

# אפקה - כתב עת להנדסה ומדע

גיליון ראשון, אוקטובר 2019

**Afeka Journal of Engineering and Science**

First Issue, October 2019

[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	
	עמי מויאל	
7	חינוך מהנדסים באקדמיה	
	יוסף אגסי	.1
11	מדע וטכנולוגיה	
	איתי אליאב	.2
21	תפקידה ומקומה הראוי של ההנדסה בהתמודדות עם משבר האקלים	
	זאב בכלר	.3
27	לא היה, לא קיים, לא יהיה: אקטואליזם וסוף המדע	
	נועה גדי	.4
53	האם אנו אסירי הטכנולוגיה או אדוניה?	
	דיוויד א' גולדברג	.5
59	מכללת אפקה: מקרה בוחן במנהיגות לשינוי בהשכלה הגבוהה	
	ליאור כהן	.6
	כיצד נכין סטודנטים ישראלים להנדסה לקחת חלק בזירה הבינלאומית	
75	במאה ה-21	
	הישאם עבד אלחלים	.7
81	כוחה של אתיקה בהנדסה	
	יורם רייך	.8
85	הנדסת מערכות: לקחים מפרשת הבואינג 737 מקס	
	קותי שוהם	.9
91	מדיניות כלכלית במדינת רווחה	
	אבירם שריאל	.10
101	עושר לאומות, או: כיצד להמציא מחדש	



# דבר העורכים

קוראים יקרים,

אנו שמחים להביא בפניכם את הגיליון הראשון של אפקה – כתב עת להנדסה ומדע.

המהפכה הטכנולוגית שאנו עומדים בפתחה בעשורים האחרונים ממקמת את מקצוע ההנדסה במרכז ההוויה האנושית. מהנדסים ברחבי העולם משפיעים על כל היבט של החברה שאנו חיים בה, והדוגמאות רבות מספור: מושג הזמן שלנו התקצר פלאים מהרגע שהתרגלנו לקבל תשובות מגוגל בחלקיקי שניות, תפיסת המרחב שלנו השתנתה מאז ש"ווייז" מנווטת את דרכינו, אפליקציות מעצבות מערכות יחסים שאנו מקיימים, הכסף שלנו משנה את ערכו ב"ביט", ואפילו קשרים משפחתיים מתארכים ומתחזקים בעזרת "וואטסאפ". גם המושג "חיים" מקבל משמעויות חדשות במסגרת הדיון שבין ההומניזם לפוסט-הומניזם.

עיון במאמרים המופיעים בגיליון מלמד ש"אפקה" הוא כתב עת המבקש להיות במה לקשרים הבינתחומיים שההנדסה מקיימת עם עולמות התוכן השונים של תקופתנו. בשל כך תוכלו למצוא בדפים הבאים מאמרים העוסקים במגוון רחב של נושאים שההנדסה היא הקו המקשר ביניהם. אנו מביאים בפני הקוראים, בין השאר, מחשבות על התרבות הדיגיטלית, ניתוח תיאוריות של צדק כלכלי, בחינה של סוגיית האתיקה למהנדסים וניתוח אירוע מעולם התעופה.

בנוסף, מכיוון ש"אפקה" הוא כתב עת של מכללה להנדסה המכשירה סטודנטים לתואר ראשון ולתואר שני בתחומי ההנדסה השונים, יש לנו עניין מיוחד בשאלות של הכשרת מהנדסים. שאלות אלה נוגעות כמובן לתחומי התוכן האקדמי ולמתודולוגיות ההוראה, אך גם לדמות המהנדס שמתפתחת לנגד עינינו ושמהייבת אותנו ליצור מרחב אקדמי עדכני המאפשר הקניית כישורים נדרשים. בגיליון מופיע מאמר המציג שיחה שנערכה בין דיוויד גולדברג, מחבר הספר *A Whole New Engineer*, ובין נשיא המכללה, פרופ' עמי מויאל. כן תמצאו בדפים שלפניכם מאמר שדן בחשיבות לימודי האנגלית בתהליך ההכשרה האקדמית של סטודנטים ישראלים להנדסה.

כאן יש להסביר את השימוש במושג "מדע" המופיע בשמו של כתב העת. שאלות על מהותו של מושג זה הן ליבת העיסוק בפילוסופיה של המדע, והתשובות שניתנו לאורך ההיסטוריה של הרעיונות בהקשר זה נוסחו מתוך מבט על פעולתם של חוקרים ממדעי הטבע כמוודל להגדרתו של המדע. לדוגמה, קארל פופר שפעל במאה העשרים כתב את עמדתו נגד מדעיותה של הפסיכולוגיה האדלריאנית כשלנגד עיניו הפיזיקה כמרחב של מחקר מדעי, שבו החוקר מעלה השערות ומנסה להפריכן. בשל כך קורסים בפילוסופיה

של המדע, הנלמדים כיום במיוחד בפקולטות למדעי הרוח, מחייבים אוריינטציה מתמטית פיזיקלית כדי לרדת לעומקם של התכנים המופיעים בהם.

זה זמן רב מדי מביטים מדעי החברה אל המתרחש במדעי הטבע כמודל לעשייה מדעית. בחוגים המרכיבים את מדעי הרוח בישראל מהלכת כבר כמה עשורים מחשבה על מקומה של המילה "מדע" בשלט שבכניסה לפקולטה. נימת התנצלות אף נשמעת לעיתים בדבריהם של מי שמבקשים להסביר שהמונח "מדעי הרוח" בעברית נולד מתוך השפעת השפה הגרמנית על מי שהקימו את החוגים הראשונים ל-Humanities באקדמיה הארץ-ישראלית המתגבשת.

מערכת כתב העת אינה רואה במושג מדע כזה ששמור לתחומי מחקר המאופיינים בפורמליזם מתמטי לניסוח תיאוריות מדעיות, ובהקפדה על שיטות כמותיות לבחינתן 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.

מילותינו האחרונות שמורות לאופיו של כתב העת לנוכח מגמות בעולם הפרסומים המדעיים. ראשית, האקדמיה בעולם עמוסה לעיפה בתכנים המתפרסמים מתוך מוטיבציה הנוצרת בשל שיטת הקידום והתגמול הנהוגה באוניברסיטאות. מספר מועט מדי של מאמרים מתפרסמים מתוך רצון לדווח לקהילת האקדמאים על גילויים בתחומי המחקר השונים. שנית, ניתן לראות שמאמרים אקדמיים מתארכים לעיפה, מסיבות שאינן בהכרח מהותיות, וכך נפגמת יעילות העברת המידע לקורא. שלישית, אנו חיים בסביבה של גבולות מיטשטשים וניתן למצוא רבים, שאינם אנשי אקדמיה, המעוניינים לקרוא, להשכיל וללמוד ממי שמקדיש את זמנו למחקר. שלוש הנקודות הללו מביאות אותנו לנסות ולהציע מודל של כתב עת אקדמי שבו יפורסמו מאמרים קצרים בהיקף של כ-2500 מילים, שיהיו כתובים בשפה שעשויה להיות נגישה לקורא הסקרן, לצד מאמרים באורך מסורתי המקובל בתחומי המדע השונים. מהפכת המידע, שנוצרה עם המהפכה הטכנולוגית, מאפשרת לכל מי שמעוניין בכך להמשיך ולהעמיק חקר ולמצוא את דרכו במרחב החדש של הרשת.

אנו מאחלים לכם קריאה מחכימה

ד"ר קותי שוהם

עורך ראשי

אפקה כתב עת להנדסה ומדע

Afeka Journal for Engineering and Science

ajes@afeka.ac.il

## חינוך מהנדסים באקדמיה

אני גאה ונרגש לפתוח את הגיליון הראשון של כתב העת של אפקה – המכללה האקדמית להנדסה בתל-אביב. כתב העת החדש יוצא לאור מתוך הבנה שמקצוע ההנדסה נמצא כיום במרכז הקיום האנושי, ושיש לו השפעה ישירה וחשיבות יתרה על היבטים שונים ורבים של חיינו. לנוכח זאת, שאלת הכשרתם האקדמית של מהנדסים חייבת לקבל התייחסות משמעותית, ולכן לפני כשלוש שנים ייסדה מכללת אפקה כנס העוסק בהכשרת הון אנושי לאומי בהנדסה. הכנס, ובמידה רבה גם כתב העת, נועדו לספק מידע וכלים לעוסקים בתחום; אולם עיקר תפקידם הוא לשמש כמה לקיום שיח על השינוי הנדרש באופן הכשרתם של מהנדסים באקדמיה, ועל הצורך ליצור שיתוף פעולה בין כלל המערכות על הרצף החינוכי, ובפרט שלוש מערכות המזינות זו את זו: מערכת החינוך, האקדמיה והתעשייה.

את דברי הפתיחה אקדיש לסוגיות המרכזיות שנוגעות לשינוי הנדרש באופן הכשרת המהנדסים באקדמיה. רובן הן תובנות שעלו מתהליך השינוי שאנו מקיימים במכללת אפקה בשנים האחרונות, מהדיאלוג עם מוסדות אקדמיים אחרים ברחבי העולם ומביקורים הדדיים שאנו מקיימים, הקשר עם התעשייה בישראל ומדו"חות בין-לאומיים שונים העוסקים בתחום.

הצורך לממש שינוי באופן הכשרת המהנדסים באקדמיה נובע משני שינויים מרכזיים שהתרחשו בשתי המערכות האחרות על הרצף החינוכי: בפרופיל בוגר מערכת החינוך המגיע לאקדמיה ובפרופיל המהנדס בוגר האקדמיה הנדרש לתעשייה.

לדור הסטודנטים החדש המגיע לאקדמיה מאפיינים שונים משל הדור הקודם. לסטודנטים אוריינטציה טכנולוגית והם מסוגלים להתמודד עם ריבוי משימות; הם לומדים אחרת, ונראה שבעידן שבו המידע נגיש, הרצאה פרונטלית מתאימה להם פחות. שאלת הרלוונטיות של הלימודים האקדמיים מתעוררת אצלם במלוא עוזה, בפרט בהקשר התכליתי של מציאת משרה מכניסה.

לצד זה, ההתפתחות הטכנולוגית המואצת בעולם מובילה לשינויים של ממש בכל תחומי החיים, ובהם גם בשוק התעסוקה. בוגרי הלימודים האקדמיים, המשתלבים בשוק העבודה בעידן של ידע המשתנה באופן תדיר, נדרשים אומנם לידע מקצועי רחב ועמוק אך גם לכישורים החיוניים להצלחתם, כגון יכולת עבודה בצוות רב-תחומי, תקשורת אפקטיבית, למידה עצמית, חשיבה ביקורתית ויצירתיות (להלן "כישורים חיוניים").

אחד מתפקידיה העיקריים של האקדמיה הוא להכשיר הון אנושי לטובת החברה. לאור השינויים שתוארו הן בדמות המהנדס והן בדמות הסטודנט, מתעוררת השאלה – האם

## נדרש שינוי בתהליך הכשרת המהנדסים באקדמיה? ואם כן, מהו השינוי הנדרש?

מדו"ח שחיברה ד"ר רות גרהם עבור אוניברסיטת MIT, שכותרתו "המצב הבין-לאומי בחינוך להנדסה",<sup>1</sup> עולה כי תחום החינוך להנדסה עובר בשנים האחרונות שינויים ניכרים. בדו"ח תוארו שתי קבוצות של מוסדות אקדמיים מובילים בתחום ההנדסה: המוסדות האקדמיים המובילים בעולם כיום, והמוסדות האקדמיים שעתידים להיהפך למובילים בעתיד הנראה לעין. ניתוח מאפייניהן העיקריים של שתי הקבוצות מעניין, ויובא להלן בקצרה.

מאפייניהם של המוסדות האקדמיים בקבוצה הנחשבת למובילה כיום, לפי הדו"ח:

1. מוניטין אקדמי מבוסס התואם את הדירוגים הבין-לאומיים;
2. מצוינות אקדמית נקודתית של מחלקה מסוימת או כזו המתבטאת בתוכנית לימודים מסוימת;
3. רשת בין-לאומית לשיתופי פעולה אסטרטגיים;
4. גישה חינוכית שעיקר מרכיביה הם למידה לצד התנסות מעשית במסגרת תוכנית הלימודים; קשר הדוק בין מחקר להוראה; מגוון רחב של פעילויות מחוץ לתוכנית הלימודים; פיתוח יכולות יזמיות ואחריות חברתית; ושיתופי פעולה עם התעשייה במחקר ובעת עדכון תוכניות הלימודים.

מאפייניהם של המוסדות האקדמיים הנחשבים למוסדות שיהפכו למובילים בעתיד הנראה לעין, לפי הדו"ח:

1. תפיסה חינוכית כוללת חוצת-מוסד, המונעת מחזון מבדל;
2. מוסדות חדשים או מוסדות שעברו שינוי מקיף בכל תוכניות ההנדסה;
3. התפתחות המונעת לרוב מצרכים או אילוצים לאומיים כמו פיתוח כלכלי, מחסור במהנדסים או פערים חברתיים;
4. גישה חינוכית שעיקר מרכיביה הם תנאי קבלה או תהליכי קבלה לא סטנדרטיים; שילוב בין למידה מקוונת ללמידה ניסיונית בקמפוס; פעילות חדשנית מחוץ לתוכנית הלימודים המובלת בידי סטודנטים; התמקדות בתכנון הנדסי וברפלקציה עצמית; למידה מבוססת עבודה.

---

Graham, R. (2018). *The Global State of the Art in Engineering Education*. Cambridge, MA: MIT School of 1 Engineering.

בסקר שקיימה לאחרונה מכללת אפקה בקרב יותר מ-100 חברות היי-טק ישראליות,<sup>2</sup> נשאלה השאלה, מהם חמשת הכישורים שחשוב לך למצוא אצל מהנדסים? הכישורים מופיעים להלן לפי סדר החשיבות שהגדירו המשיבים: עבודה בצוות רב-תחומי; פתרון בעיות הנדסיות; יצירתיות; תקשורת יעילה; שימוש בכלים הנדסיים מודרניים; תכנון מערכת לפי צרכים; למידה לאורך החיים; השכלה רחבה; אינטליגנציה רגשית; בין-לאומיות וידעת השפה האנגלית; חשיבה ביקורתית; אחריות מקצועית ואתית; תכנון, ביצוע וניתוח ניסויים; חוסן מנטלי; ידע עכשווי; יישום ידע במתמטיקה, מדעים והנדסה. אם כן, נוסף על הידע נוכחים ובלטים ברשימה גם כישורים חיוניים רבים.

הדיון בשינוי הנדרש בהכשרת מהנדסים באקדמיה מתמקד, בין השאר, בשאלה, אם הקניית כישורים חיוניים צריכה להיעשות במהלך הלימודים האקדמיים. נראה כי בקרב הבכירים במוסדות האקדמיים יש הסכמה בדבר הצורך בכישורים חיוניים למהנדס כדי להצליח בתעשייה, אולם הדעות חלוקות לגבי אופן שילובם בהכשרת המהנדסים. בעניין זה רווחות כמה גישות עיקריות:

5. תפקיד המוסדות האקדמיים הוא להקנות ידע מדעי והנדסי, ואילו את הכישורים החיוניים תקנה התעשייה במהלך העבודה;

6. נדרש שיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה בדמות תוכניות במסגרת הלימודים, שיאפשרו לסטודנטים לעבוד בתעשייה במהלך הלימודים ולרכוש כישורים חיוניים;

7. הכישורים החיוניים יוקנו באקדמיה אך בפעילות שמחוץ לתוכנית הלימודים;

8. הכישורים החיוניים יוקנו באקדמיה, כחלק מתוכנית הלימודים.

קבוצת המוסדות הפועלת בגישה הרביעית מתמודדת עם השאלה, אם הקניית הכישורים החיוניים צריכה להיעשות "על חשבון" הקניית הידע, ואם כן - על איזה ידע ראוי לוותר לטובת הקניית הכישורים החיוניים?

נוסף על כך, עצם ההחלטה להקנות כישורים חיוניים במסגרת תוכנית הלימודים מחייבת להתמודד עם אתגרים מורכבים, ובהם הגדרת תוצרי הלמידה בקורסים מתוך התייחסות לרכישת הכישורים החיוניים; שינוי הפדגוגיה כך שיאפשר להקנות כישורים אלו במסגרת הקורסים; וגיבוש אמצעי הערכה לאומדן רכישת הכישורים השונים במהלך תהליך החינוך.

---

2 Internal Survey, Afeka Academic College of Engineering, Tel Aviv, Jan. 2019



השאלות שהוצגו כאן אינן שאלות פשוטות; אולם לדעתי, על כל מוסד אקדמי העוסק

בהכשרת מהנדסים להתמודד עימן ולגבש עבור תלמידיו את המענה המתאים.

מכללת אפקה נמצאת בעיצומו של תהליך שינוי רב-שנתי; התהליך החל בהחלטה להכשיר מהנדסים לפי צורכי התעשייה, ונמשך בהגדרת דמות המהנדס בוגר אפקה – אדם ערכי בעל ידע מדעי, ידע הנדסי, דובר שפות ובעל השכלה רחבה, בעל כישורים חיוניים ומיומנויות הנדסיות. מהות השינוי היא המעבר מהגדרת תפקידנו כמוסד אקדמי המכשיר מהנדסים לכה המהנדסים, ולתפיסת לימודי ההנדסה כתהליך חינוכי שבו אנו מקנים נוסף על הידע גם ערכים, כישורים ומיומנויות. רשימת הכישורים הנדרשים למהנדס זכתה לאישושה של התעשייה, וכעת נעשה שינוי בתהליך החינוך כולו: בתוכנית הלימודים, באופי הפעילות שמחוץ לתוכנית הלימודים, בפדגוגיה בכיתות ובתשתיות התומכות (כגון מרחבי הלמידה והעבודה בקמפוס, המחשוב, המעבדות והתהליכים מבוססי הטכנולוגיה). השינוי נשען על יצירת תרבות ארגונית המכילה את השינוי ותומכת בו; לחברי הסגל ניתנת תמיכה בדמות הכשרה, תשתיות מתאימות למימוש השינוי והבנה שהתהליך יכול גם פעולות שלא יצליחו אולם אפשר יהיה להפיק מהן לקחים. תהליך זה אינו תהליך פשוט, אך לתפיסתי הוא מחויב המציאות; אני משוכנע כי איכותם של המהנדסים בוגרי אפקה משתבחת משנה לשנה, והתוצאות כבר באות לידי ביטוי במדידות שונות שאנו מקיימים – ובעיקר בתפקידים שאותם ממלאים בוגרי אפקה בתעשייה.

אני מאחל לכם קריאה מהנה,

פרופ' עמי מויאל

נשיא

אפקה – מכללה האקדמית להנדסה בתל אביב

# מדע וטכנולוגיה

יוסף אגסי

פרופ' יוסף אגסי הוא פילוסוף. הוא ערך כעשרה ספרים ופרסם כעשרים ספרים וכשש-מאות מאמרים מדעיים: [www.tau.ac.il/~agass](http://www.tau.ac.il/~agass).

**במערב, היחס המסורתי לטכנולוגיה היה שלילי: המהפכה המדעית גילתה עניין לראשונה בפרקטיקה, אך גם אז בעיקר מנקודת-מבט מדעית ולא מנקודת-מבט פרקטית. היחס לטכנולוגיה כמכשיר יעיל גרידא הוא יחס של בוז שרוחש אדם הטוען כי הוא מחשיב רק מוצרי תרבות. אך עולם המדע התהדר בערך המעשי של המדע. הרבה הוגי-דעות הם מיזנתרופים הרואים נוחיות והנאות כשליליים. הם מסתייגים אף מתרבות ואמנות ומקבלים אותן רק בנוסחים משעממים. המסורת דרשה מהפרט לוותר לטובת הכלל. הטכנולוגיה מקטינה את הדרישה הזאת בהנחה כי יש להיפטר מכל עבודה משעממת ולראות במדע ובטכנולוגיה אתגרים מעניינים המשפרים את איכות החיים של הפרט ושל החברה.**

## פתיח

נהוג היום לראות במדע וטכנולוגיה כשתי פנים של אותה פעילות. ואכן, בעשורים האחרונים הביטוי "מדע" הוחלף בהקשרים רבים בביטוי "טכנולוגיה ומדע" ובאנגלית אף למילה "technoscience". ואכן, קשה לדמיין מדען המתעלם מטכנולוגיה ואי אפשר לדמיין טכנולוגיה מודרנית ללא מדע, ומדובר בטכנולוגיה עתירת-מדע. כל זה לא יסתיר את העובדה הברורה לכל כי מטרת המדע שונה ממטרת הטכנולוגיה, וכי לכן העניין במדע כמכשיר טכנולוגי שונה מהעניין במדע כלשהוא לעצמו, אשר בהקשר זה קרוי מדע טהור. המדע הטהור משתמש בטכנולוגיות מפותחות מאוד, אך במקרה זה משמשת הטכנולוגיה את המדע ולא להפך. יש לזכור כי הטכנולוגיה היא מכשיר, ולכן יש לה מטרות רבות ושונות ומספרן גדל והולך, בעוד שלמדע יש מטרה אחת בלבד, והיא חיפוש האמת. ואכן, מרבית ההוגים הטוענים כי האמת אינה בהישג יד האדם טוענים כי אין מדע טהור, כי התחום הידוע בשם זה אינו אלא חלק מהמתמטיקה השימושית. דעה זו ידועה בשם אינסטרומנטליזם: המדע אינו אלא מכשיר. התורה הנוגדת את האינסטרומנטליזם היא ריאליזם: המדע מתאר את העולם כמות שהוא.

הדעה המתקדמת יותר היא של איינשטיין, ראסל וכן פופר, ולפיה מטרת המדע היא האמת, אך הישגיו הטובים ביותר הם בבחינת קירוב לאמת ותו לא.

בכל זאת חפשו הוגים מסוימים מטרה כללית לטכנולוגיה כתחליף לאמת כמטרה הכללית למדע. הם מצאו זו בממד הנראה לי פיקטיבי, והוא ממד התועלת: טכנולוגיה התורמת יותר לתועלת עדיפה על זו התורמת פחות. אם נניח כי יש דבר כזה, נוכל לומר כי פרי מאמץ כלשהו תורם תועלת ואילו המאמץ עצמו תורם תועלת שלילית, שכן אנו מעדיפים השקעה קטנה על השקעה גדולה אם הן מניבות את אותה תועלת.

נוכל אם-כן להכליל ולומר, הגות תורמת תרבות רוחנית וטכנולוגיה תורמת מוצרים מענגים. השאלה הגדולה ביותר היא כמה מאמץ להשקיע בתרבות וכמה בייצור מענג? וכמובן השאלה, האם תרבות ההמונים היא תרבות או עונג גרידא? אלו שאלות קשות הבנויות על הנחות לא ברורות, וקשה לומר מה נדרש מאלה המתדיינים בהן. לדוגמה, עבודה נחשבת כאן להשקעה, לתועלת שלילית, ולכן להמצאת רובוטים ערך תועלת חיובי גדול. אולם הוגים רבים רואים בעבודה ערך חיובי. רבים מהם, כולל מסורות יהודיות מסוימות וכולל הסופר הידוע לב טולסטוי ותאודור הרצל חוזה הצינונות, דוחים ברורות את החיפוש אחר התועלת כדבר שלילי. עמדה זו משתלבת היטב עם הבוז לטכנולוגיה כתורמת לנוחיות גרידא וכחסרת ערך תרבותי. מצטיין ביניהם הפילוסוף הנאצי מרטין היידגר אשר את טפטופיו מלמדים באוניברסיטאות מכובדות בכל הרצינות. נראה לי כי אנו מזלזלים שלא בצדק בחשיבות הרעל אשר פילוסופים אלה מייצרים כמקלקל את איכות החיים המודרניים.

## 1. שילוב המדע והטכנולוגיה

השאיפה לשלב את המדע והטכנולוגיה התבטאה כבר בעולם העתיק. הביטוי הברור ביותר לכך היה בשאלה, האם וכיצד ניתן לשלב את המאלף עם הנעים? זו הייתה המטרה של המשורר הרומי הורציוס. היא הייתה מקובלת ביותר במאה השמונה-עשרה, בתקופה שבה המחקר המדעי היה כולו בידי חובבנים, לפני שהאוניברסיטאות לקחו לעצמן מונופול על המחקר ועשו אותו במידת האפשר יבש מקש ומגבכה.

אין צורך ללכת למשורר רומי לשם קבלת הרעיון של איחוד המאלף והנעים. במסורת היהודית נאמר כי תלמוד תורה מצטיין בכך. בלשון התלמוד, הלימוד כרוך בשכר בעולם הזה ובעולם הבא כאחד: הוא המצטיין שבדברים שאת פרותיהם אוכלים בעולם הזה והקרן קיימת לעולם הבא. בלשון התלמוד, ותלמוד תורה כנגד כולם. בכל זאת, כאשר התנועה החסידית יצאה בסיסמה שיש לעבוד את האלוהים בשמחה, גרם הדבר להתנגדות עצומה מצד הסגפנים, מצד הפוריטנים. שכן במסורת היהודית יש זרם המצודד בהנאה ויש זרם המתנגד לה. אפשר למצוא בקלות ציטוטים מהתלמוד לכאן ולכאן.

שיא הסגפנות הוא בעמדה שרצוי לא ליהנות בכלל; לא רק מסיפוק תאוות הבשרים. הסגפן האולטימטיבי אינו המתאפק המתנזר מהנאות אלא האדיש להן ואולי אף הנדחה מהן. הסגפן אוכל ללא הנאה, מתוך מודעות לכך שיש הכרח לאכול. לדעת הסגפנים אפילו באמנות יש לעסוק ללא הנאה. מאחר שהסגפנים מתנגדים להנאה מאוכל טוב, הם גם מתנגדים לבישול אומנותי. בכך יש היגיון. אז למה אין הם מתנגדים לאמנות בכלל? כי היא קשורה בתרבות, ועל תרבות יש להגן, בעיקר אם היא משעממת.

אדם שאינו סגפן מתקשה להבין איך אפשר לעסוק באמנות ללא הנאה רוחנית. אך הדבר נעשה: רבים מן העוסקים באמנות מעדיפים אמנות ללא הנאה. הדבר מתבטא בעיקר בעוונות לאמנות זולה, בדרישה שהעניין והעיסוק באמנות זולה יסולק ואת מקומו ייקח עיסוק בדברים רציניים לא-מעניינים. ואכן, החינוך המסורתי מכוון למנוע הנאה, שכן הנאה היא דבר חסר ערך. על כן יש ללמוד להתנהג יפה ללא קשר לפיזיו. ועל כן אין זה מקרה כי הרבה מהמנגנים בתזמורות אינם אוהבים מוסיקה, למשל. יש היום זרם באמנות הביצוע המנסה לשנות את המצב, בעיקר על ידי פיתוח שיטות ניצוח דמוקרטיות. אך מובן שהדרך ארוכה לשחרור מאדישות לאמנות, שכן יידרש הרבה זמן עד שהורים ילמדו לא לשלוח את ילדיהם למורים קפדנים המשניאים אמנות על תלמידיהם. אפילו בדיונים על אמנות אפשר להשניא אותה, למשל, על ידי תרגול להערכה רק יצירות אמנות קשות להבנה, אלו הדורשות מאמץ גדול כדי לעקוב אחרי הנעשה, כגון שירה כבדה מימי הביניים ומוסיקה כנסייתית מסובכת ודיון מעמיק במשמעות של כל מילה קשה בטקסט של שייקספיר, וכיוצא בזה. אני מקווה כי נוכל לראות שגם יצירות כנסייתיות מסובכות צריכות לעורר חוש יופי ובכך גם שמחה. אני מקווה שגם האמנות תגרום לנו כאן הנאה וגם לימוד האמנות. יש הנאות שונות, ויש ללמוד להשתתף ברבות מהן ככל האפשר. אולי לא היה צורך לומר שהלימוד מהנה, אלא שיש מחתרת חזקה שמטרתה לעשות כל לימוד לסבל. בכל שנותיי שביליתי באוניברסיטה, והרי שם ביליתי את מרבית חיי, השתדלתי להפיץ את הרעיון שעל לימוד טוב לגרום הנאה מידית. בדרך כלל לא הצלחתי: עצם אמירה כזאת באולם ההרצאות האקדמי מעוררת בקרב השומעים עצבנות וחרדה. לי נעים להרצות מחוץ לכותלי האוניברסיטה, לקהל שבא ליהנות לשמוע את דבריי.

היחס הסגפני לחיים חדר עמוק לתרבותנו ואין זה קל להשתחרר ממנו: יש לעקוב אחרי השפעתו ולנסות לנטרל אותה. אביא דוגמה אחת כאן, כדי שיהיה ברור שאין בדיון שלי על הנעים שיחת רעים בלבד אלא יש לה השלכות חשובות מרחיקות-לכת. היחס הסגפני לחיים תרם לחלוקת זמנו של הפרט לשלושה חלקים, עבודה, לימוד ובידור. ראשית, עבודה. עבודה היא מעמסה, עמל. "אדם לעמל יולד". שנית, לימוד, שהוא הכנה לעבודה, ולכן יש להתייחס אליו ברצינות, וכך לעשות ממנו עבודה של ממש. לשון אחר, גם הלימוד צריך לשעמם. אין ברירה. שלישי, בידור. מטרת הבידור היא להכשיר פרט

עייף לחזור רענן לעבודה. יש על-כן לצמצם את הבידור למסגרת זו במידת האפשר. יש לגרום לכך שהפרט לא ייהנה יותר מדי, שכן אחרת הפיתוי של הבידור גדול מדי: הרצון להתבדר מביא לבטלה והבטלה היא אם חטאת.

זה רעיון ספגני. הסגפנות אין בה טעם, והיא מקובלת רק משום שהיא תירוץ לשנאת האדם, למיזנתרופיה: הרעיון שיש אדם הנהנה מהחיים גורם סבל למיזנתרופים. אפילו אם אדם נהנה ממעשים טובים יש בכך פגם. המשורר פרידריך שילר, שהיה גם פרופסור לפילוסופיה, ביקר את תורת המוסר של חברו ועמיתו עמנואל קאנט: לדעת קאנט, אמר שילר, מעשה טוב מתבצע תוך תחושת אי-נוחות, שכן אם עושים מעשה טוב בידידות אזי זה גורם להנאה, ואז המעשה אינו מתוך כוונה טובה אלא מתוך הרצון ליהנות. קאנט ראה במוסר רק שוט המכריח אדם להתנהג יפה. על-כן סבר, אגב, שכאשר כל בני האדם ילמדו שטוב להם להתנהג יפה לא יהיה יותר לא מוסר ולא צורך בו. זו דעה מיזנתרופית והיא מוטעית ומופרכת מיסודה, שכן המוסר מצווה על ידידות ועל-כן הוא ידידותי. נפוץ ביותר הרעיון כי על המעשה הטוב להיות אלטרואיסטי. אך זו דעה מיזנתרופית, שכן הטוב הוא שילוב האגואיסטי והאלטרואיסטי. על-כן גם הוראת ההנאה מהאמנות היא מעשה טוב.

כדי לאפשר מסקנה זו חיוני לראות ערך בכל ניסיון לטשטש ככל האפשר את ההבדל בין שלושת התחומים, העבודה, הלימוד והבידור. זה רעיון חלוצי המאפיין את הסוציולוגיה של העבודה ואת התנועה לשיפור חיי העבודה של החצי השני של המאה העשרים, רעיון שיש צורך לממש אותו במאה הנוכחית. התנועה לשיפור חיי העבודה תורמת רבות לכך במלחמתה נגד רעיון ההבל שעל עבודה לגרום סבל. אמנם אדם הראשון קולל בצורך לעבוד בזיעת אפיו, אבל יש אפשרות לבטל את רוע הגזרה.

אסיים נקודה זאת בהערה חשובה מן הפילוסופיה של המדע: תומס קון, הפילוסוף וההיסטוריון של המדע הידוע, התפרסם שמו ברבים משום שפיתח את הרעיון של המדע התקני. לשם דיוק יש להדגיש כי מדע תקני אינו מדע אלא טכנולוגיה ומדע, ובעיקר טכנולוגיה. שכן, הרעיון שלו פשוט: מדע תקני הוא מחקר משעמם, מחקר שאינו דן בעקרונות כלשהן אלא עיסוק של יישום של עקרונות. אלו אולי אינם נראים למדען התקני המיישם אותם, אך אין לו ברירה: על-מנת לספק את מחייתו הוא נוהג לפי הוראות של המנהיגות המדעית. אמרו על קון שהוא מסתיר את העובדה שיש בתורתו המלצה לכפייה שההנהגה המדעית כופה על החברים מהשורה, והוא מחה על כך ואמר שלא הסתיר זאת מעולם ואף הדגיש זאת, והוסיף שאין הדבר מנוגד לעקרונות הדמוקרטיה, שכן אין אדם חייב להישאר מדען. בכך הוא הדגיש שהמדובר פה הוא בעיסוק מדעי לשם פרנסה, כלומר בעיקר עיסוק בתעשייה עתירת-מדע. הוא צדק עד מאוד: אין בדמוקרטיה איסור על מיזנתרופיה, וכל מעסיק, אם במוסד עתיר-מדע ואם

לאו, רשאי להעסיק את עובדיו בעבודה משעממת. משום כך באה התנועה לשיפור חיי העבודה ודרשה לאסור על כך, ובמדינות נאורות יש לתנועה זו הצלחה מסוימת. למשל, בשוודיה יש איסור על סרט נע. לאחרונה החלו כמה מאנשי תנועה זו להביע התנגדות לתורת תומס קון. על אחת כמה וכמה שיש להתנגד למיזנתרופיה באמנות, והמלאכה מרובה. הצלחת התנועה לשיפור חיי העבודה היא ההצלחה לטשטש את התיחום החד בין עבודה ללימוד וכן גם בין עבודה לבידור.

## 2. לימוד לשמו ולימוד כהכנה לעבודה

החשובה כאן היא הדרישה של התנועה לטשטש את התיחום הברור בין עבודה ללימוד. אעסוק כאן בדרישה האחרת: לטשטש את התיחום בין לימוד לבידור. כבר פרידריך פרובל ומריה מונטסורי לחמו לכך במאה התשע-עשרה, כאשר הכניסו צעצועים חינוכיים למערכת הלימוד, פרובל לגן הילדים ומונטסורי למערכת בתי הספר הקרויה על שמה. ההתנגדות לשניהם הייתה עצומה והם הצליחו רק באורח שולי, כי הרשו להם לטפל רק בפעוטות ובילדים קשי-חינוך. אני מעריך אותם אך איני חסיד של דעותיהם. הרעיון האחד שהם דגלו בו הוא רעיון הטבעיות אשר נראה לי פרימיטיבי: איננו יודעים מהו פרימיטיבי ומה לא, והסטייה מהפרימיטיבי באה זמן קצר ביותר אחר הלידה. החולקים על כך חייבים להודות כי כל מה שאנו צורכים הוא טבעי, אך גם כמעט בכל מקרה הוא גם טבעי וגם מעובד. ולמה לא. הרעיון השני שלהם היה שהלימוד הוא גלולה מרה שכדאי לעטוף בסוכר. אכן כדאי לעטוף גלולה מרה בסוכר, אך הלימוד אינו גלולה מרה.

הרבה מסקנות הנובעות מהרעיון הסגפני המיזנתרופי מקובלות ללא די ביקורת גם על הציבור האפיקורסי הרחוק מסגפנות וממיזנתרופיה. האחד הוא הרעיון שיש הבדל מהותי בין האמנות למדע, שהאמנות שייכת ללב והמדע למוח. נאמר על האמת המדעית כי אינה נתונה למחלוקת, וכי היא מתפתחת לפי היגיון פנימי בשלבים ברורים כך שהצורך להבין את המדע ואת התפתחותו אינו מאפשר לדלג על שלבים מדעיים. לא כן באשר לאמנות: יש מחלוקות באשר לסגנונות השונים, ואין רצף הגיוני בהתפתחותה. לכן ייתכן שיצירת אמנות יפה תתגלה בלב פירמידה במדבר או בעליית-גג בחורבה כלשהי, ואז אפשר לנגב את האבק ממנה ולהציג אותה במוזיאון, בעוד שיצירה מדעית מהעבר, גם אם אפשר לראות בה ערך גדול בזמנה, העובדה שהיצירה לא פורסמה בזמנה עושה אותה למיושנת ולכן ההפסד שגרם הפיגור בפרסומה אינו בר-החזר.

רעיון זה מקורו ברעיון הסגפני שבעיקרו הוא ביטוי לשנאת האדם. הדיון על ייחוד המדע מדגיש את תפקיד המדען המגלה חידוש מדעי. מעט מאוד מדענים מגלים חוקי טבע או רושמים פטנט חשוב, ורובנו איננו מדענים מקצועיים אלא צורכי מדע. המיזנתרופים מדגישים את הכורח בחינוך מדעי, והם מעדיפים את החינוך המדעי

המשעמם המתקבל דרך ספרי לימוד, בעוד שהאמת היא שהמדע הוא מצרך מרהיב עין לא פחות מהציור והפיסול, ואכן הערוץ המדעי אשר אלו הצורכים אותו אינם תלמידים מוכיח זאת בעליל. אלא שהמיזנתרופ מעוניין לא באמת אלא בנזק לתלמידיו. הדיון המקובל על ההבדל בין המדע לאמנות כפי שהצגתי אותו כאן מתאר את המדע כמרוץ לפרסום. הסוציולוג החשוב ביותר בדורי, רוברט מרטון, דיבר בהתאם: הוא לקח את המרוץ לרישום הפטנט לטלפון כפרדיגמה מדעית שלו: שני אנשים רשמו פטנט, במרחק של כמה שעות בלבד, האחד קנה את עולמו והאחר הפסיד. מוסר השכל: על החוקר לעבוד קשה ככל האפשר כדי שלא יפסיד את עולמו.

מובן שהרעיון הבסיסי של ההבדל בין המדע לאמנות מופרך ללא קושי. אין טעם ברעיון בסיס זה שהמדע הוא כולו שכל ושהאמנות כולה רגש. רעיון זה עומד מאחורי הביקורת הנחשבת קטלנית של יצירה אמנותית זו או אחרת בטענה שהיא שכלתנית. כל יצירה אמנותית הנקראת שכלתנית נפסלת מיני וביה. אמרו זאת גם על עבודות המלחין הדגול לודוויג ון בטהובן, והוא לקח זאת כמחמאה. המשורר הדגול אדגר אלן פו ניסה להציג את יצירתו כשכלתנית. אין זה מקרה שההצגה של ההבדל התהומי בין המדע לאמנות מוצגת מנקודת מבט היוצר, העובד, האמן או המדען היוצר, לא מנקודת מבט הצרכן, הפרט הנהנה הן מאמנות והן ממדע. מי נהנה ממדע היום? בעוונותינו הרבים שכחנו שאלפי שנים המדע היה בעיקר מצרך מותרות כמו האמנות.

עד המהפכה המדעית (1660) הייתה הטכנולוגיה זרה למדע. העובדה כי היה שימוש לתגליות המדעיות של ארכימדס הייתה יוצאת דופן ועוררה תשומת לב משום שהוא עזר להציל את עירו ממצור – רק אחרי שהוא התבקש לעזור. אפילו השימוש במדע הכימיה בטכנולוגיה הוא תופעה שהחלה בתחילת המאה התשע-עשרה והיא גרמה להתפתחות המעמד החדש של המהנדסים, והם גרמו למהפכה באגודה המלכותית בכך שהפכו אותה מארגון חובבני לארגון מקצועי. קשה להתעלם מכך שהיה בוז לאנשי הטכניקה, שפג רק כאשר מומחיות בכימיה גרעינית דרשה הרבה ידע מדעי מופשט וסיפקה הרבה כבוד, שכן כימאי גרעיני יכול להרוג מיליונים בעזרת פצצה אחת.

אני מתנצל שאני מביא דוגמה מלחמתית ולא דוגמה שלומית כגון הקולנוע והאינטרנט. אבל זה קשור למיזנתרופיה. המיזנתרופים שונאים הנאה, אפילו אם זו הנאה מעניין שהם מעריכים. כך נאמר על ההיסטוריון החשוב של החצי הראשון של המאה התשע-עשרה, תומס בפינגטון מקולי, כי לא היה היסטוריון רציני כי כתב היטב ולכן ציבור קוראיו היו קוראים לא-מקצועיים שנהנו מיצירותיו. זו שטות כמובן. המלחין הגדול אך לא סימפתי ארנולד שנברג הסכים לראות רק שני מלחינים פופולריים כאנשים רציניים, והן שטראוס הבן וז'אק אופנבך. אחר מכן הוא הסכים להוסיף לרשימה זו את ג'ורג' גרשווין. הבחנה זו בין אמנות גבוהה לעממית היא חסרת שחר ומיזנתרופית. אזכיר

עכשיו בקצרה כי אמנות ימי-הביניים, קשה לומר אם היא אמנות עממית או גבוהה.

עמוקה מההבחנה האווילית הזו, בין האמנות הגבוהה לנמוכה, היא ההבחנה בין אמנות שימושית לאמנות טהורה או אמנות לשם אמנות. אדגיש כי בספרות הקלאסית של המאה השמונה-עשרה הייתה הבחנה בין סוגי אמנות שונים: יש האמנויות החופשיות, הנקראות היום חינוך אקדמי, האמנויות העדינות הנקראות היום אומנות, והאמנויות המכאניות הנקראות היום טכנולוגיה. אמנים דגולים אך מיזנתרופים, בייחוד הפילוסוף אפלטון והסופר לב טולסטוי, התקיפו קשות את האמנות לשם אמנות והציגו לעומתה בחיוב רק את האמנות השימושית, ורק במידה שהיא שימושית ותו לא. ואולי הם קיבלו את האמנות השימושית רק משום שהיא נפוצה מכדי שיהיה אפשר למחוק אותה. שהרי כל אמנות, כל דבר מלאכותי, כולל הריהוט כאן ומבנה החדר הזה, כולל הביגוד שלנו, כולם שייכים לאמנות השימושית. ואין ספק שיש אמנות שימושית מצטיינת, כמו שיש אמנות לשם אמנות שגם היא מצטיינת. אך עצם ההבחנה מקובלת כמובן מאליו אף שהיא אווילית. למשל, אמנות מגויסת אינה לא אמנות לשם אמנות ולא אמנות שימושית. אין היא אמנות טהורה, שכן היא משתמשת ברעיונות חברתיים ומדיניים לצרכיה היא, ועל-כן אין היא גם אמנות שימושית: היא נוצרה לא למטרת תעמולה. כל האמנות הסוציאליסטית היא כזו, וגם המוסיקה הלאומית של מזרח אירופה של סוף המאה התשע-עשרה.

ישראלים שאין להם כל מידע על הברית החדשה מתקשים להבין את מרבית היצירות האמנותיות החשובות, שכן הן איורים לטקסטים דתיים. ההיסטוריון הדגול של האמנות סר ארנסט גומברייך אמר כי במידה רבה האמנות של ימי הביניים היא איורים לטקסטים דתיים עבור ציבור שאינו יודע קרוא וכתוב, מעין קומיקס. וכמובן שיש להסביר לצופה המודרני את הקשר בין יצירה אמנותית לרקע שלה. לא רק היצירות הדתיות, אלא גם הרבה יצירות חילוניות התייחסו לרקע, בעיקר לטקסטים יווניים. כמובן, יש אפשרות ליהנות גם ללא ידיעת פרטים, והדרישה לידיעה יכולה רק לקלקל. השאלה נשארת, עד כמה נדרשת ידיעת רקע להבנה ולהנאה מיצירת אמנות? אין ספק שחוסר רקע אינו מאפשר למזרחי הבנה של מוסיקה מערבית ולהפך. אין ספק גם שאפשר ללמוד ליהנות מאמנות גם ללא לימוד אך שהלימוד עוזר, ומעניין מאוד לדעת מה וכמה. והעיקר, מה לידיעת רקע ולתורת האמנות? מה לתורת האמנות ולטכנולוגיה?

תורת האמנות היא האסתטיקה. היא תחום עיסוק עתיק: הספר החשוב ביותר באסתטיקה הוא "המשתה" של אפלטון, אשר נחשב בצדק לאחד הספרים היפים והמעמיקים ביותר בספרות העולמית: אין עוררים על גדולתו, גם כיצירת אמנות וגם כיצירה הגותית. ובכל זאת אפשר לראות תלונה על שהתחום הנו כה מפגר. יש רגליים לתלונה זו. כיצד נעשה תחום עיסוק בשל? מה עושה תחום שולי לתחום מחקר רציני?



הדעה המקובלת היא שנדרשת לשם כך אסופה של מידע עובדתי, אמפירי. אך מאחר שהעובדות שהאסתטיקה עוסקת בהם אינן אלא יצירות אמנות, אי אפשר לומר שחסר מידע אסתטי. ההפך – יש עושר מידע ענק וקשה לדעת מהיכן להתחיל. נהוג להתחיל בציור של הרנסאנס, אך לא ברור למה. אם ניקח את הדרישה למידע עובדתי ברצינות נוכל להצביע על הרבה תת-תחומים של האסתטיקה אשר זכו למעמד המכובד שהיא עצמה לא זכתה לו. אזכיר רק את הדיונים המדעיים בפסיכולוגיה של האמנות, את האוספים הענקיים של אמנות עממית, אם ציור או פיסול או אמנות שימושית של קדרות-וכאן לא אוכל להימנע מלהזכיר את הביתן היפהפה לזכוכית במוזיאון ישראל- וכן את חיבוריו של מרטין בובר על החסידות שיש להם ערך עצום מכמה וכמה בחינות וכן את האוספים האתנו-מוזיקולוגיים החשובים, לא רק של בלה ברטוק אלא גם של הישראלים שתרמו רבות למקצוע צעיר זה, שמתחילה קיבל את המעמד המגיע לו של מחקר רציני. האם אחטא לטעם הטוב אם אדבר כאן על האסתטיקה המושקעת בעיצוב של מכונות? כמובן מאליו. האם מלמדים בבתי ספר להנדסה פרט זה? דומני, רק בבתי ספר לאדריכלות. חבל.

כמובן, יהיו אלה המוכנים לראות את הדיון בעיצוב המכונות אסתטיקה של המכונות. לרוב, כתולדה מכך, הם בזים לאסתטיקה. ובוודאי לא עולה על דעתם לדון באסתטיקה של מנוע המכונות. ואילו אני, נראה לי כי יש מראות מעטים מרשימים יותר מאשר חברות נערים ונערות המתלבשים על טראנטה ומנסים להחזירה לחיים. אולי יש בכך ביטוי לדעה הקדומה שלי כי החינוך חייב להיות נעים כדי שישגי את מטרתו הוא-לא כנעימות של ציפוי סוכר של גלולה מרה אלא כנעימות של מזון טעים. ואז מתערבים במנה אחת מדע וטכנולוגיה, מדע ואמנות, ושמחת-חיים כערך מוסרי עליון.

### 3. מחקר מדעי כעבודה יצירתית

כיצד זכו כה הרבה תת-מקצועות של האסתטיקה לכבוד הראוי להם, ואילו מעמדה של האסתטיקה נחות? האם זה בצדק? אודה שלדעתי יש צדק בדבר: מרבית המחקרים שקראתי על אודות האסתטיקה אני ממליץ לא לקרוא. בכך מופרכת התיאוריה כי על תחום מחקר לצבור מידע כדי שייחשב לרציני ובשל. התורה החלופית לה היא כי לשם השגת מעמד של תחום בשל ורציני, על תחום מחקר לפתח רעיונות. רעיון זה פעמים שהוא נראה חכם ופעמים שהוא נראה אוילי. במקרים כאלה ברור שהרעיון נאמר באופן חלקי: הוא אמנם הדרישה לפתח רעיונות, אך בתנאי שהרעיונות יהיו טובים. אלא שהדבר אינו מקדם אותנו: איזה רעיון טוב? מה עושה רעיון לטוב? איך אפשר לפתח רעיון טוב ולא רעיון נדוש? זו שאלה ששואלים גם האמנים, גם המדענים וגם אנשי הסטארט-אפ. תומס קון ניסה לעקוף את השאלה הזו בתורה הנקראת תורת הפרדיגמה. פרדיגמה היא דוגמה ראשית: כזה ראה וקדש: כאשר מדען חשוב מגלה רעיון חדש הנעשה פרדיגמה, אחרים מחקים אותו ומאמצים את סגנונו. דבר זה מעניין כי הוא מצביע על השווה בין

מדע לאמנות למרות מאמציו של קון לא לעסוק בכך. ואכן, את הרעיונות שפרסם קון הוא לקח ממכאל פולני אשר הדגיש את המשותף בין מדע לאמנות, בייחוד בעניין השפעת אמן גדול ומדען גדול. פולני היה פילוסוף רציני ויהיה חבל אם כעת, כאשר שמשו של קון שוקעת, תשקע גם השפעתו. פולני לא עקף את השאלה, מה עושה אמן או מדען לגדול. הוא טען שאי אפשר לענות על שאלה זו. האמן הגדול והמדען הגדול יש לו חסידים. המורכבות של החוויה האסתטית היא מהמפורסמות. ודאי שיש בה מומנטים פסיכולוגיים ומומנטים תרבותיים שונים. אזכיר כי שרדינגר דבק במשוואה המפורסמת שלו על אף שהיא נראתה פסולה-משום שלא תאמה לפרדיגמה-משום יופייה. זה נראה לרבים כאי-רציונלי. דבר זה חזר ונשנה. הייתי נוכח בחוג לפיזיקה באוניברסיטת בוסטון שבה לימדתי בהרצאה של הפיזיקאי דיראק, אשר המשוואה שלו היא תחליף לזו של שרדינגר. הוא סיפר כיצד הוא גילה את המשוואה המהוללת שלו ויושב-הראש נזף בו: ככה לא עושים מדע.

אז מה מלמדים בקורסים בטכנולוגיה? בלימודי בירושלים בזמן הכרזת העצמאות לא היו קורסים בטכנולוגיה אך היו קורסים במתמטיקה שימושית והשתתפתי בהם. קשה לומר באיזו מידה הם עסקו בטכנולוגיה. היום קשה לדבר על פעילות טכנית ללא דיון במחשב. עבור פעילות זו נוח הרבה יותר השימוש במחשב, בעיקר בתכונות המחשב של וולפראם. כמה מהקורסים בטכניון עוסקים באסתטיקה-מעט מאוד ובעיקר בחוג לאדריכלות. האם יש חשיבות לאסתטיקה עבור מהנדס מכונות? נראה כי התשובה שלילית בעליל.

הקורסים למהנדסי מכונות עוסקים הרבה במדע הפיזיקה. ההבדל בין מדע לטכנולוגיה כאן הוא בפרטים. המשוואות היסודיות של האסטרונומיה משמשות באותה מידה את המדען ואת הטכנולוג. אולם הוראת השימוש בהן שונה במצפה כוכבים ובצי: בצי היו מלמדים נוסחאות קירובים שונים למשוואות ניוטון אשר היה קל ליישם. היום אין זה כך: המחשב והתוכנות השונות להתמצאות בכדור הארץ (Global Positioning System) שחררו את הנוטים מתפקיד זה. במקום זה יש ללמד נוטים איך להשתמש במערכת GPS כלשהי ומה לעשות כאשר המערכת הזו מתמוטטת.

עוד מלמדים בקורסים לטכנולוגיה תורת השיווק. זה פחות בולט כי מרבית התלמידים מתקשים יותר במתמטיקה של האסטרונומיה או של חוזק החומרים מאשר במתמטיקה של תורת השיווק, אף כי גם חקר מערכות פשוטות יחסית של שיווק דורש ידע בכלכלה ובסטטיסטיקה ובפסיכולוגיה חברתית. אולם ברור כי לכל דיון בשיווק נכנס דיון באופנות והוא קשור לאסתטיקה במידה זו או אחרת. כל זה נדחה במשך דורות לקרן זוית בגלל ההתעלמות מהעובדה כי הצרכן מחפש הנאה. ההשפעה הרעה של המיזנתרופיה על החקר הרפואי יצאה לאור רק בעשורים האחרונים, כאשר הובהר כי

הטיפול הרפואי בנשים כמו המחקר הרפואי בנשים מפגר בהשוואה לאלה של הגברים.

כל הנאמר כאן, נראה לי, מעודד את הניסיון להביט על המחקר וההוראה האקדמיים במבט חדש, שלפיו ההנאה אינה דבר פסול או רע הכרחי. להפך: יש בעולמו של הקדוש-ברוך-הוא מספיק סבל ועלינו לדאוג לא להוסיף לו אלא להפחית אותו. אחת הטענות המקובלות ביותר בפילוסופיה היום היא של הרברט מרקוזה, המוצגת בספרו האדם החד-ממדי המבטא בוז לצרכן המודרני. תלמידיו מדברים נגד הטלפון הסלולרי בטענה כי הוא מקטין את התקשורת. הם מתייחסים לכך שאפשר לראות בבית קפה כמה אנשים יושבים ליד שולחן אחד וכולם מדברים לא זה עם זה אלא כל אחד עם הטלפון הסלולרי שלו. הרבה ממכריי רואים בטיעון זה כוח שכנוע גדול. כל מי שרואה בטיעון זה כוח שכנוע חייב לתת לעצמו דין וחשבון רציני ולתקן את דרכיו. כדי לבדוק את משקלו של טיעון זה יש להשוות את כמות התקשורת הממוצעת של אזרח מן השורה לפני ואחרי הופעת הטלפון הסלולרי. למשל, האם לפני שנוצר הטלפון הסלולרי, אנשים שישבו בבתי קפה שוחחו עם אלה שישבו עמם ליד שולחן אחד? האם לפני דור שוחחו אנשים על מה שעניין אותם או רק על כדורגל ועל מזג האוויר? אלה שאלות קשות שאין לנו מספיק מידע עליהן. הדיון על בדידות בעיר הגדולה חשוב, ויש לחפש מאמצים להתגבר עליה. מקובלת מאוד הטענה כי לפני המהפכה התעשייתית, בכפרים, הייתה פחות בדידות. לי ברור כי זה שקר גמור, אך אין לי די מידע על כך.

האם הטכנולוגיה משפרת את מצבנו או לא? על כך יש מחלוקת. מרבית הפילוסופים סבורים כי התשובה שלילית. ואז אולי לא כדאי לפתוח מכללות טכנולוגיות. לי נראה ברור כי שאלה זו אינה מעשית בכלל, שכן אי אפשר לעצור את התקדמות הטכנולוגיה בתנאים הנוכחיים. ולכן יש לחפש טכנולוגיה שתעזור להקטין את נזקי הקדמה הטכנולוגית. על כך כתבתי ספר ולא אדון בו כרגע.

# תפקידה ומקומה הראוי של ההנדסה בהתמודדות עם משבר האקלים

איתי אליאב

ד"ר איתי אליאב כתב עבודת דוקטורט הבוחנת שיטות ברגולציה סביבתית. כיום הוא חוקר את משבר האקלים, מלמד באוניברסיטה הפתוחה ובמכללת אפקה, והינו עו"ד העוסק בתחום המקרקעין.

**המאמר בוחן את תחום הנדסת האקלים (geoengineering) ככיוון אפשרי להתמודדות עם האתגר של בלימת ההתחממות הגלובלית. טענתו העיקרית היא כי בהקשר של הנדסת אקלים אין מקום לאופטימיזם טכנולוגי המאפיין באופן רגיל את תחום ההנדסה, וכי כיווני המחקר והפיתוח שבהם יש לרכז את מאמצי ההנדסה להתמודדות עם משבר האקלים צריכים להיות כפופים לתפיסה של קיימות.**

ההתחממות הגלובלית היא אחת הבעיות המדאיגות והמטרידות העומדות כיום בפני האנושות. ככל שהפעילות האנושית תמשיך להיות כרוכה בפליטה מאסיבית של גזי חממה לאטמוספירה ולא תפחית בדחיפות את הפליטות האלה באופן דרסטי, הדבר יביא לשינויי אקלים הטומנים בחובם השלכות הרסניות על עתיד האנושות, הטבע והמערכות האקולוגיות. כמו כן, אי הפחתת פליטות כאמור תקטין את הסיכוי לבלימת תהליך ההתחממות לפני שיעבור את נקודת האל-חזור. מנקודה זו ואילך גם הפחתת פליטות לא תוכל למנוע תרחישי אסונות חמורים, וחומרת המצב רק תלך ותגבר. לפיכך, קיימת הסכמה בינלאומית רחבה באשר לצורך הדחוף להפחית את פליטת גזי החממה. מדובר הן בהסכמה מדעית כפי שבאה לידי ביטוי בדוחות הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים,<sup>1</sup> והן בהסכמה פוליטית כפי שבאה לידי ביטוי בהסכם פריז שנחתם בדצמבר 2015 על ידי 197 מדינות.<sup>2</sup> בהסכם זה התחייבו המדינות להפחית את פליטת גזי החממה שלהן, ולפעול להגדלת ההפחתות במסגרת המנגנון הקבוע בהסכם.

1 הפאנל הבין ממשלתי לשינויי אקלים (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) הוקם ב-1988 על ידי התוכנית הסביבתית של האו"ם (UNEP) ועל ידי הארגון המטאורולוגי העולמי (WMO). על זכותיו עובדים אלפי מדענים מכל העולם.  
2 נכון ליום 28.7.19, מתוך 197 המדינות שחתמו על ההסכם, 187 מהן אשררו אותו. ראו: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/> status-of-ratification

באחרונה (אוקטובר 2018) הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים פרסם דו"ח המתייחס ליעדי הפחתה שאפתניים יותר מאלה שעמדו במרכז הדיון הבינלאומי בעבר.<sup>3</sup>

בעוד שדרך המלך להתמודדות עם ההתחממות הגלובלית היא הפחתת פליטות, כיום נראה כי האנושות טרם עלתה על מסלול שיוכל להוביל אותה לעמוד בהצלחה ביעדי ההפחתה הנדרשים. בפועל, כמות הפליטות העולמית של פחמן דו-חמצני לאטמוספירה

בשנת 2018 עלתה ב-2% ביחס ל-2017.<sup>4</sup> סכמת יעדי ההפחתה שלהם התחייבו המדינות בהסכם פריז אינה מובילה להיקף ההפחתה הגלובלית הנדרש, וספק אם במסגרת יישום ההסכם בעתיד יגדילו המדינות את התחייבויותיהן להפחתת פליטות באופן מספק טרם יהיה מאוחר מדי. זאת, בייחוד לאחר שארה"ב הודיעה ביוני 2017 על פרישתה מההסכם. נראה כי אנו, ילדינו והדורות הבאים נהיה חשופים להתחממות הגלובלית ולתוצאות אקלימיות מסוכנות, הכוללות איבוד ממסת הקרח בקטבים, הקצנה של אירועי בצורת וסופות, מדבור וכו', אשר צפויים להחמיר עם הזמן. אלה יגרמו לבני אדם נזקים חסרי תקדים, תנאי חיים קשים יותר, מחסור במים ומזון, התפשטות מחלות, הרס שיגרים מסופות, התמודדות עם גלי קור וגלי חום ארוכים וקיצוניים, נזקים לחקלאות, עליית מפלס הים והצפת אזורי חוף מיושבים ועוד. כל אלה יגרמו ירידה באיכות החיים, נפגעים, חולים והרוגים אין ספור, התרחבות משמעותית של תופעת פליטי האקלים ונזקים כלכליים אדירים.

במצב דברים זה, הרעיון של הנדסת אקלים (geoengineering או climate engineering) עולה לדיון יותר מבעבר. הנדסת האקלים היא תחום העוסק בפיתוח דרכים להתערבות מכוונת של האדם במערכותיו הטבעיות של כדור הארץ בקנה מידה עולמי כדי לעצור את ההתחממות העולמית. עד תחילת המאה ה-21 העיסוק בתחום הנדסי זה היה קטן יחסית. הנדסת אקלים נחשבה יומרנית ומסוכנת, ביטוי להיכרס חסר תקדים, ואף בלתי מוסרית. הרעיון של "הינדוס" האטמוספירה העולמית כדי להתאימה באופן מיטבי לצורכי האדם נתפס על ידי רבים כמגלומניה מסוכנת, ולכן היה מעין "טאבו" על עיסוק בתחום זה.

מצב זה השתנה בעקבות מאמר שפרסם זוכה פרס נובל בכימיה פאול קרוצ'ן ב-2006.<sup>5</sup> במאמרו הוא קרא לפתח את המחקר על הזרקת חלקיקי גופרית לסטרטוספירה (אחת

3 First, P. J. (2018). *Global Warming of 1.5 °C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C 3 above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* <https://www.ipcc.ch/sr15> ניתן למצוא את הדוח ב: 4

4 British Petroleum (2018). *Renewable Energy—BP Statistical Review of World Energy 2019*, 68th edition, British Petroleum: London, UK

5 קרוצ'ן הוא חוקר של האטמוספירה אשר קיבל את הפרס ב-1995 על מחקרו על החור באוזון.

השיטות של הנדסת אקלים).<sup>6</sup> מאז, העיסוק בהנדסת אקלים נהפך בעיני רבים מאוד לגיטימי, והתפתח משמעותית. אינספור מאמרים ומחקרים שהושקעו בהם תקציבים גדולים פורסמו בתחום, ומה שנראה בעבר כמדע בדיוני שאין בו ממש נהפך בהדרגה לשיטות ואמצעים שחלקם מפרנסים פרויקטי סטארט-אפ, ומהווים מוקד המושך השקעות, רישום פטנטים ועוד.<sup>7</sup> עם זאת, השיטות המפותחות בתחום אינן בשלות עדיין ליישום וקשה לחזות מה יהיה מקומן הפוטנציאלי בהתמודדות עתידית עם ההתחממות הגלובלית, אם בכלל, אך תרחישים שונים שנערכו על ידי הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים (IPCC) לגבי ההתמודדות עם ההתחממות הגלובלית מניחים כי שיטות של הנדסת אקלים עשויות לתפוס מקום חשוב במסגרת מסלולים פוטנציאליים להתמודדות עם ההתחממות.<sup>8</sup>

ניתן לומר בהכללה שיישום שיטות של הנדסת אקלים בקנה מידה עולמי כרוך בתופעות לוואי שייגרמו למערכת האקלים ולמערכות אקולוגיות. חוסר הוודאות לגבי ההשלכות רב ותחום זה כולל בחובו סכנות רבות. זאת, בעיקר לגבי שיטות להחזרת קרינת השמש המגיעה לכדור הארץ אל החלל – קבוצת שיטות המכונה "ניהול קרינת השמש" (Solar Radiation Management [SRM]). עם זאת, לא ניתן לשלול את האפשרות כי התקדמות המדע וההנדסה תוכל להעמיד בעתיד סכמות ישימות ובטוחות יותר של הנדסת אקלים. אך יעד כזה נראה עתידיני מאוד, ויהיה ניתן אולי להגיע אליו בעתיד רחוק ביותר, בעוד שעלינו לטפל במשבר האקלים ביעילות כבר עכשיו, ובאופן דחוף. זאת ועוד, גם אם התפתחות המחקר בתחום זה תוכל להציע סכמות ישימות באופן בטוח (מה שנראה כרגע רעיון תיאורטי בלבד), יהיה על האנושות להגיע להסכמים בינלאומיים לגבי אופן היישום, ניהולו, הרגולציה שתחול עליו וכיו"ב. מאחר שיישום סכמות הנדסת אקלים באופן גלובלי לא ישפיע על האקלים באופן הומוגני, יהיה קשה מאוד עד בלתי אפשרי להגיע להסכמה בינלאומית כוללת על אופן יישומו.

כך, למשל, שיטה של הנדסת אקלים המציעה להזריק גופרית לסטרטוספירה כדי להגדיל את מידת החזרה של קרינת השמש לחלל צפויה לגרום להחלשת המחזור ההידרולוגי העולמי. החלשה זו תנבע ממגוון השפעות של הגופרית על תהליכים מיקרו-פיזיקליים כגון התגרענות (נוקליאציה), התעבות, התאדות ועוד.<sup>9</sup> משמעות הדבר היא

---

Crutzen, P.J. (2006). "Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma?". *Climatic Change*, 77(3), 211-220

Hamilton, C. (2013). *Earthmasters: The Dawn of the Age of Climate Engineering*. New Haven & London: Yale University Press, 74-76, 79-82

Clarke, L., Jiang, K., Akimoto, K., Babiker, M., Blanford, G., Fisher-Vanden, B., ... & van Vuuren, D.P. (2014). "Assessing Transformation Pathways". In: O. Edenhofer et al., (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 484-489

.Hamilton (2013), 63, 61 9

ירידה בכמות המשקעים באופן שישפיע על מיליוני אנשים. בין השאר, חוקרים צופים כי יחולו שינויים בתדירות המונסונים בהודו ובשאר דרום-מזרח אסיה<sup>10</sup> אם כן, מדוע שמדינות באזורים הנפגעים יסכימו לכך?

את הקושי הצפוי בגיבוש הסכמות על אופן היישום של הנדסת האקלים יש לראות על רקע קשיים ומחלוקות בינלאומיים בכל הקשור לגיבוש הסכם עולמי להפחתת פליטות. עיקרן של מחלוקות אלה נסב על השאלה המוסרית – כיצד יש לחלק את נטל ההפחתה בפליטת גזי החממה בין מדינות העולם באופן הוגן וצודק, ובהתייחס להיסטוריית הפליטות של המדינות השונות. מחלוקת סביב עניין זה הביא לכישלון ועידת האקלים שנערכה בקופנהגן ב-2009 – ועידה שהסתיימה מבלי שנחתם הסכם גלובלי להפחתת פליטות למרות הציפיות הגבוהות שהיו לקהילה הבינלאומית מהוועידה ערב כינוסה. כישלון זה הוביל להבנה כי יהיה קשה עד בלתי אפשרי להגיע להסכמה בינלאומית על אופן החלוקה בין המדינות השונות של כמות הפליטות הכוללת שאותה יש להפחית לצורך ייצוב האקלים. לכן, לצורך גיבוש הסכם פריז ב-2015 וכדי שהכישלון של ועידת קופנהגן לא יחזור על עצמו, המדינות התבקשו להצהיר על כמות הפחתת הפליטות שכל מדינה תהיה מוכנה לקחת על עצמה באופן וולונטרי. למרבה הצער, הכמות הכוללת של ההפחתות שהתקבלה מההצהרות הוולונטריות של המדינות השונות אינה מספיקה, כך שגם אם המדינות יעמדו בכמויות ההפחתה המוצהרות שלהן, פתרון משבר האקלים אינו נראה באופן. ככל שהקהילה הבינלאומית אינה מצליחה להגיע להסכמות בדבר חלוקת מכסה כוללת של הפחתת פליטות – דבר פשוט יחסית, כיצד היא תצליח להגיע להסכמות לגבי יישום של הנדסת אקלים שהינו נושא מורכב ומסובך עשרות מונים הכולל אינספור אפשרויות, שיטות, ושילובים בין שיטות, כאשר למדינות שונות יהיו אינטרסים מנוגדים ביחס לחלופות שונות?

כמו כן, ככל שהאנושות תפנה בעתיד לטכנולוגיות של הנדסת אקלים ללא הפחתה דרסטית בכמות הפליטה של גזי החממה, יישומן של שיטות הנדסת האקלים יידרש להמשך לטווח זמן ממושך מאוד, ומנקודת המבט הנוכחית – בלתי מוגבל. יהיה בכך בכדי להעצים את בעיית השפעות הלוואי של הנדסת האקלים על מערכותיו הטבעיות של כדור הארץ ואת הסיכונים הכרוכים בכך. נוסף על כך, יידרש ניהול אנושי תמידי של האטמוספירה. תלות כזו בניהול אנושי מסוכנת לכשעצמה. שהרי, היא תהיה כרוכה ברגישות גבוהה לכל אירוע שעלול להביא להפסקתו, ולהפסקת היישום של הנדסת האקלים בכלל, או לחוסר יכולת של האנושות להמשיך ולהתמיד בו. למשל, במצבים

---

Hamilton (2013), 63; Bala, G., Duffy, P., & Taylor, K. (2008). "Impact of Geoengineering Schemes on the Global Hydrological Cycle". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(22), 7664-7669; Rasch, P.J., Tilmes, S., Turco, R.P., Robock, A., Oman, L., Chen, C.C.J. & Garcia, R. R. (2008). "An Overview of Geoengineering of Climate Using Stratospheric Sulphate Aerosols". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1882), 4007-4037

של חוסר הסכמה בינלאומית על אופן המשך היישום, מתחים גאו-פוליטיים או מלחמות, אסונות טבע או משברים כלכליים שבעטיים לא ניתן יהיה לממן את המשך היישום. ככל שגורמים אלה או אחרים יגרמו להפסקת היישום של הנדסת האקלים, תתרחש עקב כך התחממות אקלימית מהירה, עוצמתית ומסוכנת מאוד – בשל הצטברות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה שתיגרם מהמשך הפליטות לאורך השנים, במקביל ל"ניהול" האקלים באופן מלאכותי.

אם כן, בהקשר של הנדסת אקלים אני סבור שאין מקום לאופטימיות טכנולוגית המאפיינת באופן רגיל את תחום ההנדסה. פיתוח הנדסת אקלים אינו הכיוון הרצוי להתמודדות עם משבר האקלים, ובוודאי שלא בטווח הזמן המידי. מן הראוי לשמור על צניעות ולא להיסחף לחלומות הנגועים בהיבריס לגבי ניהול אנושי של האטמוספירה. כיווני המחקר והפיתוח שבהם יש לרכז את המאמצים צריכים להיות כפופים לתפיסה של קיימות. במסגרת תפיסה כזו, יש להקטין את התערבות האדם באטמוספירה על ידי הפחתת הפליטות של גזי החממה בתקווה שהמערכת האקלימית תתייצב. בהתאם לכך, יש לפתח את ההנדסה ולהשתמש בה כדי לצמצם את פליטת גזי החממה, כדי לאפשר מעבר אנרגטי מלא (100% או קרוב לכך כמה שניתן) לאנרגיות ירוקות בתעשייה, בתחבורה ובייצור החשמל. יש להמשיך לשכלל את השיטות שיאפשרו מעבר אנרגטי כזה, להעלות את רמת היעילות ולשאוף להמשך הורדת העלויות שלהן. לאחרונה אנו עדים לירידה במחירי ההפקה של אנרגיה סולרית, להתפתחות של פתרונות בתחום האחסון והאגירה של חשמל וכו'. זהו כיוון מבורך.

בהקשר הישראלי יצוין כי ב-18.7.29 התקבלה החלטת ממשלה מספר 4079 שכותרתה: "היערכות ישראל להסתגלות לשינויי אקלים: יישום ההמלצות לממשלה לאסטרטגיה ותוכנית פעולה לאומית". כפי שניתן ללמוד מנוסח הכותרת, ההחלטה מתמקדת בהיערכות ישראל להסתגלות לשינויי אקלים. כמובן, ההיערכות חיונית ביותר ולתחום ההנדסה תפקיד חשוב בכך. באפשרותו לפתח אמצעים טכנולוגיים והנדסיים שסייעו לנו, ולמדינת ישראל, להתמודד עם אירועי קיצון, מצבי חירום אקלימי ומפגעי אקלים.

עם זאת, ההחלטה אינה מתייחסת ליעדי הפחתת הפליטות של ישראל. נכון לשנת 2016, שיעור האנרגיה הירוקה בישראל מהצריכה הכללית עמד על כ-2% בלבד.<sup>11</sup> היעד של מדינת ישראל הוא להפחית את צריכת החשמל ממקור לא מתחדש בשיעור של 17% לפחות עד שנת 2030, ולהגיע לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשיעור זהה לפחות בשנת 2030, הכול לעומת תרחיש עסקים כרגיל.<sup>12</sup> זהו יעד נמוך, במיוחד לנוכח המגמה

11 טל, אלון (2017). והארץ מלאה: התמודדות עם פיצוץ אוקלסין בישראל, תל אביב: הוצאת הקיבוץ המאוחד, עמ' 40.

12 פרואקטור גיל (2017). הפחתת פליטות גזי חממה בישראל: דו"ח מעקב שנתי אחר יישום התוכנית והיעדים הלאומיים להפחתת פליטות גזי חממה, המשרד להגנת הסביבה, עמוד 3.



הדמוגרפית של גידול האוכלוסייה בישראל, וגם ביחס ליעדים של מדינות מערביות אחרות. את היעדים הללו יש לתקן ולשפר, ולקהילת המהנדסים במוסדות השונים להשכלה גבוהה בישראל ומחוצה לה יכול להיות תפקיד חשוב בכך. באפשרותם לשלב כוחות לצורך עריכת מחקר שיבחן את היתכנות ופוטנציאל החלפת האנרגיה המבוססת על דלק מאובנים באנרגיות ירוקות בישראל, ולהציע "מפת דרכים" למעבר אנרגטי משמעותי, מותאם למדינת ישראל. מפת דרכים כזו צריכה לשמש בסיס לתוכנית שאפתנית למעבר ל-100% (או קרוב לכך עד כמה שניתן) אנרגיות ירוקות במשק החשמל והתעשייה בישראל, ולהציב בפני הדרגים המקצועיים במשרדי הממשלה ובפני מקבלי ההחלטות הפוליטיים ראיות וחישובים שיראו כי פיתוח תוכנית ישימה לאור מפת הדרכים הוא דבר אפשרי. אין להניח למדינה להמשיך בגרירת הרגליים ולהשאיר את היעדים הנמוכים להפחתת פליטות על כנם ללא תגובה מקצועית מצד האזרחים – תגובה מתחומי ההנדסה השונים ותחומים משיקים ונוספים, שיראו למנגנונים האמונים על נושא זה מצד המדינה כיצד ניתן לשפר את היעדים להפחתת הפליטות באופן דרמטי, ואשר יאירו את היעדים והתוכניות של מדינת ישראל בתחום הפחתת הפליטות באור ביקורת. אם המדינה אינה פועלת, או טוענת שהדבר אינו אפשרי, על החברה האזרחית להראות לה שיעדים שאפתניים אפשריים.

יש להפוך את ישראל, שכיום משתרכת מאחור ואף לא השכילה לנצל מספיק את שפע השמש באזורנו, למובילה עולמית בפתרונות טכנולוגיים למשבר האקלים ולהפחתת פליטות, ולהוות דוגמה ואור לגויים בכל הקשור למעבר אנרגטי שאפתני לאנרגיות מתחדשות. תרומת המהנדסים להתמודדות עם משבר האקלים מהווה תנאי חיוני ביותר והכרחי, אם כי לא מספיק, להתמודדות מוצלחת עם משבר האקלים. ככל שקהילת

המהנדסים תעמיד "מפת דרכים" למעבר אנרגטי, או הצעה מקצועית וישימה למעבר שאפתני מאוד לאנרגיות ירוקות, יוכלו ארגוני החברה האזרחית וציבור האזרחים להפעיל לחץ על המדינה ועל מקבלי ההחלטות הפוליטיים כדי שאלה יבחנו את מפת הדרכים או התוכנית וישקלו לאמץ אותן. חלה על קהילת המהנדסים אחריות מוסרית לעשות כן. אחרי הכול, מתברר שהפיתוחים ההנדסיים, שהובילו למהפכה התעשייתית ושיפרו ללא היכר את רמת הרווחה, איכות החיים והבריאות שממנה אנו נהנים, מובילים בסופו של דבר לאסון בדמות משבר האקלים. על ההנדסה ש"הכניסה אותנו לבוץ" לשחק עכשיו תפקיד חשוב בהיחלצות ממנו, בהצבת חזון ישים בפני מקבלי ההחלטות בדרג הפוליטי של מעבר אנרגטי מלא (או קרוב למלא) לאנרגיות ירוקות אשר יוכל להיעשות במהירות באופן יחסי – ויפה שעה אחת קודם.

# קובעת התרעלה – אקטואליזם וסוף המדע

זאב בכלר

פרופ' זאב בכלר הוא פילוסוף של המדע. בין שאר פרסומיו הופיעו הספרים: "שלוש מהפכות קופרניקניות", "תולדות המחשבה המדעית", "פילוסופיה של המדע" ו"פילוסופיית המדע של אריסטו".

ידוע לכולנו שאנו נמצאים בסופה רוחנית חדשה וקשה ולו היו נותנים שמות לסופות רוחניות היינו מכנים אותה בוודאי "טראמפ". אלא שהסופה הזו לא באמת חדשה כי היא המשכו של מאבק על טבע התבונה האנושית שנולד ביוון העתיקה, ועל טבע המדע כמאפיין מהותי של התרבות המערבית. מאמר זה משרטט כמה נקודות שיא ומפנה של המאבק על תפקידו המבאר של המדע ומצביע על בכואתו בתרבותנו. הוא מתחיל עם הוצאתו להורג של סוקרטס ואתו הופעת רעיון המדע שאינו מוטל בספק, ועם אריסטו שדרישתו למדע ודאי כזה הולידה את אובדן האינפורמטיביות בפיזיקה. אחרי כ-2000 שנה המאבק התעורר שוב בעת החדשה עם שפינוזה שאימץ את תורת אריסטו והיה מוכן לשלם גם את המחיר שהוא אובדן האתיקה והפיכתה לאמונה תפלה, ולעומתו ניוטון שחזר לרגע לאינטואיציות אינפורמטיביות ובנה פיזיקה עם ישויות מוחלטות, אך דווקא בגלל זה הן רק משוערות. המאמר מסתיים בשני המהלכים האחרונים של המאבק נגד מדע אינפורמטיבי, כמאה שנים לאחר ניוטון, עם תורתו של קאנט ודרישתו למדע שבו השכל מחוקק לטבע את חוקיו, ועם איינשטיין ממשיכו, מאה שנים נוספות אחר כך. כמו כן נטען שהכול בסדר כי העולם החופשי רגיל כבר לבחור לו מנהיג הולם לשיאה של ההשמדה הטוטאלית של התבונה.

## 1. סוקרטס על סיבת היופי

כרבע שעה לפני ששתה את כוס הרעל, סיים סוקרטס להטיל בשקט פצצה אשר תתניע תוך 50 שנה את המהפכה המדעית הראשונה בין ואשר לאחר 2405 שנים תוליד את המהפכה האינשטיינית ואת המאה ה-20 הנוראה על אסונותיה ופלאיה. ואלה היו מילותיו:

אינני מבין עוד את יתר הסיבות המחוכמות הללו ואין בידי להשיגן. ואם אומר לי אדם על דבר-מן-הדברים משום מה יפה הוא – אם בשל צבעו הרענן או צורתו וכיוצא בזה -מושך אני ידי מכל אלו שהריני מתבלבל בכולם, ורק בזאת אני מחזיק בפשטות ובישרות, ואולי בתמימות: ששום דבר אחר אינו עושה אותו יפה אלא היפה ההוא אשר נוכח לו או נשתתף לו או הגיע אליו בכל דרך שהיא. (...)

שעל כן איני מוסיף לקבוע בוודאות כלום מלבד זאת שכל הדברים היפים --- יפים הם בגלל היפה. שזאת הדרך הבטוחה ביותר לענות לעצמי ולאחרים ובדרך זו נראה לי שלא אכשל לעולם אלא אוכל לענות בבטחה שהדברים היפים הם יפים בגלל היפה. (פיידון-100)

(101)

הוא הכריז כאן על עמדה שכמותה העולם עדיין לא הכיר, והיא שהסברים סיבתיים הם חסרי משמעות ויש לוותר עליהם מכל וכל. הוא הביא טעם אחד בלבד לעמדתו, והוא שאין בעולם הממשי סיבה הגורמת את האירוע או המקרה הזה כאן ועכשיו, שהרי האירוע הזה לא היה מתרחש לולי ליוו את הסיבה הזו עוד אינספור סיבות היקפיות שאנו קוראים להן "תנאים הכרחיים":

הנה מי שטוען כך אינו מסוגל להבחין שהסיבה האמיתית היא משהו השונה מאותו הדבר שבלעדיו לא תוכל הסיבה להיות סיבה. (פיידון

98-99)

אם הדיבור הסיבתי דורש הפרדה בתוך אינסוף התנאים ההיקפיים בין אלו שהם הכרחיים בלבד ואלו שהם מספיקים (אם כי רק ביחד עם "ההכרחיים!") הרי שההסבר הסיבתי יהיה לכן תמיד "מבולבל" (ולכן כל ההסברים הסיבתיים "רק בלבדו אותי" פיידון 100) ויהיה שרירותי ולכן חסר וודאות כי אפשר תמיד לבחור את שתי הקבוצות, ההכרחית והמספיקה, אחרת.

## 2. על הביאור המדעי: אריסטו

כך נולדו שתי תורות הביאור המדעי שנועדו לשלוט בחשיבה המדעית ובעקבותיה בחשיבה ובדיבור האפשרי של התרבות המערבית עד ימינו. האחת טוענת שהיופי מבאר את היפה הזה-כאן כמו שהכללי מבאר את הפרטי, כלומר: הפרח הזה יפה כי הוא שייך לקבוצת הדברים היפים. זהו באור לוגי בלבד, לא פיזיקלי. והשנייה טוענת שהוא מבאר אותו כמו שפרטי אחד מבאר פרטי אחר, כלומר, באור פיזיקלי, אך לא לוגי, כמו שהאש הזו מבארת את החום ההוא.

אנו נאמר מעתה שרק הביאור הפיזיקלי הוא אינפורמטיבי ואילו הביאור הלוגי הוא אנ-אינפורמטיבי. אפלטון החליט שעל הפילוסופיה כלומר המדע להעדיף את הביאור האינפורמטיבי והמבלבל והלא-וודאי, ואילו אריסטו תלמידו המרדן של אפלטון העדיף את הביאור האנ-אינפורמטיבי כפרדיגמה של הביאור המדעי כי רק הוא יוכל להיות ודאי ולכן בהיר וסופי.

במהלך טיעון מפורט הציע אפלטון שהכרת המתמטיקה אפשרית לנו רק כי נשמתנו, בגלגוליה לאחר המוות, שוכנת בקרבת אזור האידאות, ובגלל "קירבת טבע" היא מכירה אותן ישירות. האידאות האלו הן פיסות אינפורמציה טהורות, ולכן לאחר היולדנו אנו נזכרים בהן כידע אינפורמטיבי טהור שהוטבע בנו, ולהיזכרות הזו אנו קוראים למידה (מן הניסיון או מן הספרים או מן המורים או מן המחקר וכו').

מכיוון שמושגי המתמטיקה הוטבעו בנו ישירות על ידי הכרה ישירה של האידאות האלו, הידע המתמטי שלנו כמעט וודאי. כמעט, כי ראשית הוא אינפורמציה טהורה המעורבת בנפש האנושית, וערוב זה גורם להיזכרות פגומה, ושנית כי הנפש הזו עצמה מעורבת בגוף שהוא חומר הזר לה והמסרב להיכנע לה וכך מפריע לה בהיזכרותה, וכך המתמטיקה הידועה לנו סובלת מספק. כך, אפלטון טען שלו הייתה המתמטיקה וודאית היא לא הייתה מכילה אקסיומות כלל (כמו אקסיומת המקבילים שכבר אז החלה לרכז את חשדות המתמטיקאים). כך השתמע שרק מפגש האידאות הטהורות עם הנפש הלא כל כך טהורה, ואחר כך מאמצי ההיזכרות של הנפש השוכנת עתה בגוף החומרי במפגש הזה, הם מקורות הספק באינפורמציה המתמטית שאנו מגלים כמדענים. בכך המדען החוקר הוא דגם של מפגש עולם האידאות עם עולם החומר בכלל, מפגש הטוהר המושגי עם אופל החומר בעולם הפיזיקלי. לפי סיפור המפגש הזה, האידאות פועלות על הטבע החומרי כסיבות היוצרות ביחד את התופעות, ומדע הטבע מיועד לבאר את התופעות על ידי גילוי ההוכחה שהן נגרמות על ידי האידאות כסיבותיהן. אפלטון אייר בפרוט איך הביאור המדעי של העולם יהיה העמדת כל תופעותיו על ארבע אידאות (נקודה, קו, ושני משולשי-היסוד) כך שהעמדה זו היא הביאור הסיבתי והאינפורמטיבי המדעי של העולם. בכך שהציג אותו כסיפור (מיתוס) אפלטון הבהיר שאין בו כלל כוונה לוודאות והסביר בפרוט שמדע הטבע אינו רשאי לכוון ליותר מאשר להיות "סיפור סביר". וכך קבלה מימרתו של סוקרטס פשר אינפורמטיבי סיבתי לפיו הדבר נעשה יפה כי האידאה של היופי פעלה עליו וגרמה ליופיו. סוקרטס היה נדהם לו שמע זאת ממעריצו ותלמידו, אבל היה מבין לנפשו.

אריסטו עסק רבות במיתוס הזה של מורו וטען שהפתרון הזה כולו הבל כי נפרדות האידאות מן הנפש, ונפרדות הנפש מן הגוף, הן הבלים. כנגד אפלטון הוא טען שעד כמה שהאידאות שלו הן פוטנציאלים בלבד לאיזו אקטואליות הרי שככול פוטנציאלי הן

נטולות כל ממשות. בכך הוא המשיך אל ניסוח הפתרון האקטואליסטי הראשון לפלא המתמטיקה, כלומר לשאלה כיצד המתמטיקה אפשרית. אנו יודעים שהיא אינה מדווחת על עובדות בעולם התופעות שלנו (לשום משולש תופעתי אין באמת 180 מעלות). ואם היא איננה דיווח על עובדות בעולם האידיאות כי הוא אינו ממשות, על מה היא מדווחת בכלל? אריסטו בנה את פתרונו סביב התזה שכל המושגים הכלליים אינם עצמים ואינם אינפורמציה או סיבות כלל, אלא הם פעילויות השכל והדמיון בלבד ואין בהם ממשות מעבר לכך. הוא נפרד מהן במילים "ביי ביי אידיאות", ועבר לביאור פעילויות הנפש האלה. הוא קרא להן "הפשטה" ו"חלוקה" או "חיתוכים" ועוד, שהם עיבודים של הדבר הנתון לנו בחושים, כמו חיסור כמה מתכונותיו, וקיבוץ תכונות אחרות, וחלוקה לקבוצות על פי יחס הדמיות, ומיפוי הקבוצות האלו על פי יחסי הכלה ודחיקה, ועוד. ולכן, לפעולות שכליות כאלו על הדבר החושי אין תוצר כלל מלבד המושג שנוצר על ידיהן שהוא רק פעילות החשיבה הזו. המתמטיקה היא פעילות נפשית של חיבור וחיסור פעילויות אחרות כאלו שבסופן הן המספרים וצורות הגיאומטריה ומשפטיה והוכחותיה. אריסטו כינה את כל המושגים או פעילויות הנפש האלו "צורות" ואת המתמטיקה ומדע הטבע הוא ראה כחקר הצורות.

זו הייתה הפעם הראשונה שבה הוצג הרעיון שהמדע מצליח בעבודתו רק כי הוא עוסק בצורות אשר שכלנו בונה לפי צרכיו ורצונו ויכולותיו ואשר משכנן היחיד הוא כשריה ופעילויותיה של הנפש. אלא שזה היה גם מה שאיפשר לאריסטו לטעון שהמדע חייב להיות וודאי כתנאי הכרחי למדעיותו וכי הוא מסוגל להיות וודאי רק כי הוא אינו נושא שום אינפורמציה על העולם. אין אידיאות נפרדות, אין אינפורמציה נפרדת, יש רק פעילות השכל היוצרת לעצמה הפשטות וחיתוכים וקבוצות והכלות והפרדות וכן הלאה, אך אין בכל אלו יומרה לאינפורמטיביות כי יש בהן וודאות מושלמת, וזהו טבע המתמטיקה והפיזיקה. וכך נבנתה התכנית לפתרון האקטואליסטי הסטנדרטי לפלא קיומו של המדע אשר תואמץ על ידי שפינוזה ואח"כ על ידי קאנט ואחכ על ידי כולנו.

בצעד אריסטוטלי זה הפך המדע כולו לטענה הכרחית לוגית ולכן בהכרח גם ריקה מאינפורמציה. והנה, אריסטו השתמש בביטוי "להגיד דבר אחד על דבר אחר" בתורת התארים שלו, ואנו נשתמש בו כאן כדי לומר שטענה היא אנ-אינפורמטיבית כאשר לא נאמר בה דבר אחד על אחר אלא רק על עצמו כך שהנשוא נכלל כבר בנושא המשפט. המסקנה הגדולה של האפיון האריסטוטלי של המדע הייתה שעד כמה שהמדע יכול להיות ודאי הוא יהיה גם אנ-אינפורמטיבי. מכאן התבקשו כמה תוצאות מעניינות לגבי תכניו האפשריים של המדע.

תוצאה חשובה אחת של הטוהר וההכרחיות הלוגית של המדע האריסטוטלי הייתה שהוא חייב להימנע מהנהגת כוחות מניעים כבאור לתהליכי הטבע. זאת מכיוון שבביאור כזה ייאמר דבר אחד, המניע או הכוח, על דבר אחר, הדבר המונע, והוא יהיה לכן ביאור אינפורמטיבי ולכן חסר ודאות.

המסקנה הייתה מהפכנית: בטבע, שאותו המדע מבקש לשקף, אין אילוצים, לא חיצוניים ולא פנימיים, ולכן תהליכי הטבע מונעים על ידי עצמם בלבד, כלומר מתוך הכרח לוגי בלבד. המדען האריסטוטלי רואה בכוחות יצורים מדומיינים כי הם אינם אקטואליים לחושינו והוא ביטא זאת כשהסביר שהאבן נופלת "מעצמה" או "מטבעה" או על פי "טיבעה". זהו "הבאור על פי הטבע", האומר שהאירועים בטבע הם הכרחיים לוגית ולא דינמית, כלומר ללא כוחות או אילוצים פיזיקליים, וכי לכן כל ביאור דינמי של הטבע הוא עיוות גמור וטעות שיטתית.

כמו הכוחות כך גם "חוקי הטבע" הפכו לדברים נסתרים נוספים ומיותרים, ותוצאה זו קבעה את המאפיין המהותי של האקטואליסט לכל מדע טבע שהוא מן האפשר. כדי שמדע הטבע יהיה וודאי הוא חייב לעסוק בדברים אקטואליים לחושינו, כך שההכרח היחיד בעולם יהיה לוגי, כי לא יהיו בו כוחות ואילוצים וחוקי טבע ויתר הדברים הלא-אקטואליים לחושינו. למדע טבע כזה נקרא לכן "אקטואליסטי" והוא יהיה לא רק א-דינמי, זאת אומרת, ללא כוחות, אלא גם א-נומי, זאת אומרת, ללא חוקים כיצורים נעלמים המאלצים את התופעות. למדען הזה קראנו כבר אקטואליסט והוא יהיה ברבות הימים מקורו ומרכזו של רעיון הפוסט-אמת ועידן הפייק-ניוז.

חשוב בנקודה זו לראות ששני אלו, הא-נומיות והא-דינמיות שהתחייבו מתוך הוודאות כתנאים הכרחיים לאפשרותו של מדע בכלל, יצטרפו עתה בהקבלה ללוגיות ולאנ-אינפורמטיביות ההכרחית של המדע האקטואליסטי. ביחד הם יאפשרו את הניתוק הסיבתי של העולם מכל האלים ובכך את הוויתור הסופי של מדע הטבע על האלים. אריסטו צעד גם את הצעד הזה בכך שוויתר לגמרי על רעיון הבריאה ואתו על אפשרות הסיבה המניעה הראשונה. הוא ביטא זאת בכך שהפך את האל לסיבה שאינה פועלת על העולם אלא משמשת כ"תכלית" בלבד שאליה העולם "משתוקק". אלא שהוא גם הוסיף והסביר בפרוט שהסיבה התכליתית אינה מניעה כלום אלא היא רק סיבה לוגית. בכך הובהר לקורא שאין לאל שום תפקיד בהנהגת העולם והמסקנה הייתה שכלום לא ברא את העולם וכלום לא מקיים אותו וכלום לא מניע אותו, אלא העולם קיים מעצמו ומניע את עצמו ואינו תלוי בשום דבר מחוצה לו. העולם אוטונומי לחלוטין והחל מן האקטואליזם הזה של אריסטו הלך העולם ונדמה יותר ויותר לאלוהים עצמו, סיבת עצמו ובורא עצמו ומניע עצמו. שפינוזה, התלמיד הרציני ביותר שקם לאריסטו לאחר כ-2000 שנה, יקרא לכן לעולם "עצם" ויזהה אותו עם אלוהים.

רעיון האוטונומיות של התנועה ושל הטבע כולו חלחל אצל אריסטו מדיבורו על הטבע או העולם כולו אל דיבורו על הקיום והתנועה של חלקי הטבע כלומר הדברים הטבעיים. כך, חמשת היסודות המרכיבים את חומר העולם נעים מעצמם, אל מקומותיהם הטבעיים, מבלי שמשוהו מניע אותם, לא מחוצה להם ולא מבפנים להם. ומכיוון שהם

מהווים בהרכבותיהם השונות את כל הדברים בעולם הטבע, נבע שכך בדיוק נעים גם כל הדברים הטבעיים, כלומר, מעצמם וללא שום מניע, פנימי או חיצוני.

מכאן התחייב שכאשר אנו אומרים שהדבר הטבעי נע מכוח עצמו המילה כוח, (דינמיס ביוונית, פּוֹטֶנְטִיָה בלטינית, וקוֹאַת בערבית ביניימית), אינה מסמנת באקטואליזם שום דבר ממשי בעולם. וכאשר נאמר שיש בכוחו של הדבר הזה לעשות כך וכך, שוב אין המילה "בכוחו" מסמנת שום דבר ממשי בדבר או בעולם. היא מציינת משהו שקיים רק "בכוח" ולכן לא בממשות, כלומר, שהוא דבר פוטנציאלי ולא אקטואלי.

וכך ניתן להבין גם את המלחמה הגדולה שאריסטו נלחם נגד תורת האידאות של אפלטון. אריסטו הסביר שהאידאות האלו הן יצירי מחשבה בלבד, וקיימות רק "בכוח" כלומר רק כפוטנציאלים, ולכן אינן ממשיות ואינן יכולות לשמש בביאורים סיבתיים במובנם האקטואליסטי. כך גם ביאר אריסטו את טבע המתמטיקה והגיאומטריה, כלומר, כל הדברים המתמטיים הם פוטנציאלים בלבד, יצירי שכל ודמיון, ואין להם שום ממשות בעולמנו.

### 3. על הכוח כקנה מידה של הצדק: שפינוזה

#### 3.1. אקטואליזם טרי

שפינוזה נכנס לסיפור כי הוא זה שפיתח את הנוסח המודרני הראשון של האקטואליזם של אריסטו. ה אתיקה של שפינוזה פורסם 10 שנים לפני ה פרינקיפיה של ניוטון, ובכך היו שתי היצירות האלו לסמלים המודרניים של שתי פילוסופיות המדע הגדולות עד היום. האקטואליזם של שפינוזה עומד על שלוש התוצאות הופכות-עולם:

1. הטבע שלם ועצמאי ואין לו סיבה ראשונה שהיא המניע שלו, או סיבה אחרונה שהיא תכליתו, אלא הוא קיים מעצמו ומניע עצמו. מכיוון שהעולם הוא סיבת עצמו, תוכלו לקרוא לעולם או הטבע גם אלוהים.

2. ואכן כמו אלוהים גם לטבע אין חוקים הקובעים את מהלכו. אין "חוקי טבע" ולכן אין בטבע "כוחות" המאלצים את הדברים הטבעיים לנוע על פי "חוקים".

3. הסיבות וההכרח והחוקיות והכוחות בדיוק כמו התכליות הם אמונות תפלות של ההמון. אלו הם דברים פוטנציאליים בלבד ולכן אין בהם ממש או אקטואליות.

בדוגמאות של "כל המושגים והאמונות התפלות" של "ההמון" שפינוזה הכניס גם "טוב ורע, חטא ומידת-זכות, שבח וגנאי, סדר וערבוביה, יופי וכעור" (אתיקה א: נספח: 116), את הרעיון ש"האלים כיוונו הכול לשימושם של בני האדם" (אתיקה א: נספח: 117), ואת האמונה ש"אלהים פועל למען תכלית" (אתיקה א: נספח: 118). כל אלו הן רק אמונות

תפלות של האדם. חשוב ביותר לראות שהוא טען לאורך כל האתיקה שגם סדר ואי-סדר בטבע אינם אלא יצירי-דמיון שנפשנו ממציאה לעצמה ואין להם ממשות כלשהי בעולם האקטואלי. שפינוזה לא ריכך את ביטול ה"סדר בדברים" ולא סייג ביטול זה על-ידי שום הצעה בדבר מין אחר של סדר, אלא להפך, הוא המשיך והבהיר שמושג הסדר בטבע איננו יכול להורות אל שום דבר המצוי "בדברים", ז"א, נפרד מן הנפש, "כאילו היה הסדר דבר מה [ממשי] בטבע מלבד יחסו לכוח הדמיון שלנו". (אתיקה א:נספח: 120) ולאחר שהסביר שהטלאולוגיה העממית גם היא אמונה במין סדר אשר מייחסים אותו לכוננת אלוהים ולרצונו ודמיונו, הוא המשיך והרחיב את טיעונו בקשר לכל "יתר המושגים" שמנה, ז"א, אין הבדל בין "הטוב והרע", "היפה והמכוער", מחד, לבין "המתוק והחמוץ", מאידך.

האתיקה שנבעה מן העקרונות האלו הייתה לכן אתיקה ללא ערכים כשם שהפיזיקה שנבעה הייתה ללא חוקים או כוחות. הטריק היה שעולם ללא כוחות הוא גם עולם ללא אלימות, ללא טוב אך גם ללא רוע. במקומם יופיע הטבע והטבעי ו"המעצמו בלבד", ולכן יתברר שכל מעשי האדם נעשים מתוך חופש גמור כי הם תמיד נעשים "מעצמם", ושפינוזה הטמיע אתיקה זו כבר לתוך פרק ההגדרות של חלק א', כלומר, כבר לתוך השפה והדיבור:

הגדרה 7: חופשי נקרא זה אשר נכרע לפעולה על ידי עצמו בלבד ואילו הכרחי או אנוס הוא זה הנכרע על ידי אחר לפעול באופן מסוים.

כמו העולם, גם המוסר האקטואליסטי של שפינוזה יהיה ללא טוב ורע וללא כוחות ולכן גם ללא אלימות. חנה ארנדט הייתה קוראת לזה האתיקה של הבנאליות. תורת המדינה והחברה של האקטואליסט תאומץ לכן על ידי כל עריצי העולם וכל משמדי העמים שהכירו את משנתו.

### 3.2. "רק לרשויות העליונות יש הזכות להחליט מה טוב ומה רע"

מכיוון שאין כוחות, אין אלימות, וכל מה שנהוג לראות כהפעלת כוח הוא למעשה פעולת הטבע ולכן מעצמה ומטבעה. כל מעשה גזל יתואר מעתה כתנועה טבעית של החלפת בעלות שקרתה משום שכל התנאים ההכרחיים בשלו ולכן בהכרח לוגי. את הדיבור על אלימות וכוחנות ובריונות יחליף הדיבור על בעלות ושינוייה. כיבוש ארצות יאמר כשינוי בעלות על הקרקע. וכך כל יתר מעשי הגזל, האימים, החיסולים, המרמה, ואינסוף הווריאציות על נושאים אלו.

במוקד דמותו של השליט אצל שפינוזה עומדת עובדת בעלותו של השליט על החוק מכיוון שהנתינים מסרו לו את כל כוחם, וכך אין בידם לאלץ אותו לקיים את האמנה,



ולכן בכוחו, ולכן בזכותו הטבעית, לפטור את עצמו לחלוטין ממחויבות לכל חוק שהוא בעליו ולעשות בו כרצונו. את עניין הבעלות על המדינה דרך הבעלות על חוקיה ועל כוחה הוא הבהיר בחיבורו האחרון כך:

הזכות של הרשויות העליונות מוגדרת על ידי כוחן. ועומדת בעיקר על כך [...] ועל כן רק לרשויות העליונות יש הזכות להחליט מה טוב ומה רע, מה צודק ומה אינו צודק, [...] רק בידי הרשויות העליונות נתנה הזכות לחוקק חוקים. (TP iv,1) בשום פנים ואופן לא נוכל לומר שראשות המדינה כפופה לחוקים או שהיא יכולה לעבור עבירה. (TP iv,5)

יתר על כן, השליט הוא בעליו היחיד של החוק כי הוא מי שבורא אותו יש מאין כל הזמן, והוא מי שדואג לקיומו על ידי נתיניו, הוא גם הפרשן היחיד המותר של חוקיו, ויחידות זו של החקיקה והפרוש והביצוע, גם היא אחד מחוקיו:

חוקי המדינה תלויים בהחלטתה של המדינה בלבד וכדי להישאר חופשית אין המדינה מחויבת לציית לאף אחד אלא לעצמה בלבד, ואינה מחויבת לחשוב לטוב או לרע אלא את מה שהיא בעצמה מחליטה כי הוא טוב או רע לה. (TP iv,5)

יתר על כן, מאותו כוח עצמו נובעת גם זכותו של השליט לבטל את חוקיו, ולהחליפם באחרים ככל שיעלה על מרצונו בכל זמן שירצה:

ולפיכך לא זו בלבד שיש לשליט הזכות להגן על עצמו. לחוקק חוקים ולפרשם, אלא גם לבטל אותם, ומתוך שפע כוחיותו למחול לכל חייב. [...] רק מי שהשלטון בידי. ולא שום האדם פרטי, יכול לחרוץ משפט בעניין זה, כלומר אם הפרת החוק מועילה לטובת הכלל או לא) מכאן שלפי משפט המדינה רק מי שהשלטון בידו נשאר פרשנם של החוקים. מלבדו שום איש פרטי אינו יכול בדין להגן עליהם ולפיכך לאמיתו של דבר אין הם מחייבים את מי שהשלטון בידו. (TP iv,6)

שפינוזה פטר את השלטון באופן מוחלט כזה משום שמטרת השליט בחקיקה היא רק הגדלת כוחו במאזן האימה הבלתי פוסק נגד נתיניו אך הגדלת כוח היא חוק טבעי מתרחשת מעצמה. הוא הסביר שהצדק וכן כל עקרונות התבונה (כלומר, התועלת) ובכללם עקרונות החסד והצדקה כלפי שכניך, קונים את כוחם רק באמצעות זכותו של השליט (TTP 19), ז"א, מתוך כוחו לכפות את חוקיו. ומכאן הוא המשיך והסיק שציות

הנתינים לחוקי השליט חייב להיות מוחלט, והדגיש שזהו המצב ללא שום קשר לדרך שבה כונן השלטון את החוקים, ולכן שהצדק אינו יכול לעולם לעמוד לזכותו של המורד בשליט:

[רק] לאחר שהראינו את יסודות השלטון וזכותו. נוכל לקבוע על נקלה מהי זכות אזרחית פרטית, מהו עוול, מהו צדק ואי-צדק במעמד אזרחי (in statu civili). [...] כי בתור זכות אזרחית פרטית לא נוכל להבין אלא את חרותו של כל איש ואיש לקיים את עצמו במצבו (in suo statu consrevandum) חרות הנקבעת בפקודות (edictis) הרשות העליונה ומוגנת בסמכותה בלבד. ([TTP16,196,[168])

האמנה אינה יכולה מעתה להגדיר את המורד והבוגד והפושע אלא כנתין רגיל ואילו השליט לעולם לא יוכל להיאשם בבגידה. החרות הפרטית של הנתין במדינה אינה זכותו העצמית של הנתין כלל אלא היא רק פקודה הנקבעת על ידי השליט בתוקף כוחו העליון (summa potestas) ופקודה זו בלבד היא מה שבורא ומבטל את זכותו לחרות של הנתין. כך גם לא רק החרות אלא כל זכות שיש לו עתה אינה זכותו העצמית של הנתין כי בתוקף האמנה עם השליט הנתין ויתר על כל כוחו ולכן על כל זכותו והוא כעת נטול כל זכות עצמית או טבעית, כפי שכבר ראינו:

כי משהעביר אדם לידי אחר את זכותו, שאותה קבע כוחו בלבד, לחיות את חייו כראות עיניו, כלומר, משהעביר לאחר את חרותו ואת כוחו להגן על עצמו. הרי הוא מחויב לחיות לפי תבונתו של האחר בלבד, ולהתגונן בהגנתו של האחר בלבד. (שם)

### 3.3 "אין פשעים בממשות"

בכך הכין שפינוזה את הבסיס הפילוסופי לצידוק מלא של התופעה שהפכה כיום לאיום הממשי ביותר על החברה הפתוחה - השתלטות הפשע על חייה, עד כדי כך שכיום היא נוטה יותר ויותר להסכים לכך שאכן "אין פשעים בממשות" ולכן העולם כפי שהוא בכל רגע מושלם, כפי שטענו נגדו:

אם זו המידה היחידה של שלמות, ואין באמת טעויות בממשות, גם אין פשעים בממשות, וכל דבר, כל הקיים מכיל את המהות הזו או ההיא, כפי שהעניק לו אלוהים, ותהא אשר תהא מהות זו היא תמיד תכיל שלמות. (אגרות[22]:142)

אך המצב קיצוני יותר ממה שתיאר הכותב, כי טיעונו של שפינוזה הצביע בברור על

קרבת המשפחה הטבעית שבין השלטון – כל שלטון – לבין הפשע, בכך שקיום שניהם בנוי על העיקרון האקטואליסטי של שפינוזה שהחוק, ולכן ההסכם והחווה, אינו מחייב את מי שבכוחו לבטלו אלא רק את החלש. אך אין אמנה בין השלטון והפשע משום שהם מהווים מטבעם כוח אחד וכל מה שמבדיל ביניהם הוא תכליתם. תכליתו של השלטון לאגור כוח ממין אחד ואילו תכליתו של הפשע היא לצבור כוח ממין אחר, אך מה שמאחד אותם וחזק הרבה יותר היא העובדה ששניהם חיים מעל ומעבר לגבולות החוק. השליט אינו יכול לעבור על החוק משום שהוא בעליו, והפושע אינו יכול לעבור על החוק לא רק כי הוא אינו צד לאמנה כלל אלא משום שהוא פועל על פי טבעו בלבד ולכן מתוך הכרח לוגי. המסקנה היא שקרבת המשפחה הזו שבין השלטון והפשע תוביל לכך שבמקום שילחמו ביניהם הם יאגדו כוחות כדי להכריע את אויבם המשותף, הנתינים העומדים בדרכם ומפריעים למהלכם הטבעי. ולכן סביר שההיסטוריה הטבעית של המשטרים בכלל תסתיים בהכרח בכך שהפשע והשליט יתמזגו ליחידה טבעית והומוגנית שתהיה המנהיגות האמיתית במדינה, אם כי תהליך זה יהיה בלתי נראה משום שיוסתר על ידי החוק שהשלטון יחוקק לצורך זה ועל ידי שכירי הפרשנות שלו. זהו הטעם העיקרי לכך שהחלשים ניסו לחוקק שזכות החקיקה תהיה מנועה לחלוטין מן השלטון, וכפי שאנו יודעים כבר היטב כיום, עקרון הפרדת הרשויות, אשר תכליתו הייתה זו בדיוק, אינו מסוגל להתגבר על הרבה פחות מכך. בשלב הבא של האבולוציה של השלטון תהיה רשות נפרדת הממונה על הפרדת הרשויות אלא שהיא תהיה רשות העוינת לשלטון ואשר נתמנתה בגלל עוינות זו ובתוקף עוינות זו מאלצת את השלטון לשמור על הצדק וטוהר מידותיו.

#### 3.4. "לשליט זכות לאלימות גמורה ולהמית אזרחים בשל כל סיבה"

את משנת הסובלנות שלו הציג שפינוזה רק בשני מקומות – בתת-כותרת ובהקדמה של המאמר התיאולוגי-מדיני. בכותרת הכריז שמטרת החיבור היא "להראות כי חופש העיון הפילוסופי לא זו בלבד שאפשר להעניקו בלא שיינזקו יראת-שמים ושלום המדינה, אלא, אדרבה, אי אפשר לבטלו בלא שיבוטלו עמו שלום המדינה ויראת-שמים עצמה". התיזה הזו, שחופש המחקר המדעי הוא תנאי הכרחי לשלום המדינה, מופיעה שוב בהקדמה, עם התוספת ש"זהו עיקר הדבר, שהחלטתי להוכיחו במאמר זה" (TTP הקדמה: 3). אלא שמה שקרה הוא ש"הוכחה" זו ביקשה להראות גם שהמקור לכל דיכוי של כל חופש הוא האמונות התפלות, ומכיוון שאלו נתמכו תמיד על ידי המשטרים המונרכים והדת הממוסדת, ה"הוכחה" הפכה לחקירת ה"דיעות הקדומות העיקריות של הדת, [...] וענייני הסמכות של הרשויות העליונות [או השליטים] summarum (jus potestatum)" (TTP: 3-4), וכך התמוססה הוכחת התזה על הסובלנות ונעלמה אל נבכי חקירת המקרה היהודי של אמונות תפלות. רק את הפרק האחרון של הספר הוא ייחד לחופש המחשבה וזאת לאחר שבשלושת הקודמים ברר את טבע הזכות ואת טבע

המדינה שאותם פגשנו כבר. רק בפרק המסיים הזה הוא הודיע שהגיע עתה הזמן לחזור אל העניין הראשי של החיבור, הזכות לחרות המחשבה במדינה. פרק זה היה ונשאר המסמך היחיד ששפינוזה כתב על אפשרות הסובלנות במדינה, ומן הצעד הראשון, רגישות השליט לדיבורי נתיניו, הוא היה מדאיג:

לא נוכל בשום פנים להכחיש שאפשר לשלטונות להיפגע ממילים ממש כמו ממעשים; ולפיכך, כשם שאי אפשר ליטול לגמרי את החרות הזו מן הנתינים, כך סכנה מופלגת היא ליתן אותה להם בלי סייג. על כן מוטל עלינו לחקור כאן עד היכן אפשר וצריך ליתן לו לכל אחד ואחד את החרות הזו בלא שיבולע לשלום המדינה ולזכות הרשויות העליונות, וזה היה, כפי שאמרת בתחילת פרק 17, עיקר כוונתי כאן. (TTP20, [210])

והנה, מה שנשאר מהתנגשות זו בין זכות השליט להגביל את חופש הדיבור של הנתינים לבין זכות הנתינים לחופש דיבור מלא, נקבע לא עי שום שיקול על טבע הצדק או החרות או הזכויות אלא אך ורק על ידי מה שבכוחו של כל אחד מהם לעשות לשני על פי הטבע. והנה, מצב הטבע הוא כזה שכוח השליט מוגבל שהרי "לעולם לא יוכל למנוע שיהיו הבריות שופטים מדעתם על עניינים כלשהם" (TTP, 20 [210]). לטעם זה להגבלת זכותו של השליט על מחשבת נתיניו נקרא "מקרה הגולגולת", והוא המקרה הביולוגי שמוחו של בן המין האנושי עטוף בשכבת עצם אטומה לאור ולכן מחשבותיו אינן נראות. הוא אף לא הסס והוסיף עוד שכוח השלטון מוגבל לא רק מטעם מקרי זה אלא גם מטעמי תועלת כמו החשש מן הנזק שתגרור חקיקה המגבילה את המחשבה, וסיכם במסקנה שרק מכיוון שכוח השלטון מוגבל בשני מובנים אלו, גם זכותו להגביל את מחשבת נתיניו מוגבלת:

מכאן שאין לרשויות כוח מוחלט לעשות דברים כאלה ודומיהם ומכאן שאף אין להן זכות מוחלטת, שהרי הראינו שזכותן של הרשויות של הרשויות העליונות נקבעת על ידי מה שבכוחן. (TTP, 20 [210])

"דברים כאלה ודומיהם" הם "למנוע מן הבריות שיהיו שופטים מדעתם על עניינים כלשהם" וכן גם למנוע מהם שיהיו נפעלים מן העניינים האלו "בהפעלות זו או זו" כלומר למנוע השפעות על מחשבותיהם כמו ספרים ולימודים ואמנויות שונות. אך למרות שאין בכוח השליט, כלומר שאין לו הזכות, לפקח על מחשבת נתיניו, הנה יש לו הכוח ולכן הזכות לסמן אותם על פי רשמיו וכך לסמן אותם כאויביו ובכך בלבד כבר לרמוס אותם. שפינוזה עצמו עבר התנסות סימון כזו בקהילתו עשרים שנה קודם, ולכן הוא לא כפר מאז בזכות הזו של השליט לסמן נתינים ואז לעשות בהם כל מה שבכוחו:

אמנם הדבר שיש לשלטון הזכות לחשוב לאויבים את כל אלה שאינם מסכימים עימו לחלוטין, אולם עתה אין אנו דנים על זכותו אלא על מה שיש בו משום תועלת. כי אני מודה שיש לו הזכות לשלוט באלימות גמורה ולהוציא אזרחים להורג בשל סיבות קלות שבקלות. (TTP, 20 [210])

הכרחי לכן לזכור שאלו דבריו של שפינוזה במהלך הגנתו על הזכויות לחופש המחשבה והדיבור: מכיוון שטבע העולם הוא כזה שיש לשליט הכוח ולכן הזכות מן הטבע להוציא את אזרחיו בשל סיבות קלות שבקלות, הרי שאין לאזרחיו שום זכות מן הטבע הנוגדת את כוחו של השליט ולכן אין לו זכות מן הטבע לחרות כלשהי. זכותו האמיתית היחידה של האזרח היא לחיות בפחד בלתי פוסק מכל דבר בעולמו שמא יתהפך עליו פתאום ב 4 לפנות בוקר אחד.

#### 4. על זמן ומרחב מוחלטים: ניוטון

מן ריקות ההכרחית של האקטואליסט אנו עוברים אל המהפכה האינפורמטיביסטית שהחלה 10 שנים לאחר מותו של שפינוזה. זו היתה המהפכה המדעית שניוטון קבע את צורתה ותוכנה ואשר במהותה הייתה הציווי לאינפורמטיביות בדיבור המדעי, כלומר, הדרישה שכל טענה בפזיקה תהיה אמירת דבר אחד על דבר אחר ושונה ממנו. ה"פזיקה" שנוצרה לפי ציווי זה אמרה שאין בעולם האקטואלי תנועה "על-פי הפזיס" אלא רק תנועות "כנגד הפזיס" של העצמים, כלומר, שכל התנועות בטבע הן תנועות מאולצות בלבד, וכי לכן נדרש עבורן תמיד הסבר אינפורמטיבי: כל מצב תנועה או מנוחה של כל עצם בכל תנאי נגרם על-ידי משהו שונה ונפרד מן העצם, הנקרא "כוח". וכך ליד החומר קיימים הכוחות שהם דברים לא-חומריים, נפרדים מן החומר, אך נסתרים מן התצפית, והם פועלים על החומר ומאלצים אותו לנוע. זה היה לכן מהפך מפזיקה אקטואליסטית ללא כוחות אל פזיקה פוטנציאליסטית רונית כוחות נפרדים, והמעבר הזה לונה לכן על ידי מעבר מפילוסופיית הסבר אנטי-אינפורמטיביסטית אל פילוסופיית הסבר אינפורמטיביסטית, ומעבר זה הוא מהותה של המהפכה המדעית במאה ה-17. מהות זו הוצגה לראווה ודוגמה בשלושת חוקי התנועה של פרינקיפיה של ניוטון וב"ביאור" ל"הגדרות" המדריכים את הקורא בפירוש הדברים החדשים המופלאים הנקראים "חוקים" או "חוקי הטבע", כוחות, וגרימה סיבתית:

ה"הגדרה" השלישית בפרינקיפיה מבארת ש"הכוח הפנימי" (insita vis) – "הכוח השוכן בתוכו" הוא "כוח ההתנגדות" השוכן "בתוך" כל עצם חומרי, ומוסיפה שרק "על ידי הכוח" הזה העצם ממשיך במצבו הקיים, יהא זה מצב מנוחה או תנועה קצובה בקו ישר. והביאור הצמוד להגדרה אומר ש"זהו כוח הפרופורציונאלי תמיד לעצם אשר שלו הוא הכוח, ואופן אחר של הבנתו הוא ככוח האי-פעילות של המסה", ועל כן "כוח פנימי זה

אפשר לקרוא בשם המאוד משמעותי כוח האינרציה כלומר כוח האי-פעילות". והמשך הביאור מוסיף עובדה מכרעת בקשר לטבעו של כוח האינרציה: אם כי הוא מעין "כוח של אי-פעילות" כלומר הפועל רק לשימור המצב הקיים, הנה לפעמים הוא הופך לכוח "הפועל כדי לשנות מצב". כך, כאשר עצם אחר מפעיל כוח המשנה את מצב העצם הנתון, הופך כוח האינרציה לכוח חיצוני, הפועל בתגובה על העצם האחר ומשנה את מצבו ככל כוח חיצוני רגיל.

ניוטון התווה כאן, בביאור ל"הגדרה" השלישית, את הצעד המכריע באונטולוגיית הכוחות שבתוכה עוצבה תורת הגרביטציה שלו: אפילו כוח האינרציה, שהוא כמעט בלתי-מובחן מן המסה החמרית עצמה, למעשה נפרד ממנה, כי הוא מסוגל להתגלגל לפעמים (ברגע ההתנגשות, למשל) ולהפוך מפנימי לחיצוני. וכך מתברר שכדי שיוכל להתגלגל כך, הוא חייב להיות נפרד מן החומר – שהרי החומר אינו משנה את טבעו במשך ההתנגשות ולכן, לא החומר שבעצם הנתון הוא שפועל על העצם האחר אלא רק כוח האינרציה שלו. ניוטון הבהיר שהחומר עצמו הוא בעל תכונה אחת ויחידה – אי-חדירות, ותכונה זו אינה משתנה במשך כל קיומו. ולכן, מה שגורם לחומר לשמור על מצבו, כלומר, להתנגד לשינוי מצבו, ואז לפעול על חומר אחר, הוא ישות אחרת מן החומר, ישות נפרדת מן החומר אם-כי צמודה אליו ומלווה אותו בכל אשר ילך. וכך, העולם מכיל לפחות שני סוגי דברים נפרדים זה מזה – חומר וכוחות: זהו המסר האונטולוגי הראשון המשתמע מ"חוקי התנועה", ה"הגדרות" וה"ביאור".

נפרדות זו של הכוחות מן החומר מוצאת לפעמים גם ביטוי מפורט. למשל, ניוטון הבחין (ב"הגדרה 8") בין אספקטים שונים של הכוח הצנטרופטלי על-פי אפיון מקורו, התאוצה שאותה הוא גורם, וכיוון ההנעה שהוא יוצר. את הכוח הצנטרופטלי מבחינת התאוצה תיאר כך:

את הכוח המאיץ אני מייחס למקום של הגוף המואץ, ורואה אותו כמין יכולת היוצאת מן המרכז ומתפזרת ברחבי כל המקומות מסביב לו, כך שהיא מניעה גופים הנמצאים בהם. (Principia: 5)

כוח הגרביטציה המתואר כאן הוא הדוגמה המובהקת של הכוח המאיץ כדבר הנפרד מן המסה – כי הוא "נובע" או "יוצא" ממסה אחת ו"עוזב" אותה ומתפזר במרחב ושוכן בו, כך שהוא פועל על כל מסה אחרת הנמצאת "במקום" של הכוח הזה, ולכן הוא נפרד משתי המסות, מסת מקור הכוח והמסה הנפעלת על ידי הכוח.

רק כתוצאה מאונטולוגיה זו אפשר היה מעתה לראות את הטבע כעולם אינפורמטיבי: כל תנועה שבו חייבת להתבאר על-ידי כוחות נפרדים הפועלים על החומר וגורמים לשימור מצביו ולשינוי מצביו. אך בניגוד לחומר, כוחות אינם דברים המופיעים בחושינו

– אנו מסוגלים לחוש רק בחומר ותנועותיו, ורק על-פי אלה אנו מסיקים על קיומם של כוחות. יתר על כן, לא רק שכוחות הם ישויות שקופות לחושינו משום שאינם חומריים, אלא הם גם שקופים מטעם זה עצמו לדמיונו: איננו מסוגלים לצייר אותם לעצמנו בדמיון, כלומר במסך הוידיאו הפנימי שבו אנו מפנטזים עולמות כרצוננו. לימים יקרא קאנט למסך הפנימי הזה "כושר ההסתכלות הטהורה", או "האינטואיציה", והעובדה הפשוטה שכוחות אינם ניתנים להצגה או לגילום ב"אינטואיציה" הזו תהפוך עבורו לקושי שידרוש לא פחות מאשר יצירת פשר חדש לחלוטין ל פרינקיפיה של ניוטון, שבו יסתור את כל מה שכתב ניוטון כהדרכה לפירושו.

אך עבור המהפכה המדעית, כפי שמיצה אותה ניוטון כאן, לא היה זה קושי כלל. הבנה שלמה של התיאוריה החדשה של העולם – ולכן הבנה של העולם עצמו – לא תהיה תלויה כלל ביכולת הדמיון שלנו. כל מה שיהיה חשוב בתיאוריה החדשה יהיה גם בלתי ניתן לדמיון, וזאת כי הוא יהיה לפעמים לא חומרי, ולפעמים ידרוש לקבל סתירה לוגית כחלק של העולם: הפרדוקסאליות של העולם מתחילה להופיע עם הרגע ראשון בהצגת התיאוריה, לאמור, עם ה"הגדרה" השלישית המתארת את אופני קיומו וגלגוליו של כוח האינרציה.

מן הרגע הראשון ברור שלפרדוקסאליות, כגון קיומם של עצמים פיזיקליים לא-חומריים, כמו כוחות שאינם ניתנים כלל לייצוג בדמיון, יש תפקיד חיוני באונטולוגיה החדשה של האינפורמטיביות, האונטולוגיה הפוטנציאליסטית. כדי להשיג ביאור אינפורמטיבי לתנועה, הכרחי להניח שהעולם מכיל בתוכו כוחות נפרדים אך מכיוון שהכוחות אינם אקטואליים הם רק פוטנציאליים לחושינו (כלומר מבחינת התופעות) והדרך היחידה לדעת על נוכחותם ופעולתם היא על-ידי תוצאותיהם התופעתיות בחומר ובתנועותיו. כך, למשל, הדרך היחידה לדעת שפועל כוח חיצוני על העצם היא למדוד את שינוי מהירותו. ולכן, לו היה הכוח זהה לתאוצת העצם החומרי, כלומר לו היה בלתי-נפרד מן העצם החומרי, אז החוק השני של התנועה בפרינקיפיה היה הופך לטענת זהות: כי לומר שהכוח פרופורציונאלי לתאוצה, יהיה אז לומר שהתאוצה פרופורציונאלית לעצמה. ולכן, אם החוק אינו טענת זהות אלא הוא אינפורמטיבי, נובע שהכוח נפרד מן התאוצה כשם שכל סיבה נפרדת מן התוצאה שלה. נפרדות הכוח מן המסה ותנועתה היא לכן תנאי הכרחי לאינפורמטיביות של הפיזיקה הניוטונית, ואומרת שכמה מן הדברים בעולם הפיזיקלי שהם רק פוטנציאליים מבחינת התופעות (או מבחינת הדמיון, או מבחינת השכל) הם למרות זאת ממשיים לגמרי.

אונטולוגיה פוטנציאליסטית כזו היא הבסיס של האידיאולוגיה האינפורמטיביסטית של המדע החדש במאה ה 17, והיא מה שמאפשר למדע הזה להכריז שכל טענה שלו אינפורמטיבית אך גם מאלצת אותו בכך להיות הן מוזר והן חסר וודאות ממהותו. כאשר

ניוטון הכריז שכל דבריו וודאיים וכי "הוא אינו בודה היפותזות" הוא דיבר כתימהוני. מכיוון שהכוחות נפרדים מן המסות, נובע שיש הבדל אונטולוגי, ז"א מוחלט, בין מצבה של מסה שכוח האינרציה השוכן בה משמר בה מהירות קבועה, לבין המצב של אותה מסה שפועל עליה כוח חיצוני הגורם לה לתאוצה נגד התאוצה שצָבָר כוחות החיכוך גורם, כך שגם היא תנוע באותה מהירות קבועה. ההבדל בין מצביהן של שתי המסות האלו הוא הבדל בסוג ובזהות הכוחות הפועלים על המסה. ומכיוון שהכוחות הם דברים נפרדים מן המסה, הרי ששני המצבים האלה שונים אונטולוגית זה מזה, מבחינת סוג ומספר העצמים הפיזיקליים הממשיים המשתתפים בפעולה. אך אם המסה הזו קשיחה לחלוטין (אם, למשל, היא אטום בודד, שניוטון הציע שהוא קשיח לחלוטין) לא יהיו שום תופעות שיוכלו להבדיל בין מצבים כאלו. נתבונן, למשל, בעולם שבו יש רק אטום אחד. בעולם כזה לא נוכל להבדיל בין שני המצבים האלו, משום שהכוח החיצוני יגרום רק לתאוצה ולא לשום עיוות בצורת האטום. כך גם לא נוכל להבחין בין מצבי תנועה קצובה ותנועה מואצת של האטום הזה משום שהמרחב שבו מתרחשות התנועות האלה הוא עוד דבר פוטנציאלי בלבד לחושינו. אך אף-על-פי שאיננו מסוגלים להבחין ביניהם, אנו מחוייבים לכך שאלה שני מצבים השונים זה מזה באופן מוחלט, מן הטעם היחיד שמשתתפים ביצירתו ובגרירתו ישויות פיזיקליות אחרות. האונטולוגיה שונה, המצבים שונים, אך שונות זו היא שוב דבר פוטנציאלי בלבד עבורנו, כלומר היא אינה יכולה להיתפס על-ידי חושינו. וכך גורר הפוטנציאליזם בדבר הכוחות את הפוטנציאליזם בדבר המצבים. אך הוא גורר הרבה יותר.

בפוטנציאליסטית נאמר שאם מצבי התנועה של שתי מסות שונים אונטולוגית, הם שונים באופן מוחלט, שאינו תלוי בשיפוטינו או במערכות הייחוס שנשתמש בהם כדי למדוד אותן. אך הבדל מוחלט במצבי התנועה פירושו שהתנועות עצמן מוחלטות. ואם התנועות מוחלטות, הרי שיש ממשות מוחלטת למהירויות שלהן ולכן, הכרחי שיש מרחב וזמן שביחס אליהם אלה הן מהירויות ממשיות ומוחלטות. אלו הם המרחב המוחלט והזמן המוחלט שניוטון הנהיג ב"ביאור" ל"הגדרות" כחלק מהותי של שפת הפיזיקה שלו:

האדם הפשוט תופס את הגדלים [שהוגדרו עד כה] אך ורק על-פי היחסים שבינם לבין העצמים המוחשיים. ומתוך כך צומחות דעות קדומות מסוימות שכדי לסלקן נוח יהיה לסווג גדלים אלה כמוחלטים ויחסיים, אמיתיים ותופעתיים, מתמטיים ויומיומיים.

זמן מוחלט אמיתי ומתמטי, כשלעצמו ומטבעו, זורם בקצב קבוע ללא שום יחס לדברים חיצוניים, והוא נקרא גם משך. זמן יחסי, תופעתי, ויומיומי הוא מידה חושית וחיצונית (מדויקת או לא) של משך



באמצעות תנועה, מידה שבה אנו משתמשים בחיי היומיום בַּמְקוֹם בזמן אמיתי, כמו שעה, יום, חודש, שנה.

מרחב מוחלט, מטבעו ובלי שום יחס לדברים חיצוניים כלשהם, נשאר תמיד דומה לעצמו ובלתי ניתן לתנועה. מרחב יחסי הוא איזו מידה ניידת של המרחב המוחלט, שחויינו קובעים על-ידי יחסו של המרחב היחסי למקומם של עצמים חומריים, ואשר נחשב כאילו היה מרחב בלתי-נייד. מרחב יחסי כזה הוא מרחב על פני האדמה, או באוויר או בשמיים, שמקומו נקבע ביחס לארץ. המרחב המוחלט והמרחב היחסי זהים בצורתם ובגודלם, אך הם לא נשארים תמיד זהים מספרית. (Principia: 6)

תיאור העצמים החדשים האלה - מרחב וזמן - והסבר אופן קיומם טבולים בפרדוקסאליות משום שהשפה הרגילה אינה עשירה מספיק לתיאורם של דברים מוחלטים. הנהר "זורם" כי יש לו מסגרות ייחוס - הגֵדָה, הזמן. אך לזמן המוחלט אין מסגרת ייחוס נוספת, הוא המסגרת האחרונה, ולכן זה שהזמן "זורם" וזה שזרימתו היא "בקצב" כלשהו, וש"הקצב" הוא "קבוע" - כל אלה תיאורים שמשמעותם הרגילה יחסית, ואין לנו מושגים מקבילים שישמשו לתיאורים מוחלטים. והוא הדבר גם בקשר למרחב - ניידות וקביעות הם מושגים שמשמעותם הרגילה היא יחסית. אך מכיוון שאין שום דבר שביחס אליו המרחב המוחלט יכול כלל לנוע או לנוח, הרי שהמושגים האלו אינם יכולים לחול עליו כלל. ולכן אם נפרש תיאורים אלה על פי הרגלינו, נקבל בלבול. אך אם נבקש רק תיאורים התקפים בשפתנו הרגילה, נאלץ לוותר על כל תיאור - אין לשפתנו היומיומית הכוח והעושר הדרושים לתיאור עצמים מוחלטים.

הפרדוקסאליות של התיאור הניוטוני, המשקפת קושי זה, משקפת יותר מכך, והוא הזרות המושגית של העולם המוחלט שלו. לא זו בלבד שְׁעֲצָמֵי העולם המוחלטים אינם ניתנים לייצוג ב"אינטואיציה" או בדמיון שלנו; הם גם אינם ניתנים לייצוג מושגי תיאורטי נטול סתירות: העולם המוחלט, כלומר, בנפרד מתפיסתנו, הוא עולם שהדרך היחידה שלנו לחקור אותו באופן מדעי היא בעזרת מושגים המכילים סתירות עצמיות. גלילאו אהב לפתח ולטפח את הקשיים המושגיים והסתירות העצמיות שבמושג הרצף המרחבי והזמני. עם ניוטון התברר שכוחות מוחלטים, ומסות מוחלטות, ומרחב וזמן מוחלטים, תנועות מוחלטות ולכן מהירויות מוחלטות וצורות גיאומטריות מוחלטות - כל אלו הם דברים שהכרחי להניח את ממשותם לצורך הפיזיקה האינפורמטיבית החדשה, אך הם גם דברים אשר הפוטנציאליסט אינו מסוגל לומר ללא סתירות ופרדוקסים כאשר הוא מנסה לבאר מה בדיוק הוא אומר. ולשיאה הגיעה המוזרות הזו, כמובן, במתימטיקה האינפיניטסימאלית שניוטון גילה.

## 5. השכל מחוקק לטבע את חוקיו: קאנט

המסורת האקטואליסטית של אריסטו-שפינוזה עקפה את ניוטון תוך ירי מטחי ירכתיים קשים על הפוטנציאליזם שלו אשר הגיעו לשיאן כאשר קאנט התעורר מהרעש. השערורייה של המדע הניוטוני התבררה לו באחור, כאשר הזדמן לו תרגום גרמני מאוחר (הוא לא קרא אנגלית) של העקרונות של דיויד יום, צעיר נלהב מתנועת הנאורות שפרחה באוניברסיטאות הסקוטיות המובילות (ולכן נטשה את הלטינית). קאנט הומר בין לילה וניסח את תמצית תגליתה של הנאורות הזו כך:

”איך זה אפשרי שיש בידינו טענות שהן סינתטיות ואפריוריות?” (הקדמות: §5, 35)

בכך הוא טען שהמדע הניוטוני הוא פרדוקס ולכן “בלתי אפשרי”, כי אי אפשר שהוא וודאי (כאן “אפריורית” ז”א בלתי תלוי בעובדות הניסיון) כפי שניוטון נהג להשמיע (“איני בודה היפותזות”) אך עם כך גם אינפורמטיבי (כאן “סינתטי”). מכיוון שאין בעולם האקטואלי שלנו סתירות או פרדוקסים, קאנט גזר שאם המדע הניוטוני אכן וודאי (ז”א “אפריורית”) נובע בהכרח שהוא גם אנ-אינפורמטיבי, וכל העדויות לאינפורמטיביות שלו הן טעות בהבנת המשמעות האמיתית של הצלחתו.

תגליתו הגדולה של קאנט הייתה שכל חוקי המדע, כלומר חוקי המתמטיקה וחוקי הטבע הניוטוני, וודאיים פשוט משום שהם אפריורי ככל יתר יצירי השכל האנושי. המסקנה המיידית שלו הייתה שהסינתזה השכלית הטהורה הזו של העולם הפיזיקלי אינה יכולה להיות כלל אינפורמציה על איזה עולם מן הטעם האקטואליסטי המובהק שאין זה מן האפשר שיהיה אפריורי-אינפורמטיבי כלומר אינפורמציה-אפריורי. מכיוון שהיא אפריורי היא אך ורק מפגנו של כושר הבנייה השכלית המולד שלנו ולכן היא אינה אינפורמציה. אך מכיוון שהיא אפריורי היא גם הכרחית ככל אמת לוגית, וכך הוא הכריז:

עצם המשפט... שאפשר להכיר אפריורי חוקי טבע כלליים מביא מאליו לידי המשפט שהחקיקה העליונה של הטבע היא בהכרח בתוך עצמנו, היינו בשכלנו, ושעלינו לבקש את חוקיו הכלליים לא בטבע אלא להיפך עלינו לחפש את הטבע מבחינת חוקיותו רק בחושניותנו ובשכלנו. (הקדמות § 36)

החוקים העליונים (של המדע), אשר להם כנועים כל יתר החוקים, נובעים אפריורי מן השכל עצמו. הם אינם שאולים מן הניסיון; להיפך, הם חייבים לצוות לתופעות את התאמתן לחוק וכך לעשות את הניסיון אפשרי. ולכן השכל הוא משהו יותר מהכושר לנסח כללים כתוצאה מהשוואת תופעות זו לזו; השכל הוא עצמו

### מחוקק החוקים לטבע. (בתט A126)

בלעדי השכל, לא היה קיים כלל הטבע, ז"א, האחדות הסינתטית של הריבוי שבתופעות בהתאם לכללים, (מכיוון שתופעות, ככאלה, אינן יכולות להתקיים מחוצה לנו – הן קיימות רק בחושניות שלנו); וטבע זה, כאובייקט הידיעה בניסיון, על כל מה שהוא עשוי להכיל, אפשרי רק בתוך האחדות של התפיסה. (בתט A127)

כך שמחוץ לתפיסה הזו לא קיים כלל העולם הפיזיקלי. הטבע קיים רק בתוך הכושר החושני שלנו, ומחוץ לכושר הזה אין כלום. שוב, למען הסר ספק אצל הקורא, הטבע עצמו לא היה קיים כלל ללא השכל, התופעות אינן קיימות מחוצה לנו, ולכן ללא השכל לא קיים טבע ועולם התופעות כלל. במובן המדויק הזה, וזהו גם סיכום תגליתו, כל חוקי הטבע ולכן כל תופעות הטבע נקבעות ומתקיימות אך ורק בתוך נפשנו וכשריה השכליים והחושיים. כל מה שלא נקבע על ידי הנפש וכשריה אינו ממשי עבורנו וכל מה שממשי עבורנו נקבע על ידי נפשנו ושוכן בתוכה, ומחוצה לה אין ממשות:

עד כמה שמוגזמת ואבסורדית נשמעת הטענה שהשכל הוא מקורם של חוקי הטבע ולכן מקור האחדות הצורנית של הטבע, טענה כזו הינה למרות זאת נכונה, והיא תואמת את האובייקט שלה, הניסיון. (בתט A126-7)

הכרחי לזכור כל הזמן בקריאת דברים אלו שתגלית זו של קאנט הייתה פתרונו לשני הפלאים העתיקים והמפורסמים, עובדת המתמטיקה ועובדת הפיזיקה הניוטונית. ראינו כבר שפלא המתמטיקה הוכר ונפתר לראשונה על ידי אפלטון בסגנון הפוטנציאליסטי, ומיד אחריו על ידי אריסטו בסגנון האקטואליסטי. קאנט רק מתח טיפה את הפתרון האריסטוטלי הזה כדי להתאימו לפלא החדש, יליד תקופתו, הפלא הניוטוני. כשם שאנו בונים את המשולש ואת כל תכונותיו בשכלנו, כך אנו בונים לנו גם את כל יצירי הפיזיקה בשכלנו בלבד, ולכן הביאור לכך ששני המדעים האלו, המתמטיקה והפיזיקה, ודאיים והכרחיים הוא שהם ריקים מכל אינפורמציה, הן על העולם העל-חשושי כי הוא מדומיין בלבד, והן על העולם הממשי היחיד, שהוא אך ורק עולם הדברים החושיים האקטואליים שהם התופעות הנוכחות לחושי האדם.

מה שקאנט הוסיף לפתרון האקטואליסטי של אריסטו היה מה שאריסטו רק העז להציע בכמה מילים בהרצאותיו על הנפש, אך לא הוצע על ידי איש ממשיכיו עד שפינוזה וקאנט והוא שהביאור המדעי לעובדת הטבע הוא בנייתה של עובדת הטבע מראשיתה ועד סופה. וכך פלא הפיזיקה בואר עתה על ידי העובדה שלא רק המדע אלא

גם הטבע, שניהם יצירי נפש האדם בלבד והם ממשיים רק בתוקף נוכחותם לשכל האדם כשתי יצירותיו:

עד עכשיו היה מקובל להניח שכל ידיעתנו חייבת להתאים לאובייקטים שלה. אך כל הניסיונות להרחיב את ידיעתנו לאובייקט על ידי קביעת משהו אפריורי בקשר אליהם, באמצעות מושגינו, עלו בתוהו. עלינו לפיכך לנסות אם לא נצליח יותר במשימות המטפיזיקה אם נניח שהאובייקטים חייבים להתאים עצמם לידיעתנו. זה יתאים יותר למה שאנו רוצים, כלומר, שיהיה אפשר שתהיה ידיעה של אובייקטים אפריורי, שקובעת משהו בקשר אליהם לפני שהם נתונים. (בתט, הקדמה למהדורה השנייה: xvi)

קאנט נראה כמתעלם מן התוצאות הקשות שתמונת המהפכה המיוחדת שלו תשרה מעתה על תופעת המהפכות המדעיות ועל רעיון ההתקדמות הרעיונית בכלל. התוצאה הקשה הראשונה תהיה שכל מהפכה רעיונית אינה אלא החלפת צורה שכלית אחת בצורה אחרת שהשכל מעניק לעולם מסוים אך שגם היא אינה יותר מיציר שכל. ובמילים ישירות, מה שקורה במהפכה רעיונית הוא רק שפיקציה אחת מוחלפת בפיקציה אחרת אך שתיהן בסך הכול רק מעניקות צורות שכליות שונות לאותו חומר חושי עצמו, ולכן אף אחת מן הצורות האלו אינה יכולה להיות אמיתית יותר כי רעיון הצורה האמיתית עצמו חסר כל פשר בעולם אקטואליסטי שבו אין ממשות לצורות כלל. בעולם כזה ההכרה המדעית אינה נושאת שום אינפורמציה על העולם מעבר לזו שבאה מן החושים בלבד.

דרך מסקנה זו הפכה "ביקורת התבונה" של קאנט לביקורת הקטלנית ביותר שהמדע החל לספוג החל מאמצע המאה ה-19 כאשר קבוצת מתמטיקאים ופיזיקאים (החל מגאוס, דרך רימן והלמהולץ ועד פואנקרה ודוהם וארנסט מך) החלו לעכל את המשמעות הקטלנית הזו של הקאנטיאניות כתזת הפיקטיביות ההכרחית של כל מדע שמן האפשר. הביקורת הזו לא חדלה מאז, ובאמצע המאה ה-20 היא הפכה לרעילה לא רק למדע אלא לאפשרות החשיבה כלל. מיד עם סוף מלחמת העולם השנייה החלה המחשבה המדעית לאבד במהירות את ערכה ומעמדה וזאת על ידי מדענים והיסטוריונים ופילוסופים עם גנטיקה קאנטיאנית מובהקת.

הניהיליזם המדעי והאינטלקטואלי הזה התלווה לניהיליזם מקביל באתיקה ובאסתטיקה שמקורו גם הוא בביקורת האתיקה שקאנט בנה ביחד עם ביקורת המדע ומאותם טעמים כמובן. כי מכיוון שכל מושגי האתיקה האקטואליסטית גם הם יצירי שכל בלבד, קאנט הבהיר שאין להם שום תוכן והם אינם מציינים שום דברים בעולמנו

הממשי אלא הם רק מין ירוד של פיקציות שכליות שהוא כינה לכן "אידאות" ואשר אותן שיכן בעולם פיקטיבי שהוא כינה "ממלכת האידאות" השונה מעולם המושגים של השכל. מה שמאפיין את האידאות לעומת המושגים השכליים, הסביר קאנט, הוא שהאידאות אינן מסוגלות לכפות ולכן לבנות שום דבר בניסיון החושי שלנו אלא רק לשמש להכוונת הבניות שלנו במדע ובמוסר ואפילו גם אז לא להכוונת המעשים עצמם. הציווי הקטגורי, הטוב העליון, האדם כתכלית, העשייה למען החובה בלבד, נצחיות הנפש ועונש וחסד מידי אלוהים - אלו הן לקט קטן של דוגמאות של האידאות מתוך ממלכת האידאות אשר אינן מציינות לכן שום דבר ממשי בעולם, אלא משמשות אותנו כפיקציות בלבד לצרכי ניהול חיינו המעשיים בידיעה ברורה על כך. קאנט קרא לאידאות כאלו "היסודות המטאפיסיים של האתיקה" והשמיע בכך שאין בעקרונות האתיקה כל ממשות מלבד חוקי דיבור של חברת זמנו. בכך הוא רק המשיך והשלים את הניהיליזם של הרצף האקטואליסטי של שפינוזה ואריסטו וסוקרטס.

## 6. האופק כבר כאן

מסקנתו הגדולה של קאנט הייתה שהאינפורמטיביות של המדע הזה היא רק לכאורה ולאיןפורמטיביות-לכאורה זו הוא קרא "סינתטיות". השם הזה הכיל בתוכו את פתרונו לחידת האפשרות של המדע הניוטוני כך: הוא אכן וודאי כי הוא אפריורי כלומר בלתי תלוי בניסיון החושי, אך לכן הוא רק סינתטי, בניגוד לאיןפורמטיבי, כלומר הוא רק מסנתז לו עולם כלומר בונה אותו על ידי מושגים. הוא טען שהשכל כופה את מושגיו על קלט התחושות שלו, וכפיה זו של מושגים על תחושות היא סינתזת עולם התופעות, כך שעולם התופעות הוא עולם בנוי והבנייה הזו היא המעשה המדעי.

לפיענוח עובדת המדע ופתרון הפרדוקס הזה הקדיש קאנט את חייו מגיל 60 ועד מותו, ופענוח זה הפך ליסוד השקפת העולם של המודרניות. אימוץ ועיכול הפתרון הזה על ידי העולם החדש הוא תהליך שלא נפסק עד היום והוא שוחק ומרסק את חיינו כל יום, מכיוון שמאז קאנט נוהג כל דור לבנות לו במודע ובתכלית שפה חדשה שהיא עולם חדש המופק כל הזמן מעצמו "ובאופן מקורי". האימוץ הזה של הפתרון הקאנטיאני נעשה במהירות גדולה עד כדי כך ששום דור אינו מספיק להבין את שפת הדור שהוא הוליד וגידל וכך כל דור נסגר בעליצות ובמהירות בתוך העולם שהוא סינתז ובנה לעצמו על "האפריורי המקורי" שהוא גילה מתוך עצמו.

עקרון בניית העולם אפריורי הגיע לשיא כוחו בעיקר באקדמיה הצרפתית שלאחר מלחמת העולם השנייה בשנות ה-60 של המאה הקודמת ומשם התפשט כמגיפה לכל העולם. כיום, לאחר שני דורות. בנוי לנו כבר מגדל בבל של אלפי תרבויות המייצרות וממציאות שפות המסתזות להן עולמות אפריורי ובכך נעלות בתוך עולמן הבנוי שהוא כבר חלק ממהותן ומן הגנום המומצא שלהן. הגנום הזה כבר מכיל את עקרון

האנ-אינפורמטיביות כאחד הגנים המהותיים שלו כי הוא מחוקק שהאפריורי, שהם היסודות של כל עולם מומצא ושל כל המשפטים המוכחים מתוכם, הם אך ורק תוצרי "הסינתזה" שהשכל מבצע מטבעו על החומרים שהוא מקבל מן החושים.

דוגמה אחת תספיק כאיור לסהרוריות הזו, ובה מספר אחד מיוצרי הפוסט-מודרניזם הצרפתי, ז'אן בודריאר, ש"מלחמת המפרץ לא הייתה". זו כותרת ספרו הקטן שהוא גם שם השלישי מפרקיו: "1. מלחמת המפרץ לא תהיה"; "2. מלחמת המפרץ לא קיימת"; "3. מלחמת המפרץ לא הייתה". מונחה על ידי אקטואליזם חמור, בודריאר טען שכל מה שאקטואלי לנו מן המלחמה הזו הם צילומי הטלוויזיה והעיתונות ולכן זו הממשות היחידה עבורנו, צילומים וסיפורים אך לא שום מלחמה. הציטוט שבחרתי לייצג את הליצנות הפילוסופית הזו הוא ביאור העובדה שמדינת ישראל לא הגיבה לטילים שנפלו עליה:

זה מבאר את הסובלנות של הישראלים: הם הותקפו על ידי מעופפים מופשטים בלבד, כלומר, טילים. ההתקפה החיה המינימלית הייתה נענית בהתקפה נגד מיידית. (מלחמת המפרץ לא קרתה: 45)

מי שראה את הסרט VICE על עוללות דיק צ'יני כסגן הנשיא W יתפעל מן האופק העצום של בודריאר ושות'. "מעופפים מופשטים בלבד" כי הם רק תמונות על מסכי הטלוויזיות ואני ואתה לא ראינו אותם עצמם. מה שלא מתפוצץ עלי הוא מתפוצץ מופשט ויציר השכל והדמיון. זהו העולם הקונקרטי והאקטואלי שהפוסט-מודרניסט הצרפתי הפך לעולמו ומשכנו כמפלט כדי לסדר את חשבוננו עם ההיסטוריה המשפילה של מולדתו במלחמת העולם השנייה, בדרום מזרח אסיה, בצפון אפריקה, ובחלקה המביש בשואה. ההיסטוריה כולה היא לכן המצאה ובנייה שכלית בלבד, המדע כולו הוא בנייה שכלית בלבד, החברה היא בנייה מדומיינת בלבד. מאות ספרים תחת כותרות "המצאת ה-X" החלו לצוץ בשוק האקדמי והיום המגפה במלוא כוחה והיא ניזונה ממסורת ההולכת ברציפות למקור מובהק והוא קאנט. והדמות המרגשת ביותר, אשר הדגימה את המהפכנות האקטואליסטית במדע על פי הדגם של הניהיליזם הקאנטיאני, היה איינשטיין.

## 7. איינשטיין: על זמן ומרחב יחסיים

כל דיון על תרבות ימינו אלו חייב לפתוח בציטוט המבוא להכרזת המהפכה שלו מתוך מאמרו מ-1905 של איינשטיין הצעיר ממשרד הפטנטים של ציריך שווייץ:

את שני העקרונות האלה אנו מגדירים כך:

1. החוקים שעל-פיהם משתנים מצבי מערכות פיזיקליות אינם

מושפעים מייחוסם למערכת קואורדינטות זו או אחרת הנעות במהירות קבועה.

2. קרן אור נעה במערכת קואורדינטות ה"נחה" במהירות קבועה בין אם מקור האור נע או נח.

לכן:

3. מהירות = (מסלול האור/הפרש הזמן) שבו הפרש הזמן משמעותו היא בהתאם להגדרה הקודמת.

(איינשטיין, 1905:42)

לעיקרון 1 קרא איינשטיין "עקרון היחסות", ולעיקרון 2 קרא "עקרון קביעות מהירות האור". עקרון היחסות הוא תנאי הכרחי שכל עובדה חייבת לקיים כדי שתבטא חוק טבע. עקרון האור אומר שמהירות האור הקבועה היא עובדה כזו. שני "עקרונות" אלה גילמו מהפכת ענק לא רק בפיזיקה אלא גם בפילוסופיה של הטבע, משום ששניהם שקריים על-פי הפוטנציאליזם הקלאסי אך הם וודאיים על פי האקטואליזם הקלאסי.

והנה, הרעיון שיכול להיות עצם שמהירותו היא אותה מהירות ביחס לכל מערכת ייחוס נחשב רעיון הבל בכל פיזיקה שנוצרה עד היום. אך עקרון האור נראה כאומר משהו דומה, (בהבדל שהוא מוגבל למערכות ייחוס "אינרציאליות" - אלה הן מערכות ייחוס הנעות במהירות קצובה ובכיוון קבוע, האחת ביחס לשנייה (והשנייה ביחס למרחב המוחלט? איינשטיין ישאיר מושג בעייתי זה בתיאוריה שלו ללא טיפול נוסף). אך המוזרות נשאר: איך ייתכן שעצם ינוע במהירות "א" בבת-אחת ביחס לשתי מערכות ייחוס כאלה שהמהירות היחסית שלהן היא "ב"? אם המהירות אומרת כמה "מ" עובר האור בשנייה ביחס למערכת אחת, אז נראה לנו שהוא יעבור בשנייה הזו יותר ק"מ ביחס למערכת השנייה, לאמור "א+ב" ק"מ. זהו המושג הקלאסי של מהירות, וכנגדו עקרון האור אומר שיש לוותר עליו למען מושג חדש של מהירות.

ומהו מושג המהירות החדש הזה? התשובה היא שמושג המהירות החדש הוא כל מה שנובע משני העקרונות האלה. העקרונות האלה מגדירים, לכן, את המושג "מהירות" כך שיהפוך אותם לאמיתיים, בדיוק כפי שהאקסיומות של כל גיאומטריה מגדירות את כל מושגיהן כך שיספקו את אמיתותן, ובדומה לכך גם מושג ה"חוק" החדש, שהוא נושא עקרון היחסות. הפוטנציאליזם הניח את ההפך: ניתן לצפות שאם קשר נתון הוא חוק טבע, אז הוא לא יהיה אמיתי ביחס לכל מערכת ייחוס. והיה טיעון פשוט שביאר זאת: חוק טבע קושר שני דברים נפרדים כמו למשל, המסלול במרחב ובזמן, והכוח הגורם לו. כך, למשל, כוח הגרביטציה גורם לתנועה באליפסה או פרבולה או מעגל וכו' (על פי הנסיבות). אם הכוח הוא דבר נפרד מן התנועה אז גודלו וכיוונו (עוצמתו)

אינם תלויים במערכת הייחוס (הם תלויים רק במסה של מקור הכוח, השמש למשל). אך צורת המסלול, כידוע, תלויה בהחלט במערכת הייחוס שבה היא נמדדת (ולכן רק לאחר שנמדד מסלולו של מאדים ביחס לשמש התברר לקפלר שהוא אליפסה). וכך יהיו מערכות ייחוס רבות שבהן אותו כוח יגרום למסלולים שונים. יש לצפות, לכן, שבדרך-כלל חוק טבע אינפורמטיבי (חוק הגרביטציה או חוקי קפלר, למשל) לא יישאר אמיתי ביחס לכל מערכות הייחוס, ואפילו לא לקבוצה חלקית שלהם.

ולהפך, לו היה מתברר שקיים חוק טבע הנשאר אמיתי בכל מערכות הייחוס האינרציאליות, היה הפוטנציאליסט מסיק שזהו מקרה מופלא בלבד. כך, למשל, שלושת חוקי התנועה של ניוטון הם כאלה רק משום שהם קושרים כוחות ומסות לתאוצות בלבד: כוחות ומסות נשארים קבועים בכל שינוי של מערכות הייחוס כי הם עצמים הנפרדים זה מזה, ועובדה מתמטית היא שתאוצות שומרות על ערכן בכל שינוי של מערכות הייחוס האינרציאליות, ולכן הקשרים ביניהם נשמרים גם הם בכל שינוי ביחס למערכות אלה. חוק הגרביטציה ותוצאותיו – חוקי קפלר – לעומת זאת, אינם כאלה, כי הם קושרים כוחות גם למסלולים ולא רק לתאוצות, ומסלולים (צורות גיאומטריות) אינם נשמרים כך. האינפורמטיביות של חוק טבע גוררת את המסקנה ששימורם במעבר בין מערכות ייחוס יהיה מקרי בלבד. אינפורמציה תלויה מערכת ייחוס, כמו מהירות, אינה יכולה להישמר בהחלפתן. איינשטיין הפך את המושג חוק טבע למושג חדש וזר, לפיו דווקא שימור זה הוא מהותו של חוק טבע, והוא עשה זאת על ידי כך שקבע את עקרון היחסות כהגדרה מקופלת (חלקית) של המושג החדש "חוק טבע". כרגיל, מתחת לשפה החדשה מסתתרת אונטולוגיה חדשה של עצמים, כוחות, וחוקי טבע, ולכן שני העקרונות החדשים גוררים בעקבותיהם שינוי גמור של כל יתר המושגים שבשפה הניוטונית הפוטנציאליסטית הישנה. מושג המהירות החדש מקפל בתוכו את מושג חוק הטבע החדש, ומשני אלה ביחד יוצא שאין עתה משמעות כלל למרחב וזמן נפרדים זה מזה. אך בדיוק לכן, אין כבר משמעות לכוחות נפרדים ולמסות נפרדות, וכתוצאה מכך אי אפשר כבר שחוקי הטבע יהיו טענות אינפורמטיביות, שהרי רק כך מן האפשר ששני העקרונות יהיו אמיתיים.

בשלב הבא ניגש איינשטיין להראות מה חייבים להיות חוקי התרגום של מדידות מרחקים וזמנים משפת מערכת ייחוס אינרציאלית אחת לשפת השנייה, כדי שעקרון האור יהפוך לחוק טבע. זהו חישוב פשוט, אך כתוצאה ממנו מתברר שחוקי התנועה של ניוטון כבר אינם חוקי טבע. כללי התרגום האלה אינם שומרים על חוקי הפיזיקה הניוטונית, אלא אם כן נניח שהמסה אינה גודל קבוע אלא תלוי במערכת הייחוס. הטעם פשוט – התאוצה עכשיו אינה גודל הנשמר במעבר ממערכת ייחוס אחת לשנייה, משום שמרחקים ופרקי זמנים אינם נשמרים: משני העקרונות נובע, שתיבה שאורכה מטר במערכת הייחוס של עצמה, תימדד כקצרה ממטר על ידי מערכת הנעה ביחס אליה.



כלומר, תיבה נחה שאורכה מטר, מתקצרת כאשר היא נעה. והוא הדבר בקשר לפרקי זמן – אלה מתארכים: אם לבי פועם בקצב של פעימה בשנייה במערכת שבה אני נח, הרי ממערכת אחרת שביחס אליה אני נע, יתברר שלבי פועם פעימה אחת רק בשתי שניות, נאמר, וההאטה תלויה במהירות היחסית של המערכת המודדת אותי. שתי אלה, התקצרות האורך והתארכות הזמן, גורמות לכך שתאוצות כבר אינן שומרות על ערכן כשהן נמדדות משתי מערכות אינרציאליות שונות, וכתוצאה מכך חוקי ניוטון מפסיקים להיות נכונים עבור כל מערכות הייחוס האינרציאליות. הכרחי, לכן, לתקן אותם. והתיקון נעשה על-ידי כך שגם המסה וגם הכוח מפסיקים להיות גדלים נפרדים ומתחילים מעתה להיות תלויים במדידה ביחס למערכת ייחוס. מתברר גם, שחוקי השדה האלקטרומגנטי אינם מתאימים לטרנספורמציות האלה, אלא אם כן הכוח החשמלי גם הוא תלוי במערכת הייחוס, ואינו עצם נפרד. איינשטיין העיר כך:

אנו רואים שהכוח האלקטרו-מניע ממלא בתיאוריה החדשה תפקיד של מושג-עזר בלבד, והוא נדרש כלל רק משום שכוחות חשמליים ומגנטיים אינם קיימים בנפרד ממצב התנועה של מערכת הקואורדינטות (איינשטיין, 1905: 55)

ובעזרת ביטול המעמד הנפרד של הכוחות והפיכתם ל"מושגי עזר", יצירי-שכל תלויי מערכת ייחוס, נפתרה גם האסימטריה שאיינשטיין הזכיר בראש המאמר ושעוררה אותו מתרדמתו והוא הוסיף:

יתר על כן, השאלה בדבר מקום מושבו של הכוח האלקטרו-דינאמי אלקטרו-מניע...נעלמת עכשיו. (שם: 55)

"השאלה נעלמת" כי כוחות אלקטרו-דינאמיים ומגנטיים מעתה כבר אינם שוכנים כלל – הם צצים ונעלמים על-פי מערכת הקואורדינטות שביחס אליה הם נמדדים, וכמוהם נוהגות גם המסות. מסות וכוחות הפכו עכשיו לתכונות שניות כמו מתיקות וחום שאינם נפרדים מן התחושות, בהבדל שכאן הם אינם נפרדים ממערכת הייחוס והמדידה שבה הם נמדדים. המדידה במערכת ייחוס תפסה את מקומה של התחושה הסובייקטיבית, והגדלים הפיזיקליים האלה הפכו עתה לבלתי נפרדים מן המדידה.

ההסברים של המדע החדש יהפכו לעניינים של שפה בלבד וכל סיכוי לאינפורמטיביות נעלם. איינשטיין יצר כאן שפה חדשה שכל מושגיה הפיזיקליים הוגדרו מחדש על-ידי העקרונות וההגדרות, והדקדוק שלה נקבע על-ידי חוקי התרגום של מדידות ממערכת ייחוס אחת לשנייה. כתוצאה מכך, הביאור היחיד האפשרי עכשיו הוא צורני, מעין הוכחה דקדוקית (זאת אומרת, מתמטית), המראה שבשפה החדשה, התרגום ממערכת ייחוס אחת לשנייה נותן את התוצאה הנצפית.

כל זה יכול להישמע כתרגיל לשוני בלבד, לולא הדבר המופלא באמת בכל המהפכה המוזרה הזו – השפה החדשה מספקת את כל מה שהפיזיקה הישנה סיפקה, ובנוסף לכך יש לה חזיוניים חדשים עבור תופעות מיוחדות במהירויות גבוהות וכולם התאמתו. אך יש צרה – איש אינו מבין מדוע, וזאת מן הרגע הראשון, הרגע שבו איינשטיין הכריז על עקרון האור. מאז אין לנו הסבר ואין בנו הבנה כיצד מן האפשר שמהו ינוע באותה "מהירות" מספרית ביחס לכל מערכות הייחוס (אפילו מסוג נתון). ומכיוון שלעובדה זו לא ייתכן הסבר בתוך תורת היחסות (משום שהיא אינה עובדה כלל אלא היא עיקרון, אקסיומה, פוסטולט) אין הסבר להצלחתה, אף-על-פי שאין בה ספק.

מלבד ביאור אחד. והוא הביאור האקטואליסטי, האומר שמערכת שפה אנ-אינפורמטיבית תהיה אמיתית תמיד ובהכרח כל עוד ריקותה נשמרת בקפדנות, ותורת היחסות היא מערכת שפה כזו. כל אמיתותיה הכרחיות כי הן לשוניות בלבד בדיוק כמו שקורה בכל מערכת מתמטית בנויה כהלכה.

ראינו עד כה שלושה דברים שבלטו בתורת היחסות הפרטית כסמלי המהפכה. ראשית, בחירתו של איינשטיין לבנות אותה על הגדרה ושני פוסטולטים, שהם הסינתטי אפריורי של קאנט. שנית, הבנייה הלשונית של הממשות הפיזיקלית. ושלישית, תפקידו המכריע של האקטואליזם שעליו נבנו הפוסטולטים.

הבה ונבליט כמה מן הסיבובים בעלילה הזו. ראשית, הרעיון שחוקי טבע הם אמיתיים בכל מערכות הייחוס האינרציאליות, יכול להיות משמעותי רק עם ביטול ההבחנה הישנה בין הסובייקטיבי והאובייקטיבי. ורק לאחר ביטול זה, אפשרי היה ששימור אמת כזה יהיה הכרחי לוגית. כי מכיוון שכל התכונות הפיזיקליות הישנות (אורך, זמן, מסה) הפכו להיות שניות ותלויות מערכת ייחוס, נעלמו התכונות הראשוניות, ועימן המושג הישן של הדבר האובייקטיבי, כדבר שקיומו אינו תלוי בשום מערכת ייחוס, ורק הופעתו משתנה תמיד עם מערכת הייחוס. שנית, כך נעלם, לכן, ההבדל בין מה שקיים ומה שמופיע, ורק לכן העובדה שאורכה של התיבה הוא מטר במערכת ייחוס אחת, והעובדה שאורכה שני מטר במערכת אחרת – הן שתיהן אובייקטיביות באותה מידה. מעתה אין הבדל בין המושג "המידה האמיתית האובייקטיבית" לבין "המידה הנמדדת והמופיעה", או, בלשון החדשה, אין מערכת ייחוס מועדפת.

שלישית, בשל כך בדיוק כוחות המופיעים ונעלמים עם החלפת מערכת הייחוס הם עצמים אקטואליים ולכן גם ממשיים. רק משום כך יכולים חוקי טבע לשמר לא רק את צורתם אלא גם את תוכנם במעבר בין מערכות ייחוס – הם מופיעים בדיוק כמו שהם קיימים (למשל, "האור נע באותה מהירות C בכל מערכת ייחוס" הוא חוק בעל תוכן זהה בכל מערכת ייחוס, לאמור, המהירות C היא אותו מספר עצמו). מושג האובייקטיביות החדש הפוך, לכן, למושג הישן. הדבר האובייקטיבי בפיזיקה הניוטונית, בדיוק כמו חוק

הטבע, מצפין את תכונותיו האובייקטיביות, כלומר רק צורת הופעתו תלויה במערכת הייחוס.

עבור הפוטנציאליסט היה זה רק טבעי שחוקי השדה של מאקסוול, שהכילו במפורש את מהירות האור  $C$ , לא יישמרו במעבר בין מערכות ייחוס, בדיוק מכיוון שאמיתותם אובייקטיבית, וזו הייתה הסיבה לכך שחיפוש תנועת הארץ המוחלטת נערך על-ידי ניסויים אלקטרומגנטיים – כי בתקופת השפה הישנה, מכיוון שמשוואות השדה של מאקסוול הם חוקים אובייקטיביים, הם היו אמורים להיות אמתיים רק ביחס למרחב המוחלט, ולכן על גבי הארץ הנעה הם היו אמורים להיות שונים בהתאם למהירותה המוחלטת. למשל, מהירות האור הייתה חייבת להיות שונה מ- $C$  על פי כיווניהן במרחב המוחלט, וההפרש ביניהן היה אמור לשקף וכך למדוד את תנועת הארץ המוחלטת.

מושג האובייקטיביות החדש שנשקף מעקרון היחסות היה, לכן, ביטוי לאונטולוגיה האקטואליסטית של איינשטיין. רק היא מאפשרת להפוך את השימור בהופעה (כלומר במדידה) במערכות ייחוס שונות לתנאי הכרחי לאובייקטיביות, ורק היא מאפשרת מתן משמעות ברורה ומובחנת לרעיון זה.

ולכן מגיפת טראמפ אינה אלא המשך הרמוני למסורת מדעית זו עם הוכחותיה הבלתי פוסקות לאי-האפשרות של האמת. טראמפ הוא הנציג האותנטי של המסורת האינטלקטואלית שלנו, הוא "פרצוף כל העולם" כביטוי של שפינוזה. זהו ההסבר לכך שטראמפ נבחר למנהיג העולם החופשי בשיאה של ההשמדה הטוטאלית של התבונה.

אויה לנו.

יום כיפור 2019, זכרון יעקב

# האם אנו אסירי הטכנולוגיה או אדוניה?

נועה גדי

ד"ר נועה גדי היא מרצה וחוקרת רב-תחומית. תחומי העניין שלה כוללים ענפים שונים של פילוסופיה (אפיסטמולוגיה, אתיקה, אסתטיקה ופנומנולוגיה), תיאוריה חברתית, תיאוריה ביקורתית, תיאוריה של תרבות ותרבות דיגיטלית.

**ייצור ופיתוח כלים הוא מאפיין מובהק של התרבות האנושית, מהתחלואה הקדומות ועד לשיא הנוכחי בעידן טכנולוגיות המידע החכמות. טכנולוגיה היא עדות לכושר ההמצאה והדמיון האנושי, וגורם חשוב בעוצמה התרבותית של כל חברה, בכל עידן. המהפכה הדיגיטלית היא מהפכת תרבות במובן זה שחוללה שידוד מערכות בכל תחומי החיים, בכל שדות הפעילות האנושית, בדפוסי החשיבה וההתנהלות היומיומית שלנו. לכן היא מזמינה דיון פילוסופי-תרבותי בשלל המשמעויות וההשלכות שלה על ידיעה, על חברה ואתיקה, ועל גורלו של הסובייקט האנושי שהטכנולוגיה שלו מאיימת להיהפך מכלי-שרת לתכלית בפני עצמה. מאמר זה מבקש לזמן את הקוראים לדיון שכזה.**

*"המטריקס הוא כל הסובב אותנו... זה העולם שמכסה את עיניך כדי להסתיר ממך את האמת... שאתה עבד, ניאו; כמו כולם נולדת לכבלים, נולדת לתוך כלא שאינך יכול להריח, לטעום או לגעת בו - כלא לתודעה שלך" (מורפיאוס, "מטריקס", 1, 1999)*

מעמדו של "המטריקס" (הראשון בטריולוגיה של האחיות וצ'אוסקי) בעולם הקולנוע מקביל למעמדו של רנה דקארט בעולם הפילוסופיה. זה, גם זה, נהיה אייקון תרבותי של זמנו - סמל מובהק של רוח התקופה. "המטריקס" הראשון עורר את תודעת הקהל הרחב שבא לצפות בסרט פעולה עתידני לאחת מבעיות היסוד המטרידות ביותר של הפילוסופיה, שמלוות אותה עד ימינו, הלוא היא בעיית הספקנות. במאה השבע-עשרה העניק דקארט, מחלוצי הפילוסופיה המודרנית, לבעיה זו את הניסוח המפורסם ביותר שלה דרך שני טיעונים מאוד מצוטטים, שמהדהדים במפגש הראשון בין מורפיאוס, מנהיג המורדים החופשיים של ציון, לניאו, שבוי של אשליית "המטריקס", שהספק לגבי

## טבעה האמתית של המציאות הסובבת אותו התחיל לנקר בו.

התהייה הראשונה שעלתה במוחו של הצופה, שיצא מאולם הקולנוע בשנת 1999, הייתה: "האם ייתכן שאנחנו כעת בתוך 'המטריקס' (ואין לנו מושג על כך)?" האם, בדומה לניאו שעובד בחברת הייטק בימים וכהאקר בלילות ומשוכנע שזו מציאות חיו, גם אנחנו מנוהלים על ידי בינת-על שמזינה אותנו בסימולציה שהיא מתפעלת, כל זאת ללא ידיעתנו? האם היינו יכולים להעלות זאת בדעתנו, מלכתחילה, אם אמנם היינו שבויים בידי קונסטרוקציה ממוחשבת נוסח "המטריקס"? אם החוויה החושית שלנו בשינה זהה לזו שבערות, בחלום או במציאות וירטואלית לזו שבמציאות פיזיקלית – כיצד נדע באיזה מן המצבים אנו שרויים ברגע זה? דקארט, כאמור, העלה שני טיעונים ספקניים ביחס לכושרו של השכל האנושי להגיע לידיעה אמיתית של העולם: טיעון החלום וטיעון השד המתעתע. בטיעון החלום עמד דקארט על כך שהחוויה שלנו בזמן חלום ובזמן ערות זהה הן מבחינת התכנים והן מבחינת התחושה: הדברים שעליהם אנו חולמים מוכרים לנו מעולם המציאות, ורק הקומבינציות או הסיטואציות הן מפתיעות או מרחיקות לכת בהשוואה לניסיון החושי שלנו במציאות. כמו כן, כל עוד אנו שרויים בחלום, הדברים מרגישים "אמיתיים" וממשיים. מכאן, שלא ניתן להסתמך על החושים כעל מקור מהימן לידיעה, אפילו לא להבחנה בין שינה לערות. נקרא לטיעון זה ספקנות מדרגה ראשונה.

בטיעון השד המתעתע העלה דקארט את האפשרות שקיימת ישות-על ערמומית וזדונית שגורמת לו להאמין בדברים שאינם קיימים, בעוד, שלמעשה, אין מציאות פיזיקלית ואין לו, לדקארט, אפילו גוף. טיעון זה שקול להיפותזת המטריקס – להנחה שהמוח מגיב לגירויים מפוברקים ומייצר תכנים מנטליים בהתאם – ונקרא לו ספקנות מדרגה שנייה. משמעו, שאין לנו שום יכולת אפילו לדעת אם אנחנו יודעים, כי כל תכני הידיעה שלנו כביכול הם תכנים "מושתלים", תוצר של מניפולציה חיצונית מוחלטת.<sup>1</sup> נניח שהעולם כולו הוא "הזיה קולקטיבית" וסיפור המוח במכל נכון, "האם היינו יכולים, אם היינו מוחות במכל, לומר או לחשוב שאנחנו כאלה?" לפי הילארי פאטנס, הבעיה היחידה בהנחה הזו שאינה מפרה שום חוק פיזיקלי, שהיא פשוט לא הגיונית כי "על אף שאנשים בעולם האפשרי הזה [שבו יצורים בעלי חשה הם מוחות במכל] יכולים לחשוב ולומר כל מילה שאנחנו יכולים לחשוב או לומר, הם אינם יכולים להתייחס למה שאנחנו יכולים להתייחס. במיוחד, הם אינם יכולים לחשוב או לומר שהם מוחות במכל" (Putnam, 1981, 7-8). במילים אחרות, למילים ולמושגים שלנו חייבים להיות מושאים ממשיים, אלא אם נסוגנו לגמרי מן העמדה הריאליסטית (שלפיה העולם ממשי, ואובייקטים קיימים ללא תלות בתפיסה שלנו אותם או ביכולת שלנו להכירם לאמתם) לטובת עמדה סוליפיסטית שמוכנה להתחייב רק לעולם בועה של תפיסות

1. בגרסת שנות האלפיים שלו נהפך הטיעון הקרטזיאני לטיעון "המוח במכל", כשבתפקיד השד המתעתע מדען-על מוחשע שמזין באמצעות מחשב את המוח שצף במיכל מלא נוזלים בכל החויות הנוכחיות. מכיוון שאין למוח במכל כל דרך להבדיל בין הניסיון שלו לניסיון של משהו שהוא אינו מוח במכל, ובהינתן שהמדען המוחשע מוצלח במה שהוא עושה – אין למוח כזה אפשרות לדעת שהוא לא מוח במכל (Dancy, 1985).

בתוך הראש, ללא אובייקטים אנלוגיים שתואמים אותן.

השאלה "מהו המטריקס?" אינה שאלה מדעית או תיאולוגית, לא בנוגע לגופים ולא בנוגע לתכליות סופיות; זו שאלה מטאפיזית שנוגעת ליחס בין ההכרה למציאות. זו שאלה שמחייבת בירור שהוא מעבר לתופעות המידיות. ניאו, כמו דקארט, מונע על-ידי השאלה שמובילה לחקירה פילוסופית של העולם. לשאלה אם אנחנו (בשפת "המטריקס") "בפנים או בחוץ" יש משמעויות כבדות משקל מבחינה אפיסטמית (ידיעה) ואתית; שאלות שגם גיבורי הסרט מתמודדים איתן, וזאת, אף שהעולם האנושי-תרבותי שהכירו נכחד, אף שהם חיים בעידן המכונות השולטות בגוף ובמוח של כלל האנושות. ניאו מתקשה להיפרד מן האמונות והנחות היסוד שאחזו בהן והתנהלו לפיהן בתוך הסימולציה של שיקגו לטובת האמת על "המדבר של הממשי" שמורפיאוס חושף בפניו. הוא מתקשה להאמין שגורלו לא נקבע על-ידו כי אם הוכתב על-ידי תוכנת-על ששלטה בכל מהלך מחשבתו ובכל פעולה פיזית שביצע לכאורה על דעת עצמו. הוא מתקשה להאמין שיוכל לקפוץ מגג של בניין גבוה אחד למשנהו בגלל שהוא כבול בראשו לחוקי הפיזיקה, שבפועל אינם תקפים בעולם הפיקטיבי של "המטריקס". ה"סיבה" שניאו כמעט "מתרסק" בפעם הראשונה שהוא מנסה לקפוץ, אינה קשורה בתנאים האובייקטיביים של המציאות – שהרי אין באמת גוף או בניינים גבוהים או כוח משיכה בתוך "המטריקס" – כי אם בהתניה קוגניטיבית-פסיכולוגית שפועלת עליו, בגלל שבתודעתו, במבנה ההכרה שלו, ניאו עדיין אנושי. ניאו, כמו כולנו, מאמין בסיבתיות, בין אם יש לה אחיזה של ממש בעולם התופעות ובין אם היא רק מאפיין של התפיסה המארגנת שלנו בלבד (כפי שהראה עמנואל קאנט). גם אם הערעור הספקני של הפילוסוף האמפיריציסט דיוויד יום עומד בעינו, ומושג הסיבה אינו אלא "הרגל של הרוח" לקשור בין שני אירועים סמוכים שאחד מהם קודם בהתמדה להתרחשות השני, רק בעולם פיקטיבי של מציאות וירטואלית ניתן להשתחרר מן הקיבעון הסיבתי הזה ולעצור כדורים במקום לחמוק מהם, כפי שניאו מצליח לעשות כשהוא מכיר סופסוף ביכולות גיבור-העל שלו.

"המטריקס" אמנם חוטא בוולגריזציה של הסוגיות הפילוסופיות שהוא מתכתב איתן, אך אין ספק שהצליח, אולי יותר מכל סרט קולנוע אחר (חוץ מ"2001: אודיסיאה בחלל" של סטנלי קובריק), לא רק להמחיש ויזואלית ודרמטית מחשבות פילוסופיות מרכזיות על טבעו של הסובייקט האנושי ועל טבעה של המציאות שעימה הוא מתמודד, אלא גם להדגים באופן אפקטיבי את הרלבנטיות שלהן בעידן של טכנולוגיות "חכמות". במיוחד הצליח "המטריקס" להעלות בתודעת הצופה את המתח בין הממד הריאלי לוורטואלי, בין האורגני לביולוגי, בין האנושי למכאני, את טשטוש הגבולות ביניהם, ואת ההשלכות שיש לכך על שאלות שמלוות את היומיום של כולנו, במודע או שלא במודע – שאלות שנוגעות לאמת וידיעה, למוסר וחברה, לתפיסה שלנו את עצמנו ואת קיומנו בעולם.

האם "המטריקס" (כמטאפורה) הוא היפותזה מטאפיזית על המציאות הסמויה מן העין, או שמא הוא משל חברתי-אתי על המצב האנושי? בין אם זו המציאות הראשונית,

הפיזיקלית, של דם, יזע ודמעות, ובין אם זו מציאות וירטואלית, חופשיה מכבלי גוף וחומר וכל הכאב והדאגה שהם מייצרים (אם כי לא חופשיה מערכים), זו אותה תודעה שתוהה על משמעות הדברים.<sup>2</sup> הופעתה של מציאות וירטואלית אינה אמורה לשמש מפלט אסקפיסטי או הדוניסטי מן המציאות הראשונית שאנו עדיין נטועים בה, להפך – המחשב הוא "מכונה מטאפיזית" (Heim, 1993) במובהק, שמחייבת אותנו להרהר ברצינות על עצם המושג "מציאות" ועל משמעות קיומו של הסובייקט האנושי בתוך הדרמה הקוסמית והתרבותית, שאנחנו חלק ממנה בה במידה שאנו מתמודדים עם אתגריה ומורדים במגבלות שהיא מציבה לנו. אם הייתה לנו אפשרות "לפרוש" לעולם של מציאות וירטואלית שבה נוכל לעצב מחדש את דמותנו ואת חוויותינו – בדומה לעסקה שסוגר סייפר הבוגדני עם הסוכן סמית (פרסוניפיקציה של תוכנת המטריקס) בתמורה להסגרה של מורפיאוס לידי – האם היינו עושים זאת? האם היינו מוותרים מרצון על המהלך הספונטני של החיים או על הבחירות החופשיות (על כל השלכותיהן האפשריות), ומפקידים את גורלנו בידי תוכנה-ספרנית שתברור עבורנו ביוגרפיה, שהיא מימוש כל חלום או משאת נפש שהייתה לנו? ונניח שהיינו יכולים להיכנס אל תוך "מכונת ניסיון" (Nozick, 1974) שכזו ולצאת ממנה, כל פעם מחדש, כל פעם לתוכנה מסעירה אחרת – האם היינו ממירים את הקיום הממשי בקיום אמורפי בתוך מרחב וירטואלי? לשם מה? איזו משמעות הייתה לפעולותינו בתוך המכונה? האין זו בחירה שמרוקנת מכל תוכן את מושג הבחירה החופשית, וסותמת את הגולל על היכולת לשנות ולהשפיע – "לעשות את ההבדל"?

הטכנולוגיה של מציאות וירטואלית ושל בינה מלאכותית רק הגבירה את העניין של פילוסופים וחוקרי תרבות בשאלות מטאפיזיות, מוסריות וחברתיות. העיסוק האקדמי בעולם הדיגיטלי מתבסס במהלך שנות התשעים של המאה העשרים על רקע ההכרה המוחצת שהמצאת המחשב והאינטרנט לא סתם חוללה מהפכה טכנולוגית בתחום התקשורת כי אם מהפכה תרבותית של ממש. כמו המהפכה התעשייתית, שהחלה כמהפכת מיכון בתחום הייצור החקלאי והניעה שורה של תהליכים כלכליים, חברתיים ומנטליים, שתוצאתם היא אורח החיים האורבני שמאפיין ומגדיר את התרבות המודרנית עד היום – גם הטכנולוגיה הדיגיטלית יצרה מרחב תרבותי חדש: סייברספייס. זרועות התמנון של הטלקומוניקציה הגיעו הרבה מעבר לצינורות הברזל והפלדה וכלי התעבורה המהירים בים, באוויר וביבשה; החירות החומרית מכבלי מקום-זמן במרחב קינטי, אלסטי ומשתנה בהתמדה, אפשרה ל"צינורות החדשים" (Mitchell, 1999) להתפרש ולחלוש על כל הזירות המוכרות לנו, בכל רמה והיבט של התנהלות אנושית ביומיום של פרטים ושל קבוצות, של חברות ושל מדינות, ולשנות באופן רדיקלי את דפוסי התנהלותן "מכפנים".

2 כמו מאוס שתוהה אין "המטריקס" ידעה מהו הטעם של חיטה, ואין הוא, שמעולם לא טעם חיטה, יכול לדעת שזה אמנם הטעם שלה.

המשמעות התרבותית של הדיגיטליזציה (בדומה לזו של האינדוסטריאליזציה שקדמה לה, אך בשיעור חסר תקדים) חורגת הרבה מעבר לדיגיטציה ולאוטומציה, מעבר למכניזם של הפצת מידע ותקשורת עולמית ולפלטפורמות אינטראקטיביות. מדובר במפנה אונטולוגי וקונצפטואלי שמחייב אותנו לבחון מחדש את הפוזיציה שלנו כסובייקטים אנושיים בעולם הקיברנטי שיצרנו במקביל לעולם החומר, ואת ההגדרות המושגיות שמשמשות אותנו כדי לתאר ולמשמע אותו. חשוב מכול, המפנה הדיגיטלי מחייב אותנו לקבל הכרעות ביחס למגמות פיתוח ויישומים, הכרוכות, כפי שזיהה נכונה אבי הקיברנטיקה נורברט וינר (1964), באחריות המוסרית שלנו, מקבלי ההחלטות. האם נאמץ את מנטליות העבד, שמעדיף לרצוע את אוזנו ולהפקיד את האחריות לגורלו בידי אדונו, ונתמסר להגיון האלגוריתמי של בינת-על מלאכותית – או האם נשמר את האוטונומיה התבונית שלנו? האם נוותר על העמימות מרובת המשמעויות של שפתנו לטובת הפונקציונליות האוניברסלית של שפת המחשב? הבינה האנושית אמנם מוגבלת ולעתים מאכזבת, אך זו בינה מודעת לעצמה, בינה רפלקסיבית, המסוגלת לייחס ולהבין משמעויות, כוונות וערכים. זו בינה בעלת דמיון יוצר, שהוא בלבד, כדברי המתמטיקאית הבריטית וחלוצת התכנות עדה בירון לאבלייס (Toole, 1992), חושף בפנינו עולמות ויחסים בלתי-נראים, מעבר לחושים, ומנכיח אותם מנטלית בתודעה. זה הדמיון שאחראי להמצאת כלים ולפיתוח ולשכלול שלהם משחר ימי האנושות, מן ההומו המודרני הראשון (הומו סאפיינס) ועד למודרני המאוחר של ימינו. מקורו במוח האנושי שמסוגל לטוות תרחישים ולשרטט זירות התרחשות באופן אוטונומי, להעמיד עולם רוח שלם של סמלים וייצוגים – מכוחות טבע ועד כוחות נפש – בתגובה לא רק לעולם שסביבו אלא גם לעצמו. עולם ייצוגים זה מודע לעצמו ומוצא ביטויו בשפה האנושית, שפה שאנו מנסים להנחיל לרובוט החכם על מנת שיתקשר אתנו בטבעיות ו"יתנהג" באופן שיקל עלינו לנהל אתו מערכת יחסים דמוי-חברתית, אפילו רגשית. מודעות עצמית מן הסוג שנלווה לכל חוויה והתנסות אנושית אינה רלבנטית במקרה של הבינה המלאכותית; מספיקה מראית-עין של התנהגות אינטליגנטית וכישורי שיחה משכנעים (בדיוק כפי שקבע מבחן טורינג המפורסם).

השאלה השנויה במחלוקת היא האם גם עלינו, יצורי אנוש, לעבור טרנספורמציה ואדפטציה לעולם הטכנולוגי של מכונות חכמות? אם מספיק גירוי עצבי נירולוגי בשביל לתמרן את התודעה שיכולה להריץ את עצמה על מושאים מדומיינים, וירטואליים, כמו בתרחיש ה"מטריקס" או בחלום או בהזיה, אז אולי התודעה עצמה היא פיקציה, ומוח אנושי בסופו של דבר ניתן לפונון וקוון בדומה למוח האלקטרוני שנברא בדמותו? הפנטזיה על בינה מלאכותית, הנטייה להיטמע בתוך הטכנולוגיה המרהיבה שיצרנו וליפול בקסמן של מלים המתארות אותה, אמר ג'ון לנייר, מוזיקאי, מדען מחשב ומפתח



טכנולוגיות VR משפיע, נשענת על הציפייה שמכאן ואילך הטכנולוגיה הזו תנהל אותנו בזכות מדע-אלוהים שכזה (תוכנה שהיא תכתוב בעצמה, ששום מוח אנושי אינו מסוגל לכתוב). "טוטליזם קיברנטי" (Lenier 2000) – התפיסה שדפוסי מידע ממחושבים הם האמצעי הטוב ביותר להבנת המציאות, שבני אדם במהותם הם אוסף של דפוסי מידע שכאלה, שהביולוגיה והפיזיקה יתמזגו בסופו של דבר עם מדע המחשב כך שהחיים על פני כדור הארץ יחדלו להיות אנושיים במונח המוכר לנו, ויפתח עידן הסינגולריות (קורצווייל, 2012) – הוא תזכורת לאבחנה הראשונית של וינר, שהקברניט האמתי של הטכנולוגיה הוא האדם.

במובן זה אין מנוס מן הסובייקטיביות של ההכרה האנושית, מנקודת המבט האנתרופוצנטרית, גם אם נדמה שהמחשב "מתקדם" יותר בגלל שהיכולות שלו משוכללות יותר במובנים מסוימים. בסופו של דבר, כישורי החשיבה הסינתטית האנושית, וספציפית גורם התכנון וההערכה, הם שמקנים לאדם שליטה על תהליך קבלת החלטות בכללותו. וינר האמין כי המשימה החשובה ביותר של הקיברנטיקה, כל עוד יש חיים בכדור הארץ, היא פיחות האנטרופיה ב"עולם שמגמתו הכללית היא לפרוע סדר". ועד לקצו הבלתי נמנע של כדור הלכת שלנו "יכולים אנו לכוון את הדברים כך, שאותו מקרה חולף הנקרא חיים, ואותו מקרה חולף עוד יותר הנקרא חיי-אנוש, יעמיד ערכים חיוביים חשובים לעילא, למרות כל ארעיותם"<sup>3</sup>. לפיכך, במובן חשוב ובסיסי, שחסידי הטכנולוגיה הדיגיטלית והעתידנים למיניהם נוטים להתעלם ממנו או להדחיקו, אם לא ניעלם כליל מכדור הלכת הזה – ולא משנה אילו משקפיים דיגיטליים או פרותזות ביוניות נרכיב, ואילו שבבים אלקטרוניים נחדיר לגופנו – דילמות אקזיסטנציאליות, אפיסטמולוגיות ומוסריות ימשיכו להעסיק אותנו ולהיות רלבנטיות להמשך הקיום האנושי שלנו.

## מקורות:

- דקארט, רנה (2001). *הגינות על הפילוסופיה הראשונית*, תרגום: דורי מנור. תל אביב: ידיעות אחרונות.
- וינר, נורברט (1964). *אנשים ומוחות-מכונה: הקיברנטיקה והחברה*. תל אביב: ספריית פועלים בע"מ.
- יום, דיוויד (2013). *מסכת על טבע האדם: ניסיון להנהיג בענפי החוח את שיטת הטיעון הניסיונית*, תרגום יפתח בריל. ירושלים: שלם.
- קורצווייל, ריי (2012). *הסינגולריות מתקרבת: כאשר האנושות מתעלה על הביולוגיה*, תרגום: עמנואל לוטם. ירושלים: מאגנס, דביר.
- Dancy, Jonathan (1985). *Introduction to Contemporary Epistemology*. New York: Blackwell Basil.
- Heim, Michael (1993). *The Metaphysics of Virtual Reality*. New York: Oxford University Press.
- Lenier, Jaron (2000). "One-Half of a Manifesto". In *Wired* 8.12 December, [http://www.wired.com/wired/archive/8.12/lanier\\_pr.html](http://www.wired.com/wired/archive/8.12/lanier_pr.html)
- Mitchell, J. William (1999). *E-topia: "Urban life, Jim – But Not as We Know It"*. Cambridge, MA: MIT.
- Nozick, Robert (1974). *Anarchy, State, and Utopia*. New York: Basic Books.
- Putnam, Hilary (1981). "Brains in a Vat". In *Reason, Truth and History*, New York: Cambridge University Press, 1-21.
- Toole, Alexandra Betty (ed.) (1992). *Ada, the Enchantress of Numbers: A Selection from the Letters of Lord Byron's Daughter and Her Description of the First Computer*. Mill Valley, CA: Strawberry Press.

3 נורברט, וינר (1964). *אנשים ומוחות-מכונה: הקיברנטיקה והחברה*, תל אביב: ספריית פועלים בע"מ, עמ' 33, 39.

# מכללת אפקה: מקרה בוחן במנהיגות לשינוי בהשכלה הגבוהה

דיוויד א' גולדברג

דיוויד א' גולדברג היה פרופסור בכיר באוניברסיטת אילינוי. ב-2010 התפטר מכהונתו, עבר הכשרה באימון למנהיגות וכיום הוא נשיא חברת ThreeJoy Associates – חברת מנהיגות, הכשרה וייעוץ לשינוי בדאגלס, מישיגן.

**בריאיון עם פרופ' עמי מויאל, נשיא מכללת אפקה, מוצג המאמץ של אדם בעל חזון שהגיע מהתעשייה לחולל שינוי עומק בתפיסת החינוך במוסד אקדמי טכנולוגי צומח. הרפורמה הזו מנותחת לאור העקרונות בספר *A Whole New Engineer*, המיושמים בעבודת חברת הייעוץ ThreeJoy, והם המנוע לשינוי סביבת החינוך של המהנדס החדש במאה ה-21. מה שנודע בעבר כ"מיומנויות רכות" נהפך בתפיסה של ThreeJoy ל"מיומנויות שינוי".**

**דוד, גוליית וכתובת "מהנדס חדש לגמרי"**

בשנת 2014 פרסמנו מארק סאמרוויל ואני ספר שכותרתו "מהנדס חדש לגמרי" (*A Whole New Engineer*, או WNE; גולדברג וסאמרוויל, 2014). ספר זה שימש אנשי חינוך בהנדסה ובמקצועות אחרים כמפת דרכים להבאת שינוי בבתי ספר רבים ושונים ברחבי העולם. חלק מהמשיכה של הספר היה סיפור דוד וגוליית בשני הנרטיבים העיקריים שפרוסים לאורך הטקסט. מכללת אולין (Olin) הייתה באותה תקופה סטארט-אפ לא ידוע יחסית ולוחמני, שניסה להביא לחינוך הנדסי מסוג חדש, ואוניברסיטת אילינוי הייתה מעצמת מחקר מסורתית שניסתה להשיב את הקסם לתואר הראשון שלה, ורבים מהמנהגים הספציפיים של שני בתי ספר לא עברו טוב בין זה לזה. עם זאת, ברמת המוטיבציה (הרגש), התרבות והמנהיגות לשינוי, מצאנו מארק ואני קרקע משותפת להבנת גורמים מרכזיים במה שהתרחש בשני בתי ספר שונים אלה בתקופות של שינוי מהיר ואפקטיבי.

מאז שעזבתי את אוניברסיטת אילינוי בשנת 2010 ומאז כתיבת WNE, חשתי אתגר והנאה כשניסיתי להבין טוב יותר את עקרונות הרגש, התרבות והשינוי בהקשרים רבים

ושונים ברחבי העולם. מהתרכות הבלתי-רגשנית יחסית של סינגפור ועד לרגשות המוחצנים של ברזיל, מקולג' סטארט-אפ לטכנולוגיה ומדעי הרוח בהולנד ועד בית ספר פוליטכני במישורי המיד-ווסט של ארצות הברית, ובמקומות בין לבין – עבדתי באוניברסיטה, במכללה, במחלקה, בפקולטה וברמת הסטודנטים, אחד על אחד ובקבוצות קטנות וגדולות, במטרה להביא לשינוי אפקטיבי.

### **מהנדס חדש לגמרי נוסע לתל אביב**

לאחרונה היה לי העונג לשוחח עם פרופסור עמי מויאל, נשיא מכללה צומחת להנדסה בישראל, מכללת אפקה, והתרשמתי מכך שרבות מהפרקטיקות שבהן אני דוגל מאז שהתחלתי לכתוב על חינוך הנדסי (גולדברג, 1996) ואלה שאני מקדם ב-WNE עלו בשיחתנו. למען האמת, אפקה לא פעלה לפי WNE בעבודתה; רק באחרונה היא נחשפה לטקסט, ואם אשתמש במטאפורה ביולוגית, זהו מקרה של אבולוציה מקבילה, שבה תוצאות מערכתיות זהות או דומות הושגו באמצעות מסלולי אבולוציה שונים. עם זאת, חשבתי שיועיל להדגיש אלמנטים מרכזיים בשיחה שלי עם הנשיא מויאל כדי לסייע לאלה המעוניינים בשיטות מנהיגות אפקטיביות לשינוי באקדמיה. נוסף על כך, לקראת סוף המאמר, אני מדגיש כמה הישגים מהתקופה האחרונה בהאצת השינוי בבתי ספר כמו אפקה, שמוכנים כבר לצעד הבא במסגרת תוכנית הלימודים.

### **שיחה עם מנהיג סטארט-אפ בארץ הפלאות האקדמית**

אחד הדברים המרשימים בשיחה שלי עם הנשיא מויאל הוא הרקע שלו. ישראל היא המובילה בחברות סטארט-אפ יזמיות לנפש – עד כדי כך שהמדינה כונתה "אומת הסטארט-אפ" בספר בעל אותה כותרת (סנור וסינגר, 2009). לאחר שלמד ברציפות לתואר ראשון, MSc ודוקטורט בהנדסת חשמל ומחשבים באוניברסיטת בן גוריון, התחיל מויאל קריירה בזיהוי דיבור אנליטי בתעשיית ההייטק הישראלית, החל ממהנדס מחקר וכלה במנכ"ל NSC. לאחר מכן הוא התקדם בדרגות האקדמיות באפקה כחבר סגל, מנהל מרכז מחקר, ראש מחלקה וכעת נשיא.

למותר לציין כי זהו רקע יוצא דופן עבור נשיא מכללה. רבים מתקדמים בדרגי האדמיניסטרציה האקדמית, ואפילו השימוש במונח "אדמיניסטרטור" מספר סיפור חשוב. בקואוצ'ינג, ההבחנה בין אדמיניסטרטור, מנהל ומנהיג היא ההבדל בין אתמול, היום ומחר. מנהלים גורמים לאתמול לקרות היום; מנהיגים יוצרים מחר חדש.

בחלקים הבאים נדגיש נקודות מפתח של שיחה מעוררת מחשבה בין מנכ"ל סטארט-אפ מנוסה המנסה לעשות שינוי בחינוך ההנדסי המסורתי.

### **מבוא לעמי ולאפקה: מנכ"ל אשר "משנה את ההרפתקה"**

אופן חשוב שבו מנהיגים מנהיגים הוא על ידי שינוי הסיפור של הארגונים שלהם. גורם זה התגלה בשלב מוקדם בשיחה כשעמי דיבר על "שינוי ההרפתקה".

דייב: עמי, תודה שפינית את הזמן לשוחח על אפקה ובאופן כללי יותר על חינוך להנדסה בישראל. עבור אנשים שמכירים פחות את בית הספר שלך, מה הדברים החשובים ביותר שצריך לדעת על מכללת אפקה להנדסה?

עמי: אוקיי, קודם כל, כרעיון כללי, אני אוהב לחשוב על אפקה כמכללה אקדמית להנדסה ברוח ההייטק הישראלי. אנחנו מכללה אקדמית עם קצת יותר מ-3,000 סטודנטים ברוב תכניות ההנדסה הקיימות. אנו עורכים שינוי גדול ועמוק בתוכנית שלנו כדי לשקף את צורכי הענף ביחס למיומנויות החיוניות ["הרכות"] לדור החדש של התלמידים, שהוא בעל גישה שונה ללמידה. במילים אחרות, אנו משנים את ההרפתקה שעוברים התלמידים בארבע השנים שהם איתנו, בתוך הכיתה, מחוץ לכיתה ובקמפוס עצמו. אנו מבצעים את השינויים הללו כך שבוגרינו יהיו בעלי הידע והכישורים הנחוצים להם בעולם האמיתי.

### מה מנכ"ל סטארט-אפ נחמד כמוך עושה במקום כזה?

מנכ"לים לרוב נשארים מנכ"לים, אך עניין בעשיית משהו שונה ומשמעותי הוביל את ההתפתחות של עמי מהתעשייה לאקדמיה, כפי שנראה בקטע הבא.

דייב: מה מנכ"ל סטארט-אפ נחמד כמוך עושה במקום כזה?

עמי: ראשית, הייתי 15 שנה בענף ההייטק בישראל בתפקידים שונים, ממהנדס מחקר, ראש צוות וסגן נשיא למחקר ופיתוח ועד לבסוף מנכ"ל. וזה עיצב את השקפתי על מה שנחוץ בחינוך ההנדסי.

דייב: אני מסתובב ברחבי הפלנטה ומשוחח עם דיקנים במכללות להנדסה ועם נשיאי אוניברסיטאות, וזה קצת יוצא דופן שמישהו עם הניסיון שלך עומד בראש בית ספר להנדסה. והיית מהנדס חשמל מהשורה, איש של זיהוי-דיבור. אם כן, ברצינות, איך מהנדס חשמל עם קריירה כה מוצלחת בשדרת הניהול מגיע לתפקיד נשיא מכללה להנדסה?

עמי: הייתי מנכ"ל של חברה שנרכשה על ידי בעל המניות הראשי. ואז שאלתי את עצמי, "מה יהיה הצעד הבא שלי?" ברור שאוכל להמשיך כמנכ"ל של חברה הייטק אחרת, אבל הרגשתי שזה יהיה עוד מאותו הדבר.

דייב: זה הגיוני, אבל מדוע לעבור לחינוך הנדסי?

עמי: הרגשתי דחף לחזור לאקדמיה עם סדר יום ברור בכמה נושאים. האחד, הייתי במשך שנים סגן נשיא לפיתוח ולמדתי את הערך של מיומנויות חיוניות, כמו: תקשורת יעילה, עבודת צוות רב-תחומית, למידה עצמית ואנגלית. והאמנתי

באמת, תוך כדי ניהול אנשים, כי מהנדסים שאין להם מיומנויות אלה לא יצליחו בתעשיית ההייטק.

דייב: אני מבין, אז החזרה נובעת מצרימות שחווית בעולם האמיתי?

עמי: כן, כי בהחלט הגעתי עם החלטה ליישם מה שלמדתי בתעשייה. עמוק בליבי אני מרגיש שאני מחנך. אני רוצה ללמד את הדור הזה, ואני רוצה להעניק לו את הראייה, החזון והניסיון שלי. אז זו נקודה אחת.

עמי: הנקודה השנייה היא שכמנכ"ל חברה לא הייתי כל כך מוצלח בטיפוח קשרים אמיצים עם האקדמיה. קשרים רגילים בין האקדמיה לתעשייה הם בצורה של לימוד קורסים או העסקת אקדמאים כיועצים. אבל הסכמי העברת IP היו תמיד מורכבים מאוד. כמו כן, אנשי אקדמיה הם תיאורטיקנים טהורים ואינם עושים הרבה מדע יישומי, ואת מה שהם עושים צריך להפוך למוצרים יעילים. לכן האמנתי מאוד שהאקדמיה והתעשייה יכולות וצריכות לעבוד הרבה יותר טוב יחד, שתיהן תחת דגל הלמידה לכל החיים, תוך ביצוע מחקר בסיסי ויישומי כאחד.

### חשיבותן של מיומנויות רכות (מיומנויות שינוי או מיומנויות חינויות) למהנדסים כיום

בעבודתנו ב-ThreeJoy Associates, אנחנו מתנערים מהמונח "מיומנויות רכות" מכיוון שנראה שהוא מרמז שמיומנויות קריטיות אלה של להיות אדם אפקטיבי חשובות פחות מכישורים טכניים בעבודה ההנדסית. במקום זאת, אנו מדברים על מיומנויות שינוי מכיוון שאנחנו מאמינים שהמיומנויות הבאות מהוות קבוצת בסיס לאפקטיביות של שינוי אישי וארגוני, באופן דומה למדי לקבוצת בסיס במרחב וקטורי n-ממדי. כלומר, אלה בדיוק המיומנויות שבהן צריך לשלוט באופן אישי וארגוני בעולם של שינוי מהיר. ביתר פירוט, אנו מאמינים כי יש 5 + 1 מיומנויות שינוי עיקריות בקבוצת הבסיס:

1. שינוי מרציונליות טכנית לרפלקסיה- או שיחה-בפעולה.
2. שינוי מחשיבה רציונלית לתחושות גוף ורגש.
3. שינוי משפה תיאורית גרידא לשפה יוצרת והרת-פעולה.
4. שינוי מתכנון למימוש יזמי עם הימורים קטנים.
5. שינוי מפתרון בעיות לניהול קטבים.

והמעבר ה-1+ יכול להיחשב כתולדה של השני:

• שינוי ממילוי צייתני של הוראות ליוזמה אמיצה.

רשימת המיומנויות החשובות של עמי שונה מהרשימות לעיל, ומעסיקים ועוסקים רבים, כאשר יתבקשו להגדיר מיומנויות מפתח רכות, ידברו באופן כללי על "תקשורת", "עבודת צוות", "למידה לכל החיים" וכן הלאה. מיומנויות אלה חשובות, וגישת ThreeJoy מפשטת את המסע על ידי הדגשת "היסודות" או מיומנויות המעבר העיקריות שלעיל, ורואה את הרשימה הרגילה שמציגים המעסיקים כ"נגזרת" של הליכה.

עם זאת, שתי הדרכים מובילות לרומא, אז הבה נבחן את התפיסה של עמי לגבי החשיבות של מה שהוא מכנה "מיומנויות חיוניות".

דייב: אחת הנקודות שדיברת עליהן הייתה החשיבות של מיומנויות חיוניות או רכות. מהניסיון שלך בסביבת הייטק ישראלית, מה חברות עושות כדי לפתח מיומנויות חיוניות באנשיהן?

עמי: אני יכול לקחת את עצמי כדוגמה. סיימתי לימודים באוניברסיטת מחקר קלאסי, אוניברסיטת בן גוריון בבאר שבע. לא היה דגש על מיומנויות חיוניות, אך במהלך הדוקטורט קראתי הרבה מאמרים, אז רכשתי ידע טוב אנגלית. כתבתי מאמרים ולמדתי המון לבד. כך, התואר השני והדוקטורט העניקו לי למידה עצמית, אנגלית וכמה מיומנויות מצגת, אבל זה משהו שלא קיבלתי בלימודי ה-BSc, שהיה התואר הראשון שלמדתי לו, וזה משהו שנחוץ כדי להצליח בתעשייה.

עמי: אבל היבטים אחרים כמו עבודת צוות, עבודה רבת-תחומית ועבודה עם תחומים אחרים – בהחלט לא קיבלתי את זה. למדתי את זה לבד בתעשייה. אני לא זוכר שמישהו בתעשייה השקיע בי. עבדתי בסטארט-אפ קטן מאוד 12 שעות ביממה ולא היה לנו זמן לשום קורסים וכו'. לכן סטארט-אפים קטנים ובינוניים היו רוצים להכין את המהנדסים היטב.

עמי: אני חושב שהחברות הגדולות בישראל, שיש בהן אלפי עובדים, משקיעות בהכשרת המהנדסים ברגע שהם מגיעים. אבל אני לא רואה השקעות ספציפיות במיומנויות רכות. יש יותר השקעה בלמידה כיצד לעבוד בתרבות ובסביבה הספציפית. לכן מדובר בעבודת צוות קטנה, בניהול פנימי ובניהול כלשהו של פרויקטים. לא ראיתי חזון ברור, קורס או סמינר על פיתוח מיומנויות רכות.

עמי: ראוי לציין בנקודה זו כי סקר שנערך לאחרונה על ידי רשות החדשנות בישראל התייחס לשתי נקודות עיקריות. יש ביקוש ל-15 אלף מהנדסים ואנשי תוכנה, אך עם זאת, כמעט 40% מהחברות אינן מגייסות צעירים ללא ניסיון, מכיוון שלתעשייה אין זמן להשקיע; הן מעדיפות לשלם משכורת גבוהה יותר ולקחת מישהו מנוסה יותר.

עמי: וזה חוזר לתזה שלי, שיש לפתח מיומנויות חיוניות תוך כדי למידה בבית הספר. אגב, אני מאמין שאם אתה מפתח את הכישורים החיוניים במהלך הלמידה, תהליך הלמידה שלך יהיה טוב יותר. אם אתה יודע ללמוד בעצמך (למידה עצמית), בשנה השנייה הלימוד שלך (והציונים) יהיה הרבה יותר טוב.

דייב: בארצי, כששואלים חברות כמו מיקרוסופט, סטודנטים עם מיומנויות רכות חזקות כמו של אלה שסיימו את לימודיהם במכללת אולין מקדימים בשנה וחצי את עמיתיהם נעדרי המיומנויות האלה. הם "מוכנים לפרויקט", ויכולים להיות פרודוקטיביים הרבה יותר מהר.

### להניע שינוי: שיחה על סיפוח, אישיות ותהליך

מנהלים רבים בהשכלה גבוהה עוברים תהליכי תכנון אסטרטגיים פורמליים ואפקה אינה יוצאת דופן בכך, אך חשיבותם של תהליכים אלה היא לעתים קרובות פחות ב"תכנון" ויותר ב"שיחה" שמתנהלת סביב גיבוש התוכנית. "מהנדס חדש לגמרי" הדגיש את חשיבות השיחה, הסיפור והתרבות, ובהמשך הריאיון, אנה שימו לב למורכבות שעמי מתייחס אליה ולפוטנציאל להתנגדות ולכישלון בהיעדר שיחה מספקת.

אחת החוזקות של "מהנדס חדש לגמרי" הייתה הדגש שלו על הרחבת היעדים למהנדס החדש, וכשאנחנו בוחנים את התהליך באפקה, שימו לב לדגש על הגדרת "פרופיל הסטודנט". בעבודה ב-ThreeJoy אנו משתמשים בתפיסת החשיבה העיצובית של פרסונות (סוגי אישיות) כדי לעזור בהגדרת הערכים והתכנים של טרנספורמציה חינוכית, ובשיחה עם עמי עולה דגש דומה.

דייב: אמרת שאתה באמצע תהליך שינוי כדי להתאים טוב יותר את בוגרי אפקה לצורכי הסטארט-אפים בישראל. מהם שלבי המפתח?

עמי: זה לא יקרה בעוד שנה, ואתה לא יכול לעשות את זה לבדך. עליך לצרף אליך אנשי סגל, צוות מנהלי, סטודנטים ובוגרים. במילים אחרות, אתה זקוק לאלפי אנשים שיהיו איתך בשינוי, או שאתה עלול למצוא את עצמך לבד. אז הצעדים שביצענו עד כה הם כדלקמן.

עמי: לקח לנו שנה וחצי לבנות תוכנית אסטרטגית לארגון. כל המנהלים הבכירים והבינוניים, קבוצה של 50 איש, ענו יחד על השאלה שנכתבה על הלוח בפגישה הראשונה: כיצד אנו רואים את מקום העבודה שלנו בעוד כחמש ועשר שנים? נושא מרכזי אחד בתוכנית האסטרטגית היה חינוך מהנדסים בפרופיל הנדרש כיום.

עמי: ראשית, התחלנו לדבר על חינוך הנדסי ולא על הכשרה, מכיוון שאיננו נותנים רק ידע, אנו נותנים גם מיומנויות, יכולות, אתיקה וידע רחב. אז עברנו מהכשרה לחינוך.

עמי: ואז לקח לנו עוד שנה להגדיר את פרופיל המהנדס: בוגר העתיד של אפקה. מהו בוגר החלומות שלנו? היו הרבה ויכוחים, אבל סוף סוף הגענו להסכמה על ידע מדעי, ידע הנדסי, מיומנויות חינוכיות, יכולות הנדסיות, אתיקה, שפות – עברית, אנגלית ותוכנה – וידע רחב. זה הפרופיל של בוגר אפקה האולטימטיבי.

עמי: ומאז, כמעט שנתיים לאחר מכן, התחלנו ליישם את השינוי. אני לא מדבר רק על שינוי בתוכנית הכללית או בקוריקולום; אני מדבר על שינוי של כל התהליך שבמהלכו התלמיד איתנו מתחילת המסע שלו או שלה.

דייב: הזכרת תפוקות. מה עם תשומות?

עמי: קודם כל, לאחר שהגדרנו את הפלט, המשכנו להגדרת הקלט. מהו פרופיל סטודנטים טיפוסי? בישראל, הם מגיעים אלינו בגיל 22, לאחר שלוש שנים של שירות חובה בצבא, ועוד שנה של טיול בעולם כפי שנהוג (בימים אלה באסיה או בדרום אמריקה). כשהם מגיעים אלינו, הם שכחו את מה שלמדו בתיכון. למי שעבר קורס קצונה יש מיומנויות רכות טובות מאוד, הן מההכשרה והן מהשירות שלהם: הם יודעים להוביל, להציע, לחשוב, לעבוד עם אנשים ולמלא משימות במקביל. אך לרובם חסרות מיומנויות רכות וידע מעמיק במתמטיקה.

### **צעדים ראשונים: לצאת מחוץ לקוריקולום הפורמלי**

סוכני שינוי קצרי רוח רוצים להשפיע מיד על תוכנית הלימודים, אך זהו מרשם בדוק להתקוממות ולעיתים גם לאובדן התפקיד. איתות כי שינוי מתקרב, דרך שליחת הודעות חדשות, שינויים מוחשיים מחוץ לתוכנית הלימודים ואף שינויים בתשתיות הפיזיות יכול להועיל כדי לרכך את הסביבה הארגונית ולהכינה לשינוי המתקרב.

הבחינו בכל אחד מהרכיבים הללו בקטע הבא. שימו לב גם למעבר לפרויקטים הקשורים לתעשייה במערכי קורסים קיימים או הניתנים לשינוי בקלות. לפעמים ניתן לערוך שינויים נראים לעין בשלב מוקדם ללא התנגדות רבה, וגם זה ניכר בדברים שלהלן.

דייב: מהם השלבים העיקריים בתהליך?

עמי: ראשית, הקמנו מרכז לקידום הוראה פעיל מאוד. אנו משקיעים בזמן ובתשתית הנדרשים, בהתבסס על פניות גלויות לחברי הסגל שלנו שאומרות:



הציעו כל מה שאתם חושבים שהוא חדשני ואנו נתמוך בכם. יש לנו עשרות קורסים וכמה עשרות מרצים העוסקים בפדגוגיה חדשנית, כולל למידה מבוססת פרויקטים, כיתות הפוכות, שילובים של שניהם, קורסים מעורבבים בעזרת קטעי וידיאו קצרים, תהליך הערכה חדשני הכולל ביקורת סטודנטים עמיתים וכו'.

עמי: הנתיב השני הוא פעילות חוץ-קוריקולרית. אני מאמין מאוד שלמידה אינה רק בכיתה. היא בהחלט גם מחוץ לכיתה. ובהתחלה, הסגל שלנו אמר, "לא, סטודנטים לא יבואו כי הם אינם מקבלים קרדיט על זה". אחרי שנתיים של פעילות עם עשרות מועדונים, מאות סטודנטים – פעילים, שמחים, סקרנים – זה הולך הרבה יותר מהר מאשר לשנות את הפדגוגיה.

עמי: הנתיב השלישי הוא שינוי הרובד הפיזי באפקה: מרחבי למידה חדשניים גם לסגל וגם לסטודנטים. אגב, כל חברי הסגל שלנו עברו לפני כשנתיים לאופן-ספייס. נוסף על סביבת חלל פתוח שמעודדת דיונים, כל אנשי הסגל קיבלו מחשבים ניידים ואנחנו עובדים בסגנון הייטק: עובדים בכל מקום שרוצים. באופן דומה, גם התלמידים.

עמי: דרך נוספת נוגעת לפיתוח קשרים חזקים עם התעשייה, בכלל זה פרויקטים משותפים של מו"פ ופרויקטי השנה הסופית של הסטודנטים בתעשייה. במקביל, אנו עובדים על תוכנית הלימודים עצמה כדי שתוצאות הלמידה של כל קורס יתבטאו ברמת הידע והמיומנויות. כך, לכל אחת מחמש הדרכים הללו מינינו מנהלים ומימנו פעילויות, וזהו מימוש השינוי. השנה הראשונה הייתה קשה מאוד מאוד – הרבה התנגדות מצד חברי הסגל והסטודנטים. אבל אני מאמין שהשיא כבר מאחורינו וזה הולך הרבה יותר טוב. אני רואה התקדמות.

### **השלב הבא: תכנון, הימורים קטנים, כישלון והנאה**

תכנון חינוכי נובע ממסורת התכנון בארגונים ובעסקים גדולים, אולם חלק מההגות הטובה ביותר על מחשבה ופעולה יזמית מצביע על כך שלעתים קרובות לא ניתן לתכנן בפרויקטים יזמיים בדיוק מכיוון שאין אף מודל סיבתי שיקשור בין סיבה לתוצאה באופן אמין. שרשרת. זהו התהליך של מה שסארסוואתי מכנה מימוש (סארסוואתי, 2008), או מה שסימס מגדיר כהימורים קטנים (סימס, 2001). הפופולריות הנוכחית של קידום ה"כישלון" כחלק מתהליך השגת ההצלחה נובעת ממסורת מחשבתית זו וניתן לראות אותה בקטע הבא.

הדגש על הפקת הנאה מתאים לשלוש השמחות (joys) של iFoundry (וזהו המקור של השם ThreeJoy) – שמחת ההנדסה, חדות הלמידה ושמחת הקהילה. הבה נקשיב.

### דייב: אז איך זה הולך עכשיו?

עמי: הרבה יותר טוב. אנו רואים התקדמות על בסיס חודשי, אך עליה להתבסס על תרבות של שינוי. כדי ליישם שינוי כה גדול אתה צריך לבנות אווירה פתוחה לשינויים, שמקבלת כישלונות, שחיה בשלום מוחלט עם עריכת ניסויים שאינם מצליחים. זה בסדר, זוהי חוויית ההייטק. זה המקום שממנו אני בא. איש אינו יודע מה הפתרון הנכון. אני איני מוכן לחכות עד שמישהו ימציא את הפתרון ואנו נאמץ אותו. אז אנחנו מוכנים לצלול פנימה, ואני שמח שאנחנו כבר שנתיים בתוך זה, כך שעברנו את המכשול הגדול. עדיין לא קל לעשות זאת, אבל הרכבת מאיצה, וזו הרוח שאני מדבר עליה. מדובר על נכונות להתנסות ולקבל שכמה מהניסויים לא יצליחו ונמשיך לשלב הבא ונהנה ממנו.

עמי: עליך ליהנות מהתהליך. אם תעשה זאת בכוח או בגלל שאתה מחויב, זה לא יצליח. אז במובן זה, זהו התהליך שחווינו בארבע השנים האחרונות. אבל עכשיו הרכיבים על השולחן, הפלטפורמה הוקמה וזה לא תלוי רק בי. ישנם אנשים רבים כיום בארגון שמניעים, למעשה, את השינוי באמצעות הפלטפורמות שיצרנו.

### התנגדות לשינוי בלתי נמנעת, לכן אמצו ניגודים מועילים

בעבודתנו ב-ThreeJoy, אנו אומרים ששינוי אקדמי הוא בעיה של NIMBY ("not in my back yard") כמו בחירת אתר לתחנת כוח גרעינית. כולם רוצים את האנרגיה; אף אחד לא רוצה את המפעל. באופן דומה, בשינוי תוכנית הלימודים, "חדשנות היא דבר גדול. רק אל תשנה את הקורס שלי". לכן, ההתנגדות לשינוי היא חלק בלתי נמנע מהמערכת, אך ההתנגדות היא חלק מהשינוי, ותרבויות שונות מבטאות את ההתנגדות שלהן באופן שונה.

יתרה מזאת, כל גורמי העניין מתנגדים לשינוי: הסגל, הצוות, הסטודנטים והמעסיקים, באופן שונה ובדרגות שונות, אך ההתנגדות מגיעה מכל הצדדים; בחלקה, מכיוון שהתרבות אומרת לכולם, "לא כך אנו עושים זאת כאן".

עם זאת, לא רק שאין להתנגד להתנגדות, אלא המפתח להצלחה הוא לאמץ אותה, ודרך יעילה במיוחד לעשות זאת היא באמצעות תרגול של קטבים. קטבים הם ניגודים הזקוקים זה לזה. מה יותר טוב? שאיפה או נשיפה? עבודה פרטנית או עבודת צוות או קהילה? סטודנטים או סגל? הוראה או מחקר? מסורת או חדשנות? הגישה הרגילה שלנו היא לאמץ קוטב זה או אחר ולראות את ההחלטה כבחירה בין זה או זה, אך ג'ונסון (1992) קורא תיגר על הקוטביות הזו וטוען שהפתרון הוא לנהל אותם כדי להפיק את המיטב משני הקטבים.

האזינו להתנגדות ולמתחים מכל אחת משלוש הקבוצות בקטעים הבאים.

### התנגדות מהסגל האקדמי

ההתנגדות הרגילה במצבים אלה מגיעה מחברי סגל, וחלק גדול מהמאמץ ביוזמות שינוי מכוון לאמץ את ההתנגדות הזו ולהתקדם מעבר לה כדי להשיג שינוי מהותי. האזינו בתשומת לב לקטע הבא.

דייב: דיברת על ההתנגדות הראשונית למאמצי השינוי שלך. איך היית מאפיין את ההתנגדות שבה נתקלת?

עמי: בסדר. ראשית, אני חייב לומר שציפיתי ששינוי כה עמוק יעורר התנגדות, אך הוא הגיע מקבוצות שלא חשבתי שיתנגדו. ההתנגדות בהחלט הייתה חזקה בהרבה ושונה ממה שציפיתי. היו שלוש קבוצות התנגדות: סגל, סטודנטים וצוות מינהלי.

דייב: כן, תפרט בבקשה.

עמי: לפני שנדבר על כל אחד מהם, הבה נדבר על שינוי באופן כללי יותר. מהניסיון שלי, וכאן אני מתייחס לחוויית הסטארט-אפ שלי, אני סבור שארגונים בכל גודל משתנים רק כאשר הם עומדים בפני איום גדול. וזה היה אחד האתגרים כאן, מכיוון שאף אחת משלוש הקבוצות באפקה לא זיהתה איום מידי. ובמידה מסוימת הם צדקו. יש לנו ביקוש נאה של סטודנטים ומעסיקים, המוניטין שלנו טוב ומשתפר והמצב הכספי שלנו בריא.

עמי: אם כן, אם אתחיל עם הסגל, השאלה האופיינית שהופנתה אלי הייתה, "למה אתה רוצה לעשות שינוי? לפי כל פרמטר שלפיו אנו שופטים את פעילות אפקה – מספר מועמדים ומתקבלים, גיוס לפי מגזר תעשייה ומידת האושר של הסטודנטים, או לפי כל פרמטר פיננסי או תפעולי – אנו בסדר". הייתי צריך להסביר שבתפקידי, אני צריך לקבל אחריות על עתיד אפקה בעוד עשר שנים מעכשיו, ושאני מאמין מאוד שמאחר שהתשומות והתפוקות השתנו שניהן, אם אנחנו לא נשתנה, יש סיכון עצום שניהפך ללא רלוונטיים, או גרוע מזה, שניעלם. זו נקודה אחת.

### התנגדות מהסטודנטים

לעתים, סוכני שינוי מניחים כי הסטודנטים יהוו מנוע שינוי, ומכללת אולין, iFoundry ו-UFMG ENG 200 הם דוגמאות נהדרות לכך שהתלמידים עצמם יכולים להיות סוכני שינוי רבי עוצמה. עם זאת, אם מניחים להם לנפשם, סטודנטים יכולים להיות שמרניים אפילו יותר מסגל ההוראה, כפי שמעיד הקטע הבא.

עמי: שנית, וזה היה דבר די מפתיע, היו התלמידים. לפני שנה, לאחר המון דיונים, שינינו את תהליך הלמידה על ידי מעבר מבחינות אמצע סמסטר ובחינות גמר לסיוע לסטודנטים ללמוד במהלך הסמסטר; פיתחנו כמה סוגים של פרויקטים, שאלונים, פרויקטים וצוותים לדוגמה, ודרכים שונות להקנות את המיומנויות החיוניות ולהאיץ את הלמידה במהלך הסמסטר. ובתוך התהליך, הופתענו שכמעט נאלצנו להתמודד עם שביתה של התלמידים. זה הגיע קרוב מאוד לכך. הם לא היו מסוגלים או שלא רצו להתמודד עם זה. ואז אתה צריך להסביר הרבה ולתקשר איתם. באחד הדיונים שלי עם התלמידים, אחד מהם אמר "אין לנו למה להתייחס". האם אתה מבין את המשפט? "אין לנו למה להתייחס".

דייב: כן.

עמי: התלמידים אמרו, "שיטות הערכה אלה אינן כמו בשנה שעברה". ואז אמרתי, "זה בדיוק מה שאנחנו רוצים. אנחנו רוצים שיהיו לכם המיומנויות להתמודד עם בעיות חדשות שלא ראיתם קודם. זה הרבה יותר קשה, אבל במובן זה, אנו מכינים אתכם טוב יותר לחיים האמיתיים ועוזרים לכם להבין יותר ולנצל טוב יותר את הידע שלכם".

### התנגדות מהסגל המינהלי

מובילי שינוי עומדים בפני אתגרים כה מרתיעים שהם לרוב מצפים מאנשי הצוות הוותיקים שלהם לצעוד בעקבותיהם בנאמנות לתוך שוחות השינוי, אך הניסיון שלי בכמה יוזמות שינוי קשות מראה שאנשי צוות בעמדות נוחות הם ממתנגדי השינוי העזים ביותר, ומנהיגים נאמנים מהססים לעתים קרובות לערוך שינויים הכרחיים בכוח האדם לנוכח טקטיקות חזיתיות או פסיביות-אגרסיביות מצד אנשים אלה. שימו לב לדיון הבא.

עמי: הקבוצה השלישית היא אנשי מנהלה. הופתעתי למדי מההתנגדות הזו, אבל אני מניח שברור מהדברים שאמרתי עד כה שהשגתי שינוי שלם ודרמטי בכל התהליכים באפקה. ביום בהיר, מנכ"ל מתעשיית ההייטק מגיע לארגון ציבורי, עם שיטת עבודה מסוימת המלווה ברמת אנרגיה גבוהה. כשהתמנתי לנשיא, העברתי את "רמת האנרגיה של הארגון" ל-100%, ולא כל אנשי המינהל היו מרוצים מכך. הם היו רגילים לקצב עבודה רגוע יותר. כתהליך טבעי חלקם עזבו, אך מאחר שגדלנו בשלוש השנים האחרונות צירפנו אנשים רבים חדשים – עובדה שסייעה לשנות את התרבות הארגונית. אנו חווים ביקוש נאה ללימודים באפקה. אוכלוסיית הסטודנטים גדלה בארבע השנים האחרונות כמעט ב-35%, וחלה עלייה בממוצע ציוני הקבלה. פעם היינו 2,300 סטודנטים, וכיום אנחנו 3,100.

עמי: כך, כמה עשרות אנשים עזבו בארבע השנים האחרונות מכיוון שהאווירה והרוח החדשות לא התאימו להם.

דייב: כן.

עמי: קבענו "נקודת עבודה" חדשה וסיפקנו הזדמנויות, כלים ותמיכה לכולם לצורך הסתגלות. בעוד שהרוב התקדמו לצד גיוס עובדים חדשים נוספים, היו שהחליטו לעזוב מסיבות שונות.

עמי: אני חושב שהקבוצה הנוכחית די מרוצה כי אתה צריך להיות מאוד ייחודי ולאהוב את האווירה בהייטק, ועכשיו אפקה נמצאת בשינוי מתמיד ופועלת באי-ודאות. מהניסיון שלי, יש קבוצת אנשים שאופן העבודה הזה אינו מתאים להם. הם רוצים לחוש בטוחים, הם אינם מסוגלים להתמודד עם שינויים, ואלה שלוש קבוצות ההתנגדות, ואלה שלוש התשובות או הפתרונות שניתנו.

זהו סיפור קלאסי של התנגדות, וב-ThreeJoy אנו חווים אותו במלוא עושרו בכל מעורבות שלנו בשינוי. ביקשתי מעמי תובנות נוספות, והוא הוסיף אחת שזוהתה בשלב מוקדם ב-iFoundry והיא ממשיכה להיות חשובה בכל יוזמות השינוי המצליחות, הקהילה.

דייב: זהו תיאור יפה של התנגדות. מה עוד תרצה להוסיף?

עמי: הערה אחרונה. עם הסגל, עם כל שלוש הקבוצות, גיליתי משהו שלא ידעתי בהתחלה. אם מקבצים אותם בקהילות, השינוי נעשה קל הרבה יותר.

דייב: כן, תובנה יפה.

עמי: במילים אחרות, הסטודנטים עובדים עכשיו במועדונים מכיוון שהם ביחד, והאינטראקציה החברתית הזו מספקת נחמה, תמיכה והם רואים שזה האתגר שמשותף לכולם, ולכן הם מתקדמים.

עמי: ואז הייתי מופתע לחלוטין שאותו פתרון עבד גם עם הסגל. עכשיו, יש לנו קהילות, קבוצות של 10 עד 15 חברי סגל שנפגשים כל כמה שבועות. קבוצה אחת מדברת על PBL, קבוצה אחרת מדברת על כיתות הפוכות וקבוצה אחרת מדברת על בעיות וכן הלאה.

עמי: אנחנו לא תכננו את זה. למדנו מניסוי וטעייה – הגענו למצב שבו הסטודנטים וחברי הסגל עובדים בקבוצות ומיישמים את השינוי ביחד. אנו מספקים את התשתית והם מתקדמים בעצמם.

## סיכום השינויים העיקריים שפורטו בשיחה

אני זוכר שחייכתי אחרי הריאיון כשחשבתי על כמה הוא מאלף ועל כל הדברים שאמר הנשיא מויאל. ישנן דרכים רבות ושונות לבצע שינוי חינוכי, ורבות מהן דורשות התאמה לתרבויות ונסיבות שונות, אך מעניין שישנן פרקטיקות מרכזיות שמאפיינות מנהיגים אפקטיביים כאשר הם מצליחים. ב-ThreeJoy, לעתים קרובות אנו מדברים על שינויים בפעולה, וכעת נסכם כמה מן השינויים בפעולה הבולטים שעלו בשיחה:

1. שינוי ממינהל להנהגה.
2. שינוי מהסטטוס קוו להרפתקה מרגשת והכרחית.
3. שינוי ממימונות טכנולוגיות מעל הכול למרכזיותה של מימונות השינוי (או מימונות רכה).
4. שינוי מרשימת סעיפים של תוכנית לינארית לסיפור מורכב ומרתק של צמיחה ושינוי.
5. שינוי מתוכנית אסטרטגית כיעד לתוכנית אסטרטגית כשיחה מורחבת ומתמשכת.
6. שינוי מתלמידים כאובייקטים לתלמידים כאנשים (אישויות או פרופילים).
7. שינוי מהתחלה עם קורסים ותוכניות לימודים להתחלה מחוץ לתוכנית הלימודים.
8. שינוי מתעשייה כעולם החיצון לאקדמיה להכנסת התעשייה לכיתה כמעשית והכרחית.
9. שינוי מהתעלמות מהתנגדות לאימוץ ההתנגדות.
10. שינוי מאינדיבידואלים כסוכני שינוי לקהילות כארגוני שינוי.
11. שינוי מתהליך קבלת החלטות של או-או לניהול קוטב זה וגם זה ביחד (ניהול קטבים). ביחס למספר 11, שימו לב שכל 11 השינויים המוצגים הם בעצמם קוטביים.

התהליך שעמי תיאר בריאיון התרחש כמשך ארבע שנים, ואפקה נמצאת כעת על סף המעבר לאזור הסכנה של שינוי תוכני הקורסים ותוכנית הלימודים. נסיים בכמה מחשבות אחרונות על המפתח להצלחה בהשלמת התהליך.

## הדרך לרפורמה מוצלחת בתוכנית הלימודים

ישנם דברים רבים שמבשרים שינוי ורפורמה ממשיים בתוכנית הלימודים, כפי שמעידה הדוגמה של אפקה. ברגע שמתקבלת ההחלטה לטפל בתוכנית הלימודים, כמה שינויים עשויים לסייע לרפורמת קוריקולום אפקטיבית ואפילו טרנספורמטיבית. נפרט כאן שישה:

1. מעבר מהניסיון לשנות את כולם ואת הכול, לניסיון לשנות רק את אלה המוכנים ביותר לשינוי.
2. מעבר מתכנון במכה אחת לחוויית פיתוח תוך שימוש בהימורים קטנים בסביבת חממה.
3. מעבר מחשיבה אגואיסטית על תוכנית הלימודית ("בדיוק כמו שלי") לארבע הרוחות של שינוי תוכנית הלימודים.

4. מעבר ממה שרק חברי הסגל חושבים שהוא הכרחי למה שכל בעלי העניין אוהבים ומעוניינים בו בנוגע לתוכנית הלימודים הנוכחית.
5. מעבר מהתקוטטות בוועדת תוכנית הלימודים למסגרות פעולה מודרניות.
6. מעבר מערבוב קורסים ליצירת חוויות ולשינוי הארכיטקטורה.

בכל אחד מאלה נדון בקצרה להלן.

שנו את אלה שמוכנים ביותר לשינוי. שינוי מתבצע בדרך כלל באופן אחיד בכל רחבי המכללה או בית הספר, אך השינוי הראשון דוגל בשינוי טרנספורמטיבי רק אצל מי שיש לו תיאבון לכך או שנמצא תחת איום כלשהו.

ספקו חממה או אתר להימורים קטנים על שינוי חינוכי. בעבור אחרים שאינם ממש מוכנים לשינויים בתוכנית הלימודים, שינוי מספר 2 מציע להקים חממה (ראו פרק 2 של WNE והסיפור של iFoundry) לעריכת ניסויים של טרנספורמציה חינוכית. פעולה כזו מצמצמת את השלכות הכישלון ומגדילה את הסיכוי שיהיו עדים להצלחה, שלאחר מכן תשפיע על דעות ולבבות.

מעיצוב תוכניות לימודים מבוססות אגו ועד ארבע הרוחות כבסיס להערכת שינוי. הבעיה העיקרית בשינוי תוכנית הלימודים היא שחברי סגל מחשיבים את לימודי התואר הראשון שלהם כתוכנית הלימודים "האידיאלית", וכך מאבקים על תוכניות לימודים נהפכים בסופו של דבר ללא יותר מאשר תחרות כיפוף זרועות אגואיסטית או גרוע מכך. סעיף מספר 3 ממליץ להתחיל את תהליך השינוי של תוכנית הלימודים במה שאנחנו מכנים ארבע רוחות השינוי: מוטיבציה, פרסונות, קוטביות ותרבות. על ידי מעבר לדברים החשובים באמת, מאבקים על קוריקולום עשויים להיות מהותיים ולא מונעי-אגו.

נסו להבין מה סטודנטים, חברי סגל, בוגרים ומעסיקים אוהבים ומעוניינים בו. חשוב גם ליצור קשר עם חברי הסגל האקדמי, סגל מנהלי, סטודנטים, מעסיקים ובוגרים ולברר מה הם מעריכים בחינוך של המוסד שלכם, וגם לברר מה היו רוצים לשנות. ב-ThreeJoy, אנו משתמשים בכמה משפטי פתיחה (לעתים קרובות תרגיל פשוט של "אני אוהב" ו"הייתי רוצה ש") כדי לשאוב את המידע הזה. "נתונים" אלה יכולים להיות מועילים לעתים קרובות, ברגעים שבהם חברי הסגל חוזרים למאבקי אגו כדרך הוויכוח המועדפת.

השתמשו במסגרות פעולה מודרניות ובמיומנויות שינוי קפדניות. ועדות לימודים אינן מתפקדות בגלל בעיית NIMBY שהוזכרה קודם. ב-ThreeJoy, אנו משלבים מסגרות

פעולה מודרנית כמו שיטות זריזות + חשיבה עיצובית + 3J מיומנויות שינוי 5 + 1 מיוחדות, לכדי תהליך עם דדליינים צפופים, משימות מוגדרות ותוצאות אפקטיביות במידה מפתיעה (אנו מכנים זאת תהליך ארבעת הספרינטים). הדבר מחייב שיתוף פעולה של מרבית חברי הסגל כדי להצליח, אך בהתחשב בכך שחברי הסגל לרוב מלמדים את השיטות האלה, הם לפעמים ממאנים לפעול לפיהן מטעמי צביעות.

התקדמו מעבר לקופסאות, לחוויות ולארכיטקטורה. לעתים קרובות, תוכניות הלימודים מסתכמות במילוי קופסאות בדברים הדומים למה שכבר נעשה בעבר. כדי להשיג שינוי אפקטיבי, ראשית יש לעבור לחשיבה על קורסים כחוויות מעוררות מוטיבציה או אפילו טרנספורמציה. בשלב הבא, הבינו ששינויים ארכיטקטוניים הם מהשינויים החזקים ביותר לפתיחת אפשרויות ולשחרור סתימות במה שנראה כמערכת עם עודף מגבלות.

זהו סיכום קצר במתכוון של כמה מהרעיונות המרכזיים שעומדים מאחורי תהליך אפקטיבי של כניסה לתוכנית הלימודים וביצוע שינוי טרנספורמטיבי בה. אך אל תטעו. זהו אתגר קשה, ואולם תהליך אפקטיבי המגובה במיומנויות שינוי יעילות ובמהלכים ארכיטקטוניים מתאימים יכול להוביל לתוצאות טובות.

## למידע נוסף

ThreeJoy מעודד שיחה בפעולה (CIA) על נושאים אלה. כתבו לדייב גולדברג בכתובת deg@threejoy.com עבור CIA, או כדי לקבל מידע על הצעות מוצרים ושירותים של 3J לשינוי חינוכי.

ThreeJoy ShiftPapers™ מתמקדים בפרקטיקות בבתי ספר טרנספורמטיביים ברחבי העולם הראויות למחקר ולחיקוי. המחבר, דיוויד א' גולדברג, ידוע אולי כחלוץ AI (אלגוריתמים גנטיים) ובזכות ספרו, "אלגוריתמים גנטיים בחיפוש, אופטימיזציה ולמידת מכונה" (Addison-Wesley, 1989) וספרו האחרון "מהנדס חדש לגמרי: המהפכה הקרובה בחינוך ההנדסי" (ThreeJoy, 2014). בשנת 2010 התפטר דייב מכהונתו כפרופסור בכיר באוניברסיטת אילינוי כדי לעבוד במשרה מלאה למען טרנספורמציה בהשכלה הגבוהה. דייב הוכשר כמאמן מנהיגות (אונ' ג'ורג'טאון) והוא נשיא חברת ThreeJoy Associates – חברת מנהיגות, הכשרה וייעוץ לשינוי בדאגלס, מישיגן. דייב עובד עם קבוצה מדהימה של סוכני שינוי, הן בתוך והן מחוץ למועדון האימון ThreeJoy שלו. צרו עמו קשר בכתובת deg@threejoy.com או הירשמו לפגישת אסטרטגיה ראשונית באתר [www.MeetWithDaveGoldberg.com](http://www.MeetWithDaveGoldberg.com).



## מקורות:

- Afeka College (2019). Afeka College website. <https://www.afeka.ac.il>
- ENG200 (2019). ENG200 website. <http://eng200.eng.ufmg.br>
- Goldberg, D. E. (1996). "Change in Engineering Education: One Myth, Two Scenarios, and Three Foci". *Journal of Engineering Education*, 85(2), 107-116.
- Goldberg, D. E. & Somerville, M. (2014). *A Whole New Engineer: The Coming Revolution in Engineering Education*. Douglas, MI: ThreeJoy.
- Johnson, B. (1992). *Polarity Management: Identifying and Managing Unsolvable Problems*. Amherst, MA: HRD Press.
- Sarasvathy, S. (2008). *What Makes Entrepreneurs Entrepreneurial (Darden Case No UVA-ENT-0065)*. Charlottesville, VA: Darden Business School. [https://www.effectuation.org/sites/default/files/research\\_papers/what-makes-entrepreneurs-entrepreneurial-sarasvathy\\_0.pdf](https://www.effectuation.org/sites/default/files/research_papers/what-makes-entrepreneurs-entrepreneurial-sarasvathy_0.pdf)
- Senor, D. & Singer, S. (2009). *Start-up Nation: The Story of Israel's Economic Miracle*. New York: Twelve.
- Sims, P. (2011). *Little Bets: How Breakthrough Ideas Emerge from Small Discoveries*. New York, Free Press.

## תודות

דייב גולדברג רוצה להודות לעמי מויאל ולאון ברנע ממכללת אפקה על שיחות אינפורמטיביות, על ההזמנה לכנס אפקה ועל התמיכה הכספית בהכנת ה-ShiftPaper™ הזה. דייב מודה גם לאיילה ראובן-ללונג מחברת EQ. EL ([www.eq-el.co.il](http://www.eq-el.co.il)) על ההיכרות שעשתה לו עם אפקה ועל שיחות מרתקות רבות על הצרכים של אנשי מקצוע במאה ה-21.

# כיצד נכין סטודנטים ישראלים להנדסה לפעול בזירה הבינלאומית במאה ה-21

ליאור כהן

ד"ר ליאור כהן שימש כראש היחידה ללימודי אנגלית באפקה, וכעת עומד בראש המחלקה להוראת אנגלית באוניברסיטה הפתוחה.

**הדימוי הישן של מהנדס כחננון ממושקף, לועס עפרונות שתקוע לבד מול המחשב אינו רלוונטי יותר, והוא יוחלף בקרוב בדמותו של מומחה ההנדסה בן המאה ה-21 – אדם חברותי ביותר בעל כישורי תקשורת מעולים ומומחיות עמוקה בתחומו. למטרה זו, לימודי אנגלית, הלינגוואה-פרנקה של ימינו, מהווים טיפוח הכרחי של אחת מהמיומנויות הקרויות "מיומנויות רכות". אין לראות את האנגלית כשפה זרה אלא כשפת התקשורת הבינלאומית בשוק הרחב.**

המאה ה-21 שייכת למהנדסים. עם כניסתנו לעידן היישומי, מהנדסים נדרשים להתמודד עם הדרישה הגוברת להביא את הקפיצות הטכנולוגיות העצומות שהתחוללו במחצית המאה שחלפה לידי ביטוי תפעולי. פוטנציאל היישום הנובע מהתפתחות הידע בתחומי הרפואה, הבינה המלאכותית, מדעי המוח והרובוטיקה (ותחומים רבים אחרים) טרם מומש במלואו. עם זאת, יישום זה עתיד להתגשם בהקשר גלובלי חסר תקדים של תאגידים ושיתופי פעולה רב-לאומיים. עם התרחבות הידע הדיסציפלינרי לעומקים של ספציפיות והתמחות, מיומנויות הליבה – ידע דיסציפלינרי ספציפי – יצריכו מומחיות הולכת וגדלה הניתנת לרכישה אך ורק במסגרת של הכשרה אינטנסיבית וצרת מיקוד. עם חשיפתן של התפתחויות אפשריות נוספות בכל תחום, מתעצם אקספוננציאלית הפוטנציאל הסינרגטי הטמון במיזוג בין-תחומי. כך, נותר בידינו להתמודד עם הדרישה ליצירת שיתופי פעולה בין בעלי התמחויות נישתיות, במסגרת מיזמים מורכבים ורב-תחומיים החוצים גבולות של לאום ושפה. הכשרה מוכוונת במיומנויות רכות היא הדרך היחידה להתמודד עם אתגרים אלו באופן ישיר ואחראי. מאמר קצר זה בוחן מחדש את ההקשר והתכלית הרחבים יותר של קורסי אנגלית כשפה זרה (EFL) על מנת שניתן יהיה להפיק תועלת רבה יותר מן ההזדמנות הטמונה בהם להכשרת סטודנטים לעתידם.

הדימוי הסטריאוטיפי שעתיד להתיישן בקרוב מתאר את המהנדס כחנון בעל שיער מדובלל, משקפיים עבי-זגוגית ועפרונות שקצותיהם לעוסים, הרכון על המחשב, שקוע בחישוביו בכדידות יצירתית, עם העט התחוב בכיס חולצתו ושאר אביזרים. בהינתן ההקשר הגלובלי שתואר לעיל, דימוי זה ייגזז בקרוב כהתייחסות תרבותית חסרת רלוונטיות, ובמקומו תעלה דמותו של המהנדס המומחה שמתהדר בכישורי תקשורת, יכולת עבודה בצוות ומשא ומתן. במאה האחרונה התמקדו מוסדות הלימוד בעיקר בהקניית ידע דיסציפלינרי. אולם רכישת ידע אינה מוגבלת לידיעה ש; היא עוסקת גם בידיעה כיצד. גם הידיעה כיצד אינה מסתכמת ביישום ידע דיסציפלינרי צר, אלא נתפסת באופן רחב יותר גם כידיעה כיצד להציג רעיון חדש בפני מנכ"ל או קרן הון סיכון, כיצד להסביר בעיה של דיסציפלינה ספציפית לחבר צוות חיוני שאינו מומחה, או כיצד להנחות דיון בין מחלקות בינלאומיות באמצעות שיחת ועידה בווידיאו. לדוגמה, הכישורים הגלובליים המככבים בסקר האוניברסיטאות של קואקוארלי סימונדס (QS) לשנת 2018 ([bit.ly/2WDPv8p](http://bit.ly/2WDPv8p)) הם פתרון בעיות, עבודת צוות ותקשורת. מיומנויות אלה, לצד חוסן נפשי, מייצגות את הפערים העמוקים בין החשיבות שמעסיקים מייחסים לכישורים לבין שביעות רצונם מביצועי העובדים ביחס לכישורים אלו. מיומנויות תקשורת מבוססת שפה עומדות ביסוד כישורים אלה וכישורים רבים אחרים שערכם יעלה בעיני מעסיקים במהלך המאה ה-21. להלן רשימה של 15 המיומנויות המוערכות ביותר על ידי מעסיקים, לפי סדר חשיבותן, כפי שהובאו בדוח הסקר לעיל:

- פתרון בעיות
- עבודת צוות
- תקשורת
- הסתגלות
- כישורים בין-אישיים
- ניתוח נתונים
- חוסן נפשי
- יכולות ארגון
- מיומנויות טכניות
- ידע תחומי
- יצירתיות
- מנהיגות
- כישורי שפה
- יכולות משא ומתן
- מודעות מסחרית

מעבר לכך ששלושה מתוך חמשת הכישורים שבראש הרשימה נוגעים למיומנויות תקשורת, חשובה יותר העובדה כי כל המיומנויות ברשימה זו זקוקות במידה כזו או אחרת לשפה לשם ביצוען ויישומן. חוסן נפשי למשל – מרכיב מרכזי באותה עלילה הרקוליאנית מערבית טיפוסית שכולנו נוקטים על מנת להקסים אחרים בסיפורי ההצלחה האישיים שלנו – מושג לרוב באמצעות תמיכה מעמיתים ותחזוקתן של מערכות יחסים בין-אישיות. באותו אופן, יתכן שבעבר כישורים כמו פתרון בעיות, משא ומתן ויצירתיות נתפסו כמיומנויות אישיים, אולם כיום כישורים אלו ניוונים יותר ויותר משיתופי פעולה ותמיכה קהילתית.

רכישת שפה אינה מסתכמת בהעשרת הדקדוק ואוצר המילים. רובנו סבורים כי תקשורת אפקטיבית עוסקת בבחירת המילה הנכונה, אולם מן המחקר (באנתרופולוגיה בלשנית וסוציו-בלשנית) על אופני הדיבור הממשיים של אנשים בקרב קהילותיהם, עולה כי אין אומרים חשוב יותר ממה שאומרים. כולנו מדברים בצורה שונה במשרד ובסלון. השפה חדורה בהקשרים שהיא מלווה (או יוצרת), ולפיכך שיטות ההוראה האפקטיביות ביותר לרכישת שפה בונות הקשרים תקשורתיים המדמים את מצבי השפה השונים שתלמידים ידרשו לתמרן בהם בהצלחה. משמעות הדבר היא ששיטות הוראה כיום צריכות להביא בחשבון את ההקשרים שעיימם יתמודדו תלמידים עם תום לימודיהם.

זה מביא אותנו לקורסי האנגלית כשפה זרה. בהקשר הישראלי, סטודנטים באקדמיה נדרשים להפגין רמה מסוימת של מיומנות שימוש בשפה האנגלית על מנת לזכות בפטור הנדרש להשלמת התואר – מאחר ואנגלית היא השפה הבינלאומית של ימינו. לפי המנדט שניתן לקורסים על ידי המועצה להשכלה גבוהה, נהוג היה שתכנית הלימודים באנגלית תוגבל להבנת הנקרא כדי לאפשר לסטודנטים לקרוא את הספרות בתחום לימודיהם כחלק מרכישת הידע הדיסציפלינרית. אולם יש בכך משום פספוס ההזדמנות, ומצב זה עומד להשתנות.

ראשית, השמות "קורס אנגלית" או אפילו "קורס אנגלית כשפה זרה" אינה משרתים את הפדגוגיה. ברחבי העולם, הנטיה הגוברת היא לכנות קורסים שהותאמו לענות על הדרישה לכישורים במאה ה-21 כ"קורס אנגלית לתקשורת בינלאומית" (EIC). קורס שכזה אמור להעלות את ערכו של הסטודנט בשוק העבודה. ואם מדובר בסטודנטים להנדסה, אזי מדובר בפוטנציאל תעסוקתי עצום. תהיה זו הצלחה כבירה אם מוסדות לימוד באומת הסטארט-אפ יכשירו מהנדסים שמסוגלים לתקשר באופן שוטף ולשווק את פתרונותיהם בזירה הבינלאומית, הנכונים לשתף פעולה ולמצוא את מקומם בכל צוות, בכל מקום. אם נוסיף לכך את הכישורים האקדמיים – היכולת לסנתז ולבחון ספרות דיסציפלינרית לשם ניתוח מושגים חוצה-עמדות בקרב קהילות חוקרים – והרי לכם בוגרים שמוכנים להתייצב בחוד החנית של תחומי התמחויותיהם.

זו התפיסה שמורים רבים לשפה מאמצים בזמן האחרון. באירופה, למשל, בניסיון להתמודד ולהסדיר את גלי ההגירה, פותחה "מסגרת ייחוס אירופאית משותפת" ([bit.ly/33dZ8NF](http://bit.ly/33dZ8NF)) שייעודה לסייע במאמצים ללמד המוני מהגרים את שפת המדינות המארחות. CEFR אמורה להיות מיושמת כיום מצ'ילה ועד סין, וחשוב לציין כי מקורותיה אינם אקדמיים, אלא טמונים במנגנונים ממשלתיים דוגמת מרכזי קליטה ורווחה. מסגרת ה-CEFR מתבססת על תוצאות למידה תקשורתית. למשל, רמה בסיסית, A2, מקנה מיומנויות:

שימוש בפניות וברכות מנומסות, יום-יומיות פשוטות.

תיאור בעיות כגון "האוכל קר", או "אין תאורה בחדרי".

מענה בכתב למודעה ובקשת מידע נוסף על פריטי מידע בעלות עניין לדובר.

הצבת שאלות בסיסיות על זמינות של מוצר או מאפיין.

ציון יכולת או אי יכולת לעקוב אחר הנאמר בשיחה.

זיהוי הסכמה או אי-הסכמה בין דוברים בשיחה המתנהלת לאט ובכירור.

אלו אינן מיומנויות אקדמיות, אלא מיומנויות תקשורת בסיסיות שמאפשרות לאדם לנווט את דרכו באופן חלק בקהילה, בין אם זו מדינה מארחת, כיתת לימוד או צוות פרויקט. ברמות הבסיסיות מקנים לסטודנטים בסיס רחב של מיומנויות שאינן בהכרח אקדמיות אלא תקשורתיות, כדי שכאשר יגיעו לרמות מתקדמות יותר, שימור מיומנויות השפה שלהם יכין אותם טוב יותר להתמודדות עם חומרי לימוד מאתגרים יותר. לפיכך, תוכנית לימודים אקדמית עשויה לשאוב השראה מהלך הרוח של מסגרת ה-CEFR ולנסח יעדי למידה המיועדים גם למחקר – או לסקירות ספרות, דוחות כספיים, ניירות עמדה וכולי. תוצאות למידה אלה משרתות כמה מטרות. ראשית, תוכניות אלה מדרגות את הקורסים לפי רמות קושי המקבילות להתקדמות הסטודנטים, ממיומנויות תקשורת טרום-בסיסיות ועד רמות סבירות של בקיאות. שנית, הן מספקות מיקוד והשראה לתכנון שיעורים, פיתוח תכנים וגירויים מתחדשים שניתן לסגל לעולמנו המשתנה.

באפקה, המכללה האקדמית להנדסה, תל אביב, תוכנית לימודי האנגלית, או כפי שיש לכנותה כעת – אנגלית לתקשורת בינלאומית – עברה התאמות בהשראת רוח זו. כלל קורסי האנגלית כשפה זרה משלבים את ארבעת מיומנויות התקשורת. הבסיסית שבהן, בהקשר של מיומנויות אקדמיות פרודוקטיביות, היא מיומנות הסיכום. המטלה של כתיבת סיכום למאמר ביקורת עמיתים מופיעה לראשונה בקורס ברמת טרום-פטר (מתקדמים א'). סטודנטים מתבקשים להציג באופן רשמי סיכום של מאמר מול הכיתה. ברמה זו מתחילים לעסוק גם בניתוח אינטרטקסטואלי והסטודנטים נחשפים לאופן שבו

כותבים משווים ומנגידים בין העמדות בטקסט. בהמשך, הסטודנטים משווים ומנגידים בין שני טקסטים (לא בהכרח מאמרי ביקורת עמיתים). יש להודות כי פעילויות אלו אינן מהפכניות; המהפכני בהן הוא הצבתן כיסודות לתוכנית הלימודים ברמה הבאה.

בקורס הפטור הסטודנטים מכינים פוסטר שמבנה את הקורס כולו במסגרת תוכנית לימודים של למידה מבוססת פרויקטים (PBL). מטרת הפרויקט היא לנסח הצעת מחקר המבוססת על סקירת ספרות, המקנה לסטודנטים הזדמנות לעבודה קבוצתית משותפת על מאמר ביקורת עמיתים לבחירתם. לאחר סיכום המאמר הראשון בתהליך בן ארבעה שלבים של כתיבת הערות-קישור הערות-צמצום-ושוב צמצום, לומדים הסטודנטים למצוא שני מאמרים נוספים שמתקשרים למאמר הראשון במעין דיון ואז הם מסכמים גם את שני המאמרים הללו. על בסיס שלושת הסיכומים לומדים הסטודנטים לחבר בין שלושת המאמרים בדיון משותף, במטרה לנסח הצעת מחקר עתידית שנובעת מן הספרות. עבודה זו נועדה לספק לסטודנטים תשתית לעבודה על הפוסטרים. הצגת הפוסטרים נעשית במסגרת של תערוכה שבה מוצגים שלושה-ארבעה פוסטרים, שלוש-ארבע פעמים במקביל, בפני קהלי עמיתים קטנים, אינטימיים יותר, בין כותלי הכיתה.

בתום הקורס הסטודנטים מוכנים יותר להתמודדות עם פרויקטים עתידיים במסגרת לימודיהם לתואר, כמו גם בעבודתם בתעשייה. בדיוק כמו בשיחה מקרית בין חברים, חשוב לדעת כיצד להשתתף בדיון כיאות – להמתין לקבלת זכות הדיבור, להתפרץ לדברי האחר, להאזין – משום שבני שיח נוטים למשטר את אלה הנוקטים מהלך כלשהו הנתפס כבלתי הולם. צורה זו של ידיעה כיצד מכונה כשירות סוציו-בלשנית, והיא קשורה למידת הדבקות במוסכמות השיח הבלתי כתובות, המכתיבות מה יאה ואינו יאה בקרב קהילות שונות. כדי לדעת כיצד לחבור לדיון אקדמי ועל ידי כך לקחת חלק בספרות, הכרחי לדעת מה נדון בקהילת חוקרים בעלי עניין מחקרי דומה. לא ניתן לרכוש מיומנויות רכות שכאלה תוך מילוי מטלות הכתיבה המוכרות לעייפה שמתחילות בבחירת הטיעון; בחירת הטיעון אמורה להתגבש כתגובה לסקירת ספרות, לא להיות מומצאת מהחלל ריק. הרעיונות הטובים טמונים באותם מרווחים לימינליים, אינטרטקסטואליים; הם התובנות והמסקנות ההגיוניות שאליהן מגיעים כאשר מפגישים בין רעיונות סותרים. אם עד תום הקורס ירכשו הסטודנטים שלנו את היכולת לעשות זאת באנגלית, נוכל לומר שאכן הוצאנו תחת ידינו בוגרים בעלי יכולת תקשורת בינלאומית אפקטיבית.

לסיכום, שיטות הוראה קודמות התעלמו לעיתים קרובות מדי מן המיומנויות הרכות, אולם מוסדות הלימוד אינם יכולים עוד להרשות לעצמם להפנות עורף למרכיב כה חשוב. בשל המורכבות הגוברת של שוק העבודה של ימינו, יש להכין מתמודדים חדשים להציג את חבילת כישוריהם, לבטא את רעיונותיהם וליצור קשרים אנושיים ביעילות. הקורסים המסורתיים של האנגלית כשפה זרה הינם הזדמנות מפוספסת שעלינו לרתום

על מנת לספק לסטודנטים את מגוון הכישורים הדרושים להם להעלות את ערכם בשוק העבודה, והטומנים בחובם את הפוטנציאל לפתיחת דלתות אינספור.

## **תודות**

פרופסור עמי מויאל, נשיא אפקה, המכללה האקדמית להנדסה, תל אביב, הוא המקור להשראה ולתמיכה המעשית בחזון ובפיתוח הקורס כפי שהותווה לעיל. פרופסור מויאל בוחן מחדש לא רק את בקורסים לאנגלית, אלא במוסד כולו, את מה שדרוש ליצירת מהנדס במאה ה-21. ברצוני להביע הכרת תודה עמוקה גם לעמיתי, על הערותיהם ותובנותיהם הנדיבות: לינדה ויינברג, מוניקה ברוידו, דניאל פורטמן וקלייר גורדון. הערותיכם קידמו את החשיבה שלי וסייעו במיקוד טיעוניי. עם זאת, כל דופי וטעות במאמר זה הן שלי בלבד.

# כוחה של אתיקה בהנדסה

## הישאם עבד אלחלים

הישאם עבד אלחלים הוא בוגר תואר ראשון ושני בהנדסת תוכנה, תואר שני בפילוסופיה של המדע, וכעת עורך מחקר לתואר שלישי באוניברסיטת בן גוריון. מחקרו מתמקד באתיקה מקצועית בהנדסת תוכנה. כיום הישאם עובד בפייפאל ישראל כמנהל מוצר בכיר העוסק במוצרים אנליטיים, ומתנדב ככתב טכנולוגיה ב-"Forbes". ב-2019 הישאם נבחר לרשימת הצעירים המבטיחים של ישראל.

**האופן שבו הטכנולוגיה מעצבת את חיי היום-יום שלנו מאתגר את הפילוסופיה הבסיסית של הקיום האנושי, בתקופה שבה תוכנות מתקדמות ביותר מחליפות את כישורי האינטראקציה האנושית. וכוחים רבים מתקיימים על התמיכה האתית בטכנולוגיות אלה ועל הסטנדרטים המוסריים של מוצרים כאלה. פיתוח תוכנה ואתיקה משיקים זה לזו כאשר מפתחים מקבלים החלטות מקצועיות על מוצרי תוכנה במהלך שלבי התכנון, הפיתוח, הבדיקה והתחזוקה. החלטות אלה עשויות להשפיע על חיי בני אדם הן במרחב הציבורי והן בפרטי. מאחר ששיפוטים טכניים יכולים להשפיע על ערכים אנושיים, החלטות טכניות אלה, הקשורות קשר הדוק לאתיקה של תוכנה, הן מקור נסתר של כוח בארגונים.**

מבוא: גם עבור מקצועות מסורתיים כמו רפואה, משפטים, פסיכותרפיה והנדסה, קשה להגדיר את המילה "מקצועי", בעיקר מכיוון שחברות ותרכויות שונות מתייחסות למונח באופן שונה. עם זאת, באופן כללי יש הסכמה על מאפיינים המשותפים לכל המקצועות; למשל, המילון של אוקספורד מגדיר "מקצוען" כ"אדם העוסק או המוסמך במקצוע מסוים". מומחיותם של אנשי המקצוע, והתחומים שבהם הם מיישמים מומחיות זו, מעניקים להם כוח לשפר את רווחתם של אנשים או לגרום נזק משמעותי.

לאיכות יש השפעה עצומה על האופן שבו מוצרים ושירותים מעצבים את חיי היומיום שלנו. טעויות בתכנון מוצר מתרחשות בצורות רבות. זה קורה אפילו לעסקים המצליחים ביותר, למשל, ההאצה הבלתי מכוונת של טויוטה. זה כשלעצמו מדגיש את חשיבות לקיחת האחריות של מהנדסים על תפקידם המקצועי. מכיוון שהמהנדסים ברובם מתנהלים באופן עצמאי, הם עשויים לתכנן פתרונות שונים לאותן בעיות, מה שמוביל



לתוצאות לא מספקות. הבעיה מתחילה בכך שלאיכות משמעותיות שונות לאנשים שונים. חלקם מגדירים איכות כעמידה ביעד מוגדר שמתבטא בשביעות רצון הלקוחות, בעוד שוויינברג הגדיר את האיכות כערך שמעניק דבר-מה לקבוצת אנשים, ואילו ISO 9126 דנו באיכות כתכונות של מוצר המסוגלות לספק צרכים ספציפיים. ברור מאליו שאיכות היא מונח לא חד משמעי.

שיקולים אתיים הם השיקולים העיקריים בפתרון בעיות תכנון בהנדסה, אחד היסודות של תחום זה. אף בעיית תכנון אינה מצריכה פתרון מסוים מכיוון שהפער בין בעיה לפתרון מותנה ברוב המקרים במהנדס ונקבע על ידו. פער זה אומר שכלים אתיים צריכים להשתלב בליבת ההנדסה בשלבים הראשונים של התכנון. חשבו על האפשרות שמהנדס יישם פתרון שעלול לגרום נזק מיותר ללא כל כוונה ראשונית. עם זאת, כלים אתיים דורשים תשומת לב. כשמדובר בפתרון למכשול עיצובי, מהנדסים, באופן רציונלי, נוטים להשתמש בידע ובמיומנויות המומחה שלהם כדי לטפל בבעיות. ידע זה בדרך כלל הצטבר מניסיון העבר בפתרון בעיות, וניסיון זה אינו תמיד רלוונטי לכל המקרים, בגלל אתגרים טכנולוגיים חדשים והמיומנויות הטכניות הנדרשות. כדי להימנע מגרימת נזק בלתי צפוי, מהנדסים עורכים שיקולים אתיים. באופן זה, כלים אתיים נכנסים לליבת ההנדסה (NSPE, 2007).

מהנדסים מיומנים לחשוב בצורה אנליטית ולבסס את החלטותיהם הטכניות על עובדות ומחקר רלוונטי. עם זאת, מהנדסים נתקלים במצבים רבים הכרוכים בשאלות אתיות במהלך פעילותם היום יומית. חוקרים בתחומי הנדסה גיבשו קודים והנחיות שונים כדי ליידע מחנכים וגופים מקצועיים מהי אתיקה, והחשוב מכול – כדי להדגיש את הערך שהיא מביאה לתהליך ההנדסה בפועל (Gottenbarn, 2002). "האתיקה", כפי שהיא מוצגת כאן, מתייחסת למעשים אנושיים מכוונים, המשפיעים על חייהם וערכיהם של אחרים. ניתן לתאר את הקשר בין מהנדסים לאתיקה כמתרחש כאשר מהנדסים מקבלים החלטות מקצועיות לגבי מוצרים, במהלך שלבי התכנון, הפיתוח, הבדיקה או התחזוקה. החלטות אלה משפיעות על חייהם של אנשים, כך משפיעים שיפטים טכניים על ערכי האדם וקשורים לאיכות המוצר. כאשר הוא מתמודד עם דילמה אתית, איש מקצוע חייב להיות מסוגל לקבל החלטות רציונליות ובעלות מניע איתן.

כיום, טכנולוגיות AI נמצאות בשלב של קידום ואימוץ מהירים, בעקבות התפתחויות במתמטיקה ובמדעי המחשב, וכן בכוח המחשוב וביכולת לאסוף ולאחסן כמויות גדולות של נתונים. בינה מלאכותית (AI) מבוססת על קשרים סטטיסטיים שמתגלים באמצעות כמויות גדולות של נתונים, בתוספת כללים אלגוריתמיים של הנמקה ולמידה או תיקון עצמי, שלאחר מכן מיושמים בצורה מדויקת, אמינה ואחידה בקבלת החלטה. אנו משתמשים ב-AI בחיי היומיום שלנו אפילו בלי לחשוב על כך. למשל,

ניווט ב-Waze, איתור דואר ספאם בתיבת הדואר הנכנס שלנו, קבלת תוצאות חיפוש רלוונטיות ואפילו מודעות רלוונטיות בגוגל או בפייסבוק, או המלצות בהתאמה אישית ברשת נטפליקס או באמזון. אפילו כלקוחות, אנו לא עוצרים וחושבים כיצד חברות משתמשות בנתונים שלנו. AI היא המדע וההנדסה של יצירת מכונות חכמות, במיוחד תוכנות מחשב אינטליגנטיות. היא קשורה למשימה של שימוש במחשבים להבנת האינטליגנציה האנושית. AI אינה רק טכנולוגיה חדשה הדורשת רגולציה, אלא היא כוח רב עוצמה המעצב מחדש פרקטיקות יומיומיות, אינטראקציות אישיות ומקצועיות וסביבות שלמות. לטובת האנושות, חיוני שכוח זה ישמש למטרות טובות.

פיתוח תוכנה משיק לעולם האתיקה כאשר מפתחים מקבלים החלטות מקצועיות לגבי מוצרי תוכנה בשלב התכנון, הפיתוח, הבדיקה או התחזוקה. החלטות אלה יכולות להשפיע על חייהם של האנשים הן בתחום הציבורי והן בתחום הפרטי. מכיוון שהחלטות טכניות יכולות להשפיע על ערכים אנושיים, החלטות אלה, הקשורות לאתיקה בתוכנה, מהוות מקור כוח בחברות ובארגונים.

אתיקה ממלאת תפקיד מפתח בתהליך זה. כתוצאה מכך, יש שטענו כי הקפדה על עקרונות אתיים יכולה להבטיח את היישום האתי של AI ויכולה גם להפחית את הסיכונים שלה (Covels & Floridi, 2018). ועדות כאלה ואחרות בנו מסגרות אתיות המלוות בשאלות תואמות שנועדו לספק הנחיות לאופן שבו ניתן ליישם עקרונות אלה בפועל (Machine Intelligence Garage Ethics Committee, 2018). יש להניח כי ניתן להשתמש בשאלות אלה בישיבות תכנון פרויקטים לפני תחילת תהליך הפיתוח, כדי להתמודד עם דילמות אתיות. אולם הנושא מורכב יותר ודורש תשובות חברתיות ואתיות מהותיות. שקלו, למשל, מערכת AI לשיטור שמכוונת לגברים ממוצא מסוים. גם אם מערכת כזו מוכיחה עצמה כיעילה מאוד בהפחתת הפשיעה, היא מבוססת על הטיות שיש לטפל בהן מבחינה חברתית-אתית ולא רק מבחינת יעילות טכנולוגית.

דוגמה נוספת, אם נפנה לתחום הכספים: תהליכים פיננסיים שחייבו באופן מסורתי קבלת החלטות אנושיות מוחלפים או נתמכים יותר ויותר על ידי AI, בעיקר כשמדובר באישור או סירוב של עסקאות פיננסיות, גילוי ומניעת הונאה וניהול סיכונים כללי. התפתחויות טכנולוגיות חדשניות והגישה מבוססת-הנתונים הננקטת על ידי חברות פיננסיות רבות תורמות לעליית ה-AI בתחום (Crawford & Calo, 2016). עם זאת, כפי שטוענים קרופורד וקאלו:

"AI לא תהיה בהכרח גרועה יותר ממערכות המופעלות על ידי בני אדם בקבלת תחזיות והחלטות מנחות. עם זאת, בעוד המהנדסים אופטימיים כי AI יכולה לסייע באיתור והפחתת הטיות אנושיות ודעות קדומות, מחקרים מצביעים על כך שבהקשרים עכשוויים, מערכות AI מוטות באופן שאינו פרופורציונלי נגד קבוצות שממילא

מוחלשות מסיבות כמו גזע, מין ורקע חברתי-כלכלי".

תוצאות כאלה עשויות להסתיים בהפסדים כספיים של שני הצדדים ובחויית שירות באיכות נמוכה.

מבחינה היסטורית, תפקידים הנדסיים הדגישו רק מיומנויות הנדסיות, למשל, פיתוח קוד קל לתחזוקה, והצגת הפתרונות הטכניים הטובים ביותר לכל האתגרים הטכניים העומדים בפני הארגון. עמידה מול לקוחות חיצוניים נדרשה רק מממשקים של תמיכת עסקים או לקוחות, נוסף על האינטרס הציבורי שנגזר רק מהאמונות ומהאסטרטגיות של הארגון. בימינו, הציפייה היא כי מהנדסי תוכנה יביאו פרספקטיבה משלהם על ערכים עסקיים על ידי כך שיהיו מוכווני-לקוחות ולא רק יתנהלו כמומחים טכניים. אתיקה יכולה לתמוך באנשי מקצוע באשר היא מציעה כלים ושיטות מועילים במצבים כאלה.

# הנדסת מערכות: לקחים מפרשת הבואינג 737 מקס

יורם רייך

פרופ' יורם רייך הוא ראש מיזם המחקר להנדסת מערכות ותוכנית המוסמכים להנדסת מערכות בפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל אביב.

לאסונות שקרו בשנה האחרונה לשני מטוסי בואינג 737 מקס יש משמעויות אנושיות וכלכליות כבדות. בחינת השתלשלות האירועים שהובילה אליהם מראה התנהלות בעייתית ביותר של חברת בואינג בפרויקט שינוי הדגם 737 הקיים לחדש. ניתן ללמוד רבות מהמקרה הזה על דגשים חשובים בהנדסת מערכות בנושאים של שימוש חוזר במוצרים, תיעוד, ניהול שינויים ותכנון תהליך פיתוח. ניתן היה למנוע את האסונות על ידי ניהול התהליך עם מסגרת חשיבתית בשם PSI שמפותחת כעת במחקר.

## 1. רקע - אסונות הבואינג 737 מקס

ב-29 באוקטובר 2018 התרסק מטוס בואינג 737 מקס של חברת ליון אייר כ-12 דקות אחרי ההמראה, אסון שבו נספו 189 נוסעים ואנשי צוות. ב-10 במרץ 2019 התרסק מטוס 737 מקס של חברת אתיופיאן איירליינס כ-6 דקות אחרי ההמראה, וקיפח את חייהם של 157 נוסעים ואנשי צוות. השתלשלות האירועים הביאה תוך כמה ימים לקרקוע של כל מטוסי ה-737 מקס שנמסרו עד כה לחברות תעופה ולאי מסירתם של מטוסים חדשים שיצאו מפס הייצור.

ממדי שני האסונות גדולים ביותר באובדן חיים, שלהם אין תחליף ואני לא דן בהם כאן. מטרתי היא לבחון את האסונות האלה במראה של הנדסת מערכות על היבטיה הרחבים – גם הטכנולוגיים, אך גם האנושיים והניהוליים. התזה שאני מציע היא שפיתוח מערכת מורכבת מחייבת איזון מתמשך בין שלושה גורמים: אופי הבעיה שאותה פותרים או הצורך שלו נותנים מענה (נסמן אותו ב-P עבור Problem), בעלי העניין העוסקים בתהליך ויכולותיהם (נסמנם ב-S עבור Social), והדרך שבה מתמודדים עם הנושא שכולל תהליכי עבודה, מבנה חברה, תרבות אירגונית ועוד (נסמנה ב-I עבור Institutional). חוסר איזון בין הגורמים האלה מביא לכישלון. בעיה פשוטה לא תקבל

מענה אם ינסו לפתור אותה עם צבא אנשים ושיטות עבודה ביורוקרטיות. לעומת זאת, אי אפשר לפתח מטוס עם שיטות עבודה של סטארט-אפ. טענות כאלו נראות ברורות אבל העובדה שבואינג נכשלה בדיוק באיזון כזה, והעובדה שהרבה כישלונות נותחו באופן זה וניתן להסביר אותם ואפילו להנחות איך לשפרם, מראה כי התזה אכן תקפה במציאות.

ראשית, כדי להבין את משמעות האסונות של הבואינג 737 מקס, ננסה להבין את השלכותיהם הכלכליות לבואינג ולסביבת החברה. לאחר מכן ננסה לשחזר את השתלשלות תהליך הפיתוח שהביא לכישלון המטוס וננסה להבין כיצד חברה כמו בואינג נקלעה למצב כזה. לבסוף, אנתח את המקרה בהיבטים של הנדסת מערכות.

## 2. ההשפעה הכלכלית של האסונות

לשני האסונות יש משמעויות כלכליות כבדות עבור בואינג. משמעויות אלו כוללות לפחות את הנושאים הבאים: תביעות של משפחות הנספים, תביעות של טייסים על אובדן הכנסה, תביעות מצד חברות תעופה שהסכמים אתן הופרו והן לא קיבלו לידיהן מטוס מאושר לטיסה, ביטול חוזים של קניות עתידיות וביטול חוזים עם ספקים. לא ניתן לכמת את כל המשמעויות האלו היום. רק כדי להדגים – בואינג הפסידה 2.9 מיליארד דולר ברבעון השני של 2019, ועוד 4.9 מיליארד דולר משוריינים לפיצויים לחברות תעופה. היקף המלאי שלה עלה ל-6 מיליארד דולר והמניה ירדה ב-25%. לטווח הרחוק יותר, חברות תעופה שונות הודיעו על האפשרות שיבטלו חוזה רכישה של 737 מקס לטובת מטוסי אירבוס. נוסף על כך, יש סיכוי שהאירועים הללו מעסיקים את בואינג באופן כזה שמקטין את יכולת החברה לעסוק בפרויקטים גדולים אחרים. לדוגמה, בואינג חדלה לאחרונה מעיסוק בהזמנה של הפנטגון להחלפת טילים גרעיניים ודחתה התחלה של פיתוח מטוס נוסעים חדש. אלה השפעות נגררות שמשמעותן אינה ידועה עדיין.

## 3. השתלשלות האירועים שהובילה לאסונות

פרויקט ה-737 מקס החל אחרי שאירבוס הכריזה על שיפור דגם ה-A320 שלה, מטוס עם מעבר אחד שמשמש בהרבה נתיבים, על ידי התקנת מנוע חדש שיחסוך כ-15% מצריכת הדלק. השינוי היה אמור להיות מזערי כך שלא יחייב אימון חדש של טייסים פרט לריענון קצר. למעשה, זה היה צריך "להרגיש" כמו הדגם הישן. לנושא זה יש חשיבות מרבית בחיסכון כספי ובזמן. כדי להתחרות בדגם החדש של אירבוס, בואינג נאלצה להיכנס במהירות לפרויקט דומה ולהצליח להביא לשוק מטוס חדש בזמן הקצר ביותר. אילוץ זה השרה בחברה מצב של דחיפות שהייתה בעדיפות מעל כל שיקול אחר כמו איכות הנדסה ולכן גם אפילו מעל לאמינות המוצר.

כבר בראשית התהליך, בואינג נתקלה בבעיה. מטוס ה-737 נמוך מהאירבוס, ולכן למנוע החדש שהותקן באירבוס ושהיה מיועד גם לבואינג, ושהוא גדול מהמנוע הישן, אין מספיק מרווח מהקרקע כדי להתקינו באותו מקום. הפתרון שבואינג החליטה לנקוט כלל את שינוי מקום ההתקנה ביחס לכנף המטוס, צעד ששינה את אווירודינמיקת המטוס כולל האיזון שלו וגרם לו לנטייה להעלות חרטום במצבי קיצון, כולל, לפעמים, בזמן המראה. כדי לפצות על כך, בואינג בחנה כל מיני פתרונות שלא צלחו ולבסוף הוסיפה תוכנה (שנקראת MCAS), שבמצב כזה תפעיל את הגאי הגובה שיפצו על הנטייה וינמיכו את אף המטוס.

לכאורה, זהו שרשור שינויים סביר (אף שאין לנו מידע על כל החלופות האחרות שנשקלו) עם תוכנית פעולה הגיונית שביצועה הנכון היה אולי מביא לפתרון ראוי של הבעיה. למה הכוונה ב"ביצועה הנכון"? הכוונה להליך שבו בשינוי שאותו רוצים לבצע במטוס (הבעיה שאותה פותרים - P), יהיו מעורבים כל הגורמים שעליהם הוא ישפיע (כולל הטייסים, רשות התעופה - ה-FAA, ונציגי חברות התעופה - S), והוא יבוצע בהליך סדור של הנדסת מערכות ללא פשרות (I); הכוונה שיהיה איזון מדויק בין כל הגורמים האלה.

ברם, הביצוע של התוכנית היה גרוע. השינויים יושמו בחלקם באופן לא תקין על ידי מיקור-חוץ של חלקים מהתוכנה ללא בדיקות איכות ותפעול מספקות. לא ברור אם נושא זה גרם לאסון אבל הוא חוזר על טעויות שבואינג עשתה במיקור-חוץ בפרויקט הדרימליינר שעדיין נושא הפסדים של כ-25 מיליארד דולר. גם ב-737 מקס הייתה זאת בחירה בין כוח עבודה זול לבין שימוש במהנדסים מיומנים של בואינג שהיו מבצעים את העבודה מהר וטוב יותר אך בעלות גבוהה. המערכת עצמה שהותקנה לא נבדקה באופן משמעותי כנדרש מהשינוי. יתרה מזאת, התכנון שנשלח ל-FAA לרישוי שונה בהמשך הפיתוח לכזה שהיה גרוע יותר מבחינת טייס אך המסמכים שנשלחו לרישוי לא עודכנו. אילו היה מבוצע ניסוי כנדרש, כפי שבוצע אחרי ההתרסקות, היה ברור שאי אפשר לאשר את המערכת.

בואינג גם לא הודיעה לטייסים על השינוי במטוס וה-FAA לא דרשה רישוי מחדש ו\או אימון חדש לטייסים. הייתה ציפייה שבמצב חירום הטייס יוכל להשתלט על המצב, אבל המערכת נבנתה כך שאי אפשר יהיה להתגבר עליה. היא הייתה אמורה לפעול בסבבים של 15 שניות, שבהם ב-10 שניות היא מנמיכה את אף המטוס וב-5 שניות היא מנותקת, ואז יכול הטייס להתערב. ברם, אחרי 5 שניות המערכת שוב הייתה לוקחת פיקוד ולא מאפשרת לטייס לתפקד או אפילו להבין מה קורה. למעשה, המטוס תוכנן לכישלון במקרה שהבעיה מתרחשת.

עם הפתרון שיצרה, מטוס עם מנוע חדש ומערכת שלכאורה באופן אוטומטי מטפלת

בבעיה ללא צורך בהכשרת הטייסים, יכלה בואינג להשוות את ההצעה שלה לחברות התעופה לזאת של אירבוס. אפשר להיווכח כמה ההצעה הייתה מפתה וכמה היא שיבשה את תהליך הפיתוח שהיה ראוי לה על ידי העובדה שהיא הפכה במהירות את ה-737 מקס להצלחה הגדולה ביותר של בואינג – מכירות של 200 מיליארד דולר עוד לפני ייצור אבטיפוס.

#### 4. איך קורה שחברה כמו בואינג נקלעת לסבך כזה?

איך ניתן להסביר את האירוע הזה? הרי לאור ההצלחות של בואינג בפיתוח מערכות מורכבות לאורך שנים, אין ספק שהיה לה כוח אדם מיומן עם הידע לטפל באתגר שנוצר. ההסבר הראשון הוא טעות אנוש. אלו אכן קורות, אבל טעות היא לא הסיבה במקרה זה. ההסבר האחר הוא שיקול דעת לא אתי, שנובע מרצון לקצר לוחות זמנים גם אם הפתרון אינו בדוק ואינו בהכרח אמין כנדרש ואינו מערב או מתעלם מבעלי עניין אחרים עם אחריות בנושא (FAA והטייסים). פרויקט הדרימליינר של בואינג גם הוא היה כישלון כלכלי בגלל ניהול לא נכון של תהליך הפיתוח, אבל לא ניתן לייחס לו בעיה אתית, לפחות לא לפי המידע הידוע היום. הכישלון ההוא חשף את הקושי בהתמודדות עם אתגרים כלכליים כה משמעותיים עם הנדסת מערכות ראויה. בסיום פרויקט הדרימליינר נראה היה שבואינג משנה את תהליך הפיתוח והייצור שלה כך שיאזן את כל גורמי ה-PSI, אבל אסונות ה-737 מקס מראים שהשינוי לא היה מספיק עמוק ולא הופנם כראוי.

#### 5. האם בואינג תתאושש?

הסטטיסטיקה היבשה מראה כי במהלך השנים נעלמות חברות גדולות רבות ואחרות מופיעות תחתיהן. קודאק היא דוגמה קלאסית לכך, AT&T דוגמה אחרת ויש רבות אחרות. האם בואינג תהיה חלק מהסטטיסטיקה הזאת? סביר שבואינג תצלח את האירועים האלה ולו רק בגלל שהיא עוגן כלכלי משמעותי מדי לכלכלת ארה"ב, והיא מעסיקה באופן ישיר ועקיף כ-1.5 מיליון עובדים ברחבי ארה"ב ומהווה נכס אסטרטגי צבאי כיצרון גדול של אמצעי לחימה. אבל היציבות הזאת של בואינג ייתכן שלא תהיה נחלתם של כל 13,600 הספקים שלה בארה"ב – כמה מהם בוודאי יפשוטו את הרגל.

#### 6. מה אפשר ללמוד מתפקוד בואינג?

ניתן ללמוד רבות מההתנהלות של בואינג. כמה מהתובנות ברורות. מימוש כמה מהן לא היה פותר לבדו את הבעיה ואולי גם לא קשור ישירות לאסון, אבל הזרקור שהופנה לבואינג מאפשר לנו לחזור לכמה תובנות בסיסיות של הנדסת מערכות.

##### 6.1 שימוש חוזר בפיתוח חדש – reuse

כאשר משתמשים במוצר קיים לפיתוח עתידי חייבים לזכור שהמוצר החדש יכול

להיות שונה מאוד בהתנהגותו מהישן. כדי לממש שימוש כזה, תיעוד המוצר חייב להיות מדויק כדי למנוע ככל האפשר תופעות של שרשור שינויים שלא נגמר ושמשמעותם אינה ברורה עד הסוף. יתכן גם ששינוי קטן יהיה פרויקט פיתוח משמעותי ולא רק תיקון. המקרה שלנו מצביע על כך. נושא זה הוא בעיה של חוסר איזון אפשרי בין הבעיה (P) לתהליך הפיתוח (I).

## 6.2 תיעוד

נגזרת מהתובנה הקודמת היא נושא התיעוד. בהנדסת מערכות קיים תיעוד של הרבה נושאים: דרישות, ארכיטקטורת מערכת, אנליזות, בדיקות, תיאור המוצר הסופי וכדומה. נושא שחסר לו תיעוד מסודר הוא שיקולי קבלת החלטות ואף יותר מזה, הפעלת קבלת החלטות תואמת-בעיה. ניתן לראות זאת בדוגמאות רבות בפיתוח מוצרים. במקרה שלנו, גם היום לא ברורים בדיוק מהם השיקולים שהביאו לפתרון הקיים לפרטי פרטיו. באין תיעוד משמעותי והליך של בדיקתו, אף אחד לא הטריד עצמו, כאשר נעשה שינוי בתוכנת MCAS, בשיקול שצריך לבדוק שוב את המשמעות של הפתרון. נושא זה משקף חוסר איזון אפשרי בין הבעיה (P) לתהליך הפיתוח (I).

## 6.3 ניהול שינויים

תובנה זאת נגזרת משתי הקודמות. כל שינוי דרישה, ולו גם הפשוט ביותר לכאורה, הוא פוטנציאל לפרויקט חדשני. בהיסטוריה של ההנדסה יש מקרים רבים בהם שינוי הדרישות הביא למצב החורג מגבולות הידע ולכישלון. דוגמה לכך היא הכישלון בזמן הבנייה של גשר קוויבק בקנדה בשנת 1907 שהרג 75 עובדים שהיו עליו. הגשר נבנה כקורה אחת במפתח שחרג ממה שנוסה בעבר ולמעשה לא החזיק אפילו את המשקל העצמי שלו. השינוי היה מפתח גדול יותר ועיקרון הפתרון כבר לא היה תקף. כל שינוי צריך להיות מנוהל בקפידה תוך ניתוח מדויק של השלכות השינוי על שאר המערכת. במקרים רבים הניתוח חייב להיות לא רק לוגי אלא גם חישובי, על ידי סימולציה ואפילו על ידי בחינת אבטיפוס. הסיבה פשוטה: במערכות מורכבות יש תופעת הגחה של התנהגויות שאינן ניתנות לחיזוי ללא אמצעים אלה. דוגמה נוספת אפשר לראות בסעיף 2 לעיל, המנתח השפעות כלכליות שמתרחבות ללא ידיעה על המשך השפעתן.

לבסוף, חשוב לציין שבמושג מערכת אני כולל לא רק את המערכת הטכנית אלא את כל הארגון המפתח את המערכת, הספקים שלו והלקוח ומפעילי המוצר ואפילו לקוחותיו – אנחנו, הנוסעים. הכרחי להפוך אותם לחלק מהסימולציה ובכך מובטח אותו איזון של שלושת הגורמים של PSI.

## 6.4 קביעת שיטת הפיתוח היא חלק מהליך הנדסת המערכת

כל פרויקט יכול וצריך להשתמש בתהליך פיתוח שמתאים לו. בגלל קושי הארגון



להיות מספיק גמיש ולשנות את תהליך הפיתוח באופן דינמי, רוב הארגונים מסגלים כמה תהליכים לכמה צרכים כגון תהליך למענה על מכרז, תהליך לפיתוח מוצר חדש ותהליך לפיתוח גרסה של מוצר קיים. תהליך הפיתוח של גרסת ה-737 מקס עם מיקור-החוץ כנראה נבחר מאילוצי תקציב לא נכונים ולא גובה באופן משלים על ידי פעולות בדיקה תואמות. למעשה, כל התהליך היה חסר הליך בדיקה ורישוי סדור ולכן לא עמד בדרישות הבטיחות כפי שהתגלה במציאות. אילו תהליך הפיתוח היה נחשב ברצינות כמערכת עם דרישות והיה מפותח כהלכה, לא היו קורות הבעיות האלה. נושא זה גם מבטא חוסר איזון בין כל מרכיבי ה-PSI.

### 7. איך משלבים את כל זה למקשה אחת?

כמה מהתובנות נראות פשטניות למהנדסי מערכת או מנהלי פרויקטים ותיקים. אבל כך הן בוודאי נראו גם למובילי פרויקט ה-787 מקס או למובילי פרויקט הדרימליינר. ברם, העובדה שהם וחברה כמו בואינג עם ההון האנושי שלה כשלו יותר מפעם אחת בעשרים השנה האחרונות מראה שאפשר להיכשל ויש לזה משמעויות אדירות. אם היינו בוחנים את המציאות של פיתוח מערכות מורכבות מסביבנו, היינו רואים כי מספר הכישלונות רב על ההצלחות. אילו היינו משתמשים בכלים הנכונים ובתהליכי פיתוח תואמי-בעיה ויכולות ארגון, תוך איזון מרכיבי ה-PSI, סביר שהיינו מנעיים מכישלונות וגם מצליחים להתגבר על הרבה בעיות בפרויקטים קיימים ולשפר אותם גם אם הגדרנו אותם כמוצלחים.

### 8. ביבליוגרפיה (כל המקורות נקראו ב-3.9.19)

1. "The Real Reason Boeing's New Plane Crashed Twice"  
<https://www.youtube.com/watch?v=H2tuKiiznsY>
2. "Terrifying Final Minutes of Doomed Boeing 737 Max" | 60 Minutes Australia  
[https://www.youtube.com/watch?v=OxPxmU\\_ocI](https://www.youtube.com/watch?v=OxPxmU_ocI)
3. "The Inside Story of MCAS: How Boeing's 737 MAX System Gained Power and Lost Safeguards" <https://www.seattletimes.com/seattle-news/times-watchdog/the-inside-story-of-mcas-how-boeings-737-max-system-gained-power-and-lost-safeguards/>
4. "Boeing's 737 Max Software Outsourced to \$9-an-Hour Engineers"  
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-06-28/boeing-s-737-max-software-outsourced-to-9-an-hour-engineers>
5. "The Many Human Errors That Brought Down the Boeing 737"  
<https://www.theverge.com/2019/5/2/18518176/boeing-737-max-crash-problems-human-error-mcas-faa>
6. "Boeing's 737 Max Crisis: Why the Medical Device Industry Should Care"  
<https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/boeings-737-max-crisis-why-the-medical-device-industry-should-care/>

# מדיניות כלכלית במדינת רווחה

קוטי שוהם

ד"ר קוטי שוהם הוא ראש היחידה ללימודים כלליים באפקה המכללה להנדסה בתל אביב.

**מדינת הרווחה המודרנית היא שעטנז של שתי תפיסות עולם מנוגדות. כתוצאה מכך קובעי המדיניות הכלכלית בישראל ניצבים בפני אתגר תמידי של איזון בין קצוות מנוגדים, ולכן הם גם תמיד חשופים לביקורת. מטרתי במאמר זה היא לשרטט את האתגר של עיצוב מדיניות כלכלית במדינת רווחה. מתוך כך ישתמע שההשקעה הממשלתית למו"פ אזרחי במדינת ישראל מהווה העדפה מוצדקת של סקטור כלכלי זה.**

מדינת הרווחה המודרנית היא שעטנז של שתי תפיסות עולם מנוגדות – קפיטליזם וסוציאליזם. כתוצאה מכך קובעי המדיניות הכלכלית בישראל ניצבים בפני אתגר תמידי של איזון בין קצוות מנוגדים, ולכן הם גם תמיד חשופים לביקורת מימין ומשמאל של המפה הפוליטית במדינה, כמו גם בתקשורת ובציבור הרחב. זו מוטחת בפניהם על כל פעולה, או הימנעות מפעולה, ע"י מי שמתוך תפיסת עולמו מפרש את המדיניות הכלכלית כסותרת את יסודותיו הערכיים. מטרתי במאמר זה היא לשרטט את האתגר של עיצוב מדיניות כלכלית במדינת רווחה, ולטעון שהשיח הציבורי בישראל בנושאים כלכליים מחייב גמישות מחשבתית של, בין היתר, הן של פוליטיקאים, כלכלנים והן של, עמותות וגופים חברתיים, העיתונות הכלכלית והמערכת העסקית.

## 1. אינדיבידואליזם וקפיטליזם

קפיטליזם היא תפיסת עולם הנשענת על המונח הלטיני "קפוט" (caput) שמשמעו "ראש". הקפיטליסט מתייחס אל החברה האנושית כקבוצה של "ראשים", כלומר פרטים המתקבצים יחד מטעמי ביטחון ונוחות. כך, לדוגמה, הפילוסוף ג'ון לוק, בן המאה ה-17, מסביר בספרו "המסכת השנייה על הממשל המדיני", ש"הדרך היחידה שבה מוותר אדם על חירותו הטבעית ומקבל על עצמו את קשרי החברה האזרחית, היא דרך של הסכם עם בני אדם אחרים להתחבר ולהתאחד כעדה לשם חיי רווחה משותפים, חיי בטחה ושלום".

חשוב להדגיש, האדם ביסוד מחשבתו של לוק הוא אינדיבידואל משום שהוא בלתי ניתן לחלוקה (מאנגלית – Undivided), כלומר הוא יחידת קיום עצמאית, ראשונית, ובלתי תלויה באינדיבידואלים אחרים. לכן הוא גם יצור חופשי ויש לו ריבונות על חייו. לדבריו של לוק, במצב הטבעי "האדם חופשי לחלוטין לכלכל את מעשיו ולהשתמש ברכושו ובגופו כתוב בעיניו...בלי לבקש רשות מזולתו ובלי להיות תלוי ברצונו של שום אדם אחר". חירות זו היא לדידו של לוק זכות המוקנית לכל פרט ומכאן היא גם גוררת שוויון כערך מרכזי: "האדם נולד בן חורין גמור, כשהרשות בידו ליהנות מכל הזכויות והברכות של החוק הטבעי, במידה שווה לכל אדם אחר או לכל קבוצה של בני אדם בעולם", או בניסוח אחר, "כל בני האדם חפשים מטבעם, שווים ועומדים ברשות עצמם".

כאמור, על יסוד עמדה זו, טוען לוק, המדינה קמה כאשר כל אחד מהפרטים בחברה מחליט באופן חופשי להצטרף להאמנה חברתית שמוסרת את הסמכות לחוקק חוקים, ואת הכוח לאכוף אותם, בידי שלטון מרכזי: "חירותו של האדם בחברה פירושה שאינו כפוף לשום רשות מחוקקת זולת זו שנתכוננה על פי הסכמת בני הקהילה". אולם, ההסכמה לחיות תחת משטר מדיני אינה מאפשרת למדינה לפעול ככל העולה על רוחה, ולכן על אף שלוק גוזר את תפקיד המדינה מרעיון החירות של הפרט, הוא מיד מגביל את סמכויותיה. ראשית, הוא טוען, החוקים שהמדינה מוסמכת לחוקק חייבים להיות חוקים מוסריים, או במונחים משל לוק חוקי המדינה מוגבלים למסגרת של החוק הטבעי. המוסר, לדידו, איננו עניין של השקפה שרירותית אלא הוא פירוט ציווי של האל להתנהגות ראויה, ולכן כפופים לו שיקול הדעת של האדם במצב הטבעי וסמכויותיו של המחוקק במצב המדיני. שנית, סמכויות המדינה מוגדרות כהתערבות המינימלית ההכרחית בחירויות הפרט הנדרשת לצורכי ביטחון פנים וחוץ, שהרי לשם כך בלבד האדם הגביל את חירותו הטבעית כשהצטרף להאמנה החברתית. בחיבור "אגרת על הסובלנות" מגדיר לוק את המדינה "כחברה של בני אדם אשר נוסדה אך ורק לשימור ולקידום נכסיהם האזרחיים". בשם זה כולל לוק "את החיים, את החירות, את שלמות הגוף ואת העדר הכאב מן הגוף, וכן את הבעלות על החפצים החיצוניים, כגון אחוזות אדמה, כספים, רהיטים וכיוצא באלה". בהקשר הנדון במאמר זה חשוב להדגיש שבשום אופן אין לראות במדינה אחראית לספק לאזרחים שירותי בריאות, חינוך, רווחה, דת וכיו"ב – כל אלה מהווים פגיעה לא מוצדקת בחירותם.

מבחינה כלכלית, לפי לוק, האינדיבידואל מחליט באופן חופשי לצאת אל העולם להתאמץ ולדאוג לפרנסתו, לכן הוא גם הוא בעל זכות קניין על פירות עמלו שהם תוצר בלבדי של כישוריו ושל בחירותיו האישיות. לדבריו, על אף שהטבע ניתן לכל בני האדם במשותף "עם כל זה, מאחר שהאדם הוא אדון לעצמו ובעל לגופו ולכל מעשיו או עבודתו, [הוא] מצא בתוך עצמו את הבסיס לקניין". באופן תואם ועקבי לרעיון זכות הקניין, המדינה אינה יכולה להכניס את ידה הגסה לכיסי אזרחיה. הכנסות המדינה

ממיסים צריכות להיות מינימליות כדי לספק את הוצאות הביטחון, מעין מס גולגולת ובוודאי לא מס פרוגרסיבי, שהרי המדינה המינימליסטית אינה שותפה לתפוקתו של האינדיבידואל ואל לה לגזול שיעור מהכנסתו. קל וחומר שאל לה למדינה להכניס את ידה לכיסו של אזרח אחד כדי לממן שירותים לאזרח אחר שיידו אינו משגת אותם.

אין זה מפתיע על כן שלוק מכונה "אבי הליברליזם", והגותו השפיעה משמעותית על התפתחות האתוס של המעצמה הכלכלית הגדולה בעולם, ארה"ב של אמריקה. טענותיו של לוק לפיהן לאדם יש חירות טבעית ש"פירושה שהאיש חופשי מכל שלטון עלי אדמות, ואינו כפוף לרצונו או לסמכותו המחוקקת של שום אדם" הן יסוד לחוקה האמריקאית שאומצה כמאה שנים לאחר שלוק פרסם את כתביו. כך גם, כפי שראינו, עקרון השוויון, היחס לזכות הקניין, הביטחון באלוהים שמודפס על שטר הדולר, הסובלנות הדתית, ואף הזכות לשאת נשק שבה לא דנו.

התפיסה הליברלית של המדינה במחשבתו של לוק קיבלה עיגון כלכלי כמאה שנים לאחר מכן בספרו של בריטי אחר, הפעם ממוצא סקוטי, ששמו אדם סמית'. סמית', שנהוג לכנותו "אבי הכלכלה המודרנית", טען בספרו הידוע, שכותרתו "מחקר בדבר סיבותיו וטבעו של עושר העמים", שבכלכלה חופשית האינדיבידואלים רודפים אחר טובתם האישית. לדבריו, "אין אנו יכולים לצפות לארוחת ערב בהסתמך על טוב לבם של האופה, של מבשל השיכר ושל הקצב, אלא בהסתמך על תועלתם לעצמם". כוחות השוק, ממשיך סמית, דואגים לכך שגם טובת הכלל יוצאת נשכרת. כלומר, "היד הנעלמה" מביאה את המשק לשיווי משקל שבו נפגשים שיקולי הקונים, ביחס לאיכותם של המוצרים, מחירם וכמותם, עם שיקולי המוכרים. המשמעות היא שהדאגה לאינטרס האינדיבידואלי יוצרת, באופן פרדוקסלי, הגדלה של האושר הכללי. כאשר, לדוגמה, יצרן שואף לשפר את איכות מוצריו ולהקטין את מחיריהם לצרכן הוא עושה זאת על מנת להגדיל את רווחיו, מנגד כאשר צרכן מקפיד לקנות מוצרים באיכות גבוהה ובמחיר נמוך הוא דואג לכלכלתו שלו אך גם מדרבן את המערכת העסקית להתייעל ולהשתפר. במילותיו של סמית:

"כל פרט עמל כדי להגדיל את רווחיה של החברה ככל יכולתו. הוא אינו מתכוון לקדם את עניין הציבור, ואף אינו יודע באיזו מידה הוא מקדם אותו. בהעדפתו לתמוך בתוצרת מקומית על פני תוצרת זרה, הוא מכוון רק לקידום ביטחונו; ובאמצעות הכוונת תעשייה זו באופן שתוצריה יהיו בעלי הערך הרב ביותר, הוא מכוון רק כדי להשיג רווח עבור עצמו, ובכך, כמו במקרים רבים אחרים, הוא מובל על ידי יד נעלמה לקידום מטרה שאינה חלק מכוונתו. ואין זה תמיד מזיק לחברה שאין כוונתו לכך. באמצעות רדיפת עניינו הוא, הוא לעתים קרובות מקדם את עניינה של החברה ביותר

יעילות מאשר אילו התכוון באמת לקדמה. מעולם לא חזיתי בטובה גדולה שיצאה מאלו שניסו להשפיע על הסחר לטובת הציבור”.

מכאן סמית מגיע למסקנה שהתערבותה הרגולטורית של המדינה צריכה גם היא להיות מינימליסטית, כלומר תפקידו של הרגולטור הוא להבטיח את קיומה של התחרות החופשית. המשמעות היא שאסור למדינה להתערב ולשנות את תנאי השוק באופן שמיטיב עם צד הביקוש או עם צד ההיצע במשק; התערבות זו תטה באופן מלאכותי את שיווי המשקל, תטיב עם פרטים מסוימים, תפגע ביכולות הכלכליות של פרטים אחרים, וחמור יותר תביא לפגיעה ברווחה הכללית של המשק:

”המדינאי שינסה להורות לאנשים פרטיים באיזה אופן עליהם להשתמש בהונם לא רק שיעמיס על עצמו עבודה מיותרת לחלוטין, אלא גם ייקח לעצמו סמכות שאין למוסרה לא רק לאדם בודד כלשהו, אלא גם לא למועצה או סנט, ושתהיה מסוכנת יותר מכל בידיו של אדם שטיפשותו ויומרתו מגיעים עד כדי כך שהוא מדמיין שהוא מסוגל לבצע פעולה זו... תהיה זו רגולציה חסרת ערך או מזיקה”.

כך אנו רואים כיצד העמדה המטאפיסית הטוענת לקיומם הממשי של אינדיבידואלים בלבד, מובילה לעמדה אתית ליברלית, וממנה לכלכלה קפיטליסטית. שיטת השלטון ההולמת עמדה זו היא שיטה דמוקרטית, בין אם ייצוגית ובין אם ישירה, שבה האינדיבידואלים קובעים את החוקים על פיהם תתנהל החברה. חשוב להדגיש, אין מדובר בחקיקה שרירותית שמתנהלת אך ורק עפ”י הכוח הפוליטי בפרלמנט, אלא בתפיסה פלורליסטית לפיה צדק ואמת הם ערכים מוחלטים המחייבים את המחוקק לפעול לאורם, עפ”י מיטב הבנתו כמובן.

## 2. סוציאליזם וקומוניזם

מאתיים שנים אחרי “המסכת השנייה” של לוק, וכמאה שנים אחרי “עושר העמים” של סמית, פרסם קארל מרקס, גרמני יהודי שהשתקע בלונדון, את ספרו “הקפיטל”, שבו העביר ביקורת על הקפיטליזם. יסוד ביקורתו של מרקס מהווה התקפה חזיתית על רעיון ה”קפוט” (או “קפיטה” ברבים), כלומר על הטענה שהפרט, האינדיבידואל, הוא יחידת קיום עצמאית שאינה תלויה במהותה באינדיבידואלים אחרים. לפי השקפה זו, בני אדם אינם מעבירים את חייהם במנותק מפרטים אחרים, אלא הם תמיד חיים במסגרת חברתית. זהו אינו רק עניין פרקטי אלא מהותי, הפרט הוא ביטוי של החברה שבתוכה הוא חי, ובלעדיה אינו ממש קיים. אם הקפיטליסט מתייחס אל החברה האנושית כקבוצה של “ראשים”, הסוציאליסט מתייחס אל הפרט האנושי כ”איבר” של החברה. לדידו של מרקס “המהות האנושית אינה הפשטה הגלומה בפרט היחיד. במציאותה היא הרכב של היחסים החברתיים”.

זו כמובן גם משמעות המונח סוציאליזם, שמשמעו קדימות מהותית, אונטולוגית, של החברה על פרטיה. אפשר להבין זאת טוב יותר אם נחשוב על קבוצה של עשרה אנשים שמוצאים את עצמם בדרך מקרה על אי בודד. במצב היפותטי זה, שרידותו המנטלית והפיזית של כל אחד מהפרטים תלויה בקיומה של הקבוצה כולה. אם חלילה אחד מהפרטים בקבוצה יאבד את דרכו, סביר להניח שהוא גם יאבד את שפיותו, ולמעשה אנושיותו תלך ותתפוגג. ברור שפרט כזה יתקשה להמשיך ולשרוד את התנאים הפיזיים של קיום מנותק ומבודד. מכאן אנו מבינים, יטען הסוציאליסט, שהחברה מאפשרת את קיום הפרט וקודמת לו, ולכן הנורמות של חירות אינדיבידואלית וקניין פרטי שביסוד הקפיטליזם הם מלאכותיים ושגויים, שלא לומר נורמות שקריות המהוות בסיס לניצול ועושק.

אם החברה קודמת לפרט, טוען הסוציאליסט, מובן מאליו שקבוצה קטנה המתמודדת עם אתגרי הקיום תבקש מכל אחד מהפרטים לממש את כישוריו לטובת כולם, גם אם הוא רוצה מאוד להיות חופשי ולנוח כל היום תחת עץ רענן. משמעותה של חירות בהקשר זה היא דווקא היכולת לפעול כקבוצה, ולא ללכת לאיבוד כפרט מנותק. כלומר הערך היסודי של הסוציאליזם הוא עבודה שהיא מימוש חרוץ של הכישורים של כל אחד מהפרטים לטובת כלל הקבוצה. מנגד, כמובן, כל המשאבים שהקבוצה יצרה, כקבוצה, שייכים לכולם במשותף, כלומר הקניין הוא ציבורי ולא פרטי. זאת היא משמעותו של משפטו הידוע של מרקס "מכל אחד כפי יכולתו, לכל אחד לפי צרכיו" – המשימות בחברה סוציאליסטית נחלקות לפי הכישורים, והמשאבים לפי צרכים.

בהתאם לכך הסיודור הפוליטי שהתאים לתפיסה הקפיטליסטית הוא לא יותר מאשר "כוח מאורגן של מעמד אחד לדיכוי של מעמד אחר". יתרה מזאת, בחירות דמוקרטיות תקופתיות המקובלות במדינות כאלה אינו אלא מצב שבו "המדוכאים מורשים פעם במספר שנים להחליט אלו נציגים ספציפיים של המעמד המדכא ייצגו וידכאו אותם". לפי עמדה זו העובדה הפשוטה היא שההיסטוריה התגלגלה כך שבני האדם מצאו את עצמם בתוך סדר כלכלי קפיטליסטי המנוגד למהותם החברתית, משרת מעטים מהם ומשעבד את רובם המוחלט, והוא התקבל כמציאות שאין בלתה. שהרי, טען מרקס, "לא תודעת בני האדם היא הקובעת את הווייתם, אלא להיפך, הווייתם החברתית היא הקובעת את תודעתם". אמנם לאורך הדורות תמיד היו מי שניסו לשנות את המצב עד כדי שניתן לומר ש"דברי ימיה של כל חברה עד כה הם דברי הימים של מאבקים מעמדיים... מנצלים ומנוצלים עמדו בניגוד מתמיד זה מול זה, ניהלו מאבק בלתי פוסק, אם נסתר אם גלוי, מאבק שהסתיים בכל פעם בעיצובה-מחדש של החברה כולה או באובדנם המשותף של המעמדות הנאבקים."

הקומוניזם, מלשון common כלומר שיתופיות, הוא זה שהולם את הרעיון הסוציאליסטי והוא התממש במלוא עוצמתו במדינה הקומוניסטית של ברית המועצות. תפקיד המדינה לפי השקפה זו הוא ליצור מערכת שלטונית שמחד תנהל את חלוקת המשימות לפי כישורי החברים, ומאידך תנהל את השימוש במשאבים לפי הצרכים שלהם. למותר לציין שבמונחים קפיטליסטיים נאמר שהמדינה הקומוניסטית למעשה גובה את מלוא התפוקה של העובד כמס, אך מספקת לו מנגד את כל צרכיו. לעומת זאת, במונחים קומוניסטיים, המדינה הקפיטליסטית מאפשרת לפרטים מסוימים לצבור הון על חשבון חבריהם באמצעות מה שנראה כשוק חופשי, כשהיא כלל לא דואגת לרווחתם.

### 3. סוציאל-דמוקרטיה ומדינת הרווחה

הן ההשקפה הקפיטליסטית והן ההשקפה הסוציאליסטית נכשלו במבחן המציאות. כיום אין ולו מדינה אחת שממשת את עקרונות הקפיטליזם באופן עקבי ומלא, וברה"מ, המימוש האמיץ ביותר של עקרונות הסוציאליזם, קרסה כידוע באמצע שנות ה-90. הסיבה לכישלון, בשני המקרים, נעוצה בניסיון לכפות על המציאות נקודת מוצא רעיונית חד-משמעית. במילים אחרות, המציאות לימדה אותנו שהחברה היא יותר מאשר אוסף פרטים, ושהפרט הוא יותר מאשר ביטוי של החברה שבה הוא חי. לכן, במהלך המאה ה-20 הוחלפו הרעיונות של או-או, או פרטים או חברה, ברעיון של גם-וגם, כלומר, ברעיון שהפרט והחברה מקיימים ביניהם תלות קיומית הדדית.

זהו היסוד הרעיוני של החברה הסוציאל-דמוקרטית. לפיו, בין הפרט לחברה מתנהלת דינמיקה תמידית של תועלת וסיוע. בצעירותו, הפרט נשען על התשתית החברתית כדי להתפתח ולרכוש כישורים, ולאחר שהוא מתבגר החברה נשענת על פעילותו ועל תוצריו הכלכליים והאחרים. בגיל מבוגר הגלגל מתהפך, והפרט שוב נשען על החברה כדי לקיים את עצמו ברווחה. דינמיקה זו מתנהלת גם תוך האפשרות שפרטים מסוימים יתרמו להתפתחות החברה הרבה יותר מאשר ייהנו משירותיה, בעוד פרטים אחרים יזכו לסיוע של החברה יותר מאשר יוכלו לתרום לה.

אולם דווקא הדינמיקה הזאת של היחסים המשתנים בין הפרט לחברה נהפכת לאתגר שבעיצובה של מדיניות כלכלית בת קיימא. אם נדגיש את הפן הסוציאליסטי של המדיניות הכלכלית, אנו עלולים לאבד את האחיזה בצד ההוצאות של תקציב המדינה, ונוסף על כך להקטין את הפיריון בשל ההכרח להגביר את נטל המס למימון הוצאות אלה. מנגד, אם נדגיש את הפן הקפיטליסטי, אנו עלולים ליצור אי שוויון חברתי כלכלי שבו קבוצות מוחלשות בחברה אינן מצליחות ליצור לעצמן תנאי מחיה חיוניים, לא באמצעות פעולה בשוק החופשי, ולא באמצעות רשת ביטחון חברתית. לכן מדיניות

כלכלית בת קיימא היא אתגר של איזונים בין הפרטי לחברתי, ומכאן שהיא תמיד חשופה לביקורת משני צדי המתרס, הצד הקפיטליסטי והצד הסוציאליסטי.

קריטריון מאזן למדיניות כלכלית במדינת רווחה ניתן למצוא בספרו של הפילוסוף האמריקאי ג'ון רולס, שכותרתו "תיאוריה של צדק" שהתפרסם ב-1971. רולס מעביר ביקורת על העמדה הסוציאליסטית משום שהיא מצמצמת את חירויות הפרט לטובת שיקולים חברתיים. לדבריו, "בחברה צודקת החירויות של אזרחים שווים זכויות מוחזקות כנחלתם, הזכויות המובטחות מכוח הצדק אינן נתונות למיקוח פוליטי או לחשבון של אינטרסים חברתיים". בנוסף, באופן שהולם את ההשקפה הקפיטליסטית, הוא טוען ש"צדק אינו סובל שאובדן חירות של אחדים ייעשה כשר מכוח הגדלת טובתם של אחרים. הוא אינו מרשה שקורבנות המוטלים על מעטים יקוזזו כנגד רווח גדול יותר לתועלתם של רבים". מנגד חברה הוגנת אינה יכולה, לדעת רולס, להסכים עם מצב שבו חלק מהאזרחים אינם מצליחים לקיים תנאי מחייה בסיסיים בעוד אחרים חיים בעושר מופלג. לדידו, "כל הערכים החברתיים – חופש, הזדמנות, הכנסה ועושר, תנאים של כבוד עצמי – צריכים להתחלק באופן שווה".

ניתן על כן לומר שגישתו של רולס, שאותה כינה "הצדק כהוגנות", מבקשת לאזן בין תפיסת העולם הקפיטליסטית לזו הסוציאליסטית, ולחלץ מתוכן את ההיבטים שנראים לו חיוביים. הוא מניח לצורך כך שני עקרונות יסוד לקיומה שעליהם ניתן לכונן חברה צודקת. העיקרון הראשון נקרא "עיקרון החירות", והוא מבטא את הרעיון שכל אזרחי המדינה מחזיקים בזכויות שוות ומבלי שאיש מחזיק בזכות עודפת שבעזרתה הוא עלול להגביל את חירותם של האזרחים האחרים. אולם, רולס טוען, שעל אף שוויון הזכויות העקרוני עלולה להתפתח לעיתים מציאות בלתי שוויונית, זו תהיה צודקת, לדבריו, אם היא מיטיבה עם כלל החברה ובמיוחד עם השכבות המוחלשות בה. איזון זה של האי-שוויון הוא העיקרון השני והוא מכונה על ידי רולס "עיקרון הפרשיות".

כמובן ששני עקרונות אלה עלולים לעורר ביקורת כנגד רולס משני צדי המתרס הרעיוני. מצד אחד ניתן לטעון שאין להפר את עקרון החירות באמצעות עקרון הפרשיות, משום שאי-שוויון כלכלי או אחר, הוא ביטוי של אי-שוויון מהותי, ולכן גם לגיטימי, ובשל כך אין מקום לאזנו. לדוגמה, כישורים נדרשים במשק בהם ניחן פרט מסוים, מידת החריצות שלו, גמישות ההתאמה לתנאים המשתנים של השוק ועוד, הם תכונות המקנות לפרט יתרון בשוק ואין מקום להענישו בשל כך באמצעות מיסוי פרוגרסיבי הנגזר מעיקרון הפרשיות. מנגד יהיה מי שיטען שעיקרון החירות מציג תמונה מעוותת לפיה כל פרט יכול לעשות שימוש שוויוני במשאבים החברתיים ובשירותים הרבים שהחיים בחברה



מגישים לנו. במילים אחרות, לדעת האחרונים עקרון החירות לעולם אינו מתקיים בחברה המבוססת על השוק החופשי.

#### 4. ישראל כמדינת רווחה

מדינת ישראל היא מדינה שבה אזרחיה חיים בשוויון זכויות. בלי להתעלם מהביקורת הציבורית בהקשר זה, ניתן לומר בביטחון-מה שישראל מממשת את עיקרון החירות. עם זאת, איננו יכולים להתכחש לאי-שוויון בתחומים שונים המאפיינים את החברה הישראלית. למרות השיפור המשמעותי במאפייניה של הכלכלה הישראלית בעשורים האחרונים ושיעור האבטלה הנמוך, רבים אינם מצליחים לרכוש דירה, הנגישות לשירותי בריאות מצטמצמת, היכולת לרכוש השכלה במקצועות יוקרתיים עדיין מוגבלת ועוד. מנגד, שיעורי המס בישראל הם גבוהים למדי והם נגבים משני העשירונים העליונים המשלמים כ-90% מהכנסות המדינה, כלומר נטל המס מונח על כתפיהם של מעטים מדי מקרב האוכלוסייה הישראלית.

במצב זה, כל שינוי במדיניות הכלכלית זוכה לקיתונות של רותחין. כלכלנים האמונים על יישום הידע הכלכלי לטובת צמיחתו של המשק הישראלי והשתלבותו בכפר הגלובלי נזעקים בכל פעם שמתקבלת החלטה שמנוגדת לעקרונותיו של השוק החופשי, אף שמניעה החברתיים חיוניים והולמים את הערכות ההדדית המתקיימת בינינו, לדוגמה בענייני ביטחון. לעומתם, ארגוני רווחה, ארגוני סביבה, ארגוני עובדים, ארגוני צרכנים ועוד, המבקשים לעורר את תשומת ליבנו לסוגיות מורכבות במשק הישראלי, זועקים חמס כאשר מתקבלת החלטה שאין בה כדי להרחיב את השירותים שהמדינה מגישה לאזרחיה, או שאינה מעמיקה את הרגולציה שהמדינה כופה על המערכת העסקית, זאת על אף שחופש פעולה כלכלי מעודד יוזמות פרטיות, מאפשר צמיחה של המשק והשתלבותו בשוק הגלובלי, ועל כן גם מסייע ביציבותו.

ביקורת דו ראשית זו היא מחירה של מי שמבקש לקיים מדיניות כלכלית במסגרת תפיסת העולם הסוציאל דמוקרטית וביטויה הפוליטי במדינת הרווחה. החברה הישראלית, על גווניה ומרכיביה השונים, היא חברה פלורליסטית המאופיינת בדאגה של כולנו למצבו של המשק הישראלי ולמאפייניו. אני חושב שכולנו מודעים לכך, ושמחים בכך, למרות הביקורתיות החדה והחכמה המאפיינת רבים מאתנו. על כן, האתגר של קובעי המדיניות הכלכלית מחייב שמירה על אוזן קשבת לקולות העולים מחלקיה של החברה הישראלית הסוציאל-דמוקרטית, והוא גם מחייב נחישות וקור רוח להוציא לפועל מדיניות של אי-שוויון דינאמי כמאפיין הכרחי של מדינת הרווחה. כאמור, אי שוויון זה יהיה מוצדק כל עוד הוא ישמר בגבולות עיקרון ההפרשיות של רולס, כלומר הוא יהיה אי-שוויון שתורם לטובת כלל החברה ובמיוחד לטובת הקבוצות המוחלשות בה.

בהקשר זה ניתן לטעון שהפניית משאבים לאומיים לטובת מימון מו"פ אזרחי במשק הישראלי עומדת בעיקרון ההפרשיות. לפי פרסומי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי הסתכמה בשנת 2017 בכ-57.8 מיליארד שקל. במונחים של שיעור מהתמ"ג ניתן לראות שבישראל הפניית המשאבים לתחום זה הייתה הגבוהה מבין המדינות החברות ב-OECD לשנת 2017. אולם נתון זה הושפע בעיקר מריכוז גבוה של מרכזי פיתוח של חברות רב-לאומיות בישראל, ופחות מהשקעה ממשלתית. במבט רב-שנתי ניתן לראות שבעשר השנים האחרונות לא השתנה סדר העדיפויות הממשלתי. על אף שהוצאות משרדי הממשלה לקידום הידע הכללי עלו באותה תקופה בכ-50%, והשיעור שהוקדש לפיתוח טכנולוגיות תעשייתיות עמד בעקביות על כ-30% מהן.

## ביבליוגרפיה

5. Karl Marx (2002), [1845], *Theses on Feuerbach*, Marxists Internet Archive.
6. Karl Marx, Friedrich Engels (2004) [1848]. *Manifesto of the Communist Party*. Marxists Internet Archive.
7. Locke, John, *A Letter Concerning Toleration*, in Locke, John, *The Works of John Locke: A New Edition, Corrected*, 10 vols., Alaen, 1963, (repr. of London, 1823), v. 6.
8. Locke, John, *Two Treatises of Government*, Lalett, P. (ed), Cambridge: Cambridge University Press, 1960.
9. Marx, Engels, Lenin, Dutt, Engels, Friedrich, Lenin, Vladimir Ilich, . . . Institut Marksa-Engelsa-Lenina. (1938). *Critique of the Gotha programme*. New York: International.
10. Marx, Karl (1867). *Das Kapital: Kritik der politischen Oekonomie*. Volume 1: Der Produktionsprozess des Kapitals (1 ed.). Hamburg: Verlag von Otto Meissner.
11. Rawls, J. (1999). *A theory of justice* (Rev. ed.). Cambridge, Mass.: The Belknap Press of the Harvard University Press.
12. Smith, A., Cannan, E., & Teichgraeber, R. (1985). *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations* (1st ed., Modern Library college editions). New York, N.Y.: Random House.



# עושר לאומות, או: כיצד להמציא מחדש

אבירם שריאל

פטנטים יכולים להועיל אולם גם להזיק, ופטנטים שלא משתמשים בהם יכולים, כנראה, רק ובעיקר להזיק. המאמר מתאר את הופעת הנזק מהסוג האחרון, של פטנטים שלא עושים בהם שימוש כלל, וכמה ממאפייניו. היות שפטנטים אלו רבים מאוד, וחלקם עשויים להיות שימושיים, מוצעת סכמה להשמשה שלהם, גם ובעיקר אם התפוגגה כבר תקופת הבלעדיות שהוקנתה להם. להשמשה כזו, אטען, יתכן פוטנציאל כלכלי בהיקפים מדינתיים.

לפני כמה שנים, פרסמתי, עם דניאל מישורי ויוסף אגסי, מאמר על בעיה שמצאנו בתיאוריה של הפטנטים.<sup>1</sup> המאמר התפרסם במקום ראוי מאוד, אבל כמעט שלא צוטט. באופן מוזר, על זה בעצם כתבנו. התיזה שהצגנו הייתה פשוטה: פטנטים רבים מצליחים, מגיעים לשוק, נהפכים למוצרים ומעשירים את הממציאים, את בעלי המכנים העסקיים שאוחזים בזכויות להם, ואת המשתמשים במוצרים אלה, כלומר את האנושות כולה. ואולם מספר דומה של פטנטים, בערך מחצית, אינם מגיעים לשוק לעולם. הם נזנחים על ידי הממציאים או החברות המחזיקות בהם, או מתפוגגים לאחר שעברה תקופת הפטנט. במצב הזה, טענו, הם קשים במיוחד להחייאה: מאחר שאין לגביהם הגנה מפני העתקה, קשה מאוד להצדיק השקעה בפעילות שתמסחר אותם. וכך, דווקא משום שהם נחלת הכלל, הם אינם נחלתו של אף אחד. הבאנו דוגמאות למקרים כאלו: הפשוטות ביותר הן המכונות החשמליות, שהומצאה עוד לפני מנוע הבערה הפנימית, והקנאביס. בשני המקרים, היעדר זכויות מונופוליות צמצם מאוד את העניין המסחרי במוצרים האלו, וכך נמנעו מאיתנו, ממש עד לאחרונה, מכוניות חשמליות וקנאביס זמין. במקרה של הקנאביס, המצב למעשה מורכב יותר: מאחר שהוא גם נאסר לפי חוק, יצא שהמדינה הקנתה עליו מעין מונופול לארגוני פשע. כך או כך, הנקודה העקרונית היא שבלעדיות זכויות מסחור בלעדיות, מיזמים חדשים מתקשים להתרומם, ופטנטים הם הכלי החשוב ביותר שיש לנו להשגת בלעדיות כזו.

Sariel, Aviram, Daniel Mishori, and Joseph Agassi (2015). "The Re-Inventor's Dilemma: A Tragedy of the Public 1 Domain". *Journal of Intellectual Property Law & Practice*, 10.10: 759-766

הנקודה העקרונית קשורה גם לתיאוריה. מסתבר שתפיסת הפטנטים נוצרה בתהליך היסטורי, שבמסגרתו המדינות באירופה בסוף ימי הביניים ותחילת הרנסנס יצאו לרכוש סודות מקצועיים שהוחזקו על ידי גילדות. לשם כך, הן העניקו בלעדיות מוגבלת בזמן למגלי הסודות, ואכן במהרה הצליחו להעביר את הסודות מהגילדות ליזמים מסחריים מהסוג שאנחנו פחות או יותר מכירים. לא היה מדובר בתהליך שהתבסס על זכויות האדם של הממציא, אלא על התועלת למדינה: יש לנו עדויות מאנגליה על פטנטים שהתקבלו על מזלגות - שהומצאו בוונציה. באופן גס, המדינות בזזו את זו ואת הגילדות המקצועיות, והעשירו את עצמן. ואולם כשנגמרו הסודות, נותר סוג אחד של סודות שלא ניתן היה להלאים: רעיונות חדשים. ובשלב מסוים, אנשי הגילדות, או מה שנוצר בעקבותיהם - הנדסה לסוגיה - החלו לפנות לאותם גופים ולבקש את אותן הגנות, עבור רעיונות חדשים שעדיין לא נבחנו.

הממציאים הצדיקו את הצורך בהגנה: בלעדיה, אמר הממציא הראשון המתועד, ברונוולסקי מפירנצה שהמציא מעין מעבורת, יעתיקו לו את הרעיון. פירנצה, שרצתה מעבורת יעילה, העניקה לברונוולסקי פטנט לשלוש שנים, וכך בערך הומצאו הפטנטים: במשא ומתן כוחני, שבו הממציאים לא רצו להעניק מפרי רוחם בלי סיבה טובה, שתונח כחשבון הבנק שלהם אם יצליחו. המדינות נטו להסכים: ההמצאות אינן עולות להן דבר, ומעשירות את הכלכלה בדרכים שונות, חשובות הרבה יותר מהמעבורת שברונוולסקי תכנן. וכך נולדה סכמת הפטנטים, שבמסגרתה הסיכון נלקח על ידי מממנים, בתקווה להחזרים גדולים בעתיד הלא רחוק.

עם הזמן, התיאוריה השתכללה להפליא. במשך זמן מסוים הייתה נטייה לראות בהמצאה את קניינם המוצדק של הממציאים, אלא שהטיעון פגום: ראשית, אם מדובר בקניינים, אין צורך בחוקי פטנטים, משום שמדובר בקניין שהעתקתו היא גנבה פשוטה. הגנבה אמנם קלה לתיאור אבל קשה לאכיפה. שנית, רבים טענו שהמצאה היא קודם כל תוצאה חברתית: לא ברונוולסקי המציא את המעבורת, אלא אנשים שלימדו אותו לתכנן ספינות נהר, ותרומתו אינה גדולה משלהם. למעשה, ואף שחיפוש אחרי "צעד המצאתי" הוא חלק מהדיונים המקובלים בדיני פטנטים, קשה מאוד למצוא קריטריונים המסבירים מהו צעד כזה. עד היום, אנו נסמכים על תחושות הבטן של בוחני הפטנטים. במקום זאת, עלתה טענה אחרת, מבריקה מאוד, שלפיה הממציאים אולי אינם בעלי הזכות לפטנט כמובן העקרוני, אבל כנראה שהם המנהלים הטובים ביותר של היישום שלו. לפיכך, טובת החברה נותנת שהממציאים צריכים לאחוז בזכויות המסחור הללו, לא בגלל שסטיב ג'ובס אכן המציא את הסמארטפון בעל הפינות העגולות, אלא בגלל שהוא האיש שיביא לארצות הברית הכנסות גדולות במיוחד מההמצאה הזו (המקרה אמיתי לחלוטין: אפל הצליחה לשכנע שיש לה זכויות על עיגול הפינות של הטלפונים הניידים). היכולת למסחר את ההמצאה, אומר הטיעון, קשורה באופן הדוק ליכולת

לדמיין ולהמציא אותה: מי שאינו מאמין בזכותם של אנשים לטלפונים עם פינות עגולות, לא שם לב לכך שהטלפונים האחרים היו עם פינות חדות מדי, ולא יכיר את שוק הטלפונים עגולי-הפינות. במקומו, עדיף לתת לממציא את הזכויות למסחור הפטנט. המשמעות היא שהחברה מחפשת מנהלי מסחור טובים, ומוצאת אותם, בעיקר, בקרב הממציאים וסביבתם המיידית. "סביבתם", כי הטיעון הוכלל בזריזות למבנה מקיף יותר שנוגע ליכולות הניהול של הארגון שהעסיק את הממציאים ומימן אותם. וכך, הטיעון החברתי מצדיק, למעשה, את המבנה המשפטי והמסחרי שאוחז בזכויות המסחור גם כיום, ומסיבות אחרות לגמרי, את אלה שראו בהמצאה סוג של קניין, בזכות הצעד ההמצאתי. וכך, אם הממציא עובד בפקולטה להנדסה, הזכויות שייכות לאוניברסיטה. אם הממציא עובד בחברה, הזכויות שייכות לחברה. הגופים הללו נחשבים כממציאים המוכללים שהתפיסה הזו מציינת כמנהלים מוצלחים במיוחד – של המצאות.

וכך, זכותה ולמעשה חובתה של החברה לצאת נשכרת ממבנה קפיטליסטי קלסי. התיאוריה החברתית טוענת כי טובת הכלל היא שדורשת לתת לממציאים, לגופים שהם עובדים בהם, למשקיעים שגייסו ולשותפים שכרתו איתם ברית את זכויות השימוש הבלעדיות בהמצאות – דברים שבוחני פטנטים חושבים שהם חדשים, פועלים כמתואר במסמכי ההמצאה, וכן הלאה. יש לבוחנים כמה קריטריונים כאלו.

כאן מתחיל סיפורנו. מצאנו נקודה קריטית העולה מהתיאוריה של הפטנטים: בעלות על המצאה אינה זכות אדם יסודית שמדינות צריכות לקיים, אלא עסקה תועלתנית, ששותפה אמנם בשמה לזכויות האדם אבל שונה מהן. העסקה הזו טובה מאוד, ומניבה את הדבר המרשים והמעשיר ביותר בעולם – קדמה. לכן, הצענו שהמדינה תבצע אותה יותר מפעם אחת לכל רעיון. כלומר, הצענו שהמדינה תפעל למסחר גם פטנטים שהממציאים, המשקיעים והשותפים כשלו קצת בניהול המסחור שלהם.

לשם כך, שאלנו מה קורה במצבים שבהם המנהלים המצוינים הללו לא הצליחו. לפי התשובה הנאיבית, פטנטים שפג תוקפם זמינים לכל דכפין, ולפיכך מן הסתם מנוצלים באופן מושלם, על ידי שוק מושלם גם הוא. התשובה הפחות נאיבית היא שכל מבנה הפטנטים מתקיים בהכרח בחברת שוק חופשי. למעשה, בשוק שאינו חופשי אין טעם בפטנטים: אם מפלגה אחת, או מלך אחד, או גוף אחד כלשהו שולט בכל כלכלת המדינה, הגוף אינו רק שולט גם בכל רעיון שיגיע לשוק ובניהול שלו, אלא גם יש לו מוטיבציה נמוכה לשווק מוצרים חדשים, שיוציאו מהשוק מוצרים ישנים ומכניסים.<sup>2</sup>

מערכת הפטנטים היא מעין התערבות מחוכמת בתהליכי השוק החופשי, אבל התערבות שמניחה שללא משקיעים, מהנדסים ומנהלים לא יהיו מוצרים ולפיכך יש

Arrow, Kenneth Joseph (1972). "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention". *Readings in Industrial Economics*. London: Palgrave, pp. 219-236

להקפיד על קיומם. ומבין כל אלו, המשקיעים הם קפיטליסטים, כלומר מתאפיינים ברצון להרוויח על החזר ראוי על השקעה נועזת במוצר שלא נמצא בשוק (שימו לב: הדיון שלנו עוסק ברעיונות שלא הבשילו לכלל מוצרים שהגיעו לשוק, או רעיונות שהיו מוצרים שיצאו מהשוק, וכן הלאה: אם הרעיון ממומש במוצר זמין, הוא מחוץ לסכמת הניתוח). אם אין פטנט, המשקיעים יטו פחות להשקיע ברעיון חדש, שעשוי להיכשל. וגם, טענו, משקיעים יטו פחות להשקיע ברעיון ישן שלא נבדק כלל – בפטנט שפג. לכן, גם אם עברו עשרים שנה מזמן רישום הפטנט והרעיון לפתע נהפך לרלוונטי, אין סיכוי שתגויס לו השקעה. אם אתם מכירים צמח שהעשן שלו מייצר אפקטים דומים לשל אלכוהול, אבל לא ניתן לרשום עליו פטנט, לא תמצאו משקיע שיילחם את מלחמות הקנאביס שלכם. ואם אתם חושבים על מכונית חשמלית (גילוי נאות: יש לי שתיים), לא תצליחו לשכנע את סוכנויות הרכב בישראל לקדם את זה. הן יודעות מצוין עד כמה השוק גדול, כמה ישראל מתאימה לרכב חשמלי וכמה מעט תשתיות נדרשות כדי לסגור את המרחק לאילת. אבל הן גם יודעות שברגע שבו מכוניות חשמליות יתחילו להימכר היטב, יופיעו מתחרים יעילים. היזמות קשה יותר בהיעדר בלעדיות, ולא במקרה מדינות נאלצו לדחוף בכוח את חברות הרכב להתחיל לייצר מכוניות חשמליות: בהיעדר פטנט, החברה הראשונה שתעז תהיה גם מקרה המבחן הלימודי של כל החברות האחרות, והן יתחרו בה. לכן, מכוניות חשמליות נאלצו להמתין להופעת בעל הון אקסצנטרי ומבריק במיוחד: אילון מאסק, ולסדרת צעדי חקיקה שאילצו את חברות הרכב להכניס שינויים, במידה רבה נגד מיטב רצון ההנהלות שלהם. רק כאשר הקטסטרופה האקלימית התחברה לתקשורת עוינת במובן הטוב של המילה ולעלויות דלק גבוהות, הופיעו המכוניות החשמליות מחדש. זו אינה ההתנהלות שהיינו רוצים לראות, מאתיים שנה אחרי שהרכב החשמלי הראשון נסע (כן, מאתיים).

לכן, טענו, יש סוגים שלמים של טכנולוגיות שכישלון המסחור המוקדם שלהם פשוט מנע מהן להגיע לציבור. אנחנו שומעים עליהן בעיקר כאשר יש להן יתרונות ארוכי טווח, שהופכים אותן למעניינות למהנדסים, ומתסכלות ליזמים: מכוניות חשמליות, קנאביס. אבל גם מנועי בערה חיצונית: הם נקראים "מנועי סטרלינג", הומצאו לפני יותר ממאתיים שנה והפטנטים עליהם זמינים לכול. אף אחד, כמעט, אינו משתמש בהם כדי לייצר חשמל או הנעה ממדורות פשוטות, אף שהמנועים האלה יכולים לעשות את זה ביעילות. הסיבה, עד כמה שאפשר לראות באינטרנט מדיווחים מתוסכלים של מהנדסים שוחרי טוב, היא שמשקיעים אינם משקיעים, כי אין ולא יכול להיות פטנט. גם ארובות השרב שהמציא דן זסלבסקי מהטכניון – שיטה להפקת אנרגיה מהשמש דרך בניית ארובות בגובה קילומטר – נמצאות במצב הזה: הפטנט פג. הארובות הומצאו אמנם לפני עשרים שנה ולא לפני מאתיים שנה, אבל כבר אין ולא יכול להיות עניין במסחור שלהן. זאת, למרות שמכוניות אנרגיה חלופית עשויות להיכשל לא בגלל כישוריו של זסלבסקי בהצגה למשקיעים, אלא בגלל מחירי הדלק בעולם, שעברו נפילה, אולי זמנית.

הטענה שלנו כללית לגמרי, וככל הנראה כמעט אינה מטופלת. כמעט, שכן היו וישנם תקדימים שנראים כאילו עסקו בפתרון חלקי לפרדוקס ההמצאה מחדש: כאשר הומצאה שיטת הפטנטים, היא הייתה זיכיון שמדינה יכולה להעניק, גם אם ההמצאה הוכרה כבר במדינה אחרת. במקומות מסוימים, גרמניה של המאה התשע-עשרה ותחילת המאה העשרים, ניתן היה לקבל זיכיון חדש – להמציא מחדש – מוצר שנרשם כפטנט אבל לא הגיע לשוק. היו מדינות, כולל מדינות תעשייתיות מהוללות למדי כמו שווייץ, שאימצו את אמנות הפטנטים במאוחר מאוד, ובינתיים בנו לעצמן תעשייה שבזה לאמנות הפטנטים ולפיכך הצטיינה גם בהשמשה מחדש של רעיונות ישנים, בדרך כלל על ידי ייצור בשיטות חדשות. בעשרות השנים האחרונות, המזרח הרחוק, בעיקר סין אבל בהחלט לא רק סין, נקט גישה גמישה לפטנטים: בדרך כלל, המדינות שעשו כך ידעו גם לאכוף זיכיון לא-פטנטי שניתן למקורבים, ובדרך כלל גם ידעו להשמיש רעיונות ותיקים יותר (וכך, כנראה, סין מצטיינת במכוניות חשמליות). אולם כללית, המדינות הללו נטו ונטות להצטרף בסופו של דבר לאמנות בינלאומיות, וככל שהגלובליזציה מתקדמת, פוחתים המקומות שמתמודדים עם אמנות הפטנטים בשיטה הזו, מעין עבריינות לאומית, וטוב שכך. אבל במקביל, המקומות האלו גם מפסיקים להיות איים שבהם ניתן להפעיל מחדש פטנטים שפג תוקפם.

יש עוד: פטנטים נבחנים לא רק מול פטנטים אחרים שנרשמו, אלא גם מול צירופים של פטנטים שנרשמו. ולכן, אם המצאת טרקטורון עם מנוע סטרלינג, הסירי דאגה מלבך: הבוחנים יטענו, ובצדק, שההמצאה שלך אינה יותר משילוב של רעיון הטרקטורון עם רעיון מנוע הסטרלינג. הם לא יקבלו את בקשת הפטנט, ואת יכולה לשכוח מגיוס משקיעים. וכך גם למי שרוצה להמציא גופייה עם חיישנים שימדדו את מצב עמוד השדרה ותנועתו במרחב – נפלא ליוגה, לאמנויות לחימה, וגם לפיזיותרפיה; ההמצאה תיפסל, במקרה הזה, שכן הגופייה הומצאה מזמן, וכך גם החיישנים. כך גם למי שירצה להמציא משקפיים שבהם כל עדשה בנויה לפעילות שונה, האחת לקריאה קרובה והשנייה לראייה רחוקה, והמוח ישלב את שתי העיניים ביעילות כי הוא יכול לבצע מעללים כאלה. הטכניקה הומצאה מזמן, ונקראה "מונוויז'ן"; שאלו את האופטומטריסט שלכם פי כמה היא זולה יותר ממולטיפוקל, ועד כמה שדה הראייה גדול יותר.

בכל המקרים האלה, שהם כבר משפחות שלמות של טכנולוגיות עם צאצאים משני הורים או יותר, מוטלת מגבלה קשה על יזמות טכנולוגית. היא אינה בלתי אפשרית, אבל ללא ספק קשה יותר. למשל, הטכנולוגיה הבסיסית של הפקת דלק מפצלי שמן, מה שמכונה fracking, קיימת כבר הרבה מאוד זמן, והייתה יכולה לעשות הרבה טוב לו היו מנצלים אותה מוקדם יותר. אבל רק כאשר מחירי הדלק נסקו בטירוף השתלם לאמריקאים לפתח את הרעיון הזה, שהביא עצמאות אנרגטית לארצות הברית.



ועוד: יש גם פטנטים שנכתבים מראש כדי למנוע תחרות, ואינם מתוכננים להגיע לשוק כלל. חברות מייצרות אותם, רושמות אותם, סוחרות בהן. אבל באף שלב, הפטנטים האלו, שנקראים "פטנטים חוסמים" ומהווים לפחות עשירית מכלל הפטנטים בעולם, אינם אמורים להתממש, לתועלת החברה שהתקינה את חוקי הפטנטים ומקיימת אותם. ושימו לב: הפטנטים החוסמים הם רעיונות שחברה מסחרית מאמינה בהם כתחרות קשה ויעילה למוצרים שלה. אלא שהמוצרים האלה כבר בשוק – ייתכן שהם בשוק כי הם מוגנים בפטנט ותיק קצת יותר – ומאחוריהם השקעות במערכי ייצור, שיווק, ותדמית מורכבת. וכדי למנוע תחרות כזו, חברות משקיעות באנשי פיתוח מצוינים, המשקיעים מזמנם בייצור של רעיונות שלא יוגשמו מעולם. במהלך תקופת הפטנט הרעיונות לא יוגשמו מאחר שהם מוגנים בפטנט שמוחזק על ידי החברה, ואחרי תקופת הפטנט – ראו למעלה, אין להם סיכוי להצדיק השקעה.

הנזקים גדולים למדי, ובעיקר בתחומים שאנו קוראים להם "טכנולוגיות ותיקות". מדובר בדרכים לעשות את אותו הדבר, באופן טוב יותר, חסכוני יותר, ובעיקר יעיל יותר סביבתית. במילים אחרות, פטנטים משקפים טכנולוגיות שמתחרות בשוק החופשי, ולכמה מהן יש יתרון קצר טווח, שמתאים היטב לזמנן. אלו הטכנולוגיות שינצחו במרוץ, בזכות המשאבים שישקיעו בהן בעלי העניין המוגנים על ידי פטנט. בין השאר, בעלי העניין יקפידו להסתיר את חסרונות הטכנולוגיה, או את הסכנות שבה. לטכנולוגיות אחרות יש חיסרון בטווח הקצר, ולחלקן, המעניין במיוחד, יש יתרון בטווח הארוך: בכך אני מתכוון לא לעקשנות והתמדה בקצב איטי, כמו הצב במשל הארנב והצב, אלא ליתרון גדול שנראה לעין רק לאחר זמן. בנקודת הזמן הנוכחית, המכוניות החשמליות הן ארנבים מהירים מאוד, ומכוניות הבערה הפנימית הולכות להאט קצת; במצב הנוכחי, קנאביס קם לתחייה כעסק מסחרי חוקי, לוחט יותר מקצה של ג'וינט; במצב הנוכחי, יש ממתיק מלאכותי בשם מניטול, שיתכן שיכול למנוע מחלת פרקינסון. כמו מנוע הסטרלינג, הממתיק הומצא לפני יותר ממאתיים שנה, ואין דרך ביקום להשיג בעבורו פטנט. מנגד, רק לא מזמן התברר שהוא עשוי להקטין מאוד את קצב יצירת גושי החלבון במוח, הבעיה שגורמת למחלה. מכיוון שאין ולא ייתכן פטנט, קשה לעניין חברות תרופות לבצע ניסויים קליניים במניטול: כל מה שהניסויים האלו יניבו הוא עלייה קלה במכירות של ממתיק מלאכותי שמישהו אחר מייצר. אילו ניתן היה לתת לטבע זכויות על מניטול, הזכויות האלו היו יכולות להוביל אותה לממן את הניסויים הקליניים שנדרשים כדי לקדם אותו כתרופה.

מניטול הוא מקרה מסובך, שכן יש יצרנים, משווקים ושוק של המתקה מלאכותית שירצה פיצויים אם ייקחו לו את המוצר ויחסמו אותו על ידי זיכיון בלעדי. אנחנו החלטנו לטפל במקרה האידיאלי יותר, כהצגה של פתרון אפשרי: תוקם ועדה מתמדת

למסחור מחדש של המצאות קיימות, או המצאות שאינן ניתנות לרישום אף שאינן בשוק כלל וכלל. הוועדה הזו תפעל בשני אופנים: ראשית, היא תזהה טכנולוגיות והמצאות כלואות במה שמכונה בטעות "נחלת הכלל", ואינן אלא חור שחור של רעיונות. מבין הטכנולוגיות האלה, הוועדה תבחר נושאים ראויים לדעתה למסחור, ותפעל לאיתור גופים מתאימים לניהול הנכס, תוך הקצאה של בלעדיות קצובה בזמן, בדיוק כמו בפטנטים רגילים.

שנית, הוועדה תהיה פתוחה ליזמים שיאתרו, במו ידיהם היצירתיות והחמדניות, רעיונות שעל אף ששהו שנים ב"נחלת הכלל", אפשר להקים אותם לתחייה, כמו את טכנולוגיית פצלי השמן ואת המכוניות החשמליות. וליזמים האלה, שימצאו רעיון קיים, שאיננו נמצא בשוק ואשר ניתן להדגים מדוע כדאי שיהיה בשוק, הוועדה תעניק שוב בלעדיות קצובה בזמן.

אלה עקרונות לפתרון ולא הפתרון במלואו: עסקנו בניסוח בעיה ובמבנים התיאורטיים שיצרו אותה, ולא בניסוח של חקיקה ותקנות. אבל יש שני פרטים שחשוב לציין כאן, גם בהקשר של המתווה הכללי, העקרוני, הלא מפורט. האחד הוא שהמתווה הזה יכול לשמש כהון חברתי שמוענק לאוכלוסיות מוחלשות. אנשים בפרופריה זקוקים להכנסה נוספת? אפשר להעניק להם זיכיון על מניטול. שיסגרו הם את העסקה עם טבע, כצט או קמהדע, או שישווקו בעצמם. המגזר החרדי חי מתחת לקו העוני ונראה למדינה שהוא ירוויח מחשיפה להייטק? נעניק לו זיכיון על ארכיטקטורות רלוונטיות של מעבדים דיגיטליים, שאינטל משום מה בחרה לקבור (ויש כאלה).

הפרט הנוסף, ואולי החשוב מכל, הוא שהוועדה הזו יכולה להיות רווחית מאוד לחברה ולמדינה, בפרט למדינה הראשונה שתממש אותו, ותבזוז שלל המצאות ישנות כבסיס לתעשייה חדשה. הפעלה של הרעיון, אפילו במדינה אחת, יכולה לקנות לה גישה מהירה וזולה למיטב הטכנולוגיות החלופיות שפותחו בעבר. השימוש בהן יחסוך ויפנה משאבים דרך חיסכון (על דלק, למשל, כפי שהוזכר קודם), ויכול לבנות פתרונות שהמחיר שלהם עצום בכל דרך אחרת, אם הוא אפשרי בכלל (ארובות שרב, מניעת פרקינסון). בעיקר, החזרת העטרה ליושנה יכולה להשתמש טוב יותר במקור החשוב ביותר שיש לנו לעושר אנושי. וכדי לעשות את זה, מה שצריך הוא בעיקר מחוקקים בעלי נטייה לחוקק, והחלטה לבצע פיילוט ראשוני, זהיר ומנוהל היטב. כסף, לשם שינוי, כלל לא נדרש כאן.