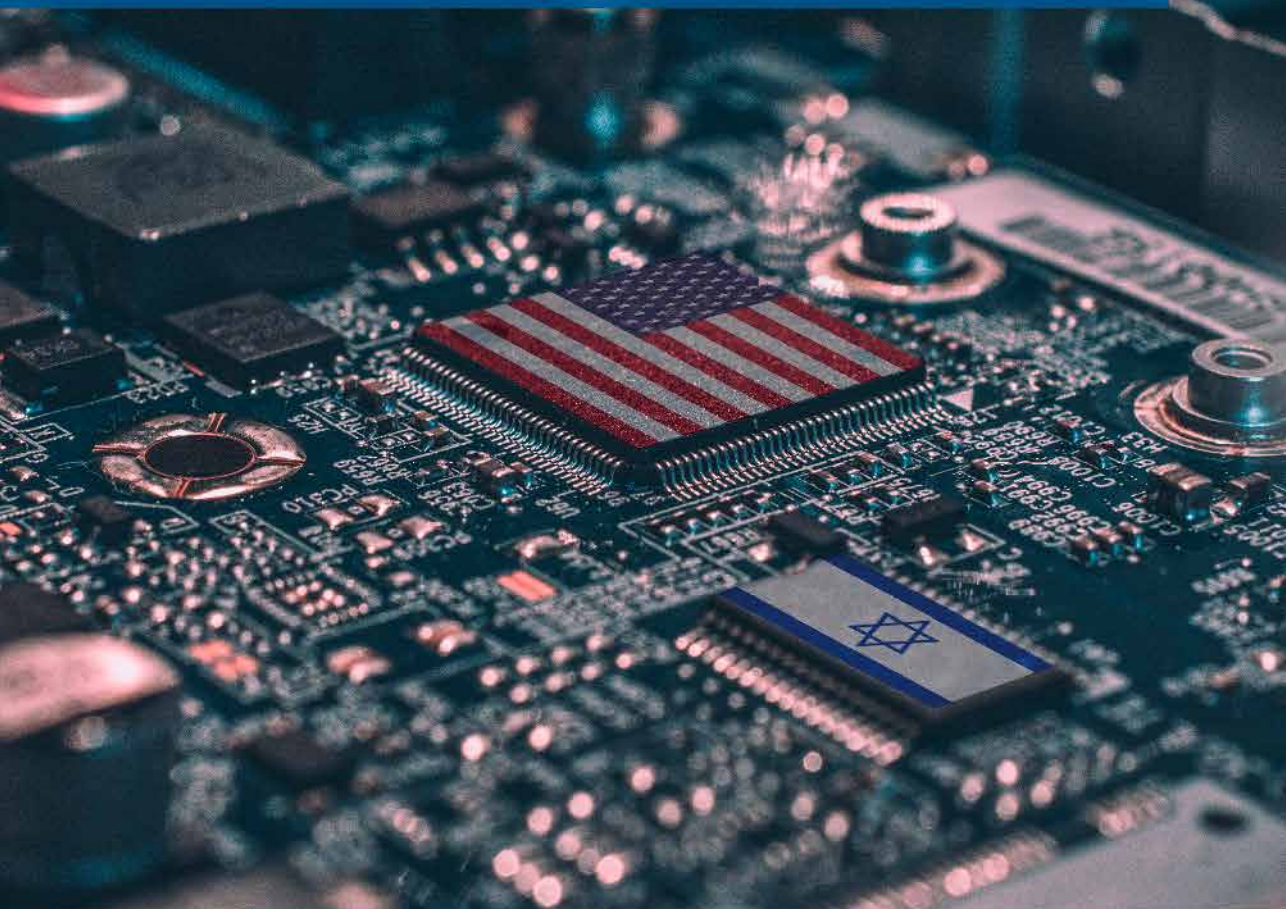


תכנית טכנולוגיה לאומית בישראל

אריאל סובלמן ות"ז



המרכז
למדיניות
ישראל-סין
ע"ש דיאן וגילפורד גלייזר



iNSS
המכון למחקרי ביטחון לאומי
THE INSTITUTE FOR NATIONAL SECURITY STUDIES
אוניברסיטת תל אביב
UNIVERSITY OF TEL AVIV

מזכר 228
דצמבר 2023

תוכנית טכנולוגיה לאומית לישראל

אריאל סובלמן ות"ז

תוכנית טכנולוגיה לאומית לישראל

אריאל סובלמן ות"ז

המכון למחקרי ביטחון לאומי

משלב בתוכו את מרכז יפה למחקרים אסטרטגיים, הוקם בשנת 2006. למכון שתי מטרות מוצהרות: הראשונה היא לערוך מחקרים בסיסיים בנושאי הביטחון הלאומי של ישראל, המזרח התיכון והמערכת הבינלאומית, וזאת על פי אמות המידה האקדמיות הגבוהות ביותר, והשנייה – לתרום לדין הציבורי ולעבודת הממשל בנושאים שנמצאים, או ראוי שיימצאו, בראש סדר היום הביטחוני של ישראל.

קהלי המטרה של המכון למחקרי ביטחון לאומי הם דרג מקבלי ההחלטות, מערכת הביטחון, מעצבי דעת קהל בישראל, הקהילה האקדמית העוסקת בתחומי הביטחון בישראל ובעולם והציבור המתעניין באשר הוא.

המכון מפרסם מחקרים שלדעתו ראויים לתשומת הלב הציבורית ושומר על מדיניות נוקשה של אי־משוא פנים. הדעות המובעות בפרסומים הן של המחברים בלבד, ואינן משקפות בהכרח את העמדות של המכון, של נאמניו או של האישים ושל הגופים התומכים בו.

המרכז למדיניות ישראל-סין ע"ש דיאן וגילפורד גלייזר

המרכז למדיניות ישראל-סין הוקם במכון למחקרי ביטחון לאומי בתמיכתה הנדיבה של קרן גלייזר לפילנתרופיה, והוא משמש מוקד לאומי לידע ולמחקר מוכוון מדיניות בנושא יחסי ישראל-סין. המרכז חותר לשפר את מדיניותה של ישראל, לקדם את היכולות והכשירויות הלאומיות בנושא, לטפח את קהילת הידע־פרקטיקה, לקדם הכשרות עבור העוסקים בנושא, לפתח ידע רלוונטי ולהטמיעו בישראל ומחוצה לה, וכן לעורר מודעות לנושא בקרב הציבור ובעלי תפקידים, להעמיקה ולחזקה.

צוות המרכז כולל חוקרי סין בתחומים מגוונים לצד ותיקי דיפלומטיה וביטחון, ונהנה מיחסים הדוקים עם ממשלת ישראל. המרכז משמש גם מקום מפגש לאקדמאים, לאנשי עסקים ולאנשי ממשל העוסקים ביחסי ישראל-סין, מישראל ומרחבי העולם.



עורכת הסדרה: ד"ר ענת קורץ, מנהלת המחקר, המכון למחקרי ביטחון לאומי
עריכת לשון והגהה: מירה ילין
הביא לדפוס: עמר ויקסלבאום, המכון למחקרי ביטחון לאומי
עיצוב גרפי: מיכל סמו קובץ, המשרד לעיצוב גרפי, אוניברסיטת תל אביב
אינפוגרפיקות ועזרים גרפיים: ניצן ליר עיצוב גרפי
עיצוב העטיפה: שי ליברובסקי, המכון למחקרי ביטחון לאומי
תמונת העטיפה: Alexandre Debieve via Unsplash

המכון למחקרי ביטחון לאומי
חיים לבנון 40
ת.ד. 39950
רמת־אביב
תל־אביב 6997556

info@inss.org.il
<http://www.inss.org.il/he>
ISBN: 978-965-7840-01-6

תקציר מנהלים

הגלובליזציה היא אקסיומה בלתי ניתנת להפרכה מאז מלחמת העולם השנייה. היא אחת מהתופעות החשובות ביותר שאירעו בהיסטוריה, וקשה לדמיין כיום כיצד אנשים ומדינות יצליחו לשרוד בלי שותפות ומעבר סחורות בינלאומי. עם זאת, מאז התפרצות מגפת הקורונה ומשבר שרשראות האספקה שהועצם בעקבותיה נסדקים עקרונות הסחר הגלובלי, ואחד הביטויים הבולטים לכך הוא המאבק הטכנולוגי המתחולל בין ארצות הברית לסין. מזה עשור סין מבטאת את שאיפותיה להוביל את ענף הייצור הטכנולוגי המתקדם בעולם. המפלגה הקומוניסטית פרסמה בתוכנית החומש ה-13 שלה את Made in China 2025 – פרויקט לאומי שתכליתו לצמצם את התלות הסינית בארצות הברית. סין מבקשת ליהנות מעקרונות הסחר החופשי והגלובליזציה על מנת לייבא את טובי המוחות ולהקים תעשיות מקומיות לייצור שבבים מתקדמים, שיובילו גם לחיזוק המחקר והפיתוח של יכולות בינה מלאכותית. ארצות הברית ראתה בפרויקט הלאומי סיכון משמעותי לביטחונה, וכפועל יוצא הנהיגה הגבלות סחר. במקביל, התפשטות מגפת הקורונה בעולם המחישה למערב את הסיכון בתלות בשרשראות אספקה שמקורן במזרח ואת ההכרח ליצור חלופה מקומית, שתבטיח עצמאות וגישה לטכנולוגיה חיונית לביטחון הלאומי.

בקמפיין הבחירות של הנשיא ג'ו ביידן בלט העיקרון שלפיו ביצור מעמדה העולמי של ארצות הברית וחיזוק הכלכלה מותנה בכך שהייצור הטכנולוגי העולמי יחזור לשליטה אמריקאית. ארצות הברית הקצינה את מאמציה למנוע מסין גישה לטכנולוגיות מתקדמות ופרסמה באוקטובר 2022 את 'חוק השבבים' (CHIPS). החוק כולל השקעה תקציבית בהיקף של 278.2 מיליארד דולר על פני עשר שנים, שנועדה להאיץ את המחקר והפיתוח הטכנולוגי ולהבטיח את מעמדה של ארצות הברית כמעצמה הכלכלית החזקה בעולם. מתוך הסכום הכולל הוקצו 52 מיליארד דולר לסבסוד הקמתם של מפעלים לייצור מוליכים למחצה על אדמת ארצות הברית. בצעד זה ביטאה ארצות הברית עדיפות לשיקולים ביטחוניים ופוליטיים על פני שיקולים כלכליים וסחר גלובלי חופשי.

החקיקה האמריקאית יצרה מציאות פוסט-גלובלית וחזרה למודלים מבוססי בריתות וקואליציות. כל מדינה (או למעשה כל חברה) מחויבת לבחון מחדש את שיתופי הפעולה שלה ואת החברות השותפות לשרשרת האספקה שלה, כדי להימנע מסנקציות אמריקאיות. זאת ועוד, ארצות הברית פנתה לשותפותיה באסיה ובאירופה במאמצים לשכנען להצטרף למאבק ולאמץ את המדיניות המגבילה יכולות מחקר, פיתוח וייצור שבבים מתקדמים

בסין. זוהי דרישה מורכבת לנוכח מעמדה הכלכלי של סין, הקשרים המתחזקים שלה עם מדינות אסיה ואירופה והמחיר הגבוה שהן עלולות לשלם לא רק בכלכלה אלא גם בהיבטים אחרים של ביטחון לאומי.

גישתה של ארצות הברית שנויה במחלוקת במשטרים דמוקרטיים ליברליים. מדינות קפיטליסטיות בחרות לרוב לממן השקעה ראשונית במחקר ופיתוח, או לסייע במימון הסיכון כדי לעודד יזמים ומשקיעים פרטיים להצטרף, ולאורך השנים הן 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 ההצלחה נובעת בין השאר מכך שההיי־טק הישראלי מתרכז במגוון מצומצם יחסית של תחומים טכנולוגיים מבוססי תוכנה, שאינם מחייבים 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 הקצב וסוג השינויים הטכנולוגיים בתחום החומרה, המהווה בסיס הכרחי לתעשייה כולה. יתרה מכך, כבר עתה מזוהה שחיקה במעמדה של ישראל כמדינה חדשנית המוכנה לקליטת טכנולוגיות עתידיות.

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 עם מגזר הייצור (אלקטרוניקה, ביוטכנולוגיה) ופעילויות המזוהות עם מגזר השירותים (תכנות מחשבים, אבטחת מידע, בינה מלאכותית). 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, אשר גייסו את המהנדסים המצטיינים לשורותיהם. נוצרה מערכת יחסים משולשת בין מדענים, יזמים ומשקיעים זרים, שהפכה לתנאי הכרחי לקידום המשק.

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, אשר מחו 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 כניסה של הון זר והכרחי לצמיחה של המשק. ואולם 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, והמגבלות עצמן הפכו למנגנון קנסות לחברות שיבחרו למכור בעלות על הקניין. מנגנון זה לא הרתיע את היזמים, שגילמו את הקנס בעלות המכירה או מצאו דרכים להמירו בהשקעות אחרות.

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. ואולם 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 לטובתה של מדינת ישראל (בכלל זאת שיא גיוס הון בסך כולל של 27 מיליארד דולר, 40 חברות ישראליות שחצו את הקו של שווי 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 בעל השפעה גלובלית רחבה. מדינות שלא ישכילו להשקיע את ההון הדרוש לטובת החדשנות יישארו מאחור, הן מבחינה כלכלית והן מבחינה חברתית וביטחונית.

השקעה במחקר ופיתוח בתחום הייצור הטכנולוגי היא מרכיב חשוב ויתרון יחסי שישראל נהנית ממנו, אך זהו פתרון חלקי בלבד לבעיה. נדרשת תוכנית לאומית לישראל, שנותנת ביטוי לכל ההיבטים הנוגעים לפיתוח, לייצור ולסחר בשבבים. הכוונה ממשלתית היא תנאי לעידוד השתתפות ולתחרות, 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.

נקודת המפנה ששינתה את הגישה בעולם היא משבר שרשראות האספקה. עוצמת המשבר הורגשה גם בישראל, אולם הוא לא הומשג בשיח הישראלי ובהקשריו הייחודיים לתעשיית ההיי-טק המקומית. ישראל היא חלק משרשרת האספקה העולמית, וכשחל שיבוש או כשל בנקודה מסוימת בשרשרת, באחריות המדינה לבצע שינויים או התאמות

ברמה הכלכלית או הגיאופוליטית על מנת למזער את הפגיעה או לנצל הזדמנות לקדם את האינטרסים של המדינה.

במזכר זה אנו מבקשים לעשות שימוש במודל שפיתח ד"ר צבי לניר בספרו **ההפתעה הבסיסית**, שיצא לאור ב־1983, ולהצביע על ההיסט שבו ישראל מצויה. בעוד שישראל רואה עצמה ממשיכה להתפתח כמדינה חדשנית ויזמית מובילה בהייטק בקנה מידה בינלאומי, בפועל משבר שרשראות האספקה והעימות המקצין בין ארצות הברית לסין הובילו להתארגנות מחודשת של הזירה הטכנולוגית שמאתגרת את האסטרטגיה הנוכחית. בעוד שמדינות השואפות לחזק את התעשיות הטכנולוגיות שלהן מקדמות חקיקה ומשקיעות הון עתק בתחום הייצור והחומרה, ישראל טרם גיבשה מדיניות כוללת בנושא – דבר שעלול להביא לשחיקת יתרונה היחסי לאורך זמן. ההתמקדות הנוכחית בכלכלת שירותים מקצינה את הקיטוב ומעמיקה את הפערים וכך נשחק ההון האנושי.

בהינתן שישראל תבחר להמשיך באסטרטגיה הנוכחית, תימנע מהתערבות ישירה בתעשייה ותתמקד במחקר ופיתוח, היא עלולה להגיע ל"קצה גבול האסטרטגיה" בחדשנות. זאת מהסיבה הפשוטה שמול השקעות העתק הממשלתיות ברחבי העולם והשקעה במדיניות תעשייתית של הסתמכות עצמית גדולה יותר, ישראל עלולה להיווכח כי יכולת התחרות שלה נשחקת. בניגוד לישראל, מתחרותיה בעולם פועלות עתה לקידום חקיקה ולהרחבת אפיקי ההשקעה כדי לאפשר להן להתמודד עם מציאות של צמצום סחר בחומרה מתקדמת (מגמה המורגשת כבר כיום, לנוכח המאבק בין ארצות הברית לסין). זאת על ידי סבסוד ממשלתי ליצירת איזון טוב יותר בין מחקר ופיתוח ליכולות ייצור, אשר ישמור על יציבותן הטכנולוגית והכלכלית.

המזכר מציג חלופות למדיניות טכנולוגית לישראל וממליץ על חלופה שבה ישראל מיישרת קו עם המגמה השלטת בקרב המדינות המתקדמות ביותר בהובלת המעצמות הטכנולוגיות, ומבינה שהדרך היחידה "לשבור את הליניאריות" של החדשנות הטכנולוגית היא התערבות ממשלתית, ולפיכך עליה לגבש תוכנית לאומית ויעדים ארוכי טווח. מגמה זו אומצה על ידי מגוון רחב של מדינות, חלקן בגודלה של ישראל ועם מאפיינים דומים של כלכלתן, כגון הולנד ואירלנד. על פי חלופה זו רשות החדשנות, בהנחיית ממשלת ישראל, תתמקד במימוש היעד של הגדלת הייצור במדינה, תקבל תקציב מוגדל וסמכויות למימוש יעדים אלה באמצעות כלי הפעולה הקיימים (הקלות ותמריצים), וכן תוגדר מדיניות השקעה לאומית בחברות הזנק (סטארט־אפ) על מנת להכווין ולעודד יזמים להקמת חברות בתחומים הנדרשים. זאת בניגוד למצב הקיים היום, שבו זרוע ההשקעות של רשות החדשנות

פועלת בדומה לקרן הון סיכון ומכוונת את השקעותיה על בסיס תחזיות החזר השקעה. תפקידה של רשות החדשנות הוא קריטי ועליו לבוא בתוספת להשקעות לאומיות בתשתיות ובהון האנושי, באמצעות מערכת החינוך האוניברסיטאות ותהליכי השמה ייחודיים למקצועות הרלוונטיים. מעבר לכך, בחלופה זו ממשלת ישראל תקדם באמצעות יוזמותיה המדיניות שיתופי פעולה כלכליים עם מדינות המפרץ ואחרות על מנת ליצור את שותפות ההון הנדסה, שתאפשר להגדיל את חתימת הייצור בישראל ובאזור, ובכך להמשיך לחזק את השותפות בין המדינות.

החלופה הזו מאתגרת את ישראל בהשקעה ראשונית גבוהה ובהגדרת יעדים שעלולים להיתפס כ"מדיניות תעשייתית", המציבה מסגרת והגבלות למגזר הפרטי בכיוונים שאינם תואמים את היתרון היחסי הנוכחי. מבחינות מסוימות החלופה כופה תהליך התבגרות על תעשיית הטכנולוגיה הישראלית – מזו שמבוססת כמעט באופן מוחלט על ניצול הזדמנויות – "רכיבת גלים" – להגדרה סדורה יותר של מדיניות ויעדים להתפתחות התעשייה והכלכלה. על מנת להבין את קנה המידה של התשומות הנדרשות: חוק השבבים בארצות הברית הוא בהיקף של כ-280 מיליארד דולר, אשר כ-52 מיליארד מהם מיועדים לסובסידיות ישירות עבור בניית מפעלי שבבים או מפעלים הקשורים לשרשרת הערך של השבבים (אריזה, הרכבה ובדיקה). האיחוד האירופי הקציב כ-43 מיליארד אירו לאותה מטרה. מן הסתם הכלכלה הישראלית אינה מסוגלת להקצות סכומים כאלה, אולם הגדרה מדורגת של היעדים, שילוב זרועות מלא עם המגזר הפרטי (הן בהגדרת היעדים והן בהשקעות) וייתכן שגם שותפויות עם מדינות המפרץ – כל אלה יאפשרו לישראל לשמור על חוזקתה ועל האטרקטיביות שלה בקרב המשקיעים מתחום התוכנה והשירותים, וגם לפתח את תעשיית החומרה המקומית. מאחר שישראל מתחרה בתחום זה במעצמות שמשקיעות הון עתק, סביר להניח שהיא לא תוכל לממש חלופה זו ללא תמיכת ארצות הברית, רוח גבית מאירופה והשקעה מצד מדינות נוספות. הצהרה על תוכנית לאומית המיישרת קו עם האסטרטגיה האמריקאית צפויה במידה רבה לאפשר תמיכה זו.

מזכר זה הוא קריאה לדיון על אסטרטגיה טכנולוגית לאומית, שראוי לקיימו בהקדם. לצורך דיון זה דרושה עבודת מטה שתאפיין את התשתית הטכנולוגית ההכרחית לקיום ולשגשוג תעשיית ההייטק הישראלית כך שתוכל להמשיך לעבוד ולהניע את כלכלת המדינה גם בהינתן משברים פוליטיים, אקלימיים או אחרים, דוגמת מגפת הקורונה. כפי שהמדינה מחויבת לספק ביטחון אנרגטי ותזונתי בצורת דלקים וחיטה למשל, כך עליה להגדיר את משמעות הביטחון הטכנולוגי הבסיסי של המדינה. מרבית תחומי ההייטק דוגמת סייבר

ובינה מלאכותית הם יישומי קצה התלויים בקיומה של תשתית חומרה טכנולוגית, בין השאר בתחום של אספקת שבבים או ייצורם.

תוכן העניינים

11	הקדמה ושלמי תודה
15	על המזכר
21	שער ראשון: תמורות גלובליות בצל המאבק הטכנולוגי בין ארצות הברית לסין
21	ראשית הגלובליזציה של המאה ה־21: כיצד נולד השוק העולמי החופשי?
25	ניפוץ האשליה: סין משחקת על כל המגרש וחותרת לעליונות טכנולוגית
28	ראשיתה של "מלחמת הסחר" ופרוץ מגפת הקורונה
	ממשבר שבבים עולמי ל'חוק השבבים': מדיניות תעשייתית לצורך מניעת
31	העליונות הסינית
38	"קואליציות שבבים": בריתות מבוססות אינטרסים
45	שער שני: התערבות מדינתית בתעשיית הייצור הטכנולוגי כאינטרס לאומי
	תעשיות הייצור הטכנולוגי בישראל: תרומתה של ההשקעה הממשלתית להצלחה
46	העולמית
48	מתמיכה ממשלתית למודל של שוק חופשי
	בחזרה לתשתית: השקעה ממשלתית במחקר פיתוח וייצור לטובת חדשנות
54	טכנולוגית
58	השבבים המתקדמים וטכנולוגיות הייצור כמשאב הלאומי של המאה ה־21
59	השיקול הביטחוני: תלות הולכת וגוברת בטכנולוגיה שמיוצרת מחוץ לישראל
	"מגן הסיליקון" – תשתית ייצור כנכס אסטרטגי לביטחון הלאומי – מקרה בוחן
61	מאת צחי שחר
63	צעדים שנקטה טאיוואן ועשויים להיות רלוונטיים לישראל
64	חיזוק התשתיות הלאומיות, מאגרי המידע לרווחת האזרח והגנת הפרטיות

65	השיקול הערכי: בין דמוקרטיה לטכנולוגיה מתקדמת
68	השיקול החברתי: התערבות לצורך גיוון המקצועות במשק ושילוב אוכלוסיות שהשתתפותן מועטה
71	שער שלישי: ניתוח אפשרויות הפעולה של ישראל
71	האם ישראל פועלת על פי אסטרטגיה טכנולוגית?
72	ניתוח מערכתי: ההקשר שבתוכו פועלת ישראל
75	תיאור ההיסט
76	חלופות למדיניות ואסטרטגיה בהקשר הטכנולוגי
83	שער רביעי: סיכום והמלצות לישראל
87	אחרית דבר
89	רשימת המראיינים (לפי סדר א-ב)
91	הערות

הקדמה ושלמי תודה

מזכר זה מוגש לקוראים בעיצומה של המלחמה בעזה, אשר פרצה ב־7 באוקטובר 2023 בזמן עבודת העריכה וההכנה לדפוס. מטבע הדברים, המלחמה דוחקת הצידה עיסוק אקדמי גם בסוגיות אסטרטגיות ארוכות טווח. עם זאת, אחת ממשימותיו העיקריות של המכון למחקרי ביטחון לאומי באוניברסיטת תל אביב היא בדיוק זו – לוודא שמדינת ישראל מתכוננת לאתגרים שעימם תתמודד בכל הנושאים המשפיעים על ביטחונה הלאומי. מזכר זה עוסק במלחמת השבבים הגלובלית – מלחמה כלל־עולמית המתחוללת כבר יותר משלוש שנים ותהיה לה השפעה עצומה על מדינת ישראל.

שבבים – אותם שבבי סיליקון זעירים הנמצאים בכל מכשיר אלקטרוני אזרחי או צבאי – לא היו מוכרים בציבור הרחב עד לפני כשלוש שנים. אם הכירו אותם, לרוב היה זה בהקשר הנדסי אוטורי כזה או אחר, בוודאי לא כנושא גיאופוליטי שיש לו השלכות עצומות על הביטחון הלאומי. בשנים האחרונות, כמו בסופה מושלמת, התחברו מספר גורמים – הפנמת הפגיעות האמריקאית שהתפתחה בין השאר כתוצאה מתלות גוברת בטכנולוגיה מתוצרת סין, מגפת הקורונה, פלישת רוסיה לאוקראינה ומשבר האקלים – שתרמו למשבר חסר תקדים בשרשראות האספקה העולמיות ובייחוד באספקת שבבים, והעלו את הנושא לשיח הציבורי. משבר השבבים נגע בכולם, הגיע לכל קצוות תבל בשל פגיעתו באספקה הרציפה של מכשירי חשמל, מכוניות, תשתיות, רכיבים למערכות נשק חכמות והפך את השבבים לזהב או לנפט של ימינו.

משבר השבבים פרץ בתקופה מעניינת מבחינתי האישית. את הקריירה המקצועית שלי התחלתי כחוקר צעיר במכון למחקרי ביטחון לאומי (בשמו הקודם – מרכז יפה למחקרים אסטרטגיים) באוניברסיטת תל אביב, שבו יזמתי והקמתי תוכנית מחקר בתחום טכנולוגי מפציע ואוטורי שקראנו לו 'לוחמת מידע'. לימים החליף השם המוצלח יותר 'סייבר' את השם המסורבל שהגיתי לתוכנית בשנת 1997 והפך לאחד מתחומי העיסוק החשובים ביותר בהגות ובפרקטיקה הביטחונית. הרצון לחוות גם את הפרקטיקה של תעשיית הטכנולוגיה ולא רק לחקור אותה הוביל אותי להזדמנויות בשוק ההיי־טק, שם התמחיתי והתמקצעתי בישראל ובחו"ל במשך עשרים שנה, כשמוקד העשייה שלי היה בחברות חומרה ושבבים. זכיתי לעבוד בחברות שתרמו רבות לתעשיית הטכנולוגיה הישראלית, ביניהן חברת אם־סיסטמס המיתולוגית בראשותו של היזם הבלתי נלאה דב מורן, אשר גם זכר לי חסד נעורים וכתב דברים על המזכר. במרבית שנותיי בתעשייה עבדתי בחברת השבבים הישראלית

ואלנס, שצמחה להיות חברת השבבים הישראלית הגדולה ביותר ויצאה להנפקה ציבורית בבורסת ניו יורק לפני כשנתיים.

הרצון לחזור למחקר ולכתיבה קינן בי בשנים האחרונות, וההזדמנות באה בדמות משבר השבבים. במהלך עבודתי בתעשייה, כמו רבים אחרים זיהיתי את התפתחות המשבר והבנתי את השפעותיו האפשריות על הכלכלה העולמית. ואולם הכשרתי במכון וניסיוני במחקר אסטרטגי גרמו לי להרהר ולשער שהשלכות המשבר המתהווה עשויות לחרוג מהתחום האזרחי-כלכלי, להשפיע גם על תחרות המעצמות בין ארצות הברית וסין ולהפוך לתחום עיסוק חדש במחקר האסטרטגיה והביטחון הלאומי.

שיתפתי בהגיגי חברים וקולגות בתעשייה וב-INSS, והם הסכימו שהנושא אכן עשוי לעמוד במוקד סדר היום האסטרטגי בעולם ולהשפיע גם על ישראל. כבמקרים רבים אחרים בעבר, המכון זיהה נכונה את הפוטנציאל המחקרי של התחום החדשני ואת חשיבות העיסוק בו על מנת להפיק מחקר מוכוון מדיניות. זו הייתה זכות עצומה שפרופ' מנואל טרכטנברג ותת־אלוף (מיל') אסף אוריון העניקו לי את ההזדמנות לחזור למכון ולהוביל פרויקט מחקר חדשני. גם מצד מעסיקתי, חברת ואלנס, זכיתי לשיתוף פעולה. שיתפתי את מנכ"ל החברה מר גדעון בן־צבי, יזם ותיק ומנוסה, ברצוני לעסוק במחקר. הוא הבין מייד את הפוטנציאל של הפריה הדדית בין התעשייה לגופי מחקר ואקדמיה ואפשר לי לצאת לשנת שבתון – דבר חסר תקדים בישראל, למיטב ידיעתי. על כך נתונה תודתי העמוקה. מזכר זה שאתם אווזים בו הוא פרי עבודת מחקר זו.

חובה נעימה היא עבורי להודות למספר אנשים שתרומתם לתהליך הייתה עצומה! בראש ובראשונה אני מבקש להודות לשותפי לדרך סא"ל ת"ז, קצין ערכי ויסודי שהכרתי במסגרת שנת מחקר שלו. אי אפשר להפריז בתרומתו של ת"ז למחקר זה. העבודה עימו נולדה משיתוף פעולה בין המכון למחקרי ביטחון לאומי לצה"ל – יוזמה מבורכת לקיום עבודות מחקר משותפות בין גופים אקדמיים דוגמת המכון וקציני צה"ל. אני מרגיש צורך להדגיש כי תרומתו של ת"ז הייתה אך ורק בהיבטים האקדמיים של המחקר, ואת המלצות המדיניות גיבשתי בנפרד והן על אחריותי שלי. אני תקווה שעבודה זו תהיה אבטיפוס לשיתופי פעולה בתחומי מחקר מפציעים נוספים.

אני מבקש להודות לראש המכון פרופ' מנואל טרכטנברג על שהזמין אותי למכון והעניק לי את המעטפת הארגונית והאקדמית לקיום מחקר זה. באותה מידה תודתי נתונה גם למנהל המכון אלוף (מיל') תמיר הימן על האמון, התמיכה והקידום של מחקרי. חוב עצום אני חב לתת־אלוף (מיל') אסף אוריון, ראש מרכז גלייזר למדיניות ישראל־סין במכון.

אסף והקבוצה הפכו למשענת האקדמית שלי ולחלק מרכזי בחיי. אסף היה הדלק שהניע ודחף אותי להעמיק במחקר, לוודא, לשפר, לתקן, לחדד, לדייק ולתקף כל נתון, אמירה ומסקנה. מחקר מצריך נגישות למקורות מידע, איסופם, קטלוגם וניתוחם. אני מבקש להודות למרכז המידע של המכון בהובלת מר יואל קוזק, אשר מנהל מכונה יעילה ומשומנת של איסוף והפצת נתונים גולמיים. כידוע, כל מחקר אקדמי מבוסס על הידע שנצבר ממחקרים ומדורות קודמים, ועל פי אמירתו הידועה של סר אייזיק ניוטון, אם אני הרחקתי ראות, אין זאת אלא כי עמדתי על כתפי ענקים – במקרה שלי ענקים שעסקו לאורך עשרות שנים בחקר ביטחון ישראל ובפיתוח תעשיית הטכנולוגיה בארץ.

תודה מעומק הלב לצוות הנפלא של חוקרות וחוקרי מרכז גלייזר – ד"ר עודד ערן ז"ל, שתרם רבות למחקר זה והלך לעולמו לאחר סיום המחקר, גליה לביא, שחר עילם, ד"ר אורי סלע, ד"ר דורון אלה, ד"ר תומר פדלון, טוביה גרינג, עו"ד עופר גרנות וד"ר שירה עפרון – שמהם למדתי ובהם נעזרתי רבות, ותקצר היריעה מלפרט. תודה נוספת לחוקרי ולחוקרות המכון למחקרי ביטחון לאומי שעזרו באפיון, בהכוונה, בניתוח, בקריאה, בדיון, בביקורת ובתיקונים. אזכיר ואודה לד"ר ענת קורץ, מנהלת המחקר במכון, קולגה וחברה יקרה כבר יותר מ-25 שנה, וכן לד"ר גליה לינדשטראוס, ד"ר כרמית ולנסי, אל"ם (מיל') עו"ד פנינה שרביט ברוך, ח"כ לשעבר עפר שלח, ענבר נוי-פרייפלד וד"ר לירן ענתבי. תודה מעומק ליבי, בריאות ואריכות ימים אני מבקש לשלוח לפרופ' (אמריטוס) אשוק אגראוואללה, שזכיתי שינחה אותי בעבודת הדוקטורט וממנו למדתי כל כך הרבה. העבודה המקצועית הפכה לידידות שנמשכת כבר כמעט שלושה עשורים. אני מבקש להזכיר את ד"ר אמילי לנדאו ז"ל, אשר אפילו בימי מחלתה הקשה תרמה בחשיבה משותפת על הדרכים שבהן אוכל לממש את שאיפותיי המחקריות. תודה רבה גם לתמיר פרדן, ראש המוסד לשעבר, על כתיבת דברים על המזכר. בלתי אפשרי לקיים מחקר כלשהו בלי עוזרי מחקר, סטודנטים ומתמחים. זכיתי לעבוד עם צוות עוזרי המחקר הנפלאים רועי בן-צור, אופיר דיין ואופיר מינץ ועם המתמחה עו"ד צחי שחר, שגם תרם וכתב מקרה בוחן המופיע במחקר זה. המכון לא רק חוקר את ביטחון ישראל ואנשיו אינם ספונים במגדל השן של האקדמיה אלא שותפים פעילים בנטל, ולעיתים משלמים את המחיר הכבד ביותר. כאן אני מבקש אף לציין שניים מאנשי המכון – ד"ר מורן דיטש שבעלה נפל בקרבות בעזה, ורב-אלוף (מיל') גדי איזנקוט, חוקר המכון לשעבר, ששכל את בנו במלחמה בעזה.

אני מבקש להודות גם לאישים מובילים באקדמיה, בביטחון, בממשלה ובתעשייה אשר נרתמו למחקר, שיתפו פעולה ותרמו מזמנם, ממרצם ומחוכמתם. בהקשר זה אזכיר

את אלוף (מיל') פרופ' יצחק בן-ישראל, אהרון אהרון, דב מורן, אייל וולדמן, שבתו דניאל נרצחה עם בן-זוגה במסיבת נובה בשבעה באוקטובר, ד"ר דורון מאירסדורף, מולי אדן, יעל רוזנברג ודודי גלנטי.

תודה אחרונה שלוחה לבני משפחתי – קרין, יהל, נדב ואלמה היקרים לי מכול – על הכלה אינסופית.

תרומתם של כל הנזכרים לעיל הייתה גדולה ומשמעותית. בשמי ובשם סא"ל ת"ז אני מודה לכולכם מעומק ליבי ומעריך מאוד מאוד את עזרתכם ותרומתכם. אני מתנצל מראש על כל שם שאולי שכחתי להזכיר. והדגשה אחרונה: כל טעות או שגיאה שאולי נפלו הן על אחריותי שלי ועל אחריותי בלבד.

אריאל סובלמן, דצמבר 2023

על המזכר

מאז השבעה באוקטובר 2023 נמצאת מדינת ישראל במלחמה שנכפתה עליה מול חמאס. אך המלחמה הזו מתנהלת לא רק במרחב שלנו אלא בכל רחבי הגלובוס, בבירות המערב, בקמפוסים של אוניברסיטאות היוקרה וכן במטות חברות הטכנולוגיה הגדולות והמשפיעות ביותר בעולם, אשר בכוחן להשפיע במישרין ובעקיפין על הנרטיב, על התמיכה בישראל ועל הלחצים הפוליטיים על ממשלות העולם בצורה המשפיעה, בסופו של דבר, על מרחב התמרון של ישראל במלחמה. נוסף על כך, אין אפשרות לנתק את המאבק גם מההקשרים הגלובליים ומהתחרות בין המעצמות. המכון למחקרי ביטחון לאומי מחויב למחקר בסיסי בסוגיות הקשורות לביטחונה הלאומי של ישראל גם בימי מלחמה מתוך הבנה כי לאחר סיומה, האתגרים האסטרטגיים שיעמדו בפני ישראל יחייבו בסיס ידע שיעמוד לרשות מעצבי המדיניות ומקבלי ההחלטות. מזכר זה נוגע באחד המעצבים המרכזיים שהשפיעו על הסדר העולמי ואשר יחזרו להעסיק את מדינת ישראל עם שוך הקרבות.

המציאות הכלכלית הגלובלית עוברת שינוי עמוק. המערכת הגלובלית שעוצבה לאחר מלחמת העולם השנייה ועודכנה לאחר נפילת ברית המועצות יצרה עולם שטוח, שבו האופטימיזציה הכלכלית קובעת את מיקום הייצור ואת שרשראות האספקה. רשת האינטרנט והשיפור בתשתיות התחבורה מחקו גבולות והאיצו את התקשורת והחיבור בין חלקי העולם השונים. סדר עולמי זה השתנה בראשית שנות ה-2000 עם ההסלמה בטרור הבינלאומי, גלי הפליטים וחוסר האמון בין מדינות, שהביאו להקשחת הגבולות. העולם ספג חבטה נוספת עם בוא מגפת הקורונה, אשר שיבשה לחלוטין את שרשראות האספקה והמחישה את הסיכון הביטחוני הגלום בשבריריותן. הגורם המעצב הבולט ביותר הוא התחרות הבין-מעצמתית. ארצות הברית, בניסיונותיה לשמר הגמוניה עולמית, משנה את כללי המשחק. חוק השבבים הוא סימפטום בלבד של תופעה רחבה, שבמסגרתה הביטחון הלאומי מהווה רכיב מרכזי בשיקול הכלכלי הלאומי של מדינות. זאת בעוד שיקולים ביטחוניים אינם מתיישרים עם הרציונליות הכלכלית. היבטים של ערכים, אינטרסים גלובליים ותחרות עם יריבים הם רכיבים משבשים משמעותיים.

מדינת ישראל חייבת להיערך לשינוי הגלובלי. תנאי הבסיס של ישראל טובים יותר משום שהרכיב הביטחוני אינו חדש למערכת הכלכלית הישראלית. עצמאות ותפיסת האפשרות של בידוד מדיני וחרמות היו רכיבים מעצבים של מדיניות הביטחון הלאומי הישראלי לאורך השנים. ברם, המהפכה הכלכלית של תעשיית ההייטק, לצד יתרונותיה האדירים,

יצרה עיוות בחשיבה האסטרטגית הישראלית. קטר ההיי־טק התפתח מלמטה למעלה, ללא אסטרטגיה מדינית. רק לאחר שנים של הישגים החלה המערכה ישראלית לייצר את התשתית המאפשרת את העצמת הפריחה של הסייבר בישראל. גישה אסטרטגית כזו אינה מתאימה לעולם המשתנה ולתעשיות עתירות המידע של העתיד.

בעידן שבו תשתית היא התנאי למהפכה הטכנולוגית הבאה והשבבים הם רכיב יסוד מרכזי, ישראל זקוקה לאסטרטגיה אחרת, כזו המנתחת את ההיבטים הגלובליים של התחרות בין סין לארצות הברית ומאפשרת לישראל ניווט חכם ביניהן, מגדרת סיכונים ומבססת תשתית שתבטיח עצמאות ביטחונית. ברור שיש להתחשב במגבלות הפיזיות של הכלכלה הישראלית. ישראל כנראה לא תהיה המובילה בעולם בתחום ייצור השבבים, אך היא יכולה להיות שחקנית דומיננטית בפיתוח הדורות הבאים של שבבים, ולפתח תשתית שתשתלב במערכת הייצור העולמית של שבבים ורכיבי מערכת החיוניים לבינה מלאכותית ולמחשוב קוונטי.

המזכר שלפניכם סוקר את המערכה הטכנולוגית העולמית ומנתח את דרכי הפעולה שיאפשרו עיצוב אסטרטגיה טכנולוגית לישראל. עדיין לא מאוחר לגבש את המדיניות. המדיניות הזו נדרשת לישראל, ואין להסתמך על "זיכרון שרירים" של המהפכה הקודמת – מהפכת הסייבר. אנחנו נדרשים לאמץ מדיניות הכוללת מעורבות ממשלתית, שנקודת האיזון בינה לבין כוחות השוק שונה מזו ששימשה אותנו בעידן הסייבר.

תמיר הימן, מנהל המכון למחקרי ביטחון לאומי

במשך שנותיי במערכת הביטחון זכיתי לראות כיצד עוצמה טכנולוגית מבצרת את ביטחונה הלאומי של מדינת ישראל. העליונות הטכנולוגית של ישראל, ההון האינטלקטואלי ורוח היזמות והחדשנות הם נכס בעל חשיבות עליונה למעמדה של ישראל בעולם, לא פחות מאשר המצפן הערכי של ישראל כחלק מהעולם הדמוקרטי והליברלי. מאז השבעה באוקטובר נמצאת ישראל במלחמה קשה בעזה – מלחמה שבסופה תיאלץ לבחון את הנחות היסוד שלה כמעט בכל נושא שהיה על סדר היום הלאומי, ובכלל זה גם הצורות שבהן הטכנולוגיה משפיעה על ביטחונה הלאומי ועל מערכת יחסיה הבינלאומיים, כחלק ממאבק הבין-מעצמתי והתחרות הטכנולוגית העולמית.

בעידן המאופיין בהתקדמות טכנולוגית מהירה ובמאבק גיאופוליטי בין ארצות הברית לסין, הנוף העולמי משתנה. הבינה המלאכותית יוצרת תעוזה טכנולוגית גוברת, וההיגיון המקובל של תלות הדדית הופך מיושן. ארצות הברית וסין, הנתפסות לעיתים קרובות כנושאות הדגל של מרוץ החימוש הטכנולוגי החדש, מזרימות משאבים עצומים לבניית מפעלי ייצור טכנולוגיים ומטפחות תעשיות שבבים מקומיות, וכך מעצבות מחדש את מאזן העוצמה ואת שרשרת האספקה העולמית. בפועל נדמה שמגפת הקורונה והפלישה הרוסית לאוקראינה הניעו מדינות נוספות בעולם לעבר הסתמכות עצמית ופרו-אקטיביות בעיצוב הסחר העולמי. מורגש עיסוק מוגבר במחקר, בפיתוח ובייצור של טכנולוגיות רבות עוצמה (עיבוד נתוני עתק, רובוטיקה, נשק אוטונומי ועוד), והדבר מחייב את ישראל, שהיא מעצמה טכנולוגית, לחשב מסלול מחדש. העולם מתארגן בבריתות טכנולוגיות המבוססות על אינטרסים ביטחוניים, והסתמכות על זרמי הגלובליזציה בעידן הנוכחי עלולה להותיר את ישראל פגיעה ללחצים חיצוניים. ישיבה על הגדר בניסיון ליהנות מפירות המערב והמזרח בעת ובעונה אחת היא סיכון ליציבות הביטחונית. המגזר הפרטי אינו יכול לעמוד לבדו בתחרות שמתהווה לישראל באירופה ובאסיה.

לישראל הון אנושי ופוטנציאל לטיפול מערכת וסביבה איתנה של חדשנות, וכבר כיום ביכולתה לאפשר מידה מסוימת של עצמאות טכנולוגית ולהבטיח ביטחון לאומי בר-קיימא. זוהי שעת כושר לאגד את המגזר הציבורי והפרטי ולהתוות יחד את גורלנו. על ישראל להכיר בכך שהמציאות סביבה משתנה ולשאוף לא רק להתאים את עצמה להשתנות אלא גם להצטיין בתחרות הטכנולוגית העולמית. ישראל זקוקה למנהיגות טכנולוגית יוזמת ולאסטרטגיה שתעצים את הכלכלה ותפתח מנופים דיפלומטיים בזירה העולמית.

אני מברך על החלטתו של המכון למחקרי ביטחון לאומי לנתח את התמורות הטכנולוגיות העולמיות מנקודת מבט גיאופוליטית ולהציע נייר עמדה ראשון מסוגו בתחום זה. הרעיון של

“אסטרטגיה טכנולוגית” המובא במזכר שלפניכם מבטא היגיון פשוט. תפקידה של המדינה אינו רק להכווין השקעות פרטיות ולעודד יזמים אלא גם לייצר מערכת שלמה שתאפשר להון האנושי לשרת את הצרכים הלאומיים של ישראל. מערכת כזו כוללת השקעה מוגברת במחקר ופיתוח, חיזוק האקדמיה, תשתיות ושותפויות אסטרטגיות בין המגזר הציבורי והפרטי, שיבואו לידי ביטוי ברגולציה ובניהול הון סיכון. השקעה זו מאפשרת גם גיוון של שוק העבודה בישראל ויוצרת הזדמנות להרחיב את ההשתתפות בתעשייה הטכנולוגית.

תמיר פרדו, לשעבר ראש המוסד למודיעין ולתפקידים מיוחדים

במהלך שנותיי הארוכות כיוזם, מנהל ומשקיע אני קשור בטבורי לתעשיית הטכנולוגיה הישראלית ופועל ללא לאות לקידומה הטכנולוגי של ישראל, מתוך הבנה וידיעה כי ביטחונה הלאומי וחוסנה הכלכלי של המדינה כרוכים זה בזה, ושניהם יחדיו כרוכים ביכולותינו הטכנולוגיות – צבאיות ואזרחיות כאחת. במשך רבות משנות פעילותי, בין כקצין בחיל הים ובין כמהנדס ואיש עסקים, הרעיון המסדר של התעשייה הישראלית היה למעשה היעדרו של רעיון מסדר. מבחינות רבות כך התפתחה תעשיית ההייטק המוכרת לנו. מדינת ישראל התברכה במספר עצום של אנשים בעלי רוח יזמית השואפים להניע את התעשייה קדימה, להמציא פיתוחים חדשניים ומהפכניים ולתרום למדינה. על כנפי הגלובליזציה יכלו יזמים צעירים אלה לממש את רעיונותיהם באמצעות שיתופי פעולה חוצי יבשות.

מתוך האמונה כי סכסוכים פוליטיים ולאומיים ילכו ויתמעטו, ניתן היה לבזר את התשומות הנדרשות למימוש רעיון ולהביא מכל מקום את המימון, הרכיבים, הידע או המשאבים הנדרשים. במשך שנות דור העולם התנהג לפי אותה הנחה שהגלובליזציה תמשיך לאפשר גישה מיטבית למשאבים הנדרשים, אך שינויים טקטוניים הולכים ומעצבים מחדש את תפיסותינו לגבי התעשייה. הטכנולוגיה מאפשרת להוזיל את יוקר המחיה ברחבי העולם, אך עלות פיתוחה הולכת ומאמירה וההון הנדרש למימוש רעיונות טכנולוגיים מורכבים תופח. במקביל העולם נתון לזעזועים שמשפיעים על הצורה שבה אנו תופסים את הגלובליזציה: מגפת הקורונה, שינויי אקלים, הפלישה הרוסית לאוקראינה, כמו גם סכנות של אי-יציבות פוליטית ושינויים משטריים במדינות בעולם, כולל אף איומים על צורת המשטר הדמוקרטית במדינות רבות ואף בישראל. שינויים אלה השפיעו ומשפיעים בצורה יסודית על תעשיית הטכנולוגיה העולמית, כולל על זו שלנו. מעל הכול, המלחמה שנכפתה על ישראל בשבעה באוקטובר מוסיפה ממד חדש המחייב את ישראל להתחיל תהליך תכנון אסטרטגי לאומי בתחום הטכנולוגיה, על מנת להבטיח כי הקטר הייחודי הזה ימשיך למשוך את המשק הישראלי קדימה בעשורים הקרובים.

אנו חוזים בשינוי פניה הגלובליזציה, אולי אפילו בדעיכתה, ובחזרה למודלים המבוססים על הסתמכות לאומית עצמית רבה יותר ועל שיתופי פעולה טכנולוגיים המבוססים גם על זיקה ערכית, מדינית ואסטרטגית לגוש המדינות הדמוקרטיות. אחריותה של המדינה, בין השאר, היא להבטיח את יכולתם של יזמי ויזמות טכנולוגיה לגשת למקורות מימון ברחבי העולם, לתשתיות ולציוד הטכנולוגי המתקדם ביותר על מנת לאפשר את מימוש היוזמות העסקיות שלהם. כמו כן, באחריות המדינה לזהות את תחומי הטכנולוגיה המפציעים

שאותם ראוי לעודד ולקדם, בראש ובראשונה באמצעות הבטחת יכולתה של מערכת החינוך להכשיר ולהכין את דורות העתיד של המהנדסים הישראלים. זאת ועוד, על המדינה להתאים את כלי העידוד והתמיכה שהיא מעניקה ליזמים צעירים, בין השאר על ידי רשות החדשנות או חממות טכנולוגיות ומעבדות לאומיות חדשות, אשר נדרש להקימן בתחומים מפציעים. על מנת לתת למדינת ישראל, למעצבי המדיניות ולמקבלי ההחלטות את הכלים להבין את המציאות המשתנה ואת הנתונים הדרושים לעיצוב תפיסת טכנולוגיה לאומית, יש חשיבות לעבודות מחקר כמו זו. למיטב ידיעתי זהו ניסיון ראשון של גוף מחקר בעל שיעור קומה לאומי ובינלאומי כמו המכון למחקרי ביטחון לאומי לחקור את הצורך בתוכנית טכנולוגיה לאומית ולבצע אפיון ראשוני של מרכיביה. תקוותי היא שהקריאה במזכר זה תעורר במעצבי המדיניות בישראל את ההבנה בדבר החשיבות הרבה של התאמת תעשיית הטכנולוגיה הישראלית למציאות ולאתגרים המשתנים, על מנת להבטיח את התנאים המיטביים להמשך שגשוגה. היה לי העונג להיות מנהלו של אריאל סובלמן מראשית דרכו בתעשיית ההיי־טק, ואני רואה ברכה במאמציו לתרום לא רק בעשייה מסחרית בתעשייה עצמה אלא גם במחקר מוכון מדיניות בנושאים הללו. תקוותי הנוספת היא שחוקרות וחוקרים נוספים ימשיכו לפתח את הרעיונות של מזכר זה ויעשירו את השיח הציבורי בנושא, שכן הצלחת תעשיית הטכנולוגיה הישראלית היא הצלחתה של המדינה.

דב מורן, יזם ומשקיע

שער ראשון:

תמורות גלובליות בצל המאבק הטכנולוגי בין ארצות הברית לסין

הגלובליזציה היא אקסיומה בלתי ניתנת להפרכה מאז מלחמת העולם השנייה. היא אחת מהתופעות המשמעותיות ביותר שאירעו בהיסטוריה, וקשה לדמיין כיום כיצד אנשים ומדינות יצליחו לשרוד בלי שותפות ומעבר סחורות בינלאומי. עם זאת, מאז התפרצות מגפת הקורונה ומשבר שרשראות האספקה שהועצם בעקבותיה, ניתן לזהות סדקים בעקרונות הגלובליזציה. אחד המקרים המביאים לידי ביטוי סדקים אלה הוא המאבק הטכנולוגי המתחולל בין ארצות הברית לסין.

באוקטובר 2022 פרסמה ארצות הברית את 'חוק השבבים'¹. החוק כולל השקעה תקציבית בהיקף של 278.2 מיליארד דולר על פני עשר שנים, שנועדה להאיץ את המחקר והפיתוח הטכנולוגי ולהבטיח את מעמדה של ארצות הברית כמעצמה הכלכלית החזקה בעולם. מתוך הסכום הכולל מתוכננת השקעה ישירה של 52 מיליארד דולר לסבסוד הקמת מפעלי ייצור של מוליכים למחצה על אדמת ארצות הברית – תחום שבו סין מנסה להשיג יתרון עולמי מזה עשור.

רבים בעולם רואים בתהליך החקיקה הזה, הכולל תקנות חריפות להגבלת סחר על סין, תחילתו של עידן חדש ביחסי המסחר העולמיים. המהלך נחשב חסר תקדים בהיקפו ובהשלכותיו ונתפס כעליית מדרגה משמעותית במאבק הטכנולוגי בין ארצות הברית לסין.² מכיוון שהוא מגלם שבירה של עקרון הסחר החופשי שהונהג עד כה ונותן מקום להתערבות ממשלתית ולשיקולים פוליטיים. בפרק זה ננסה להסביר את השינוי המתחולל במערכת העולמית, ולשם כך נציג את תולדות היחסים הכלכליים בין ארצות הברית לסין, נדון בנסיבות שהובילו את ארצות הברית לשינוי הגישה ונבהיר מהן המשמעויות העולמיות של המאבק הטכנולוגי.

ראשית הגלובליזציה של המאה ה-21: כיצד נולד השוק העולמי החופשי?

הסחר העולמי המוכר לנו כיום החל לראשונה בשיחות השלום שלאחר מלחמת העולם השנייה. בעוד שמלחמת העולם השנייה הותירה את רוב מדינות העולם חבולות, כולל המעצמות האירופיות הגדולות של טרום המלחמה, ארצות הברית יצאה נשכרת ביותר מן המלחמה – גם צבאית, גם כלכלית, גם תעשייתית וגם טכנולוגית. ללא ארצות הברית,

יכולותיה הצבאיות המתקדמות והתעשייה היצרנית החזקה שלה, ספק אם חלק ממדינות אירופה היו מצליחות לשקם את עצמן ואת כלכלתן גם בעשורים שאחרי המלחמה. לארצות הברית היה אינטרס אידיאולוגי וכלכלי לחזק את מדינות אירופה שלחמו בגרמניה הנאצית, כמו גם את יפן, קוריאה הדרומית ומדינות נוספות במזרח אסיה, ולהבטיח שמלחמות מסוג זה לא יתרחשו שוב.³ לכן, עוד לפני שהמלחמה נגמרה, יחד עם בריטניה ובשיתוף ברית המועצות וסין (אז תחת שלטון הגואו־מין־דאנג), היא דחפה להקמת ארגון האומות המאוחדות שהחליף את חבר הלאומים, ולצידו את קרן המטבע העולמית, הבנק העולמי והסכם הסחר העולמי (GATT), שהיווה בסיס להקמת ארגון הסחר העולמי כעבור 50 שנה. מוסדות אלה ביטאו את שאיפותיה של ארצות הברית לנהל "שוק סחורות עולמי" ובישרו את ראשית הגלובליזציה המודרנית והסחר החופשי הבין־יבשתי.⁴ בעולם נהנו מעודפי הייצור של ארצות הברית, והיקפי היצוא האמריקאי בתעשיות המזון, הציד צבאי והמכשור התעשייתי גדלו במידה ניכרת בשנים אלה. ארצות הברית זכתה באמון בה כהגמוניה הכלכלית החזקה והיציבה בעולם והפכה גם למרכז הפיננסי החשוב ביותר, תוך שהדולר האמריקאי הפך במהירות למטבע החזק והיציב בעולם. היא סיפקה לעולם שיפור דרמטי בטכנולוגיות הייצור, ומרבית מדינות העולם שסחרו עימה נהנו מצמיחה כלכלית ומפירות המחקר והפיתוח שאפשרו את התקדמות הטכנולוגיה.

בשנים שלאחר מלחמת העולם השנייה ובדומה למדינות אירופה, הייתה סין מדינה מוכה וחבולה. לא הייתה זורק מלחמת העולם השנייה שגרמה לכך אלא יותר ממאה שנים, מאז מלחמת האופיום הראשונה, שבהן מלחמות, מרידות, כיבוש יפני וחוסר יציבות ככלל הביאו את סין למצב קשה בכל מובן, והמאבקים הפנימיים בין כוחות הגואו־מין־דאנג לבין כוחות הקומוניסטיים החמירו את המצב. מאבקים אלה הגיעו לשיאם מייד לאחר המלחמה, ובשנת 1949 הוכרעו כאשר מאו דזה־דונג, מנהיג המפלגה הקומוניסטית, הצליח להשתלט על סין בסיועה של ברית המועצות, בעוד שהגואו־מין־דאנג, שבה תמכה ארצות הברית, נסוגה לאי טאייוואן. סין תחת שלטון מאו הייתה מדינה קומוניסטית שנשלטה בריכוזיות רבה; ב־1953 החלו להנהיג במדינה תוכניות חומש כלכליות בסימן צמיחה והנחלת תרבות וערכים בחברה, על פי החזון והתפיסה הקומוניסטית של מאו. הפעולות שנקט מאו האיצו את הטמעת תהליכי הקדמה והביאו את סין להישגים מדעיים וצבאיים רבים. על אף קפיצת המדרגה הכלכלית, בסופו של תהליך מצבה הכלכלי של סין נותר קשה מאוד, בין השאר לנוכח העובדה שהיא לא קיימה יחסי מסחר עם המדינות המפותחות בעולם, ובשל מהפכת התרבות.

לאחר מות מאו שלט במדינה סגנו דנג שיאו־פינג, שהנהיג אסטרטגיה שכונתה "ארבע המודרניזציות": חקלאות, תעשייה, טכנולוגיה־מדע וצבא. מודל זה נרשם לימים כמהפכה התעשייתית המהירה של סין, אשר הפליאה את העולם ביכולת להפריד בין גישה קומוניסטית בפוליטיקה לגישה קפיטליסטית בכלכלה, בין שלטון אוטוריטרי שעודד יוזמות לבין כלכלה הדוגלת לכאורה בעקרונות השוק החופשי. במקביל החלה סין גם בסדרת רפורמות (למשל בנושאי חוק ומשפט) כדי להסדיר מהלכים כלכליים חדשים (למשל בנושא בעלות פרטית), כמו גם בפתיחות גוברת לעולם. השילוב של המודרניזציות, הרפורמות, הפתיחות ו"הקפיטליזם המדינתי" או "סוציאליזם עם מאפיינים סיניים" אפשר לסין לייבא ידע ויכולות ממדינות מתקדמות ולדלג על עשרות שנות פער מדעי־טכנולוגי (וגם תשתיתי) כדי לנסות לעמוד בשורה אחת עם מובילות התעשייה בעולם. אולם בשלב זה, ראשית שנות ה־70, חלקה של סין בסך היצוא הגלובלי עמד על פחות מאחוז אחד.⁵

ב־1971 הכריז נשיא ארצות הברית ריצ'רד ניקסון על ביטול תקן הזהב כבסיס לדולר. ההחלטה התקבלה במסגרת המאמצים להתמודד עם האינפלציה והגידול בגירעון במאזן המסחרי של ארצות הברית, אשר נבע מהוצאות העתק על מלחמת וייטנאם. סיבה נוספת לנטישת תקן הזהב הייתה הרצון לצמצם את יכולתן של מדינות זרות להעמיס על המערכת הפיננסית האמריקאית על ידי המרת דולרים בזהב אמריקאי. למהלך האמריקאי היו השלכות מרחיקות לכת על עיצוב הכלכלה העולמית ועל יצירת תשתית חדשה למסחר גלובלי. המהלך נודע בשם 'הלם ניקסון' (Nixon Shock) והיה אחד הצעדים שהובילו להלם נוסף של פתיחת הערוץ בין ארצות הברית וסין בידי מזכיר המדינה קיסינג'ר ולביקורו של ניקסון בסין ב־1972, והוא שהוביל בסופו של דבר לנרמול היחסים בין ארצות הברית וסין ב־1979. באותה עת נרשמה עלייה חדה בהשקעה בחינוך בארצות הברית וכפועל יוצא עלה שיעור המשכילים, וההיצע של עובדי הייצור בארצות הברית הצטמצם. בתקופה זו המשיכה ארצות הברית לסבול מההשלכות הכלכליות של הלחמה בווייטנאם, ונגיד הבנק הפדרלי העלה את הריבית באופן ששחק את היצוא ואת כדאיות ההשקעות של מפעלי הייצור על אדמת ארצות הברית. תעשיית הייצור האמריקאית שינתה פניה – תעשיות הרכב והסחורות נדדו לאסיה, אולם מגזר הטכנולוגיה, האלקטרוניקה והמחשוב המשיך להתפתח על אדמת ארצות הברית.

בשנת 1986 החלה סין לנהל מגעים להצטרפות להסכם הסחר העולמי, אולם לא זכתה להסכמת החברות. הביקורת המערבית כלפי סין גברה ביתר שאת בעקבות אירועי כיכר טיאן־אן־מן ב־1989, כאשר חיילים חמושים ירו במפגינים שביקשו לערוך רפורמות דמוקרטיות

במדינה. ב-1991 חוללה נפילת מסך הברזל בברית המועצות שינוי עמוק בעולם, אשר נתן את אותותיו גם באופן שבו ארצות הברית מנהלת את הסחר העולמי. מצידה של סין הייתה זו הזדמנות לחזק את מערכי הייצור ולשפר את מעמדה בסחר הגלובלי. עד שנת 2000 התקדמה סין והפכה ליצואנית הגדולה ביותר של תצרוכת ביתית, בפרט בתעשיית הטקסטיל. באפריל 1999 אירח הנשיא קלינטון את ראש ממשלת סין ג'ו רונג-ג'י בבית הלבן, לדיון בעתיד היחסים הכלכליים והמדיניים ובבקשת סין להצטרף לארגון הסחר העולמי. קלינטון הזמין את ג'ו לארוחת ערב באגף המגורים הפרטי כדי לתאם עמדות, כשלכל אחד מהם אינטרס ברור להצליח בשותפות. ג'ו רצה את תמיכתה של ארצות הברית בקבלה לארגון הסחר העולמי, ואילו קלינטון רצה להגדיל מאוד את החשיפה של השוק הסיני לסחורות מארצות הברית ולהסיר את הקשיים שמהם סבלו היצואנים האמריקאים בסחר עם סין. ההסכמות בין השניים הביאו להסכם הסחר הדו-צדדי הגדול ביותר שעליו חתמה ארצות הברית.⁶ הנשיא קלינטון האמין שההסכם יאפשר יצוא אמריקאי מוגבר ופתוח למדינה שבה חיים כחמישית מאוכלוסיית העולם. בסביבת הנשיא האמריקאי נשמעה ביקורת חריפה על נכונותו לקדם את הצטרפותה של סין לארגון הסחר העולמי, בעת שהיא מוסיפה להפר זכויות אדם בסיסיות. בסופו של דבר השיקול הכלכלי הכריע, וקלינטון האמין שסין חיונית לסחר העולמי ונכונה לוותורים.⁷

עם קבלתה של סין לארגון הסחר העולמי בנובמבר 2001 היא התחייבה לקדם רפורמות שכוללות הסרת חסמי מכס, תקנות קניין רוחני ושקיפות, ואף לשנות חוקים שאינם עולים בקנה אחד עם כללי השוק החופשי. ארגון הסחר התחייב מצידו לאפשר לסין לקחת חלק ביוזמות משותפות גם בתחומים שהוגדרו רגישים, דוגמת טכנולוגיות ובנקאות.⁸ אף שבשלב זה סין ניהלה סחר מוגבל עם חברות טכנולוגיה בינלאומיות, היא המשיכה לייבא רכיבי ייצור וטכנולוגיות שישרתו את כלכלתה ביתר שאת ויתרמו לשאיפותיה לעצמאות טכנולוגית. הצטרפותה של סין לארגון הסחר העולמי בישרה עידן כלכלי חדש ביחסים עם ארצות הברית. היקפי הסחורות שארצות הברית ייבאה מסין עלו מ-100 מיליארד דולר ב-2001 ל-500 מיליארד דולר ב-2021. מחקר שנערך ב-2019 הראה שכוח הקנייה של משפחה אמריקאית ממוצעת גדל ב-1,500 דולר בשנה בין השנים 2000 ל-2007 בזכות יבוא מסין שהוזיל את מחירי הסחורות,⁹ וסין זינקה למקום השלישי ביעדי היצוא האמריקאי, אחרי קנדה ומקסיקו. בשנים הראשונות שלאחר ההסכם סיפק היצוא לסין שני מיליון מקומות עבודה בארצות הברית. תוך פחות מעשור טיפסה סין למקום השני בהיקף הסחר העולמי (אחרי ארצות הברית) ותפסה מקום מרכזי בשרשרת האספקה העולמית – מפעלי תעשייה

סיניים ייצרו סחורות עבור ארצות הברית באמצעות מכשור ורכיבים שיובאו ממנה. חלומו של הנשיא קלינטון כמעט התגשם במלואו.

ניפוץ האשליה: סין משחקת על כל המגרש וחותרת לעליונות טכנולוגית

מאז 2003 התעוררו בארצות הברית ספקות ביחס לאופן שבו סין ממלאת את חלקה בהסכמי הסחר. נשמעו טענות חמורות על ניצול עובדים והמשך פגיעה בזכויות אדם. כמו כן נשמעו טענות על הפרת זכויות קניין רוחני ושימוש בלתי הוגן בתמיכה ממשלתית שפוגעת בתחרות בשוק החופשי.¹⁰

הממשל האמריקאי ניסה ליישב את המחלוקות עם סין באמצעות מנגנוני התיווך של ארגון הסחר העולמי. הנשיא ג'ורג' בוש נקט צעדים מינוריים שכללו הטלת מכסים על מגוון סחורות סיניות שסובסדו באופן חריג על ידי המשטר. בוש נדרש לשיתוף פעולה מצד סין במלחמה העולמית בטרור, ועל כן נמנע מצעדים חריפים יותר והסתפק בדיאלוג שזימן ב־2006, ובמסגרתו ארצות הברית הביעה את חששותיה.

הנשיא ברק אובמה המשיך ב־2009 את השיח שהתחיל הנשיא בוש במסגרת ה־S&ED (מסגרת השיחות הדו־צדדיות על מדע וכלכלה). בתקופתו החמירה ארצות הברית את צעדיה וניהלה סכסוך מתמשך, באמצעות הגבלות שהוטלו על ידי ארגון הסחר העולמי ובאמצעות מנגנון פיקוח חדש על השקעות זרות בארצות הברית (CFIUS). ב־2011 זכתה סין בדיון שהתנהל בארגון הסחר העולמי בנושא הסובסידיות שהיא מעניקה, אשר קבע כי היא לא מפירה את תקנות השוק החופשי. אף על פי כן הנשיא אובמה חסם לראשונה שתי עסקאות רכישה סיניות בהמלצת המועצה לפיקוח על השקעות זרות (CFIUS), על בסיס שיקולי ביטחון לאומי.¹¹ ב־2015 נחתם הסכם סחר טרנס־פסיפי (TPP), שבאמצעותו קיוותה ארצות הברית לרסן את הפרות הסחר של סין ולהכיל את קצב ההתקדמות המהיר שלה. עם זאת, נחישותה של סין לממש את שאיפותיה להובלה גלובלית היא חלק בלתי נפרד מתפיסתה, ועל כן היא מצאה דרכים לעקוף את ההגבלות והחסמים שארצות הברית השיתה עליה.

במארס 2016 חשפה ממשלת סין את תוכנית החומש ה־13 של המפלגה הקומוניסטית, שכותרתה "אומה מוכוונת חדשנות". התוכנית בת 80 הפרקים נועדה לכייל את הרפובליקה הסינית מחדש – צמיחה ושגשוג באמצעות תעשייה יצרנית מודרנית, טכנולוגית וחדשה. בסין חששו מקיפאון כלכלי שיסכן את יעדי הצמיחה הרצויים (6.5 אחוזים בשנה בין 2016 ל־2020, כדי להכפיל את התמ"ג), בין השאר משום שהתעשיות הכבדות והתוצרת הזולה

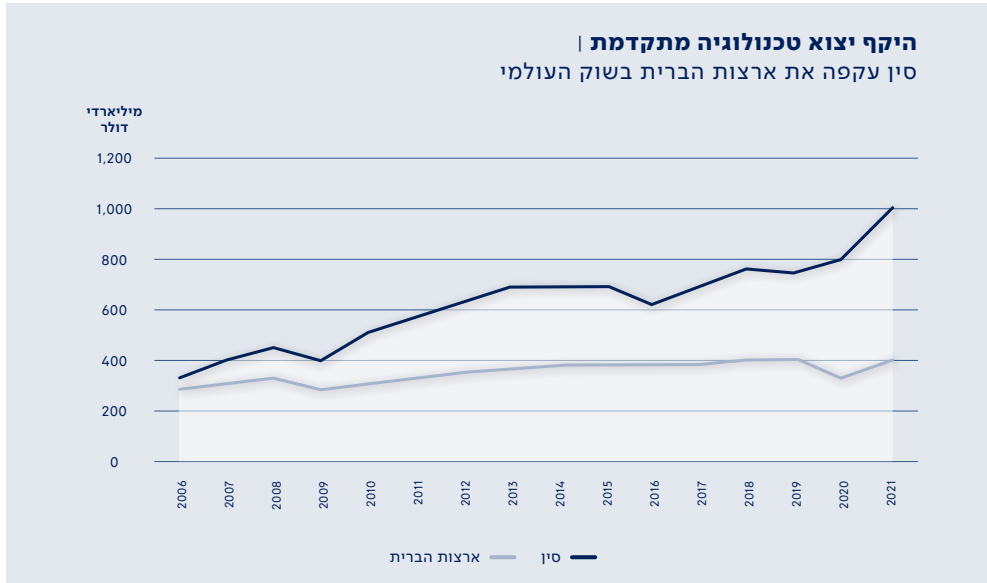
יהפכו בסופו של דבר לנטל שיבריוח את האוכלוסייה המשכילה. סין קיוותה לייעל את התעשייה ולספק תעסוקה לסטודנטים המשכילים, בין היתר כדי להתחרות בארצות הברית על ההובלה המדעית והטכנולוגית במאה ה-21.

תוכנית החומש ה-13 הדגישה במיוחד פתיחות מלאה לשוק הטכנולוגי העולמי כתנאי הכרחי לחדשנות. כדי לעודד את האזרחים המשכילים לקחת חלק בשינוי המשיכה התוכנית את הקו של קודמותיה וייחסה חשיבות עליונה לפתרון המשבר הסביבתי שממנו סובלת סין, תוך הפניית משאבים ייעודיים לשיפור רווחתו של האזרח בהקשר זה (10 מתוך 25 יעדי התוכנית קשורים לתחום הסביבה). סין גם המשיכה את הקו של הסרת הגבלות שהוטלו על האזרחים, דוגמת שינוי מערכת הו־קואו (hukou), שלפיה האזרחים חייבים לעבוד במקום שבו הם רשומים. הסרת החסמים הייתה אמורה להגביר את המוטיבציה של האזרחים לממש את הפוטנציאל הכלכלי.

בדומה לתוכניות חומש שהנהיגה המפלגה הקומוניסטית הסינית בעבר, מועצת המדינה הגדירה יעדים מדידים למימוש בשנים 2015-2020,¹² ביניהם השאיפה להתקדם מהמקום ה-18 למקום ה-15 במדד החדשנות העולמית (GII),¹³ והגדלת ההשקעה במחקר ופיתוח תוך חמש השנים מ-2.1 ל-2.5 אחוזים מהתמ"ג (לצורך השוואה, בארצות הברית הוקצו בשנת 2014 2.8 אחוזים מהתמ"ג למחקר ופיתוח, שהיו כ-489 מיליארד דולר. סין שאפה להכפיל את הסכומים הללו¹⁴). כמו כן צוין כי בכוונת סין להכפיל את מספר הפטנטים הרשומים על שמה ואת כוח האדם שמושקע בנושא המחקר והפיתוח בכלל התחומים במדינה. סין קבעה בתוכנית את שינוי התפוקה של שעת עבודה לתמ"ג מ-12,985 דולר לאדם ב-2015 ל-17,910 דולר לאדם ב-2020, והקצתה סובסידיות והשתתפות בשכר לימוד במטרה לעודד תושבים ללמוד מקצועות מדעיים בזיקה למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביוLOGיה. בתרשים להלן ניתן לראות כי בבחינת היקף יצוא הטכנולוגיה המתקדמת כפי שהגדיר ארגון ה-OECD, סין עקפה את ארצות הברית בשיעור של פי שניים וחצי.

לצד היעדים קצרי הטווח הוצגו גם יעדים ארוכי טווח בתחום החדשנות בייצור הטכנולוגי. על פי לוח הזמנים המקורי שהוצג בתוכנית החומש ה-13 סין תוגדר כאמור כאומה מוכוונת חדשנות ב-2020; ב-2030 היא תוביל את תעשיות הייצור הטכנולוגי בעולם, כך שבסופו של דבר עד 2050 היא תוכר כמובילה העולמית במחקר ופיתוח בתחומי מדע וטכנולוגיה. יעדים תחרותיים אלה מגולמים בתוכנית שזכתה לשם Made in China 2025 (תוצרת סין 2025). שמה של התוכנית רומז על כוונותיה הברורות של המפלגה – בעד פתיחות לשוק העולמי – כדי שבסופו של דבר סין תוביל אותו.

תרשים 1: היקף יצוא טכנולוגיה מתקדמת

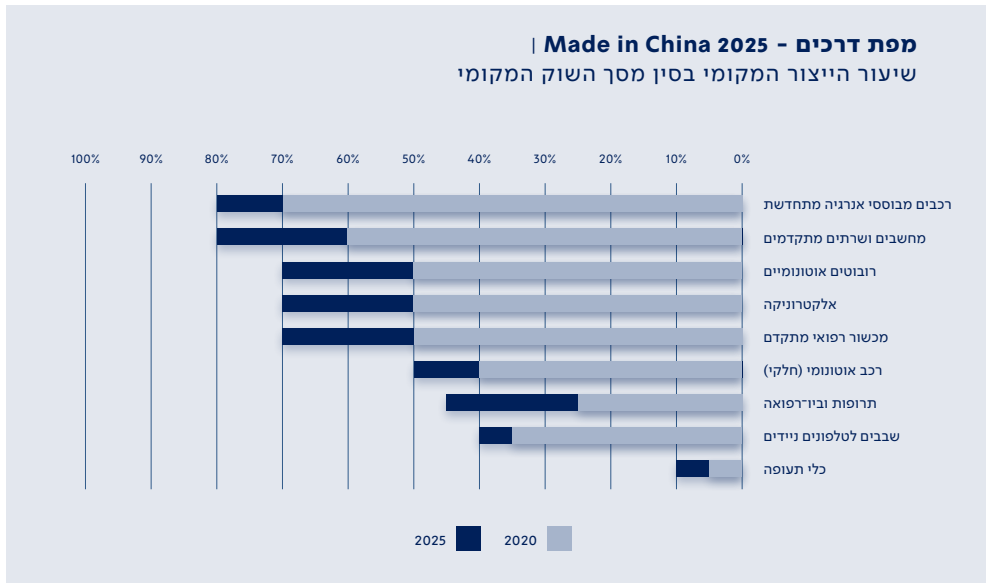


מקור: מבוסס על נתוני ה-OECD

האקדמיה הסינית להנדסה פירטה את מטרות התוכנית, לרבות התעשיות שנמצאות במוקד תשומת הלב הלאומית. תרשים 2 להלן מבליט את העובדה שהתוכנית כולה נסמכת על טכנולוגיה מתקדמת, שאינה עומדת לרשותה של סין, בראש ובראשונה שבבים מתקדמים, ועל כן גובר הצורך ביבוא מטאיוואן ומהמערב, בפרט מארצות הברית.

לצורך מימוש היעדים נדרשה סין להסיר חלק מההגבלות הפוליטיות באופן שיעודד את המגזר הפרטי להגדיל את ההשקעות במאפייני שוק חופשי. הממשלה אישרה תוכנית השקעות והקצתה תקציבים לעידוד ענקיות הטכנולוגיה בעולם להקים מפעלי ייצור שבבים בסין, בהיקף כולל של כ-80 מיליארד דולר.¹⁵ לפי התוכנית, יותר ממחצית מהסכום יושקע על ידי בנק סין לפיתוח; כ-20 מיליארד דולר יוזרמו מקרן לאומית חדשה להשקעה בתעשיית השבבים, ושאר התקציב יוזרם מקרנות חדשנות וייצור ומיסיים שגויסו באמצעות הפרויבניות והערים, ובפרט מחוזות בייג'ינג ושנג'ן, לטובת פיתוח רובוטיקה מתקדמת. בינואר 2023 הודיעה סין על הקמת פלטפורמת רכש מאוחדת של כלל חברות השבבים בסין, על מנת לחזק את כוח המיקוח שלהן מול התחרות במערב.¹⁶

תרשים 2: תוכנית MADE IN CHINA 2025



מקור: [Made in China 2025](#)

פרויקט מקביל ל-Made in China 2025 המופיע בתוכנית החומש ה-13 נקרא Internet Plus (אינטרנט פלוס). הפרויקט נועד לחזק את תשתיות התקשורת ואת מחשוב הענן כדי לשרת את החדשנות, אשר רובה ככולה מופעלת במרחב הרשתי (IoT). סין רצתה לעודד את חשיפתן של חברות התקשורת המקומיות לעולם, והממשלה קבעה כי תסייע מבחינה רגולטורית ותדחוף לכך שגם החברות הפרטיות בסין יתמכו בטכנולוגיה עולמית. לתמיכה של תשתיות האינטרנט בנתוני העתק הקצתה סין בתוכנית כ-135.2 מיליארד דולר, נוסף על 180 מיליארד דולר שיוקצו אך ורק לצורך שדרוג תשתיות.¹⁷

ראשיתה של "מלחמת הסחר" ופרוץ מגפת הקורונה

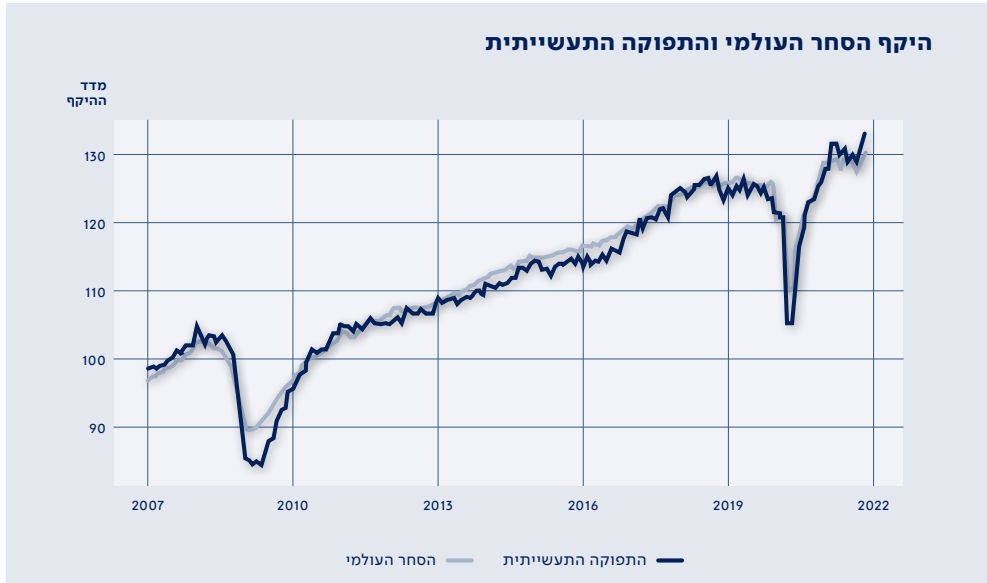
בעיצומה של תוכנית החומש ה-13 נבחר דונלד טראמפ לנשיאות ארצות הברית ונכנס לבית הלבן בינואר 2017. טראמפ מתח ביקורת חריפה על המהלכים הסיניים במסגרת קמפיין הבחירות שלו ("אונס הכלכלה האמריקאית"),¹⁸ ומחקרים מראים שמסרים אלה זכו לתמיכה ניכרת ברחבי ארצות הברית. טראמפ האשים את הממשלה הסינית במדיניות

מכס, ובכלל זאת סבסוד יצוא, אשר נוגדת את כללי השוק החופשי ופוגעת בכלכלה האמריקאית. בחודשים הראשונים לכהונתו יצאה ארצות הברית מהסכם הסחר הטרנס-פסיפי (בניגוד לאינטרס האמריקאי) והטילה מכס על סחורות סיניות בהיקף של מיליארדי דולרים.¹⁹ מהלך זה היה יריית הפתיחה של "מלחמת הסחר" שנמשכה לאורך כל כהונת טראמפ.²⁰ ב-2018 הכריז טראמפ על יוזמות ממשלתיות שנועדו לחזק את השותפות עם מדינות אסיה מלבד סין, הן במישור הביטחוני והן במישור הכלכלי. טראמפ ניסה לקדם משא ומתן ב-2019 וחתם על הסכם (Phase One) עם סין שנועד להתמודד עם הפרות הקניין הרוחני, וכן במטרה "לאזן מחדש" את המסחר בין המדינות ולהגדיר כללים הוגנים לעסקאות בין חברות אמריקאיות לסין.

התפתחות נוספת ששינתה את היחסים עם סין הייתה מגפת הקורונה, שהתפשטה ברחבי העולם בתחילת שנת 2020. היחס כלפי סין בעולם הוקצן לנוכח האשמות שהופנו נגדה בגין התפרצות הנגיף. כדי להכיל את ההשלכות הבריאותיות החמורות של המחלה הוטלו סגרים במדינות רבות בעולם, אשר האטו במידה ניכרת את הכלכלה. לראשונה מזה 70 שנה נאלצו מדינות העולם להתמודד עם עצירה כמעט מוחלטת של הסחר העולמי ועם פגיעה ניכרת בשרשראות האספקה.²¹ הירידה בהיקף הסחורות במחצית הראשונה של שנת 2020 דמתה בהיקפה לזו של המשבר הכלכלי העולמי ב-2008, והיא מעידה על מרכזיותה של סין בשרשרת האספקה. ואולם החזרה לשגרה שאפיינה את שנת 2021 פיצתה על חלק מההפסדים שנרשמו. אף על פי כן, במערב התעורר חשש גדול נוכח הסיכונים בתלות בשרשראות האספקה שמקורן באסיה, ובפרט בסין, שהפכה לאורך השנים לספקית מרכזית של סחורות וטכנולוגיות חיוניות. ראוי לציין כי הסיכונים הללו עלולים היו להתממש גם בהינתן עצירה של המסחר בנסיבות אחרות.

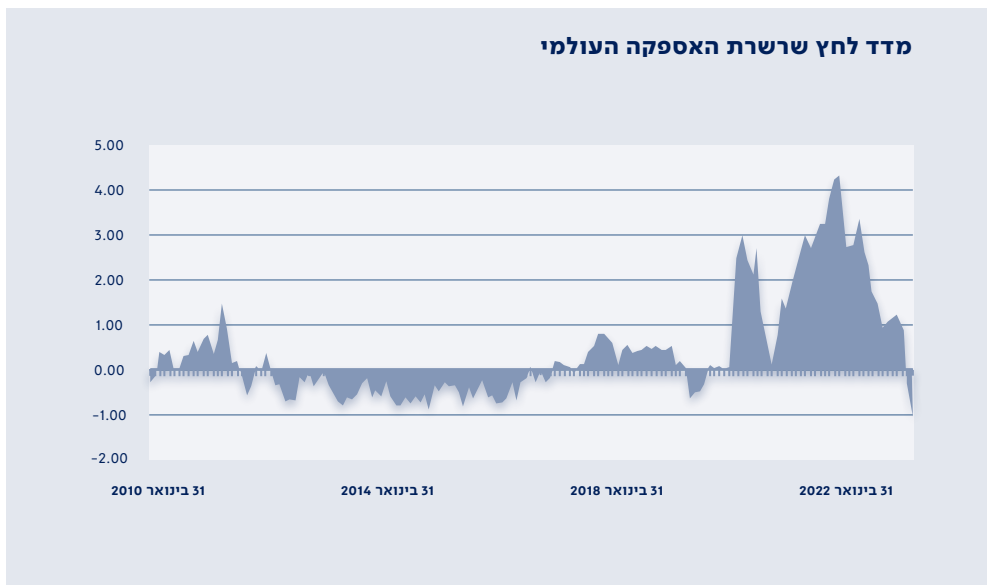
תרשים 3 ממחיש כיצד משבר שרשראות האספקה שהחל בתקופת הקורונה נמשך למעשה עד היום, ולמרות שחרור ההגבלות, המערכת הגלובלית מתקשה לייצר מענה לביקוש ההולך וגדל לסחורות בכלל המגזרים, ובפרט במגזר הטכנולוגי.

תרשים 3: היקף הסחר העולמי והתפוקה התעשייתית



מקור: [International Trade during the COVID-19 Pandemic](#)

תרשים 4: מדד לחץ שרשרת האספקה העולמי



מקור: [Liberty Street Economics](#)

בשנת 2022 נפתחו מרבית השווקים אולם סין הותירה הגבלות משמעותיות בשטחה, ושווקיה לא חזרו לתפקוד מלא. אף על פי שהמפלגה הקומוניסטית המשיכה להציג נתוני צמיחה והשקעות אופטימיים המעידים על התקדמות בהתאם לתוכנית, הסגר הארוך שסין נקטה הוביל למחאה בהשתתפות רבבות בני אדם ובפועל, בדומה לשאר מדינות העולם, קצב הצמיחה הואט.

תרשים 5: סין – השקעה לאומית במחקר ופיתוח



מקור: [מבוסס על נתוני הממשלה הסינית](#)²²

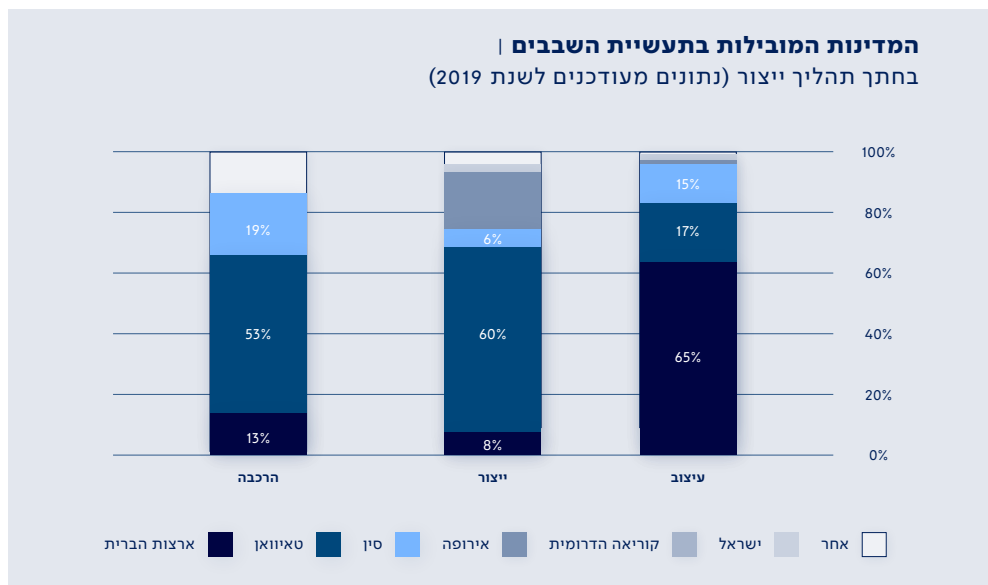
ממשבר שבבים עולמי ל'חוק השבבים': מדיניות תעשייתית לצורך מניעת העליונות הסינית

התעשייה הטכנולוגית ספגה פגיעה קשה ממשבר שרשראות האספקה בשל היותה תעשייה עולמית, מבוזרת ומפוזרת בין מדינות על פי יתרון יחסי. המחקר והפיתוח מתנהל בעיקרו במערב, ויש גם מרכזי מו"פ קטנים יותר באסיה. לעומת זאת, עיקר הייצור של הרכיבים הטכנולוגיים המתקדמים מתבצע באסיה, ובפרט בטאיוואן ובסין. צמצום הפעילות של מפעלי הייצור ויצוא הרכיבים היה הקש ששבר את גב הגמל במשבר שהתחולל עוד קודם

לכן במפעלי השבבים, שעבדו כבר תקופה ארוכה בתפוקה מרבית. הביקוש לשבבים הלך וגדל בשנים האחרונות, אולם תהליך ייצורם נותר מורכב ויקר, והיזמים הפרטיים מתקשים לעמוד בנטל בעצמם. התברר שבהיעדר תמיכה ממשלתית בהיקפים של מאות מיליארדי דולרים לא ניתן יהיה להיחלץ מהמשבר. מגפת הקורונה העצימה כאמור את הבעיה הקיימת בכך שנוכח ההגבלות, הממשלות והיזמים הפרטיים התקשו לייחד לנושא את הקשב והמשאבים הדרושים.

ההשקעה הסינית הכוללת (ישירה ועקיפה; ממשלתית ופרטית) של כ-150 מיליארד דולר הובילה להישג מוגבל בלבד בתחום ייצור והרכבת שבבים.²³ אף שסין הצהירה כי עד שנת 2020 היא תצמצם את התלות שלה ביבוא ותספק 40 אחוזים מהביקוש באמצעות מפעלים מקומיים, בפועל היא הצליחה בשנת 2019 לייצר 16 אחוזים מסך הביקוש המקומי, ולא הצליחה לממש את קפיצת המדרגה בשנים שלאחר מכן.²⁴ הסיבה המרכזית לכך היא שעדיין חסרות בסין יכולות ייצור וסביבת תוכנה שיאפשרו לה את קפיצת המדרגה הרצויה, ולפיכך היא תלויה באספקת ציוד ורכיבים מארצות הברית, מטאיוואן וממדינות נוספות באירופה.

תרשים 6: המדינות המובילות בתעשיית השבבים



מקור: [Lessons or Europe](#)²⁵

במאי 2021 פורסמה תוכנית החומש ה-14 של המפלגה הקומוניסטית הסינית בסימן "מבט קדימה ל-2035". התוכנית ממשיכה את גישת קודמתה בהתמקדות בחברה מודרנית מוכוונת טכנולוגיה וחדשנות, אך רומזת על דחייה של חמש שנים בדרך להובלה העולמית, בשל השלכות מגפת הקורונה והשינויים במדיניות הסחר מול ארצות הברית. מאחר שסין לא עמדה ביעד הביקוש (ייצור 40 אחוזים מסך הביקוש המקומי לשבבים), המדיניות שבאה לידי ביטוי בתוכנית זו עודנה מעודדת את המשך ההשקעות בטכנולוגיות קצה בתחום ייצור השבבים לצורכי בינה מלאכותית,²⁶ לצד המשך השקעה במחקר ופיתוח בהיקפים כוללים של כחצי טריליון דולר.²⁷

משבר שרשראות האספקה גם המחיש לארצות הברית את הסיכון לביטחונה הלאומי, כשמגזר שבו חלקה בייצור העולמי הוא 12 אחוזים בלבד כה חיוני ליציבותה.²⁸ ארצות הברית גם פירשה את הנחישות הסינית בתחום השבבים כמרוץ חימוש, שלמנצח בו תהיה יכולת צבאית מתקדמת ביותר. נוכח אלה, הממשל האמריקאי ראה לראשונה בבהירות את ההכרח באסטרטגיה טכנולוגית שתאפשר לשפר את כושר הייצור האמריקאי בתחום הטכנולוגי, ובתוך כך גם להפעיל לחץ משמעותי יותר על סין.²⁹

בנובמבר 2020 נבחר ג'ו ביידן לנשיאות ארצות הברית, לאחר שבקמפיין הבחירות שלו הבטיח להחזיר את תעשיות הייצור לארצות הברית כמענה להשלכות מגפת הקורונה והפגיעה בשרשראות האספקה. ביידן, כאמור, קידם כבר בתחילת כהונתו תהליך חקיקה טכנולוגית שעודד הקמת מפעלי ייצור על אדמת ארצות הברית, והטיל הגבלות יצוא מקיפות ביותר ביחס לקודמיו. אסטרטגיית הביטחון הלאומי של הממשל האמריקאי,³⁰ שפורסמה באוקטובר 2022, הבליטה את התחרות הרב-ממדית עם סין ואת ההכרח למנוע ממנה להתחזק ולאיים על היציבות העולמית, בפרט בהקשרי טכנולוגיה מתקדמת ושבבים.³¹

ב-9 באוגוסט 2022 חתם הנשיא ביידן על חוק השבבים – CHIPS and Science Act of 2022.³² החוק מתווה מדיניות תעשייתית ואסטרטגיה שלמה בנושא תעשיית המוליכים למחצה³³ ומקיף את ההיגיון, התקציב והיישום של תקנות פיקוח על יצוא טכנולוגיות של בינה מלאכותית. החוק אושר בבית הנבחרים ובקונגרס בתמיכה רחבה מצד שתי המפלגות. ביידן גייס צוות מומחים והקים באמצעותם מועצה שתכווין את הממשל להשקעות בתחום המחקר והפיתוח. המסר שמבקש הנשיא להעביר לציבור האמריקאי הוא שלא ניתן יהיה לשמר את מעמדה של ארצות הברית מבלי לחזק את התעשייה היצרנית, בראש ובראשונה במגזר הטכנולוגיה ובתחום המוליכים למחצה.

במסמך שפרסם הבית הלבן לציבור צוין כי מלבד השאיפה האמריקאית לנתק את התלות בשרשראות האספקה באסיה ולמנוע גניבת קניין רוחני, החוק יחזיר את היוקרה של התעשייה היצרנית. צוין כי רק בשנת 2021, הקמת מפעלי ייצור חדשים סיפקה 642 אלף מקומות עבודה חדשים. הממשל סימן את ההשקעות בחינוך בתחום זה כמנוע צמיחה מרכזי של המשק האמריקאי כולו, שעתיד להגדיל את חלקן של אוכלוסיות מעוטות השתתפות בשוק המתקדם ולצמצם את הפערים החברתיים.³⁴

סך התקציב שהקצה הממשל האמריקאי נאמד ב־278.2 מיליארד דולר לעשר שנים. סכום זה כולל מימון ותמיכה רגולטורית לכל ההיבטים הנדרשים לצורך מימוש העליונות הטכנולוגית בתחום השבבים והמו"פ הטכנולוגי. במסגרת החקיקה הוקמה קרן השקעות בהיקף של 39 מיליארד דולר להשקעה ישירה בחברות שיפתחו וייצרו טכנולוגיית שבבים מתקדמת; שני מיליארד דולר הושקעו ביכולות ייצור שבבים מדגמים ישנים יותר; 24 מיליארד דולר מממנים הטבות מס עד 25 אחוזים. הסכום שנותר, כ־200 מיליארד דולר, מושקע במחקר ופיתוח, במוסדות חינוך ובגופי ביטחון והגנה שיבטיחו את עתיד תעשיית השבבים בארצות הברית.³⁵

משרד האוצר האמריקאי הכריז בחודש יוני 2023 על הקמת צוות מומחים שיבחר את המועמדים לוועדה המנהלת של המרכז הלאומי לטכנולוגיות שבבים (National Semiconductor Technology Center). החוק מקנה לוועדה המנהלת את הסמכות לבחור את החברות והפרויקטים שיזכו לסיוע ממשלתי. צוות המומחים כולל דמויות מפתח בתעשיית ההיי־טק האמריקאית, לרבות ג'ייסון מת'יני, נשיא Rand Corp; דון רוזנברג, עמית מחקר למדיניות ואסטרטגיה ב־UCSD, אשר לפני כן שימש יועץ משפטי לחברות Qualcomm, IBM ו־Apple; ברנדה וילקינסון, המכהנת כנשיאת הארגון לשילוב נשים ואנשים על־מגדריים או א־בינאריים בתעשיות הטכנולוגיה; ג'נט פוטי, שכינה כנשיאה ומנכ"לית חברת היועץ האסטרטגי Deloitte; וג'ון הנסי, פרופסור להנדסת חשמל ומדעי המחשב מאוניברסיטת סטנפורד. השאיפה להביא לידי ביטוי בוועדה את מגוון הקולות בחברה האמריקאית נועדה לבטא את הייעוד הלאומי־חברתי של חוק השבבים – נקודת מפנה אסטרטגית עבור תעשיות הייצור ושוק העבודה האמריקאי.³⁶

תרשים 7: מימון על פי חוק השבבים והמדע 2022-2026



מקור: מבוסס על מידע מתוך [חוק השבבים](#)

חברות טכנולוגיה שיביעו רצון להקים מפעלי ייצור על אדמת ארצות הברית והרחק מסין יזכו לסיוע ממשלתי נדיב. החברות הללו יתחייבו לא לבנות מפעלי ייצור מתקדמים בסין, באיראן, בקוריאה הצפונית או ברוסיה, או לא לייצא לאחת מהן טכנולוגיה מפוקחת. חברות שינסו למכור לסין שבבים מתקדמים המיועדים לבינה מלאכותית ולחישוב על יחשפו עצמן לסנקציות, שבגינן ייאלצו להחזיר את המימון ולשלם קנס. מאחר שמניעת עסקאות אינה מספיקה בהכרח למנוע מסין להשיג יתרון בתעשיית השבבים, הממשל בחן את כל הדרכים שבהן סין יכולה להשיג יתרון יחסי בתחום, וקידם מכלול שלם של תקנות שימנעו מסין את היכולת הטכנולוגית בטווח הקצר ובטווח הארוך.³⁷

סין נחשבת למובילה בשימוש בבינה מלאכותית לצורכי מחקר, מסחר וטכנולוגיה צבאית. אסטרטגיית ההיתוך הצבאי-אזרחי (MCF) מבטיחה שכל טכנולוגיה שמשווקת במגזר העסקי תהיה זמינה לשימוש צבאי בהתאם לצורכי המפלגה. כתוצאה מהחיבור העמוק בין הצבא למגזר העסקי בסין, שבבים ורכיבים נוספים שיוצרו בארצות הברית הוטמעו בתוך טכנולוגיות צבאיות סיניות. ארצות הברית ניסתה למנוע הטמעה של טכנולוגיות אמריקאיות

ביכולות צבאיות סיניות באמצעות סנקציות, אולם בפועל מדיניות זו נכשלה והצבא הסיני המשיך לעשות שימוש בטכנולוגיה המתקדמת לצרכיו.³⁸ החקיקה הנוכחית מקיפה יותר ואינה מאפשרת לסין גישה לשבבים מתקדמים לתכלית כלשהי. לפיכך, שבבים מתקדמים המשמשים לטכנולוגיות בינה מלאכותית אסורים למכירה באופן מוחלט לכל ישות שפועלת בסין, גם אם מדובר בחברה אמריקאית שכל פעילותה בסין מסתכמת באחסון מידע על גבי שרתים.

בארצות הברית פועלות שתי ענקיות טכנולוגיה, Nvidia ו־AMD, אשר אחראיות יחד על עיקר היצוא לסין של שבבים מתקדמים לבינה מלאכותית. חברות אלה קיבלו מכתבי הסבר מפורטים המזהירים אותן מפני עסקאות אסורות על פי החקיקה החדשה. למעשה החוק מרחיב בהתייחסותו את האיסור על עסקאות שבבים על פי איכות הביצועים של השבב ולא על פי סוג העסקה, החברה המוכרת או הלקוח. מכירת שבב שביצועיו נחשבים מתקדמים, קרי יכולת העיבוד שלו גבוהה מ־300 טרה בייט לשנייה ותעבורת התקשורת שהוא מאפשר שווה או עולה על 600 ג'יגה לשנייה, אסורים באופן גורף. שבבים אלה, בראיית הממשל, עלולים לחשוף סודות טכנולוגיים ולסכן את הביטחון הלאומי, ועל כן כל עסקה תחייב דיווח ואישור פדרלי. תנאים אלה מונעים שיווק שבבים שתוכננו עבור שרתי מידע גדולים או מחשבי־על, שמאמנים טכנולוגיות של בינה מלאכותית. סין עודנה רשאית להמשיך לקנות שבבים שמיועדים למחשבים פרטיים.

ענקיות הטכנולוגיה Nvidia ו־AMD הן אומנם בין החברות הבודדות בעולם שמסוגלות לתכנן שבבים מתקדמים מהסוג שתואר, אולם כבר עתה ישנן מספר חברות סיניות שעשו כבר דרך משמעותית לאימוץ הטכנולוגיה הייחודית וליישומה באופן עצמאי. היתרון היחסי הניכר של הענקיות האמריקאיות הוא סביבת התוכנה הייחודית שמשווקת חברת Nvidia, המכונה CUDA. החברה מספקת מוצר שלם שמקל על ענקיות הטכנולוגיה לממש את תהליך הפיתוח של השבבים המתקדמים בשלמותו, משלב העיצוב ועד תהליכי בקרת איכות בשלב הייצור. בשל כך Nvidia שולטת כיום ב־95 אחוזים ממכירות השבבים המתקדמים בסין.³⁹ האיסור על מכירת סביבת התוכנה נוסף על השבבים עצמם מבטיח לחברה האמריקאית שמירה על היתרון היחסי ועל הרווחיות.

הגבלות הסחר ימנעו מסין גישה לסביבת התוכנה לעיצוב שבבים דוגמת CUDA ולרכיבי ייצור חיוניים לטכנולוגיה המתקדמת. מחלקת המסחר סימנה את סביבת התוכנה המוכרת גם כ־EDA (Electronic Design Automation) – שמשמשת את מעצבי ומפתחי השבבים בהפיכת התכנון לסיליקון על גבי שבב – כמוצר אסור ליצוא לסין, וכך היא מבטיחה שהיתרון

היחסי המשמעותי יישאר ברשותה. בתרחיש שבו חברה סינית תנסה להשתמש בתוכנה אמריקאית, בין שהצליחה לגנוב את המוצר או דרך רישיון שרכשה לפני כניסת החוק לתוקף, החברות הללו לא יוכלו לשלוח את העיצוב לייצור מחוץ לסין. זוהי מגבלה משמעותית משום שאין עדיין ברשות סין מערכי ייצור מתקדמים הדרושים להרכבת השבבים המתקדמים, ועל כן היא חייבת לייצא את העיצוב למפעלים מחוץ לסין, ולמעשה תלויה בהם. חסימת סין משימוש בסביבת התוכנה ההכרחית תעכב אותה בהשגת יכולת לעצב שבבים. בה בעת, מניעת שימוש במפעלים ובמערכי ייצור שמשתמשים בטכנולוגיה אמריקאית תמזער את הסבירות שתהיה לסין יכולת ייצור רלוונטית של שבבים מתקדמים לצורכי בינה מלאכותית. בהיעדר מערכי ייצור נותרת לכאורה האפשרות שסין בכל זאת תצליח להשיג גישה לסביבת התוכנה ולייצר את השבבים באמצעות מכשור ישן. חברת חואה-וויי הצהירה על כוונתה לממש אפשרות זו באמצעות חברת הבת שלה לייצור שבבים HilSilicon.⁴⁰ אף על פי כן, בממשל האמריקאי מאמינים שגם המכשור הישן המבוסס על יכולות אמריקאיות יצריך תמיכה ותחזוקה, שאותן אין בכוונתם להתיר.⁴¹ בחקיקה יש התייחסות מפורשת לכך שכל חברה שמספקת רכיבי ייצור באשר הם מנועה מלממש חוזים ולספק שירות למפעלי הייצור הסיניים. חוזים קיימים עם החברות הסיניות יבוטלו, ועל כן גם אם סין תשאף לייצר בעצמה והיא תזדקק לסיוע אמריקאי, היא מנועה מלקבל אותו.

הממשל האמריקאי מרחיק לכת ומנסה לא רק למנוע מסין יכולת לפתח טכנולוגיה עתידית אלא גם לשחוק את היכולות הקיימות ולהחזיר את סין כמה שלבים לאחור. בדומה לביצועי השבב, גם מכשירי הייצור מסווגים על פי ביצועים. בעולם נהוג לסווג שבבים לפי גודלם הגיאומטרי, ויחידת המדידה היא ננומטר (מיליארדית המטר). ניתן להבין כי השבבים המתקדמים ביותר הם בגודל כמעט מיקרוסקופי, כשבתוך השבב ניתן לדחוס מחשב שלם. מאמצי הממשל מתרכזים כיום בהגבלת יכולתה של סין לייצר שבבים בגודל של עד 16 ננומטר, וזאת בשעה שהשבבים המתקדמים ביותר בעולם נבנים בגיאומטריה של שלושה ננומטר, ובעתיד הקרוב יהיו שני ננומטר. כיום יש לחברת SMIC הסינית יכולת לייצר שבבים בגודל של 14 ננומטר, והמהלך עלול לדחוק אותה לייצר שבבים גדולים יותר. גם חברת YMTC, שנבחנת על ידי Apple לייצור שבבים עבור מכשיריה, תוגבל לשבבים בגודל 18 ננומטר בלבד והיא עלולה לאבד את היתרון העסקי. גם אם החברות הללו יצליחו להתגבר על הקושי באופן עצמאי, היעדר תמיכה מצד ארצות הברית תעכב אותם למשך שנים לפחות. מכיוון שסין ציפתה להגבלות הללו היא השלימה עסקאות רכישה של ציוד

לייצור שבבים בהיקפים גדולים בשנים האחרונות, אך בכל זאת מדובר ביכולת חסרה ביחס למכלול השלם שתואר לעיל.

שכבת ההגנה האחרונה שיוצרת ארצות הברית בהקשר זה היא מניעת יכולת מסין לייצר את המכשור החיוני לייצור השבבים בעצמה. גם רכיבים אמריקאיים שמשמשים לייצור המכונות שמייצרות את השבבים יהיו אסורים למכירה. מכשור זה נחשב למתקדם ומסובך במיוחד לייצור, ולכן הבלעדיות מבטיחה לארצות הברית יתרון מול כל תעשיות השבבים בעולם. סין הסתמכה עד כה על הטכנולוגיות של ארצות הברית, וכעת תהיה מנועה מקניית רכיב כלשהו, ובלבד שהוא משרת את תהליך ייצור השבבים המתקדמים.

בשלב זה מוקדם עדיין לנתח כיצד נערכת סין להתמודד עם ההגבלות הרציניות שארצות הברית הטילה עליה, אך נכון להניח שנחישותה של סין תישמר ויימשכו השקעות הענק לחיזוק הבינה המלאכותית המופיעות בתוכנית החומש ה-14, ובפרט הכוונה לפתח סביבת תוכנה עצמאית. כך או כך, סין תמשיך לשמור על יתרון יחסי בשבבים מדגמים ישנים יותר, המוכרים לציבור הרחב כרכיבים שמאפשרים את פעולתם התקינה של מכשירי החשמל הביתיים (מכונות כביסה, מסכי מחשב או טלוויזיה), והיא עלולה להקשות על מדינות שיעמדו בדרכה וימנעו את שאיפתה להובלה עולמית בתחום הבינה המלאכותית. הגם שהחקיקה הנוכחית מתקצבת גם את ייצור השבבים הישנים, זהו נושא שיחייב בחינה נוספת ככל שיעבור הזמן.

כדי להבטיח שגישתה של סין לטכנולוגיה המתקדמת תוגבל, ארצות הברית תידרש לרתום את שותפותיה, בפרט באירופה ובאסיה, אשר להן תעשיות שבבים מתקדמות משלהן. בדיוק משום כך תהליך החקיקה תואם עם האיחוד האירופי ועם מדינות מובילות בתעשייה, ובחודשים הראשונים שלאחר החקיקה ארצות הברית השקיעה בהסברה וברתימת שותפות לגיבוי ולתמיכה בחקיקה והשלכותיה.

“קואליציות שבבים”: בריתות מבוססות אינטרסים

מלחמת השבבים נתפסת כסוג חדש של מלחמה קרה.⁴² בימים שאחרי נפילת ברית המועצות, הגלובליזציה והשאיפות הכלכליות של המדינות מנעו לא פעם מלחמות, הן בשל הסיכון למסחר והן בשל עלויות השיקום שגדלו ככל שהמדינות התפתחו. מרבית המדינות שלוקחות חלק בסחר העולמי הרוויחו מהתלות ההדדית, הגם שנאלצו לא פעם להתפשר על אינטרסים מקומיים. מדינות שבחרו להתבודד ולדבוק באג'נדות מיליטנטיות אנטי־דמוקרטיות, דוגמת איראן וקוריאה הצפונית, שילמו על כך בסנקציות כבדות שהוטלו

עליהן. ואולם בשנים האחרונות, נוכח שינויים טכנולוגיים ותרבותיים ושחיקה מסוימת של ערכים ואינטרסים, מתעוררת מחדש שאלת העלות של התלות באחרים ביחס לתועלת. מלחמת רוסיה-אוקראינה סדקה את האמון בעילות מנגנון התלות באחרים, ולמעשה יותר ויותר מדינות חוששות שמודל זה חושף אותן לסיכונים אסטרטגיים שאינם מצדיקים את התועלת הכלכלית. ההיסטוריה מראה שעיוותים בין מדינות מסתיימים בשיווי משקל בין צמיחה כלכלית לבין אינטרסים לביטחון לאומי. אין שיווי משקל אחד נכון, אולם ניכר שכעת, לנוכח המאבק הטכנולוגי בין ארצות הברית לסין והתמעטות יחסי המסחר, הגלובליזציה עומדת למבחן.

שוק השבבים הוא שוק עולמי שאינו בבעלות אף מדינה. שרשרת האספקה חוצה יבשות ורגישה לשינויים, מאקלים דרך דמוגרפיה ועד יחסי חוץ וביטחון. כדי להצליח לייצר שבב דרושים חומרי גלם רבים, יכולות הנדסה ורכיבי ייצור מתקדמים. חומרי גלם לייצור שבבים מצויים בסין ובמדינות נוספות באסיה. ארצות הברית מחזיקה בנתח ניכר מתחום המחקר והפיתוח ועל כן היא נתפסת כ"ראשית הצירים", אולם ייצור המכשור המתקדם מתבצע כמעט באופן בלעדי בחברת ASML ההולנדית והשבבים עצמם מיוצרים ומורכבים במגוון מדינות בעולם, כאשר בראש הרשימה ניצבות חברות בטאיוואן (TSMC) וביפן (KIOXA ונוספות). אף על פי שאתגרים גיאופוליטיים דוחקים את המדינות לעצמאות ולבלעדיות בתחום השבבים בטווח הארוך, סחר עולמי בין מדינות שבהן יש מפעלי שבבים מתקדמים או תנאים מתאימים להקמת מפעלים הכרחי בשלב זה למימוש הפוטנציאל.

החקיקה בארצות הברית יצרה מציאות שבה כל מדינה (או למעשה כל חברה) מחויבת לבחון מחדש את שיתופי הפעולה שלה ואת החברות השותפות לשרשרת האספקה שלה, כדי להימנע מסנקציות אמריקאיות. זאת ועוד, ארצות הברית פנתה לשותפותיה באסיה ובאירופה במאמצים לשכנען להצטרף למאבק ולאמץ את המדיניות המגבילה יכולות מחקר, פיתוח וייצור שבבים מתקדמים מסין. זוהי דרישה מורכבת לנוכח מעמדה הכלכלי של סין, הקשרים המתחזקים עם מדינות אסיה ואירופה והמחיר הגבוה שהן עלולות לשלם, לא רק בכלכלה אלא גם בהיבטים אחרים של ביטחון לאומי.

בעידן של פוסט-גלובליזציה וחזרה למודלים מבוססי בריתות וקואליציות, ארצות הברית יזמה מספר בריתות בתחום הטכנולוגיה. בתחום השבבים היא הזמינה את המדינות המובילות בתעשייה – טאיוואן, יפן וקוריאה הדרומית – לברית מרובעת של המדינות יצרניות השבבים המתקדמים ביותר (FAB4), שאמורה להפוך לאחד הצירים המרכזיים לוויסות ולפיקוח על תפוצת טכנולוגיות השבבים בעולם, בעיקר בהקשר הסיני. ברית נוספת שהוצעה על

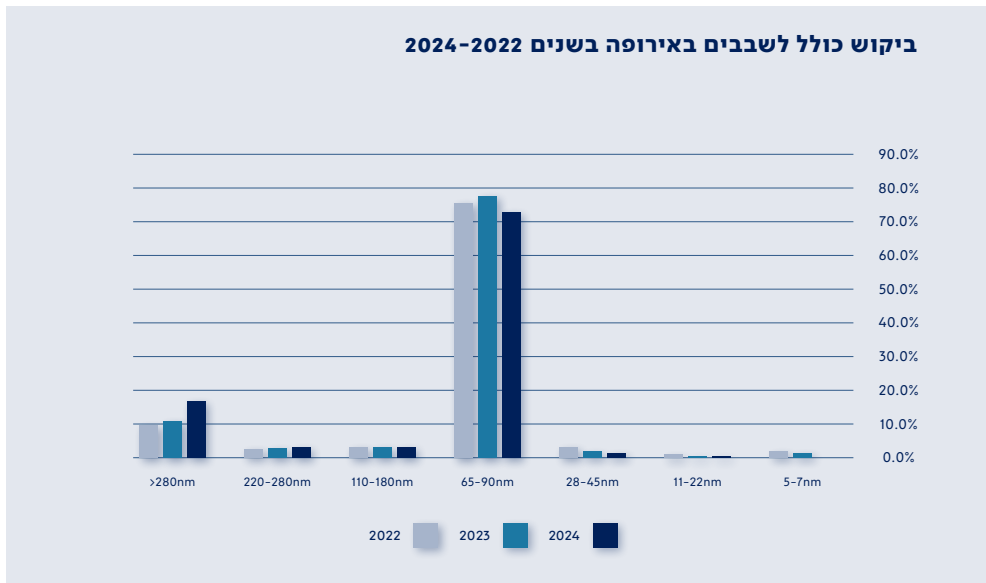
ידי מכון המחקר The Atlantic Council תתמקד בשימוש בטכנולוגיה על ידי מדינות דמוקרטיות (Democratic Technology Alliance). שתי הבריתות הללו מאחדות שני מוטיבים מרכזיים ברוח הלקחים ממשבר שרשראות האספקה והמאבק למניעת תפוצת טכנולוגיה מתקדמת, שעלולה לשמש למטרות הרסניות באופן בלתי מבוקר. בעזרת בריתות אלו תשאף ארצות הברית לנהל את תפוצת הטכנולוגיה המתקדמת ביותר ברחבי העולם, בין השאר כדי למנוע מסין להגיע ליכולת ייצור עצמי של השבבים המתקדמים ביותר, כמו גם בטכנולוגיות מתקדמות שנשענות על אותם השבבים. כמו כן, בחסות ברית של מדינות דמוקרטיות מתקדמות מבחינה טכנולוגית ניתן יהיה להגדיר את קווי היסוד המקובלים לשימוש ולתפוצה של כלל הטכנולוגיות. בהיעדר אפשרות מעשית להגדיר טכנולוגיה "טובה" או "רעה", המכנה המשותף הרחב ביותר שמגדיר את אופי השימוש הוא המשטר השולט בטכנולוגיה. הנחת היסוד היא, גם אם ניתן לזהות בה חולשות אינספור, שסביר להניח כי משטר דמוקרטי ישתמש בטכנולוגיה בצורה אחראית וערכית יותר מאשר משטר שאינו דמוקרטי.

טאיוואן, אשר נסמכת על ארצות הברית מבחינה ביטחונית לנוכח האיום הצבאי מסין, הייתה הראשונה שהצטרפה לברית השבבים FAB4. חברת השבבים המובילה בטאיוואן TSMC הצהירה בסמוך לפרסום החוק ומדיניות ההגבלות נגד סין על כוונה להקים שני מפעלי שבבים מתקדמים באריזונה,⁴³ בהשקעה כוללת של 40 מיליארד דולר. בטקס ההכרזה שנערך באריזונה יחד עם ענקיות הטכנולוגיה שצפויות לרכוש את השבבים המתקדמים השותף גם הנשיא בידן.⁴⁴ נאומו המחיש את רצינות הכוונות של הממשל ואת הציפייה משאר שותפותיה הדמוקרטיות של ארצות הברית להצטרף. מאז הכרזה זו בניית המפעלים מתקדמת, וחברת TSMC כבר הודיעה בחודש אוגוסט 2023 על כוונתה לבנות מפעל שבבים נוסף בגרמניה.⁴⁵

האיחוד האירופי קידם בשנה החולפת מהלכים מטעמו בתחום השבבים, ובד בבד חיזק את התיאום בנושא עם ארצות הברית. עבודת מטה שהובילה מועצת המסחר האירופית בנושא המדיניות הטכנולוגית של האיחוד פירטה את השלכות המחסור העולמי בשבבים ואת הצפי העתידי לביקוש לשבבים באיחוד האירופי.⁴⁶ בדוח הוצג כי בין 2022 ל-2030 הביקוש לשבבים צפוי להכפיל את עצמו, וצוין כי בשנת 2020 בלבד יוצרו בעולם טריליון שבבים, מתוכם רק 10 אחוזים על אדמת אירופה. הפער בין הביקוש ההולך וגובר באירופה לבין ההיצע והתלות במדינות שהיחסים עימן נתפסים בלתי יציבים אינו שיווי משקל בר-קיימא באיחוד. באותו הדוח פורסם גם סקר תעשיינים מובילים באירופה, שממנו עולה כי השיקול

המרכזי לבחירת מיקום להקמת מפעל ייצור הוא זמינות כוח עבודה וחקיקה תומכת. כמו כן צוין כי המדינה צריכה להשקיע הן במחקר, בפיתוח ובייצור והן בחברות שיעודדו יוזמות טכנולוגיות חדשות, משום שהגדלת הביקוש לשבבים אינה נופלת בחשיבותה מהגדלת ההיצע לעידוד הצמיחה הכלכלית והיישום של הבינה המלאכותית לרווחת האזרח.

תרשים 8: ביקוש לשבבים באירופה (גדלים שונים) 2024-2022



מקור: [European Chips survey](#)

החקיקה הטכנולוגית של האיחוד האירופי אושרה בפרלמנט האירופי בפברואר 2023. בדומה לארצות הברית, גם באירופה נועדה החקיקה לצמצם את שרשראות האספקה ולקדם הקמת מפעלי ייצור נוספים במדינות האיחוד, כך שתתאפשר הכפלת חלקה של אירופה בייצור שבבים להיקף של 20 אחוזים מהייצור העולמי הכולל.⁴⁷ החוק האירופי אינו כולל הגבלות מסחר חריפות נגד סין, אולם מצוין במפורש כי האיחוד האירופי יהיה חלק משרשרת אספקה שבתוכה גם ארצות הברית, יפן, קוריאה הדרומית, סינגפור וטאיוואן. במסגרת החוק תוקצה באופן ראשוני תוספת של 15 מיליארד אירו להשקעה ישירה בחברות שיקימו מפעלי ייצור שבבים על אדמת אירופה. השקעה זו מתווספת לתוכניות פיתוח

בתחום הטכנולוגיה והבינה המלאכותית שהושקו החל משנת 2021, אשר מסתכמות יחד להשקעה כוללת של 43 מיליארד אירו בטכנולוגיה עד 2030. כל מדינה באיחוד תעודד באופן ציבורי ופרטי השקעות נוספות בתחום השבבים בהתאם ליכולותיה, ובלבד שאלה ישרתו את רווחתן הכוללת של מדינות האיחוד. הולנד וגרמניה, אשר נחשבות למובילות בתעשייה באירופה, יצרו כל אחת מדיניות תמריצים עצמאית שנועדה להבטיח את המשך הצמיחה בתחום.

במארס 2022 דיווחה אינטל על כוונתה לממש בעשור הקרוב תוכנית השקעות באירופה בסך 80 מיליארד אירו.⁴⁸ התוכנית כוללת הקמה של שני מפעלי ענק לייצור שבבים (Mega-Fab) במגדבורג שבגרמניה, שיהיו אחראים על ייצור השבבים המתקדמים ביותר ביבשת. אינטל בחרה בגרמניה לאחר שהובטח לה תמריץ שמוערך בכ-40 אחוזים מסך עלויות ההקמה (בכפוף לאישור מועצת המסחר האירופית). לצד ההטבות הממשלתיות, אינטל תזכה ליהנות מתשתיות אנרגיה ירוקה מתקדמת שמותקנות באזור ומתשתיות התפלת מים, שאמורות להוזיל את הצריכה הרבה של אנרגיה ומים במפעל שבבים מסוג זה.

במסגרת חיזוק שיתוף הפעולה והאמון עם ארצות הברית בדצמבר 2022, שבועות לאחר פרסום המדיניות האמריקאית בתחום השבבים, נערכה ועידה משותפת של מועצת המסחר והטכנולוגיה (TTC) מטעם האיחוד האירופי וארצות הברית, בראשות שרי החוץ והמסחר. בהודעת הסיכום צוין כי האתגרים הגיאופוליטיים הגוברים המאפיינים את התקופה, ובפרט אלה שמקורם במשטרים אוטוקרטיים הפוגעים בזכויות אדם, מאיימים על הערכים המשותפים של המדינות הדמוקרטיות ועל הסחר הבינלאומי.⁴⁹ בהודעה הודגש כי הפלישה הרוסית לאוקראינה, לצד מגפת הקורונה וגורמים נוספים שהשפיעו על שרשראות האספקה העולמיות, הובילו להבנה שהישענות על אזורי מתיחות גיאופוליטית כמרכזי ייצור חושפים את הכלכלה העולמית לסיכונים מאתגרים במיוחד. אחת המסקנות הבולטות בדוח השבבים היא שאין מנוס משיתוף פעולה בתחום השבבים, וכדי לצאת מהמשבר הנוכחי, לצד השאיפות העצמאיות נדרש מנגנון תיאום מסוג אחר, המבוסס על שקיפות ואמון.

בסיכום הפסגה הוחלט כי ההשקעה בטכנולוגיה תהא מושתתת על ערכים דמוקרטיים משותפים, מתוך רצון להבטיח את עתידם של האזרחים. אמירה זו נועדה להדגיש את ניגוד האינטרסים מול סין, המתחרה בהם על הטכנולוגיה ועל השליטה בשוק הכלכלי העולמי. הוחלט להקים מנגנון משותף שיתריע מפני שיבושים בשרשראות אספקה ולחשוף באופן מלא את נתוני התמיכה הממשלתית של כל אחת מהמדינות בתחום, כדי שכל מדינה תוכל להעריך את הביקוש העתידי ואת הסיכונים הנגזרים מכך באופן עצמאי.

לצד אלה הוחלט להקים עשר קבוצות עבודה, אשר צפויות לעסוק בין השאר בצמיחה כלכלית, טרנספורמציה דיגיטלית, תקינה וסחר בינלאומי הוגן שישמור על אספקה סדירה. עבודת המטה של קבוצות אלה תיצור תנאים והגדרות לשימוש בטוח והוגן בטכנולוגיות מתקדמות, בפרט בתחום הבינה המלאכותית, וכך אפשר יהיה להסיר חסמי סחר ולעודד תחרות עולמית וחדשנות. בינה מלאכותית ומחשוב על הוגדרו כתנאים הכרחיים לפתרון בעיות עולמיות דוגמת שינויי אקלים קיצוניים, חקלאות, אנרגיה ירוקה והתמודדות עם מחלות קשות.

בינואר 2023 נרשמה התקדמות נוספת כאשר הולנד ויפן חתמו על הסכם משותף עם ארצות הברית, שבמסגרתו הסכימו לאכוף את הגבלות היצוא האמריקאיות על טכנולוגיות שבבים לסין, שהלכה למעשה יובילו לכך שסין תתקשה לייצר בעצמה שבבים מתקדמים.⁵⁰ פרטי ההסכמים המלאים בין המדינות טרם נחשפו נכון למועד פרסום זה, אך על פי הצהרות גורמים המעורים במשא ומתן נראה שההגבלות שממשלות הולנד ויפן נערכות להשית על סין יהיו מצומצמות מאלה של ארצות הברית, ולא יכללו הגבלות על תעסוקת אזרחים שלהן בחברות סיניות, וכדומה. מאחר שבהולנד וביפן פועלות החברות המובילות בעולם לייצור מכונות ליתוגרפיה לייצור השבבים המתקדמים, הגבלות יצוא מינימליות, קרי איסור על יצוא רכיבים שפותחו בארצות הברית או מכילים טכנולוגיה אמריקאית, מספיקות כדי לעכב במידה ניכרת את החברות הסיניות ואת שותפותיהן המסחריות. מצידן של החברות ביפן ובהולנד מדובר בהחלטה קשה שעלולה לפגוע ברווחיות, ועל כן שיתוף הפעולה הבינלאומי וההתערבות הממשלתית הם תנאי הכרחי לשמירה על האינטרסים של אותן חברות. על פי תחזיות כלכליות, שיתוף הפעולה בין האיחוד האירופי לבין ארצות הברית יבטיח תמריצים שבהכרח יפצו על הפסדים פוטנציאליים.⁵¹ זוהי למעשה התארגנות כלכלית חדשה שפוגעת בעקרון השוק החופשי שהונהג עד כה בתעשיית השבבים.

הודו היא מדינה נוספת אשר סוללת את דרכה לברית השבבים האמריקאית. בחסות החקיקה הסכימו הודו וארצות הברית על הקמת כוח משימה לבחינת הפוטנציאל של הודו בשרשרת האספקה העולמית.⁵² הודו נחשבת כיום למדינה מובילה בתחום המחקר והפיתוח, והיא נערכת להציע תמריצים בהיקף של מיליארדי דולרים לחברות שיקימו מפעלים בשטחה. מנקודת מבטה של ארצות הברית הודו היא בעלת ברית חשובה באסיה, ויש לה תפקיד חשוב במאבק נגד סין גם במישורים ביטחוניים.

בריטניה, אשר יצאה מן האיחוד האירופי, עוסקת אף היא בגיבוש מדיניות ממשלתית בתחום השבבים, וסביר להניח שבדומה לאיחוד היא תיישר קו עם המדיניות האמריקאית.

רמזים לכך נמצאו בהתערבות ממשלתית חריגה בעסקת רכש של מפעל ייצור השבבים ניופורט וויפרס (Newport Wafers) בדרום ווילס.⁵³ הממשלה פרסמה צו שאילץ את המפעל להתנתק מתהליך הרכישה של חברת Nexperia הסינית בהיקף של 63 מיליון ליש"ט, בטענה שמדובר בעסקה שעלולה לסכן את האינטרסים הבריטיים בתחום השבבים, וכפועל יוצא את הביטחון הלאומי של בריטניה. נכון למועד כתיבת מזכר זה מתנהל קרב משפטי בין החברה הסינית לבין הממשלה הבריטית, ולכן ייתכנו התפתחויות נוספות שיטפיעו על עתיד העסקה. ניתן לשער שבריטניה מקיימת שיח ותיאום הדוק בנושא עם בעלת בריתה ארצות הברית.⁵⁴

במאמץ לחזק את התעשייה המקומית פורסם מטעם ממשלת בריטניה קול קורא לעידוד יוזמות שיאיצו את תעשיית השבבים בממלכה,⁵⁵ ומסתמן כי בריטניה תקצה מיליארד ליש"ט להשקעה ולסבסוד חברות שעוסקות במוליכים למחצה.⁵⁶ זהו סכום זעום ביחס להיקף ההשקעות של התעשיינים הפרטיים בבריטניה. השאלה שניצבת על הפרק היא עד כמה בריטניה תסכים לאמץ בחקיקה את ההגבלות שהטילה ארצות הברית, ואילו תמריצים היא תוכל לספק לחברות שיפעלו בשטחה.

סין עוקבת בדריכות אחר המהלכים האמריקאיים ואחר ברית השבבים המתהווה. הגם שלא ברור עדיין כיצד היא צפויה להגיב, מלבד הגדלת ההשקעה התקציבית הצפויה בתחום, נראה שסין מחשבת את צעדיה בתעשייה ומנסה לרתום שותפות שיאפשרו לה לכל הפחות לשמור על מעמדה הנוכחי.⁵⁷ מאחר שסין אחראית על ייצור השבבים ה"ישינים", אשר נמצאים במרבית מוצרי החשמל הביתיים ואינם בתחום הסנקציות האמריקאיות, היא צפויה לשמר יחסים עם חברות השבבים המובילות בעולם בתחומי הייצור של שבבים בגודל 28 ננומטר לפחות.

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.

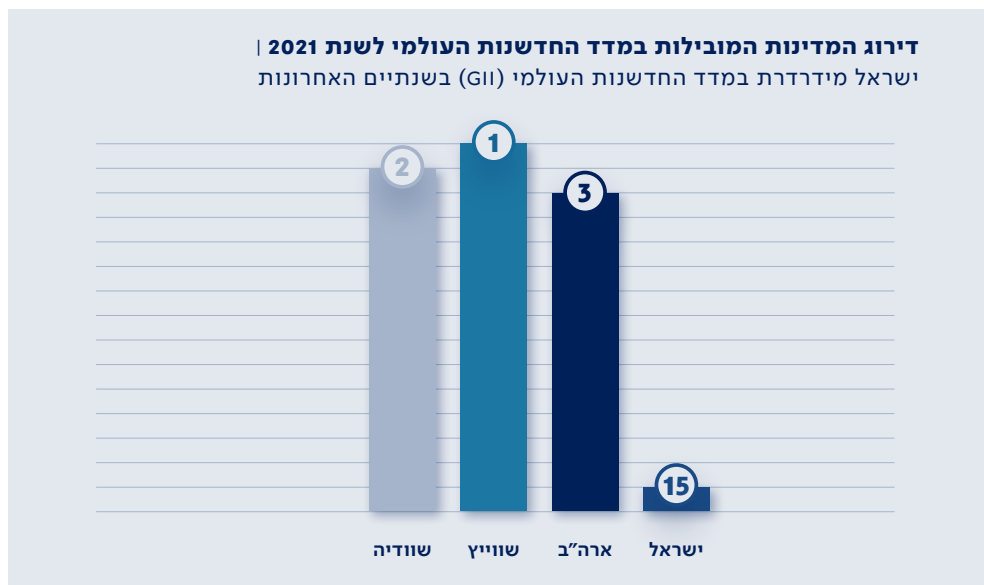
עד תחילת שנות ה־2000, מקבלי המענקים הממשלתיים שהצליחו להשלים את תהליך המחקר והפיתוח חויבו לקיים את תהליך הייצור בישראל, הגם שכבר אז היה ברור לכול כי בחסות הגלובליזציה משתלם יותר לייצר במקומות אחרים, בפרט באסיה. יתרה מכך, נאסר על חברות שזכו למענקים ממשלתיים למכור או להעביר את הפעילות לחברות שפועלות מחוץ 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 מדי. 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 השווי 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

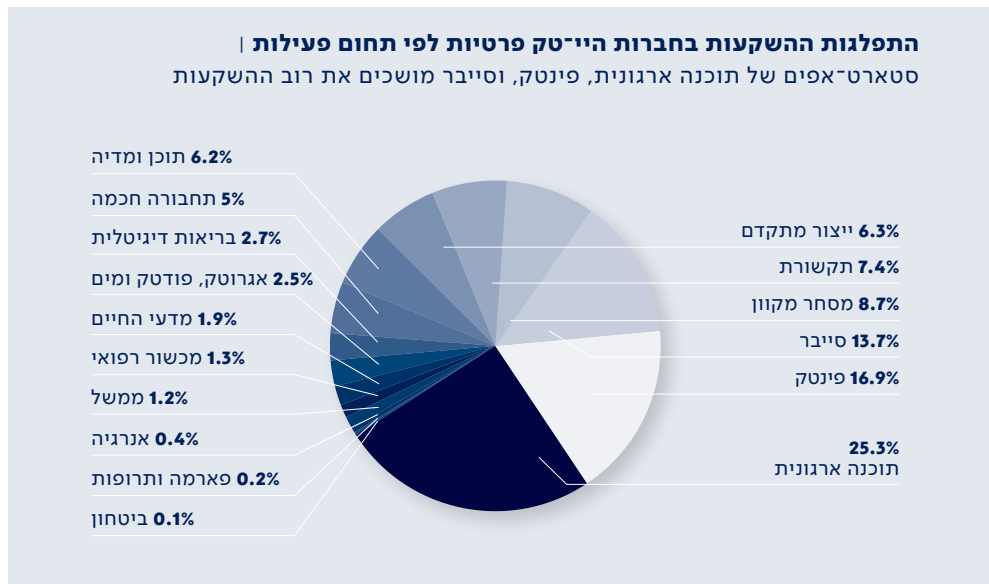
תרשים 10: הדירוג של ישראל במדד החדשנות העולמי (2009-2022)



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

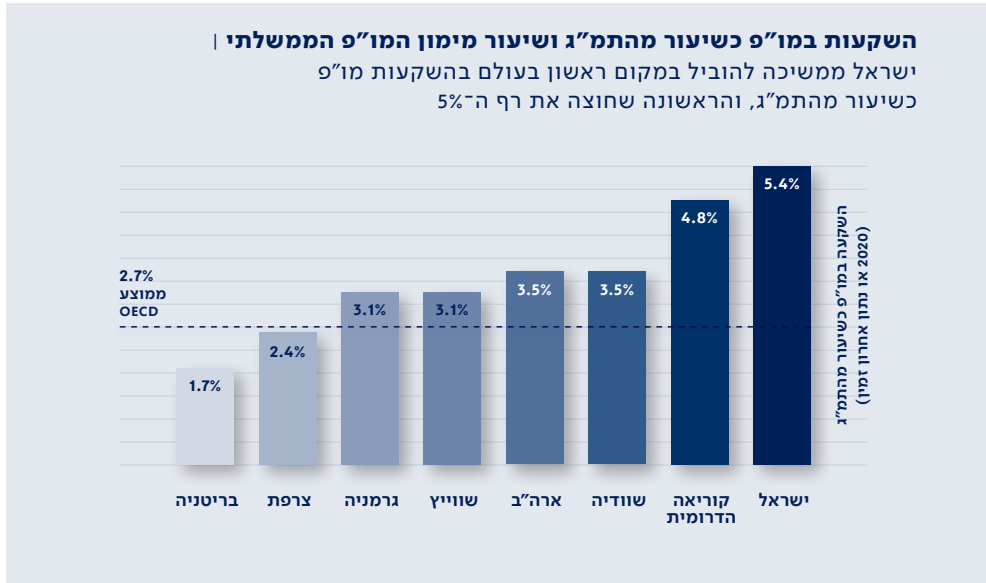
תרשים 11: התפלגות ההשקעות בחברות היי־טק פרטיות (לפי תחום פעילות)



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.

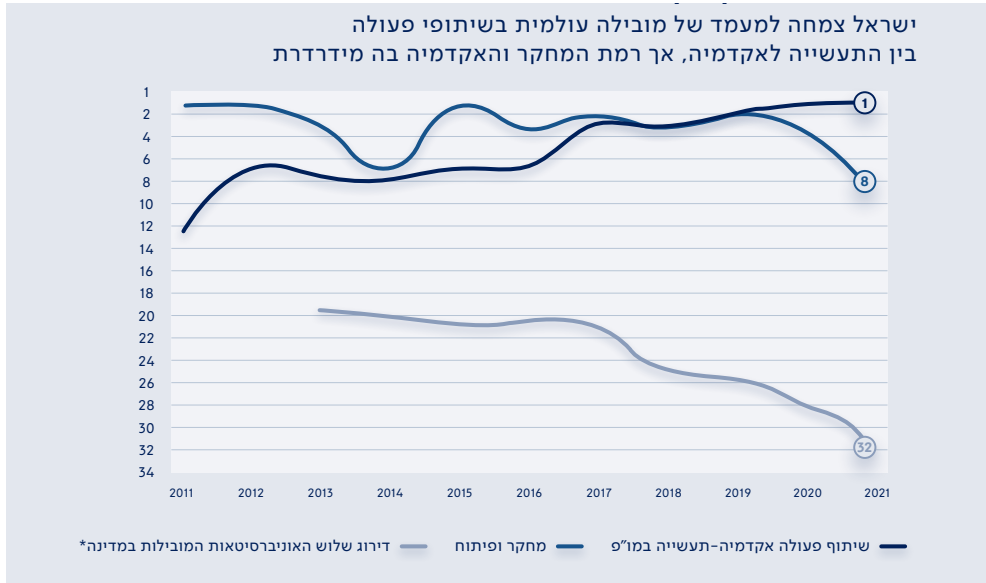
גישה זו של השקעה ממשלתית בייצור במדינות המערב נשמרה עד לימים שאחרי מלחמת העולם השנייה, כיוון הסכם הסחר העולמי ונדידת מערכי הייצור למדינות אסיה במסגרת הגלובליזציה. מהמחצית השנייה של המאה ה־20 ואילך העולם המערבי ממשיך להשקיע במחקר ופיתוח, בחדשנות ובתעשיות רגישות בהתאם לצורכי הביטחון, אולם חלקו בסך הייצור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

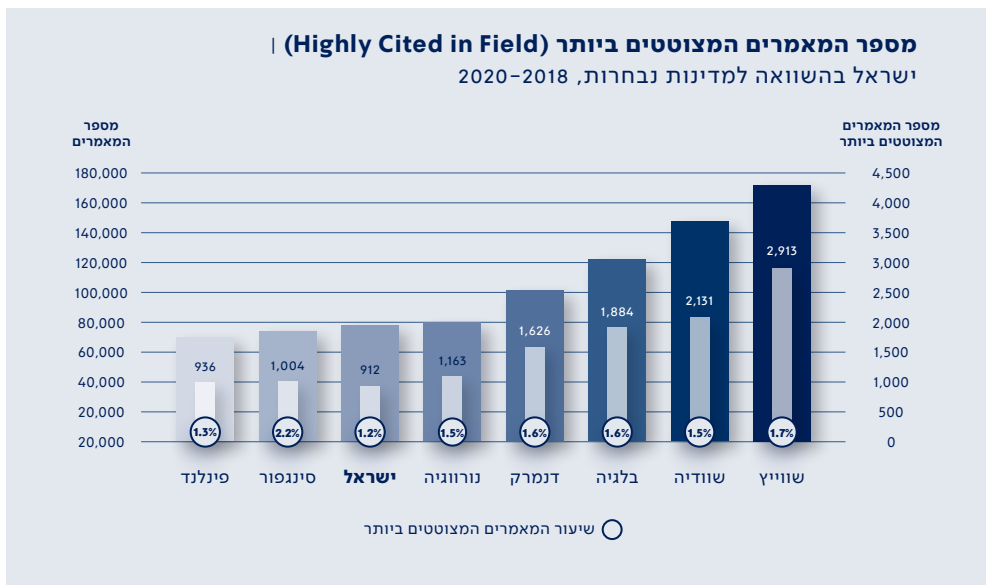
שיתופי הפעולה בין מוסדות אקדמיים באירופה לבין התעשייה הטכנולוגית יוצרים תחרות וקושי לישראל. חרף ההצהרות של ענקיות הטכנולוגיה על כוונתן להרחיב את פעילות המחקר והפיתוח בישראל בשנים הקרובות, מצב השוק בעולם, תוכניות ההתייעלות של ענקיות התוכנה והחשש מפני מחסור בעובדים מתאימים עלולים להוביל אותן לחשב מסלול 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



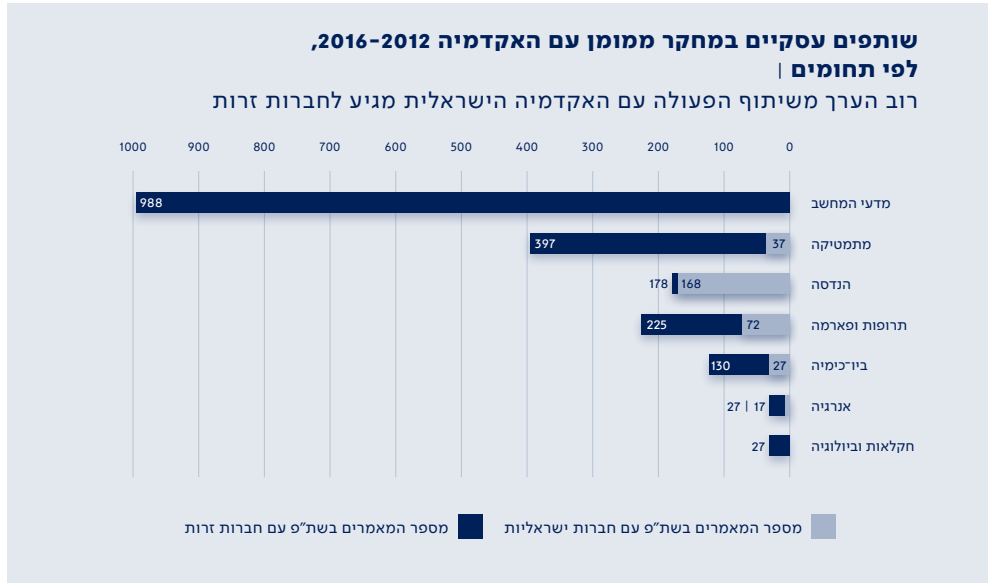
מקור: דו"ח שנתי - מצב ההייטק 2022

תרשים 14: מספר המאמרים המצוטטים ביותר



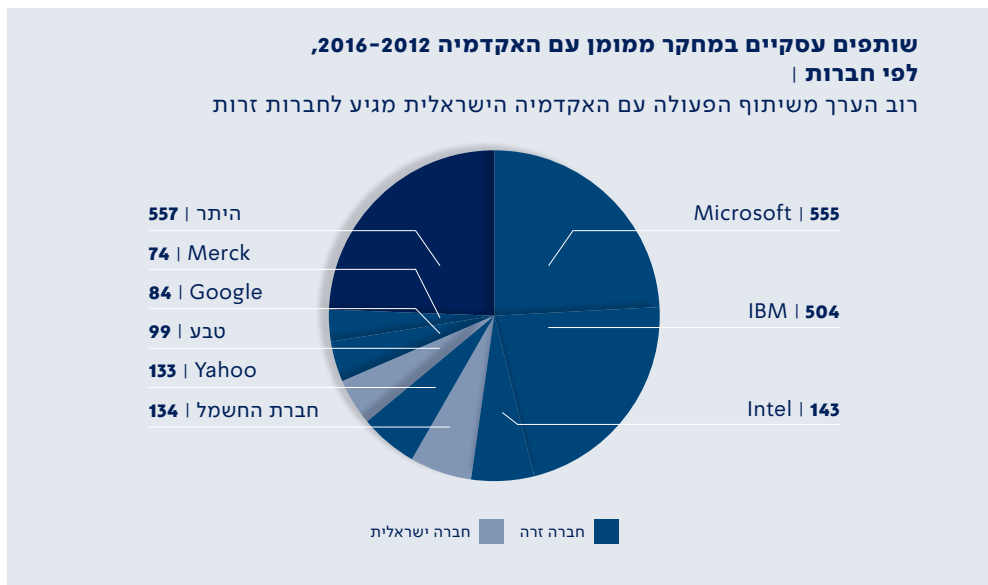
מקור: תפוקות מחקר ופיתוח בישראל 2021

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 שמחוברת 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 המדעית-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

שער שלישי:

ניתוח אפשרויות הפעולה של ישראל

בפרק הקודם דנו בשיקולים שאמורים לעודד את מקבלי ההחלטות במדינת ישראל בבואם לתכנן אסטרטגיה טכנולוגית ולבחון השקעה במערכים מקומיים לייצור טכנולוגי. בפרק זה אנו מתארים את תמונת המצב הישראלית בהקשר המערכתי ואת ה"היסט" שבתוכו היא מצויה. פרק זה מאגד את התובנות שהוצגו עד כה באופן שמאפשר לדון בחלופות למדיניות. החלופות יוצגו באמצעות מודל SWOT שסייע לנו להבליט את היתרונות והחסרונות של כל אחת מהחלופות.⁹¹

במסגרת הכתיבה של פרק זה ראינו גורמים מובילים בתעשייה הטכנולוגית בישראל וראינו שקיימת תמימות דעים ביחס למדיניות המומלצת מבחינתם בהקשר הטכנולוגי.⁹² תובנותיהם ועמדותיהם ביחס למדיניות תוצגנה במסגרת הניתוח המערכתי והחלופות.

האם ישראל פועלת על פי אסטרטגיה טכנולוגית?

טרם הצגת הניתוח המערכתי והחלופות אנו מבקשים לטעון כי על אף כל הישגיה הטכנולוגיים של ישראל, שהוצגו בפרק הקודם, היא אינה פועלת כיום על פי אסטרטגיה טכנולוגית בת־קיימא. אין משמעותה של קביעה זו שהממשלה אינה משקיעה בטכנולוגיה, אולם המדיניות הנוכחית, שבאה לידי ביטוי בהשקעה ציבורית מינימלית (9.6 אחוזים מההוצאה על המו"פ היא ממשלתית – מקום אחרון בקרב מדינות ה־OECD לשנת 2019) ובעידוד המגזר הפרטי באמצעות הטבות מס ומענקים, אינה מבטיחה כי המשק הישראלי ימשיך ליהנות מפירות התעשייה הטכנולוגית לאורך זמן.

מדיניות זו של מתן הטבות מס ומענקים מעוגנת בחוק "לעידוד מחקר, פיתוח וחדשנות טכנולוגית בתעשייה" שנחקק ב־1984, ובמסגרתו גם הוסב משרד המדען הראשי לרשות החדשנות בשנת 2015.⁹³ על פי החוק הרשות אמונה על עידוד, קידום, תמיכה וסיוע לחדשנות הטכנולוגית בתעשייה, ולפיתוח התשתיות הנדרשות לכך, בין השאר באמצעות מתן הטבות שהן מענקים, הלוואות, פטורים, הנחות, הקלות וערבויות וכלי סיוע נוספים, למעט רכישת מניות. הרשות מחויבת לפעול בהתאם להחלטות הממשלה בענייניה, ובהיעדר החלטת ממשלה – על פי מדיניות שר החדשנות, המדע והטכנולוגיה.

בניגוד לתקציב המדינה שמעוגן בחקיקה, מסלולי ההטבות שהרשות מפרסמת כפופים להחלטות ממשלה והמימון נלקח מתוך תקציב רשות החדשנות או תקציב משרדי הממשלה.

חוכנית טכנולוגיה לאומית לישראל / אריאל טובלמן ות"ד

מאחר שמעמדם של מסלולי ההטבות אינו כמעמד חוק שחוקק בכנסת, הם ניתנים לשינוי ולביטול. למעט החוק המקנה לרשות החדשנות את סמכויותיה, אין בישראל חוקים המעגנים את ההשקעות הציבוריות במחקר, פיתוח וייצור טכנולוגיה, או מדדים ברורים ובקרה לצורך שמירה על מעמדה המתקדם בעולם של ישראל. שיטת פעולה זו של הרשות נועדה לממן סיכון של יזמים ישראלים המעוניינים להשקיע באפיקים שבסופו של דבר ייתרגמו לצמיחה כלכלית, אולם הלכה למעשה בשנים האחרונות, וביתר שאת מאז שהשתנתה מדיניות הקניין הרוחני והוקל תהליך המיזוג והרכישה על ידי חברות רב־לאומיות, המשק הישראלי אינו הנהנה ממלוא הפוטנציאל של המגזר הטכנולוגי. זאת מכיוון ששיטת הפעולה של הרשות מתמרצת שאיפה לאקזיט – קניית הנכס בידי חברה גדולה יותר, לרוב זרה. במרבית המקרים האקזיט נעשה תוך תכנון מס קפדני, שמונע מהמדינה הכנסה משמעותית בגין הרכישה עצמה. במקרים רבים הרכישה מובילה להקמת מרכז פיתוח בישראל המעסיק עובדים, ובמקרים אחרים, לעיתים בתהליך איטי ומדורג, החברה הרוכשת מתנתקת מהשורשים הישראליים ומרבית העובדים והנכסים עוברים לחו"ל. כך או אחרת, התמורה העיקרית למדינה באה לידי ביטוי בעיקר במיסי עבודה מהמועסקים בחברה. אילו הייתה מדיניות השואפת למנף קניין רוחני ישראלי גם למטרות תמלוגים למדינה עבור השקעותיה בחברות הסטארט־אפ, ניתן להעריך כי הייתה מתפתחת תרבות עסקית שמעודדת חברות לצמוח בישראל ולהפוך לחברות תפעוליות, ולא רק לשאוף בכל המקרים לאקזיט.

דוח רשות החדשנות לשנת 2022 הזהיר את הממשלה מפני שאננות וציפייה שבלי השקעות ארוכות טווח ענף היצוא המרכזי של המשק (היי־טק) ימשיך להוביל בזירה הגלובלית, והביא את נתוני מדד החדשנות העולמית ואת חוסנה של האקדמיה כסימני אזהרה מפני המשך הגישה הנוכחית. קביעה זו של רשות החדשנות נכונה לכל התעשייה הטכנולוגית בישראל ולא רק למגזר התוכנה והשירותים בהיי־טק, המאגד את עיקר ההשקעות הנוכחיות. יתרה מכך, נוכח התמורות הגלובליות שפורטו בהרחבה ניכר כי התחרות הניצבת בפני ישראל בשוק הטכנולוגיה הופכת קשה יותר, ולכן המגזר הפרטי אינו יכול להתמודד בתחרות ללא תמיכה ציבורית ומדיניות ארוכת טווח יציבה.

ניתוח מערכתי: ההקשר שבתוכו פועלת ישראל

לצורך הדיון ניתן לתאר את ההקשר העולמי שבו פועלת ישראל כמערכת סבוכה של קשרי גומלין אזוריים, כלכליים, חברתיים, טכנולוגיים וביטחוניים, אשר מכולם נגזרות ארבע

מסקנות בולטות הממוקדות בהקשר הטכנולוגי של הסדר העולמי המתעצב בימים אלה. בכל אחת מהמסקנות מצויים אתגרים והזדמנויות לישראל:

“המחנה הכחול” נגד “המחנה האדום” – בכל הנוגע לטכנולוגיה, “המחנה הכחול” בהובלת ארצות הברית מתרחב ומתעצב לאיטו כ”ברית טכנולוגית דמוקרטית”. הצורה שבה מתהווה הברית אינה ברורה עדיין, אך מטרתה האסטרטגית היא לשמור על מעמדה של ארצות הברית כמעצמה החזקה ולהפעיל לחץ על “המחנה האדום”, שמובילה סין. “המחנה האדום” מייצג את המחנה הנגדי לברית הדמוקרטית. ישראל קרובה יותר למחנה הכחול בהקשר הטכנולוגי, אולם עדיין אינה נחשבת שותפה מלאה לברית השבבים, בין מתוקף הימנעות מכוונת מעיסוק הצהרתי בנושא ובין משום שטרם התקיים דיון עומק על ההשלכות וגם לא על היוזמות האחרות שמובילה ארצות הברית, שמטרתן ניהול ושליטה במשאבי הטכנולוגיה העולמיים. אם וכאשר ישראל תבקש להצטרף אל ברית השבבים באופן רשמי, היא תצטרך להצהיר על עמדותיה ביחס למחנה האדום באופן ברור, ולהיענות להגבלות כפי שהן באות לידי ביטוי בחקיקה (כך למשל, ייתכן כי אינטל תבחר לא לייצא לסין שבבים שמיוצרים בישראל). במובן זה ישראל תהפוך מחד גיסא לשותפה פעילה במרוץ החימוש הטכנולוגי שמובילה ארצות הברית נגד סין, אך מאידך גיסא היא תוכל להצטרף ליוזמות בינלאומיות בתחומי הרגולציה על בינה מלאכותית ובתחומים של שמירה על פרטיות וזכויות אדם, וליהנות מההזדמנויות הכלכליות שייפתחו בפני התעשייה הישראלית. ראוי לציין כי השימוש בדימוי של מחנה כחול אינו מתאים לתיאור כלל היחסים בעולם. עם זאת, בעוד שביחסים בינלאומיים אנו עדים לתחומים אפורים רבים ביחסים בין המעצמות, דומה כי דווקא בתחום הטכנולוגי הדיכוטומיה קלה יותר לזיהוי ולאפיון. בהתחשב בהיקף ההשקעות העצום ובאמצי הבקרה והפיקוח על תפוצה וזליגה של טכנולוגיה, דווקא כאן אנו רואים מחנאות בולטת מאוד, עם מעט מאוד אזורים אפורים.

שלוחת ברית השבבים באסיה היא שוק בצמיחה והתרחבות – טאיוואן, יפן והודו הצהירו באופן רשמי על הצטרפותן לברית השבבים. יפן, שנתפסת כמעצמת פיתוח וייצור טכנולוגי כבר עתה, הצהירה על כוונתה לעצור את הסחר בטכנולוגיה מתקדמת עם סין, ולכן צפויה ליהנות מפירות ההשקעה האמריקאית. הודו חתמה על מזכר הבנות עם ארצות הברית ועתידה להשקיע הון עתק בסבסוד ובהקמת מפעלי ייצור שבבים בשטחה. טאיוואן נשענת על קשריה עם ארצות הברית לצורך הגנה מפני איום הפלישה הסיני, אולם ניכר כי היא טרם גיבשה אסטרטגיה שתאפשר לה להעביר חלק מיכולות הייצור הטכנולוגי שלה לארצות הברית מבלי לפגוע ביציבותה. ישראל כמעצמת מחקר ופיתוח עומדת בפני

הזדמנות אסטרטגית לבחון אסטרטגיה דומה לזו של יפן והודו, גם אם בהיקפים מצומצמים מפאת מגבלת משאבים. האופן שבו ישראל מעודדת את אינטל להקים מפעל ייצור שבבים נוסף בקרית גת הוא צעד נכון בכיוון זה, אך הוא אינו מספיק. על ישראל לבחון כיצד ניתן לעודד חברות שבבים נוספות להקים מפעלי ייצור (TSMC למשל) ולוודא שמדיניות היצוא תואמת את האינטרסים של שרשרת האספקה כולה. חשוב לציין כי תעשיית השבבים אינה בנויה רק על מפעלי ייצור הסיליקון עצמם אלא על גם על חברות אריזה, הרכבה, בדיקה ובקרת איכות. העלויות של המפעלים הנלווים למפעל שבבים נמוכות לאין שיעור, ורצוי שמדינת ישראל תתמרץ את הגעתן לישראל של חברות מהתחום. בהקשר זה, על ישראל לחזק את השותפות עם הודו ויפן, שתיהן שחקניות בולטות בתחום, ולבחון את שרשראות האספקה של טכנולוגיה חיונית.

המזרח התיכון כזירת מאבק בין המעצמות והתפקיד החשוב של ישראל בהקשר האמריקאי – האסטרטגיה האמריקאית הנוכחית מבטאת את המיקוד האמריקאי בענייני פנים, כאשר חוק השבבים וברית השבבים נועדו לשרת בראש ובראשונה את צרכיה של ארצות הברית. היא אינה מקיימת כיום שותפויות טכנולוגיות באזור, וסין מנצלת את המיקוד האמריקאי הנוכחי כהזדמנות לחזק את קשריה עם ערב הסעודית ומדינות המפרץ, לרבות התערבות בפתרון סכסוכים פנימיים באזור, ובפרט העימות בין ערב הסעודית לאיראן. לישראל תפקיד חשוב בשמירה על האינטרסים האמריקאיים באזור, וביכולתה להוות גשר של המחנה הכחול לאזור בכל הקשור לטכנולוגיה מתקדמת, בחסות אמריקאית. ישראל תוכל לארח ברית שבבים של מדינות המזרח התיכון, לתרום מהידע הרב שנצבר ברשותה על מחקר ופיתוח שבבים ולתמוך בהקמת מפעלי שבבים במדינות המפרץ משיקולי יתירות ויצירת בריתות אסטרטגיות של שרשראות אספקה שאינן תלויות בסין. בראייה אסטרטגית, שילוב העוצמה הפיננסית האדירה של מדינות המפרץ עם חדשנות טכנולוגית ישראלית פורצת דרך יוצר הזדמנויות חסרות תקדים להשקיע במשותף בטכנולוגיות שבבים שהיו מעבר ליכולתה הכלכלית של ישראל, ומעבר למשאביהן ההנדסיים של מדינות המפרץ.

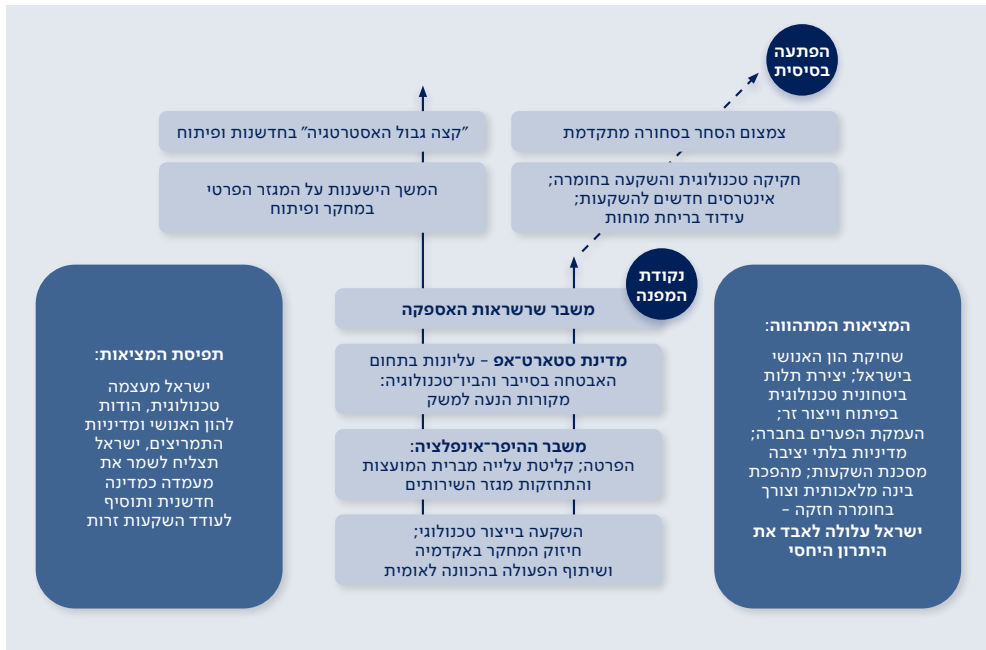
הטכנולוגיה ככלי לפתרון המתח הפנימי ואתגרי הביטחון של ישראל – המאבק הפנימי בישראל, בין השאר הרפורמה המשפטית המקיפה שמקדמת הממשלה, והשחיקה המתמשכת בהשקעות הלאומיות באקדמיה משפיעים על היכולת להוביל חדשנות. לצד אלה, ישראל עודנה נתונה לאיומים ביטחוניים המצריכים קשב ומשאבים. תוכנית לאומית בהקשר הטכנולוגי יכולה לתת פתרון לשני האתגרים הללו בעת ובעונה אחת, כאשר בסביבה החיצונית היא תבטיח את מעמדה של ישראל כמעצמה טכנולוגית ותשמר את השותפויות

הביטחוניות בעולם, ובסביבה הפנימית היא יכולה לאפשר את צמצום הפערים, הגדלת ההשתתפות וחיזוק הלכידות, שיאפשרו במהלך הזמן להחזיר את ההשקעות לצרכים הביטחוניים.

תיאור ההיסט

מתוך מסקנות הניתוח המערכתי שהובאו להלן, אנו מבקשים לעשות שימוש במודל שפיתח ד"ר צבי לניר בספרו **ההפתעה הבסיסית** שיצא לאור ב-1983, ולהצביע על ההיסט⁹⁴ שבו ישראל מצויה. בעוד שישראל רואה עצמה ממשיכה להתפתח כמדינה חדשנית ויזמית מובילה בהייטק בקנה מידה בינלאומי, הרי בפועל משבר שרשראות האספקה והעימות המקצין בין ארצות הברית לסין הוביל להתארגנות מחודשת של הזירה הטכנולוגית, מה שמאתגר את האסטרטגיה הנוכחית. בעוד שמדינות השואפות לחזק את התעשיות הטכנולוגיות שלהן מקדמות חקיקה ומשקיעות הון עתק בתחום הייצור והחומרה, ישראל טרם גיבשה מדיניות כוללת בנושא – דבר שעלול להביא לשחיקת יתרונה היחסי לאורך זמן. המיקוד הנוכחי בכלכלת שירותים מקצין את הקיטוב ומעמיק את הפערים עד כדי שחיקת ההון האנושי. נקודת המפנה ששינתה את הגישה בעולם היא משבר שרשראות האספקה. גם בישראל עוצמת המשבר הורגשה, אולם המשבר לא הומשג בשיח הישראלי ובהקשריו הייחודיים לתעשיית ההייטק המקומית. ישראל היא חלק משרשרת האספקה העולמית, וכשיש שיבוש או כשל בנקודה מסוימת בשרשרת, באחריות המדינה לבצע שינויים או התאמות ברמה הכלכלית או הגיאופוליטית על מנת למזער את הפגיעה או לנצל הזדמנות לקדם את האינטרסים של המדינה. עד עתה לא התקיים דיון ממוסד באתגרים ובהזדמנויות שהמשבר יצר, וטרם ננקטו הצעדים הנדרשים לחיזוק המשק. אם ישראל תבחר להמשיך את האסטרטגיה הנוכחית, תימנע מהתערבות ישירה בתעשייה ותתמקד במחקר ופיתוח, היא עלולה למצוא עצמה מגיעה ל"קצה גבול האסטרטגיה" בחדשנות, וזאת מהסיבה הפשוטה שמול השקעות העתק הממשלתיות ברחבי העולם והשקעה במדיניות תעשייתית של הסתמכות עצמית גדולה יותר, ישראל עלולה להיווכח כי יכולת התחרות שלה נשחקת. בניגוד לישראל, מתחרותיה בעולם פועלות עתה לקדם חקיקה ולהרחיב את אפיקי ההשקעה כדי שיתאפשר להן להתמודד עם מציאות של צמצום סחר בחומרה מתקדמת (מגמה המורגשת כבר כיום, נוכח המאבק בין ארצות הברית לסין). זאת על ידי סבסוד ממשלתי ליצירת איזון טוב יותר בין מחקר ופיתוח ליכולות ייצור, שישמור על יציבותן הטכנולוגית והכלכלית.

תרשים 17: הפתעה בסיסית במשבר שרשראות האספקה



חלופות למדיניות ואסטרטגיה בהקשר הטכנולוגי

חלופה א: התבגרות אבולוציונית - המשך השקעה מכוונת ביי-טק (תוכנה ושירותים)

החלופה הראשונה היא זו שבמסגרתה המדינה לא צפויה להשקיע משאבים נוספים בטכנולוגיה מעבר להשקעותיה הנוכחיות, ובעצם המשך המצב הקיים. כמו כן אין כוונה לאומית, הצהרתית או מעשית להשתתף בברית השבבים. בתרחיש זה המיקוד יכוון לשמירה על האטרקטיביות הישראלית: ההון האנושי שמעודד חברות רב-לאומיות להקים מרכזי מחקר ופיתוח בישראל, לצד הטבות המס שמאפשרות להקל את עלויות התפעול. מימוש חלופה זו, תוך התעלמות מהמגמות המתהוות בשוק הטכנולוגיה העולמי, יגביר את הסיכון לבריחת מוחות מישראל, לנוכח התחרות הגוברת עם ארצות הברית ואירופה והתמריצים שאלה צפויות להציע בתמורה להעברת מרכזי מחקר ופיתוח בסמוך למפעלי

הייצור בשטחן. בראיונות עומק עם ראשי ומובילי תעשיית הטכנולוגיה בישראל עלה גם שלנוכח המשבר שמתחולל בקרב ענקיות הטכנולוגיה בעולם, ולנוכח התחזיות כי משבר זה צפוי להימשך בשנים הקרובות, צפויה ירידה גם בהיקף ההשקעות הזרות בישראל, שהן הכוח המניע את התעשייה המקומית. כמו כן, בהינתן שיגברו הלחצים על ישראל לנקוט עמדה במאבק הטכנולוגי העולמי, ייתכן שישראל לא תוכל לממש חלופה זו מבלי לסכן את ההשקעות הזרות או לסכן את מקומה בשרשרת האספקה העולמית.

בספרו **אסטרטגיה של מלחמה ושלום**⁹⁵ מתאר הפרופ' אדוארד לוטוואק את הטבע הפרדוקסלי של כל אסטרטגיה ומזהיר מפני מצב שבו מימוש ממושך של אסטרטגיה מביא לנקודת המיצוי שלה ועלול להפוך למכשול בדרך להשגת היעדים הלאומיים – זוהי חולשתה העיקרית של חלופה זו. היא אומנם מביאה לידי ביטוי את חוזקותיו של המשק הישראלי כפי שמוצגות בתרשים, אולם אינה מאפשרת להתמודד עם החולשות אשר בטווח הארוך עלולות להרע את מצבו של המגזר הטכנולוגי בישראל.

תרשים 18: חלופות למדיניות – חלופה א



חלופה ב: שמירה על המודל הקיים – למעט שינוי המיקוד – השקעה מותאמת למגמות בזירה הבינלאומית

החלופה השנייה דומה לחלופה הראשונה במובן זה שהמדינה לא צפויה להשקיע משאבים נוספים בטכנולוגיה, או להצהיר על כוונה רשמית לקחת חלק בברית השבבים. אולם בחלופה זו המדינה תמקד ותכווין את המגזר הפרטי להזדמנויות בשוק העולמי, ובפרט לאפיקי השקעה חדשים בתחום הייצור הטכנולוגי, כדי לעודד חברות רב־לאומיות להקים מפעלים ולהתבסס בישראל.

במבט ראשון נדמה אולי כי ההבדל בין חלופה זו לחלופה הראשונה הוא סמנטי, אך חלופה זו מגלמת את חוזקותיה של ישראל ומאפשרת שמירה על סביבה ליברלית של מגזר פרטי עצמאי המוביל את המשק. בתמורה לתמריצים ולהטבות המיסוי הנהוגים כיום, יזמים ישראלים יוכלו להקים מרכזי מחקר ופיתוח שימשכו את ענקיות הייצור לישראל. חלופה זו גם עשויה לעודד התפתחות הזדמנויות עסקיות עם חברות חומרה בעולם, על מנת שאלה יבחנו הקמת מפעלים בישראל לאור אמירה מפורשת של ממשלת ישראל כי זו שאיפתה, וכי היא תתמוך ביוזמות כאלו ותתמרץ אותן. עם זאת, חלופה זו אינה מספקת בהכרח מענה לחולשות של המשק הישראלי, בפרט בתחום האקדמיה והיקף ההשתתפות בשוק העבודה הטכנולוגי של אוכלוסיות כגון הערבים והחרדים. חלופה זו עשויה להתגלות כקשה למימוש אם מדינת ישראל לא תבצע את ההשקעות הנדרשות בחינוך טכנולוגי מגיל צעיר, על מנת להבטיח הכשרת כוח אדם מתאים. בדומה לתעשיית הסייבר, העתודה האנושית של תעשייה זו מתפתחת מגיל צעיר באמצעות חוגים לנוער ומגמות הסייבר בתיכונים, אשר מעניקות את תשתית הידע הראשוני שעיומו מגיעים הצעירים לצבא, שם מתפתח הידע בצורה יעילה וממוקדת.

רובם הגדול של המרואיינים, מובילי התעשייה הטכנולוגית בישראל, הביעו תמיכה בחלופה זו בשל שמירתה על האקוסיסטם הישראלי – מוחות צעירים המובילים מחקר ופיתוח וסוחפים אחריהם משקיעים מכל העולם. כמו כן, היזמים הישראליים מניחים שלנוכח מגבלת המשאבים ישראל תבחר לא להשקיע את העלות הכרוכה בהקמת מפעלי ייצור, ועל כן אין טעם בהתערבות ממשלתית, למעט התמריצים המוצעים כיום. במובן זה המרואיינים הצביעו על אפשרות זו כעל החלופה הריאלית ביותר למימוש.

הקושי המרכזי במימוש חלופה זו טמון בכך שהשקעה בענף הייצור הטכנולוגי כרוכה בעלות ראשונית גבוהה של השקעה בתשתיות, בחינוך, באקדמיה ובהכשרות כוח אדם. זהו פרויקט שקשה לקדם ללא התערבות ממשלתית, ולמעשה זו גם הסיבה העיקרית לכך

שאינן יוזמות פרטיות בתחום הייצור הטכנולוגי בישראל. לצד סוגיות אלה מסתמן גם אתגר חיצוני במימוש חלופה זו מצד ארצות הברית, אשר צפויה להערים קשיים במתן תמריצים והטבות במסגרת חוק השבבים, ללא מתן התחייבות בסדר גודל לאומי (שקיפות בנוגע ליחסים עם סין, למשל, תהיה תנאי בסיסי בכל משא ומתן).
הלכה למעשה, בחירה בחלופה זו ללא התערבות ממשלתית מעבר לזו הקיימת כיום סופה שהחלופה לא תתממש, בשל מגבלות השוק כפי שהן באות לידי ביטוי כיום.

תרשים 19: חלופות למדיניות – חלופה ב



חלופה ג: עיגון ההשקעה הממשלתית בטכנולוגיה והקמת קרן השקעות ציבורית

החלופה השלישית נועדה להתמודד עם מגבלות החלופה השנייה ולהציע התערבות ממשלתית במטרה להקל על כניסה לאפיקי השקעה חדשים בשוק הטכנולוגיה, ובפרט בתחום הייצור של טכנולוגיה מתקדמת. בחלופה זו ישראל מיישרת קו עם המגמה השלטת בקרב המדינות המתקדמות ביותר, בהובלת המעצמות הטכנולוגיות, ומבינה שהדרך

היחידה "לשבור את הלינאריות" של החדשנות הטכנולוגית היא התערבות ממשלתית, ולפיכך עליה לגבש תוכנית לאומית ויעדים ארוכי טווח. מגמה זו אומצה על ידי מגוון רחב של מדינות, חלקן בגודלה של ישראל ועם מאפיינים דומים בכלכלתן, כגון הולנד ואירלנד. בחלופה זו רשות החדשנות, בהנחיית ממשלת ישראל, תתמקד במימוש היעד של הגדלת הייצור במדינה, תקבל תקציב מוגדל וסמכויות כדי לממש יעדים אלה באמצעות כלי הפעולה הקיימים (הקלות ותמריצים), כמו גם הגדרת מדיניות השקעה לאומית בחברות הזנק על מנת להכווין ולעודד יזמים להקמת חברות בתחומים הנדרשים. זאת בניגוד למצב הקיים היום, שבו זרוע ההשקעות של רשות החדשנות פועלת בדומה לקרן הון סיכון ומכוונת את השקעותיה על בסיס תחזיות החזר השקעה. תפקידה של רשות החדשנות הוא קריטי ויבוא בנוסף להשקעות לאומיות בתשתיות ובהון האנושי, באמצעות מערכת החינוך, האוניברסיטאות ותהליכי השמה ייחודיים למקצועות הרלוונטיים. מעבר לכך, בחלופה זו ממשלת ישראל תקדם באמצעות יוזמותיה המדיניות שיתופי פעולה כלכליים עם מדינות המפרץ ואחרות על מנת לייצור את שותפות ההון הנדסה, שתאפשר להגדיל את חתימת הייצור בישראל ובאזור, ובכך להמשיך לחזק את השותפות בין המדינות.

החלופה הזו מאתגרת את ישראל בהשקעה ראשונית גבוהה ובהגדרת יעדים שעלולים להיתפס כ"מדיניות תעשייתית", המציבה מסגרת והגבלות למגזר הפרטי בכיוונים שאינם תואמים את היתרון היחסי הנוכחי. מבחינות מסוימות החלופה מאלצת תהליך התבגרות של תעשיית הטכנולוגיה הישראלית, מכזו שמבוססת כמעט באופן מוחלט על ניצול הזדמנויות – "רכיבת גלים" – להגדרה סדורה יותר של מדיניות ויעדים להתפתחות התעשייה והכלכלה. על מנת להבין את קנה המידה של התשומות הנדרשות, בארצות הברית חוק השבבים הוא בהיקף של כ-280 מיליארד דולר, מהם כ-52 מיליארד מיועדים לסובסידיות ישירות עבור בניית מפעלי שבבים או מפעלים הקשורים לשרשרת הערך של השבבים (אריזה, הרכבה ובדיקה). האיחוד האירופי הקציב כ-43 מיליארד אירו לאותה מטרה. מן הסתם הכלכלה הישראלית אינה מסוגלת להקצות סכומים כאלה, אולם הגדרה מדורגת של היעדים, שילוב זרועות מלא עם המגזר הפרטי (הן בהגדרת היעדים והן בהשקעות) וייתכן שגם שותפויות עם מדינות המפרץ – כל אלה יאפשרו לישראל לשמור על חוזקותיה ועל האטרקטיביות שלה בקרב המשקיעים מתחום התוכנה והשירותים, וגם לפתח את תעשיית החומרה המקומית. מאחר שישראל מתחרה בתחום זה במעצמות שמשקיעות הון עתק, סביר להניח שהיא לא תוכל לממש חלופה זו ללא תמיכת ארצות הברית, רוח גבית מאירופה והשקעה מצד

מדינות נוספות. הצהרה על תוכנית לאומית המיישרת קו עם האסטרטגיה האמריקאית צפויה במידה רבה לאפשר תמיכה זו.

בשנה האחרונה, למרות טלטלות עצות הן בשווקים הבינלאומיים והן באקלים העסקי־תאגידי בארץ, היתרונות היחסיים של ישראל בתחומי הנדסת השבבים ממשיכים להיות אטרקטיביים עבור חברות רב־לאומיות בתחום: אינטל, אשר הודיעה על הרחבת ושדרוג מפעליה בארץ, וחברת אנבידיה שמפתחת את תשתית הייצור שלה על בסיס רכישתה של חברת מלאנוקס. בחלופה זו, בהשקעה נכונה של ממשלת ישראל ניתן לתמרץ חברות לאורך שרשרת הערך של החומרה להקים נוכחות בישראל. מאחר שישראל מעוניינת לקבע ולשפר את מעמדה בשרשרת האספקה העולמית, ומאחר שמפעלי ייצור שבבים אינם בהכרח אפיק ההשקעה המשתלם, ניתן לבחון כיווני השקעה נוספים בתחום הייצור הטכנולוגי, כגון תמרוץ תעשיות התמך של יצרניות החומרה להקים מפעלים בישראל, דוגמת מפעלי אריזת שבבים או יצרניות ציוד בדיקה לשבבים.

תרשים 20: חלופות למדיניות – חלופה ג



חלופה ד (מסוכנת): תהליך אנטי־גלובליזציה והסתמכות עצמית מלאה

החלופה הרביעית מוצגת מטעמים מתודולוגיים של עבודה במודל SWOT, הגם שההיתכנות של חלופה זו אינה מעשית, והיא מוצגת בעיקר על מנת להמחיש את הקשיים העצומים של מדיניות בדלנית שנסמכת על יכולת ייצור עצמי מלאה. בבסיס חלופה זו הנחה כי ישראל נאלצת בעל כורחה להשקיע משאבים כדי לבנות לעצמה יכולת ייצור טכנולוגית עצמית לצורכי הביטחון הלאומי. מספר מדינות בעולם מתמודדות עם הצורך בהסתמכות עצמית כמעט מלאה בשל נסיבות גיאופוליטיות או בידול רצוני. בידוד טכנולוגי יכול להתפתח על ציר הזמן כתוצאה מאובדן מיקומה ומעמדה של ישראל בקרב מדינות דמוקרטיות מתקדמות מבחינה טכנולוגית.

תרשים 21: חלופות למדיניות – חלופה ד



שער רביעי:

סיכום והמלצות לישראל

מזכר זה מציג את הסדר העולמי המתהווה, שבמרכזו התחרות הטכנולוגית הגלובלית המשקפת את התחרות בין המעצמות, על רקע עצירת הגלובליזציה וחזרה למודלים מבוססי הסתמכות עצמית, בריתות וקואליציות. משבר שרשראות האספקה המחיש לעולם את הסיכון בהסתמכות על מפעלים במדינות ששיתוף הפעולה עימן רגיש במישור האסטרטגי, נוכח פוטנציאל אי-היציבות שביחסים. מרבית המדינות המתקדמות טכנולוגית הפנימו את עומק השינויים הגיאואסטרטגיים ובשנה האחרונה בחנו את המשמעויות עבורן – כל מדינה לפי גודלה, עוצמתה, מיקומה הגיאוגרפי, כלכלתה ומאפייניה הייחודיים.

ארצות הברית והאיחוד האירופי עיצבו אסטרטגיות דואליות של החזרת ליבת הייצור הטכנולוגי מאסיה מחד גיסא, והחלת משטרי פיקוח ובקרה על זליגת טכנולוגיה מערבית מאידך גיסא. מדינות קטנות יותר החלו באפיון צורכיהן הטכנולוגיים הבסיסיים כדי להבטיח לעצמן יכולת לקיים תשתיות טכנולוגיות של מחשוב וחומרה לשם תמיכה בתעשיות עתירות הידע, וכן לתפקודן השוטף בשגרה ובעיתות משבר.

בניגוד למרבית המדינות המתקדמות טכנולוגית בעולם, ישראל טרם קיימה דיון סדור לניתוח המשמעויות של התחרות הטכנולוגית בהקשר של התחרות בין המעצמות ונסיגת הגלובליזציה, ובוודאי טרם גיבשה אסטרטגיה או תוכנית לאומית כמענה להתפתחויות הטכנולוגיות האחרונות. הדיון הבסיסי־אקדמי, כמו גם המחקר מכוון המדיניות, אמורים לעזור למעצבי המדיניות ולגופים המוסמכים להגדירה. אנו תקווה כי מזכר זה יתרום להבנת המציאות הגיאואסטרטגית ויצגי מספר המלצות ראשוניות למקבלי ההחלטות.

ישראל, בדומה לארצות הברית ואירופה, נדרשת לבחון את שרשראות האספקה שלה כדי להבטיח אספקה סדירה של טכנולוגיה המוגדרת חיונית לצורכי הביטחון שלה, ולקדם ייצור מקומי ושיתופי פעולה עם בעלות ברית אמינות. היריבות בין ארצות הברית לסין חידדה גם את נושא השימוש בטכנולוגיה לצורך פגיעה בזכויות אדם (ריגול למשל), וזהו מקור לביקורת גם כאשר הדבר נוגע רק לחברות פרטיות בתוך ישראל. השיח העולמי על טכנולוגיה מתנהל כמאבק ערכי בין תפיסות עולם מתנגשות. ארצות הברית מסמנת קו מדיניות ברור שלפיו התנאי לשותפות מבוסס על אינטרסים, אך גם על שותפות ערכים (דמוקרטיה בראש ובראשונה). זהו שינוי מידה היסטורי שמחייב את ישראל להבהיר

את צבינה ואת כוונותיה. מדיניות עמומה מתפרשת כתמיכה בצד הלא נכון של המפה העולמית, והיא עלולה לסכן את מקומה של ישראל בשרשרת האספקה העולמית. במסגרת השיח הטכנולוגי, שהוכרז בשנת 2021 והושק רשמית בספטמבר 2022,⁹⁶ ראוי שהממשלה תקדם את נושא החומרה בכלל והשבבים בפרט. במקביל, במסגרת האיחוד האירופי רצוי שהמדינה תכווין מיזמי שיתוף פעולה במסגרת תוכניות הורייזון, שיעסקו בחומרה ובשבבים.⁹⁷ בהקשר זה על ישראל להבליט את היתרון היחסי שלה בתחום המחקר והפיתוח, ובייחוד בתחומי הבינה המלאכותית, שבהם יש לישראל אקוסיסטם המשלב תעשייה, אקדמיה וגורמי ביטחון. אלה מניעים את התחום קדימה תוך שיתוף פעולה, ידע ומשאבי אנוש ברמה גבוהה יותר מאשר במדינות רבות בעולם.

נוסף על כך, על ישראל להבין שארצות הברית נכונה לשנות את מבנה הסחר העולמי למען שמירה על ביטחונה הלאומי וערכי הדמוקרטיה. ברית השבבים היא ככל הנראה הארכיטקטורה הגלובלית השאפתנית ביותר המנסה למשטר את הגישה למקורות הטכנולוגיה ולרתום אותם לטובת שאיפותיה הגיאואסטרטגיות של ארצות הברית. הממשל הנוכחי נכון לפגוע בחברות אמריקאיות אשר יפרו את הדרישות, קל וחומר בחברות זרות. מקומו של המרכיב הערכי בסחר הגלובלי משתנה והטכנולוגיה הופכת כלי למאבק בין דמוקרטיות ושיטות ממשל אחרות. ניתן ללמוד מהמקרה של חברת NSO הישראלית, ששמה נקשר בפרשת הרצח של העיתונאי הסעודי הגולה ג'מאל ח'אשוקג'י. הפרשה המחישה את הסולם הערכי המשתנה של הטכנולוגיה. ייתכן שיש חברות ישראליות המפירות ביוזעין או בתום לב את הדרישות האמריקאיות. באחריות הממשלה לקיים מדיניות שקופה וברורה שבה גם ליזמים ולחברות ההייטק יהיה ברור מהו המרחב הלגיטימי והבטוח לשיתוף פעולה כלכלי עם מדינות לא דמוקרטיות. בסביבה הגיאואסטרטגית של היריבות בין סין לארצות הברית, האחרונה דורשת מבעלות בריתה ומשותפותיה לטכנולוגיה המתקדמת שקיפות ובהירות ביחס להתנהלות מול אוטוקרטיות, ובפרט סין. על ישראל, הנחשבת למובילה בתחום המחקר והפיתוח בתעשיית השבבים, להימנע מעמימות בכל הנוגע לסין ולגבש מדיניות הכוללת בין השאר הגבלות ביחס לסחר עם סין, כצעד בונה אמון מול ארצות הברית ושותפותיה לברית השבבים.

בסיכומי של מזכר זה אנו מבקשים לשוב ולחדד כי בראייתנו מדינת ישראל מצויה בהיסט בכל הקשור לתכנון האסטרטגיה הטכנולוגית שלה ביחס למדינות דומות לה בעולם, ועליה לפעול במהירות לצמצום הפערים במענה למציאות המתהווה, כדי לשמור על מעמדה המוביל בעולם. ייתכן מאוד שמודל היסוד של ההייטק הישראלי, שמבוסס

על מזעור ההתערבות הממשלתית, כבר עבר את נקודת השיא שלו. מול השקעות העתק בעולם והחזרה למודלים של ייצור והסתמכות עצמית וקואליציות טכנולוגיות, האסטרטגיה הישראלית תגיע לנקודת המיצוי. אנו סבורים כי באותו האופן שממשלת ישראל החליטה לשנות את מבנה המשק ולעלות על רכבת הגלובליזציה במסגרת תוכנית הייצוב הכלכלי של 1985, תוך פגיעה קשה במגזרים רבים וכפייה של שינוי תעסוקתי על המוני אזרחים ועל קהילות שלמות, כך עליה לקיים דיון דומה אל מול השינוי הטקטוני המתרחש בעולם והמעבר חזרה מגלובליזציה להסתמכות עצמית ובריתות.⁹⁸

ישראל זקוקה למדיניות שתכליתה תהיה לשמור על מעמדה כאומה חדשנית וכמרכז יזמות בתחום ההייטק. התמורות הבינלאומיות בתחום הטכנולוגיה מעידות על קצב פיתוח מואץ, שמשפיע במישרין על יחסי הכוחות ומוביל כל מדינה מפותחת לבחון כיצד היא שומרת על מעמדה או משפרת אותו.

מזכר זה מהווה קריאת כיוון לדיון בנושא אסטרטגיה טכנולוגית לאומית, שראוי לקיימו בהקדם. לצורך דיון זה דרושה עבודת מטה שתאפיין את התשתית הטכנולוגית ההכרחית לקיום ולשגשוג תעשיית ההייטק הישראלית, כך שתוכל להמשיך לעבוד ולהניע את כלכלת המדינה גם בהינתן משברים פוליטיים, אקלימיים או אחרים, דוגמת מגפת הקורונה. כפי שהמדינה מחויבת לספק ביטחון אנרגטי ותזונתי בצורת דלקים וחיטה, למשל, כך עליה להגדיר את משמעות הביטחון הטכנולוגי הבסיסי של המדינה. מרבית תחומי ההייטק דוגמת סייבר ובינה מלאכותית הם יישומי קצה התלויים בקיומה של תשתית חומרה טכנולוגית, בין השאר בתחום של אספקת שבבים או ייצורם.

בעולם התחולל מהפך שעיקרו הבנה בקרב המדינות המתקדמות טכנולוגית – ארצות הברית, האיחוד האירופי, יפן וקוריאה הדרומית – כי המפתח להצלחה כלכלית הוא שילוב של יכולות מו"פ ויכולות ייצור. מדינות אלה פועלות כיום להגברת יכולות הייצור העצמאיות שלהן. לפיכך על מדינת ישראל לשאוף להגדיל את החתימה היצרנית שלה ולבחון כיצד להתאים את מבנה המשק לשינויים אלה. בין השאר, לתמרץ בכלים חדשים חברות רב־לאומיות אשר מעוניינות להרחיב את מפעלי הייצור הטכנולוגיים שלהן. אינטל לבדה אינה מספיקה. בתעשיית השבבים ישנם שחקנים נוספים, כולל חברות ייצור או חברות אחרות בשרשרת האספקה הטכנולוגית של ייצור השבבים, בכללן חברות הרכבה, אריזה ובדיקה של שבבים. דרך עידוד פעילות בישראל ניתן יהיה לפתח אקוסיסטם טכנולוגי מתאים יותר למציאות הנוכחית, אשר מלבד תרומתו הטכנולוגית לתעשייה כולה הוא עשוי לספק מענה תעסוקתי יציב וארוך טווח לאוכלוסיות מגוונות בישראל.

לנוכח הרגישות הבינלאומית ופוטנציאל הזעזוע, על ישראל לוודא שהיא שומרת על יתרון יחסי בתהליך הייצור הטכנולוגי כקלף אסטרטגי לשיתוף פעולה. הקלף האסטרטגי של ישראל כיום הוא יתרון טכנולוגי בתחום המחקר והפיתוח, שמעודד חברות רב־לאומיות להמשיך להשקיע בישראל. אולם מדינות רבות באירופה (הולנד, גרמניה, אירלנד) מצמצמות את הפער מול ישראל באמצעות חיזוק האקדמיה ועידוד השקעה במחקר, בפיתוח ובייצור. ככל שתהיה לישראל יכולת ייצור עצמאית בשטחה, ניתן יהיה לבחון מחדש מדיניות תעשייתית ולאפיין את התחומים שבהם מוטב לישראל להבטיח רמה מסוימת של הסתמכות עצמית. יש לכך ערך רב בכל הקשור לפיתוח ולייצור הביטחוני של ישראל, בפרט בעידן שבו הזיקה בין הנכסים הטכנולוגיים לביטחון הלאומי גוברת. בהקשר זה המדינה תידרש לתמוך בתעשיות שייצרו עבורה יכולות חשובות וחיוניות לביטחונה ויציבותה.

בראייתנו, השקעות בתחום הייצור הטכנולוגי חייבות לבוא לידי ביטוי כחלק מתוכנית כוללת של השקעה בחינוך בכל הרמות, הכשרה טכנולוגית ותוכניות העשרה כבר בגיל צעיר בפריפריה הגיאוגרפית והחברתית, כמו גם באקדמיה ובתשתיות. רק כך ניתן יהיה להבטיח השתתפות של מגוון גדול יותר באוכלוסייה בתעשיית ההיי־טק המשגשגת, ולסייע לצמצם פערים בין אוכלוסיות מעוטות השתתפות בתחום זה בישראל.

ישראל יכולה להציע לברית השבבים את היתרון האזורי ולשמש שער למזרח התיכון. הסכמי אברהם מעניקים לישראל הזדמנות לעודד השקעות בשטחה בתחום הטכנולוגי ולסייע לארצות הברית מול אינטרסים מתחרים של סין ורוסיה, אשר מגששות ושואפות להעמיק את שיתופי הפעולה באזור. האפיק הזה מחבר בין הצורך הישראלי בהשקעות עתק לתמיכה במודל המוצע במזכר לבין שאיפתן של מדינות המפרץ לשתף פעולה וליהנות כלכלית מן ההזדמנויות העצומות שההיי־טק הישראלי מביא.

בהקשר זה מומלץ כי המדינה תאפיין מדיניות לאומית וקריטריונים ברורים לגבי שימושים לגיטימיים בטכנולוגיה ישראלית, וכן את השימושים והלקוחות שאינם עולים בקנה אחד עם ערכים דמוקרטיים ועם שימוש אחראי בטכנולוגיה, המקובלים על ישראל או על בעלות בריתה. עד היום המדינה בחרה לעסוק בהגדרות של טכנולוגיה צבאית הדורשת אישורים מיוחדים ליצוא, או של טכנולוגיה לשימוש דואלי. בעידן הנוכחי טכנולוגיות אזרחיות לחלוטין עלולות ליפול לידי גורמים שערכיהם שונים מאלה של מדינת ישראל, והם עלולים לעשות בטכנולוגיה ישראלית שימוש שיפגע במעמדה ובדימויה של המדינה.

הגם שסוד ההצלחה של המשק הטכנולוגי בישראל היה ועודנו השוק החופשי, שמאפשר ליזמים חירות לממש את הפוטנציאל שלהם עם כמה שפחות חסמים, אנו סבורים כי היעדר

אסטרטגיה ממשלתית והמשך הישענות על השקעות והצלחות המגזר הפרטי עלולים לדון את ישראל לפגיעה בביטחונה הלאומי. מידת ההתערבות הממשלתית בטכנולוגיה בעולם גדלה לנוכח ההבנה שהסיכונים גדלו, ולכן בהינתן התשומות האדירות של מדינות המערב בקידום עוצמתן הטכנולוגית מול סין, השקעות עתק פיננסיות, כמו גם מסגרת חוקית של פיקוח יצוא, בריתות מסחר וקואליציות של מדינות שמגדירות את הערכים המקובלים לשימוש בטכנולוגיה במדינה דמוקרטית – מומלץ כי מדינת ישראל תאמץ קו אסטרטגי חד-משמעי ביחס לעמדתה בסוגיות בוערות אלה.

אחרית דבר

במזכר זה ניסינו לחקור מספר תופעות גלובליות המתרחשות במקביל ונמצאות עדיין בתהליך התהוות. אחת ההתלבטויות המשמעותיות ביותר בכתיבת מחקר מקיף מסוג זה היא באשר לדרך המיטבית לזקק את מכלול התהליכים לכדי אמירה כבדת משקל, בתקווה שהיא תהדהד בראשם של קוראי המזכר ותעשיר את השיח ואת החשיבה, אך גם תשיא תרומה מעשית לעוסקים במלאכת גיבוש המלצות למדיניות ולמקבלי ההחלטות, אשר מכוח תפקידם באחריותם להכווין את המהלכים ארוכי הטווח שישפיעו על מדינת ישראל בעשורים הבאים כדי שזו תממש את שאיפותיה בצורה המיטבית לטובת אזרחיה. לטעמנו, הדרך הטובה ביותר לסכם היא באמצעות הפשטה והמשלה של הלכי החשיבה הישראלית למשולש שווה צלעות. הצלע הראשונה: תפיסה מסורתית עמוקה ומושרשת כי העם היהודי, במשך אלפיים שנות גלותו מארצו, פיתח יכולת יוצאת דופן לנצל את כושר החשיבה והאינטלקט שלו כדי לשרוד מרדיפות, ובמקרים רבים גם לשגשג בגלות. במשך תקופה קצרה בתולדותיו שאף עם ישראל, ברוח חזונו של הרצל, להיות עם יצרני. תהליכי הגלובליזציה בעולם לא פסחו על ישראל ואפשרו את שובו של עם ישראל לדפוס האופייני של קיום מכוח המוח. בעידן המודרני ניתן לכנות את ישראל בשם מדינת מחקר ופיתוח. תקוותנו היא שבמחקר זה הראינו כי העולם כיום עובר תהליך שבו יש היתוך רב יותר בין מו"פ וייצור, וכי ההפרדה ביניהם לא בהכרח מאפשרת למדינת ישראל לממש את מלוא הפוטנציאל האדיר הטמון בה.

הצלע השנייה מתייחסת למודל העבודה דה פקטו של כלכלת ההיי-טק הישראלי. נדמה כי רבים מדמים את תעשיית הטכנולוגיה הישראלית לגלישת גלים, כאשר כל המערכת מוכוונת לתפוס את הגלים, את הטרנדים בעולם, ולנסות לקלוע לצרכים המשתנים של השוק. אנו תקווה שמזכר זה מראה כי ייתכן שמודל אופורטוניסטי זה מגיע לקצה גבול יכולתו לשרת

את צורכי הכלכלה הישראלית. מודל גלישת הגלים מתאים לכלכלה מתפתחת והוא אפשר את הצמיחה הפנומנלית של תעשיית הטכנולוגיה הישראלית. אך נדמה כי בשנתה ה-76 של המדינה גלישת גלים כבר אינה מעשית. התהליכים הגיאואסטרטגיים בעולם כופים על כלל הכלכלות להתאים את עצמן לנסיבות המשתנות, וחיוני שאף ישראל תבחן את המודל הכלכלי היסודי של תעשיית הטכנולוגיה שלה כדי שתוכל להמשיך להיות תחרותית גם בסדר העולמי המתהווה, שכורך הובלה טכנולוגית עם מסד של בריתות וערכים משותפים. הצלע השלישית והאחרונה היא החזון שמחקר זה מנסה לפרוס בפני הקוראים. לאורך המזכר תיארנו כיצד הנסיבות הגיאואסטרטגיות המשתנות ברחבי העולם הובילו מדינות רבות לבחינה מחדש של מדיניותן הטכנולוגית. סקרנו את השקעות העתק ברחבי העולם של מדינות אשר הזניחו את יכולת הייצור שלהן בארבעים השנים האחרונות, ועתה עושות מאמצים כבירים לבנות אותה מחדש. בהגשת מסד תאורטי זה של תוכנית טכנולוגיה לאומית, תקוותנו היא שבפני הקוראים נפתח אשנב לדמותה העתידית של המדינה. אשנב זה, אם ינוצל לבניית אסטרטגיה ומדיניות לאומית, יתרום לכך שקטר ההיי-טק ימשיך לשעוט קדימה עוד עשרות שנים ויזניק את כלכלת המדינה לשיאים חדשים, תוך יצירת מקורות תעסוקה יצרנית מתקדמת לטובת אוכלוסיות חדשות ומגוונות, בשאיפה לאפשר לאזרחים רבים ככל האפשר במדינה לזכות בהזדמנות שווה להיות חלק מהחלום הישראלי.

רשימת המרואיינים (לפי סדר א-ב)

שמואל (מולי) אדן – כיהן כסגן נשיא בכיר באינטל (INTEL) העולמית, מנכ"ל קבוצת המחשוב התפיסתי (Perceptual Computing) ונשיא אינטל ישראל. כיום יועץ חדשנות לחברות הזנק.

אהרון אהרון – מהנדס, מנכ"ל רשות החדשנות לשעבר. היה המנכ"ל הראשון של חברת אפל (Apple) ישראל וסגן נשיא טכנולוגיות חומרה בחברת אפל העולמית. כיום מנכ"ל חברת הייעוץ C-perto.

אלוף (מיל') פרופ' יצחק בן-ישראל – פרופסור אמריטוס באוניברסיטת תל אביב. שירת בחיל האוויר ופרש בדרגת אלוף, לאחר שכיהן כראש מפא"ת. כיהן כיושב ראש המועצה הלאומית למחקר ופיתוח ויו"ר סוכנות החלל הישראלית.

אייל וולדמן – מהנדס חשמל, יזם ואיש עסקים ישראלי. ייסד את חברת מלאנוקס אשר נמכרה לענקית הטכנולוגיה NVIDIA, וכיום מכהן כיו"ר וולדו אחזקות – חברת השקעות פרטית.

דב מורן – יזם ואיש עסקים ממובילי ההייטק בישראל. ייסד את חברת אמ-סיסטמס שהמציאה את הדיסק און-קי, כיהן כיו"ר חברת טאואר, שמפתחת ומייצרת מוליכים למחצה לתעשיית האלקטרוניקה. כיום עומד בראש קרן ההון סיכון גרוס ונצ'רס.

הערות

- US Congress, August 9, ",H.R.4346 - 117th Congress (2021-2022): Chips and Science Act" 1
2022, <https://tinyurl.com/yck86pe9>
- Gadjo Sevilla, "China Opposes \$52 Billion CHIPS Act," Insider Intelligence, August 19, 2
2022, <https://tinyurl.com/5f5pv77r>
- Charles S. Maier, "The Politics of Productivity: Foundations of American International 3
Economic Policy after World War II," *International Organization* 31, no. 4 (ed 1977):
195–224, <https://doi.org/10.1017/S0020818300018634>
- Benjamin M. Rowland, "Preparing the American Ascendancy: The Transfer of Economic 4
Power from Britain to the United States, 1933-1944," in *Balance of Power or Hegemony:
The Interwar Monetary System*, Benjamin M. Rowland, Ed. (Brill, 2022), 193–224,
http://dx.doi.org/10.1163/2468-1733_shafr_SIM130110105
- Anshu Siripurapu and Noah Berman, "The Contentious U.S.-China Trade Relationship," 5
Council on Foreign Relations, last updated September 26, 2023,
<https://tinyurl.com/yxntcxym>
- Robert E. Scott, "The High cost of the China-WTO Deal: Administration's own analysis 6
suggests spiraling deficits, job losses," Economic Policy Institute, February 1, 2000,
<https://tinyurl.com/uvcx62vw>
- "Full Text of Clinton's Speech on China Trade Bill," IATP, March 9, 2000, 7
<https://tinyurl.com/4utkw62k>
- Andre Sapir, and Petros C. Mavroidis, "China and the WTO: An Uneasy Relationship," 8
CEPR, April 29, 2021, <https://tinyurl.com/2vvb4byc>
- Xavier Jaravel, and Erick Sager, "Despite job losses, lower prices from trade with China 9
have left US households massively better off," LSE (blog), August 14, 2019,
<https://tinyurl.com/2r8xyz7z>
- Cong Cao, "Challenges for Technological Development in China's Industry," *China* 10
Perspectives 54 (July-August 2004), <https://doi.org/10.4000/chinaperspectives.924>
- אחת מעסקאות הרכישה הייתה של אינטל, כאשר צבא סין נזקק לטכנולוגיה לטובת ייצור מחשב-על. 11
"Outline of the Chinese Academy of Sciences 13th Five-Years Plan", Original CSET Translation, 12
October 20, 2022, <https://tinyurl.com/yrwzj6rh>
- WIPO, "Global Innovation Index 2022, 15th Edition", <https://doi.org/10.34667/tind.46596> 13
"China's R&D Expenditure Reached 2.79 Trillion Yuan in 2021", National Bureau of Statistics 14
of China, January 27, 2022, <https://tinyurl.com/yexruzbr>
- U.S.-CHINA Economic and Security Review Commission, "The 13th Five-Year Plan |," 15
February 17, 2014, <https://tinyurl.com/259x87dy>
- Dashveenjit Kaur, "China: Shenzhen has a new trading exchange for semiconductors", 16
TechWire Asia, January 6, 2023, <https://tinyurl.com/5b4vum3u>

- Jerom Siacor, "Big Data Investment Rises with China's Growing Digital Economy", OpenGov 17 Asia, April 29, 2022, <https://tinyurl.com/2wbm2vmp>
- "Trump Accuses China of 'raping' US with Unfair Trade Policy," BBC News, May 2, 2016, 18 <https://tinyurl.com/3dbarmmh>
- "The United States Officially Withdraws from the Trans-Pacific Partnership," United States 19 Trade Representative, January, 2017, <https://tinyurl.com/bde4kn65>
- Bethany Allen-Ebrahimian, "Special Report: Trump's U.S.-China transformation," Axios 20 China, January 19, 2021, <https://www.axios.com/2021/01/19/trump-china-policy-special-report>
- "International Trade during the COVID-19 Pandemic: Big Shifts and Uncertainty," OECD, 21 Tackling Coronavirus (Covid-19): Contributing to a Global Effort, March 10, 2022, <https://tinyurl.com/5n75np3k>
- "China's R&D Expenditure Reached 2.79 Trillion Yuan in 2021". 22
- Alicia Garcia-Herrero and Pauline Weil, "Lessons for Europe from China's Quest for 23 Semiconductor Self-Reliance," Bruegel, November 18, 2022, <https://tinyurl.com/mrynvyfdm>
- Joel Hruska, "Chinese Chip Designers Can't Meet Mandated Goals Without US Technology," 24 ExtremeTech, June 26, 2019, <https://tinyurl.com/fjxrdrxd>
- Garcia-Herrero and Weil, "Lessons for Europe from China's Quest for Semiconductor 25 Self-Reliance".
- James Andrew Lewis, "Strengthening a Transnational Semiconductor Industry", CSIS, 26 June 2, 2022, <https://tinyurl.com/5cf7whdp>
- "CSET Original Translation: China's 14th Five-Year Plan for National Economic and Social 27 Development and Long-Range Objectives for 2035," CEST (blog), May 13, 2021, <https://tinyurl.com/4h3jpjrv>
- Katie Canales, "The US Produces Just 12% of the World's Computer Chip Supply. Here's 28 Why It's Trailing China When It Comes to Manufacturing and How It Plans to Get Ahead," Insider, April 17, 2021, <https://tinyurl.com/4hmj6ym6>
- Eric Zhu and Tom Orlik, "When Will China's Rule the World? Maybe Never," Bloomberg, 29 July 6, 2021, <https://tinyurl.com/mr3u56cj>
- "FACT SHEET: The Biden-Harris Administration's National Security Strategy," The White 30 House, October 12, 2022, <https://tinyurl.com/ycxszfyy>
- .ש.מ 31
- US Congress, "H.R.4346 - 117th Congress (2021-2022)." 32
- Anshu Siripurapo and Noah Berman, "Is Industrial Policy Making a Comeback?" CFR, 33 Last updated September 18, 2023, <https://tinyurl.com/yynn3uzky>
- "FACT SHEET: CHIPS and Science Act Will Lower Costs, Create Jobs, Strengthen Supply 34 Chains, and Counter China," The White House, August 9, 2022, <https://tinyurl.com/yxn7n226>

- Justin Badlam et al., "The CHIPS and Science Act: Here's What's in it," McKinsey & Company, October 4, 2022, <https://tinyurl.com/5becyb7x>
- "CHIPS for America Announces Selection Committee for the Board of Trustees of the National Semiconductor Technology Center," NIST, June 20, 2023, <https://tinyurl.com/yc44ax8m>
- Gregory C. Allen, "Choking Off China's Access to the Future of AI," CISI, October 11, 2022, <https://tinyurl.com/yc4dvwb2>
- Ryan Fedasiuk, Karson Elmgren, and Ellen Lu, "Silicon Twist: Managing the Chinese Military's Access to AI Chips," Center for Security and Emerging Technology, June 2022, <https://doi.org/10.51593/20210068>
- Debby Wu, Ian King, and Vlad Savov, "US Deals Heavy Blow to China Tech Ambitions with Nvidia Chip Ban," Yahoo! (Bloomberg), September 2, 2022, <https://tinyurl.com/5h7vvuer>
- Nayhan Jolly, "Huawei Jumps Into Chip Production To Fight US Sanctions," *Channelnews*, September 23, 2022, <https://tinyurl.com/yck4mwcf>
- Alex W. Palmer, "'An Act of War': Inside America's Silicon Blockade Against China," *The New York Times Magazine*, July 12, 2023, <https://tinyurl.com/yrrwae62>
- Laurent Belsie, "Trade Turns Chilly: Chip Embargo Symbolizes Deeper US-China Strains," *The Christian Science Monitor* (blog), January 24, 2023, <https://tinyurl.com/4unkrvh3>
- "TSMC Announces Updates for TSMC Arizona," Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited, December 6, 2022, <http://pr.tsmc.com/english/news/2977>
- Jordan Valinsky, "TSMC Ups Its Arizona Chipmaking Investment to \$40 Billion Ahead of Biden's Visit | CNN Business," *CNN*, December 6, 2022, <https://tinyurl.com/2nh8623h>
- Ben Blanchard and Thomas Escritt, "Germany Spends Big to Win \$11 Billion TSMC Chip Plant," *Reuters*, August 8, 2023, <https://tinyurl.com/yc3hvjfs>
- "European Chips Survey", European Commission, Shaping Europe's Digital Future," August 4, 2022, <https://tinyurl.com/5x9373z6>
- "European Chips Act", European Commission (n.d.), <https://tinyurl.com/bddyyeark>
- Luca Bertuzzi, "Inside a German State's Bid to Become the European Hub for Chipmaking," *Euractiv* (blog), December 13, 2022, <https://tinyurl.com/yefv9u4p>
- "U.S.-EU Joint Statement of the Trade and Technology Council," The White House, December 5, 2022, <https://tinyurl.com/2bh4ahr>
- Alexandra Alper and David Shepardson, "U.S. Official Acknowledges Japan, Netherlands Deal to Curb Chipmaking Exports to China," *Reuters*, February 1, 2023, <https://tinyurl.com/yckn9vnm>
- Payal Chhawchharia, "Here's What Could Spike Investors' Interest in ASML Holding (NASDAQ:ASML) Stock," *TipRanks Financial* (blog), September 20, 2022, <https://tinyurl.com/34h94d3c>
- SIA, "U.S. and India Semiconductor Groups Announce Initiative to Strengthen Public-Private Collaboration in Chip Ecosystem," Semiconductor Industry Association, January 31, 2023, <https://tinyurl.com/4xtt5htp>

- George Simister, "Government Blocks Chinese Buyout of Newport Wafer Fab on National Security Grounds," UKTN (blog), November 17, 2022, <https://tinyurl.com/2bvsna6p>
- David Manners, "Nexperia Engages US Law Firm to Fight UK Government over Newport Wafer Fab," Electronics Weekly (blog), December 30, 2022, <https://tinyurl.com/5n73ymee>
- "Government Explores National Initiatives to Boost the British Semiconductor Industry," Gov.UK, Press Release, December 5, 2022, <https://tinyurl.com/23nz57vw>
- "New £1 Billion Strategy for UK's Semiconductor Sector," Gov.UK, Press Release, May 19, 2023, <https://tinyurl.com/6fhpvk9p>
- Che Pan and Zhou Xin, "China's Move to Counter Chip Controls Falts as Washington Tightens Grip," *South China Morning Post*, December 31, 2022, <https://tinyurl.com/y8t349ja>
- Oren Cass, "America Should Adopt an Industrial Policy," Manhattan Institute (blog), July 23, 2019, <https://tinyurl.com/ydknhp89>
- רשות החדשנות, "דו"ח שנתי – מצב ההייטק 2022", מאי 2022, <https://tinyurl.com/p24rpf7>
- Erez Maggor, "The Politics of Innovation Policy: Building Israel's 'Neo-Developmental' State," *Politics & Society* 49, no. 4 (2020): 451–487, <https://tinyurl.com/aj2ptfnp>
- שם. 61
- רשות החדשנות, "דו"ח שנתי – מצב ההייטק 2022". 62
- שם. 63
- Gary P. Pisano and Willy C. Shih, *Producing Prosperity: Why America Needs a Manufacturing Renaissance* (Boston: MA: Harvard Business Review Press, 2012).
- Eduard Alden, "Why Manufacturing Really Matters: Gary Pisano and Willy Shih on Innovation," CFR (blog), February 4, 2013, <https://tinyurl.com/yw2nm98a>
- Dan Williams and Ari Rabinovitch, "Intel to Invest \$25 Billion in Israel Factory in Record Deal, Netanyahu Says," *Reuters*, June 18, 2023, <https://tinyurl.com/3pfts5xe>
- Hideki Tomoshige and Benjamin Glanz, "Sustaining Israel's Innovation Economy" CSIS (blog), June 23, 2022, <https://tinyurl.com/4xxtss3x>
- Saif M. Khan, "AI Chips: What They Are and Why They Matter," CEST (blog), April 2020, <https://tinyurl.com/mrwnuky5>
- ששון חדד, תומר פדלון ושמואל אבן (עורכים), "התעשייה הביטחונית בישראל והסיוע האמריקאי" מזכר 69 (תל-אביב: המכון למחקרי ביטחון לאומי, מאי 2020), <https://tinyurl.com/bdhc4y5r>
- 70 מעריב אונליין, "בינה מלאכותית זה נשק לכל דבר: התוכניות של צה"ל לשדה הקרב החדש", 8 בפברואר 2022, <https://tinyurl.com/ah5rfruc>
- 71 דניאל אדלסון, "60 מדינות קראו לשימוש אחראי ב־AI בשדה הקרב – ישראל סירבה לחתום", *Ynet*, 19 בפברואר 2023, <https://tinyurl.com/55rhkedp>
- 72 דן סינור ושאל זינגר, *מדינת הסטארט-אפ – מנוע הצמיחה הכלכלי של ישראל* (תל אביב: מטר, 2011), 26–52.
- 73 כך למשל בשנת 1950, לאחר מלחמת העולם השנייה, תעשיות הפחם והפלדה האירופיות החליטו לשלב כוחות מתוך הבנה שהמהלך נדרש לשימור היציבות ולהעצמת החוסן של הביטחון הלאומי. אמירותיו

- "it's not about coal and steel, it's about war and peace"; "make war [...] not merely unthinkable, but materially impossible", <https://tinyurl.com/yr9k8ykd>
- Industrial Technology Research Institute of Taiwan 74
- Zen Soo, Li Tao, and Chua Kong Ho, "Taiwan became top chip manufacturer with US 75 help. Can it stay there?" *South China Morning Post*, September 11, 2019, <http://tinyurl.com/mr3nrkpu>
- Lara Williams, "Taiwan's semiconductor ban could spell catastrophe for Russia," 76 Investment Monitor, March 3, 2022, <http://tinyurl.com/usz5uxfb>; Yen Nee Lee, "2 charts show how much the world depends on Taiwan for semiconductors," CNBC, March 15, 2021, <http://tinyurl.com/48f4p6we>; Thomas Alsop, "Semiconductor foundries share worldwide from 2019 to 2023, by quarter," Statista, October 17, 2023, <http://tinyurl.com/mswu45wm>; Joanne Chiao, "Foundry Revenue for 2Q21 Reaches Historical High Once Again with 6% QoQ Growth Thanks to Increased ASP and Persistent Demand, Says TrendForce," TrendForce, August 31, 2021, <http://tinyurl.com/52rh24m2>; Govin Bhutada, "The Top 10 Semiconductor Companies by Market Share," Visual Capitalist, December 14, 2021, <http://tinyurl.com/y7djmxr6>; Simon Kuo, "Progress in Importation of US Equipment Disperses Doubts on SMIC's Capacity Expansion for Mature Nodes for Now, Says TrendForce," TrendForce, March 5, 2021, <http://tinyurl.com/h69hdjt5>
- ייצור שבבים כה מתקדמים מצריך מכונות ייחודיות שמיוצרות באירופה, בעיקר בהולנד. הן רחוקות מהישג ידיהן של יצרניות אחרות בסין.
- Craig Addison, *Silicon Shield: Taiwan's Protection Against Chinese Attack*, (Fusion Press, 78 2001)
- Antonio Varas, Raj Varadarjan, Gimmy Goodrich, and Falan Yinug, "Strengthening the 79 global semiconductor supply chain in an uncertain era," BGC, SIA, April 2021, <http://tinyurl.com/3n4vej5m>
- Lauly Li and Cheng Ting-Fang, & Nikkei staff writers, "Taiwan takes aim at China with draft 80 laws on chip sector espionage," Nikkei Asia, February 17, 2022, <http://tinyurl.com/mryzkbxw>
- כך לדוגמה, שימוש ביכולות טכנולוגיות באופן שמקנה יתרון לגורם חיצוני מוביל למאסר של 12 שנים. 81 פורום תל"ם, "בינה מלאכותית ומדע הנתונים", דצמבר 2020, <https://tinyurl.com/ftz9cxuf>
- אסף גלעד, "כך נקלעה חברת השבבים הגדולה בעולם לסבך הבירוקרטיה הישראלית", 12 ביוני 2023, 82 <http://tinyurl.com/4je858ap>, **גלובס**
- Henry E. Sigerist, "Science and Democracy." *Science & Society* vol. 2, no. 3, (1938: 291–299), 83 <http://www.jstor.org/stable/20699272>; Matthias Jung, "Science as a democratic life-function and the challenge of scientism," *European Journal of Pragmatism and American Philosophy* XXI-2 (2020), <https://doi.org/10.4000/ejppap.2112>; Mario Coccia, "Democratization is the driving force for technological and economic change," *Technological Forecasting and Social Change* 77,2 (2010: 248–264), <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.06.007>;

- Jonathan Sallet, "The common origins of science and democracy," Brookings, March 8, 2017, <http://tinyurl.com/5n87evwx>
- "Summit for Democracy 2023," United States Department of State, n.d., 84
<https://tinyurl.com/pxdtckmc>
- 85 הכוונה לשירותים שמספקים את הנגישות לשירותים הניתנים לציבור, כך שמתאפשר לציבור למצוא את זכויותיו ולצלל את התשתיות והנתונים העומדים לרשותו מטעם מוסדות השלטון.
- Stephan Lewandowsky and Peter Pomerantsev, "Technology and Democracy: A Paradox 86
Wrapped in a Contradiction inside an Irony," *Memory, Mind & Media* 1, E5. (2022)
<https://doi.org/10.1017/mem.2021.7>
- 87 רפאלה גויכמן, "תעשיית ההייטק והמשק הישראלי עלולים למצוא עצמם מבודדים ומתקשים לקיים יחסי מסחר בינלאומיים", **TheMarker**, 28 בפברואר 2023, <https://tinyurl.com/3rjj8adu>
- 88 נתי טוקר ושגיא כהן, "גם משרד האוצר מבין: בלימת ההייטק הישראלי תחזיר את המדינה עשרות שנים אחורה", **TheMarker**, 23 במארס 2023, <https://tinyurl.com/yzbjud32>; יניב אביטל, "דוח חדש: ההייטקיסטים אחראים על שליש ממס ההכנסה בישראל", *GeekTime*, 26 בפברואר 2023, <https://tinyurl.com/y8wcvh6z>
- 89 מרכז המחקר והמידע של הכנסת, "תיאור וניתוח מגמות במגזר ההייטק", 8 בפברואר 2023, <https://tinyurl.com/5swxfmm>
- Friedman, T. L., *The world is flat: A brief history of the twenty-first century*, (Farrar, Straus 90
and Giroux, 2005)
- 91 מודל SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) הוא אחד המודלים הרווחים ביותר לתכנון וניהול אסטרטגי ולבחינת יכולת הארגון ליצור יתרון תחרותי בסביבה שבה הוא פועל (שוק/תעשייה). השיטה מנתחת את הסביבה הפנימית והחיצונית של הארגון, ועל בסיס הניתוחים מעריכה את סיכוייו להצליח.
- 92 רשימת המרואיינים מובאת בסוף המזכר.
- 93 "חוק לעידוד מחקר, פיתוח וחדשנות טכנולוגית בתעשייה, התשמ"ד-1984", מאגר החקיקה הלאומי, הכנסת, <https://tinyurl.com/5n7dakh>
- 94 צבי לניר, **ההפתעה הבסיסית: מודיעין במשבר**, 1983 (הפרק: חשיבה מצבית וחשיבה בסיסית, המבנה הדואלי של החשיבה, עמ' 135-137).
- Edward Luttwak, *Strategy: The Logic of War and Peace*, (Belknap Press, 1990), 12-13. 95
- "Fact sheet: U.S.-Israel strategic high-level dialogue on technology," The White House, 96
September 30, 2022, <http://tinyurl.com/3y9v7vb2>
- "Horizon Europe," European Commission, <https://tinyurl.com/3z99r42r> 97
- 98 ריקי שיו, "תכנית הייצוב 1985 – כלכלה נכונה" או אידאולוגיה, "עיונים בתקומת ישראל" כרך 23, (2013: 349-315), <https://tinyurl.com/bde3hnwh>; מירב ארלוזורוב, "היום שבו נולדה ישראל הקפיטליסטית", **The Marker**, 1 ביולי 2015, <https://tinyurl.com/3kaurshw>; דן גלעדי, "כלכלת ישראל: טיפול בהלם – הייצוב והצלחתו: 1985-1989", מט"ח (ל"ת), <http://tinyurl.com/rz4nbdbs>; תום נבון וטל אלמליח, "תכנית הייצוב, הסדר הקיבוצים והכשל התודעתי של הקיבוצניקים", **חברה** גיליון 50 (2011), <http://tinyurl.com/zpvh9cj8>

בשנים האחרונות התעצם המאבק הטכנולוגי המתחולל בין ארצות הברית לסין. וושינגטון הקצינה את מאמציה למנוע מבייג'ינג גישה לטכנולוגיות מתקדמות והכריזה על השקעת עתק בהאצת המחקר והפיתוח הטכנולוגי, כדי להבטיח את מעמדה כמעצמה הכלכלית החזקה בעולם. במקביל דורשת ארצות הברית משותפותיה להצטרף למאבק ולאמץ את המדיניות המגבילה יכולות מחקר, פיתוח וייצור שבבים מתקדמים בסין.

השקעה במחקר ופיתוח בתחום הייצור הטכנולוגי היא מרכיב חשוב ויתרון יחסי שישראל נהנית ממנו, אך זהו פתרון חלקי בלבד לבעיה. נדרשת תוכנית טכנולוגיה לאומית לישראל, שנותנת ביטוי לכל ההיבטים הנוגעים לפיתוח, לייצור ולסחר בשבבים. מזכר זה מציג חלופות למדיניות טכנולוגית עבור ישראל וקורא לדיון, שראוי לקיימו בהקדם, על אסטרטגיה טכנולוגית לאומית.