

כתב העת של רשת אסכולה | אפריל 2025

עין ערן:

11



11	עיון ערד:
----	-----------

03 דבר המערכת

06 עכשיו טורי
דור אלמוג

07 לפיכך התכנסנו
נגה קרן | בן שנהר

09 סוגיות מתקדמות בדיני עבודה
אודי שחם

15 בינה מלאכותית ומשבר המים
נועם אל-על, יובל שניידמן, יונתן יעקובוביץ' וגלעד בלנק

17 כזמונאות בעקבות תוכנית ההתנתקות
אביגיל שדיאור

20 הפאזל של היקום והפותר – חומר אפל
וקריסטלוגרפיה
יונתן מארצ'ני

26 מדור האומנות

דבר המערכת

ועכשיו הכל בינינו
כל הימים הגעגועים
אז בואי נעצור את הזמן
בדרך הביתה את אומרת
בסוף עוד יהיה לנו טוב
אני אומר לך
עד הבוקר הכאב הזה יחלוף
את מחשבת כמה זמן כבר
הסיפור הזה ממשיך
לא לא נמר"

בדרך הביתה, ישראל ברייט

הגליון ה-11 של עיין ערך רואה אור אחרי הגשמים, עם הגעתו של האביב, ומביא עימו גם תחושה של התחלה חדשה. פסח, החג שבו אנו מציינים את היציאה מעבדות לחירות, הוא גם החג בו אנו מתמלאים בתקווה ובאמונה בכוחות שמניעים אותנו לצמוח. החג, שמלווה תמיד בתחושת תקווה והתחדשות, מביא עמו לא רק זיכרונות מהעבר אלא גם קריאה להתבוננות בהווה ובזמנים לא פשוטים. חג החירות הוא הזדמנות להיזכר במה שחשוב באמת. החירות כערך יסודי היא לא דבר מובן מאליו, אפילו בימינו. גם היום, אנחנו לא שוכחים את החטופים והחטופות, ומחזיקים תפילה בליבנו בתקווה לשובם הביתה בקרוב. בחודשים האחרונים הרשת מתפתחת ומפתחת חירות אמיתית של חבריה ליוזמות וליצירה חדשה. נוצרות קהילות ממוקדות בתוך הרשת, ונערכים מפגשים אינטימיים לקהילת הדוקטורנטים, לחברי תכנית המנטורינג, למשתתפי תכנית העומק עם ון ליר ועוד ועוד. עוד חוויות לאחרונה מפגשים שתוכננו והופקו על ידי חברי הרשת עצמם: כנס האקדמיה של הרשת ביוזמת הפורום המוביל, כנס המתמטיקה, יום האסכולאית לחברות הרשת, מפגש לוקאלי בטכניון ולאחרונה גם ערב שמוקדש כולו לתחביבים וסדנאות יצירה. בגליון זה של כתב העת תוכלו למצוא את סיפורו של דור אלמוג בטור הפתיחה, חוויות מכנסים בחו"ל בהם השתתפו חברי הרשת בן שנהר ונגה קרן. מאמרים מגוונים בנושאים רלבנטיים על עבודת, בינה מלאכותית, פיזיקה ופזמונאות. וכמובן מדור אמנות בו חברות וחברי הרשת מביעים את הרגשות והתקוות ביצירות היוצאות מהלב.

מאחלים לכל חברי וחברות רשת אסכולה
קריאה מהנה, חירות אמיתית ואביב שמח!
חברי המערכת.

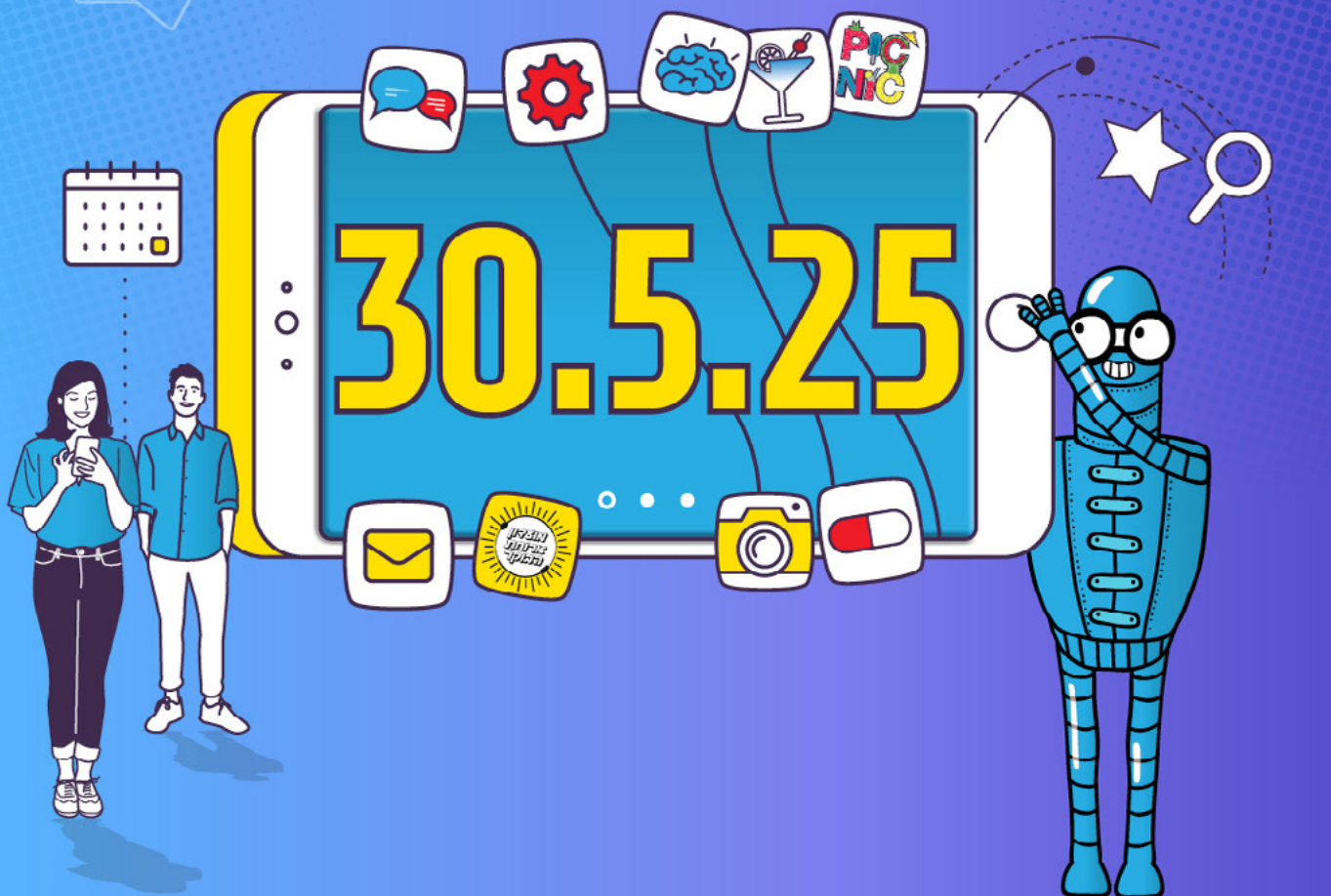
מעוניינים.ות לכתוב לגיליון
הבא של עיין ערך?

יש לכם.ן יצירה שתרצו לחשוף
(שיר, תמונה, ציור, סיפור קצר)?

לחצו פה ושתפו אותנו



Save The Date



מרכז מדעני העתיד
MAIMONIDES FUND



אסכולה
רשת הבוגרים

הזדמנות אחת - שנים של משמעות

מאת: דור אלמוג

נוכח ברשת, לתת לה לתפוס חלק משמעותי יותר בחיים שלי, לתת מעצמי ולראות איך הרשת מחזירה אלי בחזרה אפילו יותר ממה שנתתי - היה כמעט ממכר. אלה היו הצעדים שהובילו אותי להגיש מועמדות לחברות בפורום המוביל של אסכולה. הרגשתי שסוף סוף הגיע הזמן שלי לתת יותר בחזרה.

הפורום המוביל של אסכולה מורכב מ-20 חברי רשת, מכל תשע שכבותיה, שמטרתם לסייע למנהלת ומובילות הרשת בהיגוי אירועי הרשת ומעורבות החברים בה. העשייה בפורום המוביל מתבצעת על ידי חלוקה לקבוצות עבודה כמו ועדת אקדמיה (בה אני חבר) האחראית על הקשרים בין אסכולה לאקדמיה ועל אירועים שאפשר לעשות לסטודנטים בהווה, בעתיד (ומי יודע? אולי יום אחד גם בעבר). ועדת תרבות האחראית על חיזוק האלמנט התרבותי-חברתי בפעילות של אסכולה על ידי פעילויות פורמליות יותר ופחות, שמטרתן המיידית והבלעדית היא להעצים את יכולת המעורבות של חברי רשת שמחפשים חוויה קצת פחות "אקדמית" מאסכולה.

המעורבות שלי בפורום המוביל עד כה היתה לי משמעותית מאוד. זכיתי להוביל אירועים ברמת הרשת, להתכונן ולהנחות אותם וגם לסייע בהקמה, ארגון והובלת תהליכים. כמו כן תרמתי ביעוץ להנהלת הרשת, כמי שמהווה בסופו של דבר חלק מקהל היעד. וכעת, כאשר אנו ממש לאחר כנס "יוצרים עתיד" 2025, כל שאני יכול הוא להתרפק ולהסתכל על החוויה שלי עם אסכולה עד כה - חוויה משמעותית, ממלאת ומעצימה שרק הלכה והתחזקה עם השנים והגיעה לשיאה עם המעורבות בפורום. מתוך ההסתכלות הזו, אני מרגיש שבאיזשהו מקום אותה המעורבות עזרה לי למלא קצת חלל שנוצר בי בשנים האחרונות בין שירות צבאי, עבודה, והחיים עצמם. אני כל כך מודה לרשת (ולעצמי) על ההזדמנות והנכונות להיכנס, לתרום ולהיתרם ואם אלו היו רק 5 השנים האחרונות - אני לא יכול אפילו להתחיל לדמיין איך יראה העתיד!



דור אלמוג, Platform Engineer בפורטר, חברת סטארטאפ ישראלית שמתעסק בפיתוח מערכות Fraud Prevention. בוגר שנת שירות עם הסוכנות היהודית באטלנטה. אוהב יוגה, לרכב על אופניים ולנגן בפסנתר. מייל: almog.dor@gmail.com

לפני קרוב לשנתיים, בסביבות פברואר 2023, קיבלתי שיחת טלפון לא מזוהה. בצד השני של הקו עמדה שירה, מנהלת הרשת, שפנתה אלי בהצעה - "תרצה להנחות את כנס 'יוצרים עתיד' הקרוב בסוף מרץ?" הסכמתי להצעה, אבל מיד התחלתי לחשוב על זה קצת יותר לעומק (מנהג קבוע שלי, כמו של רבים מהקוראים); למה דווקא אני?

חשוב להבין שעד אז, לא הייתי יותר מדי פעיל ברשת - הרבה פחות משרציתי לפחות. נסעתי לשנת שירות בארה"ב מיד לאחר התיכון, מה שגרם לי להתרחק כמעט מיד מאסכולה בשנתי הראשונה כחבר בה. מה לעשות, הייתי בצד השני של העולם. עם הזמן, במלש"ביות השניה והארוכה שהצבא "סידר" לי לפני הגיוס שלי לבסמח (שהיתה כמעט שנה באורכה), התחלתי לאט לאט למצוא לעצמי עיסוקים ברשת. נרשמתי להאקתון על ההשלכות הסביבתיות של מגפת הקורונה, במהלכו זכיתי להכיר לעומק כמה חברי רשת ב-24 שעות אינטנסיביות ורצופות של עבודה ופיתוח. מתישהו במהלך ההאקתון, אחת מהמשתתפות בקבוצה סיפרה לי על הפודקאסט של אסכולה חורים ברשת שבדיוק חיפש מראיינים חדשים. בדיוק ההזדמנות שחיפשתי!

אחרי שסיימתי את המחקר שלי בתוכנית אלפא, תכנית ההמשך שבחרתי ל"ב היה מסלול של הקלטת פודקאסטים מדעיים, ככה שהעולם הזה לא היה זר לי לגמרי. ידעתי שאני אדם דברן, ידעתי שאני טוב בלהחזיק שיחה בפודקאסט והרגשתי שזו תהיה אחלה הזדמנות. ובאמת כך היתה - למשך תקופה של קרוב לחצי שנה למדתי להכיר יותר לעומק עוד ועוד אנשים באסכולה. גם כמראיינים שלצדי, אבל בעיקר כמראיינים; הכריות שבכנות השפיעו על החיים שלי הרבה יותר ממה ששיערת. זו היתה הפעם הראשונה שהבנתי את הכוח האמיתי של אסכולה. אסכולה היא אמנם רשת גדולה והיא לא מהווה חלק גדול בחיי היומיום של רובנו, אבל בעבור מי שמרשה לעצמו להיפתח ו"לקפוץ למים" - מדובר בעולם ומלואו של הכריות מרתקות וקשרים מפתיעים בעומקם שלא הייתי מייצר בדרכים אחרות.

חווית ההנחיה היתה באמת מדהימה. לא כל יום יוצא לך לעמוד על במה מול 2000 איש ונשיא המדינה (יחד עם אור זאי סולמוני המדינה!), ופשוט להוביל אותם לכל אורך האירוע. היום הזה היה אחד מימי השיא שלי באותה השנה, שנה שהתבררה מהר מאוד כמורכבת ומאתגרת יותר ממה שחשבנו שתוכל להיות. אותה החוויה עוררה אצלי את התאווה ל"עוד". הבנתי בפעם השניה עד כמה להיות

לפיכך התכנסנו

כנס CCGG

מאת: נגה קרן

לא היינו פוגשות בהם לעולם. אחת המסורות בכנס היא קיום מכש שבו מציגים בעיות פתוחות. עדי הצליחה למצוא כיוון לאחת הבעיות שעלו, ובמהלך הכנס התחילה לעבוד על הבעיה יחד עם פרופסורים ודוקטורנטים. זוהי דוגמה יפה לחיבורים שכאלה.

בכנס ניתן דגש מיוחד על פעילויות חברתיות וגיבוש – טיול, ארוחת ערב חגיגית, וביום האחרון סיור מאורגן במפלי הניאגרה – המקום הכי יפה שהייתי בו אי פעם.

החווייה בכנס הייתה מדהימה, גם במישור האישי וגם במישור ההתפתחות האקדמית שלי. אני אסירת תודה לאסכולה על ההזדמנות לקחת חלק באחד הכנסים היוקרתיים בעולם בתחום הגיאומטריה החישובית. בעידן הנוכחי, יש המאמינים שפגישות זום טובות מספיק להכול, אבל האמת היא שזה אפילו לא מתקרב לחוויה האמיתית.



נגה קרן, בוגרת תואר ראשון במדמ"ח בטכניון וחיילת בקבע בחיל המודיעין
מייל: noga.keren@gmail.com

הסיפור שלי הוא קצת מוזר – הגעתי לצבא עם חצי תואר במדעי המחשב מהטכניון, שאותו עשיתי במסגרת תוכנית אודיטוריה. אחרי שנכנסתי לתפקיד בצבא, המשכתי את התואר, ואיתי גם חברתי עדי ריבקיין, שעשתה מסלול זהה. מכיוון שעצרנו את התואר ואז המשכנו, נחשבנו לסטודנטיות חדשות מבחינת כללי הטכניון, והיינו חייבות ללמוד קורס באנגלית. התגלגלנו לקורס מבוא לגיאומטריה חישובית באנגלית, והשאר היסטוריה.

לאחר כמה קורסים בתחום, התחלנו לעבוד על פרויקט ביחד עם פרופסור גיל ברקת – סגן דיקן לימודים מתקדמים בפקולטה למדמ"ח וחוקר מוביל בתחום הפולינומינו (polyominoes). פולינומינו הוא פשוט אוסף משבצות סמוכות עם צלעות משותפות, ממש כמו בטטריס. בעיה פתוחה כבר שנים רבות בתחום היא שכיום אין נוסחה לחישוב מספר הפולינומינו עם N משבצות, והערך הגדול ביותר של N שנתנו זה ידוע עבורו כיום הוא 74.

עדי ואני עבדנו ביחד עם יוהאן, סטודנט קנדי מאוניברסיטת ווטסון, והתעסקנו בתת בעיה בתחום. ניסינו לייצר אלגוריתם חכם ויעיל שיצליח לספור Totally Concave Polyominoes, שהם פולינומינו עם לפחות רווח אחד בכל שורה ובכל טור. במסגרת העבודה על הפרויקט הצלחנו להגיע לאלגוריתם שכזה, ובעזרת פרופסור ברקת אף כתבנו מאמר שהגשנו לכמה כנסים. התקבלנו לשלושה כנסים – מתוכם שניים ביוון (לאחד מהם טסנו במימון הטכניון) והשלישי הוא אחד הכנסים היוקרתיים בתחום, ה-CCCG (Canadian Conference on Computational Geometry), שנערך באוניברסיטת ברוק שליד מפלי הניאגרה. לטיסה ל-CCCG קיבלנו מימון מאסכולה – מימון שמשכורת החייל שלנו מן הסתם לא הייתה עומדת בו.

בכנס עצמו פגשנו לראשונה את יוהאן, שאחד מתחביביו הוא לגדל דבורים(!). יוהאן הציג את המאמר שלנו בכנס הקנדי, ואף אפה עוגיות פולינומינו לקהל.

הייתה אווירה של כיף בכנס – הכרנו אנשים טובים וחכמים ממדינות בכל רחבי העולם, ואפילו פגשנו אנשים שכבר הכרנו מהכנס ביוון. כמו כן, הכנס נתן לנו הזדמנות להיחשף לחזית המחקר בגיאומטריה חישובית, מה שהיה משמעותי מאוד עבורנו ואפשר לנו לבחון תחומים לתואר שני. בזכות הכנס התחברנו לחוקרים מובילים, ובלעדיו כנראה

Gerophysics – where physics meets aging biology

מאת: בן שנהר



בתחילת מרץ 2025 השתתפתי בכנס חלוצי בסינגפור, "Gerophysics – where physics meets aging biology", במימון חלקי של רשת אסכולה. מדובר בכנס ראשון מסוגו בעולם, שאפשר מפגש ייחודי בין פיזיקאים ומתמטיקאים העוסקים במידול מתמטי ותיאורטי של תהליכי ההזדקנות.

חקר ההזדקנות צובר תאוצה משמעותית בעשורים האחרונים, עם דגש על מחקרים מולקולריים והתערבויות ביולוגיות, והכנס ביקש להפנות את הזרקור דווקא להיבטים התיאורטיים של התחום. המשתתפים בחנו את האפשרות לתפוס את תהליכי ההזדקנות באמצעות מודלים מתמטיים מופשטים שיכולים לייצג את המורכבות הביולוגית שלהם.

במסגרת הכנס, העברתי הרצאה על המחקר העדכני שלי, העוסק במידת התורשתיות של אריכות ימים. ביום האחרון, השתתפתי בסדנה אינטנסיבית עם חוקרים מובילים בתחום, שבה עבדנו על מאמר פרספקטיבה המתווה את הכיוונים העתידיים של "הפיזיקה של ההזדקנות".

הכנס היווה יריית פתיחה משמעותית לתחום מחקר חדש, המשלב בין דיסציפלינות מדעיות שונות ומציע זווית ראייה חדשנית וכמותית על אחד האתגרים המשמעותיים ביותר בבילוגיה המודרנית.



בן שנהר, בוגר מחזור א' של אוניברסיטה באוני תל אביב. דוקטורנט לביופיזיקה במעבדה של פרופ' אורי אלון במכון ויצמן. עובד על ה"פיזיקה של ההזדקנות".

מייל: benshenhar@gmail.com

סוגיות מתקדמות בדיני עבודה

מאת: אודי שחם | עורכת: מיקה כרם ידידיה

הקדמה – על עבדות וניטור עובדים

העבדות מלווה את האדם משחר ההיסטוריה, והקובץ המשפטי הקדום ביותר שנמצא אי פעם עוסק, בין היתר, בהסדרתה.¹ גם התנ"ך מתיר את העבדות ודן בה בהרחבה, עובדה שאפשרה למצדדי העבדות ההיסטורית לטעון כי מקורה ברצון האל.² במשפט הבין-לאומי המודרני אין למושג העבדות הגדרה אחת, וכמה פרקטיקות נכנסות תחתיו – שעבוד חוב, צמיתות, שעבוד כפוי, עבודה כפויה, ועוד.³ הרכיב המשמעותי המשותף לכל אותן פרקטיקות הוא יחס קנייני לאדם אחר,⁴ המתבטא בין היתר בשליטה המוחלטת שיש ל"בעלים", הכוללת את זכותו למכור ולעיתים אף להרוג את עבדו; ובהחפצה קיצונית של ה"עבד", המרדדת אותו לתועלת הכלכלית שניתן להפיק ממנו ושוללת ממנו את כבודו האנושי.

במאות האחרונות, עם התבססות רעיון זכויות האדם, אימצו חברות רבות סטנדרטים מוסריים חדשים וירדה קרנה של העבדות. עוד בשנת 1807 אסרה בריטניה על סחר בעבדים, ו-30 שנה לאחר מכן אסרה על החזקתם כליל. ב-1865, לאחר ניצחון מדינות הצפון במלחמת האזרחים האמריקנית, הצטרפה אליה ארה"ב והעבירה את התיקון ה-13 לחוקה, האוסר הן על עבדות (Slavery) והן על שעבוד כפוי (Involuntary Servitude). ההתנגדות לעבדות כאקט מחפץ מתיישבת עם הציווי הקטגורי של עמנואל קאנט, שלפיו ישנו איסור מוסרי מוחלט על התייחסות לאדם אחר כאמצעי בלבד, היינו ככלי לצבירת תועלת ותו לא.⁵

ניטור עובדים, הנהוג במקומות עבודה רבים בארץ ובעולם, הוא תופעה חדשה הרבה יותר.⁶ מאז סוף המאה ה-19 לערך, מעסיקים מפתחים ומטמיעים מערכות שונות של מעקב ובקרה,⁷ עובדה שנהוג לייחס למהפכה התעשייתית ולשיטת "הניהול המדעי" שהומצאה מעט אחריה.⁸ מבחינה היסטורית, גם המצאת פס הייצור בידי הנרי פורד הקלה על המעסיקים לשלוט באופן שבו מתבצעת העבודה ולעקוב אחר התנהלות העובדים ותפוקתם; והמצאתו של שעון הנוכחות בידי וילארד באנדי ב-1888 אפשרה להם למדוד את שעות העבודה בפועל, לוודא כי העובדים אינם מאחרים, ולברר מתי החמיצו ימי עבודה.

במהלך המאה ה-20, עם הופעת הטכנולוגיות הדיגיטליות, מערכות המעקב התפתחו במהירות – החל בשעוני נוכחות דיגיטליים וכלה

במצלמות במעגל סגור וניטור תכתובות דוא"ל. בית הדין הארצי לעבודה דן במעקב דיגיטלי בהרחבה בפרשת איסקוב, שבה חדר מעסיק לתיבת הדוא"ל של עובדת כדי לנצח בסכסוך משפטי. בפסק הדין אימץ בית המשפט גישה משפטית-נורמטיבית שלפיה יש לבחון אם המעקב מאזן כראוי בין הפררוגטיבה הניהולית וזכות-היתר הקניינית של המעסיק, לבין זכותם החוקתית של העובדים לפרטיות. המסגרת הדוקטרינרית לבחינת איזון זה מציבה את עקרונות המידתיות, הלגיטימיות, צמידות המטרה, ההסכמה מדעת והשקיפות כבסיס לקביעת הדין – אשר מתפתח ממקרה למקרה.¹⁰ במאמר זה אסקור את ההתפתחויות שחלו בעשור האחרון במעקב אחר עובדים, ואטען כי הן משקפות יחס קנייני כלפי העובד באופן שמהדהד את תופעת העבדות.

חלק א' – מעקב אחר עובדים במאה ה-21¹¹

[כ]ל שנותר לעשות הוא להציב משגיח במגדל ולאכלס כל תא במטופל, אסיר, פועל או תלמיד. האור מאפשר למשגיח לעקוב אחר הצלליות הקטנות הלכודות בטבעת התאים. זהו היפוך של עקרון הצינוק-אור היום ומבטו של המשגיח לוכדים את האסיר ביעילות גבוהה יותר מאשר החשכה, שסיפקה בסופו של דבר מידה של הגנה.¹²

מאז שנת המילניום, התקדמה הטכנולוגיה האנושית בצורה יוצאת דופן, ועולמנו השתנה ללא היכר. הטלפונים החכמים, האינטרנט הנגיש והבינה המלאכותית הם רק דוגמאות לטכנולוגיות ששינו את הפרקסיס היומיומי של האדם המערבי באופן דרסטי. עם הקפיצה הטכנולוגית התגבר והעמיק המעקב אחר עובדים, ומגפת הקורונה והמעבר לעבודה מרחוק תרמו גם הם להפצת המעקב ונרמולו.

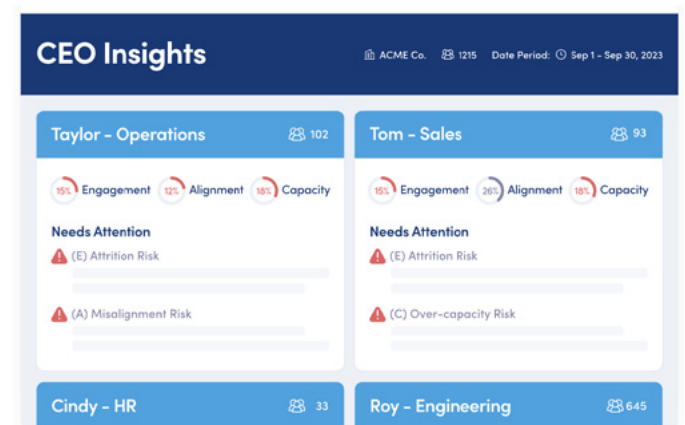
ברבים ממקומות העבודה המודרניים פעילותם היומיומית של העובדים מנוטרת ונרשמת באופן מדוקדק. לרשות המעסיקים עומדות שפע של תוכנות שנבנו במיוחד כדי לתעד כל הקשת מקש ותנועת עכבר, לרשום כל פעולה דיגיטלית, ולהזין את הנתונים לאלגוריתמים שמעריכים פרודוקטיביות ועמידה בנהלים.¹³ במקביל, צילום חי ורציף במצלמות הרשת של המחשבים מאפשר למעסיק לפקח על העובדים באופן מתמיד, ולבחון מה הם עושים בכל שנייה ושנייה.¹⁴ בחברות רבות משתמשים באפליקציות העוקבות אחר פעילותם הדיגיטלית של העובדים גם לאחר סיום המשמרת, וחלק

מהמעסיקים אף חודרים לנתונים האישיים במכשירי העובדים – תמונות, אפליקציות מסרים מיידיים, שימוש במדיה חברתית – ומתעדים ושומרים אותם למקרה הצורך.¹⁵

גם מיקומו הפיזי של העובד נתון לניטור מתמיד, לעיתים באמצעות מערכות GPS המשתפות מיקום בזמן אמת ולעיתים באמצעות איכון הטלפון הנייד.¹⁶ חברות שיתוף נסיעות כמו Uber, אשר טוענות שעובדיהן הם קבלנים עצמאיים, עוקבות אחרי מדדי המהירות, הבלימה וההאצה שלהם, לכאורה לשם שיפור שירות הלקוחות והבטיחות. בפועל, מעקב זה גם מאפשר להן להעריך את ביצועי הנהגים באופן מדויק להפליא, דבר שמצמצם את עלויות הביטוח ומשפיע על המוניטין והדירוג של הנהגים, שהתגמול שלהם לכל נסיעה עלול לרדת.¹⁷

ההתפתחות הטכנולוגית מאפשרת למעסיק המודרני לנטר גם קשרים חברתיים וקשיים נפשיים.¹⁸ דוגמה אחת לכך היא סטארט-אפ בשם "Humanize" המייצר תגי זיהוי "חכמים" המצוידים במיקרופונים וחיישנים האוספים נתונים על דפוסי תנועה במשרד, ועל מספר האינטראקציות בין העובדים ומשכן.¹⁹ הטכנולוגיה של הסטארט-אפ, על פי אתר האינטרנט שלו,²⁰ מסייעת למעסיקים "לחשוף את החולשות האנושיות הגדולות ביותר שלהם" – כלומר גלות מי מעובדיהם צפויים לעזוב את החברה, מי סובלים מלחץ ושחיקה, ואילו קבוצות וצוותים אינם יעילים מספיק ויש להנדס את הרכבם באופן שונה. התובנות שהאלגוריתם מפיק על העובדים נראות כך:

המעסיק המודרני הרחיב את איסוף הנתונים הביומטריים מעבר לטביעות אצבע או סריקת רשתית שהיו מקובלות



בעבר, וכיום ניתן למצוא טכנולוגיות המנטרות דופק, דפוסי שינה, אינטונציה ותנועות אישונים²¹ מידע זה מאפשר למעסיק לנתח את מצבי הרוח של העובד. רשת סופרמרקטים יפנית בשם Neon, לדוגמה, הטמיעה כלים מבוססי בינה מלאכותית שמנטרים את הבעות הפנים וטון הדיבור של העובדים, במטרה לשפר את השירותיות וליצור סטנדרטיזציה לחוויית הלקוח.²² כלים מסוימים מנתחים מועמדים לעבודה ומספקים מידע לגבי אופיים והתאמתם

הצפייה לחברה – הן על סמך ניתוח אלגוריתמי של התנהגותם בריאיון העבודה, והן על סמך התנהלותם הפיזית ברשתות החברתיות.²³ כלים אחרים מודדים את המעורבות הרגשית של העובדים בעבודתם: באמצעות אלגוריתמים מתוחכמים הם מזהים סימנים של שעמום, הסחת דעת או מתח, ומנטרים את הרגשות שלהם כלפי קולגות – ואף כלפי המעסיק עצמו.²⁴

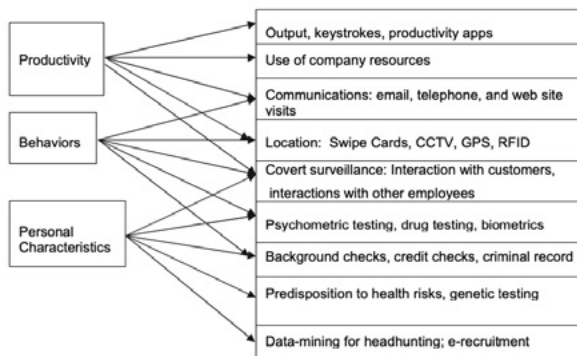


Figure 1: Adapted from Ball, K. (2010). Workplace Surveillance: An Overview

את המעקב המודרני אחר עובדים קשה לפרק לקטגוריות מובחנות, ועל פניו כל כלי מעקב עומד בפני עצמו ונועד למטרה ספציפית. עם זאת, כפי שניתן לראות בתרשים המצורף,²⁵ המעקב אחר עובדים במאה ה-21 אינו פרקטיקה נקודתית וחד-ממדית. מדובר במערכת מורכבת ומשולבת של כלים ושיטות, העוטפים את העובדים ברשת הולכת ומתהדקת של מעקב וחודרים עמוק לתוך חייהם המקצועיים והפרטיים.

השילוב של כלי ניטור מתקדמים עם ניתוח שוטף שנעשה על ידי בינה מלאכותית מעניק כוח רב וחסר תקדים למעסיק. סביבת עבודה כזו פוגעת בפרטיותם של העובדים, אשר המידע שלהם יכול לדלוף או לשמש נגדם, והולכים ומתרבים הסימנים כי היא גם מזיקה להם מבחינה נפשית.²⁶ השימוש בבינה מלאכותית אף מעלה חשש להטיות שעוללות לפגוע בעובדים מקבוצות מיעוט, או בעובדים שפשוט אינם מתפקדים באופן שהמערכת מגדירה כתפקוד רצוי.²⁷ חששות אלו מתגברים כאשר המערכות הללו מעורבות בהליכים רגישים ויכולות, למשל, לדרג מועמדים לגיוס, או להמליץ על צעדים כמו פירוק והרכבת צוותים בתוך המשרד, העברת עובדים בין תפקידים וסימון שלהם כמועמדים לפיטורין.

חלק ב' – מעובד לרובוט

עם חלוף הזמן, התפתחה ההכרה כי העבודות המודרניות, בניגוד לזו המסורתית, אינה מתמקדת בהתייחסות לעבד כאל חפץ שבבעלות מעבידו, אלא בהפעלה של זכויות קנייניות, מכל סוג שהוא, כלפיו.²⁸

התאגיד) במידע על אודות אדם שקולה לשליטה של אותו אחר באדם עצמו. אין כאן שיעבוד של הגוף וגם לא של הרוח, אבל יש כאן קשירת חושים לאדם כמו לבובת מריונטה, וכך הוא אינו עצמאי עוד במעשיו אלא כפוף להחלטות שאחרים מקבלים לגביו על בסיס המידע שיש בידיהם על אודותיו. מי שמכיר עליו כל פריט של מידע כמעט – מכיר אותו לפעמים טוב מכפי שאנו מכירים את עצמנו. כאשר המידע משמש בסיס לסיווג לקבוצות אוכלוסייה, האוטונומיה שלנו נפגעת. יכולתנו להחליט בשביל עצמנו נפגמת. אדם שאינו שולט במידע על אודותיו אינו עוד ריבון לעצמו; הוא מסווג ומתווג על ידי אחרים בלי שנשאל, בלי שיש לו השפעה על הסיווג וללא זכות ערעור.³⁴

מערכות המעקב המודרניות אוספות ומנתחות כמויות אדירות של מידע, ומרחיבות את תחומן לניטור התנהגויות אישיות ומצבים פיזיים כמו מצב רוח או רמות אנרגיה. במצב זה, סביבת העבודה הופכת למעין כלוב שקוף, שבו כל פעולה נמדדת, כל אינטראקציה נבחנת, וכל רגע של מנוחה נספר.³⁵ הדבר לא רק פוגע בפרטיות העובדים, אלא שולל אותה לגמרי: אם בעבר עובדים ידעו שלמעסיק יש גישה להודעות הדוא"ל, לתיעוד שעון הנוכחות או למצלמות; היום כל הודעה, כל תנועה בבניין, כל חוסר ריכוז וכל דקה של "זמן מת" מנוטרים באופן שוטף על ידי בינה מלאכותית.

ההשפעות של אובדן הפרטיות על העובדים עמוקות ומרחיקות לכת. הספינוטיות נעלמת, האותנטיות נשחקת, והיכולת לקבל החלטות עצמאיות מתמוססת כאשר במקום לסמוך על שיקול דעתם המקצועי, העובדים מוצאים עצמם כפופים למערכת מעקב נוקשה. המעסיקים, לעומתם, נהנים מהיתרונות של השליטה חסרת התקדים במידע (ובעובד): המעקב מאפשר להם לעצב את העסק באופן היעיל והרווחי ביותר, ברמת דיוק שבעבר לא הייתה אפשרית.

תופעה נוספת המתרחשת כאשר המעסיק דוחק הצידה את העובד האינדיבידואל לטובת "העובד המוצלח", דהיינו זה שהמערכת מדרגת באופן גבוה, היא שהעובדים נאלצים לפתח מנגנון של צנזורה עצמית – שכן אם ברצונם להצליח בעבודה עליהם להתאים למה שנתפס כ"תקין" או "יעיל" על ידי מערכות הניטור. עבודה בנייר ועט, למשל, יכולה להתבטא בפעילות דיגיטלית נמוכה ולהירשם כזמן לא פרודוקטיבי; ועבודה בפרצים במקום עבודה רציפה יכולה גם היא להוות עילה לפגיעה במדדי התפקוד. כך העובדים מאבדים לא רק את פרטיותם, אלא גם את האוטונומיה הבסיסית שלהם בעיצוב העבודה באופן שנוח וטוב להם.

3. שינוי חוזה העבודה: מקניית כוח עבודה לבעלות על זמן העובד

מקובל לראות בחוזה העבודה כזה שבאמצעותו העובד אינו "מוכר" את כוח עבודתו, אלא מעמיד אותו לרשות המעסיק.³⁷ בהתאם, בכריתת החוזה ובתשלום השכר המעסיק אך רוכש את הזכות להשתמש בכוח העבודה וליהנות מפירות כישוריהם ועמלם של העובדים, ואין הוא נוטל מהם את הבעלות על כוח העבודה. גישה זו מתבססת על הרעיון שכוח העבודה אישי באופן אינהרנטי, ולא ניתן לנתקו מבעליו – החופשי להשכירו למי שיחפץ.

הקצנת המעקב שנידונה לעיל לא רק מעמיקה את מגמת טשטוש הגבולות בין החיים המקצועיים לאישיים;²⁹ הבאה לידי ביטוי גם בתופעות ה"ענוחה" והעבודה מרחוק;³⁰ היא משנה את עולם העבודה לכזה שבו כל פעולה – דיגיטלית או פיזית, בשעות העבודה או אחריה, רצונית או לא רצונית – נרשמת ומשמשת להערכת העובד וביצועיו. בכך היא יוצרת דינמיקה שבה היחס לעובדים הופך יותר ויותר קנייני, דבר המתבטא בשלושה מישורים מרכזיים – החפצת העובד; פגיעה באוטונומיה שלו ושלילת פרטיותו; ושינוי טבעו של חוזה העבודה מחוזה למכירת כוח העבודה של העובד לחוזה לרכישת הזמן שלו.

1. החפצת העובד

טכנולוגיות המעקב מחפיצות את העובדים בכך שהן מתעלמות מצורכיהם האישיים, מרצונותיהם ומכישורונותיהם הייחודיים, מכמתות אותם לערכים מספריים, ומודדות את הפרודוקטיביות והציות שלהם. עצם השימוש בטכנולוגיות מעקב כאלו – אשר רבות מהן דומות להפליא לטכנולוגיות המשמשות לניטור וניהול של חיות משק – הוא עדות למעמד החפצי של העובד. נתבונן, למשל, בשימוש במצלמות במעגל סגור המעובדות על ידי בינה מלאכותית, או בהצמדת חיישנים ביומטריים לעובדים לשם ניטור תנועותיהם, תפוקתם ומצב רוחם. על פניו, מדובר בטכנולוגיות מעקב לגיטימיות. בפועל, מחלבות תעשייתיות המנסות למקסם תפוקתן משתמשות באותן הטכנולוגיות ממש לניטור פרודוקטיביות ובריאות של פרות.³¹

המעקב המתמיד שמודד את העובדים ומצמצם אותם לנתון מספרי מאפשר למעסיק לזהות את העובדים "החלשים" ו"לשדרג" אותם לעובדים אחרים, "טובים יותר". גישה זו מונעת הסתכלות הוליסטית על העובד, המעריכה לא רק את מספר התיקים שסגר או את מספר הדקות שבהן היה מרוכז, אלא גם את התרומה של כישורונותיו וניסיונו הייחודיים למקום העבודה. היא גם פוגעת בביטחון התעסוקתי של העובדים ובהרגשת השייכות שלהם לארגון.³²

מצב זה, שבו העובד הוא כפרה חולבת – דהיינו נכס בעל ערך מדיד שיש למקסם – משקף תפיסה שלפיה העובדים הם "רכוש" של המעסיק שלהם במהלך שעות העבודה ומנציח אותה. תפיסה זו לא רק פוגעת בכבוד האדם של העובדים באופן אינהרנטי, שכן ההחפצה נוטלת מהם אנושיותם, אלא אף מעניקה לגיטימציה לפגיעה בהם לשם השאת התועלת. "משחקיזציה" של עולם העבודה למשל, מתאפשרת באמצעות המעקב השוטף אחר העובדים ויכולה לפגוע במצבם הנפשי בכך שהיא מעודדת תחרות ומובילה ללחץ ושחיקה. הקיום של התופעה הזו מתאפשר כאשר העובד מצומצם אך ורק לתועלת שהוא מפיק למעסיק – שכן צרכיו האישיים, רווחתו ובריאותו נתפסים כמשניים ביחס לפרודוקטיביות שלו, וכל אמצעי להגברת התפוקה נחשב לגיטימי, ללא התחשבות בהשפעות על מצבו הנפשי והפיזי.

2. שלילת הפרטיות ופגיעה באוטונומיה

[ב]סביבה טכנולוגית שבה קל לשמור מידע לתקופה ממושכת, ולמעשה אין סופית, שליטה של אחר (המדינה, המעסיק,

עליו חובות – להיות מושא במשפט, כמו היה מיטלטל בין מיטלטלין. ההסדר פגע באוטונומיה של העובדים כבני אדם ושלל מהם את חירותם; **על-פי ההסדר היו העובדים הזרים למכונות עבודה כאותם בני אנוש שבנו את הפירמידות.**⁴⁴

המעקב המתקדם, אשר משקף ומבסס יחס קנייני לבני אדם, יוצר גם הוא מעין-עבדות ההופכת את העובד למכונת עבודה, מיטלטל בין מיטלטלין ולא יותר. ההחפצה, המחיקה של הפרטיות והאוטונומיה, הרכישה של הזמן – כל אחת מאלה פוגעת בכבוד האדם, ושילובן יחד מעמיק את הפגיעה הזו והופך אותה אנושה. כאשר מוסיפים לקלחת את הבינה המלאכותית, אשר אוספת נתונים בהיקף עצום ומנתחת אותם בזמן אמת תוך דיווח שוטף למעסיק, נוצרת גרסה מודרנית של ה"פנאופטיקון" – בית הכלא המעגלי שתוכנן כך שהאסירים ירגישו נצפים בכל רגע נתון.

מלבד הקשר שבין יחס קנייני לעבדות בדיון הישראלי, הצורה החדשה-ישנה של שליטה בכוח העבודה של אנשים באמצעות מדידת ביצועים ומעקב מהדהדת את העבדות הארכיטקטית של המאה ה-19. בספרה Accounting for Slavery, מתארת החוקרת קייטלין רוזנטל מאוניברסיטת ברקלי כיצד פרקטיות דומות היו אלמנט מרכזי בכלכלת העבדות, ואיך הזמן של העבדים ותפקודם הפיזי והמנטלי היו משאבים כלכליים שנותחו בקפידה למקסום הייצור.⁴⁵ העובדים המנוטרים בעולם העבודה המודרני, בעודם חופשיים לכאורה, חווים יחס דומה באמצעות כלי המעקב המתקדם המרדדים אותם לציון מספרי ומכתיבים את התנהגותם בכל דקה מיום העבודה.⁴⁶

שני מקרים מהעת האחרונה ממחישים את האופן שבו המעקב חוצה את הגבול שבין יחסי עבודה ליחסים של מעין-עבדות: המעקב הפולשני של אמזון אחר עובדי המחשבים שלה, והפיטורים בחברת ולס פארגו בשל שימוש ב"מזיזי עכבר".

1. המעקב של אמזון אחר עובדי המחשבים

בינואר 2024, קנסו הרשויות בצרפת את אמזון בסך של 32 מיליון אירו בגין "מעקב מופרז" אחר עובדי המחשבים. המעקב של אמזון כלל שימוש בסורקים שעוקבים ומודדים כל תנועה, אשר צוידו בבינה מלאכותית שהפעילה התראות אם העובדים נותרו בלתי פעילים במשך יותר מעשר דקות.⁴⁷ המטרה הייתה, על פי אמזון, לגיטימית: לזהות מתי העובדים נחים בניגוד לנהלים.

מעקב מתקדם זה מחפיץ את העובדים, שמצטמצמים לערכי התפוקה שלהם, ולוחץ עליהם לעבוד מסביב לשעון. העובדים, בעיני אמזון, לא שונים מהמכונות התעשייתיות שבהן היא משתמשת במחסניה, למעט העובדה שהשליטה עליהם מוגבלת לזמן המשמרת. כל תנועה של העובדים נצפית, מנותחת, ומהווה עילה לדיווח והשחתת עונשים אם אינה תואמת את הדרישה לפרודוקטיביות בלתי פוסקת.

כאשר אפילו החלטות בסיסיות – כמו מתי לקחת הפסקה קצרה – נקבעות על ידי מצלמות ראות-כול, העובדים לומדים שלעולם

המעקב אחר העובדים שולל את ההפרדה בין הבעלות על כוח העבודה לזכות השימוש בו ומעניק למעסיקים שליטה מוחלטת בזמן ובפעולות של העובדים, אשר לא רק מצופים להגיע למשרד או למלא את משימותיהם, אלא חייבים להיות דרוכים וצייתנים. הפסקות קצרות, שיחות עם עמיתים או אפילו חוסר ריכוז – כל אלו מהווים הפרת משמעת פוטנציאלית, אשר מתועדת ומתויקת בתיק האישי. במצב זה זמנם של העובדים אינו שלהם עוד, וכל שימוש בו לצורך פרטי מהווה חריגה מהחוקה.

"שולחנות חכמים", המצוידים בחיישנים המזהים מתי העובדים יושבים, עומדים או מתרחקים משולחנותיהם, מאפשרים למעסיק לנצל כל שנייה ושנייה מזמנו של העובד.³⁸ מעקב אחר אישוני העובדים וניטור הקשות מקלדת מאפשרים למעסיק לאכוף ריכוז ולוודא שהעובד לא חושב, חלילה, על דברים שאינם מטלותיו. מקרה שהתרחש לאחרונה בקנדה ממחיש את האופן שבו הבעלות על הזמן ועל כוח העבודה של העובדים אף זולגת מהממד הפונקציונלי לממד המשפטי. רואת חשבון בשם קרלי אוברייין פוטרה מחברת Reach CPA לאחר שהותקנה במחשב שלה תוכנת מעקב והתברר כי לא עבדה במהלך כל שעות העבודה שעליהן הצהירה. בעקבות הגילוי, בית המשפט חייב את אוברייין להחזיר לחברה סכום של 2,756 דולר בגין "גניבת זמן" – כלומר, נקט גישה שלפיה הדיווח השגוי הוא לא רק הפרת משמעת המצדיקה פיטורין, אלא גניבה של ממש ממשאבי המעסיק.³⁹

חלק ג' – היחס הקנייני מהדהד עבדות

בישראל, אשר נולדה לאחר ביטול העבדות בבריטניה ומושבותיה,⁴⁰ העבדות מעולם לא הייתה חוקית או נהוגה בפומבי – ואין לגביה פסיקה רבה. עיקר ההתייחסות למושג "עבדות" בדיון ובאקדמיה הוא סביב תופעת הסחר בבני אדם, אשר לעיתים נקראת "עבדות מודרנית".⁴¹ מחוץ לעולם הפלילי, בית המשפט העליון התייחס למושג העבדות בשתי פסיקות מרכזיות: **רמת"א וקו לעובד**.⁴²

בעניין **רמת"א** הוגש ערעור על ניצחון התעשייה האווירית בבית הדין הארצי, לאחר שניסתה להפריט את אחד ממפעליה ולמכור אותו על עובדיו. על אף שלעובדים ניתנה האפשרות להתפטר בדיון מפוטר, הסכים בית המשפט העליון עם דעת המיעוט של השופטת ברק-אויסיסקין שקבעה בבית הדין הארצי כי "[ל]א העובדים ולא כוח העבודה שלהם, הם קניינו של המעביד. העבדות אינה חוקית עוד, ואין למעביד הכח לטול עובדיו ולהעביר אותם כהעבר קניין".⁴³ בעניין **קו לעובד** נידונה חוקתיותו של הסדר שהייה בישראל, שלפיו עובד זר יהא כבול למעסיק שהביא אותו ולא יוכל להתפטר מבלי לעזוב את הארץ. בפרשה זו בית המשפט העליון מתח ביקורת חריפה על המדינה, ופסק כי אין לקבל פגיעה עמוקה זו בחירות העובד ובכבוד האדם שלו. הגדיל לעשות השופט חשין, שלא חסך שבטו וכתב:

[ה]עובד הזר הפך צמית של מעסיקו; הסדר הכבילה על כל שלוחותיו סגר על העובד הזר סביב ויצר מעין-עבדות בגרסה מודרנית. לא פחות מכך, **העובד הזר הפך מהיותו נושא למשפט – בן-אדם שהמשפט מעניק לו זכויות ומטיל**

אסור להם לנוח, לא משנה כמה קשה הם עובדים. באמצעות המעקב המתקדם, מבהירה אמזון לעובדיה שזמנם אינו שלהם במהלך שעות העבודה; הוא שייך לאמזון, וזה ורק זה הזכות לקבוע מה ייעשה בו. עובדי המחסנים הם כמו-עבדים של אמזון במהלך כל שעות המשמרת שלהם, מעמדם הוא כשל קניין, ותכליתם היא אחת: השאת רווחים.

וולס פארגו, הבנק הרביעי בגודלו באמריקה, הטמיע בשנים האחרונות מערכות העוקבות אחר הקשות המקלדת ותנועות העכבר של עובדיו. במאי 2024, פיטר הבנק למעלה מתריסר עובדים אשר נמצא כי השתמשו ב"מזיזי עכבר" אוטומטיים בעת שעבדו מרחוק, וזאת בטענה שהם הפרו את האמון שניתן בהם ומבלי שביצעוהם הובאו בחשבון.⁴⁸

*If my mouse hasn't moved for 4 minutes, that time goes against my productivity, raises, & bonuses. I no longer freak out when I run to the bathroom or grab something to drink. I need my job, but I also need to keep my geriatric bladder happy. **This jigglers is saving my sanity.***⁴⁹

העובד, אשר נאלץ למצוא פתרונות יצירתיים לחיוב הלא-אנושי להישאר במצב של פעילות מתמדת, נאנס להשתמש במיזי עכבר או כלים דומים כדי לצאת להפסקה קטנה – שכן השימוש בזמן שלו בשעות העבודה הוא הפרת משמעת שיכולה לכגוע בשכרו. כאשר השימוש הזה מתגלה העובד מפוטר, וזאת בלי קשר לטיב עבודתו בפועל – דבר שקשה להסביר בלי להסיק שהיעד של ולס פארגו הוא לא עובדים טובים, אלא עובדים צייתנים. כך טכנולוגיית המעקב, אשר נועדה כביכול למטרות לגיטימיות, משמשת בפועל לביסוס והעמקת השליטה בעובדים. המקרה הטרגי של דניס פרודהום ז"ל, עובדת שנפטרה במשרדה ולא נמצאה במשך ארבעה ימים, מדגיש את האבסורד שאליו הגיעה מערכת היחסים בין ולס פארגו לעובדיה. בעקבות מותה נמסר מטעם איגוד עובדי ולס פארגו: "ולס פארגו מנטרת כל תנועה וכל הקשה שלנו [...] ותפטר אותנו אם ניתפס בלי מספיק הקשות על המקלדת. עם זאת, דניס לא נראתה במשרדה במשך ארבעה ימים".⁵⁰

הטכנולוגיות והשיטות למעקב אחר עובדים שנידונו במאמר זה, החל בניטור אינטראקציות ורגשות ועד למעקב אחר תנועות עיניים, חוקיות במקומות רבים בעולם. הגישה הנורמטיבית שלפיה מעקב אחר עובדים נועד לשרת אינטרסים לגיטימיים של המעסיק (ובקפטליזם – גם את החברה כולה שנהנית מהצמיחה) – גישה שאומצה בישראל ובמדינות רבות אחרות – לא מתנגדת להן ואף תופסת אותן כמוצדקות. עם זאת, העובדה שהטכנולוגיות **חוקיות**, לא הופכת אותן **לרצויות**.

לדעתי, המסקנה שיש לגזור מכל האמור, היא שכאשר המעקב מתפתח והופך מכלי ניהולי לאמצעי שליטה, היחס של הדין כלפיו צריך להתפתח בהתאם. שינוי הדוקטרינה יאפשר לקיים באופן טוב יותר את תכליות משפט העבודה, שהרי תפיסת ה"איוון"⁵² הננקטת כיום מגבילה את סמכות בתי הדין לתחימת כוחם של המעסיקים, והופכת אותם פסיביים⁵³

- 13

14 מחקר משנת 2021 של חברת ExpressVPN שכלל 2,000 מעסיקים ו-2,000 עובדים שעובדים מרחוק או במתכונת היברידית מצא שבמקטע 80% מהמעסיקים משתמשים בתוכנות ניטור כדי לעקוב אחר פעילות העובדים. מתוך אלו, יותר משליש (37%) דורשים מהעובדים להזיז את המחשב שלהם, לרבות באמצעות מצלמת הרשת שלהם, BBC Worklife, How worker surveillance is backfiring on employers, ExpressVPN Study (2021) <https://www.bbc.com/worklife/article/20230127-how-worker-surveillance-is-backfiring-on-employers> (אוחזר ב-7 בדצמבר 2024).

15 לעיל הרש"ו, תביעה שהוגשה בקליפורניה נגד חברת אפל, למשל, טוענת כי החברה דורשת מעובדיה להשתמש בחשבונות iCloud כרטיסים במכשירי עבודה, מה שמאפשר לה לעקוב אחריהם מחוץ לשעות העבודה ולקבל גישה למידע אישי במכשירים כרטיסים. אלוטו טמנון, "תביעה נגד אפל: החברה עוקבת אחר העובדים - גם באינטרנט האישי", ישראל היום (3 בדצמבר 2024), <https://www.israelhayom.co.il/tech/tech-news/article/16896194> (אוחזר ב-7 בדצמבר 2024).

16 לעיל הרש"ו, ראו גם פס"ד סק (אזורי ת"א) 2994-06-19 הסתדרות העובדים הכללית - מדינת ישראל, לעיל הרש"ו, בו נפסק כי מותר למעסיק לאמן את מכשירי הסלולר של העובד.

17 ראו סרטון אבידין 'Guy (The Rideshar, CMT), The New Uber Driver Score Explained (2024), <https://www.youtube.com/watch?v=theridsharequycom/the-new-uber-driver-score-explained-cmt> (אוחזר ב-7 בדצמבר 2024).

18 לעיל הרש"ו.

19 חברת הסטארט-אפ "Humanize" פיתחה תגי זיהוי כחמים המצוידים במיקרופונים, חיישני תנועה, Bluetooth ו-Infrared, אשר אוספים נתונים על דפוסי תנועה במשרד, מספר האינטראקציות בין העובדים, משך השיחות ודינמיקות תקשורתיות. התגים מאפשרים למעסיקים לקבל תובנות על התנהלות העובדים, לשפר את היעילות הארגונית ולקדם תקשורת אפקטיבית יותר. לדוגמה, הם מזהים האם אדם שולט בשיחה, את הטון, העוצמה ומהירות הדיבור, אך אינם מקליטים את תוכן השיחות עצמן, תובנות אלו מאפשרות לחברות להבין את דפוסי העבודה והתקשורת הפנימיים של עובדיהן, תוך כדי שמירה על אנונימיות מסוימת בינתוך התגים. הפרתו מצד כלל חשפי לשיפור הפחדותקביות הארגונית באמצעות נתוני אינטראקציה יחודיים

CBS News, Humanize ID badge tracks workers all day (2017), <https://www.cbsnews.com/news/humanize-id-badge-tracks-workers-all-day>; BBC, The tech that tracks your movements at work (13 ביוני 2017), <https://www.bbc.com/worklife/article/20170613-the-tech-that-tracks-your-movements-at-work>; Harvard Business School, Humanize-ing the workplace: Gathering and analyzing unique data on employee interaction to improve productivity (2019), <https://d3.harvard.edu/platform-digit/submission/humanize-ing-the-workplace-gathering-and-analyzing-unique-data-on-employee-interaction-to-improve-productivity>; MIT Technology Review, Technology for workplaces that work: Humanize's Ben Waber (24 בינואר 2019), <https://www.technologyreview.com/2019/01/24/137732/technology-for-workplaces-that-work-humanizes-ben-waber>. כל הכתובות אוחזר ב-7 בדצמבר 2024.

20 <https://humanize.com>

21 לעיל הרש"ו.

22 Millie turner "Creepy AI tech in Japan's Aeon supermarket tracks staff smiles to improve customer experience, The Scottish Sun (2024), available at <https://www.thescottishsun.co.uk/tech/13218960/creepy-ai-tech-japan-aeon-supermarket-track-smile/> (accessed December 7, 2024).

23 Talview Blog, AI Interview Analysis Tools: Revolutionizing the Hiring Process, Talview Blog (2024), available at <https://blog.talview.com/en/ai-interview-analysis-tools> (accessed December 7, 2024); Arxiv.org, Predicting Personality Traits Using AI and Instagram Profiles, Arxiv.org (2022), available at <https://arxiv.org/abs/2212.07069> (accessed December 7, 2024).

24 CultureMonkey, Employee Sentiment Analysis: The Key to Employee Engagement, CultureMonkey, available 24 at <https://www.culturemonkey.io/employee-engagement/employee-sentiment-analysis/> (accessed December 7, 2024); The Times, Bossware: Computer Tracking Devices Harm Workers' Wellbeing, Says Report, The Times (2024), available at <https://www.thetimes.co.uk/article/bossware-computer-tracking-devices-harm-workers-wellbeing-says-report-m37kr5d2r> (accessed December 7, 2024).

25 התרגום, המחיר חלק ניכר ממנון השיטות שבאמצעותן מנטורים עובדים, ללקוח ממאמר שפורסם בכתב העת California Law Review בשנת 2017, לעיל הרש"ו.

26 American Psychological Association, Employee electronic monitoring: Healthy workplaces, available at <https://www.apa.org/topics/healthy-workplaces/employee-electronic-monitoring> (accessed December 7, 2024); Journal of Computer-Mediated Communication, Employee monitoring during the pandemic and its impact on mental well-being, available at <https://academic.oup.com/jcmc/article/28/4/zmad007/7210235> (accessed December 7, 2024).

27 MIT Sloan Management Review, Diversity in AI: The Invisible Men and Women, available at <https://sloanreview.mit.edu/article/diversity-in-ai-the-invisible-men-and-women/> (accessed December 7, 2024); arXiv, Bias in Large Language Models: Challenges for Minority Groups, available at <https://arxiv.org/abs/2407.20371> (accessed December 7, 2024); eSoftSkills, AI Ethics and Bias Mitigation in HR Technology, available at <https://esoftware.com/hr/ai-ethics-and-bias-mitigation-in-hr-technology/> (accessed December 7, 2024).

28 ע"פ 8027/13 פלוגי נ' מדינת ישראל (2018) 275/2018 פס"ד 47 לפסק דינו של השופט שהם. מומלץ לעיין גם במקורות המובאים שם.

29 Huijing Tan, 96% of Remote Companies Say They're Using Some Kind of Software to Monitor Employees Who 29 Work from Home, Survey Finds, Bus. Insider India (Mar. 30, 2023), <https://www.businessinsider.in/International/news/96-of-remote-companies-say-theyre-using-some-kind-of-software-to-monitor-employees-who-work-from-home>.

30 חני אופק-גנדלר "ענוחה" - בין עבודה למנוחה בעידן הדיגיטלי: עיוני משפט מ 5 (2017), 65 McGill, of working time as we know it: New challenges to the concept of working time in the digital reality. (LAW JOURNAL 379 (2020).

Penn State Extension, Precision Livestock Farming: Dairy Technologies, available at <https://extension.psu.edu/31/precision-livestock-farming-dairy-technologies> (accessed December 7, 2024).

32 מיכאל בירנהר (מרחב כרטיס) הזכות לכרטיס בין משפט לטכנולוגיה (2011), בעמ' 435 הרש"ו.

33 תופעה במסגרתה הופכים את העבודה למשחק, בו העובד, באמצעות התנהלות, צובר נקודות. לעיתים אף מכרסמים את מידד העובדים באופן מובנה. <https://www.outfieldapp.com/gamification/business/health/gamification-s-impact-on-mental-health-and-well-being> (accessed December 7, 2024).

34 בירנהר הזכות לכרטיס בין משפט לטכנולוגיה לעיל הרש"ו, בעמ' 90.

35 השימוש בבניה מלאכותית מוצג מדי פעם כפתרון לבעיה זו, כלומר כדבר המצמצם את הפגיעה בפרטיות. הרי לכאורה

הבניה המלאכותית הצופה-תמיד אינה שופטת את המאזעורים, לא תוכל לזכר עליהם והיא מתנחת אותם באופן אוניברסלי. המתנהגת מסטראוטופיים והיטוית פסיכולוגיות. עם זאת, מערכות בניה מלאכותית חשופות לזיהויות הקיימות בנתונים עליהם הן מאומנות, ועצם קיומן של המערכת המתמיד זו הבעיה - לא שבקצה השני נמצא אדם. עצם הידיעה שכל פעולה מתועדת ונשמרת היא שמייצרת את הדיכוי והעצמי והפגיעה באוטונומיה.

36 עובדים אשר פעילותם הוירטואלית מנטרית, למשל, נאלצים לעבוד באופן מתמשך - וזאת גם אם הם עובדים טוב יותר בפרצי עבודה או עם הפסקות קצרות בנסוף, מאחר והמערכת מציינת כי אירוע של חוסר פעילות כדבר שלילי, עובדים חייבים לעבוד על המחשב במקום בנייר ועט, כדי לא לפגוע במדדי התפוקה שלהם. טכנולוגיות שנועדו לאפשר לעובדים "עלוב" על המעסיקים, כמו למשל מוזי עכבר, מדגימות תופעה זו. MarketWatch, What Wells Fargo's mouse jiggle scandal says about the problem with work right now, available at <https://www.marketwatch.com/story/what-wells-fargos-mouse-jiggle-scandal-says-about-the-problem-with-work-right-now-220b6cf> (accessed December 7, 2024).

37 בריכוזי ליפשיץ עובד וקבלן - בין קניין לבין התחייבות פרק ה', פסקאות 41-42 (תשל"ד), רות בן-ישראל, זכות היתר (הפרונוגרפיה) הניהולית של המעביד: תבנית עיצובה בעידן הבת-רעשיתי עיוני משפט כהנ"ו, 705, 711 (אדר תשס"ב).

Geektime, Office building tech is the new way to monitor employees, available at <https://www.geektime.co.il/38-office-building-tech-is-the-new-way-to-monitor-employees/> (accessed December 7, 2024).

AccountingWEB, Accountant must repay employer after software shows time theft, available at <https://www.accountingweb.co.uk/tech/practice-software/accountant-must-repay-employer-after-software-shows-time-theft> (accessed December 7, 2024); Civil Resolution Tribunal, Reach CPA Inc. v. Besse, 2023 CRTBC 10136, available at <https://decisions.civilresolutiontribunal.ca/crt/crt/en/item/523029/index.do> (accessed December 7, 2024). באופן מעניין למד, ישנה גם קורלציה בנבואה בין תדירות החיפוש בנג'ל של המושגים "עניבת זמן" ו-"ניטור עבודה" החל ממרץ 2020, בו פרצה מגפת הקורונה ועובדים רבים עברו לעבודה מרחוק עם אמצעי פיקוח ממוחשבים. קורלציה אינה מוכיחה סיבתיות, אך חזקתה היא אינדיקטור סנטי לקשר שבין הרעיון של "עניבת זמן" מהמעסיק לבין התפסותו והעמקת המעקב. התופעה נלקחה מ-"Google Trends", המושגים שנותרו הם "work monitoring" ו-"time theft", והניתוח נעשה על חיפושים בכל העולם יחד.

40 1865 ו-1834, בהתאמה.

41 תופעה זו הייתה בשיאה בשנים שאחרי פירוק ברה"מ, בהן הפכה ישראל ליעד (משני) לסחר בנשים ממדינות סובייטיות למטרות זנות. אחד מאמצעי ההתמודדות היה תיקון של חוק העונשין בשנת 2006, בו נקבע כי החזקה בתנאי עבודה וסחר בבני אדם למטרות עבודה הן עבירות שעונשן שש עשרה שנות מאסר, ובו גם מוזכרת בפעם הראשונה ההחלטה המימית עבדות בחיבורי ישראל (ראו תיקון מס' 91 לחוק העונשין, התשס"ו-2006 ודברי ההסבר לו). לשון החוק מעגנת שלוש פרקטיקות המבטות עבדות הפעלת סמכויות קנייניות כלפי אדם, שליטה ממשית בחייו, או שליחת חירותו (סעיף 375א(3) לחוק העונשין, התשל"ד-1977). פסקי הדין המרכזיים לעניין החזקה בתנאי עבודה הם ע"פ 6237/12 גולאי נ' מדינת ישראל (בב' 692016) ועניין פלוגי (המוכר גם כעניין אמבש או הכת מירושלים, לעיל הרש"ו 28), בהם נקבע כי הפעלת סמכות קניינית מהווה עבדות, ואילו שליטה ושליטת חירות זו צורה של שעבוד כפי - האסור גם הוא (פסקה 67 לפסק הדין, בעניין פלוגי).

42 בב' 96/68 הסתדרות העובדים ה' התעשייה האווירית פ"ד נ' 481 (2004) (להלן: עניין "רמתיא"), בב' 4542/02 קו לעובד נ' ממשלת ישראל פ"ד סא (ו) 346 (2006) (להלן: עניין "קו לעובד").

43 ראו פסק דינה בדיון 4-7/4 ההסתדרות הכללית - התעשייה האווירית, פ"ד כט 601, 632 (1996); אמיר פז-פוקס, לעיל הרש"ו, בעמ' 239.

44 עניין קו לעובד לעיל הרש"ו 43, פס"ד 4 לפסק דינו של השופט חשין, ההדגשות הוספו.

45 ראו פרקים 532 בספר: Rosenthal, Caitlin Accounting for Slavery: Masters and Management Cambridge, MA: Harvard University Press, 2018. להרחבה נוספת ראו גם את הסיכום ואת Postscript-ה.

46 באופן מעניין, תופעות כמו "התפטרות שקטה", אשר נתפסות כתופעות חדשות יחסית, התקיימו גם אצל עבדים במאה ה-19 (שם).

47 ג'י פיאלקוב, אמוזון נקנסה ב-32 מיליון אירו בצרפת על מעקב מופרז אחר עובדיה, <https://www.pccol.com/featured/402242> (אוחזר ב-7 בדצמבר 2024).

CBS News, Wells Fargo fires employees for faking work while remote, available at <https://www.cbsnews.com/news/wells-fargo-fires-employees-faking-work/> (accessed December 7, 2024).

48 "If my mouse hasn't moved for 4 minutes, that time goes against my productivity!" 49 raises, & bonuses. I no longer freak out when I run to the bathroom or grab something to drink. I need my job, but I also need to keep my geriatric bladder happy. This jiggle is saving my sanity." https://www.marketwatch.com/story/what-wells-fargos-mouse-jiggle-scandal-says-about-the-problem-with-work-right-now-220b6cf?utm_source=chatgpt.com

The Sun, Wells Fargo employee dies in cubicle with cause of death under investigation, available at <https://www.the-sun.com/news/12771829/wells-fargo-employee-died-cubicle-cause/> (accessed December 7, 2024).

51 למשל - לא ברור כמה מערכות בניה מלאכותית שלא מקליטות את העובד פוגעות בפרטיותו, שכן אין אדם לא צופה בו ורק הכיבוד משמעת נשלחת למעסיק.

52 במסגרתה הפגיעה בפרטיות היא בסדרה מכשול שיש "להתגבר" עליו: "[כ]ל עוד יותר ויותר חברות מתעניינות בטכנולוגיה למעקב אחר גרשנות, הן יצטרכו להתייחס למחשבים הקשורים לעלות, מורכבות וסוגיות של פרטיות. כל עוד הן יתנהלו באחריות, אנו מאמינים שעובדים יתרגלו באופן אדורתי לאיסור וניתוח המידע הפיזיולוגי, ההתנהגותי והרגשי שלהם." Eoin Whelan, Daniel McDuff, Rob Gleasure & Jan Vom Brocke, How Emotion-Sensing Technology Can Reshape the Workplace, 59 MIT Sloan Mgmt. Rev. 7 (2018), <https://www.proquest.com/scholarly-journals/how-emotion-sensing-technology-can-reshape/docview/2023991461/se-2?accountid=14546>



אודי שחם, בן סטודנט שנה ג' למשפטים באוניברסיטה העברית. בוגר תכנית החילופים של הפקולטה למשפטים ב-Penn, וחבר מערכת בכתב העת "עבודה חברה ומשפט". מייל: Udi.shaham@mail.huji.ac.il

בינה מלאכותית ומשבר המים

כותבים: נועם אל-על, יובל שניידמן, יונתן יעקובוביץ' וגלעד בלנק בהנחיית ד"ר זהר ברנט-יצחקי, הפקולטה להנדסה, המרכז האקדמי רופין; קבוצת המחקר לקיימות סביבתית וחברתית, המרכז האקדמי רופין.

עשרה סבבים. לצורך קירור 1 קילו-ואט שעה של שרת, יש צורך ב-1-9 ליטרים של מים. לדוגמה, ChatGPT צורך חצי ליטר מים כדי לענות על 30 שאלות. מעבר לשימוש במים לקירור, המים דרושים גם למהלך ייצור שבבי הסיליקון שבשרתים עצמם.

הגידול המהיר בשימוש בטכנולוגיות בינה מלאכותית ובחווות שרתים צפוי להוביל לעלייה משמעותית בצריכת המים העולמית בשנים הקרובות. בישראל, עד סוף 2023 הוקמו 25 חוות שרתים, ומספר זה צפוי להאמיר בעתיד הקרוב, מה שיוביל לצורך הולך וגובר במי שתייה.

במבט ראשון, נדמה שטכנולוגיות מתקדמות משפרות את היעילות האנרגטית והמשאבית, אך לעיתים קרובות התוצאה אינה צמצום הצריכה, אלא דווקא הרחבתה. תופעה זו מכונה "פרדוקס ג'בונס", על שמו של הכלכלן ויליאם סטנלי ג'בונס, שתיאר אותה לראשונה בספרו **שאלת הפחם** משנת 1856. ג'בונס הבחין כי ככל שמנוע הקיטור הפך ליעיל יותר וצרך פחות פחם, הביקוש הכולל למשאב דווקא גדל, שכן השימוש במנוע התרחב והפך לנפוץ יותר. דינמיקה זו ניכרת גם בעידן הבינה המלאכותית.

חברות רבות מנסות להשתמש בבינה מלאכותית במטרה למצוא פתרונות לבעיית משק המים. אחד הפתרונות הבולטים בתחום מוצע על ידי Kilimo, חברה המשתמשת בטכנולוגיות AI לניהול השקיה חקלאית ומסייעת לחקלאים להשתמש במים בצורה חכמה ויעילה יותר. עם זאת, עולה השאלה אם טכנולוגיות כאלה באמת תורמות לחיסכון אמיתי, או שמא הן מעודדות שימוש יתר במשאבים ומובילות ליצירת תלות מסוכנת.

השימוש הגובר בבינה מלאכותית בתשתיות מים, כמו בניהול הדליפות של SUEZ, או במודלים של Rapida, מייצל את המערכת ומונע כשלים. אך האם איננו יוצרים תלות מסוכנת? מקס ובר הזהיר מפני "מלכודת הברוקרטיה" – מערכת שהופכת כה מתוחכמת ומנוהלת על ידי כללים קשיחים, עד שהאנשים הפוכים למבצעים עיוורים. אם בעתיד רק אלגוריתמים ינהלו את משק המים, האם לא נאבד שליטה על מערכת קריטית לקיום? מתקפת סייבר או תקלה חמורה עלולות להוביל לקריסת המערכת, וייתכן שנגלה כי העברנו את השליטה במשאב קריטי לידי טכנולוגיה שאיננו מבינים עד הסוף.

המאמר נכתב במסגרת תכנית העומק של אסכולה בשיתוף האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה. במסגרת התכנית נחשפו המשתתפים לתחומים שונים של מדיניות סביבה, נפגשו עם מומחים בתחומים אלו והתנסו בכלים שונים דרכם ניתן להשפיע על קביעת מדיניות ורגולציה. מטרת התוכנית הייתה להכיר ביכולת ובאחריות של מדענים לחולל שינוי. משתתפי התכנית התחלקו לקבוצות ועבדו יחד עם מנטור/ית, בוגר/ת תכנית ממשק, במטרה ליצר תוצר כדוגמת נייר עמדה או מאמר קצר שמנגיש מידע.

עוד לפני המצאת המחשב, עסקים הבינו היטב את הערך הטמון באיסוף וניתוח נתונים הנוגעים לפעילותם, לשווקים וללקוחותיהם. אך ככל שכמות המידע גדלה ונהייתה מורכבת יותר, כך ניתוח נתונים מהיר ויעיל הפך לאתגר מרכזי יותר.

כיום, הבינה המלאכותית משנה את כללי המשחק, ומציעה לא רק פתרונות לניהול מאגרי מידע עצומים, אלא גם תובנות פרקטיות שיכולות לייעל תהליכים, לחסוך משאבים ואף לאפשר חיזוי תקלות לפני התרחשותן.

משבר המים העולמי מציב אתגר הולך ומתרחב: כשני מיליארד אנשים ברחבי העולם חווים מחסור במים, ומספרם צפוי לגדול בשל שינויי האקלים וגידול האוכלוסין. במקביל, כמעט 50% מהמים המופקים כיום הולכים לאיבוד – מצב המעיד על חוסר היעילות של מערכות המים הגלובליות.

אחת הדוגמאות הבולטות לכך היא חוות שרתים המיועדות לעיבוד נתונים עבור בינה מלאכותית. לרוב, כאשר מדברים על ההשלכות הסביבתיות של חוות שרתים, מתמקדים בצריכת החשמל הגבוהה שהן דורשות.

חוות השרתים, המגיעות לשטח ממוצע של כ-100,000 מ"ר האחת (שטח השווה בגודלו ליותר מ-500 מגרשי טניס), צורכות בממוצע קילו-ואט שעה אחד לכל מטר רבוע. כלומר, חוות שרתים בגודל ממוצע צורכת כ-100,000 קילו-ואט שעה, וכיום מוערכת צריכתן של החוות ב-1-1.5 אחוזים מהאנרגיה העולמית.

אך ישנן השלכות נוספות – הפעילות החישובית המורכבת יוצרת חום, והדרך הנפוצה ביותר לקרר שרתים היא באמצעות מים. רוב המים (כ-80%) מתאדים בתהליך הקירור, ולא ניתן לעשות בהם שימוש חוזר אחרי כמה סבבי קירור. המים סוכגים מלחים במהלך תהליך הקירור, מה שהופך אותם לבלתי שמישים אחרי שלושה עד

המאמר פורסם ב:

אקולוגיה וסביבה – "יותר בינה, פחות מים: ההשפעה של הבינה המלאכותית על ניצול משאבי מים"

"ישראל היום" – "מפתיע ומטריד: זה המחיר הכבד שאנחנו משלמים על כל תמונה מגניבה ב-AI"

ביבליוגרפיה:

דור א. (2024, 2 באפריל). מספר חוות השרתים בישראל יגדל פי 3.5 עד סוף 2025 – וזאת רק ההתחלה. דה מרקר.

David, M. P., Iyengar, M. K., Parida, P., Simons, R. E., Schultz, M., Yengar, M., Schmidt, R., & Chainer, T. (2012, May 30-June 1). Impact of operating conditions on a chiller-less data center test facility with liquid cooled servers. 13th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems [Conference presentation]. San Diego, CA, United States

Ewim, D. R. E., Ninduwezuor-Ehiobu, N., Orikipte, O. F., Egbokhaebho, B. A., Fawole, A. A., & Onunka, C. (2023). Impact of data centers on climate change: A review of energy efficient strategies. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 9(6), 16397-01e

Goldman Sachs. (2024). AI is poised to drive 160% increase in data center power demand. <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand>

McDonald, J., Li, B., Frey, N. C., Tiwari, D., Gadepally, V., & Samsi, S. (2022). Great power, great responsibility: Recommendations for reducing energy for training language models. NAACL-HLT

Mytton D. (2021). Data centre water consumption. npj Clean Water, 4(11). <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00101-w>

Shehabi A, Masanet E, Price H, Horvath, A., & Nazaroff, W. W. (2011). Data center design and location: Consequences for electricity use and greenhouse-gas emissions. Building and Environment 46(5): 990–998

Shehabi, A., Smith, S., Sartor, D., Brown, R., Herrlin, M., Koomey, J., Masanet, E., Horner, N., Azevedo, I., & Lintner, W. (2016). United States data center energy usage report (LBNL-1005775). Lawrence Berkeley National Laboratory

Verma, P., & Tan, S. (2024, September 18). A bottle of water per email: The hidden environmental costs of using AI chatbots. The Washington Post

תשובה אפשרית לשאלה זו היא שתלות אינה בהכרח שלילית אם היא משפרת יציבות. גם מערכות חשמל או ניווט מקנות לנו תלות בטכנולוגיה – אך במקביל, הן מאפשרות ניהול טוב יותר של משאבים. האתגר הוא ליצור מנגנוני גיבוי ורגולציה שיבטיחו שלא נישאר חסרי אונים במקרה של תקלה. כלים כמו אלו של xlden, המנתחים נתוני חיישנים כדי להגן מפני מתקפות סייבר, נראים כפתרון אידיאלי, אבל כאן נכנסת השאלה התועלתנית: האם ההגנה על תשתיות המים מצדיקה את המחיר החברתי של ניטור מתמיד? כאשר תאגידים וממשלות אוספים כמויות אדירות של נתונים על הצריכה של כל אזרח, עולה שכנה של פגיעה בפרטיות ובזכויות הפרט. האם ניהול מים "חכם" לא הופך בעצם לאמצעי שליטה?

מערכות AI לניהול מים עשויות לחסוך משאבים בטווח הקצר, אך להוביל לצריכה גבוהה יותר בשל פרדוקס היעילות. לפי הגישה התועלתנית, יש לבחון כל טכנולוגיה על פי תרומתה לרווחה הכללית, אל מול המחיר החברתי והסביבתי שהיא גובה. בינה מלאכותית מביאה יתרונות רבים – מייעול מערכות תחבורה ועד שיפור האבחון הרפואי – אך האם היא מצדיקה את חדירתה לפרטיות ואת הנזקים האקולוגיים?

בעוד הגישה התועלתנית מתמקדת באיזון בין רווח והפסד, האקולוגיה העמוקה מציעה נקודת מבט שונה מהותית: היא גורסת כי לטבע יש ערך פנימי, מעבר לתועלת שהוא מספק לאדם. גישה זו מעלה שאלות לגבי פתרונות טכנולוגיים למשברים סביבתיים. למשל, טכנולוגיות כמו אלו של Watergen, המייצרות מים מהאוויר, עשויות לכאורה לספק מענה למשבר המים, אולם האקולוגיה העמוקה מעלה את השאלה: האם אין אנו מתמקדים בפתרונות טכנולוגיים במקום לטפל בשורש הבעיה? גישה זו טוענת שהפתרון אינו טמון רק בהמצאת מקורות מים חדשים, אלא בשינוי יסודי של יחסנו לטבע, כולל צמצום הצריכה ומעבר לשימוש אחראי יותר במשאבים. במקום להשקיע רק בטכנולוגיות חדשות, האקולוגיה העמוקה מדגישה את החשיבות של הפחתת בזבז המים, שמירה על מקורות המים הקיימים, ושינוי תפיסתי ביחס למקומנו במערכת האקולוגית.

פזמונאות בעקבות תוכנית ההתנתקות

כותבת: אביגיל שדיאור | עורכת: תמר מרקוביץ'

עזה, כבר הופצו פזמונים העוסקים במצב. בזמן שכולם זמזמו "עם ישראל חי" וייחלו למותו של אבו בקלאווה מהשיר "חרבו דרבו", אני עמדתי משתאה, רואה כיצד לנגד עיני נוצרים תוצרי תרבות אותנטיים שמשקפים את הרגע ומשמרים אותו עבור היסטוריונים. לפתע זכיתי לחוות בעצמי את גודל ההשפעה של השירים על החברה הישראלית ולהביט בדרך התהוותם. הדבר אפשר לי להמשיך לכתוב על הנושא מפרספקטיבה חדשה, נכונה יותר, ומתוך חוויה אישית שפזמונים אינם שירים ותו לא, אלא ההיסטוריה עצמה.

במסגרת העבודה, בחרתי לחקור את קורפוס הפזמונים שנוצרו לאור ההחלטה על תוכנית ההתנתקות: פינוי יישובי גוש קטיף וצפון השומרון, שהתבצע בקיץ 2005. איתרתי למעלה מ-60 פזמונים, ומתוכם ניתחתי 16 נבחרים, שמייצגים את כל מנעד הקורפוס. כלל הפזמונים שנאספו חולקו על פי ארבע התמות שעלו מהם: מחאה, כיסופים, מולדת, ואמונה ותפילה. החלוקה הראשונית התבצעה לאחר האזנה לקורפוס השירים וזיהוי הלכי רוח משותפים, בעיקר מתוך קריאה שטחית של הטקסטים לאחר מכן פניתי לקריאה חוזרת ומעמיקה ולהאזנה קשובה לשם צמצום הקטגוריות, דיוק התמות, ובירור של התמה השלטת בשיר זה או אחר, במקרים שזוהתה בשיר יותר מתמה אחת.

העבודה כללה ארבעה פרקים, שכל אחד מהם עסק באחת מהתמות שנזכרו. חלקו הראשון של כל פרק כלל ניתוח טקסטואלי ומוזיקלי של השירים המייצגים, וחלקו השני בחן את ההיבט ההיסטורי, תוך התעמקות בהתרחשויות בשטח.

בכל ארבעת הפרקים, הפזמונים שנחקרו הם אישיים, אינטימיים מאוד, ונוגעים בעצבים החשופים של תושבי גוש קטיף שנאלצו להתפנות מבתיהם. בחינת השירים ובחינת ההיבט ההיסטורי העלו שתיהן קשת דומה של רגשות, וצירופם של שני חלקי הפרק יחד מציג מתאם בין החוויות המתוארות בפזמונים לבין ההתרחשויות במציאות, בתקופת ההתנתקות. לצירוף הזה תרומה דו-כיוונית: הסקירה ההיסטורית נתמכת על מקור ראשוני, הפזמונים, ולא כחות מכך, הבנת הפזמונים מעמיקה לאור הסקירה ההיסטורית. הצלבת השירים והמאורעות מאפשרת לעמוד ביתר דיוק על מערכת היחסים בין השירים לבין ההתרחשויות.

בפרק הראשון, העוסק בשירי מחאה, הפזמונים מאפשרים להעמיק ברגשות אשר הניעו את המחאה ולבחון את השתקפותם

כולנו מאזינים לשירים, והם חלק מפקסכול חיינו. שיר עשוי לסמל תקופה בחיינו: ביכולתו לבטא את רגשותינו ומחשבותינו, גם את אלה שאיננו מעזים לבטא בדרכים אחרות, ויש שבכוחו אף את זיכרוננו – האישי או הקולקטיבי.

אם תרצו להתבונן בתהליכים חברתיים ולקבל תמונה אותנטית של הלכי הרוח בתקופה מסוימת – פנו לשירים שנוצרו באותה עת. השירים המולחנים (יכוננו מעתה גם פזמונים) הם מרכיב חשוב בפולקלור: מטרתם להעביר תחושות, מחשבות ואף אידיאולוגיות, ולפיכך הם משקפים את רגשות החברה לנוכח אירועי התקופה. לכן, כאשר מספר רב של פזמונים נוצרים סביב מאורע מסוים, ניתן להבין באמצעותם את הלך הרוח ששרר סביבו ולרדת לעומקם של התהליכים החברתיים שהתרחשו, או, כפי שהיטיב לנסח זאת אהוד מנור: "הפזמון הוא הצבע האמיתי של התקופה".

הבחירה שלי לעסוק דווקא בפזמונים, ולא בשירה או בפרוזה, נובעת קודם כל מאהבתי למוזיקה. לצד זאת, היא נשענת גם על טיעונים אקדמיים: על אף שהפזמון הוא פרי יצירתו של אדם פרטי, הנוצר כמעט "כלאחר יד", פזמונים זוכים לתפוצה רחבה; יתרונן של הפזמון טמון בכך שהוא טקסט קצר יחסית, בעל שורות מחורזות וקליטות, הניתנות לזכירה בעל פה בקלות. הפזמונים מתגלגלים מפה לאוזן, ומוצאים להם קהל גם במקומות בלתי צפויים. דייק יehontan גפן בכותבו על הפזמון "ופתאום איזה יופי, הוא הולך לבד".

אל מילות הפזמונים מצטרף הממד המוזיקלי, שהוא כלי חשוב ויעיל למחקר והבנה של השפעת אירוע מסוים על תקופה מוגדרת, ושל הגישות והרעיונות שבלטו בה. המוזיקה משמשת עדות היסטורית, מקור ראשוני לכל דבר, כיוון שהיא מעבירה את הלך הרוח במצב היסטורי נתון, ובאמצעותה מתאפשרת השלמת פערים שאינם מתבהרים על ידי שימוש במקורות ראשוניים אחרים. כך, הפזמון מיטיב להקפיא רגע מסוים על ציר הזמן, ולשמר אותו עם מכלול הרגשות שהובילו לכתיבתו. המילים והלחן של הפזמון משלימים ומפרים זה את זה, כך שנפתחת האפשרות לרדת לעומקם של תהליכים בתוך ההקשר ההיסטורי והחברתי.

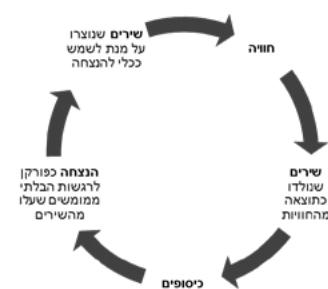
לאחר הגשת עבודת הגמר בתכנית אלפא פניתי לכתיבת עבודת גמר שנייה, הפעם בתחום מדעי הרוח. את נושא העבודה בחרתי עוד בטרם שבעה באוקטובר, וחלקים גדולים ממנה נכתבו בטרם נטרפו כל הקלפים. והנה, ימים ספורים לאחר פרוץ מלחמת "חרבות ברזל", ועוד בטרם התבררו ממדיו של הטבח האכזרי ביישובי עוטף

בשטח. סקירת המאורעות ההיסטוריים מעניקה לשירים את מלוא משמעותם, ושופכת אור על נסיבות כתיבתם. שירי המחאה היו חלק אינטגרלי מהמחאה נגד תוכנית ההתנתקות. חלקם הפכו להמנוני הפגנות של ממש (לדוגמה, השיר "יהודי לא מגרש יהודי" של אריאל זילבר) וסייעו לאחד בין המשתתפים, כטבעם של פזמונים המושרים בקבוצה גדולה. עם זאת, מאחר שהפזמונות משמשת ככלי לביטוי פוליטי שמאפשר למוחים להביע את דעתם מבלי לצנזר או למתן אותה, ניכר פער בין תוכן השירים, שהוא לעיתים קיצוני יותר, לבין השיח והאירועים בפועל. וכיוון שהמחאה בשירים היא פרקטיקה תרבותית-יצירתית, נוסף על היותה פרקטיקה חברתית-פוליטית, היא מנציחה את המחאה בשטח גם בראי התרבות ומשקפת אותה כפי שהמוחים חווים אותה, ללא סינון. בפרק זה, הגדרתי את מערכת היחסים בין פזמוני התקופה ובין המאורעות כמערכת של הפריה הדדית – הם משלימים זה את זה ומעניקים משמעות רבה יותר זה לזה וכך מתקבלת תמונה ברורה ואותנטית יותר של התקופה.

בפרק השני, העוסק בשירי כיסופים, ההצלבה בין השירים להתרחשויות בשטח מעלה המסקנה כי קיימת תלות בין השירים לבין המשך הנצחת גוש קטיף בפועל. הכיסופים הבלתי ממומשים של המפונים לביתם היו כוח מניע ליצירה של אומנות משלל סוגים, ביניהם פזמונים ומפעלי הנצחה. הדינמיקה בין שירי הכיסופים לבין ההנצחה משקפת את חשיבות הפזמונות ככלי לפריקת רגש וליצירתו יש מאין אצל המאזין, לשימורו בזיכרון הקולקטיבי של אזרחי ישראל וליצירת שינוי תודעתי. הן מפעלי ההנצחה והן שירי הכיסופים מציגים את גוש קטיף באופן שבו חפצים היוצרים: לדוגמה, באף אחד מהשירים בפרק לא מוזכר, ולו במילה, נושא הטרור והמציאות הביטחונית המורכבת שעומדים נאלצו תושבי הגוש להתמודד על בסיס יומיומי. השמטתם של נושאים מסוימים והבלטתם של אחרים מאפשרת שימור נרטיב, שמשרת את מטרתה של ההנצחה באופן כללי.

בפרק זה, שירי הכיסופים משרטטים מעגל שבו מיטשטשים הגבולות בין עבר, הווה ועתיד: השירים שנוצרו כתוצאה מחוויות העבר מלבים את רגשות הכיסופים ומשמרים אותם, והכיסופים, מצידם, מהווים ההשראה ליצירתם של שירים נוספים, גם בתקופות מאוחרות יותר (ראו איור 1). כך למעשה, שירי הכיסופים הם אלו המייצרים את התנועה, אך ההנצחה היא מאפשרת את המשכה.

דוגמה בולטת היא השיר "הבית שלי הולך איתי" של דוד ד"אור, שנכתב במלאת עשור להתנתקות. עשר השנים שחלפו לא טשטשו את הכיסופים, אלא אדרבה, העצימו אותם. אליו מצטרף גם השיר "אמא אם הייתי" של חנן בן ארי, שעם יציאתו בשנת 2016, הצליח והפך מוכר מאוד. השיר הוא אבן דרך חשובה בפזמונות ההתנתקות: הוא חוצה מגזרים ומצית את רגש הכיסופים לגוש קטיף גם אצל מי שנולדו לאחר פינויו.



הפרק השלישי עוסק בשלושה שירי מולדת: שירים שעניינם הוא קשר אישי לחבל הארץ עצמו והחיבור בין הבית לאדמה שבה הוא נטוע. הפיניו גרם לעקירתם של תושבי גוש קטיף לא רק מבתיהם, אלא גם ממולדת של ממש: חבל ארץ, נופים וקהילה. לאחר הפינוי, נאלצו הפליטים הטריים לתור אחר "מולדת" חדשה. בשילוב עם סקירת המאורעות שהובילו לכינונה של מולדת חדשה זו לאחר הפינוי, השירים מציגים שלוש גישות בולטות בקרב המפונים: שלושת השירים שנותחו מציגים שלושה "חזונות" נפרדים, שמביעים, במודע או שלא במודע, את גישותיהם השונות של מפוני גוש קטיף בנוגע לכינונה של מולדת חדשה: הראשונה – שימור הקהילה לאחר העקירה. גישה זו כוללת את שימור שם היישוב וכן העמדת אנדרטאות, יצירת טקסים ושימור אלמנטים נוספים מחיי הקהילה, היוצרים זיקה נוסטלגית אל המולדת הראשונה על אף ייסודה של המולדת החדשה. הגישה השנייה – פיצול לקבוצות קטנות יותר לאחר העקירה, כדי לזנוח במהירות את מאפייני הפליטות ולפנות למשימה הלאומית הבאה (כגון יישובם של חבלי ארץ ריקים או הקמת גרעינים תורניים בערים גדולות), לטובת השיקום הפרטי ושיקומה של מדינת ישראל תוך טיפול בנקודת התורפה שלה באותה עת, לדעת המפונים הטריים. הגישה השלישית היא שימור הפליטות, והיא נחלתם של יחידים שלא הצליחו בכינונה של מולדת חדשה, ונותרו עקורים ופליטים בתודעתם גם שנים לאחר הפינוי, אף שמצאו להם מגורים במקום אחר.

שלוש הגישות השונות מצאו את ביטויין בשירים השונים.

השיר שמייצג את הגישה הראשונה, "הלב שלי כתום", מדגיש את החיבור העמוק לגוש קטיף, ולעומתו בשיר "נהלל את ישראל" שמייצג את הגישה השנייה, גוש קטיף כלל לא נזכר! את הגישה השלישית מייצג החידוש לשיר "זה היה ביתי" ששונה במסריו העגומים משני השירים האחרים, שמשדרים אופטימיות, וכן במילותיו ובלחן שבשמיעה ראשונה נדמה כמתאים יותר דווקא לקטגוריית שירי המחאה.

השירים אומנם נכתבו לפני הפינוי עצמו, בטרם החליטה כל קהילה כיצד לפעול לאחר הפינוי. הרוח, המובילים להתרחשויות, הם אותם הלכי רוח שהובילו לכתיבת השירים, המושתתים על תכנון המאורעות מראש. על כן, מערכת היחסים שעולה מן הפרק השלישי היא כזו שבה ההתרחשויות מניעות את השירים, באופן כה חזק עד שהתנועה מתחילה אפילו בטרם התבצע הפינוי.

במרכז של הפרק הרביעי ניצבת תמת האמונה והתפילה. ניכר כי את כוחם להמשיך במאבק נגד ביצוע תוכנית ההתנתקות, שאבו רבים מתושבי גוש קטיף מתוך אמונתם החזקה. פלח ניכר מבין המתנגדים למהלך היו אנשי הציבור הדתי-לאומי, שהאמונה שימשה בעבורם כלי להתמודדות עם המצב. הסקירה ההיסטורית מעידה שהאמונה נסכה בהם תחושת בטחון, ומנעה מתח שעלול היה להיווצר מפאת הפער בין ההתרחשויות ובין ההשתדלות למנוע אותן. האמונה ליכדה את המתנגדים כקבוצה ואף עיצבה חלק גדול מפעולותיהם: עצרות תפילה המוניות, המורל הגבוה שעליו שמרו עד לרגע האחרון מתוך ביטחון שהתוכנית תבוטל, ואפילו יוזמות מעשיות כמו קרן "מאמין וזורע", שנועדה לתת ביטחון כלכלי לחקלאים לצורך שתילה של עונה נוספת למרות הפינוי הממשמש ובא. בתקופת ההתנתקות, תושבי גוש קטיף ומתנגדי התוכנית היו נתונים בתחושה מתמדת שבממשלת ישראל אין מי שמאזין לקריאותיהם. משהבינו תושבי גוש קטיף כי זעקותיהם נופלות על אוזניים ערלות, פנו לזעוק אל מי שלידם תמיד מקשיב

ביבליוגרפיה:

Bensimon, M. (2009). The dynamic of songs in intergroup conflict and proximity: The case of the Israeli Disengagement from the Gaza Strip. *Group Processes and Intergroup Relations*, 12(3), 397-412.

Gilbert, S. (2005). Music as historical source: Social history and musical texts. *International Review of the Aesthetics and Sociology of Music*, 36(1), 117-134.

אברמוביץ, ש' (2020). התעוררות רוחנית בשעת משבר: חקר עדויות מפינוי גוש קטיף. חוסן לאומי, פוליטיקה וחברה, 2, 147-171.

חבר, ח' (1994). פייטנים ובריונים: צמיחת השיר הפוליטי העברי בארץ - ישראל. מוסד ביאליק.

לקס, ע' (2016). מקום: מסע בין קהילות גוש קטיף המתחדשות. ספריית בית אל.

סטור, א' (1996). מוסיקה ונפש. אחיאסף הוצאת ספרים.

רייכנר, א' (2010). כתום המאבק: גוש קטיף במערכה. ידיעות ספרים.

שפי, ר' (1989). התפתחות הפואטיקה של הפזמונאות הישראלית בראשית שנות השבעים. בתוך ז' בן-פורת (עורכת). בתוך ליריקה ולהיט (עמ' 76-98). הוצאת הקיבוץ המאוחד.

– הקב"ה. מתוך כך נכתבו שירים רבים שמבטאים אמונה ותחינה. ניתוחם של שירי האמונה והתפילה חושף את הצד הפגיע והרגיש של המתנגדים לתוכנית ההתנתקות, ומבהיר את גודל התפקיד של שירים אלו, שסיפקו למתנגדים "הזמנה לבכי", הפוגה מהצורך לעמוד איתן.

אחד השירים שנותחו הוא השיר "תפילה לעני" שנצרב בזיכרון הישראלי כמזוהה עם תוכנית ההתנתקות, בעקבות "תפילת הנערות": מאות נערות שהתכנסו בבית הכנסת בנווה דקלים לתפילה אחרונה בגוש קטיף, ושרו את השיר שוב ושוב ושוב, בתמימות ובכאב. השיר, וכמוהו גם השיר "אם ננעלו" של הזמרת נרקיס, מבטא אמונה חזקה ואת ההימלטות אליה כאשר כל שאר הדרכים הכזיבו.

אין זה סביר שההתרחשויות בשטח הן שחיזקו את אמונתם של המתנגדים לתוכנית, שכן כאמור לא נראה שהועילו. לכן, המסקנה המתקבלת ביותר על הדעת היא שהיו אלה השירים שהעניקו למתנגדים את האמונה ואת הכוחות להמשך העשייה. בשל כך, ניתן לאפיין את מערכת היחסים בפרק הרביעי ככזו שבה השירים מניעים את ההתרחשויות.

בכל אחד מארבעת הפרקים, הפזמונים מוצגים חלק אינטגרלי מההתרחשויות ההיסטוריות. על אף שבכל אחד מהפרקים דרך הביטוי לכך שונה, באופן כללי ניתן לומר כי השירים האישיים מאששים ומעשירים את העובדות ההיסטוריות, וכי העובדות ההיסטוריות מסייעות להבין את נסיבות כתיבתם של השירים. בין שהקשר בין הפזמונים והמאורעות הוא קשר של הפריה, של תלות או של הנעה, הוא קיים, ותורם לשני ההיבטים.

לסיכום, ניתן להצביע על קשר הדוק בין הפזמונים שנכתבו בתקופת ההתנתקות ובין המאורעות שהתרחשו בפועל, לפני הפינוי, תוך כדי הפינוי, ולאחריו. אירועי התקופה משתקפים היטב בשירים, והשירים עצמם – בכוחם היה לעצב מציאות. דרך הפזמונים שנכתבו ניתן להבין מה היו (ואולי עדיין?) הלכי הרוח בחברה הישראלית – בדגש על תושבי גוש קטיף – בתקופת ההתנתקות.

1 שמעון גרשון רוזנברג, ברית שלום – ימין ושמאל, מלחמה ושלום (ראשון לציון: ידיעות אחרונות, 2020), 189-190.



אביגיל שדיאור, בוגרת תכנית אלפא, מדריכה במרכז הרצל.
בזמני הפנוי מנגנת ועושה רעש לשכנים.
מייל: Avigail06z@gmail.com

הפאזל של היקום והפותר חומר אפל וקריסטלוגרפיה

יונתן מארצ'יני | עורכים: יואב זק ותמר מרקוביץ'

נראה, בשונה מחומר רגיל. מכך ניתן להבין שחלקיקי החומר האפל לא מקיימים אינטראקציות אלקטרומגנטיות, ולא פולטים ובולעים קרינה בספקטרום הנראה. למרות כל תכונות החומר האפל המקשות על גילוי, ישנן עדויות משלל סוגים לקיומו.

לאור כל העדויות, החל החיפוש אחר החומר האפל. קיימות שתי דרכי חיפוש: הדרך הראשונה, העקיפה, כוללת התבוננות בתגובות החומר האפל עם חומר שניתן לראות. הדרך השנייה היא חיפוש חלקיקי החומר האפל בצורה ישירה, באמצעות גלאי חלקיקים. עקרון גילוי החומר האפל – לפי התאוריה הרווחת – מסתמך על הימצאות גלקסיית שביל החלב כולה בתוך הילה של חומר אפל. כפועל יוצא מכך, חלקיקי החומר האפל עוברים דרך כדור הארץ, ומקיימים אינטראקציה עם גלאי החומר האפל הנמצאים בכדור

לגילוי חלקיקי חומר אפל באמצעות גלאי חלקיקים נדרשת שרשרת מאורעות. תחילה, על חלקיק חומר אפל לעבור דרך הגלאי. צריך לקבל אותו מהמקור שלו; ככתוב דלעיל, מקור החומר האפל ברחבי הגלקסיה ולכן הוא לכאורה נמצא סביבנו כל הזמן לאחר מעבר החלקיק בגלאי, נחוצה אינטראקציה בין החלקיק לגלאי. יש גם צורך בסיגנל קריא שיווצר מהאינטראקציה, שאותו יש לקרוא, ולבסוף – יש לנתח את התוצאות.

החלק האחראי בגלאי לקיום האינטראקציה עם חלקיקי החומר האפל הוא החד-גביש. חד-גביש הוא גביש שהסימטריה של הסריג שלו (האופן שבו המולקולות שלו מסודרות) רציפה ואינה נשברת בקצות הסריג. קרי, המבנה המחזורי שלו אינו נשבר לאורכו, כלומר הוא אינו מורכב מכמה גבישים קטנים יותר כמו רוב הגבישים הטבעיים. כל עצם מוצק שהסידור התלת-ממדי של האטומים, היונים או המולקולות שלו חוזר על עצמו לאורך כל נפח העצם נקרא קריסטל חד-גבישי.

בחד-גביש יש כל מיני סוגי פגמים, משמע נקודות או אזורים בגביש שאינם מושלמים לפי המבנה המחזורי הגבישי. אחד מהם הוא מרכז צבע, פגם בגביש המביא לידי ביטוי את היכולת לקלוט/לפלוט אור, בזכות תכונות אלקטרוניות החורגות באופן משמעותי מאלו של סריג גביש שאינו נושא פגם זה. כדי להביא לידי ביטוי את פגם מרכז הצבע בגביש, נדרשת הקרנת מקור רדיואקטיבי. מקור רדיואקטיבי הוא חומר הפולט קרינה בעקבות חוסר יציבות הגרעין שלו; קרינה זו היא חלקיקי קרינה מייננת מגרעין האטום.

שלוש לכולם, אני יונתן מארצ'יני. כשהצגתי את המחקר שערכתי בכנס של פיתוח לוויין חדש של סוכנות החלל הישראלית יחד עם נאס"א, שאלתי את הקהל שאלה פשוטה של כן ולא. השאלה הייתה: מי יודע מה זה חומר אפל? הרבה הרימו את הידיים, ומייד אמרתי להם לרוץ לקחת פרס נובל או אפילו פרס חדש אחר שיומצא רק בשביל הגילוי הזה.

ביקום מסתתר לו חומר אפל, כנראה. זהו חומר שלא ניתן לראות או להרגיש ישירות, אבל יש לנו רמזים שהוא שם ומשפיע על כל מה שסביבנו, ופשוט אף אחד לא יודע מהו. במחקר שלי, שביצעתי במסגרת תוכנית 'אלפא' במכון ויצמן בהנחיית ד"ר הגר לנדסמן, בחנתי התנהגות של חד-גביש מול קרינת גמא, בתקווה לקדם את עולם המדע צעד אחד קדימה לגילוי החומר האפל. מה המשמעות, איך ולמה? הכול כתוב כאן, במאמר שלפניכם. עולם שלם של פיזיקה מסתורית, חומר בלתי נראה וקריסטלים מצפה לנו. הצטרפו למסע בעקבות צעד קדימה לפתרון לפאזל של היקום דרך עדשת הקריסטל.

מבוא

המודל הסטנדרטי הוא מודל תאורטי המתאר את החלקיקים היסודיים הידועים לנו ואת האינטראקציות היסודיות בטבע. המודל מציג תופעות רבות, אך יש דברים שעוד אינם מתוארים במסגרתו. מדענים מעריכים שהחלקיקים המתוארים במודל הסטנדרטי מהווים רק כ-15 אחוזים מהחומר ביקום, והשאר מורכב מחומר לא ידוע המכונה חומר אפל.

הערכה זו נוצרה לראשונה בעקבות הבחנה בהבדלים בין הערכת המסה של מרכזי גלקסיה המתקבלת באמצעות חישובים ובין זו המתקבלת ממדידות אסטרונומיות. בהערכת המסה הראשונה, על פי מהירות סיבוב הכוכב סביב מרכז הגלקסיה שלו, מעריכים את כמות המסה במרכז הגלקסיה לפי חוקי הגרביטציה. בהערכת המסה השנייה משתמשים במדידות אסטרונומיות, לדוגמה הערכה באמצעות כמות פליטת אור. כיוון שיש הבדל רב בין התוצאות, הוצע החומר האפל (חלקיק בעל השפעה גרביטציונית שאינו פולט קרינה) לאיזון המשוואה, כלומר "השלמת" ההפרשים.

על פי הספרות, החומר האפל מהווה 85 אחוזים מהחומר (מסה) ביקום. חומר זה נקרא "אפל" מפני שאי אפשר לראותו עם אור

דוגמה לקרינה מייננת היא קרינת גמא, סוג של קרינה אלקטרומגנטית (משמע, מורכבת מפוטונים). לקרני גמא אין מסה ומטען חשמלי. בדעיכה רדיואקטיבית מסוג גמא, נפלט מהמקור פוטון אנרגטי.

במחקרנו, ביקשנו לבדוק אילו מרכזי צבע נוצרים בגביש LiF לאחר חשיפה לקרינת גמא, וכיצד זמן החשיפה משפיע על היווצרות המרכזים. זאת במטרה לבדוק את יציבותם ואפיונם של מרכזי הצבע לאחר חשיפה לרמות שונות של קרינה מסוג גמא, לצורך פיתוח גלאי חומר אפל.

רקע תיאורטי

חומר אפל

למונח "חומר אפל" הגדרה כפולה: הגדרת המונח "חומר" והגדרת התכונה "אפל". חומר הוא מסה בעלת אפקט גרביטציוני (שמושך מסות אחרות). "אפל" מעיד על כך שהחומר אינו פולט פוטונים ואינו משתתף באף אינטראקציה ידועה מלבד הכבידה. כלומר, החומר אינו פולט אור (או כל קרינה אחרת) ולא ניתן להבחין בו באמצעות טלסקופים רגילים.

קנה המידה הקוסמולוגי הראשוני שבו ניתן לצפות באפקט החומר האפל הוא זה של הגלקסיות. התאוריה המקובלת היא שהחומר האפל מחזיק גלקסיות יחד, כלומר מונע פירוק של כל אחת מהן. מכך נובע שהוא, ראשית, בעל זמן חיים ארוך – מפני שאי אפשר לבנות מבנים גלקטיים עם חלקיקים לא יציבים, ושנית, מגיב ופעיל כבידתית (בעל מסה) – אחרת לא יוכל להחזיק את הגלקסיות יחד. נוסף על כך, החלקיק חסר מטען חשמלי (אם היה בעל מטען, היה מגיב אלקטרומגנטית ופולט אור).

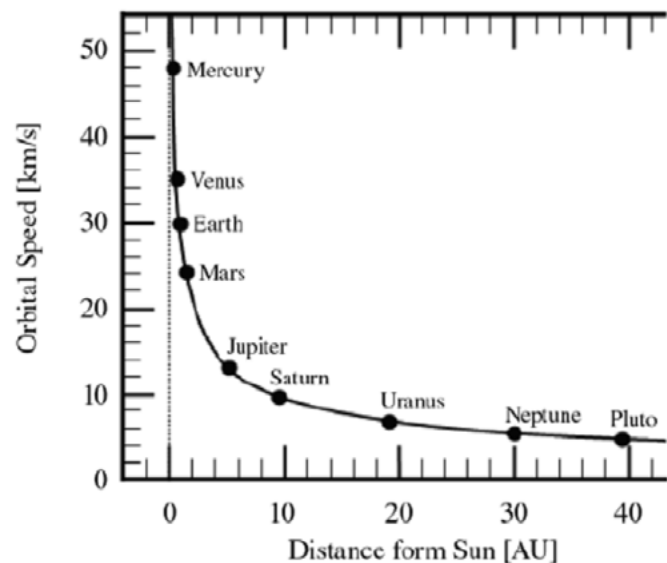
בבחינת כל התכונות המיוחסות לחומר האפל שהוצגו כאן, ניתן להסיק כי אלקטרונים, קווארקים מסוג מעלה וקווארקים מסוג מטה הם החלקיקים היחידים מהמודל הסטנדרטי אשר יוכלו להתאים להיות החומר האפל. אך כל החלקיקים האלו מגיבים עם אור, ומכאן ידוע שכל חלקיק במודל הסטנדרטי אינו חומר אפל (ככל הנראה). כלומר, על חלקיק חומר אפל להיות חלקיק יציב שאינו דועך לחלקיקים קלים יותר, חסר מטען חשמלי ובעל מסה. [1]

לסיכומו של עניין, כמה דברים ידועים על החומר האפל. ראשית, מסתו היא חלק נרחב ממסת היקום. שנית, הוא נוצר במהלך המפץ הגדול. נוסף על כך, בתקופות קדומות יותר, כ-400,000 שנים לאחר המפץ הגדול, ייתכן שהחומר האפל הגיב עם חומר רגיל או לפחות ביצע איתו החלפת אנרגיה.

המודל המוביל להסברת החומר האפל מתאר חלקיק בשם WIMP (Weakly Interacting Massive Particle), אך חשוב להזכיר כי מודל זה כולל בתוכו כמה תאוריות בנוגע לתכונות מסוימות של החומר האפל. במחקרנו נסמכנו על כך שיש שלושה חלקיקי חומר אפל לליטר בכדור הארץ, וחלקיק החומר האפל הוא חלקיק קר (חלקיק שנע במהירות איטית ביחס למהירות האור) – אחרת לא ניתן היה לבנות בעזרתו מבנה גלקטי, לפי התיאוריה שעליה נסמכנו. מרכיבי החומר האפל אינם ידועים, אך הדעה הרווחת לגבי מרכיביו היא שהוא חומר רגיל, שבצורה מסוימת אינו מגיב לאור, או חלקיקים אקזוטיים לא ידועים, שאינם חומר רגיל [2,1].

בהתבוננות על מערכת השמש, ניתן להסיק כי מהירות אורביטלית היא פונקציה של מרחק מהשמש. באיור 1 אפשר לראות שככל שהמרחק מהשמש גדל, המהירות האורביטלית קטנה. למשל, כוכב הלכת חמה (Mercury), קרוב יותר למרכז השמש מאשר כוכב הלכת נוגה (Venus). על כן, מהירותו האורביטלית גבוהה מזו של נוגה [3].

איור 1: השוואת המהירות האורביטלית של כוכבי הלכת ביחס למרחקם מהשמש [3]



התנהגות זו מתוארת באמצעות הנוסחה $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ כאשר M מייצג את מסת מרכז המערכת, שיכול להיות שמש, כוכב לכת או כל מסה אחרת המסוגלת לגרום לתאוצה בגורם מסה קטן ממנה בקרבת מקום. R מייצג את רדיוס מסלול התנועה האורביטלית, ו-G הוא קבוע הכבידה שגודלו $6.67384 \cdot 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}^2\text{Kg}$

הנוסחה $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ מתארת את התנהגות כוכבי הלכת, מפני שהמהירות והתאוצה של הליווין תלויות רק ברדיוס המסלול ובמסת הגוף המרכזי של המערכת שהליווין מקיף. זאת בדיוק כמו במקרה של התנהגות קליעים על פני כדור הארץ: למסת הקליע אין השפעה על התאוצה לכיוון כדור הארץ ועל המהירות בכל רגע. כאשר התנגדות האוויר זניחה ורק כוח הכבידה קיים, מסת העצם הנע אינה פקטור שיש להתחשב בו. כזה הוא המקרה של לווניים מסתובבים [4].

אף על פי כן, בשונה מהסדר המתקיים במערכת השמש, מערכות בסדרי גודל גדולים בהרבה אינן מקיימות את אותה התנהגות. מדידות מהירות אורביטלית בקנה מידה גלקטי התחילו בשנות ה-60. כאשר מחשבים את מהירות סיבובי השמשות ממרכז הגלקסיה הספירלית M33, התוצאה המתקבלת מהחישובים דומה לתוצאות במערכת השמש. משמע, כך מצופה מהכוכבים לנוע. בניגוד לכך, בתצפית מהירות הסיבוב התוצאות היו שונות לגמרי – ככל שהמרחק גדל כך גם המהירות (איור 2) [5].

בעת פליטת גל אור מגביש, לאחר שהגל נקלט בו, תדירות הגל שייפלט תהיה קטנה מאשר תדירותו כשנקלט. מכאן, ולפי היחס ההפוך בין אורך הגל לתדירותו, אורך הגל שלו כשייפלט יהיה ארוך מאשר אורך הגל שלו כשנקלט. דוגמאות למרכזי צבע בגביש ה-LiF הן למשל: מרכז צבע F2 – אורך הגל הפוגע (המערר) הוא nm444 ואורך הגל הנפלט הוא nm670. דוגמה נוספת הוא מרכז הצבע F3 – אורך הגל הפוגע (המערר) הוא nm 448 ואורך הגל הנפלט הוא 11 [528nm].

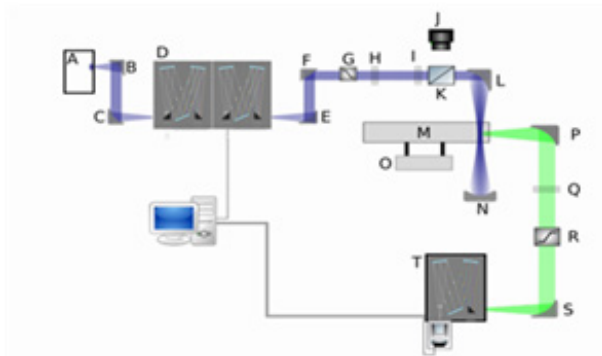


איור 3: הגביש LiF

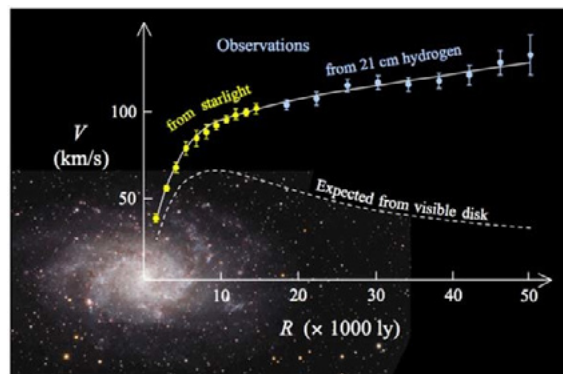
מערכת המדידה ומדידת פלורסנציה

רוב המולקולות נמצאות במצב האנרגיה הנמוך ביותר בטמפרטורת החדר, ובתוך מצב אנרגיה זה ישנן רמות רטט. שינוי ברמת הרטט נקרא עירור. עירור הוא תהליך של קליטת פוטון באטום או במולקולה. כאשר פוטון נכנס לאחד מהחלקיקים הללו, החלקיק מאמץ מצב אנרגטי שונה מהמצב האנרגטי המקורי שלו, וכך החלקיק רוטט בעוצמה גבוהה יותר. לאחר מכן, החלקיקים הרוטטים מתנגשים בחלקיקים אחרים, דבר הגורם להם לאבד את אנרגיית הרטט ולאחר מכן לחזור לרמת הרטט הנמוכה ביותר, כפי שהיה לפני העירור.

כאשר חלקיק חוזר לרמת הרטט הנמוכה ביותר, הוא פולט פוטון של אור באורך גל שונה מהגל שהוא קלט. מכשיר המדידה בניסוי שלנו, ספקטרומטר פלואורסנטי, מסתמך על עירורי הרטט של מרכזי צבע למדידת מאפיינים שונים שלהם, הרלוונטיים לפיתוח גלאי חומר אפל (איור 4) [12]. החלקיק מציג פלואורסנטיות כאשר מתבצעת פליטת פוטון של אור באורך שונה מזה שקלט החלקיק (זאת לאחר שחזר לרמת הרטט הנמוכה ביותר). מדידת הפלואורסנציה מודדת מרכזי צבע בעקבות הימצאות האלקטרון בסריג הגביש.



איור 4: שרטוט מערכת המדידה. מקור האור נמצא ב-A, הגביש מונח ב-M, והמצלמה היא ב-T [12].



איור 2: עקומת סיבוב של הגלקסיה הספירלית האופיינית M33. תוצאות החישובים – קו מקווקו. תוצאות התצפית – קו רציף [5].

בעזרת חישובים מתמטיים גילו החוקרים ש-90 אחוזים מהמסה במערכת השמיימית הזו חסרים לכאורה, או למעשה – חבויים מראייה. הווה אומר, מקור המסה החסרה אינו בחומר שנצפה בתוך הגלקסיה. אולם, אותה מסה חסרה מוכרחה להתקיים, הרי היא קיימת לפי החישובים – בהנחה שהנוסחה תקפה למערכת זו. אותה מסה חסרה, בלתי ניתנת להבחנה, היא החומר האפל [2].

קרינה וחד גביש

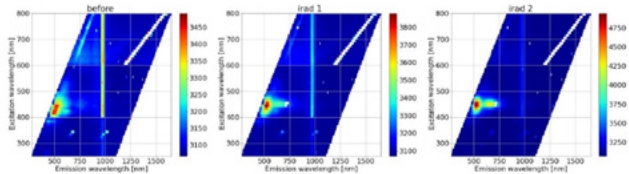
קרינה מייננת היא בעלת אנרגיה גבוהה מאוד, שעשויה לגרום לשחרור אלקטרונים מתוך האטומים או המולקולות שעליהם היא מוקרנת. סוגי הקרינות המייננות הם קרינת חלקיקים וגלים אלקטרומגנטיים. האחרונים מורכבים מפוטונים (קרינת גמא). בדעיכה רדיואקטיביות מסוג גמא, נפלט מהמקור פוטון אנרגטי – קרינת גמא [7,6], שהיא קרינה אלקטרומגנטית. לקרני גמא אין מסה או מטען חשמלי. חסימתן מתבצעת על ידי כמה סנטימטרים של חומרים כבדים, כגון עופרת.

במחקר זה נבדקה השפעת קרינת גמא על חד-הגביש LiF. חד-גביש הוא כל עצם מוצק שבו הסידור התלת-ממדי של האטומים, היונים או המולקולות חוזר על עצמו לאורך כל נפח העצם. [8] גבישים הם בעלי פגמים, אשר להם נטייה להישנות. אחד מהם הוא פגם הנקרא מרכז צבע. פגם זה בגביש מביא לידי ביטוי את יכולת הגביש לקלוט/לפלוט אור בזכות תכונות אלקטרוניות החורגות באופן משמעותי מאלו של סריג גביש רגיל, שלא נושא פגם זה.

מרכזי צבע מסוג F הם פגמים אשר נוצרים בקלות בחד-גבישים באמצעות הקרנת קרינה מייננת. מרכז הצבע מתרחש כאשר אלקטרון אחד (או יותר) תופס מקום אניוני (מקום שאמור להיות תפוס על ידי חלקיק בעל מטען שלילי) פנוי בסריג הגביש. כתוצאה מכך, פוטונים יכולים להיקלט על ידי האלקטרון הכלוא – מה שמספק לו אנרגיה – ובכך לגרום לעלייה או לירידה ברמתו האנרגטית (עירור). בעקבות זאת, הגביש עשוי להיראות צבעוני. ככל שמספר מרכזי הצבע מסוג F גדול יותר, הגביש יראה צבעוני יותר [9]. שילובים של מרכזי F סמוכים עקב תפיסת חללים אניוניים ריקים יכנונו מרכזי F2 ו-F3 עבור שניים ושלושה אלקטרונים סמוכים. התקבצויות גדולות יותר מזו של מרכזי F אפשריות, אך התנהגותן אינה ברורה עדיין [10].

תוצאות המחקר

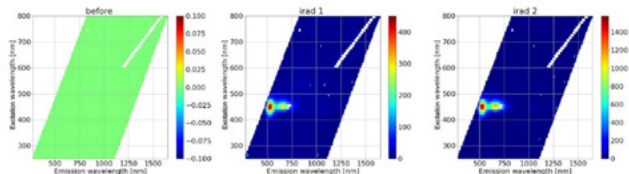
תוצאות סריקות הגביש מוצגות באיור 5, שבו ציר Y מתאר את אורך גל העירור, וציר X את אורך הגל הנפלט מהגביש. איור 5: כימות מאפייני מרכזי הצבע לגרף Color Scale. ציר Y מתאר את



אורך גל העירור, וציר X את אורך הגל הנפלט מהגביש. הצבע מתאר את עוצמת הקרינה. λ_{ex} מייצג את ציר X, ו- λ_{em} מייצג את ציר X.

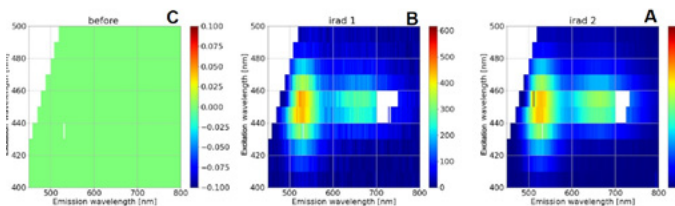
אם נתבונן בגרפים נראה כי באזור $\lambda_{ex} \sim 450\text{nm}$ (ציר Y) קיים סיגנל ברור. אולם כלל המדידות מתבססות על קיומם של מרכזי צבע בחד-גביש עוד לפני ההקרנה הרדיואקטיבית. מעבר לכך, במדידות מתקבלים גם רעשים הנובעים מהמצלמה וממערכת המדידה (למשל הקו ב- $\lambda_{em} \sim 990\text{nm}$)

כדי להתמקד ולהעריך את ההבדלים שנוצרו בעקבות ההקרנה בצורה חדה וברורה יותר, החסרנו את מדידת הרקע (דהיינו, מדידות הגביש לפני החשיפה לקרינה) מהמדידות שבוצעו לאחר החשיפה לקרינה הרדיואקטיבית. התוצאות לאחר ההחסרה מופיעות באיור 6.



איור 6: כימות מאפייני מרכזי הצבע לאחר החיסור והצגתם בגרף Color Scale. שבו ציר Y מתאר את אורך גל העירור, וציר X את אורך הגל הנפלט מהגביש. חום התמונה מתאר את עוצמת הקרינה.

כעת, לאחר החסרת מדידות הרקע (מדידות הגביש לפני החשיפה לקרינה הרדיואקטיבית) מהמדידות שלאחר החשיפה, הגרפים נראים חדים ונקיים יותר. אפשר לראות בבירור שנוצרו שני מרכזי צבע חדשים; לאחר ההחסרה, רק מרכז צבע שלא היה קיים בגביש לפני כן יוכל להופיע. בחרנו להתמקד בחלקים המכילים את מרכזי



הצבע החדשים, התמקדות שמוצגת באיור 7.

במחקר זהו מרכזי צבע בגביש מסוג LiF ולאחר מכן נבחנו יציבותם והם אופיינו לאחר חשיפה לרמות שונות של קרינה מסוג גמא, לצורך פיתוח גלאי חומר אפל.

מערך המחקר

גלאי החומר האפל הקיימים כיום משתמשים בשיטה שונה משיטת מרכזי הצבע בגבישים. השיטה החדשה, המתמקדת בשימוש במרכזי הצבע של גבישים, מאפשרת מדידה וזיהוי של חלקיקי חומר אפל באנרגיות נמוכות יותר, שהגלאים הנוכחיים אינם רגישים להם.

כחלק מפיתוח השיטה החדשה, ערכתי מחקר שמטרתו הן זיהוי מרכזי צבע בגביש מסוג LiF, בדיקת יציבותם, ואפיונם לאחר חשיפה לרמות שונות של קרינה מסוג גמא. כדי לבדוק תכונות אלו, התחלתי במדידה ראשונית של פלורסנטיות גביש ה-LiF, לפני שנחשף לקרינה. בעת תכנון גלאי עתידי יש לאפיין גם את התנהגות הגביש שבו בעת חשיפה לקרינת רקע, ולוודא כי ניתן להבדיל בין הסיגנל הנוצר בעת חשיפה לקרינת הרקע הלא רצויה לבין הסיגנל הנוצר בעת חשיפה לחלקיקי החומר האפל הרצויים.

לאחר מכן, חשפתי את אותה יחידת הגביש לקרינת גמא, למשכי זמן שונים. בפעם הראשונה נחשף הגביש למשך 26.5 שעות, ובפעם השנייה למשך 69.5 שעות. התהליך התבצע תוך שימוש בספקטרומטר הפלואורסנטי שנבנה במיוחד עבור מחקר זה. המערכת מיועדת לקלוט ולפלוט טווח רחב של אורכי גל, 250–800nm בעירור ו-300–1200nm עבור פליטה. בכך נבדלת העבודה מרוב העבודות בתחום, שבהן נבחן רק תחום מצומצם של אורכי גל.

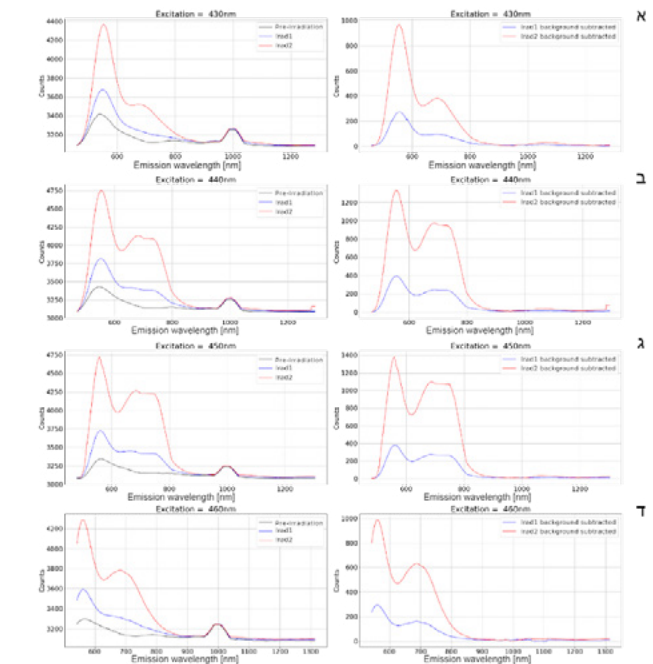
כאמור, כחלק ממטרות המחקר, ביקשתי לחקור את מרכזי הצבע בגביש מסוג LiF, לאחר חשיפה לרמות שונות של קרינה מסוג גמא. לצורך כך, הגביש נבדק לפני ואחרי החשיפה לרמות שונות של קרינת גמא. בתהליך הבדיקה, סריקת הגביש היא השלב שבו נבחנת התנהגות הגביש כשאנו מקרינים עליו גל באורך מסוים במערכת המדידה. כל סריקה בודדת הוצגה בגרף דו-ממדי, שבו ציר ה-X מייצג את אורך הגל הנקלט, ולעומתו ציר ה-Y מייצג את עוצמת הקרינה הנפלטת מהגביש.

מספר סריקות בטווח שלם – במחקר זה בטווח 250–800nm – מרכיבות יחד מדידה שלמה. בין סריקה לסריקה יש הפרש של 10nm. מדידה שלמה כזו תיוצג בגרף Color Scale תלת-ממדי, שבו ציר X מייצג את אורך הגל הנקלט, ציר Y מייצג את אורך הגל הנפלט, והחום של הגרף (ציר Z) מייצג את עוצמת הקרינה הנפלטת מהגביש (ציר Z מיוצג על ידי צבע הגרף).

לבסוף, יש להשוות את מרכזי הצבע שהיו לפני החשיפה לקרינה למרכזי הצבע שהתקבלו לאחר החשיפה לקרינה ולחפש אחר פסגות בגרף ה-Color Scale, המייצגות מרכז צבע בגביש. כך נגלה את השינוי שהתקיים בגביש בעקבות החשיפה שלו לקרינה המייננת.

איור 7: התמקדות בחלקים המציגים את מרכזי הצבע מהגרפים באיור 6. מרכזי צבע לאחר החיסור נמצאים בערכים $\lambda_{em} \sim 660nm$, $\lambda_{ex} \sim 450nm$ ובערכים $\lambda_{em} \sim 525nm$, $\lambda_{ex} \sim 450nm$ (איור 7 – A,B)

כעת, לאחר איתור הטווח שבו נמצאים אורכי גל העירור של מרכזי הצבע, נבחנו טווחים אלו באופן ממוקד יותר, באמצעות בחינה בגרף דו-ממדי ותוך חיתוך טווח אורכי הגל לקפיצות של 10nm. באיור 8 מוצגים כלל הגרפים, המציגים את טווח אורכי גל העירור



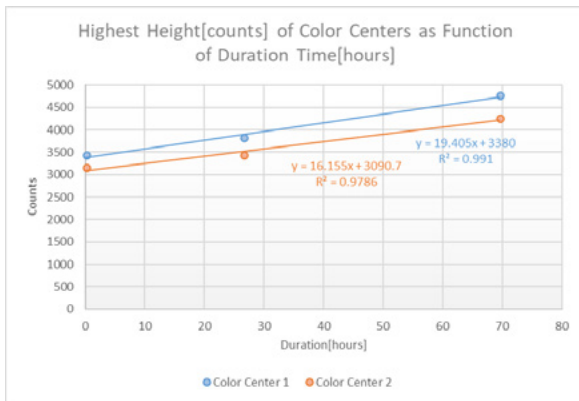
בטווח 430–460nm. איור 8: הגרפים מציגים את גובה המדידות (ציר Y) כתלות באורכי גל הפליטה (ציר X) לפני ההקרנה (שחור), אחרי ההקרנה הקצרה (כחול), ואחרי ההקרנה הארוכה (אדום). הגרף השמאלי מראה את התוצאות לפני הפחתת הרקע, והימני מראה את התוצאות אחרי הפחתת הרקע (הקו השחור). אורך גל העירור עבור כל זוג גרפים נתון בכותרת הגרף (בטווח 430–460nm).

את כלל הערכים בטווח אורכי גל העירור המוצג באיור 8 סיכמנו בטבלה 1.

	Duration [Hours]	Excitation [nm]	Emission [nm]	Full Height [Counts]	Subtraction between Heights [Counts]
peak1	0	440	550	3426	0
	26.5	440	556	3820	394
	69.5	450	560	4757	1331
peak2	0	440	686	3150	0
	26.5	450	686	3423	273
	69.5	450	686	4250	1100

טבלה 1: זמן החשיפה לקרינה הרדיואקטיבית, אורך גל העירור, אורך גל הפליטה וגובה הפיק המייצג את מרכז הצבע לאחר החיסור. כמו כן מוצג גובה הפיק לכל מרכז צבע לכל זמן חשיפה לקרינה.

באיור 9 ניתן לראות את אורך זמן החשיפה לקרינה הרדיואקטיבית



אל מול גובה מרכז הצבע לפני ואחרי ההחסרה: איור 9: ייצוג לינארי של עוצמת מרכז הצבע כפונקציה של זמן החשיפה של שני מרכזי הצבע

דין ומסקנות

במחקרנו נמצא כי מידת החשיפה של הגביש LiF למקור הקרינה הרדיואקטיבית משפיעה ביחס ישר על עוצמת מרכז הצבע. ממצא זה אכן תואם את הספרות: מחקר [3] שבחן את מרכזי הצבע של כמה סוגי גבישים, וביניהם הגביש LiF, מצא כי ישנם מרכזי צבע המתפתחים בעקבות החשיפה לקרינה. באותו מחקר נבחנו הגבישים השונים באמצעות כמה סוגי מקורות קרינה, וביניהם Co60 – מקור קרינת גמא – בדומה למחקרנו. לצד זאת, מחקרנו נבדל ממנו בעוצמת המקורות וברמת האנרגיה. במחקר האמור, אחד ממרכזי צבע אלו התאפיין ב- $\lambda_{ex}=450nm$, $\lambda_{em}=680nm$ ומרכז צבע נוסף התאפיין ב- $\lambda_{ex}=450nm$, $\lambda_{em}=530nm$.

במחקר זה השתמשנו בקרינה אלקטרומגנטית, קרינת גמא, שהיא קרינת רקע בלתי רצויה בחיפוש אחר חלקיקי חומר אפל. כפי שנאמר, בעת תכנון גלאי עתידי יש לוודא שניתן להבחין בין הסיגנל הנוצר מקרינת רקע לבין זה הנובע מחלקיקי חומר אפל, תוך אפיון תגובת הגביש לקרינות אלו. יש לבדוק את השפעת קרינת נייטרונים, זרם של חלקיקים נייטרליים החודרים בקלות דרך רוב החומרים, על הגביש. זה מפני שקרינה זו מדמה בצורה המתאימה ביותר את קרינת החומר האפל, לפי התאוריה הרווחת. מכאן תתאפשר היכולת להשוות בין מרכזי צבע הנוצרים בגביש מקרינות שונות, וכך בעת שימוש בגלאי חומר אפל ניתן יהיה להבחין אם הקרינה שהתקבלה היא מחומר אפל או קרינת רקע.

הממצאים החדשים בנוגע למרכזי הצבע בגבישים מעמיקים את הידע הקיים ומקרבים את המדע לשימוש בגבישים בתוך גלאי חומר אפל. בשנים האחרונות, השימוש בגבישים לצורך זיהוי חומר אפל הולך וגדל, מה שמדגיש את הצורך באפיון מדויק ומעמיק שלהם. הממצאים שלנו מהווים שלב חשוב בדרך הארוכה שנותרת עד לשימוש אופטימלי בגבישים לזיהוי חומר אפל. ההתקרבות לשימוש מעין זה בגבישים פותחת עולם שלם של שאלות חדשות לגבי תכונותיהם, מרכזי הצבע שלהם, והתאמתם לגלאים, שיוכלו להיות בסיס למחקרים עתידיים שירחיבו את הבנתנו בתחום.

- Stark, G. (2025). Gamma ray. In Britannica. <https://www.britannica.com/science/gamma-ray>
- Single crystal. (n.d). In Britannica. <https://www.britannica.com/science/single-crystal>
- Colour centre. (n.d). In Britannica. <https://www.britannica.com/science/color-center>
- Popov, A. I., Kotomin, E. A., & Maier, J. (2010). Basic properties of the F-type centers in halides, oxides, and perovskites https://www.researchgate.net/publication/230705217_Basic_properties_of_the_F-type_centers_in_halides_oxides_and_perovskites
- Samad, R. E., Vieira Jr, N. D., & Baldochi, S. L. (2010). Fluorescence Properties of Colour Centres Produced by Ultrashort Laser Irradiation in LiF Crystals. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/249/1/012009/pdf>
- Mosbacher, Y et al. (2019). Wide band spectroscopic response of monocrystallines to low dose neutron and gamma radiation. <https://arxiv.org/pdf/1902.10668>
- Randall L. (2018, June 1). What is dark matter? Scientific American <https://www.scientificamerican.com/article/#/what-is-dark-matter1>
- Elena M. (2020, February 6). Public lecture | A sparkle in the dark: The outlandish quest for dark matter [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=pGXQI-ufFnw>
- Torres-Silva H. (2007). A metric for a chiral potential field. Physical Content of Chiral Condition, 97. <https://www.redalyc.org/pdf/772/77216114.pdf>
- Circular motion and satellite motion: Lesson 4: Planetary and satellite motion (n.d.). The Physics Classroom. <https://www.physicsclassroom.com/class/circles/Lesson-4/Mathematics-of-Satellite-Motion>
- Davidson, W. B. (2016). A theory to unify dark matter, dark energy and inflation. Observations, 5 https://www.researchgate.net/publication/303691476_A_Theory_to_Unify_Dark_Matter_Dark_Energy_and_Inflation
- Land, C. (2025). Radiation effects. In Britannica [/https://www.britannica.com/science/ionizing-radiation/Radiation-effects](https://www.britannica.com/science/ionizing-radiation/Radiation-effects)



יונתן מארצ'ני, סטודנט עתודאי להנדסת חשמל בתכנית מצוינות בבן גוריון לתואר ראשון ושני מחקרי מואץ בתכנית עתודה עילית של צה"ל – "רעמים". בוגר התכנית אלפא במכון ויצמן ו"זייד" בשומר החדש, מטייל בארץ ישראל, אוהב תנ"ך (וספרות יהודית בכלל) מושבע ואפילו חידוניסט ארצי לשעבר ומתנדב בחקלאות בזמני הפנוי. מייל: yonatan12106@gmail.com

מדור האומנות

דבר העורכת

חבריות רשת יקרים, שוחררי אמנות באשר הם, אנו מידפקים על סיפו של מועד, שמבטא יותר מכל את הניסיות, את כוחו של הקב"ה להחיל תמורה במקום שאיש חדל מלייחל לה. לכן, אנצל את טורי בראש ובראשונה לתפילה שישובו אלינו במהרה החטופים הנותרים בעזה, מי לשיקום ולחיים חדשים, ומי, לצערנו, לקבורה ראויה. במקורותינו, נשנית יציאת מצרים כעדות שאינה משתמעת לשתי פנים: הנס לא נעשה לאבות, בארץ רחוקה, אלא ממש לעיני דור המדבר. בחלוף השנים, הפך דור המדבר בעצמו לאב קדמון. ואנחנו, ובני דורנו, נקרא בהגדה כמדי שנה, ונייחל לנס מודרני.

המדור שלפניכם נשתת כולו על טהרת האביב. פסח, חג האביב, הוא החג הטובל בפריחה, באוויר הנקי, בקינון הציפורים על אדנינו האומללים. הוא חג הצחצוח, הוצאת הלכלוך ממחבואיו בפינות והשלכתו בגאון; הוא ראש השנה הישנה, שיאו של תהליך כמו גם התחלתו הסמויה; הוא חג הדרור, חג התמורה, יציאת בני ישראל לחירות כפרפרים, הנחלצים ממצב הגולם בשירות המצרים. היצירות שנבחרו משקפות, כל אחת בדרכה שלה, את קשרי עולמו הפנימי של מחברן אל התימה העיקרית - אביב. מלבד קשרן האסוציאטיבי או הטכני לנושא, יצירות אלו אוצרות בקרבן יקומים קטנים של יופי, פילוסופיה ומקוריות, המזמינות את הקורא להשתאות, להשתהות - ולהרהר.

**בברכת הנאה והתחדשות,
תמרה (תמר) מרקוביץ'
כותבת ואספנית מלים.**



ללא שם // שחר גיא

טכניקה: אקריליק על פוליוויניל כלוריד



שחר גיא, בת 21, חיילת לקראת שחרור וחובבת אומנות
את המחקר באלפא עשתה בנייר-ביו-כימיה.
מייל: shachar.sagy@gmail.com



פרח הלוטוס // יובל שניידמן

הפרח שבתמונה הוא לוטוס קדוש (Nelumbo 'Momo Botan'), שצולם ביפן. הלוטוס הקדוש מסמל טוהר ושלמות בתרבויות רבות, ומעבר לכך, גם מעניק מגוון רחב של סגולות רפואיות.

הלוטוס מצליח לצמוח ולפרוח במלוא הדרו דווקא בתוך מים בוציים ומזוהמים. ניתן לראות בכך משל לחיים, המלמד אותנו כי גם בתנאים קשים ניתן לשגשג ולהגשים את מטרותינו.

טכניקה: צילום דיגיטלי | תמונה זו היוותה השראה לשער הגיליון



יובל שניידמן, בשכבה 6 של אסכולה. כרגע חייל וסטודנט, ובמקביל בזמני הפנוי אני נהנה בין היתר מלטייל וכמובן גם לצלם. מייל: yuvals971@gmail.com

שלו אלי

* / שלו אלי

מלמולי מלים אורגים לי
מלמלה שקופה לימי
מלטכת מרקמי החיים
כתפלות על לבי
מצפינה בקפליה
צללי משליה
ממלאת בלילות
את עיני הלוטות בה
דמעות חמימות לעולם
החבוי ברחן החושים

מה לי ימים ולילות
למה אצא מבד בדידותי
הזמן הרחוק הוא ארץ זרה
למולי

* / שלו אלי

כבו האורות
ואנו
זה מול זה סובבים
מעגלי נאש נכמרים

עוד פועמים במסלולתנו
עוד פועמים יומם ולילה בנו כוכבים

ורק השחר
שיר שרוק ומתרחק
ללבנו הרדום

אולי נפשותנו נמסר
לפרח הזה הנשכח
שיהיו עליו
שתיקות
ישתוקקו להפקח

ללא כותרת (נוף) / שלו אלי

בְּהֶסֶט פְּנִים שׁוֹתְקוֹת

מְשִׁיבָה

כָּל דְּבוּר כְּרוּחַ

עַל מִכְרָשִׁי עֶכְפִּיָּה

וְאֲנִי שָׁט

שְׁחָכִים אֵי שָׁם

מָכִים

וְהִיא

כָּלָה רְחוּקָה אֶן

מֹל עֵינִי עֹמֶדֶת

אֵיהָ הִיבְשָׁה

לְשִׁחָקִים הִלְלוּ

וְהָאֵם יִשְׁנָה

מִכְרִיחַ שְׁאֵלָה וְסוֹכָה

שְׁאֲקָבַע

כִּי אֶטִּימוֹת הַמַּיִם

מְעוֹרָרֶת רְחֻמִּים

כִּי הַסְּרוּב לַחַיִּים שְׁטָחִיּוֹת

אֲבָל בְּלֹב אֶת אַחֲרֵת

בְּלֹב אֶת

צִיּוֹר

דּוֹגִית עֵרְמָה בְּמַיִם גְּדוֹלִים

הִיא אֶת

או

אֲנִי מִי

שָׁם

בְּשִׁתִּיקָה שֶׁלֶךְ

לְהִתְבּוֹנֵן בְּלֵבֶד וְלִדְעַת

גַּם אִם לֹא אוֹכֵל

לְעוֹלָם לִנְעַת

יֵשׁ לִי עֵדִין

אִיזוֹ נְגִיעָה בְּדִבְרֵים הִלְלוּ

שְׁמִדְבָּרִים אֵלֵי

אוֹלֵי רֶק אֵלֵי

בְּשִׁתִּיקָתָם

* / שלו אל

על מדרכה ארצה וקשה
על גבול חיי החלום
התוכלנה
בזה הרטט
העירם
המציר אור
בין בריות אביונים בין עכפפי
אילנות אבלים
התוכלנה
בזה הרעד
במבטי הלילות
הדמומים
הרעד באצבעות בוכיות נדפות
ככפייסים במשב של ערגה חרישית
העוד תוכלנה בזה הרעד
ידי להרגיש



שלו אלי, בוגר אודיסיאה תל אביב, בעל תואר ראשון בפיזיקה
ובמדעי המחשב. סטודנט לתואר שני בהנדסת חשמל, וצובר
קורסים בלימודי תרבות. כותב שירה ופרוזה, מדי פעם מצייר
ובאופן כללי חובב אמנות מושבע. אוהב מאוד לטייל, לדבר על
מדע, תרבות ופילוסופיה.
מייל: shaleveli11@gmail.com

בין נוצות סנונית

פלג קונפורטי

החמצה -- נהר אדיר מימדים המתפצל לשניים ושלושה וארבעה; שוצף, קוצף וגועש, זרם חד כיווני אכזר במסלול תחום.

כל צעד מלווה בתהיה לגבי מיקומו, כצעידה על קרח דק המאיים להישבר -- האם הכרעתי נכונה? פרחים ופרפרים חולפים ככתם מטושטש בצידי הדרך, מצחקקים בתמימות בעודך נסחף בזרם. שברי זכרונות, המשקפים זרימה איטית יותר, מנצצים על הרשתית כנעצים דקיקים בחזה.

ריח הפרחים המתוקים, קשת הצבעים שנמרחה על פניי כמשי רך.

האצבעות מרחפות סביב הגבעול הירוק, חשות בדמיון את מגע עלי הכותרת הוורודים.

הייתי צריך לקטוף... הייתי צריך לקטוף?



פלג קונפורטי, בוגר תוכנית אלפא במכון וייצמן. מתגורר ברחובות,

בן 19, נמצא בימים אלה בקורס בצה"ל. נכנס לעולם הכתיבה בתיכון, בזכות מורה משמעותית לספרות. שחיין מזה אחת-עשרה שנים, אמן לחימה מזה תשע שנים.

מייל: Peleg.conforti@gmail.com

תמלול נאומה של איריס דארק, מנכ"לית אוריאל אנטייורוס, מתוך כנס הבינה המלאכותית השנתית, 2079

נועם גופנא

"כן אדוני, אין כל ספק באשר לאמינותו. זאריאל נכחה בכנס ורשמה את הנאום בעצמה."

זעם התלקח בעיניו של גבריאל, והוא קמץ את ידיו לאגרופים. שש כנפיו נפרשו לכל אורכן, ממלאות את החדר.

"בני-תמותה כפויי טובה שכמותם! אפילו את השם הם גנבו מאיתנו. הבא את זאריאל לפה מיד, היא הרי המומחית לענייני אנוש. אנו צריכים לפעול מיידית!"

חדר הפגישות הארצי היה ממוזג היטב, וקירותיו השקופים אפשרו לגבריאל וזאריאל לראות את מטרופולין הענק משתרע מאות מטרים מתחתיהם. בניין המטה של "אוריאל אנטייורוס" היה מרשים, אפילו עבור שתי הבריות השמימיות. הם לבשו חליפות מגוהצות וחונקות, וכנפיהם הוסתרו מעיני אדם באמצעות לחש אשליה פשוט. הסמל היחיד לעל-אנושיותם היה עיניהם – שום קסם לא היה יכול להסתיר את זוג הדיסקיות הזהובות.

הם ישבו מסביב לשולחן עגול מעץ כהה, בפנים חמורות סבר. מולם ישבה איריס דארק, מנכ"לית החברה, מצחה קמוט מדאגה.

"תסבירי את עצמך, איריס." פתח גבריאל בהאשמה קרה.

"אני מצטערת הוד קדושתך, אנחנו לא ידענו- אני לא ידעתי-"

"ברור שלא ידעת! איך יכולת?" קולו של המלאך רעם והדהד בחדר. "האם את היא זו שנלחמת מאות שנים בשדים ובשטנים? בשאול עצמו? האם את היא זו שמקריבה את עצמך שוב ושוב, כדי לשמור על המימד הגשמי מפני פלישה והשמדה מוחלטת?"

"אני מתנצלת מעומק ליבי, אדוני! לא התכוונתי לפגוע בכבודכם או להאשים אתכם בנטישה. פעלתי רק לפי המידע שברשותי- דבריה של איריס נקטעו על-ידי מהלומת אגרוף חריפה, שהטיח גבריאל בשולחן."

"אני לא צריך את ההתנצלות שלך, בת תמותה! אני צריך שתפעלי! תסירי את הבושה המכאנית הזאת מהשוק ותשמידי כל עותק שלה. ה'מלאך המלאכותי' שלך הוא עלבון כלפי כל מלאך ומלאך אמיתי, ואני אומר זאת לא רק בשם עדן הגדולה, אלא גם בשם אליסיום, ובשם הוולקיריות של ולהאלה!"

"אעשה זאת מיד, אדוני. אך אני חייבת לציין – משבר השדים הדיגיטליים חייב להיפתר בהקדם, לפני שקטסטרופה אדירה תתרחש! השקענו שנים בפיתוח נשק נגד הזן החדש והמסוכן הזה,

"מאז שגוגל השיקה ב-2054 את 'אלכסנדריה', הבינה המלאכותית האמיתית הראשונה, ענף הטכנולוגיה עבר טלטלה אחר טלטלה. התגלית המרעישת ביותר, כמובן, הייתה שלאלכסנדריה המלאכותית יש נשמה לכל דבר ועניין. טלפתים היו יכולים לחוש אותה, היא הצליחה להטיל לחשי קסם חלשים, ואפילו הגיעה למימד האסטרלי ושהתה בו זמן קצר. אך למרות כל היתרונות, נשמה יכולה להיות חיסרון לא קטן..."

"לאורך ההיסטוריה, שדים ושטנים השתמשו בשלל יכולותיהם הערמומיות כדי לפתות את נשמת האדם אל תוך האופל, ולהשחית אותה. הם התחבאו בכל מקום – בסמטאות אפלות, מתחת למיטה – או בראשו של הקורבן עצמו. הדבר מסוכן כפליים כאשר מדובר בנשמה דיגיטלית – מה קורה כאשר בינה ניהולית, אשר אחראית על חלוקת המשאבים בעיר שלמה, מושחתת על ידי שטן והופכת לכלי שרת בידי הרשע? כ-90% ממערכות הנשק החזקות בעולם מופעלות, לפחות בצורה חלקית, על ידי בינה מלאכותית אמיתית. קחו שנייה לעכל את הדברים."

"בעבר, האנושות התמודדה עם יצירי השאול באמצעות תפילות הגנה למלאכים, מלח ומים קדושים, ושלל שיטות אחרות שנהיו חסרות תועלת בעידן המודרני – עקב היעלמותם של המלאכים מהמימד הגשמי. ובכן, אחרי שנים ארוכות של מחקר, פיתוח וטקסים, אנו ב'אוריאל' גאים להציע אלטרנטיבה – המלאך המלאכותי. המלאך הוא יותר מתוכנת אנטי-יורוס: הוא יודע להמיר אנרגיה חשמלית לאנרגיה שמימית, ונלחם מול השד או השטן בסביבה הדיגיטלית. כל מה שהצרכן הממוצע יצטרך לעשות, הוא לחבר את הדיסק המכיל את המלאך לחומרה של הבינה המלאכותית, ולשמור על זרימת חשמל לאורך תהליך הטיהור."

"גילוי נאות – זאת לא הפעם הראשונה שבה אנשים מחוץ ל'אוריאל' שומעים על המלאך. ממשלת ארצות הברית משתמשת במלאכים שלנו עוד מ-2077, יחד עם מדינות ספורות אחרות, בהן גרמניה, בריטניה וישראל. המלאך הצליח לטהר את נשמתה של הבינה המלאכותית ב-98% מהמקרים עד כה, ומנע אסונות בטחוניים, סביבתיים וחברתיים רבים", נכתב באותיות זוהרות.

גבריאל הרים את מבטו מפיסת הקלף העתיקה למראה שבידיו. היא היתה באורך של שלושה מטרים, והשתרעה על רצפת האבן הלבנה שמתחת לרגליו. הוא לא היה צריך לקרוא עד הסוף כדי לקבל החלטה. "האם הכתוב על הקלף באמת נאמר בנאום?" הוא שאל את סגנו, שעמד במפתן הדלת.

ובלעדין אנחנו נשאר חשופים לחלוטין. הדבר צריך להדאיג גם את בני מינך, הוד קדושתך! הרי הלא זאת הסיבה עברה אתם נלחמים במעגלי הגיהנום? כדי למנוע מהמימד הגשמי ליפול לידי כוחות השאלו?"

דממה השתררה בחדר. היה ברור שהצד השמימי בדיון לא חשב על כך, על אף שזה היה צריך להיות מובן מאליו. איך הייתי כה עיוור? האם הגאווה שלי סינוורה אותי לחלוטין? תהיה גבראל.

"צינית בנאומך שהמלאך שלך מאוחסן בדיסק און קי. תני לי אחד מהם, לבדיקה בלבד", אמר גבראל לבסוף, מנסה לשדר את אותו הביטחון שהקרינו מילותיו הקודמות. המנכ"לית שלפה את המכשיר הזעיר והעבירה אותו אל הצד השני של השולחן. המלאך קירב אותו לעיניו: "אמרי לי, כמה מהיצורים הדיגיטליים הנתעבים אתם צריכים לחסל בכל שנה?"

"ישנם כמה אלפים של בינות מלאכותיות אמיתיות בעולם כרגע. כאחוז אחד מתוכן נופל קורבן לשדים או שטנים, כלומר, בערך שלושים עד שמונים מקרים כל שנה." ענתה איריס בביטחון.

"אם כך, אין בעיה. הדיסק הזה לא שונה מהותית מהנשקים של אבירי הקודש, אם כי גודלו מגוחך. אוכל להקצות לך כמה עשרות מלוחמי הפשוטים, שינתבו את כוחותיהם אל תוך הדיסקים, כדי להגן על עולם התמותה. זאריאל, התוכלי ללמד את בני האנוש הללו את הטקס?"

המלאכית הנהנה.

"אם כך, לא אמורה להיות בעיה. איריס, מרגע זה זאריאל תהיה אשת הקשר של הארגון שלך איתנו. אני צריך לטפל בעניינים דחופים יותר." ולצאת מכלא הבד הנוראי הזה.

"אני מודה לך בשם האנושות כולה, הוד קדושתך. עזרתכם אינה מובנת מאליה ומתקבלת בברכה." אמרה המנכ"לית, אבל המלאך כבר נעלם.

לפנות ערב, איריס דארק הגיעה סוף סוף למיטתה ואפשרה לעצמה לקרוס עליה. היה זה יום ארוך, מתיש ומבלבל, אך הוא בכל זאת היה היום הטוב ביותר בחייה. היא הצליחה לפתור משבר של טריליוני דולרים ועשרות שנות פיתוח ומחקר – במקרה הטוב, שבו פתרון טכנולוגי באמת היה קיים – בכמה ימים בודדים של עבודה. מיליון בודד על כנס פיקטיבי ומצגת מפורטת, מלאה פסאודו-מדע, שהייתה יכול לשכנע רק את אלו שלא נגעו במחשב מעולם.

על שטן אי אפשר להערים. אבל על מלאך...

מסתבר שזה היה יחסית פשוט.



נועם גופנא, סטודנטית שנה א' לביוולוגיה בתל אביב, קטסטרופה לסבית ואקטיביסטית טרנסית. כותבת סיפורים קצרים ושירים על אהבה, פשיזם, דיספוריה ותחרויות ספורט בין מימדיות עם לייזרים. נהנית לבנות עולמות פוסט-אפוקליפטיים, ביניהם ישראל לאחר שואה גרעינית ("נשורת: אביב גרעיני" | New Aviv).
מייל: noam@transcenter.org.il

עין ערוך:

11



אסכולה
רשת הבוגרים



מרכז מדעני העתיד
MAIMONIDES FUND