

בינה מלאכותית כתשתית לאומית

היבטים וגישות להבטחת
תשתיות AI בישראל

ניב שפירא, אפרת בכר-נתנאל וגל לבנט

MOSAIC

מכון למדיניות בינה מלאכותית



נובמבר 2025

טכנולוגיות AI משנות את העולם המוכר לנו במהירות, בעוצמה וברוחב יריעה חסרי תקדים. הן מבוססות על תשתיות ייחודיות, הדורשות השקעה כלכלית עצומה ופתרונות לבעיות שטח ואנרגיה לתמיכה באותן תשתיות. **המרוץ להקמת תשתיות אלו הוא "מרוץ החימוש של המאה ה-21".** מדינת ישראל, למרות דירוגים עולמיים גבוהים במדדי AI, מדורגת במקומות נמוכים בשכבות התשתית ה-AI – התשתית הפיזית, הנתונים והמשילות. כדי לעמוד בקצב ולהמשיך להחזיק במעמדה כמובילה בתחום ה-AI, **היא חייבת להגות תוכנית ולהקצות משאבים להבטחת צורכי התשתית הללו וצורכי האנרגיה המאפשרים אותם.**

מסמך זה מציג גישה ולפיה **על מדינת ישראל להכיר, תחילה, במגבלותיה התשתיות. כפועל יוצא, עליה להשקיע משאבים מרובים בהבטחת מרכזי נתונים ריבוניים לצרכים אקוטיים** (למידע רגיש ומסווג, להבטחת רציפות התפעול ולשם מחקר מתקדם המצריך גישה פיזית לתשתיות); **ולצד זאת, ליצור קשרים ושיתופי פעולה חזקים עם מדינות בעלות יכולות תשתיות גבוהות,** ובמיוחד עם ארה"ב, מדינות הסכמי אברהם ומדינות מובילות באירופה. כך תוכל להבטיח גישה ישראלית ישירה, רציפה ומסובסדת לתשתיות AI, גם לשימושים שלא בהכרח מצריכים ריבונות גבוהה.

כדי לתמוך אנרגטית בתשתיות המקומיות – תוך התחשבות במדיניות, בתנאי השטח ובעומסים – על המדינה **לעודד הקמת מתקני אגירה סמוך למרכזי נתונים בצפונה ובדרומה, והקמת מתקני ייצור קונבנציונליים סמוך למרכזי נתונים במרכז.** זאת, תוך ביטול מגבלת ההספק הרגולטורית של ייצור 125% מצריכת השיא של הצרכן, כך שמתקנים אלו יוכלו לספק חשמל גם לאזורים הסובבים את מרכזי הנתונים. מדיניות זו תאפשר "הצמדה אזורית" של הייצור והצריכה, באופן שיצמצם השפעות על מערכת ההולכה ויאפשר תועלות נלוות משמעותיות למשק האנרגיה ולמשק הישראלי בכלל.

לצד ההשקעה בתשתיות הפיזיות, על המדינה לשמר ולפתח את משאבי כוח האדם וסביבת התפעול בעולמות הטכנולוגיה, וזאת באמצעות מענקים, תמריצים, השקעה באקדמיה והסדרת הרגולציה.

הייתה השנה שבה ממשלות יותר משילשו את השקעתן ב-AI, כלכלית ורגולטורית. אולם ההשקעות של מדינת ישראל ב-AI נותרו נמוכות בקנה מידה עולמי. **לשימור ולשיפור מעמדה כמובילה בתחום, ישראל חייבת אף היא "להיכנס למשחק", להקים את התשתיות הנדרשות ולהבטיח גישה לתשתיות בינה מלאכותית כתשתיות לאומיות.**

עיקרי ההמלצות

1. **גיבוש אסטרטגיה לאומית.** העתיד של ישראל בעידן ה-AI אינו טמון בהפיכתה למעצמת תשתיות, כי אם במיצובה כמדינה קטנה ועתירת ידע המחברת בין יתרונותיה האנושיים והטכנולוגיים לבין תשתיות מקומיות, אזוריות ובינלאומיות. שילוב זה, יחד עם אסדרות אנרגטיות חכמות והסכמי סחר טכנולוגיים במסגרת אזורית וגלובלית, יבטיח מעמד מוביל בעידן המדובר.
2. **הגדרת צורכי תשתית ריבוניים On-Premise.** יש לערוך תחזיות ביקושים למרכזי נתונים המיועדים לאחסון של כמות המידע הרגיש והמסווג, שעליו להישמר בתחומי מדינת ישראל בלבד. תחזיות אלה יאפשרו: (א) לגזור את היקפי תשתיות אחסון הנתונים הנדרשות, (ב) לגזור את היקפי המחשוב הנדרשים לאימון מודלי AI על המידע הזה ו(ג) לגזור את היקפי התשתיות התומכות הנדרשות (אנרגיה, שטח בנייה, קישוריות וכו'). בהתאם לביקושים הצפויים, יש להבטיח שמירת קרקעות, הליכי תכנון מזורזים ואת תשתית החשמל הנדרשת. חשוב להדגיש כי תחזיות הביקושים צפויות להשתנות באופן תכוף, ויש לייצר מנגנוני עדכון גמישים הן לתחזיות עצמן והן מהיבטי תכנון.
3. **הבטחת גישה לתשתיות ענן On-demand.** מרבית השימושים אינם מצריכים תשתית ריבונית בישראל, אך מחייבים גישה מובטחת למשאבי חישוב ואחסון רבים. כדי למלא דרישות אלו המדינה יכולה להבטיח, באמצעות הסכמים מסחריים במתכונת G2G (מדינה מול מדינה) ו-G2B (מדינה מול חברות עסקיות), כמות מסוימת של משאבי חישוב במדינות זרות. משאבים השמורים לחברות ולגופים ישראליים, והמבטיחים לישראל הקצאה מועדפת בזמינות ובעלות אפקטיביות. ניתן להישען על "הסכמי אברהם" כבסיס לשיתופי פעולה אסטרטגיים עם איחוד האמירויות, סעודיה ומדינות האזור. שילוב כזה יכול להציב את ישראל כשחקנית מפתח אזורית, המספקת מומחיות וכוח אדם ומקבלת גישה מועדפת למרכזי נתונים.
4. **האצת פיתוח משק האנרגיה.** כדי להבטיח אספקת חשמל מתאימה למרכזי הנתונים המקומיים, יש להבטיח שמרכזי הנתונים לא יהוו נטל על משק האנרגיה אלא מנוף למדיניות אנרגטית לאומית, באמצעות תכנון תשתיות משולב. כך, מתקני אגירה יקומו סמוך למרכזי נתונים בצפון ובדרום, ומתקני ייצור קונבנציונליים יקומו סמוך למרכזי נתונים במרכז, ועם התאמות רגולטוריות, יוכלו גם לספק חשמל לאזורים הסמוכים למרכז הנתונים. ככלל, יש להאיץ את פיתוח משק האנרגיה בישראל, כדי להבטיח עמידה ביעדי ביקוש עתידיים הנובעים מהבינה המלאכותית ומהטכנולוגיות העתידות לבוא בעקבותיה.
5. **תשתיות נתונים.** יש להמשיך ולקדם את האחדתם והנגשתם של מאגרי המידע הציבוריים, ובפרט אלו הייחודיים לישראל. כמו כן, יש לאחד חלקים גדולים ממערכות המידע הממשלתיות ולאפשר חיבוריות ביניהן, כדי להתחיל בהטמעה של מערכות AI במסגרתן. לצד זאת, יש להמשיך ולפעול למען הסדרת השדה הרגולטורי בנוגע לשימוש בנתונים במערכות AI ולשימוש בנתונים שיצרו מערכות AI. זאת, תוך מחשבה על תאימות רגולטורית עם שותפיה העיקריים של ישראל, ובכללם אירופה וארה"ב, ועל שיקולי חדשנות מול שמירה על ביטחון מידע.

1.	מבוא	5
2.	רקע תיאורטי - תשתיות בינה מלאכותית	7
3.	היבטים כלכליים ורגולטוריים - עלויות ותקנות בישראל	16
4.	סקירה בינלאומית - מודלי פריסה ואסטרטגיות לאומיות	22
5.	הערך של מודלי הפריסה ל-4 המגזרים בישראל	34
6.	מחסנית ה-AI של ישראל	39
7.	משק האנרגיה הישראלי כמחולל השינוי הקריטי	50
8.	המלצות מדיניות	57
9.	נספחים	59
10.	ביבליוגרפיה	60

1 | מבוא

בינה מלאכותית היא טכנולוגיה משבשת (disruptive) המייצרת פריצות דרך כמעט בכל תחום – ברפואה, בתעשייה, במדע, בחינוך, בחקלאות ובמערכות ביטחוניות. היא מאפשרת אוטומציה, חיזוי, קבלת החלטות, ייעול תהליכים והאצה של חדשנות מדעית וטכנולוגית. השפעתה הכלכלית צפויה להיות עצומה – מגידול בפריזם העבודה ועד עיצוב שווקים חדשים. יחד עם זאת, ל-AI יש גם דרישות תשתית ייחודיות. בראשן, נפחי מחשוב עצומים, רוחב פס גבוה לחיבוריות בזמן אמת, מאגרי דאטה נגישים ומוכנים, ובעיקר – היקף חסר תקדים של ביקוש לאנרגיה. כלכלה המבוססת על בינה מלאכותית נשענת על תשתיות פיזיות ודיגיטליות איתנות. לפיכך, כדי לממש את פוטנציאל ה-AI, ממשלות נדרשות לזהות ולהשקיע בתשתיות קריטיות – מהבטחת גישה לכוח מחשוב עתיר ביצועים ועד אספקת אנרגיה ותקשורת מהירה.

הבינה המלאכותית יצרה פער דיגיטלי חדש: מדינות שיש להן כוח מחשוב הנחוץ לבניית מערכות AI מתקדמות, ומדינות החסרות את היכולות הללו. פער זה מעצב את מאזן הכוחות העולמי ואת הכלכלה הגלובלית. להבטחת גישה רחבה, יציבה וריבונית לתשתיות הנדרשות, ננקטות גישות שונות. בין החלופות המרכזיות: השקעה ממשלתית ישירה בתשתיות לאומיות; שותפויות ציבוריות-פרטיות להקמה ותפעול משותף של תשתיות; שימוש בשירותי ענן מסחריים בינלאומיים בגישה מרחוק; השתתפות ביוזמות תשתית אזוריות או בינלאומיות; וכן מודלים היברידיים המשלבים תשתיות מקומיות עם גישה לפלטפורמות חיצוניות תוך רגולציה מותאמת.

מדינת ישראל נכנסה לעידן ה-AI כמעצמת הייטק ומדורגת גבוהה במוכנותה לקראתו, במיוחד בזכות השקעות רבות במגזר הפרטי.¹ אלא שההתפתחויות בתחום הן מהירות במיוחד, וכדי לשמר את מעמדה, ואף להימנות עם המדינות המובילות בו – עליה להשקיע משאבים בהספקת התשתיות הנדרשות בהיבטי אנרגיה, רכיבי אחסון ועיבוד נתונים ותשתיות העברת נתונים. כך, כדי להבטיח את מעמדה הכלכלי והטכנולוגי של ישראל בעידן החדש, ומול אתגרים גיאופוליטיים ותקציביים, נדרשת מדיניות תשתיות מושכלת, שתתעדף השקעות לפי יעדים לאומיים ואשר תוודא נגישות למשאבים הנדרשים לשנים ולעשורים הבאים.

בתקופה האחרונה, מדינת ישראל קיבלה קריאת השכמה בדמות הצהרות על חסימת הגישה של 8200 לשירותי הענן של מיקרוסופט.² אירוע זה מבליט את הצורך האקוטי של המדינה להסתמך על תשתיות ריבוניות לצרכים מסוימים, ובמקביל להבטיח גישה נוחה לתשתיות AI יעילות, זולות וחדשניות לצרכים אחרים. ובעיקר, הוא מדגיש כי יש להתייחס לתשתיות AI כתשתיות לאומיות

¹ Oxford Insights, Government AI Readiness Index 2024; Tortoise, The Global Artificial Intelligence Index 2024.

² סוכנויות הידיעות, "מיקרוסופט חסמה ל-8200 גישה לחלק משירותי הענן שעליהם נשמרו שיחות של פלסטינים".

מדרגה ראשונה – גישה בטוחה ורציפה לתשתיות אלה אינה בגדר מותרות, אלא היא צורך לאומי חיוני.

במסמך זה נסקור את התשתיות הפיזיות הדרושות לפיתוח, הקמה ופריסה ("העלאה לאוויר") של מערכות AI ואת המגמות העולמיות. נבחן את נקודות החוזק והחולשה של מדינת ישראל בתחום לאור מאפייניה הייחודיים, והיכן עליה להשקיע משאבים כדי לאפשר את המשך ההתפתחות המוצלחת של ה-AI בגבולותיה. הסקאלה העיקרית שתעמוד למבחן בסקירה זו תהיה מקומי-חיצוני (או בניסוחים אחרים: בנה-קנה/ריבוני-בינלאומי), כלומר: מהם הדרישות וההיקפים עבור תשתית מקומית-ריבונית, בעיקר בשכבות התשתית והנתונים. נבחן זאת על פני ארבעה שימושים מרכזיים: תעשייה ויזמות; מחקר ופיתוח; לאומי-אזרחי; ולאומי-ביטחוני.

מכון מוזאיק למדיניות בינה מלאכותית (ע"ר), פועל לגיבוש וקידום חזון ומפת דרכים להבטחת עתיד שבו הבינה המלאכותית תשמש ככוח חיובי שישרת את כלל אזרחי ישראל. אנו מאמינים כי מסמך זה מציג את ההיגיון התשתיתי הנדרש למדינת ישראל כדי לשגשג בעידן הבינה המלאכותית, וכי אימוץ המלצותיו יקדם את יכולת השימוש במערכות AI לצרכים אזרחיים, לאומיים וביטחוניים במדינה.

2 | רקע תיאורטי: תשתיות בינה מלאכותית

מערכות בינה מלאכותית מסתובבות בעולם הטכנולוגי כבר שנים רבות, אולם בשנים האחרונות אנו צופים בנסיקתן ובהטמעתן בהיבטים רבים בחיינו. מערכות אלו כבר גורמות לשינויים עמוקים בחברה ובכלכלה – מגמה הצפויה להתעצם ככל שיוסיפו להתפתח. בהיותן מערכות לומדות, הן מגלמות דרישות תשתיות גבוהות, ובהן: מאיצים חזקים במיוחד, שטחי אחסון אדירים וקישוריות מהירה ובטוחה. כל זאת, כדי להמשיך ללמוד ולהתפתח. התשתיות המדוברות צורכות חשמל רב, בעלות טביעת רגל פיזית גבוהה, ודורשות השקעה כספית אדירה.

מחסנית הבינה המלאכותית (AI Stack)

ככל מערכת טכנולוגית, מערכות AI בנויות מחומרה ומתוכנה, אך הן בעלות מספר שלבי ביניים:

1. **שכבת התשתית:** תשתית של מערכות AI בנויה משלושה רכיבים מרכזיים – מאיצים (שכשמים כן הם – מאיצים את החישובים); יחידות אחסון נתונים; ורשתות תקשורת להעברת הנתונים. בשל כמויות הנתונים העצומות שנדרשות למערכות AI, והחישובים המסובכים המתבצעים עליהם, על המאיצים להיות חזקים במיוחד, על יחידות אחסון הנתונים להיות גדולות במיוחד, ועל רשתות העברת הנתונים להיות בעלות זמן שיהוי (Latency) נמוך ורוחב פס גבוה.
2. **שכבת הנתונים:** הנתונים שמערכות AI מתמודדות איתם יכולים להיות רבים במיוחד וחסרי מבנה סדור, למשל: טקסט גולמי, תמונות, וידאו ואודיו, ואף מידע כגון נתונים מחיישנים רפואיים, מחיישנים של מכוניות או מקררים ולמעשה מכל חיישן שהוא. בשל כך, יש צורך ביכולות אחסון מתאימות ובעיבוד מוקדם של הנתונים (למשל: הסרת כפילויות וסטנדרטיזציה). כמו כן, בחלק מהמערכות יש צורך בתיוג של הנתונים (קרי, הוספת מידע או תיאור המסווג אותם). לבסוף, על הנתונים לעמוד בסטנדרטים של פרטיות ואבטחת מידע באמצעות הצפנה, מידור והתממה (אנונימיזציה).
3. **שכבת פיתוח ואימון המודל (Training):** בשכבה זו המערכת לומדת כיצד לבצע פעולות מסוימות על בסיס הנתונים משכבת הנתונים. במילים אחרות, זוהי השכבה שבה מאמנים את המודל. במסגרתה גם מכניסה המערכת מידע נוסף שהיא מעבדת לתוך שכבת הנתונים, וכך נוצר מעגל בין שתי השכבות הללו. פעולות אלו מתבצעות בעזרת אלגוריתמים של למידת מכונה וכוונון הפרמטרים של המודל, כדי להשיג את התוצאות הטובות ביותר.
4. **שכבת פריסת המודל:** בשכבה זו נעטף המודל בפורמט המאפשר גישה למודל המאומן, דוגמת API-Application Programming Interface (ממשק המאפשר לתוכנות שונות לתקשר זו עם זו), אפליקציה עם ממשק משתמש נוח ואינטואיטיבי או שירות כלשהו. בשכבה זו כבר ניתן

להשתמש במודל המאומן, כלומר להזין אותו במידע חדש ולבקש שיפיק ממנו תוצאה בתהליך שנקרא **הסקה (Inference)**.

5. **שכבת המשילות (Governance):** זוהי השכבה המבקרת את פעולת מערכת ה-AI. בה בוחנים אם המערכת פועלת בצורה אחראית ואתית, בהתאם לכללי המדינה והארגון (למשל: חוקי פרטיות בשימוש בנתונים), ואם היא הוגנת, בעלת הטיות מסוימות וכדומה.³

שכבות התשתית והנתונים

א. תשתית AI והנתונים הדרושים לה

מערכות AI מסתמכות על נתוני עתק אשר גדלים ומשתנים כל העת, והן מהוות מערכות לומדות המתפתחות באופן מתמיד והדורשות יכולות מחשוב גבוהות. זאת, בניגוד למערכות מידע (IT) הפועלות על מסדי נתונים קטנים ויציבים יותר, מתפתחות בקצב איטי הרבה יותר ודורשות יכולות מחשוב פחותות בהרבה. לפיכך, למערכות AI ישנם צורכי תשתית ייחודיים במספר היבטים:

- **יכולות מחשוב:** מאיצים חזקים ייעודיים המסוגלים להתמודד עם מספר חישובים בו זמנית. ארגונים רבים משתמשים בשירותי ענן המאפשרים גישה למאצים אלה, לפי צורכי הארגון.
- **פתרונות אחסון:** בשל ההסתמכות הנפוצה על נתונים שאינם מובנים (Unstructured data), כגון תמונות, וידאו ואודיו, אשר צורכים נפח אחסון גדול במיוחד שפתרונות אחסון מסורתיים אינם מסוגלים להתמודד איתו, נדרשים פתרונות ייעודיים. אלו כוללים צורות מיוחדות לשמירה ולשליפה וכן שמירה של המידע על פני מספר מכשירים, במטרה להקל על הגישה לנתונים ולהגביר את מהירות הגישה.
- **תקשורת והעברת מידע:** בשל כמויות המידע העצומות העוברות במערכות AI, יש צורך ברשתות בעלות רוחב פס גבוה וזמן שיהוי נמוך, כדי לשמור על יעילות הלמידה ולצמצם עיכובים בין הרכיבים השונים שעל גבם רצה המערכת. לשם כך, יש צורך בפתרונות ניהול תקשורת מתקדמים ובתשתיות תעבורת נתונים פיזיות המסוגלות לספק צרכים אלו. נוסף על כך, לשם העברת נתונים בין אזורים שונים ובין תשתיות החישוב לבין הצרכנים, יש צורך בתשתיות תקשורת מקומיות ובינלאומיות מהירות ורחבות.⁴
- **תשתיות נלוות:** התשתיות המדוברות פולטות חום גבוה ולכן מצריכות מתקני קירור רבי עוצמה. לכך יש להוסיף מערכות תומכות גנרטורים, אל-פסק וכדומה, כמו גם תשתיות וכוח אדם לאבטחה ולתחזוקה.

³Cole Stryker, "What Is an AI Stack?"

⁴AI21labs, "What Is AI Infrastructure?"

● **אנרגיה:** כל הרכיבים הנ"ל צורכים אנרגיה, ואנרגיה רבה. לפי דוח של סוכנות האנרגיה הבינלאומית, ב-2024 צרכו מרכזי נתונים (Data Centers) כ-415TWh (טרה-וואט/שעה), שהם כ-1.5% מצריכת החשמל העולמית. עד 2030 הם עתידים להכפיל את הצריכה השנתית לכדי 945TWh – היקף הגבוה מעט מהצריכה השנתית הכוללת של יפן כיום, וכ-3% מצריכת החשמל העולמית.⁵ קיימות אף הערכות שהצריכה תגיע באותה שנה ל-1,500TWh – כ-4.5% מהצריכה העולמית.⁶ נכון להיום, יכולות המחשוב (כולל אחסון נתונים מסוימים) צורכות בממוצע 60% מהחשמל במרכזי הנתונים, פתרונות האחסון צורכים כ-5%, ציוד התקשורת כ-5%, מערכות הקירור 7%-30%, וישנו ציוד נוסף המצריך חשמל כמו תאורה ואל-פסק.⁷

כיום, אותם מרכזי נתונים (Data Centers) הם המבנה התשתיתי הנפוץ לצורכי AI. הם קיימים זה שנים כמרכזים המאחסנים נתונים, אולם בעידן ה-AI הופכים בהדרגה לכאלה שגם מבצעים חישובים מסובכים, לשם אימון המודלים והסקה מתוכם. מרכזים מעודכנים כאלה, שמתמקדים בחישוב ולא באחסון, מתפקדים יותר כמחשבי על (Supercomputer), או בשם אחר: מחשוב ביצועים גבוהים (High-performance computing, HPC). לכן, ייתכן שנכון יותר לקרוא להם "מרכזי מחשוב", או בשם שטבע מייסד ומנכ"ל Nvidia ג'נסן הוואנג, "מפעלי AI".

אומנם, התשתיות הדרושות למרכזי נתונים ולמרכזי מחשוב הן דומות (מדפי רכיבי מחשוב, מערכות קירור, חיבוריות ועוד), אך ישנם מספר הבדלים משמעותיים: ראשית, רכיבי המחשוב עצמם שונים – בעיקר שרתי אחסון במרכזי נתונים, לעומת היקף גדול של מעבדים ומאיצים חזקים במרכזי מחשוב. שנית, מרכזי נתונים ומרכזי מחשוב שמספקים שירותי הסקה מ-AI נדרשים לזמן פעילות (uptime) מקסימלי, כדי לספק את השירותים בכל רגע נתון ובמיוחד בזמנים קריטיים. פערי זמן פעילות של עשירות האחוז יכולים להגדיל את ההשקעה הכספית בהם באלפי דולרים. לעומתם, מרכזי מחשוב שמאמנים מודלי AI לא זקוקים לזמן פעילות כזה, מאחר שהם לא מספקים שירותים למשתמשים בזמן אמת, ומבצעים גיבוי מדי חצי שעה לרוב.

אם כך, במרכזי נתונים תהיה השקעה כספית גדולה במערכות אל-פסק ובגיבויי אספקת חשמל, כדי למנוע מצב של חוסר תפקוד, לצד השקעה קטנה יחסית ברכיבי מחשוב. מנגד, מרכזי מחשוב לאימון מודלים דורשים השקעה גדולה מאוד ברכיבי מחשוב, אך כמעט לא מצריכים תשתיות המבטיחות זמן פעילות גבוה. כמו כן, במרכזי מחשוב לאימון AI, מידע עובר באופן תדיר יותר בתוך מרכזי המחשוב עצמם. זאת, בשונה ממרכזי נתונים קלאסיים וממרכזי מחשוב להסקה של מודלי AI, שבהם יש יותר

⁵ IEA, Energy and AI, 14.

⁶ IEA, Energy and AI, 14.

⁷ IEA, Energy and AI, 52–53.

תעבורת מידע בין המרכזים לבין המשתמשים. גם תופעה זו מצריכה יכולות שונות של תשתיות הקישוריות.⁸

למרות ההבדלים בין המרכזים, לשם הנוחות, במסמך זה נקרא לכל סוגי המרכזים "מרכזי נתונים".

ב. מודלים של פריסת תשתיות AI

המונח הנפוץ לתיאור צורת פריסה נוחה לשימוש בתשתיות מחשוב הוא "**ענן**". הוא מתאר מודל פריסה של תשתיות ומערכות המאפשר גישה נוחה וזמינה בכל עת ולפי דרישה למאגר משותף של משאבי מחשוב, אשר מוקצים למשתמש במאמץ מינימלי מצד נותן השירות.⁹ לאור דרישות התשתית הגבוהות שמערכות AI מציבות בפני מפתחיהן, בעליהן ומשתמשיהן, לא כל פרט או ארגון יכולים להקים תשתית AI ייעודית, קרי: ענן פרטי ייעודי, ונהוג להשתמש במספר מודלים לשם גישה לתשתיות אלו. בהכללה, ישנם חמישה מודלים עיקריים לפריסה של תשתיות AI:

- **ענן פרטי:** סביבה ייעודית שבה המשאבים והשירותים של הענן מוקצים לארגון יחיד.
 - ← **ענן פרטי ייעודי:** מודל שבו הארגון שולט בכל התשתיות שעליהן פועלת המערכת – השטח, המבנה החיצוני, רכיבי המחשוב, כוח האדם וכו'. נתייחס למקרה שבו התשתיות הללו נמצאות במיקום פיזי סמוך למקום מושבו של הארגון (on-premises).
 - ← **ענן פרטי בשכירות (Colocation):** מודל שבו הארגון שוכר מדפים במרכז נתונים של ארגון אחר, ומכניס אליהם את רכיבי המחשוב שלו – המעבדים, המאיצים, רכיבי התקשורת וכו'.¹⁰
 - ← **ענן פרטי על תשתית ציבורית:** מודל שבו הארגון משלם על כל, או לפחות על חלק גדול מהשירותים שמספק ענן ציבורי (להלן), לרבות חומרה ותוכנה, אך מקבל סביבה פרטית ייעודית לצרכיו הייחודיים. זו יכולה לספק מידות שונות של ריבונות – החל מסביבה מנותקת על ידי הצפנה, דרך בחירה של מיקום התשתיות הפיזי (מתוך אפשרויות נתונות) ועד שימוש בסביבה מנותקת לחלוטין משאר הסביבות, המספקת מידת ריבונות שדומה לענן פרטי בשכירות.¹¹
- **ענן ציבורי:** סביבה שבה המשאבים והשירותים של הענן מחולקים בין מספר רב של משתמשים. בענן ציבורי, ארגון חיצוני מנהל את משאבי הענן ושולט בהם. לרוב, אופן השימוש במודל זה הוא לפי דרישה (on-demand, או Pay as you go), כלומר: התשלום נעשה כאשר מתעורר

⁸ Giorgio Sbriglia, "Data Center Design Requirements for AI Workloads. A Comprehensive Guide."

⁹ Mell and Grance, SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing.

¹⁰ Paul Kirvan and Brien Posey, "Colocation (Colo)."

¹¹ Google Cloud, "Sovereign Cloud."

צורך (למשל, תשלום לפי שעה או לפי נפח נתונים). יש לציין שגם במקרה זה המשתמשים מקבלים סביבה פרטית, אולם הגדרות סביבה זו מוגבלות ומסופקות כמוצר מדף, לעומת ההגדרות הדינמיות והייעודיות במקרה של ענן פרטי על תשתית ציבורית.

- מודל היברידי: מודל המשלב מספר מודלים, למשל: שימוש בענן פרטי ייעודי למידע הרגיש ביותר, ובענן פרטי על גבי תשתית ציבורית למידע רגיש פחות. או: שימוש בענן פרטי לאחסון המידע, ובענן ציבורי לעיבודו.¹²

לכל מודל יתרונות וחסרונות משלו, כמפורט באופן כללי להלן:¹³

מודל	יתרונות	חסרונות
ענן פרטי ייעודי	<ul style="list-style-type: none"> - שליטה מלאה בתשתית, בביטחון המידע ובפריסה. - פרטיות מלאה ופתרונות בהתאמה אישית. 	<ul style="list-style-type: none"> - קשה לביצוע בהיקפים גדולים. יקר לתחזוקה ומצריך השקעה ראשונית גבוהה. - מצריך ידע מקצועי רב, תחזוקה מתמדת ונתונים רבים. - תשתית מקומית מצריכה מרחב פיזי רב ודרישות אנרגיה גבוהות.
ענן פרטי בשכירות	<ul style="list-style-type: none"> - שליטה רבה יחסית בתשתית, בביטחון המידע ובפריסה. - פרטיות מלאה ופתרונות בהתאמה אישית. - לא בהכרח דורש מרחב פיזי ותשתיות אנרגיה כבענן פרטי ייעודי. 	<ul style="list-style-type: none"> - קשה לביצוע בהיקפים גדולים. יקר לתחזוקה ומצריך השקעה ראשונית גבוהה. - מצריך ידע מקצועי רב, תחזוקה מתמדת ונתונים רבים.
ענן פרטי על תשתית ציבורית	<ul style="list-style-type: none"> - שליטה רבה בביטחון המידע ובפריסה. - פרטיות גבוהה ופתרונות בהתאמה אישית. - לא בהכרח דורש מרחב פיזי ותשתיות אנרגיה כבענן פרטי ייעודי. - מאפשר שימוש בשירותים ובטכנולוגיות חדשות. 	<ul style="list-style-type: none"> - עלול להכיל סכנות לביטחון המידע. - עלויות תפעול שוטף גבוהות.
ענן ציבורי	<ul style="list-style-type: none"> - עלות התחלתית נמוכה עד אפסית. - מאפשר גישה לרכיבי מחשוב לפי הצורך. - מאפשר שימוש במערכות שכבר אומנו. - תחזוקה מינימלית. - מצריך ידע מקצועי מועט יחסית. 	<ul style="list-style-type: none"> - גמישות והתאמה אישית מועטה. ייתכנו בעיות פרטיות וביטחון מידע. - לטווח הארוך, עלות התפעול עלולה להצטבר ולתפוח.
מודל היברידי	<ul style="list-style-type: none"> - עלות נמוכה יחסית. - גמישות והתאמה אישית משופרת. 	<ul style="list-style-type: none"> - עלול להיות מסובך בגיבוש הארכיטקטורה של המערכת ובהטמעתה, וכן בתחזוקת הקשר בין הפנים לחוץ. - עלול להיות מסובך בניהול עומסי עבודה.

¹² Google Cloud, "What Is a Private Cloud?"

Syed et al., "Artificial Intelligence as a Service (AlaaS) for Cloud, Fog and the Edge," tbl. 4; Google Cloud, ¹³ State of AI Infrastructure, 36–44.

ג. ריבונות AI

בעקבות הדרישה ההולכת וגדלה למערכות AI, ומכאן לתשתיות התומכות בהן ובפרט למאיצים, החזקה בתשתיות אלו מקנה למדינות השפעה גיאופוליטית אסטרטגית וכן עצמאות, פרטיות וביטחון בשימוש במערכות AI, או במילים אחרות – ריבונות AI. מדינות רבות משקיעות מאמצים כבירים בהשגת ריבונות זו, במה שמכונה "מרוץ החימוש של המאה ה-21".¹⁴

את צירוף שני המושגים – ריבונות בענן – ניתן להגדיר כמידת השליטה שיש לארגון על השירותים והמשאבים של הענן.¹⁵ זו יכולה להתבטא בשכבות שונות במחסנית ה-AI, באופן שמגלם רמות ריבונות שונות. נתבונן בהן כעת:

1. **ריבונות נתונים (Data sovereignty):** השליטה בנתונים שמאוחסנים בענן. זו מושגת לרוב דרך הצפנה של הנתונים, באופן שהצרכן הוא היחיד שיכול לפענח הצפנה זו. ריבונות נתונים מאפשרת הן שמירה על ביטחון מידע ופרטיות והן עמידה בכללים הרגולטוריים שקבעה המדינה. אולם בהסתפקות בשכבת ריבונות זו, שמסתמכת בעיקר על הצפנה, קיימת סכנה שחומת ההצפנה המגינה על הנתונים תיפרץ בקלות יחסית.

2. **ריבונות חישובית (Compute sovereignty):** ב"מרוץ החימוש של המאה ה-21", הכוונה בעיקר למרוץ להשגת ריבונות חישובית. זו מצריכה את הקצאת המשאבים הגדולה ביותר ואת העלויות הגבוהות ביותר, בניסיון לשלוט, עד כמה שניתן, ברכיבי החומרה שעל גביהם פועל הענן. במאמר של הוקינס, לדונירטה ו-ויו מאוניברסיטת אוקספורד,¹⁶ מחולק מושג הריבונות החישובית לשלוש רמות: (א) היקף יכולות העיבוד ל-AI הנמצאות בתחומי המדינה, כך שמוטת השליטה הרגולטורית שלה פועלת עליהן; (ב) המידה שבה החברות המחזיקות במרכזי הנתונים ל-AI רשומות תחת המדינה. רישום כזה מאפשר הן מוטת שליטה רגולטורית מסוימת והן מניעה של פעולות מסכנות ריבונות כגון ריגול "לפי הספר"; (ג) המידה שבה החברות המייצרות את המאיצים ל-AI רשומות תחת המדינה. גם כאן ניתן להשתמש בהשפעה זו כדי להפעיל רגולציה (למשל: החקיקה האמריקאית שמנעה מ-Nvidia למכור שבבים לסין), או אף "להתאים" את השבבים כדי להשיג תוצאות מודיעיניות מסוימות.

¹⁴ Mairéad Pratschke, "The Global Pursuit of Sovereign AI Is Becoming the 21st Century's Arms Race."

¹⁵ Pieter-Jan Nefkens, "Digital Sovereignty/Sovereign Cloud Explained."

¹⁶ Hawkins et al., "AI Compute Sovereignty."

3. **ריבונות תוכנית (Software sovereignty):** שליטה בתוכנה שפועלת בענן, מנקודת המבט של מחסנית ה-AI. הדבר יכול להתבטא בשכבות אימון המודל ופריסת המודל, וכן במערכת השליטה בענן.¹⁷

ריבונות AI במערכת גלובלית

בפועל, שוק מרכזי הנתונים (שירותי הענן) נשלט בידי שש חברות ענק: האמריקאיות AWS (אמזון), GCP (גוגל) ו-Microsoft Azure (מיקרוסופט), והסיניות Tencent Cloud, Huawei Cloud ו-Alibaba Cloud (בצד חברות נוספות כמו IBM ו-Oracle שהולכות ומתחזקות בתחום). הדבר מוביל מדינות אחרות לבחירה בין שיתוף פעולה עם חברות אמריקאיות או סיניות, או גם וגם – החלטות בעלות השלכות פוליטיות ואסטרטגיות כבדות משקל.

בשוק המאיצים, NVIDIA האמריקאית שולטת בכ-80%-95% מהשוק, עם Intel ו-AMD כמתחרות שוליות. עם זאת, ייצור המוליכים למחצה – החומרים שמהם בנויים המאיצים – מתקיים ב-90% בטייוון על ידי Taiwan Semiconductor Company (TSMC), ואלו בתורם נסמכים על ציוד ליתוגרפיה (טכנולוגיה לייצור שבבים) שמספקת החברה ההולנדית ASML.

קו אספקה ארוך ובינלאומי זה מקשה על שליטה מלאה בייצור המאיצים, גם במדינות בעלות הריבונות החישובית הגבוהה ביותר (קרי, ארה"ב וסין). בנוסף, במקרים ששליטה זו אכן מתקיימת (כמו במקרה של אי מכירת המאיצים של NVIDIA לסין) ומופעל כוח רגולטורי, הדבר עשוי לדרבן מדינות להתחיל בתהליך ייצור שבבים עצמאי (כפי שהממשל הסיני עושה באמצעות החברות Huawei ו-SMIC).¹⁸

ד. יחידות מידה והקשרים ביניהן

כאשר מתייחסים למרכזי נתונים, מודדים אותם לרוב לפי ההספק החשמלי שלהם, **בוואטים** (Watt), או בקנה מידה של מרכזי נתונים – לרוב **במגה-וואטים** (Megawatt, MW). אולם, מדד זה אינו מביע את יכולות החישוב והאחסון של מרכז הנתונים. אלו משתנות בהתאם ליכולות הציוד שנמצא במרכז הנתונים. ישנם למשל מרכזי נתונים שבעיקר מאחסנים מידע ובעלי יכולות עיבוד מועטות, ולעומתם, מרכזים בעלי יכולות עיבוד גבוהות מאוד אך מעט אחסון מידע. כמו כן, יחד עם ההתפתחויות הטכנולוגיות, משתנה צריכת החשמל של כל אחד מהרכיבים בתוך מרכז הנתונים. כך, מרכז נתונים של MW30 מאפשר הספק קבוע של 30MW, אך הקונפיגורציה של הרכיבים שבתוכו יכולה להשתנות בהתאם להתפתחויות ולצרכים שונים, ובלבד שלא תעלה על 30MW.

כדי למדוד יכולות עיבוד מתקדמות, משתמשים לרוב ביחידת המידה FLOPS – Floating-point operations per seconds, כלומר: מספר החישובים (של מספרים גדולים מאוד או קטנים מאוד)

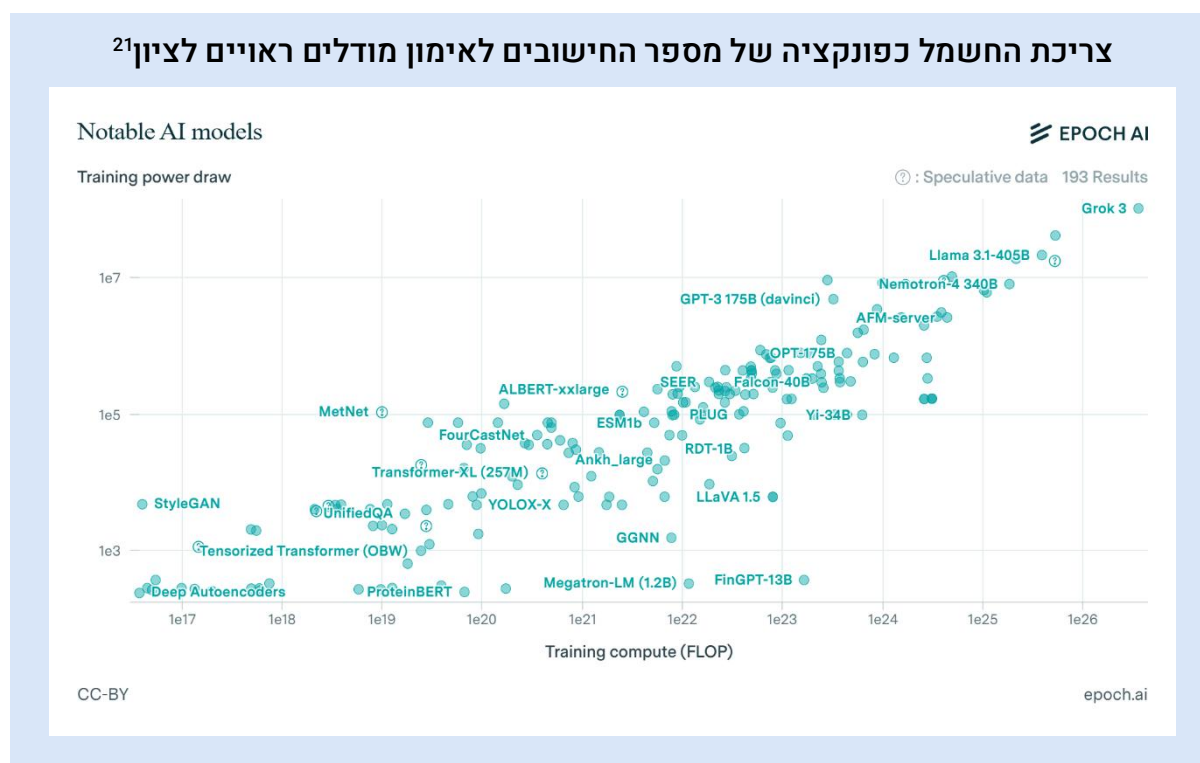
¹⁷World Economic Forum, "What Is Digital Sovereignty and How Are Countries Approaching It?"

¹⁸Hawkins et al., "AI Compute Sovereignty," 3–5.

שניתן לבצע בשנייה. בקנה המידה שאנו עוסקים בו, מדובר לרוב ב-TFLOPS או ב-PFLOPS (tera/petaFLOPS). כך למשל, A100, אחד ה-GPUs המתקדמים של NVIDIA, מסוגל להריץ 312 TFLOPS.¹⁹

כדי למדוד קיבולת אחסון נתונים, משתמשים ביחידת המידה **בייט (Byte)**, ובקנה מידה של מרכזי נתונים, **טרה-בייט או פטה-בייט (TB/PB)**. כך למשל, שירות הזרמת המוזיקה Spotify מאחסן כ-460 PB.²⁰

אומנם, ההמרה בין יחידות המידה השונות אינה ישירה, אולם ישנו מתאם מובהק ביניהן. ככלל אצבע, ככל שמספר החישובים גדול יותר, או שהיקף הנתונים שעליו מאומנים המודלים גדול יותר, כך גם צריכת החשמל תהיה גדולה יותר, והיחס הוא לינארי:

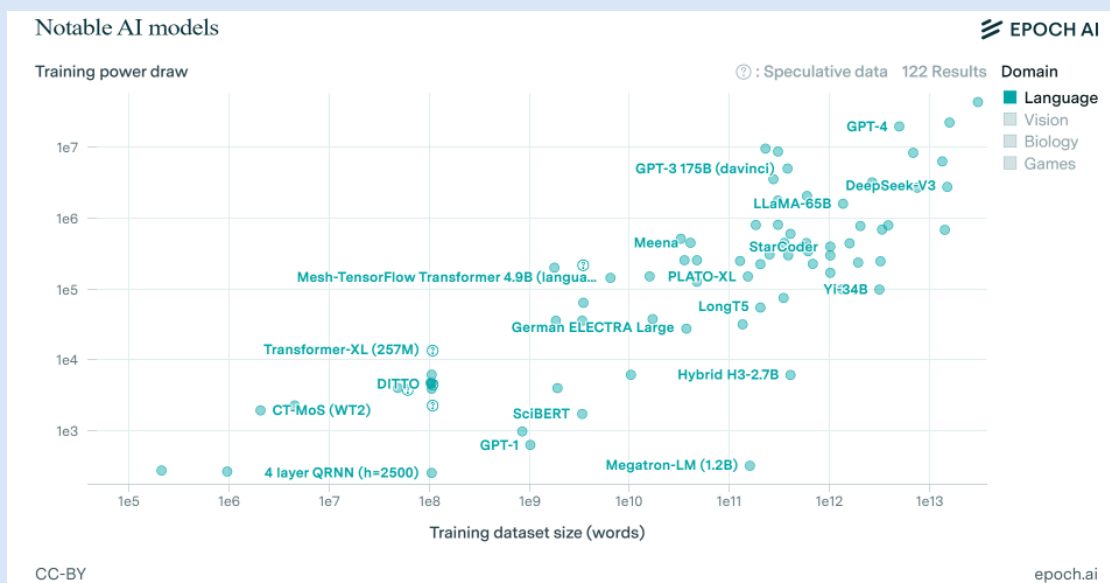


¹⁹ SAUR News Desk, "Why Data Center Capacity Is Measured in Megawatts: SaurEnergy Explains."

²⁰ Vishnu Jayan, "How Many Terabytes Are In A Data Center? Exploring Storage Capacities in Modern Enterprises."

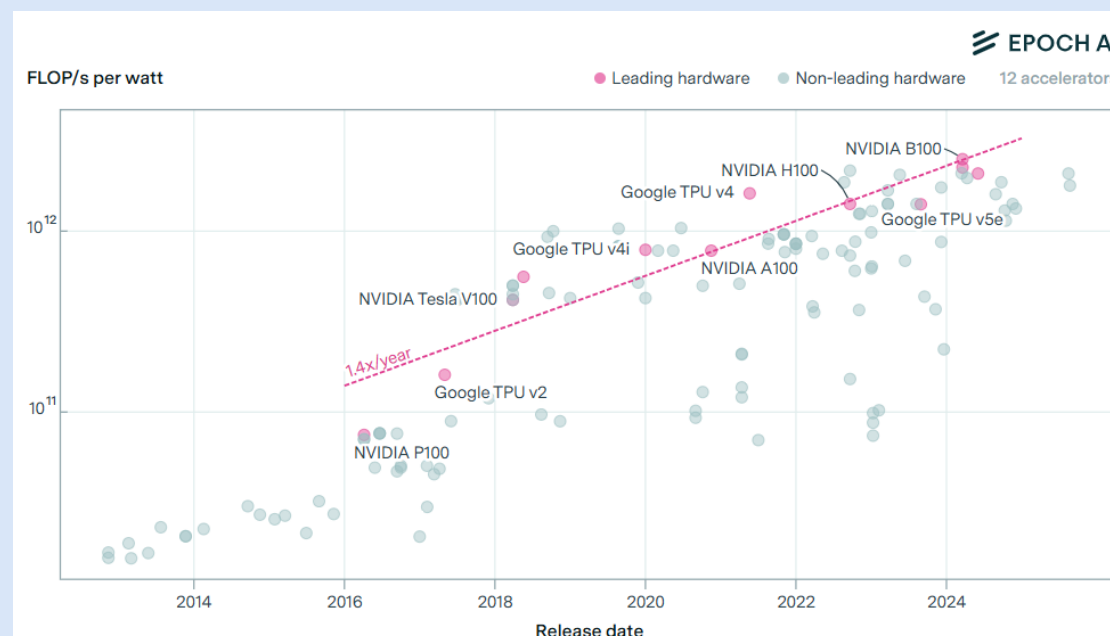
²¹ Epoch AI, "Data on AI Models."

צריכת החשמל כפונקציה של היקף הנתונים לאימון מודלים ראויים לציון²²



עם זאת, בשנים האחרונות הובילו התפתחויות טכנולוגיות לייעול משמעותי, כאשר השבבים המובילים ללמידת מכונה הופכים יעילים יותר (ביחס FLOPS לואט) ב-40% מדי שנה.²³

יעילות המאיץ (FLOPs/Watt) – מספר החישובים לשנייה להספק של וואט אחד) כפונקציה של תאריך השקת המאיץ²⁴



Epoch AI, "Data on AI Models."²²

Epoch AI, Leading ML Hardware Becomes 40% More Energy-Efficient Each Year.²³

Epoch AI, Leading ML Hardware Becomes 40% More Energy-Efficient Each Year.²⁴

3 | היבטים כלכליים ורגולטוריים – עלויות ותקנות בישראל

בפרקים הבאים נסקור את אסטרטגיות שונות שננקטו בעולם, את המאפיינים השונים של המגזרים בישראל ואת מודלי הפריסה המתאימים לכל מגזר. אולם לפני כן, עלינו לשקול את המגבלות הכלכליות והרגולטוריות הניצבות בפני המודלים השונים. נתמקד בעלויות ובתקנות הנוגעות לשאלה, אם לבחור בתשתיות מקומיות (בשטח ישראל) או שמא בחיצוניות (מחוץ לישראל).

עלויות – מרכזי נתונים מקומיים וחיצוניים

עלויות המודלים השונים הן דבר שקשה להעריך. הן משתנות באופן תדיר בהתאם להתפתחויות הטכנולוגיות, לשינויים ברגולציה, לצרכים המדויקים, להיצע ולביקוש. כמו כן, כל מודל מהחלופות שהצענו הוא רק "מודל על" המכיל בתוכו אפשרויות קונפיגורציה רבות, שכל אחת מהן מתומחרת שונה ותמחורה משתנה תדיר. על כן, נתמקד כאמור בעלויות של תשתיות מקומיות לעומת חיצוניות.

א. עלות הבעלות הכוללת – TCO

עלות הבעלות הכוללת (Total Cost of Ownership) היא חישוב העלויות הישירות והעקיפות של נכס כלשהו לאורך החזקתו ותפעולו. ניתן לחלקה להוצאות הון (CapEx) – המשמשות לרכישה, שדרוג או שימור נכסים לטובת יצירת רווחים בעתיד; ולהוצאות השוטפות או התפעוליות (OpEx) – הנחוצות לשימוש היומיומי בנכס. נמנה להלן חלק ממרכיבי ה-TCO של תשתיות AI (הן פרטיות והן ציבוריות):

• CapEx

- ← רכישת הזכות לשימוש ביחידת קרקע – קניית יחידת מקרקעין שניתן לקדם בה הקמת מרכז נתונים.
- ← תכנון והקמה של המבנה והמתקנים הנדרשים למרכז הנתונים – תכנון אדריכלי, היתרי בנייה, הקמה, הפעלה וכלל התשלומים הכרוכים בכך.
- ← רכישת מתקנים וציוד מכני וחשמלי – גנרטורים, אל-פסק, מערכות אוורור וקירור ועוד.
- ← ציוד מחשוב – מעבדים, מאיצים וכוננים לשמירת הנתונים.²⁵ לציוד זה אורך חיים של 3-5

²⁵ Tim Day and Nam D. Pham, Data Centers - Jobs and Opportunities in Communities Nationwide, 7.

שנים לרוב, מה שמצריך הוצאה גדולה על חידושו מדי תקופה.²⁶

● OpEx

← חשמל – בעיקר לצידוד המחשוב ומערכות הקירור.

← כוח אדם – שמירה, עובדי מחשוב, עובדי תפעול ועוד.

← מיסים.²⁷

← תחזוקה – החלפת רכיבים, טיפול בתקלות ועוד.

← מינוי לשירותי ענן ולמערכות – עבור שירותי ענן ציבורי, וכן למערכות AI מוכנות או לתוכנות תומכות תפעול.

← העברת נתונים – מחיר רשתות אינטרנט, כולל **אגרת תעבורה יוצאת** (Data egress fees)

– אגרה על הוצאות נתונים מהענן, אשר עלולה לתפוח מאוד בעננים שאינם מקומיים.²⁸

בהכללה, מודלי פריסה הכוללים ריבונות גבוהה, כגון: ענן פרטי ייעודי ובשכירות, מצריכים הוצאות CapEx גבוהות ו-OpEx נמוכות, אשר בטווח הארוך מסתכמות ל-TCO נמוך יותר, על חשבון סיכון גבוה במקרים של נזק לתשתיות, או מחירי שדרוג גבוהים בשל הצורך לעמוד בקצב החדשנות. מן הצד השני, מודלי פריסה הכוללים סיכון נמוך – הגנה מפני נזקים, נוחות בשימוש ויכולת התאמה מהירה לחדשנות – כגון ענן ציבורי, יצריכו CapEx נמוך ו-OpEx גבוה, מה שעלול לגרור TCO גבוה יותר בטווח הארוך, וכן מידת ריבונות נמוכה יותר.²⁹

ב. עלויות הקמה של מרכז נתונים

הקמה של מרכז נתונים כוללת, באופן גס, את העלויות הבאות:

● CapEx

הוצאות ההון למרכז נתונים כללי כוללות עלויות קניית שטח, בניית המבנה, בניית תשתית חשמל וקירור, קניית המכשור החישובי ותשתית אבטחה. הוצאות אלו מוערכות בכ-\$10M/MW (עשרה מיליון דולר למגה-וואט), אם כי הערכה זו עלולה להיות גבוהה יותר עבור מתקנים מכווני AI, שעשויים לדרוש מעל \$20M/MW.³⁰

²⁶ INTUVA, "An Overview of Data Center Costs (All You Need to Know)."

²⁷ Tim Day and Nam D. Pham, Data Centers - Jobs and Opportunities in Communities Nationwide, 7.

²⁸ Lauren Morley, "When to Choose Private Cloud Over Public Cloud for Big Data."

²⁹ netris, "Cloud Strategies for the Best Cost and Results: Public vs Private vs Hybrid Cloud."

³⁰ Thunder Said Energy, Data-Centers: The Economics?

ההוצאות התפעוליות כוללות עלויות תחזוקה (כ-40% מעלויות ה-OpEx), צריכת חשמל (15%-25%), כוח אדם, עלויות העברת נתונים ותוכנה³¹ (ישנן הערכות עם משתנים שונים המציגות יחס אחר). בהערכה גסה ושטחית של סדרי הגודל, בהינתן מחיר חשמל בישראל של 0.097 דולר למגה-וואט,³² נקבל עלות שנתית של \$849,720/MW. בהנחה שצריכת החשמל מהווה כ-20% מהוצאות ה-OpEx, נקבל עלות שנתית כוללת של \$4.2 M/MW.

כאשר מוקם מרכז נתונים שכזה, ניתן להשתמש בו כמרכז נתונים ייעודי לארגון מסוים; להשכיר בו מדפים במודל השכירות; לספק חלקים ממנו כתשתית מוכנה לענן פרטי על גבי תשתית ציבורית; ואף להשתמש בו כתשתית לענן ציבורי לכל דבר.

ג. טווח הזמנים שבו תשלום לפי דרישה יקר יותר מהקמה

מבחינת העלות הכלכלית נטו של קניית ציוד מחשוב או בניית מרכז נתונים, לעומת שימוש בהם לפי דרישה (on-demand) – הרי שהחלופה הראשונה הופכת זולה יותר תוך זמן קצר יחסית. כך למשל, רכישת Nvidia H100, מהמאיצים החזקים בתעשייה נכון למועד כתיבת שורות אלו, הופכת זולה יותר משימוש לפי דרישה תוך 10-15 חודשים.³³ בסקירה של Lenovo לגבי שרת עם שמונה מאיצי H100 שפועלים 24/7, כולל הוצאות על תשתיות נלוות למאיצים, עולה כי על פני חמש שנים, ניתן לחסוך 2.52-3.43 מיליון דולר דרך השקעה בתשתיות מקומיות. יש לציין, עם זאת, כי רכיבי המחשוב הופכים לבלתי רלוונטיים תוך 3-5 שנים.³⁴

ד. עלויות שימוש בענן ציבורי מקומי מול חיצוני

מעבר לצורכי הריבונות והחדשנות, שעל אודותם יפורט בהמשך הפרק, ישנם מספר פקטורים כלכליים שארגון צריך לקחת בחשבון כאשר הוא בוחר אם להשתמש בתשתית מרכז נתונים מקומית או חיצונית. תשתיות אלו, ככל תשתית, נתונות להשפעות הכלכלה המקומית והעולמית. על כן, עלויות השימוש בהן משתנות בהתאם לאזור הגיאוגרפי שבו הן נמצאות, וזאת אף אם הן שייכות לאותה החברה. נציג להלן השוואה של עלויות השירותים בענן AWS של Amazon, מתוך הנחה שהמגמות משקפות את אלו העולות אצל ספקיות הענן האחרות:

³¹Thunder Said Energy, Data-Centers: The Economics?

³²GlobalPetrolPrices.Co, "Israel Electricity Prices."

³³TRG Datacenters, "NVIDIA H100 Price – Is It Worth the Investment?"

³⁴Lenovo, On-Premise vs Cloud: Generative AI Total Cost of Ownership.

• **עלויות הוצאת מידע:** בעוד שהכנסת מידע חיצוני לתוך ענן מקומי היא לרוב פעולה חנימית, הוצאת מידע בכמויות גדולות עלולה להיות יקרה מאוד, ובמיוחד בישראל. הסיבה לכך היא שעלויות הוצאת המידע מגלמות בתוכן את עלויות ההקמה והשימוש בקווי התקשורת בין האזורים השונים באופן שיהיה מידי ורציף בכל עת, ועלויות אלו משתנות בין אזורים שונים.³⁵ ניתוח של עלויות הוצאת המידע מ-AWS בישראל אל האינטרנט, אלו עומדות על \$0.055/GB - \$0.11/GB - וגבוהות ב-22% ביחס לאירופה ולארצות הברית. כמו כן, העברת מידע מאזור הענן הישראלי של AWS לרוב אזורי הענן האחרים של AWS עולה \$0.08/GB, פי 4 מבאירופה או בארצות הברית.³⁶

• **עלויות אחסון וחשיבו:** אלו גבוהות יותר בישראל ביחס לארצות הברית ולחלקים מאירופה, ונמוכות יותר ביחס לחלקים אחרים מאירופה. כך למשל, בענן של AWS, עלות אחסון סטנדרטי בישראל יקרה בכ-9% מאשר בארצות הברית ובאירלנד, אבל זולה בכ-7% מאשר בצרפת; עלות אחסון מתקדם (EBS) יקרה בכ-32% מבארצות הברית ובכ-20% מבאירלנד, אך זולה בכ-8% מצרפת; ואילו עלות חישוב סטנדרטי יקרה בכ-19% מבארצות הברית ובכ-5% מבאירלנד, וזולה בכ-6% מצרפת (ראו הטבלה המלאה בנספח 1).³⁷

לסיכום, ככל שמדובר בשימוש בענן ציבורי, ישנם מקומות בעולם שבהם זול באופן ניכר לאחסן את המידע ולבצע על בסיסו חישובים ביחס לעלות בישראל. בפרט, באירלנד ובארצות הברית.

ה. צריכת האנרגיה של רכיבי המחשוב ושל מערכות התמך

קצב התפתחות השבבים ויעילותם האנרגטית מקשה על הצבת אומדן עקבי ביחס להיקפי צריכת החשמל. הדבר יוצר אתגר בגיבוש תחזיות לביקושי אנרגיה בעולם. כדי לאמוד את צריכת החשמל הנוכחית לרכיב מחשוב מתקדם, ניקח את המאיץ Nvidia H100 כמקרה בוחן לצורכי האנרגיה של מאיצים (הרכיב המרכזי לתשתיות AI). רכיב אחד כזה צורך כ-700W.³⁸

יעילות ניצול האנרגיה (Power usage effectiveness, PUE) היא המדד הבוחן את צריכת החשמל העודפת שיש למרכז הנתונים על כל יחידת מחשוב. PUE של 1.0 מייצג יעילות מושלמת – כאשר צריכת החשמל של מרכז הנתונים נובעת אך ורק מצריכת החשמל של רכיבי המחשוב שבו. ב-PUE של 1.5, על כל וואט שצורכות יחידות המחשוב, מרכז הנתונים צורך 1.5 וואט – 50% יותר מהצריכה

³⁵ Kevin Bogusch, "Cloud Data Egress Costs: What They Are & How to Reduce Them."

³⁶ Amazon EC2 On-Demand Pricing, "Data Transfer."

³⁷ Avi Keinan, AWS Region in Tel Aviv, Israel – Price Comparison versus Other Regions.

³⁸ TRG Datacenters, "NVIDIA H100 Power Consumption and Its Impact on High-Performance Computing."

של רכיבי המחשוב שבו. נכון ליולי 2024, ה-PUE הממוצע במרכזי נתונים עומד על 1.56.³⁹ גוגל הציגה PUE של 1.09 במרכזי הנתונים שלה ב-2024-2025.⁴⁰

מכאן, בחיבור הנתונים, על כל מאיץ 100H, ההספק הממוצע הדרוש במרכז נתונים הוא 1,092W – מה שיגרור צריכה חודשית של כ-800kWh (קוט"ש), מעט פחות מזו של משק בית ממוצע בישראל (903kWh).⁴¹ במקרה הטוב, אם ניקח את הנתון של גוגל כהספק המינימלי, נקבל 763W וצריכה חודשית של כ-560kWh, מעט יותר מהצריכה הדו-חודשית של משק בית ממוצע בישראל.

כלומר, מערכות התמך של רכיבי המחשוב צורכות כיום כ-50% מצריכת החשמל של רכיבי המחשוב, שאף היא, כפי שראינו, גבוהה למדי. קיים גם צורך בגיבויים למקרה של נפילות חשמל, כאשר היקף הגיבויים תלוי בסוג מרכז הנתונים ובייעודו.

תקנות העברת מידע מחוץ לישראל והקמת מרכזי נתונים בבעלות זרה בישראל

לפני שנוכל לבחון את התאמת מודלי הפריסה השונים לישראל, עלינו לעמוד על המגבלות העיקריות הניצבות כיום בפני מי שמעוניין לעסוק במסדי נתונים גדולים ורגישים, הנחוצים לתפעול מערכות AI במגזרים מסוימים ולמטרות מסוימות. בפרט, נעמוד על ההגבלות לגבי הוצאה של נתונים אל מחוץ לישראל, אם באחסונם ואם בעת השימוש בהם.

כיום, תקנות הגנת הפרטיות (העברת מידע אל מאגרי מידע שמחוץ לגבולות המדינה), תשס"א-2001, קובעות כי: "לא יעביר אדם מידע ולא יאפשר העברה של מידע ממאגר מידע בישראל אל מחוץ לגבולותיה, אלא אם כן דין המדינה שאליה מועבר המידע, מבטיח רמת הגנה על מידע שאינה פחותה, בשינויים המחויבים, מרמת ההגנה על מידע הקבועה בדין הישראלי".⁴² זאת, פרט למספר יוצאי דופן, ובהם – אישור של מושא המידע, מידע שהתפרסם באופן פומבי ובהרשאה, מידע שנחוץ להעביר כדי לשמור על ביטחון הציבור ועוד. כמו כן, ניתן להעביר מידע אם מקבל המידע מתחייב לשמור על כללי הגנת הפרטיות הישראליים, ובכלל זה אם המידע מועבר לארגון הנשלט על ידי בעל מאגר המידע.

ברשימת המדינות המאושרות להעברת מידע מופיעות כלל המדינות החתומות על האמנה האירופית להגנה על יחידים בכל הנוגע לעיבוד אוטומטי של מידע אישי (אמנה 108), ובהתאם – כל מדינות האיחוד האירופי. יש לציין כי ארה"ב אינה נמצאת ברשימה זו.

³⁹ Data Center Average Annual Power Usage Effectiveness (PUE) Worldwide from 2007 to 2024.

⁴⁰ Google Data Centers, "Growing the Internet While Reducing Energy Consumption."

⁴¹ חשמלניק, "דפוסי צריכת משק החשמל בישראל".

⁴² תקנות הגנת הפרטיות (העברת מידע אל מאגרי מידע שמחוץ לגבולות המדינה), תשס"א-2001.

בצד כל אלו, ישנן גם תקנות סקטוראליות. כך למשל, בנק ישראל אינו מתיר לבנקים לאחסן מידע בענן שנמצא מחוץ לגבולות הארץ, אלא אם ספק שירותי הענן עומד בתקנות מחייבות.⁴³

יש לציין שלפי הנחיה בדבר תחולת חוק הגנת הפרטיות על מערכות AI, "הוראות חוק הגנת הפרטיות חלות לא רק על מידע אישי שמוזן לתוך מערכת בינה מלאכותית – אלא גם על מידע אישי שהמערכת מסיקה מהנתונים שהוזנו אליה". כמו כן, "יש לוודא קיומו של בסיס חוקי כתנאי לעיבוד מידע אישי בכל אחד משלבי מחזור החיים של מערכת הבינה המלאכותית, ובכלל זה פיתוח ואימון המודלים, והשימוש במערכות לעיבוד המידע בפועל".⁴⁴

נקודה חשובה היא שמבחינת הרגולציה הישראלית, אין הבדלים רגולטוריים בין ספקי מרכזי נתונים ישראליים לכאלה זרים. זאת, פרט לחובה לעבור בחינה של היבטי ביטחון לאומי בהשקעות זרות.⁴⁵ על אף זאת, כל מקרה נבחן לגופו, ובתנאי ההסכם יכולות להופיע הגבלות נוספות. כך למשל, במסגרת מכרז פרויקט נימבוס להקמת תשתיות נתונים ו-AI לממשלת ישראל, בו זכו גוגל ו-AWS, נאמר כי אין באפשרות החברות למנוע שירותים מהממשלה, יהיו השירותים אשר יהיו.⁴⁶

⁴³ Amit Dat and Omri Rachum-Twaig, Israel - Data Transfers.

⁴⁴ הרשות להגנת הפרטיות, הנחיה – תחולת חוק הגנת הפרטיות על מערכות בינה מלאכותית.

⁴⁵ הוועדה המייעצת לבחינת היבטי ביטחון לאומי בהשקעות זרות.

⁴⁶ Dan Swinhoe, Israel Government Says AWS and Google Can't Boycott Nimbus Project.

4 | מודלי פריסה ואסטרטגיות לאומיות – סקירה בינלאומית

כעת, לאחר שבחנו את מודלי הפריסה השונים ואת התועלות של כל אחד מהם, נתבונן במודלי הפריסה ובמדיניות בנושא של מדינות נבחרות. נעשה כן בראי המאפיינים הייחודיים של אותן מדינות – הדרישות הגיאופוליטיות, הנתונים הגיאוגרפיים והדמוגרפיים, נקודות החוזק והחולשה – ובראי המטרות המוצהרות שלהן לגבי עתידן בעולמות ה-AI.

מגמות עולמיות

שדה ה-AI העולמי נשלט באופן מובהק בידי שתי שחקניות עיקריות – ארה"ב וסין. נכון למאי 2025, ארה"ב מחזיקה בכ-75% מכוח מחשוב העל העולמי, כאשר סין במקום השני עם 15.47%.⁴⁷ כמו כן, לפי דוח ה-AI של סטנפורד לשנת 2025, ארה"ב מובילה עם 40 מודלי AI ראויים לציון, לעומת 15 של סין (ושלושה של האיחוד האירופי). ואולם, בעוד שב-2023 עמד הפער בביצועים בין המודלים האמריקאיים לבין אלו הסיניים על עשרות אחוזים, ב-2024 כבר כמעט שאין פער.⁴⁸ אשר לריבונות ה-AI, כפי שפירטנו קודם לכן, ישנן שש ענקיות מרכזי נתונים – כולן אמריקאיות או סיניות – וענקית אחת בלבד השולטת בכ-85%-90% משוק המאיצים העולמי, Nvidia האמריקאית.

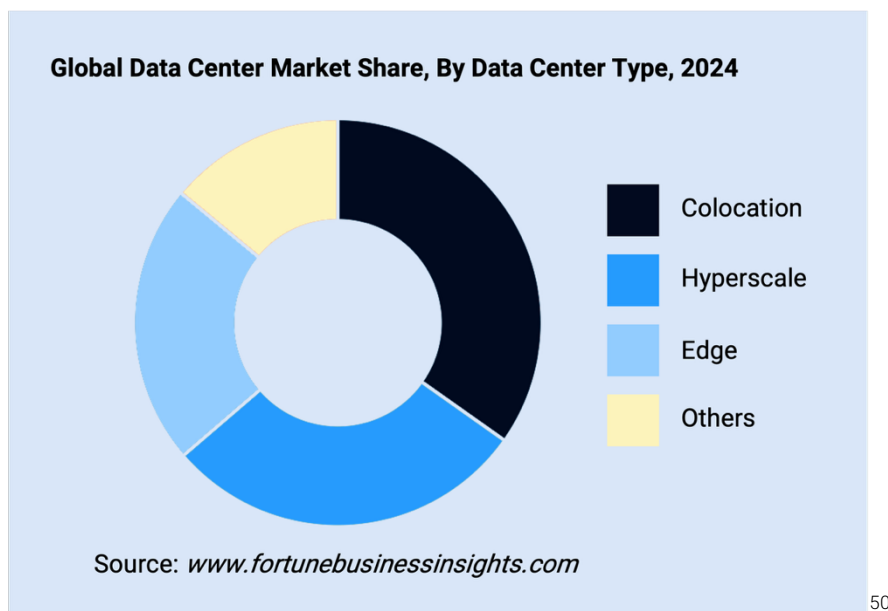
מבחינת האנרגיה הנדרשת, כאמור, ב-2024 צרכו מרכזי הנתונים כ-415 TWh, שהם כ-1.5% מצריכת החשמל העולמית, עם צפי לגידול עד כדי 3% ואפילו 4.5% מהצריכה העולמית עד 2030.⁴⁹ שווי שוק מרכזי הנתונים העולמי הוא \$269.79B ב-2025, והוא צפוי יותר מלהכפיל את עצמו בשנים הקרובות ולהגיע ל-\$584.86B ב-2032.

בחלוקה למודלי פריסה, כ-35% ממרכזי הנתונים מיועדים להשכרת מדפים (מודל ענן בשכירות). כ-30% שייכים לאותן חברות ענק (Hyperscalers) כמו גוגל, אמזון ומיקרוסופט, המספקות מודלי פריסה של ענן ציבורי ושל ענן פרטי על תשתית ציבורית (בצד פתרונות ייעודיים יותר במקרים מסוימים). מרכזי נתונים אלו צפויים לגדול בקצב המשמעותי ביותר. כ-20% נוספים מיועדים למחשוב קצה, והאחוזים הנותרים מיועדים למודלים אחרים.

⁴⁷ Epoch AI, The US Hosts the Majority of AI Supercomputers, Followed by China.

⁴⁸ Yolanda Gil and Raymond Perrault, Artificial Intelligence Index Report 2025.

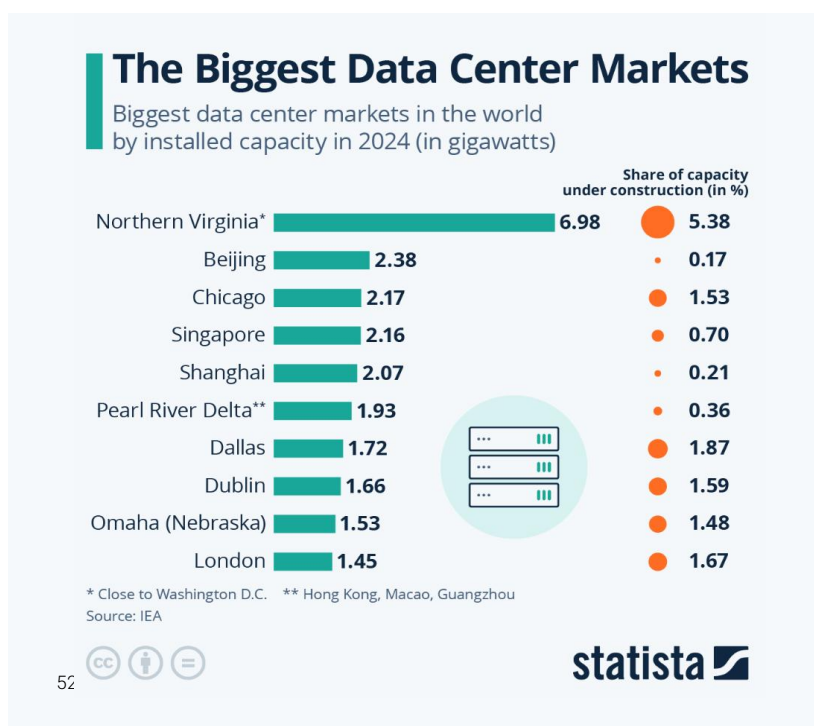
⁴⁹ IEA, Energy and AI, 14; semianalysis, AI Datacenter Energy Dilemma – Race for AI Datacenter Space.



בחלוקה גיאוגרפית של מרכזי הנתונים, צפון אמריקה היא המובילה, כאשר צפון וירג'יניה נחשב לאזור הדאטה סנטרים בעל ההספק הגבוה בעולם – 6.98GW, אחריו בייג'ינג עם 2.38GW, ולאחר מכן שיקגו, סינגפור ועוד. דבלין מתייצבת במקום הראשון באירופה והשמיני בעולם עם 1.72GW. שקלול אזורי מרכזי הנתונים הגדולים בארה"ב – צפון וירג'יניה, שיקגו, דאלאס ואומהה – הגיע בשנת 2024 ל-12.4GW, שהם כ-21% מסך ההספק של מרכזי הנתונים בעולם (59.58GW⁵¹). שקלול האזורים המובילים במזרח אסיה – בייג'ינג, סינגפור, שנגחאי, הונג קונג, מקאו וגואנגג'ואו – הסתכם ב-8.5GW, כ-14% מההספק העולמי. מרכזי נתונים בדבלין ובלונדון – הריכוזים הגדולים באירופה – הגיעו יחד ל-3.11GW, כ-5% מההספק העולמי.

⁵⁰ Fortune Business Insights, Data Center Market Size, Share & Industry Analysis, By Component (Hardware, DCIM (Data Center Infrastructure Management) Software, and Services), By Data Center Type (Colocation, Hyperscale, Edge, and Others), By Tier Level (Tier 1 and Tier 2, Tier 3, and Tier 4), By Data Center Size (Small, Medium, and Large), By Industry (BFSI, IT & Telecom, Healthcare, Government, Manufacturing, Retail & E-Commerce, and Others), and Regional Forecast, 2025-2032.

⁵¹ Mordor Intelligence, Data Center Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030.



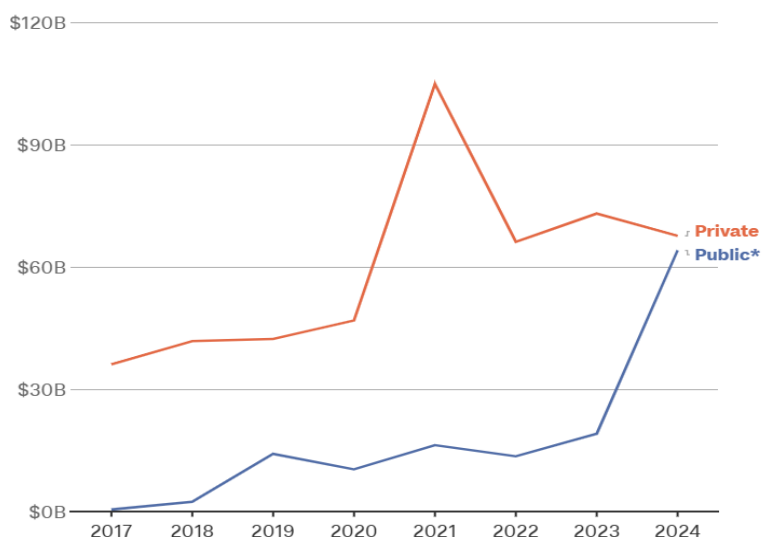
מבחינת הרגולציה, ניתן לסמן שני קצוות: האיחוד האירופי, שחוקק חוק AI נרחב ומגביל המציב כערך מובהק את השמירה על הפרטיות ואת האתיקה בפיתוחי AI; וארה"ב, הדוגלת בגישה של הנחת עקרונות ותקנות לסקטורים ספציפיים, תוך שימת הדגש על עידוד חדשנות בתחום ה-AI. בין לבין ניצבת סין, עם חקיקה מהירה וגמישה בהתאם להתפתחויות ועם התערבות רבה של הממשל במערכות ה-AI, באופן שמאפשר צנזורה ואכיפה סלקטיבית.⁵³

ככלל, 2024 נחשבת לשנה שבה ממשלות זיהו את הערך והפוטנציאל של ה-AI, עם זינוק בהשקעות הממשלתיות לכדי \$64B לעומת \$19B בלבד ב-2023 – תוך צמצום מדהים של הפער בין השקעות ממשלתיות לפרטיות ל-\$4B בלבד.

⁵² Anna Fleck, Which Regions Have the Biggest Data Centers?

⁵³ Emmanuel Pernot-Leplay, Ph.D, The AI Dilemma: AI Regulation in China, EU & the U.S

Annual global investment in AI, by type



Sources: Crunchbase, Tortoise analysis
Shows figures through September 2024.
54*Based on government spending commitments

לאור הנתונים הללו, שאר מדינות העולם – שאינן ארה"ב או סין – ניצבות בפני דילמה: כיצד למצב את עצמן כמובילות בתחום ה-AI, כאשר התחרות על כוח המחשוב מול שתי הענקיות היא כמעט בלתי אפשרית. נסקור להלן את האופן שבו בחרו ארבע מדינות נבחרות להתמודד עם מציאות זו.

מדינות נבחרות

בריטניה

בריטניה מדורגת במקום הרביעי במדד ה-AI של Tortoise לשנת 2024, עם דירוגים גבוהים בתחומי מאגר המומחים, הסביבה התפעולית, המחקר, האסטרטגיה הממשלתית והסביבה המסחרית, אך נמוכים יחסית בתשתיות ובפיתוחים.⁵⁴ ואכן, בבריטניה יש מספר גדול של סטארט-אפי AI, חוקרים ואוניברסיטאות מובילים ברמה עולמית, וכן מרכזי נתונים (רובם מרוכזים באזור לונדון)⁵⁶ בהספק של כ-1.6GW ובשווי של \$10.69B, שצפוי לצמוח ל-\$22.65B עד 2030.⁵⁷ אולם, במידה רבה, בריטניה חייבת את ההובלה שלה לחברת DeepMind, שנרכשה ב-2014 על ידי גוגל האמריקאית והפכה בסיס למודלי ה-AI המתקדמים שלה. כך למשל, 7.2% מהציטוטים ב-100 המאמרים המובילים בתחום ה-

⁵⁴ Tortoise, The Global Artificial Intelligence Index 2024.

⁵⁵ Tortoise, The Global Artificial Intelligence Index 2024.

⁵⁶ Estimate of Data Centre Capacity: Great Britain 2024.

⁵⁷ Research and Markets, United Kingdom Data Center Market - Investment Analysis & Growth Opportunities 2025-2030.

AI הם של חוקרים בריטיים, אולם בניכוי ציטוטים ממחקרים של DeepMind, שיעור הציטוטים יורד ל-1.9%⁵⁸.

בשנת 2021 פרסמה ממשלת בריטניה את התוכנית הלאומית ל-AI לטווח של 10 שנים, ובה הצהרה שהמדינה מכוונת להיות "המקום הטוב ביותר לחיות ולעבוד בו עם AI, עם חוקים ברורים, עקרונות אתיים מיושמים וסביבה רגולטורית תומכת חדשנות".⁵⁹ בין השאר, הוחלט ליצור את AI Research Resource (AIRR) – צבר מחשבי על בשליטת המדינה ובשיתוף האוניברסיטאות קיימברידג' ובריסטול והחברות HPE, Dell, Intel ו-Nvidia, שנועד לשרת את המחקר והפיתוח הבריטי.⁶⁰ בינואר 2025 פרסמה הממשלה תוכנית חדשה ובה החלטה להרחיב את המשאבים במסגרת זו פי 20. תחת ההנחה שהספק מרכזי הנתונים בבריטניה יגיע ל-6GW ב-2030. במסגרת זו, יצאה קריאה לרשויות מקומיות ולחברות מרכזי נתונים ואנרגיה להציע אזורים בבריטניה שעומדים במספר קריטריונים (בהם אפשרות לספק מעל 500MW חשמל ב-2030, מרחב פיזי גדול מספיק, גישה למים ולתקשורת, הוכחת התכנות ועוד), על מנת להפוך אותם ל-AI Growth Zones (AIGZs) – אזורים שיקבלו סיוע והטבות מהמדינה להקמה ולתפעול של מרכזי נתונים עם הספק של מעל 500MW.⁶¹ כמו כן, ביולי 2025, הממשלה הציגה תוכנית נוספת ליכולות המחשוב של בריטניה ובה פירוט של 10 צעדים לקידום ה-AI במדינה, בהם הקריאה להקמת AIGZs שפירטנו לעיל, החלטה להשקיע מעל \$1.34B (£1B) ב-AIRR, להגדלת יכולות החישוב שלו פי 20, ו-\$1B (£750M) בהקמה של מחשב-על חדש באדינבורו, הבטחת גישה ריבונית ל-AI לגופים בטחוניים, ולמוסדות מחקר וחדשנות בעלי אימפקט גבוה, השקעה בחיפוש אחרי תשתיות אנרגיה חדשניות, ועוד.⁶²

באופן כללי, במדד הריבונות, בריטניה נוטה לאפשר כניסה רבה של חברות זרות, בעיקר אמריקאיות. במאי 2025 היא חתמה על הסכם סחר עם ארה"ב, המבטיח מסחר והשקעות בהיקפים גדולים יותר בעולם הדיגיטלי בין המדינות. כמו כן, מספר חברות אמריקאיות הכריזו על הקמת מרכזי נתונים בבריטניה בעלות משותפת של עשרות מיליארדי דולרים.⁶³ עם זאת, נכון ל-2023, בין אזורי הנתונים (אזור עם מרכז נתונים אחד או יותר של אותה חברה) שבבעלות חברות אמריקאיות וסיניות בבריטניה, כ-25% היו בבעלות סינית.⁶⁴

⁵⁸ Matt Davies, "A Lost Decade? The UK's Industrial Approach to AI."

⁵⁹ National AI Strategy, 2021.

⁶⁰ Department for Science, Innovation and Technology and UK Research and Innovation, "AI Research Resource."

⁶¹ Department for Science, Innovation and Technology, "AI Growth Zones: Open for Applications."

⁶² Department for Science, Innovation and Technology, UK Compute Roadmap.

⁶³ Megan Kirkwood, "The UK's AI Strategy Risks Entrenching the Power of Big Tech."

⁶⁴ Katharina Bucholz, "Where Chinese or American Tech Is Used in Cloud Data Storage."

מבחינת מאגרי הנתונים עצמם, הוחלט להקים ספריית נתונים לאומית הכוללת חמישה מסדי נתונים משמעותיים. כן הושק NHS AI Lab – גוף להפקת תוצרים באמצעות בינה מלאכותית מתוך מאגרי שירות הבריאות הלאומי (NHS).⁶⁵

לעומת האיחוד האירופי, הרגולציה הבריטית רכה בהרבה ומציבה את החדשנות במקום הראשון, לעיתים על חשבון השמירה על הפרטיות וביטחון המידע. כמו כן, בשל המעורבות הרבה של חברות הטכנולוגיה האמריקאיות הן בשוק הפרטי הבריטי והן בתשתיות המחשוב של הממשל, עולה חשש כי אלו עלולות להפעיל לחצים כבדים על גורמי הרגולציה להגביל פיקוח על התחרות והפרטיות.⁶⁶ לסיכום, בריטניה, בדומה לישראל, מנסה לשמר את מעמדה כמובילה בתחום ה-AI (וכמובילה טכנולוגית בכלל). היא עושה זאת באמצעות השקעה בהקמה ובפיתוח של תשתיות מחשוב לאומיות לשימוש כלל המגזרים, הנגשה של מאגרי נתונים והבטחת הגישה לתשתיות למוסדות בעלי אימפקט גבוה.

סינגפור

כמדינת אי קטנה ומתקדמת, סינגפור היא מקרה בוחן מעניין. היא מדורגת במקום השלישי במדד ה-AI של Tortoise, לאחר ארה"ב וסין, עם ציונים גבוהים במיוחד במדדי התשתיות והמחקר (השלישית בשני התחומים, אחרי סין וארה"ב) וכן בשאר המדדים, פרט לסביבה התפעולית – בעיקר בשל "בריחת מוחות" גדולה.⁶⁷

ב-2019 הציגה סינגפור את התוכנית האסטרטגית הלאומית ל-AI, שהניחה בשלב מוקדם יחסית את התשתית הרעיונית בנושא. זו התמקדה בתשעה סקטורים: תחבורה ולוגיסטיקה, ייצור, פיננסים, ביטחון ואבטחה, הגנה בסייבר, ערים חכמות, בריאות, חינוך וממשלה, וכן ב-"מאפשי AI" (AI enablers): שיתופי פעולה בין המחקר, התעשייה והממשלה; חינוך למומחיות ב-AI; ארכיטקטורת נתונים; סביבה אמינה ומתקדמת; ושיתוף פעולה בינלאומי. התוכנית הובילה להקמה של כ-150 קבוצות מחקר וכ-900 סטארט-אפים בעולמות ה-AI. למעשה, כבר ב-2017 הוקם AI Singapore – מטריית על לתכלול ולקידום המחקר, התעשייה והמשילות בתחום ה-AI. ב-2019 פרסמה סינגפור את המסגרת (Framework) הראשונה בעולם למשילות במודלי AI, וב-2022 השיקה מערכת למדידת משילות זו והנגישה אותה בקוד פתוח.

⁶⁵techUK, "The UK's AI Moment: An Ambitious New Plan for Innovation and Growth."

⁶⁶Andrew Charlesworth et al., "What Are the Main Shortcomings of the 'pro-Innovation Approach to AI Regulation' White Paper Published by the UK Government in March 2023?"

⁶⁷Tortoise, The Global Artificial Intelligence Index 2024.

ב-2023 עודכנה האסטרטגיה הלאומית בתוכנית חדשה, שסימנה שלושה צירי שינוי: (א) AI הוא לא עוד הזדמנות בלבד, אלא הכרח. (ב) מעבר מהתמקדות מקומית בסינגפור למיצובה כמובילה עולמית. (ג) מעבר מהובלת פרויקטים לעיצוב מערכות שיתמכו ב-AI. התוכנית גם הציבה 15 פעולות לביצוע בטווח זמן של 3-5 שנים, ובהן: חיזוק המחקר והתעשייה, כולל הגדלה של מאגר מומחי ה-AI ל-15 אלף; פינוי מקום פיזי לצורכי AI; הגדלת יכולות המחשוב עתיר הביצועים הריבוניות (בהשקעה של \$500M); פתיחת מידע ממשלתי לשימוש הציבורי; פיתוח טכנולוגיות לשמירה על פרטיות, ועוד.⁶⁸

נוסף על כל אלו, ביוני 2023 פורסמה תוכנית הקישוריות הדיגיטלית של סינגפור, ובה יעד ליצירת חיבוריות מקומית של 10Gbps (גיגה-בייט לשנייה - יחידה למדידת כמות המידע שעוברת ברשת בשנייה אחת. לשם השוואה, ברבעון הראשון של 2025, מהירות ההורדה הממוצעת בישראל הייתה 169.1Mbps, קטן פי 60 מהיעד הסינגפורי, כאשר רוב חברות התקשורת בישראל מאפשרות גישה פרטית מקסימלית של 1Gbps)⁶⁹ תוך חמש השנים ולהבטחת אנרגיה ירוקה.⁷⁰ ב-2024 פורסם המשך לתוכנית העוסק במרכזי נתונים ירוקים, תוך הצבתם על שלושה פרמטרים: יעילות אנרגטית של המרכז ושל החומרות שבו, ייצור אנרגיה ירוקה, ויעילות בשימוש במים.⁷¹

מבחינת אסטרטגיה גיאופוליטית, גם בתחום ה-AI דוגלת סינגפור בגישת "חבר לכולם, אויב לאף אדם", ומשתדלת להיות במקום טוב באמצע בין שתי השחקניות הגדולות. כך למשל, נכון ל-2023, ישנו איזון מוחלט בין אזורי הנתונים של ספקיות סיניות לבין אלה של ספקיות אמריקאיות בסינגפור.⁷² בבחינת סטטוס התשתיות הנוכחי, ב-2024 הסתכמו כלל הדאטה סנטרים של סינגפור בהספק של 717MW ובשווי שוק של \$3.3B,⁷³ לרבות השקעה מסיבית של מיליארדי דולרים מצד כל ענקיות הטכנולוגיה, האמריקאיות והסיניות גם יחד. נתון מדהים נוסף הוא ש-15% מהפדיון העולמי של Nvidia מגיע מסינגפור ומסתכם, בהתחשב בגודל האוכלוסייה הסינגפורית, ב-\$600 לנפש לשבבים של Nvidia – פי 10 ביחס לארה"ב ופי 200 לעומת סין.⁷⁴ לכך מתווספים המעמד ההיסטורי של סינגפור כמרכז סחר של דרום-מזרח אסיה, והיותה מקום חיבור של עשרות כבלים תת ימיים המקשרים את מזרח אסיה למרכז ולמערב ואף לאירופה, צפון אמריקה ואוסטרליה.⁷⁵

סביבת סטארט-אפי ה-AI הסינגפורית כוללת 650 חברות הזנק, ובהן, נכון ליוני 2025, 32 "חדי קרן" (המוערכים במעל מיליארד דולר). שתיים מהאוניברסיטאות במדינה מדורגת בעשירייה הראשונה

⁶⁸ National AI Strategy.

⁶⁹ SPEEDTEST, "Israel Median Country Speeds".

⁷⁰ Digital Connectivity Blueprint.

⁷¹ Mark Wong, "Singapore's Green Data Centre Roadmap – Representing a Necessary Intersection between Digital Infrastructure and Sustainability."

⁷² Katharina Bucholz, "Where Chinese or American Tech Is Used in Cloud Data Storage."

⁷³ Structure Research, Singapore 2024: Data Centre Colocation, Hyperscale Cloud & Interconnection.

⁷⁴ Blake Crosley, "Singapore's \$27B AI Revolution Powers Southeast Asia 2025."

⁷⁵ TeleGeography, "Submarine Cable Map | Singapore."

בתחום ה-AI (Nanyang Technological University) במקום השלישי ו-National University of Singapore (בתשיעי).

עקב אכילס של סינגפור, כאמור, הוא מניין טאלנטי ה-AI, כאשר 74% מהמעסיקים מתקשים למצוא מועמדים מתאימים בתחום. אולם המדינה משקיעה משאבים רבים בהכשרות ובתוכניות אקדמיות לשיפור נתון זה.⁷⁶

לסיכום, סינגפור היא דוגמה ומופת לביסוס תשתיות פיזיות, אופרטיביות ואקדמיות רחבות לשם הובלה בתחום ה-AI, עם השקעה כספית רבה אך צנועה ביחס לענקיות התחום, ועל אף שטחה הקטן ומשאביה הפיזיים הדלים.

איחוד האמירויות

איחוד האמירויות פצחה במסע "להפוך למדינה הטובה ביותר בעולם ביובל הקרוב, עד שנת 2071", במסגרת תוכנית המבוססת על ממשלה ממוקדת עתיד, חינוך מעולה, כלכלה תחרותית ומגוונת (תוך הפחתה בהסתמכות על נפט) וחברה שמחה ומלוכדת.⁷⁷ בהתאמה מוצהרת לתוכנית זו עומדת האסטרטגיה הלאומית לבינה מלאכותית 2031, כמנוע לשיפור החינוך, הכלכלה, הממשל והאוויר. זו מציגה שמונה מטרות אסטרטגיות לביסוס מעמד המדינה כשחקנית עולמית בתחום ה-AI, וכן ארבעה נתיבי הובלה ב-AI: (א) הובלה במשאבים התעשייתיים הנוכחיים ובסקטורים מתעוררים כגון בריאות וסייבר (תוך הערכה כי השקעה בסקטורים אלו תגדיל את הייצוא הכולל ב-AED335B (כ-91.5B\$). (ב) הובלה בממשל חכם, כולל תחבורה חכמה, צ'אטבוטים לשירות לקוחות ועוד. (ג) שיתוף בנתונים ומשילות. (ד) דור חדש של טאלנטים אזוריים.⁷⁸

איחוד האמירויות מדורגת, אומנם, רק במקום ה-20 במדד ה-AI של Tortoise,⁷⁹ אולם נראה שהעתיד פרוס לפניה. שוק מרכזי הנתונים, שהספקו, נכון ל-2024, הוא מעל 350MW,⁸⁰ צפוי לגדול עד 2030 בכ-750MW, כאשר הספק מרכזי הנתונים שהתווספו במדינה ב-2024 מהווה כ-30% מההספק המיועד למרכזי הנתונים שהתווספו בכל המזרח התיכון. אשר לשווי השוק, עד 2030 הוא צפוי לצמוח בקצב שנתי ממוצע של 17.64%. השוק נשלט במידה רבה על ידי שחקניות אזוריות ובראשן Khazna – זרוע השכרת החומרה של החברה האמירית הנתמכת ממשלתית G42, אשר שולטת ב-59%

⁷⁶ Blake Crosley, "Singapore's \$27B AI Revolution Powers Southeast Asia 2025."

⁷⁷ UAE Centennial 2071.

⁷⁸ UAE National Strategy For Artificial Intelligence 2031.

⁷⁹ Tortoise, The Global Artificial Intelligence Index 2024.

⁸⁰ Research and Markets, UAE Existing & Upcoming Data Center Portfolio Report 2025: Existing Data Center Capacity in UAE Is Over 350 MW, While the Upcoming Capacity in the Region Is Expected to Be Around 500 MW.

מהשוק.⁸¹ לאלו מתווסף הפרויקט השאפתני Stargate UAE – שיתוף פעולה בין G42 והממשל האמירתי לבין חברות ענק אמריקאיות להקמת מחשב על בהספק עצום של GW1. לשם השוואה, מרכז הנתונים הגדול בעולם כיום, China Telecom Data Center, הספקו 150MW "בלבד". Stargate UAE יהיה חלק מקמפוס ה-AI המשותף לאיחוד האמירויות ולארה"ב, שיקום באבו דאבי בהספק של 5GW. מחוץ לאמירויות, G42 כבר מפעילה מרכזי נתונים בהספק כולל של מאות מגה-וואטים בארה"ב, וחתומה על הסכמים להעברת עודפי GPUs עם ענקיות טכנולוגיה אמריקאיות כגון מיקרוסופט.⁸² צעדים אלו מבססים את הריבונות החישובית האמירית, תוך חיזוק משמעותי לשיתוף הפעולה עם ארה"ב – ובחירת צד מובהקת במאבק הבין מעצמתי.⁸³

איחוד האמירויות גם עושה שימוש בצד הרגולטורי לשם שמירה על פרטיות וביסוס הריבונות. כך למשל, נתונים פיננסיים, רפואיים, Internet of Things (IoT) וטלקום חייבים להישאר בתחומי האיחוד.⁸⁴ חוקי פרטיות מחייבים לקבל הסכמה מאדם לפני איסוף נתונים אישיים לגביו, למעט במקרים מסוימים של אינטרס ציבורי מתנגש, ויש לאפשר לאדם לשנות את הנתונים שנאספו לגביו או להפסיק את עיבודם.⁸⁵ איחוד האמירויות גם מפעילה אזורי סחר חופשי, ובפרט כאלו הייעודיים ל-AI, שבהם ישנן תקנות רגולטוריות שונות העומדות בקנה אחד עם סטנדרטים גלובליים כמו GDPR (תקנות הפרטיות והשימוש במידע אישי של האיחוד האירופי).⁸⁶ אזורים אלה גם כוללים פטור ממס חברות ובעלות זרה והטבות נוספות, ולכן מהווים יעד אטרקטיבי להשקעות זרות.⁸⁷ לצידם, ישנן סביבות משמעותיות המתמרצות ומסייעות לסטארט-אפים ומו"פ, כגון Hub71 – האקוסיסטם הגלובלי של אבו דאבי.⁸⁸

בתחום המחקר והפיתוח, Mohamed bin Zayed University of Artificial Intelligence (MBZUAI), שנוסדה ב-2019, היא אוניברסיטת מחקר ה-AI הראשונה בעולם, ומטרתה למשוך ולייצר מומחים עולמיים בתחום.⁸⁹ Technology Innovation Institute הוא גוף מחקר טכנולוגי, שבין היתר, פיתח את סדרת מודלי השפה הגדולים Falcon. ביניהם: Falcon-H1, המציג ביצועים גבוהים במטרה

⁸¹ Arizton Advisory and Intelligence, United Arab Emirates Data Center Market - Investment Analysis & Growth Opportunities 2025-2030.

⁸² Dylan Patel et al., "AI Arrives In The Middle East: US Strikes A Deal with UAE and KSA."

⁸³ G42, "Global Tech Alliance Launches Stargate UAE."

⁸⁴ Daljeet Singh, Data Residency in the UAE : The Definitive Guide.

⁸⁵ U.A.E, "Data Protection Laws."

⁸⁶ Daljeet Singh, Data Residency in the UAE : The Definitive Guide.

⁸⁷ "AI Investment and Business Opportunities in the UAE: Growth, Regulations, Key Sectors."

⁸⁸ Hub71, "Who We Are | Hub71."

⁸⁹ Mohamed Bin Zayed University of Artificial Intelligence, "Mohamed Bin Zayed University of Artificial Intelligence | About."

לאפשר שימוש במכשירי קצה ובסביבה המוגבלת במשאבי חישוב, וכן Falcon Arabic, המודל המוביל בעולם בשפה הערבית.⁹⁰

בסך הכול, לפי ההערכות, שוק ה-AI המקומי צפוי לגדול משווי של \$3.47B ב-2023 לכדי \$46-50B ב-2030 – קצב צמיחה שנתי ממוצע מדהים של 43.9%.⁹¹ איחוד האמירויות משקיעה משאבים אדירים כדי להפוך למובילה עולמית בתחום ה-AI, מתוך שאיפה להשעין עליו את כלכלתה ומתוך מחשבה שזהו בסיס משמעותי בדרך להפיכתה למדינה הטובה בעולם.

סעודיה

סעודיה מדורגת במקום ה-14 במדד Tortoise לשנת 2024, עם ציונים נמוכים יחסית במרבית הקריטריונים, אולם מתבלטת בקריטריון אחד – ההוצאה הממשלתית על AI. בנתון זה היא ניצבת במקום הראשון, הרחק מעבר לארה"ב, סין ויתר המדינות,⁹² עם הוצאה כוללת מתוכננת של מעל \$40B בעשור הקרוב.⁹³ ואכן, הממשל הסעודי הוא מנוע החדשנות העיקרי של סעודיה. בשנת 2016 הושקה בעשור הקרוב. 2030 Saudi Vision – תוכנית העל של סעודיה לשנים הקרובות. יעדיה: גיוון הכלכלה מעבר לתלות בנפט וגז, העצמת האזרחים, יצירת סביבה תוססת למשקיעים מקומיים ובינלאומיים וביסוס סעודיה כמובילה עולמית.⁹⁴ עולם הבינה המלאכותית ניצב במרכז התוכנית, כשבין 96 מטרותיה, 66 קשורות לנתונים ו-AI,⁹⁵ תוך תרומה צפויה של \$235.2B (12.4%) לתמ"ג.⁹⁶ להשגת המטרות השאפתניות הוקמה הרשות הסעודית לנתונים ובינה מלאכותית (SDAIA), שפרסמה ב-2020 את האסטרטגיה הלאומית לנתונים ו-AI. זו הציבה שלוש אבני דרך תחומות בזמן: (א) 2021 – טיפול בצרכים הדחופים של סעודיה. (ב) 2025 – בניית התשתיות ליתרון תחרותי בנישות ספציפיות – חינוך, ממשל, בריאות, אנרגיה ותחבורה. (ג) 2030 – התחרות בשדה העולמי ככלכלה מובילה בשימוש וביצוא של נתונים ו-AI. בתוכנית הוצבו גם מטרות כמותיות, כגון: דירוג בין 15 המדינות המובילות ב-AI, ועוד מטרות המסמנות את היקפי ההשקעה, מניין הטאלנטים והמיקום במדדי ה-AI העולמיים.⁹⁷

⁹⁰ "Falcon."

⁹¹ Ahmed El Safty, "UAE AI Ambitions: Building the Foundations of the next Economic Growth Era."

⁹² Tortoise, The Global Artificial Intelligence Index 2024.

⁹³ Niusha Shafiabady, "Saudi Arabia Has Big AI Ambitions. They Could Come at the Cost of Human Rights."

⁹⁴ Vision 2030.

⁹⁵ SDAIA, "Saudi Data & AI Authority and Vision 2030."

⁹⁶ Zuhair Khayyat, "AI Is Powering Saudi Arabia's Vision 2030 Transformation."

⁹⁷ SDAIA, "National Strategy for Data & AI."

כיום, נראה שחלקים רבים באסטרטגיה אכן מתקדמים. שוק מרכזי הנתונים הסעודי כולל הספק של 440MW נכון ל-2025 וצפוי לגדול ל-1,190MW ב-2030, עם CAGR של 21.87% (הגבוה בין המדינות שסוקרו).⁹⁸ שווי שוק מרכזי הנתונים צפוי לגדול מ-\$1.6B ב-2025 ל-\$5.3B ב-2032, CAGR של 16.3%.⁹⁹ אחד הגורמים המשמעותיים שמושכים חברות להקים מרכזי נתונים בסעודיה הוא מחיר החשמל הנמוך יחסית – \$0.05 ל-kWh, לעומת כ-\$0.18 בארה"ב.¹⁰⁰ לצד זאת, סעודיה משקיעה באנרגיה ירוקה, ואף מתכננת להפעיל את מרכז הנתונים Oxagon ב-NEOM, מטרופולין העסקים המהווה את פרויקט הדגל של הקדמה הסעודית, על בסיס אנרגיה ירוקה בלבד. בהקשרי תשתיות תקשורת, בשנים האחרונות חל שיפור משמעותי בתשתיות האינטרנט במדינה, עם כ-99% חיבוריות. כך גם בתשתיות הרשת הסלולרית, כאשר 70% מהאזורים המיושבים כוללים רשתות 5G.¹⁰¹ זאת, בצד חיבור לעשרות כבלים תת ימיים העוברים דרך סעודיה ומקשרים בין אירופה, אפריקה ואסיה.¹⁰²

הזרוע המבצעת של הממשל הסעודי להעברת היקפי הכספים העצומים הללו היא קרן ההשקעות הציבורית הסעודית (PIF). בבעלותה, בין השאר, חברת HUMAIN, שמטרתה לספק פתרון לכל שכבות ה-AI, והיא מסתמנת כמקבילה ל-G42 האמירית. HUMAIN כבר חתמה על מספר עסקאות ענק עם חברות טכנולוגיה אמריקאיות להקמת מרכזי נתונים ולהטמעת פלטפורמות AI.¹⁰³ יש לציין שתנועה זו לכיוון הסכמים עם חברות אמריקאיות מסמלת שינוי ביחס למודל הסעודי ההיסטורי, שבו, אף בשנת 2023, סין הייתה הדומיננטית מבין המעצמות במרכזי הנתונים בסעודיה.¹⁰⁴

מבחינת רגולציה, סעודיה מציגה חוקים מחמירים עם עונשים כבדים בהקשרי פרטיות ושמירה על מידע מקומי. כך, כל מידע על תושבי סעודיה חייב להישמר בתחומיה; יש לבקש אישור לאיסוף של כל פרט מידע ולשימוש בו, ולאפשר למושאי המידע גישה למידע שנאסף ובקשה לשינוי, להפסקת השימוש בו ולמחיקתו; ויש לאסוף את המידע המינימלי הנדרש לכל צורך.¹⁰⁵ מצד שני, סעודיה מנגישה את מאגרי המידע הפתוחים שלה באופן חניני, שווה לכול ונגיש לקריאת מכונה.¹⁰⁶ אולם, יש החוששים כי סעודיה, כמדינה בעלת מוניטין מפוקפק בהיבטי שמירה על זכויות אדם, תשתמש

Mordor Intelligence, Saudi Arabia Data Center Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS &⁹⁸ FORECASTS UP TO 2030.

Saudi Arabia Data Center Market Size Forecast.⁹⁹

World Population Review, "Cost of Electricity by Country 2025."¹⁰⁰

Saudi Arabia Data Center Market Size Forecast.¹⁰¹

TeleGeography, "Submarine Cable Map | Saudi Arabia."¹⁰²

Dylan Patel et al., "AI Arrives In The Middle East: US Strikes A Deal with UAE and KSA"; Jamie Lane,¹⁰³ "HUMAIN to Launch Arabic-Centric ALLaM 34B Foundation Model by End of August"; Nvidia Newsroom, "HUMAIN and NVIDIA Announce Strategic Partnership to Build AI Factories of the Future in Saudi Arabia."

Katharina Bucholz, "Where Chinese or American Tech Is Used in Cloud Data Storage."¹⁰⁴

InCountry Staff, "Saudi Arabia Data Sovereignty Policies and Requirements."¹⁰⁵

Gov.Sa, "Open Government Data."¹⁰⁶

במסגרת איסוף הנתונים הקשיחה שלה לשם מעקב אחר תושבים. כך למשל, The Line, העיר החכמה שקמה במסגרת NEOM, צפויה לאסוף כמעט את כל הנתונים האישיים האפשריים על תושביה, ויש שכינו אותה "עיר מעקב".¹⁰⁷

לסיכום, סעודיה, כמו איחוד האמירויות, מנסה לנוע לעבר כלכלה הנשענת על מנועי צמיחה שונים מנפט וגז, ורואה ב-AI את התשובה האולטימטיבית למטרה זו. הממשל הסעודי מוביל את המהלך, עם השקעה אגרסיבית ומסיבית בכל שכבות מחסנית ה-AI ובעזרת שיתופי פעולה רבים ומגוונים, תוך הסתמכות על היתרונות הנוכחיים של הכלכלה הסעודית – מיקום אסטרטגי, אנרגיה זולה ועושר כלכלי ממשלתי.

¹⁰⁷ Niusha Shafiabady, "Saudi Arabia Has Big AI Ambitions. They Could Come at the Cost of Human Rights."

5 | הערך של מודלי הפריסה לארבעת המגזרים בישראל

כפי שראינו, את המודלים לפריסה של תשתיות AI ניתן לחלק, באופן גס, לחמישה. לכל מודל יתרונות וחסרונות משלו, ועל כן, אין מודל יחיד שמתאים לכול. כמו כן, מודלים שונים עשויים להתאים לשכבות שונות במחסנית ה-AI. כך למשל, ניתן לאחסן מידע רגיש ולאמן את מודלי ה-AI בענן פרטי לסוגיו (שכבות נתונים ואימון), כאשר השימוש במודל המאומן (שכבת הפריסה ותהליך ההסקה) יכול להתבצע על גבי ענן ציבורי, או באופן מבוזר על גבי מכשירי הקצה. באופן כללי, ניתן לומר ששקלול התמורות (trade-off) בבחירת המודלים ניצב על שלוש רגליים:

- **ריבונות** – מידת השליטה בנתונים ובתשתיות, כפי שפורט בפרק הראשון.
- **חדשנות** – המידה שבה ניתן לבצע התאמות מהירות לאור חידושים והתפתחויות טכנולוגיות.
- **עלויות** – הקמה ותפעול, לרבות צורכי שטח פיזי ואנרגיה, ומנגד – ההחזר על ההשקעה.

בפרק זה נבחן את התועלות והעלויות של כל אחד ממודלי הפריסה מול צורכי הריבונות והחדשנות של כל אחד מארבעת המגזרים בישראל – תעשייה ויזמות; מחקר ופיתוח; לאומי-אזרחי; ולאומי-ביטחוני. כאמור, השאלה העיקרית שמעסיקה אותנו במסמך זה היא אם להשקיע בתשתיות מקומיות או בתשתיות מרחוק. בבחינת שלוש הרגליים – ריבונות, חדשנות ועלויות – הריבונות והעלויות הן הקובעות: ככל שהצורך בריבונות גובר, כך יתועדפו תשתיות מקומיות. לצד זאת, העלות הישירה והעקיפה (אילוץ משק החשמל, מגבלות שטח, רגולציה וכדומה) של תשתיות מקומיות עלולה להיות גבוהה מאוד בישראל. אשר לרגל החדשנות, ישראל כבר מהווה בית למרכזי נתונים של כל חברות הטכנולוגיה הגדולות, המספקות גישה לרוב המוחלט של צורכי החדשנות הנחוצים. לכן, כל עוד גישה זו מובטחת, שיקול החדשנות הוא משני בבחירה בין תשתית מקומית לבין תשתית מרחוק.

א. תעשייה ויזמות

המגזר הפרטי, ותעשיית ההייטק בפרט, הם מנוע הצמיחה הכלכלי העיקרי של ישראל. המגזר הטכנולוגי הישראלי אחראי ל-20% מהתמ"ג ול-53% מהייצוא.¹⁰⁸ האקוסיסטם הישראלי מדורג במקום הראשון בעולם במספר סטארט-אפי ה-AI לנפש ובמספר הפטנטים לנפש.¹⁰⁹ עם עמודי התווך של המגזר נמנים חשיבה מחוץ לקופסה, מוכנות גבוהה להתנסות וחשיבה יזמית, שיתופי פעולה

¹⁰⁸ Israel Innovation Authority, "Israeli Innovation. Global Impact."

¹⁰⁹ Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and

Technology: Artificial Intelligence, 4.

ואינטר-דיסציפלינריות, צפיפות גבוהה של סטארט-אפים, מרכזי מחקר ופיתוח של חברות בינלאומיות והשקעות בינלאומיות.¹¹⁰ כל אלה דורשים להימצא בחזית הטכנולוגיה כל העת, גישה גבוהה לחדשנות, סקילביליות גבוהה ושיתופי פעולה בינלאומיים רציפים. במסגרת זו, לרבות מהחברות יש נתונים רבים היוצאים באופן תדיר ממרכזי הנתונים אל האינטרנט ולמדינות אחרות.

מנגד, ישנם שני שיקולים עיקריים לטובת פתרונות ריבוניים יותר במגזר העסקי – רגולציה וביטחון מידע. כפי שראינו בפרק הקודם, הרגולציה הישראלית מגבילה העברה של מידע מסוים אל מחוץ לגבולות המדינה. לכן, לחברות ישראליות העוסקות במידע שנאגר בישראל עשויה להיות סיבה טובה להשאיר את תשתיותיהן בתחומי הארץ. כמו כן, ישנן חברות בעלות סודות מסחריים רגישים – "היהלום שבכתר" – כגון אלגוריתמים, קוד מקור, טקטיקות, תהליכים ועוד, שחשוב שישמרו תחת שכבת הסודיות הגבוהה ביותר.¹¹¹ במקרים כאלה, יש ערך רב לשמירה על הנכסים בתשתיות ריבוניות ככל שניתן.

לסיכום, בציר ריבונות-חדשנות, המגזר העסקי ניצב ברובו בצד החדשני, ודורש בעיקר גישה לתשתיות מחשוב בינלאומיות הניצבות בחוד החנית של התעשייה. על כן, רוב רובה של התעשייה יכול להתבסס על **ענן ציבורי** ולהפיק מכך ערך רב, ובחלקו אין בכלל צורך בכך שענן זה יאוחסן בגבולות מדינת ישראל. עבור חברות שמצריכות עיסוק בנתונים רגישים יותר, כגון חברות ביטחוניות, FinTech ו-HealthTech, ניתן להשתמש במודל ההיברידי – עם **ענן פרטי על גבי תשתית ציבורית** או **ענן פרטי בשכירות** (בהתאם לצורך) עבור אחסון ועיבוד של נתונים רגישים, ו**ענן ציבורי** עבור יתר ההיבטים כגון פיתוח, ניתוח נתונים ועוד.

ב. אקדמיה, מחקר ופיתוח

בשנים האחרונות, ישראל עומדת בחזית המדע בכל הנוגע לבניה מלאכותית. מאמריה מדורגים במקום הראשון בממוצע הציטוטים, וחוקריה השתתפו, נכון ל-2023, בפיתוח של כ-4% ממערכות למידת המכונה המשמעותיות (יותר מפי 30 ביחס לשיעור האוכלוסייה של ישראל בעולם).¹¹² כדי לשמור על מיקום מכובד זה, המחקר והפיתוח, בדומה למגזר העסקי, נע בין צורך חיוני בחדשנות ובגישה למאגרי מידע פתוחים; לבין עיסוק בנתונים מקומיים ובגישה, לעיתים פיזית בהכרח, לתשתיות

¹¹⁰ Israel Innovation Authority, "The Israeli Tech Ecosystem."

¹¹¹ The Investopedia Team, "Trade Secret: Definition, Examples, Laws, Vs. Patent"; Adam Hayes, "Crown Jewels: What It Means, How It Works."

¹¹² Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and Technology: Artificial Intelligence, 4.

מורכבות ומתקדמות ביותר, כגון מחשבים קוונטיים ומחשוב עתיר ביצועי (High-performance computing, HPC).¹¹³

מבחינת הצורך בחדשנות ובגישה פתוחה לקהילה האקדמית הבינלאומית, ניתן למנות צורך בגישה למאגרי מידע פתוחים, גישה למודלי ה-AI המתקדמים ביותר, שיתופי פעולה עם אוניברסיטאות בחו"ל ומענקים מארגונים בינלאומיים – כל אלו דורשים גישה למאגרי מידע משותפים ויכולות מחשוב משותפות.

הצורך בריבונות מופיע, כמו במקרה של המגזר הפרטי, בדמות נתונים רגישים שעל גביהם נעשים לעיתים מחקרים, ובכלל זה נתונים חיצוניים שנחקרים תוך שיתוף פעולה עם אוניברסיטאות בחו"ל;¹¹⁴ וכן בתשתיות המאפשרות מו"פ של חומרות מתקדמות, כגון מחשבים קוונטיים.

לסיכום, כמו במקרה העסקי, גם במקרה האקדמי חיוני להימצא בחזית המדע, ועל כן הנגישות לחדשנות חשובה ביותר. עם זאת, בשל המחקר הענף גם על אודות רכיבי המחשוב עצמם, יש לספק תשתיות ריבוניות שעל גביהן ניתן יהיה לבצעו. אם כן, גם כאן יש הכרח להשתמש ב**ענן ציבורי**, וב**מודל ההיברידי** לצרכים רגישים יותר, וכן **בתשתיות ריבוניות ייעודיות** לשם מחקר הכולל עיסוק בקדמת הטכנולוגיה החומרית.

ג. לאומי-אזרחי

המגזר הציבורי מהווה, אולי, את האתגר הגדול מכולם מבחינת הטמעת בינה מלאכותית. מצד אחד, זהו המגזר שהרווח מהטמעת בינה מלאכותית ומדיגיטציה בו יכול להיות הגדול ביותר – התייעלות, הנגשה, צמצום פערים, ובכלל – שיפור השירותים שהמדינה מספקת לאזרחיה.¹¹⁵ מצד שני, זהו המגזר המתקשה ביותר בהטמעה ובנכונות לחדשנות. לפי דוח של ה-OECD, החדשנות הציבורית בישראל מתאפיינת ב"מחסור בשאפתנות מערכתית".¹¹⁶ כמו כן, מגזר זה מתאפיין בעיסוק בנתונים רגישים ביותר על האזרחים – ביומטריים, רפואיים, כלכליים ועוד – תוך צורך אקוטי לייצר חיבורים מאובטחים בין הנתונים הללו, ולהבטיח פעילות רציפה בכל עת.

לאור כל זאת, מובן שנושא הריבונות הוא החשוב ביותר למגזר זה, וזאת הן בהיבטי ביטחון מידע, שמצריכים את המידה הגבוהה ביותר של אבטחה בכל שכבות מחסנית ה-AI, והן בהיבטי רציפות התפעול (מבחן ניתוק הכבל). יחד עם זאת, חשוב שלא להיכנס ל"סטגנציה חדשנית" – התקבעות על טכנולוגיות מסוימות ללא קשב מתמיד להתפתחויות המהירות בשדה הטכנולוגי. דוגמאות אפשריות

¹¹³ אליחי וידל and ג'יימס ספירו, "הקמת המרכז הקוונטי באוניברסיטת ת"א יכולה להפוך את ישראל למעצמה קוונטית".

¹¹⁴ עו"ד חיים רביה, מדרך GDPR לחוקרי האוניברסיטה העברית.

¹¹⁵ המשרד לשוויון חברתי, התכנית הדיגיטלית הלאומית של ממשלת ישראל.

¹¹⁶ Adv. Rota Golstein-Galperin, "Innovation Is Essential If the Public Sector Is to Remain Relevant."

הן מערכות מעולמות קבלת ההחלטות, התחבורה האוטונומית או הבריאות, שעשויות לשפר פלאים את רווחתם של האזרחים אך אינן מוטמעות במערכת הציבורית בשל אותה סטגנציה.

לסיכום, בשל הצורך ההכרחי ברמת ריבונות גבוהה, למגזר הלאומי-אזרחי צריכה להיות גישה **לענן פרטי** לצרכים רבים. מידת הריבונות של ענן פרטי זה יכולה לנוע בין **ענן פרטי ייעודי** לצרכים רגישים במיוחד **וענן פרטי על גבי תשתית ציבורית** לצרכים רגישים פחות, שאף דורשים גישה ישירה ומהירה לחדשנות טכנולוגית.

ד. לאומי-ביטחוני

המגזר הלאומי-ביטחוני אוצר, אולי, את המידע השמור ביותר – סודות מודיעיניים ומבצעיים – וכן חייב להיות מסוגל לתפקד בכל עת, לרבות במקרי קיצון. על כן, מובן שבמגזר זה ישנה חשיבות עליונה לביטחון מידע – הן מבחינת התשתיות שעל גביהן נשמר המידע והאנשים המתפעלים אותן, והן מבחינת ההצפנה של המידע. כמו כן, קיימת חשיבות מכרעת ליצירת תשתית המתפקדת בכל עת, עם שכבות גיבוי רבות.

יחד עם זאת, חיוני שמערכת הביטחון תדע לייצר פתרונות חדשניים ולהתמודד עם איומים חדשים. על כן, עליה להיות מעודכנת בטכנולוגיות החדשות באופן מתמיד. כמו כן, נראה שישנם זמנים ומקומות שבהם ניתן להתפשר, במידה מסוימת, על רמת האבטחה, וליהנות מיכולות טכנולוגיות שיש לשוק להציע ושעדיין לא הגיעו למערכת הביטחון. כך למשל, נעשה שימוש בענן של אמזון (AWS) לשמירה על מידע מודיעיני ביחס לאוכלוסייה העזתית בזמן מלחמת "חרבות ברזל". כן דובר על כך שלחברות הענן יש יכולות STT (Speech to Text) שלצבא אין ברמה מספקת, ולכן נשקל השימוש בהן.¹¹⁷ דוגמה נוספת לכך היא שימוש גם בענן של מיקרוסופט (Azure) לשמירת שיחות שאספה יחידה 8200 במלחמת "חרבות ברזל", אולם בספטמבר 2025, מיקרוסופט הצהירה כי חסמה את הגישה לכך,¹¹⁸ וכך זוהי גם דוגמה לסכנות הכרוכות בויתור כזה על תשתיות ריבוניות.

לפיכך, ישנם מקרים שבהם אין ספק כי קיים צורך **בענן פרטי ייעודי**, הכולל את מידת הריבונות הגבוהה ביותר האפשרית (ברמת המיקום, החומרה, כוח אדם וכו') והמסוגל לספק הן ביטחון מידע והן רציפות תפעולית. לצד זאת, המציאות מראה שישנם מקרים שבהם **ענן פרטי על תשתית ציבורית** עשוי להספיק. כמו כן, יש ערך רב בחשיפה ואף באימוץ של טכנולוגיות באופן מתמיד, דבר שיכול להתאפשר באמצעות **ענן פרטי על תשתית ציבורית** או ביצירת "ארגזי חול" מאובטחים **בעננים ציבוריים**.

¹¹⁷ Yuval Abraham, "Order from Amazon: How Tech Giants Are Storing Mass Data for Israel's War."

¹¹⁸ סוכנויות הידיעות, "מיקרוסופט חסמה ל-8200 גישה לחלק משירותי הענן שעליהם נשמרו שיחות של פלסטינים".

ארבעת המגזרים – סיכום הניתוח

מניתוח ארבעת המגזרים עולה, כצפוי, שהצורך העיקרי בתשתיות מקומיות, ובפרט בתשתיות בעלות ריבונות גבוהה, נתון בהיקפים גדולים למגזרים הלאומיים – האזרחי והביטחוני – ובהיקפים קטנים יותר לצורכי קצה של המגזר האקדמי והמגזר העסקי.

אף על פי כן, במגזרים הלאומיים נעשה שימוש בשירותים של חברות ענק אמריקאיות כגון AWS (אמזון) ו-GCP (גוגל), במסגרת פרויקט "נימבוס" ליצירת ענן ממשלתי, וכן בשיתוף הפעולה עם AWS, מיקרוסופט, וייתכן שגם חברות נוספות, לשמירה על מידע מודיעיני.

האפשרות לתשתיות זרות ניתנת בעיקר למגזר האקדמי ולמגזר העסקי, שבהם, עבור רוב השימושים, אין צורך בתשתית מקומית, ושלחלקם יש צורך חיוני דווקא בגישה לתשתיות זרות. אומנם, ההיקפים הדרושים לתשתיות מקומיות במגזרים אלה הם נמוכים משמעותית ביחס למגזרים הלאומיים, אך גם הם חיוניים כדי לאפשר מחקר ופיתוח מקומי בחוד החנית של ה-AI.

לאור כל זאת, על מדינת ישראל להשקיע בפיתוח תשתיות מקומיות – הן כאלו השייכות לענקיות טכנולוגיה, המספקות חדשנות לצד ריבונות, והן תשתיות ריבוניות ברמה המרבית. זאת, לצד הבטחת גישה לתשתיות מרוחקות של AI ונתונים.

6 | מחסנית ה-AI של ישראל

ישראל נכנסת לעידן ה-AI כאחת המובילות בטכנולוגיה העולמית, ובפרט ב-AI. במדד Tortoise Global AI, בין 83 מדינות, היא מדורגת במקום התשיעי במדד המשוקלל והשני ביחס לאוכלוסייה, מיד אחרי סינגפור. בשכבות הפיתוח והפריסה, ישראל מצטיינת במיוחד. המגזר האקדמי מתבלט במודלי ה-AI, וכך גם המגזר העסקי, שחזק גם בפיתוח בממשקי AI. מן הצד השני, חלה ירידה במניין המאמרים האקדמיים בתחום, וצמיחה איטית יחסית במספר מומחי ה-AI. זאת, נוסף על דירוגים נמוכים בשכבות התשתית, המשילות והנתונים.¹¹⁹

תופעות אלו אינן חדשות לעידן ה-AI. מאז ומתמיד בלטה ישראל בפתרונות מהירים ויצירתיים, ופחות בתכנון ארוך טווח ובהנחת תשתיות חזקות – עובדה שבאה לידי ביטוי בכינוי "אומת הסטארט-אפ". עם הסיבות לכך ניתן למנות מנטליות של מהגרים, שזוהתה במחקר כיצירתית יותר ובעלת מוכנות גדולה יותר לנטילת סיכונים; שוק מקומי קטן, שמאלץ חברות, כבר מרגע הקמתן, לכוון לשוק הבינלאומי וכך להיבנות על גבי תשתיות של מדינות זרות, ולזנוח במידה רבה את אלו המקומיות; ותרבות לא-היררכית, שמאפשרת גמישות ויצירתיות מצד אחד, אך משמעת וסדר נמוכים מן הצד השני.¹²⁰

שכבת התשתית

שכבת התשתית היא אחת החוליות החלשות במחסנית הישראלית. בהיבט זה דורגה ישראל ב-2024 במקום ה-26 מתוך 83 מדינות במדד Tortoise Global AI¹²¹. הדירוג משקלל מדדים כמו שיעור התושבים המחוברים לחשמל ולאינטרנט, מהירויות רשת, היקפי יכולות חישוב מקומיות, היקפי ייבוא וייצוא של שבבים וכן אזכור של שימוש במאמצים מתקדמים במאמרים אקדמיים.¹²² עם זאת, מושקעים מאמצים לתיקון חולשה היסטורית זו, גם אם אינם מושלמים. היקף צריכת החשמל של מרכזי הנתונים צפוי לגדול עד 2030 בקצב צמיחה שנתי ממוצע (CAGR) של 5.62%¹²³ (ה-CAGR

¹¹⁹ Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and Technology: Artificial Intelligence.

¹²⁰ Eugene Kandel et al., "Israel's Entrepreneurial Ecosystem."

¹²¹ Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and Technology: Artificial Intelligence.

¹²² Joe White and Serena Cesareo, The Global Artificial Intelligence Index - Methodology Report.

¹²³ Mordor Intelligence, Israel Data Center Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030.

העולמי הוא ¹²⁴14.7%), ואילו היקף הפדיון מהשכרה (קולוקציה) צפוי לגדול ב-CAGR של ¹²⁵10.08% (לעומת CAGR עולמי של 16% - פער מעט טוב יותר). התפתחויות אלה מונעות ברובן דרך המגזר הפרטי, באמצעות ענקיות הטכנולוגיה Amazon, Google ו-Microsoft שנכנסו כספקיות תשתית לשוק הישראלי, נוסף על חברות מקומיות כמו MedOne, בזק ועוד.¹²⁶

במקביל, מקודמים שני פרויקטים ממשלתיים משמעותיים:

- **"נימבוס":** ערוץ מרכזי עבור ממשלת ישראל לרכישת שירותי ענן ציבורי, בהתאם לצורכי הממשלה. הזכות במכרז, AWS (אמזון) ו-GCP (גוגל), הקימו ומפעילות אזורי ענן ציבורי בישראל. ההתקשרות תקפה לשבע שנים מיולי 2021, עם אפשרות להארכה עד 23 שנה.¹²⁷
- **הקמת מחשב על:** ב-2025 נבחרה חברת Nebius להקים תשתית למחשב על (HPC) בהיקף של PFLOPS 16,000. הוא אמור להיכנס לפעולה בסוף 2025-תחילת 2026 ולעמוד לרשות חברות עסקיות וחוקרים אקדמיים לשם אימון מודלי AI.¹²⁸

מבחינת תשתיות תקשורת, בשנים האחרונות מתרחבת פריסתן של רשתות 5G המתקדמות, אולם ישראל עודנה מדורגת רק במקום ה-66 בעולם במהירות ההורדה הממוצעת דרך רשתות סלולריות. פריסת הסיבים האופטיים למשקי הבית מתרחבת אף היא, וכאן מדורגת ישראל במקום ה-15 בקצב ההורדה הממוצע דרך רשתות פס רחב קבוע.¹²⁹ לצד זאת, לישראל יש כיום ארבעה כבלי תקשורת תת ימיים המחברים בינה לבין מדינות אירופה, וצפויים להתווסף עוד שלושה ב-2026-2027.¹³⁰ כיום, הרוב הגדול של הכבלים התת ימיים המחברים בין אירופה לבין אסיה עוברים דרך מצרים, וכשליש מהעולם מסתמך על מצרים עבור גישה לאינטרנט. מיקומה הגיאוגרפי של ישראל מאפשר להציב אלטרנטיבה למצרים ולפזר סיכונים.¹³¹

¹²⁴ IEA, Energy and AI, 63.

¹²⁵ Mordor Intelligence, Israel Data Center Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030.

¹²⁶ Data Center Colocation Market Size, Share & Trends Analysis Report By Colocation Type (Retail, Wholesale), By Enterprise Size, By Tier Level (Tier 1, Tier 2), By End Use (BFSI, Retail), By Region, And Segment Forecasts, 2025 - 2030.

¹²⁷ החשב הכללי - מינהל הרכש הממשלתי, "פרויקט נימבוס".

¹²⁸ מאיר אורבך, בהשקעה של חצי מיליארד שקל: קבוצת נביוס תקים את מחשב העל של ישראל Israel Innovation Authority, Nebius Selected to Establish Israel's National Supercomputer.

¹²⁹ SPEEDTEST, "Israel Median Country Speeds"; Mordor Intelligence, Israel Telecom Industry Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2025 - 2030).

¹³⁰ TeleGeography, "Submarine Cable Map | Israel".

¹³¹ Sebastian Moss, "Google Plans \$400m Blue-Raman Cable Connecting India, Israel, and Italy".

מפת הכבלים התת-ימיים המחוברים לישראל



לתשתיות אלו ניתן לצרף את המומחיות הישראלית בתכנון שבבים. מומחיות זו, אומנם, איננה תשתית ישירה שעל גביה פועלות המערכות בישראל, אולם היא מהווה נדבך חשוב ביכולות התשתית הישראליות. הדוגמה המשמעותית ביותר לכך היא מרכזי הפיתוח של Nvidia בישראל, אשר מובילים את הפיתוח של שלושה מארבעת קווי הייצור המשמעותיים של החברה – ובפרט של שבבי התקשורת. במסגרת זו, Nvidia גם הקימה את Israel-1, מחשב העל החזק ביותר בישראל והמדורג 34 בעולם (נכון למועד כתיבת שורות אלו), שנוסף על שימוש בתוך החברה, נועד גם לשמש ארגוני תעשייה ואקדמיה בישראל לשם מחקר ופיתוח.¹³²

שכבת הנתונים

גם בשכבת הנתונים ניצבת ישראל במקום נמוך יחסית למדינות מובילות ב-AI. מדד המוכנות הממשלתית ל-AI של Oxford Insights דירג את ישראל במקום ה-25 מבחינת נגישות נתונים ובמקום ה-23 מבחינת ייצוגיות הנתונים (עד כמה הם מייצגים את האוכלוסייה).¹³³ כמו כן, דוח מ-2021 הראה שמידת הפרגמנטציה של מאגרי הנתונים בישראל גבוהה, כאשר 55% מהמשרדים הממשלתיים דיווחו ש"רק מספר מצומצם של מערכות ומאגרי מידע מסונכרנים עם משרדים אחרים במקרים שבהם הדבר רצוי", וגם כאשר בוצע סנכרון, הוא לא נעשה בזמן אמת.¹³⁴ בהקשר זה, יש לציין לטובה

¹³² Omer Kabir, "Why Nvidia's AI Strategy Runs through Israel."

¹³³ Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and Technology: Artificial Intelligence.

¹³⁴ מערך הדיגיטל הלאומי, דו"ח בגרות המידע הממשלתי.

את מערכת הבריאות שהטמיעה מאגר לשיתוף מידע רפואי מתקדם ברמה עולמית, אשר מציב את מאגר הנתונים הישראלי כייחודי בהיקפו ובהיסטוריה הרפואית הכלולה בו.¹³⁵

נוסף על כך, ביולי 2025 יצאה רשות החדשנות, יחד עם משרדים ממשלתיים נוספים, בקול קורא להקמת מאגרי נתונים למו"פ בבינה מלאכותית בהיקף של עד 44 מיליון ש, כמנוסח בקריאה – *"לטובת פיתוח, פתיחה והנגשה של מאגרי נתונים איכותיים לשימוש חוקרים, חברות טכנולוגיה וגופים תעשייתיים הפועלים בישראל"*. מאגרים אלו יספקו תשתיות נתונים לתעשיות מדעי החיים והבריאות, הייצור המתקדם, דזרטק (DeserTech) ואקלים, אגרוטק ופודטק וכן ביטחון והייטק.¹³⁶

היבט נוסף וחשוב בשכבת הנתונים הישראלית הוא השדה הרגולטורי, שנמצא עדיין בעיצוב והסדרה. בעוד שמדינות רבות, ובמיוחד מדינות אירופה, מגבילות את השימוש במידע המוגן בזכויות יוצרים לאימון מודלי AI, חוות דעת של משרד המשפטים משנת 2022 הציגה עמדה מאפשרת ולפיה, למעט במקרים חריגים, *"שימוש בתכנים מוגנים בזכויות יוצרים לצורך אימון מכונה חוסה תחת הסדרי השימושים המותרים בדיני זכויות היוצרים ולכן אינו מהווה הפרה של זכויות יוצרים"*.¹³⁷ חוות דעת זו מנגישה למעשה נתונים רבים לאימון המערכות, שעשויים להוות חסמים כספיים ורגולטוריים במדינות אחרות. יחד עם זאת, הרשות להגנת הפרטיות פועלת ומעבירה תקנות בנושא, לרבות הגבלות על כריית מידע מהאינטרנט (Scraping) לשם אימון מודלי AI – דבר שעלול להציב חסמים בפני גופים המאמנים ומפתחים את המודלים.¹³⁸

שכבת אימון ופיתוח המודל

כאמור, מאז ומעולם בלטו החוזקות הישראליות בפתרונות מהירים וגמישים, וכך גם במחסנית ה-AI. חרף ההתחלה המדשדשת בשכבות הנמוכות, הרי שהשכבות הגבוהות יותר – דהיינו, שכבת אימון ופיתוח המודל ושכבת פריסת המודל – מתבלטות באיכותן העולמית. כך, ישראל מדורגת במקום השישי בפיתוח והשביעי במחקר בתחומי ה-AI, ובמקום הראשון במספר הציטוטים הממוצע למאמר ובמספר מומחי ה-AI לנפש.¹³⁹

¹³⁵ Amir Gilboa, The Implementation of a National Health Information Exchange Platform in Israel.

¹³⁶ רשות החדשנות, "השקעה ממשלתית של 44 מיליון ש"ח בהקמת מאגרי נתונים למו"פ בבינה מלאכותית: קול קורא חדש שצפוי להניע קפיצת דרך טכנולוגית בתעשיית ההייטק הישראלית."

¹³⁷ חוות דעת: שימושים בתכנים מוגנים בזכויות יוצרים לצורך למידת מכונה.

¹³⁸ הרשות להגנת הפרטיות, הנחיה – תחולת חוק הגנת הפרטיות על מערכות בינה מלאכותית.

¹³⁹ Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and Technology: Artificial Intelligence.

השחקנית הבולטת ביותר בתחום פיתוח המודלים בישראל היא AI21 Labs. חברה זו מוערכת בשווי של \$1.4B,¹⁴⁰ ולפי סקר של PitchBook העדכני ליוני 2024, היא אחת מ-18 חברות בלבד המפתחות מודלי יסוד (Foundation Models) – מודלי AI שמתאימים למגוון רחב של שימושים – לצד ענקיות בתחום כגון Google, OpenAI ו-Antropic. נוסף על כך, לפי אותו הסקר, ישנן 73 חברות בישראל המפתחות מודלי AI לתחומים ספציפיים (Vertical AI) – נתון שממקם את ישראל שלישית בעולם במספר החברות מסוג זה.¹⁴¹

נוסף על החברות המקומיות, ישנם בישראל מרכזי פיתוח, ובהם מחלקות פיתוח מודלים, של ענקיות גלובליות כגון Microsoft, Google, IBM, Nvidia ו-Amazon, וכן מחקר ענף בתחום אלגוריתמי הלמידה, המחשוב הקוונטי ועיבוד שפה טבעית באוניברסיטאות השונות.¹⁴² ואולם, על אף הסביבה האקדמית התוססת, בשנים האחרונות חלה ירידה במספר המאמרים המדעיים בתחום ה-AI בישראל (בשיעור של 28%, לעומת ממוצע של 7% ירידה במדינות ה-OECD). כמו כן, ישראל מדורגת רק במקום התשיעי בשיעור הצמיחה במספר טאלנטי ה-AI על פני שמונה השנים האחרונות,¹⁴³ והיא שיאנית ההגירה השלילית של טאלנטי AI, לפי מחקר של סטנפורד.¹⁴⁴ נתונים אלו מציבים אותה במסלול שעלול להוביל לאובדן מעמדה כהאב מרכזי למומחים בתחום.

במקביל, דוח של רשות החדשנות משנת 2023 קובע כי תעשיית ההייטק הישראלית נסמכת כמעט לחלוטין על השקעה פרטית, כאשר 91% מהמו"פ מתבצע במגזר הפרטי – השיעור הגבוה ביותר בקרב מדינות ה-OECD – ורק 9% מהמו"פ כולו, לרבות במוסדות האקדמיים, מתבצע במימון המדינה – השיעור הנמוך ביותר בקרב מדינות ה-OECD. עוד מראה הדוח ש-75%-80% מההשקעה של קרנות ההון-סיכון בחברות ישראליות מתבצעים על ידי קרנות זרות.¹⁴⁵

אין להקל ראש ביכולות פיתוח המודלים הגבוהות של ישראל. אלו תורמות לריבונות הישראלית ומבטיחות גישה למודלים מתקדמים, גם במקרים שבהם הגישה עלולה להימנע מסיבות אלו ואחרות. הן גם תורמות למיצובה של ישראל כמובילה עולמית במערכות AI ובמאגר אנשי מפתח בתחום (דוגמת איליה סוצקבר ודניאל גרוס, העומדים בשורה הראשונה של מובילי מודלי ה-AI העולמיים).

¹⁴⁰ Tracxn, "AI21 Labs - Company Profile."

¹⁴¹ Israel Innovation Authority, Study on Gen-AI Companies in Israel 2024.

¹⁴² Gil Press, "In 2024, Israel Became A Global Leader In Applied AI Innovation."

¹⁴³ Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and Technology: Artificial Intelligence.

¹⁴⁴ Yolanda Gil and Raymond Perrault, Artificial Intelligence Index Report 2025.

¹⁴⁵ Israel Innovation Authority, A Global Comparison: High-Tech in Israel Relies Almost Entirely on the Private Sector, and Primarily on Foreign Investors.

ביטחון ובטיחות AI

בעוד המודלים השונים הולכים ומתקדמים, יחד עם המרוץ לבינה המלאכותית הכללית Artificial General Intelligence (AGI), המסוגלת לבצע ספקטרום רחב של משימות ברמה אנושית ולמעלה מכך – מתגלה עולם האבטחה של המודלים במלוא נחיצותו. אבטחת המודלים כוללת הן הגנה עליהם מפני גורמים שעלולים להשתמש בהם לרעה, והן גידור של האינטליגנציה בתהליך המכונה "יישור" (Alignment), כדי למנוע ממנה לנצל את כוחה הרב (וההולך וגדל) למטרות שמסכנות את האנושות. שני היבטים אלו נדונו באריכות באחד המאמרים המכוננים בעולם ה-AI לשנת 2024, Situational Awareness, שכתב ליאופולד אשנברנר, חוקר בחברת OpenAI שפותר ממנה לאחר שלדבריה הדליף מסמכים, ולדבריו הצביע על ליקויי בטיחות. במאמר משווה אשנברנר את המרוץ ל-AGI, ובפרט בין ארה"ב לסין, למרוץ להשגת נשק גרעיני במלחמת העולם השנייה, ואת הסיכון במקרה שסין תשיג AGI ראשונה לסיכון שגרמניה הנאצית הייתה הראשונה לייצר את הפצצה. עוד טוען אשנברנר כי גם ב"ידיים הנכונות", ללא הגידורים המתאימים לאינטליגנציה כזאת, היא עלולה לצאת מכלל שליטה אנושית ולהגיע לאותם תרחישים אפוקליפטיים של השתלטות המכונות.¹⁴⁶ דווקא כאן, בזכות מומחיותה הן במאבק במודיעין זר וטוטליטרי והן באבטחה בסייבר במגזר העסקי והביטחוני, ישראל יכולה להוביל בשירותי אבטחה ויישור של מודלי AI – שירותים שנדרשים כבר כיום, ולבטח יידרשו עוד יותר בשנים שלפנינו.

שכבת פריסת המודל

זוהי השכבה החזקה ביותר במחסנית ה-AI של ישראל. ישראל מדורגת במקום השלישי בעולם במדד Tortoise Global AI במספר אפליקציות ה-AI המסחריות, והיסטורית, רוב גדול של חברות הטכנולוגיה הישראליות הגדולות ביותר מספקות שירותים או אפליקציות, וממעטות לעסוק בשכבות הנמוכות יותר במחסנית. כך למשל, Wiz מספקת שירות של זיהוי פרצות אפשריות לתקיפה על גבי התשתית הקיימת של הלקוח, Waze מספקת אפליקציה לניווט, Monday.com מספקת שירות לניהול צוותים ופרויקטים, ו-Lemonade שירותי ביטוח מקוונים. כל אלו ועוד משתמשות ביכולות קיימות (בין אם יכולות AI ובין אם לאו), ועל גביהן בונות מערכת וממשק נוחים לשימוש ללקוח.

בדוח של Remagine Ventures, העדכני ליולי 2025, נכתב כי ישנן 342 חברות סטארט-אפ ישראליות שמוצריהן מתבססים ישירות (ולא כשימוש משני) על AI גנרטיבי, ושגייסו מעל מיליון דולר. 198 מהן התווספו מאז מאי 2024, בעיקר בתחומי ההגנה בסייבר, הבריאות, LLMOps (תהליכים

¹⁴⁶Leopold Aschenbrenner, "Situational Awareness."

לניהול ותפעול של מודלי שפה גדולים, שבהם משתמשים רוב מודלי ה-AI הגנרטיבי) וטכנולוגיות שיווק. סך הכול, סטארט-אפים ישראליים של AI גנרטיבי גייסו עד כה מעל \$20B.

באותו דוח נכתב כי הסטארט-אפים שהצליחו לגייס את התמיכה הגדולה ביותר חלקו לרוב את אותם מאפיינים: גישה למידע שנמצא בבעלות החברה או כזה שקשה לשכפל אותו; מומחיות בתחומים בעלי חיכוך גבוה, כלומר: תחומים שיש בהם מגבלות ומכשלות רבות, למשל מגבלות רגולטוריות, מערכות ישנות ועוד; אסטרטגיה ברורה לחדירה לשוק (Go-to-Market); ותוכנית שמבטיחה את יתרון החברה על פני פתרונות אחרים, המבצעים שינויים מינוריים במוצרי מדף.¹⁴⁷ מאפיינים אלו מדגישים את ההזדמנות העצומה הטמונה בהשקעה בשכבות הנמוכות יותר: גישה לנתונים ייחודיים, למודלים ייעודיים ולתשתיות חדשניות תקל על הפיתוח של לפחות שניים מארבעת המאפיינים, ולהתחזקות נוספת של תעשיית השירותים מבוססי ה-AI בישראל.

שכבת המשילות

שכבת המשילות, הכוללת במבט רחב את אסטרטגיית ה-AI הלאומית, המדיניות, הרגולציות ואמון הציבור, היא חלשה במיוחד בישראל. האסטרטגיה הממשלתית הישראלית מדורגת במקום ה-32 (מתוך 62) במדד Tortoise Global AI, והסביבה התפעולית, הכוללת רגולציה וחקיקה, דעת קהל ובריחת מוחות, מדורגת במקום ה-65 (מתוך 83) במדד.¹⁴⁸

על פניו, לישראל יש אסטרטגיה לאומית – התוכנית הלאומית לבינה מלאכותית שהושקה בשנת 2021. מטרותיה המוצהרות הן חיזוק תשתיות ומחקר בבינה מלאכותית, יצירת קפיצות מדרגה באימוץ בינה מלאכותית בתעשייה, הטמעת בינה מלאכותית בשירות הציבורי, ביסוס מעמדה הגאו-טכנולוגי הגלובלי של ישראל בתחום הבינה המלאכותית וקידום בינה מלאכותית ברמה הלאומית.¹⁴⁹ אולם, בדוח נגל להאצת בינה מלאכותית בישראל (אוגוסט 2025) נכתב כי "מדינת ישראל לא נמצאת בנקודה המתאימה והרצויה להאצה בתחום הבינה המלאכותית". לישראל נכסים משמעותיים בתחום, אך היתרונות הללו אינם מנוצלים למלוא הפוטנציאל. הבעיה המרכזית נובעת מהיעדר אסטרטגיה לאומית ברורה ומסונכרנת. הפעילות מפוצלת בין משרדים שונים ורבים מדי, ללא תיאום מספק ובהשקעה תקציבית נמוכה ולא רלוונטית להיקף האתגר. הדוח קובע במפורש כי החולשות של ישראל כוללות "היעדר אסטרטגיה לאומית ומעוגנת בחוק" וכן "עיכובים באימוץ רגולציה תומכת, מאפשרת ואחראית".¹⁵⁰

¹⁴⁷ Eze Vidra and Kevin Baxpehler, Mapping Israel's \$20B GenAI Boom: 342 Startups and Counting.

¹⁴⁸ Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology, National Priority Areas in Science and Technology:

Artificial Intelligence.

¹⁴⁹ רשות החדשנות, התוכנית הלאומית לבינה מלאכותית | תמונת מצב - אפריל 2025.

¹⁵⁰ פרופ' יעקב נגל et al., דין וחשבון של הוועדה הלאומית להאצת תחום הבינה המלאכותית - אוגוסט 2025.

בדוח מיוחד של מבקר המדינה מנובמבר 2024, בדבר ההיערכות הלאומית בתחום הבינה המלאכותית, נכתב כי "לא קיימת בישראל אסטרטגיה לאומית ארוכת טווח בתחום הבינה המלאכותית. כמו כן הממשלה לא אישרה תוכנית אב כוללת ופרטנית ליישום. תחת זאת אישרה הממשלה תוכניות בתחום לאורך השנים בפעילות, מימון איטי, חסר, ואינו עומד בלוחות הזמנים שנקבעו". עוד נכתב כי התקציב שאושר לתוכנית הוא מיליארד ש"ח, כאשר מרביתו טרם מומש, וכי "התקציב המאושר הוא כחמישית מהתקציב שהומלץ בוועדת תל"ם בדצמבר 2020 וכעשירית מההמלצה של 'המיזם הלאומי מספטמבר 2020". המבקר ממשיך ומפרט כי ההסכמות לגבי רגולציה טרם אושרו על ידי הממשלה; תשתיות המחשוב עתיר הביצועים (HPC) עדיין מוגבלות ואינן מספקות לקידום המחקר והתעשייה בישראל, אף שצורך זה זוהה כבר בשנת 2020; התקציבים שהוקצו לקליטת אנשי סגל באקדמיה לא יושמו; ועוד שלל ליקויים ביישום התוכנית. בתוך כל אלו, המבקר מזכיר (כפי שכבר ציינו) שהדירוג של ישראל במדדי המוכנות ל-AI ירד. כלומר, יש פער ניכר בין התוכניות המאושרות לבין מימון בפועל.¹⁵¹

מבחינת רגולציה, כבר סקרנו לעיל מספר תקנות פרטיות הנוגעות לשימושי בינה מלאכותית. נוסף עליהן, בשנת 2023 פרסמה הממשלה מסמך עקרונות, מדיניות, רגולציה ואתיקה, המהווה את הפילוסופיה הממשלתית הרשמית בנושא. המסמך ממליץ, בין השאר, לפעול בהתאמה לרגולציה במדינות מפותחות ולארגונים בינלאומיים, לקיים הליך של ניהול סיכונים ביחס לפיתוח ושימוש בטכנולוגיה, לשמור על זכויות יסוד ואינטרסים ציבוריים בפיתוח הבינה המלאכותית ולפעול בשקיפות והסברתיות ביחס להחלטות מערכות הבינה המלאכותית.¹⁵² עם זאת, דוח ועדת נגל קובע במפורש כי "רגולציית הפרטיות בישראל אינה מותאמת, בשלון המעטה, לעידן ה-AI וה-Big Data" ומפרט כי עיכובים באימוץ רגולציה תומכת, מאפשרת ואחראית מהווים אחת החולשות של מדינת ישראל. הדוח מפרט כי טרם עוגנו בישראל עקרונות יסוד לרגולציה אתית של AI שתאפשר את הקדמה בתחום, וכי הפער בין יכולות הפיתוח ובין מנגנוני הפיקוח הולך וגדל.¹⁵³

השילוב בין הרגולציה המדשדשת לבין הליקויים במימוש התוכנית הלאומית גרמו לכך שאומנם, "על הנייר", ישראל מצטיינת במוכנותה לעידן ה-AI וזוכה לציונים מלאים ברוב מדדי ההכנה, אולם במדדי הביצוע, היא מקבלת ציונים גרועים במיוחד. את הפער הזה ניתן לראות היטב במדד AGILE, שבו ישראל מקבלת ציונים מלאים בקריטריונים של בניית אסטרטגיה לאומית, תוכנית יישום של האסטרטגיה, הכנסה של שיקולים אתיים לתוך האסטרטגיה ועוד; אך ציון אפסי בקריטריונים דוגמת: האם הוקמו גופי משילות על AI; האם הוצגו מדדים לבחינת ההשפעה של AI; והאם הממשלה חוקקה או נמצאת בתהליך חקיקה של חוק AI מקיף.¹⁵⁴ כלומר, אף שישנם בישראל חוקי פרטיות, זכויות אדם

¹⁵¹ מבקר המדינה, ההיערכות הלאומית בתחום הבינה המלאכותית.

¹⁵² עקרונות מדיניות, רגולציה ואתיקה בתחום הבינה המלאכותית.

¹⁵³ פרופ' יעקב נגל et al., דין וחשבון של הוועדה הלאומית להאצת תחום הבינה המלאכותית - אוגוסט 2025.

¹⁵⁴ Global AI Governance Observatory, AI Governance Capability Analysis.

מדד AGILE גם מראה את האמון הנמוך שיש לציבור בישראל ביישומי בינה מלאכותית – בשקלול השאלות הנוגעות להחזקה בעמדות חיוביות או ניטרליות כלפי שימוש ב-AI ופיתוחו ואמון ביישומי AI, הניקוד הממוצע היה 33 מתוך 100. זאת, לצד שיח ער לגבי AI ומודעות גבוהה יחסית להשפעותיו (65 מתוך 100).

אם כן, הסביבה הרגולטורית העמומה אומנם מאפשרת פיתוחים מהירים ויצירתיים, אך מכילה בתוכה גם סיכון לאסונות, כגון: דליפה נרחבת של מידע אישי, תאונות קטלניות של כלי רכב אוטונומיים ועוד. זאת, במצב עניינים שבו אין רשת ביטחון של אמון ציבורי "ליפול עליה". שני הגורמים הללו יחד יוצרים סביבה תפעולית חלשה. אשה מעכבת את קידום ה-AI בישראל.

סיכום והשנואה

חוזקות

שכבת התשתית

<ul style="list-style-type: none"> - התחלה נמוכה יחסית. - הסתמכות רבה על שירותי ענן בינלאומיים. - תשתית פס רחב ותשתית סלולרית פנימית מדרג שני. - מרחב גיאוגרפי מוגבל. - עיכוב נוכחי ביכולות מחשוב עתיר ביצועים (HPC). 	<ul style="list-style-type: none"> - מומחיות עולמית בפיתוח שבבים. - השקעה ממשלתית ופרטית במחשבי על. - ספקיות מרכזי נתונים מקומיות מבוססות. - פעילות שוטפת של ענקיות טכנולוגיה, הן במו"פ והן במרכזי נתונים, כולל אזור ישראלי של כל ענקיות הטכנולוגיה.
<ul style="list-style-type: none"> - ההסתמכות הכמעט מוחלטת על חברות בינלאומיות עלולה להתגלות כבעייתית במקרים של לחץ מצד דעת הקהל העולמית או מצד המדינות שבהן החברות רשומות, נוסף על סכנות ביטחוניות שעלולות להיווצר מכך. - ייתכן שרשת החשמל הנוכחית לא תוכל לעמוד בעומסים הנדרשים. - תשתיות משמעותיות עלולות להוות יעד להתקפות. 	<ul style="list-style-type: none"> - גישה ל-HPC יכולה לאפשר קפיצת דרך במחקר ובפיתוח. - הטמעה מלאה של פרויקט "נימבוס" תאפשר ייעול משמעותי של השירות הציבורי. - הצבת אלטרנטיבה חיבורית למצרים, יחד עם תשתית של מרכזי נתונים ומחשבי על, יבססו את מעמדה של ישראל כ"האב" מזרח תיכוני.

שכבת הנתונים

<ul style="list-style-type: none"> - נתונים קשים לגישה ולא מאוד מייצגים. - פרגמנטציה גבוהה של נתונים וחוסר סנכרון. 	<ul style="list-style-type: none"> - מאגר מידע אחד ייחודי של נתונים רפואיים. - חופש יחסי בשימוש בנתונים לאימון מודלי AI. - תוכניות לפיתוח ולהנגשת מאגרי מידע. - גישה ייחודית לשפה העברית.
<ul style="list-style-type: none"> - סביבה רגולטורית מעורפלת שעלולה ליצור חסמים ואתגרים. - מאגרי נתונים מאוחדים עלולים להוות יעד לתקיפות ולהדלפות. 	<ul style="list-style-type: none"> - גישה למאגרי נתונים משמעותיים יכולה להוות מקפצה משמעותית לכל הסקטורים. - מיצוב ישראל כמובילה עולמית בתחום טכנולוגיות הבריאות בעזרת הגישה למאגר הנתונים הרפואיים. - פיתוח מודלי העברית.

שכבת פיתוח המודל

<ul style="list-style-type: none"> - איטית במומחים ביחס לדרישה. - ירידה במספר המאמרים המדעיים. - בריחת מוחות. - הסתמכות כמעט מוחלטת על השקעה פרטית וזרה. 	<ul style="list-style-type: none"> - מקום ראשון במומחי AI ובמספר ציטוטים של מאמרים - סביבה אקדמית משמעותית. - סביבה תוססת של סטארט-אפים ומרכזי פיתוח של תאגידים רב לאומיים. - חברה מקומית לפיתוח מודל יסודי הנמנית עם 18 חברות בלבד בעולם.
<ul style="list-style-type: none"> - העלייה המשמעותית בתשתיות החישוביות הנדרשות לאימון מודלים עלולה לדחוק את גורמי המחקר והפיתוח המקומיים למיקום לא רלוונטי, אם לא יהיו נגישות לתשתיות אלו. - בריחת מוחות וצמיחה איטית במספר המומחים החדשים עלולות לדחוק את ישראל אל מחוץ לשורת המומחים הראשונה. - לחצים בינלאומיים עלולים לגרום לצמצום ההשקעה בישראל. 	<ul style="list-style-type: none"> - השילוב של ריכוז גבוה של מומחיות וסביבת סטארט-אפים תוססת, יחד עם גישה לנתונים גדולים וייחודיים ולכוח מחשוב, יכולים להוות כר פורה לפתרונות AI חדשניים ומוצלחים. - הובלה עולמית בפיתוח AI ורטיקלי (תחומי). - המומחיות הביטחונית הישראלית יכולה לספק הזדמנות להובלה באבטחה וביישור (alignment) של מודלי AI.

שכבת פריסת המודל

<ul style="list-style-type: none"> - שוק מקומי קטן, כולל מספר קטן (במספרים מוחלטים) של טאלנטים. - בריחת מוחות. - הסתמכות כמעט מוחלטת על השקעה פרטית זרה. 	<ul style="list-style-type: none"> - היסטוריה משמעותית של חברות מתן שירותים ואפליקציות. - סביבה מובילה בעולם של סטארט-אפי פריסת מודלי AI. - הובלה עולמית בנישות ספציפיות, למשל סייבר ורפואה.
<ul style="list-style-type: none"> - בריחת מוחות וצמיחה איטית במספר המומחים החדשים עלולות לדחוק את ישראל אל מחוץ לשורת המומחים הראשונה. - לחצים בינלאומיים עלולים לגרום לצמצום ההשקעה בישראל. 	<ul style="list-style-type: none"> - מיצוב של ישראל כמובילה עולמית ביישומי AI, במיוחד בנישות ספציפיות כגון סייבר ורפואה.

שכבת המשילות

<ul style="list-style-type: none"> - פערים משמעותיים ביישום התוכנית הלאומית. - מחסור בגופי משילות בתחום ה-AI. - אמון ציבורי נמוך. - סביבת תפעולית המדורגת נמוך מאוד. 	<ul style="list-style-type: none"> - תוכנית לאומית סדורה ורחבה לעידן ה-AI. - השתתפות בפורומים בינלאומיים. - רגולציה רכה שמאפשרת סביבה יצרנית וגמישה, והתחמקות מתקנות קשיחות במחוזות אחרים.
<ul style="list-style-type: none"> - הרגולציה החסרה, יחד עם האמון הציבורי הנמוך, עלולים לגרום תגובת נגד במקרה של אסון, כולל רגולציה קשיחה מדי ומשתקת. - חוסר בהירות רגולטורית עלול לגרום ירידה בהשקעות בחברות ה-AI. - חוסר תאימות בין הרגולציה הישראלית לבין זו הבינלאומית עלול להוות מכשול בפעילותן של חברות ישראליות מחוץ לתחומי המדינה. 	<ul style="list-style-type: none"> - שימוש ברגולציה הרכה ללמידה של הסביבה המתפתחת וליצירת רגולציה יצרנית ומובילה בעולם. - יישום מלא של התוכנית הלאומית יקפיץ את ה-AI הישראלי קדימה.

7 | משק האנרגיה הישראלי כמחולל השינוי הקריטי

הזווית הלאומית - משק החשמל הישראלי

אין ספק שמדיניות ההשקעה הלאומית בתשתיות בינה מלאכותית מחייבת היערכות מקדימה של משק האנרגיה, בהבטחת ביקושי החשמל הנדרשים. ישראל היא "אי אנרגטי", ופיתוח משק האנרגיה בה, על תשתיות הייצור וההולכה הנדרשות, הינו תהליך ארוך וסבוכ בהיבטי תכנון, רגולציה, הקמה והפעלה. בפרק זה נעמיק באפיון משק החשמל הישראלי ונמליץ על עקרונות להאצת פיתוח התשתיות בהסתכלות כוללת.

משק החשמל בישראל מאופיין בגידול קבוע בביקוש על רקע צמיחה כלכלית, גידול האוכלוסייה ושיפורים ברמת החיים. תחזית הביקוש לחשמל לטווח ארוך של חברת מנהל המערכת (נגה) עומדת על גידול שנתי ממוצע של 2.8%.¹⁵⁵ שיעור גידול זה אינו כולל, נכון למועד כתיבת מסמך זה, התייחסות לביקוש הנובע מחוות שרתים חדשות. בהשוואה עולמית, כפי שראינו, חברות פרטיות ומדינות נדרשות לעדכן את מדיניותן בעניין הקמת תחנות כוח כדי לתת מענה לביקוש של סקטור ספציפי זה. בישראל אין נטייה לצמצום אנרגטי, ורק לאחרונה (31.10.2024) אושרה החלטת ממשלה 2282 שהצביעה על צורכי החשמל עד 2040 – לרבות הקמה של 13 תחנות כוח נוספות, בהספק כולל של כ-8,000MW, עד אותה שנה, ומתוכן חמש עד 2035.¹⁵⁶

במסגרת המדיניות הממשלתית לעודד ולאפשר את הקמתן של תחנות כוח נוספות, בהחלטת הממשלה האמורה גם ניתנה התייחסות להפחתת רגולציה עבור תחנות המוקמות לשם צריכה עצמית של צרכן בשטח התחנה או בצמידות לו. עבור תחנות אלו, הוגדר כי הספקן לא יעלה על 125% מצריכת השיא של הצרכן. כמו כן, אושרה תוכנית מתאר ארצית מפורטת המסדירה את אופן הקמתם של מתקני אגירה, לרבות מתקנים במתח עליון ומתן היתרים למתקנים במתח גבוה. כך שהתשתית הרגולטורית והתכנונית הנדרשת עבור הקמת תחנות כוח ומתקני אגירה אושרה זה מכבר, והיא תומכת גם בצרכים לחוות השרתים.

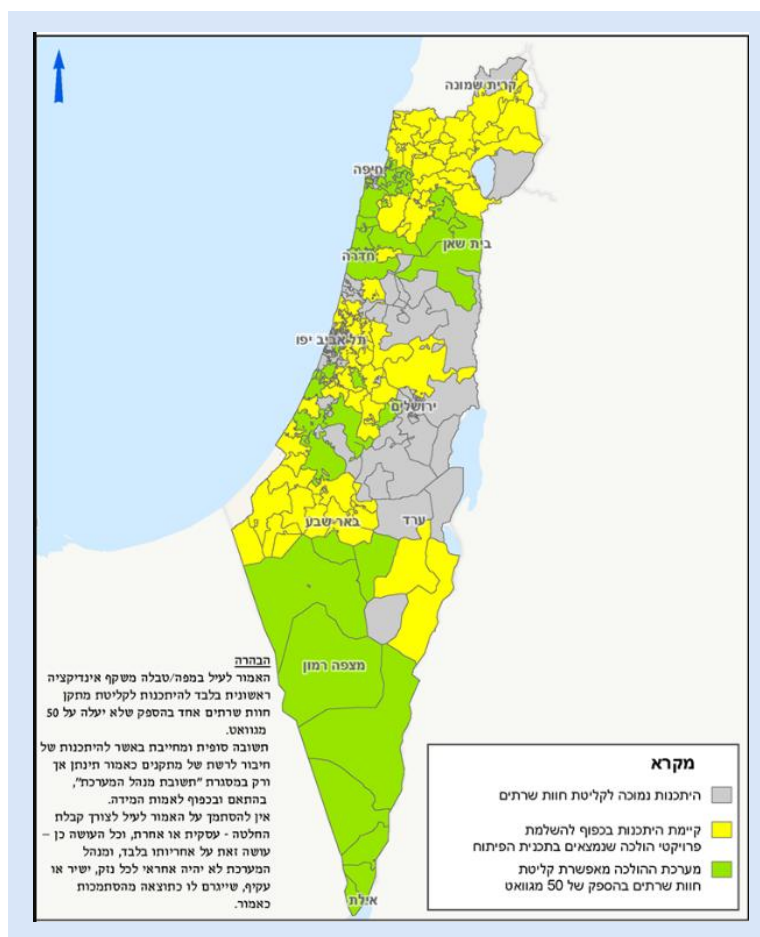
עם זאת, לפיתוח מתקנים אלו קיימים אתגרים הנובעים מפריסת תשתיות רשת החשמל. תשתיות ייצור החשמל בישראל ממוקמות ברובן בצפון המדינה ובדרומה, בעוד שרוב הביקוש במרכז הארץ. פריסת התשתיות מייצרת אתגר גדול להקמת תשתיות הולכה, כדי להעביר את החשמל ממקורות

¹⁵⁵ עבודת רשות החשמל בעניין קריטריון האמינות המשקי לצרכי תכנון מערך הייצור

¹⁵⁶ החלטת ממשלה 2282, קידום הביטחון האנרגטי של משק החשמל הישראלי, תיקון וביטול החלטות ממשלה מיום

31.10.2024

ייצור קונבנציונליים ואנרגיה מתחדשת לעבר מרכזי הביקוש. ממחישה את האתגר, מפת היתכנות לקליטת חוות שרתים (עד 50 מ"ו) בהיבטי הולכה, שפורסמה ע"י חברת נגה, בדצמבר 2024:

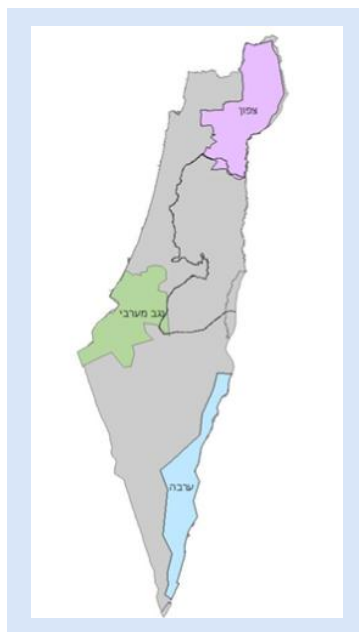


אתגר פריסת הרשת, מתבטא במדיניות הממשלתית לעניין מתקני ייצור חשמל, ובהם מתקני אנרגיה מתחדשת, מתקני אגירה ומתקנים קונבנציונליים:

- **מתקני אנרגיה מתחדשת** – נוכח יעדי ייצור האנרגיה המתחדשת והפחתת פליטות גזי החממה, השאיפה היא להקמת מתקנים מסוג זה בפריסה ארצית, בהתאם לזמינות פיזית של רשת ומקום לקלוט את החשמל המיוצר. תוכניות החשמל הארציות הסטטוטוריות (תמ"א 10), כמאפשרות במשורה להקים מתקני ייצור אנרגיה מתחדשת משמעותיים במרכז, כמו גם הקמתם בדרום או בצפון – נתקלות במגבלות רשת החשמל ומחייבות תוספת תשתיות להעברת האנרגיה המיוצרת. בכך, הן מצמצמות ומקשות על הזרמת החשמל לרשת הארצית ולאזורי הביקוש. ההגבלה נובעת ברובה מחוסר יכולת של תשתיות החלוקה וההולכה לשאת אנרגיה נוספת. ניתן למתנה בהקמת מתקני אגירה צמודים או בהגדלת הביקוש בצמידות למתקני ייצור.

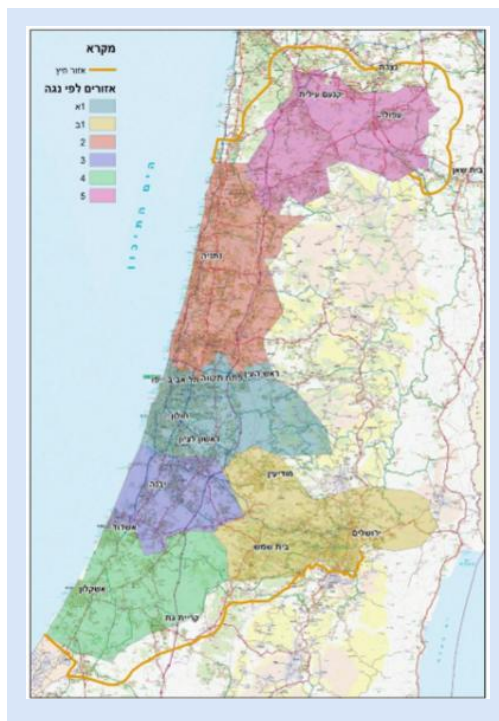
- **מתקני אגירה** – אלו, בדגש על מתקנים גדולים במתח עליון, עשויים לתמוך במשק החשמל על ידי קליטת עודפי הייצור בצפון ובדרום ופריקתו לרשת בשעות שיא הביקוש. מנגד, הקמת

מתקנים אלו שלא בסמוך למקורות עודפי הייצור, יוצרת אתגר גדול לרשת החשמל, שכן מדובר בהעמסת ביקוש נוסף ללא מקורות ייצור זמינים. כדי להתמודד עם אתגר זה, מגבילה נגה את מיקומי המתקנים, כפי שבא לידי ביטוי, בין היתר, בהליך התחרותי שקיימה רשות החשמל למתקני אגירה במתח עליון. להלן המפה שפורסמה כחלק ממסמכי ההליך, ובה מודגשים האזורים שבהם **ניתן** להקים מתקנים שישתתפו בו:



גם בהחלטת רשות החשמל להוספת מכסת מתקני אגירה במתח עליון שלא במסגרת הליך תחרותי, הובהר כי מיקומם "יוגבל כך שהם לא יוכלו לקום באזור המרכזי, שבו המשק לא נדרש בשלב זה למתקני אגירה עצמאיים". אם כן, מתקני אגירה עשויים לתמוך במשק החשמל כל עוד הם אינם מוקמים במרכזי הביקוש, בדגש על גוש דן ואזור ירושלים.

- **מתקנים קונבנציונליים** – בהמשך לאתגר קליטת האנרגיה ברשת בצפון ובדרום והעברתה למרכז הארץ, הנובע ברובו ממתקני אנרגיה מתחדשת, הרי שהקמת מתקנים קונבנציונליים בהספקים גדולים צפויה להחמיר את האתגר, ככל שיוקמו תחנות כוח נוספות במקביל לאנרגיה המתחדשת. למעשה, מדובר ב"תמונת מראה" לצורך המשקי במתקני האגירה. לא בכדי, כחלק מהחלטת ממשלה 2282, פורסמה מפת האזורים לפי רמת עדיפות להקמת תחנות כוח קונבנציונליות חדשות:



לפי המפה, ככל שמיקום תחנת הכוח מתרחק מגוש דן, כך רמת העדיפות לגביו נמוכה יותר, עד כדי התנגדות של חברת נגה לקידום התחנה ככל שהיא מחוץ לאזורי החיץ המסומנים – לפחות במסגרת התכנון המשקי עד 2040.

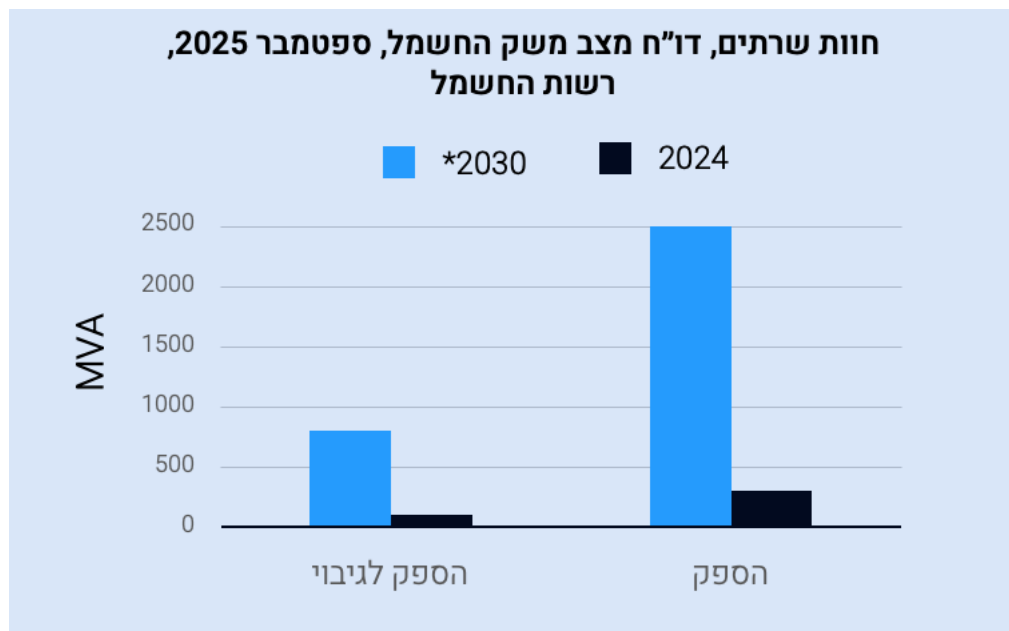
לצד ההיבטים הקשורים לפיתוח תשתיות החשמל, תעריף החשמל בישראל הוא תחרותי בהשוואה עולמית. למרות מגמה של עלייה בשנים האחרונות, הנובעת בעיקרה מצורכי פיתוח משק החשמל ומהתמודדות עם אתגרים ביטחוניים, התעריף עודו זול יחסית, בדגש על שעות השפל. על רקע יעדי האנרגיה המתחדשת המתוכננים של ישראל, הנשענים על אנרגיה סולרית כמקור כמעט בלעדי, הצפי הוא שמתקנים סולריים ימשיכו לקום ויובילו לייצור אנרגיה זולה בשעות הצהריים, לצד מחיר גבוה יותר בשעות אחר הצהריים והערב.

בסיכום בחינת המוכנות של משק החשמל הישראלי, ניכר כי יכולת ייצור החשמל בישראל תמשיך לצמוח (במונחי הספק), כאשר מדיניות הממשלה והגורמים הכפופים לה היא להמשיך ולפתח את יכולת הייצור הקונבנציונלית, במקביל לקידום יעדי האנרגיה המתחדשת. עם זאת, לאור הפיזור הלא-שוויוני של הספק הייצור ברחבי הארץ, נוצרים אתגרי הולכת חשמל, ואלו צפויים ללוות את משק החשמל הישראלי גם בעתיד.

הזווית המקומית - צורכי האנרגיה של חוות שרתים

דו"ח מצב משק החשמל 2025, שפרסמה רשות החשמל, מצביע על כך שבשנת 2024 צריכת החשמל של חוות שרתים מוערכת בכ-0.5% מהצריכה המשקית. בהתאם להערכה ראשונית בדו"ח, צריכת האנרגיה של חוות שרתים עשויה להגיע לכ-5-7% מסך הצריכה המשקית בשנת 2030. כיום בישראל

לא מחוברות חוות שרתים במתח עליון, אם כי, מספר חוות נמצאות בשלבי חיבור שונים. ואילו במתח הגבוה, כ-60% מהספק ההזמנות הקיימות הוא במרכז הארץ (משולש נתניה-מודיעין-ראשון לציון).



כאמור, מרכזי נתונים הם מתקנים עם ביקושים גבוהים לאנרגיה. בעוד שניתן להקים חוות שרתים קטנות, בהיקפים של מגה-וואטים בודדים, החזון שאנו מציעים מתמקד בהפיכתה של ישראל למוקד בינלאומי של בינה מלאכותית, שתידרש למרכזי נתונים גדולים. לכן, הנחת היסוד היא שאלו יידרשו לאספקת חשמל בהיקפים של עשרות מגה-וואטים כל אחד. לצד זאת, מדובר במתקנים הדורשים אמינות אספקה וגיבוי בכל רמות מערכת החשמל: גיבוי של מערך האספקה (הייצור), גיבוי הרשת המוליכה והמחברת, וגיבוי למקרה של הפסקת ייצור או הולכה באמצעות גנרטור או מתקן ייצור נפרד ואחר. לאור צורכי האנרגיה וההכרח בעבודה רציפה, לא סביר שמרכז נתונים יקום ללא אמצעי כלשהו להבטחת רציפות אנרגטית. אמצעים אלו יכולים להיות בסיסיים, דוגמת סוללה קטנה הנותנת מענה מיידי לבעיות חולפות באספקת החשמל, או נרחבים יותר, עד כדי הקמת תחנות כוח צמודות לטובת הזנת מרכז הנתונים. ההחלטה על בחירת מרכיבי הגיבוי, כולם או חלקם, תלויה בהיקפי ההשקעה הנדרשים, בעלויות התפעול השוטפות ובחלופות העומדות מול מקים המתקן.

בישראל, המאופיינת בחשמל זול באופן יחסי במהלך רוב שעות היום ובאמינות חשמל סבירה, קיים יתרון בביסוס הקמת המתקנים על היקף מסוים של צריכה מהרשת. עם זאת, בשל העלויות הגבוהות של צריכת חשמל רציפה בשעות אחר הצהריים והערב, בדגש על שיאי הצריכה במצבי מזג אוויר קיצוני בעונות החורף והקיץ, הישענות בלעדית על רשת החשמל יכולה להוביל לעלויות גבוהות יותר, ביחס להקמת יכולת גנרציה מקומית כלשהי. בשל הסבירות כי מרכז נתונים יוקם תוך הישענות מסוימת על יכולת ייצור עצמית של חשמל, לצורכי רציפות תפקודית ולהפחתת עלויות, להלן האפשרויות העומדות בפני מקים המתקן:

- **אנרגיה מתחדשת** – הקמת מתקן אנרגיה מתחדשת, בדגש על קירוי סולרי, יספק אנרגיה במהלך שעות השמש. עם זאת, מדובר באנרגיה שאינה יציבה, והחשמל מיצר בה במקביל לשעות יום, שבהם רכישת חשמל מהרשת היא בלאו הכי זולה. כך שהתועלת היחסית מהקמת מתקן שכזה לצורכי האנרגיה של חוות השרתים איננה גבוהה.

- **מתקן אגירה** – מתקן אגירה יוביל להגדלת צריכת האנרגיה של מרכזי נתונים במהלך שעות האור (מתחדשות)/הלילה (קונבנציונלי בעלות נמוכה), לטובת שימוש בחשמל הנאגר להזנת החווה באופן מלא או חלקי בשעות אחר הצהריים והערב, כשהחשמל יקר. כמו כן, מתקני אגירה חדישים יכולים לתת מענה מיידי לבעיות רציפות אספקה הנובעות מתקלות זמניות ברשת החשמל. עם זאת, מתקן אגירה הוא מוגבל מטבעו בהיקף החשמל הזמין לשימוש, ונדרש לתכנן את זמני הטעינה והפריקה לצד שימור כמות חשמל מספקת כדי להגיב לאירועי רשת.

- **מתקן קונבנציונלי** – מתקן קונבנציונלי יאפשר צריכת חשמל רציפה על בסיס מתקן הייצור, עם תלות מועטה או ללא תלות כלל ברשת החשמל. ייצור עצמי מאפשר רציפות וביטחון אנרגטי ברמה גבוהה, אך מחייב השקעה הונית ראשונית גבוהה, כמו גם אתגרים תכנוניים הנוגעים לחיבור לתשתיות ולהשגת האישורים הנדרשים. כאמור, לאור הרגולציה הקבועה כיום, מתקנים אלו יכולים לקום בהספק של עד 125% מהביקוש של הצרכן, כך שחוות השרתים תקבל שירות מלא מהיצרן הצמוד לה.

בסיכום, סביר כי מרכז נתונים בישראל יקום עם מתקן אגירה או בצמידות לתחנת כוח קונבנציונלית קיימת. אתגרי התכנון, האישורים ולוחות הזמנים להקמת מתקנים קונבנציונליים צפויים להרתיע את רוב היזמים בתחום מלפעול בכיוון זה, ובפרט כאשר האופציה להקמת מתקן אגירה היא מהירה ויכולה לתת מענה לרוב סוגי התקלות. עם זאת, ככל שנדרשת רמת ביטחון אנרגטי גבוהה עבור חוות שרתים המשמשות כתשתית קריטית, מתקני אגירה לא יוכלו לספק מענה מלא, וידרש אותו הליך תכנוני ארוך כדי להקים מתקן קונבנציונלי בהיקף מספק.

החיבור בין הצורך הלאומי לצורך המקומי

החיבור בין השאיפה היזמית לבין המצב המשקי מייצר אתגר בפיתוח מרכז נתונים, מבחינת התאמת המרחב הגיאוגרפי לאמצעי ייצור החשמל המשולב בו. מרכזי נתונים שיקומו בצפון הארץ ובדרומה יתקשו לקבל אישורים להקמת מתקנים קונבנציונליים, לאור עמדת הממשלה וגורמי המקצוע במשק החשמל המתנגדת להוספת תחנות כוח במרחבים אלו. מנגד, מרכזים שיוקמו במרכז הארץ יתקשו לקבל אישורים להקים מתקני אגירה, לאור עומס ההולכה הקיים כבר היום, והעובדה שהן מרכזי הנתונים והן מתקני האגירה מגדילים את העומס על הרשת העמוסה ממילא. לצורך הקמתם, יידרשו פרויקטים עתירי משאבים וזמן לשיפור קיבולת ההולכה.

לפיכך, בחיבור בין הצורך הלאומי לבין זה המקומי, ניתן לייצר מדיניות משלימה, אשר מתמודדת עם האתגרים והופכת את חוות השרתים למנוף עבור מענה לצורך הלאומי האנרגטי. כך, נוכח האתגרים שפורטו והשלכותיהם, יש לפעול לעודד או לחייב מרכזי נתונים לקום עם אמצעי ייצור המותאם גיאוגרפית: חוות בצפון ובדרום יידרשו לקום עם מתקני אגירה. כך, הן יגדילו את צריכת החשמל באזורים המאופיינים בהיקפים גדולים של ייצור קונבנציונלי ומתחדש, ויפחיתו את העומס על מערכת ההולכה לעבר המרכז. השילוב של מרכז נתונים ומתקן אגירה יאפשר למתקני ייצור באנרגיה מתחדשת לקום במרחב, שכן מרכזי נתונים הם צרכני חשמל קבועים וגדולים. על מרכזים שיוקמו באזורים אלו ייאסר להקים תחנות כוח קונבנציונליות.

מנגד, מרכזים במרכז יידרשו לקום עם מתקן ייצור קונבנציונלי. כך, הם לא יובילו לעומס על רשת החשמל, ואף יסייעו על ידי מתן מענה של יכולת ייצור יציבה ורציפה באזור המרכז. כיוון שבאזור זה עוברות תשתיות האנרגיה הנדרשות להקמת תחנות כוח, בדגש על קווי גז וסולר, הליכי החיבור לתשתיות אלו לא יהוו אתגר תכנוני משמעותי, יחסית לפריפריה. כמו כן, ההקמה בצמוד למרכז נתונים צפויה לסייע בהליך האישורים, לאור האינטרס הלאומי הכפול. מומלץ כי עבור מתקני ייצור שיוקמו במרכז בצמוד למרכזי נתונים, תבטל מגבלת ה-125%. זאת, כדי לעודד יזמים להקים תחנות כוח חדישות בהספק גדול יותר, ולאפשר להם למכור חשמל לספקים נוספים ובכך לשפר את הכלכליות של תחנות הכוח. על מרכזים שיוקמו באזור המרכז ייאסר להקים מתקני אגירה.

כפי שפירטה רשות החשמל בעבודתה לעניין קריטריון האמינות המשקי,¹⁵⁷ הגדלת ההספק המותקן – לרבות הקונבנציונלי – מובילה להפחתת פליטות של מזהמים וגזי חממה. זאת, משום שמתקני ייצור חדישים מאופיינים ביעילות גבוהה יותר ובטכנולוגיה עדכנית, ובכך הם דוחקים הצידה מתקני ייצור ישנים. כך, הקמת מרכזי נתונים במתווה שתואר לעיל, לא רק שלא תפגע במדיניות להפחתת פליטת גזי חממה, אלא תתמוך אותה: הקמת מרכז בשילוב אגירה בצפון ובדרום תסייע בהפחתת עומסי ההולכה, ובכך תאפשר הקמת מתקנים נוספים באנרגיה מתחדשת; ואילו הקמה במרכז הארץ בשילוב ייצור קונבנציונלי תפחית את היקף הייצור בתחנות כוח ישנות ומזהמות בשיאי הביקוש.

לסיכום, במודל המוצע, מרכזי נתונים יהפכו לגורם התומך את המדיניות ואת האתגרים של משק החשמל. מדיניות אפקטיבית בהיבט זה יכולה לשמש כמחוללת השינוי הקריטית למיצובה של ישראל כמובילה עולמית בבניה המלאכותית – מבחינת רגולציה אנרגטית תומכת ומאפשרת, בסביבה המאופיינת באמינות חשמל גבוהה ובמחירים נמוכים, לצד נגישות גבוהה לתשתיות.

¹⁵⁷ קריטריון האמינות המשקי לצרכי מערך הייצור

8 | המלצות מדיניות

מסופר שכשנילס בוהר, מאבות פצצת האטום, הגיע לראות את המפעל שהוקם לפיתוחה בלוס אלמוס, הוא אמר לעמיתו אדוארד טלר: "אמרתי לך שלא ניתן לעשות זאת בלי להפוך את כל המדינה למפעל, וזה בדיוק מה שעשית". כאז כן עכשיו, מדינות ששואפות למקום הראשון במרוץ החימוש – הופכות למפעלי מרכזי נתונים. המלצות המדיניות מתבססות על ההנחה של ישראל אין משאבים כלכליים וגיאוגרפיים כדי לנצח במרוץ הזה ולהפוך למעצמת תשתיות AI, כפי שמתכננות סעודיה ואיחוד האמירויות. ואולם, באמצעות שימוש בחוזקות הייחודיות לה ופיתוח וניצול הקשרים האזוריים והעולמיים, ביכולתה לשמר את מעמדה כמובילה בתחום, גם אם לא בשכבת התשתית.

לישראל מספר נקודות חוזק משמעותיות: (א) משאב כוח אדם מהטובים בעולם, ואף הטוב בעולם לפי חלק מהממדים. (ב) אקוסיסטם טכנולוגי, הן מבחינת השקעות והן מבחינת מספר חברות ושיתופי פעולה, שאף הוא מהחזקים בעולם. (ג) מיקום גיאוגרפי ייחודי המאפשר לשמש גשר בין מזרח ומערב, והסמוך למדינות שמתעתדות להיות מעצמות של מרכזי נתונים ל-AI. (ד) מאגרי נתונים ייחודיים שניתנים לשימוש. (ה) תעשיות ביטחוניות, ובפרט הביטחון בסייבר, מהחזקות בעולם, היכולות להוות גורם מפתח במרוץ החימוש ל-AI ובשמירה על שימוש ראוי ב-AI. לאור כל אלה, נמליץ על הצעדים הבאים, המתבססים על החוזקות של ישראל לצד פיתוח התשתיות לרמה הנדרשת, במטרה לקדם את השימוש ב-AI בה באופן רוחבי ובר מימוש:

1. **גיבוש אסטרטגיה לאומית.** העתיד של ישראל בעידן ה-AI אינו טמון בהפיכתה למעצמת תשתיות, כי אם במיצובה כמדינה קטנה ועתירת ידע המחברת בין יתרונותיה האנושיים והטכנולוגיים לבין תשתיות מקומיות, אזוריות ובינלאומיות. שילוב זה, יחד עם אסדרות אנרגטיות חכמות והסכמי סחר טכנולוגיים במסגרת אזורית וגלובלית, יבטיח מעמד מוביל בעידן המדובר.

2. **הגדרת צרכי תשתית ריבוניים On-Premise.** יש לערוך תחזיות ביקושים למרכזי נתונים המיועדים לאחסון של כמות המידע הרגיש והמסווג, שעליו להישמר בתחומי מדינת ישראל בלבד. תחזיות אלה יאפשרו: (א) לגזור את היקפי תשתיות אחסון הנתונים הנדרשות, (ב) לגזור את היקפי המחשוב הנדרשים לאימון מודלי AI על המידע הזה ו-(ג) לגזור את היקפי התשתיות התומכות הנדרשות (אנרגיה, שטח בנייה, קישוריות וכו'). בהתאם לביקושים הצפויים, יש להבטיח שמירת קרקעות, הליכי תכנון מזורזים ואת תשתית החשמל הנדרשת. חשוב להדגיש כי תחזיות הביקושים צפויות להשתנות באופן תכוף, ויש לייצר מנגנוני עדכון גמישים הן לתחזיות עצמן והן מהיבטי תכנון.

3. **הבטחת גישה לתשתיות ענן On-Demand.** רוב השימושים אינם מצריכים תשתית ריבונית בישראל, אך מחייבים גישה מובטחת למשאבי חישוב ואחסון רבים. כדי למלא דרישות אלו המדינה יכולה להבטיח, באמצעות הסכמים מסחריים במתכונת G2G (מדינה מול מדינה) ו-G2B (מדינה מול חברות טכנולוגיה), כמות מסוימת של משאבי חישוב במדינות זרות. משאבים השמורים לחברות ולגופים ישראליים, והמבטיחים לישראל הקצאה מועדפת בזמינות ובעלות אפקטיביות. ניתן להישען על "הסכמי אברהם" כבסיס לשיתופי פעולה אסטרטגיים עם איחוד האמירויות, סעודיה ומדינות האזור. שילוב כזה יכול להציב את ישראל כשחקנית מפתח אזורית, המספקת מומחיות וכוח אדם ומקבלת גישה מועדפת למרכזי נתונים.

4. **האצת פיתוח משק האנרגיה.** כדי להבטיח אספקת חשמל מתאימה למרכזי הנתונים המקומיים, יש להבטיח שמרכזי הנתונים לא יהוו נטל על משק האנרגיה אלא מנוף למדיניות אנרגטית לאומית, באמצעות תכנון תשתיות משולב. כך, מתקני אגירה יקומו סמוך למרכזי נתונים בצפון ובדרום, ומתקני ייצור קונבנציונליים יקומו סמוך למרכזי נתונים במרכז, ועם ביטול מגבלת ה-125%, יוכלו גם לספק חשמל לאזורים שסביב מרכז הנתונים. ככלל, יש להאיץ את פיתוח משק האנרגיה בישראל, כדי להבטיח עמידה ביעדי ביקוש עתידיים הנובעים מהבינה המלאכותית ומהטכנולוגיות העתידות לבוא בעקבותיה.

5. **תשתיות נתונים.** יש להמשיך ולקדם את האחדתם והנגשתם של מאגרי המידע הציבוריים, ובפרט אלו הייחודיים לישראל, כגון: מאגר נתוני הבריאות ומאגרי השפה עברית. כמו כן, יש לאחד חלקים גדולים ממערכות המידע הממשלתיות ולאפשר חיבוריות ביניהן, כדי להתחיל בהטמעה של מערכות AI במסגרתן. לצד זאת, יש להמשיך ולפעול למען הסדרת השדה הרגולטורי בנוגע לשימוש בנתונים במערכות AI ולשימוש בנתונים שיצרו מערכות AI. זאת, תוך מחשבה על תאימות רגולטורית עם שותפיה העיקריים של ישראל, ובכללם אירופה וארה"ב, ועל שיקולי חדשנות מול שמירה על ביטחון מידע.

9 | נספחים

נספח 1

מזרח ארה"ב (צפון וריג'יניה)	אירלנד	ציריך	מדי	מחיר	ישראל
0.09\$	0.09\$	0.09\$	העברת נתונים אל האינטרנט מחיר ל-Gb	מחיר	0.11\$
-22%	-22%	-22%	הפרש במחיר ביחס לישראל (מעוגל)		
0.02\$	0.02\$	0.02\$	העברת נתונים אל אזור אחר של AWS מחיר ל-Gb	מחיר	0.08\$
-400%	-400%	-400%	הפרש במחיר ביחס לישראל (מעוגל)		
0.02695\$	0.023\$	0.023\$	אחסון סטנדרטי (3S) מחיר ל-Gb	מחיר	0.025\$
7%	-9%	-9%	הפרש במחיר ביחס לישראל (מעוגל)		
0.107\$	0.096\$	0.085\$	חישוב סטנדרטי (EC2) (c5.large) מחיר לשעה	מחיר	0.101\$
6%	-5%	-19%	הפרש במחיר ביחס לישראל (מעוגל)		
0.107\$	0.096\$	0.085\$	אחסון מתקדם (3EBS GP) מחיר לשעה	מחיר	0.101\$
8%	-20%	-32%	הפרש במחיר ביחס לישראל (מעוגל)		

(נכון לספטמבר 2023 בענן AWS ¹⁵⁸)

¹⁵⁸ Avi Keinan, AWS Region in Tel Aviv, Israel – Price Comparison versus Other Regions.

Adam Hayes. "[Crown Jewels: What It Means, How It Works](#)." In Investopedia. April 25, 2023.

Adv. Rota Golstein-Galperin. "[Innovation Is Essential If the Public Sector Is to Remain Relevant](#)." The Israel Democracy Institute, June 22, 2023.

Ahmed El Safty. "[UAE AI Ambitions: Building the Foundations of the next Economic Growth Era](#)." Gulf News, August 17, 2025.

"[AI Investment and Business Opportunities in the UAE: Growth, Regulations, Key Sectors](#)." BRICS+ New Economy & Legal Infrastructure Center, March 27, 2025.

AI21labs. "[What Is AI Infrastructure?](#)" AI21labs, June 5, 2025.

Amazon EC2 On-Demand Pricing. "[Data Transfer](#)." Accessed August 3, 2025.

Amir Gilboa. [The Implementation of a National Health Information Exchange Platform in Israel](#). Inter-American Development Bank, 2022.

Amit Dat and Omri Rachum-Twaig. [Israel - Data Transfers](#). 2025.

Andrew Charlesworth, Kit Fotheringham, Colin Gavaghan, Albert Sanchez-Graells, and Clare Torrible. "[What Are the Main Shortcomings of the 'pro-Innovation Approach to AI Regulation' White Paper Published by the UK Government in March 2023?](#)" University of Bristol Law School Blog, July 5, 2023.

Anna Fleck. [Which Regions Have the Biggest Data Centers?](#) Statista, 2025.

Arizton Advisory and Intelligence. [United Arab Emirates Data Center Market - Investment Analysis & Growth Opportunities 2025-2030](#). Arizton Advisory and Intelligence, 2025.

Assaf Gilead. "[Oracle Shelves Plans to Build Data Center in Israel](#)." Globes, October 10, 2024.

Avi Keinan. [AWS Region in Tel Aviv, Israel – Price Comparison versus Other Regions](#). September 10, 2023.

Blake Crosley. "[Singapore's \\$27B AI Revolution Powers Southeast Asia 2025](#)." Introl, August 7, 2025.

Cole Stryker. "[What Is an AI Stack?](#)" IBM, n.d.

Daljeet Singh. [Data Residency in the UAE : The Definitive Guide](#). June 23, 2025.

Dan Swinhoe. [Israel Government Says AWS and Google Can't Boycott Nimbus Project](#). May 25, 2021.

[Data Center Average Annual Power Usage Effectiveness \(PUE\) Worldwide from 2007 to 2024](#). Statista, 2024.

[Data Center Colocation Market Size, Share & Trends Analysis Report](#) By Colocation Type (Retail, Wholesale), By Enterprise Size, By Tier Level (Tier 1, Tier 2), By End Use (BFSI, Retail), By Region, And Segment Forecasts, 2025 - 2030. Grand View Research, n.d.

Department for Science, Innovation and Technology. "[AI Growth Zones: Open for Applications](#)." June 13, 2025.

Department for Science, Innovation and Technology. [UK Compute Roadmap](#). 2025.

Department for Science, Innovation and Technology and UK Research and Innovation. "[AI Research Resource](#)." Gov.UK, July 17, 2025.

[Digital Connectivity Blueprint](#). Infocomm Media Development Authority Singapore, 2023.

Dylan Patel, Jeremie Eliahou Ontiveros, AJ Kourabi, Ivan Chiam, and Wega Chu. "[AI Arrives In The Middle East: US Strikes A Deal with UAE and KSA](#)." Semianalysis, May 16, 2025.

Emmanuel Pernot-Leplay, Ph.D. [The AI Dilemma: AI Regulation in China, EU & the U.S](#). 2025.

Epoch AI. "[Data on AI Models](#)." Epoch AI, September 9, 2025.

Epoch AI. [Leading ML Hardware Becomes 40% More Energy-Efficient Each Year](#). Epoch AI, 2024.

Epoch AI. [The US Hosts the Majority of AI Supercomputers, Followed by China](#). Epoch AI, 2025.

[Estimate of Data Centre Capacity: Great Britain 2024](#). Gov.UK, 2025.

Eugene Kandel, Rona Segev, Adam Fisher, David Berkowitz, and Shai Bernstein. "Israel's Entrepreneurial Ecosystem." Harvard Business School, n.d.

Eze Vidra and Kevin Baxpehler. [Mapping Israel's \\$20B GenAI Boom: 342 Startups and Counting](#). Reremagine Ventures, n.d.

["Falcon"](#). The Technology Innovation Institute

[Fortune Business Insights](#). Data Center Market Size, Share & Industry Analysis, By Component (Hardware, DCIM (Data Center Infrastructure Management) Software, and Services), By Data Center Type (Colocation, Hyperscale, Edge, and Others), By Tier Level (Tier 1 and Tier 2, Tier 3, and Tier 4), By Data Center Size (Small, Medium, and Large), By Industry (BFSI, IT & Telecom, Healthcare, Government, Manufacturing, Retail & E-Commerce, and Others), and Regional Forecast, 2025-2032. Fortune Business Insights, 2025.

G42. ["Global Tech Alliance Launches Stargate UAE"](#). G42, May 22, 2025.

Gil Press. ["In 2024, Israel Became A Global Leader In Applied AI Innovation"](#). Forbes, December 22, 2024.

Giorgio Sbriglia. ["Data Center Design Requirements for AI Workloads. A Comprehensive Guide"](#). Terakraft, November 21, 2024.

Global AI Governance Observatory. [AI Governance Capability Analysis](#). Center for Long-term Artificial Intelligence (CLAI), 2025.

GlobalPetrolPrices.Co. ["Israel Electricity Prices"](#). December 2024.

Google Cloud. ["Sovereign Cloud"](#). Google Cloud.

Google Cloud. [State of AI Infrastructure](#). 2025.

Google Cloud. ["What Is a Private Cloud?"](#). Google Cloud, n.d.

Google Data Centers. ["Growing the Internet While Reducing Energy Consumption"](#). Accessed September 1, 2025.

Gov.Sa. ["Open Government Data"](#). Accessed August 20, 2025.

Hawkins, Zoe, Vili Lehdonvirta, and Boxi Wu. "[AI Compute Sovereignty: Infrastructure Control Across Territories, Cloud Providers, and Accelerators](#)." Preprint, SSRN, 2025.

Hub71. "[Who We Are | Hub71](#)."

IEA. [Energy and AI](#). IEA, 2025.

InCountry Staff. "[Saudi Arabia Data Sovereignty Policies and Requirements](#)." InCountry, June 17, 2024.

INTUVA. "[An Overview of Data Center Costs](#)." INTUVA, n.d.

Israel Innovation Authority. [A Global Comparison: High-Tech in Israel Relies Almost Entirely on the Private Sector, and Primarily on Foreign Investors](#). Israel Innovation Authority, 2023.

Israel Innovation Authority. "[Israeli Innovation. Global Impact](#)."

Israel Innovation Authority. [Nebius Selected to Establish Israel's National Supercomputer](#). May 14, 2025.

Israel Innovation Authority. [Study on Gen-AI Companies in Israel 2024](#). Israel Innovation Authority, 2024.

Israel Innovation Authority. "[The Israeli Tech Ecosystem](#)."

Israeli Ministry of Innovation, Science & Technology. [National Priority Areas in Science and Technology: Artificial Intelligence](#). 2025.

Jamie Lane. "[HUMAIN to Launch Arabic-Centric ALLaM 34B Foundation Model by End of August](#)." FWDstart, August 14, 2025.

Joe White and Serena Cesareo. The Global Artificial Intelligence Index - Methodology Report. Tortoise, 2024.

Katharina Bucholz. "[Where Chinese or American Tech Is Used in Cloud Data Storage](#)." Statista, May 5, 2025.

Kevin Bogusch. "[Cloud Data Egress Costs: What They Are & How to Reduce Them](#)." OCI, January 24, 2024.

Lauren Morley. "[When to Choose Private Cloud Over Public Cloud for Big Data](#)." Openmetal, July 11, 2025.

Lenovo. [On-Premise vs Cloud: Generative AI Total Cost of Ownership](#). Lenovo Press, 2025.

Leopold Aschenbrenner. ["Situational Awareness."](#) 2024.

Mairéad Pratschke. ["The Global Pursuit of Sovereign AI Is Becoming the 21st Century's Arms Race."](#) LSE Business Review, January 27, 2025.

Mark Wong. ["Singapore's Green Data Centre Roadmap – Representing a Necessary Intersection between Digital Infrastructure and Sustainability."](#) Mayer|Brown, August 22, 2024.

Matt Davies. ["A Lost Decade? The UK's Industrial Approach to AI."](#) AINow, March 12, 2024.

Megan Kirkwood. ["The UK's AI Strategy Risks Entrenching the Power of Big Tech."](#) Tech Policy Press, May 29, 2025.

Mell, Peter M., and Timothy Grance. SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards & Technology, 2011.

Mohamed Bin Zayed University of Artificial Intelligence. ["Mohamed Bin Zayed University of Artificial Intelligence | About."](#)

Mordor Intelligence. [Data Center Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030](#). Mordor Intelligence, 2024.

Mordor Intelligence. [Israel Data Center Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030](#). Mordor Intelligence, 2024.

Mordor Intelligence. [Israel Telecom Industry Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts \(2025 - 2030\)](#). Mordor Intelligence, 2024.

Mordor Intelligence. [Saudi Arabia Data Center Market SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS UP TO 2030](#). Mordor Intelligence, 2024.

[National AI Strategy, Secretary of State for Digital, Culture, Media and Sport \(2021\).](#)

National AI Strategy. [Smart Nation Singapore](#), 2023.

Netris. ["Cloud Strategies for the Best Cost and Results: Public vs Private vs Hybrid Cloud."](#) Netris, April 16, 2024.

Niusha Shafiabady. [“Saudi Arabia Has Big AI Ambitions. They Could Come at the Cost of Human Rights.”](#) The Conversation, May 16, 2025.

Nvidia Newsroom. [“HUMAIN and NVIDIA Announce Strategic Partnership to Build AI Factories of the Future in Saudi Arabia.”](#) May 13, 2025.

Omer Kabir. [“Why Nvidia’s AI Strategy Runs through Israel.”](#) CTECH, March 23, 2025.

Oxford Insights. [Government AI Readiness Index 2024](#). 2024.

Paul Kirvan and Brien Posey. [“Colocation \(Colo\).”](#) In TechTarget.

Pieter-Jan Nefkens. [“Digital Sovereignty/Sovereign Cloud Explained.”](#) Pieter-Jan Nefkens, January 25, 2025.

Research and Markets. [UAE Existing & Upcoming Data Center Portfolio Report 2025](#). Yahoo! finance, 2025.

Research and Markets. [United Kingdom Data Center Market - Investment Analysis & Growth Opportunities 2025-2030](#). Research and Markets, 2025.

[Saudi Arabia Data Center Market Size Forecast](#). Prescient & Strategic Intelligence, 2025.

SAUR News Desk. [“Why Data Center Capacity Is Measured in Megawatts: SaurEnergy Explains.”](#) SAUR Energy, June 5, 2024.

SDAIA. [“National Strategy for Data & AI.”](#)

SDAIA. [“Saudi Data & AI Authority and Vision 2030.”](#)

Sebastian Moss. [“Google Plans \\$400m Blue-Raman Cable Connecting India, Israel, and Italy.”](#) Data Center Dynamics, April 15, 2020.

semianalysis. [AI Datacenter Energy Dilemma – Race for AI Datacenter Space](#). March 13, 2024.

Shahar Bracha and Meirav Hickry. [The Economic Impact of Cloud Computing in Israel 2024](#). Deloitte, 2024.

SPEEDTEST. [“Israel Median Country Speeds.”](#) May 2025.

Structure Research. [Singapore 2024: Data Centre Colocation, Hyperscale Cloud & Interconnection](#). Structure Research, 2024.

- Syed, Naeem, Adnan Anwar, Zubair Baig, and Sherali Zeadally. "[Artificial Intelligence as a Service \(AlaaS\) for Cloud, Fog and the Edge: State-of-the-Art Practices.](#)" ACM Computing Surveys 57, no. 8 (2025): 1–36.
- techUK. "[The UK's AI Moment: An Ambitious New Plan for Innovation and Growth.](#)" techUK, January 13, 2025.
- TeleGeography. "[Submarine Cable Map | Israel.](#)"
- TeleGeography. "[Submarine Cable Map | Saudi Arabia.](#)"
- TeleGeography. "[Submarine Cable Map | Singapore.](#)"
- The Investopedia Team. "[Trade Secret: Definition, Examples, Laws, Vs. Patent.](#)" In Investopedia. May 13, 2025.
- Thunder Said Energy. [Data-Centers: The Economics?](#) Thunder Said Energy, n.d.
- Tim Day and Nam D. Pham. [Data Centers - Jobs and Opportunities in Communities Nationwide.](#) C_TEC (U.S. Chamber Technology Engagement Center), 2017.
- Tortoise. [The Global Artificial Intelligence Index 2024.](#) 2024.
- Tracxn. "[AI21 Labs - Company Profile.](#)" Tracxn, August 12, 2025.
- TRG Datacenters. "[NVIDIA H100 Power Consumption and Its Impact on High-Performance Computing.](#)" TRG Datacenters, n.d. Accessed September 1, 2025.
- TRG Datacenters. "[NVIDIA H100 Price – Is It Worth the Investment?](#)" TRG Datacenters, n.d.
- [UAE Centennial 2071.](#)
- [UAE National Strategy For Artificial Intelligence 2031.](#)
- Vishnu Jayan. "[How Many Terabytes Are In A Data Center? Exploring Storage Capacities in Modern Enterprises.](#)" SOLIX, n.d.
- [Vision 2030.](#) Kingdom of Saudi-Arabia
- World Economic Forum. "[What Is Digital Sovereignty and How Are Countries Approaching It?](#)" World Economic Forum, January 10, 2025.
- World Population Review. "[Cost of Electricity by Country 2025.](#)" 2025.

Yolanda Gil and Raymond Perrault. [Artificial Intelligence Index Report 2025](#). Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence, 2025.

Yuval Abraham. ["Order from Amazon': How Tech Giants Are Storing Mass Data for Israel's War."](#) August 4, 2024.

Zuhair Khayyat. ["AI Is Powering Saudi Arabia's Vision 2030 Transformation."](#) Arab News, February 27, 2025.

אליחי וידל and ג'יימס ספיירו. ["הקמת המרכז הקוונטי באוניברסיטת ת"א יכולה להפוך את ישראל למעצמה קוונטית"](#). January 14, 2025.

[הוועדה המייעצת לבחינת היבטי ביטחון לאומי בהשקעות זרות](#). מדינת ישראל, 2024.

[החלטת ממשלה 2282, קידום הביטחון האנרגטי של משק החשמל הישראלי, תיקון וביטול החלטות ממשלה מיום 31.10.2024](#)

[החלטת רשות החשמל 65702 בעניין חובת היועצות בנושא תכנית פיתוח מערכת ההולכה וההשנאה לשנים 2030-2023](#)

החשב הכללי - מינהל הרכש הממשלתי. ["פרויקט נימבוס"](#).

המשרד לשוויון חברתי. [התכנית הדיגיטלית הלאומית של ממשלת ישראל](#). 2017.

הרשות להגנת הפרטיות. [הנחיה – תחולת חוק הגנת הפרטיות על מערכות בינה מלאכותית](#). 2025.

חשמלינק. ["דפוסי צריכת משק החשמל בישראל"](#). September 1, 2025.

מאיר אורבך. [בהשקעה של חצי מיליארד שקל: קבוצת נביוס תקים את מחשב העל של ישראל](#). May 14, 2025.

מבקר המדינה. [היערכות הלאומית בתחום הבינה המלאכותית](#). מבקר המדינה, 2024.

מערך הדיגיטל הלאומי. [דו"ח בגרות המידע הממשלתי](#). מערך הדיגיטל הלאומי, 2021.

משרד המשפטים. [תקנות הגנת הפרטיות \(העברת מידע אל מאגרי מידע שמחוץ לגבולות המדינה\)](#). תשס"א-2001 (2023).

משרד המשפטים. [עקרונות מדיניות רגולציה ואתיקה בתחום הבינה המלאכותית, משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה](#). 2023.

משרד המשפטים. [חוות דעת: שימושים בתכנים מוגנים בזכויות יוצרים לצורך למידת מכונה](#). 2022.

פרופ' יעקב נגל, אתי בן זאב, ראין גיטי, עמר דגן, פרופ' שמואל פלג, and פרופ' שרית קראוס. [דין וחשבון של הוועדה הלאומית להאצת תחום הבינה המלאכותית - אוגוסט 2025](#). 2025.

רשות החדשנות. ["השקעה ממשלתית של 44 מיליון ש"ח בהקמת מאגרי נתונים למו"פ בבינה מלאכותית: קול קורא חדש שצפוי להניע קפיצת דרך טכנולוגית בתעשיית ההייטק הישראלית."](#) רשות החדשנות. July 13, 2025.

רשות החדשנות. [התוכנית הלאומית לבינה מלאכותית | תמונת מצב - אפריל 2025](#). רשות החדשנות, 2025.

רשות החשמל. [עבודת רשות החשמל בעניין קריטריון האמינות המשקי לצרכי תכנון מערך הייצור](#), 2023.

רשות החשמל. [דו"ח מצב משק החשמל](#) 2024