

השימוש בכלים צבאיים בלתי מאוישים עד שנת 2033

המלצות למדיניות לאומית על בסיס חידוי טכנולוגי הערכת מומחים

עורכים: יואב זקס ולירן ענתבי



מזכר 145

השימוש בכלים צבאיים בלתי מאוישים עד שנת 2033
המלצות למדיניות לאומית על בסיס חיזוי טכנולוגי
הערכת מומחים

עורכים: יואב זקס ולירן ענתבי

INSS המכון למחקרי ביטחון לאומי (חל"צ)

המכון למחקרי ביטחון לאומי, המשלב בתוכו את מרכז יפה למחקרים אסטרטגיים, הוקם בשנת 2006.

למכון שתי מטרות מוצהרות: הראשונה היא לערוך מחקרים בסיסיים בנושאי הביטחון הלאומי של ישראל, המזרח התיכון והמערכת הבינלאומית, וזאת על פי אמות המידה האקדמיות הגבוהות ביותר, והשנייה היא לתרום לדיון הציבורי ולעבודת הממשל בנושאים שנמצאים, או ראוי שיימצאו, בראש סדר היום הביטחוני של ישראל. קהל המטרה של המכון הוא דרג מקבלי ההחלטות, מערכת הביטחון, מעצבי דעת הקהל בישראל, הקהילה האקדמית העוסקת בתחומי הביטחון בישראל ובעולם, והציבור המתעניין באשר הוא.

המכון מפרסם מחקרים שהוא מצא כראויים לתשומת הלב הציבורית, תוך שמירה על מדיניות נוקשה של אי משוא פנים. הדעות המובעות בפרסומים הן של המחברים בלבד, ואינן משקפות בהכרח את עמדות המכון, נאמניו או האישים והגופים התומכים בו.

השימוש בכלים צבאיים בלתי מאוישים עד שנת 2033

המלצות למדיניות לאומית על בסיס חיזוי טכנולוגי

הערכת מומחים

עורכים: יואב זקס ולירן ענתבי

דצמבר 2014

מזכר 145

**The Use of Unmanned Military Vehicles in 2033:
National Policy Recommendations Based
on Technology Forecasting
Expert Assessments**

Yoav Zacks and Liran Antebi, editors

המכון למחקרי ביטחון לאומי (חברה לתועלת הציבור)

חיים לבנון 40

ת.ד. 39950

רמת-אביב

תל-אביב 6997556

טל. 03-6400400

פקס. 03-7447590

דוא"ל: info@inss.org.il

אתר המכון: <http://www.inss.org.il>

ISBN: 978-965-7425-71-8

כל הזכויות שמורות © דצמבר 2014

הביא לדפוס: משה גרונדמן
עיצוב גרפי: מיכל סמו־קובץ ויעל ביבר, המשרד לעיצוב גרפי, אוניברסיטת תל-אביב
עיצוב העטיפה: אדווה לוברני
דפוס: אלינור, פתח תקווה

תוכן העניינים

7	תקציר מנהלים
11	הקדמה
13	מבוא
15	פרק א: חיזוי טכנולוגי
15	רקע
16	המתודולוגיה
18	מבנה השאלון וביצועו
20	תוצאות החיזוי הטכנולוגי בחלוקה למכלולים
25	משמעויות אפשריות הנגזרות מהתממשות התחזית
27	סיכום התחזית הטכנולוגית
29	פרק ב: עיצוב המדיניות
29	רקע
29	מתודולוגיה ואופן עיצוב המדיניות
30	מערכת הדיון
32	ממצאי המחקר
33	ההמלצות הישירות
34	ההמלצות המשתמעות
38	מגמות עתידיות מעבר לתחום החיזוי הטכנולוגי
38	סיכום
	נספחים
43	נספח א: שאלות הסקר הטכנולוגי, תוצאותיהן וניתוחן
81	נספח ב: המלצות למדיניות – היגדים מרכזיים
93	נספח ג: פערים ולקחים משלב גיבוש המדיניות
95	הערות

תקציר מנהלים

תחום המערכות הבלתי־מאוישות הולך ומתפתח בקצב מואץ כחלק מהתפתחות ענפי טכנולוגיה שונים בעולם ובהם הבינה המלאכותית, הרובוטיקה והסייבר. במהלך שנת 2013 בוצע במכון למחקרי ביטחון לאומי מחקר בנושא מערכות אלו. המחקר מבקש להציע מדיניות רצויה לישראל בתחום הזה בהתבסס על תחזית טכנולוגית עבור מערכות בלתי־מאוישות לשימושים צבאיים בשנת 2033. המחקר המבוסס על דיון בין מומחים בתחום בוצע במסגרת התכנית לחיזוי טכנולוגי ומדיניות, שהוקמה במכון למחקרי ביטחון לאומי בשנת 2012 ונועדה לביצוע מחקרים המשלבים חיזוי טכנולוגי לטווח ארוך עם תהליך של גיבוש מדיניות. מזכר זה מסכם את המחקר הראשון שמטרתו לשמש מודל לביצוע מחקרים דומים בתחום. להלן תקציר מסקנותיו:

חלק א: חיזוי טכנולוגי

- התובנות העיקריות שהתקבלו מסקר המומחים הטכנולוגיים, הן:
1. המצב כיום – רמת האמינות הנוכחית של כלים בלתי־מאוישים קרקעיים וימיים נחשבת נמוכה למדי, בייחוד בהשוואה לכלים אוויריים. הכלים הבלתי־מאוישים סובלים מחוסר בשלות בביצוע משימות מסוימות, כגון: גילוי מטענים בשטח פתוח או בסביבה עירונית. התובנות הללו עולות בקנה אחד עם הערכות מומחים, שכלים בלתי־מאוישים נמצאים כיום במקום שנמצאו בו מחשבים ביתיים בשנות השמונים של המאה ה־20 וכי קיים פוטנציאל גדול לשיפור מרחיק לכת תוך כעשרים שנה.
 2. בעתיד – צפוי שיפור ניכר בביצועי הכלים האוטונומיים וברמת האמון שנוכל לתת בהם. הכלים יעברו שיפור ניכר ביכולותיהם לבצע משימות סיור ואיסוף מודיעין, גילוי ואיתור, זיהוי "עמית־טורף" והערכת נזקים שנגרמו לתשתיות ולאויב. הכלים יהפכו פשוטים יותר להפעלה. אוטונומיות גבוהה של המערכות תאפשר לכל מפעיל לשלוט במספר גדול יותר של כלים. קבוצות של כלים (או "נחילים") תוכלנה לפעול בשיתוף פעולה כמעט ללא מגע יד אדם, ובכל קבוצה יהיה מספר גדול של כלים ובמגוון גדול. מפעילי המערכות האלו יוכלו להעביר אליהן הוראות פשוטות למדי, והנחיל יתארגן מעצמו באופן אוטונומי להוצאה לפועל של ההוראה באופן המתאים ביותר. הכלים למיניהם יפגינו יכולות גבוהות של ביצוע ורמת אמינות גבוהה הן כפרטים והן במסגרת פעולתם בקבוצות. כמו כן עשויות להופיע יכולות

שהן בגדר "קלפים פרועים", יכולות שעשויות כיום להיתפס כדמיוניות והופעתן במציאות תשנה את חוקי המשחק כפי שמוכרים לנו כיום. המשמעויות העיקריות העולות מהתחזית הטכנולוגית, הן, שאת רוב המשימות הצבאיות הטקטיות יהיה אפשר לתכנן ולבצע באופן אוטונומי (בלי מעורבות יד אדם) בטווח של עשרים שנים; השימוש בקבוצות של כלים כאלו יתפוס מקום הולך וגדל בשדה הקרב בן זמננו וישנה מאוד את קצב הלחימה ורכיבים אחרים שלה.

חלק ב: גיבוש המדיניות

חלק זה עסק בעקרונות למדיניות רצויה לישראל, כלומר כיצד על ישראל להיערך בתחום הביטחוני לאור מגמת הרחבת השימוש בכלים בלתי-מאוישים? התובנות העיקריות שהתקבלו בחלק זה, על סמך שיח מובנה בין מומחים, הצביעו על פער במצב הקיים: אף-על-פי שבישראל יש פעילות וידע ניכרים בתחום הכלים הלא-מאוישים לשימוש ביטחוני, אין בישראל מדיניות לאומית ויד מכוונת מטעם המדינה בתחום זה, אפילו לא במערכת הביטחון. מצב זה עומד במתח עם מסקנות המחקר, ולפיהן צפויה חדירה רחבה ומהירה של מערכות לא-מאוישות שתשנה באופן ניכר את צורת הלחימה המוכרת לנו. לאור זאת סבורים משתתפי המחקר שיש צורך בשינוי גם באופן שבו מטופל התחום. למדינה נדרשים כלים שאינם קיימים כיום כדי להתמודד עם הנושא.

להלן המלצות לישראל העולות מן השיח:

- א. **יש לגבש מדיניות לאומית בתחום מערכות בלתי-מאוישות**, במטרה למקסם את היתרונות ולמזער את הסיכונים הגלומים בתחום, וזאת בניגוד למצב הקיים שבו התהליך מתנהל מעצמו וישראל אינה ממקסמת את יתרונותיה בתחום.
- ב. **יש לשקול הקמתו של גוף במערכת הביטחון שיהיה אחראי להובלת הנושא**. גוף שיהיה ממונה על פיתוחן ויישומן של מפות דרכים בתחומי המחקר והפיתוח (מו"פ), התכנון, הייצור בתעשיות הביטחוניות, ניהול כוח האדם, ייעוץ משפטי, הצטיידות, קשרי חוץ בכל הנוגע לטכנולוגיה הבלתי-מאוישת, פיתוח תפיסות ואימונים וכן תכנון תקציבי. הגם שהמחקר לא העמיק בתחום האזרחי, נראה שבעתיד יהיה צורך גם בגוף מנחה או מטה ברמה הלאומית, שיעסוק בתחומים של מו"פ, תקינה, חקיקה, תעשיה, שיתוף פעולה בינלאומי, קביעת יעדים ארוכי טווח למשק הישראלי ותרגום היעדים לתכניות עבודה נוכח שימושים אזרחיים צפויים במערכות בלתי-מאוישות.
- ג. **יש לפעול כבר עתה לשילוב נרחב ועמוק יותר של כלים בלתי-מאוישים (כב"מ) בכל תחומי הביטחון**, תוך מתן דגש לאיסוף מודיעין ומשימות אחרות שאינן כרוכות בדילמות ובהשלכות של השימוש באנרגיות קטלניות.

ד. **זירוז תהליכים** – יש לאמץ תהליכים ואמצעים שיאפשרו פיתוח, קליטה וכניסה מהירה למבצעות ("מבצוע") של מערכי כב"מ חדשים לפעילות מבצעית. בכלל זה יש להגדיר ולנהל תפישת הגנה ושרידות כוללת למערך הכב"מ.

ה. **יש לפתח מדיניות, תורת לחימה ויכולות להתמודדות עם מערך הכב"מ של מדינות וארגוני אויב.**

ו. **יש לדאוג להשכלה והכשרה של כוח אדם מתאים עוד לפני השירות הצבאי** וכן לבחון את השפעת הכב"מ על תהליכי האבחון, המיון, הגיוס וההכשרה של חיילים. בנוסף מומלץ להעריך מחדש את הרלוונטיות של צבא המילואים בעידן של כב"מ, שכן שימוש בכב"מ בהיקפים נרחבים עשוי לאפשר ואולי אף לדרוש צבא קטן יותר בכוח אדם. הדבר עשוי להשפיע על מבנה צה"ל ועל אופיו.

ז. **יש לפעול לשימור כוח אדם איכותי בתחום** ולבנות תכניות מתאימות להתמודדות עם התחרות בשוק האזרחי.

ח. **יש לשמר מרכיבי ליבה מבצעיים מאוישים גם בעידן השימוש הנרחב בכב"מ** כדי להותיר שיקול דעת אנושי בשלבים שונים של הפעלת כוח באמצעות כב"מ.

ט. **יש לקיים שיתופי פעולה עם מדינות זרות** לפיתוח ולהפעלת כב"מ, וכן לצורך השפעה על תקנים וחקיקה בינלאומיים העשויים להשפיע על ישראל ועל יכולת פעולתה בתחום.

י. **יש לפעול לצורך הפחתת נגישותם של גורמי טרור לכב"מ**, בין היתר באמצעות שיתופי פעולה בינלאומיים.

יא. **גבולות שיקול הדעת האוטונומיים** – בתחום המשפטי והאתי יש לקבוע את גבולות "שיקול הדעת" של המכונה בכל הקשור לשימוש באנגריות קטלניות, ואת אחריות בני האנוש המפעילים את הכב"מ.

יב. **יש לנצל את יתרונותיה של ישראל בתחום הכב"מ הצבאי** כדי לפתח תשתיות ולכבוש מעמד מוביל בשוק הכב"מ הביטחוני והאזרחי העולמי, המתפתח במהירות וטומן בחובו פוטנציאל כלכלי אדיר.

יג. **יש לפתח תכניות לימוד והכשרה התומכות בהיבטים השונים של תחום הכב"מ** ולעודד את ההשתלבות בהן על מנת לאפשר תשתית של כוח אדם מתאים בעבור התעשייה בישראל.

יד. **העמקת המחקר** – יש מקום למחקר מעמיק יותר של התחום בהדגשת אינטראקציה עם נושאים כגון: כלכלה, תפיסת הביטחון, יחסי-צבא וחברה ועוד נושאים רבים אחרים, שלא נכללו או שלא התאפשר להעמיק בהם די הצורך במחקר זה.

הקדמה

מזכר זה הוא תוצר של מחקר הדגמתי במסגרת התוכנית בחיזוי טכנולוגי ומדיניות, שהוקמה במכון למחקרי ביטחון לאומי בשנת 2012. המחקר נועד להדגים את היכולת והצורך לשלב בין חיזוי טכנולוגי ארוך טווח ותהליך של גיבוש מדיניות.

המחקר מציע גישה שונה לתהליך המקובל של גיבוש המלצות למדיניות. נקודת המוצא היא האתגר של חיזוי טכנולוגי לטווח של כעשרים שנים. ההנחה הבסיסית של עורכי המחקר היא, שהתובנות אליהן ניתן להגיע בדרך של חיזוי טכנולוגי מאפשרות הבנה טובה של תהליכים העתידים להתרחש ולכן רצוי לעשות בהן שימוש לצורך גיבוש של מדיניות. המחקר מציע שיטה חדשה להמלצה על מדיניות. שיטה שטרם נעשה בה שימוש במכון למחקרי ביטחון לאומי או במכוני מחקר דומים בעולם. שיטה זו רותמת כלים של חיזוי טכנולוגי לצורך גיבוש מדיניות, אך מודעת לעובדה כי קיימת אפשרות שהתחזית עצמה עשויה להשפיע על האופן בו טכנולוגיה תתפתח. לאור זאת, הגישה מאפשרת להיערך לשינויים טכנולוגיים הצפויים בעתיד, אך גם עשויה להשפיע עליהם, במידה מסוימת לפחות.

התחום הטכנולוגי שנבחר עבור תהליך מחקרי זה הוא: כלים בלתי מאוישים (כב"מ) לשימוש בטחוני. תחום זה נבחר ממספר טעמים: ראשית בשני העשורים האחרונים נצבר ניסיון טכנולוגי ומבצעי רב בתחום הכלים הבלתי מאוישים, בעיקר אלו הפועלים באוויר. ניסיון זה עתיד היה לסייע בתהליך החיזוי וניתוח התהליכים. שנית, לאור תכונות רכש ודו"חות של כוחות צבאיים שונים בעולם, ניתן להעריך כי השילוב של מערכות לא מאוישות לשימושים מגוונים עתיד להתרחב מאוד בעיקר בממדי היבשה והים, כפי שקרה בממד האווירי, ויותר מכך. לאור זאת עולה ההנחה כי אנו צפויים לחזות בשינויים משמעותיים בבניין הכוח ובתפיסת ההפעלה שלו. שינויים אלו עתידים להתרחש במדינות רבות בעולם וישפיעו על ישראל בין אם תיערך לקראתם ובין אם תגיב להם באופן תוצאתי. שלישית, נכון לתקופת ביצוע המחקר, ישראל הנה אחת המדינות המובילות בעולם בתחום הכלים הבלתי מאוישים, מה שהופך את הנושא לכזה בעל חשיבות לאומית.

מזכר זה מסכם שנה של פעילות מחקרית על שלביה השונים בה לקחו חלק אנשים רבים. השלב הראשון של המחקר כלל חיזוי טכנולוגי עבור מערכות בלתי מאוישות עד שנת 2033 והתבצע בהובלת היחידה לחיזוי טכנולוגי וחברתי באוניברסיטת תל אביב

בהובלתם של ד"ר רועי צזנה, ד"ר אהרון האופטמן וד"ר אריק יבנאי. פרק א' של המחקר מבוסס על דו"ח שהגישה היחידה בסיומו של שלב זה. השלב השני של המחקר כלל דיון בין מומחים לצורך גיבושה של מדיניות מומלצת לישראל בין השאר בהסתמך על תוצאות השלב הראשון. הדיון נוהל על ידי חברת "צופן העתיד" בהובלתם של פרופ' דוד פסיג ומר עופר מורגנשטרן ופרק ב' מבוסס על דו"ח מסכם שהוגש על ידם. אנו מודים מאוד לקבוצת החוקרים שהוזכרה פה על העבודה הרבה שהשקיעו במחקר. במחקר זה לקחו חלק עוד רבים שהמחקר לא יכול היה להתקיים ללא השתתפותם. בין אם בוועדת ההיגוי, בין אם בכתיבה והשתתפות בשלביו השונים ובין אם בכנסים והפגישות השונות שהתקיימו במסגרתו. מחברי המחקר מבקשים להודות לכולם ומתנצלים מראש אם נשמטו שמות של מי מהאנשים שתרמו ליצירתו של מחקר זה.

תודתנו,

(מופיעים על פי סדר הא'-ב')

נועה אגמון, רוני אגרנט, ישראל אומן, אלון אונגר, גל אורן, אלון בן, יצחק בן-ישראל, ישי דפנה, דן חלוץ, אשר טישלר, ציפי ישראלי, דניאל כהן, גליה לינדנשטראוס, אמילי לנדאו, אביחי מנדנבליט, מיכל סורני, עוזי עילם, שקד פייסר, דגנית פיקובסקי, מארק קורן, אייל רובינסון, אביב רוטברט, שי רמלר, יורם שוויצר, גלעד שר ופנינה שרביט-ברוך.

תודה מיוחדת לגבי סיבוני ושמואל אבן שמלבד השתתפותם לאורך המחקר כולו, סייעו רבות לעריכת המזכר הסופי והוצאתו לאור וכן לאודי דקל, מנהל המכון ועמוס ידלין ראש המכון, על כך שאפשרו את המחקר ואת הוצאתו לאור של המזכר. המחקר לא יכול היה להתקיים ללא תרומתם של כל אלו שעשו במלאכה והתוצר הניצב לפניכם קיים רק בזכות שיתוף הפעולה וחוכמתם המשותפת של הרבים, אולם האחריות לכתוב במסמך זה ועל טעויות שאולי נפלו בו הן על מחבריו בלבד.

מבוא

בני האדם עוסקים בניסיונות לחזות את העתיד מדי יום ביומו, ובכל תחום שבו הם פועלים. כמעט כל החלטה מקצועית או אפילו אישית מתייחסת לאירוע או אירועים האמורים להתרחש בעתיד. היכולת שלנו לחזות אירועים בוודאות היא מוגבלת ותלויה במשתנים רבים. ככל שטווח התחזית ארוך וככל שרבים המשתנים, רמת הסמך של החיזוי שלנו נמוכה יותר.

למרות מרחב של חוסר ודאות, קיימים תחומים שבהם מתאפשר חיזוי מדויק למדי. מדובר בתחומים שמתקיימים בהם תהליכים ארוכים העוקבים אחר היגיון ברור, ואז קל יותר לדייק בחיזוי מגמות. חוק מור, למשל, שנוסח לפני יותר מעשרים שנה, חזה את קצב התפתחות יכולת המחשוב.¹ ודוגמא זו איננה יחידה. למרות זאת יש קושי מובן לחזות את ההשפעה שתהיה לטכנולוגיה מסוימת על תרבות, כלכלה, חברה ועל תחומים אחרים שיכולים לאמץ אותה או לוותר עליה. דוגמאות בולטות מן העשורים האחרונים הן התפתחות האינטרנט והסלולר. מן ההיבט הטכנולוגי היה אפשר לחזות בדיוק רב את היכולות של הטכנולוגיות הללו, אולם את מידת החדירה שלהן לכל תחומי החברה וכיצד הם משפיעים עליה היה קשה להעריך מבעוד מועד. חיזוי מגמות של התפתחות טכנולוגיות הוא תחום מחקר מתפתח. התובנות שאפשר להגיע אליהן בדרך זו מסייעות לרוב לצורך גיבושה של אסטרטגיה מסחרית ויש בכך עניין כלכלי וגם עניין אקדמי-מחקרי. שימוש בתחזית לצורך גיבוש מדיניות הוא מהלך משלים וטבעי ומן הראוי שיהפוך לעניין שבשגרה במסגרת חשיבה אסטרטגית של מדינה. היכולת לחזות מגמות התפתחות של טכנולוגיה צריכה להוות כלי מרכזי בארגון הכלים של קובעי מדיניות וחוקריה. השימוש בכלי זה יאפשר להתאים את המדיניות למגמות ההתפתחות החזויות ואף להשפיע על מימוש התחזיות.

במחקר זה הוחלט לגבש מדיניות לתחום הכב"מ (כלים בלתי מאוישים) לשימושים ביטחוניים. קבוצת כלים זו מכילה בתוכה גם רובוטים או כלים אליהם מקובל להתייחס כאל "רובוטים לוחמים" אולם במסגרת מסמך זה נעשה שימוש בביטוי כב"מ בלבד. כדי לגבש תחזית טכנולוגית הכב"מ לשימושים ביטחוניים השתמשנו במתודולוגיות מקובלות בתחום העתידנות. החיזוי התבסס על "הצפת ידע" ממומחים (knowledge elicitation) באמצעות סקר מומחים מקוון. שלב זה של המחקר נשען על ההנחה שניתן לפרק מערכת מורכבת למכלולים, שמהם אפשר להגדיר קבוצה

של טכנולוגיות בסיס שהן היסוד של מכלולים אלו. ניתוח מגמות ההתפתחות של הטכנולוגיות במסגרת "טכנולוגיות הבסיס" יאפשר לחזות את היכולות של המערכת המורכבת בכללותה.

כל פירוק למכלולים יכול להיעשות בכמה רמות וכך להעמיק עד רמות של רכיבים בסיסים ביותר, אפילו ברמת האלגוריתם או המעגל האלקטרוני. עקב היקפו המוגבל של המחקר הנוכחי בוצע בו פירוק לרמה אחת בלבד. התוצאות שהתקבלו אפשרו לתאר את יכולותיהן של מערכות בלתי-מאוישות לשימושים צבאיים בשנת 2033, ואלו שימשו בסיס להמלצות למדיניות למדינת ישראל.

השלב השני של המחקר הסתמך על מתודולוגיה מתחום חקר העתיד המשתייכת לגישת עיצוב ה"עתידיים הרצויים" שלרוב משמשת גם היא בעולם העסקי או בארגונים אחרים. הגישה המבוססת על ההנחה שחברי הארגון הם הראויים והמתאימים מכל לעצב ולממש הנחות בנוגע לעתיד ארגונם. שיטה זו מאפשרת יצירה ועיצוב של דימויים או חזון לעתיד רצוי עבור הארגון וגזירה של הנחיות פעולה לאורו, לצורך המימוש. משום שה"ארגון" במקרה של מחקר זה הוא מדינת ישראל כולה, סייעו בעיצוב המדיניות מומחים מתחומי תוכן שונים העוסקים בנושא.

בשלב זה נעשה שימוש במערכת אינטרנטית ייעודית, לצורך קיומו של דיון קולקטיבי מקוון רב משתתפים, בהתאם לעקרונות גישת תבונת ההמונים. המתודולוגיה אפשרה לקבוצה להתמודד עם בעיות מורכבות ולהציע פתרונות עבורן במסגרת שלבי דיון מובנים שכללו: שאלות, היגדים, נימוקים והצבעה. מומחים מתחומים שונים, הנדרשים לצורך עיצובה של מדיניות ציבורית, נטלו חלק בדיון הזה וסייעו לגיבושה של מדיניות המומלצת לישראל בתחום.

תוצאות המחקר מצביעות בבירור על המשך התפתחות התחום בכיוון שעתידי לחולל שינוי משמעותי בצורת הלחימה המוכרת לנו. הדבר מצביע על הצורך בשינוי מידי בדרך שבה מדינת ישראל מנהלת כיום את התהליך, המכיל גידול בשימוש בכב"מ לצרכים ביטחוניים, וכן תהליכי מעטפת לשימושים אלה. תוצאות המחקר מצביעות על הצורך בלימוד מעמיק יותר של הנושא ועל הצורך לאמץ מדיניות לאומית שתאפשר הפקת תועלת מהיתרונות ותמזער את הסיכונים הגלומים בתחום.

מנהלי המחקר והמשתתפים בו סבורים, שמלבד הצורך לגבש מדיניות לישראל תוך התייחסות לשינויים הצפויים בתחום הטכנולוגי, יש מקום ללמידה נוספת ומעמיקה יותר של התחום בהדגשת אינטראקציה עם נושאים כגון: כלכלה, עוצמה, תפיסת הביטחון, יחסי צבא-חברה ונושאים רבים אחרים. המחקר עצמו ניתן לביצוע בצורה של מחקר פתוח להערות, שיתקן את עצמו באופן קבוע, כך שלמעשה ייהפך לכלי דינאמי שיוכל לשמש כלי בידיהם של מקבלי החלטות וחוקרים.

פרק א: חיזוי טכנולוגי

רקע

בפרק זה מתואר שלב החיזוי הטכנולוגי במחקר שמבוסס על דוח סופי שהגישו חוקרים מן היחידה לחיזוי טכנולוגי וחברתי באוניברסיטת תל-אביב. החיזוי במחקר זה התבסס על "הצפת ידע" ממומחים (knowledge elicitation) באמצעות סקר מקוון, שכלל שאלות מפורטות בנוגע להתפתחות היכולות של מערכות בלתי-מאוישות בעתיד. הסקר התייחס הן למערכות אוטונומיות (ברמות שונות של אוטונומיה) והן למערכות נשלטות ממרחק ללא יכולת אוטונומית. החיזוי הטכנולוגי עסק בהתפתחות היכולות של מערכות בלתי-מאוישות ליישומים ביטחוניים בטווח של עשרים השנים הקרובות. המטרה העיקרית של חלק זה במחקר הייתה להדגים יכולת ושיטה של חיזוי התפתחויות טכנולוגיות בתחום מוגדר של מערכות ביטחוניות, כבסיס להפקת משמעויות לקבלת החלטות וגיבוש מדיניות. בניגוד לדעה השגורה בציבור הרחב, חיזוי טכנולוגי לא נועד "לנבא את העתיד", אלא לזהות מגמות שינוי וכיווני התפתחות אפשריים ולנתחם כדי לאפשר דיון מושכל ולסייע בקבלת החלטות נאותות בהווה. שאלון הסקר הכיל עשרה פרקים בהתאם לעשרה "מכלולים פונקציונליים גנריים" שעליהם מושתתות לרוב מערכות בלתי-מאוישות ורובוטים צבאיים. תוצאות התחזית הטכנולוגית מצביעות על רמת אמינות נמוכה למדי של כלים קרקעיים וימיים לעומת כלים אוויריים כיום, וגם שבטווח של כעשרים שנים צפוי שיפור ניכר בביצועי כלים אוטונומיים וברמת האמון בהם, הן ברמת הכלים הבודדים והן ברמת הקבוצות או ה"נחילים" שיוכלו לפעול באופן אוטונומי עם מעורבות אנושית נמוכה ביותר או בלעדיה.

התחזיות המספריות מספקות תובנות חשובות העשויות לשמש בסיס להפקת משמעויות בשלב עיצוב המדיניות. עם זאת בפועל ענו על הסקר מספר קטן יחסית של משיבים ועל כן תחזיות אלו אינן מתיימרות להיות מדויקות, ולצורך ביסוס ותיקוף שלהן יש לבצע עבודת חיזוי רחבה, שיטתית ומתמשכת, ולכלל הפחות להגדיל את מספר הנסקרים שישתתפו בתחזית.

המתודולוגיה

קיים מגוון שיטות לחיזוי טכנולוגי ובהן שיטות כמותיות (כמו חיוץ מגמות) ואיכותניות (כמו סקרי "דלפי" או בנייה וניתוח של תרחישים).² עבודות חיזוי מקיפות משלבות בדרך כלל שיטות שונות, והן מהוות תהליך מתמשך הכולל מעקב, דיון ועדכון לאורך זמן. המחקר שלפנינו היה מוגבל בהיקפו עקב אילוצי משאבים וזמן, ועל כן הסתפקנו בשיטה אחת שניתנה ליישום בפרק זמן קצר למדי ובהוצאה כספית לא גבוהה. לפיכך לצורך החיזוי נבחרה השיטה המכונה "הצפת ידע" ממומחים (knowledge elicitation) באמצעות סקר מקוון, שכלל שאלות מפורטות בנוגע להתפתחות היכולות של מערכות בלתי-מאוישות בעתיד.

חשוב לציין שבמחקרי חיזוי מקיפים המוגבלים פחות במשאבים, אם השיטה הנבחרת היא סקר מומחים, הרי הוא נעשה בדרך כלל בשיטת "דלפי" ובה סבבים אחדים. שיטה זו, שגרסתה הראשונית פותחה בידי חוקרי RAND בארצות הברית בתחילת שנות השישים של המאה ה-20, יושמה מאז באלפי מחקרים של חיזוי טכנולוגי וחברתי.³ בשיטת דלפי קיימים שני רכיבים חשובים שנועדו לאפשר חוות דעת משותפת, מהימנה ככל האפשר, של קבוצת מומחים. רכיב אחד הוא האנונימיות של המשתתפים, שנועדה למנוע "השתלטות" של מומחים סמכותיים (ורתיעה של אחרים מהבעת דעות אחרות), כפי שקורה לעתים בדיונים פתוחים. הרכיב החשוב השני הוא המשוב. בשיטת דלפי המומחים עונים על שאלון מובנה בסבבים חוזרים (לפחות שני סבבים), כך שבכל סבב הם יכולים לבחון מחדש ולעדכן את עמדותיהם בהתאם למגמה המשתקפת מעמדות עמיתיהם, אם הם רואים זאת לנכון. בגרסה שפותחה בשנים האחרונות והנקראת "דלפי בזמן אמת" (Real-Time Delphi) אין סבבים מוגדרים, אלא המשיבים נכנסים מעת לעת לשאלון מקוון, מעיינים בתוצאות המשקפות את עמדות עמיתיהם באותו הרגע, מחליטים אם לעדכן את הערכותיהם לאור התוצאות המשתנות, ומנמקים דעות חריגות בהתאם לצורך. השאלון הוא אפוא כלי של אינטראקציה קבוצתית, אך אנונימית, בין המומחים, והוא מאפשר תהליך אינטגרטיבי של התכנסות להסכמה כללית. עם זאת, גם אם לא הושגה תמימות דעים יש חשיבות לתוצאות הסקר, שכן חשיפת חילוקי דעות או דעות חריגות עשויה להצביע על אי-ודאות גבוהה בסוגיות מסוימות או לרמוז על הפתעות פוטנציאליות. במחקר זה השתמשנו בסקר מקוון דמוי-דלפי, בסבב אחד בלבד. כלומר נשמר העיקרון של אנונימיות, אך לא נכלל רכיב המשוב והתהליך האינטראקטיבי של התקרבות לקונסנזוס, כפי שבוצע בשלב גיבוש המדיניות. במובן מסוים השאלון בפרויקט הנוכחי היה מורכב יותר משאלון דלפי טיפוסי. בסקר דלפי טיפוסי נשאלים המומחים בדרך כלל על מועד המימוש החזוי של התפתחות מסוימת, וכן שאלות נלוות בנוגע לאותה התפתחות. בפרויקט הנוכחי התבקשו המומחים להעריך לא את

שנת המימוש של התפתחות זו או אחרת, אלא את ההשתנות של ביצועים שונים של מערכות בלתי-מאוישות לאורך ציר הזמן, במרווחי זמן של חמש שנים ועד שנת 2033. נקודה אחרת שחשוב להדגיש היא, שמכיוון שמספר המשתתפים בסקרי מומחים מסוג זה הוא בדרך כלל קטן למדי, קבוצת המומחים אינה מהווה מדגם מייצג ותוצאות הסקר אינן מייצגות מבחינה סטטיסטית. משמע, התוצאות שמתקבלות מניתוח התשובות של קבוצת המומחים שהשתתפו אינן מייצגות בהכרח תוצאות שהיו מתקבלות מקבוצה גדולה יותר של מומחים, או מקבוצה שונה לגמרי, והתוצאות מייצגות אפוא אך ורק את חוות הדעת המשותפת של קבוצת המומחים המסוימת שהשתתפה בסקר. עקב מגבלות זמן ותקציב, מספר המשתתפים בסקר זה היה כאמור קטן יחסית, ובשונה מהמתודולוגיה הקלאסית לא בוצעה סדנת חשיבה המשמשת כלי לדיון על ממצאי הסקר. אנו סבורים לאור התוצאות שהתקבלו והתפלגותן, שאפשר להשיג תוצאות מדויקות יותר בשימוש באותו סקר עצמו, אך תוך שיתוף קבוצת נסקרים גדולה יותר.

שלבי העבודה העיקריים:

- א. מיקוד נושא הפרויקט – שלב זה בוצע בידי ראש התוכנית ובו נקבע שהמחקר יעסוק במערכות צבאיות בלתי-מאוישות בכל זירות הלחימה (אוויר, יבשה וים).
- ב. זיהוי "מכלולים פונקציונליים" – בוצע בידי קבוצת חוקרים ובו הוגדרו מכלולים עיקריים של המערכות הבלתי-מאוישות, שההתפתחויות הטכנולוגיות בהם מאפיינות את השינויים החזויים בביצועים של המערכות באופן כללי.
- ג. ניסוח טיוטת שאלון – בוצע בידי קבוצת חוקרים שניסחה כמה שאלות בנוגע לכל אחד מעשרת המכלולים הפונקציונליים. השאלות נוסחו באנגלית (לצורך הפצה בקרב מומחים בחו"ל) באופן שיאפשר להציג תחזית מגמות/התפתחויות ביכולות חשובות של המערכות הבלתי-מאוישות על ציר הזמן לטווח של כעשרים שנה, במרווחי זמן של חמש שנים.
- ד. התאמת השאלון לפורמט של סקר מקוון.
- ה. הרצת סקר "פיילוט" בקרב 21 מומחים לצורך קבלת הערות.
- ו. שיפור השאלון בעקבות ההערות שהתקבלו ממשתתפי הפיילוט.
- ז. הרצת סקר מלא בקרב 310 מומחים. ההזמנה להשתתף בסקר המקוון הופצה בקרב חוקרים במחלקות המדעיות וההנדסיות באוניברסיטאות בארץ ובעולם (במוסדות מובילים, כגון פרינסטון, הרווארד, MIT, סטנפורד), וכן בקרב חברי לשכת המהנדסים והאדריכלים הישראלית ואנשי מפתח בתחום הרובוטיקה והמערכות הבלתי-מאוישות בישראל.

ח. עיבוד תוצאות וניתוח הממצאים. הממצאים הוצגו ונדונו בכנס פנימי לקראת פתיחתו של שלב עיצוב המדיניות.

מבנה השאלון וביצועו

על סמך הספרות המקצועית ובעזרת התייעצות עם מומחים מתחום המערכות הבלתי-מאוישות והרובוטיקה (ובראשם ד"ר אריק יבנאי), זוהו עשרה מכלולים פונקציונליים "גנריים", שמהם מורכבות מערכות וכלים כאלה. בכל מכלול פונקציונלי זוהו מאפיינים המבטאים את יכולותיו של הכלי, המתאפשרות בזכות הטכנולוגיות למיניהן (ההולכות ומשתכללות עם הזמן). לפיכך חולק השאלון לעשרה פרקים, בהתאם לעשרת המכלולים הפונקציונליים, כדלקמן:

א. A.I. and Autonomous Self-Management – בינה מלאכותית וניהול עצמי אוטונומי של הכלי. פרק זה סוקר למשל את משך הזמן הנדרש לכלי לקבלת החלטות בשטח, את יכולתו ללמוד מניסיון ואת רמת האמינות שאפשר לייחס לכלי בביצוע משימות שונות.

ב. Command & Control of Unmanned Vehicles Group/Swarm – שליטה ובקרה על קבוצה או נחיל של כלים בלתי-מאוישים. פרק זה משלים את הפרק הקודם, וסוקר את רמות השליטה והבקרה העצמית של קבוצת כלים, שכל אחד מהם מתקשר עם האחרים ומתפקד איתם בצורה מתואמת.

ג. Environmental Situation Awareness – מודעות מצבית סביבתית. בתחום זה נבחנה יכולתו של הכלי להיות מודע לסביבה שבה הוא פועל (למשל להבדיל בין צמחייה למכשולים בלתי-עבירים), ובאופן כללי יותר לבנות מודל תלת-ממדי מדויק של הסביבה.

ד. Theater Situation Awareness – מודעות מצבית זירתית. בתחום זה נבדקה יכולתו של הכלי להתמצא במצבים שונים בשדה הקרב, למשל להבדיל בין עמית לטורף, לקבל הערכה אמינה של נזקים שנגרמו למטרה, לזהות בני אדם ומטרות ולאתר מטעני חבלה.

ה. Mission Systems Management – ניהול מערכות משימה. בתחום זה נכללו יכולות לאתר מטרה בשדה לפי קואורדינטות, יכולות לזהות מטרה ולהינעל עליה מחדש וכדומה.

ו. Communication – תקשורת. פרק זה כלל קריטריונים המתייחסים לכל סוגי התקשורת בין הכלים למנגנוני השליטה – ובכלל זה הפרעות מכוונות ולא-מכוונות לתקשורת.

ז. User-System Interfaces – ממשקי משתמש-מערכת. בתחום זה נבדקו דרכי השליטה של המשתמשים במערכות ובכלים.

ח. Survivability and Cyber-Security – שרידות ואבטחת סייבר. בתחום זה נבחנו יכולת הגנת הסייבר של הכלים העתידיים ויכולתם לעמוד בפני מתקפת סייבר.
ט. Propulsion – הנעה. יכולותיו של הכב"מ להתנייד בתווך המתאים (אוויר, יבשה, ים).

י. Energy – אנרגיה. מקורות אנרגיה הם התנאי ליכולתם של כלים בלתי־מאוישים לתפקד לאורך זמן בשטח, לעשות שימוש מיטבי במערכות הנשק, ההגנה, ההנעה והתקשורת שלהם ובכלל זה היכולת לקצור אנרגיה ממקורות שונים בסביבה. בפתיחת הסקר הודגש שההתייחסות היא הן למערכות אוטונומיות (ברמות שונות של אוטונומיה) והן למערכות נשלטות ממרחק חסרות יכולת אוטונומית. בשאלות הנוגעות למערכות בעלות יכולת אוטונומית, הדבר צוין במפורש.

בעבור כל פרק (כלומר לכל מכלול פונקציונלי) נוסחו כמה שאלות הנוגעות לסוגיות החשובות ביותר באותו התחום. בניסוח הודגש שיש להימנע מהתמקדות בטכנולוגיות מסוימות – בהתחשב ביכולותיהן של טכנולוגיות מפציעות מסוימות לפרוץ קדימה בזמן שאחרות ידעכו – וההתמקדות הייתה בביטוי המעשי של הטכנולוגיות, כלומר בביצועים לעתיד של הכלים הבלתי־מאוישים, בעוד חמש, עשר, חמש־עשרה או עשרים שנים. בתחילת הסקר המקוון נתבקשו המומחים המשתתפים לציין את התחומים הפונקציונליים שבהם הם בקיאים במיוחד, ובהתאם לכך הופנו לשאלות הרלוונטיות. נוסף על השאלות הנוגעות לעשרת המכלולים הפונקציונליים של המערכות הבלתי־מאוישות, בחרנו לכלול בסקר פרק מיוחד המתמקד ב־"Game Changers" – משני פני המשחק, או במילים אחרות "קלפים פרוצים". הפרק נועד לבחון את עמדות המומחים בנוגע להתפתחויות ייחודיות אפשריות שעשויה להיות להן השפעה ניכרת על תחום המערכות הבלתי־מאוישות, אם כי הסבירות לכניסתן המעשית לשימוש בשדה הקרב בשנים הקרובות נראית כיום נמוכה.

בפועל, מספר המומחים שהשתתפו באופן פעיל בסקר (כלומר ענו על חלק מהשאלות) הוא 310. ההיענות לעומת המספר הגדול של הפניות שהופצו הייתה נמוכה יחסית, ולהערכתנו משתי סיבות עיקריות:

א. מורכבות השאלון – הסקר כלל שאלות רבות שנוסחו בפירוט טכני גבוה, כך שרק למומחים בעלי ידע מקצועי ממוקד בנושאים השונים יש יכולת אמיתית להשיב עליהן. בנוסף, עצם הניסוח הטכני והפירוט הרב חייבו השקעת מאמץ וזמן לא מבוטלים – דבר שיש בו כדי להרתיע מומחים רבים (המתבקשים להשתתף בסקר בהתנדבות).

ב. ההקשר הביטחוני – הסקר עוסק במערכות בלתי־מאוישות תוך התייחסות ברורה ליישומים צבאיים, עובדה שמטבע הדברים מגבילה את ההיענות מצד המומחים. זאת ועוד, ההזמנות להשתתפות בסקר נשלחו מגורם ישראלי, מה שעשוי היה

לפגוע בנכונותם של חלק מהמשיבים הפוטנציאליים בחו"ל לשתף פעולה מסיבות פוליטיות.

תוצאות החיזוי הטכנולוגי בחלוקה למכלולים

כפי שתואר קודם לכן, הסקר לצורך גיבוש תחזית בתחום הכלים הבלתי מאוישים בוצע בחלוקה למכלולים כאשר עבור כל מכלול נשאלו מספר שאלות שאפשרו בעיקר תשובות כמותיות. לאחר קבלת התשובות, נותחו התוצאות בעבור כל מכלול (ניתן לעיין בתוצאות הכמותיות בנספח א') חלק זה מהווה תיאור מילולי של התוצאות בנוגע לכל מכלול וכן את התוצאות בנוגע ל"קלפים הפרועים".

בינה מלאכותית וניהול עצמי

כמה שאלות נשאלו בנושא הזה. התשובות מעידות באופן כללי על שיפור כולל ביכולות הבינה המלאכותית והניהול העצמי של מערכות בכל הממדים, שיאפשרו למערכות רמה גבוהה של אוטונומיות הן ברמת התכנון והן ברמת הביצוע. מן התשובות לשאלות עולה למשל מגמה של ירידה בזמן התגובה של כלים קרקעיים לאירועים בלתי־צפויים, ושבבתוך עשר שנים יתקצר זמן התגובה לאירועים כאלו פי שלושה לעומת היום. כן חזויה מגמה של ירידה ניכרת בזמן הנדרש לתכנון מחדש של מסלול אופטימלי ושבבתוך 20 שנים זמן התגובה צפוי להיות כעשירית מזמן התגובה כיום ולעמוד על כ־0.6 שניות. התחזית גם מצביעה על שיפור ביכולותיהם של כלים ללמוד מן הניסיון תוך כדי ביצוע משימות (יכולת שכמעט איננה קיימת כיום), והיא עתידה לאפשר למערכות שיפור עצמי של כ־75 אחוז. עוד באותו הקשר, עולה שכיום רמת האמון בכלים אוטונומיים היא נמוכה, אך המומחים חוזים שבתוך עשרים שנה היא תעלה באופן משמעותי ותגיע לרמה שהיא יותר מכפולה מרמת האמון כיום. כיום רמת האמינות של כלים אוויריים היא הגבוהה ביותר ושל כלים קרקעיים היא הנמוכה ביותר, אולם שיפור ברמת האמון עתיד להוביל למערכות בעלות רמת אמינות "גבוהה" עד "גבוהה מאוד" בכל הממדים. כל אלו יחדיו מעידים על שיפור גדול מאוד, שיאפשר רמות אוטונומיות, אמינות ומהירות מאוד, שאינן מוכרות לנו כיום.

שליטה ובקרה בלהקות

שאלות נשאלו כאמור בנוגע לנחילים, ומההתפתחות בתחום זה ניתן להסיק גם בנוגע להתפתחות של פעולת קבוצות (קבוצת כלים הפועלת יחדיו בצורת תקשורת שונה מזו של נחילים). בהתאם לשאלות שנשאלו סבורים המומחים שמספר הכלים הבלתי־מאוישים בנחיל עומד לגדול בקצב מהיר בעשורים הקרובים, והוא צפוי להגיע (לפי חציון דעות המומחים) למאתיים עד שנת 2033, ובכל נחיל יוכלו לפעול בשיתוף פעולה כלים ממספר גדול של סוגים, אולי אפילו חמישים סוגים שונים. כלים רבים ושונים

אלו יספקו לנחיל מגוון רחב של אפשרויות פעולה בשטח. זמני התגובה של נחילים קרקעיים ואוויריים לאירועים בלתי-צפויים עומדים לקטון פי עשרה (לעומת המצב כיום) ולהגיע לחמש שניות עד שנת 2033. מגמה זו של ירידה בזמן התגובה מרמזת שהנחילים ייכנסו לשימוש תדיר יותר גם במשימות הדורשות זמני תגובה קצרים. גם בתחום הנחילים, כמו בתחומים אחרים, תהפוך הלמידה לגורם שיספר את הביצועים הקבוצתיים במידה רבה. מעניין לציין שהתוצאות בנוגע ליכולות השיפור של נחילים דומות לתוצאות שהתקבלו בעבור כלים אוטונומיים בדידים אף שהשאלות נמצאות בשני חלקים שונים של הסקר, ולפיכך נענו בידי מומחים שונים.

גם במקרה של נחילים, כמו במקרה של מערכות הפעלות באופן פרטני, עולה שרמת האמון כיום היא נמוכה, אך היא צפויה להשתפר במידה ניכרת בעשורים הקרובים, עד להגעתה לרמה שבין "גבוהה" ל-"גבוהה מאוד", וגם רמת האמינות בביצוע משימה (כגון גילוי כלי רכב משוריין והפגיעה בו) תגדל משמעותית בשני העשורים הקרובים ותגיע לרמה שבין "גבוהה" ל-"גבוהה מאוד" בשנת 2033.

מודעות מצבית בשדה הקרב

מכלול פונקציונלי זה מתייחס הן למודעות כלפי הסביבה, הן כלפי האויב והן כלפי עמיתים. מן התשובות עולה כי יכולת זיהוי עמית-טורף (זע"ט) עומדת להשתפר משמעותית כבר בעשר השנים הקרובות, עד הגעה לרמה הגבוהה ביותר בשנת 2028. כמו-כן עולה מתחזית המומחים, שכלים אוטונומיים יגיעו בעתיד לרמה גבוהה מאוד של אמינות בהערכת נזקים (BDA) – כמעט 95%, לעומת 55% כיום. עוד עולה, שכב"ם יוכלו למלא משימות כדוגמת זיהוי בני אדם מסוימים בסביבה עירונית גם כאשר אלו עומדים בלא תנועה, בסבירות גבוהה מאוד וברמה שהיא כמעט כפולה מזו המקובלת כיום. כן עתידה לשלש את עצמה ההסתברות לגילוי מתקני חבלה מאולתרים מהאוויר בשטח פתוח ולהגיע לרמה של כ-90% סמוך לשנת 2033 (לעומת כ-30% כיום). אשר לכלי יבשתי, השיפור הצפוי נמוך יותר ועתיד לעלות ל-60% (לעומת 40% כיום).

ניהול מערכות משימה

התחזית בתחום ניהול מערכות משימה התייחסה למשל ליכולת לדייק במציאת קואורדינטות. עולה כי בשנת 2033 הסטייה מהמיקום הממשי תלך ותקטן עד כדי עשירית מהסטייה כיום, בעת איכון של עצם הנמצא בשדה פתוח שאינו ממופה מראש. ליכולת זו יצטרף גם שיפור בזמן שידרש לנעילה מחדש על מטרה. בין שמדובר בכלים קרקעיים ובין שבכלים אוויריים בלתי-מאוישים, הזמן הדרוש לנעילה מחדש יקטן מאוד – בשיעור של פי עשרה עד שנת 2033. התפתחות זו תקל את השימוש בכב"מ לצורכי לוחמה בשטח. חציון ההערכות של המומחים מצביע גם על שנת 2018 כשנה המוקדמת ביותר שבה יצוידו כב"מ דרך שגרה בטכנולוגיות של תקיפת סייבר.

ממשקי משתמש-מערכת

עבור מכלול זה נשאלו מספר שאלות. בין השאר תהה הסקר על מספר הכלים (לא כולל נחילים) שבהם יכול לשלוט סימולטנית מפעיל אחד מתחנה אחת. מהתחזית עולה שמספר זה עתיד לגדול במידה רבה ולאפשר בתוך עשרים שנים למפעיל בודד להפעיל כעשרה כלים (לעומת המצב כיום המאפשר למפעיל בודד לשלוט בכלי בודד או שניים). ועוד ניכרת מגמה של ירידה בזמן התגובה המינימלי למשלוח פקודה מחדר הבקרה אל הכלי פי 5.5 לעומת המצב הנוכחי. קרוב לוודאי שמגמה זו תתאפשר בשל שיפור הממשק מפעיל-מערכת בחדר הבקרה. בדומה לירידה בזמן התגובה הזה עתיד לרדת גם זמן התגובה המינימלי הנדרש לגיבוש פקודות לנחיל בחדר הפיקוד ולהתקצר פי 2.5 תוך כעשרים שנים.

הישרדות ואבטחת-סייבר

הישרדותם של כלים היא נושא חשוב לצורך פעילותם בלחימה וכאשר מדובר בכלים ברמה טכנולוגית גבוהה קיימת חשיבות גם בתחום אבטחת הסייבר. בין השאלות הופיעו כאלה המתייחסות להסתברות שמערכת תופרע על ידי מתקפת סייבר במהלך משימה. מן הסקר עולה כי ההסתברות שכלי יופרע במהלך פעולה מבצעית כתוצאה ממתקפת סייבר הולכת ועולה עם השנים, עד לסיכוי גבוה החל משנת 2028. עוד מתברר כי ככל שמתקפות הסייבר תהפוכנה נפוצות יותר, כך יתפתחו גם מגנות סייבר משוכללות יותר וישולבו בכלים האוטונומיים. כתוצאה מכך, יגדל הסיכוי לעמוד בפני מתקפות סייבר, על אף שניתן לראות שהוא עדיין קטן יותר מהסיכוי שכלי כלשהו יופרע במשימתו כתוצאה ממתקפת סייבר.

הנעה אווירית

בחלק זה נשאלו המשתתפים בנוגע ליכולות ההנעה הצפויות לכלים בלתי-מאוישים אוויריים בעתיד. השאלות התרכזו בשלושה סוגים שונים של כלי-טיס בלתי-מאוישים (כטב"מים), שחולקו לקבוצות באופן שמקובל בתחום: על פי רום טיסה ועל פי גודלם. מהסקר עולה כי משך הזמן שכטב"ם קטן (במשקל שאינו עולה על 27 ק"ג) יוכל להישאר באוויר יגדל פי 12 בשני העשורים הקרובים, עד לשהייה רצופה של כ-48 שעות באוויר (על פי חציון התשובות של המומחים). לעומתו כלי בינוני (במשקל של 27 עד כ-600 ק"ג) יוכל לשהות באוויר במשימה במשך כמעט 4 ימים רצופים. זמן שהייה מקסימלי של כלי אווירי גדול (שמשקלו מעל 600 ק"ג) הוערך בזמן של שבוע ימים.

קלפים פרוצים

סקר המומחים הניב מספר תובנות בנוגע ליכולות עתידיות של כלים בלתי-מאוישים, שעשויות להיראות כדמיוניות כיום, אך הינן קרוב לוודאי אפשריות מבחינה טכנולוגית.

לפי חציון תשובות המומחים, עד שנת 2033 מערכות בלתי־מאוישות עשויות לכלול רכיבים ביולוגיים, יוכלו לשנות צורה בהתאם לדרישות המשימה, יכללו חלקים המורכבים מחומרים המחלימים מעצמם ויכללו להסתגל ולהתאים עצמן לתפקוד גם אחרי פגיעות ונזקים. תחזיות אלו מצביעות על עתיד בו הכלים הבלתי־מאוישים ייחנים ביכולת שרידות בשטח לאורך זמן בלי שתפקודם נפגע. בנוסף, המערכת הבלתי־מאוישות עשויות להיות מסוגלות להסוות עצמן באופן מושלם באור הנראה. יכולת עתידנית נוספת, שלפי ניתוח תשובות המומחים תיתכן ככל הנראה לא לפני שנת 2033, היא שכפול עצמי של המערכות. בצד הדיון על ההתפתחות האבולוציונית של המערכות הבלתי־מאוישות, ראוי לדון גם בהשפעתם האפשרית של קלפים פרוצים כגון אלה שנכללו בסקר, וגם "פרועים" עוד יותר, מכיוון שהם טומנים בחובם פוטנציאל של שינויים והפתעות משמעותיים, כפי שמופיע בטבלה שלהלן.

הטכנולוגיה	השנה המוקדמת ביותר לשימוש צבאי (חציון התשובות)	אחוז המומחים הסבורים שהטכנולוגיה תיכנס לשימוש עד שנת 2033
הסתגלות והתאמה לפגיעות	2028	80% (מתוך 34 משיבים)
שילוב חומרים המחלימים מעצמם בכלים בלתי־מאוישים	2028	75% (מתוך 34 משיבים)
הסוואה מושלמת באור הנראה	2028	72% (מתוך 33 משיבים)
כלים המכילים רכיבים ביולוגיים	2028	66% (מתוך 31 משיבים)
שינוי צורה לצורך השלמת המשימה	2028	66% (מתוך 33 משיבים)
שימוש חכם בסביבה	2033	57% (מתוך 33 משיבים)
שינוי צורה לצורך התאמה למשימות משתנות	2033+	40% (מתוך 33 משיבים)
שכפול עצמי	2033+	34% (מתוך 32 משיבים)

את התובנות העיקריות שהתקבלו משלב זה במחקר ניתן לחלק לארבעה סוגים:

א. **תובנות אודות המצב בהווה:** ניתוח של תשובות המומחים בנוגע למצב היום מעלה כי רמת האמינות של כלים בלתי־מאוישים, קרקעיים וימיים, נחשבת לנמוכה למדי, במיוחד בהשוואה לכלים אוויריים. כמו כן, הכלים הבלתי־מאוישים סובלים

מחוסר בשלות בביצוע משימות מסוימות כגילוי מטענים בשטח פתוח או בסביבה עירונית. עובדות אלו מסבירות מדוע המומחים מייחסים רמת אמון נמוכה בניהול העצמי של כלים בודדים ונחילים. התובנות הללו עולות בקנה אחד עם הערכות מומחים שכלים בלתי-מאוישים כיום נמצאים היכן שנמצאו מחשבים ביתיים בשנות ה-80 של המאה ה-20.

ב. **תובנות אודות עתיד הכלים הבודדים:** ניתוח תשובות המומחים מעלה, כי בעתיד נראה שיפור ניכר בביצועי הכלים האוטונומיים וברמת האמון בהם. הכלים יעברו שיפור משמעותי ביכולותיהם לבצע משימות סיור ואיסוף מודיעין, גילוי מטעני חבלה מאולתרים, זיהוי עמית טורף והערכת נזקים שנגרמו לתשתיות אויב. הכלים יהפכו לפשוטים יותר להפעלה, ובהתאם לכך יוכל כל מפעיל לשלוט במספר רב יותר של כלים.

ג. **תובנות אודות עתיד הנחילים:** המומחים צופים כי עד שנת 2033 יוכלו הנחילים (כאמור, קבוצות המורכבות מכלים הפועלים בשיתוף פעולה כמעט ללא מגע יד אדם) הגדולים ביותר לכלול כמאתיים כלים ולשלב כחמישים סוגים שונים של כלים. מפעילי הנחילים יוכלו להעביר להם הוראות פשוטות יחסית, והנחיל יתארגן מעצמו באופן אוטונומי להוצאה לפועל של ההוראה באופן המתאים ביותר. הנחילים יפגינו יכולות ביצוע גבוהות ורמת אמינות גבוהה.

ד. **קלפים פרוצים:** יש חשיבות גבוהה להתייחסות אל ה"קלפים הפרועים" שחזו המומחים ככאלו שהם בעלי סבירות להתרחש. התוצאות של חלק זה מעידות שהעתיד עשוי להיות מפתיע יותר משאנו צופים אפילו במסגרת הסקר, וקבוצה לא קטנה של יכולות שהיום נראות לא סבירות עשויות להופיע בטווח של עשרים שנים באופן שיאפשר להשתמש בהן במסגרת מערכות בלתי-מאוישות לשימושים צבאיים ולשנות מאוד את דרכי הלחימה המוכרות לנו כיום.

חשוב לחזור ולהדגיש שתוצאות אלו מבוססות על הנתונים שנאספו במסגרת הסקר, וסקר זה אינו שואף ואינו מסוגל להשיג מובהקות סטטיסטית. גם בהיותו סקר שאין בו כוונה להשיג מובהקות סטטיסטית, מדובר בכל זאת במספר משתתפים קטן הנובע כאמור ממגבלות זמן ותקציב. כדי להשיג תוצאות ברורות ומדויקות יותר יהיה צורך לקבל מספר גדול של תשובות על כל שאלה, ממשותתפים הנחשבים מומחים אמינים בתחומם.

משמעויות אפשריות הנגזרות מהתממשות התחזית

מסקנה ראשונה: כמעט כל משימה צבאית טקטית יהיה אפשר לתכנן באופן אוטונומי בעוד עשרים שנה.

הטענה שהתכנון האוטונומי יהיה טוב לפחות כמו האנושי מתבססת על רכיבי מטלת התכנון: היכולת להכיר את "תנאי השפה", את האילוצים ואת המשימה יחד עם העדר חולשות אנוש, כגון עייפות, פחד או בלבול מבססות את הטענה. ייתכן שיהיו מקרים שבהם מפעיל אנושי יוכל להציע תכנון שונה ואולי טוב יותר, אולם מאחר שברוב המקרים יהיה התכנון האוטונומי מהיר ואמין, יפחת במהלך הזמן הצורך להציע תכנון שונה – חוץ ממקרים מיוחדים.

תכנון משימה נבדק במסגרת המחקר בהיבטים הבאים:

א. בנוגע לזמן הנדרש לתכנון/תכנון מחדש אוטונומי, התחזית מראה פרק זמן של שניות הנדרש לתכנון אופטימלי, גם במקרה של אירוע הדורש תכנון מחדש במהלך המשימה.

ב. זמן הנדרש לתכנון מסלול בלבד הוא כ-20% מהזמן הנדרש לתכנון הכולל – ומדובר על מסלול בן כעשרים ק"מ.

ג. שיפור ביצועים על סמך ניסיון – במקרה זה נבדק נושא איסוף נתוני מודיעין והתוצאות מראות על עקומת לימוד ושיפור ניכרים כתוצאה של ניסיון (כפי שהיינו מצפים ממתכנן אנושי מוצלח).

ד. רמת הביטחון ביכולת הניהול העצמית של משימה אוטונומית מצביעה על שיעור גבוה (מעל 85%) אמון ביכולת לנהל משימה באופן אוטונומי.

נבדקו גם התחומים האלה: היכולת להבחין בצמחייה, היכולת ליצור בסיס נתונים תלת-ממדי, הזמן הנדרש להעביר הוראה מחמ"ל ועוד. בכל המקרים התוצאות מעידות על אותה המגמה והיא, שלאור התחזית הטכנולוגית אפשר להניח שכמעט כל משימה צבאית טקטית תהיה ניתנת לתכנון אוטונומי. התוצאות הללו, יחד עם המרכיבים העיקריים שנבחנו ובהם תכנון מסלול, תכנון כולל, לימוד מניסיון ויכולת ניהול, מעידות מחד גיסא על צפי לרמת בשלות גבוהה, ומאידך גיסא לא נראה כי יש תחום שבו יישמר יתרון מובהק למתכנן אנושי מלבד הגדרת המשימה עצמה.

מסקנה שנייה: כמעט כל משימה צבאית טקטית יהיה אפשר לבצע באופן אוטונומי.

ביצועה של משימה צבאית טקטית דורש יכולת להניע מערכות באופן אוטונומי, לספק להן את הדרישות העיקריות (אנרגיה להנעה, תקשורת ובעיקר "בינה מלאכותית" שתנהל את המשימה). סוגיית התנועה האוטונומית נמצאת זה כמה שנים בטיפול במסגרת גופי פיתוח בארצות הברית, וכבר הוכחה יכולת תנועה אוטונומית טובה, וההנחה שיכולת זו תבשיל לרמה הנדרשת ממערכת צבאית אינה בגדר הימור מסוכן.

מטעמי נוחות אפשר לחלק משימות צבאיות טקטיות לשלוש משפחות:

- א. תמרון (ובכלל זה איסוף מודיעין הנדרש לתמרון).
- ב. הפעלת אש ו/או תקיפה (לרבות נקיטת פעולות התקפיות בתחום הסייבר שמטרתן לפגוע פיזית בנכסי היריב).
- ג. משימות לוגיסטיות שבבסיסן עומד הצורך לאפשר את מאמץ התמרון ואת מאמץ האש.

לא נערך במסגרת מחקר זה דיון מעמיק בפרטי הטכנולוגיה המיטבית למערכות יבשתיות או אוויריות שתיתן מענה לצרכים של מערכות אלו.

לעניין התנועה האוטונומית ביבשה – זו תתאפשר בהיקף נרחב באמצעות כלים אוטונומיים בעוד כעשרים שנה. לגבי תנועה אוטונומית באוויר אפשר לטעון שהנושא פתור כבר היום. לגבי תנועה בים אנו מניחים שלא צפויה בעיה, אם כי ממצאי המחקר בתחום הימי לוקים בחסר. מיקום חיישנים (סנסורים), הפעלת רשת תקשורת וניהול המשימה – כל אלה אף שלא נבחנו ישירות, אין באף אחד מהם כדי להוות בעיה קשה המחייבת בדיקה נרחבת יותר.

לסוגיית הפעלת האש – מן הבחינה הטכנולוגית תמה הבעיה עם מיקום הסנסורים השונים. ההחלטה אם מערכת אוטונומית תפתח בירי קטלני היא החלטה ערכית בעיקר ולא טכנולוגית (אם כי גם טכנולוגית מכיוון שהיא תלויה באיכות "קבלת ההחלטות" של הכב"מ, כלומר יכולתו לעבד את החומר המתקבל מהסנסורים עם מאגרי מידע ו"להחליט").

בשאלות אחרות נבחנו היבטים אחרים של סוגיית הביצוע (זמן שהייה, מהירות תנועה, יכולת מעבר מכשולים ועוד). המגמות שמסתמנות מעידות על אמון ביכולת הביצוע האוטונומי ועל תמיכה ביכולות חיוניות נוספות למימוש מטלת הביצוע.

מסקנה שלישית: משימות אוטונומיות יבוצעו על-ידי קבוצות של מערכות אוטונומיות.

התפתחות האוטונומיות של מערכות עתידה לאפשר להן לפעול בלא מעורבות יד אדם גם במסגרת שיתוף פעולה של קבוצות או "נחילים". ה"נחילים" פועלים תוך כדי קיום תקשורת מועטה והם לרוב פשוטים וזולים. בה בעת קיימים כב"מ המסוגלים גם ל"עבודה קבוצתית" של פרטים, ואלו מקיימים ביניהם תקשורת מרובה ומחליטים כל אחד בנפרד בדבר כיוון התנועה למשל. במסגרת המחקר התייחסנו לכל סוגי העבודה הקבוצתית כאל "נחיל" גם במקרה של מערכות מורכבות.

סיכום התחזית הטכנולוגית

התוצאות וניתוחן מעידים על שינוי מהותי שעשוי להתחולל בשדה הקרב אם התחזיות הטכנולוגיות יתממשו והכלים שנבנו על בסיסן ישולבו במערכות הצבאיות לצורך שימוש מבצעי. מערכות אלה יתאפיינו ביכולות תכנון וביצוע עצמאיות, ביכולת פעולה של קבוצות כלים בלא מעורבות יד אדם, בשיפור ניכר ביכולות הפעלת אש, תמרון ולוגיסטיקה. כל זה משמעו שינוי כולל של שדה הקרב. מהדברים עולה אפוא שהפעלתו של לוחם אנושי תידרש רק במקומות שבהם יהיה לו יתרון מובהק בעוד מרבית המשימות יועברו לביצוען של מערכות אוטונומיות או נשלטות מרחוק. השינויים הצפויים העולים מן החיזוי מצריכים היערכות הולמת לקליטתן של אותן מערכות ושימוש מתאים בהן כדי למקסם את היתרונות הטמונים בטכנולוגיה ולהימנע ככל האפשר מן הסיכונים הגלומים בהפעלתה בידי האויב. על בסיס תוצאות השלב הטכנולוגי וכן על סמך התיאוריות שנוצרו על בסיסן ופורטו בפרק זה, גובשה מדיניות רצויה לישראל לנוכח השינויים הצפויים בשדה הקרב.

פרק ב: עיצוב המדיניות

רקע

הפרק הראשון במזכר זה עסק בחיזוי טכנולוגי עבור כלים בלתי-מאוישים לשימושים ביטחוניים בשנת 2033. התוצאות שהושגו בשלב הראשון הן תוצאות טכנולוגיות הנוגעות בעיקר לרמת המכלול הפונקציונלי. פרק זה עוסק בשאלה: כיצד על מדינת ישראל להיערך נוכח מגמת הרחבת השימוש בכב"מ לצורכי ביטחון? בפרק זה יוצגו בקצרה תהליך גיבוש המדיניות והמלצות למדינת ישראל לאור ההנחה שהשימוש בכב"מ לשימושים צבאיים יגבר מאוד בשני העשורים הקרובים, וצריך להיערך לכך כדי למצות מצד אחד את הפוטנציאל של התחום, ומן הצד האחר להתמודד באופן מיטבי עם האתגרים והסיכונים.

שלב גיבוש המדיניות התבסס על החיזוי הטכנולוגי וכן על הפרשנות לתוצאות החיזוי. שני אלו היו נדבך מרכזי בעבודתה של קבוצת המומחים בתהליך גיבוש המדיניות. עם זאת היה ניתן לקיים כל אחד מחלקי המחקר בנפרד ואין הם תלויים זה בזה. השילוב בין שני החלקים נועד להדגים אפשרות מחקרית מתודולוגית. באותה מידה אפשר לבצע את שלב החיזוי כמחקר בפני עצמו ואת שלב גיבוש המדיניות, ללא שלב החיזוי, על בסיס הידע של החוקרים בתחום, היכרותם עם הטכנולוגיות לאור ניסיונם וכן על סמך פרסומים קודמים בתחום. הסיבה לביצוע של שני החלקים בצורה משולבת תחת מחקר אחד היא השאיפה להדגים קונספט מחקרי אפשרי לצורך קיומם של מחקרים בתחום החיזוי הטכנולוגי וגיבוש מדיניות לאומית.

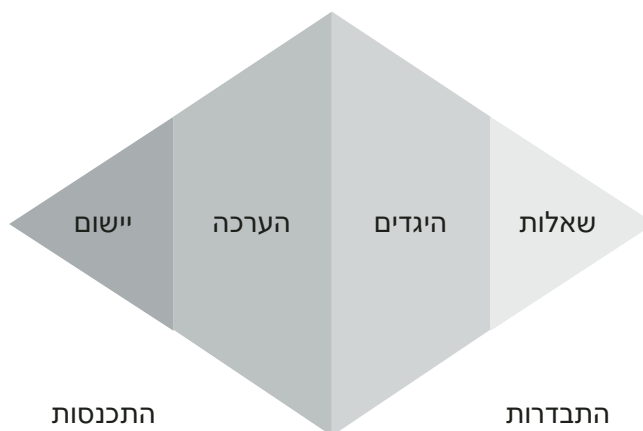
בשלב גיבוש המדיניות נעשה שימוש במתודולוגיה השייכת לגישת עיצוב העתידים הרצויים בחקר העתיד. יישומה של מתודולוגיה זו אפשר דיון בין מומחים באמצעות מערכת אינטרנטית. תוצאות הדיון, ניתוחן והפרשנות להן יצרו שלוש רמות שונות של המלצות למדיניות בעבור מדינת ישראל, המוצגות בפרק זה.

מתודולוגיה ואופן גיבוש המדיניות

בשלב זה של המחקר נעשה שימוש במתודולוגיית Imen-Delphi (ID), השייכת לגישת עיצוב העתידים הרצויים בתחום חקר העתיד.⁴ מתודולוגיה זו יושמה בעבר במגוון ארגונים ממשלתיים, עסקיים ואחרים בישראל כדי לעצב עתיד רצוי ומוסכם לארגון.⁵ בשנים האחרונות יושמה בכמה ארגונים גרסת Real-Time Imen Delphi (RTID) של

המתודולוגיה העושה שימוש במערכת אינטרנטית ייעודית לקיום דיון קולקטיבי מקוון רב משתתפים בהתאם לעקרונות גישת תבונת ההמונים, וכדי למצות את התבונה הקולקטיבית של כלל בעלי העניין הרלוונטיים של הארגון. יישום של גישות תבונת ההמונים מתאפשר בתנאים הבאים: הטרוגניות הקבוצה; עצמאות מחשבתית; ביזור; מנגנון אגרגציה.⁶

המתודולוגיה שנבחרה לצורך קיומו של הדיון הקולקטיבי בפרויקט מכונה כאמור מתודולוגיית RTID השייכת לגישת העתידים הרצויים, שפותחה בידי פרופ' דוד פסיג כדי לסייע לארגונים לחולל רעיונות חדשים, שיכוונו אותם לקראת עתיד רצוי ומוסכם על כלל בעלי העניין של הארגון. מטרת המתודולוגיה לדלות ולעדן את דעותיהם של בעלי העניין בנוגע לעתידים המשותף בעזרת הבניית תהליך התקשורת הקבוצתית. המתודולוגיה מאפשרת לקבוצה להתמודד עם בעיות מורכבות בעתידה ובעתידים של חבריה, לחולל דימויים עתידיים חדשים, למצוא בסיס משותף ולקבוע משימת עבודה למימוש בעתיד בכוחות משותפים. המתודולוגיה תומכת בהליכי דיון קולקטיביים ויש בה כמה שלבים שבהם שואלים המשתתפים שאלות, מעלים היגדים כתשובה לשאלות, מעריכים את ההיגדים ומנמקים אותם, ולבסוף מגדירים משימות ליישום הרעיונות הנבחרים כפי שמתואר באיור 1.



איור 1: תהליך הדיון הקולקטיבי

מערכת הדיון

הדיון התקיים על גבי מערכת אינטרנטית מותאמת שאפשרה את ניהולו בין מספר גדול של משתתפים תוך הימנעות מן החסרונות או האילוצים שקיימים באופן מובנה

בדיונים פנים אל פנים. בין השאר אפשרה צורת עבודה זו גמישות בזמני ההשתתפות בדיון ואת היתרונות הטמונים בכתיבה אנונימית.

שלב זה בדיון הקולקטיבי כלל את הפעולות הבאות:

1. הגדרת שאלת הדיון – "כיצד על מדינת ישראל להיערך לאור מגמת הרחבת השימוש בכלים בלתי-מאוישים לצורכי ביטחון?" שאלה זו הוגדרה בהתבסס על דיון פנימי וכן התייעצות עם חוקרים במכון למחקרי ביטחון לאומי ומחוצה לו.
 2. גיוס קבוצת מומחים להשתתפות בדיון – קבוצה זו כללה, נוכח מגבלות תקציב המחקר, 26 חוקרים בלבד בתמהיל הטרוגני של חוקרים מתוך המכון ומחוצה לו, נשים וגברים בטווח רחב של גילאים ומגוון תחומי עיסוק הקשורים לגיבושה של מדיניות לאומית.
 3. איסוף חומרי הרקע לדיון.
 4. כנס פתיחה שבו קיבלו המשתתפים הסברים נרחבים בנוגע להשתתפות בתהליך, לשימוש במערכת האינטרנטית וכן בנוגע לתוצאות השלב הטכנולוגי.
- הדיון הקולקטיבי הורכב משלושה שלבים מרכזיים (שלושת השלבים ותוצאותיהם מתוארים באיור 2).

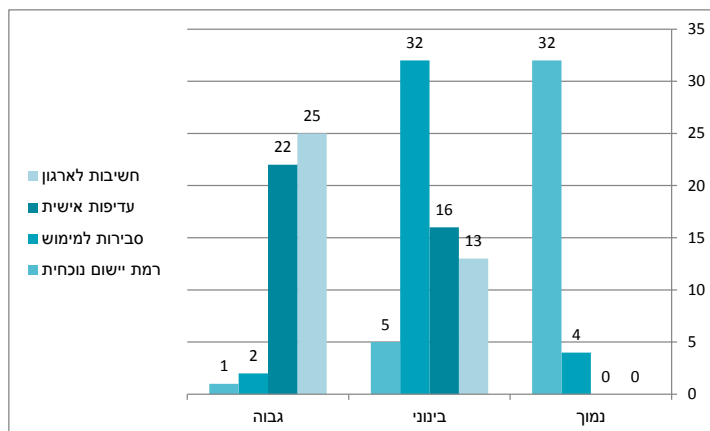


איור 2: שלבי הדיון הקולקטיבי

שלב השאלות: בו התבקשו המשתתפים לנסח שאלות החוקרות את מרחב הבעיה של סוגיית הדיון בלי להתייחס לפתרונות. זאת על בסיס כנס הפתיחה, הגריינים (טיזרים) שקראו והידע האישי שלהם בתחום.

שלב ההיגדים: בו התבקשו המשתתפים לנסח משפטי ציווי כתשובות לשאלות. משפטים אלו מהווים המלצות למדיניות בהתאם לנושאים שעלו.

שלב התעדוף (הערכה): בו דירגו המשתתפים כל אחד מההיגדים הסופיים שנוצרו בדיון על-פי ארבעה מדדים. המשתתפים נימקו את הדירוגים שלהם וכך התאפשר להם להשפיע על הדירוג של חבריהם לקבוצה. (התפלגות ההצבעה של שלב התעדוף מתוארת באיור 3).



איור 3: התפלגות ההינדים על פני הפרמטרים של הדרוג

בין השלב הראשון לשני ובין השני לשלישי ביצעה מנהלת הדיון עריכה וטיוב של התוצרים. הטיוב כלל שיפור ניסוחים של חלק מהחומרים, תיקון טעויות וכן מיזוג תוצרים דומים לכדי תוצר בודד המכיל את תוכנם של הרכיבים השונים.

במהלך ביצוע הדיון הקולקטיבי התגלו מספר בעיות ובתוכן חוסר מחויבות של חלק מהמשתתפים שהוחלפו בין השלבים השונים וכן חוסר התאמה של חלק מן הפונקציות במערכת לשאלות בנושא מדיניות לאומית (בשונה מהתאמתה לשאלות בנושאים של מדיניות עסקית למשל) הבעיות שניתן היה לפתור בזמן אמת טופלו בעוד האחרות מופיעות כפערים בנספח ג'.

התפלגות התוצאות: העובדה שעל-פי קביעת הקבוצה מרבית ההיגדים בדיון הוגדרו חשובים ובה בעת ככאלה שלא יושמו עד כה, מצביעה על איכות תוצר טובה ורלוונטית של הקבוצה. כן נראה שהקבוצה ספקנית בנוגע ליכולת לחולל שינויים דרמטיים בתחום הכב"מ בישראל. שלב הדיון האינטראקטיבי הניב היגדים מנומקים ומדורגים. ניתוחם ופילוגם לקבוצות על-פי נושאים וסדר החשיבות הוביל לתובנות בנוגע להיערכות המומלצת לישראל.

ממצאי המחקר

ממצאי שלב זה של המחקר מבוססים על השיח המובנה שהתבצע במערכת הממוחשבת. (ניתן לצפות בהיגדים השלמים, כפי שנכתבו במערכת, בנספח ב')

הממצאים הללו ניתנים להצגה בשלוש רמות:

המלצות ישירות – רמה זו, היא הבסיסית, ובה המלצות מפורטות באופן ישיר כפי שניסחו אותן משתתפי המחקר בשלב עיצוב המדיניות. ההמלצות הן אלה שהקבוצה

דירגה במקומות הגבוהים ביותר במגוון ההמלצות שעלו בתהליך. מדובר בהמלצות צרות יחסית, הנוגעות לרוב לפעולה אחת בתחום פרטני. המלצות אלו משקפות את דעתם של הכותבים אשר לעיקרי המדיניות שעל מדינת ישראל לאמץ, כדי למצות את הפוטנציאל הגלום בתהליך הנתון של הרחבת השימוש בכלים צבאיים בלתי-מאוישים. המלצות משתמעות – המלצות כלליות הנובעות או משתמעות מדברים שכתבו המשתתפים, בדרך כלל לא באופן ישיר.

הצבעה על מגמות עתידיות – מדובר ברמת ניתוח שמעל להמלצות המשתמעות. היגדים אלו מהווים התבוננות אנליטית על השפעות אפשריות שמעבר לחיזוי הטכנולוגי, והן בגדר ניתוח של מגמות אפשריות בעקבות שימוש בכב"מ. שילוב המסקנות מאפשר הבנה רחבה יותר של ההיערכות הנדרשת ממדינת ישראל לקראת שימוש נרחב בכב"מ למטרות צבאיות בטווח הקצר ובטווח הארוך, ברמות הטקטיות והאסטרטגיות.

המלצות ישירות

להלן ההמלצות הישירות שניסחו משתתפי המחקר ודירגו כעשרים ההמלצות בעלות החשיבות הגבוהה ביותר למדינת ישראל.

1. על מערכת הביטחון וגופי המודיעין להיערך לקראת שילוב נרחב ועמוק יותר של כב"מ בתחום איסוף המודיעין.
2. על מערכת הביטחון ליישם תפיסות, תהליכים ואמצעים שיאפשרו קליטה ומבצוע מהירים ואינטנסיביים של מערכי כב"מ חדשים.
3. על מדינת ישראל לפתח מדיניות, תורת לחימה ויכולת להתמודד עם מערך הכב"מ של מדינות ושל ארגוני אויב.
4. מדינת ישראל חייבת לשמר מרכיבי ליבה מבצעיים מאוישים ביכולתה הצבאית, גם בעידן השימוש הנרחב בכב"מ.
5. על מדינת ישראל לקיים חשיבה מתמדת לגבי מהות מערך הכב"מ ודוקטרינות הפעלה עתידיות ולעדכן בהתבסס על ההתפתחויות הטכנולוגיות הרלוונטיות.
6. על מדינת ישראל לפתח תכניות לימוד והכשרה התומכות בהיבטים השונים של תחום הכב"מ ולעודד את ההשתלבות בהן.
7. על מדינת ישראל לנצל את יתרונה בתחום הכב"מ הצבאי, כדי להפוך לשחקן משמעותי בשוק הכב"מ האזרחי העולמי המתפתח.
8. על מדינת ישראל להגדיר ולנהל תפיסת הגנה ושרידות כוללת למערך הכב"מ, המכילה עקרונות ויעדים ברורים.
9. על מדינת ישראל להגדיר מפת דרכים טכנולוגית להכוונת המחקר והפיתוח (מו"פ) בתחום הכב"מ, בהתבסס על יתרונותיה היחסיים, צרכיה הייחודיים ופוטנציאל הייצוא.

10. על מדינת ישראל ליצור שיתוף פעולה מודיעיני ומשפטי עם מדינות אחרות, כדי להפחית את הנגישות של גורמי טרור לכב"מ.
11. על מדינת ישראל לאפשר לתעשייה הביטחונית שיתוף פעולה בינלאומי וייצוא מערכות כב"מ ישראליות, כפוף למנגנוני פיקוח של מערכת הביטחון.
12. על מדינת ישראל לקחת חלק פעיל בגיבוש אמנות בינלאומיות להגבלת השימוש בכב"מ, כדי להשפיע על אופיין ולהבטיח את האינטרסים הביטחוניים והכלכליים שלה.
13. על צה"ל להתאים את מודל השירות הצבאי בסדיר ובמילואים לעידן הכב"מ בהיבט של כמות, של אפיוני המשרתים ומאפייני מסלולי השירות שלהם.
14. על מערכת הביטחון להקים תשתית big data ותהליכים שיאפשרו אגירה, עיבוד וניתוח של מידע רב ומגוון, שייאסף על-ידי מערך הכב"מ.
15. על מדינת ישראל להקצות משאבים ייעודיים בתקציב הביטחון למערך הכב"מ על חשבון צמצום תקציבי מערכים מאוישים.
16. על מדינת ישראל לפתח את תחומי הסייבר והלוחמה האלקטרונית ההגנתיים, כאמצעים להתמודדות עם טרור המבוסס על שימוש בכב"מ.
17. על מדינת ישראל ליישם תקנים בינלאומיים בתחום הכב"מ ולהיות שותפה פעילה ומשפיעה בגיבושם, במסגרת פורומים בינלאומיים.
18. על מדינת ישראל ליצור שיתוף פעולה הדוק בתחום הכב"מ בין האקדמיה לתעשיות הביטחוניות.
19. על מדינת ישראל להיערך לשיתוף פעולה מבצעי בין צבאות בתחום הכב"מ באמצעות הגדרת מדיניות כזאת ויישומה, ומימוש פרוטוקולים של תקשורת שיאפשרו אותה.
20. על מערכת הביטחון ליישם תפיסה של שימור כוח אדם בתחום הכב"מ, שתהא מבוססת על אתוס, ערכיות, אתגר, קריירה ותגמול, כדי להתמודד עם התחרות שמציב השוק האזרחי.

המלצות משתמעות

בסעיף זה יוצג עיבוד של ההיגדים אשר הניב קבוצה של מסקנות כוללניות יותר. תמונת היבטי הפעילות מצביעה על הצורך בראייה כוללת ובהיערכות לעידן הרחבת השימוש בכב"מ לצרכים צבאיים. בשלב זה זוהו תחילה היבטים משותפים, על-פי נושאים שעולים בהיגדים ומציגים היבטים של היערכות. החלוקה לממדים מוצגת להלן לפי סדר יורד של מספר ההיגדים שסווגו לכל ממד:

1. פיתוח דוקטרינות ותורות לחימה – היבט מרכזי שעלה (9 היגדים) נוגע בצורך לפתח דוקטרינות ותורות לחימה שיסייעו להנחות את צה"ל בדרכי הפעלת כב"מ בשדה הקרב, כדי למצות את יכולותיהם ולהשיג יתרון יחסי למדינת ישראל.
 2. היערכות ארגונית, מבנית ותקציבית – גם זה היבט בעוצמה גבוהה (6 היגדים) ועניינו ההיערכות הנדרשת בתחום הארגון, התהליכים והמשאבים שיאפשרו יישום אפקטיבי ומהיר של הדוקטרינות ושל תורות הלחימה שהוגדרו.
 3. ניהול המיקוד הטכנולוגי והיישומי – היבט חשוב נוסף (6 היגדים) הוא ניהול מתמיד של תעדוף ומיקוד ההשקעה בתחומים הטכנולוגיים וביישומי הכב"מ הנדרשים, כדי לתמוך בדוקטרינות ותורות הלחימה שהוגדרו.
 4. הגנה בפני כב"מ – היבט זה (4 היגדים) הוא תחום פיתוח ההגנה מפני הפעלת כב"מ בידי גורמים עוינים או מקרי רשלנות, תחום שחיוניותו גוברת ככל שהשימוש בכב"מ מתפשט בעולם בכלל ובמזרח התיכון בפרט.
 5. חוק ותקינה בינלאומיים – היבט זה (3 היגדים) ממוקד בצורך של ישראל להשתלב, לפעול ולהשפיע על העולם המתפתח של האמנות המשפטיות והתקינה הבינלאומיים, שיעצבו את יכולות הפיתוח, ההפעלה, ההתגוננות והשיווק בתחום הכב"מ.
 6. שיתופי פעולה בינלאומיים – ממד זה (3 היגדים) ממוקד ביכולת לבנות שיתוף פעולה צבאי בין מערכי כב"מ של ישראל למערכי כב"מ של צבאות של בעלות ברית.
 7. חקיקה ואתיקה ישראליים – היבט זה (2 היגדים) ממוקד בחקיקה ואתיקה בישראל להסדרת פעילות הכב"מ, שתקשה על פעילות כב"מ רשלנית או עוינת ותיצור סנכרון עם המשפט הבינלאומי.
 8. מינוף כב"מ לשוק האזרחי – היבט (2 היגדים) הממוקד ביכולת ובצורך של ישראל לנצל את יתרונותיה בתחום הכב"מ הצבאי כדי לכבוש מעמד מוביל בשוק הכב"מ האזרחי העולמי המתפתח במהירות.
- מניתוח משולב של ההיגדים הישירים יחד עם קבוצות המסקנות הכוללניות, עולות מסקנות רחבות יותר מן המסקנות שהוצגו באמצעות ההיגדים הישירים:

צורך בניסוח ויישום תפיסה מערכתית כוללת לתחום הכב"מ

שימוש נרחב בכב"מ טומן בחובו פוטנציאל גדול לשינוי בבניין כוח צבאי והפעלתו, וכן במישורים נוספים, כגון בשוק האזרחי. ייתכן שמקבלי ההחלטות במדינת ישראל אינם מודעים לפוטנציאל הזה, ועל כל פנים אינם פועלים בהתאם. הנחה זו מבוססת בין השאר על הידע של המשתתפים בתהליך גיבוש המדיניות ועל כן מביאה בחשבון את המצב הקיים כיום בישראל, ולפיו מטופל נושא הכב"מ בידי גורמים שונים במשרדי

ממשלה שונים ובמסגרת הגופים הביטחוניים, אך לא באופן מאוחד בידי גורם מנחה המנהל מפת דרכים אחודה, תקציב והנחיה מרוכזת למשרדים שונים.

המלצה: יש לראות את החדירה הנרחבת של כב"מ לשימוש צבאי ואזרחי כאירוע הדורש היערכות ברמת המדינה ולאור זה לנהל אותו מלמעלה (top-down). יש לבחון את הצורך בהקמת גופי ניהול – מדיני וצבאי – לצורך הנחייתו והפיקוח עליו. תפיסה מערכתית כוללת זו צריכה להגדיר את היעדים שאותם צריך לשרת תחום הכב"מ, ובהתאם את הדוקטרינות ותורות הלחימה שיאפשרו למצות את הפוטנציאל של מערך הכב"מ העתידי ואת ההיערכות הארגונית הנדרשת בהיבטי תקצוב, מבנים וגופים ארגוניים, ואת מודל השירות, תהליכי גיוס כוח אדם והכשרתו בעידן הכב"מ, את מפת הדרכים הכוללת לפיתוח טכנולוגי של מערך הכב"מ, את הטיפול בהשלכות החוקיות, הרגולטוריות, האזרחיות והבינלאומיות של יישום מערך הכב"מ העתידי ועוד.

בחינת שינוי אפשרי בתפיסת ניהול כוח האדם של צה"ל

מערך גדול של כב"מ יוביל ככל הנראה לירידה בדרישה לחיילים לוחמים בכלל ולאנשי מילואים לוחמים בפרט. מערך כזה גם ידרוש התמקצעות ולכן אופק שירות ארוך יותר. הקטנה כזאת של המערך הלוחם יחד עם דרישה לרמה מקצועית גבוהה של מפעילי המערכות עשויה לבשר שינוי ברלוונטיות של צבא המילואים וליצור צורך בהחלפתו במודל שירות אחר. הדבר גם עתיד להשפיע על היבטים רבים ומגוונים של השירות. **המלצה:** עם הרחבת השימוש בכב"מ צריך לבחון מחדש את פרופיל השירות בצה"ל על כל היבטיו לרבות איתור, מיון גיוס הכשרה ואימונים. יתר על כן, יש לבחון שינויים בתחום החינוך וההשכלה לצורך הכשרה של כוח אדם מתאים עוד לפני השירות הצבאי. יש לבחון אפשרות של מעבר לצבא מקצועי וכן להתייחס לתשתית החינוכית ולהכשרה טכנולוגית בגילאים שלפני גיוס. ועוד יש לבחון השפעת השינוי העתידי על רלוונטיות של מונחים כגון: "גיוס חובה", "צבא העם" וכיוצא באלה.

שיתוף פעולה בינלאומי ככלי להפעלה, תקינה והתגוננות

מגוון נושאים מצביעים על הצורך בשיתוף פעולה בינלאומי נרחב בתחום. הדבר בא לידי ביטוי גם בפוטנציאל לפיתוחים משותפים, גם בצורך ליצור תקנים משותפים לצורך שיתוף פעולה מבצעי וכן הצורך להיערך במשותף כנגד שימוש לרעה בכב"מ בזירה הבינלאומית.

המלצה: על מדינת ישראל לנקוט מדיניות המעדיפה שיתוף פעולה רחב ככל האפשר וכן לפעול לצורך הובלה והשפעה על פורומים בינלאומיים, כדי למנוע היווצרות תקנים, נורמות או חקיקה המנוגדים לאינטרסים של ישראל.

מינוף כב"מ לשוק האזרחי

ישראל צריכה לנצל את יתרונותיה בתחום הכב"מ הצבאי, כדי להשיג מעמד מוביל בשוק הכב"מ האזרחי העולמי המתפתח במהירות וטומן בחובו פוטנציאל כלכלי אדיר. **המלצה:** על מדינת ישראל להפנות משאבים לנושא, להשקיע במו"פ להסיר מגבלות ייצוא או ליצור הגבלות עדכניות, וכן ליצור שיתופי פעולה בין האקדמיה, התעשיות הצבאיות וחברות טכנולוגיות לצורך קידום היתרון הישראלי בתחום האזרחי על בסיס תשתית הידע וההובלה בתחום הצבאי.

הסכנות שבתחום הכב"מ

קיימות שתי קבוצות של סכנות שמוצעים להן דרכי התייחסות רצויות ופתרונות: **שימוש לרעה בכב"מ** בידי צבאות עוינים, ארגוני טרור או לחלופין – שימוש פלילי. בתחום הזה הקבוצה גורסת שיש לקיים שיתוף פעולה רחב עם מדינות ידידות ושמירה על יתרון איכותי על-ידי השקעה נרחבת בתחום כוח האדם. **פיתוח תלות במערכות הכב"מ ופגיעה ביכולות מפתח מבצעיות.** הקבוצה גורסת שיש לבצע הכנסה הדרגתית של מערכי כב"מ למשימות שהסיכון בהן נמוך יחסית, כגון לוגיסטיקה ומודיעין, ובה בעת שימור גרעין יכולת מאוישת כל עוד הדבר נדרש והטכנולוגיה טרם הוכיחה את עצמה במגוון משימות.

חובת "אדם בחוג" מול האפשרות למתן אוטונומיה מלאה

סוגיה זו מופיעה במחקר בשל ההתייחסות האתית והמשפטית הנרחבת, הנדרשת ברמה הלאומית והבינלאומית. סוגיית האוטונומיות ויכולתה של מערכת להפעיל כוח קטלני ללא מעורבות יד אדם מעוררת שאלות במגוון תחומים ובהם האתיקה והמשפט. משל: שאלת הנשיאה באחריות (accountability) במקרה של טעות או תקלה. במצב הנוכחי, המערכת המשפטית והתשתית החוקית והרגולטיבית במדינה (בהתבסס על חשיבה בתחום האתיקה והממשל) אינן ערוכות למתן חופש החלטה רחב למערכות שאינן בשליטת אדם.

המלצות: יש לגבש תפיסה סדורה ולאורה למסד רבדים של חקיקה ורגולציה שיאפשרו שימוש מושכל ביכולות אלו.

1. לתת עדיפות לטיפול בתחום החקיקתי-המשפטי והרגולטיבי ולקיים דיון שמטרתו לבסס התייחסות בתחום האתיקה, בהתאם לטכנולוגיה החדשנית. פעילות זו יש לבצע בשיתוף פעולה בינלאומי רחב ככל האפשר לצורך יצירת לגיטימציה.
2. לתת עדיפות לפיתוח יכולת בתחומים שאינם שנויים במחלוקת אתית-חוקית, כגון משימות מודיעין ולוגיסטיקה.

מגמות עתידיות מעבר לתחום החיזוי הטכנולוגי

שורה של נושאים שיפורטו להלן, ושנותחו בידי עורכי ומנחי המחקר, מהווים נקודות למחשבה שמעבר להמלצות הישירות. מדובר בשאלות שעלו בשלבי הדיון השונים וכן מן המסקנות אם ייושמו. השאלות הן בבחינת הצעה למחקרי המשך אפשריים בנושא.

1. לאילו השפעות על תקציב המדינה ועל תקציב הביטחון עלינו לצפות?
 2. האם היכולת להפתעה טקטית תרד?
 3. כיצד ישפיע השימוש בכלים אלו על תפיסת ההכרעה?
 4. האם השימוש בכלים אלו יבטל את היתרון שיש כיום בתחום הצבאי למדינות רבות אוכלוסין?
 5. האם כלים אלו יחלישו את המונופול של מדינות הלאום על הפעלתה של אלימות?
 6. האם כלים אלו ישנו את מושג הריבונות כפי שמוכר לנו כיום?
- צוות המחקר מבקש להצביע על שלושת הנושאים הבאים מתוך הרשימה הנ"ל, כבעלי חשיבות גבוהה במיוחד למחקר עתידי:

1. השפעות אפשריות על תקציב המדינה ועל תקציב הביטחון. נושאים המהווים סעיפים מרכזיים בתקציב הביטחון לשנת 2013 עשויים להיעלם, ובראשם הצטיידות ואימון של משרתי המילואים. כן צפויים שינויים משמעותיים בתחום הלוגיסטי. סעיפים אחרים הצפויים לקטון הם אלו הנוגעים לפלטפורמות הלחימה העיקריות, כגון כלי טיס מאוישים ורק"מ (רכב קרבי משוריין). יחד עם הירידה בערכם של נושאים וסעיפים אלו עשויים להופיע ולגדול סעיפי תקציב הקשורים למערכים חדשים שיוקמו ויחייבו הקצאה נרחבת לצורך מיסודם.
2. אפשרות לירידה ביכולת להפתיע ברמה הטקטית. השילוב בין איסוף מודיעין רחב וקבוע, יכולת ניתוח מידע מהירה על בסיסי נתונים מסוג big data וקבלת החלטות מהירה, עשויים להביא מנהיגים ומדינות בהדרגה לידי הכרה שהפתעה טקטית קשה להשגה. הדבר עשוי להפחית משמעותית את התמריץ לצאת למתקפת פתע.
3. אפשרות לשינוי בתפיסת ההכרעה. שימוש מוגבר בכב"מ עשוי להקטין את היכולת לאלץ הכרעה צבאית קלאסית. גם הפיתוי לזיום מערכה צבאית מלאה עשוי לקטון. מן הראוי לבחון כיצד הצטיידות נרחבת בכלים אוטונומיים עשויה להשפיע ברמות האסטרטגיות ולשנות את ההיערכות בהתאם.

סיכום

פיתוח, ייצור ושימוש בכב"מ לצרכים צבאיים הוא תהליך עולמי מתגבר אשר יתרחש בין אם מדינת ישראל תיטול חלק מרכזי בהובלתו ובין אם תגיב לו באופן תוצאתי לחלוטין. בימים אלו ישראל עדיין נהנית ממעמד מוביל בתחום המערכות הבלתי

מאוישות ואף-על-פי-כן חסר בה תהליך סדור, מנוהל בידי גורם רשמי, לטיפול בהתרחבות השימוש בכלים אלו. תהליך כזה נדרש לאור קפיצת המדרגה הגדולה הצפויה להשפיע משמעותית על עולם המערכות הבלתי-מאוישות. קפיצה זו תתרחש כאשר יכולות אוטונומיות יבשילו ויהיו בשימוש נרחב, דבר הצפוי להתרחש לפני שנת 2033, כפי שעולה מן התחזית הטכנולוגית. מכל ההמלצות של המחקר הנוכחי בולטת ביותר ההמלצה לרכז ולהסדיר את התהליך לצורך שימור הובלתה של ישראל בתחום, וכדי להבטיח שהיא תוכל ליהנות מהיתרונות הטמונים בו ולהיערך ככל האפשר להתגוננות מפני האיומים.

ההמלצה לרכז ולהסדיר את התרחבות השימוש בכלים בלתי מאוישים, היא רק אחת משלל המלצותיו של המחקר בן שני שלבים שהתבצע בשנה החולפת במכון למחקרי ביטחון לאומי. השלב הראשון במחקר, שלב חיזוי טכנולוגי בתחום הכב"מ לשימושים צבאיים עד שנת 2033, הוביל לתיאור ההתפתחות העתידית של מערכות בלתי-מאוישות לשימושים צבאיים בעתיד ואישש את הסברה, כי העתיד טומן בחובו שימוש נרחב בכלים בלתי מאוישים רבים. שלב זה היווה את הבסיס לשלב השני בו גובשה מדיניות רצויה לישראל לצורך אימוצן והטמעתן של הטכנולוגיות הללו במידה שיתממשו בהתאם לתחזית. שני שלבי המחקר התבססו על מתודולוגיות מוכרות בתחום "חיזוי העתידים" ו"עיצוב עתידים רצויים".

שלב גיבוש המדיניות, שלמעשה מסכם את המחקר, הפיק מגוון המלצות לישראל. ההמלצות נוגעות לכמה תחומים, המרכיבים מדיניות כוללת ומבוססים על דיון בין מומחים בתחומי הביטחון, החברה, החינוך, הטכנולוגיה, המשפט, היחסים הבינלאומיים ועוד. אין להתעלם מכך שמעל כל המסקנות מרחפת מסקנה אחת מרכזית והיא הצורך בניהול תהליך של הרחבת השימוש בכב"מ בגישה של הנחיה ממעל (top-down). לביצוע תהליך סדור בתחום זה יידרש ככל הנראה גוף מתכלל חיצוני לצבא. על גוף זה להיות בעל סמכויות הסדרה ותקציב בתחומים של מו"פ, תקינה חקיקה, תעשיה, שיתוף פעולה בינלאומי, קביעת יעדים ארוכי טווח למשק הישראלי ותרגום היעדים לתכניות עבודה. בצדו של גוף זה יהיה צורך להפעיל גורם מנחה צבאי, שיהיה ממונה על פיתוחן וישומן של מפות דרכים בעבור הכוח הצבאי, מו"פ ותכנון כוח אדם, ייעוץ משפטי, הצטיידות, קשרי חוץ בכל הנוגע לטכנולוגיה הבלתי-מאוישת, פיתוח תפיסות ואימונים וכן תכנון תקציבי.

חשוב גם לשים לב לשאלות העולות מניתוח של תוצאות הדיון בנוגע להיבטים ארוכי טווח ובהם: השפעות אסטרטגיות של התחום על הזירה הבינלאומית, האפשרות לשינוי תפיסת ההכרעה, האפשרות שתצטמצם היכולת לחולל הפתעה טקטית והיחלשות המונופול של מדינות הלאום על הפעלת כוח. מנהלי המחקר מעלים נושאים אלו כמומלצים לחשיבה נוספת ולמחקרים עתידיים.

על אף הסתייגות מסוימת הנובעת מחולשות אחדות בתהליך בגלל גודלו והזמן הקצר יחסית שהוקצב לו, התוצאות מעידות על הצורך בשינוי הדרך שבה מנהלת כיום מדינת ישראל את הגידול בשימוש בכב"מ למטרות צבאיות ואת תהליכי המעטפת הקשורים לכך, ושיש צורך בלמידה מעמיקה יותר של הנושא ובאימוץ מדיניות לאומית. חשוב מאוד לדון במסקנות המחקר ולבחון את האפשרות לאמצן בקרב גופים רשמיים במדינת ישראל, בעיקר עקב מרכזיותו של תחום הכלים הבלתי־מאוישים, נכון לשנת 2014, בתעשייה הביטחונית הישראלית כאפיק ייצוא מרכזי, וכן בגלל החשיבות העולה של כלים כאלו בתעשייה העולמית הצבאית והאזרחית.

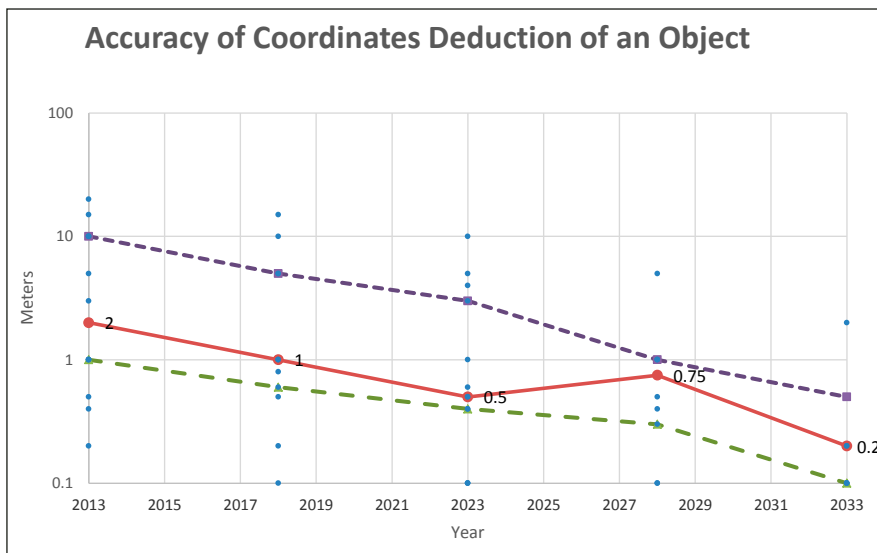
מעל כל אלה, עורכי המחקר סבורים שאסור לישראל שלא לעשות שימוש בתחזיות טכנולוגיות לצורך גיבוש מדיניות, וזאת בשל השפעתה המכרעת של טכנולוגיה על מדינות בעידן המודרני בכלל ועל מרכזיותה של הטכנולוגיה לביטחונה וכלכלתה של ישראל בפרט. המחיר שעלולה ישראל לשלם אם לא תטפל בנושאים השונים על־פי מדיניות ברורה מבעוד מועד, יהיה בעוד עשור או שניים גבוה בעשרות מונים.

נספחים

נספח א

שאלות הסקר הטכנולוגי, תוצאותיהן וניתוחן

כמקובל בסקרי דלפי וסקרי מומחים דומים, ברוב השאלות מוצגים הערכים החציוניים של הערכות המומחים (הצגת החציון עדיפה בדרך כלל מהצגת הממוצע משום שתשובות קיצוניות עלולות "למשוך" את הממוצע באופן לא מציאותי⁷). נוסף על החציון, מקובל להציג את טווח הפיזור של "התחום הבין-רבעוני" של התשובות, כלומר חמישים אחוז מהתשובות משני צדי החציון. טווח זה מבטא את מידת ההסכמה או אי-ההסכמה בין המומחים.⁸ בסקר הנוכחי בחרנו להציג באופן גרפי את כל התשובות, את החציון, ואת הטווח הבין-רבעוני, כמתואר בדוגמה הבאה:



הנקודות מייצגות את התשובות הפרטניות של המומחים (במקרה זה, 14 משיבים. חלק מהנקודות מייצגות יותר ממשיב אחד).
הקו הרציף האדום מציג את התשובות החציוניות. התחום הבין-רבעוני (מחצית התשובות סביב החציון) נמצא בין הקווים המרוסקים. במילים אחרות, רבע מהמשיבים נתנו ערכים גבוהים יותר מהקו המרוסק הכחול ורבע מהם נתנו ערכים נמוכים יותר מהקו המרוסק הירוק.

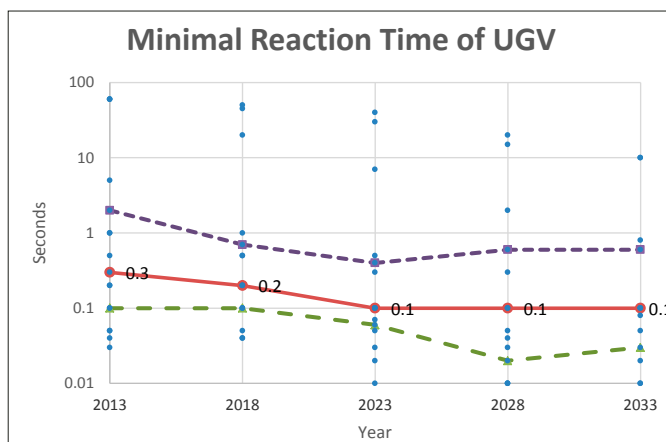
בינה מלאכותית וניהול עצמי

שאלה 1

What is the minimal reaction time [in Sec] of UGV (including real-time situation assessment, decision making, planning/re-planning processes) for an optimal response to a major unexpected event (e.g., onboard self-detection of suspected mine field / IED devices along the already planned route) while the UGV is on its mission? Assume that the best available components are being used in the platform.

שאלה זו נועדה לבחון את זמן התגובה האופטימלי של כלי קרקעי בלתי-מאויש לאירוע גדול ובלתי-צפוי, כגון גילוי עצמי של שדה מוקשים או מטען חבלה בהמשך המסלול המתוכנן. זהו זמן תגובה ברמה הקוגניטיבית. תורמים לו רכיבים הנובעים מזמני הביצוע של שרשרת התהליכים המובילים להחלטה על התגובה לאירוע – זיהוי האירוע, הערכת מצב, קבלת החלטות על המשך הפעילות, תכנון המשך משימה / נתיב תנועה / הפעלת אמצעים, ומעבר לביצוע לפי התוכנית המעודכנת.

מספר המשיבים: 17



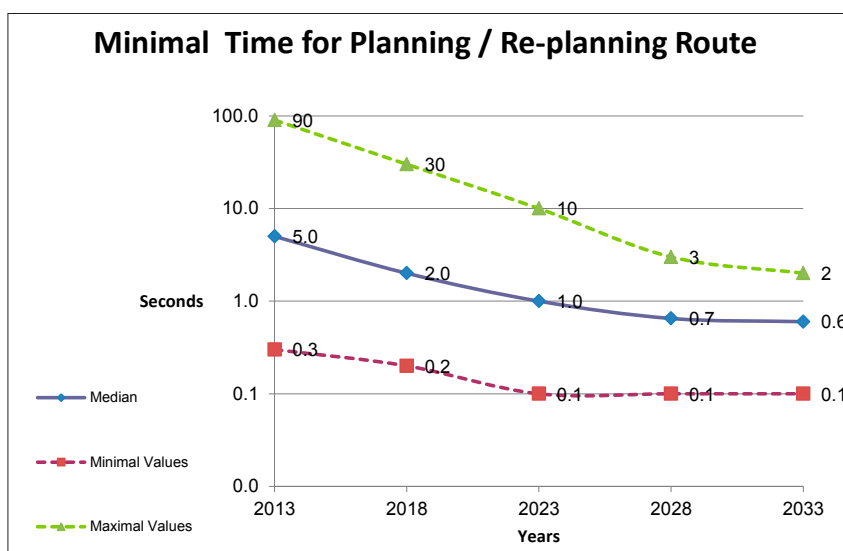
כפי שמראה הגרף, חזויה מגמת ירידה בזמן התגובה של כלים קרקעיים לאירועים בלתי-צפויים. בתוך עשר שנים זמן התגובה צפוי להתקצר פי שלושה לעומת היום.⁹ נקודה אחרת שרצוי לתת עליה את הדעת היא העצירה במגמת הירידה החל בשנת 2023, בעת שמתאזן מספר המשיבים המדרגים את זמן התגובה מעל 0.1 שניות עם מספר המשיבים המדרגים את זמן התגובה מתחת ל-0.1 שניות. ייתכן שדפוס תשובות זה מייצג ספק בנוגע ליכולת הכב"מ להקטין את זמן התגובה מעבר לעשירית השנייה.

שאלה 2

What is the minimal time [in Sec] for optimal onboard real-time route planning/re-planning under constraints for autonomous and unmanned ground platform, at a distance of 20 km? Assume that the best available components are being used in the platform.

שאלה זו נועדה לבחון את זמן התכנון או התכנון מחדש של מסלול אופטימלי באילוצים מסוימים וידועים מראש, ובמרחק של עד עשרים קילומטרים מנקודת ההתחלה.

מספר המשיבים: 12



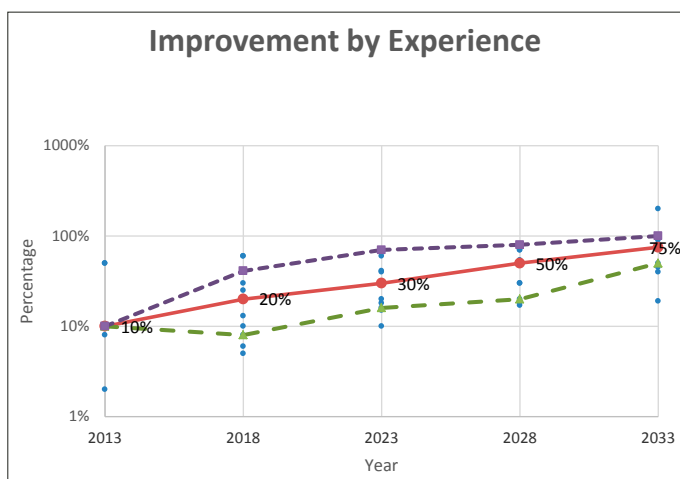
הגרף מראה שחזויה מגמה של ירידה ניכרת בזמן הנדרש לתכנון מחדש את המסלול, ובתוך עשרים שנה זמן התגובה צפוי להיות כעשירית מזמן התגובה כיום.

שאלה 3

What is the improvement of intelligence collection performance in a mission of area coverage (in unknown terrain) by unmanned and autonomous platforms due to on-line unsupervised learning from experience?

מטרת השאלה לבחון את השיפור ביכולת איסוף מידע מודיעיני בשטח לא ידוע, באמצעות למידה מניסיון ושיפור התפקוד.

מספר המשיבים: 12



כיום כמעט אין שיפור ביכולת של כלים אוטונומיים באמצעות למידה מהניסיון תוך כדי ביצוע משימות איסוף מידע מודיעיני; ואולם לדעת המומחים, בעתיד תהפוך הלמידה לגורם שישפר מאוד את פעילות הכלי – עד כדי שיפור של 75% בשנת 2033 (לעומת 10% כיום).

שאלה 4

What is the confidence level in highly autonomous self-management (including A.I. based computational techniques) of unmanned platforms?

שאלה זו נועדה לבחון את רמת האמון בניהול העצמי של מערכות אוטונומיות.

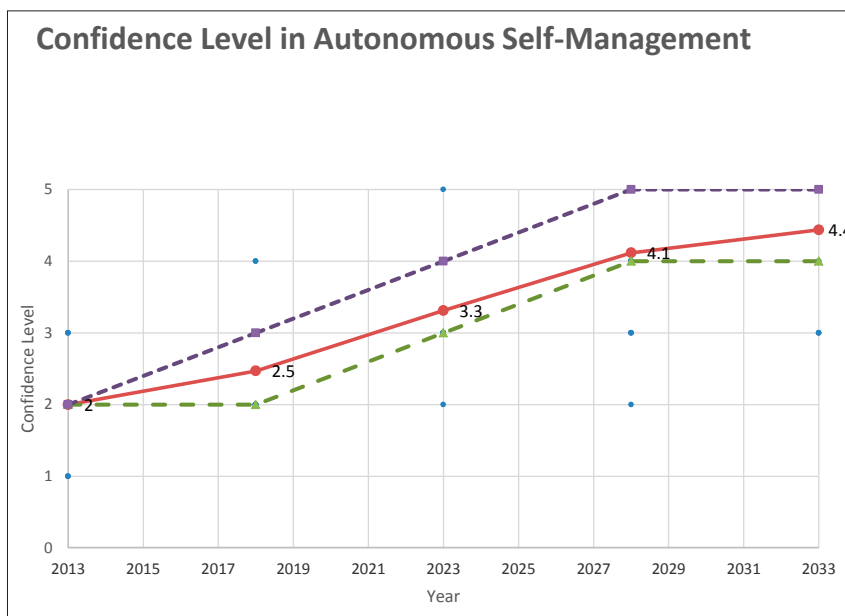
התשובות המקוריות לשאלה התחלקו לפי הסולם הבא:

No confidence; Low confidence; Medium confidence; High confidence; Very high confidence

כדי להציג את התוצאות באופן גרפי וברור יותר, ניתן ציון לכל אחת מהתשובות

(מ-1 עד 5, בסדר עולה של אמון).

מספר המשיבים: 17



ברור שכיום רמת האמון בכלים אוטונומיים היא נמוכה, אך המומחים חוזים שבתוך עשרים שנה היא תעלה ותגיע לרמה גבוהה ביותר.

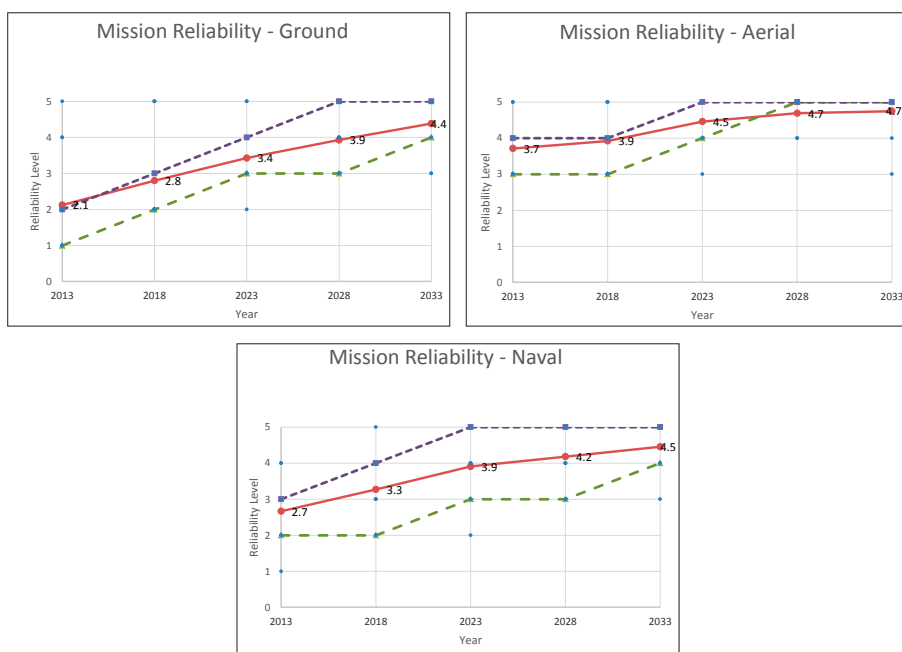
שאלה 5

What is the expected mission reliability of a mission carried out by an autonomously self-managed platform?

שאלה זו חולקה לשלוש קטגוריות: פלטפורמות יבשתיות, פלטפורמות אוויריות ופלטפורמות ימיות. בכל אחת מהן התבקשו המשיבים לבחור אחת מחמש אפשרויות: Very low reliability; Low reliability; Medium reliability; High reliability; Very high reliability

כדי להציג את התוצאות באופן גרפי וברור יותר, ניתן ציון לכל אחת מהתשובות (מ-1 עד 5, בסדר עולה של אמינות).

מספר המשיבים: 18



מתוך כל הכלים האוטונומיים הקיימים כיום, רמת האמינות של הכלים האוויריים היא כאמור הגבוהה ביותר. רמת האמינות של הכלים הימיים נמצאת במקום השני, ועומדת בין "נמוכה" ל"בינונית". רמת האמינות של הכלים הקרקעיים מדורגת במקום האחרון – "נמוכה". על-פי הערכות המומחים, רמת האמינות של כל הכלים צפויה לעלות בעשרים השנים הקרובות עד כדי רמת אמינות שבין "גבוהה ל"גבוהה מאוד".

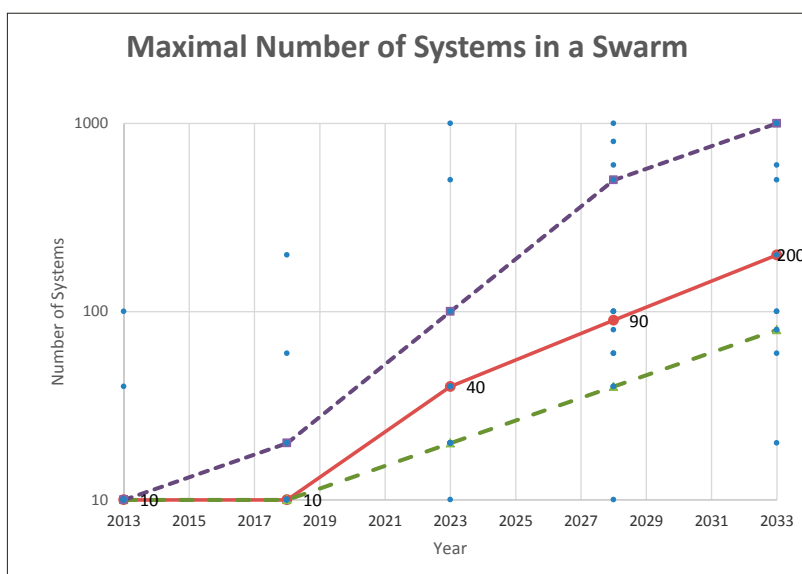
שליטה ובקרה בלהקות

שאלה 6

What is the maximum number of unmanned systems in a group/swarm fully self-governed by a distributed-decentralized command and control scheme (all group members are linked via ad-hoc mesh comm. network)?

שאלה זו נועדה לבחון את המספר המרבי של הכב"מ בקבוצה/נחיל הנשלטים באמצעות תקשורת מבוזרת (על-ידי רשת אד-הוק) בין חברי הקבוצה.

מספר המשיבים: 17



מהתוצאות עולה, שמספר הכב"מ בנחיל עומד לגדול בקצב מהיר בעשורים הקרובים, והוא צפוי להגיע (לפי חציון דעות המומחים) למאתיים עד שנת 2033.

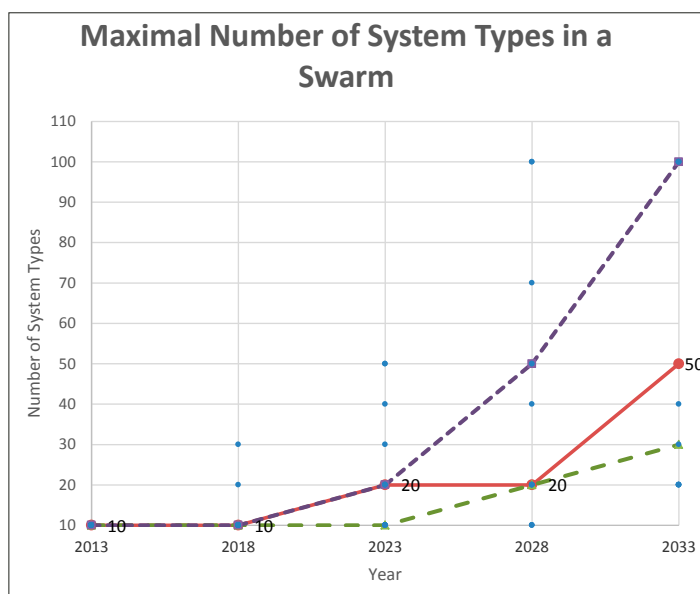
שאלה 7

How many types of unmanned platforms are interoperable in a heterogeneous swarm?

שאלה זו נועדה לבחון את מספר סוגי הכלים שיתפקדו בקבוצה או בלהקה

הטרוגנית.¹¹

מספר המשיבים: 17



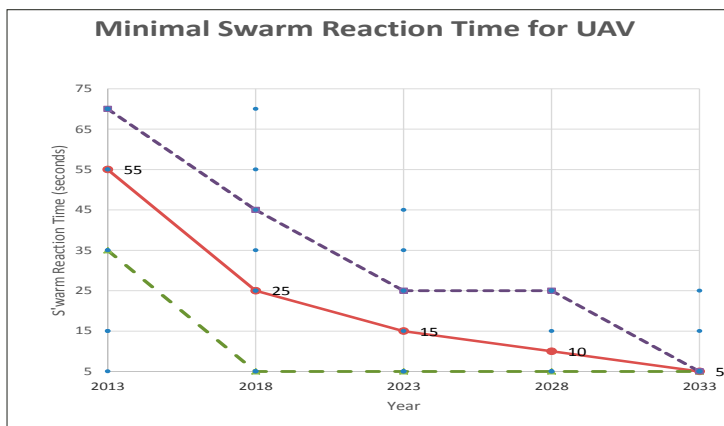
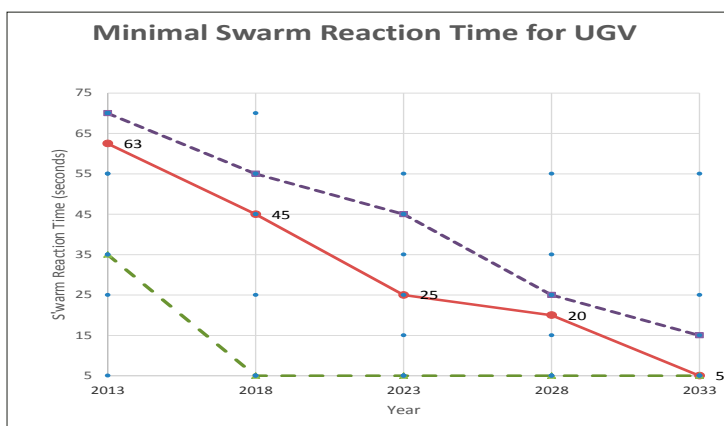
בדומה למספר הכב"מ בנחיל, גם מספר סוגי הכלים יגדל במהירות משנת 2018, ובתוך עשרים שנה צפוי להיות גדול פי חמישה (לפי החציון) משהוא כיום. כלים רבים ושונים אלו יספקו לנחיל מגוון רחב של אפשרויות פעולה בשטח.

שאלה 8

What is the minimal group reaction time [in Sec] for an optimal group level response to a major unexpected event (e.g., report on detected incoming SAM battery to the patrolling area) while the group is on its mission?

שאלה זו נועדה לבחון את זמן התגובה המינימלי של הקבוצה לאירוע בלתי-צפוי. הקבוצות חולקו לשני סוגים: פלטפורמות יבשתיות ופלטפורמות אוויריות.

מספר המשיבים: 14



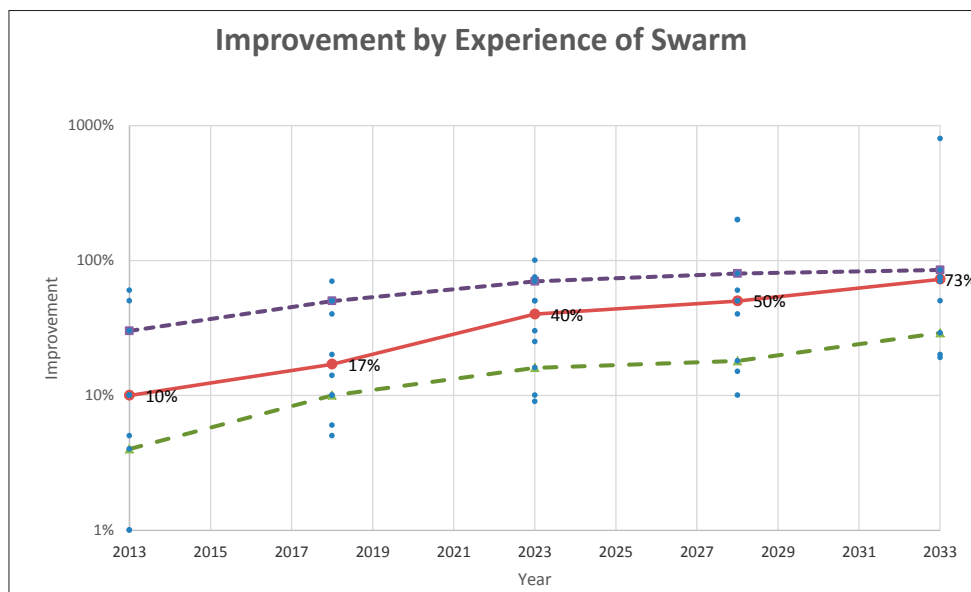
זמן התגובה של נחילים קרקעיים ואוויריים לאירועים בלתי-צפויים עומד לקטון פי עשרה (בהשוואה למצב כיום) ולהגיע לחמש שניות עד שנת 2033. מגמת זו של ירידה בזמן התגובה מרמזת שהנחילים ייכנסו לשימוש תדיר יותר גם במשימות הדורשות זמן תגובה קצר.

שאלה 9

What is the improvement of intelligence gathering performance in a mission of area coverage by unmanned GROUP platforms due to on-line collaborative unsupervised learning from experience?

שאלה זו נועדה לבחון את השיפור ביכולת איסוף המידע המודיעיני של קבוצת כב"מ, כתוצאה של למידה עצמית מניסיון.

מספר המשיבים: 11



כפי שראינו מתוצאות שאלה דומה שעסקה בכלים אוטונומיים בדידים, הלמידה תהפוך בעתיד לגורם שישפר במידה רבה את הביצועים הקבוצתיים. מעניין שתוצאות אלו דומות לתוצאות שהתקבלו לגבי כלים אוטונומיים בדידים, אף שהשאלות נמצאות בשני חלקים שונים של הסקר, ולפיכך ענו על השאלות מומחים שונים.

שאלה 10

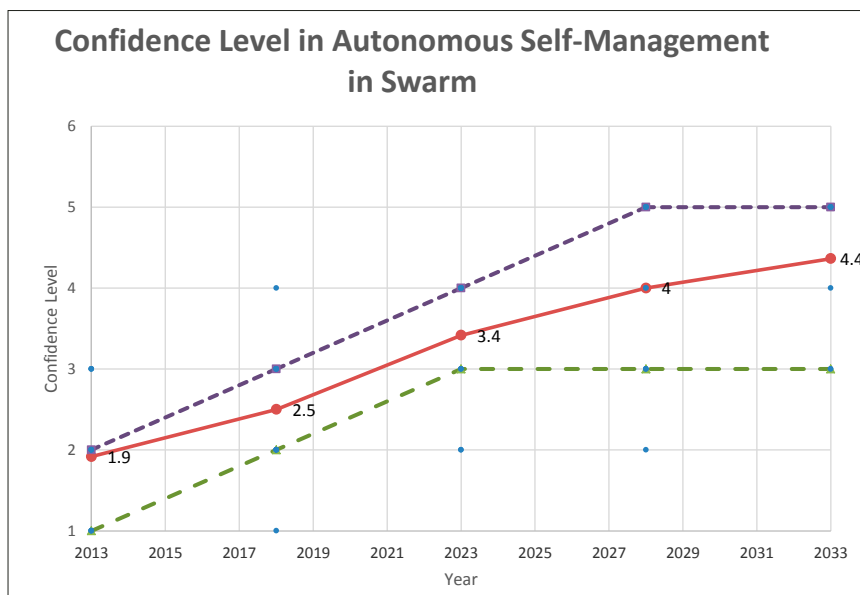
What is the confidence level in distributed-decentralized command & control of unmanned group/swarm, in a reconnaissance mission in mountainous terrain?

שאלה זו נועדה לבחון את רמת האמון בשליטה ובקרה מבוזרת של קבוצה או נחיל במשימת סיור ואיסוף מידע בשטח הררי. התשובות המקוריות לשאלה התחלקו לפי הסולם הבא:

No confidence; Low confidence; Medium confidence; High confidence; Very high confidence

כדי להציג את התוצאות באופן גרפי וברור יותר, ניתן ציון לכל אחת מהתשובות (מ-1 עד 5, בסדר עולה של אמון).

מספר המשיבים: 12

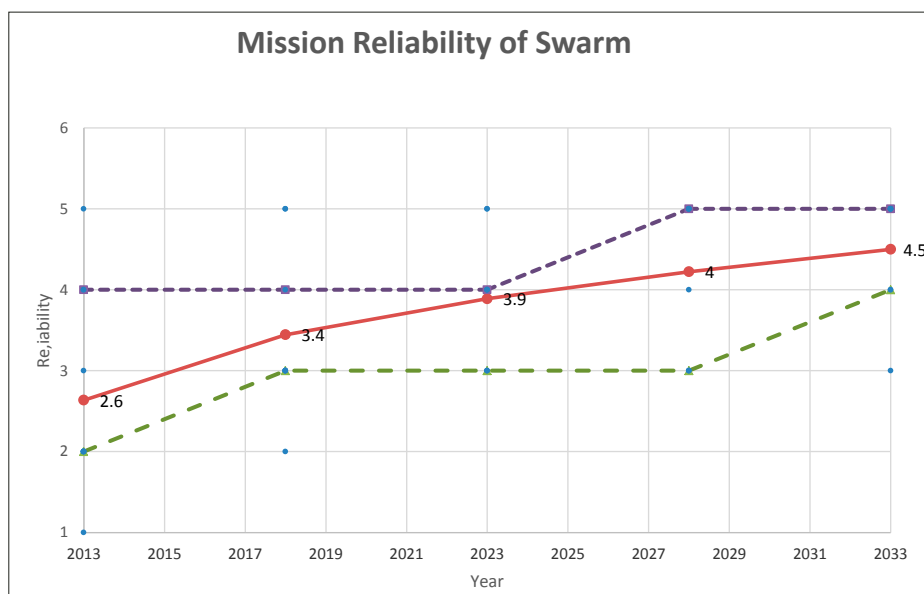


כיום רמת האמון בנחילים אוטונומיים נמוכה, אך היא צפויה להשתפר בעשרים השנים הקרובות, עד הגעתה לרמה שבין "גבוהה" ל"גבוהה מאוד".

שאלה 11

What is the expected mission reliability [in %] of detecting an armored vehicle and successfully hitting it, by a group / swarm operated with distributed-decentralized command & control mechanism?

שאלה זו נועדה לבחון את אמינות הקבוצה / הנחיל בעתיד, במשימת גילוי כלי רכב משוריין ופגיעה בו.

מספר המשיבים: 12

אמינות הביצוע תגדל משמעותית בשני העשורים הקרובים עד רמה שבין "גבוהה" ל"גבוהה מאוד" בשנת 2033.

מודעות מצבית בשדה הקרב

שאלה 12

What is the reliability of the IFF (Identification Friend or Foe) process in outdoor open terrain?

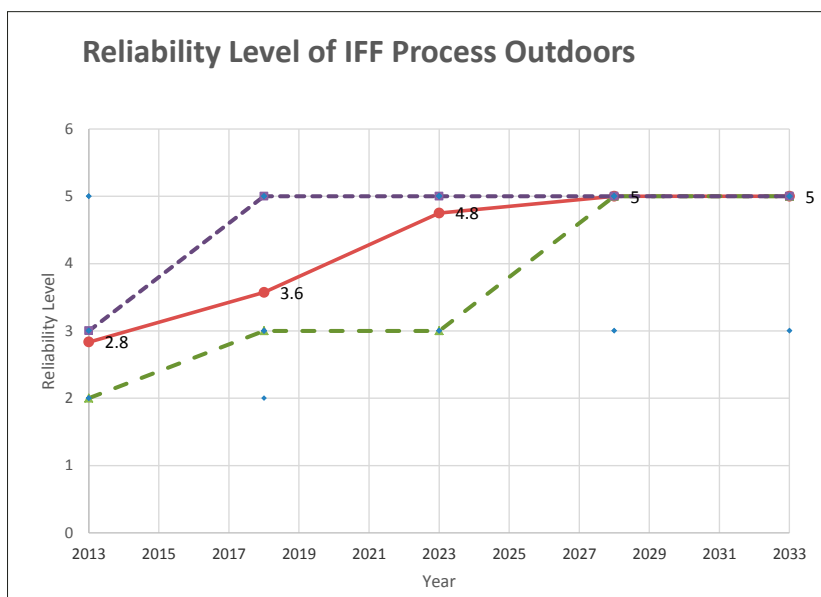
השאלה נועדה לאמוד את רמת האמינות של יכולת זיהוי עמית-טורף (זע"ט) בשטח פתוח.

המשיבים התבקשו לבחור בין חמש אפשרויות:

Very low reliability; Low reliability; Medium reliability; High reliability; Very high reliability

כדי להציג את התוצאות באופן גרפי וברור יותר, ניתן ציון לכל אחת מהתשובות (מ-1 עד 5, בסדר עולה של אמינות).

מספר המשיבים: 15

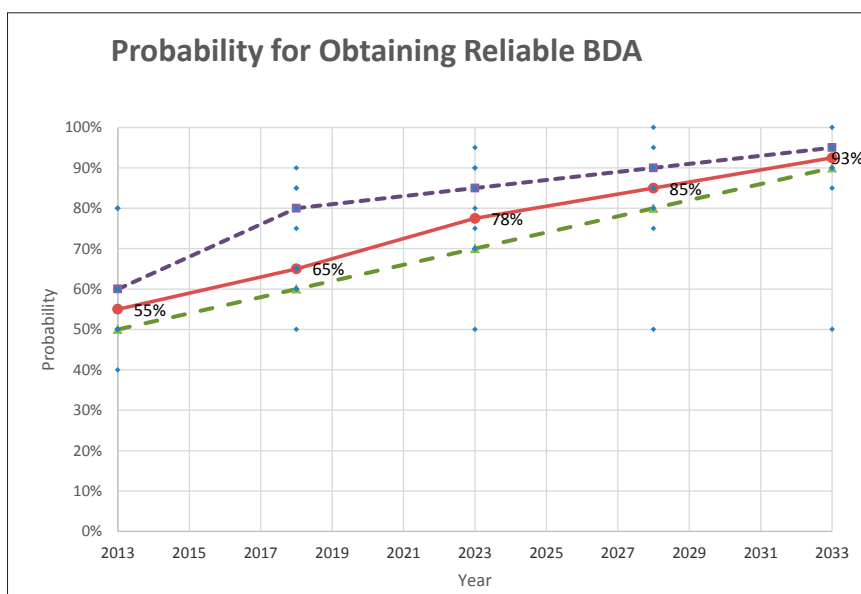


ניתן לראות שיכולת זע"ט עומדת להשתפר מאוד כבר בעשר השנים הקרובות, עד הרמה הגבוהה ביותר בשנת 2028.

שאלה 13

What is the probability for obtaining a reliable Battle Damage Assessment (BDA) of a targeted armored vehicle (not hit, functional damage, neutralized, destroyed)?

השאלה נועדה לאמוד את ההסתברות לקבלת הערכה אמינה של רמת הנזק שנגרמה לכלי רכב משוריין.

מספר המשיבים: 12

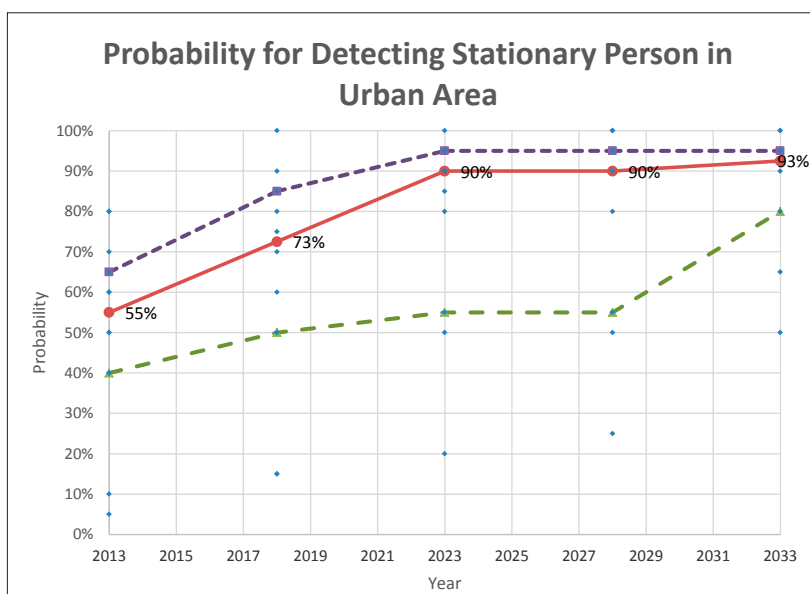
על-פי תחזית המומחים יגיעו כלים אוטונומיים לרמה גבוהה מאוד של אמינות בהערכת נזקים – כמעט 95%, לעומת 55% כיום.

שאלה 14

What is the probability for detecting a stationary person in an urban area (outside buildings) in a range of up to 200 meters? Assume optimal sensors for the mission.

השאלה נועדה לאמוד את ההסתברות לגילוי אדם העומד בלי לנוע בשטח עירוני (מחוץ לבניינים), בטווח של עד מאתיים מטרים.

מספר המשיבים: 12



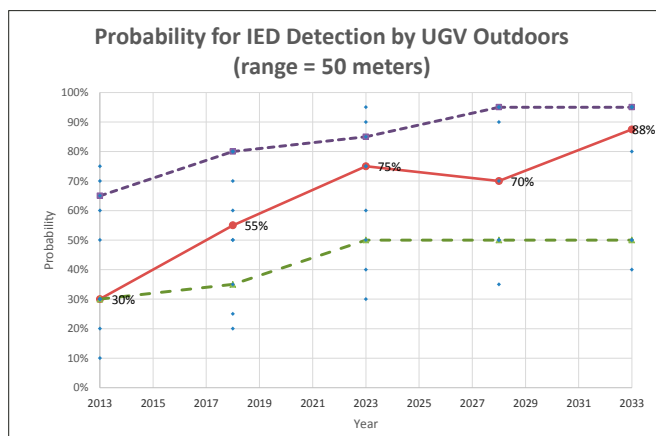
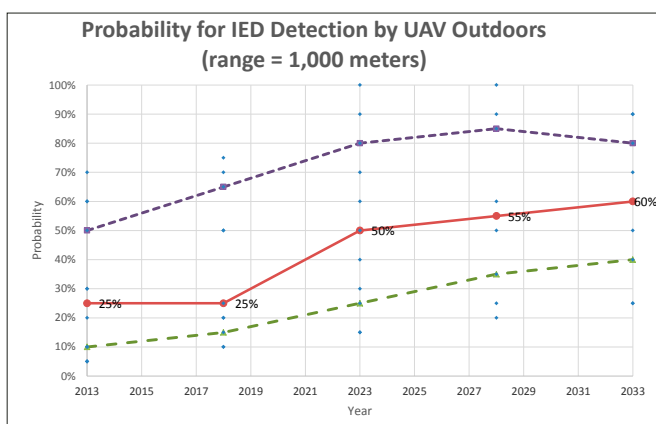
התחזית מראה שבתוך עשרים שנה יצליחו כלים אוטונומיים לגלות בני אדם בסביבה עירונית, גם כאשר אלו עומדים בלי לנוע, בסבירות גבוהה מאוד.

שאלה 15

What is the probability for detecting improvised explosives / traps in open outdoor terrain? Assume optimal sensors for the mission.

שאלה זו נועדה לאמוד את ההסתברות לגילוי מתקני חבלה מאולתרים בשטח פתוח. התשובות לשאלה נחלקות לפי סוג הכלי שנעשה בו שימוש: כטב"ם הפועל בטווח של עד אלף מטרים ממתקן החבלה המאולתר, או כלי רכב קרקעי בלתי־מאויש הפועל בטווח של עד חמישים מטרים ממתקן החבלה המאולתר.

מספר משיבים: 12



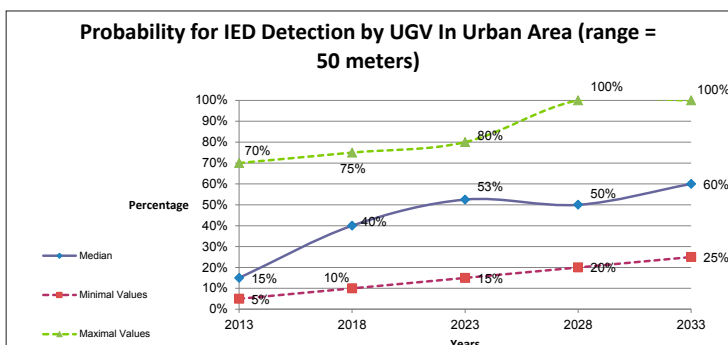
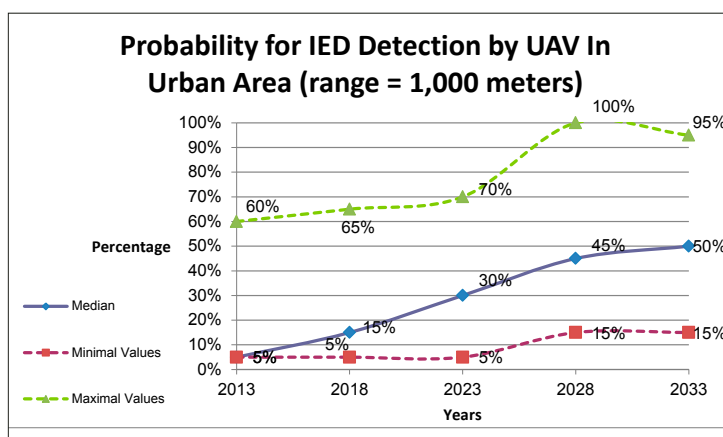
סיכוייהם של הכב"מ הקרקעיים לזהות מטענים בשטח פתוח יגדלו דרמטית בעשורים הקרובים, עד הסתברות של כמעט 90% (לעומת 30% בלבד כיום). תשתפר גם היכולות של הכב"מ האוויריים לזהות מטענים, אך העלייה תהיה מתונה יותר.

שאלה 16

What is the probability for detecting improvised explosives / traps in an urban area? Assume optimal sensors for the mission.

שאלה זו נועדה לאמוד את ההסתברות לגילוי מתקני חבלה מאולתרים בשטח עירוני. התשובות לשאלה נחלקות לפי סוג הכלי שנעשה בו שימוש: כטב"ם הפועל בטווח של עד אלף מטרים ממתקן החבלה המאולתר, או כלי רכב קרקעי בלתי-מאויש בטווח של עד חמישים מטרים ממתקן החבלה המאולתר.

מספר משיבים: 11



הסיכוי לגילוי מטעני חבלה מאולתרים בסביבה עירונית על-ידי כטב"ם יגדל מאוד מאוד – מ-5% כיום ל-90% בעוד עשרים שנה. במקרה של כטב"ם יבשתי השיפור הצפוי נמוך יותר (מ-40% ל-60%).

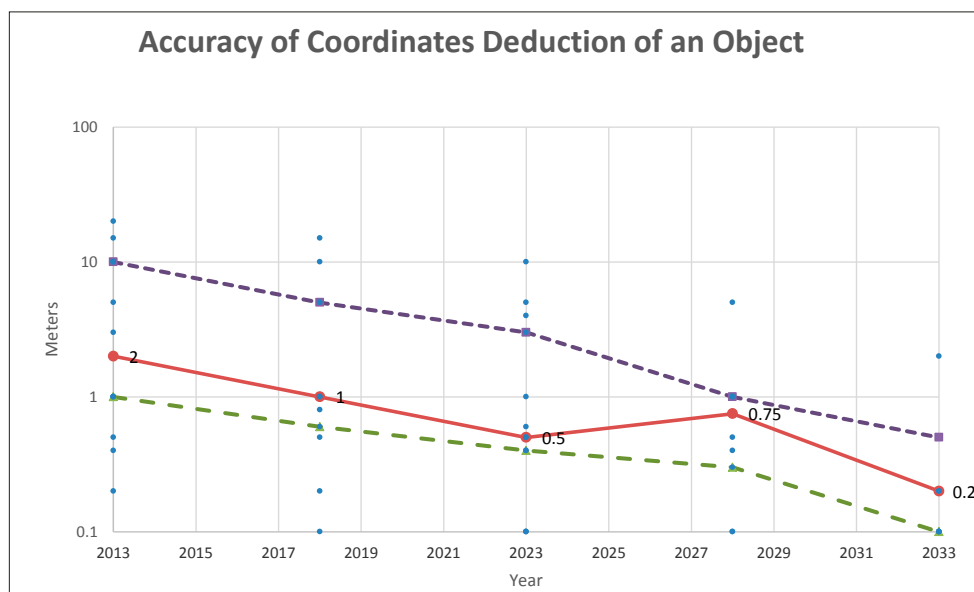
ניהול מערכות משימה

שאלה 17

What is the location accuracy in deducing the coordinates of an object in an unmapped field [in meters]?

שאלה זו נועדה לבחון את הדיוק במציאת הקואורדינטות (איכון) של עצם הנמצא בשדה פתוח שאינו ממופה מראש.

מספר המשיבים: 14



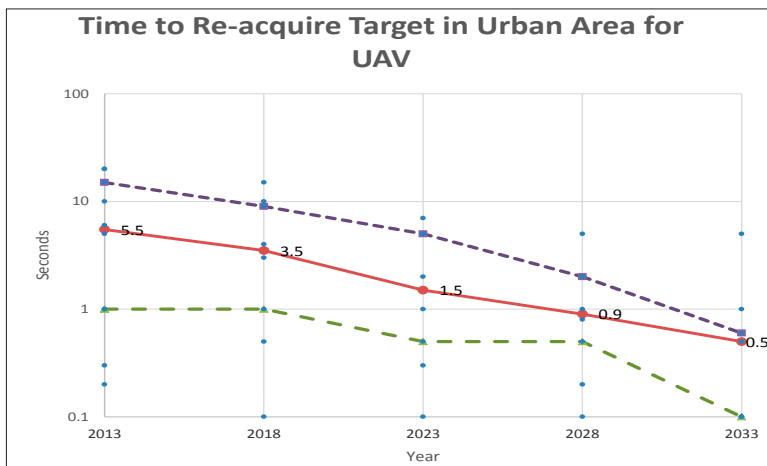
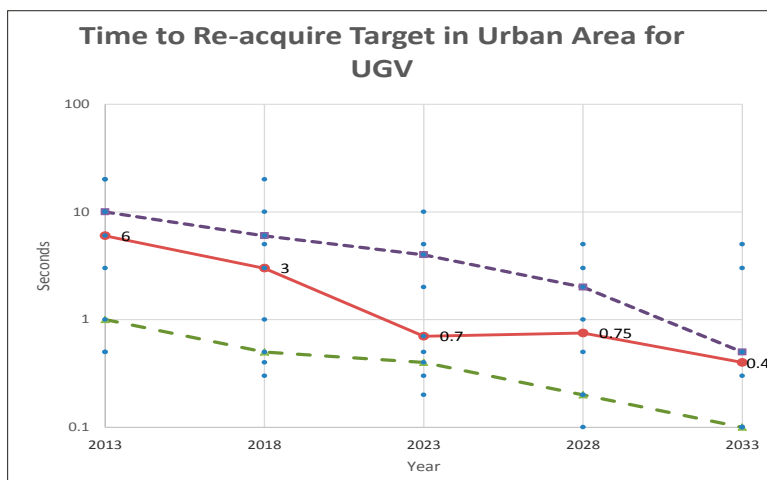
לפי תחזית המומחים, הדיוק במציאת הקואורדינטות ילך ויעלה במידה ניכרת: הסטייה מהמיקום הממשי תלך ותקטן ותגיע בשנת 2033 עד כדי עשירית מהסטייה כיום.

שאלה 18

How long does it take to re-acquire a target after tracking break in an urban area (in seconds)?

שאלה זו נועדה לבחון את משך הזמן הנדרש לנעילה מחדש על מטרה לאחר שבירת הנעילה באזור עירוני, לגבי כלי קרקעי ולגבי כלי אווירי.

מספר המשיבים: 13

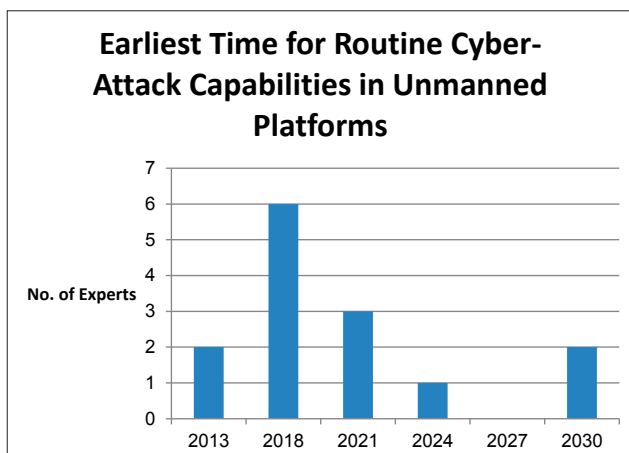


הזמן לנעילה מחדש על מטרה, הן לכלים קרקעיים והן לכלים אוויריים בלתי-מאוישים, יקטן פי עשרה בערך עד שנת 2033. התפתחות זו תקל על השימוש בכב"מ לצורכי לוחמה בשטח.

שאלה 19

When will offensive missions of autonomous/unmanned platforms routinely include a cyber-attack capability? Choose the earliest year.

שאלה זו נועדה לחזות את המועד המוקדם ביותר שבו מערכות בלתי-מאוישות או אוטונומיות יכללו באופן שגרתי יכולת של תקיפת סייבר.

מספר המשיבים: 14

חציון ההערכות של המומחים מצביע על שנת 2018 כשנה המוקדמת ביותר שבה יצוידו כב"מ באופן שגרתי בטכנולוגיות של תקיפת סייבר.

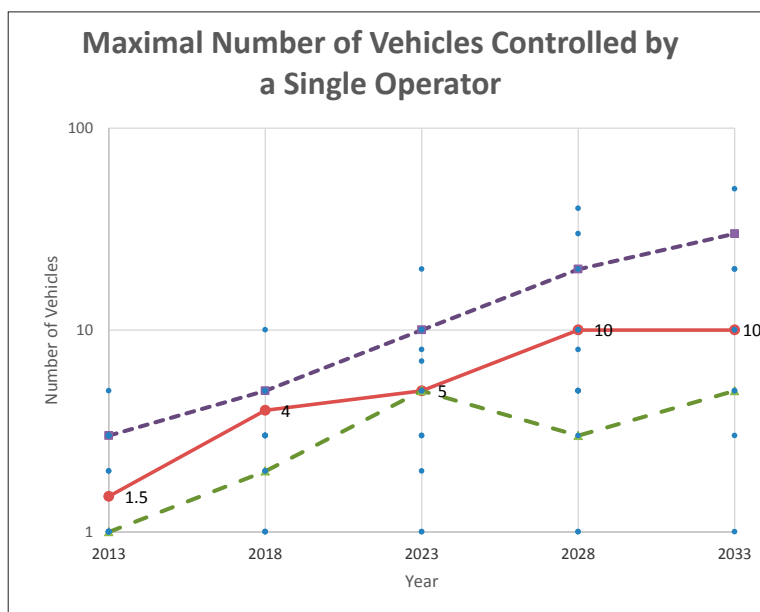
ממשקי משתמש-מערכת

שאלה 20

How many different types of vehicles (excluding swarms) can be controlled simultaneously by a single operator from a single station?

שאלה זו נועדה לזהות את מספר סוגי הכלים (לא כולל נחילים) שבהם יכול לשלוט סימולטנית מפעיל אחד מתחנה אחת.

מספר המשיבים: 21

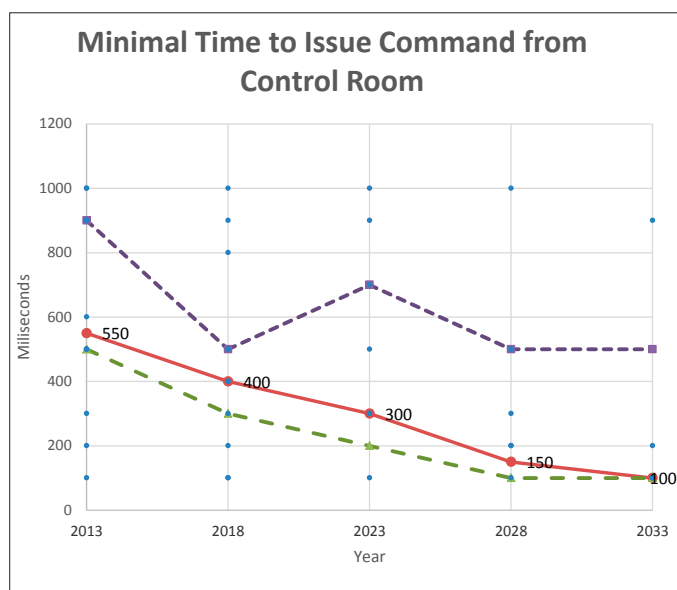


מספר הכלים שמפעיל אחד יוכל לשלוט בהם עתיד לגדול משמעותית בשנים הקרובות, ובעוד עשרים שנה צפוי לגדול פי שבעה בקירוב לעומת המצב כיום.

שאלה 21

What is the minimal reaction time to an event (from receiving a report in the control station until a command is issued) for an unmanned autonomous vehicle?

שאלה זו נועדה להעריך את זמן התגובה המינימלי של כלי אוטונומי לאירוע, מרגע קבלת הדיווח בחדר הבקרה ועד שליחת פקודה.

מספר המשיבים: 15

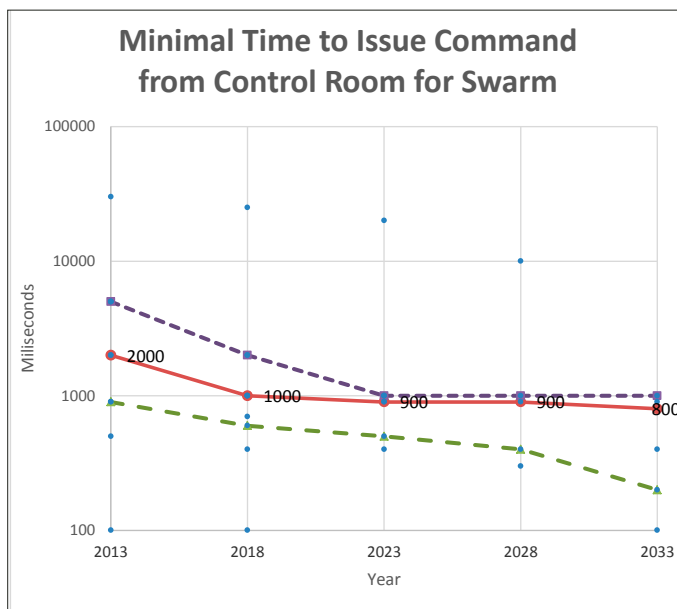
ניכרת מגמת ירידה בזמן התגובה המינימלי למשלוח פקודה מחדר הבקרה אל הכלי – פי 5.5 בהשוואה להיום בתוך עשרים שנה. בדומה לשאלה הקודמת, קרוב לוודאי שמקורה של מגמה זו טמון בשיפור ממשקי המפעיל-כלי בחדר הבקרה.

שאלה 22

What is the minimal reaction time to an event (from receiving a report in the control station until a command is issued) for a swarm of unmanned vehicles (swarm size of 100-1,000)?

שאלה זו נועדה להעריך את זמן התגובה המינימלי לאירוע עבור נחיל המונה מאה עד אלף כלים.

מספר המשיבים: 11



בדומה לזמני התגובה הקודמים שנסקרו, תהיה ירידה גם בזמן התגובה המינימלי הנדרש לגיבוש פקודות לנחיל בחדר הבקרה (לפי החציון, זמן התגובה יתקצר פי 2.5 בתוך עשרים שנה).

הישרדות ואבטחת סייבר

שאלה 23

What is the probability of the system being interrupted by a cyber-attack during a mission?

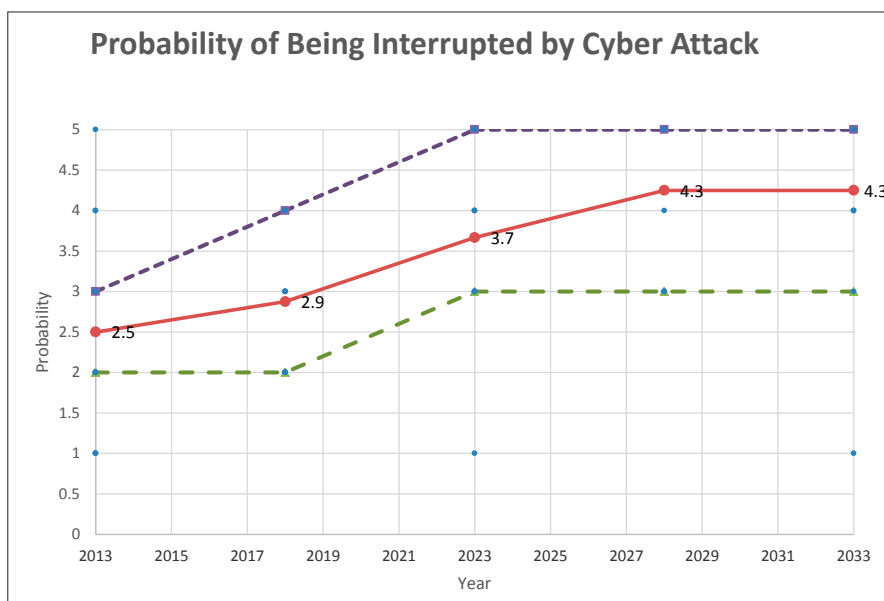
שאלה זו נועדה להעריך את ההסתברות שהמערכת תופרע במהלך משימה על-ידי מתקפת סייבר.

היו חמש תשובות אפשריות לכל שנה, כדלקמן:

Very low probability; Low probability; Medium Probability; High probability; Very high probability;

כדי להקל את הכימות הומרו הקטגוריות הנ"ל במספרים מ-1 עד 5, בהתאם.

מספר המשיבים: 18



כצפוי על סמך התשובות לשאלות קודמות בנושאי הסייבר, ההסתברות שכלי יופרע במהלך פעולה מבצעית עקב מתקפת סייבר הולכת ועולה עם השנים, עד סיכוי גבוה בשנת 2028. ייתכן שמגמת ההתייצבות משנת 2028 מרמזת על שיפור יכולות ההתמודדות עם מתקפות סייבר.

שאלה 24

What is the probability of an unmanned autonomous platform to withstand a cyber-attack?

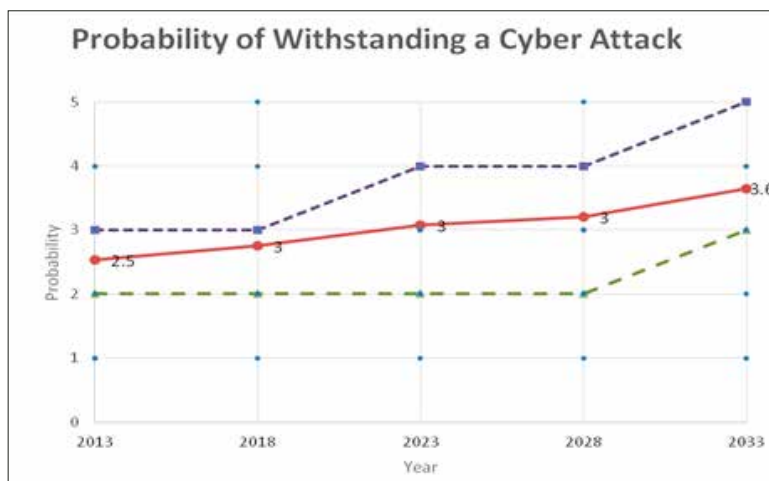
שאלה זו נועדה להעריך את ההסתברות שהמערכת תעמוד במתקפת סייבר במהלך משימה.

בעבור כל שנה בשאלה היו חמש תשובות אפשריות, כדלקמן:

Very low probability; Low probability; Medium Probability; High probability; Very high probability;

כדי להקל את הכימות הומרו הקטגוריות הנ"ל במספרים מ-עד 5, בהתאם.

מספר המשיבים: 18



ככל שמתקפות הסייבר יהפכו להיות נפוצות יותר, כך יתפתחו גם מגננות סייבר משוכללות יותר וישולבו בכלים האוטונומיים. התוצאה תהיה, שיגדל הסיכוי לעמוד בפני מתקפות סייבר, אף-על-פי שהוא עדיין קטן יותר מן הסיכוי שכלי כלשהו יופרע במשימתו עקב מתקפת סייבר.

הנעה אווירית

בחלק זה קיבלו המשתתפים סקירה בנוגע ליכולות ההנעה הצפויות לכב"מ אוויריים. השאלות התרכזו בשלושה סוגים של כלי טיס בלתי-מאוישים (כטב"מים), שחולקו לפי התרשים הבא שהופיע בסקר עצמו:

	General Groupings	Name	(Vehicles/GCS)
Large UAV	Group 5 > 1320 lbs > FL180	- USAF/USN TQ-4A Global Hawk/BAMS-D Vlock 10 - USAF RQ-4B Global Hawk Block 20/30 - USAF RQ-4B Global Hawk Block 40 - USAF MQ-9 Reaper	9/3 20/6 5/2 73/85* * MQ-1/MQ-9 some GCS
	Group 4 > 1320 lbs < FL180	- USAF MQ-18 Predator - USA MQ-1 Warrior/MQ-1C Gray Eagle - USN UCAS-CVN Demo - USN MQ-3B Fire Scout VTUAV - Socom/DARPA/USA/USMC A160T Hummingbird	165/85* 31/11 2/0 14/8 8/3
Medium UAV	Group 3 < 1320 lbs < FL180 < 250 knots	- USA MQ-5 Hunter - USA/USMC/SOCOM RQ-7 Shadow - USN/USMC STUAS	45/21 368/265 0/0
Small UAV	Group 2 21-55 lbs < 3500 AGL < 250 knots	USN/SOCOM/USMC RQ-21A ScanEagle	122/13
	Group 1 0-20 lbs < 1200 AGL < 250 knots	- USA/USN/USMC/SOCOM RQ-11 Raven - USMC/ SOCOM Wasp - SOCOM SUAS AECV Puma - USA gMAV / USN T-Hawk	5628/3752 540/270 372/124 270/135

Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY2011-2036; Department of Defense, United States of America; Reference Number: 11-S-3613

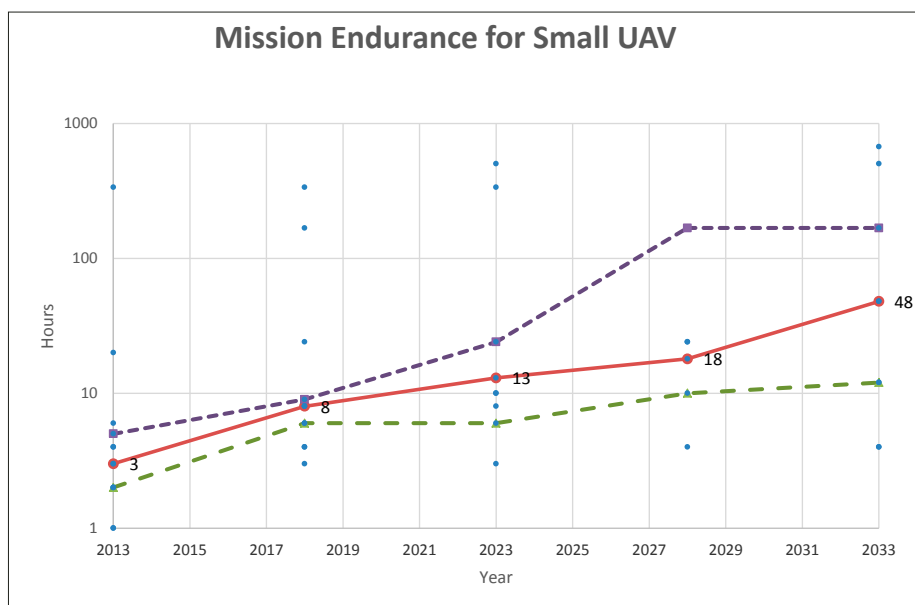
איור 4 – חלוקת כלים בלתי-מאוישים לקבוצות כפי שהוצגה בסקר

שאלה 25

What is the mission endurance for a small UAV?

שאלה זו נועדה להעריך את משך השהייה במשימה של כטב"ם קטן (ראו תרשים).

מספר המשיבים: 14

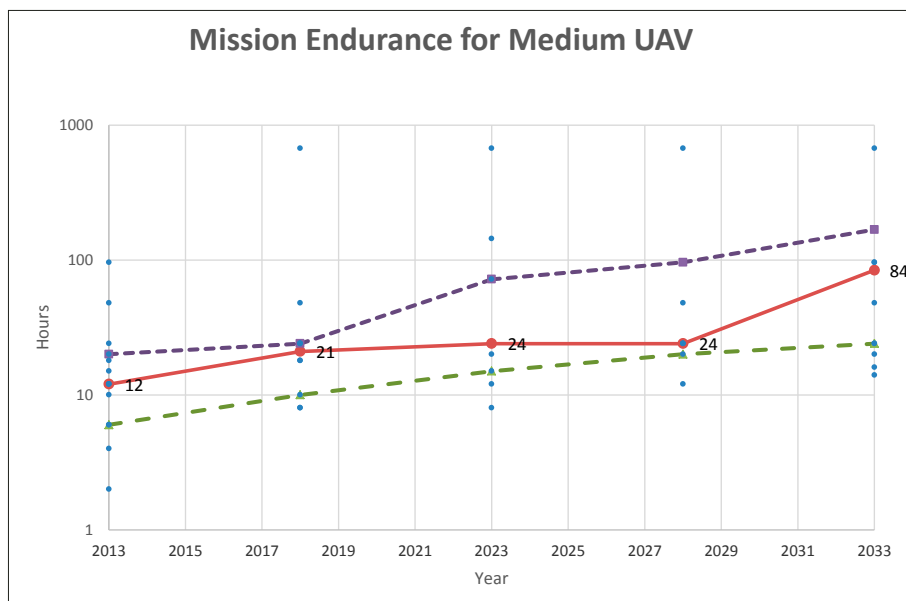


משך הזמן שכטב"ם קטן (במשקל שאינו עולה על 27 ק"ג) יוכל להישאר באוויר יגדל (על-פי חציון תשובות המומחים) פי 12 בשני העשורים הקרובים, עד שהייה של 48 שעות באוויר.

שאלה 26

What is the maximal loitering time in the air for a medium UAV?

שאלה זו נועדה להעריך את הזמן המרבי לשהייה באוויר של כטב"ם בגודל בינוני (ראו תרשים).

מספר המשיבים: 14

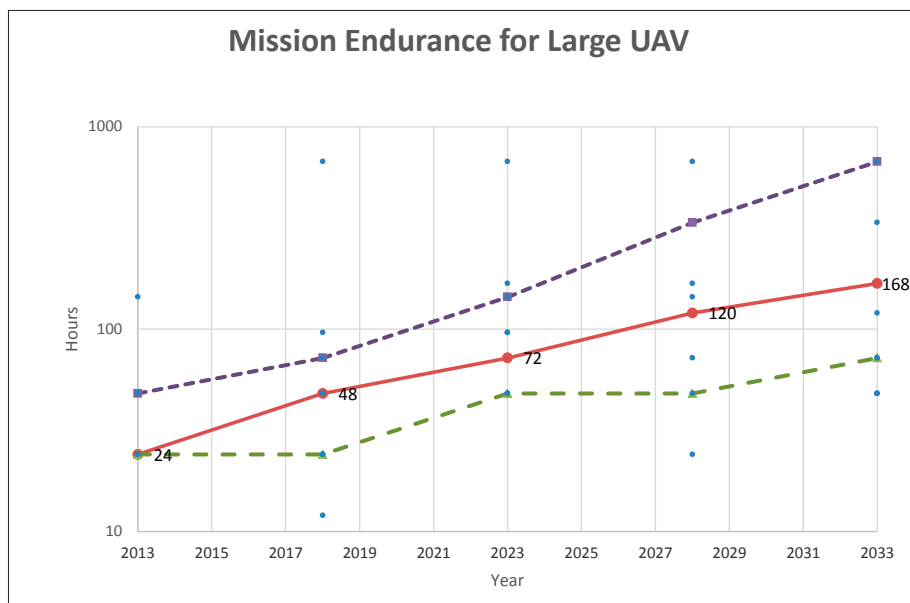
הזמן שכטב"מ בינוני (במשקל 27 עד 600 ק"ג) יוכל להישאר באוויר במהלך המשימה יגדל פי שבעה בשני העשורים הקרובים, עד שהייה של כמעט ארבעה ימים באוויר.

שאלה 27

What is the maximal loitering time in the air for a large UAV?

שאלה זו נועדה להעריך את זמן השהייה המרבי באוויר של כטב"ם גדול (ראו תרשים).

מספר המשיבים: 12



הזמן שכתב"מ גדול (במשקל העולה על 600 קילוגרמים) יוכל להישאר באוויר במהלך המשימה יגדל פי שבעה בשני העשורים הקרובים, עד כדי שהייה של שבוע באוויר.

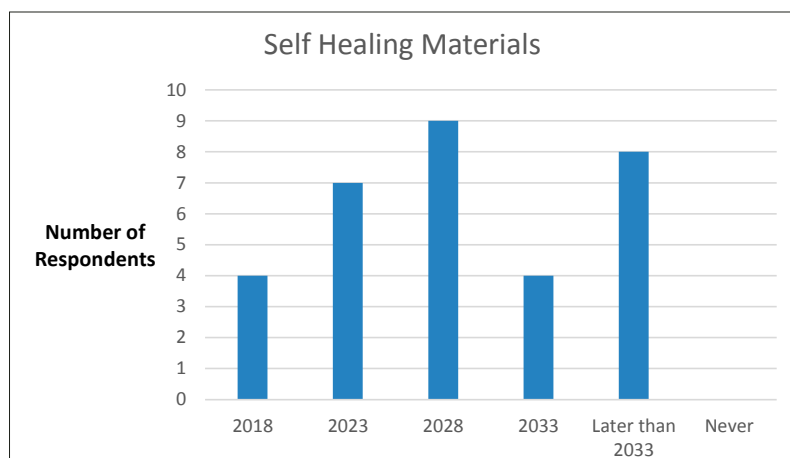
קלפים פרועים

בנושא זה מוצגות עמדות המומחים בנוגע להתפתחויות אחדות שעשויות להשפיע על תחום המערכות הבלתי־מאוישות, אם כי הסבירות לכניסתן המעשית לשימוש בשדה הקרב בשנים הקרובות נראית כיום נמוכה. "קלפים פרועים" מעין אלה טומנים בחובם פוטנציאל של הפתעה.

חומרים מחלימים מעצמם

מתי ייכנסו חומרים המחלימים מעצמם (למשל, ציפויים המסוגלים להשתקם מנזק שנגרם להם) לשימוש במערכות בלתי־מאוישות צבאיות?

מספר משיבים: 32

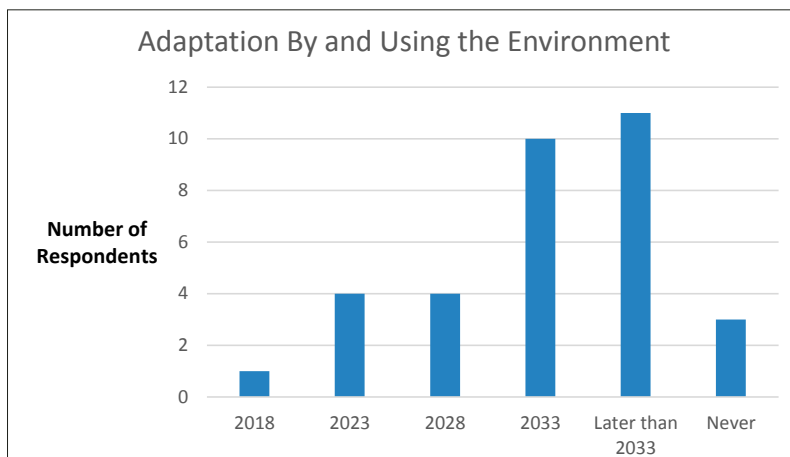


חציון התחזיות עומד על שנת 2028 כשנה המוקדמת ביותר להכנסת חומרים המחלימים מעצמם לשימוש במערכות בלתי־מאוישות צבאיות. חומרים אלו יספקו למערכות עמידות גבוהה מאוד בנזקים הנגרמים מפיצוצים, מרסיסים ומפגיעות אחרות בשדה הקרב, וכן עמידות בפגעי מזג אוויר, בלאי וכו'.

התאמה לסביבה

מתי יוכלו מערכות צבאיות בלתי־מאוישות להשתקם ולהסתגל לשינויים במצבן תוך שימוש בסביבה (למשל, רובוט שיאבד את רגלו יוכלו לתלוש ענף מהסביבה ולהחליף את הרגל האבודה)?

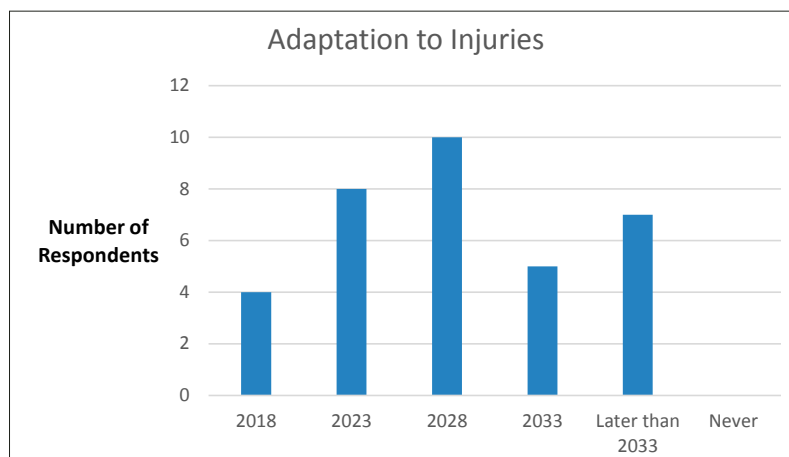
מספר משיבים: 33



לפי חציון התחזיות, שנת 2033 תהיה השנה המוקדמת ביותר שבה ייכנסו לשימוש צבאי מערכות בלתי־מאוישות בעלות יכולת הסתגלות תוך שימוש בחומרים ובעצמים הנמצאים בסביבתן. יש לציין ששלושה מומחים (כ־10%) סבורים שהדבר לא יתממש.

התאמה לפגיעות

מתי יוכלו מערכות צבאיות בלתי-מאוישות להסתגל לפגיעות ולהמשיך בתפקודן (למשל, רובוט שיאבד את רגלו יוכל לעבור לרוץ על שלוש רגליים)?

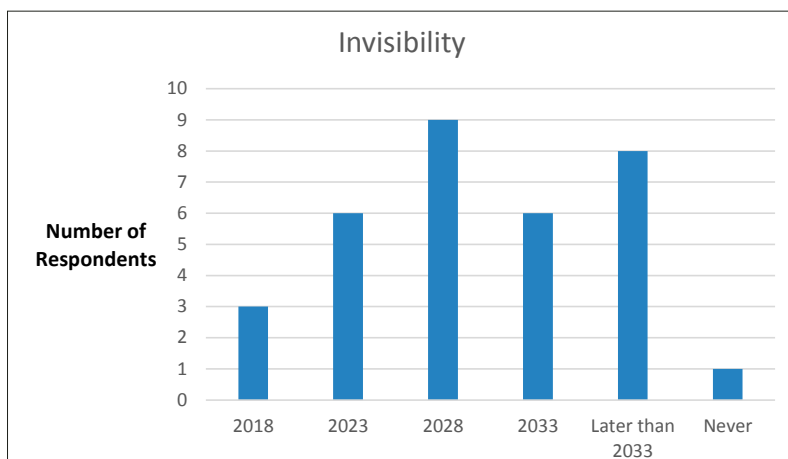
מספר משיבים: 34

לפי חציון התחזיות, שנת 2028 תהיה השנה המוקדמת ביותר שבה ייכנסו לשימוש בצבא מערכות בלתי-מאוישות בעלות יכולת להתאים את עצמן מחדש בעקבות פגיעות. התשובה לשאלה זו ולקודמתה מדגימה כי בעשורים הקרובים ירכשו המערכות הבלתי-מאוישות יכולות מתקדמות להשתקמות ולהישרדות בשטח גם לאחר פגיעה שמשתקת מערכת הקיימת כיום.

אי־נראות (הסוואה מושלמת)

מתי יוכנסו לשימוש צבאי מערכות המסוגלות להגיע להסוואה מושלמת באור הנראה (כלומר, "בלתי־נראות")?

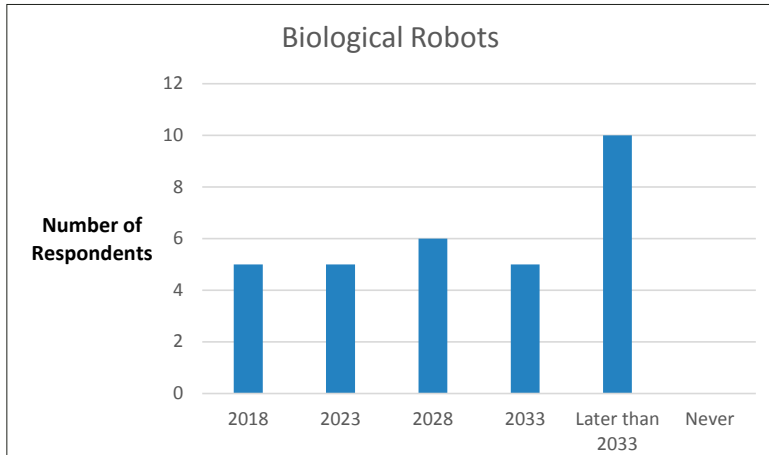
מספר משיבים: 33



לפי חציון התחזיות, בשנת 2028 עשויות להיכנס לשימוש צבאי מערכות בלתי־מאוישות המסוגלות להסוות את עצמן באופן מושלם באור הנראה.

רובוטים ביולוגיים

מתי יכנסו לשימוש מערכות המכילות רכיבים ביולוגיים?

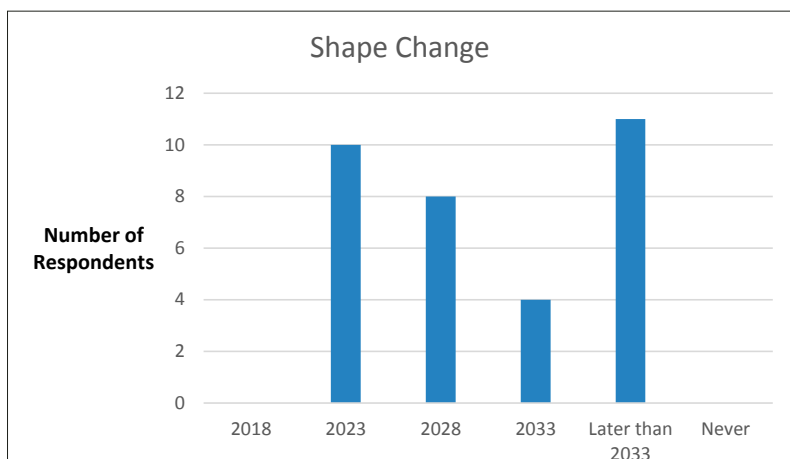
מספר משיבים: 31

לפי חציון התחזיות, בשנת 2028 עשויות להיכנס לשימוש מערכות בלתי־מאוישות המכילות רכיבים ביולוגיים. נושא זה כולל סוגים שונים ורבים של רובוטים: החל במערכות המכילות חיישנים ממקור ביולוגי (למשל, אנזימים המגלים ומזהים מולקולות גז), דרך מערכות המקבלות הנחיות מרקמה עצבית של חולדה, וכלה בחרקים המקבלים הוראות תנועה דרך ממשקים אלקטרוניים המתחברים למערכת העצבים שלהם. כפי שהיה אפשר לצפות לגבי "קלף פרוע כגון זה, יש אי־הסכמה ניכרת בין המומחים לגבי מועד המימוש החזוי: כשליש מהמשיבים סבורים שרובוטים כאלה ייכנסו לשימוש עד שנת 2023, וכשליש מעריכים שזה יקרה אחרי 2033.

שינוי צורה

מתי יוכנסו לשימוש צבאי מערכות בלתי־מאוישות המסוגלות לשנות צורה בהתאם לצורכי המשימה (וכך, למשל, יוכלו "להתפחס" כדי לעבור דרך פתחים צרים)?

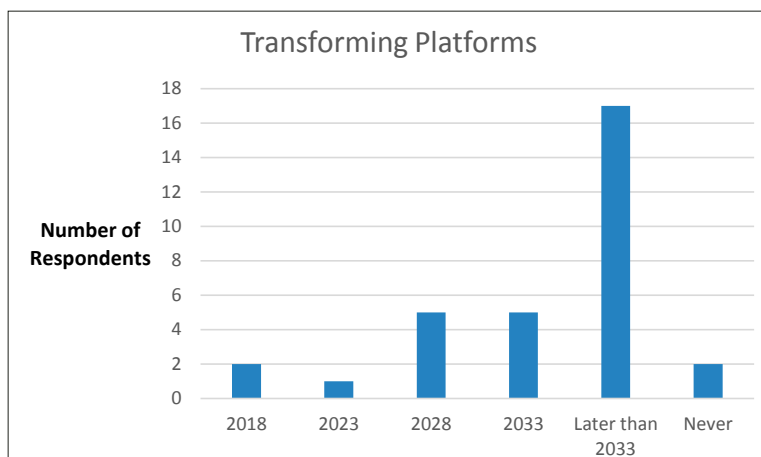
מספר משיבים: 33



לפי חציון התחזיות, שנת 2028 תהיה השנה המוקדמת ביותר שבה ייכנסו לשימוש בצבא מערכות בלתי־מאוישות המסוגלות לשנות צורה בהתאם לצורכי המשימה. למשל, מערכות שיוכלו להתכווץ כדי לעבור דרך חרכים צרים מתחת לדלת וכך להיכנס לבניין. יש לציין ששליש מהמומחים מעריכים שהכניסה לשימוש תהיה אחרי שנת 2033. יודגש שבשאלה זו אין מדובר במערכות היכולות להרכיב את עצמן מחדש לאופן תפקוד שונה לגמרי מהמקורי, למשל כלי יבשתי שעובר רה־קונפיגורציה לצורה בעלת כנפיים שתדאה לחלון ותיכנס דרכו לבניין. על כך מדובר בשאלה הבאה.

שינוי תפקוד

מתי יוכנסו לשימוש מערכות בלתי־מאוישות המסוגלות לשינוי תפקוד מוחלט בשדה הקרב (למשל, רובוט דמוי "רובוטיק" המשתנה מכלי רכב קרקעי למטוס)?

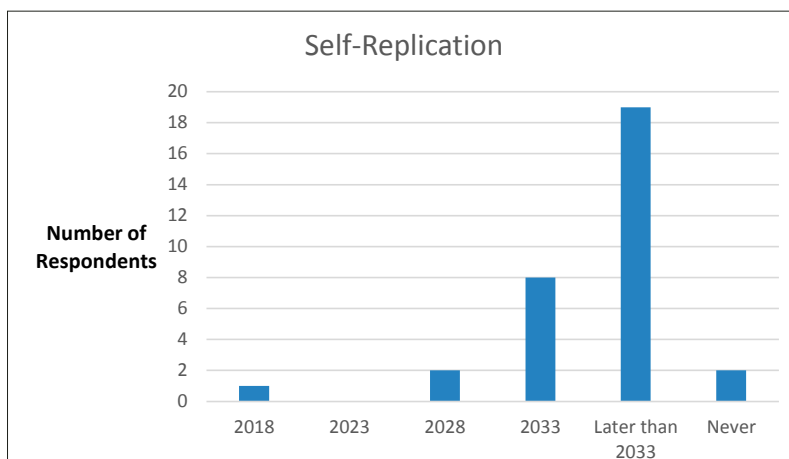
מספר משיבים: 32

רוב המומחים סבורים שמערכות בלתי־מאוישות המסוגלות לבצע שינוי תפקוד מוחלט בשדה הקרב לא ייכנסו לשימוש לפני שנת 2033, והחציון מתכנס גם הוא לאותה תוצאה.

שכפול עצמי

מתי יכנסו לשימוש צבאי מערכות המסוגלות להשתכפל או ליצור גרסאות פשוטות יותר של עצמן?

מספר משיבים: 32



רוב המומחים סבורים שמערכות בלתי־מאוישות בעלות יכולת שכפול עצמי או יצירה של גרסאות פשוטות יותר של עצמן, לא יכנסו לשימוש לפני שנת 2033, והחציון מתכנס גם הוא לאותה תוצאה. תוצאה זו עשויה להיראות "שמרנית" בהתחשב בהתקדמות המרשימה ביכולותיהן של מדפסות תלת־ממד, שחלקן כבר הדגישו יכולת לייצר רובוטים פשוטים במעבדה. עם זאת, ייתכן שהמומחים הביאו בחשבון בהערכתם אתגרים טכנולוגיים שעדיין צריך להתגבר עליהם ואולי גם בעיות אתיות וסכנות הכרוכות בהפעלת רובוטים המסוגלים להשיג חומרי גלם מהסביבה ולהמיר אותם לרובוטים חדשים. עם זאת, העובדה שהמומחים מתייחסים לאפשרות שמערכות כאלו יפותחו בשלב מסוים כאל אפשרות ריאלית, מצדיקה המשך מעקב אחר קלף פרוץ זה בשנים הבאות.

נספח ב

המלצות למדיניות היגדים מרכזיים

בנספח זה מוצגת נבחרת ההיגדים, כלומר 25 ההיגדים שזכו לציון חשיבות גבוהה ממשתתפי הדיון (הדירוג היה בסולם של 1-5). ההיגדים הנבחרים מוצגים בחלוקה לקטגוריות נושאיות, ובכל קטגוריה מוצגים ההיגדים לפי סדר חשיבותם.

קטגוריית צבא וביטחון

כותרת ההיגד: **על מערכת הביטחון וגופי המודיעין להיערך לקראת שילוב נרחב ועמוק יותר של כב"מ בתחום איסוף המודיעין.**

ציון חשיבות: 3.83

תיאור ההיגד: ישראל מפעילה כבר היום מערך נרחב של כב"מ (בעיקר כטב"מ) לאיסוף מודיעין. מערכת הביטחון וגופי מודיעין צריכים להיערך לשילוב נרחב ומעמיק יותר של כב"מ במגוון היבטים של איסוף המודיעין. כב"מ בתצורות חדשניות ובמידות זעירות יוכלו להשתלב באיסוף מודיעין במתארים חדשים, כגון איסוף מידע על מבנים ומנהרות, חרקים רובוטים לריגול באזורים בנויים, כלי שיט בלתי-מאוישים תת מימיים לאיסוף מודיעין בנמלי אויב ועוד. ייצור כב"מ זולים ופשוטים להפעלה יאפשר להפעילם לצורכי איסוף מודיעין שדה על-ידי כוחות שאינם בהכרח אנשי מודיעין. המידע הרב והמגוון שהכב"מ מעבירים בזמן אמת ידרוש מערכות מידע מודיעיניות לאגירה, סינון ופענוח, היתוך ואחזור שיאפשרו מיצוי המודיעין בזמן אמת ובאופן שיאפשר פעולה אפקטיבית. על מערכת הביטחון וצה"ל לגבש תפיסת מודיעין וחזון מודיעין בעידן הכב"מ ולהיערך למימושם.

כותרת ההיגד: **על מערכת הביטחון ליישם תפיסות, תהליכים ואמצעים שיאפשרו קליטה ומבצע מהירים ואינטנסיביים של מערכי כב"מ חדשים.**

ציון חשיבות: 3.76

תיאור ההיגד: עולם הכב"מ ייחודי בקצב, במהות, ובמגוון האמצעים שבו. כמות האמל"ח הנקלט והצרכים המבצעיים מחייבים מבצע מהיר והתאמות מידיות, אך קצב התקדמות הטכנולוגיה וסוגי הסביבה השונים מקשים על תהליכי הקליטה, ההטמעה

וההתאמה, האימון והמבצוע. על מערכת הביטחון להגדיר וליישם תפיסות, תהליכים ואמצעים שיאפשרו קליטה ומבצוע מהירים ואינטנסיביים של מערכי כב"מ חדשים. יש להגדיר תפיסות הפעלה מתקדמות וברורות שיסייעו למפתחים להגדיר ארכיטקטורות מערכת המתבססות על תקינה ועל מכלולים סטנדרטיים, בדוקים ומוכחים. יש להשקיע באמצעים, כגון מרכזי ניסוי, גופי הערכה והטמעה ייעודיים לקליטת מערכות, מרכזי אימון וסימולטורים לצבירת מיומנות, אמצעים ייעודיים לביצוע קליטה (תדרים, מערכות) ועוד. פעילות זו צריכה להיות מובלת באופן מערכתי ומרכזי בידי גוף מרכזי כדוגמת המטה הלאומי לכב"מ או קצין חילי לענייני כב"מ בצה"ל.

כותרת ההיגד: על ישראל לפתח מדיניות, תורת לחימה ויכולת התמודדות עם מערך הכב"מ של מדינות ושל ארגוני אויב.

ציון חשיבות: 3.76

תיאור ההיגד: מדינות וארגוני אויב מצטיידות גם הן בכב"מ שעתידים להיות מופעלים נגד מדינת ישראל בעת מלחמה ובשוטף, כפי שכבר אירע בעבר. על מערכת הביטחון וצה"ל להיערך לעידן כזה על-ידי הגדרת מדיניות ברורה, כתיבת תורות לחימה מתאימות, רכש של מערכות לצורך איתור, נטרול והשתלטות על כב"מ, הקמת מסגרות צבאיות לטיפול בנושא והכשרתן. למשל, הגדרת כוח אדם שידמה את התנהגות האויב בהיבטי השימוש בכב"מ.

כותרת ההיגד: מדינת ישראל חייבת לשמר מרכיבי ליבה מבצעיים מאוישים ביכולתה הצבאית גם בעידן השימוש הנרחב בכב"מ.

ציון חשיבות: 3.69

תיאור ההיגד: תפיסת הביטחון בנויה על שכבות המשלימות ומגבות זו את זו כדי למנוע מצב של העדר יכולת עקב כשל של מרכיב מסוים. בכל מערכת רובוטית קיימים סיכונים לא מועטים, החל בכשל טכנולוגי, כשל עקב פעולת אויב (תקיפת סייבר לדוגמה) וכלה בשימוש לא מושכל או לא מוצלח ביכולת בנקודת זמן קריטית. לכן על צה"ל לשמר מרכיבי ליבה מבצעיים מאוישים שיפעלו כאשר מערך הכב"מ אינו מסוגל למלא המשימה. כן יש להפעיל כלים מאוישים או בלתי-מאוישים בהתאם ליתרון היחסי של כל מערכת. על אף הימצאותן של יכולות בלתי-מאוישות ואף אוטונומיות בעבור משימות מסוימות, הן יבוצעו על-ידי מערך מאויש מסיבות של אמינות, הצורך לקבל החלטות בעלות משמעויות מוסריות או אסטרטגיות ועוד. בבחירת התמהיל בין יכולות לוחמה אנושיות ליכולות לוחמה בלתי-מאוישות ואף אוטונומיות יש להתייחס לאיומים הרלוונטיים יותר לכב"מ (כגון לוחמה אלקטרונית) ואיומים הרלוונטיים רק

לבני אדם (כימי וביולוגי). אחת היכולות המאוישות שיש לשמר היא למשל מהנדסים ואנשי תחזוקה קרביים, שיוכלו להגיע לכב"מ בשדה הקרב ולהשמיש אותם.

כותרת ההיגד: על ישראל לקיים חשיבה מתמדת לגבי מהות מערך הכב"מ ודוקטרינות הפעלה העתידיות ולעדכןם בהתבסס על ההתפתחויות הטכנולוגיות הרלוונטיות.

ציון חשיבות: 3.67

תיאור ההיגד: כדי לשמור על יתרונה היחסי בתחום הכב"מ נזקקת ישראל לחשיבה מתמדת, בהובלת המטה הלאומי לכב"מ, כדי להבין כיצד יש לבנות ולעדכן את מערך הכב"מ ואת דוקטרינות ההפעלה שלו לאור ההבשלה של טכנולוגיות רלוונטיות והדרישות המבצעיות מן השטח. בהתאם לחשיבה זו על המטה הלאומי לכוון את מאמצי ישראל בתחום המו"פ כדי להתקדם באופן ייחודי בטכנולוגיות בסיסיות או לייצר אינטגרציות ויישומים ייחודיים בתחום הכב"מ. ישראל תתמקד בפיתוח עצמי של התחומים שיש לה יתרון יחסי, ותשתף פעולה בתחומים גנריים שאין לה בהם יתרון יחסי.

כותרת ההיגד: על ישראל להגדיר ולנהל תפיסת הגנה ושרידות כוללת למערך הכב"מ, הכוללת עקרונות ויעדים ברורים.

ציון חשיבות: 3.59

תיאור ההיגד: שרידותו של כב"מ, המהווה מרכיב בסיסי בהצלחתם המבצעית, חשופה לאיומים מגוונים, כגון יירוט פיזי, נטרול, השתלטות וגנבת מידע באמצעות לוחמה אלקטרונית וכלי סייבר. על משרד הביטחון וצה"ל לטפל באתגר השרידות של כב"מ על-ידי הגדרת תפיסת הגנה ושרידות כוללת לכב"מ, מבוססת תוך פיזי ותוך מרחבי (תקשורת, GPS, סייבר). נדרש לבחון באיזו מידה תפיסה זו תהייה ייחודית לפטפורמות כב"מ ובאיזו מידה היא צריכה להיות חלק מתפיסת ההגנה והשרידות הכללית של פלטפורמות מבצעיות. על גופי הפיתוח הישראליים לשתף פעולה עם מטה הסייבר הלאומי בהתוויית פתרונות המיגון של כב"מ מפני איומי סייבר.

כותרת ההיגד: על ישראל לייצר שיתוף פעולה מודיעיני ומשפטי עם מדינות אחרות כדי להפחית את הנגישות של גורמי טרור לכב"מ.

ציון חשיבות: 3.56

תיאור ההיגד: היכולת המתהווה לפיתוח עצמאי או רכישת כב"מ פשוטים יחסית בידי ארגונים ויחידים בצירוף מתווה הפעלה אונימי, עלולים להקנות לגורמי טרור יכולת לגרום נזק רב. על ישראל לשתף פעולה עם מדינות אחרות במסגרות מודיעיניות

או במסגרת אמנות משפטיות בינלאומיות שיפחיתו את הנגישות של גורמי טרור פוטנציאליים לכב"מ. שיתוף פעולה ביטחוני עם מדינות אחרות בכל הקשור לעבודת המודיעין והמניעה בתחום הטרור יסייע במקרים נקודתיים. חוקים ואמנות משפטיות יסייעו להסדיר, לאכוף ולהגביל את היכולת לייצר, להחזיק ולהשתמש בכב"מ אלא בידי גורמים מורשים ולמטרות מותרות. לדוגמה, יש לקבוע מנגנוני ויסות ואכיפה נגד הפצת תוכנות המשמשות להדפסת מוצרים במדפסות 3D כדי למנוע ייצור מחתרתי של כלי נשק בכלל וכב"מ בפרט.

כותרת ההיגד: על צה"ל להתאים את מודל השירות הצבאי בסדיר ובמילואים לעידן הכב"מ בהיבטים של כמות ואפיוני המשרתים ומאפייני מסלולי השירות שלהם.

ציון חשיבות: 3.38

תיאור ההיגד: עידן השימוש הנרחב בכב"מ משפיע בהיבטים רבים על מודל השירות בסדיר, בקבע ובמילואים. שימוש נרחב בכב"מ, הפעלת נחילים וקבוצות כב"מ בידי מפעיל בודד והיכולת לבצע מיקור חוץ של משימות כב"מ עשויים להפחית משמעותית את הדרישות לכוח אדם. מאפייני כוח האדם הנדרש בעידן הכב"מ יתבססו על נתונים קוגניטיביים יותר מאשר על נתונים פיזיים או מגדריים, ואילו מסלולי השירות והתפקידים יהיו מקצועיים וארוכים יותר ויצטרכו להתמודד עם עומסים מנטליים יותר מאשר עומסים פיזיים, ועם תחרות גוברת מצד השוק האזרחי על המשרתים בתחום הכב"מ. במציאות זו יצטרך צה"ל להתבסס על צבא סדיר וקבע קטן ומקצועי יותר. כן יש לבחון ולהתאים את תהליך הגיוס והשירות לעידן שבו שימוש בכב"מ ידרוש מהמפעילים דרישות שונות מאלו הנדרשות כיום מחייל סדיר, בהדגשת יכולות קוגניטיביות יותר מיכולות פיזיות וכישורים של "גיימר". צה"ל יצטרך ליישם מסלולי הכשרה ושירות ארוכים למערך הכב"מ כדי להחזיר את ההשקעה בהכשרה ולמצות את המרב ממערך הכב"מ. הוא גם יצטרך למצב את מקצועות הכב"מ כמערך מועדף, יוקרתי ובעל ערכיות המתוגמל בהתאם כדי לשמר את כוח האדם אל מול התחרות עם השוק האזרחי.

כותרת ההיגד: על מערכת הביטחון ליישם תפיסת שימור כוח אדם בתחום הכב"מ המבוססת על אתוס, ערכיות, אתגר, קריירה ותגמול כדי להתמודד עם השוק האזרחי.

ציון חשיבות: 3.29

תיאור ההיגד: כוח האדם המשרת במערך הכב"מ הביטחוני בתחומי הפיתוח, התחזוקה וההפעלה מורכב מאנשי מקצוע באיכות גבוהה במקצועות הטכנולוגיה וההפעלה, שהכשרתם דורשת משאבים רבים ולכן המערכת מעוניינת שישרתו תקופות ארוכות

יחסית. על כוח אדם זה קיימת תחרות מצד השוק האזרחי ואף מצד ענפים אחרים במערכת הצבאית והביטחונית, דבר המחייב את מערך הכב"מ הביטחוני ליישם תפיסת שימור כוח אדם אפקטיבית. תפיסה זו תושתת על כיווני פעולה אחדים המשלימים זה את זה. יש ליצור אתוס לתחום הכב"מ הביטחוני על-ידי מתן מעמד מועדף למערך זה כמערך מובחר, בעל תחושת ערכיות גבוהה ומורשת קרב מבצעית ענפה. יש גם להדגיש את האתגרים המבצעיים והטכנולוגיים הייחודיים והמתקדמים שעמם מתמודדים אנשי המערך. כיוון פעולה אחר הוא פיתוח קריירות לטווח ארוך הכוללות תקופות של לימודים והמאפשרות התפתחות וקידום של אנשי מערך הכב"מ גם אל מערכים אחרים בצה"ל, ובמקביל זרימת כוח אדם איכותי מצה"ל לתוך מערך הכב"מ. יש לנצל את מגוון התפקידים והגמישות הצה"לית כדי ליצור רוטציה בין תפקידים למניעת שחיקה. עוד כיוון פעולה הוא הקצאת משאבים למתן תמריצים והטבות שישמרו על איזון סביר לעומת השוק האזרחי.

כותרת ההיגד: על ישראל להיערך לשיתוף פעולה מבצעי בין צבאות בתחום הכב"מ על-ידי הגדרת מדיניות כזאת ויישומה, ומימוש פרוקוטול תקשורת המאפשר אותה.

ציון חשיבות: 3.29

תיאור ההיגד: מדינת ישראל משתפת פעולה עם צבאות שונים בעולם, הן בצורה פסיבית של תיאום מרחבים אוויריים והן בצורה אקטיבית של תרגילים משותפים. כדי להרחיב שיתוף פעולה זה לתחום הכב"מ על ישראל להגדיר מדיניות שת"פ ברורה וליישמה, בדומה לנעשה בתחום המערכים המאוישים. מדיניות זו תכלול קביעת יעדים, הקצאת אמצעים, בניית מנגנון ארגוני הולם, הכשרת אנשים על בסיס תקן משותף וכו'. כן צריכה ישראל להיערך בנושא קישוריות ושילוביות של המערכות מבחינת פרוקוטול תקשורת, שיאפשר תקשורת בין מפעילי הכלים לבין הכב"מ עצמם של המדינות השונות ויביא לידי העצמת היכולת בשדה הקרב (העברת מודיעין מהירה בין הכלים, קביעת גבולות גזרה בין הכלים), ויסייע למניעת טעויות (ירי ידידותי, ביצוע כפול ומיותר של משימה). פרוטוקול זה צריך להיות מוסכם על ישראל והמדינות שעמן יש לה שיתוף פעולה צבאי באימונים, והוא צריך להיבנות כך שימנע זליגת מידע סודי במהלך שיתופי הפעולה.

כותרת ההיגד: על ישראל להעדיף שימוש בכב"מ לצורך הגנה על יעדים אסטרטגיים ושמירה על גבולות על בסיס דוקטרינה מוגדרת ומערך כלים משותף.

ציון חשיבות: 3.06

תיאור ההיגד: לשילוב כב"מ בהגנה על יעדים אסטרטגיים ושמירה על גבולות יש יתרונות רבים מבחינת משך שהייה, ביצוע משימות רוטיניות, כיסוי גיאוגרפי, חיסכון

במשאבי כוח אדם, ריבוי חיישנים, תקשורת זמן אמת ועוד. על משרד הביטחון להנחות את צה"ל לבחון את תפיסות ההגנה על יעדים אסטרטגיים וגבולות באמצעות כב"מ, ולשלב כב"מ במערך ההגנה במקומות שיש להם יתרון יחסי על פני כוח מאויש ובהתאם לסוג האתר המוגן ומיקומו. תפיסות ההגנה על יעדים אסטרטגיים וגבולות כוללות מעגלי אבטחה שונים המגבים ומשלימים זה את זה, ניתן שאפשר לשלב בהם כב"מ מסוגים שונים. רצוי לגבש תפיסת הגנה משולבת של הגנה על יעדים אסטרטגיים והגנה על גבולות כשהמטרה היא לאחד ככל האפשר את הפיתוח, הרכש, האחזקה והתפעול של מערכות לצורך שתי המשימות שיש ביניהן קווי דמיון רבים. ההשקעה בתחום זה אטרקטיבית לישראל ולתעשייה הביטחונית שלה בשל השוק הנרחב של מדינות וגופים רבים בעולם המתמודדים עם הבעיה של הגנת גבולות מפני איומים צבאיים, טרור, פשיעה והגירה, ועם הצורך להגן על יעדים אסטרטגיים בים וביבשה.

כותרת ההיגד: על מערכת הביטחון ליישם מדיניות לוגיסטית מבצעית משולבת כב"מ כדי להשיג את מרב היעילות תוך הימנעות מסיכון חיי אדם.

ציון חשיבות: 3.06

תיאור ההיגד: תחום הלוגיסטיקה הקרבית הוא מהבשלים יותר לשילוב כב"מ, למשל בפניני רפואי, בהכנסה לשטח של הספקה ייחודית, באבטחה (משמר קדמי, אבטחת אגפים ומשמר אחורי) של שיירות לוגיסטיות ועוד. שילוב כב"מ במשימות הלוגיסטיקה ישפר את יעילות התהליך הלוגיסטי הקרבי וימנע סיכון חיי אדם. על מדינת ישראל להגדיר וליישם מדיניות לשילוב מרבי אפשרי של כב"מ במענה הלוגיסטי הקרבי. על משרד הביטחון להנחות את צה"ל לבחון ולמפות את כל המשימות הלוגיסטיות, ושבעבור כל משימה לוגיסטית יועדף פתרון לא מאויש מלבד מקרים מיוחדים, יוצאי דופן, שבהם תוכח נחיצותם של אמצעים מאוישים. על ישראל להצטייד בכב"מ הקיימים בשוק והמתאימים למשימות לוגיסטיות, או לפתח מערכות ייחודיות העונות על צרכיה. היבט לוגיסטי אחר הדורש מענה הוא הלוגיסטיקה של הכב"מ עצמם, הנזקקים לתחזוקה ולטיפול בשדה הקרב.

קטגוריית כלכלה

כותרת ההיגד: על ישראל לנצל את יתרונה בתחום הכב"מ הצבאי כדי להפוך, בהובלת המטה הלאומי לכב"מ, לשחקן משמעותי בשוק הכב"מ האזרחי העולמי המתפתח.

ציון חשיבות: 3.59

תיאור ההיגד: העיסוק בכב"מ בישראל מתמקד כיום בעיקר בתחום הביטחוני. ישראל יכולה לנצל ידע רב שנצבר בתחום זה לצורך יישום מבוקר בשוק הכב"מ האזרחי העולמי בעל הפוטנציאל הרב שעדיין לא מומש. כך יכולה ישראל להיות מובילה בתחומים אזרחיים או ביטחוניים למחצה (חקלאות, תחבורה, שירותי חירום והצלה, משטרות הגנת המולדת ועוד) ולשפר את הדימוי המיליטריסטי שנוצר לה עקב השימוש בכב"מ צבאיים. אפשר להאיץ את פיתוח הכב"מ האזרחי והסמכי-ביטחוני על-ידי שיתוף פעולה עם גורמים חיצוניים ועם חברות אזרחיות. יש צורך להקים מטה לאומי/מנהלת תחת משרד ראש הממשלה שתהיה אחראית לאיתור נושאים בעלי פוטנציאל לכב"מ אזרחי, לניתוב משאבים לצורך מחקר ופיתוח, לביסוס שיתוף פעולה עם מדינות אחרות ועם גורמים בינלאומיים, לעידוד ותמיכה ביוזמות פרטיות המנצלות את הידע שנצבר בארץ לטובת פיתוח ושיווק מוצרים לשוק האזרחי ולהכשרת כוח אדם מקצועי שיענה על צרכי התעשייה המתפתחת.

כותרת ההיגד: על מדינת ישראל להקצות משאבים בתקציב הביטחון למערך הכב"מ על חשבון צמצום תקציבי מערכים מאוישים.

ציון חשיבות: 3.33

תיאור ההיגד: שילוב מערך כב"מ ובמיוחד כלים אוטונומיים במשימות צבאיות במקום מערכים מאוישים יצמצם את ההוצאות השוטפות על מצבת כוח האדם הצבאית בסדיר, בקבע ובמילואים וימנע הוצאות פנסיוניות עתידיות גדולות. בטווח הארוך שילוב כב"מ במקום מערכים מאוישים יכול לפנות סכומים גדולים מתקציב הביטחון. כדי להגיע למצב הזה על מערכת הביטחון להפנות תקציבים מתאימים לצורך הצטיידות מערך הכב"מ על חשבון צמצום התקציב לתחומים עתירי כוח אדם שמספקים פחות ביטחון אך טומנים בחובם סיכון גדול לחיי אדם. לדוגמה: הגברת השימוש בכב"מ לפעילות ביטחון שוטף על חשבון גיוס חיילי מילואים לתעסוקה מבצעית. תהליך זה צריך להתבצע בהדרגה משום שבשלב ראשוני, עוד לפני הצמצום בכוח האדם, הוא ידרוש תקציבים נוספים להתנעת התעצמות והתייצבות מערך הכב"מ. הסכמה לטווח ארוך עם מודל תקציבי חדש יהיו המפתח לתכנון נכון של תקציב הביטחון. תקציב מערך הכב"מ צריך להיבנות בראייה כוללת על בסיס תכנית האב שיגבש המטה הלאומי לתחום הכב"מ.

כותרת ההיגד: על ישראל לייצר שיתוף פעולה הדוק בתחום הכב"מ בין האקדמיה לתעשיות הביטחוניות בריכוז ובתיאום של המטה הלאומי לכב"מ.

ציון חשיבות: 3.29

תיאור ההיגד: כדי למצות את הפוטנציאל, היתרונות והמשאבים של מדינת ישראל בתחום המחקרי והטכנולוגי לקידום מערך הכב"מ על המטה הלאומי לכב"מ לקדם יצירת שיתוף הפעולה הנרחב והמעמיק בין מוסדות אקדמיים לתעשיות ולמדינה. על האוניברסיטאות להקים מרכזי מחקר בתחומים רלוונטיים לכב"מ, כגון המרכז לרובוטיקה בטכניון ומסלולי לימוד ייעודיים לתחום הכב"מ בדומה למסלול הסייבר שהוקם באוניברסיטת תל-אביב. אפשר לקדם שיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה ביצירת תקן הסמכה לקבלת רישיון לעיסוק בתחום הכב"מ. אפשר גם להקים מכוני מחקר לתחום הכב"מ, שישמשו מקום מפגש ומצע לקידום שיתוף פעולה ורעיונות בין האקדמיה לתעשייה הביטחונית. למכונים אלו יהיה תפקיד גם להציע פרויקטים וגם לקדם פרויקטים בעצמם, וכך להוות מעין צלע שלישית הכרחית. הם יכולים גם לתרום להכשרת הדור הבא בתחומים אלו על-ידי הצעת מלגות ופרסים לאנשים צעירים. המטה הלאומי יכול לנהל תחרויות "קראודסורסינג", שיאפשרו שיתוף פעולה בין גורמים שונים לפיתוח משותף של פרויקטים גדולים, כמו האתגר הרובוטי של DARPA או ליזום הקמת חממות טכנולוגיות לפיתוח מיזמים בתחום הכב"מ.

כותרת ההיגד: על ישראל להגדיר מפת דרכים טכנולוגית להכוונת המו"פ בתחום הכב"מ בהתבסס על יתרונותיה היחסיים, צרכיה הייחודיים ופוטנציאל הייצוא.

ציון חשיבות: 3.59

תיאור ההיגד: ישראל צריכה למקד את השקעותיה, שהיקפן מוגבל, יחסית למעצמות, בתחומים שיש לה יתרון יחסי בפיתוחם ושמספקות צורך ישראלי ייחודי (כמו המקרה של "כיפת ברזל") או קיים פוטנציאל לייצאן באופן שיסיע לממן פיתוחים אחרים. על המטה הלאומי להוביל הגדרת תקצוב ובקרת ביצוע של מפת דרכים טכנולוגית, במגבלות יכולת ההשקעה הלאומית. מפת הדרכים תכוון את המו"פ בדומה לנעשה במדינות רבות במערב. דוגמאות אפשריות למו"פ שבו יש לישראל יתרון יחסי הן פיתוח של "אבני בניין גנריות" לתחום הכב"מ. אבנים אלו תוכלנה להוות מכפיל כוח למערכות רבות לאורך זמן. בנוסף ניתן להמליץ על פיתוח מערכות טקטיות קטנות וזולות יחסית והשקעה במערכות חימוש, תקשורות ומטע"דים. דוגמאות אחרות הן השקעה בתחום הבינה המלאכותית גם כדי להשיג אוטונומיה מרבית, מו"פ המקדם את יכולות המשימה של המערכת (כדוגמת שיפור היכולת למצוא מטרה מסוימת בתוך אזור מסוה), ויכולת לאינטגרציה מהירה של טכנולוגיות שונות.

כותרת ההיגד: על מערכת הביטחון להקים תשתית BIG DATA ותהליכים שיאפשרו אגירה, עיבוד וניתוח של של המידע העצום והמגוון שנאסף על ידי מערך הכב"מ.

ציון חשיבות: 3.35

תיאור ההיגד: מערך הכב"מ צפוי לגרום ל"מהפכת מידע" בתחום הצבאי, שכן המגוון והמספר הגדול של החיישנים הפעילות הרצופה של הכב"מ מזרימים כמויות אדירות של מידע מסוגים שונים, שנאסף ונצבר בזמן אמת. לדוגמה, כב"מ שוהה 24 שעות בפעילות ומתעד ברצף את כל אירועי שדה הקרב ב־ויזינט, אלינט, סיגינט ועוד.²¹ כדי לנצל את כמויות המידע העצומות והמגוונות הללו, צריכה מערכת הביטחון לפתח תשתיות ותהליכים לעיבוד ולניתוח כמויות מידע גדולות ובכלל זה יכולת סינון מידע ראשוני ומתקדם, אגירת מידע רב ומגוון, היתוך מידע ואחזור לפי הצורך. לשם כך על מערכת הביטחון להיעזר בתעשייה ובאקדמיה שכבר עוסקות בתחומי ה־Big Data – טיפול בכמויות עצומות של מידע, במנועי סינון, היתוך ואחזור. רצוי שמערכת הביטחון תעודד פעילות זו ותיישם אותה לטיפול באגירת רובדי המידע שייצברו באמצעות הכב"מ, הן לשימוש בזמן אמת והן לאגירה ולשימוש בעתיד. יש להשקיע גם באמצעים טכנולוגיים המסננים את המוץ מהתבן נוכח כמויות המידע העצומות, ביכולת היתוך והצגת מידע המשלבת את המידע המגיע מהכב"מ עם מידע ממקורות אחרים ליצירת תמונת מודיעין שלמה ואיכותית, ובהגנת המידע באמצעות מנגנוני אבטחת מידע.

כותרת ההיגד: על ישראל לפתח את הסייבר והלוחמה האלקטרונית ההגנתיים כדרך התמודדות עם טרור מבוסס כב"מ.

ציון חשיבות: 3.32

תיאור ההיגד: לצורך התמודדות עם טרור המבוסס על כב"מ על מדינת ישראל להנחות את מטה הסייבר הלאומי להעניק עדיפות לפיתוחים בתחום הסייבר ההגנתי, שיאפשרו זיהוי, נטרול והשתלטות על כב"מ שנעשה בו שימוש לצורכי טרור.

כותרת ההיגד: על מדינת ישראל לתת עדיפות לפיתוח יכולות של נחילי כב"מ לשימושים צבאיים שיקנו לישראל יתרונות מהותיים בשדה הקרב.

ציון חשיבות: 3.07

תיאור ההיגד: הפעלת נחיל כב"מ הכולל כב"מ מאותו סוג או מסוגים שונים המשתפים פעולה ברשת לצורך ביצוע משימה משותפת תקנה לישראל יתרונות מהותיים בשדה הקרב, בביצוע משימות הכוללות טיפול מורכב ורב־גוני ביעדים או טיפול בו בזמן במגוון יעדים. על ישראל לתת עדיפות לתחום נחילי הכב"מ במחקר ופיתוח, בהגדרת דוקטרינות פעולה לשדה הקרב, שמהן תיגזרנה מעטפות הביצועים הנדרשות לכב"מ. במקביל, נוכח פוטנציאל הנזק שעלול להיגרם מאובדן שליטה בנחיל, תידרש התאמה של דרגות הביטחון להפעלת נחיל בהיבטים כמו: גיבוי והקשחת אמצעי תקשורת, מפעילים ברמה גבוהה, בדיקות מוקדמות לפני פעילות, סגירת אזורי טיסה ועוד. ישראל

צריכה ליישם, בתהליך איטרטיבי (חזורי), את טכנולוגיות נחילי הכב"מ העדכניות ביותר כדי לממש באופן רחב את דוקטרינת ההפעלה שתוגדר ולמצות את היתרונות המהותיים שמעניקה הפעלת נחילים.

קטגוריית אתיקה חקיקה ומשפט

כותרת ההיגד: על ישראל לקחת חלק פעיל בגיבוש אמנות בינלאומיות להגבלת השימוש בכב"מ כדי להבטיח את האינטרסים הביטחוניים והכלכליים שלה.

ציון חשיבות: 3.39

תיאור ההיגד: ישראל היא מדינה מובילה ביישום כב"מ לצרכים צבאיים, דבר המעניק לה יתרונות משמעותיים בשדה הקרב ויתרונות כלכליים רבים כיצואן של כב"מ. העיסוק הבינלאומי הגובר באמנות בינלאומיות להגבלת פיתוח, ייצור, סחר ושימוש בכב"מ יוצר סיכון לפגיעה באינטרסים הביטחוניים והכלכליים של מדינת ישראל. סיכון זה גובר במיוחד נוכח ניסיונות אפשריים של גורמים עוינים לישראל להגביל ולנטרל את יתרונותיה הביטחוניים והכלכליים בתחום הכב"מ באמצעות גיבוש אמנות בינלאומיות שיגבילו את יכולת הפעולה בתחום. על ישראל לקחת חלק פעיל בגיבוש האמנות הבינלאומיות כדי להשפיע ולהבטיח את האינטרסים הביטחוניים והכלכליים שלה, הן באופן ישיר והן באמצעות שיתוף פעולה עם בעלות ברית בעלות אינטרסים דומים כגון ארצות הברית. לשם כך על גורם ממלכתי במדינת ישראל, כגון המטה הלאומי, לבצע מיפוי האינטרסים של ישראל ולהגדיר את מדיניותה לגבי ההיבטים השונים של האמנות, כגון שימוש צבאי בכב"מ ללא הכרזת מלחמה, שימוש צבאי לא מבוקר, כב"מ אוטונומיים, היבטי הגנת הפרט כנגזרת מפעילות בתחום הצבאי והאזרחי, הגבלות על מכירת כב"מ למדינות ולגופים, שימוש בכב"מ בידי גופים לא מדינתיים ועוד. על בסיס המדיניות שתוגדר ישלב המטה הלאומי לכב"מ גורמים משפטיים ואחרים בתהליכי החקיקה הבינלאומיים.

כותרת ההיגד: על ישראל ליישם תקנים בינלאומיים בתחום הכב"מ ולהיות שותפה פעילה ומשפיעה בגיבושם.

ציון חשיבות: 3.31

תיאור ההיגד: מאמץ רב נעשה בעולם והון רב מושקע כדי לתקן את תחום הכב"מ על היבטיו השונים (בטיחות, כשירות, הנדסה, שילוב בתעבורה וכו'). תקינה זו של כב"מ צפויה להפוך למחייבת ולהשפיע על היכולת לשווק כב"מ בשווקים רבים. מדינת ישראל שהיא יצרן ומשווק כב"מ מן המובילים בעולם ומשתמשת פוטנציאלית בכב"מ צריכה ליישם את התקנים הבינלאומיים המתפתחים בתחום הכב"מ ולפעול בשיתוף

פעולה עם מדינות אחרות המובילות בתחום כגון ארצות הברית או מדינות אירופה, כדי להשפיע על גיבושם של תקנים אלו. מדיניות זו תאפשר לישראל חיסכון במשאבים עקב פיתוח תואם תקן, שמירה על יתרונה התחרותי ועל האינטרסים הביטחוניים שלה בתחום הכב"מ, ניהול וצמצום סיכונים הנובעים משימוש בכב"מ ועוד. פעילות זו צריכה להיות מובלת בידי גוף ממלכתי לטיפול בנושא הכב"מ, כגון המטה הלאומי לכב"מ, שישלב את הראייה הביטחונית והאזרחית תוך שיתוף פעולה והתייעצות עם מערכת הביטחון, משרדי הממשלה והתעשיות הבטחוניות. בנושאים רגישים וחריגים צריכה ישראל לשמור על האפשרויות לתקינה ייחודית שתשמר את האינטרסים שלה.

כותרת ההיגד: על ישראל להתמודד עם נזקים אפשריים מפעילות כב"מ על-ידי לקיחת אחריות, פעולה לפי הדין הבינלאומי והקפדה על תיעוד, תחקור והפקת לקחים.

ציון חשיבות: 3.24

תיאור ההיגד: כלים בלתי מאוישים המופעלים מרחוק או אוטונומיים לחלוטין עלולים לגרום בשוגג נזק סביבתי לנפש או לרכוש. על ישראל כמדינה לקחת אחריות כוללת על תוצאות הפעולה ללא קשר לגורם הספציפי שבעטיו קרתה התקלה (יצרן הכב"מ, מתכנן הפעולה, מפעיל הכב"מ וכד.). בנוסף, ישראל צריכה להפעיל כב"מ על-פי הדין והרגולציה הבינלאומיים באופן הדוק ובהתאם לרמות הסיכון של ההפעלה, כגון הפעלת כב"מ נשלטים מרחוק, הפעלת כב"מ אוטונומיים, טיפול בכב"מ שאבד עמם הקשר או שהשתבשה היכולת להפעילם וכדומה. על ישראל להשפיע ככל האפשר על הרגולציה הבינלאומית המתגבשת כדי שתאפשר לה את דרגות החופש החיוניות בעיניה. חשוב ביותר לשמור תיעוד מלא ופרטני על פעולת הכב"מ, שיאפשר בחינה מדויקת ומהירה של אירועי נזק סביבתי לנפש או לרכוש ולנהל חקירה, להסיק מסקנות, להפיק לקחים ולנהל את השיח התקשורתי והדיפלומטי הבינלאומי באופן מיטבי. כדי לאפשר זאת יש להגדיר וליישם תקן מחייב למערכות תיעוד והקלטה מתקדמות המתעדות את הווידאו, נתוני טלמטריה, נתוני הטלת חימוש, ניתוח חקר הביצועים וכד'.

כותרת ההיגד: על ישראל לקדם ולהוביל חשיבה עתידנית בנושאי תפיסות משפטיות, אתיות ומוסריות הנדרשות בהפעלת כב"מ ולהטמיע אותן במשפט ובעולם המעשה.

ציון חשיבות: 3.06

תיאור ההיגד: כדי לתת מענה להיבטים ולדילמות המשפטיים, האתיים והמוסריים בהפעלת כב"מ על מדינת ישראל, כגורם מהותי בתחום הכב"מ, להשקיע ולהוביל בקידום ובהטמעת תפיסות משפטיות, אתיות ומוסריות בהפעלת כב"מ. על ישראל

להקים צוות ובו מומחים מתחום המשפט, הטכנולוגיה והפילוסופיה, וכן אנשים בעלי חשיבה יצירתית כגון אמנים, תסריטאים ומומחים למדע בדיוני, שיבנה קוד אתי חדש ויגבש עקרונות אתיים, משפטיים ומוסריים בכל הנוגע לשימוש בכב"מ. ישראל גם צריכה לשתף פעולה עם צוותים דומים, מדינתיים, בינלאומיים ואחרים לצורך למידה והפריה הדדית וכדי לגבש אמות מידה כלל-עולמיות ליישום בתחום הכב"מ. לדוגמה, ישראל יכולה לייסד פורום מקצועי בינלאומי שיתכנס אחת לשנה או שנתיים ויעסוק בסוגיות אזרחיות, אתיות, משפטיות וכלכליות הנובעות מהרחבת השימוש בכב"מ. כינוס כזה עשוי לצבור בהדרגה יוקרה ולמשוך אנשי מקצוע, משפטנים ומחוקקים מרחבי העולם שישיעו ביצירת גרעיני הסכמה שלאורם ייבנו אמות העתיד. על בסיס התפיסות שגיבשו על מערכת הביטחון לבנות תורת לחימה סדורה וברורה להפעלה נכונה של כב"מ, שלאורו יודרכו ויתאמנו דרגי הפיקוד ומפעילי הכב"מ כדי שידעו לקבל את החלטות הנכונות בזמן אמת במצבים מורכבים.

קטגוריית חברה וערכים

כותרת ההיגד: על מדינת ישראל לפתח תכניות לימוד והכשרה התומכות בהיבטים השונים של תחום הכב"מ ולעודד השתלבות בהן.

ציון חשיבות: 3.61

תיאור ההיגד: פיתוח והפעלה של מערך כב"מ נרחב ברמה טכנולוגית גבוהה מחייבים מערך רחב ומגוון של כוח אדם איכותי שיעסוק בפיתוח, ייצור, תחזוקה והפעלה של מערך הכב"מ בצבא, בתעשייה ובמגזר הפרטי. כך לדוגמה יידרשו מהנדסים בתחומים שונים לפיתוח, הנדסאים וטכנאים לייצור ותחזוקה, ומפעילי כב"מ מיומנים. ככלל על מדינת ישראל להגביר את עידוד החינוך למדעים מדויקים ולטכנולוגיה בבית הספר היסודי והתיכון ובאקדמיה, ולחזק את מסלולי החינוך המקצועי ואת העתודה הטכנולוגית כדי לכוון מערך של אנשי מקצוע טכנולוגיים שחסרים מאוד בישראל. אשר לתחום הכב"מ, על מדינת ישראל להגדיר מסלולים רלוונטיים לתחום בתיכונים ובאקדמיה, בדומה למסלול הסייבר באוניברסיטת תל-אביב. מסלולי לימוד אלו יכללו לימודי מדעים מדויקים וטכנולוגיה בסיסית, רובוטיקה, היבטים משפטיים ונוספים הרלוונטיים לתחום הכב"מ, ויהיו חלק ממסלולי העתודה. במסגרת הצבאית יש לפתוח מסלולי הכשרה צהליים לתחום הכב"מ, המכשירים את החיילים בפיתוח, תחזוקה והפעלה של כב"מ בראייה אחודה. על המדינה וצה"ל לתת לתחום הכב"מ מעמד מועדף ויוקרתי בעיני הדור הצעיר כדי לעודד אותו להשתלב בתחום בבחינת "בזכות האדם שבכב"מ". המוטיבציה צריכה להיבנות על מערך של אתוס צבאי וטכנולוגי, תמריצים והטבות, מסלול התפתחות וקריירה.

נספח ג

פערים ולקחים משלב גיבוש המדיניות

עם סיום הדיון הקולקטיבי כפי שיישם בפרויקט ההדגמה נוכל להצביע על תובנות ולקחים אחדים בהיבט המתודולוגי, שמן הראוי לשקול וליישם בדיונים בעתיד:

1. השפעת גודל הקבוצה על היבטי הדיון – בפרויקט ההדגמה היו כ-26 משתתפים מטעמים של מגבלות תקציב. חסרו בקבוצה משתתפים המתמחים בהיבטים מסוימים של שאלת הדיון, כגון כלכלה, פוליטיקה וחינוך, ונוצר צורך להחליף חלק מהמשתתפים שלא תרמו די לדיון. בקבוצה קטנה יחסית יכלו משתתפים פעילים ודומיננטיים להשפיע יותר מאחרים על התוצר הקבוצתי, ואנונימיות המשתתפים עלולה להיפגם. מומלץ בעתיד לקיים דיונים בקבוצות גדולות יותר, עם מגוון רחב של משתתפים, וכך גם תצומצם יכולת ההשפעה של המשתתף הבודד ותובטח יותר האנונימיות של המשתתפים.

2. שינוי המינוח הארגוני במערכת – מערכת הדיון שהשתמשנו בה בפרויקט ההדגמה היא בעלת אוריינטציה ארגונית, דבר המשתקף במינוח הקיים במערכת ובקריטריוני התעדוף – על פיהם נדרשו המשתתפים לדרג את ההיגדים. מומלץ לשנות את מינוח המערכת בפרויקטים עתידיים של המכון ממינוח ארגוני למינוח מדינתי לצורך המחקרים העוסקים ברמה המדינית.

3. שיטות ההערכה והתעדוף – שיטת ההערכה שננקטה בדיון התמקדה בהערכת מרב ההיגדים בידי כל משתתף כדי להשיג מספר מעריכים מרבי לכל היגד, וכנגזרת מכך תקפות מרבית לכל היגד. אפשר ליישם שיטות הערכה אחרות כדי להשיג מטרות הערכה אחרות. לדוגמה, אפשר ליישם שיטת דירוג דינמי כפי שהציגו White et al בשנת 2008, שמטרתה ליצור סדר עדיפויות ברור יותר של המשתתף בין כל ההיגדים. שיטה זו מחייבת את המשתתף להגדיר באופן יזום את סדר העדיפויות בין כל שני היגדים במערכת. שיטות הערכה אחרות, כגון שיטת שוקי תחזיות כפי שהציג Luckner בשנת 2008, שמטרתה מיקוד המשתתף בכמה היגדים נבחרים, משתמשות בתקציב נקודות מוגבל למשתתף, המחייב אותו להתמקד בהערכת היגדים נבחרים מתוך רשימת כלל ההיגדים.

הערות

- 1 Gordon E. Moore, "Cramming More Components onto Integrated Circuits," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 1, January 1998, p. 84.
<http://www.cs.utexas.edu/~fussell/courses/cs352h/papers/moore.pdf>
- 2 אהרון האופטמן, יעקב נגראנו, ויאיר שרן, **חיזוי טכנולוגי: גישות, שיטות עיקריות ודוגמאות בתחום הבטחוני**, דו"ח ע/323, המרכז הבינתחומי לניתוח ותחזית טכנולוגית ליד אוניברסיטת תל-אביב, ינואר 2007.
- 3 Theodore J. Gordon, "The Delphi method in futures research methodology-V3.0." *The Delphi Method: להלן: The Millennium Project* (2009)
- 4 David Passig, "An applied social systems procedure for generating purposive sound futures." *Systems research and behavioral science*, Vol. 15, no. 4 (1998): pp. 315-325.
- 5 David Passig & Aviva Sharbat, "The Imen-Delphi procedure in practice." *Systems Research and Behavioral Science*, Vol. 21, No. 2, March-April 2004. pp.187-191.
- 6 James Surowiecki, *The Wisdom of Crowds*. New York: Anchor Books, 2004;
- 7 Jason Thorpe and Conan C. Albrecht, "Characteristics of Large Group Support Systems," In: 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Waikoloa, Hawaii, January 5-8, 2004.
- 8 **The Delphi Method**
כפי שהוסבר במבוא, בסקרי דלפי המתבצעים בכמה איטרציות, הטווח הבין-רבעוני "מתכווץ" בדרך כלל, ומספר התשובות הקיצוניות פוחת. בנוסף, מומחים ה"מתעקשים" על עמדות קיצוניות הרחוקות באופן ניכר מהחציון מתבקשים לנמק את עמדתם, ונימוקים כאלה מובאים בחשבון בתוצאות הסופיות.
- 9 אף שהשאלה הייתה על כלים קרקעיים, נראה, כי המגמה תקפה גם לירידה בזמן התגובה של כלים מכל הסוגים.
- 10 שתי התשובות הקיצוניות ביותר (מינימום ומקסימום) לשאלה זו היו "עשרה כלים או פחות" ו-"אלף כלים או יותר". כדי לחשב את התוצאות התייחסנו לתשובה הראשונה כאל 10 ולתשובה האחרונה כאל 1000.
- 11 בדומה לשאלה הקודמת, התשובות, עשר או פחות, ו"מאה או יותר" תורגמו ל-10 ול-100.
- 12 וזינט, אלינט, וסיגינט הינם סוגים שונים של מידע שנאספים במסגרת איסוף מודיעין. וזינט הנו מודיעין חזותי, שעשוי לכלול תמונות או וידיאו. סיגינט הנו מודיעין אותות ומטרתו לייצר אותות אלקטרוניים המשודרים במרחב, מידע זה עשוי לכלול למשל תכתובות או שיחות המבוצעות במכשירים אלקטרוניים. אלינט שייך לתחום הסיגינט ומתייחס באופן פרטני לאותות המופקים על ידי מכונות.

