

# בין המערכות 10



יוני 2021

יוצא לאור על ידי "מערכות", בית התוכן המקצועי של צה"ל לצבא ולביטחון לאומי

[www.maarachot.idf.il](http://www.maarachot.idf.il)

## תוכן עניינים:

איך חוקרים מלחמה? הרצאות הכנס לשמיעה / מערכת "מערכות" / 08.06.2021

מבצע "שומר החומות": ניתוח האסטרטגיה הצבאית והמלצות להמשך / עומרי דוסטרי /  
22.06.2021

ארגון מחדש של צוותי הקרב הרב־חיילים בצבא הודו / ד"ר אייל ברלוביץ' / 27.06.2021

סקירה: ביולוגיה סינתטית בשירות הביטחון / רס"ן איתי / 29.06.2021

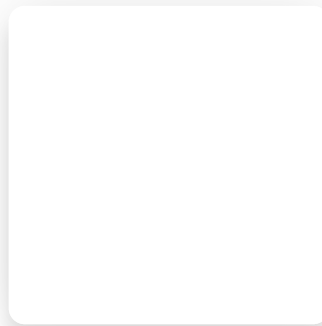
# איך חוקרים מלחמה? הרצאות הכנס לשמיעה

מערכת "מערכות", 08.06.2021

המחלקה להיסטוריה מחקר היסטוריה בר אילן מתודולוגיות

ב-6 באפריל 2021 התקיים בגלילות כנס מקוון משותף ל"מערכות", המחלקה להיסטוריה של צה"ל והמחלקה להיסטוריה כללית של אוניברסיטת בר-אילן תחת הכותרת "איך חוקרים מלחמה". הכנס עסק במגמות העכשוויות בחקר ההיסטוריה של צה"ל ומלחמות ישראל. להלן פודקאסטים כפי שהוקלטו בכנס לשמיעה חופשית מתי שתוצו

דברי הפתיחה בכנס "איך חוקרים מלחמה?" - ד"ר אלי מיכלסון  
הפודקאסטים של מערכות • מאי 2021  
מעקב



07:33









# מבצע "שומר החומות": ניתוח האסטרטגיה הצבאית והמלצות להמשך

עומר דוסטרי, חוקר במכון ירושלים לאסטרטגיה ולביטחון 22.06.2021

שומר החומות רצועת עזה טכנולוגיה

מבצע "שומר החומות" הוביל לפגיעה משמעותית ביכולות הצבאיות ובמערכי הפו"ש של החמאס והג'יהאד האסלאמי. עם זאת, כל עוד בוחרת ממשלת ישראל לשמור על מדיניות ההרתעה (תחת מעבר למדיניות הכרעה), על צה"ל להציע לדרג המדיני שינוי במסגרת המדיניות הקיימת



תקיפת כוחות זרוע היבשה של צה"ל כחלק מהתקיפה הנרחבת נגד רשת מנהרות הטרור ("המטרון") של חמאס. צילום: דו"ץ

מבצע "שומר החומות", שהתרחש במאי 2021 ונמשך 12 ימים, טמן בחובו חידושים מבצעיים והישגים צבאיים, אך גם לא מעט פערים מבצעיים ואף קיבעון תפיסתי מתמשך. במאמר זה אתמקד בניתוח הפן האסטרטגי הצבאי בלבד של המבצע, ללא התייחסות להיבט של ניהול המבצע והשלכותיו ברמת המדיניות והאסטרטגיה הלאומית. הניתוח במאמר ייעשה בהתאם למדיניות הממשלה וממשלות ישראל בעשור האחרון ביחס לרצועת עזה, ולפיה ישראל מיישמת מדיניות הרתעה ולא מדיניות של הכרעה. מטרת המאמר היא, אפוא, לא לבחון את המדיניות הישראלית הנוכחית או להציע חלופות לה, אלא לנתח את המבצע הצבאי בהקשר המציאותי של המדיניות הקיימת.

מטרות המבצע הוגדרו על-ידי הדרג המדיני כדלהלן: הנחתת "מכה קשה" על ארגוני הטרור, פגיעה ביכולותיהם והשבת השקט תוך ביסוס ההרתעה.<sup>1</sup> מתוך שלוש המטרות הללו, ניתן לומר במידה רבה של ביטחון כי הושגה בוודאות מטרה אחת - פגיעה ביכולותיהם של ארגוני הטרור, בדגש על חמאס והג'יהאד האסלאמי. את הטענה להשגת שתי המטרות האחרות יש לקבל בעירבון מוגבל.

צה"ל פגע באופן משמעותי ביכולות של חמאס, ובמידה מסוימת של הג'יהאד האסלאמי. תקיפות אלה לא רק שהחזירו את יכולות חמאס שנים אחורה, אלא שיפגעו במאמצי השיקום הצבאי של הארגון בעתיד הקרוב. ואולם, קשה להעריך עד כמה "קשה" המכה שקיבלו בחמאס באופן כללי, ולאילו טווח תשפיע. על סמך



ההיסטוריה והמבצעים הצבאיים מן העבר, ניתן להעריך כי השקט בעזה לא ימשך יותר משלוש שנים לכל היותר, וגם הערכה מופרזת זו תלויה בשאלת תחזוק ההרתעה, וברמתה.

## החידושים והשיפורים של צה"ל במבצע

במהלך המבצע הציג צה"ל חידושים ושיפורים שיש בהם כדי להעיד על השינויים הארגוניים והפנימיים שנעשו בצבא תחת תר"ש "תנופה" ועוד לפני כן בתר"ש "גדעון", ולסמן לאן מועדות פניו של הצבא בשנים הבאות.

**לחימה רב־זרועית.** צה"ל יישם במבצע את התפיסה הרב־זרועית שהוגדרה בשתי התר"שיות האחרונות. רוב הלחימה במבצע התנהלה בממד הטקטי במסגרת חמ"ל אוגדת עזה, שכלל את אנשי חיל האוויר, חילות היבשה, מודיעין ועוד, שתכללו את הפעילות בין הזרועות השונות. הממשקים הישירים בין הזרועות השונות והעצמאות של התאים השונים בחמ"ל, חסכו ביורוקרטיה צבאית מיותרת ובזבוז זמן מחד גיסא, והובילו ליצירת תיאום, סנכרון ואגבור בין הכוחות מאידך גיסא.<sup>2</sup>

**עומק מודיעיני.** במהלך המבצע הציג צה"ל עליונות מודיעינית מרשימה מול כמה איומים: בראש ובראשונה פרויקט רשת המנהרות של חמאס, שיגורי טילי נ"ט, מנהרות התקפיות ואיומים על תשתיות מצד זרועות הים, האוויר והסב"ר של חמאס. עומק המודיעין של צה"ל ואיכותו הפתיע את חמאס והוביל לפגיעות מהותיות ביכולותיו, לסיכול התקפות רבות שניסה ליזום ולסגירת מעגל מהירה ומדויקת נגד התוקפים. הישגי המודיעין מבוססים בין היתר על הפעולות שנעשו בשנים האחרונות בצה"ל, שמטרתן להנגיש ולבזר את המודיעין ככל

הניתן, עד המפקד בשטח, באמצעות הקמת תשתית קישורית דיגיטלית רב־זרועית. חלק מרכזי מכך היא מערכת צי"ד 750, שתפקידה להעביר מידע מודיעיני בזמן אמת ישירות מאגף המודיעין למפקדות ולחיילים בשטח, ולהוביל להפעלת אש באופן מדויק, תוך שימוש ביכולות רב־זרועיות. המפקד בשטח או במפקדה מקבל מידע כל הזמן ממספר רב של מערכות כמו אמצעי תצפית, כטב"מים, מכ"מים וחיישנים של זרועות האוויר, הים ואמ"ן. המטרה היא לאתר את המחבלים במהירות, להגדיר אותם כמטרות ולפגוע בהם בפרקי זמן קצרים.

**ניצול טכנולוגיה עלית מתקדמת.** צה"ל השתמש במבצע בטכנולוגיות של "נתוני עתק" ובינה מלאכותית על־מנת לייתר מידע מודיעיני. נוסף על כך, טכנולוגיות אלה אפשרו "התכה" של מידע מכמה סוגי חיישנים בשטח, לצד החומר המודיעיני שהיה קיים מראש במאגרי המידע של אמ"ן ושב"כ.<sup>3</sup> כך למשל, במבצע הופעל לראשונה בבסיס הרב־תחומי המתקן לייצור מטרות איכותיות בזמן אמת. במתקן פועלים מאות חוקרים והוא מרכז את כלל היכולות של אמ"ן, תוך שימוש בבינה מלאכותית, ובשתי"פ עם גופי המטכ"ל הרלוונטיים ופיקוד הדרום. במסגרת המבצע ייצרו במתקן מאות מטרות, בין היתר מטרות תת־קרקע, עמדות שיגור, מתחמים צבאיים, מבנים צבאיים, מחסני תקשורת, חמ"לים ובתי בכירים המשמשים כתשתית לחימה. עשרות רבות מתוך המטרות שיוצרו היו בורות שיגור של ירי תמ"ס שטרם נורו לעבר שטח ישראל ומשגרים רב קניים.<sup>4</sup>

**שימוש בתקיפות קינטיות נגד יעדים קיברנטיים.** צה"ל בחר במבצע לתקוף את איומי הסב"ר של חמאס בממד הקינטי והפיזי, ולא במסגרת לוחמת סב"ר. כך, הפציץ שני מבנים של יחידת הסב"ר של חמאס וכן אתר אחסנת ציוד סב"ר ומתחם מודיעין צבאי. במקביל, צה"ל חיסל שלושה פעילים ממערך הסב"ר של חמאס בדירת מסתור מבצעית, כולל ראש מערך הסב"ר של הארגון, ג'מעה טחלה. הבחירה בטקטיקת השמדה פיזית של תשתיות סב"ר של האויב, לא כל שכן השמדה של רוב התשתית, מהווה חידוש ביחס להתמודדות של מדינות וצבאות בעולם מול איומים בממד הסב"ר, שכן הלחימה נגד איומי סב"ר מתרחשת כמעט תמיד באמצעות הממד עצמו, בלוחמה סב"ר נגדית.

**תחבולה.** אחד הביטויים ל"קטלניות" של הצבא, כפי שניסה להטמיע זאת הרמטכ"ל, רא"ל אביב כוכבי, הן פעולות תחבולה, הונאה והטעיה של צה"ל נגד האויב. במבצע האחרון פעל צה"ל לפחות פעם אחת עיקרית באופן תחבולני, שמימש את תפיסת הרמטכ"ל - השמדת חלק מרכזי ברשת המנהרות של חמאס. גם אם התוכנית לא הוגדרה כהצלחה מלאה, יש לה השפעות מרכזיות על היכולות ועל האסטרטגיה של חמאס בעתיד הנראה לעין.



מטוס קרב F-15I רעם עם פצצות מונחות בהכנה לגיחת הפצצה. צילום: דו"ץ

## ההישגים המבצעיים של צה"ל במבצע

לצד החידושים והשיפורים ניתן למנות במבצע האחרון רשימה של הישגים מבצעיים של צה"ל, ברמת ההתקפה וההגנה. בהתקפה, מערך הסב"ר של חמאס מוטט כמעט לחלוטין, והכוח הימי הושמד. לצד זאת, צה"ל הפציץ עשרות חדרי פיקוד, מחסני אמל"ח, סדנאות ומפעלי ייצור ופיתוח. נוסף על כך, צה"ל הצליח לחסל את מח"ט עזה, ראש מערך הסב"ר, ראש מחלקת פיתוח, ראש מחלקת המהנדסים, ראש המחלקה הטכנית וראש מחלקת הציוד התעשייתי של חמאס. בג'האד האסלאמי חוסלו מפקד החטיבה הצפונית, ראש מערך הרקטות ובכיר נוסף במערך. על כל אלה יש להוסיף פגיעה בחמישה בנקים, 10 משרדי ממשל ו-11 מבנים של ביטחון הפנים של חמאס. הפגיעה הקשה ביותר מבחינת חמאס - השמדת מעל 100 קילומטרים של רשת המנהרות של הארגון.

בהגנה, הודות למידע המודיעיני המדויק, כשלו ארגוני הטרור בהובלת חמאס בניסיונותיהם החוזרים והנשנים ליישם תוכניות התקפה, זולת שיגורי רקטות ופצמ"רים ושני שיגורי טילים נ"ט. כמו כן סוכלו בהצלחה הפשיטות בתת-קרקע; שליחת כטב"מי נפץ (בין היתר במטרה לתקוף את אסדת הקידוח הימי "תמר"); נחיתת קומנדו ימי; צניחת כוחות מיוחדים; ותקיפה באמצעות צוללות אוטונומית זעירה. בד בבד, הצליחה "כיפת ברזל" לייטר רקטות ב-90% הצלחה.

## הפערים של צה"ל במבצע

לצד החידושים וההצלחות המבצעיים של צה"ל, עלו לא מעט חסרונות ופערים, חלקם מבצעיים וחלקם תפיסתיים.

**פערים ברמה התפיסתית.** צה"ל המשיך במתכונת הלחימה הקבועה שלו מסבבי לחימה קודמים, המבוססת על שיטת "מדרגות" הסלמה. שיטה זאת מאריכה את הלחימה שלא לצורך, מאפשרת לארגוני הטרור זמן הסתגלות והתכוננות, גורמת לאיבוד השפעת הפתעה והלם אצל היריב ולא מאפשרת ליצור עוצמת אש מספיק חזקה ומרתיעה. אמנם - שלא כמו במבצעים ובסבבי הלחימה האחרונים - צה"ל תקף כבר למן ההתחלה מגדלי מגורים עוסקים המשמשים את פעולות הטרור של חמאס. ואולם, הקצב הגבוה שאיתו פתח צה"ל הוגבל בתוכנית "המדרגות", ולא רק שלא התעצם ככל שחלפו הימים אלא דעך (למעט תקיפת רשת המנהרות של חמאס).

טעות תפיסתית נוספת נוגעת למטרות שהועמדו לתקיפה. במקום להמשיך ולהפיל מגדלים נוספים (ואף כמה במקביל), החל בצה"ל להפציץ בתים של בכירי חמאס. אמנם להשמדה של חלק ניכר מן הבתים האלה הייתה תכלית מבצעית ולא רק הרתעתית, שכן בחלק מבתים אלה אוחסנו אמל"ח וחלק אחר מהם היה מרכז מבצעי או מרכז פיקוד ושליטה של חמאס. ואולם, נדמה כי התכלית המבצעית הייתה משנית לתכלית ההרתעתית, שהרי רוב האמל"ח המרכזיים של חמאס לא מוחזקים בבתי בכירים אלא במקומות מסתור. כך שאם רצה צה"ל להרתיע את חמאס ואת בכיריו, הרי שהתמקד במטרות משניות. גם חיסול מחבלים זוטרים, ודאי לא בכמות נמוכה של עשרות או מאות בודדות, לא היה פגיעה הרתעתית. לחיסולים אלה יש תכלית מבצעית מהותית, שכן מדובר למעשה בסיכול של פעילי טרור שתקפו את ישראל או שעמדו לתקוף אותה, אך ספק אם יש בה כדי להרתיע את חמאס.

**פערים ברמה המבצעית.** במבצע האחרון, כמו באלה שקדמו לו, לא הצליחו בצה"ל לסכל ולהשמיד את מערך שיגור הרקטות והטילים באופן מובהק. חלק ניכר מן הנשק האסטרטגי העיקרי של צבאות הטרור העזתיים עדיין שמיש. נוסף על כך, בצה"ל לא הצליחו לחסל את מי מבכירי שורת ההנהגה הצבאית או המדינית של חמאס (ובמידה מסוימת גם בג'האד האסלאמי, למעט מפקד החטיבה הצפונית). הסיבות לכך יכולות להגיע מפער מודיעיני, מפער של מימוש של חיל האוויר או מחשש מפגיעה בבלתי מעורבים. לדעתי, על-מנת להתמודד עם הפערים האלה נדרש צה"ל להשתמש בתמרון יבשתי, או לפחות בכוחות מיוחדים על הקרקע במבצעי פשיטה כירורגיים.

**פערים משולבים ברמה המבצעית-תפיסתית.** ההרס של מעל מאה קילומטרים של מנהרות ברצועת עזה מהווה מצד אחד הישג מבצעי, אך מצד אחר ליקוי תפיסתי. השמדת רשת המנהרות מנעה מפעילי חמאס להסתתר בתווך התת-קרקעי ולפעול בתוכו ומתוכו, ופגעה באמל"ח ובתשתיות שנמצאו בתוך המנהרות. עם זאת, התוכנית להרס רשת המנהרות של חמאס הייתה אמורה להתבצע כשלב מקדים לכניסה קרקעית של כוחות צה"ל לתוך רצועת עזה, שהרי כל האסטרטגיה של חמאס בכל הקשור לתווך התת-קרקעי הייתה להפתיע את חיילי צה"ל במהלך תמרון יבשתי ברצועה ולהילחם בלחימה יבשתית נגדם. משזה לא קרה - ולא הייתה כל כוונה גם לפעול כך מראש - לפגיעה ברשת המנהרות הייתה בעיקר תכלית הרתעתית ותודעתית, בעוד שהתכלית המבצעית הייתה משנית.





## משרדים של המודיעין הצבאי של חמאס



### האסטרטגיה הצבאית ברצועת עזה - המלצות להמשך

כל עוד ממשלת ישראל בוחרת שלא להכריע את חמאס, ומכאן שלא להשתמש בכוחות היבשה בתוך רצועת עזה, ומעדיפה את מדיניות ההרתעה, על צה"ל להדגיש בפני הממשלה את הצורך והיכולת של הצבא להוביל לשיפור משמעותי במדיניות ההרתעה הקיימת, בהתבסס על הישגים וחיזוק ההרתעה במבצע האחרון. יש להמליץ לדרג המדיני אסטרטגיה צבאית הנכונה לעתות חירום ושגרה.

בחירום, ישראל צריכה להגיב צבאית נגד חמאס באופן משמעותי על כל פגיעה בריבונות ובביטחון אזרחי והמדינה מרצועת עזה. לא עוד הפצצת "עמדות תצפית" של חמאס לאחר שיגורי רקטות, אלא שורת הפצצות נגד מתקנים אסטרטגיים של חמאס או הג'האד האסלאמי, בדגש על מחסני רקטות ועל מפעלי פיתוח ואמצעי ייצור של רקטות. תגובות אלה צריכות להתקיים בין אם חמאס – או מי מטעמה – משגרת רקטות, ובין אם חמאס – או מי מטעמה – פועלת להפרחת בלוני ורחפני תבערה לעבר שטח ישראל, ומוביל להתפרעויות אלימות בסמוך לגדר המערכת. בשגרה, יש להמליץ על יישום של המב"ם כפי שהיא מנוהלת בסוריה ובמקומות נוספים במעגלים הקרובים והרחוקים. נוסף על כך, יש לפעול לסיכול בכירים בחמאס ובג'האד האסלאמי, כפי שהתרחש לפי מקורות זרים במקומות שונים בעולם בשנים האחרונות. זאת מתוך ההיגיון לשמר את הפגיעה המשמעותית ביכולותיה של חמאס, ולמנוע את התעצמותה. על צה"ל להמליץ על אסטרטגיה צבאית זאת לדרג המדיני, תוך שהוא מדגיש בפניו את הסיכויים להסלמה, אך בד בבד מתוך ביטחון ונחישות ליישם את האסטרטגיה הזאת גם במחיר של פתיחת סבב צבאי או מבצע צבאי נרחב.

מבצע "שומר החומות" הוביל לפגיעה משמעותית ביכולות הצבאיות ובמערכי הפו"ש של החמאס והג'האד האסלאמי. הצלחה זאת היא פועל יוצא של בניין הכוח והשינויים הארגוניים והמבניים שמומשו בצה"ל בשנים האחרונות, לנוכח שתי התר"שיות האחרונות. עם זאת, הפגיעה יכולה וצריכה הייתה להיות משמעותית הרבה יותר, ולהיעשות בפרק זמן קצר הרבה יותר מאשר ב־12 ימים. צה"ל פתח את המבצע עם תקיפות עוצמתיות יחסית בדמות התמקדות בהפלת רבי־קומות ובחיסולים ממוקדים של בכירים בדרג הביניים. ואולם, ככל שנמשך המבצע, צה"ל לא הצליח לשמור על עוצמת תקיפות גבוהה לאורך זמן, ובעיקר לא הצליח לחסל שורת בכירים מהדרג העליון בחמאס ובג'האד האסלאמי. נוסף על כך, המבצע חשף לא מעט ליקויים הנדרשים לשיפור לקראת המבצע הצבאי הבא שסביר להניח שיגיע בטווח זמן של שלוש שנים, בהערכה המפליגה ביותר. כל עוד בוחרת ממשלת ישראל לשמור על מדיניות ההרתעה (תחת מעבר למדיניות הכרעה), על צה"ל להציע לדרג המדיני שינוי במסגרת המדיניות הקיימת. שינוי זה צריך לכלול פעילות שוטפת במב"ם בעזה, ואישור "סל" תגובות צבאיות עוצמתי באופן משמעותי יותר מהשנים האחרונות, הן ברמת עוצמת אש, הן ברמת כמות ואיכות המטרות והיעדים.

## הערות

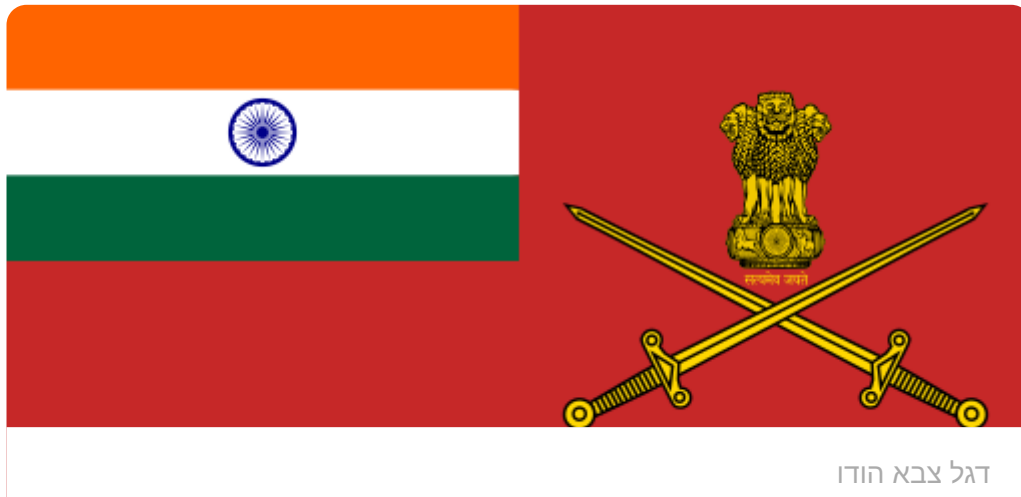
- [1] ראש הממשלה נתניהו בהצהרות משותפות לתקשורת עם שר הביטחון בני גנץ, הרמטכ"ל רא"ל אביב כוכבי וראש השב"כ נדב ארגמן; אתר **משרד ראש הממשלה**, 21 במאי 2021.
- [2] אורן דורי, "לחסל פעילי חמאס עם הרחפן ששיגרו: הצצה נדירה לחמ"ל התקיפות בעזה", **אן־12**, 20 במאי 2021.
- [3] רון בן ישי, "המטוסים באוויר, הביניים בסכנה: צה"ל הזהיר - וחמאס לא ירה את מטח הסיום למרכז", **וויינט**, 22 במאי 2021.
- [4] "הרמטכ"ל ביקר במפעל המייצר את מטרות האיכות בזמן אמת", אתר **צה"ל**, 20 במאי 2021.

# ארגון מחדש של צוותי הקרב הרב-חייליים בצבא הודו

ד"ר אייל ברלוביץ', רמ"ד מחקר צבאות זרים במחלקת מת"ת, זרוע היבשה 27.06.2021

צבא הודו      השתנות      צוות קרב רב-חיילי

צבא היבשה ההודי פיתח תוכנית רפורמה מקיפה שנועדה לתת מענה בגזרה מול פקיסטאן. ואולם, האיום העיקרי הוא סין. האם ניתן להעתיק פתרון מבצעי אחד לאויב אחר?



בינואר 2019 אימץ ראש המטה של צבא היבשה של הודו, גנרל ביפין רוואט,<sup>1</sup> תפיסה מבצעית ותורת לחימה חדשות. אימוץ המסמכים הללו יצר צורך לשנות את המבנה ואת הארגון של צוותי הקרב של צבא היבשה, כאשר השינוי הוא תוצאה של מחקר עומק שנערך בנושא בשנים האחרונות. במסגרת המחקר נעשו 12 מחקרי משנה, ונערכו ניסויים בשטחי האימון.<sup>2</sup> בשנת 2001 גובשה ככל הנראה התפיסה "התחלה קרה"<sup>3</sup> במסגרת העימות של הודו עם פקיסטאן. התפיסה נועדה לבנות את הכוח היבשתי של הודו, כך שיוכל להפתיע את הצבא הפקיסטאני בגבול הצפון-מערבי של המדינה.

התפיסה נוצרה משום שב-2001 נזקק צבא הודו לשלושה שבועות לערך כדי לגייס את גיס התקיפה שלו שכלל שלוש אוגדות משוריניות ויחידות מסייעות. באותו משך זמן גייס צבא פקיסטאן 300 אלף חיילים וקצינים שתפסו עמדות הגנה. הצבא ההודי איבד את ההפתעה האסטרטגית באותו אירוע, ולא יכול היה לממש את התוכנית המבצעית שלו. לאחר האירוע החל צבא הודו לפתח תפיסה שתאפשר לו לגייס כוח תקיפה במהירות. ב-2004 הקים יחידות תקיפה, מתחת לרמת הגיס, שנועדו לספק מענה מהיר וקטלני למקרה של עימות צבאי עם פקיסטאן. מדובר ביחידות חי"ר ממוכן, שריון וארטילריה בסיוע חיל אוויר. על-פי התפיסה, כוח התקיפה אמור לפעול סמוך לגבול הודו-פקיסטאן בתוך 72 שעות מרגע תחילת העימות. עוד במסגרת התפיסה הזאת, ההישגים הקרקעיים והמבצעיים הנדרשים ממנו מוגבלים, כדי שלא להסלים את העימות למלחמה בעצימות גבוהה שיכולה להידרדר למלחמה גרעינית.





לוחמים מצבאות ארצות־הברית והודו במהלך אימון, 2019

## עיקרי השינוי

השינוי במבנה יחידות התקיפה של צבא הודו ובארגון החל בכתיבת תורה חדשה בשנת 2018. התורה נועדה לתת מענה לעימות עם פקיסטאן במקרה של מלחמה מוגבלת. כחלק מתהליך כתיבת התורה נוסו ונבחנו כמה מבנים של הכוח הלוחם, כאשר המטרה הייתה ליצור מבנה ארגוני שיוכל להיות מופעל בצורה מהירה וקטלנית יותר. לאחר תקופת הניסויים והאימונים הוחלט לשנות את מבנה הכוח הלוחם של צבא הודו כך:

הגייסות ההודיים ימשיכו להיות מאורגנים על־פי המשימה העיקרית המיועדת להם במהלך עימות: גיס להגנה או גיס להתקפה. אחד הגייסות המיועדים לתקיפה יהיה לתגובה מהירה. יהיו בו צוותי קרב רב־חיליים (חי"ר, שריון, תותחנים, אוויר ולוגיסטיקה) שיוכלו לפעול באופן מיידי במקרה של עימות עם פקיסטאן (בגבול המזרחי), ובראייה לעתיד גם במקרה של מלחמה עם סין (בגבול המערבי). צוותי הקרב הרב־חיליים הללו יאפשרו לצבא ההודי תגובה מהירה באש והשגת הישגים מיידיים.

האוגדות החד־חיליות<sup>4</sup> בצבא היבשה ההודי יאורגנו מחדש כשלושה צוותי קרב משולבים,<sup>5</sup> ויחליפו את מבנה החטיבות הקיימות, משום שהמבנה הקיים של החטיבה אינו מאפשר הפעלה מהירה דיה. הרכב צוות הקרב ייקבע לפי המשימה שהוא מיועד למלא, ובראשו יהיה קצין בדרגת מייג'ור גנרל (מקביל לדרגת אלוף). צוותי הקרב המשולבים אמורים למנות בין 2,400-3,200 חיילים וקצינים. בכל צוות אורגני (כנראה) אמורים להיות הרכיבים האלה: חי"ר ממוכן או לא ממוכן; שריון; תותחנים; הנדסה; סיור; לוגיסטיקה; תקשוב; ומנהלה. צוות הקרב המשולב יהיה קטן יותר מהחטיבה שהוא מיועד להחליף. עם זאת, הוא יהיה מהיר יותר ממנה (בגיוס וביכולות התגובה שלו), משולב באופן אורגני, קטלני ועצמאי יותר ממנה.

ההרכב של צוות הקרב המשולב ייקבע על פי האיום: השטח שבו יילחם, המשימה שהוא צריך לבצע והמשאבים המוקצים לו.<sup>6</sup> כך, צוות לחימה משולב בגיס הגנה יתבסס על חיל רגלים, ואילו צוות לחימה משולב בגיס התקפה יבנה על כוחות שריון. אנשי הצבא השונים שהציגו את הרפורמה מדגישים שהמבנה של צוותי הקרב המשולבים אינו אמור להיות זהה, גם אם יש להם משימה זהה. כל אחד מצוותי הקרב המשולבים צריך להיות בעל יכולת לתקוף יעדים בעומק 50-80 ק"מ מהגבול בתוך 24 שעות לאחר התחלת העימות. לאחר השגת היעדים הללו כוחות עוקבים אמורים להרחיב את ההישג או לבסס אותו.



מפגש של חיילים מצבאות הודו וסין, 2020

## מסקנות ושאלות להמשך

השינוי בצבא היבשה של הודו נעשה באמצעות שינוי המבנה, הארגון ותורת הלחימה של הצבא בתוך תפיסה מבצעית קיימת. מטרת השינוי: ליצור את התנאים הטובים ביותר למימוש התפיסה הקיימת - גיוס והפעלה מהירה של צוותי הקרב המשולבים. מכאן עולה השאלה: האם שינוי התפיסה יוביל לשינוי ארגוני? חשוב לזכור כי האיום המרכזי על הודו הוא סין ולא פקיסטאן. ואולם, בניין הכוח ההודי מתייחס לפקיסטאן כאיום הייחוס. האם הארגון החדש של הכוח יתאים גם במלחמה עם סין? יתרה מכך, כיצד צבא היבשה של הודו יתמודד, אם יצטרך, עם איום משולב משתי המדינות?

גורם נוסף שלא השתנה הוא תפקיד הגייסות. למעשה, לפי התפיסה המקורית כל גיס מיוחד להגנה על שטח או להתקפה. ואולם הדיכטומיה הזאת אינה מתקיימת במציאות, משום שכל אחד מהגייסות אמור להיות מסוגל להגן על שטח (בין שהוא שטח כבוש ובין שהוא קו גבול) ולכבוש שטח חדש. כך נוצר מצב שהחלוקה הדיכטומית היא ערטילאית, במקרה הטוב, ואפשר להפך אותה במקרה הצורך, או במקרה אחר מהווה מגבלה מחשבתית ומבצעית על מפקדי הכוחות בשטח, ואינה מאפשרת להם לפעול על פי המצב הנתון, כפי שהם מבינים אותו. מבנה צוותי הקרב המשולבים וארגונם תלוי באיום הנשקף להם, בשטח שבו הם יילחמו, במשימה ובמשאבים שיוקצו להם. מכך עולות שתי בעיות: ראשית, צוותי הקרב המשולבים אמורים להיות מותאמים לשטח הררי (כמו בקשמיר או בסיקים) או מישורי ומדברי (כמו ברג'סטאן או בפונג'ב). התאמה זאת אומנם תשפר את היכולת של הכוח לפעול באזור שאליו הוא מיועד, אבל תפגע ביכולת לפרוס את אותה היחידה בסביבה אחרת. שנית, אי אפשר להשקיע בכל אחת מהיחידות את אותם המשאבים. משום כך, נוצר בידול בבניין הכוח: יחידות מסוימות, לרוב יחידות תגובה מהירה, ייהנו ממיטב המשאבים, ואילו ביחידות אחרות יושקעו פחות משאבים מה שיוביל לכך שלא יעמדו במדדים ובכשירות הנדרשת מהם. ההתמחות בגזרה מסוימת מעלה את השאלה אם לצבא הודו יש תוכנית שינוע של יחידות מגזרה לגזרה (דבר שיכול לארוך כמה ימים).

השינוי העיקרי במבנה ובארגון באוגדה ובחטיבה: האוגדה תפעיל כוחות רב-חילים אורגניים ולא חטיבות חד-חיליות שלהן היא מקצה נכסים ויכולות. בשל כך עולות השאלות הבאות:

1. האם המבנה והארגון של מפקדת האוגדה השתנה בהתאם לשינוי מבנה הכוח?
2. האם האוגדה רק מתאמת בין הכוחות או שהיא נחשבת עוצבה מתמרנת?
3. מה הם הנכסים שנשארים באוגדה?
4. כיצד תתעצב מערכת היחסים בין האוגדה לצוותי הקרב המשולבים לאחר שינוי המבנה?



החטיבה מתארגנת מחדש כצוות קרב משולב אורגני שנועד למלא משימה מסוימת. גם כאן עולות כמה שאלות:

\* מה יקרה אם צוות הקרב החדש יידרש לבצע משימה שהוא אינו ערוך לקראתה (משאבים, הכרת האיום וארגון הכוח)?

\* האם הגמישות של מפקד החטיבה תיפגע, מכיוון שהוא מתכונן רק למקרה אחד ייחודי?

\* איך מתמודדים עם שחיקה של כוח שמיועד למשימה אחת בלבד? האם אפשר להעביר כוח שיועד למשימה אחרת?

\* מהו הרכב המסגרת מתחת לרמת צוות הקרב המשולב גדוד רב־חילי או הרכב אחר?

התהליך שהתחולל בצבא הודו לשינוי המבנה והארגון של המסגרות המתמרנות, נועד ליצור תנאים לפעילות מהירה וקטלנית יותר של היחידות הללו. משמעות הדבר היא שינוי מבנה האוגדה והתאמת יחידותיה למשימות השונות. השאלות העולות בהקשר של תהליך זה קשורות לטווח הארוך ולגמישות של מפקדי הצבא במקרים שבהם האויב לא יפעל כפי שמצפים ממנו (סין לעומת פקיסטאן, או התקפה משולבת של שתיהן), או בדבר האפשרות להתאים יחידות למשימות אחרות מאלה שאליהן יועדו לכתחילה.

## הערות

[1] General Bipin Rawat

[2] במקביל לשינוי בארגון הכוח מתבצע תהליך של שינוי במבנה המפקדה בצבא הודו בכלל ובצבא היבשה שלה בפרט. אין ידועים לנו די פרטים כדי לכתוב סקירה בנושא זה.

[3] Cold Start Doctrine

[4] בכל גיס בצבא הודו שלוש אוגדות חי"ר ואוגדה משורינית. האוגדות מאורגנות כך: אוגדת חי"ר - כ־15 אלף חיילים וקצינים שתי חטיבות חי"ר (34 גדודי חי"ר בכל חטיבה), חטיבת ארטילריה, רגימנט הנדסה ורגימנט קשר. אוגדת שריון - שתי חטיבות שריון (3 רגימנטים של טנקים בכל אחת, 120 טנקים), חטיבת ארטילריה, רגימנט הנדסה ורגימנט קשר.

[5] Integrated Battle Group

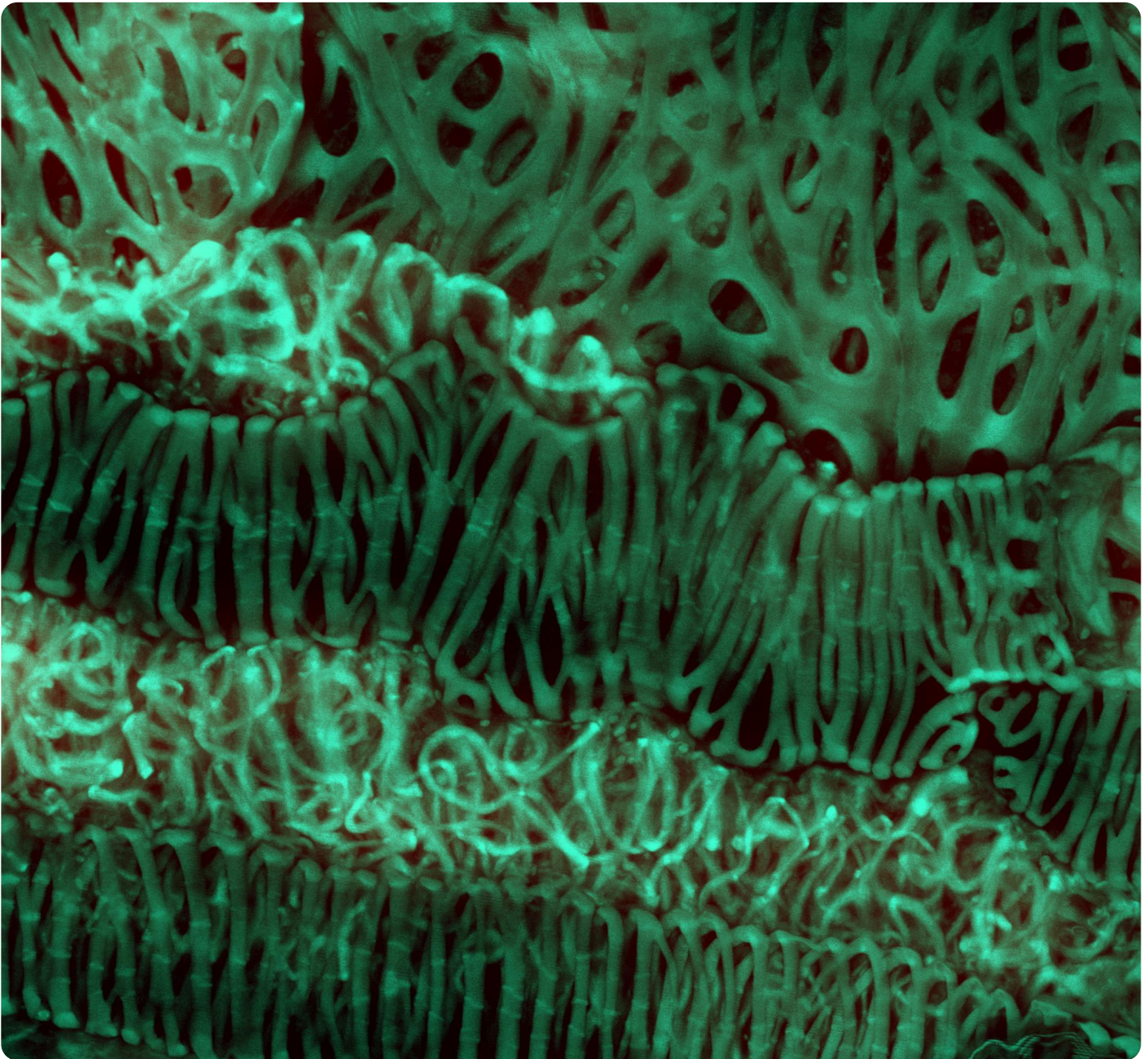
[6] TTTR - Threat, Terrain, Task and Resources

# סקירה: ביולוגיה סינתטית בשירות הביטחון

רס"ן איתי, מוקד ידע ביולוגיה, מפא"ת 29.06.2021

ביולוגיה סינתטית DARPA די"אן־איי איסוף מודיעין

בעקבות קפיצות מדרגה שחלו בעשור האחרון, טכנולוגיות בתחום הביולוגיה הסינתטית מציפות אפשרויות לפתרון בעיות רבות שנים בתחומי הרפואה, המזון ועוד. האם יש פוטנציאל ליצור הזדמנויות עבור מערכת הביטחון?



\* מתוך מו"פ ביטחוני בעולם (לקט עיתונות) דצמבר 2020-ינואר 2021 המנהל לפיתוח אמל"ח ותשתית טכנולוגית, משרד הביטחון

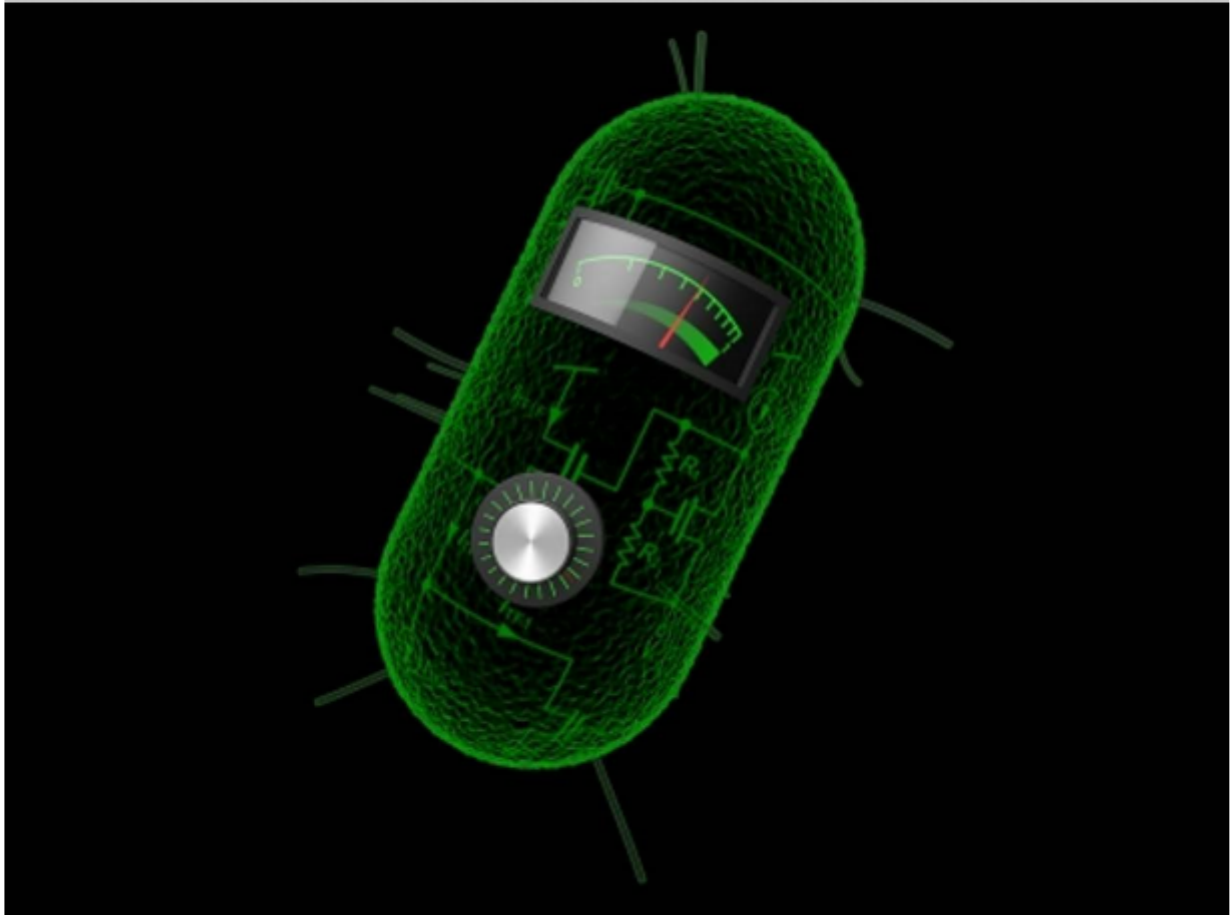
תחום הביולוגיה מאגד תחתיו את כלל ענפי המחקר העוסקים ביצורים החיים - מחיידק ועד אדם - ביחסי הגומלין ביניהם, בהרכבם ובאופן פעולתם. יתרונותיו המרכזיים הם: חישה ומודיעין; גישה לאתר מבלי להיות בו; שבירה של תקרות זכוכית והפתעה טכנולוגית; טיפול באדם והעצמתו; חיבוריות רשתית. מערכות ביולוגיות ניתנות לרתימה לצרכים בסיסיים שונים של המערכת האזרחית ושל מערכת הביטחון, בהם איסוף

מידע וניטור של הסביבה, לצד ייצור חומרים ומערכות עם ביצועים אולטרה־גבוהים. ביולוגיה סינתטית היא דיסציפלינה חדשה יחסית. על־פי ה־NIH (National Institutes of Health): "מדובר בתחום מדעי בו מעצבים מחדש אורגניזמים למטרות מועילות על־ידי הנדסה של תכונות חדשות עבורם". יש המרחיבים הגדרה זו גם לתת־מרכיביהם של האורגניזמים: חלבונים, תאים סינתטיים, מעגלים לוגיים גנטיים ועוד. ברמה המולקולרית, העושר הפונקציונלי, המגוון והמורכבות של אבני הבניין הביולוגיות מגיעים לביצועים מתוחכמים העולים בהרבה על הטכנולוגיות ההנדסיות הקיימות. חוקרים וחברות ביולוגיה סינתטית ברחבי העולם רותמים את הכוח של הטבע לפתרון בעיות ברפואה, בייצור ובחקלאות. קהילת החדשנות המרכזית בתחום, synbiobeta, מגדירה את הביולוגיה הסינתטית גישה הנדסית לביולוגיה. לדבריה, המטרה היא ליצור ולהשתמש בכלים המאפשרים לתכנן ולבנות פונקציות בתוך תאים. אין ספק כי השווקים המרכזיים בהם יפעלו טכנולוגיות הביולוגיה הסינתטית הם הרפואה והחקלאות, אך למערכת הביטחון צרכים ייחודיים משלה שהטכנולוגיות הביולוגיות החדשות יכולות לספק להם מענה, ואין סיבה שארגוני הביטחון לא ימנפו את הפריצות האזרחיות לטובתם, או לחילופין לא ייזהרו מהאיומים המתלווים לכל פיתוח של טכנולוגיה חדשה. במרבית ארגוני המו"פ הביטחוני, באופן טבעי, רב הנסתר על הגלוי. עם זאת, ניתן להבחין במספר מגמות ברורות.



Department of Defense  
RESEARCH & ENGINEERING

## TECHNICAL ASSESSMENT: SYNTHETIC BIOLOGY



Office of Technical Intelligence  
Office of the Assistant Secretary of Defense for  
Research & Engineering  
January 2015



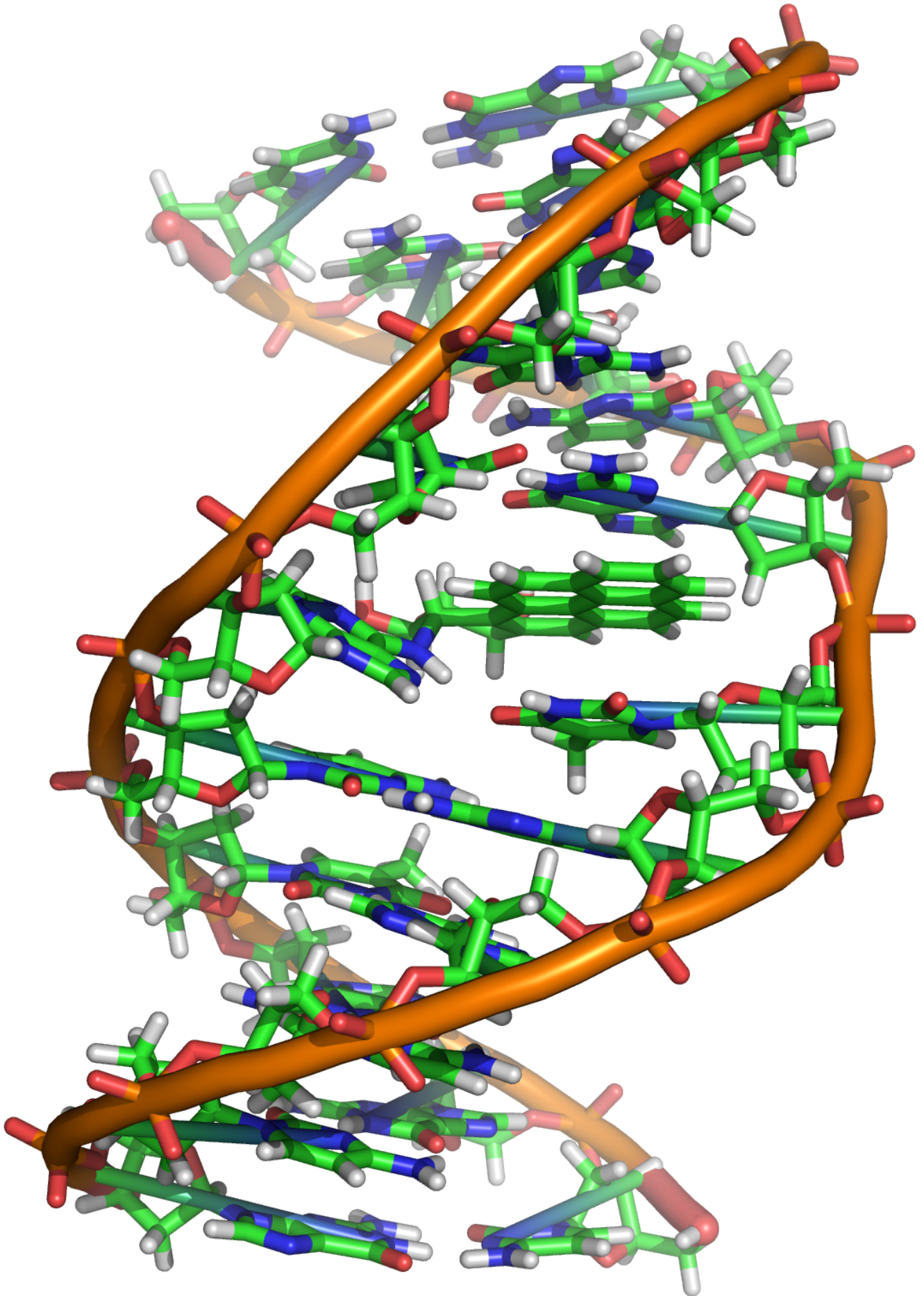
Distribution A: Approved for public release; distribution is unlimited

בינואר 2015 פורסמה בארצות־הברית **הערכה טכנולוגית לביולוגיה סינתטית** על ידי המשרד למודיעין טכנולוגי, הפועל תחת תת־מזכיר ההגנה לנושאי מחקר והנדסה. במסגרת העבודה נבחנו ההתפתחויות הפוטנציאליות מול צורכי מערכת הביטחון האמריקנית, תוך התחשבות בשיקולי תקצוב מגופים אזרחיים וממשלתיים אחרים. זאת, לצד חידוד הצרכים הייחודיים של מערכת הביטחון שאליהם ניתן למנף את הפיתוחים האזרחיים. בסקירה זוהו כמה תחומים מובילים ובהם חומרים מתקדמים בייצור ביולוגי, חישה ביולוגית (ביו־סנסורים) והגנה מטרור ביולוגי. בראיית כותבי המסמך יש יישומים רבים גם בתחומי הרפואה הצבאית וההעצמה האנושית, אך שם החידוד של הצורך הביטחוני מול האזרחי פחות מובהק וכמות ההשקעות צריכה להיות פחותה מאשר בתחומים האחרים. כמו כן, זוהו פער בכוח אדם מתאים בתוך מערכת הביטחון, בפרט בהתחשב בתקופת הלמידה הארוכה יחסית הנדרשת. לפיכך, הומלץ על הכשרה מיידית של מסה קריטית של כוח אדם על־מנת שיוכלו לתת מענה לצרכים העתידיים ולנהל את תוכניות המו"פ שיצמחו. ההכשרה יכולה להיות דרך גיוס מומחים בתחום לתוך מערכת הביטחון ולימוד הצרכים ושיטות העבודה בה, או באמצעות הכשרת אנשי מערכת הביטחון לתחומי מדעי החיים, דרך האקדמיות הצבאיות.

אף שהפוטנציאל הטכנולוגי מהווה בפני עצמו סיבה להגברה משמעותית של הפעילות בתחום, **מחקר עומק** הראה ש־43% מכספי ההשקעות בחברות סטארט־אפ בתחומי הביוטכנולוגיה בארצות־הברית מגיעים מסין, וכך גם מאמר שהתייחס למרוץ בתחום בין סין וארצות־הברית **בקהילת synbiobeta**. התגובה האמריקנית לתובנות הללו לא איחרה לבוא, וההשקעות בתחומי מדעי החיים עלו ברמת העדיפות הלאומית וקיבלו תשומת לב מיוחדת בכל האמור לפיקוח על השקעות מהמזרח במסגרת התוכנית האמריקנית להתמודדות עם ההתעצמות הסינית **Made in China 2025**. דגש נוסף בנושא מופיע בדוח אסטרטגי שפורסם בינואר האחרון על־ידי האקדמיה הלאומית למדעים, הנדסה ורפואה, במימון של המשרד למודיעין טכנולוגי - אותו המשרד שפרסם את עבודת המטה שהוזכרה לעיל, והובילה לשינוי פרדיגמה בהשקעות מחלקת ההגנה האמריקנית ב־2015. אחת ההשקעות הראשונות של DARPA, ארגון המו"פ הגדול ביותר בארצות־הברית בתחומי הביולוגיה הסינתטית הייתה דווקא בישראל בתחילת המילניום. התקציב הגיע לקבוצת מחקר באוניברסיטה העברית שעסקה בהנדסה גנטית של חיידקים לגילוי של מזהמים במים, לצד קבוצות מאוניברסיטת תל־אביב ואוניברסיטת בן־גוריון **שעסקו בתחומים משלימים**. מאז התפתחו כלים חדשים רבים, והפעילות הוסבה לגילוי חומרי נפץ. **המחקר פורץ הדרך** של האוניברסיטה העברית בהובלתו של פרופ' שמשון בלקין ובשיתוף המעבדות של פרופ' אהרון אגרנט ופרופ' עמוס נוסינוביץ' פורסם בשנת 2017 בכתב העת היוקרתי **Nature biotechnology**, והניב מערכת לזיהוי של TNT באמצעות חיידקים. החיידקים הונדסו להגיב בייצור חלבון פלואורוסנטי שהגיע במקור ממדוזות, בכל פעם שהם חשו בנוכחות של חומר הנפץ בסביבתם. האות הפלואורוסנטי הנפלט מהחיידקים ניתן למדידה מרחוק באמצעים אלקטרואופטיים, ובכך להעניק פתרון רגיש מאי פעם לכמויות מזעריות של חומר נפץ.

עד 2014 היו ל־DARPA חמישה משרדים טכנולוגיים: Defense sciences office, Information innovation office, Microsystems technology office, Strategic technology office & Tactical technology office. באפריל 2014, עשור לאחר ההשקעה במחקר הישראלי, הוקם המשרד השישי (והאחרון עד כה) – BTO (Biological technologies office). המשרד הפך במהרה לאחד הגדולים ביותר, עם תקציב של מאות מיליוני דולרים בשנה למו"פ בסיסי בתחומי הטכנולוגיות הביולוגיות. מאז ועד היום הותנעו במשרד זה **41 תוכניות פיתוח שונות** (ייתכן שיש תוכניות נוספות שקיומן לא פורסם בציבור הרחב) העוסקות בתחומי הרפואה, החישה, מדעי המוח, הנדסה גנטית, ייצור ביולוגי, מדעי הים, ייצור די־אן־איי, אנטומולוגיה, מדעי הצמח, דיאגנוסטיקה ועוד. תוכניות אלו תרמו רבות להתפתחות הביוטכנולוגיה בביטחון ובשוק האזרחי. לדוגמה, בתוכנית P3 (Pandemic Prevention Platform) קודמו במשך שנים רבות טכנולוגיות להתמודדות עם מגיפות מתפרצות ואיומים ביולוגיים. מטרת התוכנית המוצהרת הייתה לשלב יכולות ביו־אינפורמטיקה, ביולוגיה סינתטית ועוד, על־מנת להגיע למצב שבו תוך 60 יום מרגע הופעת גורם מחלה חדש נוכל לעצור את התפשטות המגיפה. אף־על־פי שהמטרה עדיין לא הושגה, במסגרת משבר הקורונה ראינו כיצד חברת "מודרנה" הובילה את המרוץ לחיסון, לא מעט בזכות השקעות רבות שקיבלו מ־DARPA בשנים קודמות שתרמו לפיתוח והבשלת הטכנולוגיה לחיסוני RNA. גם חברת אסטר־זניקה מעורבת בתוכנית הנ"ל, וחברות רבות אחרות בתחומי הדיאגנוסטיקה והתרופות.

בתוכנית "המפעלים החיים" הושקעו תקציבי עתק של מעל 100 מיליון דולר בהגברת יכולת הייצור הביולוגית של חומרים בעלי יישום ביטחוני. באוקטובר האחרון **פרסמו** DARPA וה־Navy במשותף על **ניסוי מוצלח בדלק טילים בצפיפות גבוהה ועלות נמוכה שיוצר בשיטות ביו־סינתטיות**. לפרסום קדמו מאמצים כבירים – **בשלב הראשון של התוכנית**, יעילות הייצור של מגוון חומרי מטרה שהוגדרו על־ידי משרד ההגנה הוגברה פי 7 והוזלה פי 4 ביחס לשיטות הקיימות. ב־2019 הושגה מטרת העל של ייצור מעל 1,000 מולקולות עניין ביטחוניות באמצעי ייצור ביולוגיים. גם נושא הבטיחות של הטכנולוגיות החדשות העסיק את הארגון רבות. במסגרת שתי תוכניות ענק - Safe Gene Control Systems and Biology ו־Control Systems and Biology - קודמו טכנולוגיות מגוונות המבטיחות שליטה בתוצרי ההנדסה הגנטית כך שיהיו בטוחים לשימוש והיו כפופים לשליטה ובקרה מדויקת. כך התאפשר למשל ליזום את תוכנית (Advanced Plant Technologies) APT, השואפת לפתח צמחים שיבצעו איסוף מודיעין וחישה של חומרי עניין, קרינה ואף אותות אלקטרו־מגנטיים באופן רציף ותמים למראה. בתוכנית אחרת ליצירת ביו־סנסורים חדשניים **מעורבת תעשיית הביטחון הענקית ריית'און**, שנכנסה **בנוסף לתוכנית זאת** לפרויקטים נוספים בתחומי הטכנולוגיות הביולוגיות.



חברה נוספת שקיבלה מימון מ־DARPA ב־2017 במסגרת תוכנית Biological Robustness In Complex Settings) BRICS היא חברת Phylagen, העוסקת בפענוח נקודת המוצא של כל חפץ והמסלול שאותו עבר, באמצעות חתימה ייחודית של אוכלוסיית המיקרו־אורגניזמים שהצטברו באבק שנמצא על־גבי החפץ

(חיידקים, פטריות, וירוסים וכדומה). במהלך הפרויקט **הדגימה החברה** כיצד ניתן להתחקות אחר מסלול השיט של ספינה בנמל באותה דרך. גם בארגון האחות לענייני מודיעין - IARPA - לא שוקטים על השמרים.

**בינואר 2020 הוכרז פרויקט MIST** במימון של 48 מיליון דולר לשני צוותי מחקר, שמטרתו אחסון וקריאה של מידע מדי-אן-איי סינתטי. מדוע מעוניין ארגון ביטחון לאחסן מידע על די-אן-איי? מכיוון שמולקולת ה-די-אן-איי היא אמצעי האחסון הדחוס ביותר הידוע לאדם כיום. אם יקודד לתוך מולקולת די-אן-איי ארוכה - ניתן יהיה לאחסן את כל המידע בעולם בחלל בגודל שנע בין כפית לחדר (יש מחלוקת בין המומחים, אבל זהו סדר הגודל עליו מדברים). יכולת כזאת יכולה להיות מהפיכה רבתי באופן שבו אנו מנהלים את כמויות המידע האדירות הנוצרות מדי יום ביומו. גם פרויקט FELIX של IARPA עלה לאחרונה למודעות בשל מטרתו שהפכה רלוונטית מתמיד בעידן הקורונה - איתור מחוללי מחלה (פתוגנים) מהונדסים גנטית. לעתים שיטות הנדסה גנטית שונות מותרות סימנים שניתן לדמות ל"צלקות" על גבי רצף די-אן-איי. מומחים לגנטיקה מולקולרית וביולוגיה סינתטית יכולים להשתמש בכלים חישוביים על-מנת לזהות את אותן "צלקות" המעידות על מניפולציה שנעשתה בגנום של הפתוגן, ולחקור את מקורותיה ומטרותיה מתוך קריאת הרצף הגנטי. לאחרונה הופעלו הקבוצות השונות הלוקחות חלק בפרויקט, כדי לנסות לענות על שאלת ההנדסה הגנטית של וירוס הקורונה. למרות שהתוצאות המפורטות לא פורסמו, באתר IARPA **מופיעה תוצאה** המראה שהנגיף אינו מכיל מקטעים גנטיים של מינים אחרים ובכך נשללה אחת האפשרויות להנדסה. כמו כן ניתן להסיק מעצם קיום התוכנית, שגופי ביטחון אמריקנים גדולים כגון IARPA, DARPA ואחרים מאמינים שמעבר לפוטנציאל החיובי האדיר של הביולוגיה הסינתטית יש בצידה פוטנציאל נזק גדול ויש לפתח כלים להתמודד עמו. סך הכול קיימות היום ב-IARPA לא פחות מ-6 תוכניות שונות בתחומי הביולוגיה המהוות 19% מתוך 32 התוכניות שמקדם הארגון. החל מ-2017 פועלת **תוכנית בתחומי הביולוגיה הסינתטית** בהיקף של 45 מיליון דולר, המשותפת לשלושת הזרועות הגדולות של הצבא האמריקני: Army, Air Force, Navy. בתוכנית זאת מועסקים מעל 100 מדענים המקדמים את תחומי החישה, ייצור החומרים וההעצמה האנושית. תוצרי התוכנית מכילים בין היתר סט של אורגניזמים שהותאמו ליישומי ביולוגיה סינתטית לצורכי הזרועות השונות, ואינם זני המעבדה המקובלים המוגבלים לסביבות מעבדה בלבד. יתרה מכך, חלק מהעבודה עסקה בפיתוח כלים להנדסת המיקרוביום האנושי (אוכלוסיית המיקרואורגניזמים החיים על גופנו ובתוכו) ככלי להעצמת הלוחם. בהקשר זה חשוב להסביר כי על כל תא אנושי בגופנו יש בין 1-3 תאים של מיקרואורגניזמים שניזונים מהמזון שלנו, מפרישים חומרים שונים המשפיעים על גופנו לרבות מצב הרוח, התיאבון ועוד. חברה ישראלית מוכרת בתחום היא DayTwo העוסקת בתזונה מותאמת אישית לפי חיידקי המעי של הלקוח המאופיינים באמצעות ריצוף גנטי.

**במאמר מ-2019** צוטט הדובר של ה-Army שהכריז: "הביולוגיה הסינתטית הפכה להיות בין עשרת התחומים בראש סדר העדיפויות של מעבדות המחקר ARL". ה-Army אף פרסמו מאמר המתייחס לפוטנציאל של הביולוגיה הסינתטית, והתייחסו בין היתר **לעבודה מרשימה מניו-זילנד** על חומרים בעלי יכולות תיקון עצמי כאשר הצליחו לגרום לחיידקים רדומים שהם הכניסו לתערובת בטון לפעול בכל פעם שהם נחשפים למים ולסתום את הסדק. בהמשך יוכלו לפתח תיקון עצמי גם לחומרי המבנה של כלים תעופתיים, יבשתיים וימיים שנשחקים ועוברים בלאי ובכך לצמצם את הסיכוי לתאונות ולהוזיל את עלויות התחזוקה. לעתים שילוב של רכיבים ביולוגיים בלבד, ללא הצורך בתא חי, יכול לשפר מאוד את התכונות של חומרים. למשל, **הודגמו חומרים** בעלי תכונות חוזק ואלסטיות מרשימות כאשר שולבו בתוכם שברי אחוזים מחלבון קורי העכביש. נוסף על כך, צוות חוקרים של ה-Army בשיתוף פעולה עם מעבדה ב-MIT **פיתחו כלים להנדסה של חיידקי קרקע שונים**, מתוך ראייה עתידית של הנדסת חיידקים הנמצאים בשטח, שיהוו חיישנים המסייעים למשימות הצבא. בהמשך למדיניות לעודד הכשרת כוח אדם מתאים, האקדמיה של חיל האוויר האמריקני מקדמת תוכנית לימודים מלאה להכשרת מדענים צבאיים בתחומי הביולוגיה הסינתטית USBEP [9]. במסגרת התוכנית נלמדים לעומק קורסים בביולוגיה סינתטית ומולקולרית שיאפשרו להם לעבוד על פרויקטים עצמאיים בהמשך הדרך. כמו כן נבחרת האקדמיה של חיל האוויר משתתפת בתחרות הבינלאומית לביולוגיה סינתטית iGEM על-מנת לעודד יוזמות מעשיות. השנה, אגב, זכה בתחרות צוות מהטכניון **שפיתח גיל ללכידת נגיפי קורונה**.





סוכנות המו"פ הביטחונית הבריטית DSTL משקיעה בתחומי הביולוגיה הסינתטית מזה כעשור, ובשנים האחרונות הגדילו את היקפי כוח האדם והתקציבים באופן משמעותי ומנסים, בשיתוף פעולה עם המאיץ הביטחוני DASA, **לקדם יוזמות יצירתיות בתחום**. ב־2016 כבר הושקעו 18 מיליון פאונד **בקידום התחום**, ובתחילת 2017 יזמו תחרות עם תקציבים של עד 750 אלף פאונד לפרויקט בנושא **מיגון שקוף בטכנולוגיות ביולוגיה סינתטית**. בסוף אותה שנה כבר **פורסם** על תוצאות ראשוניות המצביעות על ירידה של 35% במשקל המיגון. ב־2019 התחום מופיע בתוכנית העבודה הגלויה של הארגון כאחד התחומים המובילים, אך **לא מפורטות** הפעילויות השונות שבמסגרת התוכנית. ברמה האקדמית, צרפת ידועה כאחת המובילות בעולם בתחומי מדעי החיים, ויש לה מסורת ארוכת שנים של עשייה מדעית משמעותית בתחום. מבחינה ביטחונית, ארגון המו"פ והרכש של משרד ההגנה הצרפתי DGA פרסם **דוח אסטרטגי** בנושא הביולוגיה הסינתטית כבר ב־2011, ובו מצוינת ההחלטה על התחום כאחד מתחומי העדיפות הלאומיים כחלק מתוכנית "השקעות לעתיד" הממשלתית. מאז ככל הנראה חלה התקדמות משמעותית, וב־2016 אף **פורסם** על שיתוף פעולה עם DSTL להכשרת מדענים בתחום. בסוף 2018 **פורסם** דוח של הצבא הגרמני, המתמקד באיומים בתחום הביולוגיה הסינתטית ומדגיש שאסור לעשות את אותה טעות כמו בסייבר, ויש להשקיע בתחום על מנת לא להישאר מאחור. **בדוח מעמיק של ברית נאט"ו** על תחומים טכנולוגיים מבטיחים לשנים 2020-2040 צוינו בסך הכול 8 תחומים ובהם תחום הביו־טכנולוגיה. הדוח מזכיר פעמים רבות את השילוב עם טכנולוגיות אחרות כגון הבינה המלאכותית, מידע עתק וכדומה כמנועי צמיחה משמעותיים. תחומי הביו־אינפורמטיקה, ביו־סנסורים, העצמה אנושית ועוד הוזכרו כבעלי פוטנציאל משמעותי לחדשנות משבשת, תוך הזכרת דוגמאות כגון ננו־חיישנים ביולוגיים המוטמעים בתוך מדי הלוחם לזיהוי חומרים מסוכנים.





## סיכום

הארגונים המובילים בעולם הגדילו באופן משמעותי את ההשקעות שלהם בתחום הביולוגיה הסינתטית בשנים האחרונות, בדגש על מספר תחומי יישום ובהם: חישה ואיסוף מודיעין, התגוננות מפתוגנים, אחסון מידע וייצור חומרים מתקדמים. במסגרת ההשקעות נבנות אבני בניין טכנולוגיות המאפשרות שליטה טובה יותר בפעולת המערכות הביולוגיות, איסוף ועיבוד מידע ביולוגי ויכולת שרידות של המערכות בשטח. על ההשקעות הביטחוניות נוספות השקעות עתק בתחומים האזרחיים, התורמים לפיתוח מהיר של התחום ולמציאת פתרונות למגוון רחב מאוד של בעיות בשלל תחומים. הביולוגיה הסינתטית יכולה וצריכה לתפוס מקום משמעותי יותר במו"פ הביטחוני. עולם המודיעין הוא ככל הנראה הנהנה המיידי: אנו מוקפים כל העת בעולם הטבע, ומשאירים עליו את חותמנו, במודע ולא במודע. מכאן שהטבע הוא מקור מידע בלתי נדלה גם אם לא נעשה בו כל מניפולציה, ורק נקרא את המידע שכעת אנו מסוגלים לקרוא. נוסף על כך, הכלים המתקדמים מתחומי מדעי החיים מאפשרים לשדרג את הכלים העתיקים שבהם השתמשו ציידים לקטים עוד בימי קדם כדי לאתר טרף או טורף, לכלים מודרניים ועוצמתיים המאפשרים מודיעין מדויק ורציף במרחב הפיזי. היכן עוד יוכלו הטכנולוגיות החדשות לתת מענה לצרכים ביטחוניים? מה הכישורים שיידרשו מכוח אדם צבאי-ביטחוני על-מנת ליישם את הפיתוחים? כמה זמן ייקח עד שנורגל בשימוש בהן? ישראל היא אחת המובילות העולמיות בתחומי מדעי החיים מצד אחד ובמו"פ ביטחוני מצד אחר. כאשר ייפגשו שתי נקודות הכוח הללו - ניתן לצפות להפתעות מרגשות.