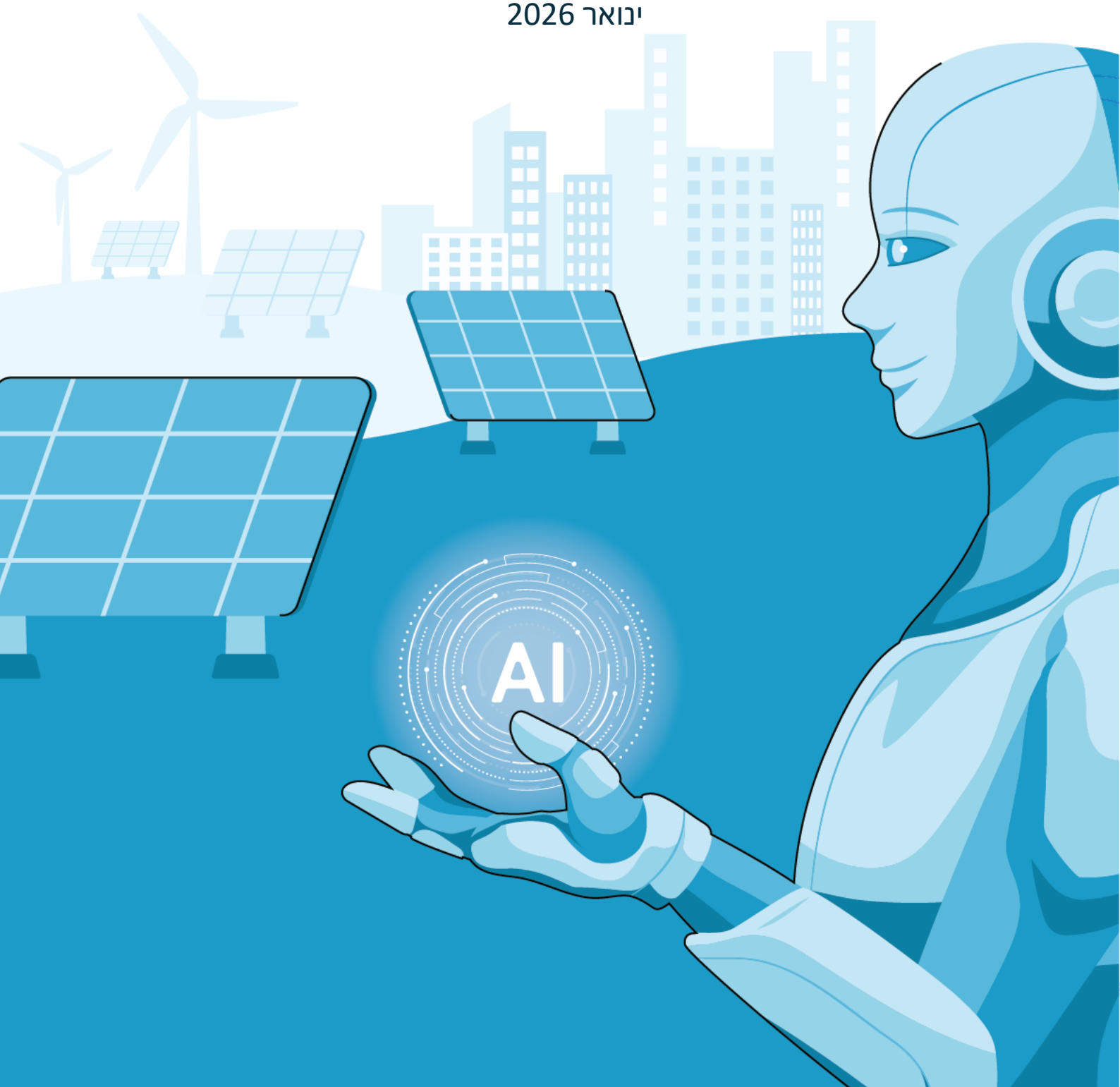
משרד האנרגיה והתשתיות

www.energy.gov.il

סקירה אסטרטגית ל-AI ואנרגיה

ינואר 2026



סקירה זו הוכנה ע"י משרד האנרגיה בהובלת אגף בכיר לתכנון מדיניות ואסטרטגיה בסיוע חברת שלדור.

בגיבוש העבודה לקחו חלק גורמים רבים במשרד, ובהם: החטיבה לאנרגיה מקיימת, יחידת המדען הראשי, מנהל אוצרות טבע, אגף בכיר טכנולוגיות דיגיטליות ומידע.

תודה לכלל הגורמים שלקחו חלק בתהליך.

אגף בכיר תכנון מדיניות ואסטרטגיה – שרון חצור, טל אבישי, שירה גיל, ד"ר שחר דולב

החטיבה לאנרגיה מקיימת – רון אייפר, חגית בן-חמו

יחידת המדען הראשי – ד"ר שרית ברנד קליבנסקי

מנהל אוצרות טבע – שגיא גנות

אגף בכיר טכנולוגיות דיגיטליות ומידע – מאיר יהב

חברת שלדור – עומר טפר, חן אלעזר, יואב גל, עומר פרידמן

תוכן עניינים

1. **תקציר מנהלים** 6
2. **מבוא** 13
   2.1. התפתחות תחום ה-AI 13
   2.2. ישראל בזירה הבינלאומית בתחום ה-AI 14
      2.2.1. דירוג ישראל במדדים בינלאומיים בתחום ה-AI 14
      2.2.2. תחום מודלי השפה 16
      2.2.3. הון אנושי 17
      2.2.4. הקמת חברות והשקעות פרטיות 20
      2.2.5. המגמה הנוכחית 22
      2.2.6. ניתוח הדירוג של ישראל לפי פרמטרים 25
3. **AI for Nation** 29
   3.1. מבוא 29
   3.2. הקשר בין AI לאנרגיה 31
   3.3. מדינות למיקוד 31
   3.4. אסטרטגיית AI לאומית 31
   3.5. תחום האנרגיה במדיניות ה-AI 33
      3.5.1. AI כצרכן אנרגטי 33
      3.5.2. התייחסות לאנרגיה במדיניות ה-AI הלאומית 34
4. **Energy for AI** 41
   4.1. מבוא 41
      4.1.1. אתגרי אנרגיה העולים באסטרטגיות הלאומיות 41
      4.1.2. עקרונות מדיניות לשיפור המצב הקיים 41
   4.2. היבטים משקיים (מדיניות ברמה ממשלתית) 42
      4.2.1. צעדים כלליים – תכניות אסטרטגיות 43
      4.2.2. צעדים בתחום האנרגיה – תכניות ייעודיות 44
      4.2.3. צעדים קונקרטים – הקמת צוותי חירום 45
   4.3. היבטים רגולטוריים (פיקוח ואסדרה) 46
      4.3.1. איסוף מידע ושקיפות 47
      4.3.2. תמריצים ומדיניות אזורית 48
      4.3.3. קביעת סטנדרטי יעילות 49
      4.3.4. הגבלות על הקמה 51

4.3.5. סט הכלים הרגולטורי 52
4.4. היבטים תפעוליים (הפעלה ויישום בשטח) 54
4.4.1. המחשה – מימוש המדיניות - המקרה האירי 54
5. **AI for Energy** 57
5.1. מבוא 57
5.2. מיפוי שימושים מובילים 58
5.2.1. שימושים עיקריים ל-AI בתחום האנרגיה והתשתיות 58
5.2.2. שימושים קיימים בשוק – דוגמאות מהעולם 59
5.3. אימוץ ה-AI בחברות אנרגיה ומים 61
5.3.1. תשתית נתונים למימוש AI 61
5.3.2. רמת אימוץ – מתודולוגיה 62
5.3.3. השוואה ל-Best Practice בינלאומי 62
5.4. הכלים לסגירת הפער – מיפוי הפתרונות הקיימים 63
5.4.1. פתרון AI נקודתי 64
5.4.2. פלטפורמות אינטגרציה 65
5.4.3. פלטפורמות IoT תעשייתיות 65
5.4.4. פלטפורמות AI כוללות 66
5.4.5. התאמת פתרון לצורך 67
5.5. מיפוי החסמים והכלים הרגולטוריים 67
5.5.1. משילות, ניהול מידע וסייבר 68
5.5.2. חסמים טכנולוגיים וכלכליים 71
5.5.3. תנועה לכיוון רגולציה מחייבת 75
5.6. שילוב AI בפעילות משרד האנרגיה והתשתיות 75
6. **סיכום והמלצות** 78
6.1. AI for Nation 78
6.2. Energy for AI 80
6.3. AI for Energy 80
7. **תרשימים בעבודה** 84



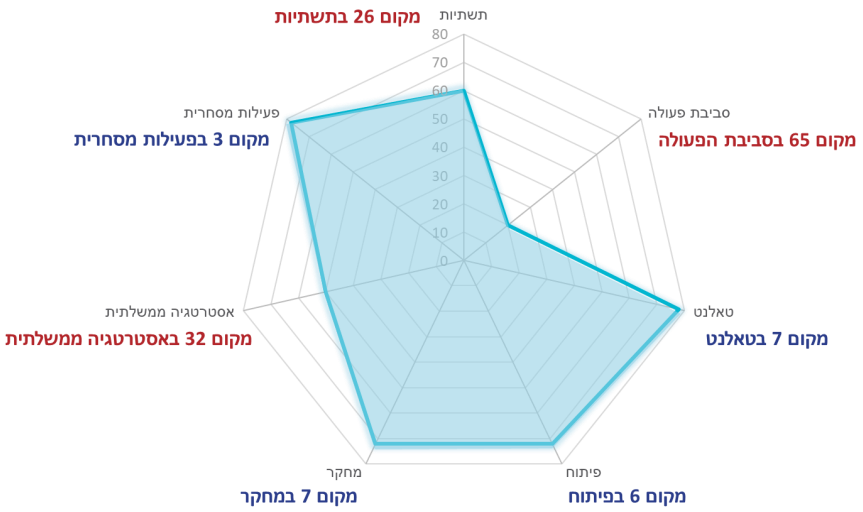
.1
תקציר מנהלים

1. תקציר מנהלים

הבינה המלאכותית (AI) משנה את פני הכלכלה והחברה, והפכה בשנים האחרונות למרכיב אסטרטגי בעוצמה הלאומית של מדינות. בעשור הקרוב צפוי תחום זה להוביל את קצב הצמיחה של מגזרי הטכנולוגיה העולמיים, תוך השלכות מרחיקות לכת על מבנה השווקים, פריון העבודה ויתרון תחרותי בין-מדינתי. ישראל ממוקמת בצמרת המדינות המובילות ב-AI, בזכות הון אנושי איכותי, תשתיות מחקר חדשניות ופעילות עסקית ענפה. עם זאת, קיימים פערים הולכים ומתרחבים ברמות ההשקעה, המעורבות הממשלתית והתשתיות – במיוחד ביחס למדינות שמתמקדות ביצירת יתרון מבני ארוך טווח. **משרד האנרגיה והתשתיות בחן במסגרת עבודה זו את השפעת ה-AI על מדיניות האנרגיה הלאומית במספר מדינות – הן כתשתית לתחום המתפתח, והן כמרחב פוטנציאלי ליישום טכנולוגיות AI.**

בכל הקשור לרמה הלאומית, בעוד שנראה כי במדדים הקשורים בהון אנושי וחדשנות ישראל מובילה, בתחומים הנוגעים לאסטרטגיות ותשתיות ישראל מדורגת במקומות נמוכים באופן משמעותי. פערים אלו אינם בהכרח מעידים על חולשה מבנית, אלא על פוטנציאל לא ממומש. כדי לשמר את היתרון היחסי של ישראל נדרש מענה אסטרטגי ממוקד שישלים את האקו-סיסטם הטכנולוגי הקיים בתחומים של תשתיות, רגולציה ומעורבות ממשלתית ארוכת טווח.

דירוג ישראל במדד ה-AI Index לפי פרמטרים, 2024:[1]



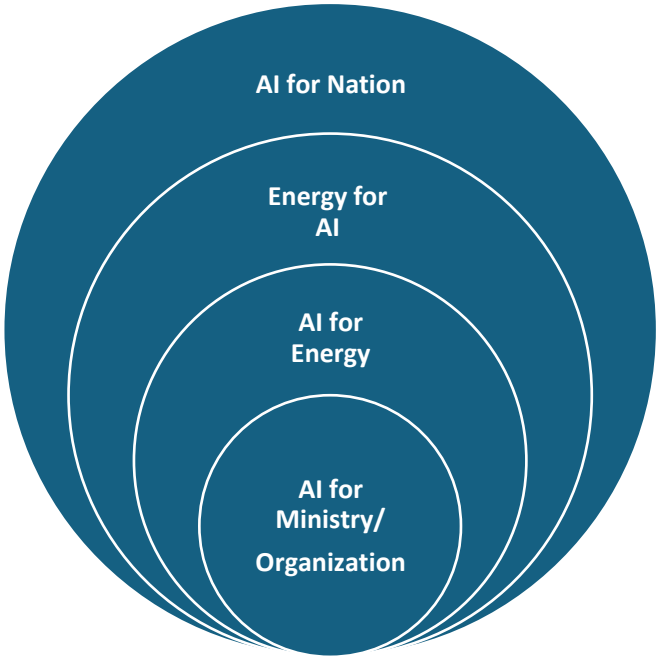
הבינה המלאכותית נתפסת כיום כתשתית אסטרטגית וקריטית – בדומה לחשמל, מים ותקשורת – הדורשת גיבוש תפיסה רוחבית מצד המדינה. מדינות רבות בעולם כבר גיבשו אסטרטגיות לאומיות ייעודיות ל-AI, **כאשר בגל השני של האסטרטגיות ניכרת מגמה ברורה של הכללת תחום האנרגיה כאחד ממוקדי הפעולה המרכזיים.** הסיבה לכך כפולה: מצד אחד, מרכזי נתונים ואלגוריתמים מתקדמים צורכים חשמל רב ומהווים את

[1] עיבוד לנתוני 2024 של Tortoise AI Index.

אחד ממקורות הצריכה הצומחים ביותר בעשור הקרוב (Energy for AI), מצד שני, מערכות אנרגיה תשתיתיות הן מהמועמדות המובילות להטמעת פתרונות AI תפעוליים ותחזוקתיים (AI for Energy). הקשר ההדוק והקריטי בין אנרגיה לבינה מלאכותית, ואף זיהוי הסוגיה האנרגטית כאחד מארבעת הצירים להאצה של ישראל בתחום, הובהר גם בדוח הוועדה הלאומית להאצת תחום הבינה המלאכותית בראשות פרופ' יעקב נגל (להלן: "ועדת נגל") שפורסם לאחרונה. יתרה מכך, יש הכרח בהשקעת תקציבים ממשלתיים משמעותיים בפיתוח תחום זה.[2]

עדכון האסטרטגיות הלאומיות לבינה מלאכותית ממחיש את ההדדיות והתלות בין התכניות הלאומיות לבינה מלאכותית, לבין אסטרטגיות אנרגיה ובינה מלאכותית. מדיניות אנרגיה ובינה מלאכותית משקפת לממשלה את העלויות הכרוכות במימוש המדיניות הלאומית המוצעת, ותאפשר גיבוש מדיניות מבוסס ומושכל יותר. לישראל יש יתרונות יחסיים רבים בתחום ה-AI ופוטנציאל להיות מובילה בין היתר בזכות ההון האנושי המצוי בה, היכולות המחקריות והאקו-סיסטם הטכנולוגי הישראלי. יתרה מכך, איכות החשמל בישראל, רמת האמינות שלו והמחיר שלו היום מהווים יתרונות משמעותיים לפיתוח תשתיות AI. יחד עם זאת, לעידוד בינה מלאכותית ללא כל הבחנה ישנן עלויות שיש לקחת בחשבון אל מול התועלות. ביחס לעלויות האנרגטיות, על מנת שהאסטרטגיה הלאומית תהיה מיטבית, עליה להתבסס לא רק על היתרונות והצרכים של ישראל בתחום ה-AI, אלא הכרחי גם כי היא תתבסס על היכולות האנרגטיות והמשמעויות האנרגטיות של קידום בינה מלאכותית על משק האנרגיה הישראלי, כפי שיגדיר אותן משרד האנרגיה.

ממשקים בין אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית לאסטרטגיה לאנרגיה ובינה מלאכותית



[2] דין וחשבון של הוועדה הלאומית להאצת תחום הבינה המלאכותית - אוגוסט 2025 הוועדה בראשות פרופ' יעקב נגל. 5 אוגוסט, 2025.

באשר לשילוב תחום האנרגיה במדיניות הלאומית ל-AI, ניתן להבחין בין שלוש גישות עיקריות, אשר נבדלות בעוצמת העיסוק בנושא האנרגטי – (1) גישה המתמקדת בשימוש AI אפליקטיבי לצרכים לאומיים, (2) גישה המקדמת אקוסיסטם תעשייתי לאומי בתחום ה-AI, (3) גישה השואפת להפוך את המדינה למעצמת AI גלובלית. שלוש הגישות נובעות במידה רבה מהאסטרטגיה הלאומית ומידת השאפתנות שלה. כאמור, יש לבחון את העלויות והתועלות ביחס לכל אחת מהגישות ולגזור את האסטרטגיה הלאומית מאיזון והפנמת המשמעויות השונות.

לאחר קביעת האסטרטגיות ברמה הלאומית, מדינות רבות נוקטות בצעדים רגולטוריים ייעודיים בתחום האנרגיה במנעד רחב: (1) החל מאיסוף מידע ושקיפות על צריכת האנרגיה כתוצאה משימוש ב-AI, דרך (2) שימוש בתמריצים להקמת חוות שרתים באופן מיטבי למשק האנרגיה המקומי, (3) וקביעת סטנדרטי יעילות – הטלת דרישות ביצוע מינימליות, כגון מדדים של יעילות אנרגטית, שימוש בחשמל מייצור מקומי ואנרגיה מתחדשת או פתרונות קירור מתקדמים, וכלה (4) בהטלת הגבלות על הקמת חוות שרתים – עצירת הקמת מרכזי נתונים חדשים באזורים עמוסים ברשת החשמל או חובת עמידה בתנאים תכנוניים/אנרגטיים כתנאי לפעילות.

ניתן לראות כי מדינות שונות מגבשות אסטרטגיה לאומית לשילוב בינה מלאכותית במשקן. אסטרטגיות אלה שונות זו מזו, הן מבחינת הצעדים המוצעים ועוצמת ההשפעה של הבינה המלאכותית על המשק, והן מבחינת התכניות והצעדים שנגזרים מהן. יחד עם זאת, ברור כי תחום האנרגיה הוא בלתי נפרד מהמדיניות הלאומית, וללא כיוון ואסטרטגיה ממשלתית קשה יהיה לגזור תכניות נושאיות מיטביות. מאחר שתחום האנרגיה מהווה בסיס לכל אסטרטגיה לאומית בתחום הבינה המלאכותית, האסטרטגיה הלאומית ל-AI והאסטרטגיה של משק האנרגיה ל-AI, מזינות אחת את השניה והקשר ביניהן הוא הדדי ושוטף.

בימים אלה בוחן משרד האנרגיה והתשתיות, בשיתוף עם רשות החשמל, חברת נגה וחברת החשמל, את המשמעויות, ההזדמנויות ואת הסיכונים של הקמת חוות שרתים בישראל. לאחר פרסום מסמך זה להערות הציבור, משרד האוצר, בשיתוף המשרד וגופים נוספים, פרסם קול קורא להתייחסות הציבור בנושא מדיניות ממשלתית בנושא חוות שרתים ואנרגיה, וגם נערך שימוע ציבורי בנושא, כך שהנושא עודנו נמצא בבחינה וגיבוש מדיניות. נייר מדיניות בנושא צפוי להתפרסם בהמשך.

הנושאים שנמצאים בבחינה הם, בין היתר, ההשפעה של הקמת חוות שרתים על הביקוש לחשמל בעשורים הבאים, ההיבטים האזוריים של הקמת החוות, והחסמים הרגולטוריים העומדים בפני היזמים בתחום. בנוסף, נבחנים צעדי המדיניות הנדרשים כדי לעודד ולהמשיך להקל על הקמת חוות שרתים בישראל, במקביל לבחינת כלי המדיניות לשימוש מיטבי ברשת החשמל – למשל, הכוונה גיאוגרפית של הקמת חוות השרתים באזורים אשר יסייעו למשק החשמל ולא יקשו עליו, היבטים של חוות יצור/רכישת חשמל, וכן היבטי התייעלות באנרגיה. יחד עם זאת, ועוד טרם סיום העבודה בנושא, כבר כעת ניתן לומר כי אסטרטגיית ה-AI של ישראל צריכה

להישען על מאפייניו האנרגטיים של המשק הישראלי, לרבות מחסור בשטח, עלייה מתמדת בביקוש לחשמל, עמידה ביעדי הפחתת פליטות והצורך ביכולת להתמודד עם מצבי חירום.

בעולם, וגם בישראל, מתחילים להבין ולממש את הפוטנציאל של בינה מלאכותית במשקי האנרגיה והתשתיות ליעילות וחסכון במשאבים, ומרחב החדשנות הוא עצום, גם נוכח חסמים שונים. השימוש בכלים אלו ובמערכות מתקדמות המשתמשות בבינה מלאכותית יכול לאפשר חיסכון משמעותי באנרגיה, במשאבים ובכסף ציבורי ופרטי. זאת, בנוסף לייעול ושיפור תהליכים לכל אורך שרשרת אספקת האנרגיה, תוך צמצום תקלות, הגדלת תפוקות ומיקסום הזדמנויות עסקיות. שיפורים אלו יכולים להשפיע גם על הביקוש לאנרגיה וניהול תשתיות משיקות, ומשכך יש להם ערך רב גם ברמה המשקית והלאומית

ניתן לחלק את יישומי הבינה המלאכותית בחברות האנרגיה והתשתית בארץ ובעולם לקטגוריות לפי שימושים שונים :

1. **ניטור מערכות ונכסים –** שימוש במערכות AI לאיסוף, עיבוד וניתוח של נתוני חיישנים בזמן אמת, לצורך זיהוי חריגות והארכת חיי הנכסים.
2. **תחזוקה מונעת –** שימוש במודלים של בינה מלאכותית לניתוח דפוסי פעילות, נתוני חיישנים והיסטוריית תקלות, במטרה לחזות מראש כשלים טכניים, למנוע השבתות לא מתוכננות ולתזמן עבודות תחזוקה באופן אופטימלי.
3. **אופטימיזציית תפעול –** הטמעת כלי AI לצורך תזמון פעולות וניהול גמיש של מקורות אנרגיה מרובים במערכת.
4. **ניהול רשתות חשמל –** הטמעת כלי AI לזיהוי צווארי בקבוק, תחזית עומסים וניהול אופטימלי של חלוקת האנרגיה ברשת, תוך שיפור היציבות והאמינות של המערכת.
5. **חיזוי ביקוש והיצע –** למשק האנרגיה יש פוטנציאל עצום בשימוש בבינה מלאכותית לניתוח נתוני צריכה ומזג אוויר לצורך תחזיות מדויקות.

מימוש היכולת להשתמש בכלי בינה מלאכותית בצורה מדוייקת בארגונים תלויה גם ביכולת לשלב בין סוגים שונים של מידע ממערכות שונות בארגון, אשר מאופיין במגוון הבניות ופורמטים – מערכת המידע הארגונית (IT) מערכת הטכנולוגיה התפעולית (OT) וגם שילוב של מידע חיצוני לארגון. טווח היכולת לשלב סוגי נתונים שונים בהיקפים שונים, נלקח בחשבון גם בסוגי הפתרונות המוצעים ובהיקף היישומים שהם מאפשרים, ובהתאמה שלהם כפתרון מדף או כפלטפורמה ייחודית לארגון, ותשומות הארגוניות הנדרשות להטמעתם.

השימושים העיקריים ב-AI בתחומי חברות האנרגיה והתשתיות



במיפוי שערך המשרד בקרב החברות הממשלתיות בתחומי האנרגיה והתשתיות, עלה כי קיימת שונות רבה ביישומי ה-AI שהוטמעו בארגונים השונים, ובהיקפם. עוד עלה כי יש עניין רב במימוש פוטנציאל ההטמעה וקידום הנושא בארגון, כמו גם אתגרים וחסמים. נראה כי אתגרים אלו אינם ייחודיים לחברות וארגונים בתחומי האנרגיה והמים, והפתרון להם יכול להיות חלק ממדיניות ממשלתית כוללת, או אסטרטגיה נרחבת בנושא. אימוץ בינה מלאכותית במשקי האנרגיה והמים נתקל בשני אתגרים רוחביים, אשר חוזרים על עצמם במדינות שונות וברמות יישום שונות:

1. **תשתית המידע הארגונית וממשקי הסייבר** – סוגיות של פרטיות, גישה, איכות מידע ומידור בין מערכות, וכן אמינות המערכת. נראה כי המענים לאתגר זה בעולם הם תקינה ורגולציה למוצרים ולארגונים, חלקן מחייבות וחלקן וולונטריות, בהיקף מקומי או רב לאומי.
2. **פערי כשירות טכנולוגיים וכלכליים** – חסמים במערכות הקיימות, עלויות השקעה והתאמה למאפיינים תפעוליים. המענים לאתגר זה הם בחינת התשתיות הנדרשות על ידי ספק הכלים המתקדמים כחלק מתהליך ההטמעה, וכן תמריצים ממשלתיים וסובסידיות, וקביעת סטנדרטים עם יעדים מדידים לדיווח הביצועים ושיפור.

על מנת לגשר על פערים אלה, משרד האנרגיה והתשתיות מוביל פורום משותף עם החברות הממשלתיות במשק האנרגיה, לקידום חדשנות והטמעה אחראית של יישומי בינה מלאכותית. בנוסף, הפורום משמש לזיהוי צרכים רוחביים, למידת עמיתים והעמקה בסוגיות שונות, וכן שיתוף בגיבוש המדיניות. בהמשך להצעות שהתקבלו במסגרת הערות הציבור, המשרד יעמיק את בירור הצרכים בקרב החברות על מנת לתת מענה מותאם לאתגרי ההטמעה של בינה מלאכותית במשק האנרגיה.

בנוסף, כחלק ממעגל שימושי ה-AI כפי שהוצג לעיל, נעשות פעולות לשילוב AI בעבודת משרד האנרגיה והתשתיות – AI for Ministry. למעגל זה חשיבות רבה, למרות שאינו נכלל בסקירה הבין-לאומית, שכן הוא מגלם את התפיסה והיישום של בינה מלאכותית במשרד האנרגיה והתשתיות, שחקן משפיע ומשמעותי במשק האנרגיה, שביכולתו לשמש דוגמה ולקבוע סטנדרטים, להתגבר על חסמים שונים, ואף להוביל בתחום.

יישום נרחב של טכנולוגיות AI מאפשר לקדם חדשנות טכנולוגית תוך שיפור השירות וממשקי העבודה ולחסוך בזמן ובמשאבים. יעדי המשרד בנושא הם הפחתת רגולציה, פיתוח יכולות חיזוי מגמות, שיפור תהליכי עבודה וקבלת החלטות מבוססות נתונים, הנגשת מידע לציבור, וייעול ושיפור תהליכי עבודה.

במסגרת עבודה זו מוצגות סקירות והמלצות ברמות השונות:

- **ברמה הלאומית** (AI for Nation) – הצורך בקידום אסטרטגיה ממשלתית כוללת ל-AI, לרבות התייחסות לתשתיות. אסטרטגיה זו תהווה בסיס לכל מדיניות בנושא, ניתן יהיה לגזור ממנה תכניות לאומיות והיא תתן ודאות למשק. ללא אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית, קשה לגזור צעדים קונקרטים ליישום ושילוב בינה מלאכותית במשק, ולהפוך את ישראל כמובילה עולמית בתחום.
- **ברמת ניהול משק האנרגיה** (Energy for AI) – בחינת גיבוש מדיניות AI למשק האנרגיה בהתאם לביקושים לחשמל ולמאפייני המשק הישראלי. אסטרטגיה זו תציג את המשמעויות, היתרונות, העלויות וההזדמנויות האנרגטיות של פיתוח התחום בישראל. המדיניות הלאומית לבינה מלאכותית תצטרך להפנים משמעויות אלה ולייצר את האיזונים הרצויים עבור ישראל.
- **ברמת היישום במשק האנרגיה** (AI for Energy) –מימוש הפוטנציאל של שילוב בינה מלאכותית במשק האנרגיה בהתבסס על יוז-קייסים מובילים בעולם. על מנת לשפר תחום זה ולהרחיב את ההטמעה של כלי AI במשק האנרגיה בצורה אחראית יש לפתח מנגנוני תמרוץ לפיילוטים ושילוב המערכות, לקדם תשתיות מידע תומכות AI, ויצירת מסגרת תומכת לפיתוח התחום בחברות הממשלתיות, בין היתר באמצעות גיבוש רשימת ספקים מאושרים לתשתיות קריטיות, קביעת KPI ותמריצים. לצד צעדים אלה, יש להמשיך לבחון ולמפות באופן שוטף מקרי יישום (יוז-קייסים) המשמשים במשקי האנרגיה והתשתיות בעולם.
- **ברמה הארגונית** (AI for Ministry/Organization) – עידוד חדשנות פנים-ארגונית, לרבות בחינת מודלים לתמרוץ אימוץ טכנולוגיות AI, הסדרת כללי ביטחון מידע, פרטיות ואתיקה מבוססי תקינה בינלאומית.

יישום מוצלח של ההמלצות ברמות השונות יסייע למדינת ישראל לקדם תעשיית AI לאומית יציבה, יעילה ובת קיימא, לבנות משק אנרגיה מתקדם ויעיל יותר ולהוביל בתחום ה-AI בקנה מידה בינ"ל.



2. מבוא

2. מבוא

2.1 התפתחות תחום ה-AI

"מערכת בינה מלאכותית היא מערכת מבוססת מכונה אשר למטרות מפורשות או מרומזות, מסיקה מהקלט שהיא מקבלת כיצד לייצר פלטים כגון תחזיות, תוכן, המלצות או החלטות שיכולות להשפיע על סביבות פיזיות או וירטואליות. מערכות בינה מלאכותית משתנות ברמת האוטונומיה ורמת ההסתגלות שלהן לאחר פריסתן".

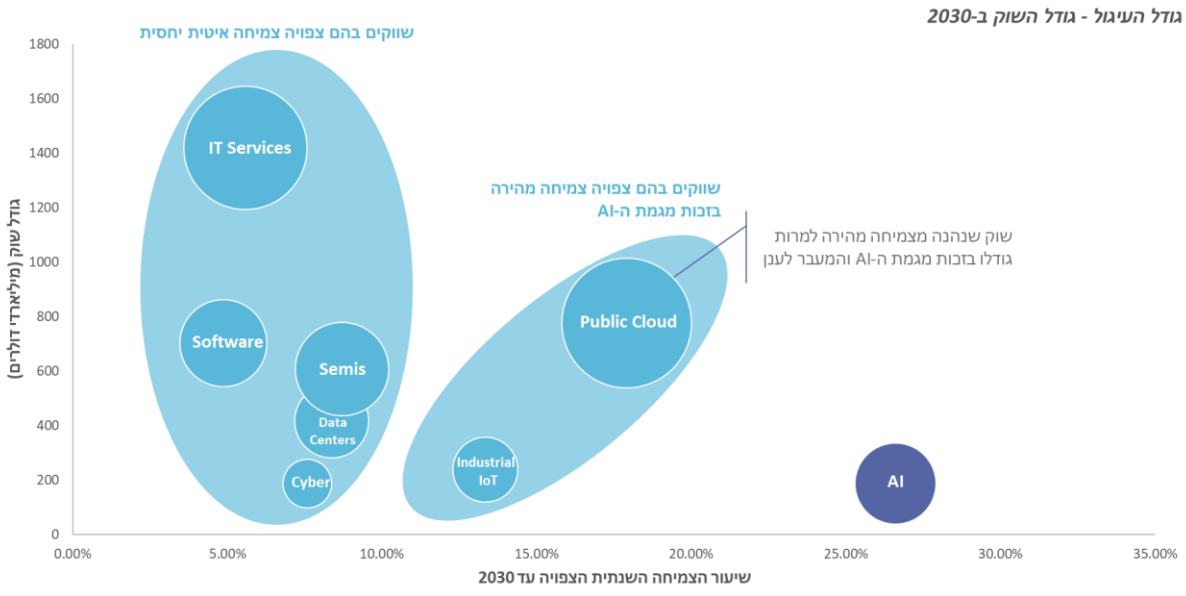
תרגום הגדרה מעודכנת ליום 29.11.2023 לפי ה-OECD, מתוך עבודה שפרסם משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה.[3]

תחום הבינה המלאכותית (AI) צפוי להיות מנוע צמיחה מרכזי בעולם בעשור הקרוב. ניתוח מגמות הגידול בטכנולוגיות השונות לשנת 2030 מצביע על כך שתחום ה-AI יוביל , עם שיעור גידול צפוי של כ-30% משנת 2020, וזאת בפער משמעותי ביחס לשאר תחומי הטכנולוגיה. לשם השוואה, תחומים מסורתיים בגון שירותי IT, תוכנה ורכיבים אלקטרוניים (Semiconductors) צפויים לצמוח בשיעור שנתי מתון יותר של כ-5%-10%.

כפי שמוצג **ב**תרשים 1, שווקים המבוססים על מגמות טכנולוגיות חדשות, ובהם מחשוב ענן ציבורי (Public Cloud) ו-IOT נהנים מקצב צמיחה מהיר יותר בזכות השפעות מגמת ה-AI. אף על פי כן, אלו נותרו מאחור לעומת שוק הבינה המלאכותית עצמו.

הנתונים ממחישים את השפעתו המכרעת של ה-AI על מבנה השווקים הטכנולוגיים העתידיים, ואת מיצובו כתחום ייחודי בהיקף ההזדמנויות הכלכליות שהוא מייצר.

תרשים 1: תחום ה-AI הוא הצומח ביותר מבין התחומים הגדולים בטכנולוגיה, גודל השוק הצפוי ב-2030[4]



[3] משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה. "תחומי עדיפות לאומית במדע וטכנולוגיה: תמונת מצב בינה מלאכותית". אפריל, 2025.
[4] עיבוד שלדור לנתוני Statista, "Artificial intelligence (AI) market size worldwide from 2020 to 2030"

2.2. ישראל בזירה הבינלאומית בתחום ה-AI

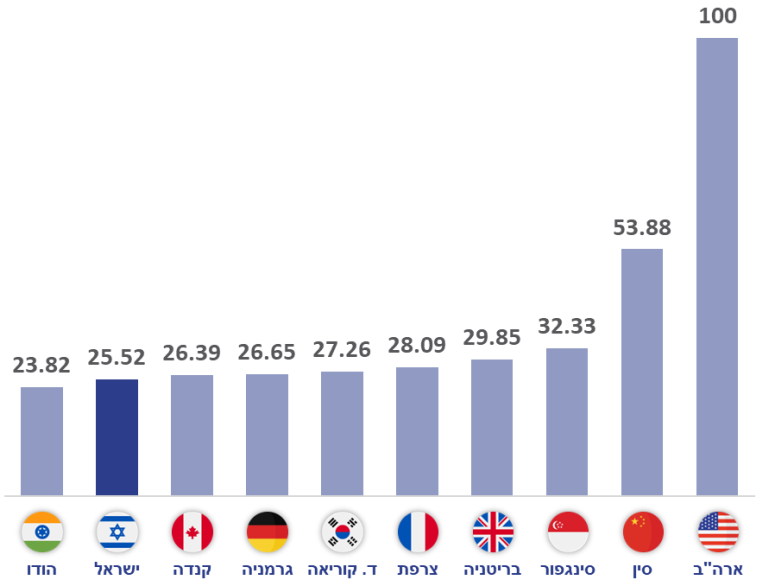
2.2.1. דירוג ישראל במדדים בינלאומיים בתחום ה-AI

דירוג המדינות בתחום הבינה המלאכותית בפרק זה מבוסס על מדד Tortoise AI Index, אשר מפורסם על ידי גוף התקשורת הבריטי Tortoise. הנחשב לאחד מהמדדים המקיפים והמקובלים ביותר בעולם להערכת עוצמתן של מדינות בתחום ה-AI. המדד בוחן שבעה פרמטרים, המחולקים לשלושה עמודי תווך תחומיים עיקריים: יישום, חדשנות והשקעה.

- **בתחום היישום (Implementation):**
  -  המצאות מומחים בעלי מיומנות ו**בישרון מקצועי** (Talent)
  -  איכות ה**תשתיות** ואמינותן (Infrastructure)
  -  **סביבת הפעילות**, הסביבה הרגולטורית במדינה ודעת הקהל לגבי בינה מלאכותית (Operating Environment).
- **בתחום החדשנות (Innovation):**
  -  נבחנים ה**מחקר** בתחום ומספר הפרסומים האקדמיים (Research)
  -  היקף **פיתוח** פלטפורמות ואלגוריתמים חדשים (Development)
- **בתחום ההשקעה (Investment):**
  -  נמדדים ה**אסטרטגיה הממשלתית** והמחויבות הממשלתית לנושא (Government Strategy)
  -  ה**פעילות המסחרית**, רמות ההשקעות והיזמות בתחום (Commercial Activity).

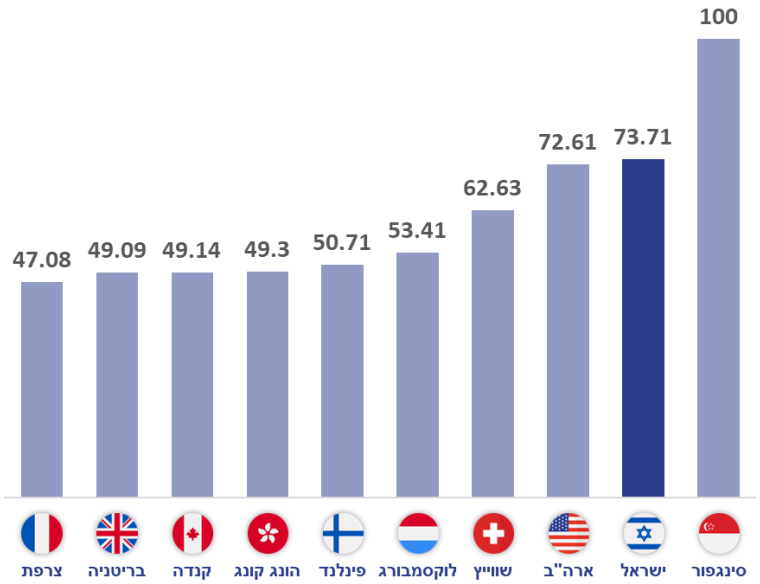
לפי ה-Tortoise AI Index לשנת 2024, ישראל מדורגת במקום התשיעי בעולם מבחינת רמת אימוץ טכנולוגיות הבינה המלאכותית, מבין 83 מדינות. דירוג זה ממקם את ישראל בקרב המדינות המובילות בעולם, לצד גרמניה, דרום קוריאה, בריטניה וסינגפור, אך עדיין במרחק רב מסין וארצות הברית המובילות באופן מובהק את התחום, כפי שמוצג בתרשים 2.

תרשים 2: דירוג המדינות המובילות ב-AI Index, 2024[5]



באשר בוחנים את דירוג המדינות באופן מנורמל לגודל האוכלוסייה, עולה כי ישראל מדורגת במקום השני בעולם, מיד לאחר סינגפור באשר היא מקדימה את ארצות הברית, שוויץ ולוקסמבורג (תרשים 3). נתון זה מדגיש את ההשקעה הגבוהה של השוק הישראלי בפיתוח והטמעת טכנולוגיות AI ביחס לגודל הדמוגרפי הקטן, וממצב אותה כאחת ממובילות החדשנות העולמית בתחום זה.

תרשים 3: דירוג המדינות המובילות ב-AI Index (בהתאם לגודל האוכלוסייה), 2024[6]

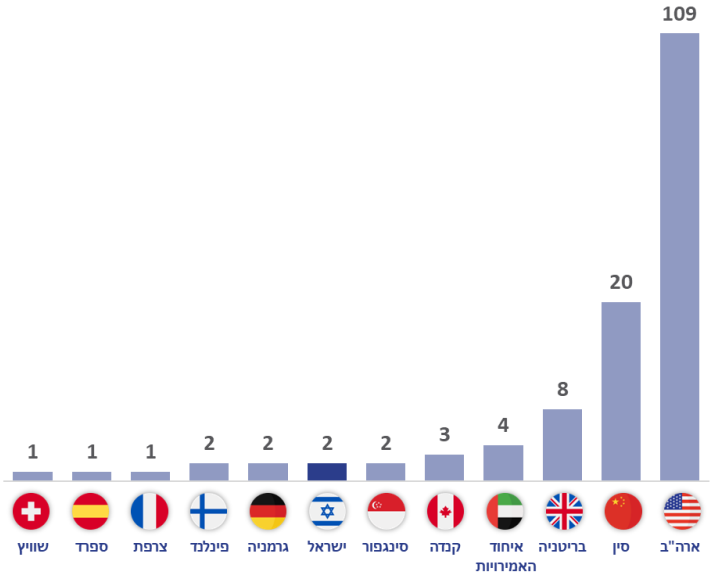


[5] עיבוד לנתוני 2024 של Tortoise AI Index.
[6] עיבוד לנתוני 2024 של Tortoise AI Index.

2.2.2. תחום מודלי השפה

נתוני 2023 ו-2024 מצביעים על כך שישראל נמנית עם המדינות הפעילות בתחום פיתוח מודלי שפה גדולים (Large Language Models) שהם מערכות בינה מלאכותית היכולות לעבד וליצור טקסטים בשפה טבעית, לאחר שאומנו על כמויות עצומות של טקסט. בשנת 2023, לצד מדינות דוגמת סינגפור, גרמניה ופינלנד, ישראל דורגה בין המדינות הבודדות שהציגו לפחות שני מודלי יסוד (Foundation Models) חדשים. אלו הם מודלים רחבים כלליים ורב-שימושיים שנבנו כך שיוכלו לשמש כבסיס למגוון רחב של יישומים מגוונים בתחומי ידע שונים (תרשים 4). נתון זה מספק ראיה נוספת לרמת החדשנות והמחקר במדינה, למרות מגבלות המשאבים בהשוואה לשחקנים גלובליים גדולים.

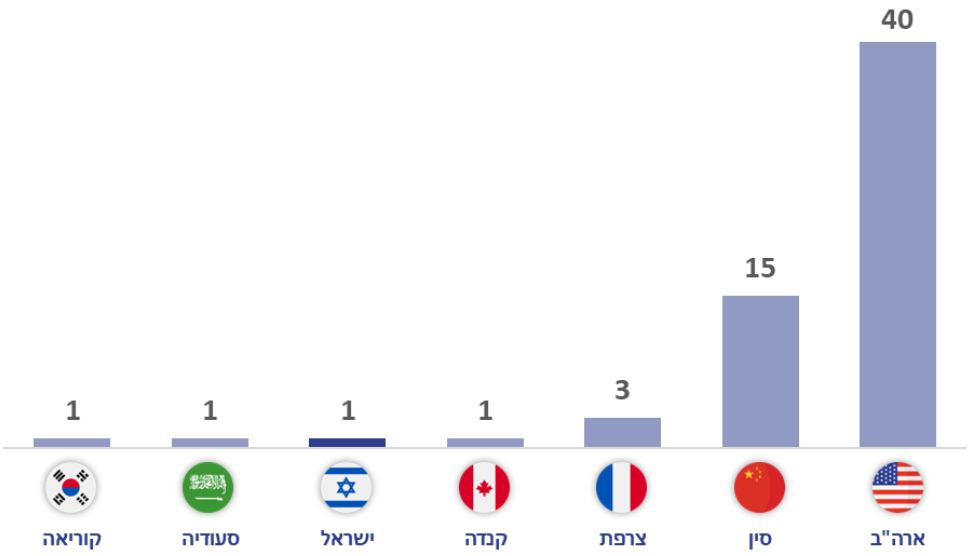
תרשים 4 : מספר מודלי היסוד לפי מדינה, 2023[7]



בנוסף, בשנת 2024 דורגה ישראל כאחת מהמדינות שתרמו ליצירת מודלים שנחשבים כ"ראויים לציון" (Notable Models), כאשר מדינות מעטות בלבד – בהן ארצות הברית, סין, וצרפת – הובילו את התחום בכמות המודלים שפותחו (תרשים 5). העובדה שישראל נמצאת בקרב מדינות אלו, גם אם בפער ניכר מן הפסגה, משקפת את הנוכחות הגוברת של האקו-סיסטם הישראלי בזירת ה-AI העולמית.

[7] עיבוד לנתוני 2024 של Tortoise AI Index.

תרשים 5: מספר המודלים "הראויים לציון" לפי מדינה, 2024[8]

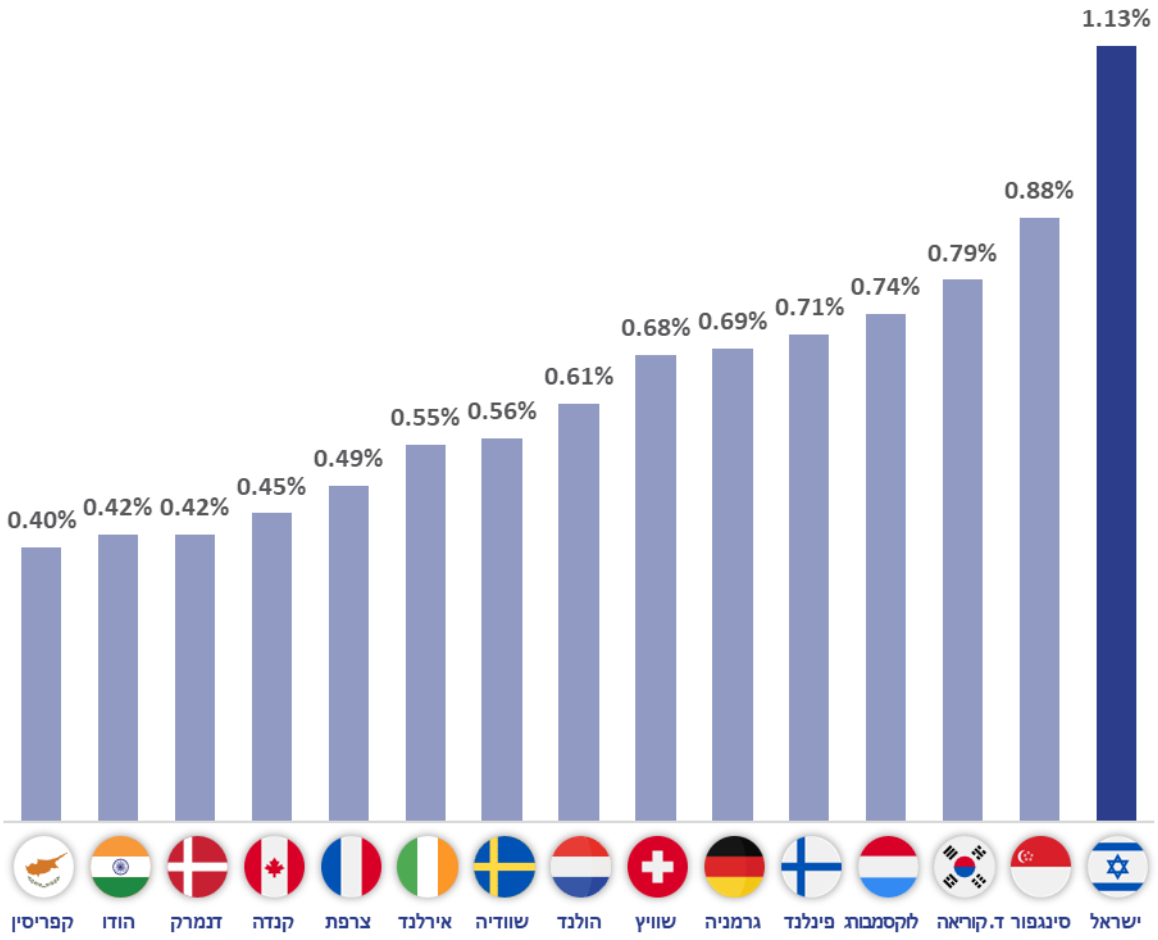


2.2.3. הון אנושי

אחד ממנועי הצמיחה המרכזיים של תחום הבינה המלאכותית בישראל הוא ריכוז גבוה של מומחים מיומנים. ישראל מדורגת ראשונה בעולם בריכוז כוח אדם מיומן ב-AI, עם שיעור של 1.13% מכלל כוח העבודה – שיעור גבוה משמעותית ביחס למדינות אחרות שנמדדו (תרשים 6). ריכוז זה מהווה יתרון מבני משמעותי למחקר ופיתוח בתחום הבינה המלאכותית.

[8] עיבוד לנתוני 2024 של Tortoise AI Index.

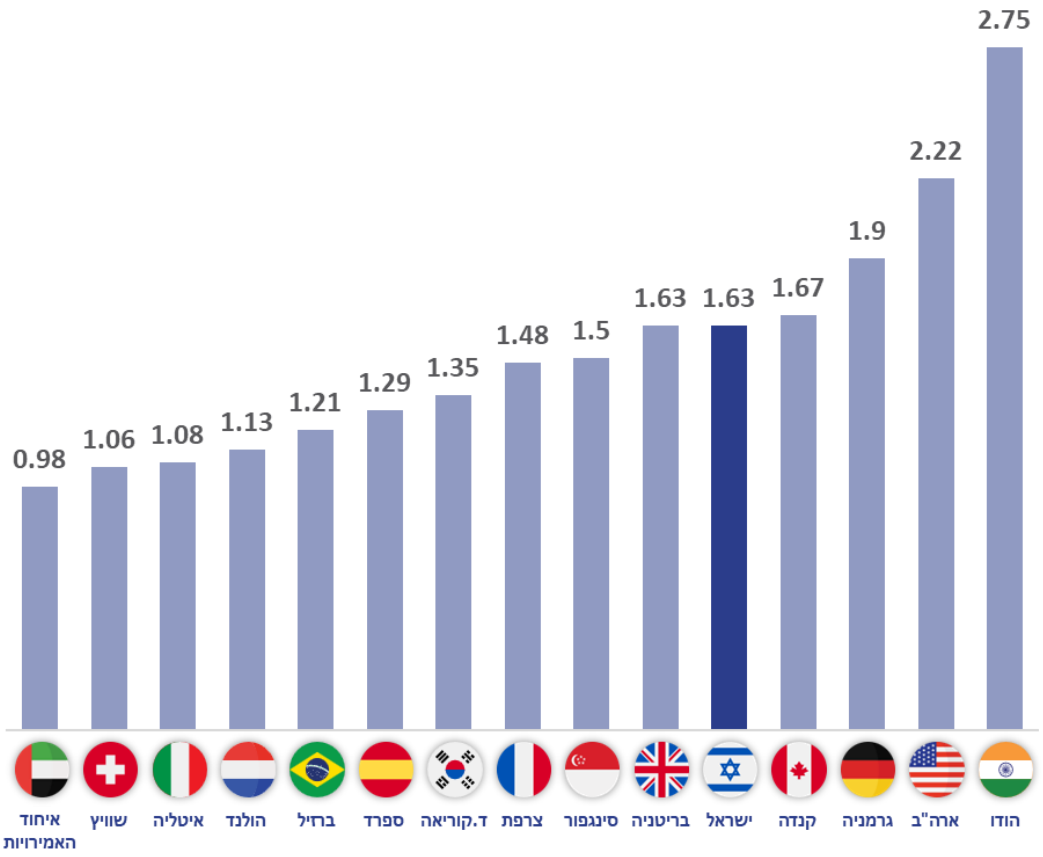
תרשים 6: ריכוז כוח האדם המוכשר בתחום ה-AI, 2023[9]



כמו כן, ישראל מדורגת גבוה גם ביכולת המערכתית לאמץ טכנולוגיות AI בקצב מהיר. המדד "AI Skill Penetration" הוא מדד יחסי המעריך את שיעור אימוץ יכולות ומיומנויות AI, תוך השוואה בין מקצועות מסויימים, ושל שיעורם במדינה מסוימת לעומת הממוצע העולמי. הנתון נמדד מניתוח אזכור כישורים אלו בפרופילי משתמשים מתחומים שונים בלינקדאין. בישראל נמצאה עלייה משמעותית, כישורי AI הופיעו פי 1.63 בשיעור האימוץ ביחס לממוצע העולמי בין השנים 2015– 2023 (תרשים 7). נתון זה מעיד לא רק על כמות הכישרון הזמין, אלא גם על גמישות ופתיחות של גופים עסקיים וציבוריים לקליטת טכנולוגיות חדשניות. שילוב של היצע כוח אדם איכותי עם יכולת מערכתית גבוהה לאימוץ מהיר של חדשנות מהווה בסיס קריטי להמשך התפתחותה של ישראל בתחום ה-AI.

[9] עיבוד לנתוני Stanford HAI, "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University. April 2024.

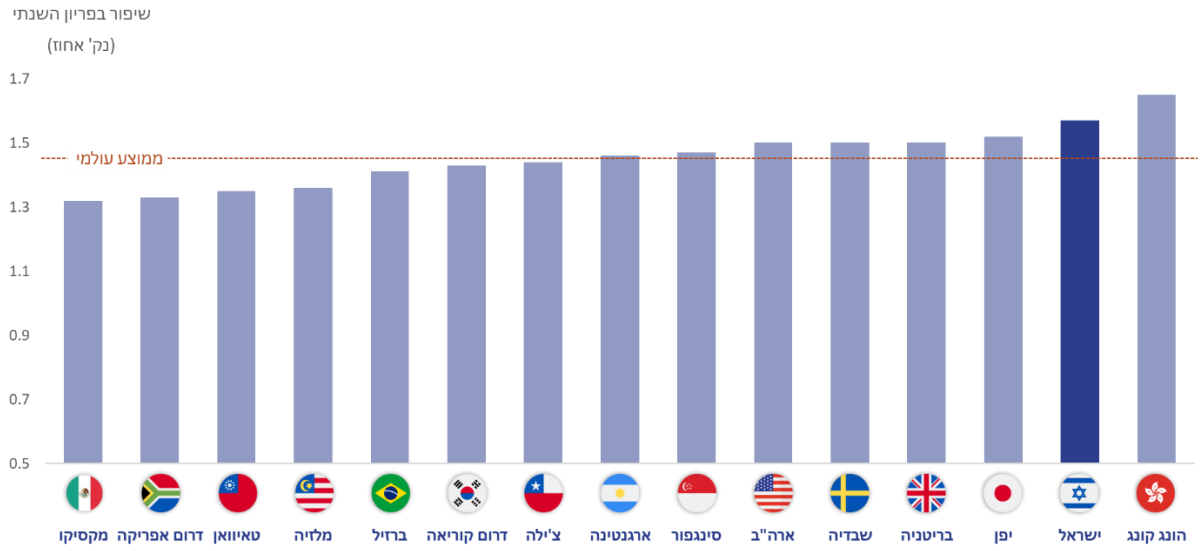
תרשים 7: אימוץ יחסי של יכולות AI לפי מדינה, 2015-2023[10]



בהמשך לכך, ישראל צפויה להנות מעלייה משמעותית בפריון העבודה בעשור הקרוב כתוצאה מאימוץ טכנולוגיות AI, למשל בעקבות התייעלות בתהליכי העבודה, וביצוע יותר משימות בפחות זמן ובאופן יותר יעיל. ישראל מדורגת כאחת המדינות הצפויות להציג שיפור גבוה מהעולם המערבי הממוצע בקצב הגידול השנתי בפריון העבודה (תרשים 8). נתון זה משלים את התמונה החיובית ביחס למאפייני כוח האדם ומיומנויות החדשנות במשק הישראלי.

[10] עיבוד לנתוני Stanford HAI, "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University. April 2024.

תרשים 8: השפעה מוערכת של אימוץ AI על הגידול השנתי בפריון העבודה בעשור הקרוב[11]

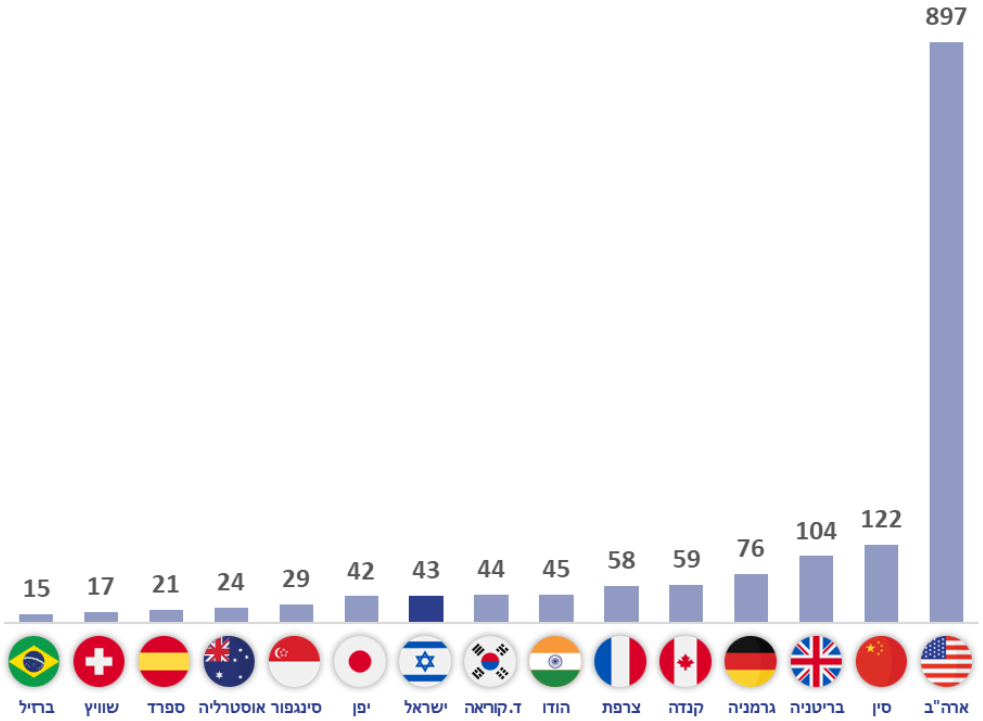


2.2.4. הקמת חברות והשקעות פרטיות

תחום הבינה המלאכותית מושך השקעות פרטיות משמעותיות לצד הקמה של חברות חדשות, המהוות בסיס להתרחבות האקו-סיסטם הטכנולוגי. בשנת 2023 דורגה ישראל במקום ה-9 בהיקף החברות החדשות שנוסדו בתחום ה-AI עם 43 חברות חדשות שהוקמו, בדומה ליפן ודרום קוריאה (תרשים 9). דירוג זה מציב את ישראל מאחורי מדינות מובילות כמו ארצות הברית, סין ובריטניה, אשר מציגות היקפים גבוהים בהרבה של יזמות וסטרטאפים חדשים.

[11] עיבוד לנתוני "The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth" Goldman Sachs (Briggs/Kodnani). March 26, 2023.

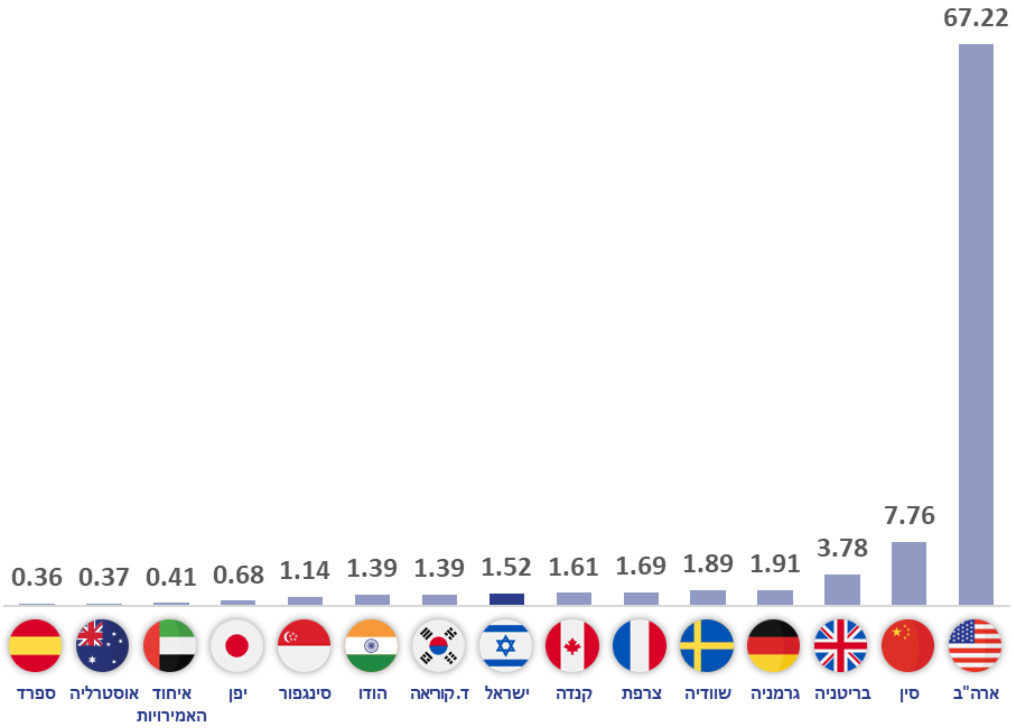
תרשים 9: מספר החברות בתחום ה-AI שהוקמו לפי מדינה, 2023 [12]



גם בהיבט היקפי ההשקעות הפרטיות בתחום ה-AI, ישראל ממוקמת ברמת השקעה דומה למדינות המובילות בעולם (להוציא את ארצות הברית וסין). בשנת 2023, ההשקעה הפרטית בישראל עמדה על כ-1.52 מיליארד דולר, בדומה לרמות השקעה בהודו, דרום קוריאה וקנדה (תרשים 10).

[12] עיבוד לנתוני Stanford HAI, "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University. April 2024.

תרשים 10: השקעות פרטיות ב-AI לפי מדינה (במיליארדי דולרים אמריקאים), 2023[13]



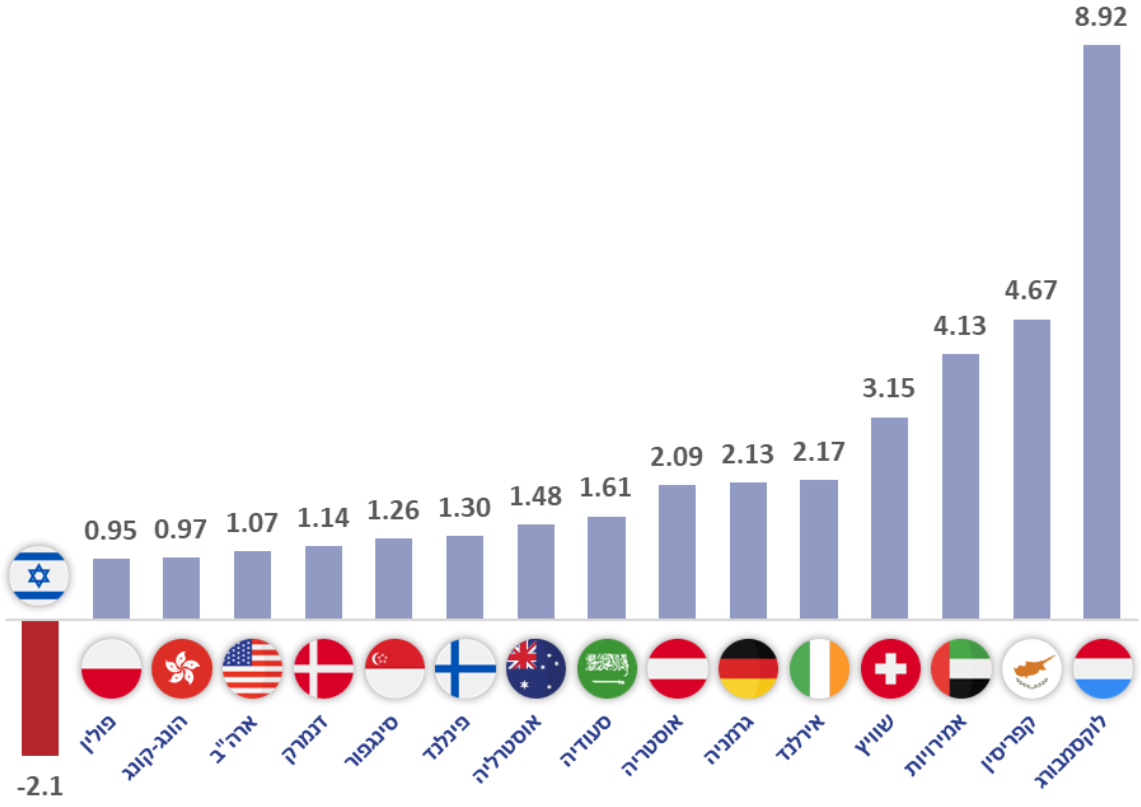
2.2.5. המגמה הנוכחית

אחד מהסימנים לשינויים הנוכחיים במיצוב של ישראל בתחום הבינה המלאכותית הוא **ירידה במאזן ההגירה נטו של הון אנושי מיומן בתחום ה-AI**. נתוני 2024 מצביעים על כך שישראל רשמה מאזן שלילי בהגירה נטו, עם הגירה שלילית של 2.1 מומחים לכל 10,000 אנשי מקצוע (תרשים 11). ערך זה מבטא עזיבה נטו של מומחים ישראליים לחו"ל, ולחלופין ירידה בקליטת מומחים מחו"ל, והוא מהווה נתון חריג לעומת מרבית המדינות, המציגות מאזן חיובי.

מגמה זו מציינת שינוי ביחס לעבר, בו נרשמה יציבות ולעתים אף צמיחה חיובית בכוח האדם המיומן בישראל. ממצאים אלו עשויים להצביע על אתגרים גוברים בשימור כישרונות ועל הצורך לחזק את האטרקטיביות של האקו-סיסטם המקומי עבור הון אנושי מיומן בכלל, ובתחום ה-AI בפרט.

[13] עיבוד לנתוני Stanford HAI, "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University, April 2024.

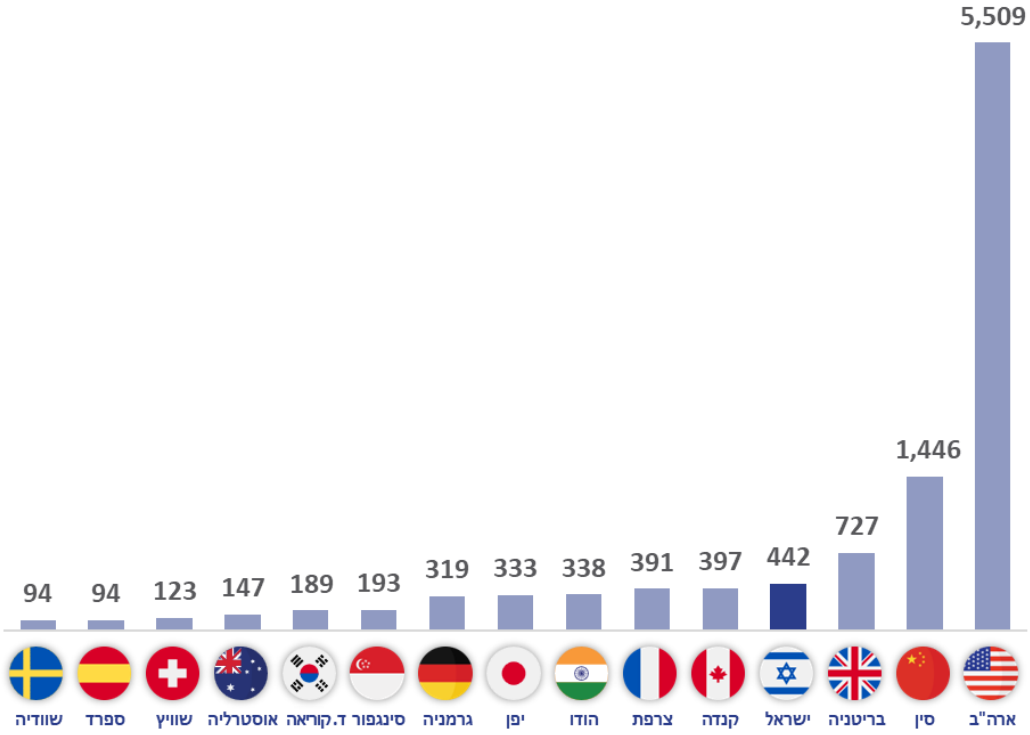
תרשים 11: הגירה נטו של טאלנט לכל 10,000 אנשי מקצוע בלינקדאין, 2024[14]



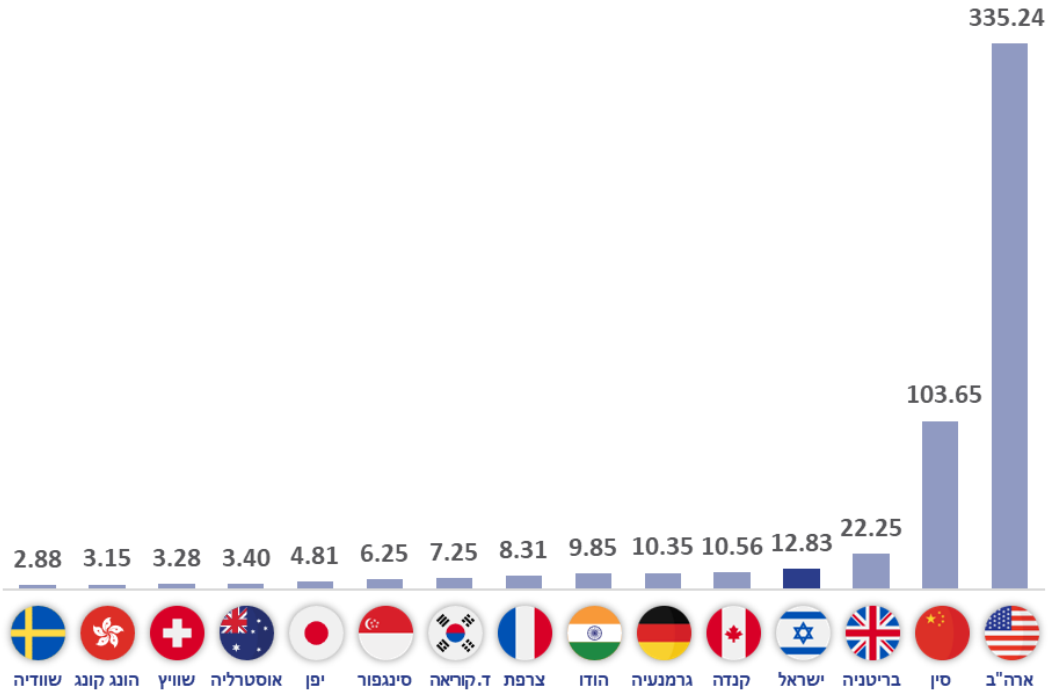
בפרק 2.2.1 הוצג כי בשנת 2023 ישראל דורגה במקומות השמיני והתשיעי בהיקף החברות החדשות ובהשקעות פרטיות בתחום הבינה המלאכותית (תרשימים 9 ו-10). עם זאת, מבט ארוך טווח על העשור האחרון (2013–2023) מצביע על כך שישראל מדורגת במקום הרביעי בעולם בהקמת חברות חדשות והשקעות בתחום (תרשימים 12 ו-13). פער זה בין הדירוג הנוכחי לבין הדירוג המצטבר מעיד על **מגמת האטה של פעילות ההשקעה והיזמות בתחום ה-AI בישראל** בהשוואה למובילות העולמיות.

[14] עיבוד לנתוני Stanford HAI, "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University. April 2024.

תרשים 12: מספר החברות החדשות בתחום ה-AI, 2013-2023 מצטבר[15]



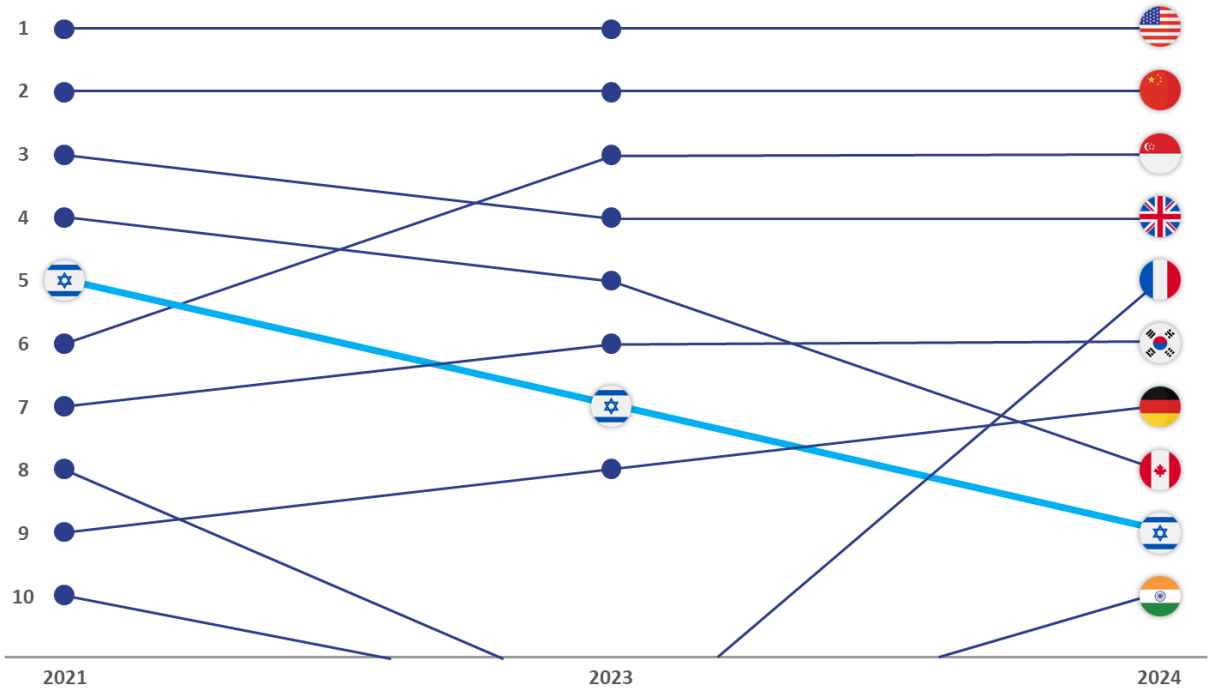
תרשים 13: השקעות פרטיות ב-AI (במיליארדי דולרים אמריקאים), 2013-2023 מצטבר[16]



מגמת הירידה של ישראל בתחום הבינה המלאכותית באה לידי ביטוי גם בדירוג הכולל של מדד AI Index בשנים האחרונות. בעוד שבשנת 2021 ישראל דורגה במקום החמישי בעולם, בשנת 2024 היא ירדה למקום התשיעי (תרשים 14). המגמה מתאפיינת בירידה עקבית לאורך התקופה, ומבטאת האטה בקצב התפתחות תחום ה-AI בישראל לעומת מדינות אחרות אשר שימרו או שיפרו את יכולותיהן, בהן סינגפור וצרפת. ירידה זו

בדירוג מהווה אינדיקציה נוספת לצורך בבחינה מחודשת של מדיניות התמיכה וההשקעה בתחום ה-AI, במטרה להבטיח את המשך הובלת ישראל בחזית הגלובלית.

תרשים 14: דירוג המדינות המובילות ב-Tortoise AI Index (2021-2024)[17]



2.2.6. ניתוח הדירוג של ישראל לפי פרמטרים

בנוסף לבחינת מגמות כלליות, ניתוח עומק של מיקומה של ישראל במדד ה-Tortoise AI Index חושף פערים מהותיים בין תחומי הפעולה השונים (תרשים 15). המדד, המחולק לשלושה עמודי תווך תחומיים, בוחן שבעה פרמטרים מרכזיים, שהוסברו בחלק 2.2.1.

הניתוח מצביע על כך שישראל בולטת במיוחד בפרמטרים הקשורים להון האנושי ולפעילות במגזר הפרטי:

- בפרמטר הפעילות המסחרית, ישראל מדורגת במקום השלישי בעולם.
- בפרמטר המומחיות ובעלי והכישרון המקצועי (Talent), המדד מדרג את ישראל במקום השביעי.
- בפרמטר המתייחס להיקף הפיתוח, ישראל ניצבת במקום השישי, ובפרמטר המחקר במקום השביעי.

---

[15] עיבוד לנתוני Stanford HAI, "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University. April 2024.

[16] עיבוד לנתוני Stanford HAI, "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University. April 2024.

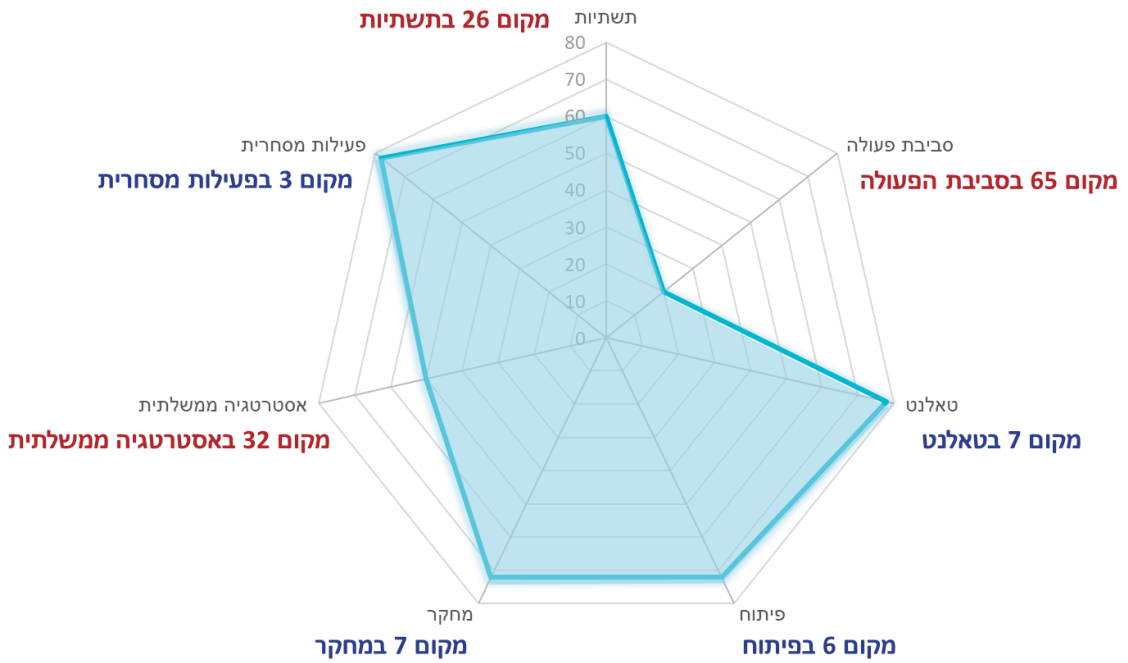
[17] עיבוד לנתוני 2024 של Tortoise AI Index.

לעומת זאת, במרכיבים המושפעים ממדיניות ממשלתית רחבה יותר, ישראל מציגה ביצועים נמוכים:

- בפרמטר האסטרטגיה הממשלתית, ישראל מדורגת במקום ה-32 בלבד.
- בפרמטר התשתיות, המתייחס לאיכותן ואמינותן, ישראל מדורגת במקום ה-26.
- בפרמטר סביבת הפעולה, הכוללת רגולציה ודעת קהל, ישראל מדורגת במקום ה-65, דירוג המעיד על פער משמעותי ביחס למדינות המובילות.

ממצאים אלו מצביעים על פער מבני: בעוד שהמגזר העסקי והאקדמי מפגינים ביצועים מרשימים, הממשלה והמדינה אינם עומדים בקצב, ונראה שנדרשת מעורבות ממשלתית רחבה ומשמעותית יותר במטרה לצמצם פערים במרכיבים התשתיתיים והרגולטוריים לחיזוק האקו-סיסטם.

תרשים 15: דירוג ישראל במדד ה-AI Index לפי פרמטרים, 2024 [18]



סקירה זו מראה את מעמדה המוביל של ישראל בזירת ה-AI הגלובלית, בעיקר בתחומי המו"פ, איכות כוח האדם והיזמות העסקית. עם זאת, ניכרת מגמה של נסיגה יחסית במספר מדדים.

פערים אלו אינם בהכרח מעידים על חולשה מבנית, אלא על פוטנציאל לא ממומש. כדי לשמר את היתרון היחסי של ישראל נדרש מענה אסטרטגי ממוקד שישלים את האקוסיסטם הטכנולוגי הקיים בתחומים של תשתיות, רגולציה ומעורבות ממשלתית ארוכת טווח. כדי להבין את נקודות החולשה של האקוסיסטם הישראלי חשוב להדגיש, כי שלוש הנקודות בהן המשק חווה אתגרים קשורות באופן ישיר לאסטרטגיה לאומית בתחום:

[18] עיבוד לנתוני 2024 של Tortoise AI Index.

אסטרטגיה ממשלתית (מקום 32): הדירוג הבינוני-נמוך משקף מחסור בתוכנית לאומית מקיפה שתגדיר חזון, יעדים ומנגנוני מימוש בתחום ה-AI, היעדר השקעה ממשלתית ארוכת טווח והכוונה רגולטורית, שעלולים לפגוע בקצב האימוץ וביתרון היחסי של ישראל בעתיד.

סביבת פעולה (מקום 65): הנתון הנמוך ביותר במדדים. מדד זה מצביע על פערים במרכיבי האקוסיסטם התומך, כמו רגולציה מותאמת, שיתופי פעולה בין-מגזריים, נגישות למידע ולנתונים, והסרת חסמים ליזמים וחוקרים. סביבת פעולה תומכת יכולה להאיץ פרויקטים ולמשוך השקעות בסקטורים בהם ניתן להטמיע טכנולוגיות AI כגון אנרגיה, בריאות, חינוך וכיו"ב.

תשתיות (מקום 26): המיקום הבינוני משקף זמינות מוגבלת של משאבי חישוב, תקשורת ואנרגיה, הנדרשים לפיתוח מהיר ואורגני של התחום. השקעה בתשתיות פיזיות ודיגיטליות, שיכללו מחשוב ענן מתקדם, חיבוריות מהירה, ומקורות אנרגיה עם עדיפות לאנרגיה מתחדשת, חיונית כדי לאפשר קפיצת מדרגה בביצועים.

הן מסמך תמונת המצב לבינה המלאכותית, שפרסם משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה באפריל 2025,[19] והן דוח ועדת נגל, עסקו במיקום של ישראל במדדים העולמיים ובצעדים הנדרשים כדי לשפר מצב זה. לפי דוח ועדת נגל, לישראל פוטנציאל להיות בין חמש המדינות המובילות בתחום הבינה המלאכותית, ולכך היא צריכה לכוון, בין היתר האמצעות האצת התחומים שבהם יש לה יתרונות יחסיים. בפרקים הבאים ייבחנו צעדים שנעשו בנושא בעולם ובישראל, וכן הפוטנציאל והחסמים לקידום הנושא בישראל.

[19] תחומי עדיפות לאומית במדע וטכנולוגיה: תמונת מצב בינה מלאכותית. משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה. 21 אפריל, 2025.



.3
AI for Nation

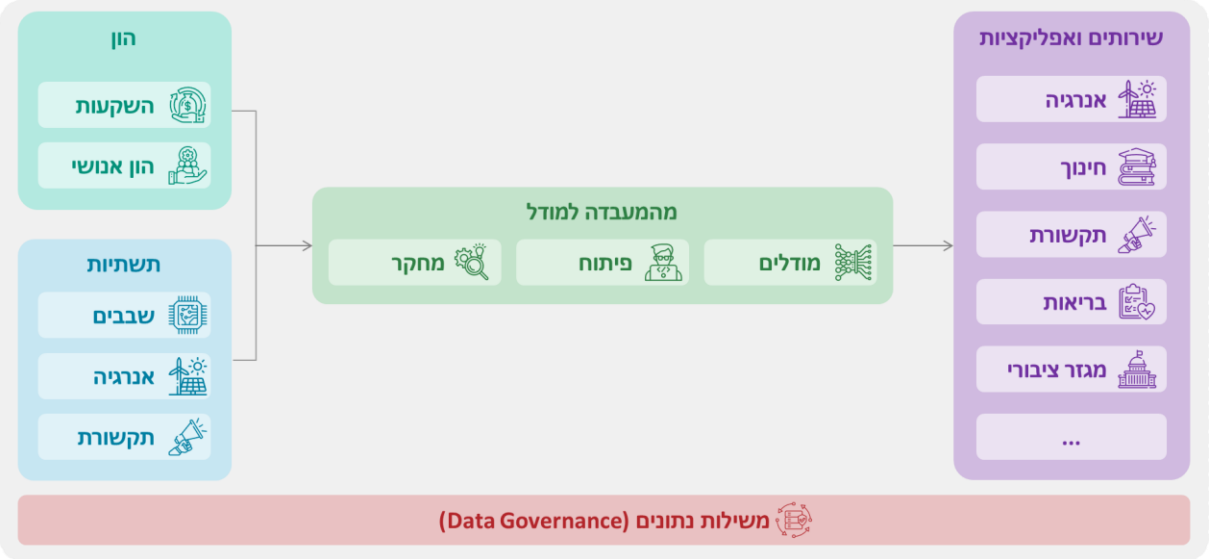
3. AI for Nation

3.1 מבוא

בעשור האחרון חלה האצה משמעותית בהכרה בתרומתה האסטרטגית של הבינה המלאכותית (AI) לעוצמתן הלאומית של מדינות. אם בעבר נתפסה הבינה המלאכותית כתחום מחקרי המתקיים בכותלי האקדמיה והתעשייה הביטחונית, הרי שכיום היא נתפסת כבעלת חשיבות והשפעה ברמה לאומית רחבה הרלוונטית כמעט לכל תחום, וגם כתשתית אסטרטגית וקריטית בדומה לחשמל, מים ותקשורת. אסטרטגיה לאומית ל-AI מייצרת ודאות לשוק הפרטי ולמשק בכלל, ומהווה בסיס לתכניות לאומיות ספציפיות (אנרגיה, תקשורת ובדומה). ללא אסטרטגיה לאומית קשה מאוד לגבש אסטרטגיה למשק האנרגיה ו-AI, וקשה עוד יותר יהיה ליישמה.

המודל המוצג (תרשים 16) ממחיש את רוחב היריעה הנדרש ממדינות המעוניינות להוביל בתחום זה. פיתוח תחום הבינה המלאכותית דורש השקעה בהון ותשתיות, לצד פיתוח מנגנוני משילות נתונים (Data Governance).

תרשים 16: מהמעבדה למודל, מדיניות לאומית בתחום הבינה המלאכותית[20]



כל שלב בשרשרת מייצג נדבך חיוני שבלעדיו אי אפשר למצות את הפוטנציאל הגלום בטכנולוגיית הבינה המלאכותית:

הון:

השקעות: משק משגשג בתחום הבינה המלאכותית דורש השקעות משמעותיות – הן ציבוריות והן פרטיות – במו"פ, בסטארטאפים ובמיזמים תעשייתיים. המדינות המובילות בתחום מקצות תקציבים ייעודיים למרכזי ידע, לתמריצים רגולטוריים ולתמיכה כלכלית בהקמה של אקוסיסטמים חדשניים.

[20] עיבוד שלדור

הון אנושי: הצלחה בתחום AI נשענת על נגישות לאנשי מקצוע מיומנים: חוקרים, מהנדסי דאטה, מומחי אתיקה טכנולוגית, ועוד. השקעה בהכשרות, מסלולי השכלה מתקדמים ושימור מומחים הם מרכיב קריטי לבניית יתרון לאומי.

תשתיות:

שבבים: פיתוח ואימון של מודלים מתקדמים דורשים זמינות של שבבים ייעודיים (כמו GPU/TPU), ברמות ביצועים גבוהות. בהיעדר תשתית חישובית אין יכולת תחרותית.

אנרגיה: הפעלת תשתיות AI – ובמיוחד מרכזי נתונים – מצריכה אספקת חשמל יציבה וזולה. אנרגיה ירוקה ובת קיימא הופכת ליתרון תחרותי.

תקשורת: זמינות של רשתות תקשורת מהירות, כולל סיבים אופטיים, היא תנאי לתפעול מערכות AI מבוזרות בזמן אמת, ולשימושים רחבים בקצה.

מהמעבדה למודל:

מחקר: שלב זה כולל מחקר מדעי בסיסי באקדמיה או בתעשייה, העוסק במתודולוגיות, תיאוריות ומודלים ראשוניים של למידת מכונה, שפה טבעית ועוד.

פיתוח: השלב הבא הוא פיתוח טכנולוגיות מתוך ממצאי המחקר – כולל הנדסה של מודלים, מערכות למידה, מערכי דאטה וכו'.

מודלים: התוצר המרכזי של שרשרת זו – מודלים רב-שימושיים, לעיתים בקנה מידה גדול (כגון LLMs), המשמשים בסיס ליישומים מגוונים.

שירותים ואפליקציות:

מודלים אלו מוטמעים בתוך מגזרים יישומיים, המשפיעים על איכות החיים, יעילות המגזר הציבורי והתחרותיות במשק, למשל:

אנרגיה – חיזוי צריכה, אופטימיזציה של רשתות, תחזוקה מונעת.

חינוך – התאמת תכנים, הערכות לימודיות אוטומטיות, ניתוח סיכונים לנשירה.

תקשורת – התייעלות העברת נתונים, חיזוי תקלות, ניהול מערכות חכם.

בריאות – עיבוד תמונות רפואיות, עוזרי רופא חכמים, תחזיות טיפול.

מגזר ציבורי – אוטומציה של שירותים, תכנון מדיניות מבוסס דאטה.

מיפוי השימושים האפליקטיביים מאפשר להעריך את פוטנציאל המימוש של ה-AI.

משילות נתונים (data governance):

שכבת משילות הנתונים מהווה רכיב רוחבי קריטי המאפשר את תפקודה התקין של שרשרת הערך בתחום הבינה המלאכותית. שכבה זו כוללת מגוון מנגנונים ותשתיות לניהול אחראי של מידע – החל מהבטחת פרטיות וביטחון מידע, דרך שמירה על איכות הנתונים ועד להגדרה ברורה של הרשאות גישה, בעלות וזכויות שימוש. כמו כן, משילות אפקטיבית מחייבת עמידה ברגולציה רלוונטית ויישום עקרונות אתיים, באופן שתומך באמון הציבור ומאפשר שימוש בטכנולוגיות AI בצורה אמינה ובטוחה.

3.2 הקשר בין AI לאנרגיה

הקשר בין אנרגיה לבינה מלאכותית הולך ומתהדק בשנים האחרונות, ומקבל ביטוי בשתי מגמות מקבילות: אנרגיה מהווה תשתית קריטית לפיתוח והפעלה של טכנולוגיות AI; ובאותה העת, טכנולוגיות AI עצמן הופכות לגורם מרכזי בקידום פתרונות לאתגרים אנרגטיים. המגמה הראשונה מחייבת עיסוק בשאלה כיצד לספק תשתית יציבה ויעילה לפלטפורמות AI – זהו תחום העיסוק של Energy for AI. גם דוח ועדת נגל מזהה את הסוגייה האנרגטית כאתגר קריטי הקשור באופן הדוק למהפכת הבינה המלאכותית וליכולת לקדמה. המגמה השניה מתמקדת באימוץ AI ככלי לשיפור הייצור, ההפצה והצריכה של אנרגיה – המכונה AI for Energy. קשרים אלו מחייבים בחינות שוטפות ביחס לבינה המלאכותית, אשר באים לידי ביטוי בגיבוש מדיניות מותאמת – מהצד של האסטרטגיה הלאומית, ומהצד של האסטרטגיה של משק האנרגיה, המדיניות בתחום והצעדים הנעשים.

3.3 מדינות למיקוד

לצורך ניתוח מדיניות ה-AI בעולם והשוואתה לישראל, נבחרו מגוון מדינות בהתאם למספר קריטריונים עיקריים:

- **מדינות מובילות במדד ה-AI Index**: מדינות אלו מאופיינות בהישגים משמעותיים במחקר, פיתוח ויישום של טכנולוגיות AI.
- **מדינות מובילות במדד ה-AI Index ביחס לגודל האוכלוסייה**: קריטריון זה נועד לאתר מדינות בעלות הישגים גבוהים יחסית לגודלן, בדומה לפוטנציאל של ישראל.
- **מדינות עם דמיון אקלימי לישראל**: מדינות אשר מתמודדות עם תנאים סביבתיים דומים (אקלים חם, יבש או מדברי), שיש להם השפעה ישירה על תכנון והפעלה של תשתיות דיגיטליות ומרכזי נתונים.
- **מדינות עם דמיון אנרגטי לישראל**: מדינות אשר מתמודדות עם אתגרים דומים בתחום אספקת החשמל והאנרגיה, בפרט מדינות עם שיעור נמוך של מקורות אנרגיה מתחדשת ואיים אנרגטיים.

המדינות שנבחרו במסגרת זו כוללות את: סינגפור, אירלנד, אוסטרליה, דנמרק, איחוד האמירויות, ספרד, בריטניה, וצרפת. בחירה זו מאפשרת לבצע השוואה רחבה ומעמיקה, הבוחנת גם את המובילות הגלובלית בתחום ה-AI וגם את הרלוונטיות התשתיתית והסביבתית לישראל.

3.4 אסטרטגיית AI לאומית

כבר באמצע העשור הקודם החלו מדינות רבות לגבש אסטרטגיות לאומיות בתחום הבינה המלאכותית, במטרה למצב את עצמן כמובילות בתחום מתפתח זה. ניתן לאפיין מגמה זו בשני גלים עיקריים:

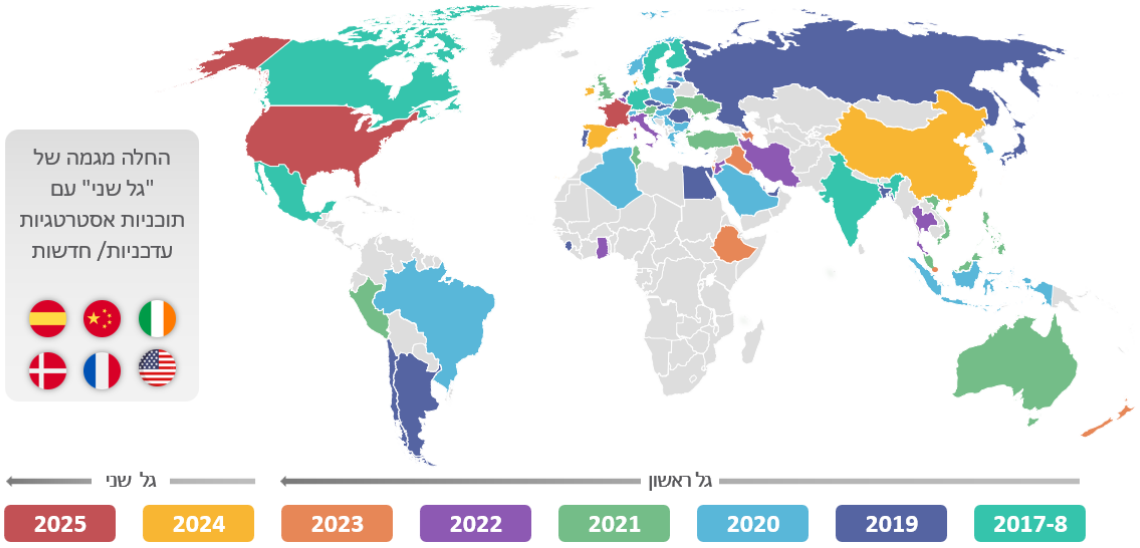
1. הגל הראשון (2017–2023): בשלב זה התמקדו מרבית המדינות ביצירת **מסמכי מדיניות ראשוניים**. תכניות אסטרטגיה אלו התמקדו בעיקר בעידוד מחקר ופיתוח, השקעה בהון אנושי, קידום חדשנות ויצירת תשתית ראשונית לאקוסיסטם של AI. הדגש העיקרי היה על התוויית חזון ארוך טווח ויצירת

תשתית תמיכה לחדשנות טכנולוגית, בהשפעת החזון הלאומי והיתרונות היחסיים של המדינה. האחריות על התוכניות הייתה לרוב במשרדי כלכלה, דיגיטל, AI וחדשנות או רוה"מ (בד"כ בשילוב של מספר גופים) ומשרדי תשתיות (תקשורת, אנרגיה וכו') היו חלק מהגופים המעורבים, אך לא מובילים. בתורה, התוכנית משפיעה על כלל הרשות המבצעת. בתחומי התשתיות, תקשורת ואנרגיה נתפסו כנושאים שיש להן גוף אחראי מקצה לקצה ולכן לא דורשות עיסוק מעמיק, ולשבבים חוק נפרד (ארה"ב ואירופה) עם שיתופי פעולה בין מדינות.

2. <u>הגל השני (2024–2025):</u> לאחרונה, החל מעבר למדיניות ממוקדת יותר אשר חורגת מגבולות 'קידום החדשנות', ומקדמת **פיתוח תשתיות קריטיות** (למשל מרכזי נתונים), הסדרת רגולציה מותאמת ל-AI, טיפול בנושאי פרטיות ואבטחת מידע, וכן הטמעת AI בשירותים ציבוריים. מדינות רבות עדכנו או השיקו אסטרטגיות חדשות, המשקפות את הבשלתו של התחום ואת ההבנה שהצלחת AI מחייבת מעטפת תשתיתית ורגולטורית מלאה. דוגמאות למדינות אלו הן סין, דנמרק, צרפת, אירלנד, ספרד וארצות הברית.

תרשים 17 מציג את גיבוש אסטרטגיות הבינה המלאכותית של המדינות, לפי שנות הפרסום והגלים אליהן משתייכות.

תרשים 17: אסטרטגיית "גל ראשון" ו"גל שני" לפי מדינה [21]



המפה העולמית לעיל ממחישה את היקף אימוץ האסטרטגיות הלאומיות ברחבי העולם, ואת המעבר המתהווה ל"גל שני". מגמה זו משקפת את ההבנה כי ניהול נכון של תחום ה-AI דורש יותר מתמיכה במחקר ופיתוח, אלא גם בנייה והסדרה של כל המרכיבים התומכים, הנדרשים ליישום רחב היקף – ובעיקרם תשתיות

[21] עיבוד וניתוח ממצאים Stanford HAI בתוספת עדכונים. "The AI Index 2024 Annual Report," Institute for Human-Centered AI, Stanford University, April 2024.

אנרגיה ותקשורת. מגמה זו משקפת את ההבנה כי ניהול נכון של תחום ה-AI דורש יותר מתמיכה במחקר ופיתוח, אלא גם בנייה והסדרה של כל המרכיבים התומכים, הנדרשים ליישום רחב היקף.

יתרה מכך, עדכון האסטרטגיות הלאומיות משקף את ההדדיות בין התכניות הלאומיות לבין האסטרטגיות הנושאיות. כך למשל בתחום האנרגיה, אסטרטגיה לאומית תוכל לתת כיוון מה נדרש מבחינה אנרגטית על מנת לממש את החזון, ומצד שני, מדיניות אנרגיה ובינה מלאכותית תשקף לממשלה את העלויות והמשמעויות הכרוכות במימוש המדיניות המוצעת או המוצהרת, ובכך לדייק אותה ואת הכלים הנדרשים למימוש שלה.

במובן זה, ה"מפנה לגל השני" מבטא תהליך כפול: ראשית, זהו עדכון שני של מדיניות לאומית במדינות שכבר גיבשו אסטרטגיה קודמת; שנית, מדובר במפנה מהותי בתוכן – מעבר ממדיניות חדשנות כללית למדיניות יישומית, הכוללת השקעה בתשתיות, הסדרה רגולטורית, והטמעה של AI בתחומי ליבה כמו אנרגיה. מעבר זה משמעותי ומשקף את החשיבות וההדדיות של האסטרטגיות השונות – ברמה הלאומית וברמה המשקית.

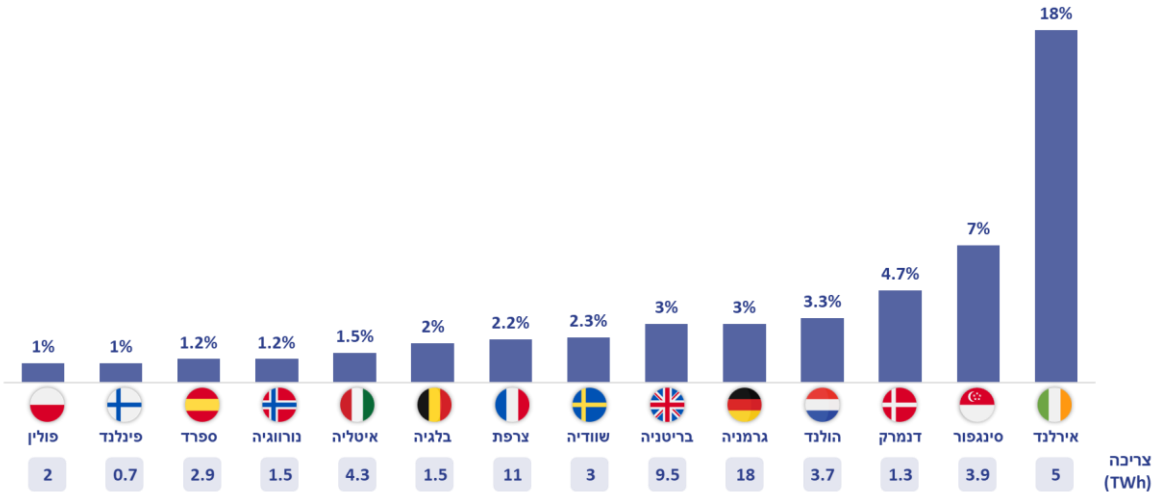
3.5. תחום האנרגיה במדיניות ה-AI

3.5.1. AI בצרכן אנרגטי

בשנים האחרונות התחזקה ההבנה כי תחום ה-AI מהווה צרכן אנרגיה משמעותי. בעוד שבגל הראשון של האסטרטגיות הלאומיות עסקו מדינות בעיקר בקידום חדשנות ובפיתוח הון אנושי, מבלי להעניק משקל רב להשלכות האנרגטיות, הרי שבגל השני – המתהווה כיום – עיסוק זה הופך למהותי הרבה יותר. ההתפתחות נובעת מהבנה גוברת כי תחום הבינה המלאכותית אינו עוד תעשייה מחקרית בלבד, אלא מגזר רחב היקף הדורש הקמה וניהול של תשתיות אנרגיה נוספות.

התרחבות תחום הבינה המלאכותית הביאה לעלייה חדה בדרישות האנרגיה של מרכזי הנתונים. במדינות רבות, מרכזים אלו הפכו לצרכני חשמל משמעותיים: באירלנד, מרכז טכנולוגי משמעותי המושך חברות תוכנה וטכנולוגיות רבות, אשר בין היתר מפעילות מרכזי נתונים לצרכי בינה מלאכותית, לדוגמה, הם מהווים 18% מצריכת החשמל הלאומית. בדנמרק 4.7% גם בגרמניה ובבריטניה מדובר בכ-3% מהצריכה (תרשים 18). מגמות אלו מחייבות התאמה של המדיניות הלאומית בתחום ה-AI, כך שתכלול גם תכנון תשתיות אנרגיה מתקדמות, לצד עידוד חדשנות והון אנושי.

תרשים 18 : % הצריכה וסך הצריכה של מרכזי נתונים במדינות נבחרות, 2024 [22]



3.5.2. התייחסות לאנרגיה במדיניות ה-AI הלאומית

באשר לשילוב תחום האנרגיה במדיניות הלאומית ל-AI, ניתן להבחין בין שלוש גישות עיקריות, אשר נבדלות בעוצמת העיסוק בנושא האנרגטי – (1) גישה המתמקדת בשימוש AI אפליקטיבי לצרכים לאומיים, (2) גישה המקדמת אקוסיסטם תעשייתי לאומי בתחום ה-AI, (3) גישה השואפת להפוך למעצמת AI גלובלית. שלוש הגישות נובעות במידה רבה מהאסטרטגיה הלאומית ומידת השאפתנות שלה. ככל שהאסטרטגיה הכללית מפורטת יותר, נחושה יותר ואקטיבית יותר, כך גם התכניות הפרטניות והצעדים שננקטים בתחום האנרגיה. תרשים 19 ממחיש את האסטרטגיות השונות בתחום:

תרשים 19: שלוש גישות לאסטרטגיות AI ואופן העיסוק שלהן באנרגיה[23]



[22] מקור 17: עיבוד לנתוני הנציבות האירופית, World Data, Mordor intelligence
[23] עיבוד שלדור

1. הגישה הראשונה מתמקדת **בשימוש AI אפליקטיבי לצרכים לאומיים**, תוך מיקוד **בפתרונות נקודתיים** לבעיות בשלל תחומים אשר מעסיקים את המדינה. למשל חינוך, תשתיות, אנרגיה, בריאות או תחבורה. בגישה זו, ההתייחסות לאנרגיה במדיניות הלאומית באה לידי ביטוי בעיקר בהיבטי סביבה ואקלים, כשהשאיפה היא להשתמש ב-AI לטובת עמידה ביעדי האקלים.

דוגמא להמחשה:



בלגיה

אחת הדוגמאות הממחישות את ההתמודדות עם האתגרים בשילוב תחום האנרגיה במדיניות AI הלאומית היא התוכנית האסטרטגית הלאומית של בלגיה לפיתוח בינה מלאכותית, משנת 2022, ב"גל הראשון".[24] התוכנית נקראת " National convergence plan for the development of artificial intelligence – Becoming an AI Smart Nation", והיא מציבה תשע מטרות עיקריות: קידום AI אמין, הבטחת הגנת סייבר, קידום תחרותיות וחדשנות, קידום כלכלה מבוססת נתונים עם תשתיות טובות, קידום תחום הבריאות, פיתוח תחבורה חכמה, הגנה על הסביבה, שיפור הכשרות עובדים, שיפור שירותים לאזרח.

נראה כי התוכנית אינה כוללת עיסוק ישיר בנושא האנרגיה: סוגיית התשתיות מוזכרת בהקשר תשתיות מידע ונתונים (למשל איכות והגנה על מאגרי מידע, הנגשת מידע ממשלתי). ההתייחסות לנושא האנרגיה נעשית דרך יעד 'ההגנה על הסביבה' וכוללת התחייבויות כלליות להתייעלות באנרגיה ולהתמודדות עם אתגרי האקלים, אך ללא הגדרת מהלכים ממוקדים בתחום האנרגיה ועמידה בצרכים החדשים שמייצר תחום ה-AI. הגישה הבלגית ממחישה את התפיסה שעדיין נוכחת במדינות רבות: התייחסות להשפעת ה-AI על תחום האנרגיה כנגזרת עקיפה של סוגיות סביבתיות, ולא כתחום הדורש מענה עצמאי וישיר במדיניות הלאומית.

2. הגישה השנייה מקדמת **אקוסיסטם תעשייתי לאומי בתחום ה-AI**, גישה זו מקדמת שימוש אפליקטיבי ב-AI לאתגרים נקודתיים, אך לא מסתפקת בזה. המדיניות הלאומית מתייחסת ליצירת מרכזים טכנולוגיים עצמאיים, הדורשים תשתיות אנרגיה (חשמל, מים וכו'). על כן, בגישה זו המדיניות הלאומית בתחום ה-AI מייחסת חשיבות רבה לאנרגיה. נדרשים צעדים נוספים מעבר להתייעלות אנרגטית לטובת עמידה ביעדי האקלים. העיסוק באנרגיה ממוקד ביצירת תשתית רגולטורית מאפשרת להגברת הייצור ומתן תמיכה לפעילות הטכנולוגית במשק.

[24] National convergence plan for the development of artificial intelligence – Becoming an AI Smart Nation. Federal Public Service Policy and Support, Belgium. October 28, 2022.

דוגמא להמחשה:



ספרד

התוכנית האסטרטגית הספרדית לבינה מלאכותית "2024 Artificial Intelligence Strategy" שפורסמה בשנת 2024 מתמקדת בבניית מסגרת תומכת לפיתוח AI. זאת, דרך חיזוק המנופים לפיתוח בינה מלאכותית; סיוע בהרחבת השימושים במגזר הציבורי והפרטי, ועידוד חדשנות וסייבר; וכן פיתוח בינה מלאכותית שקופה, אחראית והומניסטית.[25] תוכנית זו, שפורסמה ב"גל השני", היא תוספת והמשך לתוכנית שפורסמה בשנת 2020, שהתייחסה לאנרגיה בעיקר כתחום פוטנציאלי להטמעה של בינה מלאכותית, וגם בהקשר סביבתי.[26]

האסטרטגיה החדשה משנת 2024 כוללת **עיסוק ישיר בתשתיות אנרגיה**, בפרט תמיכה בתשתיות אגירת אנרגיה בנות קיימא, בפרק ייעודי לנושא. התוכנית מדגישה את שילוב מרכזי הנתונים בתשתית האנרגטית, מתוך הכרה בביקוש האנרגטי הגובר של תחום ה-AI והבנת החשיבות של המענה לביקושים אלה לקידום התפתחויות טכנולוגיות ולמיקסום הפוטנציאל של AI.

התוכנית מציעה שלוש יוזמות שמטרתן להפוך את ספרד למדינה חדשנית ביעילות יכולות המחשוב ופיתוח AI מקיים:

- קידום מרכזי נתונים ברי קיימא, באמצעות חקיקה שמיישמת את הדירקטיבה האירופית (EU) 2023/1791 ליעילות אנרגטית המתייחסת גם למרכזי נתונים, ותוך לקיחת ההנחיות שיצרה אירלנד למרכזי שרתים כדוגמה.
- תכנון תשתיות אנרגיה ייעודיות למרכזי נתונים תוך תמרוץ מרכזי נתונים מקיימים, עידוד השקעה בתשתיות, זירוז תהליכים מינהלתיים ועוד.
- ביסוס הגדרה וחותמת של "Sustainable AI", יצירת סטנדרטים בנושא ופיתוח אקוסיסטם לפיתוח מקיים, כמו תחרויות "Green AI Challenges".

הגישה הספרדית משקפת הבנה מעמיקה יותר של הצורך בהתאמה תשתיתית כוללת ובראייה אסטרטגית שתאפשר להאיץ את תחום ה-AI במדינה.

כמו כן, התוכנית מתייחסת גם לפוטנציאל שיש לשימושי בינה מלאכותית במשק האנרגיה ולחשיבות של שימוש אחראי. במסגרת התוכנית שפורסמה בשנת 2020 מומנו פרוייקטים של AI ואנרגיה בסך 25€ מיליון יורו.

3. הגישה השלישית שואפת להפוך את המדינה **למעצמת AI גלובלית**, שתהפוך למרכז בינלאומי לשיתוף ידע ומשיכת פעילות גלובלית. גישה זו רואה בצרכים האנרגטיים חלק אינטגרלי מהשתלבות

[25] 2024 Artificial Intelligence Strategy. Ministry for Digital Transformation and Public Function, Spain. May 14, 2024.
[26] National Strategy for Artificial Intelligence. Ministry of Economy, Trade and Enterprise, Spain. November 2020.

בסביבה עולמית משתנה. אי לכך, ישנה שאיפה להפוך את תחום האנרגיה ליתרון תחרותי, אשר יקל על הקמת תשתיות טכנולוגיות וימשוך שחקנים מהמגזר הפרטי. כדי לעמוד בשאיפות אלו, המדינה פועלת ליצירת עודפי ייצור ותשתיות רשת יציבות.

דוגמאות להמחשה:



צרפת

צרפת פרסמה תוכנית אסטרטגית ראשונה לבינה מלאכותית בשנת 2018, ששלב המשכי שלה אושר בשנת 2021, וכן מספר מסמכי מדיניות בנושא.[27][28] במהלך שנת 2023 שנת 2023 מהלך שנתמקומה של צרפת עלה ממקום 13 למקום החמישי במדד Tortoise AI Index, מה שמצביע על התקדמות מואצת בתחום. לפי ההסבר שמוצג במדד, התקדמות זו התאפשרה בעיקר בזכות האקוסיסטם הצרפתי.[29] בפברואר 2025, כחלק מ"הגל השני", פורסם מסמך הממוקד בתשתיות אנרגיה, שנקרא "Make France an AI Powerhouse", המדגיש כי **תשתיות האנרגיה הן יתרון תחרותי מהותי** להאצת הקמת מרכזי נתונים במדינה, ולמיצוב צרפת כמדינה מובילה בתחום הבינה המלאכותית.[30] לצד השקעות במו"פ ופיתוח האקוסיסטם, המדיניות מתמקדת בתשתיות חשמל ותקשורת, מפרטת את יתרונותיה של צרפת בקידום ופיתוח מרכזי נתונים ובינה מלאכותית:

- חיבוריות בין מרכזי נתונים לבירות האירופאיות, תוך קידום מהירות העברת המידע.
- חיבוריות תת ימית לארה"ב.
- מערכות חשמל בעלת פליטות פחמן נמוכות (כ-95% low carbon).
- זיהוי של 35 אתרים המוכנים להקמת מרכזי נתונים, בקרבת תחנות כוח עם תשתיות הולכה קיימות וגופים יעודיים לתמיכה בפרויקטים (תרשים 20).
- עודף ייצור אנרגטי (89 TWh יצוא נטו) שזמין למרכזי נתונים.

גישה זו ממחישה את החשיבות שמייחסת צרפת לשילוב מתוכנן מראש של צרכים אנרגטיים במדיניות הלאומית בתחום הבינה המלאכותית.

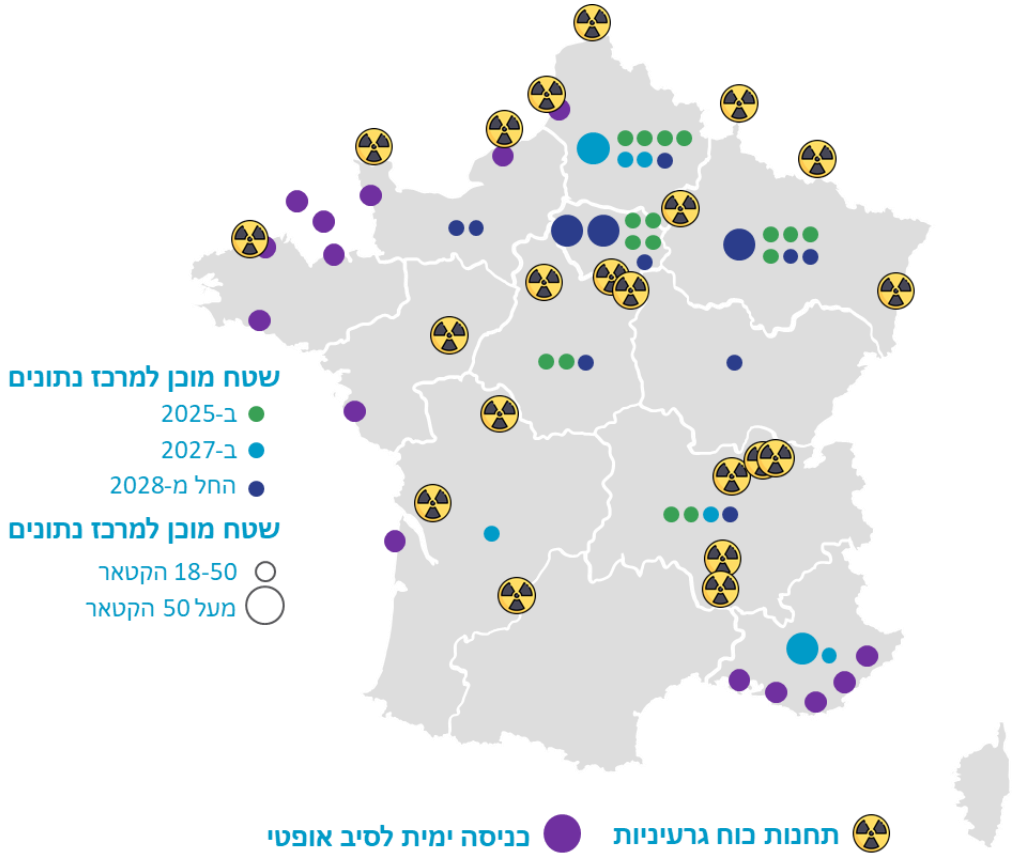
[27] Our AI: Our Ambition for France. Artificial Intelligence Commission, France. March, 2024.

[28] France - National Strategy for AI. Digital Skills and Jobs Platform. European Commission. August 8, 2023.

[29] נתוני 2024 של Tortoise AI Index.

[30] Make France an AI Powerhouse. Élysée. February 11, 2025.

תרשים 20: השקעה בתשתיות אנרגיה ומרכזי נתונים בצרפת[31]



דוגמא להמחשה:

ארצות הברית

הצו הנשיאותי הראשון בנושא בינה מלאכותית פורסם בשנת 2019, בתור המדיניות הפדרלית הראשונה בנושא AI, ואחריו פורסמה תוכנית אסטרטגית בשנת 2020.[32] בהמשך, פורסמו צווים נוספים בנוגע לזכויות אדם ושימוש אחראי ובטוח ב-AI בגופי הממשל (שעברו שינויים לאחר חילופי הממשל), וגם מסמכים אסטרטגיים על מו"פ לאנרגיה, שפורסמו על ידי משרד האנרגיה האמריקאי.

ביולי 2025 פרסמה ארצות הברית תכנית פעולה לבינה מלאכותית "Winning the Race – America's AI Action Plan".[33] התוכנית מורכבת משלושה עמודי תווך מרכזיים:

1. **האצת החדשנות לבינה מלאכותית** – פירוט הצעדים המומלצים ליצירת תנאים להאצת חדשנות במגזר הפרטי, ובכלל זאת הסרת רגולציה פדרלית מכבידה, עידוד פיתוח בינה מלאכותית בקוד פתוח (open source – קוד שזמין לציבור, בהתאם לרישיון פתוח), הטמעה במגזרים חשובים והשקעה במחקר ומדע העושים שימוש בכלי בינה מלאכותית.

[31] Make France an AI Powerhouse. Élysée. February 11, 2025.
[32] Artificial Intelligence for the American People. White House Archives, U.S Government, n.d. Accessed on August 6, 2025.
[33] Winning the Race – America's AI Action Plan. Executive Office of the President of the United States, the White House. July, 2025.

2. **תשתיות לאומיות לבינה מלאכותית** – בכדי לבסס ולתמוך בפיתוח מקומי של בינה מלאכותית, מקודמת הקלה ברגולציה והיתרים של תשתיות מרכזי נתונים והרחבה של רשת החשמל, בין היתר תוך שינוי חוקים קיימים והקמה של גוף בשם National Energy Dominance Council (NEDC). מטרת ה-NEDC היא לייעץ לנשיא לגבי אסטרטגיות להובלה ושליטה אנרגטית אמריקאית, על ידי הרחבת יצור האנרגיה המקומי, ייעול הליכים וצמצום הבירוקרטיה בתחומי האנרגיה. זאת, בין היתר כדי לעמוד בביקוש הגובר לאנרגיה כתוצאה משימוש בבינה מלאכותית. בנוסף, מקודמים חיזוק יצור מקומי של שבבים ובניית מרכזי נתונים מאובטחים לצרכים לאומיים.
3. **דיפלומטיה וביטחון לאומי** – קידום יצוא טכנולוגיות לבעלות ברית של ארה"ב ואכיפה על איסור היצוא למדינות יריבות. זאת, לצד ניטור סיכוני ביטחון לאומי ומניעת סיכונים נוספים.

התכנית האמריקאית מדגישה את קידום העליונות של ארה"ב בתחומי הבינה המלאכותית, הן בעזרת קידום תשתיות תומכות, חדשנות ופיתוחים טכנולוגיים, והן מבחינת פיתוח וקידום תשתיות, לצד מיצוב המדינה כבעלת תפקיד והובלה בזירה הבינלאומית והדיפלומטית. כפועל יוצר של תכנית זו, נחתמו צווים נשיאותיים נוספים לקידום הנושא.

לסיכום, ניתן לראות כי מדינות שונות מגבשות אסטרטגיה לאומית לשילוב בינה מלאכותית במשקן. אסטרטגיות אלה שונות זו מזו, הן מבחינת הצעדים המוצעים ועוצמת ההשפעה של הבינה המלאכותית על המשק, והן מבחינת התכניות והצעדים שנגזרו מהן. מכל התכניות עולה כי תחום האנרגיה הינו בסיס משמעותי לאסטרטגיות הלאומיות והוא מושפע ומשפיע באופן ניכר על אסטרטגיות אלה.



.4 Energy for AI

4. Energy for AI

4.1. מבוא

פרק זה מתמקד בציר הראשון: Energy for AI – קרי, האתגרים והצרכים הנובעים מהתבססות של מערכות AI על תשתיות חישוב, הצורכות אנרגיה רבה. מרכזי נתונים ומערכות עיבוד מייצרים דפוסי צריכה חדשים שמציבים דרישות גבוהות על מערכות החשמל הלאומיות. מדובר בדרישות שהולכות וגוברות לא רק בהיקף, אלא גם באופי: צריכה רציפה, אינטנסיבית, לעיתים בלתי גמישה, ובמקרים רבים מרוכזת גאוגרפית. היבטים אלו ידונו בהרחבה בעבודות המשך שיערוך המשרד בשיתוף רשות החשמל וחברת נגה.

4.1.1. אתגרי אנרגיה העולים באסטרטגיות הלאומיות

האסטרטגיות הלאומיות במדינות אירופה משקפות שלושה אתגרים משקיים מרכזיים הנובעים מהביקושים החדשים שמייצרת פעילות בתחום ה-AI, ובראשם מרכזי הנתונים:

1. הביקוש לאנרגיה צפוי להמשיך לגדול

מדינות שונות מתייחסות לצמיחה הצפויה בביקוש לאנרגיה בכלל, וחשמל בפרט. באירלנד (שבאמור מהווה מרכז טכנולוגי משמעותי בעלת צריכה גבוהה של חשמל על ידי מרכזי נתונים), למשל, התחזיות מראות כי עד שנת 2030 מרכזי הנתונים יצרכו כרבע מצריכת החשמל במדינה. דוגמה נוספת היא דנמרק, שם נרשמה מגמה דומה, עם ציפייה לגידול משמעותי בצריכה בסקטור זה.

2. מודלי החיזוי הקיימים לא מדויקים

בהתמודדות עם התופעה, ממשלות רבות מציינות כי מודלי החיזוי הכלכליים המסורתיים אינם מצליחים להעריך במדויק את קצב הצמיחה של הביקושים. כך לדוגמה, בבריטניה ובאירלנד, המודלים הקיימים לא מתוכננתים לחזות את הביקוש של מרכזי הנתונים כקטגוריה נפרדת, אלא מכילים אותו במגזר השירותים. גם בקוריאה הדרומית עלה כי מודלים כלכליים מסורתיים לא מצליחים לתפוס את העלייה בביקוש.

3. הביקוש החדש צפוי להיות קשיח

מדינות כמו ספרד ואירלנד מצביעות על כך שהביקוש הנוסף שמייצרים מרכזי הנתונים שונה באופן מהותי ממשקי חשמל מסורתיים – הוא מתמשך, בלתי גמיש, ואינו משתלב היטב במנגנוני ניהול עומסים קיימים (לעומת צריכה גמישה, ותלות בגורמים כמו מזג האוויר). המשמעות היא שנדרשים פתרונות ייעודיים לתכנון ותגבור של אספקת החשמל לאותם אתרים.

4.1.2. עקרונות מדיניות לשיפור המצב הקיים

בתכניות האסטרטגיות של המדינות הנבחנות צוינו גם עקרונות מדיניות לשיפור מיידי והתמודדות עם המצב הקיים:

1. שיפור יכולת החיזוי

מדינות שונות נוקטות בצעדים רגולטוריים שמטרתם לשפר את יכולת החיזוי של הרגולטור ביחס למוקדי הביקוש העתידיים, באמצעות מנגנונים כמו חובת דיווח לרגולטור, דרישות לניתוחי עומס כחלק מהיתרי

הבנייה, והעברת מידע שוטף על אודות מרכזי נתונים קיימים. צעדים אלו יוכלו לאפשר תכנון מדויק יותר של תשתיות האנרגיה והחשמל בתגובה לצמיחה המואצת של מרכזי הנתונים.

2. הפחתת העומס על הרשת

מדינות רבות פועלות להפחתת העומס הישיר על רשת ההולכה, באמצעות יצירת תמריצים למקורות אנרגיה מקומיים. מהלכים בולטים כוללים הקמת מרכזי נתונים בקרבת תחנות כוח, קידום באזורים בהם יש רשת פנויה, וקידום מודלים של CPPA (הסכמי רכישת חשמל פרטיים) בין מרכזי הנתונים ליצרני חשמל מקומיים. צעדים אלה מסייעים בניהול העומסים ובמניעת צווארי בקבוק.

3. התייעלות באנרגיה

במקביל להרחבת התשתיות, מדינות פועלות גם לשיפור היעילות האנרגטית של מרכזי הנתונים עצמם. דנמרק, למשל, דורשת ממרכזי הנתונים להציג תוכניות להתייעלות, בעוד אירלנד וספרד מעודדות הקמת מרכזים יעילים, כפי שיפורט בהמשך. צעדים אלה מסייעים לצמצם את הביקוש הגובר.

4. מיקוד התחזיות

מדיניות הרגולטורים מתפתחת גם בהיבט של תחזיות הביקוש, מתוך הבנה שמרכזי נתונים אינם זהים לצרכנים אחרים. במדינות אלו קיימת דרישה מהרגולטור להציג תחזיות ייעודיות למרכזי נתונים.

4.2 היבטים משקיים (מדיניות ברמה ממשלתית)

הצורך באספקת חשמל אמינה עבור AI מחייב תכנון לאומי רב-שכבתי. בהתאם לכך, ובנגזרת מהאסטרטגיה הלאומית, גובשה מתודולוגית ראשונית שתסייע בניתוח ההיבטים השונים של משק האנרגיה. מסגרת זו מחלקת את האסטרטגיות בעולם לתחום האנרגיה ל- AI לשלושה מישורים:

- **מישור משקי (מדיניות אנרגיה ברמה ממשלתית)** – בחינת התמונה הכוללת של הביקושים, לרבות תוספת הביקושים של הבינה המלאכותית וחוות השרתים, כחלק מתכנון משק החשמל והגדרת היעדים הלאומיים. מישור זה נמצא באחריות משרד האנרגיה ויכלול קביעת כיווני פעולה, תוך התייחסות לצורך באיזון בין סקטורים שונים במשק, ובחינת שילוב צרכי ה-AI בתכנון אסטרטגי כולל.
- **מישור רגולטורי (פיקוח והסדרה)** – מישור זה נמצא באחריות גופי רגולציה כגון רשות החשמל, וכולל את בחינת הכלים הרגולטוריים הנדרשים ליצירת איזון בין קידום תשתיות AI לבין שמירה על תכנון בר-קיימא, ואינטרסים נוספים של משק האנרגיה.
- **מישור תפעולי (הפעלה ויישום בשטח)** – מנוהל על ידי מפעיל מערכת ההולכה (TSO) וחברות התשתית (ניהול הולכה וחלוקה), שנדרשים לוודא את היכולת הפיזית של הרשת לעמוד בעומסים ובשינויים בדפוסי הצריכה. מישור זה יעסוק בתעדוף חיבורים, ניהול רזרבות, וטיפול במוקדי עומס ותנודתיות.

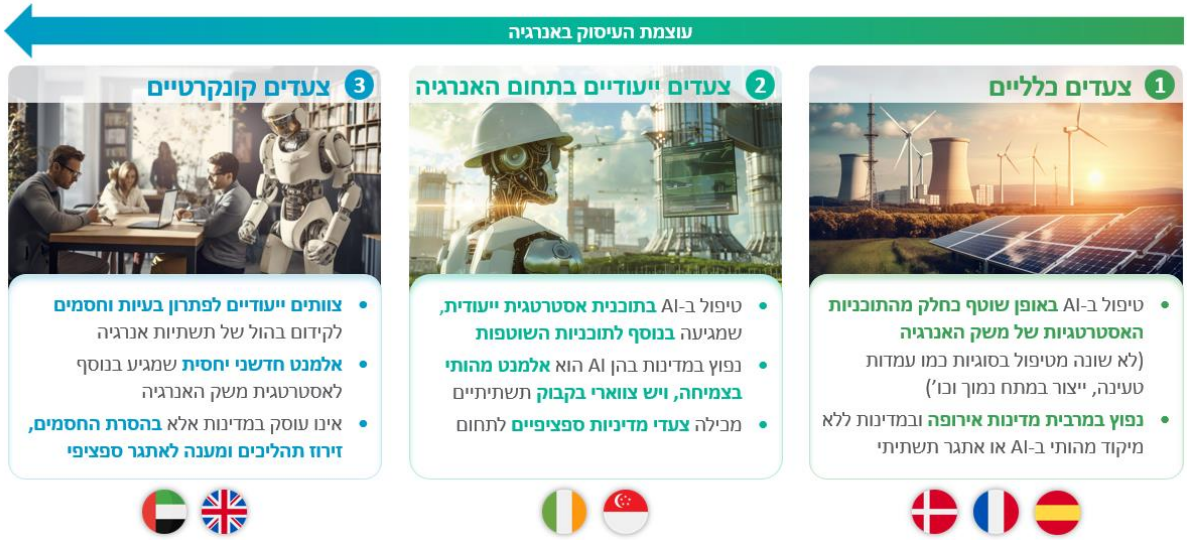
שלושת המישורים מרכיבים את התשתית הנדרשת לפעולה אפקטיבית ברמה הלאומית. יחד עם זאת, אופן ההתמודדות בפועל משתנה ממדינה למדינה – בהתאם למשאבים, לקצב ההתפתחות, ולסדרי העדיפויות הלאומיים והאסטרטגיים.

ניתוח המדיניות הקיימת במדינות שונות מצביע על שלוש רמות להתייחסות לסוגיית האנרגיה ברמה המשקית, כפי שמוצג בתרשים מספר 21:

1. **צעדים כלליים** – טיפול בהיבטי אנרגיה כחלק אינטגרלי ממדיניות כלכלית רחבה.
2. **צעדים בתחום האנרגיה** – אסטרטגיה ייעודית לבינה מלאכותית ואנרגיה, הפועלת לצד תכניות בינה מלאכותית אחרות.
3. **צעדים קונקרטיים** – צעדים להתמודדות עם אתגרים קיימים – בעיקר במקרים שבהם קצב פיתוח התשתיות אינו מדביק את דרישות השוק.

רמות אלו ממחישות את ההכרה ההולכת ומתרחבת בצורך לנהל את נושא האנרגיה לא רק כתמיכה טכנית, אלא כתשתית אסטרטגית לחדשנות לאומית. לבן, ללא עמדת משק האנרגיה ופירוט המשמעויות האנרגטיות של קידום בינה מלאכותית בישראל, לא ניתן לבסס אסטרטגיית AI לאומית שלמה.

תרשים 21: שלוש רמות להתייחסות לסוגיית האנרגיה ברמה המשקית[34]



4.2.1 צעדים כלליים – תכניות אסטרטגיות

על רקע העלייה בביקושים למקורות אנרגיה מצד מגזרי טכנולוגיה עתירי משאבים – ובראשם תחום הבינה המלאכותית – החלו מדינות האיחוד האירופי לעצב מדיניות אנרגיה המתייחסת לסוגיה זו ברמה האסטרטגית. המדיניות מתבטאת בשתי תוכניות עיקריות, המשלימות זו את זו:

1. **Integrated National Energy and Climate Plan (NECP)**

תוכנית ה-NECP של האיחוד האירופי מהווה מסגרת פעולה מחייבת לתכנון משק האנרגיה בטווח של עשר שנים, תוך הגדרת מטרות ויעדים, לרבות מדיניות ומדדים. התוכנית משקפת הסתכלות אינטגרטיבית על סוגיות אנרגיה ואקלים. התהליך החל בשנת 2018, אז נדרשו מדינות האיחוד האירופי להגיש טיוטות

[34] ניתוח שלדור

ראשונות של תכניותיהן. כל טיוטה מגובשת לאחר היוועצות מקיפה עם כלל הגורמים הרלוונטיים במשק האנרגיה במדינה. לאחר קבלת הערות מהאיחוד האירופי מתבצע תיקון והתאמה של התוכנית. תהליך זה חוזר על עצמו אחת לחמש שנים. התוכנית כוללת סקירה רחבה של משק האנרגיה, תחזיות ותיאורי מצב, קביעת יעדים ומטרות לאומיות, פירוט של צעדי מדיניות נדרשים, וכן ניתוח פערים בין המצב הקיים לבין התרחישים העתידיים הרצויים.

2. Long Term Strategies

בנוסף ל-NECP, כל מדינה באיחוד האירופי מחויבת להציג אסטרטגיה ארוכת טווח, אשר נועדה להגדיר חזון כולל למשק האנרגיה לטווח של שלושה עשורים. מאז שנת 2020, מדינות האיחוד מציגות אסטרטגיה זו, תוך תיאום עם כלל השחקנים המרכזיים במשק – מה שמבטיח מענה לסוגיות חוצות מגזריים. האסטרטגיה מתעדכנת אחת לחמש שנים ומוגשת כתוספת משלימה לתוכנית ה-NECP. מרכיבי האסטרטגיה כוללים סקירה מערכתית של כלל ענפי המשק – בהם תעשייה, ייצור חשמל, תחבורה וחקלאות – בדגש על הפחתת פליטות ושיפור יעילות אנרגטית. האסטרטגיה מכילה הערכה של ההשקעות הנדרשות ליישום, וכן ניתוח השפעות חיצוניות על היכולת לעמוד ביעדים.

תכניות אלה מעניקות כיוון מדיניות כללי, אך מתייחסות באופן מצומצם או עקיף בלבד להיבטים הקשורים ל-AI, בהתאם לחשיבות שכל מדינה באיחוד האירופי מעניקה לנושא זה.

4.2.2. צעדים בתחום האנרגיה – תכניות ייעודיות

במדינות מסוימות ניתן לראות נקיטת צעדים במשק האנרגיה, במסגרתם גובשו תכניות ייעודיות לממשק בין AI למשק האנרגיה. תכניות אלו מתפתחות כאשר קיימת חשיבות אסטרטגית לפיתוח תעשיית AI מקומית, אך ישנו חסם משמעותי מצד משק האנרגיה, הדורש טיפול ממוקד על מנת לאפשר את קידום התחום.

כך לדוגמה, סינגפור פרסמה בשנת 2024 תכנית לאומית ממוקדת בהובלת רשות החדשנות והטכנולוגיה(IMDA), במטרה לממש את הפוטנציאל הדיגיטלי של המדינה תוך עמידה ביעדי אנרגיה ואקלים.[35] התוכנית כוללת קידום שיתופי פעולה בין מרכזי נתונים לבין יצרני אנרגיה ירוקה, שותפויות עם האקדמיה, ותכנית מענקים לפיתוח פתרונות חכמים להתייעלות אנרגטית. כמו כן, הושם דגש מיוחד על התייעלות בצריכת החשמל והמים של תשתיות תפעוליות, על ידי תמרוץ שימוש בטכנולוגיית קירור מתקדמת.

[35] Driving a Greener Digital Future – Singapore's Green Data Centre Roadmap. Infocomm Media Development Authority, Singapore. 2024.

תרשים 22: צעדים מתוך התוכנית הסינגפורית[36]



באופן דומה, באירלנד, משרד הכלכלה, התעסוקה והתיירות השיק תוכנית תעשייתית-אנרגטית שמטרתה לעודד תיעדוף של מרכזי נתונים באמצעות חמישה ממדים:[37]

- הפחתת השפעה סביבתית שלילית
- שיפור היעילות האנרגטית
- שימוש ברשת קיימת באזורים בעלי עודפי חשמל
- שילוב עסקים קטנים וקהילה מקומית
- פיתוח מרכזים "מאופסי פליטות"

תכנית זו משקפת את ההבנה כי מרכזי הנתונים הם מנוע צמיחה משמעותי, אך כזה המחייב תכנון זהיר ורגולציה חדשנית. לכן, הצעדים שננקטו מעודדים הקמה של מרכזי נתונים תוך שמירה על ביקוש אנרגטי שאינו חורג מההיצע החזוי.

שתי הדוגמאות מצביעות על פוטנציאל מובהק ליצירת יתרון תחרותי לאומי באמצעות תכנון ממוקד, שבולל את הדגשת חשיבות ה-AI למשק המקומי, סקירת חסמים ואיומים, והכוונת השחקנים במשק על ידי צעדי מדיניות.

4.2.3. צעדים קונקרטים – הקמת צוותי חירום

במדינות בהן קצב ההתפתחות של תעשיית הבינה המלאכותית אינו תואם את מוכנות משק האנרגיה, מתפתחת גישה בהולה אשר כוללת הקמה של צוותים ייעודיים להסרת חסמים נקודתיים. גישה זו מאופיינת

[36] Driving a Greener Digital Future – Singapore's Green Data Centre Roadmap. Infocomm Media Development Authority, Singapore. 2024.
[37] Government Statement on the Role of Data Centres in Ireland's Enterprise Strategy. The Government of Ireland. July, 2022.

בפעולה מיידית, לא כחלק ממדיניות כוללת, אלא כמענה ממוקד לאתגרי חיבור, רגולציה או תכנון המאיימים לעכב פרויקטים אסטרטגיים.

המאפיין המרכזי של גישה זו הוא האופי התגובתי – הגישה הבהולה מתמקדת בפתרון בעיות נקודתיות שמקורן בביקוש חדש, ולא בגיבוש אסטרטגיה כוללת. הצוותים פועלים לזירוז תהליכים רגולטוריים, התאמת נהלים, ומתן מענה לפרויקטים המצויים בעיכוב בשל מגבלות תכנוניות או תשתיתיות.



בבריטניה, הוקמה בינואר 2025 מועצה ייעודית ל-AI בראשות שרי האנרגיה והמדע (AI Energy Council), שתפקידה לפעול עם חברות האנרגיה להבנת הביקושים והאתגרים בתחום זה. המועצה נועדה להוות מנוע להצמחת התחום תוך חיזוק מדיניות האנרגיה של הממשלה להפוך למעצמת אנרגיה נקייה, בין היתר באמצעות אימוץ טכנולוגיות חדשניות לתמיכה במרכזי נתונים בעלי מקור אנרגיה עצמאי, כמו כורים קטנים מודולריים (SMR).



באיחוד האמירויות, הוקם בפברואר 2025 צוות ייעודי לבחינת השפעת מרכזי הנתונים על משק האנרגיה, כחלק ממהלך אסטרטגי לקידום הטרנספורמציה הדיגיטלית ולשיפור הקיימות בסקטור האנרגיה. הצוות אחראי לגיבוש רגולציה מותאמת ולעידוד השקעות, תוך שמירה על יתרון תחרותי בתחום התשתיות הדיגיטליות.

שתי הדוגמאות ממחישות את החשיבות בתכנון מוקדם, ולכל הפחות את הצורך ביכולת תגובה מהירה מצד המדינה, כאשר ההזדמנות הכלכלית בתחום ה-AI נתקלת במגבלות תשתיתיות. גישה זו מאפשרת ליישם Best Practices תוך זמן קצר, גם בהיעדר מסגרת מדיניות מגובשת, אך לא נותנת מענה רחב או מדיניות כוללת.

4.3. היבטים רגולטוריים (פיקוח ואסדרה)

התרחבותה של תשתית ה-AI, ובראשה מרכזי הנתונים, מחייבת רגולטורים ברחבי העולם לגבש מענה מדיניות מותאם לאתגרים החדשים שמציבה צריכת החשמל הגבוהה של תחום זה. בשונה מענפים אחרים, הביקוש לאנרגיה שמייצר תחום הבינה המלאכותית מתאפיין בריכוזיות, אינטנסיביות ולעיתים גם בחוסר גמישות – מה שמציב דרישות חדשות בפני מערכות התכנון והאכיפה.

מדינות רבות מגיבות לכך באמצעות כלים רגולטוריים ייעודיים, הנעים על רצף של **עוצמת התערבות הולכת וגוברת**. להלן ארבע הקטגוריות המרכזיות של הכלים שננקטים כיום, המפורטות בתרשים מספר 23:

1. **איסוף מידע ושקיפות** – דרישה לדיווחי צריכה שוטפים ממרכזי הנתונים, פרסום נתונים ואיסוף מידע על פעילות מרכזי נתונים (למשל PUE), דיווחים על נקודות עומס ברשת, ללא הטלת מגבלות תפעוליות.
2. **תמריצים ומדיניות אזורית** – עידוד הקמה או פעילות של מרכזי נתונים באזורים רצויים באמצעות תמריצים – הקלות מס, היתרים מזורזים או גישה מועדפת למשאבים, כמו גם מתן אפשרות CPAA (Corporate Power Purchase Agreements).

3. **קביעת סטנדרטי יעילות** – הטלת דרישות ביצוע מינימליות, כגון מדדים של יעילות אנרגטית, שימוש בחשמל מייצור מקומי, באנרגיה מתחדשת או פתרונות קירור מתקדמים.
4. **הגבלות על הקמה** – עצירת הקמת מרכזי נתונים חדשים באזורים עמוסים או חובת עמידה בתנאים תכנוניים/אנרגטיים כתנאי לפעילות.

רצף זה משקף מעבר מהתבססות על שקיפות ומידע, דרך תכנון רך ומעודד, ועד לפיקוח ישיר והתערבות מחייבת. תתי-הפרקים הבאים ירחיבו על כל אחד מארבעת הכלים, תוך הצגת דוגמאות מהמדיניות הקיימת במדינות שונות.

תרשים 23: קטגוריות מרכזיות של כלים רגולטורים[38]



4.3.1. איסוף מידע ושקיפות

הבסיס לכל מדיניות רגולטורית אפקטיבית הוא נגישות למידע אמין, סדור ועדכני. בהתאם לכך, מספר הולך וגדל של מדינות נוקטות בצעד ראשון של איסוף נתונים שיטתי ממפעילי תשתיות AI – ובראשם מרכזי נתונים – לצורך תכנון, פיקוח והסדרה עתידית. שלב זה אינו כולל מגבלות או תנאים מחייבים, אך מהווה תשתית רגולטורית קריטית להתפתחות מדיניות בהמשך.

האיחוד האירופי מוביל קו זה באמצעות הנחיית האיחוד האירופי ליעילות אנרגטית (Energy Efficiency Directive – EED 2023/1791), אשר מחייבת את מדינות האיחוד להחיל חובת דיווח על כל מרכז נתונים בעל הספק של מעל ל-500 קילוואט. חובת הדיווח כוללת:

- **פרטי מרכז הנתונים** – פרטי זיהוי של המתקן, בעלות ותאריך תחילת פעילות.
- **נתוני אנרגיה ופעילות** – שטח, אספקת חשמל, מקור האנרגיה, מדדים תפעוליים (כגון PUE).

[38] ניתוח שלדור

- **יעילות בשנה האחרונה** – תיעוד השימוש באנרגיה מתחדשת, צריכת מים, קירור ותשתיות תומכות.

הדיווחים יועברו לרגולטורים בכל מדינה ולמאגר מידע משותף של האיחוד האירופי. הדירקטיבה מציינת כי הנתונים ישמשו את גופי הרגולציה והממשל לצורך קביעת מדיניות, בקרה, והשוואה בין מדינות. החל ממאי 2024 יחלו הדיווחים בפועל, ועד לשנת 2025 יגובשו צעדים נוספים שייתכן ויהפכו לחלק מההמלצות לדרישות מחייבות.

צעדים דומים ננקטו במדינות נוספות שצוינו בפרקים הקודמים – דוגמת סינגפור, בריטניה ואיחוד האמירויות – שם נדרשים מפעילי מרכזי נתונים להעביר מידע סדור על פרופיל הצריכה, היעילות התפעולית, עומסים מקומיים והשפעות סביבתיות, וזאת אף לפני גיבוש רגולציה פורמלית.

גישה זו מאפשרת לרגולטור לפעול בהדרגתיות: לבסס את הבנתו לגבי תשתיות ה-AI, לזהות מוקדי סיכון, ולבחון אפשרויות הסדרה – מבלי לעכב השקעות בשלב הראשוני.

4.3.2. תמריצים ומדיניות אזורית

מדינות מסוימות בוחרות לפעול באמצעות **כלים מתמרצים**, שנועדו לתעל את פעילותם של מרכזי נתונים **לאזורים מועדפים** מבחינת תשתיות, עומסי רשת, או מדיניות לאומית. גישה זו משמרת את חופש הפעולה של השוק, אך יוצרת מסלולים מועדפים המאפשרים לרשויות לשפר את השליטה והקצאת המשאבים. שלושה מודלים מרכזיים בולטים בשדה זה:

1. **רגולציה מעודדת אזור**

בהולנד, הרגולטור הלאומי (ACM) בשיתוף הרשויות המקומיות מקדם מדיניות שמעודדת חיבור של מרכזי נתונים באזורים ייעודיים בהם קיימת תשתית מתאימה ועומס רשת נמוך. המדיניות כוללת מתן קדימות בפרוצדורות האישור למרכזים באזורים מסומנים, ביניהם מחוז Noord-Holland וערים ספציפיות כגון Haarlemmermeer ו-Amsterdam. מודל זה מאפשר הקמה של מרכזי נתונים תוך התחשבות בניהול יעיל של הרשת המקומית.

2. **קידום אזורים ייעודיים "Plug and Play"**

בבריטניה, הממשלה הכריזה על הקמת AI Growth Zones – אזורים אלו יהיו בעלי נגישות גבוהה לחשמל ויזכו לתמיכה רגולטורית מואצת, שנועדה להקל על אישורים ולהבטיח זמינות משאבים. האזור הראשון מוקם ב-Culham, בשיתוף גורמים מהמערכת הציבורית והפרטית, ומתוכנן להכיל מרכז AI מהגדולים במדינה. מדובר במודל מובנה של אזורי פיתוח תשתית, המאפשר לרגולטור למקד משאבים ולתכנן מראש את העלייה בביקוש האנרגטי.

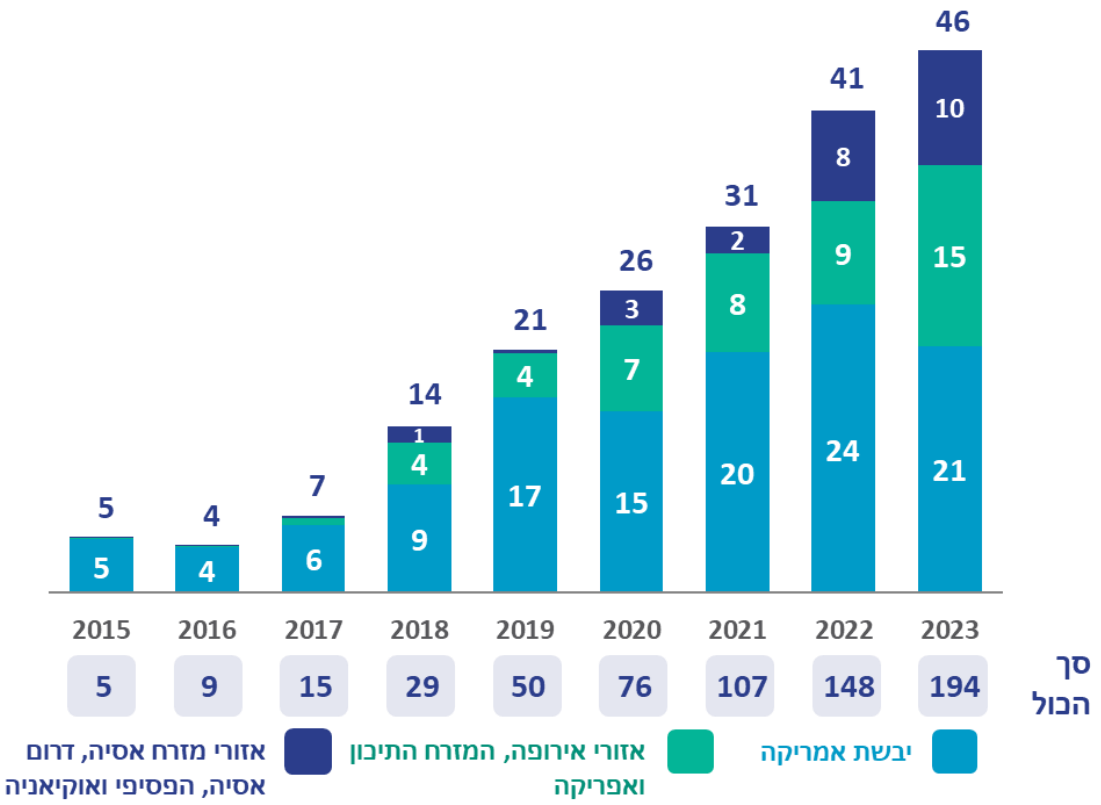
3. **CPPA – כלי תמרוץ מבוסס חוזים**

הסכם CPPA (Corporate Power Purchase Agreement) הוא חוזה בין מרכז הנתונים לבין יצרן אנרגיה מתחדשת, שמבטיח אספקה ישירה ויציבה לאורך זמן. אף שמדובר ביוזמה שמקורה בשוק הפרטי, היקף השימוש והיתרונות שהוא מציע התאפשרו בין היתר בזכות מדיניות ממשלתית תומכת במדינות רבות, אשר מספקת מסגרת רגולטורית גמישה ומעודדת לשימוש במנגנון זה. המודל מציע מספר יתרונות מובהקים:

- **זמינות** – אספקה מובטחת לטווח ארוך במנותק מניהול הרשת.
- **יציבות מחירים** – התחייבות למחיר קבוע לשנים קדימה, המנטרלת תנודתיות בשוק האנרגיה.
- **בר קיימא** – חיבור ישיר למקורות אנרגיה מתחדשת, לעיתים בהקמה ייעודית עבור הצרכן.
- **הקטנת תלות בתשתית** – קיימת בד"כ בקרבת אתר ייצור (לעיתים אף בתוכו), ולכן נדרשת פחות רשת.
- **שת"פ רגולטורי** – במדינות רבות ישנן הקלות בתהליך האישורים עבור אתרים שעושים שימוש ב-CPPA, כדי לעודד השקעה באנרגיה ירוקה.

קצב הצמיחה של שוק ה-CPPA העולמי משקף מגמה מובהקת של שילוב תשתיות AI עם מודלים מבוזרים וגמישים יותר של אספקת אנרגיה (תרשים 24).

תרשים 24 : חוזי CPPA חדשים וסך החוזים הקיימים (GW) [39]



4.3.3. קביעת סטנדרטי יעילות

מדינות מסוימות בוחרות להטיל **סטנדרטים מחייבים** של יעילות אנרגטית – המכתיבים רף ביצועים שעל מרכזי הנתונים לעמוד בו כתנאי להקמה, חיבור או פעילות. בשונה ממודל התמריצים או איסוף הנתונים, גישה זו יוצרת מחויבות תפעולית ומתבססת על מדדים כמותיים, דרישות טכנולוגיות ולוחות זמנים שאין לחרוג מהם.

[39] עיבוד לנתוני Capgemini

הסטנדרטים נועדו להתמודד עם צריכת האנרגיה האינטנסיבית של תשתיות AI, ולעגן דרישות של קיימות, יעילות וחסכון כחלק אינטגרלי מהתכנון הפיזי והתפעול השוטף של מרכזי נתונים. להלן שתי דוגמאות מרכזיות ליישום רגולציה מסוג זה:

1. גרמניה – סטנדרטים מחייבים בחוק היעילות האנרגטית[40]

גרמניה אישרה בסוף 2023 את חוק היעילות האנרגטית (Energy Efficiency Act – EnEfG), הכולל סט של כללים מחייבים התחומים בזמן עבור מרכזי נתונים:

- הגדרת סף PUE (Power usage effectiveness) מקסימלי

  מרכזים קיימים יידרשו לעמוד ביעדי יעילות אנרגטית לפי מועד תחילת פעילותם:
  - עד יולי 2026 – PUE מקסימלי של 1.5
  - בין 2027–2030 – מקסימום של 1.3
  - מ-2030 ואילך – סף של 1.2 בלבד
- חובת שימוש באנרגיה מתחדשת
  - החל מ-2024 – לפחות 50% מהחשמל חייב להגיע ממקור מתחדש
  - החל מ-2027 – 100% אנרגיה מתחדשת (כולל חוזי CPPA)
- שימוש חוזר בחום
  - דרישה להפחתת פליטות חום כחלק מההתייעלות האנרגטית
  - מרכזים נדרשים להעביר עודפי חום למערכות אזוריות (District Heating), כפתרון נקודתי וחסכוני.

בנוסף, בטיוטה נדונה יוזמה מחמירה נוספת – לחייב פתרונות קירור מתקדמים או בנייה ירוקה – אך הצעה זו טרם התקבלה בפרלמנט.

2. סינגפור - מודל דירוג מבוסס ניקוד מחייב (Green Mark)[41]

סינגפור מיישמת גישה רכה לכאורה המבוססת על תו תקן Green Mark, שפותח על ידי רשות הבנייה (BCA) והרשות לפיתוח דיגיטלי (IMDA). תו התקן נבנה כמערכת וולונטרית לדירוג מרכזי נתונים, אך בשוק תחרותי הוא הפך בפועל לתנאי סף לקבלת אישורים, תמיכה מוסדית והכרה רגולטורית.

- יעילות אנרגטית (40 נקודות):

  מדדי PUE (למשל 1.4 או פחות), מערכות קירור, IT חסכוני, הפרדה תרמית וניצול אנרגיה מתחדשת.
- פליטות פחמן (8 נקודות):

  חומרי בנייה בני קיימה, ציוד IT יעיל אנרגטית, וציות לתקני פליטות GHG.
- תחומים שאינם אנרגטיים (27 נקודות):

  ניהול מים, אינטגרציה חכמה, תחזוקה בריאות ורווחה.

---

[40] Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz - EnEfG). 13.11.2023.

[41] הפניות בעמוד Green Mark Assessment Criteria and Online Application, Building and Constructions Authority

על אף שהמערכת וולונטרית, רק שחקנים שצוברים לפחות 40 נקודות בתחום היעילות האנרגטית זכאים לדירוג "זהב" – שהפך בפועל לתנאי כניסה לשוק. המרכזים שאינם עומדים ברף זה נחשבים כ"חלשים" מבחינה אנרגטית, ולא נהנים ממסלולי תעדוף באישורים, מימון ציבורי או הכרה מוסדית.

4.3.4. הגבלות על הקמה

הכלי הקשיח ביותר בארגז הכלים הרגולטורי הוא מורטוריום – עצירה של הקמת מרכזי נתונים. במקרים בהם הצריכה של מרכזי נתונים מאיימת לעקוף את קיבולת הרשת או להתנגש עם יעדי אקלים, חלק מהמדינות בחרו להחיל **מורטוריום על הקמה** של מרכזים חדשים. מדובר בגישה הרגולטורית המחמירה ביותר, המייצגת **קו אדום משקי** שבו רגולטורים עוצרים לחלוטין את המשך ההתפתחות של התעשייה – עד ליצירת תנאים תומכים.

ניתן להבחין בין שלושה סוגים עיקריים של מגבלות שהופעלו בפועל:

1. **מגבלה קבועה באזורים רוויים – דבלין, אירלנד**

באזור דבלין, עיר שבה התרכזה פעילות מרבית מרכזי הנתונים באירלנד, חלה כיום מגבלה קבועה על הקמה של מתקנים חדשים. מנהל הרשת (TSO) הודיע כי לא ניתן לאשר חיבורים נוספים באזורים מסוימים בשל מגבלות תשתית ואי־יכולת לעמוד בביקושים. עם זאת, בפועל, ניתן להקים מרכזי נתונים חדשים כל עוד הם מבוססי ייצור חשמל עצמאי או מבוססי שימוש CPPA.

2. **מגבלה זמנית לצורך התאמה – סינגפור (2019–2022)**

בין השנים 2019–2022 סינגפור הקפיאה באופן מוחלט הקמת מרכזי נתונים, מתוך מטרה לעצור ולהעריך מחדש את השלכות הצמיחה על משק האנרגיה. ההקפאה לוותה בתהליך תכנון שיטתי להתמודדות עם הביקוש הצפוי, ומתוך כוונה ליישר קו עם יעדי המדינה להפחתת פליטות עד 2050. לאחר ההקפאה, שבו המרכזים לפעול – אך בשיטה סלקטיבית ותוך שימוש בבלים כמו דירוגים מחייבים ותיעדוף תכנוני.

3. **מגבלה עירונית שהומרה למדיניות אזורית – אמסטרדם, הולנד**

בעיר אמסטרדם הוקפאה הקמת מרכזים בתחומי העיר בשנים 2019–2020, כתוצאה מהיעדר יכולת קליטה ברשת המקומית ומהשפעות סביבתיות. במקום זאת, העירייה בשיתוף עם הרגולטור הלאומי יזמו הסבה למדיניות אזורית: פריסה מחדש של מרכזי נתונים באזורים ייעודיים מחוץ לעיר, בהם ניתן להקים מרכזים חדשים בכפוף לתנאים תכנוניים ואנרגטיים מוסדרים. המורטוריום הוביל להעדפה של מדינות קרובות, ובעיקר צרפת ומדינות סקנדינביה.

4.3.5 סט הכלים הרגולטורי

ניתוח המדיניות בעולם מלמד כי אין מודל אחיד או "פתרון מדף" להתמודדות רגולטורית עם אתגרי האנרגיה שמציבים מרכזי נתונים ותשתיות AI. עם זאת, מדינות נוטות לגבש סט כלים אינטגרטיבי – כזה שמשלב שקיפות, תעדוף תכנוני, דרישות ביצוע ולעיתים גם מגבלות – בהתאם **למצבו של משק האנרגיה ולתפיסה האסטרטגית של תחום ה-AI**.

שתי דוגמאות בולטות ממחישות את שונות היישום ואת עקרון ההתאמה לתנאים לאומיים:

1. אירלנד

תפיסה אסטרטגית: הובלה בינלאומית ביישום AI באופן בטוח, אנושי ומבוסס אמון, תוך קידום חדשנות, תשתיות תומכות.

מצב משק החשמל: מאתגר (מיעוט רזרבות, ייצור מוטה גז טבעי ורשת עמוסה באזורי מפתח).

בהתאם למאפיינים אלו, אירלנד בחרה בסט הכלים הרגולטוריים הבא, כמפורט בתרשים 25:

- <u>איסוף מידע</u>: חובת דיווח על צריכת חשמל, פרסום נתוני PUE, רישום מרכזים פעילים וניתוח עומסים אזוריים.
- <u>תמריצים ומדיניות אזורית</u>: הקצאת אזורים מועדפים (ACA) למרכזים חדשים, תעדוף חיבור באזורים בעלי יתרון תשתיתי, ומתן אפשרות לשימוש ב־CPPA.
- <u>קביעת סטנדרטי יעילות</u>: בבחינה – טרם הוחלו דרישות ביצוע פורמליות, אך מתקיים דיון להחלת סף מינימלי של יעילות והשתלבות באספקה ירוקה.
- <u>הגבלות על הקמה</u>: אזור דבלין נתון למגבלה רשמית: ה-TSO הודיע שלא יאשר חיבור רשת חדש במקטעים מסוימים. בפועל, נדרשים פתרונות של ייצור עצמי או CPPA לצורך אישור הקמה.

תרשים 25: סט הכלים הרגולטורי על חוות שרתים באירלנד



2. צרפת

תפיסה אסטרטגית: הפיכת צרפת ל־AI Powerhouse אירופי – כלכלית, מוסדית ותשתיתית.

מצב משק החשמל: מצוין – רזרבות חשמל גבוהות, ייצור גרעיני משמעותי, תשתית רשת רובוסטית.

בהתאם למאפיינים אלו, צרפת בחרה בסט הכלים הרגולטוריים הבא, כמפורט בתרשים 26:

- איסוף מידע: חובת דיווח צריכת חשמל ונתוני PUE של כלל מרכזי הנתונים, כולל דיווחים תכנוניים ופריסה גיאוגרפית.
- תמריצים ומדיניות אזורית: מסלולי אישור מועדפים באזורים מתועדים, פטור ממס צריכת חשמל (Tax Exemption) למרכזים המייצרים אנרגיה מתחדשת, ומתן אפשרות לחיבור ב־CPPA.
- קביעת סטנדרטי יעילות: קיימים סטנדרטים טכניים סבירים, אך הם נוחים יחסית – לא מוטלות חובות מחייבות גבוהות כמו בגרמניה.
- הגבלות על הקמה: אין. המערכת מאפשרת פיזור עומסים טבעי, ובשל חוזק תשתיתי אין כיום מגבלות ייעודיות.

תרשים 26: סט הכלים הרגולטורי על חוות שרתים בצרפת



4.4. היבטים תפעוליים (הפעלה ויישום בשטח)

יחד עם תכנון משקי ורגולטורי לסוגיות של חיבור לרשת, ניהול עומסים והקצאת משאבים ישנם היבטים ברמה התפעולית. בעולם מקובל כי היבט זה מנוהל על ידי גופים ייעודיים בגון מנהלי רשת ההולכה (TSO), רגולטורים וחברות תשתית ואנרגיה. גופים אלו נדרשים לקבל החלטות מיידיות, ומבוססות נתונים, באשר לאופן ביצוע המדיניות. פרק זה מציג כיצד המישור התפעולי הופך לזירת הכרעה קריטית בקידום תשתיות AI, ובמיוחד בהקשר של מרכזי נתונים.

4.4.1. המחשה – מימוש המדיניות - המקרה האירי

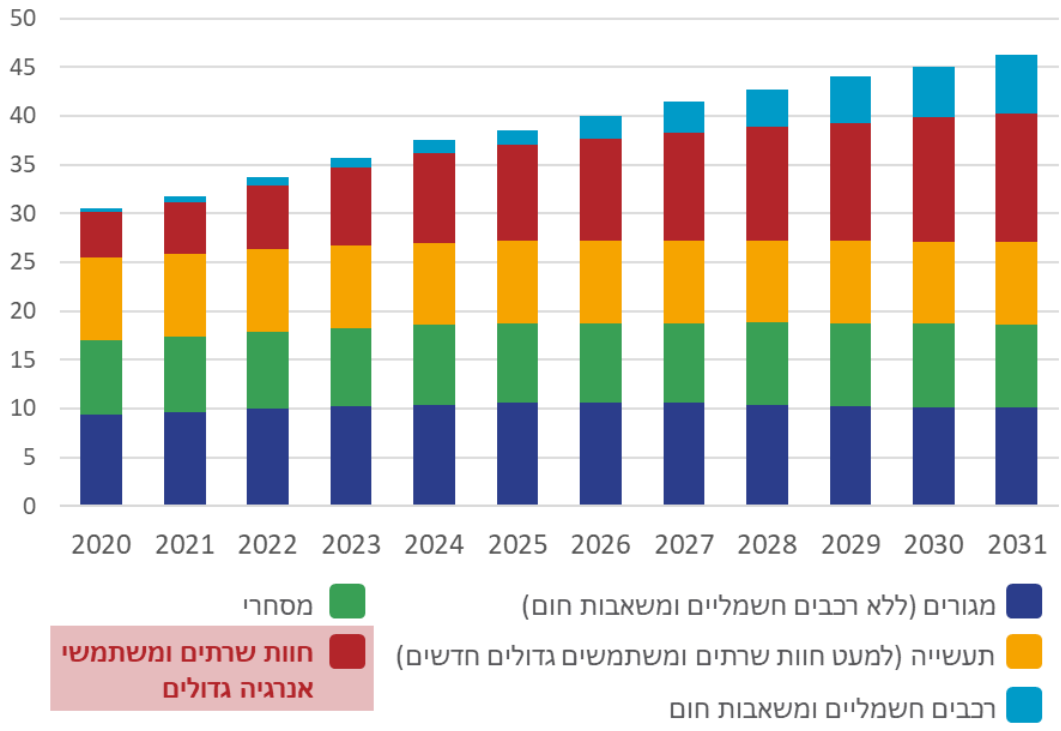
גם לאחר שגובשה מדיניות לאומית ברורה, בפועל מי שמבצע את ההכרעות המרכזיות לגבי הקמת תשתיות AI – ובעיקר מרכזי נתונים – הוא, ככלל, מפעיל מערכת ההולכה. באירלנד, ה־TSO לקח תפקיד אקטיבי בתרגום המדיניות לכללי תעדוף וחיבור בשטח, תוך איזון בין היעדים הלאומיים לבין מגבלות התשתית. במסגרת זו, הרגולטור קבע סט של כללים לתעדוף חיבור של מרכזי נתונים חדשים לרשת החשמל. הכללים שנקבעו מחמירים במיוחד, ומציבים רף גבוה למתקנים חדשים – בעיקר באזורים לחוצים דוגמת דבלין. בין התנאים:

- עדיפות למתקנים עם אספקת חשמל ממקור אנרגיה מתחדשת
- חובת הצגת תמהיל עומסים מתאים
- דרישת מיקום באזורים עם רזרבה תשתיתית

בפועל, דבלין הוגדרה כאזור רווי – ולכן הוחלט על הקפאת חיבורים חדשים עד שנת 2028, למעט מקרים חריגים הכוללים ייצור עצמי של חשמל או התקשרות ב־CPPA. כך הופעלה דה פקטו רגולציה מחמירה דרך קביעה תפעולית, גם מבלי לקבוע מגבלות בחקיקה.

לצד זאת, ה־TSO פרסם תחזיות ייעודיות המפרידות את מרכזי הנתונים כסקטור צרכני עצמאי – צעד המשקף את מיקומם כגורם דומיננטי בתחזית הביקושים הלאומית, ואת הצורך בהתייחסות מערכתית נפרדת עבורם במסגרת תכנון הרשת (תרשים 27).

תרשים 27: תחזית צריכת החשמל באירלנד, TWh[42]



לסיכום, מדיניות בתחום היא נגזרת של אסטרטגיית העל של המדינה בתחום. במקביל, נבחנות במדינות השונות, כמו גם ישראל בימים אלה, המצב הייחודי- סך הגידול בביקושים לחשמל, מאפייני המשק וכיוצא בזה ומשם תיגזר המדיניות.

[42] עיבוד לנתוני Eirgrid



.5 AI for Energy

5. AI for Energy

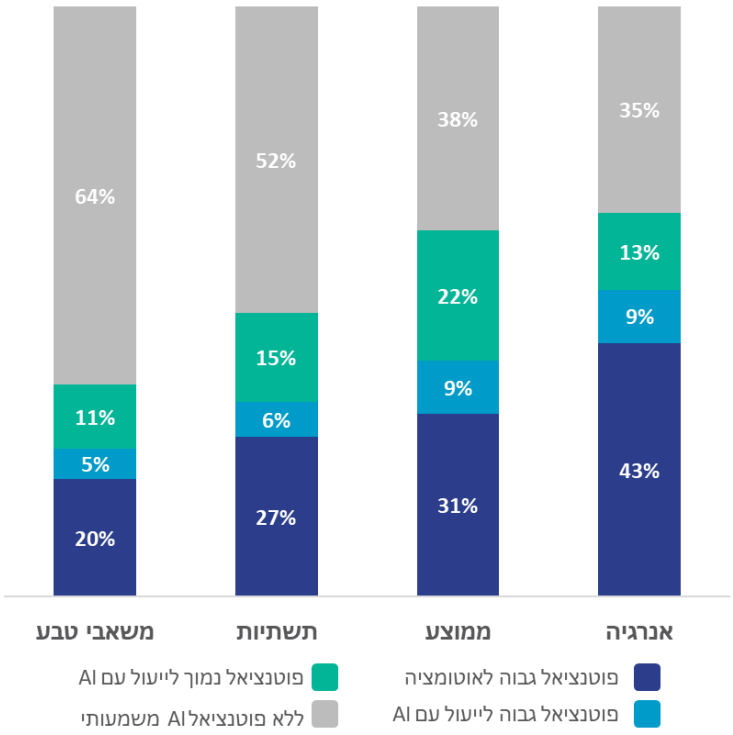
5.1 מבוא

תפיסה והבנה של הבינה המלאכותית כמנוע מרכזי להתייעלות, שיפור מערכתי ודיוק תהליך קבלת החלטות הולכת ומתבססת במגוון רחב של תחומי פעילות במשק. יישומיה כבר מוטמעים בתחומים כמו חינוך, בריאות, תקשורת ושירותים ציבוריים –בין היתר בהתאמה אישית של תוכן, חיזוי מגמות, כלים לקבלת החלטות או אוטומציה של תהליכים תפעוליים.

תחום האנרגיה והתשתיות מצוי כיום בעיצומו של שינוי מבני – כזה הנשען יותר ויותר על אוטומציה, חיזוי בזמן אמת, והתאמה לצרכים המשתנים. שילוב של טכנולוגיות בינה מלאכותית בתוך המערכות הללו המבטיח לא רק שיפור בביצועים התפעוליים, אלא גם ייעול משמעותי של ניהול משאבים, תחזוקה מונעת והפחתת עלויות. על פי ניתוח של Accenture, תחום האנרגיה נמצא בצמרת התעשיות מבחינת שיעור התפקידים שצפויים להשתנות בעקבות יישומי AI, עם פוטנציאל השפעה ישיר על כ-65% מהמשרות בענף (תרשים 28).

השינויים התכופים שקורים במשק האנרגיה מתעצמים עוד יותר נוכח התקדמות הבינה המלאכותית. שילוב בינה מלאכותית במשק האנרגיה משכללת אותו ומייעלת אותו. לכן, נדרשת אסטרטגיה לאומית שתשמש זרקור לאסטרטגיה למשק האנרגיה, כך שיהיה כיוון ברור למשק, לרבות עוצמת השימוש ואופן השימוש. ככל שאין אסטרטגיה לאומית, משק האנרגיה לא עוצר וקובע עובדות בשטח – לטוב ולרע.

תרשים 28 : התפלגות משרות בסכנת החלפה עקב AI בתעשיות שונות[43]



מדינות רבות כבר מיישמות מדיניות המעודדת שימוש בבינה מלאכותית כנדבך מרכזי בעיצוב מחדש של מודלים אנרגטיים. כך לדוגמה, האסטרטגיה הלאומית של דנמרק מציינת כי "באמצעות חיזוי מבוסס AI,

[43] עיבוד לנתוני AIPRM | Accenture

מתאפשר ניהול חכם של מקורות אנרגיה ומתן התראה מוקדמת על ביקושי שיא"; בספרד, נעשה שימוש נרחב ב-AI לצורך חיזוי תקלות בתחנות רוח ושיפור התחזוקה; ובבלגיה, צוין בוועדה הלאומית ל-AI כי יישומה של הבינה המלאכותית בפיתוח משק האנרגיה היא קריטית.

מגמות אלו מציבות את תחום ה- AI ככלי הכרחי בפתרון אתגרי תכנון, תפעול וחדשנות במערכות האנרגיה העתידיות.

הפרק הנוכחי עוסק במיפוי תחומי היישום של AI במשק האנרגיה, בזיהוי פערים וחסמים, ובהצגת כלים ומודלים שיכולים לתמוך באימוץ נרחב של טכנולוגיות אלו – ברמה הלאומית, הרגולטורית והתפעולית.

5.2. מיפוי שימושים מובילים

5.2.1. שימושים עיקריים ל-AI בתחום האנרגיה והתשתיות

מיפוי עולמי של פרקטיקות AI בתחומי האנרגיה והתשתיות מעלה כי קיימים 13 שימושים עיקריים, המתפרסים על פני שרשרת הערך כולה – מהתפעול, דרך האספקה ועד שלב המכירה והשיווק. תחומים אלו נחקרים ומיושמים בפועל בקרב חברות אנרגיה מובילות, וניתן לסווגם לשימושים מרכזיים:

- ניטור ומעקב,
- שיפור יעילות,
- אופטימיזציית תהליכים,
- יכולת חיזוי.

כל אחד מהשימושים יכול לבוא לידי ביטוי בשלבים השונים בשרשרת הערך: תפעול, שרשרת אספקה ומכירה ושיווק (תרשים 29).

תרשים 29: השימושים העיקריים ב-AI בתחומי חברות האנרגיה והתשתיות [44]



[44] עיבוד שלדור

המיפוי לעיל משקף בעיקר פעילות חברות בתחומי האנרגיה והתשתיות, ומאפשר למדינות וחברות מסגרת חשיבה למיקוד היתרונות הכלכליים של טכנולוגיות AI במשק האנרגיה, ומהם הצעדים הדרושים למימוש הפוטנציאל בכל אחת מהחוליות בשרשרת. בכך, היא מהווה תשתית לניתוח פערים ולגיבוש מדיניות יישומית בהתאם למדיניות הלאומית והרגולטור. שימושים רלוונטיים נוספים הם הולכה וחלוקה באמצעות חיזוי וזיהוי מוקדי חולשה בשרשרת הערך, תחום ה- Nowcasting אופטימיזציות אוטונומיות בזמן אמת בהיבטים שונים לרבות ניהול הביקוש, מענים לתנודתיות מקומית, ודינמיות בתמחור.

לצד זאת, פוטנציאל השימושים בבינה מלאכותית במשק האנרגיה כולו רחב עוד יותר, וכולל בין היתר שימושים במקטעים נוספים בשרשרת האספקה, למשל:[45]

- במשקי הנפט והגז, בינה מלאכותית יכולה לסייע בגילוי ופיתוח ולקצר הליכי חיפושים, ולהפחית פליטות על ידי זיהוי דליפות קיימות ופוטנציאליות.
- בסקטור התעשייתי (הצורך את האנרגיה) ניתן ליישם פתרונות דומים לאלו המפורטים במיפוי לעיל, כמו תחזוקה חזויה ומונעת, אופטימיזציה של תהליכים, והטמעת אוטומציה של תהליכים תוך שימוש בתאומים דיגיטליים ביישומים חדשים וכאלו שבפיתוח.[46]
- בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, ניתן להתאים ולשפר את יכולת ניבוי הייצור בהתאם לתנאי מזג האוויר המשתנים.
- אופטימיזציה לתשתיות ניהול הטענה לרכבים חשמליים.[47]
- הפחתת פליטות ולתחומי התייעלות אנרגטית, אגירה חכמה, תחזוקה חזויה והפחתת פליטות מערכתית, בעיקר בענפי תעשייה, בנייה, תשתיות ותחבורה.
- אופטימזציות בתהליכי תכנון מבנים לשם הבטחת יעילות אנרגטית.
- היערכות אופטימלית למצבי קיצון.
- שימוש גורמים מאסדרים במשק האנרגיה לטובת טיוב רגולציה והקלת נטלים בירוקרטיים בשוק האנרגיה.

כאמור, השימוש בכלים אלו ובמערכות מתקדמות המשתמשות בבינה מלאכותית יכול לאפשר חיסכון משמעותי באנרגיה, משאבים וכסף ציבורי ופרטי, בנוסף לייעול ושיפור תהליכים לכל אורך שרשרת אספקת האנרגיה. שיפורים אלו יכולים להשפיע גם על הביקוש לאנרגיה וניהול תשתיות משיקות, ומשכך יש להם ערך רב גם ברמה המשקית והלאומית.

5.2.2. שימושים קיימים בשוק – דוגמאות מהעולם

חמשת השימושים הבולטים בבינה מלאכותית בסקטור האנרגיה מגיעים מעולמות התפעול: ניטור מערכות נכסים, תחזוקה מונעת, אופטימיזציית תפעול, ניהול רשתות, וחיזוי ביקוש והיצע. להלן דוגמאות לפרויקטים קיימים בעולם עבור כל אחד מהשימושים:

[45] Office of Science. Advanced Research Directions for AI for Energy. U.S. Department of Energy. April 2024.
[46] Energy and AI. International Energy Agency. April 2025.
[47] Office of Critical and Emerging Technologies. AI for Energy - Opportunities for a Modern Grid and Clean Energy Economy. U.S. Department of Energy. April 29 2024.

6. ניטור מערכות ונכסים

שימוש במערכות AI לאיסוף, עיבוד וניתוח של נתוני חיישנים בזמן אמת, לצורך זיהוי חריגות והארכת חיי הנכסים. חברת Cognite היא חברה נורווגית לפלטפורמות ניהול נתונים, הפועלת מול תעשיות תשתית מורכבות. בפרויקט שביצעה מול חברת האנרגיה הנורווגית Ringerikskraft, פותחה מערכת דיגיטלית לניטור מתקני ייצור, הכוללת חיישנים, איסוף נתונים בזמן אמת וממשק משתמש תפעולי.[48] הפתרון אפשר למהנדסים ולצוותי התחזוקה לזהות תקלות בצורה מהירה ומדויקת, לשפר את זמינות המידע ההנדסי, ולהאריך את חיי הנכסים במתקן.

7. תחזוקה מונעת

שימוש במודלים של בינה מלאכותית לניתוח דפוסי פעילות, נתוני חיישנים והיסטוריית תקלות, במטרה לחזות מראש כשלים טכניים, למנוע השבתות לא מתוכננות ולתזמן עבודות תחזוקה באופן אופטימלי.

C3.ai היא חברה אמריקאית המתמחה בפלטפורמות בינה מלאכותית המותאמות לתחומים עתירי נכסים. הפרויקט בוצע עבור אחת מחברות התשתית הגדולות בארה"ב.[49] מטרת הפרויקט הייתה יצירת מערכת לחיזוי כשלים בתשתיות חשמל – המבוססת על שילוב נתוני עבר, חיישנים ומודלים סטטיסטיים. המערכת הצליחה לצמצם כשלים תפעוליים באופן משמעותי (הפחתה של 48% בתקלות השנאים), לחסוך בעלויות אחזקה שוטפת ולהחליף את שיטת תחזוקת "העתית" בתחזוקה מבוססת כשירות בפועל.

8. אופטימיזציית תפעול

הטמעת כלי AI לצורך תזמון פעולות וניהול גמיש של מקורות אנרגיה מרובים במערכת. מקרה נוסף של שימוש במוצר של חברת C3.ai, עוסק בפיתוח מערכת עבור חברת תשתיות חשמל בארה"ב שמיועדת ללקוחות הקצה שלה. המערכת איפשרה ללקוחות מסחריים ותעשייתיים לנתח את דפוסי הצריכה שלהם, לחזות עומסים עתידיים, ולכוונן את השימוש בחשמל בהתאם לשעות השיא והמשתנים התפעוליים.[50] היישום הביא להפחתה של כ־23% בצריכת החשמל בקרב לקוחות משתתפים, תוך יצירת חיסכון תפעולי מצטבר בהיקף של מאות אלפי דולרים בשנה.

9. ניהול רשתות חשמל

הטמעת כלי AI לזיהוי צווארי בקבוק, תחזית עומסים וניהול אופטימלי של חלוקת האנרגיה ברשת, תוך שיפור היציבות והאמינות של המערכת. Statnett היא מפעילת מערכת ההולכה הלאומית (TSO) של נורווגיה. בשיתוף פעולה עם Cognite, יושמה מערכת נתונים לניהול עומסים ולבחינת בקשות חיבור של נכסים חדשים לרשת[51]. הפרויקט אפשר ל־Statnett להאיץ את זמן התגובה לפניות, לקצר את תהליך ההערכה ההנדסית, ולחבר נכסים חדשים ביעילות גבוהה יותר. המהלך הביא לחיסכון תפעולי מוערך של למעלה ממיליון דולר בשנה.

10. חיזוי ביקוש והיצע

---

[48] How Ringerikskraft digitalized a hydropower plant from the 1970s. Cognite.
[49] Predictive Maintenance for Electric Grid, C3.ai.
[50] Enterprise AI for Commercial Energy Management, C3.ai.
[51] Statnett Digitalization with Cognite Data Fusion®, Cognite.

שימוש בבינה מלאכותית לניתוח נתוני צריכה, מזג אוויר, תעריפים ואירועים חיצוניים, לצורך תחזית מדויקת של ביקוש והיצע בזמן אמת ובטווחים עתידיים, במטרה לאזן את המערכת ולייעל את השימוש במשאבים. AspenTech היא חברה אמריקאית לפתרונות תוכנה לתעשייה, הפועלת רבות בתחומי האנרגיה והגז. חברת TenneT, שמנהלת את רשת ההולכה החשמלית של הולנד וחלק מגרמניה, יישמה יחד עמה מערכת לחיזוי ביקוש ולהקצאת משאבים.[52] המערכת מבוססת על אלגוריתמים שמנתחים נתוני צריכה, תחזית מזג אוויר והיצע משתנה. היישום הוביל לדיוק גבוה יותר בתחזיות עבור היום הבא, תכנון טוב יותר של היקף ייצור החשמל, ויכולת גבוהה יותר לשלב מקורות אנרגיה מתחדשים במערכת.

הדוגמאות שהוצגו ממחישות כי פתרונות AI בתחום האנרגיה כבר מיושמים בפועל, מייצרים ערך תפעולי מדיד, ומהווים תשתית מרכזית בהעצמת היכולות של שחקני מפתח בענף.

5.3. אימוץ ה-AI בחברות אנרגיה ומים

5.3.1. תשתית נתונים למימוש AI

יישום מתקדם של בינה מלאכותית בתחומי האנרגיה והתשתיות נשען על תשתית מידע מורכבת, המשלבת שלושה סוגי מערכות עיקריים: מערכות ארגוניות (IT), מערכות תפעוליות (OT), ומקורות מידע חיצוניים (External). מורכבות עיבוד המידע עולה ככל שמתרחקים ממקורות מידע פנימיים אל עבר המקורות החיצוניים. בהיבט היישומי, לכל שכבה ישנה תרומה ייחודית למודל האנליטי, ושילוב שלהן מאפשר הפקת תובנות ברמת דיוק גבוהה.

1. **מערכות מידע ארגוניות (IT):**

המידע הארגוני כולל נתונים מובנים ממערכות ניהול המשאב האנושי, הלקוחות והתפעול העסקי:

- מערכות כמו ERP, CRM, ו־CC&B מרכזות מידע פיננסי וצרכני חיוני לניהול חיובים, חוזים ותלונות של לקוחות.
- מערכות HRIS מנגישות מידע תפעולי על כח אדם, כולל שיבוצים והיעדרויות.
- מערכות BI מספקות תשתית לדוחות וכלים לקבלת החלטות.

2. **מערכות תפעוליות (OT):**

מידע תפעולי מתקבל ממערכות פיזיות בזמן אמת ומאפשר ניטור ישיר של הרשת:

- SCADA ו־Sensors מהווים עמוד שדרה לשליטה ובקרה תשתיתית.
- מערכות כמו DMS (ניהול רשת) ו־OMS (ניהול תקלות) תומכות בניתוח מצב הרשת.
- GIS ומערכות ניהול מדי צריכה מאפשרות מיפוי והבנת דפוסי שימוש.

3. **מידע חיצוני (External Data):**

[52] Aspen Technology Helps Advance TenneT's Energy Transition, AspenTech. 21 February, 2024.

נתונים חיצוניים מהווים מקור חשוב להקשר סביבתי וחיזוי תרחישים:

- נתוני מז"א, צילומי לוויין, תחזיות מחירים ורגולציה מאפשרים התאמות מתקדמות.
- מערכות AI בוחנות נתונים אלו להפקת תובנות חיזוי על בסיס עומסים אזוריים או עונות השנה.

שילוב שלושת סוגי המידע הוא מורכב, אך מאפשר מימוש של מגוון פתרונות ברמת דיוק גבוהה.
יש להדגיש כי המידע התפעולי במערכות תשתית כגון אנרגיה ומים נחשב מידע קריטי, והטיפול בו נעשה תחת רמות אבטחה ואמינות מחמירות, כגון שימוש במחשבים ייעודיים, ע"ג רשתות ייעודיות ובכפוף לגיבויים ויתירות. כמו כן, בדרך כלל מדובר בכמויות גדולות מאד של נתונים המוזרמים בזמן אמת וזמני התגובה חייבים להיות קצרים. אילוצים אלו עשויים להקשות על יישום כלי AI מתקדמים משום שאלו בדרך כלל מודלים קניניים הרצים על חוות שרתים "בענן", ונדרשים במקרה של מערכות תשתית קריטיות לעמוד בדרישות גבוהות ביותר של אמצעי אבטחה ואמינותה.

5.3.2. רמת אימוץ – מתודולוגיה

לצורך הערכת מידת האימוץ של יישומי AI בקרב חברות האנרגיה, הוגדרה מתודולוגיה המבוססת על ארבע רמות אימוץ, הנבדלות זו מזו בעומק החיבור למידע ארגוני ותפעולי, ובהיקף היישום בפועל:

1. **רמה 1 – שימוש בכלים גנריים:** שימוש בכלי AI כלליים שאינם מותאמים לתחום התשתיתי ואינם מחוברים למידע פנים-ארגוני, כגון ChatGPT או Copilot. השימוש מתבצע לרוב ברמת הפרט, ללא אינטגרציה למערכות תפעוליות או ניהוליות.
2. **רמה 2 – יישום מבוסס מידע ארגוני (IT):** שימוש במודלים המבוססים על נתוני IT כגון CRM, ERP או מערכות שירות, לצורך שיפור תהליכים משרדיים, ניתוח מגמות או תיעדוף שירותים.
3. **רמה 3 – יישום מבוסס מידע תפעולי (OT):** שילוב מודלים על בסיס נתוני שטח – סנסורים, בקרה תפעולית, SCADA וכו'. מדובר על פרויקטים בהם AI מיושם ישירות על תהליכים הנוגעים לתשתיות.
4. **רמה 4 – שימוש בפלטפורמות אינטגרטיביות לקבלת החלטות חוצות מידע:** שימוש בכלים מתקדמים (כגון Palantir Foundry) המאפשרים שילוב בין IT, OT ונתונים חיצוניים, לבניית מערכות החלטה חכמות על בסיס נתוני אמת בזמן אמת.

מתודולוגיה זו מאפשרת לבחון באופן ראשוני את רמת האימוץ בפועל של AI בגופים ציבוריים, תוך הבחנה בין אימוץ טקטי ומקומי לבין אימוץ אסטרטגי ומערכתי.

5.3.3. השוואה ל-Best Practice בינלאומי

בהשוואה לחברות המובילות בעולם, ניתן לזהות הזדמנויות משמעותיות בין המגזר הציבורי בישראל לבין מגזרים דומים במדינות מתקדמות.

דוגמה לכך היא חברת ENGIE – תאגיד צרפתי מוביל בתחום האנרגיה שפועל בלמעלה מ־70 מדינות. ENGIE ביצעה הטמעה מקיפה של פלטפורמת C3.ai לצורך שיפור מערך התפעול ומתן שירותים מתקדמים ללקוחות

החברה.[53] הפלטפורמה עושה שימוש משולב בנתוני IT, OT ונתונים חיצוניים, ומאפשרת פתרונות מגוונים: החל מתחזוקה מונעת של תשתיות, דרך ניטור תקלות והפעלה חכמה של רשתות, ועד התאמה אישית של שירותים ללקוחות. הטמעה זו מניבה ערך כלכלי משמעותי אשר נאמד בכ־1.5 מיליארד אירו בשנה. זהו אומדן לגובה התועלת הכלכלית – חיסכון, שיפור יעילות, צמצום תקלות, הגדלת תפוקות או הזדמנויות עסקיות, שהטרנספורמציה הדיגיטלית מניבה לחברה בכל שנה. דוגמה זו ממחישה כיצד שימוש מבוסס נתונים ו־AI עשוי להפוך לכלי תשתיתי בליבת הפעילות של גוף אנרגיה מתקדם.

הצלחות באימוץ של AI נרשמו לא רק בתחומי החשמל, אלא גם בתשתיות מים, דלקים וגז טבעי. שלוש דוגמאות בולטות ממחישות את הערך שנוצר מאימוץ AI:

- **Pima County (אריזונה, ארה"ב):** ממשל המחוז אימץ את פלטפורמת Foundry של חברת Palantir לשיפור יעילות תחנות טיהור המים.[54] האימוץ הוביל להפחתה של 20% בצריכת החשמל במפעלים, סיום הקנסות התפעוליים שהוטלו בעבר, והפחתה בפליטות גזי חממה.
- **Kinder Morgan (ארה"ב):** אחת מחברות תשתיות האנרגיה הגדולות בצפון אמריקה, העוסקת בהולכת גז טבעי ונפט.[55] החברה אימצה את Foundry של Palantir לטובת חיזוי ביקושים ותיאום תיקונים במערך ההולכה. התוצאות כללו חיזוי ביקושים שבוע קדימה, הקדמת ניתוח נתוני השוק היומי ב-3 שעות ואופטימיזציית תחזוקה המתאמת טיפולים ל"ימים חלשים".
- **Snam (איטליה):** חברת גז טבעי מהמובילות באירופה. החברה יישמה פתרונות של חברת xTech, לרבות חיזוי ביקושים, איתור דליפות וחיזוי תקלות במתקני PRMS.[56] האימוץ הוביל לירידה של 3% בטעויות תחזית, 9% הפחתה בעלויות התפעוליות ו-5% חיסכון בעלויות התחזוקה.

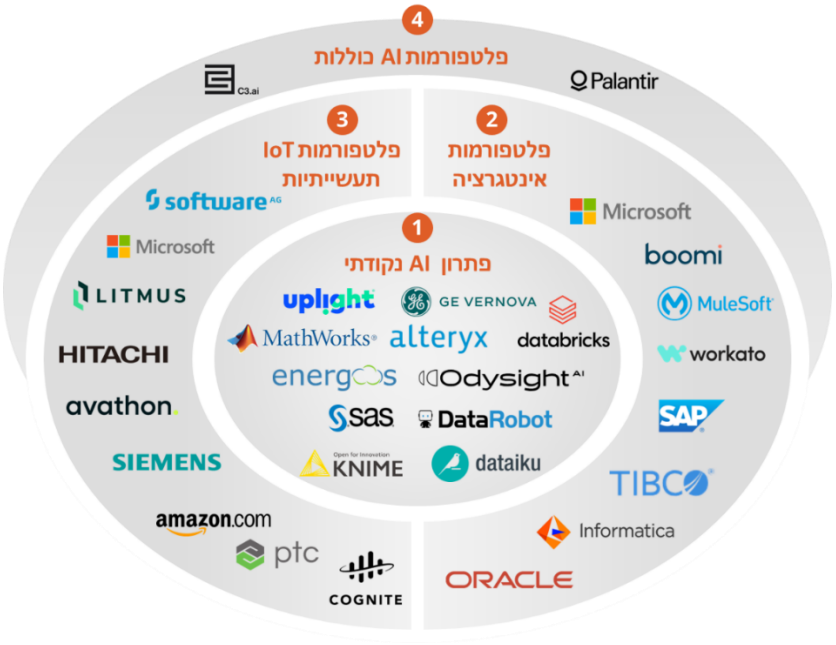
שלוש הדוגמאות ממחישות את הגיוון והישימות של אימוץ AI גם במערכות תפעוליות מורכבות, ואת הערך התפעולי והסביבתי שמהלך כזה יכול לייצר.

5.4. הכלים לסגירת הפער – מיפוי הפתרונות הקיימים

אימוץ אפקטיבי של פתרונות בינה מלאכותית במערכות תשתית מחייב שילוב בין סוגים שונים של מערכות תוכנה וטכנולוגיות. בהתאם לכך, מיפוי שחקנים בתחום מראה כי קיימים ארבעה סוגי שחקנים עיקריים, הנבדלים ביכולת ההטמעה, בהיקף התמיכה שהם מציעים ובמידת ההתאמה שלהם לתחומי האנרגיה והתשתיות (תרשים 30).

[53] ENGIE, C3.ai.
[54] Driving Power Savings at Agua Nueva with Predictive Modeling + Operations. Palantir.
[55] Safe Reliable, Efficient Energy Access to Millions. Plantir.
[56] Snam | AI for transmission and distribution efficiencies. Bip xTech. January 21, 2022

תרשים 30 : המחשה - מיפוי סוגי השחקנים [57]



5.4.1. פתרון AI נקודתי

פתרונות AI נקודתיים הם הפתרונות הפשוטים והמהירים ביותר לאימוץ, והם מיועדים למענה על בעיה תפעולית ממוקדת וברורה – כגון חיזוי תקלות, ניהול עומסים, או תחזוקה מונעת. אלו פתרונות מבוססי מודלים מוכנים או שירותים ייעודיים שמסופקים לרוב על ידי ספקים חיצוניים, במודל של מוצר מדף או שירות ייעודי. המיקוד של פתרון מסוג זה הוא ב"Pain Point" ברור, והערך שהוא מספק לרוב ניתן למדידה תוך זמן קצר.

בהיבט של סוגי המידע הנדרש, פתרונות נקודתיים מבוססים על מידע ארגוני (IT), כגון נתוני צריכה, קריאות שירות או פרופילי שימוש – מידע שמובנה היטב ונגיש יחסית. לפיכך, ניתן להטמיע פתרונות מסוג זה גם בארגונים בעלי תשתית דאטה בסיסית, ללא השקעה מקדימה בבניית ארכיטקטורת מידע מתקדמת. בשל כך, ההטמעה לרוב פשוטה, אינה דורשת צוות ייעודי או תהליך שינוי ארגוני רחב.

אולם, מדובר בפתרונות מוגבלי היקף: הם נותנים מענה לתרחיש אחד או שניים לכל היותר, ולעיתים קרובות אינם ניתנים להרחבה לשימושים נוספים. יתר על כן, הם אינם מהווים בסיס לבניית תשתית AI רחבה. בכך הם משיגים ערך מהיר, אך לא מהווים מענה אסטרטגי לטווח ארוך.

במונחי עלות, מדובר בהוצאה נמוכה יחסית – מאות אלפי דולרים לפרויקט – וזמן ההטמעה קצר יחסית, לעיתים תוך שבועות בודדים. עם זאת, בשל האופי הספציפי של הפתרון, נדרשת לעיתים תלות ארוכת טווח בספק, לצורך תחזוקה, עדכון והתאמה לתנאים משתנים.

דוגמה מובהקת לפתרון מסוג זה היא שיתוף פעולה בין חברת ההולכה האוסטרלית ElectraNet לבין פלטפורמת Knime.[58] החברה ביקשה לייעל את תהליכי התחזוקה שלה, ומימשה פתרון לחיזוי תקלות מבוסס

[57] עיבוד שלדור

[58] Leveraging KNIME and machine learning to enhance asset management of South Australia's power grid. Electra Net and Forest Grove. April 17, 2024

ניתוח נתוני קריאות שירות היסטוריות. ההטמעה בוצעה על בסיס מאגרי מידע קיימים, והביאה לשיפור בזמני תגובה ולתעדוף יעיל יותר של פעולות אחזקה – כל זאת מבלי שנדרש שינוי מבני או צוות דאטה יעודי. דוגמה זו ממחישה כיצד פתרון AI נקודתי יכול להניב ערך מהיר – אך גם מדגיש את מגבלות ההיקף וההרחבה.

5.4.2. פלטפורמות אינטגרציה

פלטפורמות אינטגרציה הן מערכות שנבנו בראש ובראשונה לניהול ולשילוב של מקורות מידע ארגוניים – כגון מערכות CRM, ERP, או Billing – והן מאפשרות לארגון לבנות תשתית אחודה על בסיס מידע קיים, ולהריץ עליה מודלים של AI. מדובר בפלטפורמות גמישות יחסית, שמותאמות להקשרים עסקיים מגוונים, אך אינן נועדו מראש לשימושים אנליטיים מתקדמים. בחלק מהמקרים, הפלטפורמות כוללות מודלים מוכנים מראש (COTS), אולם לא תמיד מדובר במודלים מתקדמים או ביכולות חיזוי עמוקות.

יתרונן המרכזי של פלטפורמות אלה הוא ביכולת להתחבר בקלות למערכות IT קיימות, תוך שימוש נרחב בתשתיות דאטה שכבר קיימות בארגון. בנוסף, היות שמדובר בפלטפורמות מודולריות, ניתן להרחיבן בהדרגה – הן בהיקף יישומי ה-AI (יוז-קייסים), והן בהיקף המשתמשים. מסיבה זו, פלטפורמות אינטגרציה מהוות לעיתים קרובות שלב ביניים באימוץ AI – בעיקר בארגונים שרק החלו את דרכם בתחום.

עם זאת, לפלטפורמות אלו מספר מגבלות: כדי להפיק ערך ממשי מהנתונים, יש צורך להוסיף מודולי AI ייעודיים (של שחקנים חיצוניים), או לפתח פתרונות מותאמים. מדובר בתהליך שמחייב משאבים נוספים – גם בפיתוח וגם בגיוס ידע טכנולוגי פנים-ארגוני. בנוסף, לא תמיד קיימת תמיכה טכנית מלאה במודלים מתקדמים, במיוחד במערכות שהוקמו קודם לעידן ה-AI.

מבחינה כלכלית, העלות של פלטפורמות אינטגרציה היא בינונית – בדרך כלל מאות אלפי דולרים, ופריסתן מתבצעת בתוך מספר חודשים. זמן קבלת הערך ארוך מעט מזה של פתרונות נקודתיים, אך עדיין סביר.

המחשה טובה לכך ניתן לראות בחברת Ontario Power Generation, ספקית החשמל הגדולה באונטריו, קנדה. החברה ביקשה לייעל את פעילות ההפצה והאספקה שלה, והשתמשה בפלטפורמת TIBCO לחיבור נתונים ממערכות IT קיימות. על בסיס תשתית זו, פותח מודל ניבוי לקביעת מיקום וזמן להקמת תחנות כוח חדשות, וזוהה חיסכון תפעולי ניכר. דוגמה זו ממחישה כיצד פלטפורמות אינטגרציה יכולות לתרום לאימוץ AI, גם אם לא תוכננו לכך מלכתחילה.[59]

5.4.3. פלטפורמות IoT תעשייתיות

פלטפורמות IoT תעשייתיות מיועדות לחיבור מערכות תפעול (OT), דוגמת מערכות SCADA, חיישנים חכמים ותשתיות בקרה, למערכי עיבוד מידע מתקדם ויכולות AI. בניגוד למערכות מידע מסורתיות (IT), שמציגות מידע במבנה סדור ומאוחד, מערכות OT מנוהלות לעיתים קרובות במערכות סגורות, מאובטחות, מבוזרות ועתירות ממשקים. הפלטפורמות התעשייתיות מבקשות לגשר על פער זה – ולהנגיש את המידע בזמן אמת, לצורך חיזוי, ניטור, זיהוי אנומליות ואופטימיזציה של תהליכים קריטיים.

[59] Powering the Road to Smart Cities. Tibco. May 11, 2021.

יתרונן המרכזי של פלטפורמות אלה הוא בחיבור העמוק לרצפת הייצור או למערכות ההולכה וההפצה. פלטפורמות אלו מסוגלות לזהות חריגות או כשלים בזמן אמת, ובכך למנוע תקלות תפעוליות, להבטיח זמינות שירות ולשפר את יעילות התחזוקה. כמו כן, פלטפורמות תעשייתיות אלה מהוות בסיס איתן להטמעת כלי AI נוספים לאורך זמן, ככל שמתרחב היקף יישומי ה-AI הארגוניים.

עם זאת, יישום הפלטפורמות הללו אינו טריוויאלי. חיבור תשתיות OT למערכות AI דורש לרוב מיפוי מורכב של מקורות מידע, התאמת פרוטוקולי תקשורת, והתגברות על חסמים ארגוניים וטכנולוגיים (למשל רגולציה, אבטחת מידע, תאימות מערכות). בנוסף, התהליך עשוי להימשך חודשים ואף שנים, ודורש מעורבות עמוקה של צוותים תפעוליים וגורמי מומחיות חיצוניים. העלות הכרוכה בהטמעה גבוהה יחסית – ונעה בין מאות אלפי למיליוני דולרים.

דוגמה לשימוש בפלטפורמה זו ניתן לראות בפעילות של חברת Hafslund Eco, מהחברות הגדולות בנורווגיה לייצור אנרגיה הידרואלקטרית. החברה ביקשה לשפר את ביצועי התחזוקה והניהול של מתקני הייצור, והטמיעה את הפלטפורמה של Cognite – שחקנית נורווגית מתמחה בחיבור מערכות OT. המהלך אפשר לחברה לחסוך עלויות, לצמצם כשלים ולשפר את ניצול המשאבים. הדוגמה ממחישה את הפוטנציאל הגלום בשילוב AI בתשתיות פיזיות, אך גם את המורכבות שנלווית לכך. העלות של הטמעת הפרויקט הייתה כחצי מיליון אירו וההטמעה ארכה כחצי שנה.[60]

5.4.4. פלטפורמות AI כוללות

פלטפורמות AI כוללות מציעות פתרון כוללני לארגונים גדולים ומבוזרים, השואפים להטמיע יכולות בינה מלאכותית בכל שכבות הפעולה, ממערכות תפעוליות (OT) ומערכות מידע ארגוניות (IT), ועד מקורות מידע חיצוניים. פלטפורמות אלה אינן מתמקדות ביוזמה אחת או יישום מסוים, אלא נועדו להוות בסיס אסטרטגי להטמעה הדרגתית ומרובת קונטקסטים של יוז קייסים חוצי-ארגון.

אחד היתרונות הבולטים של פלטפורמות אלו הוא ביכולתן לחבר נתונים ממקורות מגוונים — תחזוקה, שירות, אנליטיקה, כספים, תפעול — לכדי תובנות אינטגרטיביות. בכך הן מאפשרות גיבוש אסטרטגיות ניבוי, ניתוח, ותגובה אחודה לאורך כל שרשרת הערך. בנוסף, הפלטפורמות מאופיינות באפשרות לצמוח בהדרגה: ניתן להתחיל ביוזמות מקומיות, ולהרחיב את השימוש לפי צרכים משתנים לאורך זמן.

יחד עם זאת, מדובר בפתרונות יקרים — העלויות עשויות להגיע למיליוני דולרים לפרויקט. תהליך ההטמעה לרוב ארוך ומורכב, ודורש מחויבות ניהולית חזקה לצד בשלות טכנולוגית גבוהה. פלטפורמות אלה מתאימות בעיקר לארגונים בעלי בשלות דיגיטלית רחבה, תשתיות מידע מגוונות, וצוותי דאטה ואופרציה מבוססים.

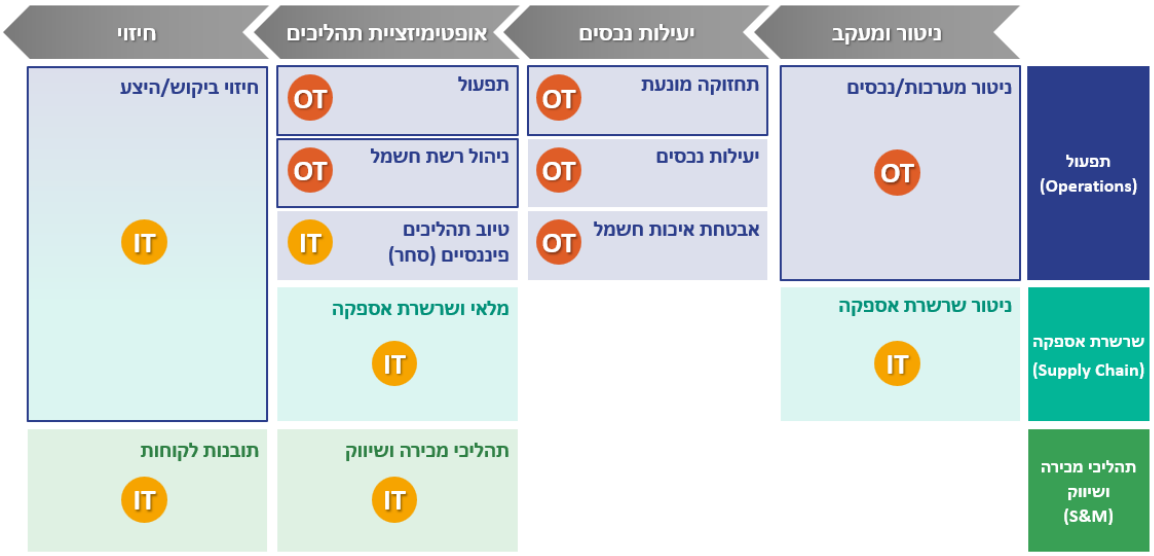
דוגמה בולטת לכך היא חברת PG&E, אחת מחברות האנרגיה הגדולות בארצות הברית, שפועלת בתחומי חשמל וגז טבעי. החברה בחרה בפלטפורמת Foundry של Palantir כדי לייצר תשתית אחודה לניהול תחזוקה חזויה, ניתוח נתוני תשתיות, וחיזוי עומסים. ההטמעה איפשרה לחברה לאחד מקורות מידע ממערכות OT ו-IT, ולשפר את היכולת לקבל החלטות מבוססות בזמן אמת לאורך כל מחזור חיי השירות.

[60] How Hafslund Eco avoids revenue loss by optimizing turbine start-up sequences. Cognite.

5.4.5. התאמת פתרון לצורך

תרשים 31 ממפה את מערכות המידע הנדרשות עבור חמישה יישומי AI מרכזיים במשק האנרגיה והתשתיות. מן התרשים עולה כי ארבעה מתוך חמשת היישומים – ניטור תשתיות, תחזוקה מונעת, ניהול רשת ואבטחת אספקת חשמל – דורשים הסתמכות על מערכות מידע תפעוליות (OT), המבוססות על חיישנים, מערכות בקרה ונתוני שטח בזמן אמת. רק יוז-קייס אחד, חיזוי ביקוש/היצע, ניתן לביצוע על בסיס מערכות מידע ארגוניות (IT) בלבד. מסקנה זו ממחישה את חשיבותן של מערכות OT ביישום פתרונות AI תפעוליים, ואת הצורך בהתאמת תשתיות המידע לאופי השימוש הרצוי. משמעות הדבר היא שיוז-קייסים בעלי מורכבות תפעולית גבוהה – יצריכו פתרונות מתקדמים יותר, לרוב מבוססי פלטפורמות מורכבות ויקרות.

תרשים 31: מערכות מידע נדרשות בכל שימוש[61]



5.5. מיפוי החסמים והכלים הרגולטוריים

מניתוח התחום במספר מדינות, וכן משיחות עם החברות הממשלתיות בתחום האנרגיה והמים, עולים מספר חסמים באשר להטמעת AI. לצד הפוטנציאל המשמעותי הגלום באימוץ טכנולוגיות AI בתחומי האנרגיה והתשתיות, נדרשת בחינה מערכתית של החסמים המרכזיים המעכבים את מימושו בפועל. מאחר שטרם גובשה אסטרטגיה לאומית, לא נגזרו סטנדרטים או עקרונות ליישום כלי AI ובינה מלאכותית במשק בכלל, ובסקטור האנרגיה בפרט. מהלך האימוץ נתקל בשני אתגרים רוחביים אשר חוזרים על עצמם במדינות שונות וברמות יישום שונות:

1. תשתית המידע הארגונית וממשקי הסייבר – כולל סוגיות של פרטיות, גישה, איכות מידע ומידור בין מערכות;

[61] עיבוד שלדור

2. פערי כשירות טכנולוגיים וכלכליים – לרבות חסמים בארכיטקטורת המערכות הקיימות, עלויות השקעה והתאמה למאפיינים תפעוליים.

שני חסמים אלה – משילות וניהול מידע (Data Governance), וחסמים טכנולוגיים וכלכליים – מהווים את המסד לדיון הרגולטורי. בפרקים הבאים נבחן כל אחד מהם בנפרד, נסקור דוגמאות עולמיות, ונציע מסגרות לפעולה. חסמים אלה רלוונטים לתחומים שונים, ולא רק למשק האנרגיה, אך באים לידי ביטוי באופן בולט בכל הקשור לאימוץ ושימוש בבינה מלאכותית בניהול משק האנרגיה והתייעלות שלו.

5.5.1. משילות, ניהול מידע וסייבר

אחד החסמים המרכזיים לאימוץ אפקטיבי של טכנולוגיות AI במגזר האנרגיה הוא רמת המוכנות של הארגון בתחום המידע – הן בהיבט התשתיתי, והן בהיבטי רגולציה, פרטיות ובקרה. יישום של אלגוריתמים מתקדמים מחייב גישה פתוחה ואיכותית למקורות מידע מגוונים, אך פעמים רבות מערכות המידע אינן ערוכות לכך – בין אם בשל חסמים טכניים, ובין אם מתוך שיקולים של פרטיות, ביטחון מידע או חוסר אחידות בין מערכות.

במקרים רבים, שירותי AI תלויים בנתונים ממקורות שונים – כגון צריכה בזמן אמת, מערכות ניטור, נתוני לקוחות, או מידע חיצוני. כאשר קיים קושי לשתף, לשלב או לאמת את המידע, נפגעת היכולת לממש את הפוטנציאל המלא של ה-AI. במקביל, עולות גם שאלות של אחריות משפטית – למשל, מי אחראי להחלטה שמתקבלת באופן אוטונומי על ידי מערכת AI, או כיצד יש להבטיח את אמינות הנתונים שעליהם מתבססת המערכת.

בזירה הבינלאומית נצפו מספר מקרים קיצוניים שהדגישו את החשיבות של ניהול סייבר נכון. כך למשל, בשנת 2010 נרשמה מתקפת סייבר שנטרלה מערכות ניטור של Siemens באיראן, מה שגרם להשבתת פעילות קריטית. בשנת 2015 פרצו האקרים למערכות החשמל באוקראינה והשביתו את רשת החשמל המקומית למשך מספר שעות. בשנת 2021 שותקה חברת Colonial Pipeline בארה"ב עקב מתקפת כופר, שהובילה למחסור נרחב בדלק לאורך החוף המזרחי של המדינה. מקרים אלה ממחישים את התלות הגוברת במערכות מידע ואת הצורך בבניית תשתית הגנת סייבר מותאמת ל-AI.

1. סייבר – תקנים כלליים ותקנים לאומיים מחייבים

בהמשך ישיר לדיון על חסמי משילות, ניהול מידע וסייבר, עולה כי זירה רגולטורית ברורה – המבוססת על תקנים וכללים מחייבים – יכולה לשמש תשתית קריטית לקידום אימוץ אחראי של מערכות AI. מדינות רבות פועלות כיום לבניית מסגרת סייבר סדורה, הכוללת תקנים כלליים לצד תקינה לאומית. תקנים כלליים כגון ISO 27001 (תקן לניהול אבטחת מידע) ו-ISO 27017 (המתמקד בהנחיות לספקי שירותי ענן) מהווים עקרונות מוסכמים לניהול סיכונים בתחום אבטחת מידע. אף שאינם מחייבים רגולטורית, הם נתפסים כ-Best Practice עולמיים ומיושמים באופן וולונטרי.

לצדם, מדינות שונות אימצו תקנים לאומיים מחייבים, המהווים דרישות סף רגולטוריות ומחייבות לתשתיות קריטיות ולספקי שירותים. כך למשל, התקן הגרמני BSI / IT-Grundschutz מחייב עמידה במסגרות יישום מפורטות, המאושרות על ידי מומחי אבטחת מידע ממשלתיים; בארה"ב, FedRAMP

הוא מודל רישוי לספקים חיצוניים, שכולל בחינה פרטנית והערכות אבטחה תקופתיות; התקן הצרפתי ANSSI מחייב מערכות ציבוריות וקריטיות לעמוד ברשימת דרישות ספציפית; ובבריטניה, תקן Cyber Essentials מחייב תשתיות קריטיות להוכיח קיומם של אמצעי הגנה בסיסיים מפני מתקפות סייבר.

המבנה המשותף למרבית המודלים הוא החובה ליישם לא רק מסגרת סטנדרטית אלא גם בקרה מתמשכת – כולל דיווחים שוטפים, בדיקות תקופתיות ועדכונים יזומים – כאמצעי לוודא את עמידות המערכות לאורך זמן.

המחשה:

מודל FedRAMP האמריקאי ממחיש כיצד ניתן להקים תהליך סדור ומבוקר לאישור ספקי ענן – לרבות שירותי AI – תוך שמירה על אבטחת מידע, בקרת איכות וחלוקת אחריות ברורה. המודל בנוי מארבעה שלבים: הכנה, הערכת אבטחה, קבלת אישור, וניטור שוטף.

בשלב ההכנה, הספק נדרש ליישם בקרות אבטחה לפי תקן NIST 800-53, ולתעד את יישומן במסמכים מוגדרים כגון SSP. לאחר מכן, גוף צד ג' מבצע הערכת אבטחה טכנית הכוללת בדיקות, סיכונים ודוח מפורט. שלב זה כולל 96 חברות המוסמכות לכך. לאחר ההערכה, ועדה פדרלית בוחנת את הממצאים ומחליטה אם לאשר את הספק, כאשר רמת האישור מותאמת לסיווג המידע (Low, Moderate, High). לבסוף, הספק נכנס לניטור שוטף הכולל 395 חברות, ודורש ניהול חולשות, דיווחים תקופתיים, ועדכונים יזומים.

היתרון של FedRAMP הוא בכך שהוא מסיר את נטל האחריות מהחברות הממשלתיות – כלומר, כל ספק שאושר לפי FedRAMP נחשב בטוח לשימוש, ללא צורך בבדיקת עומק נוספת. בכך הוא מאפשר לארגוני ממשל לאמץ פתרונות חדשניים, מבלי להסתכן בפגיעה באבטחת המידע.

2. שקיפות ופרטיות – רגולציה מחייבת מול וולונטרית

כדי להתמודד עם חסם ניהול המידע, מדינות רבות בחרו לגבש כלים משלימים לרגולציה המחייבת – במטרה להעניק מסגרת אחידה ואחראית להתמודדות עם סוגיות פרטיות, שקיפות ואתיקה. כלים אלה נעים בין הנחיות מחייבות, ובין תקנים וולונטריים המציעים ארגז כלים ליישום אחראי של AI, תוך שמירה על ערכים דמוקרטיים וביטחון מידע.

מהצד האחד, רגולציה מחייבת נועדה להגדיר בבירור מה מותר ואסור. לדוגמה, תקנות GDPR באירופה מציבות סטנדרט מחמיר לניהול פרטיות, ומחייבות ארגונים ליידע את המשתמשים, לספק מנגנוני הסכמה ולהבטיח שקיפות. חוקים נוספים כמו CCPA בקליפורניה מחילים דרישות דומות. החידוש המשמעותי ביותר הוא ב-AI Act האירופי, אשר מגדיר קטגוריות סיכון למערכות AI, ודורש רגולציה מותאמת לכל רמת סיכון – עד כדי איסור שימוש מלא. רגולציות נוספות, כמו EO 14110 בארה"ב, קובעות חובות שקיפות לכל ספק ממשלתי של AI.

מן העבר השני, גופים מקצועיים הציעו כלים וולונטריים שנועדו לסייע לארגונים לעמוד ברגולציה. כך לדוגמה, תקן ISO 27701/27018 מספק הנחיות לניהול מידע אישי, כולל תרשימי תהליכים וכלי בקרה.

תקן ISO 42001 החדש מייצר לראשונה מסגרת מוסדרת לניהול מערכות AI, בדומה ל-ISO 9001 באיכות. בנוסף, הקוד האירופי EU Code of Conduct מספק קווים מנחים לספקי AI בתחום הענן, ו-NIST פרסמו בארה"ב מסגרת מקיפה לניהול סיכוני AI, המסייעת להטמיע עקרונות אתיים בארגונים.

אימוץ של תקנים אלו – בין אם כחובה רגולטורית ובין אם כאסטרטגיה ארגונית – מאפשר לארגונים להאיץ את השימוש בטכנולוגיות AI מבלי להיתקל בחסמים משפטיים, תדמיתיים או תפעוליים. מיפוי הכלים מוצג בתרשים 32.

תרשים 32: מיפוי רגולציות מחייבות וכלים וולונטריים בתחומי AI ופרטיות[62]



3. בטיחות ואמינות – גיבוש תקינה גלובלית לבטיחות AI

כחלק מהמאמץ הבינלאומי לגיבוש רגולציה אפקטיבית ואחידה בתחום ה-AI, נרשם בשנים האחרונות מעבר מהתמקדות בעקרונות אתיים והמלצות כלליות – לפיתוח כלים טכניים שניתנים ליישום בפועל. דוגמה מרכזית למגמה זו היא הקמת המכון לבטיחות AI (AISI) AI Safety Institute – גוף אמריקאי שהוקם על ידי מכון התקנים הלאומי (NIST), אשר שואף לגבש שיטות מדידה, בדיקה ואימות של מודלים.

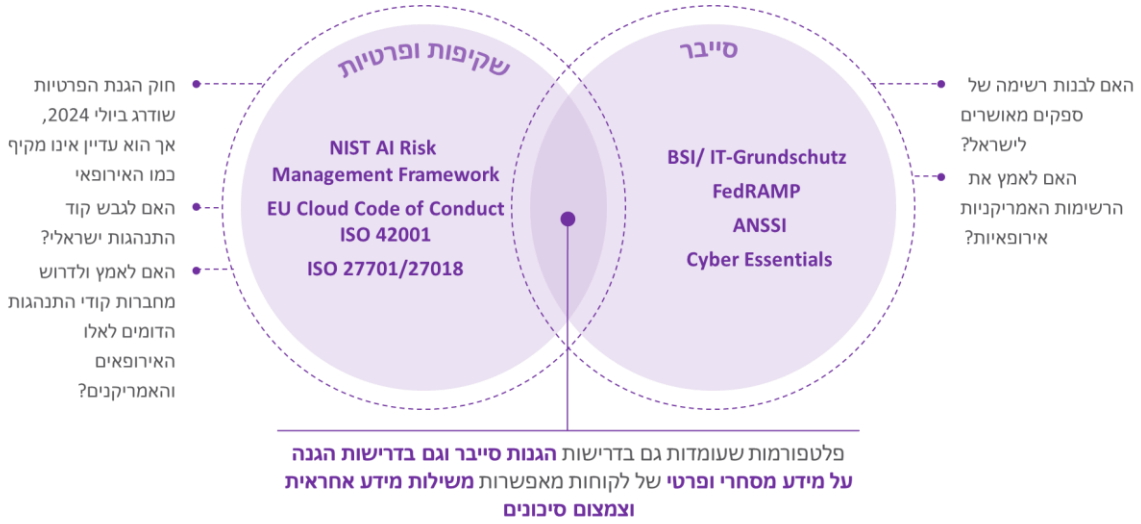
החזון של ה-AISI הוא לייצר פרוטוקולים לבדיקת שקיפות, נייטרליות ואמינות של מערכות AI, וזאת באמצעות כלי סימולציה וניתוח שמפותחים בשיתוף חוקרים, מפתחים וממשלות. בהמשך, גופי AISI מקבילים הוקמו גם בבריטניה, קנדה, יפן, דרום קוריאה וסינגפור – במטרה ליצור שפה טכנית משותפת למדינות המובילות, שתוכל להשתלב עם מסגרות רגולטוריות קיימות (כגון ה-EU AI Act או EO 14110 האמריקאי).

המהלך עשוי לתרום גם לישראל, שנדרשת להבטיח עמידה בדרישות שוקי היצוא המרכזיים, ובמקביל לבחון את מידת ההלימה של הכלים הבינלאומיים לסטנדרטים מקומיים של פרטיות וסייבר.

[62] עיבוד שלדור

על מנת לתת מענה בישראל לחסמי משילות וניהול המידע שהוצגו לעיל, תרשים 33 מציג את כלי המדיניות והשאלות הנלוות לגיבושה – בפני ישראל עומדת האפשרות לאמץ תקנים הקיימים בחו"ל במענה להתמודדות עם סוגיות אלו, ומנגד, היא יכולה לגבש מדיניות ולייצר תקנים בעצמה. אימוץ של תקנים מחו"ל עשוי להקל על עבודה עם השוק הפרטי הבין-לאומי המורגל בהן, וכן לאפשר לחברות ישראליות לבחור ממאגר חברות קיים או להתאים את עצמן לרגולציה בין-לאומית מקובלת קיימת, וכך לחסוך הליכים בירוקרטיים שונים. מנגד, עשויים להיות חסרונות בהעתקה של מדיניות שאינה בהכרח מותאמת לשוק המקומי ולשחקנים הפעילים בו, ולכלי מדיניות נוספים המשלימים את התמונה.

תרשים 33 : מסגרת חשיבה לישראל - כיצד להתמודד עם חסם משילות וניהול מידע[63]



5.5.2. חסמים טכנולוגיים וכלכליים

אחד החסמים הבולטים הנוספים לאימוץ טכנולוגיות AI במגזר האנרגיה נוגע למורכבות הטכנולוגית והכלכלית של ההטמעה. יישומים מבוססי AI דורשים תשתית דיגיטלית מתקדמת, שילוב נתונים ממערכות שונות, ולעיתים גם שינוי מהותי בתהליכים העסקיים. במקרים רבים, מערכות קיימות אינן מאפשרות איסוף או אינטגרציה של המידע ברמה הנדרשת, מה שמקשה על מימוש הפוטנציאל האנליטי של ה-AI.

כך למשל, חברת PG&E נתקלה בקושי משמעותי ליישם מערכות AI מתקדמות, בשל איכות נמוכה של נתוני תפעול במערכות הוותיקות. מנגד, חברת E.ON התמודדה עם אתגרים דומים באינטגרציה של מערכות גז מבוזרות, ודווקא במקרים אלה, המורכבות הרבה חייבה השקעה ייעודית בהתאמת תשתיות וביצירת ממשקים דיגיטליים חדשים. דוגמאות אלו ממחישות כי גם כאשר קיימת בשלות ניהולית ורצון לאמץ AI, היעדר מוכנות טכנולוגית או משאבים מספקים עלול לעכב משמעותית את ההטמעה בפועל.

חסמים טכנולוגיים וכלכליים באימוץ AI ניתנים לעיתים להתמודדות באמצעות כלים ייעודיים – טכנולוגיים ורגולטוריים כאחד. בצד הכלים הטכנולוגיים, חברות מובילות בתחום פלטפורמות ה-AI וה-IoT התעשייתי מציעות פתרונות שמסייעים לארגונים להתגבר על חסמי איכות מידע, אינטגרציה וניקוי נתונים. לדוגמה, פלטפורמת Foundry של Palantir כוללת כלים מובנים לניהול איכות מידע עוד לפני שלב הניתוח, ומאפשרת

[63] עיבוד שלדור

יישום אוטומטי של תהליכי בקרת איכות. גם הפלטפורמה של C3.ai מציעה כלים דומים המותאמים לארגונים עתירי נתונים, תוך שילוב יכולות תיקנון וניקוי אוטומטיות כחלק אינטגרלי מהמערכת.

מן הצד הרגולטורי, מדינות רבות בחרו להציע סט כלים שמעודד תהליכי דיגיטציה וטרנספורמציה דיגיטלית, שנועדו להכין את הקרקע גם לשילוב עתידי של יכולות AI. כך לדוגמה, תמריצים כלכליים ממשלתיים – מענקים, סובסידיות או מימון למחקר – יכולים לסייע לחברות לצמצם את הסיכון שבהשקעות ראשוניות. בנוסף, מסגרות רגולטריות גמישות מגדירות סטנדרטים לשקיפות ושימוש בטכנולוגיות מתקדמות, תוך קביעת יעדים מדידים (KPI) ושיפור מערכות הדיווח. שני סוגי הכלים הללו – הטכנולוגיים והרגולטוריים – פועלים לעיתים קרובות במקביל, ומאפשרים לארגונים לצמצם את העלויות ואת המורכבויות הכרוכות באימוץ AI, ובפרט בתחומים עתירי תשתית ומידע.

תרשים 34: תכניות מענקים ותמריצים בעולם[64]

הגוף המוביל	שם התוכנית	מיקוד התמיכה	היקף מימון
משרד האנרגיה האמריקני	Grid Resilience and Innovation Partnerships	קידום רשתות חכמות עם חיישני IoT וניתוח ב-AI	$3B
ממשלת בריטניה	AI for Decarbonization	8 פרוייקטי AI הגדלת יעילות אנרגטית והפחתת פליטות	£2M מתוך קרן של £1B
רגולטור המים הבריטי	Ofwat Innovation Fund	תחרות מימון בתחום מים וביוב- 94 מיזמים לשיפור ניהול המערכת	£400M
משרד הכלכלה והאנרגיה הגרמני	SINTEG (פרוייקט ייעודי לדיגיטציה באנרגיה)	"Sandbox"רגולטורי" לפיתוח רשתות חכמות עם AI לניהול המערכת ותפעולה	€230M
ממשלת קנדה	Smart Grid Program	מימון לשדרוג הרשת בעזרת טכנולוגיות חכמות ו- AI	C$100
ממשלת איטליה	PNRR (תוכנית שיקום כלכלי לאומי)	שימוש ב-AI לפרוייקטי חדשנות בדגש על שת"פ בפיתוח עם האקדמיה	€118M ל-AI מתוך €1.6B לאנרגיה בכלל
הנציבות האירופאית דרך CORDIS	CI-NERGY	פיתוח פלטפורמה לניתוח נתוני אנרגיה כחלק מניהול רשת החשמל האירופאית	€5M

במבט השוואתי בין מדינות, ניתן לזהות שלושה דגמים עיקריים של רגולציה: רגולציה דורשת (בפי שמודגם בסין), רגולציה תומכת (במדינות מערב אירופה), ואדישות רגולטורית (במדינות מזרח אירופה או שווקים קטנים). מדינות שמיישמות רגולציה דורשת קובעות דרישות מפורשות לתשתיות, לתחומי שימוש וליכולות שילוב AI ולעיתים אף מגדירות חובות לגופים ציבוריים. מנגד, במדינות שבהן קיימת רגולציה תומכת – קיימים יעדים מדידים (KPI) לקידום דיגיטציה, אך אין חובות טכנולוגיים ספציפיים. דגם שלישי הוא מודל האדישות, שבו הרגולטור מתמקד באתגרים אחרים, ואינו עוסק כלל בקידום AI. עבור ישראל, הבחירה במודל הרגולטורי תשפיע על רמת האימוץ הצפויה – והדילמה המרכזית היא האם לשמר את הגישה הוולונטרית, או לייצר חובות ברורות עבור חברות תשתית.

[64] עיבוד שלדור

תרשים 35: השוואה בין מודלים רגולטוריים שונים בעולם[65]



גישה של רגולציה תומכת, שאינה כופה שימוש בטכנולוגיות AI באופן ישיר, אלא מגדירה מדדי ביצוע (KPI) שאפתניים – יכולה לייצר תמריץ חזק לאימוץ AI בתשתיות. כאשר חברות מחויבות לעמוד ביעדים מוגדרים מראש בתחומים כגון אמינות המערכת (כמו SAIDI ו־SAIFI), יעילות טכנית (כמו הפחתת Technical Losses ו־Non-Technical Losses), או גמישות תפעולית (למשל ביכולת חיזוי ביקושים או בהיענות לביקושי שיא) – יש להן מניע לחפש כלים חדשניים שיסייעו להן בכך. טכנולוגיות AI, בזכות היכולת לניטור חכם, אוטומציה של תהליכים, ולמידה מתמשכת על בסיס נתונים, מאפשרות שיפור משמעותי של מדדים אלו – ובכך הופכות לכלי אטרקטיבי לחברות המעוניינות לעמוד ביעדי הרגולטור.

דוגמה לתמרוץ כזה היא תעריפי החשמל המפוקחים (regulated tariffs). תעריפים אלו מעוצבים כך שיכירו מראש בהוצאות על חדשנות ודיגיטציה, ובכך מסירים חסמים תקציביים מהותיים בפני אימוץ מערכות AI ותשתיות דיגיטליות נוספות. אחד המודלים הבולטים הוא המודל הבריטי – RIIO (Revenue = Incentives + Innovation + Outputs), המופעל על ידי רגולטור האנרגיה בבריטניה (Ofgem) (תרשים 36). מודל זה מבוסס על שילוב בין הכרה בתקציבי השקעה, תמרוץ לפי ביצועים, ויכולת בקרה והתאמה שוטפת לאורך זמן. שילוב בינה מלאכותית במשק יוכל לשפר את הביצועים, להפחית הוצאות, ובכך להפחית את התעריף. קביעת התעריף מתבצעת על פי השלבים הבאים:

- **התבססות על תקופת העבר** – התעריף הנוכחי נבנה על בסיס ביצועים והוצאות בתקופת הרגולציה הקודמת (RIIO-1), כולל התאמות בגין חריגות או חסכונות. מטרת סעיף זה היא לשמור על עקביות ביחס לתקופה הקודמת.
- **קביעת הכנסה בסיסית –**
  - מסגרת תקציבית (Totex Allowance) - הגדרה מראש של היקף ההוצאות המותרות (השקעות + תפעול) לאורך תקופת הרגולציה, בהתאם לתוכנית עסקית ולבחינת יעילות.

[65] עיבוד שלדור

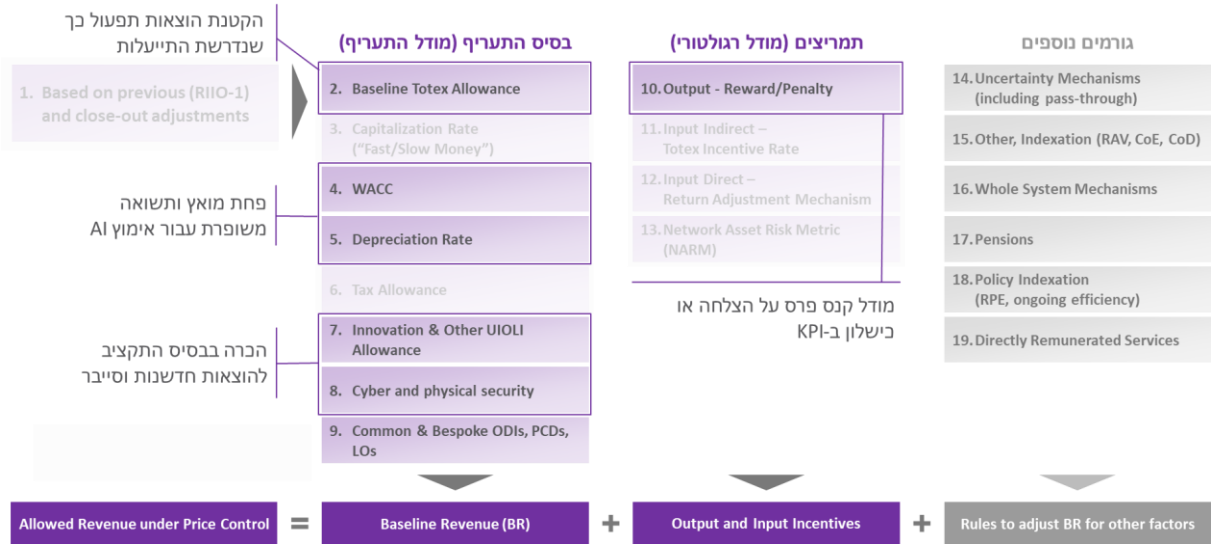
- שיעור היוון (Capitalization Rate) - קובע איזה חלק מההוצאה יובר בהשקעה לטווח ארוך ואיזה חלק כהוצאה שוטפת – בהתאם לאופי ההוצאה.
- שיעור תשואה על ההון (WACC) - רמת הרווחיות המותרת על השקעות ההון, בהתאם לתנאי שוק, סיכון הפעילות ומדיניות רגולטורית.
- שיעור פחת (Depreciation Rate) - קצב ההכרה החשבונאית בהשקעה, המשפיע על חלוקת ההחזר לאורך חיי הנכס.
- הכרה במס (Tax Allowance) - חישוב המס הצפוי והכללתו במסגרת התעריף, כך שלא יפגע ברווחיות המוכרת.
- הוצאות חדשנות וסייבר - הכרה בתקציבים נפרדים להשקעות בתחומי חדשנות ואבטחת מידע.

▪ **תמריצים לפי ביצועים** – בנוסף להכנסה הבסיסית, המודל כולל מנגנוני "פרס וקנס" על סמך מדדי תפוקות ויעילות, ובהם:

- תגמול על ביצועים (Output Incentives) - תמרוץ בגין עמידה ביעדים תפעוליים בגון אמינות, שירות וזמני חיבור (קנס בגין חריגות).
- שיפור ביעילות (Input Incentives) - מנגנונים הבוחנים שיפור ביעילות תפעולית, בהשוואה ליעדים או לחברות אחרות.
- מדד סיכון נכסים (NARM) - כלי להערכת וניהול רמת הסיכון של נכסי הרשת, כחלק מהתמרוץ הכולל.

▪ **התאמות נוספות לאורך התקופה** – עדכונים שוטפים לתעריף בהתאם לשינויים חיצוניים או מבניים, כגון: מנגנוני אי ודאות, ועדכון מדדים פיננסים משקיים.

תרשים 36: מודל תעריף ההולכה בבריטניה[66]



[66] עיבוד לנתוני UK Ofgem

5.5.3. תנועה לכיוון רגולציה מחייבת

נקודת המוצא באירופה הייתה רגולציה תומכת ומעודדת – כזו שאינה מחייבת שימוש ישיר ב-AI, אך מקדמת באופן עקיף דיגיטציה וחדשנות תפעולית. כך למשל, גופי הגג הרגולטוריים CEER ו-ACER גיבשו סט מדדים (KPI) שמטרתו לעודד שיפור מתמשך ביעילות ובביצועים של רשתות ההולכה. אף שהמדדים הללו אינם כוללים חובת שימוש ב-AI, הם יוצרים סביבה רגולטורית שמעודדת את אימוצו – בין אם דרך קיצור זמני חיבור, שיפור תהליכי תחזוקה, או ניתוח תרחישים עתידיים.

עם זאת, בשנים האחרונות ניכרת תזוזה ברורה לעבר רגולציה מחייבת. משרד האנרגיה של האיחוד האירופי הגדיר את הדור החדש של ה-AI (Gen AI) לא ככלי מסייע בלבד, אלא כמרכיב אסטרטגי בעל חשיבות מכרעת לתפקוד הרשת האירופית. הוא קרא למפעילים להשקיע בטכנולוגיות AI, הציג את היתרונות של שימוש בהן בתרחישי חיזוי וניהול גמיש, וקידם הטמעת כלים רגולטוריים מחייבים בתחום זה. בכך ניכרת מגמה ברורה – ממדיניות של עידוד לפעולה וולונטרית, לעבר רגולציה אקטיבית שמכוונת להשגת יעדים מדודים.

כך, בתרשים 37 ניתן לראות דוגמה לתחום שבו התרחש מעבר מרגולציה תומכת לרגולציה מחייבת – תכנון תוכנית פיתוח לטווח ארוך, למשל תוכניות פיתוח רשת הולכת הגז הטבעי. בתחילת שנות האלפיים, תוכניות אלו הוצגו על ידי האיחוד האירופי כ-Best Practice, ובתוך כעשור תוכניות אלו הפכו על ידו לחובה רגולטורית. ייתכן שבעתיד נראה מהלך דומה באופן נרחב גם ברגולציית השימוש ב-AI. המניע להידוק הרגולציה הוא אתגרי משק האנרגיה בעקבות מלחמת רוסיה- אוקראינה, שדחפו לקידום של יוזמות לחיסכון וייעול אנרגטי.

תרשים 37 : המחשת המעבר מרגולציה תומכת לרגולציה מחייבת[67]



5.6. שילוב AI בפעילות משרד האנרגיה והתשתיות

כחלק מיישום רחב של טכנולוגיות AI במשק האנרגיה, משרד האנרגיה והתשתיות מקדם חדשנות טכנולוגית, בעזרת יישומים מבוססי טכנולוגיות AI כחלק מפעילות המשרד עצמו ועל מנת לשפר את השירות לאזרח, לייעל ולטייב תהליכי עבודה בתוך המשרד ובממשקים השונים שלו, ולנהל באופן מיטבי את ההון האנושי תוך חיסכון בזמן ובמשאבים.

לשילוב טכנולוגיות AI בפעילות המשרד הוגדרו מספר יעדים עיקריים:

- הפחתת נטל רגולציה בכל ממשקי העבודה של המשרד עם גופים מפוקחים במשק האנרגיה וממשקים נוספים, תוך קידום טרנספורמציה דיגיטלית ותהליכים אוטומטיים מובנים.
- פיתוח יכולות סימולציה וחיזוי מגמות במשק האנרגיה בראייה כוללת חוצת מגזרי ביקוש, ייצור, הולכה וצריכה.

[67] עיבוד שלדור

- פיתוח כלים תומכי החלטה מבוססים DATA שיש ברשות המשרד, ממגוון ממקורות הנתונים והמידע.
- הנגשת כלי עזר מבוססי AI לשיפור תהליך קבלת החלטות, הסקת מסקנות וניתוח, כתיבת ניירות עמדה, והנגשת המידע לציבור (כמו בוטית חיפוש המידע "קרן", המסבירה מידע על תוכנית "100,000 גגות" להתקנת פאנלים סולאריים בבניינים פרטיים ומשותפים).
- ייעול ושיפור תהליכי עבודה פנים משרדיים – פנייה לעובדי המשרד לקבלת רעיונות לשילוב בינה מלאכותית בתחומי עיסוקם, לצורך בחינת צרכים ותעדוף, והטמעה בתוכניות העבודה.
- הגברת האוריינות של עובדי המשרד לנושא הבינה המלאכותית, היכרות עם כלים שונים ופיתוחים מתקדמים בתחום, הסברים והנגשת מידע על התנהלות אחראית בכלי בינה מלאכותית.

על מנת לממש יעדים אלו נעשו מספר פעולות במהלך השנה האחרונה, בין היתר בעזרת שימוש בטכנולוגיות מסחריות זמינות בענן הממשלתי לצורך הפעלת כלי AI במשרד, למידה מהנעשה בעולם, שיתופי פעולה עם משרדי ממשלה אחרים (משרד המדע, מערך דיגיטל ועוד) ועם התעשייה והתעדכנות בפיתוחים טכנולוגיים חדשניים בתחום. נראה כי החסם המרכזי בהטמעה הוא הבטחת השימוש בטכנולוגיה מאובטחת ברמה מספקת, ויצירת תעדוף להטמעת כלים חדשים מבחינת זמן ומשאבים.

על מנת להתמודד עם אתגרים אלה, הוקם פורום AI for Energy בו חברים נציגי הרגולטורים במשק האנרגיה ונציגי חברות האנרגיה הממשלתיות. במסגרת הפורום נרקמים שתופי פעולה בין החברות, מתקיימת למידת עמיתים והיכרות עם use-cases שונים להרחבה וטיוב השימוש בבינה מלאכותית במשק האנרגיה.

כמו כן, נחתם מזכר הבנות עם ארה"ב ליצירת שיתופי פעולה בתחום ה-AI והקמת קבוצות עבודה משותפות בנושאי רגולציה, פיילוטים וחדשנות והטמעה אחראית של בינה מלאכותית במשק האנרגיה.



.6
סיכום והמלצות

6. סיכום והמלצות

מדינות רבות ברחבי העולם נערכות לאומית בדרכים מגוונות ובעוצמות שונות לעידן הבינה המלאכותית. אף שעדיין אין ממצאים ברורים לגבי המודל היעיל ביותר לשילוב בינה מלאכותית במשק, הולכת ומתחזקת ההבנה שתחום האנרגיה עומד בליבת השינוי הן כתשתית קריטית להפעלת מערכות AI, והן כתחום יישומי משמעותי, ומשכך יש להשקיע בו משאבים רבים – תקציביים ואחרים. לישראל יתרונות משמעותיים בתחום החדשנות, תשתיות מידע ומיומנויות ההון האנושי, ולכן כדאי לה לפעול כבר כעת, בין היתר באמצעות גיבוש אסטרטגיה סדורה ומפורטת. עבודה זו סקרה את הבינה המלאכותית בהקשר האנרגטי בשלושה צירים משלימים:

- **AI for Nation** – גיבוש אסטרטגיה לאומית לשימוש בבינה מלאכותית בישראל.
- **Energy for AI** – התאמת משק האנרגיה לצרכים החדשים שמייצרת הבינה המלאכותית.
- **AI for Energy** – המלצות לשימושים שונים ויישום כלי AI בניהול ותפעול משק האנרגיה.

צירים אלה מזינים אחד את השני ויש ביניהם קשרים הדדיים: אסטרטגיה לאומית (AI for Nation), תייצר מסגרת ויעדים לכלל המשק הישראלי לשימוש בכלי בינה מלאכותית ולקידום תשתיות מתאימות. אסטרטגיה זו צריכה להיגזר מאיזון בין יתרונותיה של ישראל, ההזדמנויות והתועלות המשקיות מבינה מלאכותית, לבין העלויות, הסיכונים והמשמעויות של שימושים אלה. בין עלויות אלה ישנן גם משמעויות למשק האנרגיה (Energy for AI), כפי שיגדיר אותן משרד האנרגיה, ושאותן יש לקחת בחשבון בעת קביעת האסטרטגיה. במקביל, שילוב כלי בינה מלאכותית במשק האנרגיה (AI for Energy) יוכל לייעל את הפעילות של משק האנרגיה, להפחית עלויות ולצמצם משאבים, ולייצר הזדמנויות גלובליות.

6.1. AI for Nation

מדיניות לאומית לבינה מלאכותית היא קריטית למינוף השימוש בכלי AI ונקיטת צעדים קונקרטים. מהסקירה הבינ"ל נראה שיש שינוי בתפיסה העולמית ביחס לבינה מלאכותית: ממדיניות מדעית ונישתית לתשתית קריטית הקובעת את עוצמתה של המדינה. תחום הבינה מלאכותית עבר תהליך מהיר של מעבר מ"המעבדה למודל", כלומר מהמחקר המדעי ליישומים מעשיים במערכות לאומיות כמו חינוך, אנרגיה ותחבורה. התפתחות הבינה המלאכותית נתפסת כיום כתחום אסטרטגי הדורש השקעה מערכתית ביכולות טכנולוגיות, בתשתיות פיזיות, בהון אנושי ובמנגנוני משילות נתונים. בעשור האחרון, תכניות האסטרטגיה של המדינות קודמו בשני גלים מרכזיים:

1. **הגל הראשון (2017–2023)**: גיבוש תכניות לאומיות ל-AI עם דגש על חדשנות, מחקר ופיתוח, חינוך והון אנושי.
2. **הגל השני (2024–הווה)**: שכלול התכניות הלאומית הקיימות באמצעות מעבר לתפיסה ממוקדת תשתיות ויישום. המיקוד הוא בגיבוש רגולציה מותאמת, אבטחת מידע, השקעה פיזית בתשתיות קריטיות (לרבות מרכזי נתונים), והטמעה של AI בשירותים ציבוריים כמו חינוך, תחבורה ואנרגיה.

עם הגידול בשימושי בינה מלאכותית, לרוב גובר גם הביקוש לכוח מחשוב עבור הפעלת AI, וכפועל יוצא מכך גם הצורך בהתאמה של תשתיות האנרגיה, בפרט בשל צריכת החשמל הגבוהה של מרכזי נתונים. מדינות

שונות החלו להכיר ב-AI כצרכן אנרגיה משמעותי, וכתוצאה מכך החלו לכלול את תחום האנרגיה כחלק מהמדיניות הלאומית ל-AI, אם כי בעוצמות משתנות.

על רקע המגמות המתהוות בעולם, ברור כי קיימת חשיבות רבה בגיבוש אסטרטגיה לאומית כוללת בתחום הבינה המלאכותית בישראל, אשר תשלב בין חזון ארוך טווח, עקרונות פעולה רחבים ומנגנוני יישום סדורים. מדיניות כזו תוכל לתרום לקידום יכולות טכנולוגיות, לצמצום פערים בין מגזרים, ולשיפור היכולת של המדינה לקבוע סדרי עדיפויות ולרתום שותפים. ללא אסטרטגיה לאומית קשה יהיה לקדם בינה מלאכותית בישראל באופן משמעותי ויעיל. לכן, ועל מנת לייצר אסטרטגיה מיטבית, גובשו שתי המלצות עיקריות לפעולה:

1. גיבוש תכנית אסטרטגית לאומית ל-AI

על מדינת ישראל לגבש אסטרטגיה ממשלתית מחייבת, שתגדיר מטרות לאומיות, עקרונות שימוש, מסלולי יישום, והנחות יסוד בנוגע לאופן הטמעת AI בשירות הציבורי ובמשק בכלל. תוצרי המדיניות יאפשרו לממשלה לייצר סדר יום ברור, לתעדף בין פרויקטים ומשימות, לקבוע מסגרות תקציביות ורגולטוריות מתואמות, ולבסס ודאות בקרב משרדי הממשלה, הרגולטורים והסקטור הפרטי. אסטרטגיה זו חייבת לקחת בחשבון את היתרונות וההזדמנויות לישראל, לצד הסיכונים מעידוד בלתי מוגבל לשימוש בבינה מלאכותית. בין היתר, האסטרטגיה הלאומית תעסוק בסוגיית התשתיות האנושיות והפיזיות, וביניהן אנרגיה, תאפשר להסיר חסמים ביישום והטמעת כלי AI, ותקדם שימושיות במגוון רחב של תחומים כדוגמת אנרגיה, על ידי בניית בסיס רגולטורי ברור, והגדרה של KPI's לאימוץ. בהתחשב ביכולות הטכנולוגיות הגבוהות והאקו-סיסטם הטכנולוגי, לישראל פוטנציאל גבוה בהטמעת כלי AI שונים וקידום אסטרטגיית בינה מלאכותית לאומית שאפתנית שתקדם את המשק המקומי ואף תהפוך את ישראל למובילה עולמית בתחום.

2. שילוב תחום האנרגיה כחלק מהתכנית הלאומית

כדי להבטיח מוכנות תשתיתית להטמעת AI בקנה מידה לאומי, מומלץ לשלב את משק האנרגיה כחלק אינטגרלי מהאסטרטגיה הכוללת, לרבות קביעת יעדים מדידים ליישום AI, היערכות לצרכים של מרכזי נתונים, והתאמה של רגולציה ותמריצים שונים. צריכת האנרגיה ההולכת וגוברת בידי חוות שרתים, יחד עם הזמן הארוך הנדרש להקמת תחנות כוח מחייב תיאום עם משרד האנרגיה והתשתיות ורשות החשמל. שילוב משק האנרגיה בגיבוש האסטרטגיה הלאומית יאפשר מיקוד השקעות, הקצאת משאבים יעילה ותואמת צורך, והסרת חסמים רוחביים מראש, כדי לוודא שניתן לספק את האנרגיה הנדרשת למימוש האסטרטגיה הלאומית.

כאמור, תחום האנרגיה הוא בלתי נפרד מהמדיניות הלאומית, וללא כיוון ואסטרטגיה ממשלתית קשה יהיה לגזור תכניות נושאיות סקטוריאליות מיטביות. מאחר שמשק האנרגיה מהווה בסיס לכל אסטרטגיה לאומית בתחום הבינה המלאכותית, תכניות אלו מזינות אחת את השניה והקשר ביניהן הוא הדדי ושוטף, כפי שהודגש גם בדוח ועדת נגל. האסטרטגיה הלאומית בתחום הבינה המלאכותית צריכה להתבסס לא רק על היתרונות והצרכים של ישראל בתחום ה-AI, אלא גם על היכולות האנרגטיות של ישראל, כפי שיקבעו במדיניות שר האנרגיה והתשתיות. על מנת שאסטרטגיה זו תהיה ישימה היא חייבת להיות מלווה בתקציבים ייעודיים למימושה, בין היתר לשכלול משק האנרגיה בהתאם לצרכים.

6.2. Energy for AI

בינה מלאכותית יוצרת מציאות אנרגטית חדשה. ככל שהשימוש בטכנולוגיות AI מתרחב, כך גובר הביקוש לתשתיות מחשוב עתירות אנרגיה ובעיקר לחוות שרתים ומרכזי נתונים. מערכות אלו מאופיינות בצריכה רציפה, גבוהה ולעיתים בלתי גמישה, אשר יוצרת עומס מקומי ותנודתיות תפעולית. מסיבה זו, יותר ויותר מדינות מכירות בכך שהצלחה לאומית בתחום הבינה המלאכותית מחייבת מענה ייעודי במשק האנרגיה.

לאנרגיה תפקיד משמעותי בקידום בינה מלאכותית, בעיקר בשל הצורך בחוות שרתים ומתן מענה לגידול בביקוש לחשמל כתוצאה מכך. במסגרת העבודה נבחן ביצד המדיניות הכוללת ל-AI בעולם מתייחסת לסוגיות הביקוש לאנרגיה. ניתוח ההיבטים השונים של Energy for AI במדינות שונות מלמד כי ההתמודדות עם אתגרי האנרגיה שמציב התחום מחייבת מענה מערכתי ורב־שכבתי. ברמה הגבוהה ביותר, מדינות רבות מגבשות מדיניות הוליסטית המתייחסת ל-AI כתחום מערכתי המשפיע על תכנון הביקושים, הקצאת המשאבים, סדרי העדיפויות האקלימיים, והפיתוח התשתיתי של משק החשמל. מדיניות זו מאפשרת אינטגרציה של צורכי ה-AI בהליכי קבלת החלטות לאומיים. ברמה הרגולטורית, מהסקירה הבינלאומית עולה כי קיימים ארבעה כלי רגולציה מרכזיים הנמצאים בידי הרשות הרגולטורית, אשר בהם ניתן להשתמש: איסוף מידע והגברת שקיפות על הקמת מתקני AI, תמריצים וקביעת מדיניות אזורית לתשתיות, קביעת סטנדרטים טכנולוגים ליעילות באנרגיה, והגבלות על הקמת חוות שרתים ומרכזי נתונים באזורים רגישים. גם ברמה התפעולית, ההיערכות לאתגרים שמציבה הבינה המלאכותית נעשית בעולם על ידי גופים מפעילי תשתית, אשר אחראים לתרגום המדיניות והרגולציה להחלטות מעשיות בשטח.

בכל הנוגע לישראל, בימים אלה בוחן משרד האנרגיה והתשתיות, בשיתוף עם רשות החשמל, חברת נגה וחברת החשמל, את המשמעויות, ההזדמנויות ואת הסיכונים של הקמת חוות שרתים בישראל. המשרד בוחן, בין היתר, את ההשפעה של הקמת חוות שרתים על הביקוש לחשמל בעשורים הבאים, את ההיבטים האזוריים של הקמת החוות, ואת החסמים הרגולטוריים העומדים בפני היזמים בתחום. בנוסף, המשרד בוחן מה הם צעדי המדיניות הנדרשים כדי לעודד ולהמשיך להקל על הקמת חוות שרתים בישראל עקב התועלת המשקית של חוות השרתים, במקביל לבחינת כלי המדיניות לשימוש מיטבי ברשת החשמל – בין היתר הכוונה גיאוגרפית של הקמת חוות השרתים באזורים אשר יסייעו למשק החשמל ולא יקשו עליו, היבטים של חוות יצור/רכישת חשמל, וכן היבטי התייעלות באנרגיה. עוד טרם סיום העבודה בנושא, כבר כעת ניתן לומר כי אסטרטגיית ה-AI של ישראל צריכה להישען על מאפייניו האנרגטיים של המשק הישראלי, לרבות מחסור בשטח, עלייה מתמדת בביקוש לחשמל, עמידה ביעדי הפחתת פליטות והצורך ביכולת להתמודד עם מצבי חירום.

6.3. AI for Energy

בדומה לסקטורים אחרים במשק, גם משק האנרגיה ניצב בפני הזדמנות מהותית למינוף יכולות בינה מלאכותית לצורך התייעלות. השילוב בין זמינות נתונים גבוהה, מורכבות מערכתית והגברת הצורך בבטחון באנרגיה, הופך את תחום האנרגיה לקרקע פורייה לאימוץ AI. יחד עם זאת, קיים פער בין הפוטנציאל לבין היישום בפועל, לרבות בקרב גופים ציבוריים וחברות ממשלתיות.

לצד גופים אלה, משרד האנרגיה והתשתיות יכול לשמש דוגמה לעידוד חדשנות פנים-ארגונית, לרבות בחינת מודלים לתמרוץ אימוץ טכנולוגיות AI, הסדרת כללי ביטחון מידע, פרטיות ואתיקה מבוססי תקינה בינלאומית.

במהלך העבודה זוהו חמישה מקרי שימוש מרכזיים בכלי AI, הנחשבים לישימים ומוכחים במשקי אנרגיה במדינות אחרות:

- **ניטור מערכות ונכסים**

שימוש במערכות AI לאיסוף, עיבוד וניתוח של נתוני חיישנים בזמן אמת, לצורך זיהוי חריגות והארכת חיי הנכסים. דוגמה בולטת לכך היא הפתרון של Cognite עבור חברת האנרגיה Ringerikskraft בנורווגיה, אשר שיפר את זמינות המידע התפעולי, קיצר זמני תגובה והאריך את חיי הציוד.

- **תחזוקה מונעת**

שימוש במודלים של בינה מלאכותית לניתוח דפוסי פעילות והיסטוריית תקלות, במטרה לחזות כשלים טכניים ולתזמן תחזוקה באופן אופטימלי. כך למשל, מערכת שפיתחה C3.ai עבור חברת תשתיות בארה"ב הפחיתה בכ-48% את כמות תקלות השנאים והביאה לחיסכון תפעולי משמעותי.

- **אופטימיזציית תפעול**

הטמעת כלי AI לניהול גמיש של מקורות אנרגיה ומדיניות תפעול מבוזרת. בין היתר, פרויקט נוסף של C3.ai, הוא מערכת ללקוחות תעשייתיים אשר איפשרה חיזוי עומסים והפחתת צריכה ב־23%, תוך חיסכון מצטבר של מאות אלפי דולרים בשנה.

- **ניהול רשתות חשמל**

יישום כלי AI לזיהוי צווארי בקבוק ולשיפור תהליך חיבור לנכסים חדשים. דוגמה לכך היא Statnett, מפעילת הרשת בנורווגיה, שיישמה מערכת בשיתוף Cognite, אשר קיצרה את זמני התגובה והובילה לחיסכון מוערך של מעל מיליון דולר בשנה.

- **חיזוי ביקוש והיצע**

למשק האנרגיה יש פוטנציאל עצום בשימוש בבינה מלאכותית לניתוח נתוני צריכה ומזג אוויר לצורך תחזיות מדויקות. כך, חברת TenneT בהולנד, יחד עם AspenTech, יישמה מערכת שאיפשרה שילוב משופר של אנרגיה מתחדשת ותכנון ייצור חשמל ברזולוציה יומית.

דוגמאות אלה ממחישות כי פתרונות AI בתחום האנרגיה אינם רעיון עתידי, אלא פרקטיקה קיימת, המייצרת ערך תפעולי מדיד ומהווה כבר היום תשתית מרכזית בהעצמת היכולות של שחקני מפתח בענף. קידום פתרונות אלו מצריך מערכות מידע מתקדמות, ויכולת ניטור של מגוון סוגי מידע. משכך, המעבר ליישום רחב בישראל מחייב תנאים מוקדמים: נגישות למידע, יכולת תפעולית בגופים המבצעים, ומסגרת רגולטורית תומכת, כפי שיפורט להלן:

1. קידום רגולציה תומכת לתשתיות מידע בכלל ו-AI בפרט

בארץ ובעולם ישנם פערים בהטעמה ויישום של כלי AI עקב תשתיות שאינן מאפשרות יישום אפקטיבי, בשל היעדר תשתית נתונים זמינה, תקנית ונגישה, מערכות מידע מיושנות והיעדר מסגרת נהלים מספקת. לכן, מומלץ לקדם הנחיות, סטנדרטים ורגולציה מאפשרת לניהול וטיפול במידע, אבטחת מידע, שקיפות ופרטיות, וכן שיתוף מידע בין גופים אשר יאפשרו לחברות הממשלתיות ולספקיות התוכנה להבין את גבולות הגזרה. תהליכים ואסדרות אלה יפחיתו חסמי מידע, ויקלו על הטמעת כלי AI ושילוב פתרונות בשטח. כמו כן, מומלץ

לקדם מהלכים רוחביים בתחומי מערכות המידע שיקלו על הטמעה של כלים מתקדמים במערכות ארגוניות ממשלתיות או כאלה המבוססות עליהן.

2. גיבוש רשימת ספקים מאושרים לתשתיות קריטיות

מומלץ לגבש רשימה מסודרת של ספקים טכנולוגיים מאושרים, המבוססת על קריטריונים של אמינות, אבטחת מידע וניסיון רלוונטי, ולחלופין לאמץ רשימות בינלאומיות מוכרות (למשל FedRAMP). רשימה מסוג זה תאפשר לחברות הממשלתיות לבחור פתרונות AI באופן בטוח ויעיל, ללא צורך בבדיקות פרטניות מתמשכות, ובכך לקצר תהליכי רכש ולהפחית סיכונים. רשימה זו תגובש לאור רשימות מקובלות במדינות מערביות מובילות אחרות בעולם (ארה"ב, בריטניה, גרמניה וצרפת), ובשיתוף הגורמים הממשלתיים הרלוונטיים.

3. פיתוח מנגנוני תמרוץ מותאמים

כדי לעודד יוזמות ויזמות בתחום, מוצע לעצב מנגנוני תמרוץ, תקצוב וסבסוד פיילוטים וחדשנות, ובחינת בונוסים להטמעת בינה מלאכותית בחברות הממשלתיות. תמריצים אלו ייצרו אפקט דחיפה ראשוני שיאפשר למידה והרחבה הדרגתית, שיוביל להתקדמויות טכנולוגיות נוספות בהמשך. בין היתר מומלץ לפעול במישורים הבאים:

א. בחינת הצבת יעדים לרמת אימוץ AI בחברות ממשלתיות

מוצע לקבוע יעדים לאימוץ AI בחברות הממשלתיות, בהתאם לאופי פעילותן. למשל, יעד למספר יישומי AI בארגון, או ליישום באחוז מסוים מהפעילות התפעולית. יעדים אלו יתנו כיוון ברור לחברות, יאותתו על ציפיות הממשלה, ויתמרצו מעבר מגישת פיילוטים לניהול שיטתי של הטמעת טכנולוגיות.

ב. קביעת ערכי KPIs והטמעתם במנגנוני ההערכה

מומלץ לשלב מדדים כמותיים ואיכותיים לאימוץ AI במדדי הביצוע של החברות, כגון מספר מקרי שימוש פעילים, חיסכון מוכח, או רמת אינטגרציה עם תשתיות קיימות. KPIs מסוג זה יוכלו לשמש בסיס לדיווח פנימי, לבחינת הצלחת מהלכים, ולתמרוץ, בין היתר באמצעות כלים של רשות החברות הממשלתיות.

ג. בחינת מתן תמריצים ניהוליים מבוססי אימוץ

מומלץ לבחון שילוב מדורג של אימוץ כלי AI כמרכיב בשקלול התמריצים הניהוליים של הנהלות החברות הממשלתיות, כחלק ממדיניות התגמול הכללית. מנגנון זה ישדר מסר על חשיבות התחום וישלב את שדרת הניהול הגבוהה במאמץ להטמעה.

4. בחינה שוטפת של יוז-קייסים ישימים במשקי האנרגיה והתשתיות

מומלץ לבצע תהליכי בחינה שוטפים לאיתור, אפיון ותעדוף מקרי שימוש ל-AI הנמצאים בשימוש בעולם ביחס לכל אחד מהגופים הרלוונטיים: משרדי ממשלה, חברות ממשלתיות, רשויות ציבוריות, וחברות פרטיות הפעילות במשק האנרגיה. המיפוי יכלול בחינה של הטכנולוגית הקיימות והנמצאות בפיתוח, זמינות מידע, פוטנציאל השפעה וניתוח עלויות ותועלות. מיפוי זה יאפשר היכרות עם חידושים בתחום על מנת להעריך בצורה מיטבית ומודעת את הפוטנציאל של טכנולוגיות AI מתקדמות ולתרום לקבלת החלטות על ניתוב

משאבים בתחום. תוצרי המיפוי והידע המצטבר והמתעדכן ישמשו בסיס לקידום תכניות פיילוטים, לגיבוש תשתיות מידע רלוונטיות, ולהכוונת השקעות ציבוריות בתחומים עם פוטנציאל תועלת גבוה למשק.

לסיכום, עולם הבינה המלאכותית מתקדם ומתפתח באופן מואץ, ולצדו הממשק ההדוק, התלות וההשפעה ההדדית על משק האנרגיה ועל תשתיות. לישראל פוטנציאל אדיר להוביל בתחום הבינה המלאכותית בכלל, ובהיבטי האנרגיה בפרט. גיבוש המדיניות נדרש להיות מותאם לצרכים בשטח, להתעדכן לאור השינויים וההתפתחויות בעולם, ולהתעצב מתוך חשיבה אסטרטגית, הוליסטית ומולטי-דיסציפלינארית. קידום המלצות אלו בתחומים הקשורים למשקי האנרגיה והתשתיות צריך לבוא לצד קידום תחומים משיקים, כמו השקעות במחקר והפיתוח בתחום, הכשרת הון אנושי אדם, קידום תשתיות כללי לבינה מלאכותית והתייחסות לתחום האנרגיה באסטרטגיה הלאומית.

7. תרשימים בעבודה

תרשים 1: תחום ה-AI הוא הצומח ביותר מבין התחומים הגדולים בטכנולוגיה, גודל השוק הצפוי ב-2030 13
תרשים 2: דירוג המדינות המובילות ב-AI Index, 2024 15
תרשים 3: דירוג המדינות המובילות ב-AI Index (בהתאם לגודל האוכלוסייה), 2024 15
תרשים 4 : מספר מודלי היסוד לפי מדינה, 2023 16
תרשים 5: מספר המודלים "הראויים לציון" לפי מדינה, 2024 17
תרשים 6: ריכוז כוח האדם המוכשר בתחום ה-AI, 2023 18
תרשים 7: אימוץ יחסי של יכולות AI לפי מדינה, 2015-2023..... 19
תרשים 8: השפעה מוערכת של אימוץ AI על הגידול השנתי בפריון העבודה בעשור הקרוב..... 20
תרשים 9: מספר החברות בתחום ה-AI שהוקמו לפי מדינה, 2023 21
תרשים 10: השקעות פרטיות ב-AI לפי מדינה, 2023 22
תרשים 11: הגירה נטו של טאלנט לכל 10,000 אנשי מקצוע בלינקדאין, 2024 23
תרשים 12: מספר החברות החדשות בתחום ה-AI, 2013-2023 מצטבר 24
תרשים 13: השקעות פרטיות ב-AI (במיליארדי דולרים אמריקאים), 2013-2023 מצטבר 24
תרשים 14: דירוג המדינות המובילות ב-Tortoise AI Index (2021-2024)..... 25
תרשים 15: דירוג ישראל במדד ה-AI Index לפי פרמטרים, 2024..... 26
תרשים 16: מהמעבדה למודל, מדיניות לאומית בתחום הבינה המלאכותית 29
תרשים 17: אסטרטגיית "גל ראשון" ו"גל שני" לפי מדינה 32
תרשים 18 : % הצריכה וסך הצריכה של מרכזי נתונים במדינות נבחרות, 2024 34
תרשים 19: שלוש גישות לאסטרטגיות AI ואופן העיסוק שלהן באנרגיה 34
תרשים 20: השקעה בתשתיות אנרגיה ומרכזי נתונים בצרפת..... 38
תרשים 21: שלוש רמות להתייחסות לסוגיית האנרגיה ברמה המשקית 43
תרשים 22: צעדים מתוך התוכנית הסינגפורית..... 45
תרשים 23: קטגוריות מרכזיות של כלים רגולטורים..... 47
תרשים 24 : חוזי CPPA חדשים וסך החוזים הקיימים (GW) 49
תרשים 25: סט הכלים הרגולטורי על חוות שרתים באירלנד..... 52
תרשים 26: סט הכלים הרגולטורי על חוות שרתים בצרפת 53
תרשים 27: תחזית צריכת החשמל באירלנד, TWh..... 55
תרשים 28 : התפלגות משרות בסכנת החלפה עקב AI בתעשיות שונות..... 57
תרשים 29: השימושים העיקריים ב-AI בתחומי חברות האנרגיה והתשתיות 58
תרשים 30 : המחשה - מיפוי סוגי השחקנים 64
תרשים 31: מערכות מידע נדרשות בכל שימוש..... 67
תרשים 32: מיפוי רגולציות מחייבות וכלים וולונטריים בתחומי AI ופרטיות 70
תרשים 33 : מסגרת חשיבה לישראל - כיצד להתמודד עם חסם משילות וניהול מידע..... 71
תרשים 34: תכניות מענקים ותמריצים בעולם 72
תרשים 35: השוואה בין מודלים רגולטוריים שונים בעולם..... 73
תרשים 36: מודל תעריף ההולכה בבריטניה 74
תרשים 37 : המחשת המעבר מרגולציה תומכת לרגולציה מחייבת 75