndt, E. R., Gottschalk, A. H. B., & Sun, E. (2008). Cost-benefit analysis of the FDA: The case of the prescription drug user fee acts. *Journal of Public Economics*, 92(5-6), 1306-1325.

The World Bank. (2020). Global Economic Prospects - June 2020. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2020/06/08/the-global-economic-outlook-during-the-covid-19-pandemic-a-changed-world>

Thomas, L. G. (1990). Regulation and Firm Size: FDA Impacts on Innovation. *The RAND Journal of Economics*, 21(4), 497.

U.S. Food and Drug Administration. (2020). Coronavirus Treatment Acceleration Program (CTAP). Retrieved June 14, 2020, from <https://www.fda.gov/drugs/coronavirus-covid-19-drugs/coronavirus-treatment-acceleration-program-ctap>

Vernon, J. A., Golec, J. H., Lutter, R., & Nardinelli, C. (2009). An exploratory study of FDA new drug review times, prescription drug user fee acts, and R&D spending. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 49(4), 1260-1274.

World Health Organization. (2020). Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it. Retrieved June 10, 2020, from [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it).

# בטון ופרחים: דימויה הציבורי של המהנדסת פרופ' רחל שלון

שרון גבע

ד"ר שרון גבע היא היסטוריונית וחוקרת מגדר, מרצה בסמינר הקיבוצים ובאוניברסיטת תל-אביב. ספרה האשה מה אומרת? נשים בישראל בשנות המדינה הראשונות ראה אור בהוצאת מאגנס (2020).

מאמר זה מביא את סיפורה של רחל שלון (1904–1988), מהנדסת בניין והאישה הראשונה בטכניון שהגיעה לדרגת פרופסור, בראי דימויה הציבורי כפי שהשתקף בעיתונות הישראלית. עיקרו דיון במתח האימננטי שבדימוי זה, לנוכח חצייתה של שלון את גבולות המגדר, כאישה במקצוע שבאופן מסורתי נחשב למקצוע של גברים, ושפעלה במרחב גברי מובהק. דיון זה מלמד כיצד בסופו של דבר ההערכה ואף ההוקרה לאישה שהייתה בכירת המהנדסות בשנותיה הראשונות של מדינת ישראל דווקא חיזקה וביססה את התרבות הפטריארכלית בחברה הישראלית ולא ערערה עליה.

## מבוא

בשנת 1960 התראיינה פרופ' רחל שלון (Rachel Shalon) ל"מעריב", שהיה אז העיתון המסחרי הנפוץ בישראל. בכתבה הוצגו ההישגים המחקריים והמקצועיים בתחום הנדסת הבניין של האישה הראשונה שהגיעה לדרגת פרופסור בטכניון, והייתה הראשונה מקרב כלל בוגרי המוסד ששולבה בסגל האקדמי שלו. לצד המחקר וההוראה, היא הקימה את התחנה לחקר הבנייה בטכניון ועמדה בראשה. העיתונאית התרשמה שלפניה אישה נוקשה למדי. "ביטון [כך במקור] הוא מקצועה - ובפגישה עמה מתעוררת ההרגשה שחלקי-חלקיקים מהחמרים אותם היא חוקרת, חדרו לגופה ולרוחה".<sup>1</sup> בה בעת היא דיווחה כי שלון היא "אשה צעירה ונאה", ש"אוהבת דברים יפים, וזה כולל גם בגדים", ונוהגת לטפח פרחים בגינת ביתה.<sup>2</sup>

כתבה זו היא ביטוי אחד למתח בין זהותה הפרופסיונלית של שלון לבין זהותה כאישה, מרכיב מרכזי בדימויה הציבורי, העומד במרכז מאמר זה. כנגד המקצוע שלה, שהיה גברי מובהק,<sup>3</sup> ודרגתה הבכירה בהיררכיה האקדמית, הועמדו חזותה החיצונית, בגדים ופרחים. בתמצית, היא הייתה, כלשון הכותרת של הכתבה, "הגברת-פרופסור". מגמה זו ניכרה גם בידיעות ובכתבות אחרות שפורסמו בעיתונות בישראל על שלון, בהן דווח על פועלה של בכירת המהנדסות בארץ והוותיקה שבהן, ויידונו במאמר זה. ברוח המוטיבציה העומדת בבסיס מחקרים בהיסטוריה של נשים,<sup>4</sup> מבקש המאמר להעלות מודעות לחשיבות מקומה של שלון בתולדות פרופסיה זו ביישוב העברי ומדינת ישראל, לא כל שכן למקומה בהיסטוריה הישראלית בכלל.

1. עדה כהן, "הגברת-פרופסור", מעריב, 15.7.1960, עמ' 16.

2. שם.

3. דפנה יזרעאלי, "המיגדר בעולם העבודה", מין מיגדר פוליטיקה, תל אביב: הקיבוץ המאוחד, 1999, עמ' 167-215.

4. דבורה ברנשטיין, "חוקר נשים בהיסטוריוגרפיה הישראלית: מקודת מוצא, כיוונים חדשים ותובנות שבדרך", מוגלית שילה, רות קרק, גלית חזן-רוקם (ערוכות), העבריות החדשות: נשים בציונות וביישוב בראי המגדר, ירושלים: יד יצחק בן-צבי תשס"ב, עמ' 7-25.

מקורו של מתח זה בחלוקת התפקידים המסורתית בין נשים לגברים, אבן יסוד בחברה הישראלית.<sup>5</sup> על אף שנשים מהוות כמחצית מספרית מן האוכלוסייה בעולם בכלל וברוב החברות בפרט, הן נחשבות מיעוט. נחיתותה של האישה בתרבות הפטריארכלית היא אינהרנטית: היא מתפקדת כ"אחר", כאובייקט, וגבולות פעילותה מתוחמים למרחב הפרטי, בעוד הגבר, ה"עצמי", הסובייקט האוטונומי, פועל במרחב הציבורי.<sup>6</sup> כאישה שהיא מהנדסת, חצתה שלון את גבולות המגדר. הדגשה של מרכיבים נשיים מסורתיים בסיפור חייה ופועלה ניטרלה את האיום שגילמה על אבן יסוד זו, ובכך סללה את הדרך לגילוי הערכה ואף הוקרה כלפיה. בתוך כך, באופן לא פרדוקסלי, בוצרו גבולות המגדר ולא נסדקו.

### הטרגדיה של המהנדסת

בעשור הראשון למדינת ישראל רוב הנשים לא עבדו מחוץ לבית. מקרב הנשים שעשו זאת, מעטות בחרו במקצועות שבאופן מסורתי נחשבים למקצועות של גברים, שביסודם הובלה והנהגה או הפעלת מכשירים, כמו נהגת, שענית ומהנדסת. בתקופה זו, שיעור הנשים מקרב כלל המועסקים במשק היה בין חמישית לרבע. ב-1958, שיעור הנשים שעבדו גם מחוץ לבית עמד על 27.3%. כשליש מהן עבדו במשרה חלקית.<sup>7</sup> רובן עבדו במקצוע נשי מסורתי כמו מטפלת וגננת, מורה ואחות, ספרית וקוסמטיקאית. מיעוטן היו רופאות ומהנדסות.<sup>8</sup>

בסדרת כתבות תחקיר שערכה העיתונאית תקוה וינשטוק ב-1960 בנושא נשים במקצועות חופשיים נמצא כי להלכה כולם פתוחים בפני נשים, אך בפועל רק מעטות עבדו במקצוע שלא היה נשי מסורתי והתמידו בו. הפער בין ההצהרה על שוויון הזדמנויות בשוק העבודה לבין המציאות היה ביטוי לפער הכללי בין ההכרזה על שוויון במדינת ישראל כפי שהתגלמה במגילת העצמאות,<sup>9</sup> לבין מעמד האישה בישראל בפועל. אז, הנשים לא היו שוות, לא מבחינה חוקית ולא מבחינה חברתית.<sup>10</sup> עוד נמצא, כי גם כאשר שיעור הנשים במקצוע מסוים היה גבוה, למשל בהוראה, רובן ככולן היו בדרגות נמוכות בו.<sup>11</sup>

כך היה גם בתחום ההנדסה. שיעור המהנדסות מקרב חברי אגודת האינג'נרים והארכיטקטים לא עלה על 3%. הקושי העיקרי היה התמודדות עם יחסם של הגברים, עמיתים וממונים, לנשים במקצוע, וההכרח שלהן לחזור ולהוכיח את יכולותיהן בפניהם. העיתונאית וינשטוק כינתה זאת "הטרגדיה של המהנדסת".<sup>12</sup> המאבק של כל מהנדסת ומהנדסת לא היה מאבק כללי על מקומן של נשים במקצוע באשר הן נשים, אלא פוצל למאבקים-מאבקים שכל מהנדסת חזרה וניהלה בנפרד. אלה תרמו גם להפרדה בין הנשים לבין עצמן וביססו את שליטתם של הגברים בתחום זה. בין השורות בצבצה גם בדידותן של נשים במקצועות של גברים, שהועצמה לנוכח הגברים במקצועות אלה, שביצרו את מקומם ב"מועדון סגור".

במסגרת סדרת הכתבות התראיין גם אוריאל שלון (פרידלנד), אז יו"ר אגודת האינג'נרים ומנהל בית החרושת "שמן",<sup>13</sup> שהוצג בתור "בר-סמכא" בנושא. הוא אמר ש"יש הרבה מהנדסות מצטיינות במקצוע". העיתונאית העירה כי "לא בכדי הוא סבור כך: רעיותו היא רחל שלון, הפרופסור בפאקולטה [כך!] לבניין, ראש התחנה לחקר הבנייה ונשיאת הארגון הבינלאומי למעבדות וחומרים, היא המהנדסת שהגיעה לדרג הגבוה ביותר בישראל, שרק גברים מעטים זוכים לו".<sup>14</sup> רחל שלון לא רואינה לכתבה הזו.

5. דפנה יזרעאלי, אריאלה פרידמן ואחרות, *מין מגדר פוליטיקה*, תל אביב: הקיבוץ המאוחד, 1999, עמ' 9-18.

6. סימון דה בובואר, *המין השני*, תל אביב: בבל, 2001, במיוחד עמ' 27-9.

7. "עבודה", *שנתון סטטיסטי לישראל 4*, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, ירושלים: המדפיס הממשלתי, תשי"ג, עמ' 77; "עבודה: כוח אדם, תעסוקה ואבטלה", *שם*, 6, תשט"ו, עמ' 116; האוכלוסייה (בגיל 14 ומעלה) לפי תכונות כוח העבודה, הדת והמין, *שם*, 10, תשי"ט, עמ' 292-293.

8. ליליה בסניץ, *ולו רק הד...*, תל אביב: הקיבוץ המאוחד, 1981, עמ' 101-102; "חוסר קטן של מקצועות לבחירת הנערה", *הארץ*, 30.12.1957, עמ' 3.

9. הכרזת העצמאות של מדינת ישראל, מדינת ישראל הממשלה הזמנית, עתון רשמי מס' 1, תל אביב, 14.5.1948, אתר הכנסת, <http://www.knesset.gov.il/docs/heb/megilat.htm>.

10. ראו למשל, אריאלה פרידמן, "על פמיניזם, נשיות וכוח של נשים בישראל", דפנה יזרעאלי, ואחרות, *מין מגדר פוליטיקה*, תל אביב: הקיבוץ המאוחד, 1999, עמ' 19-47.

11. תקוה וינשטוק, "כבודה של בת ישראל - פנימה?", *מעריב*, 31.8.1960, עמ' 6.

12. תקוה וינשטוק, "נמרוס קלאוזוס" לנשים בביה"ס לרפואה", *מעריב*, 5.9.1960, עמ' 7.

13. "שמן" - חלוץ התעשייה בישראל", *ידב*, 23.12.1960, עמ' 30.

14. וינשטוק, "נמרוס קלאוזוס".

תהא הסיבה להיעדרה מבין המרואיינות לכתבה אשר תהא, ממרחק הזמן זהו ביטוי אחד לאזכור מצבה המשפחתי של שלון ובכלל זה מעמדו המקצועי של בן הזוג שלה.<sup>15</sup> ככל שחלפו השנים ובתוך כך ככל שהתקדמה בעבודה ובדרגה האקדמית, חזר והוזכר פרט זה. לדוגמה, בסקירה של מדליקי המשוואות בחג העצמאות ה-32, אז נבחרה שלון להדליק משואה. היא הוצגה בה בתור "מהנדסת בניין ופרופסור בטכניון", "אזרח כבוד של העיר חיפה" וכנשואה לאוריאל שלון, מהנדס ומנכ"ל "שמן", אזרח כבוד של חיפה אף הוא. בהמשך פורטו הישגיה המקצועיים, באקדמיה ומחוץ לה.<sup>16</sup> לימים נקרא על שמו רחוב בעיר חיפה.

### "אשה ואיש-מדע כאחד"

סדרת הכתבות על נשים בשוק העבודה הייתה יוצאת דופן בהשוואה לידיעות וכתבות שפורסמו בעיתונות על נשים שהחזיקו במקצועות שבאופן מסורתי נחשבו למקצועות של גברים. סדרת כתבות זו הייתה תחקיר שמטרתו לברר את הסיבות לנחיתותן הכללית של נשים בשוק העבודה. ככלל, כתבות וידיעות על נשים במקצועות גבריים הביאו את סיפורי חייהן ופועלן והציגו אותן כמיוחדות במינן, לעולם תוך הדגשת סממנים נשיים בסיפוריהן ובדמותן. לגילויי ההערכה הוצמדה התייחסות לתיפקודן בבית והובלטו תכונות נשיות מסורתיות באישיותן או פרטים בחזותן החיצונית. כך היה גם בכתבות על המהנדסת שלון; למשל, כשסופר כי היא "מגלמת באישיותה את המיזוג של אשה ואיש-מדע כאחד".<sup>17</sup> מיזוג זה היה מטאפורי וכן ממשי: כך, "על שולחן עבודתה במשרד אפשר למצוא בפינה אחת - חתיכת בטון, ובפינה השניה - אגרול ופרחי נוי".<sup>18</sup>

כתבה אחרת על שלון נפתחה בתיאור חזותה החיצונית: "שיערה חום-שחור, שזור חוטי כסף, עיניה חומות, רכות ופקוחות". לבושה אלגנטי, קולה שקט והיא "נראית צעירה הרבה מכפי גילה". העיתונאית כינתה אותה "הגברת הגדולה של הטכניון" וציינה כי הפרופסור אינה קשוחה כפי שהיא עשויה להצטייר. עוד ציינה, כי בסופו של דבר "רחל שלון היא ביסודה מורה".<sup>19</sup> אמנם לא מן הנמנע שהכוונה הייתה להעלות על נס את העובדה ששלון העמידה תלמידים וגם תלמידות הרבה, אך בכך כללה אותה, גם אם מבלי משים, בפרופסיה נשית מובהקת ובכך חיזקה את זהותה כאישה בפני קהל הקוראים והקוראות.

רחל שלון לבית זנמירובסקי (Znanmirowska) נולדה בפולין בערב פסח תרס"ד (1904), בת לגיטל וחנוך, סוחר עצים, וגדלה בקאליש. היא סיפרה כי משחר ילדותה לימדה אותה אביה, כמו את אחיה ואחיותיה, להיות עצמאית. סיפור חייה כפי שתיארה אותו מלמד שנחישות וחתירה להשגת המטרות שהציבה לעצמה היו מנת חלקה מימי הנעורים. למשל, כשהייתה נחושה ללמוד עברית אף שאביה אסר עליה זאת מפני שזו שפת קודש, או כשהחליטה בגיל חמש עשרה ללמוד בבית ספר יהודי בוורשה, מכיוון שלא יכלה לסבול את גילויי האנטישמיות בבית הספר הפרטי שבו למדה. הוריה סירבו, שכן לא רצו שתעזוב את הבית, והיא פתחה בשביתת רעב. לבסוף עברה לגור בבית דודתה בוורשה. לאחר שסיימה את התיכון בהצטיינות במתמטיקה למדה הנדסה כימית בפוליטכניון של ורשה. ב-1925, בשל גילויי אנטישמיות, החליטה להמשיך את לימודיה בצ'כיה. בינתיים הצטרפה לקבוצת סטודנטים יהודים שיצאו לסיור בפלשתינה-א"י, שבה נפתחה אז האוניברסיטה העברית. בעקבות הביקור החליטה להישאר בארץ, למגינת לבם של הוריה שהודיעו לה כי יחדלו מלתמוך בה כלכלית.<sup>20</sup>

בארץ המשיכה את לימודיה בטכניון בתחום ההנדסה האזרחית ובמהלכם עבדה במעבדות מפעל המלט "נשר". ב-1930 סיימה את לימודיה בטכניון ונישאה. כעבור שנה הצטרפה לסגל הטכניון, שבו כיהנה כמשנה

15. "טור אחון: בראש ריל"ם - אשה", למחבר, 20.7.1960, עמ' 2.

16. "פרופ' רחל שלון המהנדסת הראשונה", מעריב, 17.4.1980, עמ' 19.

17. "בטון - ופרחי נוי", מעריב, 19.7.1960, עמ' 3.

18. שם.

19. סוניה דאץ-לזר, "המלט והלבנים של רחל שלון", מוסף ימים וילות, מעריב, 13.8.1971, עמ' 28-29.

20. שם, עמ' 28.

לנשיא לענייני מחקר, משנה נשיא לעניינים אקדמיים ודיקן בית הספר ללימודי מוסמכים. בכך הייתה הראשונה מקרב כלל הבוגרים של הטכניון, גברים ונשים, שהגיעה לדרגת פרופסור מן המניין.<sup>21</sup> בתחילת שנות החמישים הקימה בטכניון את התחנה לחקר הבנייה שבה התקיימו מחקרים בנושא ניהול בנייה והתאמתה לתנאי אקלים בישראל.<sup>22</sup> אלה היו שנות העלייה הגדולה, ובמהלכה חזרה והוכפלה האוכלוסייה היהודית בארץ, הבנייה הואצה ונדרשו פתרונות דיוור מיידים.<sup>23</sup>

מן הכתבות על שלון עולה שמקור המוטיבציה שלה ללמוד הנדסה לא היה רק נוף הילדות והנעורים והעניין האישי אלא גם השינויים שחלו במעמד האישה שהתרחשו במקביל לחייה כאישה צעירה. היא אמרה: "תקופת נעוריי הייתה תקופת שחרור האשה. חוקי שווי-זכויות כבר הופעלו בארצות מספר והחלה התעוררות ורצון לגלות ולדעת. ההנדסה עניינה אותי ויתכן שהיה במקצוע כוח-משיכה, גם בגלל היותו בלתי-מקובל על נשים".<sup>24</sup> שנות העשרים של המאה העשרים היו שנות הגל הראשון של הפמיניזם, שהתבטא בעיקר במאבק הסופרז'יסטי. כך היה גם בארץ, אז בתום מאבק בן תשע שנים (1917-1926) קיבלו הנשים ביישוב העברי בארץ ישראל זכות בחירה.<sup>25</sup>

גם לאורח החיים השוויוני שניהלה שלון בביתה הפרטי היה מקום, לא כל שכן לגישתו של בן הזוג שלה כלפי הישגיה המקצועיים והאקדמיים. לשלון עצמה לא היה ספק כי אי-אפשר לאשה להגשים קריירה של ממש בלי בעל מבין, אך אף כי בעלים רבים מצהירים על תמיכה בשוויון האשה, הם מתנגדים לכך כשהדבר נוגע לחייהם. בני אדם שואלים מדוע אין נשים מגיעות לפיסגה לעתים קרובות יותר, גם כשכשרונותיהן ויכולתן ברורים ואינם מוטלים בספק. אולי זה משום שלאשה, אין אשה להיות עוזר כנגדה. אפשר שזו הלצה, אך בלי בעל מבין, נקרעת האשה והקונפליקט מונע את החופש והריכוז ההכרחיים להתקדמות מקצועית.<sup>26</sup>

דכריה אלה מלמדים על גילוי מודעות לגבולות המגדר ובתוך כך לפער בין הרטוריקה השוויונית "בלי הבדל מין", כלשון מגילת העצמאות, לבין מציאות חיייהן של נשים בישראל כפי שהתקיימה בפועל - לא רק כאזרחיות המדינה אלא גם בעולם העבודה. גם לה היה ברור שעבודות הבית הן מנת חלקן של הנשים ופתרונות ימצאו באמצעות נשים אחרות שיעשו אותן במקומן - עוזרת או מטפלת. אפשר לשער שכך התנהל גם ביתם של הזוג שלון. דברים ברוח דומה היא אמרה באירוע בנושא נשים במדע שארגנה מועצת הפועלות; בעוד שגבר יכול להשקיע את כל זמנו ומרצו במחקר, אישה נדרשת למלא במקביל את עבודות הבית ולעבודה כפולה זו יש מחיר פיזי ונפשי כאחד.<sup>27</sup>

## המהנדסת הראשונה

המתח בין זהותה המקצועית של שלון לבין השתייכותה המגדרית עמד ביסוד הדימוי הציבורי שלה. האמצעי להפגתו היה הדגשת סממנים נשיים מסורתיים בדמותה - בחזותה החיצונית ובאישיותה. אלה חזרו והזכירו לציבור כי אף שמדובר על מהנדסת בכירה ובעלת שם, פרופסור בטכניון, זהותה כאישה לא נפגמה. במקביל, המאמצים לנרמל את חצייתה את גבולות המגדר פעלו גם בכיוון ההפוך ואישו את גבולות המגדר, עת חזרו והדגישו את האנומליה שבקריירה של שלון.

21. שם, עמ' 29.

22. "המכון הלאומי לחקר הבנייה: תולדות המכון", אתר הטכניון, <https://nbri.net.technion.ac.il/korotamahon/> (גישה אחרונה: 12.4.2020). במהלך השנים פרסמה שלון מחקרים רבים בתחום הבנייה, וביניהם הספר *חמרי מליטה* (תל אביב: מידות, 1964) ומחקרים שהתבצעו בתחנה לחקר הבנייה בטכניון, ובהם *בקרת בטון בבניינים* (1954), *השפעת גובה החודים בבתי מגורים מבחינה אקלימית*, ארכיטקטונית וכלכלית (1962), *דין וחשבון על תקירה של חול גרוס* (1965) ו*סדיקה פלסטית בבטון יצוק באקלים חם* (1970).

23. משה סיקרון, "העלייה ההמונית" - ממדיה, מאפייניה והשפעותיה על מבנה אוכלוסיית ישראל, מרדכי נאור (עורך), *עולים ומעברות: 1948-1952*, ירושלים: ידי יצחק בן-צבי, 1988, עמ' 31-52.

24. כהן, "הגברת-פרופסור".

25. מרגלית שילה, *המאבק על הקול: נשות היישוב וזכות הבחירה*, ירושלים: ידי יצחק בן-צבי, 2013.

26. דאיץ-לזר, "המלט והלבנים של רחל שלון", עמ' 29.

27. "מדעניות מתאחדות חיהן", *הארץ*, 3.11.1960, עמ' 4.

שלון, במודע או שלא במודע, לא השלימה עם כך. היא לא ראתה את עצמה יוצאת מהכלל, למשל כשאמרה: "אין לי צל של ספק, שנשים יכולות להצליח במקצוע זה ממש כגברים"<sup>28</sup>. ב-1957 קיבלה דרגת פרופסור, ב-1965 מונתה לתפקיד רקטור הטכניון.<sup>29</sup> באותה תקופה, שיעור הנשים מקרב כלל הסטודנטים להנדסה בטכניון עמד על כ-8%. היא סיפרה כי "עם הסטודנטיות אני מקיימת קשרים הדוקים וקרובים יותר; הן פונות אלי גם בבעיות אישיות, כדבר אשה אל אשה"<sup>30</sup>. אין ספק שעצם נוכחותה של אישה בקרב הסגל האקדמי הבכיר שימשה תמריץ לצעירות שבחרו ללמוד במוסד, בוודאי סיפקה תמיכה במהלך הלימודים ונראה שהן ראו בה, כך או אחרת, מודל.

שלון זיהתה את המקור העיקרי בביצורם של גבולות המגדר בחברה הישראלית, שהתבטא בראש ובראשונה בהסללתן של נשים למקצועות שביסודם טיפול ושירות בגיל צעיר מאוד - בבית ובמוסדות החינוך. "קחו את הצעצועים [...] מלכתחילה נותנים אנו את הבובה בידי הילדה ואת ארגז הבניה בידי הילד. לוא ניתן ארגז הבניה בידי הילדה יש להניח שהיתה מצליחה לבנות בקוביות באותה הצלחה כמו הילד". גם הגישה כלפי בנות בבית הספר מאששת הסללה זו: "קיימת דעה קדומה שהנשים אינן מוכשרות למתמטיקה. מכאן נובע יחס שונה אל התלמיד והתלמידה", טענה.<sup>31</sup> הדברים שאמרה ב-1960 תואמים את הממצאים והמסקנות של חוקרות בתחום החינוך, הן בדבר ההסללה של ילדות ונערות למקצועות נשיים מסורתיים והן בדבר כישוריהן במתמטיקה.<sup>32</sup>

תיעוד פועלה של שלון מלמד שהיא סומנה בתור אישה פורצת דרך, אפילו יחידה במינה. אף שנראה שהייתה המהנדסת הראשונה בתולדות היישוב ומדינת ישראל, במהלך השנים לא הוצמד לה כינוי זה. בה בעת, אין ספק שהיא ראתה עצמה בתור כזו: ראשונה ולא יחידה, מי שבעקבותיה יבואו נשים נוספות. בהזדמנות אחרת ציינה כי "היעד הטבעי שלנו צריך להיות - 50% נשים במקצועות הטכנולוגיים, כמו יחס מספרנו באוכלוסייה הכללית"<sup>33</sup>. שלון הלכה לעולמה ב-1988; יעד זה עדיין לא הושג.<sup>34</sup>

28. כהן, "הגברת-פרופסור".

29. "העלאות בסגל האקדמי בטכניון", הבוקר, 5.5.1957, עמ' 5; צבי טל, "פרופ' רחל שלון תיבחר לכהונת רקטור הטכניון", חרות, 3.6.1965, עמ' 4.

30. כהן, "הגברת-פרופסור".

31. "מדעניות מתארות חייהן", האבץ.

32. שושנה בן צבי-מאיה, רחל הרץ-לזרוביץ, מרילין פ. ספיה, "מורים ופרחי הוראה - על סיווג בניס ובנות כתלמידים בולטים", עינונים בחינוך 53-54 (1990), עמ' 71-88; פאדיה נאסר-אבו אלהיא, "אי שוויון בהישגים: הבדלים בין-תרבותיים ומגדריים בהישגים במתמטיקה", יוסי שביט, יריב פניגא, רינת ארביב-אלישיב (עורכים), יש סיכוי לשינוי תאוריה ומחקר עדכני על שוויון הזדמנויות בחינוך, תל אביב: מופ"ת, 2017, עמ' 200-228.

33. טל צבר-נתיב, "במקצועות ההנדסיים - רק 9 אחוז נשים", דבר, 27.10.1975, עמ' 9.

34. בשנת הלימודים 1999-2000 עמד שיעור הסטודנטיות להנדסה בכלל המוסדות להשכלה גבוהה על 25%, ובשנת הלימודים 2016-2017 על 29%. מיירי אלון, אנה ליטבק ואחרים, השכלה גבוהה תשע"ג: סטטיסטיקה 168, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2018, עמ' 6. בשנת הלימודים 2017-2018 שיעור הנשים מכלל הסטודנטים בטכניון היה 36.7%. איילת טל, נשים וגברים בטכניון: סטודנטים וחברי סגל 2018 דו"ח שנתי תמציתי, אתר הטכניון, עמ' 3. <https://women.technion.ac.il>. שיעור הנשים בדרגת פרופסור מן המניין היה כעשרה אחוזים. עמ' 7.



# המהפכות הטכנולוגיות של הכסף - איך למדנו לספור ולאהוב את המדינה

שרון גורדון

שרון גורדון היא ד"ר להיסטוריה. תחום עיסוקה היסטוריה גרמנית והיסטוריה של הכסף. היא מייסדת ומנהלת-שותפה של רשת מדעי הרוח והחברה.

התפתחות הכסף הייתה קשורה מראשיתה במהפכות טכנולוגיות. מהפכת הכתב והחותם בעת העתיקה הולידה את המטבע הקשה, מהפכת הדפוס את כסף הנייר, המהפכה הדיגיטלית את הכסף הדיגיטלי ואולי המטבעות הקריפטיים, תולדת מהפכת הבלוקצ'יין, הם התפתחות חדשה בהיסטוריה של הכסף. כל אחד מהשלבים הללו הוא מהפכה כשלעצמו, והם לא רק העצימו את הסחר אלא גם את האוריינות הכללית, עיצבו את תופעת המדינה וחוללו שינויים עמוקים בתודעת האינדיבידואל וביחסים החברתיים. המטבעות הקריפטיים, שהאבטיפוס שלהם הוא הביטקוין, הם תופעה חדשה, שלא ברור עדיין אם היא מהפכה חדשה בהיסטוריה של הכסף ולאן תוביל אותו.

ב-5 בנובמבר 2002 הנפיקה המטבעה האוסטרית כ-15,000 מטבעות כסף המכונים "מריה תרזה טאלר", ארזה אותם יפה ושלחה לבנקים ומזמינים אחרים ברחבי העולם - בערב הסעודית, בארגנטינה, בארה"ב, באתיופיה ועוד. ב-2017 הגדילה לעשות והשיקה מהדורה מיוחדת של המטבע לציון 300 שנה להולדתה של הקיסרית שהנפיקה אותו לראשונה. מדינה מהמתקדמות בעולם, חברה בגוש האירו, עדיין מנפיקה מטבע ממשי עשוי כסף המשמש כמטבע עובר לסוחר ברציפות מדהימה מ-1741 ועד היום. בעודה מנהלת כלכלה עם הכסף הדיגיטלי החדשני ביותר, היא מספקת עדיין כסף בצורתו הקדומה ביותר - המטבע הקשה.

אלפיים חמש מאות שנים עומדות בין המטבע הראשון לבין העולם הדיגיטלי שלנו. אלפיים חמש מאות שנים שבמהלכן הפך הכסף לעורק התחבורה של הכלכלה, החברה והמדינה. או במילותיה של לייזה מינלי בסרט "קברט" הבלתי נשכח: "money makes the world go 'round". מאיפה בכלל צץ המטבע? ואיך הוא הפך כעבור אלפי שנים מהשליט הבלתי מעורער של הכסף לביטוי אנכרוניסטי שלו?

כסף וטכנולוגיה הלכו תמיד יד ביד. המהפכה התעשייתית בראשית המאה ה-19 נשענה על אפשרויות מסחר חדשות שנוצרו כאשר שוק הכסף הפך לזריז ומתוחכם יותר, ועל כן עודד שימוש בטכנולוגיה חדשנית להגדלת הייצור. באותה המידה חוללו גם שינויים טכנולוגיים מהפכות בתחום הכסף. יחסי הגומלין בין טכנולוגיה לכסף מלווים את ההיסטוריה האנושית, והשפיעו על יחסים בין בני אדם. בעמודים הבאים אתאר



כיצד חוללו מהפכות טכנולוגיות מהפכות בתחום הכסף - מהמצאת המטבע ועד הביטקוין - וכיצד השפיעו מהפכות הכסף על התודעה האנושית.

## מהפכת המטבע

כמו דברים רבים אחרים בהיסטוריה האנושית, גם הולדת הכסף הוא תוצאה של תהליך אבולוציוני. הוויכוחים המרים שמנהלים המומחים לדבר על שאלת מקור הכסף (חליפין, חוב או המקדשים) נראים להדיוטות כעיוני דקדקנות נרקסיסטיים.<sup>1</sup> אך לעתים הסערה גולשת אל מחוץ לשלולית, כפי שארע, למשל, בעת מחאת "occupy wall street" שפרצה בעקבות משבר הפיננסי של 2008 נגד וול-סטריט וחילוץ על ידי ממשל אובמה. המחאה הציתה מחדש את הוויכוח על מקורות הכסף ומשכה אליו תשומת לב ציבורית מחוץ לכותלי האקדמיה.<sup>2</sup> אך על דבר אחד מתיישרות כל החוקרים בשורה אחת ומסכימים עליו ללא עוררין - המצאת המטבע היתה המהפכה הגדולה הראשונה של הכסף.

עד המצאת המטבע סחרו אנשים ביניהם בדרכים מגוונות. לעתים החליפו אלה עם אלה את הסחורות שבהם חשקו באופן ישיר - כבשה תמורת פרה, חלב תמורת מלפפון. לעתים הקצו סחורות, כגון בדים, צדפים ותכשיטים, למטרת חליפין בלבד ואלה היו ל"אמצעי חליפין". מתכות יקרות - זהב, כסף ונחושת - שמשו אף הן כמעין סחורה המיועדת לחליפין (וגם קצת לכלים ותכשיטים). המקרא מספר על אברהם אבינו, דהיינו על המאות ה-20-15 לפנה"ס, שרכש את מערת המכפלה בארבע מאות שקל כסף (מתכת),<sup>3</sup> ואילו הפילוסוף היווני הרקליטוס, שחי בין המאה ה-6 ל-5 לפנה"ס, כבר התייחס אל הזהב כמתכת היקרה, האצילה והנחשבת ביותר וכתב כי "הכול הוא תמורה לאש, והאש תמורה לכל. כשם שזהב הוא תמורה לסחורה, וסחורה תמורה לזהב".<sup>4</sup> המתכות, ובראשן הזהב, הפכו, אכן, לאמצעי חליפין מועדף עד לתוככי העת החדשה המאוחרת. המתכת היתה עמידה, נוחה לנשיאה, היא העניקה ערך, ובנוסף לכל היא היתה נזילה ולכן נוחה לחלוקה (שלא כמו פרה או עץ, למשל), אך היא היתה עדיין סחורה, טובין, ובפרפראזה על דברי הרקליטוס יכנה קרל מרקס בן המאה ה-19 את הזהב "סחורת-כל-הסחורות". בעת העתיקה נקבע ערכו של כל אמצעי חליפין - בקר, בדים, צדפים, דגן או זהב - אד הוק בעת ביצוע העסקה, וכל עסקה עמדה בפני עצמה. כמו כל סחורה גם את הזהב, "סחורת העל", צריך היה לבחון בכל מקרה לגופו - לשקול אותו ולבדוק את מידת הטהרה שלו באבן-בוחרן, ורק אז ניתן היה לבצע עסקה.

כל זה השתנה ברגע שמאן דהוא לקח טכנולוגיה נפוצה באותה התקופה ובעזרת שינוי קל בייעודה יצר את המטבע הראשון. החותם - אבן או מתכת שחרוטים בה סימנים וציוורים ספציפיים שניתן להטביע על גבי חרס או מתכת בשימוש חוזר - שימש כבר מהאלף הרביעי לפנה"ס כאמצעי לזיהוי וביטחון, במקביל לראשית הכתב. החותם שימש כעדות והוכחה לזהות השולח על גבי מסמכים, או כסימן על גבי כלי חרס המעיד על מקור היין, השמן או כל מוצר אחר שהיה בתוכם, והשתלב עם מהפכת הכתב לכדי יצירת מערכת חקיקה ותעודות. במהלך מבריק יצר שליט לידיה, עיר מדינה יוונית בעת העתיקה השוכנת על חופי אסיה הקטנה, טורקיה של ימינו, בין המאה ה-6 ל-5 לפנה"ס, דיסקית עשויה סגסוגת של זהב וכסף שעליה מוטבע חותם. הדיסקית לא שימשה כחתימה על מכתב, חוק, חוזה או כלי כלשהו. היא היתה היא והעידה על עצמה בלבד. היא היתה המטבע הראשון. מעתה יכולת להביא מתכות לסדנה מסוימת בבעלות המדינה, שם הרכיבו מהן

1. נטיב החליפין הוצג על ידי אדם סמית, אבי האסכולה הקלאסית הליברלית של הכלכלה, בספרו "עושר העמים" מסוף המאה ה-18, בכרך הראשון פרק ד' (בעברית: אדם סמית, "עושר העמים", תרגום מאנגלית יריס עיטם ושמשון ענבל, עמ' 108-112). ראו גם Carl Menger, *On the Origins of Money*, 1892. תאוריה זו רואה את הכסף כהתפתחות "מלמטה", מחליפין ישירים לחליפין מורכבים. למולה צמחה תפיסה מוסדית הוואה את הכסף כביטוי של חוב/אשראי הנשלט על ידי סמכות המדינה. ראו Georg Friedrich Knapp, *State Theory of Money*, 1905. תפיסה שליטית, מוכרת פחות, גורסת שהכסף הוא בעיקר מערכת חשבונית שנוגדה מתוך הצורך לקבוע את ערכם של קורבנות במקדשים.

2. הוויכוח פרץ כאשר דייוויד גרייב, אנתרופולוג ממנהיגי תנועת המחאה, פרסם ספר הטוען שמקור הכסף הוא חוב. ראו: David Graeber, *Debt. The First 5000 Years*, 2012. בצד ביקורות חיוביות ואף מהללות יצאו נגדו כלכלנים מובהקים של האסכולה הקלאסית. ראו, למשל, George Salagin, *The Myth of the Myth of Barter*, Cato Institute, 2016.

3. "בראשית" כ"ג, י"ד-ט"ז.

4. Heraclitus, "B90", in *The Cosmic Fragments*, ed. Geoffrey S. Kirk (Cambridge: Cambridge University Press, 1978 (1962)), 345-348.

סגסוגת בעלת יחס קבוע מראש של זהב וכסף, יצקו אותה לתוך תבניות-חותם, ומסרו לידך מטבעות זהים זה לזה, שהחותם עליהם מעיד שהמדינה פיקחה על תהליך הפקתם וערכה לערכם.

המטבע היה שונה מכל אמצעי החליפין שקדמו לו. המטבעות הקלו על המסחר באופן משמעותי. לא היה עוד צורך לערוך שקילה, מדידה והערכה בכל עסקה ועסקה, ודי היה בספירת המטבעות. המהפכה היתה עצומה ובתוך פחות ממאה שנה היה השימוש במטבע נפוץ בכל פינה ביוון העתיקה. במחזהו הפארודי של אריסטופנס "הציפורים" (414 לפנה"ס), מתואר איכר עני המגיע לעיר הגדולה ולאחר שמכר את מרכולתו נשא את מטבעות הכסף הזעירים בתוך פיו.<sup>5</sup> בין אם זו הגחכת השימוש בכסף, ובין אם נשיאת כסף בפה היה נוהג מקובל, מעיד המחזה על ממדי השימוש במטבעות שהגיע עד לדל שבאדם ואל הנידח שביישובים.

המצאת המטבע יצרה לראשונה סטנדרט אחיד שכולם השתמשו בו, וכך חוללה מהפכה עצומה בחיי האנושות.<sup>6</sup> המסחר הפך לפשוט וזמין לרבים - מעשיר ועד עני - ובמוכנים רבים חולל המטבע "דמוקרטיזציה". איך? ראשית, הוא יצר א-פרסונליזציה. כלומר במקום האפשרות הברורה לזהות בין אמצעי החליפין לבעליו, גם אחרי שנעשתה העברת הבעלות, כעת משכל המטבעות זהים זה לזה, לא ניתן עוד לזהות את בעליו הקודם מרגע שהחליף ידיים. שנית, בגלל האפשרות לחלקו ליחידות קטנות בעלות ערך נמוך, הביא המטבע את בשורת השימוש במתכת כאמצעי חליפין גם לפשוטי העם. ושלישית, סוגייה הראויה לתשומת לב מיוחדת היא העובדה שהשימוש במטבע הרחיב את האוריינות. האיכר העני של אריסטופנס לא העלה על דעתו לדעת קרוא וכתוב, אך הוא ידע גם ידע למכור את מרכולתו, לחשב את ערכה ולספור את המטבעות שהחזיק בפיו. ואם כן, אף שהכתב הומצא לפניו, הקדים אותו המטבע מאות בשנים בקידום האוריינות בקרב הציבור הרחב.<sup>7</sup>

מהפכת המטבע השפיעה עמוקות גם על היווצרותה של תופעת המדינה. כאשר הנפיקה לידיה את המטבע היא הפכה למעניקת הגושפנקה הבלעדית והאולטימטיבית לערכו, וכך היתה מעורבת בכל עסקה שהתנהלה באמצעות המטבע. אחריה חזרו החזיקו כל ערי המדינה ביוון ובראשן אתונה, וככל שהתרחב השימוש במטבע, כך התעצמה נוכחותה של המדינה בכל עסקה. חלחול המדינה לחיי היומיום של כל אחד ואחת חולל שינוי עמוק בתודעת האנשים, ואף פשוטי העם, שלרוב היו קשורים לאדון הישיר שלהם, היו מודעים מעתה לקיומה של המדינה בחייהם. הא-פרסונליזציה של האינדיבידואל המחזיק במטבע יצרה פרסונליזציה של המדינה, שאף דאגה להציג על גבי המטבעות את אליה וסמליה. הקיסרות הרומית שיכללה את השימוש במטבע, הטביעה עליו את פניהם של הקיסרים, והפכה אותו לאחד המכשירים העוצמתיים ביותר בשליטתה על ארצות רחוקות. עדות לכך נמצא במדרש "בראשית רבה", שנערך אי שם במאות ה-4-6 לספירה, המפרש את הבטחתו של אלוהים לאברהם "ואעשך לגוי גדול" כך: "שיצא מוניטין שלו בעולם... ומהו מוניטין שלו? זקן וזקנה מיכן, בחור ובתולה מיכן".<sup>8</sup> מוניטין, שמקורו משותף למילה money, משמש כאן גם למטבע, גם לפרסום וגם להשפעה.

שילוב בין שיטה טכנולוגית פשוטה לכאורה - הטבעה - עם מהפכת הכתב, הוליד את המטבע. המטבע היה מהפכה כשלעצמו ומאז ליווה את כל ההיסטוריה האנושית. הוא התפשט בעולם לכל מקום שכף רגלו של האדם הלבן דרכה עליו והיה לצורת התשלום האולטימטיבית עד לב העת החדשה.9 המטבע הוא תוצאה של מהפכות טכנולוגיות - הכתב והחותם - ומשנולד חולל המטבע מהפכה ביחסים חברתיים ועיצב את תופעת המדינה הקיימת עד ימינו אנו. ניתן לקבוע, אם כן, שהולדת המטבע היתה אחת מהמהפכות הגדולות של האנושות שהכתיבו את מהלך ההיסטוריה. היה זה אירוע עצום ששינה מערכות חברתיות לבלי הכר.

5. אריסטופנס, "הציפורים", תרגום: זיוה כספי. הוצאת מאגנט, 1995, שורות 501-505.

6. David M. Schaps, *The Invention of Coinage and the Monetization of Ancient Greece*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 2004.

7. אוריינות (literacy), שמקורה בביטוי "ב-אוריין" היודע לקרוא בתורה "אורייתא", משמשת בעשורים האחרונים למגוון כישורי קריאה, תקשורת וניתוח כגון אוריינות טכנולוגית, אוריינות דיגיטלית, אוריינות רפואית ועוד. "אוריינות נמרית", המונח המקובל כיום ליכולת לספור ולחשב, התפתחה ביחד ובמקביל לאוריינות במונחה הפשוט של קריאת אותיות.

8. "בראשית רבה", ל"ט, י"א.

9. על התפשטות המטבע בעת העתיקה באגן הים התיכון ראו, Battilossi S., Elliott C.P., "The Role of Money in the Economies of Ancient Greece and Rome". In: Battilossi S., Elliott C.P., Yago K. (eds.) *Handbook of the History of Money and Currency*. Springer, Singapore, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0596-2\\_46](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0596-2_46)

## מהפכת הדפוס

מה עושה אדם בפירנצה של המאה ה-13 החושש להסתובב עם מטבעות כסף וזהב ברחובות, או מתקשה לשאתם בשל משקלם? מפקיד אותם למשמרת בבנק של משפחת מדיצי' או כל בנק אחר, ומקבל תעודה. הוא רוכש דבר מה, ומעביר בתמורה את התעודה עם חתימה שלו, העוברת הלאה למוכר הבא וחוזר חלילה עד שמישהו בשרשרת מחליט לגשת אל בנק מדיצי' ולמשוך את הזהב. בינתיים, בנק מדיצי' יכול להלוות את הזהב המופקד אצלו למשמרת למישהו אחר, על ידי מתן תעודה. גם הלווה רוכש באמצעות התעודה, וכך הלאה והלאה. אמנם כמות הזהב המקורית לא השתנתה, אך בהתבסס עליה גדלו הפקדונות וההלוואות. אך כמה תעודות, חתומות אישית ובכתב יד, אפשר להנפיק?

ואז הופיע יוהאן גוטנברג, הוציא את הספר המודפס הראשון - מהדורת הדפוס הראשונה של הביבליה (התנ"ך הנוצרי), והחל את מהפכת הדפוס. היתה זו מהפכה עצומה. לפתע ניתן היה להפיק טקסטים מהר, בזול ובכמויות גדולות. חומרי קריאה היו זמינים והפכו לנגישים לציבור רחב. ידיעת קרוא וכתוב יצאה מהגבולות החמורים של כמה יודעי ח"ן, ברובם בין כותלי הכנסייה, והפכה לנחלתה של שכבת משכילים בורגנית ומבוססת. מהפכה זו סללה את הדרך למודרנה - למהפכה הדתית הפרוטסטנטית, לצמיחת הבורגנות, למהפכה המדעית, ועוד. ואיך לא - גם למהפכה בתחום הכסף.<sup>10</sup>

בפשטות - הדפוס איפשר הנפקת תעודות זהות זו לזו בכמויות גדולות. ומאחר שאת אותה התעודה ניתן לשכפל עשרות ואף מאות פעמים, ניתן להגדיל את היקף ההלוואות. לקח עוד זמן עד שהמדינות, שהיו בתהליך של יצירת ריכוזיות, אימצו את השיטה, השתלטו עליה, ויצרו הבחנה מובהקת בין "שטר חוב" בנקאי, תעודת הסכם בין הבנק למלווה/לווה, לשטרות שהן מנפיקות. המדינות תבעו מונופול על הנפקת תעודות מסוימות מאוד: אלה תעודות שאינן שטרות חוב שמצוין עליהם במפורש מי הם השותפים לתעודה - הלווה והמלווה - אלא שטרות אחידים, אנונימיים, שמוטבע עליהם ערך ומצוינת המדינה. אדם האוחז בשטר זה, שהוא אדם כלשהו, הוא בעלים של כמות מסוימת של זהב המופקדת במרתפי אוצר המדינה. בשונה מ"השטר הבנקאי" השמי והמזוהה, שטר המדינה אנונימי ואחיד לגמרי. הוא הכסף, והפעם "כסף נייר".

בניגוד למטבעות המתכת, ואף לתעודות ידניות, שטרות ניתן להדפיס ללא הגבלה - עוד ועוד כסף, הרבה מאוד כסף! אין ספק שהמעבר לכסף נייר היה אחד הגורמים שחוללו את התנועות בין אינפלציה למיתון המאפיינות את הכלכלה מאז המהפכה התעשייתית לפני כמאתיים שנה. בהתחלה עורר הקשר בין כסף הנייר לבין הזהב במרתפים בלבול ותימהון. באפיזודה אלמותית במחזה "פאוסטוס" מאת גתה, מהשליש הראשון של המאה ה-19, מתוארת מדיניות ערמומית שנקט מפיסטו, השטן, ששילם את כל חובות הממלכה לאחר המלחמה מבלי להוציא ולו אונקיית זהב אחת. לקיסר המשתאה מוסכר שהונפק שטר חוב כנגד הזהב, והוא חולק להמונים כתשלום. הקיסר חושד שמא זייפו את חתימתו, אך לא - "הן תזכר! על כך חתמת אתה: / ... / חתימך כשרה, קהל אמנים / העתיקו עוד הליל אלפי מונים". אך לא די בכך, "כדי לזכות הכל בזה החסד, / מיד הוצאנו גם סדרה מודפסת. / עשרים, שלושים, שישים, מאה כל שטר. / עד מה לעם היטיבו לא ישוער..."<sup>11</sup> הקיסר מתפלץ, שהרי כמות הזהב כה מעטה לעומת כמות הנייר שהודפסה בשמו, והוא עדיין תוהה איך העם מאמין שהנייר הזה זהב הוא. תחושת אי הבטחון ביחס לכסף הנייר התפוגגה עם השנים, וכיום כסף נייר נתפס מוחשי וממשי.

10. כסף הנייר המודרני הראשון הונפק על ידי מונט דפוס במסצ'וסטס ב-1693. על הקשר בין מונט הדפוס לכסף הנייר ראו Balkun, Mary McAleer, "The Print Revolution and Paper Money", in *The Routledge Companion to Literature and Economics*, ed. Matt Seybold and Michelle Chihara, Abingdon: Routledge, 17 Sep 2018. ראו גם גולדברג, דוה, "כיצד המציאו האמריקנים את הכסף המודרני?", בתוך: זמנים רבעון להיסטוריה (2015), עמ' 38-49.  
11. יוהאן וולפגנג גתה, פאוסטוס, שורות 6066-6076. תרגום: יצחק ככפי, מהדורה חדשה 2006, ע' 326.

במשך כמאתיים שנה התנהל העולם בתנודות שבין זהב לנייר, כלומר בין תקופות שבהן מקפידים על הנפקת כסף נייר בכמות המותאמת לכמות הזהב המוגבלת, לבין תקופות שבהן מדפיסים כסף נייר ללא כל קשר לזהב או לנכס אחר, אלא בכמות שהמדינה מעוניינת בה. ב-1971 הסתיימה סופית מערכת היחסים של הכסף עם הזהב, ומאז ועד היום הוא מתנהל כנייר בלבד, ללא כל מתכת יקרה או נכס אחר המגבה אותו. הוא פשוט נייר או מתכת חסרת ערך לחלוטין, רק סימן שהמדינה קבעה. אמנם גם החותם על המטבע היווני העתיק סימן את המטבע עצמו, ולא משהו חיצוני, כמו תעודה או סחורה. עם זאת, הערך שהתייחס אליו החותם היה המתכת שממנה היה עשוי המטבע. ואילו כעת - הסימן עומד לעצמו בלבד. כל כולו מערכת יחסים של חליפין וחוב, ואין לו ערך חיצוני מלבד עצם העובדה שהמדינה קבעה אותו. סוג זה של כסף מכונה "כסף פיאט"<sup>12</sup> דולר, אירו, שקל - כל מטבע שתמנו - נוצר יש מאין בבנק המרכזי, "בית החרושת" לכסף של המדינה, והוא משוכפל על ידו ועל ידי הבנקים. כוחה של המדינה הגיע לשיא של כל הזמנים.

כך או כך, התהליך שהתרחש עם המצאת המטבע חוזר על עצמו שוב - סטנדרטיזציה והקלה על מסחר, הרחבת האוריינות של כלל המשתמשים, וכמובן גם אנונימיות שלהם בעוד המדינה המנפיקה אותם מזוהה ומועצמת. כסף, אכן, הפך לאחד הגורמים החשובים ביותר בצמיחתה של המדינה המודרנית.

המהפכה הדיגיטלית חדרה לשוק הכסף אי שם באמצע המאה העשרים, והיתה זו שוב מהפכה טכנולוגית בעלת משמעויות אורייניות מובהקות, שהשפיעה על התנהגות הכסף. יש לכך השפעות מרחיקות לכת על כל היבטי הכסף, אך נתמקד כאן ב"צורת הכסף", בדומה לעיסוק במטבע ובכסף נייר. ב-1958 הונפק כרטיס האשראי הראשון שנחל הצלחה, כשלעניינו מה שחשוב הוא העובדה שאדם משלם עבור רכישתו בכרטיס דיגיטלי במקום בהמתאה אישית או בשטרות. בתחילה היה זה רק כרטיס אשראי, דהיינו התשלום נרשם בעת העסקה, אך נגבה מהמשלם והופקד אצל המשולם במועדים מאוחרים יותר. בהמשך נוצרו דרכי תשלום נוספות (דביט, תשלום מראש ועוד), שכולן נעשות באמצעות כרטיס דיגיטלי.<sup>13</sup>

הרי לנו מהפכה ממשית בחוויית השימוש בכסף. עד כה ניתן היה "לחוש" את הכסף, משום שמטבע המתכת היה צורה קשיחה וברורה המכילה בתוכה את ערך המתכת עצמה, ואת שטרות כסף הנייר עם הערך האחיד שהופיע על גביהם ניתן היה לספור. הפיזיות של שתי צורות התשלום התבטאה בעברית בכינויים הצליליים "מצלצלים" ו"מרשרשים". הכרטיס המגנטי החליש את החוויה הפיזית המעניקה למספרים ממשות, כאשר יצר נתק חושי עם הסכום. ספירת שטרות ומטבעות בארנק מעניקה לאדם תחושה מיידית של מה שיש ומה שאין לו, ואילו "גיהוץ" כרטיס אשראי ממוסס את התחושה הזו. שוב נדרשה מהאנשים עלייה ביכולת החישובית שלהם ובדרגת התחכום של האוריינות. יתר על כן, מאחר שכמעט כל הכרטיסים הדיגיטליים הם כרטיסי אשראי, נדרשה מהמשתמשים התחשבות בממד הזמן כמעט על בסיס יומיומי. כך חולל הכרטיס הדיגיטלי שלב נוסף של הפשטה, שדרש ויצר אוריינות נומרית מתקדמת ומתוחכמת מאוד, עד כדי יצירת קשיים בפני משתמשות ומשתמשים רבים.

גם המפגש בין הקונה למוכר השתנה. הוא מידי - תשלום תמורת הסחורה - אך בשונה ממזומן המסיים את העסקה בו ברגע, בכרטיס אשראי העסקה מסתיימת עבור כל אחד מהמשתתפים בנפרד לאחר שכל אחד מהם הלך לדרכו. הסכום ייגבה מחשבון הקונה לפי הסיכום שלו עם חברת האשראי, ויופקד בחשבוננו של המוכר לפי הסיכום שלו עם חברת האשראי.

לכאורה, המהפכה הדיגיטלית של צורת הכסף היא המשך ליניארי של המהפכות הקודמות, אך למעשה היא חוללה כמה תפניות משמעותיות. נפתח בכך שהכרטיס הוא מכשיר להעברת כספים, והוא אינו הכסף

12. משמעות המילה "פיאט" בלטינית היא "(משהו) ייעשה (בו)". ראו: Foster, Ralph T., *Fiat Paper Money - The History and Evolution of Our Currency*. Berkeley, California: Foster Publishing, 2010.

13. Guseva, David & Schmalensee, Richard, "Paying with Plastic: The Digital Revolution" in *Buying and Borrowing*, MIT Press, 2004. Alya, and Akos Rona-Tas, "Money Talks, Plastic Money Tattles: THE NEW SOCIABILITY OF MONEY", in *Money Talks: Explaining How Money Really Works*, edited by Nina Bandelj et al., Princeton University Press, PRINCETON; OXFORD, 2017, pp. 201-214.

עצמו. ועם זאת, בהדרגה הוא הפך לצורה העיקרית לתשלום, וה"מרשרשים" ו"מצלצלים" מתעתדים להיעלם מהנוף. במהלך זה ה"כסף" הוא ביטים במחשב ומספרים מרצדים על המסך. ומכאן שהמפגש עם הכסף הפך למופשט יותר ויותר, ולא סופרים אותו עוד - אלא מחשבים את הסכומים. "צורת התשלום" נשארה כמכשיר פרטי בלבד, בידי הבנקים וחברות האשראי, ואילו הכסף שמנפיקה המדינה הוא אבסטרקטי לחלוטין, ועוד מעט היא לא תטרח אפילו להשתמש בגלופות המדפיס הממשלתי.

אין ספק שהכרטיסים הדיגיטליים משנים את הקשר שחוללו המטבעות והשטרות בין הפרט והחברה לבין המדינה. בעוד הקודמים חיזקו את נוכחותה של המדינה, הכרטיסים הדיגיטליים מחזקים את נוכחותו של הבנק. בנוסף לכך, במהרה שיחק הכרטיס תפקיד בהתמוססות גבולות מדיניים וכלכליים, כאשר ניתן היה להשתמש בכרטיס אשראי בארץ זרה. במקרה זה, אפילו המרת המטבע מגולמת בתשלום. המוכר מקבל את התשלום במטבע המדינתי שלו בזמן המובטח לו לפי ההסכם, ואילו הקונה משלם בזמן הקבוע עמו במטבע של מדינתו. כך מתבצעת פעולת חליפין קצרה הכוללת מרכיבים הדורשים יכולת אוריינית מורכבת - חישוב על פני זמן (התשלום בפועל מתבצע בעתיד וכולל ריבית), על פני מרחב (התשלום מתבצע במדינה אחרת), ועם חישובי המרה (התשלום מתבצע במטבע אחר). במידה מסוימת, כרטיס מגנטי שימש כאמצעי תשלום פרטי חוצה מדינות, המגלם כסף מדינתי.

אך הגלגל התהפך בצורה קיצונית יותר. למרות הזרות העמוקה בין הקונה למוכר, עד כדי אדישות מוחלטת מצד המוכר למטבע שבו מתבצעת העסקה בפועל, הא-פרסונליות והאנונימיות שהלכו והעמיקו ככל שצורת הכסף הפכה לסטנדרטית ומופשטת יותר החלה להיעלם. הפעם הקשר האישי מתקיים בין המחזיק בכרטיס לבין החברה שהעניקה לו אותו. ושלא כמו מטבע או שטר שאינם משאירים אחריהם סימן וזכר על אודותיך - "גיהוץ" כרטיס מספר עליך דברים שאף את/ה לא ידעת. שלא כמו המטבעות והשטרות המדינתיים הזהים עבור כל המשתמשים ללא הבחנה בין עשיר ועני, ללא קשר להכנסתם והונם, הפכו הכרטיסים למזהי תכונות כלפי חוץ. רמת האשראי שלך מתנוססת על גבי הכרטיס - פלטינה, זהב, כסף, כל חברה ודרכי "הפמפום" שלה - ועם שליפתו מהארנק מוכרז מעמדך קבל עם ועולם. חברות אף מציגות על גבי הכרטיס את המועדון שאליו את/ה משתייך/ת, ואפילו תמונה שאת/ה אוהב/ת. ההפרטה של צורת השימוש בכסף יצרה פרסונליזציה בהצגתך כלפי חוץ, ובידע עליך כלפי פנים. בעבר, ברגע שביצעת עסקה לא נותרו עקבות (לא תמיד, אבל בערך). כעת העקבות נשארים אפילו אחרי שאת/ה כבר שכחת. הזיהוי מעניין את השוק הפרטי משום שהוא מאפשר לו להתחקות אחר העדפותיך ולהשפיע על רכישותיך.

הדיגיטציה שהתעצמה עם כניסת המחשב הביתי לשימוש נפוץ, הטלפון החכם, והשתלטות האינטרנט על כל תחומי החיים, ייתרה בהדרגה את השימוש בשטרות והיחסים בין האינדיבידואל והכסף המשיכו להשתנות. ניהול חשבון הבנק הפרטי הפך לדיגיטלי וגם המדינה, כאמור, לא נשארה מאחור. כיום, רוב הכסף שהמדינה מנפיקה מוזרם אל הציבור באמצעים דיגיטליים בלבד, ללא צורך בהדפסה. בעולם, ובכלל זה בישראל, גוברת המגמה לביטול כסף הנייר, שלא לדבר על המטבעות, ולעבור ל"ארנק דיגיטלי". יותר מאשר היותו זול להנפקה, חשיבותו של הכסף הדיגיטלי עבור המדינה היא הגדלת הפיקוח שלה. מצד אחד, כסף דיגיטלי מקשה על זיוף, גנבה ומרמה ואף סחר בסמים, בנשק ובבני אדם. מצד שני, הוא הופך כל איש ואשה לשקופים. הסטנדרטיזציה של הצורה - המטבע והנייר - נעלמה, ועמה גם האנונימיות שהעניקו. הביטים במחשב הם סתם מספרים, אך הם מספרים עליך הכול.

החופש שמעניק הכסף הדיגיטלי לבצע פעולות במהירות עצומה, לנסוע, לקנות ולרכוש, מגלם בתוכו שליטה חזקה יותר של המדינה. ולא פחות מכך - של הבנקים. מידת התחכום הולכת וגוברת, ועל האדם הקטן לרדוף אחר הרכבת ולרכוש במהירות עולה וגוברת את האוריינות הנדרשת לשם כך. הפער בין האוריינות הנחוצה כדי להתמודד עם עולם הכסף לבין יכולתו לרכוש אותה הולך ומעמיק.

בשורה התחתונה - הכסף הדיגיטלי וצורת התשלום הנלווית אליו המשיך את האבסטרקציה והרחבת האוריינות שהתוו המהפכות הקודמות, אך גם חולל תפנית. החוויה הפיזית של המספרים הומרה בחוויה חישובית מתמדת של סכומים, והסטנדרטיזציה של צורה ומספר הומרה בביטויים דיגיטליים של כמויות. האנונימיות של הפרט בצד הנוכחות המתמדת של המדינה הומרו בפרסונליזציה ושקיפות מלאה של הפרט, בצד הרחקת המדינה מחוויית הכסף היומיומית שלו.

## מהפכת הבלוקצ'יין

כאילו לא די בכך, לאחרונה נכנס גורם חדש המעניק תחושה שמתרחש דבר שלא היה כמותו מעולם - מהפכת הבלוקצ'יין. הבלוקצ'יין, לדעת רבים, מחולל מהפכה בתחום הכסף ביוצרו מטבעות קריפטוגרפיים, שהידוע שבהם הוא היישום הראשון שלו, הביטקוין.

בקצרה: בלוקצ'יין הוא סדרת בלוקים האזוקים זה בזה בדרכי חישוב פנימיות מתוחכמות שלא ניתן לפרק. טכנולוגיה זו יוצרת רמת אבטחה גבוהה, כמעט הרמטית. על בסיס הטכנולוגיה הזו יצר אדם או קבוצה אנונימיים, לא ידוע עד היום מי, מטבע שכונה "ביטקוין" והפך לאבטיפוס למטבעות קריפטוגרפיים, קרי - מטבעות מאובטחים ומוצפנים. המטבע המוזר הזה חולל היסטריה, ונרכש בהמוניו, ערכו נסק כלפי מעלה, ולאחר מכן ירד, וכעת הוא נסחר בתנודות כאלה ואחרות. עד כאן לטכנולוגיה. ומה הוא מחולל לכסף? צריך לזכור שהטכנולוגיה הזו עדיין ראשונית, וכל מה שאנו מסיקים לגביה הוא עוברי לגמרי.

חסידי הביטקוין סבורים שהוא מחולל מהפכה שאין כדוגמתה ומהווה חלופה לכסף שאנו מכירים, שיצירתו וניהולו מרוכזים בידי המדינה והבנקים.<sup>14</sup> ראשית, זהו כסף שנוולד "מלמטה", ללא כל גיבוי של מדינה, וככזה הוא כסף פרטי לכל דבר. שנית, אין עוד כל צורך בבנקים כמתווכים, מאחר שניתן לבצע עסקאות ישירות. כלומר, זהו כסף מבוזר במהותו. הביטקוין הוא הכסף של המחר, הם טוענים, המעקר את המדינה ואת הבנקים מכוחם. נוסף על כך, הוא ממלא פונקציה חשובה של הכסף, משום שהעברה שלו מהירה יותר מכל צורת העברה שהיתה עד כה, ולכן הוא תורם להאצת הפעילות הכלכלית. על כל אלה, טוענים חסידי, הביטקוין שונה מכל פעילות כספית דיגיטלית אחרת, מאחר שהוא אנונימי לחלוטין, וזהות הבעלים לא נודעת במהלך ביצוע העסקה כלל וכלל. במובן זה, על אף הדיגיטליות, הביטקוין מחזיר אותנו לשלבים האנונימיים, קרי המטבע והנייר. יתר על כן, כל מטבע ביטקוין הוא ייחודי וחד פעמי - הוא בלוקצ'יין יחידני שאין דומה לו. דהיינו, בעלים של מטבע ביטקוין הוא בעלים של מטבע ביטקוין ספציפי, שלא כמו בעלים של 5 מיליון שקל היושבים בבנק, שאין להם שום זהות משלהם. כך שעל אף הדיגיטליות המוחלטת שלו, לביטקוין יש ממשות.

פול קרוגמן, זוכה פרס נובל לכלכלה, המנהל מסע צלב נגד הביטקוין ושאר המטבעות הקריפטוגרפיים, טוען שהביטקוין מחזיר אותנו 300 שנה לאחור, אל עידן הזהב.<sup>15</sup> מדוע? משום שכל מטבעות הביטקוין נוצרו בבת אחת ועל כן כמותם מוגבלת, בניגוד לכסף הנייר שכמותו מווסתת על ידי החלטות של הבנק המרכזי. האבסורד הגדול שעליו מצביע קרוגמן, יחד עם מתנגדי ביטקוין אחרים, היא העובדה שכדי לחלץ את מטבעות הביטקוין שעדיין קיימים במאגר, פעולה המכונה הן על ידי ביטקויניסטים והן על ידי מתנגדיהם כ"כרייה", נדרשת עבודת מחשבים כבדה הצורכת כמויות אנרגיה עצומות. חוות מחשבים ענקיות שכל ייעודן הוא כרייה של מטבעות ביטקוין הוקמו באזורי קרה סחופי רוחות, כדי לשמור על טמפרטורה נמוכה של הציוד וכדי להשתמש באנרגיה הטבעית. אותה אנרגיה שיכולה לשמש לדברים ממשיים התורמים לרווחת

14. Baldwin, J., "In Digital We Trust: Bitcoin Discourse, Digital Currencies, and Decentralized Network Fetishism. *Palgrave Commun* 4, 14 (2018). <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0065-0>; Griffin Daughtry, "The Ideological Origins of Bitcoin", *FEE* 26.6.2019 <https://fee.org/articles/the-ideological-origins-of-bitcoin>

15. פול קרוגמן, "התמוטטות טוטאלית היא אפשרות אמיתית: הביטקוין מחזיר אותנו 300 שנה לאחור", זה מרקר 9.8.18 <https://www.themarket.com/wallstreet/>. 30.1.19 זה מרקר, <https://www.themarket.com/premium-1.6358573>; "פול קרוגמן על הביטקוין: בוועד ענקית שתסתיים בדמעות - ועדיף כמה שיותר מהר", זה מרקר, <https://www.themarket.com/wallstreet/1.5771778>

האנושות, משמשת ליצירת "לא כלום". אין ספק שהבלוקצ'יין הוא מהפכה טכנולוגית - גדולה יותר או פחות. כשם שיכולותיו של מחשב יבמ הראשון עצום הממדים משנות ה-40 של המאה ה-20 לא מתקרבות ליכולותיו של הפשוט מבין הטלפונים החכמים, גם הפקת הבלוקצ'יין תשתנה וכמות האנרגיה שהיא תצרוך תצנח. קרוגמן סבור שהטכנולוגיה תישאר עמנו, ועדיין קשה לדעת מה יהיו השפעותיה האמיתיות על הכסף. כך או כך, מדינות ובנקים מתחילים לאמץ את עולם הקריפטוגרפיה על יתרונותיו, ואף "לביית" את הביטקוין וחבריו על ידי מיסוי ורישום. ובמילים אחרות - מאפיין הביזור צפוי להיעלם. לסיכום, קרוגמן אינו רואה במטבעות הקריפטיים איום על המערכת הכלכלית הנוכחית, המבוססת על מדינות ובנקים. לאן הם יקחו אותנו, קשה לדעת.

## סיכום

מהפכה המטבע התחוללה כ-2000-2500 שנה אחרי שהומצאו החותם והכתב, שכן הוא שילוב של השניים. מאז שהכסף לבש צורת מטבע, הוא שלט בעולם כ-2000 שנה. ואז צץ כסף הנייר, כ-300 שנה אחרי מהפכת הדפוס, ובהדרגה נטל את מקומו של המטבע, ורק ב-1971 הסתיים תהליך ההתנתקות מהמטבע, כאשר כסף הנייר הפך סופית לכסף פיאט שאין לו ערך משלו, כמו המתכת. כמה עשורים אחרי שנולד המחשב הראשון התפתח הכסף הדיגיטלי המאיים להעלים כליל את שרידי המטבע והשטרות, וכבר ניצב מולו אתגר חדש, תולדת מהפכת הבלוקצ'יין - המטבעות הקריפטיים.

כל המהפכות הללו, ללא יוצאת מן הכלל, הן אורייניות - החותם והכתב, הדפוס, המחשב, והבלוקצ'יין. אך המעניין הוא שצורת הכסף החדשה שנוצרה כתוצאה מכל אחת מהן האיצה את תהליך האוריינות בכלל החברה. תפוצת קרוא-וכתוב בשכבות האוכלוסייה השונות הייתה מצומצמת לאין ערוך מהיכולת לקנות, למכור, להלוות וללוות, לחשב סכומים ולהמיר כספים. נכון הדבר למהפכת הכתב-חותם-מטבע ולמהפכת הדפוס-כסף נייר. במאה ה-20 וה-21 התמונה שונה. ידיעת קרוא וכתוב היא נחלתה של כמעט כל האוכלוסייה המערבית, בעוד שההתמודדות עם ההתפתחויות בתחום הכסף מהווה אתגר לא פשוט לאדם מן הרחוב.

כל המהפכות הללו אף היו חלק מעיצוב המדינה ומקומו של הפרט בה. ההאחדה של הכסף, והגושפנקה שהמדינה העניקה לכל מטבע ומטבע, קשרו כל יחיד ויחיד וכל עסקה ועסקה עם המדינה, וכך יצרו חברה אנונימית המאוגדת באמצעות המדינה ובאמצעות האמון המשותף בה. ושוב באות המהפכות של המאה ה-20 ועשויות לשנות את התמונה. האנונימיות מוחלפת בשקיפות, והבנקים מהווים מרכיב חשוב בצידה של המדינה, לעתים אף מעליה, בזיהוי הכסף. הבלוקצ'יין מבקש להציע מהלך אחר, שבו נשמרת האנונימיות של המשתמש, אך המטבעות עצמם לא אחידים: לכל מטבע יש שם, יש כתובת, והוא בבעלותו של מישהו, כמו כלב, חתול או כורסה. כמו כן, הוא מבקש להעביר את מוקד ייצור הכסף מהמדינה אל החברה.

לאן ייקחו אותנו המהפכות החדשות, שאולי יתגלו ברבות הימים כמהפכה אחת? האם הכסף החדש יסטה מהנתיב שסללו המטבע וכסף הנייר? בקצב הגובר והולך של התחלפות המהפכות, אולי נזכה לדעת זאת עוד בימינו.

# הפילוסופיה של הטכנולוגיה הדיגיטלית

גלית ולנר

ד"ר גלית ולנר היא מרצה בכירה במרכז האקדמי ויצו חיפה, ישראל, ועמיתת הוראה באוניברסיטת תל אביב. גלית חוקרת טכנולוגיות דיגיטליות ויחסי הגומלין שלהן עם בני אדם. חברה פעילה בקהילה הפוסט-פנומנולוגית, החוקרת את הפילוסופיה של הטכנולוגיה. היא פרסמה כמה מאמרים שעברו ביקורת עמיתים ופרקי ספרים. ספרה *A Postphenomenological Inquiry of Cellphones* *Genealogies, Meanings and Becoming* התפרסם בשנת 2015 בהוצאת לקסינגטון.

**בשנות השמונים הופיע ענף חדש של הפילוסופיה שהתמקד בטכנולוגיה. כיום הפילוסוף פיה של הטכנולוגיה היא תחום מחקר מבוסס, המכסה מגוון טכנולוגיות ומגוון רחב של שאלות. מאמר זה מתאר בקצרה, תוך התמקדות בחוויות יומיומיות, ענף של פילוסופיית הטכנולוגיה המכונה פוסט-פנומנולוגיה, המשלב פנומנולוגיה ופרגמטיזם לבחינת היחסים המעשיים שלנו עם טכנולוגיות, ובאמצעות טכנולוגיות - עם העולם. המאמר סוקר כמה מהקשרים שיש לנו עם טכנולוגיות, במיוחד את סוגי היחסים החדשים עם טכנולוגיות דיגיטליות. טכנולוגיות אלה שונות שכן הן מציעות התכוונות הפוכה, כך שהטכנולוגיה מכוונת את המשתמשים שלה.**

## מדוע פילוסופיה של הטכנולוגיה?

פילוסופיה של הטכנולוגיה היא תחום חדש יחסית, שעד שנות השמונים לא היה קיים. מדוע הוא צץ באותה תקופה? הסבר אפשרי אחד הוא שהמחשב האישי נכנס לבתינו בתקופה זו, ומאז התברר שאנחנו מוקפים בטכנולוגיות. אם הפילוסופיה היא ניסיון להבין את העולם ואת האדם, הטכנולוגיה דורשת פילוסופיה כדי להסביר אותה. לרוב תחומי הדעת שלנו יש כבר "פילוסופיות" משלהם, למשל, הפילוסופיה של המתמטיקה, של הרפואה ושל הדת (את כולן ניתן למצוא באנציקלופדיה של סטנפורד לפילוסופיה), וכולן מנתחות היבטים חשובים בחיינו. אז אם אנו מפתחים את הפילוסופיה של האמנות, השפה או המשפט, מדוע לא לאמץ את הפילוסופיה של הטכנולוגיה?

יש חוקרים שמתייחסים לפילוסופיה של הטכנולוגיה כאל נגזרת של זו של המדע. ואכן, מנקודת מבט היסטורית, הפילוסופיה של המדע קדמה בזמן, והיותה את הבסיס לפילוסופיה של הטכנולוגיה. עם זאת, בחינת המדעים המוקדמים, לפחות בגרסתם המערבית, מגלה כי הטכנולוגיה קדמה למדע ואפשרה אותו (Heidegger, 1977; Ihde, 2011). לפיכך, רוברט בויל לא יכול היה לחקור את הריק ללא הטכנולוגיה של משאבת האוויר. באופן דומה, ג'יימס וואט המציא את הטכנולוגיה של מנוע הקיטור מאה שנים לפני פיתוח הנוסחה המדעית של התרמודינמיקה שהסבירה כיצד פועל המנוע. יתר על כן, התברר כי הפילוסופיה של המדע מחויבת יותר לשאלות כמו אופן ייצור הידע, בעוד שהפילוסופיה של הטכנולוגיה מציבה סדרה שונה של שאלות הקשורות ישירות לחיי היומיום. באמצעות בחינות כאלה, היא מפתחת את טיעוניה האתיים, האפיסטמולוגיים והמטפיזיים.



כיום, כארבעים שנה לאחר שנוצרה, הפילוסופיה של הטכנולוגיה היא תחום מחקר מגוון, שעוסק בסוגים שונים של טכנולוגיות - כולל רובוטים, מכשירים רפואיים, טלפונים סלולריים, אימיילים, צעצועים לתינוקות, ספסלי רחוב, גשרים וכדומה. מגוון לא פחות הוא טווח השאלות שבהן מתעניינים הפילוסופים של הטכנולוגיה, למשל, צורת החוויה היומיומית, ההשלכות האתיות של השימוש בטכנולוגיות מסוימות, ההשלכות הפוליטיות של פיתוחים טכנולוגיים, האופן שבו שיטות העבודה משתנות בתחום מסוים עם כניסתה של טכנולוגיה חדשה וכו'. שאלות אלה מכסות את מחזור החיים של הטכנולוגיה, החל בהמצאה של טכנולוגיות חדשות, דרך דפוסי השימוש שלהן וכלה בהשלכות של שימושים כאלה על העולם והחברה. על אף ששאלות כאלה הופכות את הפילוסופיה של הטכנולוגיה למועמדת מושלמת לתוכניות לימודי ההנדסה, הכניסה שלה לפקולטות להנדסה בישראל איטית, נפתלת ולא נטולת אתגרים.

חשיבותן של טכנולוגיות חדשות אינה מוטלת בספק, אך החוויות שהן יוצרות נותרות משניות, ובמקרה הטוב, מופיעות בעיקר בהקשרים של יצירת הכנסות חדשות. מאמר זה עוסק בחוויות יומיומיות של טכנולוגיות כשלעצמן. עם זאת, הדבר עשוי להוביל לפיתוח טכנולוגיות חדשות ולשיפור הטכנולוגיות הקיימות.

### פוסט-פנומנולוגיה

במאמר זה אתמקד בחוויות יומיומיות, ואגביל את הדיון לענף של הפילוסופיה של הטכנולוגיה המכונה פוסט-פנומנולוגיה. כפי שהשם מלמד, התיאוריה מבוססת על פנומנולוגיה, פילוסופיה החוקרת את החוויה שלנו בעולם ומתעניינת בבני אדם ובסביבתם. על אף שההתפתחויות העיקריות שלה התרחשו בעיצומה של המהפכה התעשייתית לקראת סוף המאה ה-19 (למשל עם הוסרל), הפנומנולוגיה כמעט אינה מתייחסת לטכנולוגיות. הטכנולוגיה נעשית, לפיכך, "הפיל שבחדר" בעבור תיאוריה זו. פוסט-פנומנולוגיה מציעה את השלב הבא. בניגוד לפוסט-מודרניזם שלעתים מנוגד למודרניזם, פוסט-פנומנולוגיה עדיין מחויבת לפנומנולוגיה. הקידומת "פוסט" פועלת באופן דומה לתפקודה במילה "פוסט-דוקטורט"; אין בהכרח סתירה, אלא יותר המשך והתפתחות נוספת.

הפוסט-פנומנולוגיה משלבת גם פרגמטיזם, תיאוריה נוספת שגובשה בסוף המאה ה-19, במטרה לדון בפרקטיקה ולא בייצוג (Ihde, 2009). בסופו של דבר, הפרגמטיזם מוסיף לניתוח הפוסט-פנומנולוגי ברובד החברתי (Rosenberger, 2017; Botin, 2020). התוצאה היא תיאוריה עשירה הבוחנת את היחסים המעשיים שלנו עם טכנולוגיות, ובאמצעות הטכנולוגיות - עם העולם.

השילוב של פנומנולוגיה ופרגמטיזם עומד בבסיס הפוסט-פנומנולוגיה, כפי שזו נוצרה על ידי דון איידי (Don Ihde). הוא פרסם לראשונה את העקרונות הבסיסיים ב-1979 ב-*Technics and Praxis*, וכך זהו הספר הראשון בפילוסופיה של הטכנולוגיה בצפון אמריקה. פרטים נוספים הוצגו בספרו המכונה *Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth* (Ihde, 1990).

### יחסים

אחד הכלים החזקים שמציעה הפוסט-פנומנולוגיה הוא הניתוח השיטתי של מבנה היחסים שיש לנו עם טכנולוגיות. אם הפנומנולוגיה הקלאסית מעוניינת בצמד "אני-עולם", הפוסט-פנומנולוגיה מכניסה את הטכנולוגיה ביניהם, וכך נוצרת הנוסחה: "אני-טכנולוגיה-עולם". נוסחה זו מייצגת את התנאי הבסיסי שלפיו חוויותינו תמיד מתווכות כבר על ידי נוכחות הטכנולוגיה. הטכנולוגיה יכולה להיות פשוטה כמו חולצה. לבישת חולצת-טי אפורה מהוהה גורמת לי לנוע אחרת בהשוואה לתנועה שלי כאשר אני לובשת חולצת צווארון לבנה מגוהצת. גם בהיעדרן, טכנולוגיות מתווכות עבורנו את העולם, כפי שמעידה כל מי שאיבדה את הטלפון הסלולרי שלה: ללא הטלפון הסלולרי, העץ שנצפה ברחוב דורש צילום; או אולי מחשבה צצה בראש, להתקשר לעמית או לחבר, אך הרצון להתקשר אליהם נחסם בהיעדרו של המכשיר.

הנוסחה של אני-טכנולוגיה-עולם אינה אומרת שיחסינו לטכנולוגיה מוגבלים לסוג אחד או ל"מהות" יחידה (ראו Heidegger, 1977); יכולים להיות סוגי יחסים רבים. לפיכך, טכנולוגיות תחבורה יכולות לעזור לנו לנוע מהר יותר בעולם כמו במקרה של אופניים או מטוסים; טכנולוגיות תקשורת יכולות לייצר אותנו כיצד נראה ראש הממשלה גם אם מעולם לא ראינו אותו או אותה פנים אל פנים; טכנולוגיות מסוימות כמו כספומט או Alexa יכולות לקיים איתנו דו-שיח; וטכנולוגיות יכולות להישאר פשוט ברקע כמו, לדוגמה, המזגן.

היחסים המגוונים מיוצגים על ידי הנוסחה אני-טכנולוגיה-עולם כפרמוטציות הנוצרות עם תוספת חץ, סוגריים ומקפים. החץ מייצג פעולה או כיוון פעולה (במינוח פנומנולוגי - התכוונות, אינטנציונליות); הסוגריים מצביעים על כך ששני מרכיבים מתפקדים כיחידה אחת, או אם מדובר ביחידה אחת - נסיגה לרקע, המרחיקה את המרכיב מתחום תשומת הלב; והמקף מסמל חיבור פשוט של פעולה משותפת. נדגים כיצד הנוסחה מייצגת קשרים שונים שיש לנו עם טכנולוגיות, כפי שניסח במקור איידי (איידי, 2016).

הסוג הראשון של יחסים הוא יחסי הגפנה שבהם אנו חווים טכנולוגיה נתונה כחלק מתבנית הגוף שלנו. כשאני נוהגת במכונית שלי, אני חווה את העולם כאילו הגוף שלי וגוף המכונית הם יחידה אחת. כשאני מחנה את המכונית, אני יודעת כמה אני יכולה לנסוע אחורה לפני שאני פוגעת בקיר או במכונית שחונה מאחוריי. וכשאני נוהגת ברחובות צרים, אני "חשה" היכן המכלול שלי ושל המכונית שלי יכול לעבור. הנוסחה הפוסט-פנומנולוגית נראית כך:

(אני - טכנולוגיה) <- עולם

יחסי הגפנה אינם מוגבלים למצב שבו הטכנולוגיה נהפכת לחלק מתבנית הגוף שלנו, אלא עוסקים גם במצבים שבהם הטכנולוגיות מרחיבות את יכולותינו הגופניות ואת חושינו. באמצעות טכנולוגיות כמו פטיש, אנו יכולים לפגוע במסמר בעוצמה רבה יותר. בעזרת טכנולוגיות כמו משקפיים אנו יכולים לראות פרטים נוספים. בדומה לכך, הטלפון הסלולרי מרחיב את יכולות השמיעה שלנו למרחקים שמעבר לטווח השמיעה האנושית, אפילו לצד השני של העולם (ראו Wellner, 2016).

הסוג השני הוא יחסים הרמנויטיים שבהם המשתמש חווה את העולם ואת הטכנולוגיה כיחידה אחת. בעוד שביחסי הגפנה, "אני" ו"טכנולוגיה" נחווים כיחידה ממוזגת, כאן ה"טכנולוגיה" וה"עולם" מתפקדים יחדיו. כאשר חווים טכנולוגיה כחלק מהסביבה, היא מספרת לנו משהו על אותה סביבה. יחסים אלה כוללים לרוב מדיה שמחייבת פעולות של קריאה ופרשנות, ומכאן המונח "יחסים הרמנויטיים". הנוסחה הפוסט-פנומנולוגית מייצגת יחס זה כך:

אני <- (טכנולוגיה - עולם)

חשבו על שעון. אנו יכולים לקיים איתו יחסי הגפנה ולחוש אותו כחלק מפרק כף היד שלנו. עם זאת, תיאור זה אינו מגלה הרבה על משמעות השעון. הוא מתפקד כמו צמיד. עלינו להתייחס ל"טקסט" שהוא מציג, כלומר לשעה, בין אם זו מוצגת באופן אנלוגי או דיגיטלי. ה"טקסט" מתפרש כחלק מהעולם שמחכה לנו "שם בחוץ" כדי לקבל משמעות. לפיכך, ביחסים הרמנויטיים הטכנולוגיה מספקת משמעות לעולם. הטכנולוגיה היא מה שדרכו אנו קוראים את העולם ומפרשים אותו.

היחס הפוסט-פנומנולוגי הבא הוא יחסי אחרות, שבהם הטכנולוגיה נחווית כמעין-אחר. דוגמאות קלאסיות הן בובות לילדים וכספומטים, שעיימם המשתמשים מנהלים דיאלוג מסוים. ביחסים אלה העולם נסוג אל הרקע, ולכן בנוסחה זו מרכיב ה"עולם" נמצא בסוגריים:

אני <- טכנולוגיה (- עולם)

העוזרים האישיים של הטלפון החכם כמו סירי מתפקדים כמעין-אחרים משודרגים, מאחר שהם עונים לנו ומנסים לספק מידע משמעותי. במקום להביט בפני האחר, אנו מביטים במסך ומקשיבים לקולות. המסך מתפקד כאן כ"ראש מדבר" או במינוח פוסט-פנומנולוגי - כמעין-פנים (Wellner, 2014).

הסוג הרביעי של יחסים פוסט-פנומנולוגיים הוא יחסי רקע, שבהם הטכנולוגיה פועלת ברקע, מבלי משים, כמו מיזוג אוויר ותאורה בחדר. בעוד שביחסי אחרות "העולם" נמצא בסוגריים, כדי להראות שהוא תופס את הרקע, כאן ה"טכנולוגיה" נמצאת בסוגריים מאותה סיבה. הנוסחה הפוסט-פנומנולוגית היא:

אני -> (טכנולוגיה -) עולם

ארבעת סוגי היחסים שמפיה איידי הם א-היסטוריים, כלומר הם היו קיימים באינטראקציות שלנו כבר עם הכלים המוקדמים בתקופה הפרהיסטורית, אחר כך עם המכונות המודרניות של המהפכה התעשייתית, וכיום עם הטכנולוגיות הדיגיטליות העכשוויות כמו הטלפון הסלולרי.

חשוב להכיר בכך שטכנולוגיה נתונה יכולה לקיים עם משתמשיה יותר מסוג אחד של יחסים. לדוגמה, הטלפון הסלולרי מרחיב את חושי הראיה והשמיעה שלנו כשאנחנו מנהלים שיחת וידאו; הוא מפרש את העולם כאשר הוא מדווח על מזג האוויר במקום הימצאו של בן השיח שלנו; משמש כמעין-אחר כאשר נותן לנו הוראות התחברות מחדש במקרה של נתק בתקשורת; ונסוג לרקע כל עוד השיחה נמשכת ללא הפרעות או תקלות (Wellner, 2016).

### פוסט-פנומנולוגיה של טכנולוגיות דיגיטליות

ארבעת היחסים הבסיסיים שמשרטט איידי הם רק ההתחלה. הם אינם מהווים רשימה סגורה. ניתן וצריך לפרט תמורות נוספות לטובת המודל של יחסינו עם טכנולוגיות עכשוויות. פיטר-פול ורבק (Peter-Paul Verbeek, 2008) מוסיף כמה יחסים חדשים לרשימה של איידי כדי לייצג דרכים נוספות שבהן הטכנולוגיות מקיימות אינטראקציה עם המשתמשים שלהן. הוא מראה כיצד טכנולוגיות עושות יותר מאשר לתווך את העולם. הן גם מכוונות את המשתמשים שלהם. כדי לייצג יחסים כאלה, ורבק מחליף את המקף עם קו נטוי או חץ. לפיכך, יחסי הגפנה מוקצנים ל"יחסים היברידיים" כאשר המשתמשת אינה יכולה להפריד את עצמה מהטכנולוגיה. זה קורה, למשל, במקרה של טכנולוגיות רפואיות כמו קוצבי לב מושתלים או גלולות שנהפכות לחלק בלתי נפרד מגוף המשתמשת. לאחר נטילת כדור נגד דיכאון, המשתמשת חווה את העולם באופן שונה, ואינה יכולה להפריד בין הגלולה לגוף. הפרמוטציה בנוסחה הפוסט-פנומנולוגית היא:

(אני / טכנולוגיה) -> עולם

ורבק מציע גם הקצנה של היחסים ההרמנויטיים לכדי מה שהוא מכנה יחסים מורכבים. סוג זה של יחסים מציע מודל למצב שבו הטכנולוגיות חורגות מעצם הייצוג של העולם, כפי שעושים מדחומים ואפליקציות תחזית מזג אוויר. היחסים המורכבים מאפשרים לנו לחשוב על טכנולוגיות "בונות מציאות" כמו במקרה של אפליקציות ניווט המשפיעות על התנועה ומשנות אותה באמצעות המלצותיהן לנהגים. יחס זה מיוצג בנוסחה על ידי הוספת חץ בין "טכנולוגיה" ל"עולם":

אני -> (טכנולוגיה -) עולם

החץ השני מציינ שהטכנולוגיה כוללת כעת התכוונות מכיוון שביכולתה לכוון את העולם לכיוון מסוים. השימוש באפליקציית ניווט משנה לא רק את חוויית המשתמש (כפי שעוצבה על ידי היחסים ההרמנויטיים "הקלאסיים"), אלא גם את העולם בצורה של דפוסי תנועה שונים. פרמוטציה זו יכולה לייצג את האופן שבו אפליקציית ניווט מכוונת נהגים למסלול מסוים, ובכך יוצרת פקקי תנועה חדשים, או אפילו פשוט מנתבת את

התנועה דרך הרחובות הצרים של שכונה שקטה, ובכך משנה את אוירתה. כאן ההתכוונות אינה מיוחסת אך ורק למשתמש האנושי - היא נהפכת ל"מורכבת".

בהרחבותיו לנוסחה הפוסט-פנומנולוגית, ורבק אינו מתייחס לטכנולוגיות דיגיטליות כמשנות את חוקי משחק. במקום זאת הוא שם לו למטרה להרחיב את הנוסחה הפוסט-פנומנולוגית לכיוונים חדשים, ולהדגים אותם באמצעות יצירות אמנות. כיום, עם הקצב המהיר של כניסת טכנולוגיות דיגיטליות חדשות, אנו יכולים לספק יותר ויותר דוגמאות ליחסים ההיברידיים והמורכבים של ורבק.

טכנולוגיות ואופני שימוש חדשים פותחים אפשרויות לפרמוטציות נוספות של הנוסחה הפוסט-פנומנולוגית. אלגוריתמי AI מסוימים משנים את התנהגות המשתמשים ומכוונים אותה בדרכים מפתיעות כך שחך ההתכוונות יתהפך. הוא מכוון אל ה"אני" ולא יוצא מתוך ה"אני":

אני -> טכנולוגיה -> עולם

פרמוטציה זו מתארת את האופן שבו נהגים מצייתים לאפליקציית הניווט, לפעמים מבלי להבין לאן היא מובילה אותם. משתמשים כאלה יכולים למצוא את עצמם נעים במעגלים בגלל באג. כתוצאה מכך, האפליקציה משנה את התנהגות הנהגים כמו גם את דפוסי התנועה (Wellner, 2020). יתר על כן, אלגוריתמי AI משנים את העולם בדרכים שלעיתים אינן בשליטת המפתחים שלהם. לדוגמה, טכנולוגיות מסחר אלגוריתמיות (algo-trading) פועלות בשוקי המניות בקצב מהיר ומקבלות החלטות במהירות שהוא מעבר ליכולת האנושית (ראו Wellner, 2018).

טכנולוגיות חדשות ממשיכות להתפתח, ואנו יוצרים פרמוטציות חדשות לנוסחה כדי לייצג אותן ולחשוב באמצעות הנוסחה על היחסים החדשים שמתגלים. חשוב לזכור כי אין סוג יחסים אחד שמתאים לכל הטכנולוגיות. יש מגוון יחסים המשתנים בהקשרים שונים של שימוש, רקע היסטורי ותרבויות מקומיות.

## מה הלאה?

מאמר זה משמש מבוא קצר מאוד לפוסט-פנומנולוגיה כאחד הענפים העיקריים של הפילוסופיה של הטכנולוגיה העכשווית. בעוד שהפוסט-פנומנולוגיה ממוצבת כפילוסופיה של הטכנולוגיה, תיאוריה זו שומרת על גישה בין-תחומית בשני מובנים. מצד אחד, היא אינה מוגבלת לפילוסופיה ומשלבת תובנות מתחומי ידע אחרים כמו, בין השאר, אנתרופולוגיה, סוציולוגיה, מדעי כדור הארץ וסיעוד. מצד שני, בשל היותה מחויבת לשורשיה הפרגמטיים, התיאוריה מנסה להיות רלוונטית למגוון דיסציפלינות. לפיכך, היא מנתחת פענוח של דימות רפואי (Hasse, 2008), בדיקות לגילוי סרטן (Forss, 2012), צילום חלל (Rosenberger, 2013), תכנון רובוטים (Besmer, 2015), משקפי מציאות רבודה (Liberati & Nagataki, 2015), צמידי מעקב (Van den Eede, 2015), ועוד.

מקרי בוחן אלה הובילו לשילוב של פילוסופיה של הטכנולוגיה, כולל פוסט-פנומנולוגיה, עם תהליכי תכנון, מחקר, פיתוח והערכה. פוסט-פנומנולוגים תורמים מושגים לתהליכים אלה, ובכך מבהירים מצבים ומציעים כיוונים חדשים. לדוגמה, השימוש במושגי הגפנה ומעין-אחרות לפיתוח רובוטים עשוי לחשוף את האתגר בקביעת המרחק החברתי הנכון שעל הרובוט לשמור מהמשתמשים האנושיים בו. כמו כן, המושגים של יחסים הרמנויטיים והתכוונות מורכבת מגלים כיצד משקפי מציאות רבודה לא רק מספקים מידע אלא גם מעצבים את תפיסת עולמו והתנהגותו של המשתמש. שילוב פוסט-פנומנולוגיה בתהליכי מו"פ לא יסביר למתכננים כיצד לתכנן טוב יותר אלא יעזור להם לשאול מדוע. במילים אחרות, התאוריה לא תסביר את ההיבטים האמפיריים של המציאות, אלא תגלה היבטים חלופיים של המציאות ותספק את המושגים להבנה טובה יותר שלהם. ללא המסגרת הרעיונית, התיאורים האמפיריים חסרי תועלת.

## ביבליוגרפיה

אידי, דון (2016). *פוסטפנומנולוגיה וטכנומדע: סדרת הרצאות באוניברסיטת פקינג, תל אביב: רסלינג.*

- Besmer, K. M. (2015). What Robotic Re-embodiment Reveals about Virtual Re-embodiment. In P.-P. Verbeek & R. Rosenberger (Eds.), *Postphenomenological Investigations: Essays on Human-Technology Relations* (pp. 55-72). Lanham: Lexington Books.
- Botin, L. (2020). Building Scaffolds: How Critical Constructivism and Postphenomenology Could Gather in Common Enterprise. *Techné: Research in Philosophy and Technology*.
- Forss, A. (2012). Cells and the (imaginary) patient: The multistable practitioner-technology-cell interface in the cytology laboratory. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 15(3), 295-308.
- Hasse, C. (2008). Postphenomenology: Learning cultural perception in science. *Human Studies*, 31(1), 43-61.
- Heidegger, M. (1977). The question concerning technology. In W. Lovitt (Ed.), *The Question Concerning Technology and Other Essays* (pp. 287-317). New York: Harper & Row.
- Ihde, D. (1979). *Technics and praxis*. Dordrecht: D. Reidel Pub. Co.
- Ihde, D. (1990). *Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press.
- Ihde, D. (2009). *Postphenomenology and technoscience: The Peking university lectures*. Albany: SUNY Press.
- Ihde, D. (2011). Heidegger's Technologies: Postphenomenological Perspectives. In *Heidegger's Technologies: Postphenomenological Perspectives*. New York: Fordham University Press.
- Liberati, N., & Nagataki, S. (2015). The AR glasses' "non-neutrality": their knock-on effects on the subject and on the givenness of the object. *Ethics and Information Technology*, 17(2), 125-137.
- Rosenberger, R. (2013). Mediating Mars: Perceptual Experience and Scientific Imaging Technologies. *Foundations of Science*, 18(1), 75-91.
- Rosenberger, R. (2017). Notes on a Nonfoundational Phenomenology of Technology. *Foundations of Science*, 22(3), 471-494.
- van den Eede, Y. (2015). Tracing the tracker: A postphenomenological inquiry into self-tracking technologies. In P.-P. Verbeek & R. Rosenberger (Eds.), *Postphenomenological Investigations: Essays on Human-Technology Relations* (pp. 143-158). Lanham: Lexington Books.
- Verbeek, P.-P. (2008). Cyborg intentionality: Rethinking the phenomenology of human-technology relations. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 7(3), 387-395.
- Wellner, G. (2014). The Quasi-Face of the Cell Phone: Rethinking Alterity and Screens. *Human Studies*, 37(3), 299-316.
- Wellner, G. (2016). *A Postphenomenological Inquiry of Cellphones: Genealogies, Meanings and Becoming*. Lanham: Lexington Books.
- Wellner, G. (2018). From cellphones to machine learning. a shift in the role of the user in algorithmic writing. In *Towards a Philosophy of Digital Media* (pp. 205-224).
- Wellner, G. (2020). Postphenomenology of Augmented Reality. In H. Wiltse (Ed.), *Relating to Things: Design, Technology and the Artificial* (pp. 173-187). London: Bloomsbury Visual Arts.

# סיפורו של שעון: איך גילו שכדור הארץ מאט את קצב סיבובו

יצחק יוסף

ד"ר יצחק יוסף מלמד מתמטיקה בפקולטה להנדסה ופילוסופיה של המדע במכון כהן באוניברסיטת תל אביב ובמכללת אפקה. בימים אלה הוא חוקר את האסטרונומיה במאה ה-91 תחת פרופסור שאול קציר ממכון כהן. מאמר זה נגזר מאותו מחקר.

מאמר קצר זה מציג את הסיפור ההיסטורי של גילוי האטת כדור הארץ. הבעיה המרכזית באסטרונומיה הייתה מציאת מיקום גרמי השמיים בזמן כלשהו, ולשם כך נדרש שעון. אבל איך אפשר לדעת שהשעון אינו "מזייף"? אף פעם אי אפשר לדעת בוודאות שמודל כלשהו מתאר בשלמות את המציאות. האסטרונומים של המאה ה-19 לא יכלו לדעת שהשגיאות בתוצאות שלהם הן בגלל שהשעון שלהם "מזייף" ולא בגלל שעדיין לא המציאו את תורת היחסות. סוגיית האטת כדור הארץ נחקרה במשך שנים, ונדרשו לאסטרונומים כמעט מאתיים שנה של עבודה יסודית כדי לגלות שכדור הארץ מאט, והשעון שלהם אינו מדויק.

בשנים האחרונות התפתח דיון בסוגיית ההכרחיות של תיאוריות מדעיות. מצד אחד, יש הטוענים שעבר זמנן של תיאוריות סיבתיות, ודי במודלים סטטיסטיים וברשתות לומדות כדי לספק תחזיות מדויקות לגבי העתיד. מצד שני, יש התומכים בגישה שלפיה תיאוריות סיבתיות מדעיות הן הכרחיות, חרף הצלחתן של הגישות הסטטיסטיות הממוחשבות.

במאמר זה אציג סיפור היסטורי, שלדעתי תומך בגישה האחרונה, שלפיה תיאוריות סיבתיות הן הכרחיות. ללא תיאוריות סיבתיות, ועל ידי חישובים סטטיסטיים בלבד, לא ניתן לפרוץ את מסגרת המחקר הראשונית ולהגיע להסברים ותיאורים חדשים. כדי לשכנע אתכם, הקוראים, שלמרות הציפייה שרשתות הנוירונים יפתרו הכול, הסיכוי לכך קטן.

שעון הוא כלי הכרחי למדע. זו טענה שקשה מאוד להתווכח איתה. כלי כלשהו למדידת זמן הוא הכרחי בגלל שחלק מרכזי בתפקיד המדע הוא לייצר פרדיקציות (ורטרודיקציות). אנחנו רוצים לדעת ממצב העניינים העכשווי מה יהיה מצב העניינים בעתיד, ומה הוא היה בעבר. פיזיקה היא דוגמה מתבקשת. על ידי רדוקציה של המציאות למספר קטן של פרמטרים<sup>1</sup> מדידים אנחנו יכולים למצוא משוואות שקושרות בין הפרמטרים האלה ומתארות את התפתחותם בזמן. אבל פיזיקה היא דוגמה ברורה. פרדיקציות אנחנו עושים בכל תחום.

1. קחו לדוגמה את תיאוריית הכבידה; מסה, מיקום, זמן (דרך המהירות), וזהו הכול פחות או יותר. שלושת הפרמטרים האלה הם רדוקציה של העושר האינסופי של המציאות לשלושה מספרים בלבד, תוך התעלמות מכל שאר התכונות האינטרניטיות והאקסטריניטיות של האובייקטים, כדי להסביר תופעה ספציפית.

כימאי, למשל, ירצה לדעת, כאשר הוא מכניס מגיבים לאביק, מה יהיו התוצרים ותוך כמה זמן הראקציה תתרחש; ביולוג ירצה לדעת לפי מצב העניינים העכשווי מה יקרה בעתיד, ומה היה בעבר; מהנדס חשמל ירצה לדעת את הזרם במעגל כפונקציה של הזמן... נראה שלחזות תחזיות זו אחת המשימות החשובות ביותר של המדע. במילים אחרות: חלק גדול מהפונקציות שעמן אנו מתעסקים במדע תלויות בזמן  $t$ , ואיכשהו צריך למדוד אותן.

ניקח, לדוגמה, את הזמן הפיזיקלי, ואת תיאוריית הכבידה כדוגמה בתוך דוגמה. זהו ה- $t$  במשוואות, הנעלם הבלתי תלוי. המושג הזה הוא אותו  $t$  שמהנדסים פגשו אינספור פעמים בחייהם, בכל משוואות הפיזיקה או החשמל או הכימיה. הזמן שמיוצג על ידי האות  $t$  במשוואות הוא מושג מופשט טהור. הוא מניח שיש לכם שעון מדויק אפריורית לקיום התיאוריה והפיתוח שלה בכלל. זאת, עוד לפני שהתחלתם לתכנן בכלל את הניסוי שלכם. זהו אינו שעון. המושג הזה אינו עצם קונקרטי. מושג הזמן הפיזיקלי יכול להתבטא בכמה סכמות חשיבה מטאפיזיות - למשל, זמן ניוטוני לעומת זמן יחסותי.<sup>2</sup> הזמן  $t$  הוא מושג מטאפיזי.

כדי לייצר שעון, אובייקט פיזי, אנחנו מוכרחים לעשות שני דברים. הראשון הוא לבחור תופעה אחידה בעולם - זו יכולה להיות תופעה מחזורית, כמו סיבוב השמש בשמיים, או הירח, או כוכבי השבת, או מספר התנודות של אטום צזיום, או תנודות של מטוטלת... זו יכולה להיות גם תופעה לא מחזורית, כמו מים או חול שנשפכים ממכל מסוים, או זמן מחצית החיים של חומר רדיואקטיבי כלשהו.

הדבר השני שאנחנו צריכים זה לקבוע יחידת זמן,<sup>3</sup> נניח השנייה (the second). יחידת הזמן היא מה שמקשר בין המושג המופשט של הזמן לתופעה שמשמשת למדידת הזמן. היא שהופכת את התופעה הנבחרת לשעון. למעשה, תופעות מחזוריות מועדפות לבחירה כשעון דווקא בגלל שהן מציעות יחידת זמן "טבעית". אחת מהדרישות ההכרחיות מיחידת זמן היא שהיא תישאר קבועה; שלא תמתח או תתכווץ ככל שהזמן עובר, שתישאר מתאימה לזמן המופשט. אין לנו בעיה שהשעון "זיזיף" פה ושם, כל עוד נדע בדיוק איך לכייל אותו מפעם לפעם, כשהשיגאות יהיו בלתי נסבלות וייכנסו לטווח היכולת שלנו למדוד. אבל יחידת הזמן חייבת להישאר עקבית (כמו שאר היחידות במדע) - שנייה זו שנייה, היום ומחר. פרדוקסלי ככל שזו נשמע, אנחנו דורשים שגודל השנייה יישאר קבוע בזמן.

בסדר, אז יש לנו שעון, ואנחנו משתוקקים לעשות מדע. אבל איך נדע שהשעון שלנו אינו "מזיזיף"? איך נדע שיחידת הזמן שלנו קבועה? שהיא לא נמתחת (שעון מאט) או מתכווצת (ממהר) מדי פעם? נכייל אותו עם שעון אחר כמובן. אבל איזה שעון? עד המאה ה-20 התשובה הייתה "פנה לאסטרונומים". האסטרונומים היו אחראים על קביעת יחידת הזמן ושמירה על "שעון העל", שיחסית אליו מכילים שאר השעונים.

הגדרת יחידת הזמן באסטרונומיה יכולה להיעשות במגוון דרכים: למשל, סיבוב הירח יכול להגדיר את החודש, סיבוב כדור הארץ סביב השמש יכול להגדיר את השנה, וכדומה. עד תחילת המאה ה-20 היה מקובל להגדיר את יחידת הזמן על ידי הזמן הסידראלי. זה זמן הסיבוב של כדור הארץ סביב צירו, ביום. השיטה יחסית פשוטה: הביטו באחד מכוכבי השבת, אלה שנמצאים כל כך רחוק שהם אינם זזים יחסית אלינו מבחינה מעשית, וכאשר הוא יחזור בדיוק לאותו המקום בשמיים, עבר בדיוק יום אחד. את שאר יחידות הזמן אפשר לייצר על ידי חלוקה או הכפלה של היום כרצוננו. סיבוב כדור הארץ נבחר כי הוא היה העקבי ביותר, והקל ביותר למדידה. עם הזמן גילו שציר הסיבוב של כדור הארץ מבצע נויטציות ופרצסיה,<sup>4</sup> אבל כמו שאמרנו קודם לכן, אם אנחנו יודעים איך השעון שלנו מזיזיף, אנחנו יכולים "לתקן" אותו, וזה בדיוק מה שעשו: למדו מהן

2. זמן ניוטוני מוגדר כזמן אחיד שעובר באותו קצב לכל הצופים. זמן איינשטייני עובר בקצב שונה עבור צופים שונים, כתלות במהירות היחסית בינם. ההבדל בינם נגלה לעין רק במהירויות גבוהות יחסית. המציאות מתאימה לזמן איינשטייני (זמן יחסותי), אבל במהירויות נמוכות ביחס למהירות האור, זמן ניוטוני מניב בדיוק את אותן תוצאות (ההבדל בינם נמצא הרבה מתחת לסף הגילוי שלנו, ומתחת לקבוע פלאנק).

3. היחידה אינה חייבת להיות השנייה - היא יכולה להיות הדקה או השעה או היום. שאר היחידות יכולות להיקבע על ידי חלוקה של היחידה הראשונית למספר חלקים ככל שנרצה. בדיוק כמו בשאר הגדלים הפיזיקליים, היחידה נקבעת שרירותית. מעניין שהבבלים בחרו דווקא את החלוקה לשישים ולא למאה כשזה מגיע לזמן.

4. ציר הסיבוב של כדור הארץ נתון לתנודות (נוטציות) ונקיפות (פרצסיה) ואינו קבוע במרחב.

הנוטציות והפרצסיה של כדור הארץ, והתחשבו בהן.

אסטרונומיה היא גם מדע, וגם בו עושים תחזיות. למשל, אנחנו רוצים לדעת איפה יהיו כוכבי הלכת, השמש והירח בשמיים בזמן נתון. בעיה זו נקראת בעיית האפמריס (ephemeris). לפני המצאת ה-GPS זו הייתה בעיה חשובה במיוחד, כי זו הייתה הדרך היחידה לקבוע את המיקום שלכם בלב ים. לפני ה-GPS ניווטו בעזרת גרמי השמיים, אבל לחזות את מיקום גרמי השמיים כתלות בזמן זו בעיה עתיקה יותר אפילו מהניווט. אפשר להגיד כמעט בביטחון מוחלט שמרגע שהומו סאפינס הרים את הראש והסתכל על השמיים בנחת, עניינה אותו תנועת הפלנטות והכוכבים, הירח והשמש. למעשה, בעיית האפמריס היא אולי הבעיה המדעית הכי עתיקה ופורייה מעולם. אפשר להגיד במידה רבה של ביטחון שניוטון המציא את הפיזיקה עבורה, והרבה חלקים במתמטיקה הומצאו ממש כדי לפתור את הבעיה הזו: איפה ימצאו גרמי השמיים כתלות בזמן.

אבל, רגע אחד! יש כאן לולאה רצינית. נתבונן, לדוגמה בבעיה אחת, הירח. אנחנו רוצים לדעת איפה יהיה הירח בכל זמן שנרצה בעתיד. אבל התיאוריה של תנועת הירח מסובכת. היא כוללת גם את השפעת השמש על הירח ועל כדור הארץ והמסלול של שניהם.<sup>5</sup> אבל הבעיה הגדולה יותר היא שאולי יש עוד גורמים שעדיין לא גילינו והכנסנו לשיקולים. אולי יש אסטרואיד או כוכב לכת שעוד לא גילינו? היום יש לנו ידע כמעט מוחלט על האובייקטים במערכת השמש שגדולים מספיק כדי להשפיע על תנועת הירח, אבל לפני מאה או מאתיים שנה עדיין גילו אובייקטים חדשים. אז עכשיו עולה הבעיה הרלוונטית עבורנו: אם כדור הארץ מאט (או מאיץ) את הסיבוב שלו עם הזמן, והיום נמתח לנו קצת, איך נדע אם השגיאות בתצפיות שלנו הן תוצאה של השעון שמזיף (כדור הארץ מאט, יחידת הזמן שלנו נמתחת) או נובעות ממודל הכבידה של הירח (המודל חלקי, חסרים גורמים משפיעים, יש אפקטים שלא התחשבו בהם וכו')? בקיצור, כיצד נדע שהשעון הוא הבעיה ולא המשוואות או נתונים חסרים שלא התחשבו בהם?

פה אנחנו רואים דוגמה מעניינת לחשיבות של תיאוריה. עד לניוטון, המודלים של תנועת גרמי השמיים היו סטטיסטיים במהותם. הקדמונים השתמשו בערכים תצפיתיים כדי לקבוע מקדמים ולעשות אקסטרפולציה לעתיד. אבל אחרי ניוטון כבר הייתה לאסטרונומים תיאוריה סיבתית כללית, תיאוריית הכבידה האוניברסלית של ניוטון, כזו שעובדת בכל מקום שבו יש מסה, היא זה הירח או העיפרון שנפל לי מהשולחן כרגע. כולם מוסברים על ידי אותה תיאוריה. יש סיבה (המסה), ותוצאה (כוח), וקשר מדויק ביניהן - נוסחה מדויקת. אמת, כשמגיעים למציאות יש יותר משני שחקנים בבעיה מסוימת, והמשוואות נהפכות למסובכות עד כדי כך שאין לנו פתרון מדויק, אבל אפשר לבנות פתרונות מקורבים, ולחשב אותם בדיוק הולך וגדל, ולכן זו רק בעיה של כוח חישוב. במילים אחרות, יש דרכים לבנות מודל ולחשב את השפעת התפלגות המסה על הכוחות (חוקי ניוטון), ומשם נוכל לחזות את מיקום כל גרמי השמיים. בהמשך נראה כיצד הצליחו המדענים להבין שכדור הארץ מאט, ונתאר את התהליך.

## ביטחון בתיאוריה

הסיפור שלנו מתחיל עם הירח - האובייקט הכי קרוב אלינו, שהתצפיות עליו הכי מדויקות ורבות, הוא נע מהר, ויש לנו גם תצפיות עתיקות עליו שיוכלו לשמש אותנו.<sup>6</sup> הירח גם חשוב לצורכי ניווט. בעיית הירח גם שונה מבעיית כוכבי הלכת האחרים. מפאת המרחק של כדור הארץ והירח מהשמש, אפשר להתייחס לירח ולכדור הארץ כאל מערכת של שני גופים עם פתרון מלא, ולשלב את השפעת השמש כפרטורבציה.<sup>7</sup> בעיה של יותר משני גופים בתורת הכבידה של ניוטון אינה ניתנת, כאמור, לפתרון מדויק, אבל עם מכניזם מתמטי

5. בכבידה, בעיה של יותר משני גופים אינה ניתנת לפתרון מדויק אלא רק נומרי, וזה בסדר כי זה אומר שאם יש לנו מספיק כוח חישוב נפתור את הבעיה בדיוק גדול ככל שנרצה. אבל לאסטרונומים באותה תקופה לא היו מחשבים, וחשובים קלים היום דרשו אז הרבה זמן ומאמץ.  
6. ליקויי ירח תועדו על ידי אסטרונומים בעת העתיקה בדיוק טוב מאוד. די קל לראות ליקויים והם תמיד סיקרנו אנשים.  
7. הפרעה קטנה יחסית.



מתאים אפשר לפתח טור אינסופי כפתרון הבעיה, ולמצוא את המקדמים של האיברים עד איזה סדר שנחפוץ, כלומר עד איזה דיוק שנרצה. שימו לב, אולי זה נראה לכם כבעיה, אבל מטרת המדע אינה למצוא נוסחאות פשוטות ויפות אלא לפתור בעיות מדעיות, ובמקרה שלנו, את מיקום גרמי השמיים כתלות בזמן. אין זה משנה אם הפתרון שלכם הוא נוסחה קצרה ונוחה לעבודה או טור מייגע שדורש הרבה חישובים.

רק אחרי שלאונרד אוילר (Euler) פיתח ב-1739 את הפונקציות הטריגונומטריות והחשבון הדיפרנציאלי והאינטגרלי שלהן, היה אפשר להתחיל ולבנות מודלים טובים לבעיות עם שלושה גופים.<sup>8</sup> התיאוריה הראשונה של הירח<sup>9</sup> שהשתמשה בטכניקות של אוילר הייתה של אוילר עצמו (1746), ומיד אחריו שני מתמטיקאים בשם קלרו (Clairaut) ודאלמבר פיתחו גם הם תיאוריות שונות. כל התיאוריות הללו תורגמו לטבלאות, שחזו את מיקום הירח בכל זמן.<sup>10</sup> הטבלאות הושוו למציאות במצפי הכוכבים, ודיוקן נבחן. ככל הטבלאות היו אי דיוקים כמובן - מדענים אמיתיים יודעים שהמודלים שלהם הם רק קירוב של המציאות המורכבת מאוד - אבל מה שהיה שמעניין הוא שבכל הטבלאות היה אותו אי דיוק. כלומר, שלושה מסלולים שונים לפתרון אותה בעיה הובילו לאותה שגיאה (Wilson 2010). המסקנה, אם כך, היא שלא מדובר בטעות חישוב, אלא במשהו עקרוני שחסר במודל של הירח. ההצעות של שלושת המתמטיקאים לפתרון הבעיה היו שונות: קלרו חשב שצריך לתקן את חוק הכבידה האוניברסלי של ניוטון - להוסיף איבר שתלוי במרחק בחזקה הרביעית במכנה, עבור המקרים של מרחקים קצרים יחסית כמונחים אסטרונומיים, כמו הירח. אוילר חשב שאולי דווקא יש לתקן את החוק של ניוטון כאשר מדובר במרחקים ארוכים יחסית, ואילו דאלמבר לא חשב שנדרש תיקון לחוק הריבועי ההפוך של ניוטון. לאחר שבדקו המתמטיקאים הדגולים הללו את התיאוריה, ופיתחו את הפתרון לסדר שני, הם הגיעו למסקנה שהחוק של ניוטון אינו דורש שום תיקון.

התיאוריות של שלושתם הניבו תוצאות עם דיוק של 3-5 דקות קשת.<sup>11</sup> עם השנים הגיעו אחרים שהשתמשו בפתרונות שלהם כדי לפתח את הטורים ולמצוא עוד ועוד איברים מסדר הולך וגדל, וכך התקבלו טבלאות יותר ויותר מדויקות, אבל המשותף לכל הטבלאות הללו היה שהשיטות ששימשו לבנות אותן הסתמכו על תצפיות כדי לקבוע את המקדמים. ככול שנעשה שימוש ביותר ויותר תצפיות, כך גדל דיוק התיאוריות, אבל רק לזמן קצר יחסית. הקירוב התרחק מהמציאות מהר מאוד, ונדרשו עוד ועוד תצפיות חדשות.

## הפרויקט של לפלאס - תיאוריה של הירח שתלויה רק בחוק הכבידה האוניברסלי של ניוטון

כשפייר סימון לפלאס ניגש לבנות תיאוריה של הירח (1798), עמד לפניו הדיוק היוצא מהכלל של קודמיו. להבדיל מהם, לפלאס הוסיף גורמים למודל הירח-כדור הארץ-השמש, גורמים שמשפיעים בגלל הכבידה שהם מייצרים, כדי ליצור תיאוריה שתלויה כולה בחוק הכבידה האוניברסלי של ניוטון. למשל, לפלאס הוסיף משוואות שמייצגות את העובדה שכדור הארץ אינו כדור מושלם אלא אליפסואיד. לפלאס הצליח גם להסביר תופעה שהטרידה את קודמיו; נראה כאילו הירח מאיץ לאט ובהדרגה מאז העת העתיקה. לתופעה זו ניתן השם "התאוצה הסקולרית של הירח", ולאף אחד לא היה הסבר עבורה. לפלאס הראה שמסלול כדור הארץ סביב השמש משתנה לאורך השנים, באופן כזה שמסביר את האצת הירח במלואה. למעשה, גם לפלאס בעצמו הזניח חלק מההסבר, שכן מאוחר יותר התברר ששינוי המסלול של כדור הארץ אינו מסביר את האצת הירח באופן מלא.<sup>12</sup> עדיין, לפלאס האמין שלא רחוק היום שבו יבנו מודל לתנועת הירח שיסתמך רק על התיאוריה וינבא את מיקום הירח במדויק אך ורק מתוך חוק הכבידה של ניוטון. כשמודל כזה ייבנה, לא יהיה עוד צורך

8. באופן כללי אפשר לנסח את המשוואות הדיפרנציאליות ולפתור אותן עם טור מקורב.

9. לניוטון היה מודל של תנועת הירח, אבל כזה שהשתמש בגיאומטריה ולא היה נוח לעבודה.

10. כמו שציינתי לעיל, למיקום גרמי השמיים בזמן נתון הייתה חשיבות פרגמטית וכלכלית גדולה.

11. חלקי מעלות הקשת נמדדים בדקות ושניות, ואין זה מפתיע בהינתן הקשר בין סיבוב כדור הארץ למדידת הזמן.

12. הדבר היחיד שמסביר את האצת הירח במלואה היא האטת הסיבוב של כדור הארץ. כפי שגילו אחר כך.

בשימוש חוזר של תצפיות כדי לעדכן את האיברים בטור המקורב; מספיק יהיה לקחת את מיקומו ומהירותו של הירח פעם אחת כתנאי התחלה, ומאותו רגע הפתרון ייתן את המיקום העתידי של הירח לנצח ובדיוק וללא צורך בשינוי מקדמים או פיתוח איברים נוספים בטורים אינסופיים. לפלאס, שהיה בעל השפעה גדולה, הציע לאקדמיה הצרפתית למדע להעניק פרס ב-1820 למי שיצליח לבנות תיאוריה וטבלאות מדויקות יותר מאלה שהיו, ועל סמך כבידה בלבד. שתי הצעות הוגשו. הראשונה של דאמוואזו (Damoiseau, 1768-1846), והשנייה של ג'ובאני פלאנה (Giovanni Plana, 1781-1864) ופרנצ'סקו קרליני (Francesco Carlini, 1783-1862), כולם מנהלי מצפי כוכבים בכירים בצרפת. שתי ההצעות השתמשו בטכניקות החדשות של לפלאס. עדיין, המודלים שלהם היו גדולים וקשים ליישום, ודרשו חישובים ארוכים ופיתוח לטורים עם סדרי גודל הולכים וגדלים, ושהציגו שגיאות עקביות.

### המרדף אחר הסבר סיבתי - מה גורם לשגיאות במיקום הירח?

ככל שעברו השנים, הצטרפו מדענים נוספים לפרויקט, והציעו תוספות ותיקונים למודל, ויצרו טבלאות משלהם. לאורך הזמן, ולאחר ויכוחים והצעות שונות, הוסכם על מודל אחד. השגיאות תוקנו, והתחשבו בכל הגורמים במערכת השמש שיכולים להשפיע על מערכת כדור הארץ-הירח-השמש במידה ניכרת לעין. בשלב זה השתפרו גם התצפיות, המדידות וטכנולוגיית הטלסקופים, וכתוצאה מכך השתפר דיוק הטבלאות פלאס. אבל עדיין, למרות הכול, נשארו שתי אנומליות שאינן מוסברות על ידי כוח הכבידה.

האנומליה הראשונה הייתה ההאצה הסקולרית של הירח. אדמס הראה בשנת 1853 שהמודל של לפלאס יכול להסביר רק מחצית מההאצה הנצפית (Adams 1853); המחצית השנייה נשארה בלתי מוסברת. כלומר, שינוי המסלול של כדור הארץ אינו מסביר את כל האצת הירח.

האנומליה השנייה התגלתה על ידי ניוקומב (Newcomb) בשנות השישים של המאה ה-19. ניוקומב גילה שמלבד ההאצה האיטית, תנועת הירח נתונה גם לתנודות קצרות מועד. כלומר, לפעמים הירח האיץ ולפעמים האט, במרווחי זמן של עשרות שנים ואף מאות שנים. את שתי האנומליות האלה, התורה של ניוטון לא הצליחה להסביר.

בשלב זה, שני אסטרונומים הציעו באופן בלתי תלוי הסבר לאנומליות. דלוני (Delaunay 1859, 1866) ופרל (Ferrel 1864) הציעו ששינויים בקצב סיבוב כדור הארץ אחראים על האנומליות. עדיין, כדי להוכיח את ההשערה הזו נדרשו כמעט 100 שנה. במהלך המחצית השנייה של המאה ה-19, הנושא נחקר על ידי שני אסטרונומים, ניוקומב עצמו (1896) וגינזל (Ginzel 1899). אך שניהם לא הצליחו להוכיח דבר, כי המידע לא הספיק. ב-1903 ניוקומב, כאסטרונום בכיר וידוע, החליט שהסיבות לשינויים אלה אינן ידועות ואין הוכחה לשינוי קצב כדור הארץ; נדרש מחקר נוסף.

רק לאחר ששללו האסטרונומים את כל האפשרויות האחרות (Brown 1910) נסללה הדרך להוכחה המלאה. עם האפשרויות שנבדקו נמנו השפעת צדק על תנועת הירח, קיום אסטרואידים במקום המתאים, האליפסואידיות של השמש עצמה, משיכה מגנטית אפשרית בין הארץ לירח, תנועה לא ידועה של ציר הסיבוב של הירח ועוד. לבסוף הגיע השלב שבו גם נשללו כל האפשרויות האחרות, וגם הצטבר מספיק מידע תצפיתי מדויק כדי לבדוק את תנועתם של גרמי שמיים רחוקים יותר מהירח, כלומר כוכבי הלכת והשמש.

השיטה כעת הייתה להשוות את תנועת הפלנטות האחרות, השמש (למעשה זו תנועת כדור הארץ שמתפרשת כתנועת השמש), הירח, ומאוחר יותר אפילו הירחים של צדק. על ידי התחשבות בגורם המתאים, שתלוי בזמן המחזור של האובייקט הנצפה, אפשר היה לבדוק אם השינויים שנצפו בתנועת הירח מופיעים גם בתנועתם של שאר גרמי השמיים. ההיגיון היה כזה: אם השינויים בתנועת הירח אכן נגרמו מהשינויים בקצב תנועת

כדור הארץ, אנחנו אמורים לראות את אותם שינויים גם בכל התצפיות האחרות. אמנם השינויים בירח הם הכי בולטים בגלל קצב הסיבוב הגבוה שלו, אבל בחינה מדוקדקת תראה את אותה התופעה בכל מקום, אם היא אכן נגרמה משינויים בסיבוב כדור הארץ. בשלב הראשון אין צורך אפילו להראות קורלציה מלאה. מספיק להראות שהמינימום והמקסימום של השגיאות בכל הטבלאות של כל גרמי השמיים הרלוונטיים מתקבלים באותו זמן. שימו לב שתרגיל כזה לא היה אפשרי לפני כן, כי לכל מודל של כל אחד מהאובייקטים היו שגיאות שנבעו מבעיות במודל עצמו; היה צורך לחכות שהמודלים האלה יגיעו לשלמות, כלומר שכל הגורמים הסיבתיים בתוך המודל יזוהו. לדוגמה, אם רוצים להשוות בין השגיאות שבמודל של הירח לשגיאות במודל של כוכב חמה, צריך לקזז מהשגיאות של הירח את החלק היחסי שנגרם בגלל שינוי מסלול כדור הארץ סביב השמש, ומהשגיאה של כוכב חמה את תנועת הפריהליון המזורה שלו.<sup>13</sup> כלומר, לפני שהאסטרונומים ניגשו להשוות את השגיאות של כל המודלים ביחס למציאות, הם היו צריכים לקזז מכל מודל את השגיאות שרלוונטיות רק לו עצמו. במילים אחרות, כל מודל היה צריך להגיע לשלמות יחסית לפני שאפשר יהיה להשוות בין המודלים.

ב-1914, בראון (Brown 1914) הציג דיאגרמה שמשווה בין הירח לחמה. בדיאגרמה אפשר לראות שהתנודות והחריגות של תנועת חמה ושל הירח די דומות כשמתחשבים בהבדלי סדרי הגודל. בראון עצמו חשב שהגורם לכך הוא שינויים בשדה המגנטי של השמש דווקא, ולא ייחס זאת לשינויים בתנועת כדור הארץ.

ב-1915 חקר גלאוארט (Glauert) את היחס בין הירח, השמש (תנועת כדור הארץ למעשה), חמה ונוגה, ועל אף שכבר אצלו אפשר היה להבחין בקורלציה די ברורה, הוא החליט שהמידע אינו מספיק ונדרש מחקר נוסף.

ב-1925 כתב אינס (Innes) מאמר קצר על הנושא, כשהוא משווה בין הירח, חמה, השמש וצדק. בשלב זה כבר נפתרה בעיה נוספת מציקה - הפריהליון של מרקורי. אנומליה זו, של המסלול של כוכב זה, גם היא הטרידה אסטרונומים במשך שנים רבות, ופתרונה הגיע לבסוף בדמות תורת היחסות הכללית של איינשטיין (1917). תורה זו מהווה שיפור לתורת הכבידה של ניוטון, ומעניקה דיוק גדול יותר למודלים. לאחר פתרון בעיה זו, ולאחר שהיה ברור שאפילו תיאוריית כבידה חדשה ומדויקת יותר אינה פותרת את האנומליות בתנועת הירח, הגיע אינס למסקנה שהחריגות בתנועת הירח נובעות משינויים בתנועת כדור הארץ. שנה אחר כך, ב-1926, ספנסר ג'ונס (Spencer Jones) הגיע לאותה מסקנה על ידי השוואה של תנועת גרמי שמיים שונים. בשלב זה היה ברור לכולם שהבעיה אינה בתיאוריה של ניוטון, ולא בתצפיות שגויות, אלא שכנראה כדור הארץ משנה את קצב סיבובו.

## מסקנות

תוצאת ההוכחה של ג'ונס וקודמיו הייתה שאסטרונומיה זקוקה לשעון חדש. מאז העת העתיקה אסטרונומים היו תלויים בתנועה היומית של כוכבי השבת בשמיים (השלכה של סיבוב כדור הארץ) לצורך מדידת זמן. בשלב זה הם ידעו שתנועה זו אינה אחידה, כלומר שהשעון שלהם נע בקצב לא אחיד ולא צפוי. בניסיון ראשון להשיב את העקביות הלוגית למדע שלהם, אסטרונומים המציאו את הזמן האפמרי. כלומר, הם השתמשו באפמריס עצמו - מיקום שאר גרמי השמיים - כשעון. הרעיון היה כזה: הם השקיעו עבודה כה רבה במודלים שלהם ובפתרון בעיית האפמריס, שהבעיה הייתה פתורה בדיוק מעולה. אמנם מיקום שאר גרמי השמיים היה גם חשוף לשינויים, אבל לפחות במקרה שלהם השינויים וסיבותיהם היו ידועים ולכן היה אפשר להתחשב בהם. לפיכך, אורך השנה 1900 נקבע כהגדרת יחידת הזמן, וכדי להשוות את השנה שאחרי כן לשנת 1900, נדרש חישוב אשר "לקח אחורה בזמן" את הפתרון. חלפו עוד כמה עשרות שנים עד שהומצא השעון האטומי,

<sup>13</sup> פריהליון זה הנקודה במסלול האליפטי שבו האובייקט הכי קרוב לשמש, והנקודה הזו כל הזמן זה לעורכי התצפיות. זו בעיה מפורסמת אחרת שלא נדון בה כאן. בעיה זו נפתרה רק אחרי שנוסחה תורת היחסות הכללית על ידי אלברט איינשטיין ב-1917. למעשה, פתרון בעיה זו היה אחד מהאישושים שהציע איינשטיין לתיאוריה שלו.

שהיה מספיק מדויק ועקבי כדי שישמש בעצמו להגדרת יחידת הזמן, ואפשר היה להפסיק להשתמש בגרמי השמיים להגדרת יחידת הזמן.

המסקנה החשובה ביותר כאן היא שללא תיאוריות סיבתיות, לא יכולים היו האסטרונומים לקזז את השגיאות של כל אחד מהמודלים, כדי להשוות בין השגיאות (לאחר הקיזוז) ולהראות שמה שנשאר, נמצא בהתאמה, ועל ידי כך להוכיח שהבעיה למעשה היא בקצב סיבוב כדור הארץ עצמו. בלי התיאוריה הניוטונית אי אפשר היה לבנות מודל נפרד לכל גרם שמיים, ולמצוא את כל הסיבות והגורמים שמשפיעים על מודל זה, ולזהות שהבעיה היא בשעון. מודל סטטיסטי בלבד לא היה מפריד בין השגיאות במסלול הירח שנגרמו בגלל סיבות שקשורות במערכת כדור הארץ-הירח-השמש והשגיאות שנגרמו בגלל האטת השעון (קצב סיבוב כדור הארץ), ולכן מודל כזה לא יכול היה בכלל להשוות בין השגיאות של כל המודלים השונים, ולאחר את הבעיה מחוץ למסגרת שמסבירה תורת הכבידה הניוטונית או היחסותית.<sup>14</sup> רק תיאוריה סיבתית יכולה למצוא את כל הסיבות הכבידתיות המשפיעות בכל מודל של כל גרם שמיים, לקזז אותן, ולהשוות רק את מה שנשאר.

## ביבליוגרפיה:

Adams J.C., 1854, "On the Secular Variation of the Moon's Mean Motion," *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, 143 (1853), 397-406. Reprinted in *MNRAS*, 14 (1854), 59-62.

Brown E.W., 1910, "On the Effects of Certain Magnetic and Gravitational Forces on the Motion of the Moon," *American Journal of Science*, 29 (1910), 529-539.

Delaunay C.E., 1865, "Sur l'existence d'une cause nouvelle ayant une action sensible sur la valeur de l'équation séculaire de la Lune," *Compte Rendu des Séances de l'Académie des Sciences*, 61 (1865), 1023-1032.

Euler J.A., 1766, "Réflexions sur la variation de la lune," *Histoire de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres*, Berlin, 1766, 334-353.

Ferrel W., 1864, "Note on the Influence of the Tides in Causing an apparent Secular Acceleration of the Moon's Mean Motion," *Proceedings of the American Academy Arts and Sciences*, VI (1864).

Glauert H., 1915, "The Rotation of the Earth," *MNRAS*, 75 (April, 1915), 489-495, 685-687.

Innes R.T.A., 1925, "Variability of the Earth's Rotation," *Astronomische Nachrichtung*, 1925, cols. 109-110.

Laplace P. S., 1798, "Traité de mécanique celeste".

Spencer Jones H., 1926, "The Rotation of the Earth," *MNRAS*, 87 (Nov., 1926), 4-31.

Newcomb S., "Fluctuations in the Moon's Mean Motion," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (hereinafter *MNRAS*), 69 (1909), 164.

Newcomb S., *Popular Astronomy* (New York: Harper & Brothers, 1878), 97.

De Sitter W., 1927 "On the secular accelerations and the fluctuations of the longitudes of the Moon, the Sun, Mercury and Venus", *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 4, no. 124.

Wilson C., 2010, *The Hill-Brown Theory of the Moon's Motion*, New York: Springer.

14. מלבד המקרה של הפריהליון של כוכב חמה, תורת הכבידה הניוטונית נתנת תחזיות כמעט זהות לתורת היחסות של איינשטיין, במידת הדיוק הרלוונטית לבעיה.



# טכנולוגיה, מיניות וטיפול מיני מקוון

עידן מיליצ'ר

ד"ר עידן מיליצ'ר הוא פסיכותרפיסט, סקסולוג ומטפל זוגי, אחראי מרפאה סקסולוגית אנאורגנית גברים, המרפאה לטיפול מיני, בית החולים ליס לילודות ונשים.

מין הידועות היא שבריאות מינית היא חלק בלתי נפרד מבריאות הגוף והנפש. בעיות בתפקוד המיני מהוות, בין השאר, מקור למצוקה נפשית, חרדה, דיכאון, פגיעה בדימוי הגוף ותחושת הביטחון והערך העצמי. הן בוודאי פוגמות ביחסים בין בני זוג, ולעתים קרובות הן אף גורמות לקשיים ממשיים בתפקוד היומיומי. מטרת המאמר היא לתאר בקווים כלליים את התפתחותו של הטיפול המיני המקוון. המאמר מתחיל בדיון על השפעתה של הרשת על הזוגיות ועל ההתנהגות המינית, לאחר מכן אסביר בקצרה את יסודות הטיפול המיני, ולבסוף אביא מקרה בוחן ראשוני של טיפול מיני מקוון.

## טכנולוגיה, זוגיות ומיניות

השימוש בטכנולוגיה לצרכים מיניים התרחב באופן דרמטי בעשור האחרון. לדוגמה, צפייה בתכנים מיניים ברשת גדלה בעשר השנים האחרונות בשיעורים גבוהים כל כך עד שמחקרים הבודקים את הגידול הכללי במספר המשתמשים באינטרנט לצורך זה ברחבי העולם נהפכו לחסרי משמעות בהבנת התופעה. נוסף על כך, העיתונות הכלכלית, ובתוכה העיתון הבריטי Daily Mail, מדווחת שבימים אלה שבהם אנשים נתונים בהגבלות על יציאה מהבית בשל התפרצות הנגיף COVID-19, ישנה עלייה ברכישה מקוונת של אביזרי מין ברחבי העולם. נתונים מעודכנים לתחילת אפריל 2020 מצביעים על גידול של 135% ברכישת אביזרי מין בקנדה, 75% בארה"ב, 60% באיטליה, ו-40% בצרפת.

כמובן שאין צורך בתואר בפסיכולוגיה כדי להבין שהעובדה שאנו סגורים בביתנו, קשובים לדיווחים באמצעי התקשורת על מספר החולים ומניין המתים, גורמת להתגברות חרדות ולתחושת לחץ נפשי שמובילים רבים מאיתנו, לשון זכר כלשון נקבה, לאתרי הפורנו כאמצעי להקלה ולהפחתת מתחים. יתרה מזאת, האינטרנט מהווה גם מקור מידע להתנהגות מינית בטוחה גם מפני הידבקות בנגיף הקורונה. חוקרים מאוניברסיטת קולומביה ואוניברסיטת וושינגטון טוענים שעל אף שידוע שהנגיף מופץ באמצעות שיעול, עיטוש, נשימה טיפית ומגע בשטחים נגועים, אין עדויות לכך שניתן להידבק בנגיף באמצעות יחסי מין וגנייליים או אנאליים. כמובן שיחסי מין אוראליים, או נשיקה המתרחשת באופן טבעי במגע אינטימי, עלולים בהחלט לגרום להדבקה. לכן, לפי הנחיות של היל"ם, החברה הישראלית להפרעות בתפקוד המיני, מגע מיני עם בן או בת זוג קבועים

ולא כתוצאה מהיכרות מזדמנת, ותחת המגבלות של הימנעות אוראלית, עשויים להיות בטוחים.

עניין נוסף שחשוב להיזכר בו הוא שעד להתפרצות הנגיף הרשת היוותה אמצעי שאפשר חיבור בין אנשים לצורך היכרות והתחלה של מערכות יחסים ארוכות טווח, וגם לצרכים של יחסי מין מזדמנים. אתרים ידועים כמו אוקיי-קיופיד וג'ידייט הביאו להיווצרותם של זוגות רבים שבלי האינטרנט ייתכן שמעולם לא היו מכירים זה את זה. אפליקציות כמו טינדר וגריינדר אפשרו לרבים אחרים להתחבר לצורך הדדי של קיום יחסי מין.

מבחינה סוציולוגית ופסיכולוגית נראה שהעניין החשוב הוא שהטכנולוגיה משנה את האופן שבו אנו מתייחסים זה לזה. מאז שהרשת התפתחה ברחבי העולם, החלו להיערך מחקרים הבוחנים את האופן שבו היא משפיעה על ההתנהגות האנושית בהקשרים מיניים וזוגיים. מחקרים ראשוניים בנושא לימדו על כך שאנשים היוצרים קשר עם אנשים אחרים באמצעות הרשת מרגישים פחות מעוכבים באופן התנהגותם ובדרכי הביטוי שלהם, מאשר הם מקיימים תקשורת פיזית פנים מול פנים (Cooper, A., & Sportolari, L., 1997). כבר בתחילתו של העידן המקוון יותר ממחצית ממשתמשי האינטרנט הכפייתיים סיפרו על כך שהם מפלרטטים ברשת, 42% מהם אמרו שהם ניהלו רומן מקוון, ויותר משליש דיווחו כי הם אף מגיעים לסיפוק מיני כשהם נחשפים לתכנים מיניים באינטרנט (Greenfield, D. N., 1999).

עם השנים התחלנו להבין ששימוש מוגזם ברשת הן לצרכים של יצירת קשר עם בני זוג פוטנציאליים והן לסיפוק דחפים מיניים עלול להביא דווקא לפגיעה במיניות ובתפקוד המיני, ויש בכך איום לא מבוטל על מערכת היחסים הזוגית. מחקר שבדק את השפעת ההתמכרות של שני המינים לסייבר-סקס על מערכת היחסים הזוגית ועל התא המשפחתי, הצביע על כך שהסייבר-סקס היווה גורם מרכזי בהחלטה לפרק את הזוגיות (Schneider, J. P., 2000, 2003). יתרה מזאת, גברים שעסקו בהתנהגות מינית מקוונת דיווחו על השפעה שלילית על מיניותם במסגרת מערכת היחסים הלא מקוונת (Cooper, A., Galbreath, N., & 2004). Becker, M. A (2004) גם בגידה מקוונת, ללא מפגשים פיזיים, אינה חפה מהשלכות שליליות על הזוגיות. במחקר שעסק בבגידות מקוונות התברר שטווח הרגשות שחווה אדם המקיים בגידה מקוונת משפיע לרעה על יחסיו עם בן הזוג הרשמי (Whitty, M. T 2005), ולו בשל הסודיות האופפת את ההתנהלות המקוונת בהקשרים אלו (Cooper, A., Delmonico, D. L., & Burg, R., 1999).

כעשור לאחר שהאינטרנט חדר לחיינו ערכו הנליין והרים מחקר על מגוון רחב של טכנולוגיות שהצביע על היתרונות והחסרונות שלהן בהקשר של מערכות יחסים (Henline, B. H., & Harris, S. M., 2006). במחקר התברר שהעברת מסרים באמצעות טכנולוגיה יוצרת קושי בהבנת הכוונות האמיתיות של המסר, בין השאר משום שנעלמים בה רכיבים כמו אינטונציה וקונטקסט, ולכן היא משבשת את דפוסי התקשורת של בני זוג. יתרה מזאת, הנגישות לפוטנציאל של בני זוג חלופיים באמצעות טלפונים סלולריים, שהם עפ"י רוב אמצעי תקשורת אישי שאינו חשוף לבן הזוג, מעלה את הסבירות להזנחה של מערכת היחסים הקיימת ולהתגברותה של תחושת "חנק" שנגרמת ממנה.

מעבר לכך, מחקרים רבים מצביעים על כך ששימוש מוגבר בטכנולוגיה בהקשרים של עולם העבודה מביא לסדרת הפרעות בחיי היומיום המשפחתיים. טלפונים סלולריים, מחשבים ניידים עם גישה אלחוטית וכיו"ב מאפשרים למעסיק ליצור קשר עם העובד בכל מקום ובכל עת, ולמועסק להישאב לנושאים המחייבים את תשומת ליבו, לדוגמה, כאשר הוא מתעדכן בדוא"ל מביתו, ועל ידי כך מופר איזון בית-עבודה החיוני לאיכותו והיקפו של הזמן הפנוי והאינטימי של בני הזוג. נציין שהפרעות כאלה מתרחשות במעגלים שמחוץ לעולם העבודה, כאשר חברים ובני משפחה עלולים לקטוע את הרצף של חוויה זוגית.

נחזור לתרומה החיובית של הטכנולוגיה לחיי הזוגיות שלנו. חשוב לזכור שהטכנולוגיה מאפשרת לנו לשמור על קשר רציף במהלך היום עם בן הזוג שלנו באמצעות משלוח מסרון או דוא"ל במהלך יום העבודה העמוס. מכיוון שהמחשב האישי בעבודה והסמארטפון צמודים אלינו כל היום, זוגות יכולים להעביר ביניהם

קובצי קול וקבצים ויזואליים כמו תמונות וסרטונים העשויים לשפר את איכותו של הקשר הזוגי גם בהקשרים מיניים. נוסף על כך, כשחינו מתנהלים און-ליין, יש סיכוי נמוך שנשכח תאריכים חשובים כמו יום נישואים וימי הולדת.

חשוב לזכור שהרשת מאפשרת לנו לקיים תקשורת בעלת היבטים מיניים באמצעות משחקים מקוונים או משחקים רבי משתתפים. אפשרות זו פותחת בפני זוגות מרחב שהוא בין "דיבורים" לבין "מעשים", ויש בה כדי לגרום לעוררות מינית בין בני הזוג. דוגמאות אלה ואחרות של תקשורת רגעית וממוקדת עשויות לפצות על הזמן המועט שנשאר לזוגיות, לאחר שתחומים "זוללי זמן" כמו טיפול בילדים, התייחסות להורים מבוגרים וכיו"ב מכלים את מעט האנרגיה והפנאי שיש לנו יחד (Hertlein, K. M., 2004).

ריחוק גיאוגרפי בין בני זוג הוא עניין נוסף שהטכנולוגיה ממתנת את השפעתו השלילית על מערכות יחסים. בעידן של קשרים עסקיים גלובליים, קריירות בינלאומיות ושמיים פתוחים, זוגות משתפים חוויות בשיחות וידיאו איכותיות מכל מקום בעולם. מי שאינו נמצא במערכת יחסים ומעוניין להכיר אנשים מקומיים כאשר הוא נמצא בארץ זרה יכול לעשות זאת באמצעות אפליקציות שמחברות בין אנשים לפי רדיוס גיאוגרפי מקומי, הן לצרכים של מיניות מזדמנת והן לצורך הרחבת מעגלי ההיכרות. אם נביא בחשבון שביקור בארץ זרה מאפשר לנו להכיר אנשים שאין להם השפעה על מרחבים אישיים של חיינו - הם הרי אינם מכירים את החברים שלנו, בני המשפחה או עמיתים לעבודה - אזי החשש שעלול ללוות את תחילתו של מגע אינטימי נחלש משמעותית. עניין זה הוא בעל חשיבות יתרה כאשר מדובר ביכולת להביע את המיניות של הפרט ללא סיכונים המתקיימים בעיר ובארץ שהם מרכז חיינו. כך, משיכה לבן/בת אותו מין, כלומר הומואים ולסביות, עלולה להיחשב בתרבות המוצא לאסורה בתכלית, ולכן ניתן לממש אותה הרחק מהעין הבוחנת של מייצגיה.

מלבד האמור לעיל, אחת התרומות של הטכנולוגיה שעדיין לא עמדנו עליה, היא שינוי תפיסת הזוגיות בחברה המודרנית. לנגד עינינו מתהווים להם דפוסים חדשים של זוגיות שמצטרפים לעמדה המסורתית. הפתיחות והזמינות שהרשת מאפשרת הרחיבה תופעות כמו סווינגרס ופוליאמוריה. זוגות לא מעטים ברחבי העולם מרגישים שמגע מיני עם זוג נוסף מעשיר את המיניות שמתקיימת עם בן הזוג הקבוע, ושקשרים רגשיים עם אנשים שמחוץ לזוגיות עשויים לתרום לעוצמתו של קשר זה. מנגד, התברר שיש מי שחש בנוח עם התפתחות איטית של קשר זוגי והטכנולוגיה מסייעת לקיים דינמיקה של קשרים רגשיים בלי לעורר תסכול שנוצר כתוצאה מעיכובו של קשר גופני בשלבים הראשונים של מערכת יחסים.

## טיפול מיני, וטיפול מיני מקוון

הטיפול המיני זוכה להכרה בחשיבותו הקלינית בעולם הרפואה זה כמה עשורים. אמנם יש דור שעדיין מסתייג מטיפול מיני נתמך טכנולוגיה, אך מחקרים מלמדים שהטכנולוגיה מאפשרת לרבים לקבל סיוע מתאים ולהשיג שיפור משמעותי במאפיינים שונים של התנהגותם המינית. העובדה הפשוטה שהרשת היא מקור מידע לתחומים רבים בחיינו, מסייעת גם לאדם המתמודד עם ליקויים בתפקוד המיני לחפש תשובות במרחבי האינטרנט ולהבין מה עובר עליו, ובמיוחד לגלות שהוא אינו היחיד המתמודד עם קשיים כאלה, ושיש לו יכולת לקבל סיוע טיפולי שעשוי לשפר את חייו.

בישראל, מטפלים מיניים מוסמכים על יד האגודה הישראלית לטיפול מיני, איט"ם, או על ידי החברה הישראלית להפרעות בתפקוד המיני, היל"ם. מטפלים מיניים הם אנשי מקצועות קליניים, כמו עובדים סוציאליים, פסיכולוגים או רופאים, שלאחר התמחותם המקצועית, הם עברו הכשרה מקיפה בתחום הטיפול המיני. למומחים מוסמכים אלה יש כישורים, ידע וניסיון בעבודה טיפולית מגוונת, והם יכולים לטפל בבעיות בתפקוד המיני וגם בבעיות משנה הנוצרות כתוצאה מהן. מובן שגם האפשרות ההפוכה מתקיימת, ולמטפלים



אלה יש היכולת המקצועית לטפל בבעיות נפשיות ופיזיולוגיות אשר גורמות לבעיות בתפקוד המיני ונובעות מבעיות אחרות.

ניתן לומר כי טיפול בהפרעות בתפקוד המיני מחייב גישה מערכתית שמהותה התייחסות לכך שהתנהגותו המינית של האדם היא תוצאה של כמה גורמים אינטגרטיביים הפועלים על האדם. נהוג לסווג בעיות בתפקוד המיני לשני סוגים של גורמים - אורגניים ואנ-אורגניים.

גורמים אורגניים כוללים היבטים ביולוגיים כמו מסלולי ההפרשה של הורמונים המהווים חלק מהתרומה לתפקוד או אי התפקוד המיני, והיבטים פיזיולוגיים הקשורים במבנה ובתפקוד איברי המין.<sup>1</sup> הרשת מהווה מקור מידע המאפשר הכרה בכך שסוגיות ביולוגיות פיזיולוגיות משפיעות על התפקוד המיני. ישנם אתרים ברשת שבהם כל אחד יכול לקבל מידע בנושאים רפואיים, ובתוכם יש לא מעט אתרים שבהם ניתן לקרוא על תסמינים שונים הקשורים למגוון של ליקויים בתפקוד מיני על רקע גופני. אמנם אתרים אלה אינם יכולים להיות כלי לאבחון עצמי, אך יש בהם מידע רב שיכול לכוון את הקורא לאפשר לו להבין באופן כללי את הגורמים הביולוגיים והפיזיולוגיים שפועלים עליו, ולהציע לו לפנות לרופא המשפחה או לאורולוג המתמחה בהפרעות בתפקוד המיני.

הרשת יכולה להועיל בסיוע לאנשים עם גורמים אנ-אורגניים להפרעות בתפקוד המיני, באופן שדומה למדי לזיהוי גורמים ביולוגיים פיזיולוגיים. במצב כזה האדם שיחפש מידע ברשת עשוי להגיע לידי הכרה שהסיוע שלו הוא זקוק אינו נמצא בתחום המומחיות של רופא המשפחה או האורולוג, אלא הוא נדרש למטפל מיני מתחום הפסיכותרפיה. גורמים אנ-אורגניים כוללים גורמים פסיכולוגיים הקשורים באישיותו של הפרט,<sup>2</sup> גורמים בין-אישיותיים הקשורים בכך הזוג,<sup>3</sup> גורמים חברתיים הקשורים במשפחה ובמעגלים בסביבה בחברתית הקרובה,<sup>4</sup> וגורמים תרבותיים.<sup>5</sup> עם התפתחותה של הטכנולוגיה והניסיון הקליני התברר שישום הטכנולוגיה בטיפול המיני מאפשר מימוש של כמה יתרונות בתהליך הטיפול, אך גם הביא לכדי הכרה בכך שהיא גם אינה חפה מחסרונות שעל הסקסולוג להביא בחשבון (Hertlein, G. R. Weeks, & N. Gambescia, 2003).

הרשת מאפשרת למטופל להתרשם מהכשרתו וניסיונו של המטפל לפני שהוא פונה אליו, ואולי גם לקרוא עליו המלצות. יש לזכור שפנייה אל מטפל מיני עשויה להיות עניין אינטימי שהמטופל אינו רוצה לחלוק עם חבריו ולכן גם אינו יכול לבקש מהם המלצות. כמו כן, כשהמטפל אינו קרוב למעגלים החברתיים של המטופל, ניתן לשמור על אנונימיות ולא להיחשף באופן גלוי, וגם לא לפגוש קרוב משפחה או חבר שיצא זה עתה מהקליניקה של המטפל. מטופלים החוששים במיוחד מהגעה פיזית לקליניקה של המטפל, או שאינם סומכים על כללי האתיקה של המטפלים הנפשיים, ועל כן מבקשים להימנע לחלוטין מזליגה של אינפורמציה אינטימית הכרוכה בקשר טיפולי, יכולים לקבל סיוע קליני באמצעות מפגשים מקוונים. על אף שטיפול מיני מקוון עלול להיות אתגר קליני שהמטפל חייב להביא בחשבון, למטפל יש היכולת לבחון באופן מקוון את הגורמים לבעיות בתפקוד המיני שצוינו לעיל.

1. גברים, לדוגמה, עלולים להתמודד עם בעיות בתפקוד המיני על רקע של גורמים פיזיולוגיים. השכיחים שבהם הם: 1. פגיעה בעורקים או בוורידים כתוצאה ממחלת הסוכרת או אלכוהוליזם. 2. פגיעה במערכת העצבים. 3. שינויים הורמונאליים כמו ירידה ברמת הטסטוסטרון החופשי או בתפקוד של בלוטת המגן או עלייה בפרולקטין (שכיח אצל גברים מעל גיל 45) 4. עישון, שימוש בסמים, נטילת תרופות מסוימות והשמנת יתר. 5. גיל מתקדם המשפיע על איכות הזקפה ומשכה. במקרה של נשים המתקשות להגיע לאורגזמה, הסיבות הפיזיות השכיחות עלולות להיות: 1. נשים הנטלות תרופות נגד דיכאון ממשפחת ה-SSRI. נשים הלוקות בטרשת נפוצה או סכרת. 3. נשים בעלות פגיעה בעמוד השדרה התחתון.

2. בעיות בתפקוד המיני על רקע פסיכולוגי יכולות לנבוע, בין השאר, מקשיים ביצירת קשר ואינטימיות, דיכאון וחרדת ביצוע, משברי חיים בגילאים שונים, קשיים בעבודה, מחלה או אובדן של בן משפחה ועוד. כמו כן פגיעה מינית או הטרדה מינית עלולים להשפיע על התפקוד המיני.

3. יחסי מין הם בראש ובראשונה יחסים. כאשר יש קונפליקטים זוגיים, מאבק כוח, מערכת יחסים מחוץ לזוגיות ללא ידיעת והסכמת אחד מבני הזוג, פערים בצרכים המיניים ובאופן קיום יחסי המין, עלולים כולם לפגוע בתפקוד המיני.

4. המשפחה הישראלית, שלא כמו ארצות אחרות בעולם המערבי, היא גורם דומיננטי בחייו של הפרט בישראל. ישראלים רואים בקשר המשפחתי כבעל ערך משמעותי, ולכן עמדה ביקורתית של המשפחה ביחס ליחסי מין, נטייה מגדרית, בגידות וכיו"ב, עלולה להשפיע לרעה על התפקוד המיני הן של הגבר והן של האישה.

5. למותר לציין שהחברה הישראלית היא כור היתוך של תרבויות שהתקבצו מרחבי העולם ושחלקן עדיין מקדשות תפיסות פטריארכליות שעלולות לגרום לבעיות בתפקוד המיני בקרב שני המינים. אציין גם את העובדה שבישראל חל כחובה שירות צבאי שאינו קצר ושעלולה להיות לו השפעה ומשמעות עמוקה בהקשר של התנהגות מינית בעיקר בקרב גברים.

## טיפול מיני אונליין: המקרה של איה

תיאור המקרה: איה, שם בדוי, היא בחורה בת 27, רווקה, רואת חשבון במקצועה, שפנתה אלי לטיפול מקוון עקב חוסר יכולת להגיע לאורגזמה, לאחר שבירור רפואי קצר העלה שאין סיבות אורגניות לתלונותיה. איה מגדירה עצמה כאדם שאוהב להיות בשליטה על חייו, היא מצליחה מאוד בעבודתה ומוערכת על ידי עמיתיה כבעלת מקצוע טובה. היא עובדת עד שעות מאוחרות וכשהיא חוזרת הביתה היא בדרך כלל עייפה ואין לה רצון לצאת או לבלות.

איה סיפרה שיש לה קשר זוגי תומך ואוהב. בינה ובין בן זוגה יש תקשורת טובה, הם פתוחים זה כלפי זה, מדברים על בעיות ופותרים אותן, ולכן אין ביניהם תחושה של צבירת כעסים ומשקעים. לדבריה, הם חושבים להינשא, אך אין ספק שברקע מטרידה אותם ומפריעה להם בעיית האורגזמה של איה, ושניהם מעוניינים להתמסר לטיפול שיפתור את הבעיה.

התהליך הקליני: בדומה לטיפול פסיכותרפי מסורתי המתקיים בקליניקה באופן פרונטלי, גם בתהליך המקוון המפגשים המקוונים התקיימו אחת לשבוע, עפ"י רוב באותה שעה ובאותו יום בשבוע. אני ישבתי בקליניקה שלי ואיה נתבקשה להיות בביתה בחדר נוח עם פרטיות שתאפשר לה להיות מבודדת מהסביבה ומרוכזת בתהליך ללא גורמים חיצוניים שעלולים להפריע לו.

הבהרתי לאיה שהטיפול המקוון מחייב את המטפל לשמור על אותם כללי אתיקה החלים גם בטיפול מסורתי פרונטלי, ושכמובן לא מתבצע צילום או נשמרת הקלטה של המפגשים. הפרה של כללי האתיקה חושפת את המטפל לסנקציות משפטיות חמורות, ומטפל שמחליט להפר אותם יכול לעשות זאת באמצעות צילום והקלטה של הקליניקה בעזרת כלים טכנולוגיים סמויים, ולכן רמת החשיבה בהקשר זה זהה.

המדיום המקוון לא מנע מאיה לבטא את רגשותיה באופן אותנטי. היא הייתה פתוחה וישירה מאוד, והתרשמתי שבמידה מסוימת הדינמיקה של תחילת התהליך הטיפול, דמתה לדינמיקה המתקיימת במפגש בקליניקה. בשני המפגשים המקוונים הראשונים שוחחתי עם איה על הרקע המיני שלה, על מאפייני ילדותה ועל הקשר הזוגי שלה.

איה גדלה כבת בכורה בבית שבו שני ההורים ניהלו קריירה והיו עסוקים בעבודתם. איה זוכרת שבין הוריה התקיים קשר קורקטי, לא חם וללא חיבוקים או מגע גופני, ושהוריה מעולם לא דיברו איתה, ועם שני אחיה הקטנים ממנה, על מין. איה זוכרת מסרים מהוריה, כשהייתה יוצאת עם בנים, שתיזהר שלא ינצלו אותה. נוסף על כך, במהלך אחד המפגשים המקוונים איה נזכרה שבתקופת הילדות היא הייתה מאוננת לא מעט, אך פעם אחת אימא שלה ראתה אותה מאוננת וצעקה עליה שתפסיק.

איה העידה על כך שהתפתחותה המינית הייתה תקינה, שלא היו לה חוויות מיניות טראומטיות, ושהפעם הראשונה שבה קיימה יחסי מין הייתה במהלך השירות הצבאי ושהייתה זו חוויה סתמית. בירור מקיף העלה שהיא מעולם לא חוותה תחושת אורגזמה, לא ביחסי מין, לא באוננות, לא במגע ידני, לא במין אוראלי ואף לא בפנטזיות או בחלומות ארוטיים. כמו כן, התברר בשני המפגשים הראשונים שאיה חשה לא בנוח לשתף את בן זוגה בדברים שעשויים לגרות אותה, ושתחושות קשות עולות ומציפות אותה כ"נחשול מצמרר" כאשר היא מגיעה לרמת גירוי גבוהה מאוד.

המפגש המקוון השלישי התקיים עם בן זוגה של איה בלבד, וגם ממנו ביקשתי להיות בבית בחדר נוח עם פרטיות ללא גורמים חיצוניים שעלולים להסיט את ריכוזו. גם לבן הזוג הבהרתי שהטיפול המקוון מחייב את המטפל לשמור על אותם כללי אתיקה החלים גם בטיפול מסורתי פרונטלי, והתרשמתי שההבהרה מניחה את דעתו ומאפשרת לו להרגיש נוח ולבטא את תחושותיו באופן חופשי.

משיחתנו התרשמתי שגם לאיה וגם לבן זוגה דימוי גוף תקין, שהקשר ביניהם חיובי ופתוח ושהם אוהבים את המגע ביניהם ונמשכים זה אל זה. בן הזוג העיד על מוכנותו להתחייב לתהליך טיפולי שיסייע לאיה לנסות ולהתמודד עם תפקוד מיני שמפריע לה. עם זאת, הבנתי שהבעיה מביאה לכך שתדירות יחסי המין ביניהם בירידה, כשבדרך כלל היוזמה לכך היא של בן הזוג, ושכמהלך יחסי המין מוטיבציה יתרה מביאה אותו לשאול תכופות על מצבה ואם היא מתקרבת "לזה". מכאן עלתה חשיבות קלינית להכרה בכך שהאורגזמה של איה אינה באחריותו והיעדרה אינו נובע מגורם שבאשמתו.

המפגש הרביעי המקוון התקיים בנוכחות איה ובן זוגה. האתגר שהתקיים במפגשים האישיים הועצם כאשר שניהם ישבו מול המסך. מחד, תמונת מסך רחבה המאפשרת לראות את שפת הגוף של שניהם, מקשה על קריאת הבעות הפנים שלהם; מצד שני, צילום מקורב גורם לאובדן אינפורמציה שעשויה להעיד על הדינמיקה המתקיימת בין בני הזוג.

במפגש שוחחנו על כך שהשאלות במהלך יחסי המין על מצבה של איה גורמות לה לתחושת לחץ ותסכול קשים. השתדלתי להביאם לכדי הבנה שההתמקדות של שניהם "בביצוע" או בתפקוד מיני תקין של איה מחבלת ביכולת שלה להתרכז בהנאה ולהעצים אותה עד כדי אורגזמה. זאת, במיוחד לנוכח דבריה של איה שלפיהם בזמן המגע המיני היא חווה התעוררות מינית גבוהה, והיא מרגישה גירוי כמעט עד כדי אורגזמה, אבל אז היא מאבדת את עוצמת הגירוי, מתקשה להתרכז ומרגישה שהיא מתנתקת מתחושות ההנאה.

כמו כן, איה העריכה שאורגזמה זו חוויה מהנה מאוד והייתה בכך מידה רבה של ציפייה שהקשתה על היכולת לממש את היכולת הגופנית שלה. האופן שבו איה תיארה לעצמה את חוויית האורגזמה היה כזה שבו מתלווים לאורגזמה תהליכים של אובדן שליטה מוחלט על איברי הגוף, והיא חששה מתחושה כזאת. לאיה חשוב תמיד ובכל מצב להיות "בסדר", ולשמור על חזות מסודרת ומאורגנת, והיא פחדה מהתיאור שיצרה לעצמה בדבר חוויית האורגזמה.

לאור זאת ביקשתי מבני הזוג, בסיומו של המפגש הרביעי המקוון, להפסיק לקיים יחסי מין מלאים ולהתרכז בתרגילי מגע. זאת, כדי להביא לכך שהם ישפרו את רמת הפתיחות המינית ביניהם, יאפשרו סביבה התנהגותית שיש בה תקשורת אינטימית נטולת ציפיות, וילמדו לחוות את המין כחוויה גופנית מלאה ולא דווקא כמבוא לאורגזמה.

המפגשים המקוונים הבאים הוקדשו לשיחה על השבוע שחלף ועל היכולת שלהם לעמוד בהנחיות שלי. ניתן לומר שמפגשים אלה אמנם היו פתוחים וכנים אך לא כללו מעורבות רגשית עמוקה מדי, ועל כך הקשיים של הטיפול המקוון לא יצרו אתגר טיפולי מיוחד. במפגש השביעי איה דיווחה שהיא מצליחה להגיע לאורגזמה לאחר גירוי ידני ממוקד בדגדגן, אך לדבריה האורגזמה מגיעה כשהגירוי הידני נמשך זמן רב למדי. בשלב זה, כשהתקשורת המינית ביניהם הייתה רגועה והחוויה המינית הייתה נינוחה יותר, הדרכתי את בני הזוג לשלב אוננות ידנית בזמן המגע המיני תוך שמירה על ריכוז מיני. לאחר שני מפגשים נוספים ניכר היה כי התהליך הטיפולי מתחיל לשאת פירות בשלים יותר, שכן בני הזוג דיווחו כי הצליחו לקיים מגע מיני מלא שכלל אורגזמה של שניהם.

## דיון

כמטפל עם ותק וניסיון של כשלושה עשורים בבתי חולים לנשים וילדות, אודה שהטיפול המקוון הציב בפניי אתגרים לא פשוטים, ושהתקשיתי להתרגל לטיפול המקוון ולהסתגל לחוויה הקלינית המשתקפת מבעד למסך ובוקעת מהרמקולים של המחשב. בבית החולים ובקליניקה התרגלתי לחוש את המטופלים באופן בלתי אמצעי. זהו עניין ידוע ומוכר לכל קלינאי מנוסה, בכל תחום - החוויה של הבנת המטופל מעבר למילים

האינפורמטיביות שיוצאות מפיו. היכולת לראות את כל גופו של המטופל ואת השינויים במנח גופו לאורך שעת הטיפול, האפשרות לקלוט את שפת הגוף על איבריה השונים, האינטונציה המשתנה, תנועות העיניים, גוון עור הפנים, כל אלה ונוספים הם כלים חשובים של המטפל הפסיכותרפי.

אמנם, תפקוד מיני תקין בשלב זה של תהליך טיפולי בין בני זוג מהווה הצלחה קלינית, ועל אף שמוכן כי יש צורך לשמרו ולאפשר לחוויה המינית התקינה להתפתח אל תוך רבדים עמוקים של מערכת היחסים הזוגית, איני בטוח שניתן ללמוד מהמקרה הזה על אפשרות ההצלחה של כל מקרה וכל אדם באשר הוא. ייתכן שהטיפול המיני המקוון יאפשר התמודדות עם בעיות כאלו ואחרות בתפקוד המיני, אך נראה לי שבעבור רבים מאיתנו, תלוי מקרה ואדם, הוא יהווה פתח להתחלתו של טיפול שיעבור מהר למדי מהרשת אל הקליניקה.

עם זאת, אני מבין וגם נותן את הדעת על כך שגם אני, כמו הרבה מטפלים אחרים, אמור להתאים את עצמי למציאות ולשינויים הטכנולוגיים, ולמצוא את היתרונות שבתהליכים הטיפולים החדשים. ככל שההתקדמות הטכנולוגית תמשיך, אתגרים חדשים יעמדו בפני אנשי המקצוע בתחום הטיפול הזוגי והטיפול המיני. מגמות תרבותיות, חברתיות, כלכליות, וכמובן פסיכולוגיות יתורגמו אל הקליניקה בדרכים מגוונות.

כשם שהטכנולוגיה משנה את התרבות והחברה שאנו חיים בה, כך היא משנה אותנו ואת המטופלים שלנו, לכן אנו חייבים להתאים את הסיוע לאופן שבו המטופלים שלנו עשויים לקבלו. לדוגמה, תעוקת הזמן המאפיינת את חייהם של צעירים רבים בישראל ובעולם עלולה להביא לכך שהם לא יוכלו להתמסר לטיפול בקליניקה (די אם נביא בחשבון את עומס התנועה ואת זמן הנסיעה אליה). חובתנו האתית היא לנסות להתאים את עצמנו לצרכים הקליניים של המטופל ולאורח חייו בעידן של טכנולוגיה מתקדמת.

חשיבות הפיתוח של גישות יצירתיות המותאמות לצורכיהם של מטופלים כפרטים וכבני זוג מחייבת הירתמות של המחקר. בעוד שרוב המחקרים הקשורים לטכנולוגיה בהקשר של זוגיות ומיניות התמקדו בתדירות ובאופי התקשורת האלקטרונית, על מחקר עתידי להתמקד בפיתוח דרכים נוספות להשתמש בהתקדמות הטכנולוגית כדי לשפר את התפקוד המיני במערכות יחסים, ובמיוחד לבחון את האופן שבו אנו כמטפלים עשויים להתאים את הטיפול המקוון ולשפר את היכולת הטיפולית בעזרת אמצעי זה.

אין ספק שאנחנו עומדים בפני עידן חדש. עידן שהקורונה מזמנת למין האנושי ולמיניות האנושית. עידן שבו הטכנולוגיה הווירטואלית משפיעה עלינו בכל היבט באשר הוא ומכאן גם יוצרת השפעה משמעותית בכל הקשור לטיפול נפשי בכלל וטיפול מיני בפרט. אני מעריך שהקדמה תשפר את עולם הפסיכותרפיה, ותביא לאפקטיביות רבה יותר של תהליכים טיפוליים בתחום. עם זאת, טיפול מסורתי שבו יש משמעות לקרבה, לתחושות, למגע הבלתי אמצעי, לריח ולמבט בעיניים שלא דרך המסך לעולם לא יאבד מייחודו ומעוצמתו הטיפולית ומחשיבותו לכל מערכת יחסים אנושית.

## ביבליוגרפיה

- Cooper, A., Delmonico, D. L., & Burg, R. (2000). Cybersex, users, abusers, and compulsives: New findings and implications. *Sexual Addiction & Compulsivity* 7(1/2), 5-29.
- Cooper, A., Galbreath, N., & Becker, M. A. (2004). Sex on the internet: Furthering our understanding of men with online sexual problems. *Psychology of Addictive Behaviors*, 18(3), 223-230.
- Cooper, A., & McLoughlin, I. (2001). What clinicians need to know about Internet sexuality. *Sexual and Relationship Therapy*, 16(4), 321-327.
- Cooper, A., Scherer, C. R., Boies, S. C., & Gordon, B. L. (1999). Sexuality on the Internet: From sexual exploration to pathological expression. *Professional Psychology: Research and Practice*, 30(2), 154-164.
- Cooper, A., & Sportolari L. (1997). Romance in cyberspace: Understanding online attraction. *Journal of Sex Education & Therapy*, 22(1), 7-14.
- .Greenfield, D. N. (1999). Virtual addiction: Sometimes new technology can create problems. Retrieved September 28, 2005 from [http://www.virtual-addiction.com/pdf/nature\\_internet\\_addiction.pdf](http://www.virtual-addiction.com/pdf/nature_internet_addiction.pdf).
- Henline, B. H., & Harris, S. M. (2006, October 19-22). Pros and cons of technology use within close relationships. Poster presented at the annual conference of the American Association for Marriage and Family Therapy, Austin, TX.
- Hertlein, G. R. Weeks, & N. Gambescia (Eds.), *Systemic sex therapy* (pp. 263-286) New York: Routledge
- Hertlein, K. M. (2004). Internet infidelity: An examination of family therapist treatment decisions and gender biases. Unpublished doctoral dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Schneider, J. P. (2000). Effects of cybersex addiction on the family: Results of a survey. *Sexual Addiction & Compulsivity*, 7, 31-58.
- Schneider, J. P. (2003). The impact of compulsive cybersex behaviors on the family. *Sexual & Relationship Therapy*, 18(3), 329-354
- Underwood, H., & Findlay, B., (2004). Internet relationships and their impact on primary relationships. *Behavior Change*, 21(2), 127-140
- Whitty, M. T. (2005). The realness of cyber cheating: Men's and women's representations of unfaithful Internet relationships. *Social Science Computer Review* 23(1), 57-67
- Weeks, G. R., Hertlein, K. M., & Gambescia, N. (2008). The treatment of hypoactive sexual desire disorder. In K. M. Hertlein, G. R. Weeks, & N. Gambescia (Eds.) *Systemic sex therapy* (pp. 81-106). New York: Routledge

# חינוך מהנדסים במאה ה-21

יוסי רוזנוקט, ארנון בנטור

יוסי רוזנוקט הוא פרופסור להנדסת חשמל, דיקן הפקולטה להנדסה באוניברסיטת תל אביב וראש המרכז לחקר אנרגיה מתחדשת באוניברסיטת תל אביב. הוא חוקר אפיון חשמלי ננומטרי של ננו-מבנים והתקנים, וטרנזיסטורי אפקט שדה ביולוגיים.

ארנון בנטור הוא פרופסור אמריטוס להנדסת בניין וחומרים. הוא מתמחה בחומרי בניין, תחום שבו פרסם עבודות מחקר רבות ושמונה ספרים. בין השאר, שימש כסגן נשיא ומנכ"ל הטכניון; סגן נשיא למחקר; דיקן הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית; מייסד וראש בית הספר הבינלאומי בטכניון.

**המאה ה-21, ובמיוחד התקופה הנוכחית שמאיצה תהליכים וטכנולוגיות של למידה מרחוק, מחייבת שינוי גישה בלימודי ההנדסה. כדי להישאר רלוונטי ולשמר את ההגמוניה שלו, כל גוף אקדמי חייב להתקדם מהלימוד הפרונטלי המסורתי-דיסציפלינרי לעבר חינוך דיגיטלי משולב אופקי ואנכי, מיקרו-תארים, התנסות מחוץ לכותלי האקדמיה, למידה מוכוונת אישית וליווי חינוכי לחיים.**

## מבוא ורקע כללי

חדשנות המונעת על יד קידום מדעי וטכנולוגי היא מרכיב מרכזי בקידום כלכלי וחברתי של כל מדינה מודרנית במאה ה-21. מנוע צמיחה זה ותפקידו בחברה הוא במידה רבה פרי מהלכים של עשרות השנים האחרונות, אשר התבססו על המיזוג של מדע והנדסה ל"מדעי ההנדסה" במסגרת של אוניברסיטאות ומכללות, והוא בא לידי ביטוי בחינוך מהנדסים, במחקר ובקשרי אקדמיה-תעשייה. על רקע זה תפסו מהנדסים תפקידי מנהיגות מקצועיים וניהוליים במערך החדשנות הלאומית בכלל ובתעשייה בפרט.

המאה ה-21 הביאה ומביאה איתה שינויים אדירים במדע ובטכנולוגיה, כגון מהפיכת המידע, רשתות חברתיות ועוד, אשר להם השפעה עמוקה על החברה האנושית בכלל ועל לימודי ההנדסה בפרט. דוגמה טובה לכך היא האינטראקציה בין מדעי החיים להנדסה, תוך התבססות על כוח מחשוב רב. שינוי זה מחייב גישה שבה נדרשים כישורים לגשר על תהליכים המתרחשים בו-זמנית על פני טווח עצום של סדרי גודל, מהרמה המולקולרית עד לרמת המאקרו - מנעד של תשעה סדרי גודל. תמורות אלה מחייבות הבנה יסודית של תהליכים כימיים, ביולוגיים ופיזיקליים, בשילוב כלי מחשוב מתקדמים, הנדרשים לכימות התהליכים הללו עצמם ולמודלים המקשרים על פני הטווחים הרחבים של סדרי הגודל. כל אלה הם בסיס לטכנולוגיות גנריות אשר יש לשלב אותן בכל הדיסציפלינות ההנדסיות המוכרות. נוסף על כך, מצב זה הוא גם כוח מניע הגורם לטשטוש הגבולות שבין הדיסציפלינות ההנדסיות השונות, כפי שגם קורה בדיסציפלינות המדעיות. כל אלה מובילים לצורך בחינוך רב-תחומי של המהנדס המודרני. כמו כן, רוב חברות הטכנולוגיה המובילות

בעולם, כמו פייסבוק וגוגל, אובר ואפל, מצליחות לא רק בזכות הטכנולוגיה אלא גם היכולת לגשר בין המדע והטכנולוגיה ובין צרכים חברתיים וכלכליים. במעמד השקת האיפון הראשון הסביר סטיב ג'ובס שפריצות הדרך הטכנולוגיות אינן מגיעות רק מאנשי ההנדסה. הן דורשות חשיבה מקורית, מעוף והשכלה רחבה באמנויות ובמדעי הרוח.

לאור כל האמור לעיל עולה הצורך לבחון מחדש את ההכשרה של המהנדס המודרני וכנגזרת מכך את דרכי הפעולה באקדמיה בכלל ובאוניברסיטאות ובמכללות בפרט, אשר להן תפקיד מרכזי בהכשרת מהנדסים שיתפסו תפקידי מנהיגות ויממשו את ההתקדמויות המדעיות והטכנולוגיות. בשנים האחרונות, אוניברסיטאות עלית בכל העולם משקיעות זמן ומשאבים רבים בחשיבה מחדש ושינוי ההכשרה וההוראה של הלימודים בכלל ושל לימודי ההנדסה בפרט. מניע חשוב למהלכים אלה הוא הפער בין המהפכה הטכנולוגית ומהפכת המידע המושנות את כל תחומי החיים, מחד, לבין העובדה כי דרכי ההוראה והלמידה לא השתנו משמעותית זה מאות שנים, מאידך. יותר ויותר מתעצמת ההבנה כי המצב הנוכחי אינו בר קיימא, וגם אם אין בנמצא מודל חדש שהוא בבחינת קונצנזוס או "פתרון קסם" יש לבחון, לפתח ולנסות מודלים חדשים.

### נדבכים בחינוך המהנדס המודרני: ידע, כישורים וקשר עם העולם האמיתי

החינוך המסורתי של מהנדסים בעבר התבסס על התובנה שההכשרה במוסדות האקדמיים נועדה להקנות את הידע התשתיתי, בשעה שיכולות וכישורים הנדרשים לעבודת המהנדס, כמו, למשל תכן ויזמות, יירכשו לאורך זמן לאחר סיום הלימודים, כחלק מההתנסות במקום העבודה תחת מנטור מתאים. המהפכות של המאה ה-21 משנות גישה זו, והכוונה היא בעיקר למהפכה העצומה במידע ובזמינות שלו ולמהפכה התעשייתית הרביעית המונעת לא רק על ידי טכנולוגיות חדשות אלא גם ובעיקר על ידי רב-תחומיות ואינטגרציה של טכנולוגיות עם קשרי גומלין חזקים מאוד לחברה ולכלכלה. על רקע זה, המטרות בהכשרה של מהנדסים מודרניים הן לא רק הקניית ידע שיכשיר אותם למשרה הראשונה שלהם, אלא בעיקר ידע תשתיתי, יכולת למידה עצמית וכישורים שיאפשרו להם להתפתח, להתקדם ו"לשחות" בעולם המשתנה והלא ודאי במהלך כל הקריירה המקצועית שלהם. כל זה מחייב מעבר מהכשרה המבוססת על לימוד להכשרה המבוססת על חינוך, שבו הסטודנטים עומדים במרכז. הכוונה היא להבנות אצל הבוגרים גם יכולות ליישום הידע ולימוד עצמי מתמשך של ידע חדש בעולם מורכב, שבו קידום טכנולוגי מחייב רב-תחומיות והבנה של כוחות כלכליים וחברתיים. זה ארגז הכלים שמחויבת האקדמיה להקנות לבוגרי ההנדסה. אין הכוונה בהכרח, וגם לא האפשרות, שהבוגרים יהיו מומחים בכל אלה, אלא שיהיו בעלי הבנה לחשיבותם ומשמעותם ויכולת להמשיך לפתח את עצמם, במיוחד בכל הקשור לחשיבת תכן ותרבות יזמית.

כדי להקנות את כל אלה, על תוכניות ההכשרה אקדמית של מהנדסים לתת את הדעת לשלושה נדבכים חשובים, שלעיתים יש מתחים ביניהם ובתוכם. האיזון ביניהם יכול להשתנות ממוסד למוסד, כדי לפתח מהנדסים בעלי פרופילים שונים בהתאם לחזון ויעוד המוסד והצרכים במשק.

הנדבכים כוללים שלושה תחומים עיקריים:

- העמקה דיסציפלינרית לעומת רב-תחומיות: צורך בהעמקה לתחומים רוחביים, ובהם חינוך דיגיטלי, אנליטיקה ונתונים בכל הדיסציפלינות ההנדסיות. יש כמובן עוד מרכיבים רב-תחומיים שמן הראוי להביא בחשבון, הקשורים למדעי החברה והרוח. עם זאת, חשוב לא לוותר על מהנדסים עם עומק דיסציפלינרי: מחשבים קוונטיים, למשל, יפותחו רק על ידי בעלי עומק מדעי/הנדסי משמעותי. המודל לאיזון בין אלה ידוע בשם מודל T, שהצלע האופקית בו מייצגת את ההרחבה והאנכית את ההתמחות הדיסציפלינרית.

- רכישת ידע לעומת הקניית כישורים: ידע מגובש ומתועד (להבדיל מידע המחייב לימוד של גישות, צורות חשיבה ועקרונות עמוקים חדשניים) ניתן לרכוש גם בשיטות לימוד מגוונות ומותאמות אישית, לאו דווקא במסגרת אקדמית רגילה, בשעה שהקניית כישורים חיוניים מחייבת חינוך בסביבה מתודית, וגם בסביבה המאפשרת התנסות, בדומה לזו המקובלת בלימודים מתקדמים לתואר גבוה, אשר מרכיבים ממנה מן הראוי לשלב גם בלימודי התואר הראשון. בהקשר זה אין תחליף להכשרה במסגרת מוסד אקדמי, בשעה שבנושא הקניית ידע ספציפי יש כיום חלופות שאינן מחייבות לימוד ממוסד באקדמיה. רשימת הכישורים ארוכה וניתנת לסיווג לשלושה: (1) כישורים קוגניטיביים (בעיקר כישורי ליבה אקדמיים); (2) כישורי חשיבה עמוקה, רחבה ומערכתית; (3) כישורים בין-אישיים, רגישויות חברתיות וערכיות. במסגרת הדיונים והסקרים שנערכו בפורום לחינוך מהנדסים במוסד נאמן הוגדרו הכישורים החשובים יותר אשר יש להקנות להם קדימות במהלך החינוך האקדמי של מהנדסים: לימוד עצמי, חשיבה ביקורתית, יצירתיות, פתרון בעיות מורכבות, עבודת צוות, בינלאומיות ותקשורת.
- לימוד בקמפוס לעומת התנסות בשטח: יש צורך בחיזוק התוכנה שחינוך מהנדסים אינו מתרחש רק בין כותלי האקדמיה וכיתות הלימוד, ולכן יש מקום לנדבך נוסף לשת"פ עם התעשייה, על בסיס מודלים חדשניים, במיוחד בכל הקשור לקידום החינוך לכישורים חיוניים במסגרת התנסות בתעשייה, ולחלופין, התנסות בקמפוס תחת הנחיה משותפת של מומחים מהתעשייה והסגל האקדמי.

### לימוד לאורך הקריירה ומיקרו-תארים

באחרונה מתחזקת, לצערנו, האמירה שהאוניברסיטאות והתואר האקדמי שהן מעניקות נהפכים לפחות רלוונטיים. רק לצורך דוגמה, באוגוסט 2020 השיקה גוגל מיזם חדש ששמו Google Career Certificates, ובו היא מציעה קורסים מקצועיים המכשירים בפרק זמן של כשישה חודשים עובדים למשרות מבוקשות בהייטק. למי שנרשמים לקורסים מובטח גם קישור למעסיקים המובילים בארה"ב, המגייסים לתפקידים הנוגעים לתחומי הלימוד. גוגל לא פירטה כמה יעלו הקורסים החדשים, אולם תוכנית דומה שהיא כבר מציעה בפלטפורמת הלימודים המקוונים קורסרה, להכשרת אנשי תמיכת IT עולה 49 דולר לחודש. אם היא תגבה מחיר זהה, שישה חודשי לימודים יעלו קרוב ל-300 דולר, פחות מהסכום שסטודנטים באוניברסיטה מוציאים רק על ספרים בסמסטר אחד. גוגל הציגה שלוש הכשרות: אנליסט נתונים, מנהל פרויקטים ועיצוב.

כמובן שהכשרה זו של חברת גוגל אינה יכולה להוות תחליף רציני להכשרת מהנדס, אך זהו תמרור אזהרה בוחק למוסדות ההשכלה הגבוהה שחייבים להיערך לשינוי עקרוני במבנה ותוכן התארים שאותם הם מעניקים, כמתואר לעיל. אמנם בשנים האחרונות לא ניכרת ירידה בכמות ובאיכות הנרשמים ללימודי ההנדסה בישראל, אך חובה עלינו להתחיל בחשיבה ובתכנון ארוך טווח, אחרת אנו עלולים לאבד חלק מההגמוניה של האוניברסיטאות והמכללות בהכשרת מהנדסים. כמו כן, ההשתנות המהירה של העולם בכלל, והעולם הטכנולוגי בפרט, מביאה לכך שחלק מההכשרה שהסטודנטים מקבלים תוך כדי התואר נהפכת ללא רלוונטית לאחר כמה שנים - ואנו צריכים לעבור למודל, שיתואר להלן, הכולל בין השאר לימודים לאורך הקריירה.

תחום זה הוא על כן אתגר לאקדמיה בתקופה המודרנית וגם הזדמנות לפיתוח של פעילות אקדמית במודל חדש שיהיה אטרקטיבי, ממוקד יותר בקשר עם ארגונים עסקיים, ציבוריים ותעשייתיים, וימלא חלל חסר. הנושא הזה עלה במלוא חשיבותו בדיונים של הפורום לחינוך מהנדסים במאה ה-21 במוסד נאמן, שבו נשמעה קריאה ברורה מהתעשייה לשיתוף פעולה עם האקדמיה בנושאים אלה.

במסגרות האקדמיה יש חשיבה חדשה לתוכניות של מיקרו-תארים, שהן תוכניות קצרות וממוקדות, שלכל



אחת ערך בפני עצמה, כאשר שילוב של כמה מיקרו-תארים ביחד יכול להקנות תואר מלא. דרך פעולה זו, אשר מל"ג וות"ת מעודד אותה, מתאימה במיוחד ללימודים במסגרות של תואר אקדמי שני, והן למעשה שילוב של לימודי תעודה עם לימודים לתואר אקדמי. מסגרת של מיקרו-תואר כחלק מלימודים לתואר שני מאפשרת בו-זמנית גמישות והתאמה לצרכים משקיים וצרכים אישיים ובקרה על איכות הלימודים. קידום של מודל כזה מאפשר כניסה לתחומים חדשים אשר אינם מפותחים כיום, ולכן יש בו מקום לחדשנות ולגישה לקהלים חדשים של צרכנים ייחודיים, ברמת הפרט וברמת ארגונים.

מודל נוסף למיקרו-תואר יכול להיות מבוסס על לימודים בהיקף 10-50 נקודות זכות, כשהוא יכול להיות משותף ליותר ממוסד אקדמי אחד. המיקרו-תואר יכול להיות בעל אופי של העמקה דיסציפלינרית, או רוחבי ומתאים לעולם העבודה המשתנה. אלה לימודים אקדמיים ברמה גבוהה, שאינם בהכרח מובילים לתואר אולם הם בעלי ערך בעיני המעסיקים. הם יכולים להיות תארים המתבססים על מנגנוני הכשרה היברידיים, המשלבים קורסים מקוונים עם קורסים פרונטליים או קורסים מקוונים עם פרויקטי גמר בשיתוף עם חברות בעלות עניין בנושא.

מודלים ותוכניות רבות מפותחים כיום גם מחוץ למסגרות האקדמיות, ואף שאינן מעניקות תואר אקדמי יש בהן הכרה במנגנונים אחרים, כדוגמת open badges ו-micro-credentials.

מאופן לימודים זה ייהנו וייצאו נשכרים הסטודנטים, מוסדות ההשכלה הגבוהה והתעשייה במדינת ישראל, אשר אותה כמובן יש לשותף במהלך. מהלך מהפכני כזה חייב להיעשות בזהירות ולהתחיל בפילוטים מצומצמים במקביל לתוארי ההנדסה הקיימים. לדעתנו, התוצאה של שינוי זה יכולה להביא ליצירת סטודנט טוב יותר ואזרח טוב יותר לטובת מדינת ישראל.

## למידה חדשנית

### תפקיד המרצה

מהפכת האינטרנט הפכה את הידע לנגיש לכל, כך שההגעה למרחב פיזי רק כדי לצרוך ידע נהפכת לפחות ופחות רלוונטית. נשאלות השאלות - מה תפקידו של המרצה בעולם החדש? ומדוע כדאי לסטודנט להגיע לכיתה? במובנים רבים, המהפכה דווקא מעצימה את חשיבותו של המרצה, אשר ירחיב את מוטת תפקידו גם כמנחה, כדי לאפשר לסטודנטים לבחון את הידע הרב הקיים באופן ביקורתי ואנליטי ולספק להם מסגרת חשיבה והקשר רחב. הכלים הדיגיטליים והרחבת השימוש בהם בתקופת מגפת הקורונה ממחישים את הפוטנציאל הקיים לצמצום הזמן הכיתתי המושקע בהקניית ידע, כדי לאפשר למרצה לשמש כחונך, מנטור, אוצר של ידע, מנחה של דיון ועוד. זהו הערך המוסף של חינוך במוסד אקדמי בהשוואה למסגרות אחרות המבוססות אך ורק על למידה דיגיטלית.

### כלים דיגיטליים ולמידה מוכוונת אישית

בשיח על שילוב כלים דיגיטליים בהוראה נשמעת לא אחת תפיסה דיכוטומית של הוראה המתרחשת "או" באופן פרונטלי "או" בצורה מקוונת. עם זאת, מדובר למעשה בספקטרום, וקיימים מודלים המציעים גם וגם - גם פרונטלי וגם מקוון. מודלים בולטים הם למידה היברידי (Hybrid Learning), למידה מעורבת (Blended Learning) ומודל הכיתה ההפוכה (Flipped). מודלים מסוג זה נועדו לאפשר ללומדים להתמודד

באופן עצמאי ובקצב המתאים להם עם חלק מתכני הקורס, ובכך לקדם למידה מוכוונת אישית, המאפשרת גמישות רבה יותר בתהליך הלימוד והפיכת המפגש הכיתתי למשמעותי יותר. הזמן הכיתתי מוקדש להעמקה בחומר, דיון, אנליזה, עבודה בקבוצות, PBL (Project Based Learning) ולמידה מבוססת משחק.

### כלים דיגיטליים ולימודי המשך

הלמידה הדיגיטלית מאפשרת פיתוח של מודלים רבים ומגוונים ללמידה לאורך החיים, בצורה של מודולי מיקרו-מאסטר, ננו-תארים, התמחויות וכדומה. היא מאפשרת למידה מודולרית שתלווה את המהנדסים לכל אורך חייהם, בהתאם להתפתחותם המקצועית ושאיפותיהם להתקדם בתפקידיהם ובהתמחויות. יש מקום לשקול את הרחבת הייעוד של מוסדות אקדמיים גם לחינוך מהנדסים במהלך חייהם המקצועיים, לאחר סיום התואר הראשון, במערכת שהיא גמישה ונגישה, בתוכניות מובנות ומתמשכות, בשונה מהגישה הקיימת כיום ביחידות השונות ללימודי המשך המבוססות על תוכניות מזדמנות. דרך פעולה זו משקפת מחויבות של המוסד האקדמי לבוגריו במהלך כל חייהם ולא רק בלימודי התואר, והיא מתפתחת כיום במוסדות המובילים בחו"ל, תחת שמות שונים כדוגמת "60 Years Curriculum" באוניברסיטת הרווארד, "Life Long Education" בג'ורג'יה טק ו-"Agile Continuous Education" ב-MIT.

### התאמת המרחב הפיזי

פדגוגיות חדשניות דורשות גם התאמה של המרחב הפיזי שבו מתרחשת הלמידה. אולמות הרצאה של 300 סטודנטים, למשל, אינם מתאימים לעבודה קבוצתית או ללמידה מבוססת פרויקטים. גם היבטים טכנולוגיים דוגמת זמינות רשת אלחוטית, מסכים לעבודה בצוותים ועוד הם תנאי לתמיכה בפדגוגיות החדשניות. לשם כך, הוקמה ב-MIT קבוצת חשיבה בשם MIT 2030 שמטרתה לסייע למוסד בחשיבה על התאמה וחדוש המרחבים הפיזיים שלו לצורכי המוסד המשתנים.

## **סיכום ומבט לעתיד - יישום השינויים בישראל**

כדי לקדם רק חלק מהרעיונות והמהלכים לחדשנות בחינוך מהנדסים בישראל בקנה מידה גדול ובמהירות הנדרשת, יש צורך בשיתוף מל"ג וות"ת אשר ייצרו תשתית להטמעתם בכלל המערכת האקדמית. המעטפת הזו אמורה גם לפתח דרכים ללימוד משותף של התובנות והלקחים, ליצירת סינרגיה לימודית של כלל המוסדות בישראל. המלצות ברוח זו גובשו בפורום לחינוך מהנדסים בשיתוף עם מל"ג-ות"ת והוצעו צעדים בשני טווחי זמן:

**טווח המיידי:** הפצת קולות קוראים ליישומי חלוץ (pilot) בתחומים מגוונים כגון מודלים לחינוך, להבניה ולהקניה של כישורים חיוניים כולל כישורים רכים, התנסות תעשייתית כחלק מהלימודים, טכניקות להוראה אפקטיבית וחוייתית, לימודים לאורך הקריירה ולמידה דרך מקבצי לימוד רב-תחומיים.

**טווח הבינוני:** הוצע כי מל"ג תאפשר אוטונומיה למוסדות להפעיל תוכנית חלוץ אחת לתואר לכל מוסד.

כדי למנף את התובנות בטווח הקצר והבינוני הוצע להקים מסגרת משותפת למל"ג-ות"ת עם הפורום לחינוך מהנדסים למאה ה-21, שתוכל לגבש המלצות על רקע מוצק של מעקב ובחינת מודלים חדשים שנוסו בשטח. בין שאר הנושאים מוצע שהמסגרת המשותפת תטפל בתחומים הבאים:

- בחינת צורכי התעשייה והאקדמיה ובהם דמות המהנדס בתעשייה וצורכי האקדמיה מבחינת סטודנטים לתארים מתקדמים
- התאמה לפרופיל בוגרי בתי הספר התיכוניים
- לימוד הנעשה בעולם ובחינת התאמתו לישראל
- גיבוש המלצות מעשיות לשינוי הנדרש הן במוסדות, הן במל"ג והן במשרדים הממשלתיים
- בחינת תוארי הנדסה מגוונים (מהנדס, בוגר במדעי ההנדסה וכד')
- בחינת המעמד של תואר שני ודרך מקוצרת אליו (למשל, מהנדס יהיה בעל תואר שני ישיר, ארבע-שנתי, ובשלוש שנים יוכשרו בוגרים במדעי ההנדסה).

# חשיבה ביקורתית ויצירתיות בלימודי הנדסה

גבי שפט

ד"ר גבי שפט הוא מרצה במחלקה להנדסת חשמל במכללת אפקה. בשנים האחרונות מחקריו עסקו בסוגיות של מורכבות מושגית וחשיבה לוגית בלימודי הנדסה. מאמריו בנושא זה פורסמו והוצגו בכנסים אקדמיים בין-לאומיים.

**ספק אם חלק ניכר מהנושאים הנלמדים כיום בתחומי ההנדסה השונים יישארו תקפים בעוד שנים ספורות. הקורסים האקדמיים בתחומי הטכנולוגיה וההנדסה מתיישנים בקצב מואץ ולכן בוגר תואר ראשון בתחומים אלה חייב לעבור תהליכי הכשרה שיכינו אותו לשינויים הטכנולוגיים המהירים שיתחוללו בתחום עיסוקו בעתיד הקרוב והרחוק. מלבד כישורי ההנדסה הקלאסיים על הסטודנט לרכוש כישורים נוספים וביניהם יכולת לימוד עצמית, חשיבה ביקורתית וחשיבה יצירתית.**

חשיבה נעשית בעזרת מושגים. תחומי דעת שונים עוסקים בשאלת מקורם של המושגים ודרך התפתחותם. ביניהם ניתן לזהות תיאוריות המדגישות את האפשרות שמושגים מתפתחים באופן ספונטני במסגרת הדינמיקה החברתית ושהפרט רוכש אותם בתהליכי החינוך והסוציאליזציה, או מנגד האפשרות שהם ביטוי של תהליכים פסיכו-ביולוגיים שמתרחשים אצל הפרט ולאחר מכן עוברים שינויים תוכניים וצורניים תחת הכוחות החברתיים. נראה שכמעט כל הגישות עומדות על המתח שבין הפרט והחברה בשאלת מקורם של המושגים ואופן התפתחותם, מכירות בתהליך דיאלקטי דינמי שבו המושגים הם מושאי חשיבה ומאפיינים של החברה גם יחד, ושיש להם השפעות על כל תחומי הפעילות האנושית.

אולם, על אף שמדעי החברה והרוח דנים במאפייניה של החשיבה האנושית, ההכשרה האקדמית במקצועות טכנולוגיים אינה כוללת דרישות בתחומים אלה. כמוכן שכולנו מסווגים, מסדרים, משווים, מניחים הנחות ומבצעים, משתמשים באנלוגיות, מסיקים מסקנות, מחליטים, מפעילים, מנהלים ומעורבים בעוד פעילויות רבות המסווגות כחשיבה, אולם אנו לא חושבים על המחשבה גם כאשר אנו משלימים את הדרישות לתואר ראשון בהנדסה.

לעניין זה חשיבות מכרעת מכיוון שיתכן ואנו נוטים להעדיף מסקנות שבמובן מסוים נקבעו מראש (Nisbett & Ross, 1980), ומכיוון שיש עדויות מחקריות המצביעות על האפשרות שהסקה לוגית אינה תכונה אוניברסלית והיא שונה בין תרבויות (Peng, Ames & Knowles, 2001). אם אכן אנו חשופים להטיות, ומושפעים מבחינה חברתית-תרבותית, אנו חייבים ללמד "חשיבה" כמקצוע יסוד במיוחד בענפי ההנדסה השונים. מטרת הוראת ה"חשיבה" אינה ללמד איך לחשוב אלא איך לחשוב נכון, או במילים מטאפוריות איך חושבים לרוחב, לגובה ולצדדים, ולא רק לעומק.

ניסיוני בהוראה טכנולוגית באקדמיה מלמד שסטודנטים אינם נוהגים לפתח, באופן טבעי, כללים מודעים להתחייחות רציונלית אל הנושאים שבהם הם רוכשים כישורים. אם ברצוננו לקדם חשיבה יעילה אצל

הלומדים, אין להניח כי ניתן ליישם יעד זה באופן ספונטני או כתוצאה מקרית של ניסיונות להשלים מטרות אחרות, כלומר עלינו לקבוע בבירור את המאפיינים של חשיבה יעילה ולבחון את הסיכויים לגרום לשינוי החשיבה באמצעות מאמצים חינוכיים (Glaser, 1985). שני היעדים החשובים בהקשר זה הם כישורי חשיבה ביקורתית וכישורי חשיבה יצירתית בהם אבקש לערוך דיון קצר.

### 1. חשיבה ביקורתית וחשיבה יצירתית

תאוריות בנושא חשיבה ביקורתית הן רבות ומגוונות. חלקן מדגישות את התהליכים הקוגניטיביים שמתרחשים באדם החושב, ועל כן רואות בחשיבה ביקורתית יכולת לבצע הרכבה מושגית שאינה מקובעת אלא היא בעלת גמישות ורבת אופנים. חוקרים בתחום זה מצביעים, בין היתר, על חשיבות פיתוח מיומנויות לוגיות ואימון באסטרטגיות הרכבה מושגית כמגבירות את ההסתברות לקבלת תוצאה רצויה (Halpern, 1996), וכן פיתוח יכולת זיהוי חד של דפוסים מחשבתיים אפשריים וניסוח מדויק של הנימוקים שביסודם (Simon & Kaplan, 1989). לעומתן תאוריות אחרות עומדות על הקונטקסט החברתי שבמסגרתו תהליכי החשיבה מתעצבים ומתרחשים (Evers, 2007). בין אלה ניתן לזהות תאוריות הקושרות חשיבה ביקורתית עם הערכה והנמקה של דרישות מעשיות (Hynes & Bennett, 2004), ואת אלה שמתמקדים בפתרון בעיות כתוצר מובהק של ביקורת (Lenburg, 1997).

לפיכך, ריבוי הגדרות לחשיבה ביקורתית לא מקל על מי שרוצה להרכיב תכנית אקדמית להכשרת מהנדסים בתחום זה. ניסיונות למצוא הגדרה שתאפשר לנסח בסיס פדגוגי שיהיה מקובל על שתי האסכולות המרכזיות שתוארו מעלה הינם רבים (Beyer, 1989). אני מציע חמישה מאפיינים של חשיבה ביקורתית שיש להקנות לסטודנטים בתחומים הטכנולוגיים:

- קביעת אמינותו של מקור מידע, והערכת רמת הדיוק של המידע.
- הבחנה וסיווג של מרכיבי מידע שונים (גורמים, הנחות, מסקנות, הקשרים, סיבות, תוצאות וכיו"ב).
- זיהוי הנחות (מפורשות ומוטמעות), סיווגן והערכת סבירותן.
- בחינת תקפות לוגית של טיעונים, וזיהוי כשלים לוגיים.
- הערכת שרירותו של טיעון.

אני חושב שהכשרה המציבה את חמשת הכישורים הללו כמטרתו של קורס אקדמי, מחייבת להתבצע תוך ניסיון מקביל לקדם ערכים הומניסטיים. ייתכן וטיפוחה של חקירה ביקורתית טומנת בחובה סכנה שבה הספקנות עלולה להיפך לניהיליזם. הפתיחות לדעות חדשות וערעור המעמד של ידע מקובל עלול להשפיע גם על האופן שבו סטודנטים מתייחסים לתקפותם של ערכים מקובלים (Goldman, 1984). יתרה מזאת, השאלה האם לכלול בתחומי ההנדסה נושאים הנמצאים במחלוקת חברתית-פוליטית אינה זוכה להסכמה בקרב חוגים אקדמיים שונים (Scriven, 1984).

לדעתי, תכונות כמו חשיבה עצמאית, אמפתיה, סקרנות וענווה אינטלקטואלית, אומץ לב, יושרה והתמדה, חייבים לעלות כחלק מהדיון הכיתתי שמא נעודד באמצעות החשיבה הביקורתית ערכים של יוהרה, התנשאות, צדקנות וכיו"ב. שילוב זה יאפשר לטפח אנשים צעירים שחושבים על המטרות שהם מציבים לעצמם, ישאלו שאלות, יעצבו דעות עצמאיות ויגיעו למסקנות באשר לאמצעים הנראים להם ראויים להשגת המטרות (Paul, 1995).

נעבור כעת לחשיבה יצירתית. מובן שגם בתחום המחקר המבקש לחשוף את סודותיה של החשיבה היצירתית אין תמימות דעים, ולו בשל ההבדלים הדיסציפלינאריים של החוקרים בתחום. יש מי שטוען שמדובר ביכולות

קוגניטיביות (Guilford, 1959), לדוגמה היכולת להפיק מידע חדש כאשר אנחנו ניצבים מול גירוי מוכר (King & Pope, 1999), ויש מי שמצביע על כך שיצירתיות היא עניין של יכולת לזהות מספר רב של קשרים אפשריים בין פרטי מידע (Cornell & Franklin, 1997). לעומת זאת, חוקרים אחרים טענו שישנו קשר חזק בין האישיות של הפרט ובין יכולתו היצירתית (Furnham & Bachtiar, 2008), ולכן קורסים מרחבי דעת מתחום מדעי החברה והרוח עשויים לסייע בהכשרת מהנדסים.

יש אף מי שטוען ש"טיפוסי הלילה" הם יצירתיים יותר מאלה הפעילים בשעות הבוקר, במדדי מקוריות, יכולת עיבוד, שטף רעיונות וגמישות מחשבתית (Giampietro & Cavallera, 2007). לטענת החוקרים, הדבר נובע מיכולתם של טיפוסי הלילה להסתגל לחיים שלא בהתאם לנורמה: "ההימצאות התכופה בסיטואציות לא רגילות, שאותה חווים טיפוסי הלילה, מפתחת את הרצון והיכולת שלהם לגישה לא שגרתית ולמציאת פתרונות חלופיים ומקוריים בפתרון בעיות". ההגדרה הסטנדרטית ליצירתיות כוללת שני מרכיבים הכרחיים: מקוריות ואפקטיביות, כלומר חידוש שמוביל לפעולה בעלת ערך (Runco and Jaeger, 2012).

לאור הגדרה זו אני מציע לראות בחשיבה יצירתית כזו הכוללת שלושה מרכיבים: ידע, כלומר אוסף המידע והכישורים שהאדם רכש; אינטליגנציה, כלומר היכולת להפעיל את הכישורים בתחומי הידע; ודמיון שהוא לדעתי החלק החשוב ביותר, ומשמעותו הוא היכולת לפרוץ את הידע והאינטליגנציה ולהפיק משהו חדש, משהו שלא נעשה בעבר.

## 2. מיומנויות חשיבה בהכשרת מהנדסים

ניתן כעת לראות שחשיבה ביקורתית וחשיבה יצירתית הן יכולות חיוניות למהנדסים, שכן הן עשויות לפעול בשני סוגים של תהליכים אינטלקטואליים המאפיינים את עולם הטכנולוגיה - "כאשר ההיגיון נכשל, הדמיון מציל אותך, כאשר האינטואיציה נכשלת, היגיון מציל אותך" (Crane, 1983). תהליך מתכנס, שבו החשיבה הביקורתית דומיננטית יותר, והוא מאפשר לנו לענות ביעילות על שאלה נתונה ולהגיע לתשובה נכונה אחת, ותהליך מסתעף, שבו החשיבה היצירתית דומיננטית יותר, המאפשר לנו לנסח תשובות שונות עבור שאלה נתונה, ולאחר מכן לעורר שאלות חדשות בעקבות התשובות השונות שמצאנו. אופיו של מקצוע ההנדסה מחייב את המהנדס להפעיל תהליך אינטלקטואלי מתכנס כאשר הוא רוצה לפתור בעיות באמצעים טכנולוגיים קיימים, אך הוא חייב לחשוב באופן מסתעף כאשר הוא מבקש ליצור טכנולוגיות.

תכניות הלימודים במוסדות להכשרה טכנולוגית אינן מעודדות את הסטודנטים להשתמש בכישורי החשיבה השונים (Smith, 2006), על אף שקל לראות את חשיבותם. לדוגמה, כאשר סטודנטים נדרשים לפתור בעיה הם ניגשים מיד לחיפוש פתרונות, בעוד שהגישה הנכונה יותר היא להתייחס לבעיה עצמה לבדוק את אופן ניסוחה, האם ניתן לנסח אותה אחרת או אולי לפתור בעיה דומה שפתרונה ידוע ולהגיע במסלול אחר לפתרון. לבדוק ולהטיל ספק בהנחות הראשוניות, זו פעולה שרבים מהסטודנטים לא אוהבים - הם נוטים לקבל את דברים כפי שהם. במקרים רבים כדאי להטיל ספק בהנחות הראשוניות ולבדוק האם אכן הנחות הראשוניות הן נכונות (Althuler, 1964). על כן תרגול והכשרה בתחום של פתרון בעיות נמצא כמשפר הן את היכולת לחשיבה ביקורתית והן את היכולת לחשיבה יצירתית (Reese et al. 1976).

ישנן שלוש גישות להוראה ולמידה של כישורי חשיבה ביקורתית ויצירתית. (1) מיומנויות חשיבה הנלמדות כמקצוע או נושא נפרד, מבודדות מתוכן או נושא לימודים כשלהו. הלומדים מיישמים מיומנויות חשיבה נפרדות בנושאים ומצבים שונים. (2) גישת ההמחשה, במסגרת הוראת נושא מסוים משלבים שאלות ו/או פעילויות מאתגרות מבלי שתהא השפעה על הוראת כישורי חשיבה בנושא. (3) שילוב כישורי חשיבה בהקשר של נושא, על פי המחקרים זו הגישה היעילה ביותר ללמד ולשפר מיומנויות חשיבה (O'Brien, 2005).

מחקר שנעשה בקרב 514 סטודנטים בתואר ראשון בחוגים שאינם מדעיים/הנדסיים, כאשר נעשה שילוב של

חשיבה יצירתית וביקורתית בתוכנית לימודים הראו שיפור ניכר בתהליכי חשיבה שלהם (Lawson, 2001). לטענת החוקרים מחקר זה מספיק מקיף כדי לאמץ תכניות לימודים מסוג זה על מנת שהלומדים יניבו כישורי חשיבה טובים יותר. אין ללמד מיומנויות חשיבה באופן נפרד כקורס ייחודי, אלא לשלבם לאורך תכניות הלימודים. חשוב מאד, לזהות את רמת התלמידים באופן פרטני ולקבל מידע מדויק עד כמה שניתן על רמת החשיבה שלהם לפני שמתכננים את תכניות הלימודים המשלבים מיומנויות חשיבה.

### 3. מסקנות והמלצות

עידוד היצירתיות והחשיבה הוא עניין שלא ניתן להמעיט בחשיבותו בתקופתנו ועלינו לתת לכך ביטוי בתהליכי ההכשרה והערכה של סטודנטים במוסדות האקדמיים להכשרת מהנדסים. עלינו לחייב סטודנטים לעבור קורסים בנושאים אלה במהלך התואר הראשון על אף הקשיים בקביעת התכנים הנדרשים בקורסים אלה.

חשוב לדעתי שנשלב תכנים מתחומים אלה גם בקורסים שנחשבים קורסי ליבה בהכשרת מהנדסים. אפשר אף לאמן סטודנטים לחשוב מחדש על תחומי ידע מקצועי שבהם הם כבר רכשו שליטה. לדעתי זהו סוג הביקורתיות והיצירתיות שניתן ללמד ולפתח לכל אורך שנות התואר הראשון בהטמעה מודעת שלהם בתהליכי ההוראה והלמידה, שכן יצירתיות וביקורתיות אינם נרכשים בתהליך שאורכו סמסטר אחד, אלא הם דורשים עבודה מאומצת בפרקי זמן ארוכים.

הוראה שעניינה גם שיפור כישורי חשיבה מחייבת להקדיש זמן רב יותר בהכנת קורסים, היא קשה לתכנון, ומגבילה את כמות התוכן "שנלמד". יתרה מזאת, המורים כבר לא יכולים להיות מעבירי ידע, אלא הם הופכים לסוג של מאמנים אקדמיים שמבקשים לסייע לסטודנט לנסות ולמצות את הפוטנציאל שלהם. בחברה של ימינו חווית המכללה צריכה לכלול הזדמנות לגלות את הפוטנציאל של האדם ולהשיג רמות גבוהות יותר של ביטוי עצמי. לכן השינוי יכול לבוא מחברי הסגל המוכנים לטפח התפתחות זו בתוך הכיתה ומחוצה לה. סביבת הלמידה, כפי שהיא משתקפת בכיתה ובקמפוס, יחסי הסטודנט עם המערכות האדמיניסטרטיביות, עשויים גם הם לסייע בהשגת המשימה החינוכית.

בהתאם לכך רצוי להימנע מהצהרות מרחיקות לכת כגון "אני מתכוון ללמד אתכם חשיבה יצירתית", הדבר עלול ליצור אצל חלק ניכר מהסטודנטים "דחיה". אפשר להביא בפני הסטודנטים דברים חדשים שאותם אינם יכולים למצוא בספרות המקובלת או חידושים טכנולוגיים עדכניים ביותר. בד"כ נושאים אלה קשים מבחינה לוגית, פיזיקלית, טכנולוגית ומתמטית. אך שאלות מהסוג "איך אתם מתארים את הצעד הבא?" או "איך לדעתכם חשב האדם שפיתח את הטכנולוגיה?" מעוררות אותם לחשוב על טעויות שונות שהיו מונעות את פיתוח הטכנולוגיות שאנו מציגים בפניהם.

רוב האינפורמציה הנלמדת בשלב כלשהו במהלך התואר הראשון נשכח במשך הזמן וחלק אחר הופך ללא רלוונטי עם ההתפתחות הטכנולוגית. לעומת זאת כישורי חשיבה נשארים לאורך זמן ולעיתים עשויים להשתפר ולהתפתח לאורך הקריירה. אם כך נשאלת השאלה לשם מה אנחנו טורחים להעביר מסה קריטית של חומר ונצמדים לסילבוס קשיח? המסקנה המתחייבת היא שכדאי שנציב לעצמנו מטרות יותר משמעותיות בתכנון תכניות לימודים, ואחת מהן הוא שיפור כושר החשיבה של הסטודנט. עניין זה רלוונטי גם להערכת ההישגים שלהם במהלך הלימודים. אם ההוראה מקדשת שינון של חומר הלימוד גם הבחינות יהיו שטחיות, לעומת זאת אם ההוראה והבחינות יתמקדו בהבנת חומר הלימוד ויציעו תגמול בציון הקורס גם על ביטוי של היכולת הביקורתית והיצירתית של הסטודנט אנו נקבל מערכת אקדמית שכישורי חשיבה הם חלק מהותי של תהליך ההכשרה.

חשוב לעודד קורסים המחברים בין כמה דיסציפלינות בתחום ההנדסה (תעשייה וניהול, חשמל, מכונות

מחשבים, רפואית). הקשרים בין הדיסציפלינות, והאינטראקציה הרעיונית והפרקטית ביניהן הם מקור עשיר לנושאים המעודדים חשיבה ביקורתית ויצירתית. אינטר-דיסציפלינאריות עשויה לתרום לנו המרצים וסגל ההוראה והמחקר כדי שנוכל להיות אנשי הנדסה מחדשים וממציאים. אסייג ואומר שחשוב שהבעיות שאנחנו מוסרים לסטודנטים שלנו יהיו בהתחלה מצומצמות לדיסציפלינה אחת, אבל עם הזמן הן חייבות להתרחב ולחבוק יותר ויותר דיסציפלינות. כך נוציא את הסטודנטים מרכישת מחשבות בלבד לחשיבה בפועל כלומר חשיבה עצמאית ולא רכישת מחשבות של מישהו אחר.

מילה אחרונה שמורה לסטודנטים. סטודנט יצירתי הוא קודם כל, סטודנט בקיא שלומד היטב את הידע בתחום הלימודים שבחר. ביקורתיות ויצירתיות עשויות להתפתח לאורך שנות התואר אך הן לא תופענה בלי שרכשתם שליטה מלאה בחומר הלימוד. אך אם במהלך הלימודים צץ רעיון כלשהו במוחכם אל תהרגו אותו, תנו לו זמן, אפשרו לו לשקוע ואח"כ, אולי, להתחיל לצמוח. לפעמים רעיונות חדשים הם כל כך קטנים וחלשים, עד שבגלל השיפוט הנוקשה שלנו וההיקבעות בידע מוקדם גורמים לנו לפסול אותם על הסף. צריך לעשות את ההיפך, רעיון גם אם הוא נראה טיפשי הוא אינו בהכרח כזה. יש לרשום רעיונות כי הם פתאום נעלמים, כדאי לאסוף רעיונות ולחזור אליהם בשלבים מאוחרים יותר. אם החלטתם לפתח רעיון והגעתם למבוי סתום, קחו "פסק זמן", עברו לשלב האינקובציה ותנו לו להבשיל במחשבתכם. אם החלטתם להוציא רעיון אל הפועל כשנראה לכם שיש לכם תשובה ואתם חשים שהיא נכונה, אל תיבהלו מהתנגדות, המשיכו להילחם על דעותיכם, זכרו שגם אתם עלולים להתנגד לרעיונות חדשים של אנשים אחרים. ביסודו של דבר האדם הוא יצור יצירתי החי בסביבה שמחייבת יצירתיות.



- Alchuler, G. S (1964). Foundation of invention. Voronezh, Central Black earth publish House.
- Beyer, B. K. (1987). Practical strategies for the teaching of thinking. Boston MA: Allyn and Bacon, Inc.
- Cornell, G., Franklin, K. W (1997). Rorschach interpretation with high-ability adolescent females: Psychopathology or creative thinking? *Journal of Personality Assessment*.184-196, 68.
- Crane, L.D. (1983). Unlocking the brain's two powerful learning systems. *Human Intelligence Newsletter*, 4, 7.
- Evers, A (2007). "Does discipline matter? Pedagogical approaches to critical thinking in English for academic purposes and economics" Online Submission.
- Furnham, A., Bachtiar, V (2008). Personality and intelligence as predictors of creativity. *Personality and Individual Differences*, 45, 613-617.
- Giampietro, M., Cavallera, G (2007). Morning and evening types and creative thinking. *Personality and Individual Difference*, 42, 453-463.
- Goldman, L (1984). Warning: The Socratic Method can dangerous. *Educational leadership*, 42; pp. 57-62.
- Glaser, E. M (1985). Critical thinking, Education for responsible citizenship in a democracy, *National Forum*.
- Guilford P (1959). Three faces of intellect. *American Psychologist* 479- 14, 469.
- Halpern, D.F. (1996). Thought and knowledge: An introduction to critical thinking.
- Hynes, P., Bennett, J. (2004). "About critical thinking," *Dynamics*, vol. 15, no. 3, pp. 26-29.
- King, B. J., Pope, B (1999). Creativity as a factor in psychological assessment and healthy psychological functioning. *Journal of Personality Assessment*, 72, 200-207.
- Lawson, A. E (2001). "Promoting creative and critical thinking skills in college biology," *Bioscene*, vol. 27, no. 1, pp. 13-24. EJ630113.
- Lenburg, C. B (1997) "Confusing facets of critical thinking," *Tennessee Nurse*, vol. 60, no. 5, pp. 11-13.
- Nisbett, R., & Ross, L (1980). *Human Inference: Strategies and Shortcomings of Social*.
- O'Brien, P. (2005). "A challenging curriculum for the more able pupil," *Issues in Science Teaching*, New York, NY: Routledge Falmer, pp. 183-194.
- Paul, R. W. (1995). *Critical thinking: How to prepare students for a rapidly changing world*.  
Santa Rosa, CA: Foundation for Critical Thinking.
- Peng, K., Ames, D. R., Knowles, E. D (2001). *Culture and Human Inference: Perspectives from three traditions*.
- Reese, W., Parnes, S. J., Treffinger, D. J., Kaltsounis, G (1976). Effects of a creative studies program on structure-of-intellect factors. *Journal of Educational Psychology*. (4) 68, 401-410.
- Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity. *Creativity research journal*, 24(1), 92-96.
- Scriven, M (1984). Critical thinking for survival. *National Forum*, 68; pp 4-8.
- Simon, H.A., Kaplan, C. A (1989). In M.I. Posner (Ed), *Foundations of cognitive sciences* (pp. 1-47). Cambridge, MA: MIT Press
- Smith, T. H (2006). "Creativity research review: Some lessons for higher education," *Peer Review*, vol. 8, no. 2, pp. 23-28, 2006.

AJES Journal הוא כתב עת המבקש להיות במה לקשרים הבינתחומיים שההנדסה מקיימת עם עולמות התוכן השונים של תקופתנו. בכתב העת תוכלו למצוא מאמרים העוסקים במגוון רחב של נושאים שההנדסה היא הקו המקשר ביניהם. אנו מביאים בפני הקוראים, בין השאר, מחשבות על התרבות הדיגיטלית, דיונים בנושא דמות המהנדס בפתחה של המאה ה-21, ניתוח תיאוריות של צדק כלכלי וחברתי, דילמות מתחום האתיקה למהנדסים, בחינה של משבר האקלים מפרספקטיבה הנדסית, ניתוח של אירועים ועוד.

מערכת כתב העת רואה במושג מדע כזה שאינו שמור לתחומי מחקר המאופיינים בפורמליזם מתמטי, ואינו מהווה כותרות המסמנת רק מתודולוגיות המקפידות על שיטות כמותיות בעשייה המדעית. אנו רואים במושג המדע כל ניסיון להרחיב את הדעת האנושית, ובתוך כך אנו מכירים בחשיבותן של שיטות מחקר איכותניות ובמעמדן המדעי השווה לשיטות מחקר כמותיות. זאת, כמובן, תוך התאמה של שיטת המחקר לנושא הנחקר, ולמאפיינים שעליהם אנו מבקשים לשפוך אור.

**AJES**  
Journal  
כתב עת רב תחומי להנדסה ומדע

מכללת אפקה | מבצע קדש 38, תל-אביב  
כל הזכויות שמורות לאפקה, המכללה האקדמית להנדסה בתל-אביב | [ajes@afeka.ac.il](mailto:ajes@afeka.ac.il)