

התערבות מדינתית בתעשיית הייצור הטכנולוגי כאינטרס לאומי

פרק זה יוקדש לדיון בשאלה אם ישראל צריכה לגבש מדיניות ביחס להשקעה בטכנולוגיה, בראי צרכיה והערכת עתיד הביטחון הלאומי. הנחת העבודה היא כי אין זה מעניינה של ישראל לקדם חקיקה בקנה מידה אמריקאי או אירופי, אולם לאור המגמות העולמיות, מצבה הנוכחי של ישראל וקצב הפיתוח האקספוננציאלי של הטכנולוגיה, אין די במגזר הפרטי ובכוחות השוק לבדם להבטחת מעמדה כמעצמת היי־טק לאורך זמן, ולכן רצוי ומומלץ לבחון מדיניות ממשלתית עדכנית בנושא.

התערבות ממשלתית בכלכלה במשטרים דמוקרטיים ליברליים היא גישה שנויה במחלוקת. לאורך ההיסטוריה מדינות נקטו "מדיניות תעשייתית", קרי התערבות לצורך מתן העדפה מתקנת למגזר מסוים בשם אינטרסים לאומיים, במקרים שבהם למדינה היה אינטרס לקדם תעשייה מסוימת, אולם למגזר הפרטי לא היה אינטרס עסקי לפעול.⁵⁸ במרבית המקרים מדינות בחרו לממן השקעה ראשונית במחקר ופיתוח או לסייע במימון הסיכון כדי לעודד יזמים ומשקיעים פרטיים להצטרף, ולאורך השנים צמצמו את אחיזתן והשקעותיהן בתעשיות להטבות בדמות סבסוד מיסוי ומכסים בלבד.

שוק הטכנולוגיה בישראל והמקרה של מגזר ההיי־טק ממחישים היטב את יתרונותיה של גישה זו. ואולם הצלחה זו נובעת בין השאר מכך שההיי־טק הישראלי מתרכז במגוון מצומצם יחסית של תחומים טכנולוגיים מבוססי תוכנה, שאינם מצריכים השקעה ממשלתית גבוהה במחקר ופיתוח. מבלי להמעיט בערכן ובחשיבותן של התעשיות הביטחוניות ובפיתוחים של חלק הארי מחברות הסטארט־אפ, מודל זה אינו בר־קיימא לנוכח קצב וסוג השינויים הטכנולוגיים בתחום החומרה, המהווה בסיס הכרחי לתעשייה כולה. יתרה מכך, כבר עתה מזוהה שחקיקה במעמדה של ישראל כמדינה חדשנית המוכנה לקליטת טכנולוגיות עתידיות.⁵⁹ מגפת הקורונה ומלחמת רוסיה־אוקראינה הובילו למשבר חמור בשרשראות האספקה, העלו את קרנם של מפעלי ייצור מקומיים ושברו את מודל הסחר הגלובלי. זוהי התפתחות ייחודית לא רק משום שמודל שהתבסס במשך 70 שנה משתנה לנגד עינינו, אלא גם משום שהוא מבטא שינוי עמוק יותר בתהליכי החדשנות של התעשייה הטכנולוגית. האקוסיסטם הדרוש לחדשנות הוא תמהיל מגוון המשלב יכולות מחקר ופיתוח לצד יכולות ייצור מקומיות. ישראל אינה צריכה או אינה יכולה לשאוף להפוך למעצמת ייצור, אולם עליה לגבש ולבחון

את הצעדים שיקרבו אליה את יכולות הייצור המתקדמות, וכך היא תשמור על מעמדה כמעצמה טכנולוגית מובילה בעולם.

הטכנולוגיה העתידית מתבססת יותר מאשר בעבר על שיתוף פעולה בין יזמים טכנולוגיים לאקדמיה ועל תשתיות חישוב מתקדמות ביותר, המבוססות על טכנולוגיות ייצור מתקדמות ושבבים. היסודות הללו, תשתיות ייצור טכנולוגיות והשכלה, הם המשאב הלאומי של זמננו. ההשקעה בכל אחד מהם לצורך קפיצת המדרגה הרצויה מוערכת בהון ובסיכון שהם מעבר לגבולות היכולת של משקיעים פרטיים, אפילו הגדולים ביותר, ללא סיוע ממשלתי. בעידן שבו מוליכים למחצה הם רכיב ליבה בכל מוצר טכנולוגי, והשבבים המתקדמים הם שמאפשרים את השימוש בבינה מלאכותית ואת תשתית התקשורת שמשמשת את תעבורת המידע באינטרנט ואת ה־IoT (האינטרנט של הדברים), לא בכדי מכונים השבבים "הנפט של המאה ה-21". אם השבבים דומים למשאב טבע כמו הנפט, הרי מדינות הפועלות לאיתור משאבי טבע בשטחן או שואפות לעצמאות אנרגטית צריכות לגבש מדיניות בתחומים הקשורים לחומרה ולשבבים.

תעשיות הייצור הטכנולוגי בישראל: תרומתה של ההשקעה הממשלתית להצלחה העולמית

ישראל ידועה כאחת המדינות החדשניות בעולם וכמרכז יזמות בתחום ההיי־טק. מגזר זה כולל פעילויות המזוהות עם מגזר המחקר והפיתוח בקשת עצומה של תחומים, כמו גם מגזר הייצור (אלקטרוניקה, ביוטכנולוגיה) ופעילויות המזוהות עם מגזר השירותים (תכנות מחשבים, אבטחת מידע, בינה מלאכותית). מאז התהוותו של ההיי־טק בישראל תמהיל החברות והתעשיות בו שילב מו"פ, ייצור ושירותים שסיפקו מענה טכנולוגי חדשני לצרכיה ולאתגריה של המדינה. כך למשל, בשנת 1958 הפך חיל המדע לרשות לפיתוח אמצעי לחימה (רפא"ל), שנחשבה לתעשייה ביטחונית המייצרת נשק איכותי וטכנולוגיה עילית, ובשנת 1965 הוקמה חברת 'נטפים' שפיתחה וייצרה את טכנולוגיית ההשקיה באמצעות טפטפות, אשר לימים סיפקה טכנולוגיה חקלאית מתקדמת באזורים שבהם מקורות המים מצומצמים.

סוד ההצלחה של תעשיית ההיי־טק הישראלית מוסבר על פי רוב בשילוב בין העוצמה הטכנולוגית לבין מדיניות שוק חופשי. הידע שנצבר באקדמיה ובתעשיות הביטחוניות היווה בסיס ליוזמה פרטית שנהנתה מהטבות מס ומהתערבות מזערית עד אפסית מצד הממשלה. הגישה הישראלית דומה לזו של קרן הון סיכון פרטית, המממנת את עלויות ההשקעה

הכבדות ומאפשרת את קפיצת המדרגה לרווחיות. אך בניגוד לקרנות הון סיכון פרטיות, אשר גובות את רווחיהן בשלב המיזוג או המכירה ("אקזיט"), דווקא בשלב זה המדינה מאבדת נכס מניב ופוטנציאל רווחים עתידי. במרבית המקרים עיקר הפעילות העסקית של החברה יוצאת משטח ישראל, והדבר תורם בעקיפין לאי־השוויון ולפערים החברתיים. הגם שקיימת הסכמה על כך שהשילוב בין חשיבה חדשנית לבין תהליכי ההפרטה ופתיחת השוק להשקעות זרות אפשר לישראל לטפס להישגים כלכליים חסרי תקדים, הסבר אחר להצלחה הישראלית הוא שההישגים המשמעותיים של תעשיית הטכנולוגיה הם דווקא תוצאה של מדיניות ממשלתית שהונהגה עד אמצע שנות ה־90 של המאה הקודמת.⁶⁰ על פי גישה זו ישראל הפכה ל"מדינת סטארט־אפ" בזכות מדיניות ממשלתית מוגדרת וחקיקה שאיזנה בין האינטרס הפרטי לציבורי. גישת השוק החופשי שהונהגה ביתר שאת בשני העשורים האחרונים גורמת לתחושת אשליה שהמגזר הפרטי מסוגל לדאוג לאינטרס הציבורי אולם בפועל, עיתות המשבר (התפרצות הקורונה, עימותים פנימיים) מבטאות את רגישותו של מודל זה לזעזועים ואת הסיכונים בהישענות על שוק חופשי כמדיניות.

הניסיון הישראלי החל משנות ה־70 לימד כי מדיניות תעשייתית, שבאה לידי ביטוי בהגדרת יעדים לאומיים ומדיניות, ושילוב כוחות בין מוסדות ממשלתיים לבין התאחדויות יזמים ותעשיינים היוו מנוע הכרחי למאמצי הפיתוח ולהיווסדות התעשיות הטכנולוגיות, שבהצלחתן ישראל מתפארת היום. שילוב הכוחות שהחל בשנות ה־70 היה נרחב וכלל תוכניות והשקעות של משרד האוצר במחקר ופיתוח תעשייתי, מתוך הנחה שחברות ישראליות לא יוכלו לשאת לבדן בסיכון הכלכלי. מדיניות זו נתמכה גם בהמלצות של ועדה ממשלתית שהוקמה בראשות פרופ' שמעון יפתח ב־1984, שעודדו לקדם "מדיניות טכנולוגית לאומית מתואמת".⁶¹ ועדה זו הכירה בכך שהתערבות ממשלתית במשק תהא לא שגרתית, אולם בלעדיה לא ניתן לחולל שינוי בקנה המידה הדרוש כדי להבטיח צמיחה. בתוך כך דובר על הגדלת ההשקעה הממשלתית באוניברסיטאות לצורכי מחקר בסיסי במגוון רחב של תחומים טכנולוגיים. לאורך השנים התחזקו הקשרים בין האוניברסיטאות ומכוני המדע לבין המגזר הפרטי, והדבר קידם מאוד את המחקר והפיתוח של הטכנולוגיות המתקדמות. משרד המדען הראשי, שלימים הפך לרשות החדשנות, הוקם באותן שנים לצורך מימוש תפיסה זו. מוסד זה זכה לסמכות ולתקציב שבזכותם מימש את המדיניות הטכנולוגית הממשלתית. ב־1984 נחקק 'חוק עידוד מחקר ופיתוח תעשייתי', שמתוקפו פועלת רשות החדשנות עד היום. הקרנות שנוסדו באותן שנים הן המעניקות כיום תמריצים מטעם המדינה למימון תהליכי מחקר ופיתוח במיזמים פורצי דרך. אחד משיאי ההתערבות הממשלתית

באותה תקופה היה כינון קרן השקעות ממשלתית בשם 'תוכנית יוזמה', בסכום של מאה מיליון דולר. קרן זו הייתה מקור ההשראה לקרנות פרטיות, שנוסדו על פי ההיגיון הממשלתי כדי לעודד את החברות הישראליות לפעול בסביבה הטכנולוגית עתירת הסיכונים. ההצלחה הישראלית בתחום החדשנות הטכנולוגית משכה חברות בינלאומיות להקים בישראל מרכזי מחקר ופיתוח שגייסו את המהנדסים המצטיינים לשורותיהם. נוצרה מערכת יחסים משולשת בין מדענים, יזמים ומשקיעים זרים, שהפכה לתנאי הכרחי לקידום המשק.

מתמיכה ממשלתית למודל של שוק חופשי

משבר ההיפר־אינפלציה שחוותה ישראל בשנות ה־80 דחק לשינוי מדיניות ולמעבר מכלכלה ריכוזית ומפוקחת לכלכלת שוק פתוחה ומודרנית. במקביל, צמיחתה של תעשיית הסחורות הזולות באסיה עודדה את הממשלה, בדומה למדינות רבות במערב ובראשן ארצות הברית, להעדיף את היבוא הזול על פני השקעה בייצור מקומי יקר בישראל. בכוונת מכוון הביאה ממשלת ישראל לסוף עידן הייצור העצמי, ובכך למעשה הצטרפה ישראל לתהליכי הגלובליזציה. בתחילת שנות ה־90, עם נפילת ברית המועצות, עלו לארץ מאות אלפי יהודים סובייטים, מרביתם מהנדסים ומדענים בעלי מיומנות גבוהה, אשר השתלבו במחקר ופיתוח הטכנולוגיות האזרחיות ותרמו תרומה אדירה להסבת המשק מכלכלת ייצור לכלכלת מו"פ. עליית האינטרנט וקפיצת המדרגה בשכבת התוכנה ובביקוש ליישומים יצרו מרחב חדש של הזדמנויות ליזמים הישראלים לקידום חברות עתירות מו"פ מבוססות הון אנושי, שאינן זקוקות למתקני ייצור גדולים או ליכולות ייצור נרחבות אחרות. בזמן שמדינות מתקדמות בעולם התקשו להשתלב בתעשייה, ישראל הצליחה להוביל ביוזמה וביצירתיות את טכנולוגיות התוכנה ולעודד יותר חברות זרות להגדיל את השקעותיהן. בעקבות זאת נוצרה בארץ העדפה מובנית למגזר השירותים, בפרט לטכנולוגיות המידע והתקשורת (ICT), ותעשיות הייצור נדחקו לשוליים.

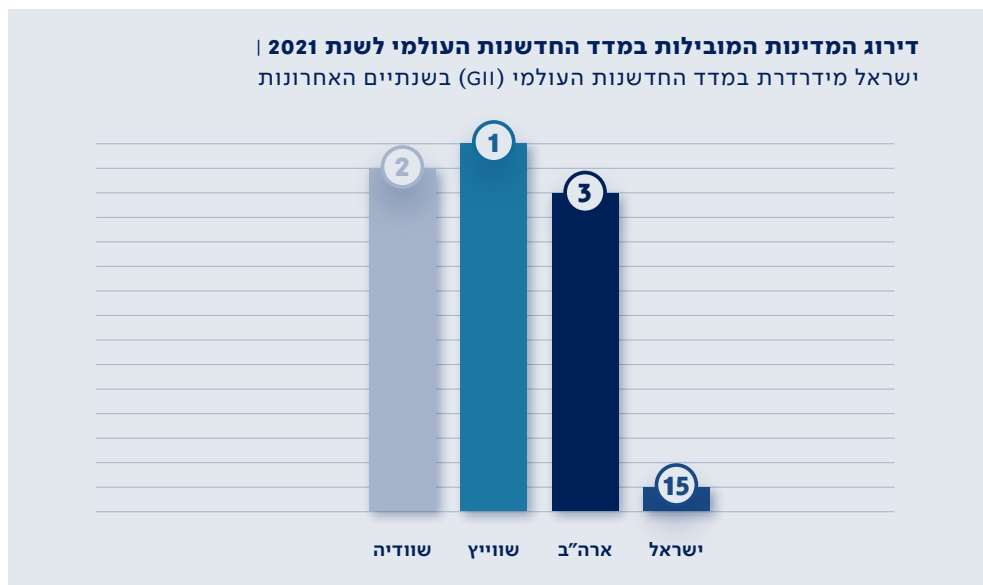
עד תחילת שנות ה־2000, מקבלי המענקים הממשלתיים שהצליחו להשלים את תהליך המחקר והפיתוח חויבו לקיים את תהליך הייצור בישראל, הגם שכבר אז היה ברור לכול כי בחסות הגלובליזציה משתלם יותר לייצר במקומות אחרים, בפרט באסיה. יתרה מכך, נאסר על חברות שזכו למענקים ממשלתיים למכור או להעביר את הפעילות לחברות שפועלות מחוץ לגבולות המדינה. הגבלות אלה, שנועדו לחזק את התעשייה במישורן, להגדיל את מספר מקומות העבודה ולחזק את התשתיות, הובילו לצמיחתן של ענקיות טכנולוגיה מתוצרת כחול־לבן שגם הקימו מפעלי ייצור, בעיקר באזורי הפריפריה.

בתחילת שנות ה-2000 צומצם האיסור על העברת הקניין הרוחני אל מחוץ לגבולות המדינה, וכפועל יוצא צומצמה גם החובה לייצר בישראל. שינוי זה היה תוצאה של מאבק שהובילו קרנות הון סיכון בישראל, שמחו על כך שהגבלות היצוא מרחיקות משקיעים זרים ופוגעות בצמיחתן של חברות הסטארט-אפ. גישתן של קרנות הון סיכון הייתה ששוק חופשי הוא תנאי הכרחי לצמיחה, והסרת ההגבלות תאפשר כניסת הון זר שהכרחי לצמיחה של המשק. עם זאת, שינוי זה טמן בחובו פגיעה באינטרס הלאומי הכולל, משום שהוא גרם לממשלה לאבד שליטה על נכסים ששמרו על המרקם החברתי והדמוגרפי. ארגוני תעשיינים הזהירו מפני הפגיעה הפוטנציאלית, וההגבלות עצמן הפכו למנגנון קנסות לחברות שיבחרו למכור בעלות על הקניין. מנגנון זה לא הרתיע את היזמים, שגילמו את הקנס בעלות המכירה או מצאו דרכים אחרות להמירו בהשקעות אחרות.

שינוי החקיקה האמור הוא שהוביל לכניסתן הרחבה של החברות הרב-לאומיות לישראל. אלה אומנם היו כאן עוד טרם שינוי החקיקה, אולם נוצרה מציאות שבה אין לחברת חומרה ישראלית אינטרס להשלים תהליך תעשייתי שלם. היזם הישראלי, שנתמך בעיקר על ידי קרנות הון סיכון פרטיות, שואף למכור את החברה שלו בשלב הוכחת היתכנות, מה שמאפשר לו רווח מרבי ללא צורך בהשקעת עלויות הייצור.

בחסות ההרחבה של ההשקעות הזרות ישראל התעצמה והתחזקה כמעצמה טכנולוגית וחממת סטארט-אפ בינלאומית. ההון האנושי הישראלי רשם פריצות דרך היסטוריות ואפשר לתעשייה הישגים חסרי תקדים. אולם מאז פרוץ מגפת הקורונה בשנת 2020 ועל פי נתונים שפרסמה רשות החדשנות בדוח לשנת 2022, נראה שאנו בעיצומו של שינוי מגמה מדיגיטלי. חרף השיאים שנרשמו בשנים האחרונות לטובת מדינת ישראל (בכלל זאת שיא גיוס הון בסך כולל של 27 מיליארד דולר, 40 חברות ישראליות שחצו את קו השוויו של מיליארד דולר, ו-75 חברות ישראליות שחצו את שלב ההנפקה), אין בכך די להבטחת המשך ההובלה העולמית והצמיחה של התעשייה. הטכנולוגיה מחוללת תמורות גלובליות, ולמעשה כאשר קצב הפיתוח מואץ ומלווה בהשקעות עתק יחסי הכוחות הגלובליים משתנים, כך שמדינות שיעמדו בקצב המחקר והפיתוח יהפכו לכוח רב-השפעה גלובלית. מדינות שלא ישכילו להשקיע את ההון הדרוש לטובת החדשנות יישארו מאחור, הן מבחינה כלכלית והן מבחינה חברתית וביטחונית.⁶²

תרשים 9: דירוג המדינות המובילות במדד החדשנות העולמי (2021)



מקור: דו"ח שנתי – מצב ההיי־טק 2022

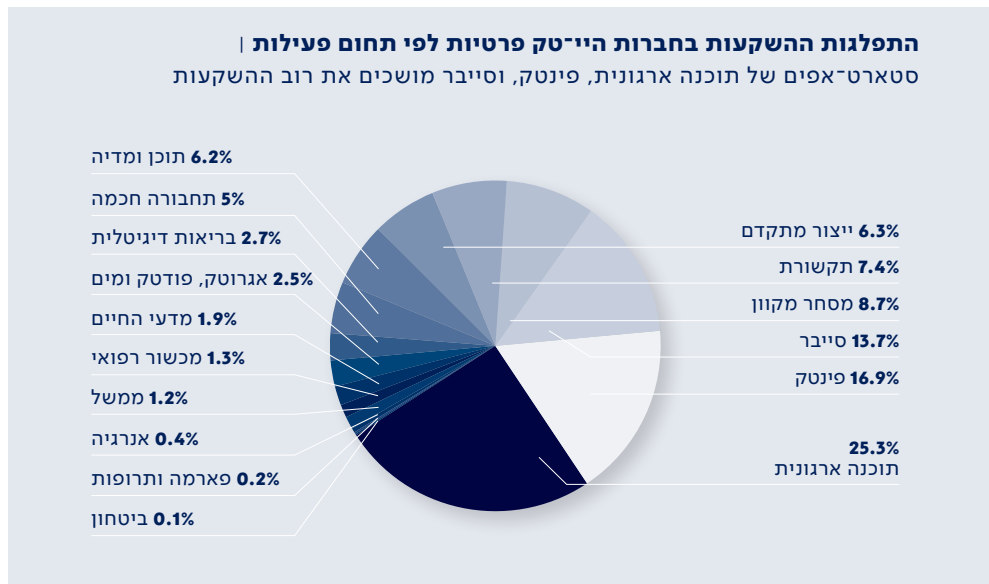
תרשים 10: הדירוג של ישראל במדד החדשנות העולמי (2009-2022)



מקור: דו"ח שנתי – מצב ההיי־טק 2022

בין האתגרים שרשות החדשנות הציגה בדוח שפרסמה היא הבליטה את המחסור ההולך וגדל בעובדים מיומנים למשימות פיתוח, שגורם להעברת פעילויות מו"פ למדינות אחרות. הדבר מחליש את שוק העבודה בישראל וחמור מכך – את פוטנציאל החדשנות. אף על פי שסך ההשקעה במו"פ בישראל (נתון שמתייחס גם להשקעות המגזר הפרטי) הוא הגבוה בעולם – יותר מחמישה אחוזים מהתמ"ג, ובפועל הוא מרוכז במגוון מצומצם יחסית של טכנולוגיות (בראשן תוכנה וסייבר) – מה שמקשה על המדינה להתרחב ולהתפתח בתחומי טכנולוגיה נוספים. בהקשר זה ראוי להזכיר כי הירידה של ישראל בדירוג החדשנות העולמי (GII) בשנת 2015 נבעה מקיפאון בהיקף ההשקעות הממשלתיות במחקר ופיתוח, בהשוואה לעלייה בהשקעות של מדינות אחרות באירופה ובאסיה, והתיקון שנעשה בהקשר זה מאז שיפר את מצבה של ישראל. נתון נוסף שמחזק את החשש אשר לגיוון ולפיזור הסיכונים בהקשר זה הוא שמספר חברות ההזנק (סטארט-אפ) החדשות בישראל נמצא בירידה מזה מספר שנים. נראה כי רק ארבעה אחוזים מהחברות שגייסו הון ב־2021 (1.1 מיליארד דולר) התקדמו לשלב ה־Seed. יותר ממחצית מסך ההון שגויס על ידי חברות טכנולוגיה פרטיות בישראל בשנת 2021 הגיע לשלושה מגזרים בלבד, כולם מבוססי תוכנה.⁶³

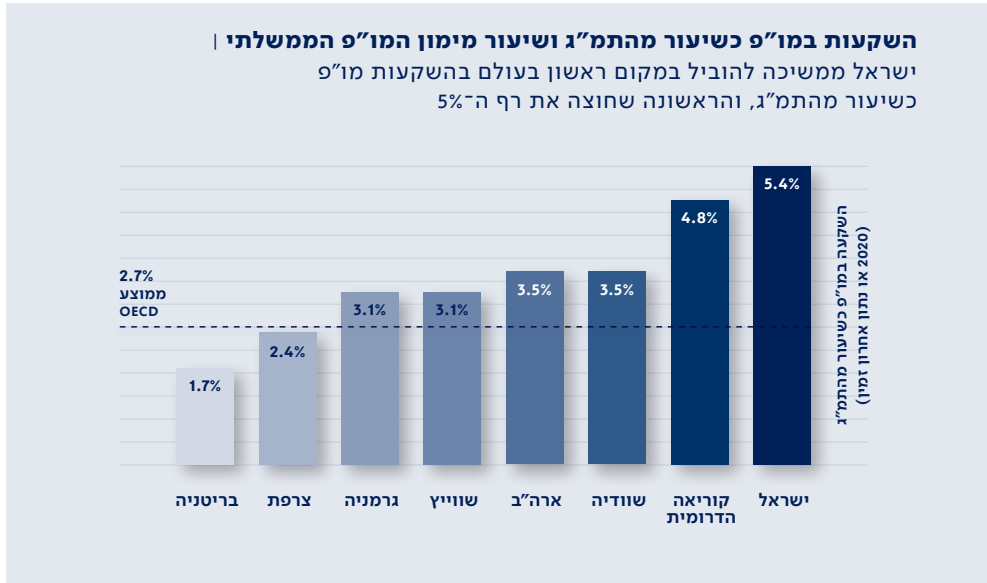
תרשים 11: התפלגות ההשקעות בחברות היי־טק פרטיות (לפי תחום פעילות)



מקור: דו"ח שנתי – מצב ההיי־טק 2022

החקיקה הטכנולוגית בעולם מעידה על השקעות הולכות וגדלות של המגזר הציבורי והמגזר הפרטי בתחום ייצור החומרה בכלל והשבבים בפרט, בין השאר מתוך הבנה שזהו תחום הכרחי לחדשנות בעידן הנוכחי של למידת מכונה ובינה מלאכותית. בעבר העדיפו ענקיות טכנולוגיה להקים את מרכזי הפיתוח במקום שבו ניתן יהיה לגייס מוחות, אך כיום מתחזקת גישה הפוכה שדוגלת בקרבה בין מפעלי הייצור למרכזי הפיתוח כתנאי לחדשנות. בעוד שאת מפעלי הייצור קשה להעתיק ממקום למקום, מרכזי הפיתוח נחשבים כמעט "וירטואליים" וחסרי שורשים. מחקרים שנערכו בנושא בקרב ענקיות הטכנולוגיה מעידים כי חלק ניכר מהתפתחות של חברה הוא למידה של תהליכי הייצור והיישום של הטכנולוגיות המפותחות.⁶⁴ לכן, כדי להבטיח הצלחה, שרשרת הערך כולה צריכה להיות מרוכזת יותר, בעדיפות לסמיכות גיאוגרפית.⁶⁵ התייחסות לכך מצויה בדוגמה המפורסמת של חברת קודאק (Kodak). חרף היותה מובילה טכנולוגית בתחום ייצור המצלמות, היא לא הצליחה להוביל את מהפכת הצילום הדיגיטלי. כשבכירי החברה נדרשו להסביר את הכישלון הם טענו שהחברה עסקה במחקר ופיתוח של מצלמות דיגיטליות שנים לפני המהפכה, אך למעשה פס הייצור הועבר ליפן ומרכז הפיתוח בארצות הברית עבר להתמקד בפיתוח טכנולוגיית וידאו. הניתוק שנוצר בין המו"פ לייצור הכשיל את החברה, ולא נותרה ברירה אלא להעתיק את מרכז הפיתוח ליפן ולהשתלב בשוק באיחור ובמחיר כבד.

תרשים 12: השקעות במו"פ כשיעור מהתמ"ג ושיעור מימון המו"פ הממשלתי



מקור: דו"ח שנתי – מצב ההייטק 2022

מחקרים אלה אינם מתיימרים לטעון בהכרח שבכל תעשייה טכנולוגית הפיתוח והייצור חייבים להתקיים באותה מדינה, אולם הם כן מראים כיצד החדשנות הטכנולוגית בתחום החומרה ובתעשיות אלקטרוניקה, ובפרט השבבים המתקדמים בהנדסה ביורפואית ובהנדסה כימית, היא פרי עבודה משותפת של פיתוח וייצור. זוהי אחת הסיבות לכך שמדינת ישראל הצליחה לעודד את אינטל להקים את מפעל השבבים בקריית גת, בסמיכות למרכזי הפיתוח, וזוהי גם הסיבה לכך שכאשר ענקיות טכנולוגיה יקימו מפעלי ייצור בארצות הברית ובאירופה הן יעדיפו למקם אותם בסמיכות למרכזי הפיתוח והחדשנות. מפעל השבבים של אינטל בקריית גת עשוי להיות אבטיפוס למודל שמשלב תכנון שבבים וייצורם באותו אזור גיאוגרפי, ובכך להדגים את יעילות המודל אל מול המבנה המסורתי של תכנון שבבים במערב וייצורם באסיה. מבחינת ישראל יש ערך משמעותי בהגדלת החתימה היצרנית בישראל ובקירוב המדינה לשרשרת האספקה הנבנית מחדש. בהקשר זה יש לציין כי חברת אינטל הכריזה בחודש יוני 2023 על בנייה של מפעל שבבים מתקדם נוסף בישראל, בהשקעה של כ-27 מיליארד דולר.⁶⁶

עם זאת, בהתאם למגמות הנוכחיות, השקעות העתק במחקר ופיתוח וקידום תעשיות הייצור המקומי בעולם עלולות לבוא על חשבון השקעות בישראל, ואף למשוך את היזמים והמוחות הישראלים לחו"ל. שיטת הפעולה הנוכחית וההטיה המובנית לטובת מגזר השירותים הטכנולוגיים קרובה למיצוי ועלולה להוביל להיפוך מגמה. תמהיל מאוזן בין מגזר השירותים למגזר הייצור הכרחי לשמירה על החדשנות הטכנולוגית ועל מעמדה של ישראל כמדינת סטארט-אפ.

בחזרה לתשתית: השקעה ממשלתית במחקר, פיתוח וייצור לטובת חדשנות טכנולוגית

במסע הבחירות של הנשיא ג'ו ביידן הושמעה הסיסמה: "לבנות מחדש, טוב יותר". הנשיא ביידן זיהה את הפער העמוק בכלכלה האמריקאית, שוויתרה על מפעלי הייצור החיוניים שלה, וקרא לבנות מחדש את התשתית היצרנית במדינה למען העתיד, לנוכח הבנת חשיבותם של מפעלי הייצור במאזן העוצמה ותרומתם לחדשנות ולמימוש האינטרסים הלאומיים, הביטחוניים והחברתיים. העיתוי אינו מקרי, כמובן. כפי שכבר צוין, המאבק מול סין ותוכניותיה הלאומית היה שיקול מכריע בהחלטה, אולם הלקח החשוב שלמדה ארצות הברית רלוונטי במידה רבה גם להתמודדות עם אתגריה הנוכחיים של ישראל – המדינה זקוקה לתשתיות ולקפיצת מדרגה במחקר ובפיתוח כדי להדביק את קצב השינוי הטכנולוגי. תעשיות הייצור על סוגיהן ותשתיות מתקדמות לצורכי מחקר ופיתוח נחשבות קשות להקמה ולתפעול ללא התערבות ממשלתית. ישנן עדויות רבות בהיסטוריה לקשר בין השקעה ציבורית לייצור, וניכר שבהיעדר השקעה ציבורית הייצור נזנח. המקרה של ארצות הברית ושל מדינות נוספות באירופה ממחיש תיאור זה. אלכסנדר המילטון, מזכיר האוצר הראשון של ארצות הברית, פרסם ב־1791 מסמך שקרא לתמוך בהקמת מפעלי הייצור בארצות הברית ולממן את פעילותם באמצעות הקלות מכס וסבסוד מיסוי. מדינות אירופה גיבו ותמכו בתעשיות הברזל והחקלאות, בייצור רכב ובמטוסים. ההשקעות הממשלתיות נועדו בראש ובראשונה להבטיח היצע לביקוש המקומי אך גם ביטאו עוצמה, בין השאר בשל הזיקות בין תעשיות הייצור הביטחוניות לעוצמה הצבאית.

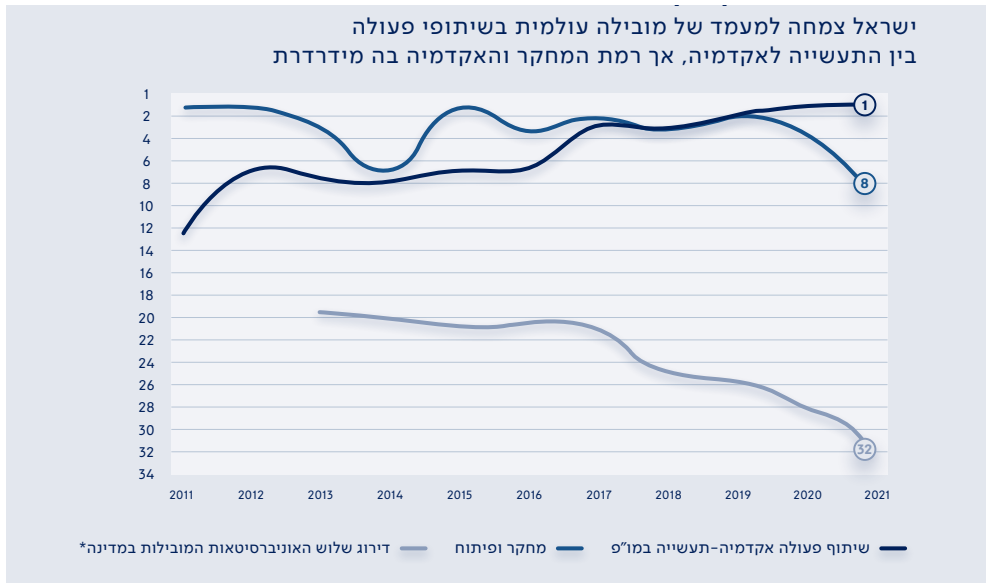
גישה זו של השקעה ממשלתית בייצור במדינות המערב נשמרה עד לימים שאחרי מלחמת העולם השנייה, כיוון הסכם הסחר העולמי ונדידת מערכי הייצור למדינות אסיה במסגרת הגלובליזציה. מהמחצית השנייה של המאה ה־20 ואילך העולם המערבי ממשיך להשקיע במחקר ופיתוח, בחדשנות ובתעשיות רגישות בהתאם לצורכי הביטחון, אולם חלקו בסך הייצור בעולם הולך ופוחת לאורך הזמן, עד כדי אובדן היתרון היחסי לטובת

מדינות אסיה. שוק העבודה השתנה באופן שבו לא ניתן להתחרות כיום בהעסקת עובדים במדינות כמו סין, הודו ובנגלדש, והתוצאה היא תלות כמעט מוחלטת של המערב בייצור ההמוני שמתקיים באסיה.

על פי הגישה הליברלית הנהוגה במרבית מדינות המערב, כלכלת שוק חופשי – אף במחיר של פגיעה במפעלים מקומיים – עדיפה על פני התערבות שנתפסת כמעכבת צמיחה וחוסמת תחרות ויצירתיות. את מקומם של מפעלי הייצור בתוצר המקומי הגולמי של מדינות המערב תפס מגזר השירותים, שאליו משתייכת גם תעשיית ההיי-טק. מאחר שזוהי תעשייה עתירת הון היא כמעט אינה מצריכה התערבות ממשלתית, למעט במקרי סיכון. בימייה הראשונים של התעשייה הצעירה והמתפתחת בישראל, השקעת הממשלה באקדמיה ובמכוני המחקר אפשרה הנבטה של פרויקטים פורצי דרך. ואולם בשנים האחרונות, נוכח הירידה בהשקעה במוסדות ההשכלה הגבוהה מזוהה פגיעה באיכות וברמת המחקר והפיתוח, שמאיימת על היתרון היחסי של ישראל ביחס לאוניברסיטאות אחרות בעולם. כסף פרטי של חברות ישראליות וזרות מושקע באקדמיה במחקרים המשרתים את צורכיהן העסקיים, אולם אין בכך די להבטחת האינטרסים הלאומיים של ישראל או היתרון היחסי שממנו נהנתה עד כה. יתרה מכך, מסתמנת מגמה מדאיגה של ירידה בהיקף המוחות וההון האנושי שבוחר להישאר באקדמיה ולהמשיך במחקר ופיתוח. זוהי אומנם מגמה רחבה בעולם, אך עבור מדינה קטנה כמו ישראל, שנשענת על חדשנות ויצירתיות, זוהי בשורה מדאיגה במיוחד.⁶⁷

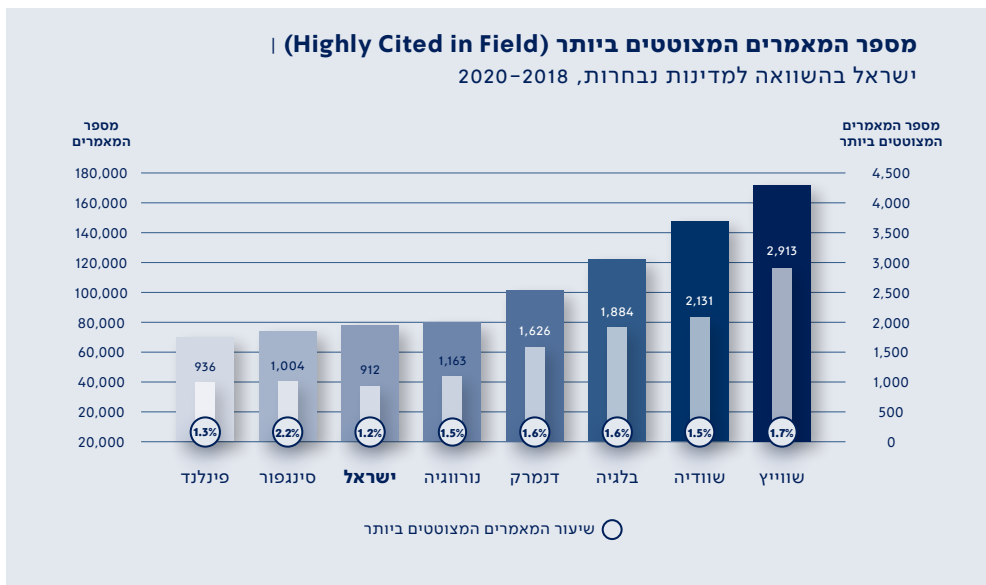
שיתופי הפעולה בין מוסדות אקדמיים באירופה לבין התעשייה הטכנולוגית יוצרים תחרות וקושי לישראל. חרף ההצהרות של ענקיות הטכנולוגיה על כוונתן להרחיב את פעילות המחקר והפיתוח בישראל בשנים הקרובות, מצב השוק בעולם, תוכניות ההתייעלות של ענקיות התוכנה והחשש מפני מחסור בעובדים מתאימים עלולים להוביל אותן לחשב מסלול מחדש. לנוכח המשבר מרבית החברות מחפשות אפיקי חדשנות וצמיחה, וכדי להבטיח את המשך ההשקעה בישראל נדרש להבטיח את עתיד התשתיות וההון האנושי. מגמה זו עתידה להחריף נוכח החשש העצום מהשלכות המהפכה המשפטית והמוטיבציה הפוחתת של האקדמיים לשוב למשרות מחקר בישראל.

תרשים 13: דירוג ישראל במדדי חדשנות עולמית נבחרים



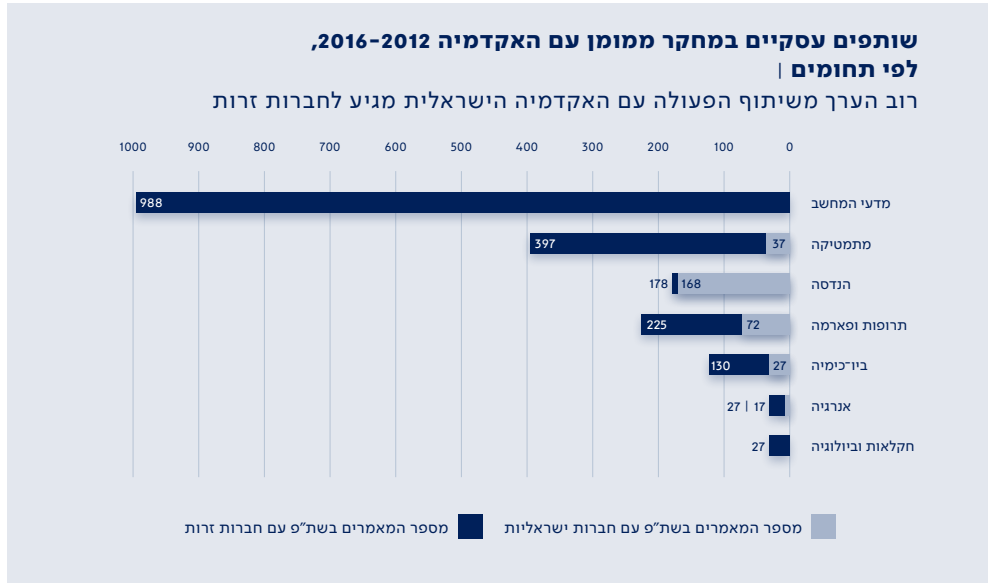
מקור: דו"ח שנתי - מצב ההייטק 2022

תרשים 14: מספר המאמרים המצוטטים ביותר



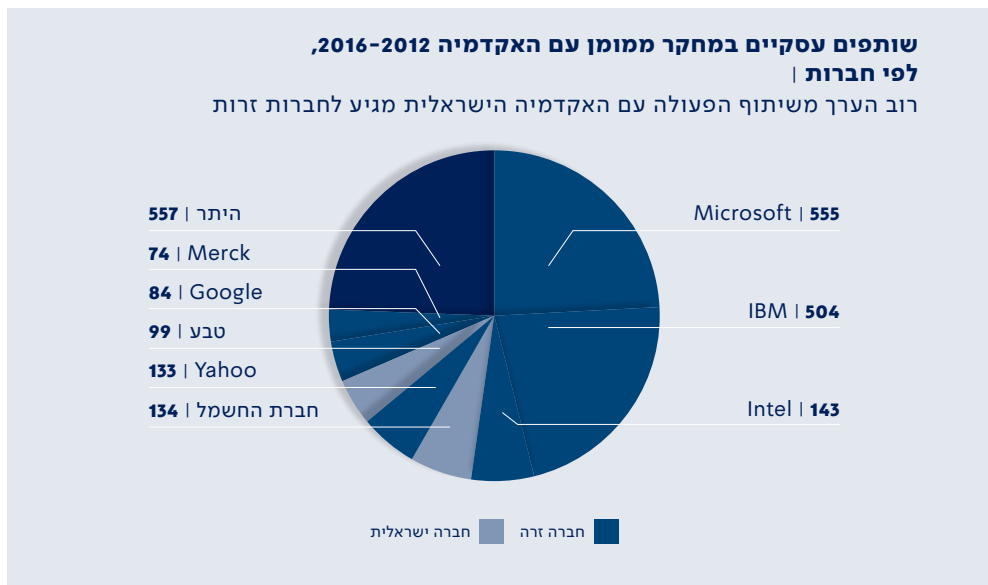
מקור: תפוקות מחקר ופיתוח בישראל 2021

תרשים 15: שותפים עסקיים במחקר ממומן עם האקדמיה הישראלית (לפי תחומים)



מקור: דו"ח שנתי – מצב ההיי-טק 2022

תרשים 16: שותפים עסקיים במחקר ממומן עם האקדמיה הישראלית (לפי חברות)



מקור: דו"ח שנתי – מצב ההיי-טק 2022

השבבים המתקדמים וטכנולוגיות הייצור כמשאב הלאומי של המאה ה-21

בשנת 2023 נראה כי מדינות משקיעות סכומי עתק בפיתוח ובייצור שבבים מתקדמים. מעמדה של הטכנולוגיה, ובפרט מפעלי הייצור שאחראים על הפקת השבבים והחומרות המתקדמות, נתפסים על ידי המדינות המפותחות בעולם כמשאב לאומי, כמו הנפט במאה הקודמת.

גם בישראל ניכר כי טכנולוגיה מתקדמת היא תנאי הכרחי לרווחת המדינה ואזרחיה, אולם בולטת בהיעדרה תוכנית לאומית שתבטיח לישראל נגישות ל"אבני היסוד" שלה. הטמעת כלים ומערכות המבוססים על נתוני עתק (Big Data), למידת מכונה (Machine Learning) ואבטחת מידע מצריכה יכולות עיבוד וחישוב שאותן מאפשרים השבבים המתקדמים.⁶⁸ תהליכי הפיתוח והייצור של אותן יכולות יישומיות תלויים ונשענים על תהליכי הפיתוח והייצור של השבבים, ולכן מבחינה טכנולוגית גרידא, ישראל צריכה לבחון היכן היא ממקמת את עצמה בתוך ההתרחשויות הטכנו-אסטרטגיות שמתחוללות בעולם.

בישראל פועלות חברות שעוסקות בתחום החומרה או השבבים, חלקן הגדול תחת ענקיות החומרה האמריקאיות ורובן המכריע תלויות במערכי ייצור שנמצאים מחוץ לישראל. משמעות הדבר היא שהיכולת של ישראל ליהנות מפירות ההשקעה הן במישור הכלכלי והן במישורים אחרים, מבלי להסתמך על מדינות אחרות, היא בלתי אפשרית.

התחרות העולמית על השבבים היא במידה רבה עניין כלכלי של היצע וביקוש, אולם בעידן הנוכחי היא גם מתנהלת על שולחנם של מנהיגים ופוליטיקאים. הסחר בטכנולוגיה בין מדינות מתבסס יותר ויותר על שותפות ערכית ואחדות אינטרסים, וכשם שהנפט מכתוב למנהיגים החלטות ויוצר בריתות, כך מתקבע מעמדם של השבבים ושל טכנולוגיות הייצור המתקדמות.

השקעה במחקר ופיתוח בתחום הייצור הטכנולוגי היא מרכיב חשוב ויתרון יחסי שישראל נהנית ממנו, אך זהו פתרון חלקי בלבד לבעיה. נדרשת לישראל תוכנית לאומית שתיתן ביטוי לכל ההיבטים הנוגעים לפיתוח, ייצור וסחר בשבבים. הכוונה ממשלתית היא תנאי לעידוד השתתפות ותחרות, והיא שתקל על יזמים בארץ ובעולם להשקיע את ההשקעה הראשונית בהקמת התשתית, שמוערכת במיליארדי דולרים. טכנולוגיה מתקדמת ובת-קיימא תלויה בפיתוח תשתיות, בחינוך, ביחסי חוץ ובמעטפת ביטחונית.

השיקול הביטחוני: תלות הולכת וגוברת בטכנולוגיה שמיוצרת מחוץ לישראל

טכנולוגיה היא רכיב חשוב בתפיסת הביטחון של ישראל. כמדינה קטנה ומוקפת אויבים ישראל חייבת שתהיה ברשותה היכולת המתקדמת ביותר להתריע מפני איום ולהכריע את אויביה במהירות וביעילות, תוך צמצום אבדות ונזק. צה"ל תלוי בעליונות הטכנולוגית למימוש משימותיו ומבסס את כוחו וכשירותו בעיקר על יבוא אמצעי לחימה וטכנולוגיה במסגרת הסכם הסיוע הביטחוני האמריקאי לישראל, המותאם על ידי התעשיות הביטחוניות לצרכים הייחודיים בישראל. באגפי הטכנולוגיה, התקשוב והמודיעין מתקיימים מחקר ופיתוח עצמאיים המתבצעים גם בשיתוף תעשיות ביטחוניות. עם זאת, עיקר ההצטיידות תלוי בשרשראות האספקה העולמיות. היקף הייצור של אמצעי לחימה בישראל פחת בשנים האחרונות, ומגמה זו צפויה להימשך לנוכח ההחלטה האמריקאית להפסיק כליל את יכולתה של ישראל להמיר את כספי הסיוע לטובת התעשיות המקומיות ב-2028.⁶⁹

הטכנולוגיה המתקדמת הולכת ותופסת מקום גדול יותר ביכולות ההתקפה וההגנה של צה"ל. בשנים האחרונות צה"ל הטמיע טכנולוגיה דיגיטלית ומערכות מבוססות בינה מלאכותית המשפרות לאין שיעור את יכולות האיסוף ועיבוד המודיעין, את השליטה בכוח ואת היכולות המבצעיות. במערכת הביטחון מתארים כיום את תרומתם המכרעת של מדע הנתונים והבינה המלאכותית ללחימה,⁷⁰ והנחת העבודה היא שיתרון על האויב תלוי במידה רבה ביכולות אלה. הלכה למעשה גוברת חשיבותן של טכנולוגיה מתקדמת וחומרה באשר לבניין הכוח, ולכן הסיכונים למקורות האספקה עלולים גם לסכן את ישראל בטווח הארוך. התעשייה הביטחונית בישראל היא שייצרה למערכת הביטחון בשנותיה הראשונות של המדינה את עיקר הצרכים בתחום מערכות הנשק והציוד הצבאי. התמיכה הממשלתית הייתה תוצאה של מניע לאומי אסטרטגי ונועדה למנוע את התלות באספקת מוצרים צבאיים ממדינות אחרות. חרם הנשק (אמברגו) שהטילה צרפת על ישראל ב-1967 סיפק הצדקה לגישה זו וישראל, שנאלצה להתחיל לפתח כלי נשק מתקדמים משלה, השקיעה סכומים רבים במחקר ופיתוח אך גם בייצור.

עד שנות ה-80 הייתה לתעשייה השפעה ישירה וחשובה על ההתפתחות הכלכלית של ישראל ועל מבנה המשק, אולם בדומה לתעשיות יצרניות אחרות, ככל שהצריכה המקומית החלה להישען על יבוא מחו"ל והואץ קצב החידושים הטכנולוגיים במגזר האזרחי, כך הלכו ופחתו השפעתה ומעמדה. בהתאם לכך החל תהליך הפרטה נרחב, וחלק ניכר מהתעשיות הביטחוניות עברו לבעלות המגזר הפרטי וחטיבות הנשק בתעשיות הצטמצמו. נתוני השיא ביצוא של התעשיות הביטחוניות בשנת 2022 מעידים על תופעה דומה לזו של מגזר

השירותים – שגשוג המחקר והפיתוח הישראלי בתחום. בתוך כך נתונים אלה מעידים גם על התלות והרגישות של התעשייה במגמות המתרחשות בשוק העולמי.

מודל ההצטיידות של מערכת הביטחון, המבוסס על התמקדות בפיתוח ותלות במדינות אחרות ועל הנחה ששרשרת האספקה יציבה ועמידה בפני זעזועים מסוגים שונים, הוא חרב פיפיות. מחד גיסא אין סיבה להניח שארצות הברית, שותפתה העיקרית והוותיקה של ישראל, תנקוט צעד חסר תקדים שיסכן את ביטחונה הלאומי של ישראל. שיתוף הפעולה הטכנולוגי של ישראל עם ארצות הברית ומדינות נוספות בעולם מבוסס על אינטרסים ביטחוניים משותפים ועל ערכים דומים. מאידך גיסא, המגמות הנוכחיות בתחום הטכנולוגיה מעידות על נקודות תורפה וסיכונים אפשריים. הטכנולוגיה הפכה למטבע סחר וכלי למימוש מדיניות. משמעות הדבר היא שבהינתן מחלוקת, כלי ענישה אפשרי הוא צמצום או הגבלת האספקה הטכנולוגית. במציאות שבה הסכם הסיוע הביטחוני עם ארצות הברית עתיד להפסיק את אפשרות המרת דולר הסיוע כדי לאפשר השקעה מקומית, הגבלת השימוש בטכנולוגיה עלולה לצמצם את דרגות החופש של ישראל ולסכן את ביטחונה הלאומי.

בהקשר זה נזכיר כי בפברואר 2023 התכנסה בהולנד ועידת פסגה עולמית לדין בשימוש אחראי ב־AI לצרכים צבאיים וביטחוניים. בסיומה הסכימו 57 מדינות, כולל כל החברות הקבועות במועצת הביטחון למעט רוסיה, על מסמך משותף (Call for action) שבו קראו לשימוש אחראי בבינה מלאכותית בשדה הקרב.⁷¹ ישראל אומנם השתתפה בכנס אך בסופו של דבר בחרה לא לחתום על מסמך זה. ברקע להחלטה עומדים שימוש ביכולות בינה מלאכותית מתקדמות במלחמה בין רוסיה לאוקראינה (טכנולוגיות זיהוי פנים שמחוברות למערכות נשק ומטוסי תקיפה אוטונומיים למחצה) וחשש מפני אפשרות לחיבור עם שימוש בטכנולוגיה המתקדמת בפלטפורמות נשק להשמדה המונית. המסמך כולל הסכמה לפעולה על פי כללי הדין הבינלאומי והמשפט ההומניטרי והוא מחייב את המדינות החותמות בשקיפות ביחס לתכנון ולפיתוח, כדי למנוע הטיות בלתי מכוונות. אף על פי שזו אינה הפעם הראשונה שישראל בוחרת לשמור על עמימות ונמנעת מחתימה על מסמכים מסוג זה, היעדר שקיפות מצד ישראל עלול בעתיד לסכן את הנגישות ואת השימוש בטכנולוגיה המתקדמת. נושא זה הובהר גם בהצהרות אמריקאיות ביחס לשימוש צבאי אחראי ב־AI ובנשק אוטונומי.

בנסיבות אלה התערבות ממשלתית, בין בתיאום עמדות ורגולציה ובין בבחינת חלופות במקרים חיוניים, היא צעד הכרחי להבטחת יכולת ייצור עצמית, לכל הפחות בתחומים חיוניים שיוגדרו על ידי הממשלה. ככלל, על ישראל לבחון את שרשראות האספקה ואת הרכיבים

הטכנולוגיים החיוניים שבהם היא עושה שימוש כדי להבטיח רציפות ללא תנאים. כמו כן, כדי לשמור על יתרון טכנולוגי וערך מוסף על ישראל לבחון מקרים שבהם נכון יהיה לשמור על שרשרת ערך עצמאית מלאה. מובן כי כלכלת ישראל, כמו במרבית המדינות, אינה בהיקף שיאפשר לה להגיע לעצמאות מלאה בכל תחום, ולכן עליה לאפיין את התחומים החיוניים שבהם הדבר בהישג ידה ואת אלה שלא, וכן צריכה ישראל להצטרף לבריתות ולקואליציות הרלוונטיות על מנת להבטיח אספקת תשתיות טכנולוגיות חיוניות גם בעיתות משבר בעולם. בשולי הדברים ראוי לעמוד על כך שיחסי הגומלין בין מערכת הביטחון לבין התעשייה הטכנולוגית והכלכלה הישראלית הם הדדיים. בספר **מדינת הסארט־אפ** מאת דן סינור ושאל זינגר מובא סיפורו של הנס הכלכלי הישראלי ומפורט כיצד ישראל מצליחה להתעלות על מדינות מפותחות ומובילה במדד חברות הסארט־אפ לנפש לפני כל מדינה אחרת בעולם.⁷² בין ההסברים לתופעה בולט חלקו של השירות הצבאי, המחייב עידוד יוזמה וחשיבה חדשנית. לצבא יכולת לבחור את בעלי הפוטנציאל הגבוה ביותר ולהכשיר אותם כך שלאחר שחרורם הם ישתמשו בניסיון שצברו ובחברים שרכשו כדי לקדם את התעשייה ואת המשק. במובן זה ראוי לשמור על צה"ל כעל חממת הפיתוח הטכנולוגי של ישראל, אשר מלבד יכולות צבאיות גם משחררת מדי שנה למשק יזמים ועובדים בעלי פוטנציאל גבוה במיוחד.

”מגן הסיליקון” – תשתית ייצור כנכס אסטרטגי לביטחון הלאומי – מקרה בוחן

מאת צחי שחר

ניתוח היסטורי של התערבויות ממשלתיות בתעשיות הייצור חושף מקרים שבהם נוצר קשר בין תשתיות ייצור לבין שיקולים ביטחוניים אחרים.⁷³ המקרה המובהק ביותר של מדינה שהצליחה לבנות וליישם אסטרטגיית ביטחון לאומי בהתבסס על תשתית ייצור מקומית התרחש בטאיוואן.

תהליך ההקמה של תעשיית השבבים בטאיוואן שילב אילוץ גיאופוליטי ורכיבים של מקריות. לאחר כינון היחסים בין סין העממית לארצות הברית משכה האחרונה את הכרתה בטאיוואן, וזו נאלצה לפלס לעצמה נתיב כלכלי ואסטרטגי חדש. במקביל חברת RCA, חלוצת מכשירי הרדיו לתקשורת בקוד מורס בארצות הברית, העתיקה בשנות ה-70 את מערכי הייצור שלה לאסיה, בדומה לתעשיות ייצור אמריקאיות רבות שנהנו מיתרונות הגלובליזציה ומכוח העבודה הזול במזרח. בטאיוואן התחולל באותן שנים משבר נפט, אשר הוביל את הממשלה לחפש אפיקי ייצור מבוססי מדע וטכנולוגיה.

במטרה לרכז מאמצי חדשנות ומחקר הוקם ארגון ITRI ששימש מוביל טכני של התעשייה הטאיוואנית כולה, והוא התמקד במחקר טכנולוגי יישומי.⁷⁴

דירקטור ממוצא סיני-אמריקאי שעבד באותן שנים בחברת RCA בארצות הברית הציע לשר ליחסים כלכליים של טאיוואן לפתח מעגלים משולבים.⁷⁵ בהצלחה שתיחשב לאחת מאבני היסוד של תעשיית השבבים של טאיוואן שוכנעה RCA להעביר את הטכנולוגיה ואת שיטות הייצור ל-ITRI, ואף לקבל משלחת של 25 מהנדסים טאיוואנים להכשרה מעשית. ITRI האיצ את המאמצים ליישם את הידע והכלים שקיבל במטרה ליישם את ייעודו.

בשנת 1987 חבר מוריס צ'אנג, ראש ITRI דאז ואחד מחברי משלחת המהנדסים לארצות הברית, ל-Philips ההולנדית והקים את TSMC, שנחשפה לעולם כחלוצת מודל העבודה של ייצור שבבים בלבד (ללא פיתוח וללא תכנות). מאז שנות ה-90 נוסק הביקוש לשבבים. עולם ה-IoT הצומח יצר ביקוש אדיר והשבבים המתקדמים שמייצרת TSMC הם אבני הבניין של טכנולוגיות AI, קוונטים וכמובן מערכות נשק מתקדמות. TSMC היא חברה מסחרית פרטית, ובשל כך והודות לבשלות התעשייתית שלה בשנות ה-90 התאפשר לה להפוך לספקית העיקרית של מנועי הקדמה והחדשנות הטכנולוגית, שאותה מובילה ארצות הברית.

תעשיית השבבים בטאיוואן נאמדת כיום בשווי ייצור של 146 מיליארד דולר וניצבת במקום הראשון בשוק השבבים העולמי. חברת TSMC לבדה מחזיקה ב-54 אחוזים מנתח השוק העולמי, ויחד עם יצרניות נוספות במדינה, 63 אחוזים מנתח השוק העולמי מוחזק על ידי טאיוואן במשך שלוש השנים האחרונות.⁷⁶ נוסף על היותה ספקית השבבים העיקרית בעולם, TSMC מיצבה את עצמה כיצרנית היחידה בעולם שמסוגלת לייצר שבבים מתקדמים בגודל של חמישה ננומטר.⁷⁷ בשלוש השנים האחרונות החליטו שלוש יצרניות השבבים הגדולות בעולם – TSMC, סמסונג ואינטל – לבנות מפעלים בטכנולוגיה זו ואף מתקדמת יותר, של שבבים בגודל שניים ושלושה ננומטר.

בתחילת שנות ה-2000 זכתה תעשיית השבבים בטאיוואן לכינוי "מגן הסיליקון",⁷⁸ כלומר הפכה לגורם מהותי בחוסנו הביטחוני של האי. בליבת התפיסה של מגן הסיליקון ניצבת עוצמתה העיקרית של תעשיית השבבים – יצירת תלות. המערב והמזרח פיתחו תלות בכושר הייצור של טאיוואן כספקית שבבים עיקרית בעידן שבו השבב הוא אבן יסוד לכל טכנולוגיה. התלות עמוקה עד כדי מצב שבו התממשות איום הפלישה הסיני לאי עתידה לזעזע את כלכלת ארצות הברית ואירופה. אנליסטים באיגוד תעשיית השבבים האמריקאית מעריכים כי בתרחיש כזה תעשיית האלקטרוניקה העולמית תתמודד עם נזקים בהיקף של 490

מיליארד דולר בשנה.⁷⁹ על פי התפיסה שגיבשה טאיוואן סביב תעשיית השבבים, העולם יעמוד לצד טאיוואן ב"יום פקודה" כדי להבטיח את יציבות שרשרת האספקה. תעשיית השבבים בטאיוואן מותגה כדלק הצמיחה הלאומי של המדינה והיא עודנה כזו. צעירים נקראו לדגל ונתפסו כמי שמובילים את הכלכלה קדימה. תנועות חברתיות וגופים ממשלתיים ניתבו אוכלוסיות למעגל העבודה של ענף השבבים במידה רבה ככל האפשר. התוצאה הייתה תחושת שליחות בצד העובדים והמעסיקים, כושר ייצור שצמח במהרה וכישורים מקומיים שנבנו על בסיס ניסיון אינטנסיבי לאורך זמן. בשם תפיסת מגן הסיליקון הממשלה מקדמת מדיניות מפורשת לשמירה על התעשייה למען הביטחון הלאומי. הדין בטאיוואן מחייב אישור של גורם ממשלתי לנסיעות של עובדי תעשיית השבבים לסין. פרסום מקומי של הצעות עבודה של חברות שבבים סיניות נאסר בחוק. הוכפלו עונשים על ריגול תעשייתי או שימוש בסודות מסחר מחוץ לגבולות המדינה. בשנה האחרונה המנגנונים המשפטיים להגנה על ענף השבבים הוטמעו בחוק הביטחון הלאומי של טאיוואן.⁸⁰

יש לציין כי גוברים הסימנים לכך שטאיוואן מזהה את מגבלת מגן הסיליקון, וכבר אינה סומכת על תפיסה זו בלבד כדוקטרינה שתבטיח את תמיכת המערב בה. כתוצאה מכך החלה חברת TSMC בשנה האחרונה בבנייה של מפעלים בארצות הברית בהשקעה עצומה של 40 מיליארד דולר, וכן הודיעה בחודש יולי 2023 על בניית מפעל ראשון בגרמניה. נראה כי טאיוואן מפזרת את נכסיה בעולם – דבר שהיה נשמע דמיוני אך לפני שנתיים.

צעדים שנקטה טאיוואן ועשויים להיות רלוונטיים לישראל

בסיכום ניתוח מקרה המבחן של טאיוואן, ניתן לזהות שורת צעדי מדיניות מרכזיים שהנהיגה הממשלה, כמו גם מיסוד ותכלול הצעדים הלאומיים לתמיכה בתעשיית השבבים של המדינה. צעדים אלו עשויים לכלול:

- הקמת גוף למחקר יישומי ובחינת תעשיות גלובליות מתפתחות.
- יצירת שיתוף פעולה ליבוא ידע הנדסי והכשרה מעשית.
- זיהוי צרכים אסטרטגיים בארצות הברית ובאירופה שיכולים להיתמך בתעשיית ייצור מקומית בשלה, ובניית תשתית אספקה גלובלית יציבה.
- מיתוג התעשייה כקטר המשק הלאומי ושילוב תנועות חברתיות במאמצי גיוס כוח עבודה מקומי.

טאיוואן נתנה ביטוי פורמלי בחקיקה לצעדים שנועדו להגן על התעשייה שלה, שהפכה בעצם לנכס לאומי. ראוי להדגיש כי בניגוד לחוקים כלכליים ותעשייתיים רגילים, טאיוואן הכניסה את חוקי ההגנה על התעשייה האזרחית דווקא תחת מכלול חוקי הביטחון הלאומי, ולא רק במישור האזרחי-פלילי. חוקים אלה יחד עם צעדי מדיניות אחרים עשויים בחלקם להיות רלוונטיים גם לישראל:

- הגנה על התעשייה בחוקי ההגנה על סודות מסחר.
- הגנה על התעשייה מפני ריגול תעשייתי כחלק מחוק הביטחון הלאומי (החמרת ענישה ותיוג העבירות כעבירות ביטחון לאומי, כדי לאפשר למדינה להפעיל כלים שאינם מופעלים כדרך קבע במישור הפלילי הרגיל).
- ניטור ושליטה בתנועת נכסים אנושיים מתעשיות ייצור טכנולוגיות מתקדמות אל מדינות שבהן קיים סיכון גבוה לגניבת מוחות או לזליגת ידע וכישורים טכנולוגיים.
- חיזוק ושימור ההון האנושי המקומי – זיהוי וחסימה של ניסיונות מצד מדינות זרות לגייס כוח אדם מקומי מתעשיות לייצור טכנולוגיות מתקדמות.

חיזוק התשתיות הלאומיות, מאגרי המידע לרווחת האזרח והגנת הפרטיות

בדומה למערכת הביטחונית, גם התשתיות הלאומיות ומוסדות הציבור בעולם בכלל ובישראל בפרט נשענות על רכיבי חומרה ותקשורת מתקדמים. שירותי הדיגיטל המבוססים על הזהות הביומטרית של כל אזרח, ניהול התשתיות העירוני, אספקת החשמל והמים ופתרונות רפואה מבוססי בינה מלאכותית – כולם תלויים ביכולת ובגישה רצופה לרכיבים טכנולוגיים מתקדמים המיוצרים במפעלי שבבים בעולם.

בפברואר 2020 מינה יו"ר פורום תל"ם (הפורום לתשתיות לאומיות למחקר ולפיתוח) ועדת בדיקה לבחינת הצורך בהתערבות ממשלתית לשם האצת העיסוק הישראלי בתחום הבינה המלאכותית ומדע הנתונים.⁸¹ במסקנות הוועדה צוין כי ההשפעות של תחום הבינה המלאכותית ומדע הנתונים על מחקר ופיתוח בתחומי התעשייה, התשתיות, הביטחון, הבריאות, התרופות והחומרים, וכן הצפי להתרחבות השפעות אלה והאצתן, הובילו מדינות רבות להגדיר תוכניות לאומיות בהשקעה של מאות מיליונים עד מיליארדי דולרים. עוד צוין כי ישראל אומנם מדורגת במקום גבוה במחקר ופיתוח בצד המסחרי של הבינה המלאכותית, אך במקום נמוך יותר בכל הנוגע לתשתיות נדרשות ולאסטרטגיה ממשלתית. פער זה, נטען, סופו לפגוע במידה משמעותית גם בהיבטים שבהם הצליחה ישראל להתבלט לטובה

עד כה. לפיכך הוועדה המליצה על תוכנית לאומית שתיתן פתרון מערכתי. אחד מארבעת ההיבטים של תוכנית זו הוא התשתיות, ובתוכן החומרה הייחודית הנדרשת לצורך מימוש הפוטנציאל.

בהיבטי תשתית וחומרה צוין במסקנות הוועדה כי קיים פער גדול בנגישות לכוח מחשוב רב בזמינות גבוהה ובמחיר סביר. בהתבסס על שיקולים אלה הכריזה ישראל ביולי 2021 על פרויקט להקמת מחשב־העל הלאומי בהשקעה ציבורית של 290 מיליון שקל, כחלק מההמלצות, במטרה לשפר את היכולת העצמאית לצורך ולעבד נתונים לצורכי מחקר ופיתוח באקדמיה ובתעשייה, וכן לשלל הצרכים הציבוריים הכוללים יכולות ביטחוניות ושיפור השירותים לציבור. צוין כי מודל ההקמה, לרבות הצורך המתמשך בתחזוקה ובייעוץ, יתבצע בשיתוף חברות תעשייה בארץ ובעולם בעלות מוערכת של כ־50 מיליון דולר אמריקאי מדי שנה. עם זאת ראוי לציין כי בעת הזו מתקיים בישראל ויכוח על המשך המיזם.⁸²

ככל שישיראל תתקדם, תאגור מידע ותעבד אותו למטרת שיפור המחקר והפיתוח והרווחה, כך היא תהיה תלויה יותר בחומרה מתקדמת. מאגר מידע ציבורי ("ענן ציבורי") שצפוי להכיל מידע שיוגדר מסווג ויכיל נתונים רגישים בנוגע לאזרחים יחייב מעטפת אבטחה ברמה גבוהה. קצב ההתפתחויות בתחום הגנת המידע מחייב הגנה הן ברמת התוכנה והן ברמת החומרה, וכדי למנוע מבעלי אינטרס כאלה ואחרים להשיג נגישות למידע זה, על ישראל להבטיח אחיזה מלאה בטכנולוגיות קצה ובייצור השבבים המתקדמים המשמשים לאותם מאגרי מידע חיוניים.

כדי להגן על תשתית הנתונים מתפתחת בעולם תפיסה העוסקת ב"אבטחת חומרה" – הגנה על שכבת הבסיס, הרכיב עצמו, באופן שימנע גישה ויכולת השפעה. היבט זה הוא חדשני במיוחד ומצריך רמות מתקדמות של מחקר ופיתוח, ונמצא בימים אלה בבחינה במערכת הביטחון האמריקאית. השקעה בתחומי אבטחת החומרה היא אינטרס לאומי, ובהיותו כזה על ישראל לבחון פתרון מתוצרת מקומית.

השיקול הערכי: בין דמוקרטיה לטכנולוגיה מתקדמת

לאורך מאות השנים האחרונות הלך והתבהר הקשר בין מדינות וחברות דמוקרטיות, פתוחות וליברליות לבין התפתחות מדעית וטכנולוגית. במדינות דמוקרטיות מערכת החינוך מעודדת חופש מחשבה, פלורליזם ופתיחות לתפיסות ולדעות מגוונות, אשר מרכיבים יחד יצירה מקורית וחדשנות. החיבור של רכיבים אלה למקורות מימון ולקשרים בינלאומיים (כולל מדיניות הגירה פתוחה יחסית) היה בין הדברים שאפשרו, למשל, לארצות הברית להפוך

למובילה טכנולוגית בעולם. שיטת המשטר הסמכותנית בסין, לעומת זאת, הדומיננטיות שלה במערכת החינוך, כמו גם בהתוויית האג'נדה המדעית-טכנולוגית וסדר העדיפויות בתחום, לצד מעורבות יתר בתחום העסקי והמשפטי לצד קשרים בינלאומיים שאינם מעודדים הגירה פנימה – כל אלה עלולים להיות חסמים כבדי משקל לפריצות הדרך המיוחדות, בפרט בתחום המדע-טכנולוגי. נראה, ודאי בטווח הזמן הקרוב, כי חסמים אלה אינם צפויים להשתנות לטובה ועל כן, גם לנוכח השקעות מסיביות מצד המדינה, דעה רווחת בעולם היא שקיימת תקרת זכוכית מדעית-טכנולוגית בסין.⁸³

בסוף חודש מארס 2023 אירח משרד החוץ האמריקאי ועידה בינלאומית בנושא דמוקרטיה.⁸⁴ במוקד הוועידה נדונה חשיבות התיאום ושיתוף הפעולה בין המדינות הדמוקרטיות, כאשר הלכה למעשה כוננה ברית המבוססת על ערכים משותפים: שוויון זכויות והגנה על מיעוטים. דיוני הוועידה עסקו באופן הראוי לשמור על הדמוקרטיה למען רווחת האזרחים. בתוך כך נדונה החשיבות של עיגון עקרונות של "דמוקרטיה כלכלית" בחקיקה, הכוללים מאבק בשחיתות, שמירה על שוויון הזדמנויות לנשים וכן חיזוק האתיקה והאחריות בתעשיות המקומיות ובמסחר הבינלאומי כתנאי הכרחי לצמיחה ולשותפות משגשגת בין המדינות. הברית נועדה לשרת גם את המאבק בכוחות שליליים, במדינות ובשחקנים שאינם דוגלים בדמוקרטיה במובנה הבסיסי דוגמת רוסיה וסין, אשר התנהלותן מאיימת על הכלכלה ועל היציבות העולמית. לצד השותפות הערכית וההירתמות ההדדית, הברית נועדה להבטיח יציבות כלכלית עולמית ולעודד שיתוף פעולה בין מדינות בתחומי מחקר, פיתוח ומסחר של טכנולוגיה מתקדמת ובינה מלאכותית למטרות שיוגדרו ככאלה התומכות בדמוקרטיה.⁸⁵

המדינות שהשתתפו בוועידה הבינלאומית בנושא דמוקרטיה, ביניהן גם ישראל, זקוקות לשיתוף הפעולה נוכח ההבנה שהטכנולוגיה היא מקור עוצמה של מדינה. במאבק הטכנולוגי בין ארצות הברית לסין, שהשתקף גם בוועידה, ניכר כי חסימת הגישה לטכנולוגיה בפני מדינות אוטוריטריות היא אמצעי ענישה שפוגע במישרין בצמיחתה של המדינה וברווחתם של האזרחים. מדיניות החוץ של ארצות הברית ושל דמוקרטיות נוספות בנושא זה מתעצבת, ונראה כי מרכיב מרכזי הוא הצורך באמון המבוסס על שותפות ערכים (בניגוד לשותפות אינטרסים בלבד) כתנאי הכרחי לשיתוף פעולה. מדינה המעוניינת לשמור על יחסיה עם ארצות הברית ובעלות בריתה וליהנות משיתופי פעולה בתחום המחקר והפיתוח חייבת לוודא שאינה פועלת בניגוד לערכים אלה, או אינה משרתת אינטרסים של מדינות אחרות שאינן שותפות לערכים אלה. כמו כן אין לה מנוס מלבטא את ערכיה ותפיסתה באמצעות

מדיניות וחקיקה ברוח הנורמות הללו. גישה זו נכונה לכל תחום במדיניות הביטחון, החוץ והכלכלה של מדינה, קל וחומר לטכנולוגיה. ערכים דמוקרטיים המעוגנים בחקיקה או בחוקה יגנו על הטכנולוגיה, ובזכות זאת תובטח למדינה קדמה טכנולוגית ורווחה.

נקודת מבט נוספת ביחסים בין הטכנולוגיה המתקדמת והדמוקרטיה היא העובדה שפיתוחים טכנולוגיים משנים את צורתה של הדמוקרטיה,⁸⁶ שכן הטכנולוגיה שינתה את מערכת היחסים בין מוסדות השלטון והציבור. בזכות הטכנולוגיה המתקדמת נושא משרה ציבורית בא במגע בלתי אמצעי עם הציבור הרחב, ויכול לקבל תמונת מצב מבוססת נתוני אמת באיכות שלא ידע כמותה בעבר. היכולת לפרסם מידע בתפוצה רחבה במהירות ובאיכות גבוהה היא רבת עוצמה, ובמקרה הטוב היא מאפשרת פלטפורמה למימוש חופש הביטוי והשפעה ישירה של דעת הקהל על מקבלי ההחלטות באופן שמבטא את שלטון העם. במקרה הגרוע היא מסכנת את היציבות כאשר היא משמשת פלטפורמה להדהוד מסרים קיצוניים ולפרסום חדשות כזב (Fake News), שקשה להפריכם בשל בינה מלאכותית מתקדמת, והדבר עלול לזעזע את אמון הציבור באמיתות המידע ובמוסדות השלטון. במשבר הפנימי בישראל סביב החקיקה המשפטית ניכרת תרומתה של הטכנולוגיה למימוש חופש הביטוי וחופש ההפגנה, וגם להעמקת הקיטוב בין הצדדים.

מדינה השואפת ליציבות ולשמירה על צביונה צריכה להכיר בעוצמתה של הטכנולוגיה ולעודד השקעות שיתרמו לרווחת האזרחים, אולם עליה גם לאזן ולרסן את כוחה. בעידן שבו הטכנולוגיה מאפשרת לשלטון נגישות חסרת תקדים למידע אישי על האזרחים, החל במיקום מדויק דרך שגרת יום וכלה במידע רפואי סודי, ראוי לוודא שהיכולת קיימת למען רווחת הכלל (למשל, עצירת התפשטות מגפת הקורונה), אך מוגבלת לשימוש סביר שאינו מפר פרטיות וזכויות אדם. למדינה תפקיד חשוב בעיגון הגבלות אלה במסגרת חקיקה. בעניין זה ראוי לציין כי ישנם פערים בחקיקה הישראלית, והשינויים הנדונים במסגרת החקיקה המשפטית עלולים להרחיק את ישראל משיתופי פעולה טכנולוגיים באירופה בעיקר.⁸⁷

התמורות הגלובליות ביחסים בין דמוקרטיה לטכנולוגיה והמשבר הפנימי המתחולל בישראל הם נורת אזהרה למקבלי ההחלטות באשר לתלות ולרגישות השוררת בין צביונה הדמוקרטי של ישראל ועתידה הטכנולוגי. על אף המחלוקות האידיאולוגיות והפוליטיות בין המעצמות, כמו גם המחלוקות הפנימיות בישראל, ברורה לכול חשיבותה של הנגישות לטכנולוגיה מתקדמת ותרומתה הניכרת לרווחתם של המדינה והאזרחים. על כן, מאחורי הצורך בהתערבות ממשלתית בתחום הטכנולוגיה ניצב גם שיקול ערכי, שעיקרו שמירה על צביונה של ישראל כמדינה דמוקרטית המעודדת את אזרחיה להמשך להוביל במחקר

ופיתוח ולפרוץ את גבולות הדמיון, כך שיובטח מקומה בצד הנכון בבריתות כלכליות עם שותפותיה הדמוקרטיות הטבעיות.

השיקול החברתי: התערבות לצורך גיוון המקצועות במשק ושילוב אוכלוסיות שהשתתפותן מועטה

ברור לכול שהטכנולוגיה והעיסוק בה נוגעים כמעט בכל רובד של החיים במדינה, מהרמה המקרו-כלכלית דרך הרמות המבצעיות, המשך במשך התעסוקה וכלה ברמת החינוך כבר מהגיל הרך. אך למרות ההשפעה העצומה של הטכנולוגיה, כשבוחנים את נתוני המאקרו של המשק הישראלי, אנו למדים כי רק כעשרה אחוזים מכוח העבודה מועסקים בתעשיית ההיי-טק. אותם עשרה אחוזים תורמים בין רבע לשליש מהכנסות המדינה ממיסי עבודה.⁸⁸ זהו נתון דרמטי המלמד על הפוטנציאל הכלכלי הטמון בתעשייה זו, אך גם על חולשה מבנית במנגנון לאומי המבסס חלק גדול מדי מהכנסותיו על מגזר אחד. באנלוגיה לחברות במגזר הפרטי, מודל עסקי שמבסס את מרבית הכנסותיו על לקוחות מעטים עלול להיות רגיש לתקלות ולאיירועים לא צפויים. באותה המידה, מודל כלכלי לאומי המתבסס על השתתפות פלח קטן יחסית של האוכלוסייה בשוק העבודה הרלוונטי מסוכן אף הוא, או לכל הפחות אינו ממצה את כלל המשאבים הפוטנציאליים בשוק העבודה, ומגדיל פערים בין אלה הזוכים לתעסוקה במגזר הטכנולוגיה לבין אלה העוסקים בתחומים אחרים.

כפי הנראה, אין באופק הקרוב או הרחוק מנוע צמיחה שיחליף את תעשיית הטכנולוגיה, וזו תמשיך להוביל את המשק. אם מקבלים אמירה זו, אזי ברור גם כי התעשייה לא תוכל לצמוח בצורה מיטבית מבלי להגדיל במידה ניכרת את השתתפות האזרחים בכוח העבודה. ב־2022 הוצג בממשלה חזון של מיליון מועסקים בהיי-טק הישראלי. כיום אין מיליון משרות זמינות בתעשייה, וממילא אין מיליון מועמדים שיוכלו לאייש משרות אלו. לפי נתוני רשות החדשנות לשנות 2019, כ־321 אלף ישראלים עבדו בתעשיית ההיי-טק – 9.2 אחוזים מסך המועסקים במשק. התעשייה המשיכה לצמוח וכיום מועסקים בה כ־11 אחוזים מכוח העבודה. זהו פער גדול בין המצב הקיים לבין השאיפה למיליון משרות נוספות במגזר ההיי-טק. ראוי לציין כי מגזר ההיי-טק הוא הומוגני ברובו. לפי נתוני ועדת הכלכלה של הכנסת,⁸⁹ בשנת 2021 יותר מ־94 אחוזים מהמועסקים בהיי-טק היו יהודים לא חרדים. מכאן ברור שהמדינה אינה ממקסמת את ההון האנושי הפוטנציאלי ואינה ממצה את תרומתה הפוטנציאלית של תעשיית ההיי-טק להכללת מגזרים רחבים בתעשייה ולצמצום הפערים הסוציו-אקונומיים באמצעותה. במקום זאת, תפוקתה והצלחתה של התעשייה כיום נמדדות בעיקר בכלים של

עסקאות מכירה (אקזיט) ליזמים והכנסות למדינה ממיסוי עובדים, ופחות באמצעות מדדים חברתיים "רכים" של תרומת התעשייה לקידום כולל של אזרחי המדינה, בין השאר על ידי עידוד כניסתן של אוכלוסיות חדשות למעגל העבודה בתעשיית הטכנולוגיה וצמצום פערים. בתעשיית ההיי-טק הישראלית פועלות שתי התארגנויות שונות. הראשונה מורכבת ממערך צעיר ודינמי של חברות סטארט-אפ בתחומים אופנתיים. אלה עוסקות בעיקר בתחומים מוכוונים תוכנה, המאופיינים בהשקעה מינימלית של זמן וכסף בין שלב ההקמה לשלב המכירה (אקזיט). הרעיון העומד מאחורי קבוצה זו מוכר בתעשייה כ"גלישה על גלי הטרנדים" – היזם מזהה גל ומנסה לרכוב עליו בדרך להצלחה, ובמקרה של כישלון הוא מחכה לגל הבא, וחוזר חלילה. זוהי גישה אופורטוניסטית של תעשיית הון סיכון השואפת להגשים חלומות, תוך הנחה ברורה שיותר מ-90 אחוזים מהרעיונות הללו ייכשלו. עבור המדינה, תעשייה מצליחה מספקת הכנסות גבוהות שנגזרת מעסקת המכירה. ואולם גם במקרים של כישלון המדינה הרוויחה את מיסי העבודה, ועל כן בכל תנאי המדינה מעוניינת שהתעשייה תמשיך לפעול במתכונת הנוכחית של הון סיכון, כדי למקסם את מספר החברות שמגיעות לשלב המכירה.

הקבוצה השנייה נבדלת מהראשונה באופן מהותי. היא מבוססת על טכנולוגיה יציבה או "עמוקה", ופחות רגישה לטרנדים. מרבית החברות הפועלות במסגרת קבוצה זו עוסקות בתחום הייצור בכלל ובחומרה בפרט, ובמקרה הישראלי מדובר בעיקר על חברות שעוסקות בתחום של פיתוח מוליכים למחצה או שבבים. היכולת המקצועית שהתפתחה בישראל בתחומים אלה נחשבת למובילה בקנה מידה עולמי. השבבים המפותחים בישראל מיוצרים במדינות שונות, ומיעוטם במפעלים של אינטל בקרית גת (ומפעל פרטי ותיק של חברת טאור, הנמצא בשלבי רכישה על ידי אינטל). בשני העשורים האחרונים בחרו חברות רבות לאומיות רבות למדי לפתוח מרכזי פיתוח שבבים דווקא בישראל. בין החברות הללו ענקיות תעשייה כמו אפל, פייסבוק, אמזון, אינטל, אנבידיה, סמסונג ורבות אחרות.

במישור החברתי ניתן לתאר את הקבוצה הראשונה של חברות התוכנה כקבוצה דינמית, שבה תחלופת כוח האדם תדירה ותוחלת החיים שלה קצרה יחסית. מרבית העובדים בחברות אלו הם אקדמאים, חלקם אף בעלי תארים מתקדמים, בעיקר בתחומי הנדסה ופיתוח. מנגד, הקבוצה השנייה של חברות החומרה כוללת לרוב גם תהליכי ייצור מורכבים, המחייבים השקעה גדולה יותר וזמן הבשלה ממושך יותר. משך זמן ההתמקצעות והעבודה בחברות האלה ארוך יותר, והעבודה בהן נחשבת יציבה יותר. גם בחברות אלה עובדים אנשים משכילים, אולם יש בהן יותר מקום למשרות שמזוהות עם אוכלוסיות שהשתתפותן מועטה.

ההבחנה בין חברות התוכנה לבין חברות החומרה מתארת למעשה מציאות של שתי כלכלות – האחת היא כלכלת מחקר ופיתוח שמתבססת על שיעור מצומצם באוכלוסייה; והשנייה היא כלכלת ייצור ושירותים שמעסיקה את חלק הארי של כוח העבודה. שתי הכלכלות אומנם תלויות זו בזו, ועד שנות ה-90 חברות מסחריות גדולות אף שאפו להכיל ולגלם בתוכן את שני המרכיבים. ואולם רעיון הגלובליזציה הבנה מחדש את התפיסה המסחרית על פי עקרונות של שוק חופשי והגדלת רווח, והדבר אפשר את ההפרדה בין הכלכלות. כפי שמתאר תומאס פרידמן בספרו **העולם הוא שטוח**, כאשר המערכת הגיאופוליטית מאפשרת זאת, תמיד יהיה יעיל ורווחי יותר לסחור עם שותפים על פי יתרון יחסי, ללא קשר למרחק הגיאוגרפי בין המדינות.⁹⁰