

## טילים היפר-סוניים – איום והרתעה האמנם?

יהושע קליסקי | 31 במאי, 2023

השימוש המבצעי בטילים היפר-סוניים מתמרנים על ידי רוסיה במלחמה באוקראינה המחיש את האיום הגלום בנשק זה. טילים היפר-סוניים מתמרנים נעים במסלול אווירודינמי, במהירות הגבוהה פי 5 – 10 ממהירות הקול (מאך 5 – 10), הם בעלי יכולת ניווט ותמרון מעולים, המקשה על גילוי ומעקב אחר מסלולם, וכפועל יוצא על יירוטם. טילים אלו יכולים לשאת ראשי נפץ, הן קונבנציונליים והן גרעיניים, ויש להם יכולת פגיעה מדויקת במטרות נעות, דוגמת נושאות מטוסים. במאמר זה נסקרים הסוגים השונים של הטילים היפר-סוניים המתמרנים, וכן המדינות המובילות בפיתוחם. בנוסף נדונות המשמעויות הגיאואסטרטגיות של הופעת טילים היפר-סוניים בשדה הקרב ואמצעי ההתגוננות האפשריים בפניהם.

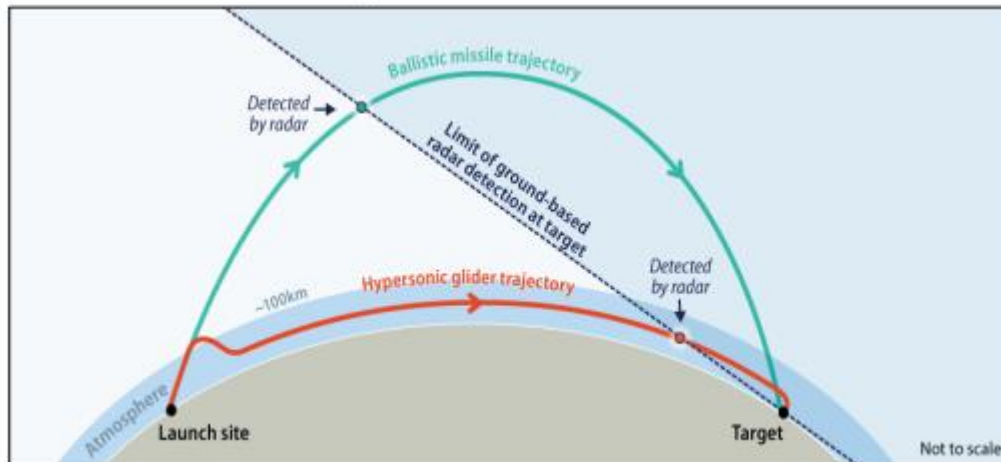
מהו טיל היפר-סוני מתמרן ומה מעורר דאגה עמוקה מפוטנציאל השימוש בו? מדובר בטיל המצויד במנוע רב עצמה, המסוגל להגיע למהירויות של פי 5-6 ממהירות הקול. קיימת סברה כי הרוסים התגברו על הבעיות הכרוכות בפינוי החום ממעטפת הטיל בעת מעופו, בעמידות רכיבי המנוע בטמפרטורות ובלחצים גבוהים ובבעיות השליטה והניווט, והצליחו לפתח טיל היפר-סוני שנע במהירות 10 מאך. נוסף למהירות, לטיל היפר-סוני יש טווח ארוך ויכולת שיוט ושליטה (controlled flight): בניגוד לטיל בליסטי, שיכולת התמרון שלו למטרה היא מוגבלת שכן הוא נע במסלול בליסטי קבוע מראש, טיל היפר-סוני מסוגל לבצע תמרון תוך כדי מעוף ויכולת ניווט מדויקת עד לפגיעה במטרה. זאת, לעומת טיל בליסטי לסוגיו השונים, המגיע למהירויות היפר-סוניות כאשר נע לעבר המטרה במסלולו הבליסטי, אך הוא נעדר יכולת תמרון. יתר על כן, איל היפר-סוני יכול לשאת ראש נפץ גרעיני.

### סוגי טילים היפר-סוניים מתמרנים

יש שני סוגים של טילים היפר-סוניים מתמרנים:

טיל היפר-סוני גולש (HGV – Hypersonic Glide Vehicle) או בשמו האחר Tactical Boost Glide-TBG: טיל היפר-סוני המשוגר מטיל בליסטי אסטרטגי או טקטי. הטיל היפר-סוני מקבל את מהירותו מהטיל הבליסטי או המטוס הנושא אותו, הוא יוצא אל מחוץ לאטמוספירה בגובה 80,000 רגל, צובר מהירות רבה - מסדר גודל של מאך 20 – 25, ואחר כך ממשיך בגלישה למרחקים ארוכים, תוך ניווט מדויק ותמרון אל המטרה, הקטנת מהירות תוך כדי הגלישה אך עדיין בטווח של מהירויות היפר-סוניות, קרי, מעל מאך 5. יכולת הניווט והתמרון שלו תוך כדי גלישה הופכים את הטיל היפר-סוני הגולש למערכת נשק קשה לגילוי וליירוט. בגלל מהירותו הרבה, טווח הזמן שעומד לרשות המיירט הינו קצר ביותר. ראו: איור מס' 1.

טיל שיוט היפר-סוני (Hypersonic Cruise Missiles-HCM): מדובר בטיל מתוחכם המהווה שילוב יכולות ההאצה של טיל בליסטי ויכולות התמרון של טיל שיוט, המצויד במנוע רב עצמה. טיל זה משוגר ממטוס, כך לדוגמה, הטיל ההיפר-סוני האמריקאי AGM-183-ARRW, הנישא בידי מפציץ B-52, מסוגל להגיע לפי פרסומים למהירות של 6200 קמ"ש. טיל שיוט היפר-סוני הוא מסוג טיל "נושם אוויר" - Hypersonic Air-breathing Weapon Concept (HABC).



איור מס' 1: יכולות הגילוי של טיל בליסטי וטיל שיוט גולש היפר-סוני ע"י מכ"ם קרקעי | Congress report, CRS image

המנוע של טיל היפר-סוני משייט הוא מנוע מגח סילון (Ram-jet) או מנוע מגח סילון היפר-סוני (Scramjet), השואב אוויר בלחץ גבוה ובמהירות על-קולית על מנת לספק חמצן ממקור חיצוני על ידי שאיבת אוויר לתוך המנוע ושריפתו עם הדלק (Zheng, 2007). מדובר באספקת חמצן באופן עצמי – self powered, כאשר דחיסת הדלק והאוויר נעשית על ידי תנועת הטיל ולא על ידי טורבינה, כפי שנעשה במנוע סילון. מכיוון שטיל מסוג זה לא נושא את המחמצנים הנדרשים לו לצורך יצירת דחף מניע ואין לו טורבינות לדחיסה, הוא מוגבל בגובה המעוף - עד בערך 60,000 רגל - ובטווח הפעולה. טיל "נושם אוויר", המונע על ידי מנוע מגח-סילון היפר-סוני, חייב להיות מואץ למהירות גבוהה על ידי פלטפורמה אחרת כגון מטוס B-52, או טיל. מאידך גיסא, עקב החיסכון במשקל והיעדר חלקים נעים הוא בעל אמינות, פשטות ייצור, ויכולת לפתח לזמן קצר מהירויות גבוהות - מעל מאך 5 – מה שמגדיל את האפקטיביות שלו.

### מדינות מובילות

עקב החשיבות של טילים היפר-סוניים, מעצמות העל (שגם מובילות מבחינה טכנולוגית) משקיעות סכומים ניכרים הן בפיתוח ושיכלול מערכות היפר-סוניות והן בפיתוח אמצעי הגנה נגדן.

ארצות הברית החלה בפיתוח טילים היפר-סוניים כחלק מתוכנית לפיתוח מתארי תקיפה כבר בשנת 2000, אך תוכניות אלו עוכבו מסיבות שונות בשנים 2013 ו-2014 על ידי הקונגרס. תכנית המחקר בנושא פיתוח טילים היפר-סוניים ופיתוח אמצעי הגנה נגד נשק זה (מערכת Glide Breaker) הוצעה בגלל ההתקדמות הרבה בנושא של רוסיה וסין (Saylor, 2019). כך למשל, ביוני 2019 נחשף טיל היפר-סוני גולש AGM-183A ARRW, שתועד מתחת לכנף מפציץ B-52 ועל פי חלק מההערכות מהירותו היא 6,200 קמ"ש. טיל זה היה אמור להיות עתה מבצעי אך עדיין יש בעיות טכניות בהפעלתו.

חוקר ממכון Jane (Cliff Drubin, 2019) מעריכים כי ארצות הברית השקיעה סכום של \$3.3B בשנת 2019 וסכום נוסף של \$2.6B בשנת 2020 במחקר ופיתוח טכנולוגיות היפר-סוניות. התקציב המתוכנן לשנים 2020 – 2025 לפיתוח נשק היפר-סוני הוכפל מסכום של \$6B ל-\$11.2B. את המאמץ האמריקאי מובילים הסוכנות למחקר מתקדם DARPA, הצבא וחיל האוויר האמריקאי. השאיפה היא ליצור מאגד של תעשיות שישתלבו במאמץ הייצור של אלפי טילים היפר-סוניים למטרות תקיפות עומק ארוכות טווח – Low range hypersonic weapon LRHW, ומטרות טקטיות ואסטרטגיות. במסגרת התוכנית מפותחים בימים אלה סוגים שונים של טיל היפר-סוני "נושם אוויר" וכן טיל היפר-סוני טקטי משייט - Tactical glide boost, או בקיצור TBG, אשר ניתן לשיגור מטיל בליסטי. ארצות הברית מפתחת גם טילים היפר-סוניים ארוכי טווח ומדויקים, ומערכות טילי שיוט היפר-סוניים "נושמי אוויר" המשוגרים מפלטפורמות אוויריות, כגון ממטוס הקרב המתקדם F-15EX או פלטפורמות יבשתיות, וזאת כדי לשדרג את כוח האש בשדה הקרב העתידי (Yasmin Tadjdeh, 2019). פיתוח מעניין נוסף הוא טיל היפר-סוני קרקעי טקטי המכונה Operational Fires. למרוץ לפיתוח טילים היפר-סוניים הצטרף גם הצי, אשר הקציב למטרה זו ל-Lockheed Martin סכום של \$2.5B, כמו גם לפיתוח אתרי ניסוי ייחודיים לבחינת ביצועים של טילים היפר-סוניים שכן מעקב ואיסוף נתוני טיסה מגוף שנע במהירויות היפר-סוניות מהווה אתגר טכנולוגי נכבד. לבסוף, משרד ההגנה האמריקאי בשיתוף חברת Hypersonix באוסטרליה שוקדים על פיתוח של אב טיפוס של דגם מתקדם של טיל "נושם", בעל מנוע מגח-סילון ייחודי במהירות של מאך 7 (בערך 8400 קמ"ש), כאשר המנוע מיוצר בהדפסה תלת ממדית – מה שחוסך זמן רב של ייצור ונגזר מכך-חיסכון בעלויות (Asia Times, 2023). הייצור מתבסס על שימוש במתכות מיוחדות ועל ציפויים מתוחכמים על מנת להתגבר על הטמפרטורות הגבוהות שנוצרות במנוע ובמשטחי הטיל, אשר חיוניים לשליטה על מסלולו. איור של אב הטיפוס המתוכנן מוצג להלן:



איור מס' 2: הדגמה הקונצפט של אב טיפוס של טיל היפרסוני מפותח ע"י חברת Hypersonix | צילום: Hypersonix

## רוסיה

הרוסים הקדימו את ארצות הברית בפיתוח והטמעה של טילים היפר-סוניים במערכים המבצעיים שלהם. ההערכה הייתה שטילים היפר-סוניים מתקדמים מסוג זה יכנסו לשירות בסביבות 2025 לכל המוקדם. תחזיות אלו התבדו שכן הוברר כי רוסיה וסין הקדימו את ארצות הברית בפיתוח הטילים היפר-סוניים, ואולי אף צברו יתרון אסטרטגי מסוים. הדגמת ביצועי טיל היפר-סוני בוצעה בשנה האחרונה במלחמה נגד אוקראינה. מוערך כי הרוסים רצו להדגים את הביצועים והיתרון הגדול של הנשק ההיפר-סוני לעומת טיל שיוט רגיל, ואולי אף ביקשו לשלוח מסר מאיים ברמה האסטרטגית לארצות הברית.

בנוסף לכך, באותו הזמן חשפו הרוסים סרטון (איור מס' 3) שבו נראה מטוס קרב מסוג מיג-31 משגר טיל KINZHAL במהלך אימון. הנשיא ולדימיר פוטין עצמו התייחס לסרטון וטען שטיל קינז'אל טס במהירות פי 10 ממהירות הקול, כ-12,000 קמ"ש, ולטווח העולה על 1,250 ק"מ (לפי מקורות רוסיים, הטווח הוא בסביבות 2000 ק"מ אך אין לכך אישור ממקורות ביון אמריקאים) עם יכולת לשאת ראשי קרב רגילים וגרעיניים. הטיל נראה מבצעי, לפחות על פי הסרטון, אולם מומחים לנושא התייחסו בביטול לנתון של 10 מאך ואף לפחות מזה. בגלל מהירותו הרבה ויכולות התמרון המשובחות של טיל הקינז'אל (בניגוד לטיל בליסטי שמסלולו ניתן לחיזוי), קיים קושי רב בזיהוי ובמעקב רציף אחר מעופו וכפועל יוצא באפשרויות ליירט אותו.



איור מס' 3: מטוס מיג 31 נושא טילי קינז'אל | צילום: kremlin.ru/mod.ru

בחדשים הראשונים לפלישת רוסיה לאוקראינה דווח מפקד בכיר בפיקוד האוויר ארוך הטווח של רוסיה על אודות שימוש מבצעי בטילי הקינז'אל בהשמדת מטרות קרקעיות נבחרות באוקראינה, וזאת בלי שאף טיל יורט על ידי ההגנה האווירית האוקראינית. מדובר היה בתקיפות ספורדיות, מתוך כוונה להדגמת יכולות. אך ב-9 במרס 2023 ביצעו הרוסים התקפה מסיבית על ערים ותשתיות חיוניות באוקראינה, שכללה 81 טילי שיוט ומתוכם שישה טילי קינז'אל וגרמה הרס רב. מטרת ההתקפה אינה ברורה ואנליסטים מייחסים אותה לרצון הרוסי להגיע להכרעה תוך גרימת הרס והפחדה. אחרים רואים בהתקפה זו מסר ואיום ישיר למערב על אודות היכולות המתקדמות שבידי הרוסים. ברוסיה דיווחו בעבר גם על פיתוח טיל היפר-סוני בשם M22 Zircon. על פי הדיווח הרוסי, טיל זה מיועד להשמיד ספינות והוא מגיע למהירות של 8 מאך ולטווח של 400 ק"מ. את הטיל הזה ניתן לשגר ממפציץ TU-22 או מספינת טילים, כפי שנעשה בניסוי שנערך באפריל 2019. טיל היפר-סוני נוסף היא ה"אונגארד" - טיל גולש המשוגר מטיל בליסטי, שהפך מבצעי ב-2018 ופגע במטרה במרחק של כ-6000 ק"מ.

## סין

סין החלה במרוץ אינטנסיבי לפיתוח טילים היפר-סוניים בתחילת המאה 21, עם יכולות מבצעיות שהושגו כבר בשנת 2014. למעשה, מוערך כי בסין נבנו פי שלוש מתקנים ייעודיים לפיתוח הנשק הזה מאשר ברוסיה. הסינים רואים חשיבות אסטרטגית גדולה בפיתוח טכנולוגיות היפר-סוניות שונות ועל כן הם עוסקים במחקר ופיתוח נרחבים ובמקביל בפיתוח של טילי גלישה או טילים היפר-סוניים מסוג HABC, מתוך כוונה לאיים על הבסיסים אמריקאים ועל ספינות ונושאות מטוסים של הצי האמריקאי באוקיינוס השקט (eurasiantimes.com, May 2023).

טיל היפר-סוני סיני גולש למרחקים בינוניים, המשוגר ממשגר נייד או ניח עד למרחק בטווח 1800-2000 ק"מ ואולי אף יותר הוא טיל Dong Feng -17, הידוע בכינוי המקוצר DF-17, אשר נע במהירות משוערת בטווח של מאך 8-12. כפי שניתן לראות באיור מס' 4, לטיל DF-17 יש חתך גוף מיוחד, המאפשר ביצועים אווירודינמיים ויכולות תמרון אופטימליים בטווח מהירויות גדול, עד מאך 12 ואולי יותר (Chen, 2020). סין גם חשפה גם את טיל DF-ZF, שמאז שנת 2014 ביצע לפחות שבע טיסות ניסוי שרובן הוגדרו כמוצלחות. מדובר בטיל גלישה בעל יכול לשאת רש"ק גרעיני והוא משוגר מטיל בליסטי. הוא נע במהירות שבין 6,000 ל-12,000 קמ"ש ומגיע לטווח של כ-3,000 ק"מ. כך למשל, הטיל הסיני DF-41 הוא טיל בליסטי בין-יבשתי, בעל יכולות לשאת טילים היפר-סונים גולשים נושאי רש"ק גרעיני לטווח של 14,000 ק"מ. טיל סיני היפר-סוני נוסף, בעל יכולות לנשיאת נשק גרעיני במהירות מאך 6 והנמצא בפיתוח הוא ה-Starry Sky-2, שמתוכנן להיות מבצעי בשנת 2025. ביולי 2021 הדגימו הסינים יכולות יוצאות דופן שהדחימו אנליסטים בארצות הברית, כאשר שיגרו טיל היפרסוני למסלול מעגלי סביב כדור הארץ.

על פי ההערכות הקיימות, הטיל הסיני הוא מאוד מדויק ובעל יכולת לשאת ראש קרב קונבנציונלי או גרעיני. על פי חלק מהמומחים, הטיל הזה נועד גם להשמיד נושאות מטוסים אמריקאיות. סין, כפי הנראה, מתקדמת פחות מארצות הברית בתחום, וגם תקציב המחקר ופיתוח שלה קטן מזה של ארצות הברית, אולם היא סוגרת את הפער בצעדי ענק.

## משמעויות

על פי הערכות שונות (Rahul Udoshi, 2019, למשל), נשק היפר-סוני משמעותו טכנולוגיה משבשת לכל טכנולוגיות הטילים וההגנות מפני טילים קיימות כיום, והוא בעצם מטשטש את הגבול בין נשק גרעיני לנשק קונבנציונלי. קיימות הצעות לאיסור ניסויים בטיילים היפר-סוניים או להקים מנגנוני בקרה, פיקוח ואמנות בינלאומיות לאי-הפצת נשק זה, בדומה לאמנת START בדבר צמצום הנשק האסטרטגי שבידי ארצות הברית ורוסיה, וכן הפעלת אמצעי פיקוח ובקרה מחמירים על יצוא טכנולוגיות או רכיבים וידע הקשורים במישרין או בעקיפין לטיילים היפר-סוניים (Richard, 2017, pp.109-115).

טילים היפר-סוניים בידי מדינות "סוררות" משנה את התפישה הרווחת לגבי יציבות גלובלית, ומהווה גורם שלילי בהקשרים של יציבות באזורים רגישים ותמריץ למרוץ חימוש בלתי מבוקר. השילוב בין היכולת של טיל היפר-סוני לפגוע בכל מטרה על פני כדור הארץ תוך פרק זמן של שעה, עם יכולתו לשאת ראש נפץ גרעיני, היא סכנה פוטנציאלית למלחמה אסטרטגית או הסלמה במשבר קיים, עד כדי "מתקפת מנע" עקב חוסר וודאות או פרשנות שגויה אשר לסוג ראש הנפץ שנושא הטיל. משמעות הדברים היא כי הטיילים ההיפר-סוניים מגבירים את הסכנה למלחמה בקנה מידה עולמי.

ההתקדמות הרוסית בנושא בשילוב הברית הצבאית בין רוסיה לאיראן מגבירות את הסיכוי שאיראן תצטייד בטיילים היפר-סוניים - על המשמעויות הגרועות הנובעות מכך לישראל. איראן החלה כבר בשנת 2014 במאמצי מחקר ופיתוח טכנולוגיות היפר-סוניות באמצעות מכוני מחקר הקשורים למשמרות המהפכה ולצבא, בשילוב אוניברסיטאות מובילות (Richard, 2017, pp.76-77). קצין בכיר במשמרות המהפכה הודיע ב-25 בפברואר 2023 כי איראן מפתחת טילים היפר-סוניים במהירות מאך 8 ויותר, מתמרנים לטווח ארוך עם יכולות פגיעה מדויקות במטרות ניחות ומטרות נעות, כגון פגיעה בנושאות מטוסים אמריקאיות בטווח של

1500 ק"מ. גורמים במשמרות המהפכה אף הצהירו כי הטיל האיראני הוא טיל היפר-סוני מתמרן, והוא יכול להגיע לתל אביב תוך ארבע דקות, תוך עקיפת מערכות הגילוי והיירוט. לבסוף, כוח ההרס של טיל היפר-סוני איננו רק תוצאה של פיצוץ חומר הנפץ בראש הקרבי. תרומה ניכרת להיקף הנזק היא האימפקט הקינטי שנובע משילוב של מהירותו הגבוהה, צורתו האווירודינמית ומשקלו של הטיל. כך למשל, פגיעה של טיל היפר-סוני במשקל 500 ק"ג ובמהירות פי 8 ממהירות הקול אקווילנטית לפגיעה ישירה וממוקדת של 3.5 טון TNT (Richard, 2017, pp.76-77).

## אמצעי התגוננות

אתגרי היירוט שיוצרות מערכות תקיפה היפר-סוניות הינם בהיבט של גילוי הטיל וחיזוי מסלולו תוך עיבוד והיתוך מידע בזמן תגובה קצר ביותר. האתגר הכרוך בחיזוי המסלול הוא משמעותי שכן בניגוד לטיל בליסטי, שמסלולו ניתן לחישוב, טילי שיוט היפר-סוניים הינם בעלי יכולות אווירודינמיות שאינן ניתנות לחיזוי. לטילים היפר-סוניים יש יכולת תמרון רציפה על ידי שימוש בכנפונים, מה שמחייב מעקב רציף אחר מעוף הטיל. בהינתן שרוסיה וסין ובעקבותיהן צפון קוריאה (מדינה בעלת יכולת מוכחת בפיתוח מתקדם של טילים) וכן מדינות "סוררות" נוספות עלולות לפתח טילים היפר-סוניים בעלי מהירות של 15-20 מאך, יש צורך דחוף בפיתוח מערכות מעקב ומערכות יירוט מתאימות. זאת משום שלא בטוח שמערכות ההגנה האווירית הקיימות מסוגלות להתמודד עם האתגר. יתר על כן, אחת התפיסות האסטרטגיות של תקיפות באמצעות כלי טיס בלתי מאוישים או טילים היפר-סוניים היא הרווית שדה הקרב במיגון אמצעי תקיפה, מסונכרנים לתקיפה סימולטנית של מטרות חיוניות (CHENHAO ZHU, 2020).

הפתרונות המוצעים כיום להתמודדות עם נשק היפר-סוני הינם ממגוון סוגים:

- הפתרון הקינטי - טילים נגד טילים: מדובר במערכת טילים נגד האיום ההיפר-סוני, כגון פיתוח מיירט "שובר דאיה" או Glide Breaker כנגד הטיל ההיפר-סוני בשלב הדאיה, כאשר הוא יותר איטי ובעל חתימת מכ"ם וחתימה תרמית ברורה.
- הגנה נקודתית - נגזרת של הפתרון הקינטי, ומשמעותה היא הגנה נקודתית או מקומית על מטרות נבחרות ובעלות חשיבות אסטרטגית על ידי מערכת נגד טילים בליסטיים כגון מערכת THAAD או גרסה מתקדמת של טיל החץ.
- פגיעה בשלב ההמראה - פגיעה קינטית בשלב רגיש מבחינת הטיל - שלב ההמראה או פגיעה במשגרים. בשלב המראת הטיל, המנועים עובדים במלוא העצמה ועל כן החתימה התרמית של טמפרטורת המנוע (1600 – 1700°C) והלחצים העצומים בגוף הטיל הופכים את מעטפת הטיל רגישה לפגיעה חיצונית באמצעות טיל או קרן לייזר רבת עצמה.
- פגיעה בשלב הגלישה - שלב בו הטיל יוצא מהאטמוספירה, מאט את מהירותו ומתמרן לעבר המטרה. אמנם בטיסה בגבהים נמוכים עלולים להיווצר קשיים בזיהוי ובמעקב, אך הפיתוחים האחרונים בטילים מיירטים נותנים תקווה כי בשלבי הגלישה תיתכן פגיעה ישירה או פיצוץ קרוב לטיל - CIWS- close-in weapon systems.

- לייזר רב עצמה - פיתוח של נשק לייזר רב עצמה בהספקים של 150 – 300 קילו-וואט עשוי להיות שובר שוויון, שכן קרן הלייזר מגיעה אל הטיל במהירות האור ועל כן המהירות ההיפר-סונית הינה חסרת משמעות ומבחינת הקרן המיירטת מדובר במטרה ניחת. החיסרון העיקרי של נשק לייזר הינו תלות הביצועים במזג האוויר ובתנאי הסביבה.
- מאזן אימה - התגוננות פסיבית הכרוכה בהקמת כוח התקפי חזק מבוסס על טילים היפר-סוניים לשם הרתעת תוקפן פוטנציאלי. הגישה האמריקאית גורסת כי "עצם המחשבה על איום בשימוש בנשק היפר-סוני נגד ארצות הברית, שלא לדבר על שימוש בו, מהווה מעשה התאבדות של הצד החושב על כך" ([Jyri Raitasalo, 2019](#))
- הצפה בנשק הגנתי - שינוי פרדיגמת ההגנה נגד טילים, פיתוח מערכות הגנה מבוססות טילים זולים ותפיסת הטילים הזולים כסוג של "תחמושת". הדבר מחייב הוזלה משמעותית של הטילים המיירטים ([רובין, 2023](#)).
- הצבת מערכות גילוי רגישות בחלל על מנת לשפר את יכולות הגילוי ולהגדיל את זמן ההתרעה.

### המלצות למערכת הביטחון

המלצותינו למערכת הביטחון הן בשני צירי מאמץ: ההתקפי/הרתעתי וההגנתי.

כללית, יש לפתח תפיסת התמודדות כוללת נגד האיום. זאת, על ידי הגדרתו כאיום אסטרטגי משמעותי. הגדרה זו תחייב את המערכת הביטחונית הישראלית לפתח מענה רב תחומי – מודיעין, לוחמת סייבר, הגנה רב שכבתית ותפיסת מענה התקפי. כפועל יוצא, יש להשקיע במשאבי מחקר ופיתוח של גופים אזרחיים שונים מהתעשייה והאקדמיה בתחומי התמחות ייחודיים לנושא ובמיוחד פיתוח מנהרות רוח ללימוד תהליכים היפר-סוניים, כדי לתמוך בפעולות הפיתוח של מערכות היפר-סוניות.

ציר התקפי: על ישראל לפתח כוח מבוסס על מערכות של טילים היפר-סוניים מסוגים שונים על מנת ליצור יכולות התקפה והגנה בפני כל תוקף. יש להדגים מפעם לפעם יכולות אלו כדי להביא לידי האויב מודעות ליכולות של ישראל בנושא וליצור מאזן הרתעה. למערכת הביטחון יכולות טכנולוגיות מוכחות בנושאי פיתוח טילים מסוגים שונים, כולל משגרי לוויינים, טילי יירוט כנגד טילים בליסטיים במגוון טווחים. ניתן לשדרג את המערכות הקיימות למערכות היפר-סוניות למטרות התקפיות, או פיתוח טילי יירוט היפר-סוניים למטרות הגנתיות, תוך שיתוף פעולה עם ארצות הברית.

פעולות נוספות בציר ההתקפי הן פעולות סיכול של מוקדי ידע, תשתיות, תהליכי מחקר ופיתוח, צירי רכש וכוח אדם רלבנטי. ציר זה מחייב פיתוח יכולות מודיעיניות ספציפיות.

ציר הגנתי: יירוט קינטי: פיתוח מערכות יירוט של טילים היפר-סוניים מבוססות על שדרוג מערכות היירוט הקיימות, כמפורט לעיל.



יירוט על ידי מערכות קרקעיות ומוטסות של לייזרים רבי עצמה. לשם כך יש להשקיע מאמץ, בשיתוף עם גורמים רלבנטיים בארצות הברית, על מנת לפתח מערכות לייזר יעילות, ניידות, מרבובת הספק וממוזערות.

פיתוח מערכות גילוי: פיתוח ושיפור יכולות גילוי על ידי פיתוח מערכי גילוי קרקעיים ומערכות גילוי בחלל על ידי לוויני תצפית ותקשורת, וכן שימוש בכלים מערכתיים של חקר ביצועים ותורת המשחקים כדי לפתח שיטות ליירוט אופטימלי.

מודיעין: הפעלת מערכות מודיעין וסייבר כדי להשיג מידע על רכיבי תקשורת, פרוטוקולים, מחשבים ומעבדים, שיאפשר השתלטות על תדרים או שיבוש ערוצי תקשורת.

## סיכום

איום הטילים ההיפר-סוניים נובע מהקושי לגלות אותם, לעקוב אחריהם וליירטם, עקב מהירותם הגבוהה, יכולת תמרון מעולה שלהם ויכולת טיסה בגבהים נמוכים. המדינות המובילות בפיתוח טילים היפר-סוניים הן ארצות הברית, רוסיה וסין. קיים חשש סביר מזליגת הטכנולוגיה למדינות "סוררות", ביניהן צפון קוריאה ואיראן. הסכנה מאיראן לישראל היא מוחשית עקב שיתוף הפעולה הנרחב שלה עם רוסיה וסין ושאיופיה להשיג נשק "שובר שווין" נגד ישראל. על מנת לנטרל את איום הטילים ההיפר-סוניים יש צורך בהגדרתו כאיום אסטרטגי ולהפנות משאבי מחקר ופיתוח לשם מענה רב תחומי. יש צורך בפיתוח ובשילוב טכנולוגיות שונות של תקיפה, יירוט, סיכול ומאמץ מחקרי למציאת פתרונות מערכתיים משולבים. פתרונות אלו כוללים פיתוחים טכנולוגיים, פיתוח יכולות מודיעיניות ויכולות חישוביות מתוחכמות, לשם התמודדות עם תרחישי תקיפה שונים.

Zheng, X.-M., Xu, D.-J., Cai, G.B., "Preliminary study on hypersonic airbreathing engine performance", Hangkong Xuebao/Acta Aeronautica Sinica, 2007, 28 (Suppl.), pp. 35-41.

Sayler, K.M., "Hypersonic weapons: Background and issues for Congress", Key Congressional Reports for July 2019. Part 1, pp. 161-194.

Cliff Drubin, Ed., "Hypersonic Missiles Blur the Line Between Conventional & Nuclear Warfare", DefenseNews, October 2019, P. 35.

Yasmin Tadjeh, "Hypersonic Missiles -defense Department Accelerates Weapons Development", National Defense, pp. 28-31, July 2019.

[US hypersonic failure reveals a glaring weakness – Asia Times](#), 2023

[China Deploys 'Invincible' Hypersonic Missile To Strike US Bases In Pacific; Overtakes Russia In Missile Tech - DIA \(eurasianimes.com\)](#), 2023

Chen, J., X. Fan, B. Xiong, Y. Wang, "Shape optimization of the cross-section for noncircular hypersonic missile forebody", International Journal of Aerospace Engineering, 2020, art. No. 8885494. DOI: 10.1155/2020/8885494.

Rahul Udoshi, in: "Hypersonic Missiles Blur the Line Between Conventional & Nuclear Warfare", Rahul Udoshi DefenseNews, Cliff Drubin, Ed., October 2019, P. 35.

Richard H. Speier, George Nacouzi, Carrie A. Lee, Richard M. Moore, "Hypersonic Missile Nonproliferation", Published by the RAND Corporation, Santa Monica, Calif., (2017), pp. 109-115; ISBN: 978-0-8330-9916-7.

Richard H. Speier, George Nacouzi, Carrie A. Lee, Richard M. Moore, "Hypersonic Missile Nonproliferation", Published by the RAND Corporation, Santa Monica, Calif., (2017), pp. 76-77; ISBN: 978-0-8330-9916-7.

Ibid. p. 13.

[Only 3rd Country With 'Carrier Killer' Tech, Iran Claims Developing 'Hypersonic' Missile That Can Hit Targets With Pinpoint Accuracy \(eurasianimes.com\)](#), 2023

CHENHAO ZHU, GUODONG XU , CHANGZHU WEI , DEYU CAI , AND YANG YU, "Impact-Time-Control Guidance Law for Hypersonic Missiles in Terminal Phase", IEEE Access, pp. 44611-44621, March 13, 2020.

Jyri Raitasalo, "Hypersonic Weapons are No Game-Changer," The National Interest, January 5, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/hypersonic-weapons-are-no-game-changer-40632>.

ד"ר עוזי רובין, הגנה אווירית-היסטוריה ועתיד, הרצאה במרכז הפיתוח של רפאל, 15.3.2023.