



מדעי החיים והרפואה



דעי החיים והרפואה מתאפיינים במחקר ניסיוני ברובו, הדורש משאבים הן של הון אנושי מיומן הן של ציוד ותשתיות מיוחדים ויקרים. בשנים האחרונות המחקרים הבסיסיים במדעי החיים והרפואה בישראל זכו להכרה ולהישגים בין־לאומיים בתחומים שונים, ובהם חקר האימונולוגיה של הסרטן, פענוח הביולוגיה של המיקרוביום, עריכה גנטית של תאי גזע, הבנת הפעילות המוחית ומודלים מהפכניים להסבר תופעת ההזדקנות.

כמו כן חלו פריצות דרך בעלות פוטנציאל יישומי בתחום הרפואה, כמו פיתוח נוגדנים מהונדסים לטיפול במחלות אוטואימוניות, הדפסות ביולוגיות תלת־ממדיות, טיפולים גנטיים אישיים וטכנולוגיות חדשות לאבחון מחלות. ההישגים המחקריים שימשו בסיס להקמת חממות ביוטכנולוגיות וחברות הזנק חדשות. בד בבד התפתח השימוש בכלי בינה מלאכותית בתחומי הרפואה, למשל מעקב בזמן אמת אחר מדדים פיזיולוגיים לחיזוי של פתולוגיות שונות, או ניתוח פיסות דנ"א חופשי בזרם הדם ככלי אבחנתי חדש. ברור כיום שהמחקרים במדעי החיים והרפואה עומדים בפתחה של מהפכה נרחבת לקראת השילוב של מחקר בסיסי ויישומי עם בינה מלאכותית.

ההזדמנויות למחקר פורץ דרך בעזרת כלי הבינה המלאכותית עומדות במרכז פרק זה. חברי הוועדה נפגשו עם חוקרים מובילים מישראל ומהעולם שמשתמשים בכלי בינה מלאכותית במחקרים ביו־רפואיים כדי לנתח את הפוטנציאל הטמון בכיוונים אלו ואת החסמים שיש לפרוץ כדי לקדם. הדיון בפרק זה מתמקד בשלושה תחומים מרכזיים: מאגרי מידע רפואיים; ניבוי מבנה חלבונים ופיתוח תרופות; ויישום ממשקי מוח־מכונה. החסמים לקידום המחקר בכלי הבינה המלאכותית משותפים לתחומי מדע נוספים מלבד המחקר הביו־רפואי, ועיקרם הצורך הקריטי בהגדלה ניכרת של כוח המחשוב ובהכשרת חוקרים וכוח אדם מיומן שיקשר בין יישומי הבינה המלאכותית לבין תחום המדע המסוים. נושא תשתית המחשוב (פיזית או ענן) לבינה מלאכותית נידון בהרחבה בפרק "תשתיות מחקר". פרק זה עוקב גם אחר ההתפתחות בקידום רופאים־חוקרים, נושא שעלה בחלקו בדוח הקודם וזכה להתייחסות ולקידום כבר בשנת התקציב הנוכחית בתוכנית "מבריא" של ות"ת, אך נדרשת התקדמות נוספת.

הון אנושי, מימון ותקצוב

חברי סגל ועמיתי בתר־דוקטורט

כפי שנראה באיור 5 בפרק "תמונת מצב", בשנת 2024 מנה הסגל הבכיר באוניברסיטאות ובמכללות האקדמיות במדעי החיים והרפואה 2,231 חברי סגל (שהם 21% מכלל חברי הסגל הבכיר): בתחום המדעים הביולוגיים והחקלאות 872 חברי סגל (8%) ובתחום הרפואה ומקצועות הבריאות 1,359 חברי סגל בכיר (13% – לא כולל הסגל הקליני⁸²). במרוצת העשור האחרון, מאז שנת 2015, חלה עלייה של כ־30% במספר אנשי הסגל הבכיר במדעי החיים והרפואה; פילוחם מראה ירידה של כ־8% במספר חברי הסגל במדעים הביולוגיים ובחקלאות וגידול ניכר של כ־71% בסגל הרפואה ובמקצועות הבריאות (איור 6 בפרק "תמונת מצב"). אולם לדברי חוקרים בלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ייתכן שהפילוח מוטה לפחות בחלקו בגלל שינוי בסיווגים לפי קטגוריות שונות בשנים האחרונות. יש להמשיך לעקוב בשנים הבאות.

באיור 9 בפרק "תמונת מצב", המציג את מספר עמיתי בתר־דוקטורט בישראל, אפשר לראות שבמדעי החיים והרפואה יחד ירד המספר ב־7% בשנים 2021–2023, ובשנת 2023 עמד על 1,193⁸³, כ־37% מסך כל עמיתי בתר־דוקטורט בישראל באותה שנה. גם כאן יש להמשיך ולעקוב אחר המגמה בשנים הבאות.

סטודנטים ובוגרים

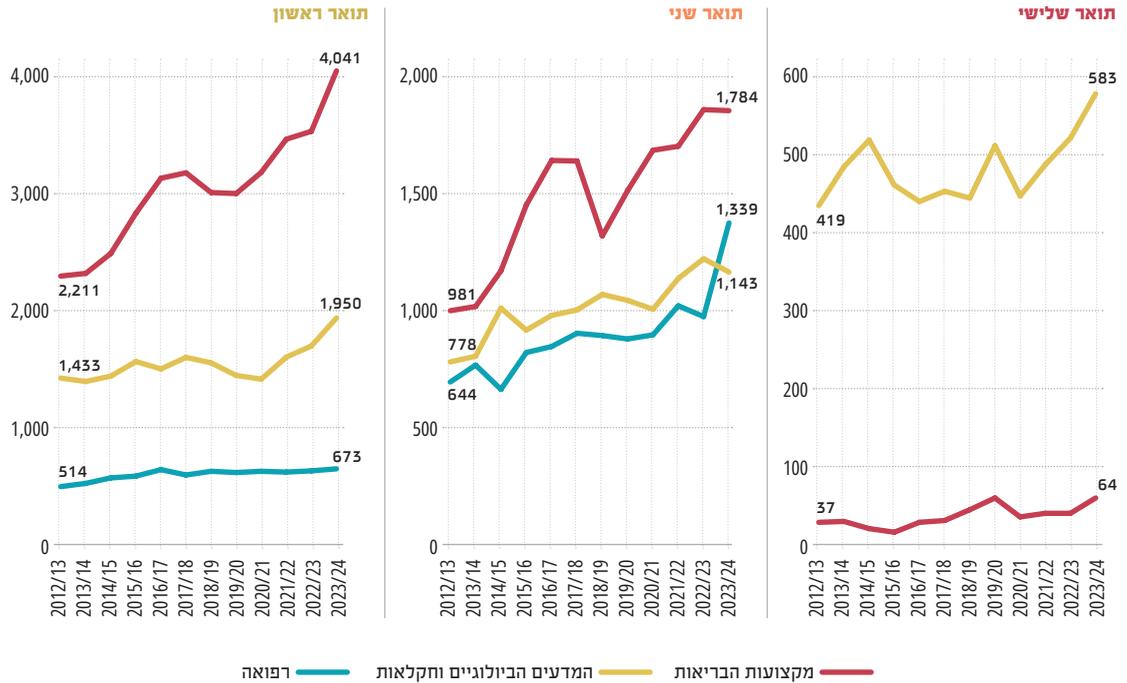
שיעור הסטודנטים שקיבלו תואר בשנת תשפ"ד (2023/24) בתחום המדעים הביולוגיים והחקלאות היה כ־3% מכלל בוגרי התואר הראשון, כ־4% מכלל בוגרי התואר השני וכ־29% מכלל בוגרי התואר השלישי (איור 11 בפרק "תמונת מצב"). שיעורם הגבוה של הבוגרים בתואר השלישי (ביחס לתואר הראשון והשני) מצביע על כך ששיעור גבוה מתלמידי המדעים הביולוגיים והחקלאות נוטה להמשיך ללימודים מתקדמים בהשוואה לתחומי המדע האחרים. אחד ההסברים האפשריים לתופעה זה הוא היעדר אפשרויות תעסוקה מתאימות לבוגרי תואר ראשון בתחומים אלה, המוביל רבים מהם ללימודים מתקדמים⁸⁴. הסבר נוסף יכול להיות מעבר של סטודנטים מתחומי לימוד אחרים ללימודים מתקדמים במדעי החיים.

כפי שנראה באיור 57, במקצועות הבריאות חל בעשור האחרון גידול מרשים של כ־67% בבוגרי התואר הראשון ושל כ־81% בבוגרי התואר השני, אך רק כ־3.5% מהם המשיכו לתואר השלישי. בשנת 2023/24 אחוז הבוגרים במקצועות הבריאות הגיע לכ־60% מכלל בוגרי מדעי החיים והרפואה.

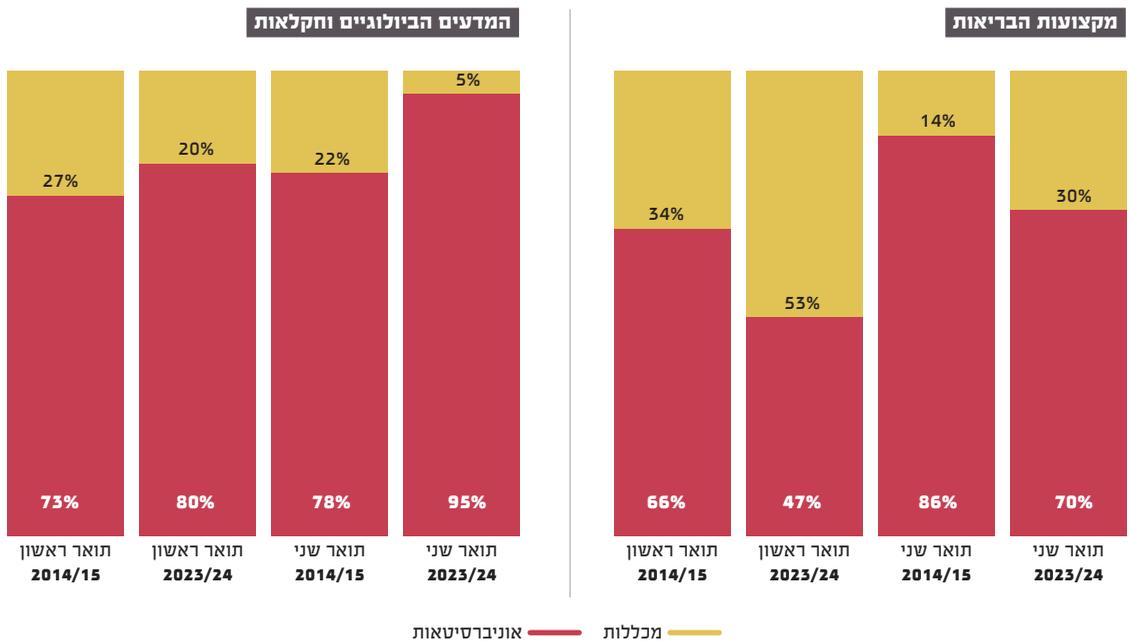
82 יש לציין כי בדוח של שנת 2022 נספר הסגל הקליני כחלק מחברי הסגל הבכיר, ומסיבות טכניות לא הופרדו חברי הסגל הבכיר של המדעים הביולוגיים מאלו של הרפואה ושל מקצועות הבריאות. בדוח הנוכחי לא נספרו אנשי הסגל הקליני שבבתי חולים.

83 יצוין שבשנת 2022 התקבל נתון יוצא דופן שהעיד על ירידה חדה במספר עמיתי בתר־דוקטורט במדעי החיים ורפואה ועל עלייה במספרים דומים במדעים המדויקים. נתון זה יכול לנבוע משינוי בסיווגים באותה שנה או מבעיות טכניות אחרות.

84 ראו, למשל, את דוח רשות החדשנות, "תמונת מצב: חדשנות בישראל 2021", עמ' 54, 2021. וכן קריל, גבו ואלוני. "לא כל התארים נולדו שווים – בחינת הפרמיה בשכר מרכישת השכלה גבוהה, כפונקציה של תחום לימוד", 2016.



איור 57. מספר בוגרי התארים במדעי החיים והרפואה מהמוסדות להשכלה גבוהה לפי תת-תחומים ולפי תואר (2012/13-2023/24). על פי סיווג הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, בוגרי MD (רפואה) נחשבים לבוגרי תואר שני מקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה



איור 58. התפלגות בוגרי מקצועות הבריאות והמדעים הביולוגיים והחקלאות בתואר הראשון והשני בין אוניברסיטאות למכללות ובהשוואה בין שנת הלימודים 2014/15 לשנת הלימודים 2023/24 מקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

איור 58 מציג את התפלגות הבוגרים בין המכללות לאוניברסיטאות בתחומי מקצועות הבריאות, המדעים הביולוגיים וחקלאות. אפשר לראות כי במקצועות הבריאות חלה עלייה ניכרת במכללות בשנים האחרונות במספר בוגרי התואר הראשון והשני: כמחצית מבוגרי התואר הראשון וכשליש מבוגרי התואר השני סיימו במכללות בשנת 2023/24, לעומת 34% מבוגרי התואר הראשון ו-14% מבוגרי התואר השני בשנת 2014/15. העלייה משקפת ביקוש רב ופתיחת תוכניות במכללות במקצועות בריאות. לעומת זאת בוגרי המדעים הביולוגיים והחקלאות מתרכזים בעיקר באוניברסיטאות ושיעורם המשיך לעלות בפרקי זמן אלה מ-73% ל-80% בתואר הראשון ומ-78% ל-95% בתואר השני.

מימון ותקצוב

אחד מאפיקי המימון המרכזיים למחקר בסיסי בישראל בכלל ובמדעי החיים והרפואה בפרט הוא הקרן הלאומית למדע. כפי שנראה באיור 24 בפרק "תמונת מצב", במסלול המענקים האישיים של הקרן במחזור 2024 אושרו מענקים חדשים בסכום כולל של כ-45.3 מיליון ש"ח לשנה לחוקרים במדעי החיים והרפואה (לרוב לפרק זמן של שלוש-ארבע שנים). סכום זה הוא כ-30% מהתקציב השנתי למענקים חדשים שאושרו במסלול זה שאושרו בשנת 2024. חלקם של מדעי החיים והרפואה במסלול המענקים האישיים הולך וקטן מאז שנת 2012, אז היה שיעורו כ-43%, בין היתר בשל הגידול בחלקם של תחומי המדע האחרים ובעיקר מדעי החברה, אך גם בשל הזמינות של תוכניות מימון אחרות, ייעודיות למחקר בירופואי (ראו להלן). שיעור המענק השנתי הממוצע לחוקרים במדעי החיים והרפואה הוא הגבוה ביותר מבין כל התחומים, והיה כ-283 אלף ש"ח במחזור 2024 (איור 25). אולם כפי שנידון בהרחבה בדוח מצב המדע 2022, סכום המענק הממוצע נמוך ואינו משקף את העלייה בתשומות המחקר. לשם הדגמה, עלות של טכנאי בעל תואר שני יכולה להגיע ל-240 אלף ש"ח, ואותו סכום נחוץ לקיט פופולרי אחד לאנגליזות גנומיות (וסוגי מחקר מסוימים זקוקים ליותר מאחד כזה לשנה). לנוכח העובדה שזהו המענק העיקרי שעליו נסמכים כל תחומי המחקר, אי-התאמתו לצרכים עלולה לבוא לידי ביטוי באיכות המחקר.

כפי שנראה באיור 26 בפרק "תמונת מצב", הדרישה למענקי מחקר בקרב חוקרים במדעי החיים והרפואה עלתה בעשרים השנים האחרונות בהדרגה מ-390 הגשות במחזור 2003 ל-499 הגשות במחזור 2024. שיעור הזכייה בכל השנים הוא 31%-37%.

מלבד תוכנית המענקים האישיים, הקרן הלאומית למדע הרחיבה בשנים האחרונות את תמיכתה במחקרים במדעי החיים והרפואה באמצעות תוכניות ייעודיות,⁸⁵ לעיתים בתמיכה פילנתרופית. בעקבות ההצלחה של התוכנית לרפואה מותאמת-אישית (רמ"א) למחקרים בירופואיים בשנים 2019-2026, בהיקף של 50 מיליון דולר, נוסדה בשנת תשפ"ה תוכנית "מבריא".⁸⁶ התוכנית מתוכננת לפעול בהיקף גדול פי כמה הן מבחינת התקציב הן מבחינת רוחב היריעה. בתוכנית שלושה מסלולים: הראשון – מענקי מחקר למימון

85 שלוש התוכניות הבאות שולבו בתוך תוכנית "מבריא", שהחליפה אותן: תוכניות רופאים-חוקרים בבתי חולים (שלא תיפתח להגשות חדשות נוספות בתשפ"ו); הקרן למחקרים ברפואה (פעלה עד תשפ"ד); והקרן למחקרים ברפואה מותאמת אישית (רמ"א).

86 תוכנית "מבריא" כוללת שלוש תוכניות לפיתוח הון אנושי: שתיים מהן מפעילה הקרן הלאומית למדע: את **תוכנית הזנק לפיתוח הון** אנושי, שמטרתה לקדם פעילות מחקרית של רופאים בבתי החולים, ואת **תוכנית מלגות מחקר לבתרי דוקטורט**, שנועדה לאפשר לבוגרי לימודי רפואה לעסוק כמה שנים, בתום ההתמחות ובאופן כמעט בלעדי, במחקר מדעי במעבדת מחקר בישראל, אך אינה מבטיחה להם קביעות תעסוקתית במחקר; את התוכנית השלישית **לקליטת רופאים חוקרים בשלב קריירה מתקדם בפורמט של מינוי כפול של אוניברסיטה ובית חולים** מפעילה ות"ת. תוכנית זו נועדה לשכלול ולהרחבה של פעילות מחקרית איכותית ובת-קיימה ולקידום שיתוף הפעולה עם האקדמיה. בתקציב תשפ"ה הסעיף מתוקצב בהתאם למקורות המיועדים לקידום הנושא בתוכנית הרב-שנתית תשפ"ג-תשפ"ח.

מחקרים ביו־רפואיים רחבי היקף במגוון רחב של נושאים; השני – תוכנית הזנק להקמה ולהפעלה של מעבדות מחקר עבור רופאים־חוקרים בבתי חולים; והשלישי – מענקי בת־דוקטורט לרופאים צעירים. כל אלו נועדו לעודד קלינאים לעסוק במחקר מדעי בהיקף נרחב יותר ולחזק את שיתופי הפעולה בין חוקרים באקדמיה ובין קלינאים. נוסף על תוכנית מבריא, הקרן הלאומית למדע מפעילה מסלולי מענקים בילטרליים לשיתופי פעולה מחקריים של חוקרים מישראל – גם בתחומי הביולוגיה והרפואה – עם חוקרים מקנדה, מסין, מהודו ומגרמניה. גם התוכנית למחקרים פורצי דרך (מפ"צ), המקבילה הישראלית לתוכנית ERC, מאפשרת מימון בהיקף רחב לחוקרים מצטיינים, גם מתחום הביולוגיה (אולם היקפה מצומצם – עד עשרה זוכים בשנה מכלל התחומים).

אפיק מימון נוסף למחקר בסיסי הוא תוכנית המחקר והפיתוח של האיחוד האירופי, שגולת הכותרת שלה היא מענקי מועצת המחקר האירופית (ERC). מענקים אלה חריגים בסכומי המענק הגדולים שהם מעמידים לרשות החוקרים וביוקרה שבזכייטם. כפי שנראה באיור 32 בפרק "תמונת מצב", מתחילתה של תוכנית זו בשנת 2007 ועד שנת 2024 זכו למענקים במסגרתה 447 הצעות מחקר מתחומי מדעי החיים והרפואה. שיעורם הוא כ־8.2% מכלל המענקים שניתנו במסגרת התוכנית בתחום, שיעור המציב את ישראל במקום החמישי בשיעור ההצלחה היחסית בתוכנית (מתוך כל המדינות המשתתפות בתוכנית), אחרי גרמניה, הממלכה המאוחדת, צרפת והולנד (עלייה של מקום אחד לעומת שנת 2021). בהתחשב בגודלה של ישראל ביחס למדינות אירופה האחרות נתון זה הוא עדות להצלחה מיוחדת של חוקרים ישראלים במדעי החיים והרפואה בתוכנית זו ומכאן לאיכותו הגבוהה של המחקר הישראלי בתחום, שעומד גם בקריטריונים בין־לאומיים מחמירים.

בינה מלאכותית במחקר הביו־רפואי

מהפכת הבינה המלאכותית מסמנת את תחילתה של התפתחות טכנולוגית מואצת. אחד התחומים העיקריים שהבינה המלאכותית מיועדת לשמש בהם הוא תחום מדעי החיים והרפואה, ובכלל זה חברות התרופות. יכולותיה של הבינה המלאכותית לנתח כמויות עצומות של מידע ולחלץ מתוכן דפוסים שונים מאפשרות לקדם חזון של מערכת בריאות מותאמת אישית, יעילה ונגישה יותר לכלל האוכלוסייה. יכולות אלו עשויות להוביל לפריצות דרך של ממש בתחומים רבים: חיזוי מחלות, שיפור יכולות האבחון הרפואי, פיתוח תרופות, התאמה של טיפול רפואי או נפשי, פיתוח ממשקי מוח־מכונה לאנשים עם מוגבלויות ועוד. למרות הפוטנציאל העצום של יישומי הבינה המלאכותית במחקר, יש גורמים המעכבים את השימוש בהם באקדמיה בישראל, ובהם מחסור בתשתיות חישוביות ומדעיות, היעדר כוח אדם מיומן במסגרת האקדמית, קשיים רגולטוריים ואתיים ועוד.

בשנת 2022 החלה לפעול בישראל התוכנית הלאומית לבינה מלאכותית. התוכנית המקורית תוכננה בהיקף חסר תקדים של 5 מיליארד ש"ח למשך חמש שנים, אולם עקב מגבלות תקציביות ואתגרי תקופת הקורונה יצאה התוכנית לפועל בהיקף מצומצם של כמיליארד ש"ח בלבד שחולקו לשתי פעימות של 500 מיליון ש"ח כל אחת, ורק חלק מתקציב זה יועד להגדלת ההון האנושי ותשתיות המחקר באקדמיה. לאחרונה חתמה המדינה עם חברה הולנדית על הסכם למשך שלוש שנים להקמת מחשב־על בישראל

(שיוקם בסמוך למודיעין בשנת 2026), אולם על פי ההסכם חלקה של האקדמיה בכוח המחשוב צפוי להסתכם בכ־300 GPU בלבד. גורמים באקדמיה הישראלית מתריעים כי יתרונה המחקרי של ישראל ומעמדה המוביל בעולם עלולים להיפגע פגיעה חמורה ללא תשתיות מתאימות. דיון מורחב בנושא זה מופיע בפרק "תשתיות מחקר".

כיום חוקרים באקדמיה נאלצים להסתפק בשאריות של משאבי מחשוב שנותרים מהתעשייה או להיתלות בחברות טכנולוגיה גדולות שיספקו להם גישה מוגבלת למשאבים. מצב זה מגביל במידה רבה את היכולת של חוקרים אקדמיים לערוך מחקרים פורצי דרך ולהתחרות בתעשייה.

לצד קשיים אלה עלתה בדיוני הוועדה שוב ושוב החשיבות של הכשרת אנשי המחקר בכל הדרגים – מסטודנטים ועד סגל בכיר – למגוון שימושים של בינה מלאכותית.⁸⁷ הכשרה זו היא תנאי חיוני לקידום תחומי מחקר חדשניים ולמיצוי הפוטנציאל הגלום בטכנולוגיות אלו. בשנים האחרונות, בשל ההכרה בכך שמיומנויות אלו נדרשות לא רק למדעני מחשב, אלא לכלל הסטודנטים בכל תחומי הדעת, נעשים מאמצים להטמיע את כלי הבינה המלאכותית כבר בשלבי החינוך העל־יסודי. גם בישראל יש חשיבות עצומה להקמתם של מרכזי הוראה לבינה מלאכותית שיפתחו אוריינות אקדמית ברמה גבוהה אצל כלל המדענים (ולא רק בקרב מדעני מחשב) ויקדמו את מחקריהם. אף שממשלת ישראל אישרה תקציבים לפיתוח תשתיות חישוב לבינה מלאכותית באקדמיה, עד כה לא מומש המימון במלואו.⁸⁸

חינוך רחב ומעמיק לבינה מלאכותית יוצר שפה משותפת בין תחומי ידע ומעודד שיתופי פעולה פוריים בין אנשי מדעי החיים, הרפואה והחברה לבין חוקרים מתחומי המחשוב. שיתופים בין־תחומיים אלו צפויים להניע פריצות דרך מחקריות ולהעמיק את ההבנה של תהליכים ביולוגיים, רפואיים והתנהגותיים.

בדיוני הוועדה השתתפו חוקרים מובילים בתחומם מישראל ומהעולם העוסקים בשילוב של כלי בינה מלאכותית במחקר בירופואי, בהם מומחים שתחום עיסוקם הוא ניתוח מאגרי מידע רפואיים, כלי NLP (Natural Language Processing – עיבוד שפה טבעית), ביו־אינפורמטיקה ואפיגנטיקה, למידת מכונה להפרעות התפתחותיות, הנדסה בירופואית ו־Geometric Machine Learning, ממשקי מוח־מחשב (החל מהיבטים של חומרה ותשתיות דרך סימולציות תאורטיות ועד יישומים קליניים בתחומי הפסיכיאטריה והנירולוגיה) ועד פיתוחי רובטיקה לשימושים רפואיים.

פרק זה מתמקד בשלושה כיוונים לשילוב בינה מלאכותית במחקר הבירופואי: מאגרי מידע רפואיים; ניבוי מבני חלבונים ופיתוח תרופות; וממשקי מוח־מחשב. תחומים אלה מייצגים כמובן חלק קטן בלבד מהשימושים האפשריים בבינה מלאכותית בבירופואה.

מאגרי מידע רפואיים

אחד האתגרים הגדולים של הרפואה המודרנית הוא ניתוח כמות הנתונים העצומה שנאספת במאגרי המידע של מערכות הבריאות השונות. לישראל יתרונות ייחודיים שעשויים להפוך אותה לשחקן מרכזי בזירה המחקרית והיישומית של ניתוח מאגרי מידע רפואיים באמצעות בינה מלאכותית. יתרונות אלה נובעים בין היתר מהיותה מדינה קטנה שבה המידע הרפואי מרוכז במספר קטן של קופות חולים ובתי

87 לדוגמה, תוכנית ות"ת לשש מלגות דר־שנתיות של 120 אלף דולר לעידוד עמיתי בתר־דוקטורט מצטיינים בבינה מלאכותית ובמדעי הנתונים.

88 דוח מבקר המדינה 2024, היערכות הלאומית בתחום הבינה המלאכותית, עמוד 29. ראו דיון מורחב בעניין בפרק "תשתיות מחקר".

חולים. בחלק מקופות החולים זהו מידע על מיליוני תיקים רפואיים הנצבר עשרות שנים בפורמט דיגיטלי. מאגרי מידע אלו כוללים על פי רוב מידע רפואי מגוון ורחב: תוצאות של בדיקות מעבדה, תוצאות של דימות רפואי ופענוחים, רישומים רפואיים, נתונים גנטיים, נתוני פתולוגיה מבנק הרקמות, מידע על אורח חיים, על אבחנות ועל תרופות.

מערכות הבינה המלאכותית הקיימות כיום ברפואה מסוגלות לעבד מידע עצום בזמן קצר, להצליב נתונים ולהפיק תובנות במהירות חסרת תקדים. ניתוח נתונים זה חשוב והכרחי, וביכולתו לסייע במתן אינדיקציות, בזיהוי מוקדם של מחלות, בהתאמה של טיפולים ואף בחיזוי מגמות בריאות ברמת הפרט וברמת האוכלוסייה.

כבר היום מוסדות מחקר שונים בישראל מפתחים פתרונות טכנולוגיים מתקדמים בכלי בינה מלאכותית לניתוח נתונים רפואיים, לפענוח של דימות רפואי, לחיזוי מחלות ולפיתוח תרופות. לדוגמה, המיזמים [פסיפס⁸⁹](#) ו-[10K](#), העוסקים באיסוף, בעיבוד ובניתוח של נתונים רפואיים בקנה מידה גדול כדי להתאים טיפול אישי ולחזות מצבים רפואיים, אך גם גופים עסקיים פרטיים כמו [מרכז מדע הנתונים של המרכז הרפואי ע"ש סוראסקי](#).

עם זאת הפערים הקיימים כיום באקדמיה הישראלית (שפורטו בפרק "תשתיות מחקר") בתחום זה עלולים לעכב את יכולתה של ישראל לשמור על מעמדה בחזית המחקר העולמי. ניתוח רחב היקף של מאגרי מידע רפואיים בכלי בינה מלאכותית דורש כוח מחשוב רב עוצמה. נכון להיום במענקי ISF לזוכים יחידים אין די כדי לממן את העלויות הנדרשות למימון הכוח החישובי הנדרש לניתוח מאגרי המידע, ואין בנמצא פתרון על-מוסדי שיספק לחוקרים ולחוקרות את התשתית הנדרשת. ניתוח תמונת המצב והצעות לשיפורה מופיעים בפרק "תשתיות מחקר".

זאת ועוד, למרות המידע הרב הקיים במאגרים הרפואיים בישראל, חוקרים באקדמיה מתקשים להגיע לנתונים אלו בשל מגבלות רגולטוריות ואתיות ובשל קשיים בירוקרטיים.⁹⁰ קופות החולים ובתי החולים, המחזיקים במידע רב (בזכות תמיכה ממשלתית), רואים בו נכס אסטרטגי וכלכלי ואינם ששים לחלוק אותו עם חוקרים מהאקדמיה. גם כאשר יש נכונות לשיתוף פעולה, החוקרים נאלצים לקיים משא ומתן פרטני עם כל גוף המחזיק נתונים, והדבר מעכב ומגביל את היכולת לערוך מחקר רחב היקף. כדי להתגבר על קושי זה יש לבחון מנגנוני אסדרה כגון הרחבת חוק חופש המידע כך שיאפשר לחוקרים גישה למידע רפואי מותאם, וייצור מנגנוני תגמול למוסדות המוכנים לשתף את הנתונים שבידיהם.

ניבוי מבנה חלבונים ופיתוח תרופות

גם בתחום הפיתוח של מבני חלבונים ותרופות יש למערכות הבינה המלאכותית השפעה ברורה. טכנולוגיות מבוססות בינה מלאכותית מאפשרות לחזות את המבנים המרחביים של חלבונים ברזולוציה גבוהה – ובכלל זה ניבוי של מבנים שאי אפשר לחזות כיום בדרך ניסיונית אחרת⁹¹ – ובכך מסייעות לתהליך הפיתוח של תרופות חדשות ומייעלות אותו.

89 פרויקט "פסיפס" הורחב לשנתיים נוספות – עד שנת 2027 – אולם עתיד הפרויקט, ובייחוד שימור המידע הרב שנצבר בו, אינו ברור.

90 ראו [המדיניות של ישראל בנוגע לרגולציה ואתיקה](#) בתחום השימוש בבינה מלאכותית. משרד החדשנות המדע והטכנולוגיה.

91 לדוגמה, ניבוי מבנים של חלבונים שאי אפשר לפתור בדרך ניסיונית כמו דיפרקציה של גבישים או Cryo-EM בגלל מורכבותם או אי-יציבותם.

הפיתוח החשוב ביותר בשנים האחרונות בתחום זה הוא מודל AlphaFold 3, המאפשר לנבא מבנים של חלבונים בדיוק רב מאוד ובמהירות חסרת תקדים. באמצעות מודל זה אפשר לזהות את מבנה החלבונים הקשורים למחלות שונות ולמצוא אתרי קישור פוטנציאליים לתרופות חדשות. רק חלק ממערכות המחשוב (clusters) הנמצאות כיום באוניברסיטאות מסוגלות לתמוך ב־AlphaFold 3. יתרה מזו, אף שהמודל הוא קוד פתוח ונגיש לכולם, רבים מהחוקרים באקדמיה אינם מכירים את יכולותיו או אין להם הכישרים הנדרשים כדי להשתמש בו ביעילות לטובת קידום המחקר שלהם. לשם הגברת השימוש במודל נדרשים הכשרה ייעודית, מערך תמיכה טכנית והדרכה, שיאפשרו לחברי סגל ולסטודנטים להשתמש בו, או בדומים לו, במחקריהם. בשיחות עם מומחים מהאקדמיה הוצע לממן חברה חיצונית (או כוח אדם ייעודי מיומן) שתעבור בין המוסדות המעוניינים, תתקין את הקוד הפתוח של AlphaFold 3, תדריך את החוקרים ותינתן תמיכה לאורך זמן למערכות המחשוב. כצעד ראשון מומלץ לבצע מיפוי מקיף של תשתיות המחשוב והמשאבים האנושיים הקיימים ביחידות המחשוב של המוסדות האקדמיים. איסוף מידע שיטתי זה יאפשר לגבש תוכנית מותאמת שתענה על הצרכים הספציפיים של כל מוסד, ותבטיח ניצול מיטבי של המשאבים הקיימים. נציין כי מחשב־העל שמקימה במודיעין הרשות לחדשנות אמור להקצות רק כ־300 GPU לשימוש האקדמיה. כוח מחשוב זה אינו עונה על הדרישה ההולכת וגדלה כל העת. לדוגמה, סריקה של חלבון מטרה אחד ממאגר של מיליון מולקולות באמצעות התוכנה AlphaFold 3 דורשת GPU A100/H100 80 GB, המאפשר סריקה של אלפי עד עשרות אלפי מולקולות ביום. סריקת ספרייה אחת של מיליון מולקולות יכולה להעסיק את המחשב ברציפות 20–200 יום. נציין כי המחשב החדש אומנם ישתמש במעבדים חדישים יותר, ולכן זמן העבודה צפוי להיות קצר יותר, אך עדיין צפוי מחסור בכוח החישוב לכלל הצרכים האקדמיים.

הצעה זו קשורה לקושי הבסיסי השני בחשיבותו בקידום בינה מלאכותית: המחסור בכוח אדם מקצועי איכותי להפעלה ולניהול של תשתיות מחשוב במרכזי המחקר לקידום מדעי הנתונים באוניברסיטאות. כיום קשה לשמר כוח אדם איכותי באקדמיה שכן התעשייה מציעה תנאי העסקה אטרקטיביים הרבה יותר. כדי להתמודד עם סוגיית כוח האדם, פרסמה ות"ת בשנה שעברה (2024) קול קורא לאוניברסיטאות לתמיכה של 50% בהעסקת איש מדע הנתונים.⁹² חמשת המוסדות שענו לקול הקורא קיבלו את התמיכה המבוקשת. שאר המוסדות לא הגישו מועמדות.

עם זאת המגבלה הטכנולוגית והראשונה בחשיבותה, גם בתחום החלבונים ופיתוח התרופות, נותרה הצורך בתשתיות מחשוב. משום המחסור במשאבים באקדמיה לעיתים חוקרים פונים לחברות כמו Meta, Nvidia, ומיקרוסופט בבקשה להשתמש במשאבי המחשוב שברשותם. בהקשר זה החוקרים סבורים שיש לפתח ולחזק את שיתופי הפעולה בין האקדמיה לתעשייה: אם החברות המסחריות ישתפו אותם באתגריהן הם יוכלו מחד גיסא לקדם את מחקרם ומאידך גיסא לתרום רבות לתעשייה. שיתופי פעולה אלה נמנעים בדרך כלל בשל סודיות מסחרית או סוגיות של קניין רוחני וסוגיות משפטיות אחרות. חוקרים בתחום הציעו להקים מנגנון שיאפשר לחברות מסחריות לשתף באתגריהן באופן שלא יסכן את הקניין הרוחני שלהן. למשל, קיום אֶקְטוֹנִים⁹³ לדיון בבעיות לא פתורות של התעשייה. יוזמות אלו יכולות להוביל לשיתופי פעולה מעניינים ופוריים, שיקדמו הן את החזית המחקרית הן את הפיתוח בתעשייה.

92 תוכנית ות"ת לתמיכה באוניברסיטאות המחקר בגיוס ובהעסקה של כוח אדם מקצועי איכותי שיפעיל את תשתיות המחשוב במרכזי המחקר העוסקים בקידום מדעי הנתונים.

93 מרתונים של תכנות שמשותפות בהן קבוצות קטנות של אנשי טכנולוגיה ופיתוח ואנשי מוצר ותוכן.

יש הסכמה בין החוקרים כי לאקדמיה אין יתרון על החברות הגדולות בפיתוח המודלים, כי אם בשימוש בהם לפתרון בעיות מדעיות חדשות. לאקדמיה יכולות מחקר בין-תחומיות שמעניקות יתרון ניכר. למשל, שילוב הידע הקיים באוניברסיטאות בין תחומי הביולוגיה והכימיה במחקר של מבני חלבונים בעזרת AlphaFold 3 עשוי להביא תובנות חדשות בפיתוח תרופות.

ממשקי מוח-מכונה (Brain-Computer Interface)

ממשקי מוח-מכונה (BCI—Brain-Computer Interface) הוא תחום מחקר מתפתח, שבו מפותחים מכשירים ומחשבים המתממשקים ישירות אל המוח כדי לשפר את התפקוד של בני אדם במגוון רחב של היבטים. בטכנולוגיות חדשניות אלו סוגים שונים של חיישנים (פולשניים ולא פולשניים) אוספים נתונים מהמוח. הנתונים מועברים למודלים של בינה מלאכותית לעיבוד ולניתוח. מתפתחות טכנולוגיות המאפשרות שליטה ישירה במכשירים חיצוניים בעזרת פעילות מוחית בלבד. בישראל פעילות כמה קבוצות מחקר העוסקות בהיבטים שונים של שימושי בינה מלאכותית בממשק מוח-מכונה ומפתחות ממשקים מסוג זה. גם בתחום זה יש גורמים המעכבים את התקדמותו המדעית והטכנולוגית באקדמיה. גם כאן המחסור הרב בתשתיות חישוביות חזקות הוא אחד המכשולים העיקריים בקידום המחקר בתחום. הפער הגדול בין מוסדות מחקר בישראל ומוסדות מחקר מובילים בעולם מבחינת יכולות חישוביות מגביל את היכולת לעבד כמויות גדולות של נתונים מוחיים ולהפעיל עליהם מודלים מתקדמים של בינה מלאכותית.

שני גורמים בולטים נוספים המעכבים את קידום המחקר קשורים לקושי בפיתוח חומרה המותאמת למחקרי מוח-מכונה המשלבים טכנולוגיות מדידה פולשניות. הראשון נוגע לכלי המדידה: אף שהמדידה הפולשנית היא מדויקת יותר, כלי המדידה שיש כיום (כגון EEG) מוגבלים ביותר ואינם מאפשרים מדידה יציבה וממושכת מחוץ לסביבה קלינית. בישראל קיים מחסור ביכולות הפיתוח והייצור של אלקטרודות מתקדמות וגמישות למדידה "רטובה" (electronics flexible) מכיוון שאין תשתיות מספקות לפיתוח חומרה מתוחכמת כזו. יש אפוא לקדם את תחום הטכנולוגיות הפולשניות ולהקים מרכזי מחקר מוח במימון ממשלתי ובתמיכה של קרנות מחקר.

הגורם המעכב השני הוא מחסור בשיתופי פעולה בין חוקרים מתחום הנירוביולוגיה, ההנדסה ולמידת המכונה – שלושה תחומי ידע שהכשרתם נפרדת כיום ואינה מספקת את הידע הרב-תחומי הדרוש לפיתוח טכנולוגיות מוח-מכונה. תוכניות הלימוד לסטודנטים הקיימות כיום בתחומים אלו אינן מקנות ניסיון מעשי מספק, ולכן הקמת גופים או השתלמויות לחוקרים בשימושי בינה מלאכותית בתחומי הביולוגיה והרפואה, לרבות תוכניות לימודים שישלבו ידע בביולוגיה או ברפואה עם מיומנויות מחשוב מתקדמות, יכולה לסייע ביצירת שיתופי פעולה שיקדמו במידה ניכרת את המחקר בתחום.

גם כאן ייתכן שהבנת מוח האדם באמצעות בינה מלאכותית בשילוב אמצעי הדמיה כגון Functional MRI תתעלה על המדידות הפולשניות. עם זאת חשוב לציין כי ניכר חשש בקרב הקהילה האקדמית מפני פיתוח לא מבוקר של בינה מלאכותית המחקה את מוח האדם (Superintelligent AI). ג'פרי הינטון, למשל, אחד ממייסדי הבינה המלאכותית, העלה חששות מאובדן שליטה ומהשלכות בלתי צפויות של התחום. ככלל, פיתוחי בינה רבים, בייחוד אלו הנוגעים לדימוי מוח האדם, חייבים להיות מלווים במערך אתי שיתריע בטרם עת מפני הסכנות שבהם.

מחקר בידי רופאים

רופאים-חוקרים הם רופאים שעורכים מחקר מדעי, בסיסי או יישומי, נוסף על עבודתם הקלינית. רופאים-חוקרים משלבים עבודה קלינית ומחקר מדעי, שילוב בעל ערך רב למערכת הבריאות ולמדע. הם תורמים לשיפור איכות הטיפול הרפואי בזכות היכרותם עם חידושים מדעיים וטכנולוגיים ומנגישים ידע חדשני לצוות הרפואי. רופאים-חוקרים גם משפרים את איכות הכשרת הסטודנטים לרפואה והמתמחים מאחר שביכולתם להסביר את הבסיס המדעי של שיטות האבחון והטיפול ולפתח חשיבה ביקורתית. בד בבד פעילותם תורמת למחקר המדעי בהרחבת היקף המחקר ובהעשרתו בהיבטים קליניים, ומסייעת בכך בגישור בין המחקר הבסיסי לבין צורכי הרפואה המעשית. שילוב זה מקדם תהליכים של תרגום ידע מדעי לפיתוחים רפואיים, ואלה תורמים הן לאיכות הטיפול הן לתעשייה הישראלית.

למרות תרומתם הרבה של רופאים בישראל המשלבים בין קליניקה למחקר, אתגרים רבים מעכבים את ביצוע מחקריהם, והתוצאה היא תת-מיצוי של התחום, כפי שכבר צוין בדוחות האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים משנת 2019 ו-2022.

בעקבות המסקנות של דו"ח המדע 2022 הוקם פורום של 24 רופאים-חוקרים צעירים מכלל המרכזים הרפואיים ובתי הספר לרפואה. הפורום הציע שילוב של פעולות לשדרוג המגזר של רופאי-חוקר ואלה עיקרן:⁹⁴

- הגדרת מגזר זה כמגזר נפרד והשוואת התנאים של רופאי-חוקר, לפחות חלקית, לאלה של חוקר במוסד אקדמי בישראל. הפורום הציע הקצאה של כ-200 תקני רופאי-חוקר בהדרגה, כל תקן משותף לאוניברסיטה ולמוסד רפואי.
- מתן תמריצים לרופאים-חוקרים: תמריצים כלכליים אשר יפטרו רופאים-חוקרים מהצורך בעבודות צדדיות ויאפשרו להם להשקיע חלק ניכר מזמנם במחקר (זמן שמור למחקר).
- מתן תמריצים לפעילותם המחקרית והאקדמית של רופאים-חוקרים, לרבות עדיפות לרופאים-חוקרים במשרות ניהול בבית החולים.
- מתן תמריצים לבתי החולים לפתח את המגזר הזה בשלבים שונים ובאמצעים שונים, בראש ובראשונה בהשוואת תמריצי ות"ת על מענקים, פרסום מאמרים והדרכת תלמידי מחקר, ובעיקר ביצירת תקנים ייעודיים לרופאי-חוקר.
- יצירת מדרג של הכשרה ופיתוח של רופאים-חוקרים: הכשרת תלמידי רפואה בסיוע מלגות מחקר, יצירת תקני התמחות מחקרית, תמיכה בצורך להקים מעבדות ולבסס תנאי עבודה לקריירה של רופאי-חוקר בישראל.

מסקנות הפורום הוצגו למובילי מדיניות בתחום של רופאים-חוקרים, לרבות יו"ר ות"ת ויו"ר הקרן הלאומית למדע. חלק ממסקנותיו כבר יושמו בתוכנית "מבריא": מתן 25 מענקי מחקר בשנה לרופאים-חוקרים בסדרי גודל של 700 אלף ש"ח למענק במשך ארבע או חמש שנים; מענקים של Startup funding לרופאי-חוקר להקמת מעבדות בבתי החולים ולעבודה מחקרית של חמש שנים (ללא תשלום לבתי חולים על

94 מסמך עמדה, האתגרים וההזדמנויות בקידום רופאים-חוקרים במדינת ישראל, האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, 2025.

זמן שמור למחקר); ומתן מלגות לעמיתי בתר־דוקטורט בישראל אשר יאפשר לסטודנטים בעלי הכשרה מחקרית לעסוק חלקית גם בעבודה קלינית.

נוסף על תוכנית "מבריא" ועל פי המלצות פורום הצעירים נפתחה תוכנית להשתלמות מחקרית של ההסתדרות הרפואית (הר"י) להכשרת רופאים־חוקרים. 50% מהכסף לתוכנית יגיע מוות"ת (מיליארד ש"ח), ו־50% מגורמים פילנתרופיים. בשלב זה, על פי החלטת הר"י, החל פיילוט בנוירולוגיה ובאונקולוגיה. כמו כן יצא קול קורא למימון 5–6 תקני רופאים־חוקרים המשולבים במוסד רפואי ובמוסד אקדמי בכל שנה עד 2028 (מימוש התוכנית החל, ובשנה הנוכחית נבחרו חמישה רופאים־חוקרים). שילוב זה עשוי לאפשר גם העברת תגמולי ות"ת למוסד רפואי שאליו משויך התקן לרופא־חוקר, עניין שמהווה קושי מרכזי לפי דו"ח המדע ופורום הצעירים.

חידושים אלה נתנו מענה לחלק מהקשיים העיקריים שהועלו בעבודת הפורום, אך עדיין נותרו נושאים הממתינים לקידום:

- קידום פעולות להגברת המוטיבציה של רופאים להשתלב במסלולי רופא־חוקר בעידוד הנהלות בתי החולים והאוניברסיטאות שאליהם הם מסונפים.
- מתן תמריצים לבתי החולים לפתח את מגזר הרופאים־חוקרים בשלבים שונים של הקריירה ובאמצעים שונים, ובראשם מתן תמריצי ות"ת על מענקים, פרסום מאמרים והדרכת תלמידי מחקר. למדיניות זו, הנוגעת למגזר רופאים מצומצם וזניח מבחינה מספרית בהשוואה לכלל האקדמיה, אין בעצם עלות תקציבית משמעותית נוספת, והיא צפויה להמריץ את המוסדות הרפואיים והאקדמיים הרלוונטיים לבקש תקנים משולבים ומימון למשרות משולבות במימון המל"ג.
- עידוד ומלגות לסטודנטים במסלול MD-PhD בכל בתי הספר לרפואה בארץ ואפשרויות להמשיך את ההכשרה המחקרית גם בתקופת ההתמחות, כהרחבה של הפיילוט שאישרה המועצה המדעית של ההסתדרות הרפואית להתמחות מחקרית־קלינית.
- תגבור מענקים לפיתוח קריירה של רופא־חוקר המכסים זמן שמור למחקר ומימון לפעילות מחקרית, בדומה לתוכנית "אופק" של הדסה ותוכנית "תלפיות" של שיבא.
- מתן תגמולי שכר לרופאים־חוקרים על פי הישגיהם המדעיים באופן שיצמצם פערי שכר בין קלינאים הזמינים לעבודה משלימה ובין רופאים־חוקרים שאינם זמינים להשתכרות מעבודה קלינית משלימה.
- קידום מועדף של רופאים־חוקרים למשרות ניהול בבתי חולים אקדמיים. העדפה כזאת תגביר מאוד את המוטיבציה של רופאים־חוקרים לעסוק במחקר.

עדכון מימון מענקי המחקר

- הקמת ועדה משותפת בהובלת האקדמיה הלאומית למדע ובשיתוף הקרן הלאומית למדע ושותפים נוספים לבחינת התאמת עלויות תשומות המחקר לגובה מענקי המחקר בתחומים השונים.

קידום מחקר ביורפואי בכלי בינה מלאכותית

- **הקמת מחשב-על לשימוש האקדמיה הישראלית** (כמפורט בפרק "תשתיות מחקר"). השקעה בתשתיות מחשוב ובכוח אדם ייעודי לתפעולן ולתחזוקתן היא הכרחית לקידום המחקר ולשמירה על מעמדה של ישראל בחזית המחקר הביורפואי העולמי.
- **טיפול דור חדש של חוקרים בעלי הכשרה רב-תחומית** באמצעות פיתוח תוכניות לימודים אקדמיות המשלבות ידע ביולוגי ורפואי ומיומנויות בשימוש בכלי בינה מלאכותית, לרבות בתחומי הנירוביולוגיה וההנדסה.
- **פיתוח מנגנוני תגמול למוסדות חוץ-אוניברסיטאיים** (למשל, קופות החולים) החולקים את המידע שברשותם עם גופי מחקר, ובפרט עידוד שיתופי פעולה בין מוסדות אלה לצורך **איגום מאגרי מידע רפואי** מגופים שונים.
- **קידום אסדרה והסדרת דרכי הגישה למאגרי מידע רפואיים** למטרות מחקר.
- **ביסוס מערך ליווי אתי מוסדי או רב-מוסדי** לשימושים של בינה מלאכותית העושה שימוש במאגרי נתונים רגישים.
- **מיפוי מקיף של תשתיות המחשוב והמשאבים האנושיים** הקיימים ביחידות המחשוב של המוסדות האקדמיים ויכולים בטווח הקצר לתמוך בשימוש ב-[AlphaFold 3](#) ובמודלי בינה מלאכותית רלוונטיים נוספים. בהמשך יש לגבש תוכנית שתענה על הצרכים הספציפיים של כל מוסד ותבטיח ניצול מיטבי של המשאבים הקיימים. כמו כן יש לשקול העסקת כוח אדם מיומן להתקנה, להדרכה ולתחזוקה.
- **חיזוק הקשרים בין האקדמיה לתעשייה** בתחום של פיתוח תרופות. חיזוק זה יאפשר לחברות בתעשייה לשתף חוקרים באקדמיה באתגרים באופן שלא יסכן את פיתוחיהן המסחריים.

קידום מחקר בידי רופאים

הקמת צוות מעקב לקידום רופאים חוקרים בשילוב ות"ת, משרד הבריאות וההסתדרות הרפואית. הצוות ידון ביישום המלצות דוח פורום הצעירים (יוני 2025) וייתן את הדעת על הנושאים הבאים:

- **חיזוק התמיכה המוסדית.** עידוד הנהלות בתי החולים והאוניברסיטאות לפתח מדיניות אקטיבית להגברת המוטיבציה של רופאים להשתלב במסלולי רופא-חוקר ומתן גיבוי מוסדי מלא למסלולים אלה. הטמעת מדיניות של קידום מועדף לרופאים-חוקרים למשרות ניהול בבתי חולים אקדמיים.
- **הטמעת מערכת תמריצים מוסדית.** יצירת מערכת תמריצים לבתי החולים לפיתוח מגזר הרופאים-החוקרים, הכוללת מתן תמריצי ות"ת על מענקי מחקר, על פרסום מאמרים מדעיים ועל הדרכת תלמידי מחקר.
- **צמצום פערי השכר.** יישום מערכת תגמולי שכר לרופאים-חוקרים המבוססת על הישגים מדעיים.
- **הרחבת התמיכה בדור העתיד.** הרחבת מערכת המלגות לסטודנטים במסלול MD-PhD בכל בתי הספר לרפואה.
- **הגדלת מספר מענקי המחקר לפיתוח קריירה של רופא-חוקר** המכסים זמן שמור למחקר ומימון לפעילות מחקרית.