

יירוט מן האוויר בשלב ההאצה ובשלב הנסיקה – אפשרויות וסוגיות

דייוויד ר' ווהאן, ג'פרי א' איזקסון,
ג'ואל ס' קוויטקי

פרק 1

מבוא ורקע

שעת כתיבתה ופרסומה של עבודה זו לראשונה,¹ חשבנו בדרך כלל רק על כלי-טיס מאוישים, כמנשאים היחידים של כלי-נשק בטווח הקרוב, ועל הישגי מכ"ם מוטסים כמערכות הרכשת מטרת בכל מזג-אוויר בטווח הקרוב, להתמודדות עם טילים בליסטיים זירתיים (TBMs – Theater Ballistic Missiles), לטווחים של 600 ק"מ או פחות. ה-Raptor Talon, מזל"ט עם חיפון אי"א (תת-אדום; infrared sensor) נחשב אז עדיין כאפשרות רחוקה.

אבל כיום העניין נסב כבר על המזל"ט Tier II+ כמנשא המתאים ליירוט טילים בליסטיים בשלב ההאצה (BPI – Boost Phase Intercept). יש טוענים שהמזל"ט פותח כבר כל צורכו, ואפשר להכשיר אותו למשימה זו.²

הדיונים המתקיימים לאחרונה מתמקדים אמנם רק ביירוט בשלב ההאצה, אבל יש יתרונות מבצעיים לא מבוטלים גם ליירוט בשלב הנסיקה (API – Ascent Phase

Intercept), שאי-אפשר לדחות אותם כלאחר-יד. ואכן, הניתוח שלנו מצביע על כך שראוי לשקול ברצינות את פיתוחה של יכולת דו-תכליתית – ליירוט בשלב ההאצה ובשלב הנסיקה – מן הסיבות שיתוארו להלן.

חלק מהאפשרויות לטווח הקרוב שנבחנו על-ידינו, כגון מערכת יירוט בשלב הנסיקה בלבד, שתתבסס על "טיל תקיפה לטווח קצר" (Short-Range Attack Missile – SRAM) המונע בשלב צירי מוצק מתקדם (Advanced Solid – ASAS Axial Stage), אינן מתאימות לשיגור ממזל"ט.

בדוח דלהן יתואר ניתוח אפשרויות שערבנו, והוא כולל תוצאות שימושיות בנוגע לתורת התנועה (קנימטיקה) של העסקת הטיילים, וגורמים אחרים שאינם קשורים בדרך כלל לכלי הנושא את הנשק.

יתר על כן, המזל"ט, ואפשרויות מתקדמות נוספות ליירוט בשלב ההאצה, כרוכים באי-ודאויות משמעותיות בכל הנוגע לפיתוחם, כלומר, השאלה אם הן יהיו מעשיות בעשור הקרוב טעונה עדיין הוכחה. לפיכך, יש לראות בגישות שבחנו, ובגישות דומות, אפשרויות לטווח הקרוב בלבד.

מתכונות נומינליות לכלי יירוט אווירי

יתן לומר, שבתרחישים זירתיים, מערכות יירוט של טילים בליסטיים בשלב ההאצה (BPI) ובשלב הנסיקה (API) הן שיטות יירוט אפשריות, שיש להן יתרונות בלעדיים במערך הגנה רבי-נדבכי (בייחוד ליירוט בשלב ההאצה).³ נוסף על כך, בתרחישים רבים ניתן ליירוט המאוויר במהירות רבה יותר מאשר ממערכות יבשתיות או

דייוויד ר' ווהאן (David R. Vaughan) הוא מהנדס בכיר בתאגיד ראנד. עסק לאחרונה בחקר הדרישות לנתוני אי"א ובין-פעוליות בהגנה נגד טילים בליסטיים. ג'פרי א' איזקסון (Jeffrey A. Isaacson) הוא מנהל המרכז לביטחון בינלאומי ולמדיניות ביטחון בתאגיד ראנד, ובעבר ערך מספר מחקרים שהתמקדו ביכולתם של יבואני נשק לשלב בצבאותיהם טכנולוגיות מתקדמות. ד"ר ג'ואל ס' קוויטקי (Joel S. Kvitky) הוא מדען בכיר בתאגיד ראנד מאז 1986, ואחראי בעיקר על הערכתן של מערכות חישה צבאיות ולצורכי מודיעין.

¹ קיץ 1994.

² ראה, למשל: Scott (1996).

³ ב-API או חושבים קודם כל על יירוט לאחר ההאצה ולפני התפוררות הטיל. ברמות התפוררות גבוהות של המטען המר-עיל, יירוט לאחר ההאצה לא יהיה אפשרי, כנראה, אלא אם כן מספר העצמים צומצם על-ידי יירוט בשלב ההאצה (BPI). המרחב שבו ניתן ליירוט טיל בליסטי לפני התפוררותו תלוי במשך הזמן החולף בין כיבו מנועי המאפיץ לבין התפוררות המטען המועיל.

טבלה מס' 1

מסלולי הפיתוח של טילי יירוט מוטסים

מסלול הפיתוח	ניסויים ופיתוח	אפשרות פריסה מוקדמת	המטרת הסופית
מסלול 1: SRAM-ASAS ("גלישה")	ניסוי ופיתוח של KKV* על SRAM-ASAS	יירוט בשלב ההאצה על SRAM-ASAS	יירוט בשלב ההאצה / יירוט בשלב הנסיקה על SRAM-ASAS
מסלול 2: SRAM/"פרגרין" ("גלישה")	ניסוי ופיתוח של KKV על SRAM-ASAS	יירוט בשלב ההאצה על SRAM-ASAS	יירוט בשלב ההאצה / יירוט בשלב הנסיקה על "פרגרין"
מסלול 3: AMRAAM/הלפייר/ "פרגרין" ("ישיר")	ניסוי ופיתוח של KKV על AMRAAM/הלפייר	יירוט בשלב ההאצה / יירוט בשלב הנסיקה על AMRAAM/הלפייר	יירוט בשלב ההאצה / יירוט בשלב הנסיקה על "פרגרין"

* KKV – Kinetic Kill Vehicle: "יחמוש באנרגיה קינטית".

להימצא בתוך טווח טיל היירוט שהוא נושא, והדבר מוצג בתרשים עלידי המעגל הכהה יותר. מכל מקום, יירוט בשלב הנסיקה, שאפשר לבצעו מטווחים גדולים הרבה יותר, מאפשר שיגור "מנגד" (standoff) ממרחק גדול הרבה יותר.

העסקה בשלב הנסיקה, שניתן לבצעה – פוטנציאלית – מטווחים ארוכים יותר, והאפשרות לרכוש יכולת מבצעית מוגבלת בשלב מוקדם למדי, יחסית, עוררו את הוויכוח הנוכחי סביב האפשרויות הטמונות ביירוט מוטס. הדיון שלנו יצטמצם לשלושת מסלולי הפיתוח המוצגים בטבלה מס' 1. כל מסלול מאופיין בסדר המאיצים המשמשים לפיתוח ובמערכת המבצעית הסופית (מטרת הפיתוח). המסלולים נבדלים זה מזה בניסויים ובפיתוח, באפשרות ההפעלה כבר בשלב מוקדם וביכולת של המוצר הסופי⁴ שני המסלולים הראשונים, המתחילים באפשרויות מוקדמות ליירוט בשלב הנסיקה מחוץ לאטמוספירה ומסתיימות במערכות יירוט בשלב ההאצה בתוך האטמוספירה, נקראים לעתים "מסלולי גלישה", כלומר, בפיתוח נוסף בעתיד ניתן יהיה ליירט בשלב ההאצה גם בגבהים נמוכים יותר. המסלול האחרון, המתחיל באפשרות יירוט בשלב ההאצה כבר בשלב מוקדם, נקרא מסלול "ישיר".

הבעיה היא, במילים פשוטות, להחליט איזו יכולת לפתח, ולבחור את מסלול הפיתוח הרצוי ביותר. מאמר זה יתאר את תוצאות הניתוח שלנו, במטרה לסייע לתהליך קבלת ההחלטה הזאת.

סקירה

תחילה נתאר את הגורמים המשפיעים על ההחלטה לפתח טילי יירוט מוטסים, ואחר כך נעריך את שלושת מסלולי הפיתוח שתוארו לעיל.

בפרק השני ננתח תחילה את ערכו של יירוט בשלב הנסיקה (API) בהקשר הכלל של הגנה נגד טילים זירתיים (TMD). אנו מגיעים למסקנה שיש לו ערך רב, הן בצורה כללית והן כיכולת מוקדמת לשלב הביניים. צריך להשתדל אפוא שהמערכות המהוות את המטרות הסופיות, שאפשר

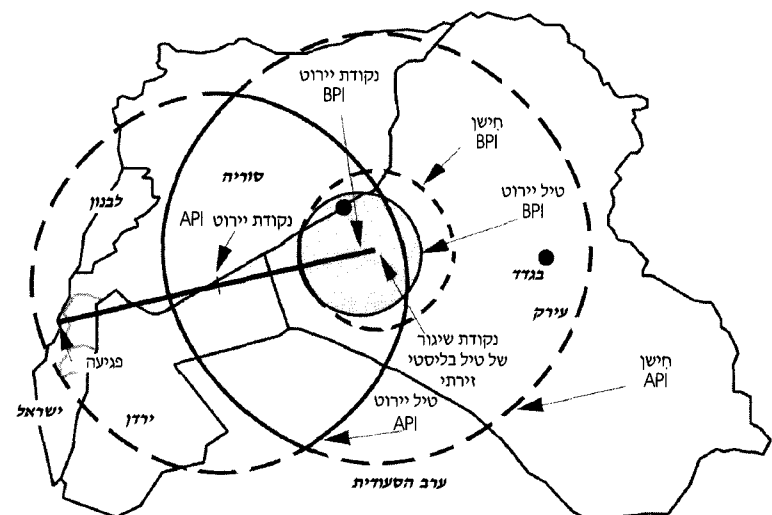
ימיות, ובמקרים מסוימים הוא עלול להיות אמצעי המגן הפעיל היחיד שאפשר יהיה בכלל להפעילו. משום כך יש עניין רב לפתח בשלבי הביניים המוקדמים אמצעי יירוט מוטסים עמידים יותר.

בתרשים מס' 1 מוצגות אפשרויות פוטנציאליות טיפוסיות של מערכות API ו-BPI מול טיל בליסטי זירתי שטווחו מגיע ל-600 ק"מ. בתרשים מוצגים הטווחים המרביים של משטחי הנשיאה של טיל היירוט ושל חישני הרכשת המטרות, יחסית לנקודות היירוט והשיגור. ביירוט בשלב הנסיקה מוצג יירוט בשיא המסלול (כלומר, אם היירוט ייעשה בשלב מוקדם יותר של הנסיקה, הטווח של טיל היירוט יהיה קצר יותר). ביירוט בשלב ההאצה, הפגיעה תהיה שניות ספורות לפני שהמאיץ כבה. ביירוט בשלב הנסיקה יש ביכולתו של משטח נשיאה יחיד (הנושא טילי יירוט וחישני הרכשת מטרות) לפעול באזור האפור. משטח נשיאה של טיל שנועד ליירט בשלב ההאצה חייב

⁴ יש עניין גם בתת-מכל לים ובגרסאות שונות של מערכות ופיתוחים אלה, אבל אנו סבורים שמסלולי פיתוח אלה ממחישים את מגוון האפשרויות לפתרונות ביניים מוקדמים (שניתן להגיע אליהם בתוך שלוש שנים בערך), וליכולת הסופית ביחס למטרות בתקופת ביניים (שניתן להגיע אליהם בתוך חמש שנים בערך).

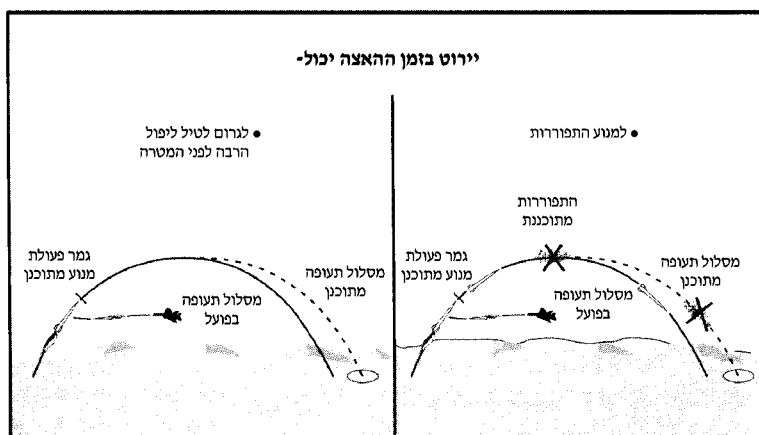
תרשים מס' 1

טווח מרבי של טיל יירוט וחישן הרכשת מטרות עבור BPI ו-API של טיל בליסטי זירתי בעל טווח של 600 ק"מ



תרשים מס' 2

ערכה של יכולת היירוט בשלב ההאצה (BPI)



ערכה של יכולת היירוט בשלב הנסיקה (API)

דרך כלל נהוג לראות ביכולת ליירוט טיל בליסטי תוקף עוד לפני שמסתיימת ההאצה שלו אפשרות חשובה ובעלת ערך. אם ההמראה של הטיל נקטעת שניות ספורות מוקדם יותר, על-ידי פגיעה בחימוש באנרגיה קינטית, השברים וכל חלק שנותר מהטיל, כולל ראש-הנפץ או ראשי-הנפץ, או תתי-החימוש, יפלו לפני המטרה, או אפילו בשטח האויב עצמו. יתר על כן, בסיכול מתקפה של טילים בליסטיים זירתיים סמוך לנקודת השיגור שלהם, כשהאויב יכול לראות זאת במרעיוניו, טמונה גם תועלת פסיכולוגית פוטנציאלית. בתרשים מס' 2 מתואר ערכה של היכולת ליירוט טיל בשלב ההאצה שלו.

גם ליירוט בשלב הנסיקה, כלומר, אחרי סיום ההאצה, יש חשיבות רבה, מפני 1) שחשוב שתהיה יכולת כזאת כבר עכשיו, מספר שנים לפני שתפותח יכולת ליירוט בשלב ההאצה, ו-2) מפני שחשוב שתהיה יכולת כזאת נוסף על היכולת ליירוט בשלב ההאצה.

ערכה של ההצטיידות ביכולת כזאת כבר בשלב מוקדם, וערכה הבסיסי של היכולת, מוצגים בטבלה מס' 2. במצב הראשון שבדקנו (בשורה הראשונה), אין בנמצא שום מערכת הגנה פעילה אחרת, אם מפני שאי-אפשר להכניס אותה לשירות מבצעי בשלב כה מוקדם, או מפני שאי-אפשר לפרוס אותה בזירה שבה מתרחשים האירועים. נוסף על כך, המטען המועיל של הטיל התוקף אינו מתפורר כלל, או אינו מתפורר בשלב מוקדם דיו כדי לסכל את התכליתות של יירוט בשלב הנסיקה, אחרי גמר ההאצה.

אם ה-BPI טרם פותח, מובן מאליו שבשלב הביניים חשוב שתהיה יכולת אחרת, שתפותח בהקדם, וערכה יהיה גבוה מאוד, מאחר שטילים בליסטיים זירתיים שיתקפו מבלי שתהיה כל מערכת הגנה פעילה אחרת לא ייתקלו בשום התנגדות. נוסף על כך, במקרה זה במיוחד תהיה חשיבות ליירוט הטיל התוקף בכל נקודה שהיא על מסלול מעופו – בין בנסיקה ובין בהנמכה (אנו משתמשים במונחים המקובלים ביירוט בשלב הנסיקה [API] מפני שהם מקובלים כיום בדיון הציבורי בעניין זה, אבל בעינינו

להגיע אליהן בטווח זמנים בינוני (חמש שנים או קודם לכן) יתוכננו ליכולת דו-תכליתית – גם API וגם BPI. לאחר מכן נתאר את הפוטנציאל הקינמטי של מערכות API ו-BPI.

התוצאות מצביעות על הפוטנציאל ארוך-הטווח של ה-API, ושהיכולת מותנית בסוג הטיל הבליסטי הזירתי. אנו מראים שטווח ההעסקה מותנה בשלושה גורמים: הקינמטיקה של טיל היירוט, הטווח של חיישן הרכשת המטרות והשיהוי הכולל בשיגור, ובסוג הטיל הבליסטי הזירתי.

המסקנה היא אפוא שטווחי ה-BPI יהיו מוגבלים ל-150 ק"מ בערך, עד תחילת שנות האלפיים. לאחר מכן אנו דנים בקשיים היחסיים של תפעול החיפוש של החימוש באנרגיה קינטית (AKV) ומידת קטלניותו ביירוט בשלב ההאצה (BPI) ובשלב הנסיקה (API). רמת ההתחממות של חיפוש ה-AKV, שהיא הסוגיה העיקרית ביירוט בשלב ההאצה של מטרות בטווחים קצרים במהירויות גבוהות, משווית לרמות ההתחממות שמנסים להשיג ה-THAAD (Theater High-Altitude Area Defense – טיל להגנה זירתיית בגובה רב) וה-LEAP (Lightweight Exoatmospheric Projectile – טיל חוץ-אטמוספרי קל-משקל). אנו מוכיחים שרמות ההתחממות בהעסקה ב-BPI נמוכות יותר גם במקרים הקשים ביותר להעסקת טילים בליסטיים זירתיים.

על בסיס תוצאות אלה, אנו מציגים בפרק השלישי את הקושי היחסי השורר בסביבות ההעסקה בחימוש באנרגיה קינטית (AKV), ואת יכולת ההעסקה הפוטנציאלית של טיל בליסטי זירתי בנקודות שונות על מסלולי הפיתוח האפשריים. לפיכך, נבחן את סביבת ההעסקה של ה-BPI וה-API, ואת יכולתן הפוטנציאלית מול טילים בליסטיים זירתיים שונים באותו המרחב. השתמשנו בשיקולים אלה כדי לבחור שלוש צורות של פיתוח ולהעריכן:

- מסלול "גלישה" ליירוט בשלב ההאצה (BPI) של טילים בליסטיים זירתיים לטווחים של 600 ק"מ ויותר.
- שני מסלולים ל-BPI של טילים בליסטיים זירתיים לטווחים של 300 ק"מ – האחד ב"גלישה" והשני ישיר.

ולבסוף, בפרק הרביעי אנו משווים בקיצור את השיקולים המבצעיים ל-API ול-BPI, ומספר אגורים (סינרגיות) אפשריים בין טיל יירוט מוטס לבין פעולות אוויר-קרקע נגד כוח.

פרק 2

ניתוח היירוט המוטס

אשר מנתחים את היירוט המוטס באמצעות כלי-טיס מאויש, צפות ועולות ארבע סוגיות מטריות ביותר: 1) ערכה הפנימי של יכולת היירוט בשלב הנסיקה (API); 2) היכולת להשיג טווח קינמטי; 3) סוגיות של המיירט ושל החיפוש, ו-4) סוגיות של החימוש באנרגיה קינטית (AKV). בפרק זה נתמקד בכל אחת מסוגיות אלה בנפרד.

ערכה של יכולת היירוט בשלב הנסיקה (API)

המצב	ערך למצב ביניים מוקדם (ה-BPI טרם פותח)	ערך בסיסי (ה-BPI כבר ממותח)
אין הגנה פעילה אחרת, ול-API יש "חלון" לפני התפוררות המטען המועיל של הטיל התוקף	הערך גבוה מאוד, במשך כל המערכה	הערך גבוה מאוד בשלב מוקדם של המערכה
קיימים מערכי הגנה אחרים, אבל יכולתם מסוכלת מפני שהמטען המועיל של הטיל התוקף מתפורר	הערך גבוה במשך כל המערכה	ערך משמעותי נמשך (בהנחה של-API יש "חלון" מספיק לפני ההתפוררות)
מערכי הגנה אחרים קיימים ומתפקדים, אבל המטען המועיל אינו מתפורר	ערך שולי כנדבך נוסף באזורים המוגנים ע"י נדבכים אחרים	
המטען המועיל של הטיל הבליסטי הזירתי הוא מטען גרעיני, ול-API יש "חלון" לפני ההתפוררות	ערך גבוה מאוד במשך כל המערכה. יש חשיבות עליונה להשמדת ראש-הנפץ הגרעיני; להפלתו לפני המטרה יש חשיבות משנית	

בהערכת סיכויי הקטל ובניפוי השברים לפני התצפיות של נדבך ההגנה הבא, וגם אז קשה להצדיק את ההשקעות בהצטיידות. יתר על כן, הפוטנציאל להסטה גדולה יותר של המטען המועיל של הטיל התוקף (בהשוואה ליירוטים מאוחרים יותר, על-ידי נדבכים נוספים במערכת ההגנה הפעילה) עדיין לא נבחן כל צורכו. בשינוי המרבי האפשרי של התנע, אפשר להסיט את המטען המועיל של הטיל התוקף למרחק של עשרות קילומטרים, אבל מידת ההסטה המעשית אינה ברורה, והיא מותנית בעיצוב טיל היירוט.

בשורה האחרונה של הטבלה אנו מניחים שהמטען המועיל של הטיל התוקף הוא מטען גרעיני. במקרה זה, בכל הנוגע לאיומים על שאר העולם לפני שנת 2000, יש להניח שהמטען המועיל לא יתפורר כלל, ובכל מקרה לא התפוררות גורפת כמו במקרה של תת-חימוש כימי. סביר יותר להניח שהתוקף יפעיל דמייים, אבל כדי לפרוס אותם בשלב מוקדם הם יהיו צריכים להיות כבדים כל כך, עד שהם יגרמו להקטנה ניכרת של המטען המועיל הגרעיני. יש להניח אפוא שבמטענים גרעיניים יהיה ל-API "חלון" יירוט לפני ההתפוררות. אם רק API יהיה מבצעי (או API ביחד עם BPI), ערכה של מערכת ה-API יהיה גבוה מאוד בגלל הצורך הדוחק להרחיק את ראשי-הנפץ הגרעיניים הראשונים (וגם את אלה שיבואו אחריהם). זאת ועוד, להשמדת ראש-הנפץ הגרעיני יש עדיין חשיבות רבה גם אם המטען המועיל הגרעיני לא יופל במרחק רב מהמטרה (כמו שאפשר לעשות במערכת BPI).

לסיכום, דעתנו היא של יכולת היירוט בשלב הנסיקה (API) יש ערך בסיסי, נוסף על חשיבותה כאמצעי ביניים מוקדם. ייתכנו חריגים אפשריים, כאשר אפשר יהיה ליירט טיל בשלב ההאצה (BPI) ממרחק גדול מאוד, או כשאפשר יהיה להתקיף אותו על כלי שיצליח לחדור לשטח האויב, או במקרים שבהם התפוררות המטען המועיל של הטיל התוקף פוגעת בצורה ניכרת ביכולת ה-API.

המשמעות היא כל יירוט אחרי שלב ההאצה שיש בו טעם והיגיון בהקשר נתון).

אם פותחה כבר גם יכולת יירוט בשלב ההאצה (BPI), ערכה של ה-API יהיה עדיין גבוה, עד שה-BPI המוטס יוכל לפעול בקרבה מספקת לאזור השיגור של הטילים הבליסטיים הזירתיים, ולהיות בטווח המטרה. מאחר שאין להניח שהטווח של ה-BPI יגיע ליותר מ-150 ק"מ לפני שנת 2000, נראה שיהיה צורך לחדור למרחב האווירי של האויב.

המצב בשורה השנייה הוא שקיימים אמנם מערכות הגנה פעילות אחרות, אבל התפוררות המטען המועיל של הטילים הבליסטיים פוגע בתכליתיותו, מפני שהיא מתרחשת לפני שהן מצליחות ליירט את הטילים. עם זאת, נשאר עדיין "חלון" יירוט לא מבוטל לפני ההתפוררות. גם במקרה זה יש ל-API ערך במשך כל המערכה, וערך זה אינו נפגע גם אם פותחה כבר יכולת BPI. מערכת ה-API היא הנדבך השני והסופי ויש יכולתה לתרום הרבה, מפני שהקשיים בהערכת יכולת הקטל וניפוי השברים של הטיל התוקף מן התצפיות של הנדבך הבא קלים יותר, מעצם טבעם, כנדבך ה-BPI מאשר כנדבכים שאחרי ההאצה.

במקרה השלישי קיימות אמנם מערכות הגנה פעילות אחרות, והן מתפקדות בתחומים מסוימים, והמטען המועיל של הטיל התוקף אינו מתפורר. בתחומים אלה יש ל-API ערך שולי בלבד כנדבך הגנה נוסף, והוא עשוי לשפר את סיכויי הקטל של הנדבכים הבאים ולהקטין את העומס הרובץ עליהם. נוסף על כך, על-ידי יירוט לפני הנדבכים האחרים, ניתן להרחיק את המטען המועיל של הטיל התוקף עוד יותר מאזור המטרות המיועד, מפני שכל שינוי בתנע (מומנטום) פועל במשך זמן ממושך יותר.

עם זאת, במקרה האחרון תרומתה של מערכת API, כנדבך הגנה נוסף, לחישובים הכוללים של שיעורי הזליגה במערכת ודרישות המשאבים, אינה גדולה במיוחד. כדי להפיק תועלת כזאת, יש צורך להתגבר על הקשיים

יכולות טווח קינמטיות

יכולת ליירט טיל תוקף מסוים בשלב ההאצה (BPI) או בשלב הנסיקה שלו (API) מותנית בגובה היירוט המינימלי. ב-BPI, גובה היירוט המינימלי צריך להיות נמוך יותר, או שווה, לגובה היירוט המרבי הדרוש להפלת הטיל התוקף לפני המטרה במרחק הנדרש. גובה זה יהיה בדרך כלל שניות אחדות לפני דימום מנועי ההאצה של הטיל התוקף. ב-API, גובה היירוט המינימלי צריך להיות לפחות נמוך יותר משיא המסלול, כדי למנוע מהטיל התוקף לחמוק מתחת לטיל המיירט, ולהשאיר לטיל המיירט מרחב תמרון מסוים. דרישות הגובה המינימלי ליירוט מוצגות בטבלה מס' 3, עבור מטרות נגדיות לטווחים של 150, 300, 600 ו-1,200 ק"מ (מטרה 150, מטרה 300, וכד'). צפיפות האטמוספירה בגובה של 25 ק"מ גבוהה פי עשרה בערך מהצפיפות בגובה 40 ק"מ – עובדה המקשה במיוחד על סביבת ההעסקה של טילים בליסטיים זירתיים תוקפים קצרי-טווח.

טבלה מס' 3

גבהי יירוט מינימליים ל-API/BPI

מטרה	מטרה 600	מטרה 300	מטרה 150	
ק"מ	ק"מ	ק"מ	ק"מ	
1,200	40	25		BPI
60	125	75	25	API

ההגדרות שלנו לטווחי ההעסקה ב-API וב-BPI מוצגות בתרשים מס' 3. טווח ההעסקה ב-API המקביל ליירוט בשיא המסלול הוא טווח משוער (להוציא במקרה שטיל היירוט מתקשה להגיע לגובה זה, והטווח המרבי האפשרי שלו מאפשר יירוט לפני שיא המסלול).

לפי ההגדרות שלנו, טווח ההעסקה נמדד מנקודת השיגור של טיל היירוט אל נקודת היירוט (הטלה על הקרקע). יש לשים לב שטווח זה קצר יותר מהטווח המרבי שנהוג לציין בדרך כלל, הנמדד מהכלי הנושא את טיל היירוט אל נקודת השיגור של הטיל התוקף בהעסקה ישירה. שתי צורות ההגדרה נכונות, אבל זו שבחרנו מאפשרת פירוש נוח יותר של המצבים מאשר בהעסקות ישירות.

טווחי ההעסקה של מערכות המגן ושל טילים תוקפים שונים מוצגים בטבלה מס' 4. מערכת המגן הראשונה היא SRAM-ASAS (טיל תקיפה לטווח קצר [Short-Range – SRAM – Attack Missile]) המונע בשלב צירי מוצק מתקדם (ASAS – Kinetic Kill Vehicle) KKV, עם (Advanced Solid Axial Stage), "חימוש באנרגיה קינטית" חוץ-אטמוספרי. למערכת השנייה יש KKV תוך-אטמוספרי המסוגל ליירט עד לטווח של 40 ק"מ. לאחר מכן בא הטיל AMRAAM-ה"לפיר" (Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile) – טיל אוויר-אוויר מתקדם לטווח בינוני, ואחריו ה"פרגרין" – שניהם בעלי כושר יירוט עד 25 ק"מ. ולהשלמת התמונה – הטיל "פרגרין", עם KKV לשלב הכניסה לאטמוספירה, המסוגל ליירט עד לטווח של 40 ק"מ בערך. לאחר פיתוח נוסף (P3) של ה-KKV תורחב היכולת שלו עד לגובה של 25 ק"מ.

ההשערה היא שהשהיית השיגור של ה-API תהיה 50 שניות, ושל ה-BPI – 15 שניות.⁵

נתונים אלה ממחישים את טווחי היירוט הארוכים שאפשר להשיג בשלב הנסיקה (API) בעזרת טילי יירוט שמהירותם אינה גבוהה במיוחד,⁶ ואת הקושי להשיג טווחים ארוכים ביירוט בשלב ההאצה (BPI).⁷ כפי שנראה להלן, היכולות הללו ייפגעו במקרים מסוימים בגלל המגבלות של חיישני הרכשת המטרות: אין ספק שיכולת ה-BPI תיפגע, משום שבמקרה זה יש צורך לאכן את הטיל התוקף כבר בתחילת בשלב ההאצה שלו, ובכל מזג-אוויר, ועל אחת כמה וכמה שגם יכולת ה-API תיפגע, מפני שאי-אפשר יהיה להשיג את טווחי ההרכשה הארוכים הנדרשים לצורך הטווח הקינמטי במערכת מוקדמת בשלב הביניים.

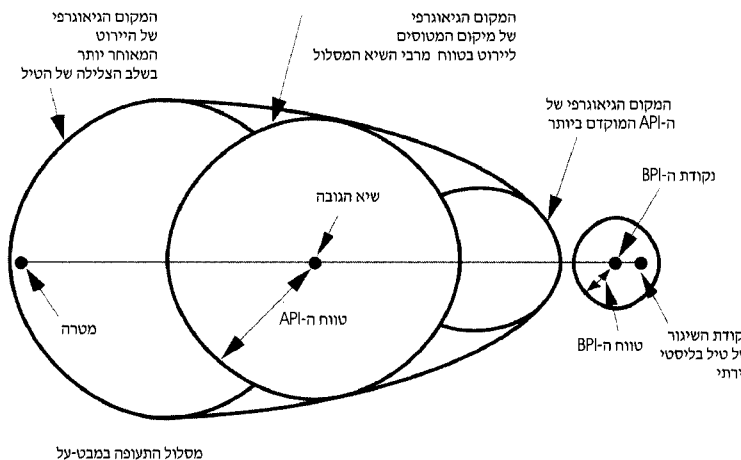
סוגיות של טיל היירוט ושל החישובים

מ תוך הדיון בפסקה זו מצטיירות שתי נקודות: ראשית, נראה שטווח ההרכשה של החישובים, והזמן שידרש לאכן את המטרה, יהיו גורמים שיגבילו את טווח ההעסקה, גם ב-API וגם ב-BPI. שנית, גורמים אלה יגבילו את טווחי ה-BPI ללא יותר מאשר 150 ק"מ בערך, עד שיפתח מכ"ם חדש, בעל מפתח (aperture) גדול יותר.

טווח ההעסקה הכולל של כל מערכת מגן שהיא לגבי כל טיל בליסטי שהוא אינו נקבע על סמך שיקולים קינמטיים גרידא. הוא נקבע על סמך טווח האיכוון של החישוב, על סמך הפתרון של בקרת-האש והשיגור של טיל היירוט במועד הנכון, ועל סמך היכולת הקינמטית שלו כאחד. הגורם המגביל משתנה ממקרה למקרה, כפי שאפשר לראות בתרשימים מס' 4 ו-5. תרשים מס' 4 מתאר את המצב ביירוט בשלב ההאצה (BPI) בעזרת טיל מיירט במהירות בינונית⁸ הנישא במטוס-קרב, עם מכ"ם משודרג בעל טווח הרכשה של 150 ק"מ. הטיל מעסיק טילים בליסטיים זירתיים תוקפים בטווחים של 300, 600 או 1,200 ק"מ

תרשים מס' 3

טווחי העסקה ב-API וב-BPI



⁵ פער השיגור נמדד מרגע השיגור של הטיל התוקף עד רגע השיגור של טיל היירוט. מאחר ששלב ההאצה של טיל קצר הרבה יותר משלב הנסיקה שלו, ה-BPI דורש בדרך כלל פער שיגור קצר יותר מה-API.

⁶ המהירויות האידאוליות מחושבות מרגע כינוי מנועי ההאצה במשוואת הטיל, בלי להתחשב בכוח הכובד ובהשפעות האטמוספירה, או בצורתו של מסלול התעופה.

⁷ היעילות הקינמטית של טילי יירוט בשלב ההאצה עלולה לסבול מהתיאוצה לא פחות מאשר מההיירוט. ה-AMRAAM-ה"לפיר", למשל, שמהירותו האידאולית נמוכה יותר מזו של ה-SRAM-ASAS, אבל קצה הבערה שלו גבוה יותר, מגיע לטווחי BPI גדולים יותר מה-SRAM-ASAS.

⁸ מניחים שלטיל יירוט בעל מהירות בינונית תהיה מהירות אידאולית, בהשוואה ל"פרגרין" (ראה טבלה 4).

טווחים קינמטיים מרביים של API/BPI

מטרה מסוג 1,200 ק"מ	מטרה מסוג 600 ק"מ	מטרה מסוג 300 ק"מ	מטרה מסוג 150 ק"מ	גובה יירוט מינימלי (בק"מ)	כושר מבצעי מוגבל (בשנים)	טיל יירוט, KKV, מהירות אידיאלית
API ב-540 ק"מ	API ב-385 ק"מ	א/ג	א/ג	90	3	SRAM-ASAS, KKV חוץ- אטמוספרי, 3 ק"מ/שנייה
BPI ב-120 ק"מ; API ב-540 ק"מ	BPI ב-80 ק"מ; API ב-385 ק"מ	API ב-220 ק"מ	API ב-45 ק"מ	40	4	SRAM-ASAS, KKV חוץ- אטמוספרי, 3 ק"מ/שנייה
BPI ב-125 ק"מ; API ב-45 ק"מ	BPI ב-95 ק"מ; API ב-155 ק"מ	BPI ב-70 ק"מ; API ב-165 ק"מ	API ב-65 ק"מ	25	4	AMRAAM – "הלפיר", KKV תוך- אטמוספרי, 2.1 ק"מ/ שנייה
BPI ב-180 ק"מ; API ב-255 ק"מ	BPI ב-135 ק"מ; API ב-320 ק"מ	BPI ב-95 ק"מ; API ב-220 ק"מ	API ב-95 ק"מ	25	5	"פרגרין ו", KKV, ברמת כניסה לאטמוספרה, 3 ק"מ/ שנייה
BPI ב-325 ק"מ; API ב-1,020 ק"מ	BPI ב-240 ק"מ; API ב-750 ק"מ	API ב-515 ק"מ ^א	א/ג	40	> 5	"פרגרין ו", KKV, ברמת כניסה לאטמוספרה, 5.6 ק"מ/שנייה

הערות: הטווחים מתייחסים לזיטל חקרקי של נקודת היירוט. מערי השיגור הם 15 שניות ל-BPI ו-50 שניות ל-API. הטווח או המגבלות של חיישן הרכשת המטרות בטיל היירוט עלולים להקטין חלק מטווחים אלה.

^א טווח BPI של 171 ק"מ, לאחר שיפור מתוכנן מראש של ה-KKV.

וניתן להגיע לטווחים ארוכים הרבה יותר, מפני שהיירוט יתבצע בשלב מאוחר הרבה יותר. לפיכך, החיפוש יכול לאכן את הטיל הבליסטי התוקף אחרי שהוא עובר דרך שכבת העננים הגבוהה, ואיכון א"א בטווחים ארוכים, משופר בתילת (טריאנגולציה), במכ"ם או במדידת טווח מידית במכ"ם, יתקבל כנקודת-מוצא לפתרון בכל מזג-אוויר. הערכת החלופות של חיפוש ה-API עבור מערכות בשלב ביניים מוקדם ובשלב ביניים ממושך יותר עדיין אינה מפותחת כמו ההערכה עבור BPI. בעיית החיפוש של ה-API היא אמנם בעיה קלה יותר מבחינה טכנית, אבל הניתוח הדרוש לקבלת תמונת מצב ברורה עדיין לא סוכם.

סוגיות של חימוש באנרגיה קינטית

(Kinetic Kill Vehicle – KKV)

סוגיות הקשורות בקטע האחרון של העסקת טיל בליסטי זירתי תוקף בעזרת חימוש באנרגיה קינטית (KKV) הן הסוגיות המאתגרות ביותר, והן מגבילות את קצב הפיתוח. האתגרים הגדולים ביותר הניצבים בפני BPI הם תפעול החיפוש הנישא וכן הנחיית ה-KKV והבקרה שלו באטמוספרה במהירויות גבוהות, ובפני ה-API – סוגיית יכולת הקטל. בפסקה דלהלן אנו דנים בכל אחת מסוגיות KKV אלה.

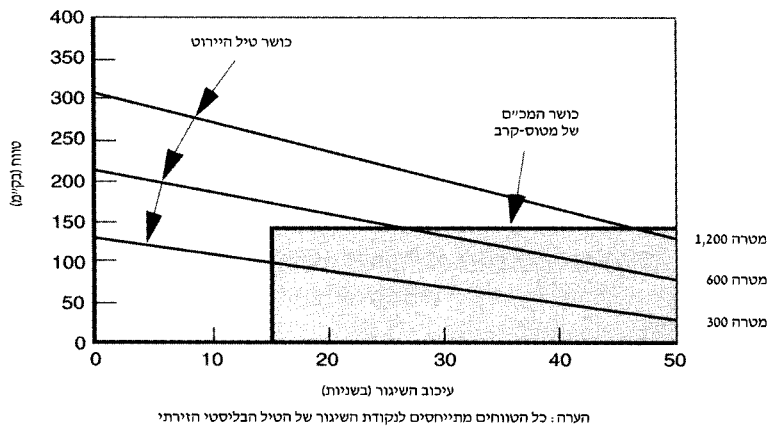
(המסומנים בתרשים כ"מטרות 300, 600 ו-1,200 ק"מ, בהתאמה). טווח ההעסקה נקבע במקרה זה על-פי הקינמטיקה עבור "מטרה 300", ועל-פי טווח ההרכשה של המכ"ם ל"מטרות 600 ו-1,200", בהנחה של שיהוי של 15 שניות בשיגור.

בתרשים מס' 5 מוצג המצב ב-BPI, כאשר אותו טיל היירוט נישא על-ידי מפציץ המצויד במכ"ם חדש, בעל מפתח גדול (טווח איכון של 350 ק"מ). במקרה זה, כל טווחי ההעסקה של המטרות נקבעים על-פי הקינמטיקה (והשיהוי בשיגור).

בתקופת הביניים (חמש שנים), אין להניח שטווחי הרכשת הטילים הבליסטיים הזירתיים באמצעות מכ"ם בכל מזג-אוויר יעלו על 150 ק"מ. ניתן להגיע לטווחים ארוכים יותר בכל מזג-אוויר בעזרת "חיפוש ומעקב תת-אדום" (Infrared Search and Track –IRST), אחרי חדירה דרך העננים הגבוהים (בגובה של 10 ק"מ בערך), אבל שיגור טיל היירוט יתעכב ככל שטווח ההעסקה לא יעלה על 150 ק"מ, להוציא אולי במקרה של טיל בליסטי תוקף ששלב ההאצה שלו ארוך, כמו "מטרה 1,200". טיל יירוט בעל מהירות והאצה גבוהות יותר לא יוכל להועיל הרבה, אלא במקרה של "מטרה 300", שזמן ההאצה שלה קצר.

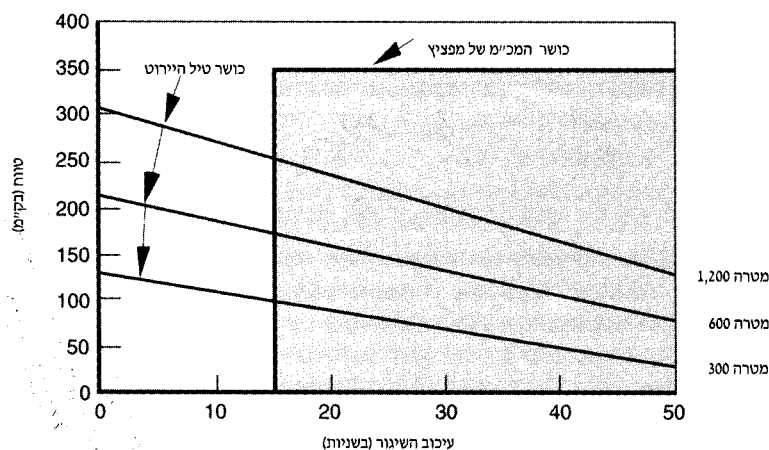
כוחם של שיקולים אלה יפה גם במקרה של יירוט בשלב הנסיקה (API), אלא שבמקרה זה אפשר להתפשר במידה רבה על התאמת הזמנים המדויקת בין האיכון להעסקה

תרשים מס' 4 טיל יירוט BPI במהירות בינונית וכושר המכ"ם של מטוס-קרב



הערה: כל הטוחים מתייחסים לנקודת השיגור של הטיל הבליסטי הזרתי

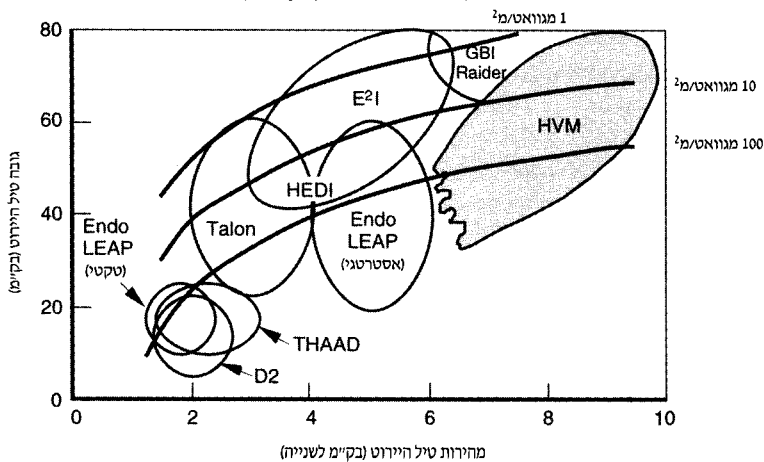
תרשים מס' 5 טיל יירוט BPI במהירות בינונית וכושר המכ"ם של מפציץ



הערה: כל הטוחים מתייחסים לנקודת השיגור של הטיל הבליסטי הזרתי

תרשים מס' 6 סוגיות אירותרמיות של KKV

מקדם החימום האירודינמי ($h=1/3 pV^3$)



מקור: Schoenberg and Mamon (1994)

הבעיה העיקרית ב-BPI היא ההתחממות האירודינמית המרובה של ה-KKV קלהמשקל, ובייחוד של אשנב המחוש (seeker) שלו. ההתחממות זו עלולה לגרום יתר-קרינת אשנב אל הגלאים ולכשל החומר שממנו עשוי האשנב, בגלל טמפרטורות גבוהות מדי ולחצים תרמיים. חומרת הבעיה היא פועל-יוצא של הגובה שבו נמצא טיל היירוט ומהירותו, כפי שאפשר לראות בתרשים מס' 6. בתרשים זה מוצגים קווי מקדם ההתחממות האירודינמית הקבועה. מרכיב זה אמנם אינו מקיף את כל היבטיה של בעיית ההתחממות, אבל הוא מהווה מדד סביר ממדרגה ראשונה לחומרת הבעיה של התחממות האשנב של מחוש ה-KKV. נוסף על כך, הסגללות (ovals) השונות המפורטות בתרשים מייצגות את האזורים שבהם מנסות המערכות התוך-אטמוספיריות המהירות לפעול.⁹ בין התכניות השאפתניות ביותר, ה-THAAD מנסה להגיע לאפשרות תפעול במהירות של 2 ק"מ לשנייה בגבהים נמוכים מ-20 ק"מ, וה-LEAP התוך-אטמוספרי – למהירות של 5 ק"מ לשנייה בגבהים נמוכים מ-40 ק"מ.

כן חשובים הלחצים הדינמיים הגבוהים והכוחות העצומים הפועלים על ה-KKV כתוצאה מכך. פעולה בלחצים דינמיים גבוהים מחייבת בקרה בדרגים בכירים, ומחמירה את דרישות היציבות והבקרה. מדד זה של קושי, הלחצים הדינמיים, יחסי ל- v^2p . גם זה פועל-יוצא של גובה טיל היירוט ומהירותו, וגם משתדלות התכניות השאפתניות ביותר, כגון ה-THAAD, להגיע ליכולת פעולה במהירות של 2 ק"מ לשנייה בגבהים נמוכים מ-20 ק"מ, וה-LEAP התוך-אטמוספרי – למהירות של 5 ק"מ לשנייה בגבהים נמוכים מ-40 ק"מ.

שאלת יכולת הקטל היא סוגיה קשה נוספת, בייחוד ב-API, שבה נדרשת השמדת ראש-הנפץ האחד עדיין או תתי-חימוש. במקרה זה ייתכן שפגיעה לשם השמדה לא תספיק, ויהיה צורך במגביר כזה או אחר של יכולת הקטל. מקובל לחשוב שבעיית יכולת הקטל ב-BPI היא בעיה קלה יותר, מפני שניקוב מערכת ההנעה בשלב מוקדם מביא לתוצאה הרצויה: הפלת המטען המועיל לפני אזור המטרות.¹⁰

פיתוח יכולת דר-תכליתית, יהיה אשר יהיה מסלול הפיתוח, מעורר בעיות של שילוב יכולות שונות ב-KKV. יש להניח שהשמדת מטען מועיל, למשל (API), היא משימה תובענית יותר מהשמדת מנוע ההאצה של הטיל התוקף (BPI). דרישה זו עלולה להגדיל את משקל טיל היירוט או את נפחו. פעילות תוך-אטמוספירית בגבהים נמוכים יותר (BPI), מכתובה תכנון של ה-KKV על בסיס משטחי בקרה

⁹ מערכות אלה כוללות דגמים תוך-אטמוספריים של ה-LEAP – Lightweight Exoatmospheric Projectile (טיל חוץ-אטמוספרי קל-משקל), שנועד ליישר מים אסטרטגיים וטקטיים, של ה-THAAD – Theater High-Altitude Area Defense (טיל להגנה זירתית בגובה רב), של ה-HEDI – High-Endoatmospheric Defense Interceptor (טיל יירוט להגנה תוך-אטמוספירית בגובה רב), של ה-E²I – Endo/Exo-atmospheric Interceptor (טיל יירוט תוך/חוץ אטמוספרי), של ה-GBI – Ground-Based Interceptor (טיל יירוט יבשתי), ושל ה-HVM – Hypervelocity Missile (טיל במהירות גבוהה ביותר).

¹⁰ עם זאת, יש לציין שעד כה קיימות ראיות ישירות מעטות מאוד, כתוצאה מניסויים, התומכות בהערכה שפגיעה ב-KKV תגרום לניקוב מהיר.

להנמיך את גובה היירוט המינימלי של ה-KKV ל-75 ק"מ בערך, ואז יוכל ה-BPI לפעול נגד מטרה 1,200 בגובה של 60 ק"מ בערך. בשלב הראשון של מסלול A ייתכן פיתוח הדרגתי של ה-KKV. אבל בשלב השני (B), ל-60 ק"מ, הפיתוח ההדרגתי סביר הרבה פחות. בשלב השלישי (C), ל-40 ק"מ, הדרוש ל-BPI ליירוט מטרה 600, אין ספק שה-KKV אינו יכול להיות פיתוח הדרגתי פשוט מנקודת-המוצא של 90 ק"מ.¹¹ אבל כל פיתוח במסלול זה (מסלול 1 בטבלה מס' 1) עד לנקודה זו יכול לנצל את המאפי של SRAM-ASAS, הן לניסויים והן למערכת מבצעית. נוכח משקלו הגדול יחסית של המטען המועיל והנפח הנדרש, יש לשער שאפשר להקנות למערכת ה-BPI יכולת דו-תכליתית.

לשיפור נוסף של היכולת, אנו רואים אפשרות להפעיל KKV בגובה של 25 ק"מ, במהירות של SRAM-ASAS. אפשר לנצל את המאפי של SRAM-ASAS לניסוי ולפיתוח של ה-KKV, אבל זמן הבערה הממושך שלו לא יתאים ליירוט של מטרה 300 בשלב ההאצה (BPI). לשם כך יידרש טיל יירוט חדש, בערך כמו טילי היירוט המתוכננים "פרגרין ו", או הטיל במהירות בינונית של חיל-האוויר האמריקני (מסלול 2, טבלה 1).

לסיכום, אפשר להרחיב את מסלולי הפיתוח האלה למעמקי האטמוספירה, אבל כשמדובר ביכולת מבצעית, אפשר להרחיב אותם רק עד לגובה של 60 ק"מ בערך. פיתוח נוסף, כדי שיפעלו בגובה של 40 ק"מ, ייתכן (אבל לא מתוך פיתוח הדרגתי של המערכות הקיימות), והרחבת טווחי הפעילות עד לגובה כזה תעניק יכולת ניכרת, אם אין שמים דגש על טילים בליסטיים זירתיים קצרי-טווח דווקא.

מסלול BPI ישיר

מסלול הפיתוח הישיר של BPI (מסלול 3, טבלה 1), המוצג בתרשים מס' 8, אנו מתחילים עם המאפי של ה-AMRAAM-"הלפיר".¹² עבודה מידית על יירוט בגובה של 25 ק"מ עשויה להניב יכולת BPI מסוימת נגד מטרות 300, 600 ו-1,200, ואולי גם יכולת API נגד מטרה 150. אבל פיתוח יכולת דו-תכליתית עלול להיות בעייתי, מאחר שמשקל המטען המועיל והנפח של מערכות אלה קטנים יותר, יחסית. עם זאת, נוכח הטווח הקצר וההאצה הקצרה שלהן, המערכות האלה יופעלו מעמדות שאינן יכולות לנצל היטב את הטווח הגדול יותר של ה-API, ולכן יש טעם, בכל מקרה, בצורת תפעול אחת (BPI). מצד שני, אפשר להשיג פיתוח נוסף של KKV ב-AMRAAM-"הלפיר" (בגבהים נמוכים יותר, באזורי ההתחממות והלחצים הדינמיים המוגברים), ואחר כך אפשר להעביר אותם לטיל היירוט "פרגרין ו", בעל המהירות הבינונית, שניתן להתאמה לפעילות דו-תכליתית ביתר קלות מאשר ה-AMRAAM-"הלפיר".

KKV זה, שיורכב על טיל יירוט "פרגרין ו" מהיר, יהיה מסוגל ליירט גם בגובה 40 ק"מ, ויאפשר יירוט בשלב ההאצה של מטרה 600 בטווח גדול הרבה יותר מ"פרגרין ו", SRAM-ASAS ו-AMRAAM-"הלפיר", בתנאי שיצליחו לפתח גם חישן לטווח ארוך יותר, להרכשת

אירודינמיים, ואילו פעילות חוץ-אטמוספירית בגבהים גדולים יותר (API), מכתובה תכנון על בסיס רקטות דחף (divert thrusters). בגלל הדרישות הסותרות, אין ספק אפוא שמערכת דו-תכליתית תהיה מסובכת יותר, ופיתוחה ימשך זמן רב יותר מאשר מערכת API או BPI חד-צורתית.

פרק 3

מסלולי ניסויים ופיתוח עיוניים ליירוט מהאוויר

הדיון שלנו במסלולי הפיתוח החלופיים נערך במושגים של מהירות היירוט והגובה שבו הוא יתבצע, ומציג את מסלולי הפיתוח האפשריים בצורה גרפית בתרשימים מס' 7 ו-8. הגדלת מהירותו של טיל היירוט ויירוט בגבהים נמוכים יותר, כלומר, תזוזה כלפי מטה וימינה בתרשימים, משפרים את היכולת עקב הגדלת טווחי ההעסקה ומאפשרים להעסיק טילים בליסטיים זירתיים תוקפים קצרי-טווח יותר. עקומות מקדמי ההתחממות האירודינמית הקבועה, כפי ששוורטו בתרשים מס' 6, מוצגות כמדד לקשיי הפיתוח של מחוש ל-KKV.

העברת API למסלולי BPI

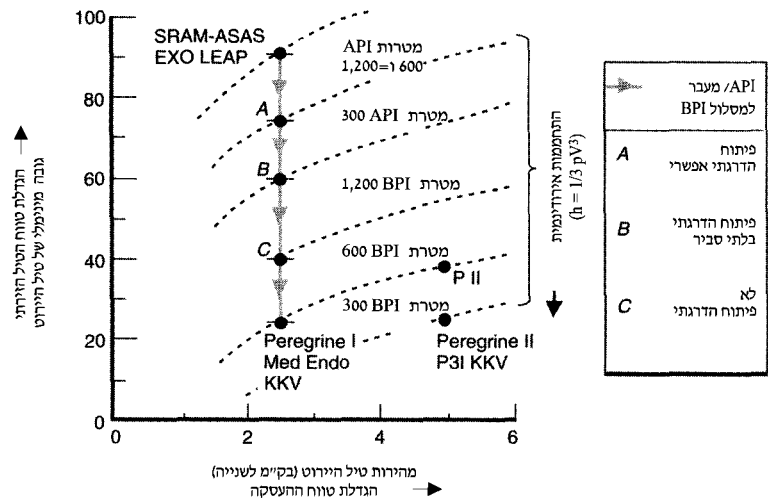
די להעביר את ה-API למסלולי BPI, כפי שמוצג בתרשים מס' 7, אנו מתחילים למעלה, עם מאפי של SRAM-ASAS ו-KKV חוץ-אטמוספרי הקוח מטיל LEAP. במהירות יירוט של 2.5 ק"מ לשנייה, בערך, וגובה יירוט מינימלי של 90 ק"מ, יש ביכולתה של מערכת KKV זו לפעול נגד מטרות 600 ו-1,200. פיתוח נוסף של ה-KKV יאפשר להפעיל API נגד מטרה 300, אם אפשר יהיה

¹¹ מאחר שצפיפות האטמוספירה גדלה פי 10 בערך עם כל ירידה של 15 ק"מ בגובה, הרי המעבר מ-API בגובה של 90 ק"מ ל-BPI בגובה של 40 ק"מ יגרום לגידול מקדם ההתחממות בשיעור של 100%. לרוב, סדר גודל, בערך.

¹² מובן מאליו שאפשר להתחיל עם AMRAAM בלבד ולשפר את יכולת ה-API על-ידי שידוכו עם מאפי של "הלפיר". אנו מציגים אמנם את האפשרות הזאת בתרשימי פשרות מס' 7 ו-8, אבל הניתוח להלן מתמקד בדרך כלל בצירוף AMRAAM – "הלפיר", המחיר יותר.

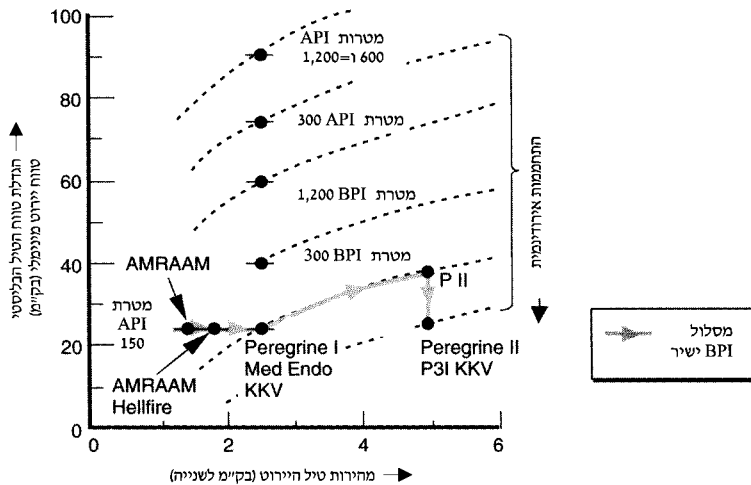
תרשים מס' 7

מסלולי ניסויים ופיתוח: העברת API ל-BPI



תרשים מס' 8

מסלולי ניסויים ופיתוח: מסלול BPI ישיר



חוף-אטמוספרי. אם יתברר שקשה לפתח את יכולת ה-API הרצויה במסגרת הזמן הדרוש, אפשר לפתח, כאילוץ, מערכת מבצעית יעילה פחות על בסיס SRAM-ASAS, כמו בגישה הראשונה. נוסף על כך, אם יתברר שקשה מדי להגיע ליכולת דר-תכליתית ולהוסיף גם KKV תוך-אטמוספרי, האופציה של KKV חוף-אטמוספרי על בסיס SRAM-ASAS תהיה פתרון מאולץ סביר ליכולת API נפרדת.

● בגישה השנייה, ה-KKV התוך-אטמוספרי, היעיל יותר, יפותח על בסיס ה-AMRAAM-ה"הלפיר", עם מאיץ קטן יותר, קצר-בערה הרבה יותר ובעל מהירות נמוכה מעט יותר מ-SRAM-ASAS. באמצעות מאיץ זה, בשילוב עם KKV תוך-אטמוספרי שיוטאם למהירות הנמוכה יותר של ה-AMRAAM-ה"הלפיר", אפשר יהיה להגיע לפתרון מוקדם, לשלב הביניים, במערכת יירוט בשלב ההאצה (BPI) של טילים בליסטיים זירתיים לטווחים של עד 300 ק"מ. מאיץ זה יתאים לתפעול משולב (עם חיל-האוויר והצי), כמו בגישה הראשונה, ובהנחה שתושג התקדמות משמעותית-רצון, יפותח המאיץ המהיר יותר והגדול מעט יותר, מטיפוס ה"פרגרין", כדי להבטיח מערכת מבצעית ביכולת מלאה. במקרה זה, אם אי-אפשר יהיה להשיג את יכולת ה-KKV, פתרון מאולץ סביר יהיה הסתפקות במערכת ה-AMRAAM-ה"הלפיר", במהירות הנמוכה יותר, ו-KKV תואם. היעד יהיה KKV דר-תכליתית, אבל ייתכן שפתרון זה לא יהיה אפשרי ב-AMRAAM-ה"הלפיר", בגלל המטען המועיל הנמוך שלו והקוטר הקטן יותר, יחסית. אם הדבר לא יהיה אפשרי, הפיתוח הסופי של מערכת דר-תכליתית ל"פרגרין" יהיה מסובך מעט יותר, והאופציה של ה-AMRAAM-ה"הלפיר" לשלב הביניים תהיה מערכת BPI בלבד.

מטרות בזמן אמת (ראה טבלה מס' 4). ולבסוף, פיתוח נוסף של KKV זה עשוי לאפשר פעולה גם בגובה של 25 ק"מ, אם יורכב על טיל יירוט "פרגרין" מהיר. גם במקרה זה, לא ניתן להשיג את התועלת הפוטנציאלית של טווח ההעסקה המוגדל בעקבות פיתוח כזה ללא פיתוח מקביל של מערכת הרכשת מטרות ארוכת טווח, ותואמת-BPI.

פרק 4

מסקנות

טילים בליסטיים זירתיים לטווח של 600 ק"מ או יותר

אם הדרישות ממערכת היירוט בשלב ההאצה (BPI) יוגבלו לטילים בליסטיים זירתיים לטווח של 600 ק"מ או יותר, ניתן לפתח את היכולת הרצויה, במהירות ובזמן, בעזרת מערכת SRAM-ASAS (מסלול 1, טבלה 1). אם יהיה צורך, ניתן לפתח תחילה יכולת API עם KKV חוף-אטמוספרי, כיכולת מוקדמת לשלב הביניים. ה-KKV התוך-אטמוספרי למערכת ה-BPI יתוכנן לפעילות דר-תכליתית, אלא אם כן הדבר לא יתאפשר בגלל מגבלות טכניות (כגון גודל, משקל, כושר קטילה). המאיץ של ה-SRAM-ASAS ינוצל לכל הפיתוחים ולכל המערכות המבצעיות. בגלל משקלו וגודלו, אי-אפשר לשגר אותו ממטוסים הממריאים מנושאות-מטוסים.

טילים בליסטיים זירתיים לטווח של 300 ק"מ

אם הדרישה ממערכת ה-BPI היא לכלול בה יירוט של טילים בליסטיים זירתיים המגיעים לטווחים של 300 ק"מ בלבד, יהיה צורך ב-KKV תוך-אטמוספרי יעיל יותר, ובמאיץ קצר-בערה יותר (כלומר, האצה מהירה יותר). במקרה זה ישנם שני מסלולים נפרדים ומעניינים באותה המידה. אם כי המטרות הסופיות הרצויות זהות, יהיה שוני בפוטנציאל להשגת יכולת מוקדמת, לשלב הביניים, ובאופציות החלופיות הפחות טובות (במקרה של בעיות טכניות). האופציות הבאות לא יהיו שונות במידה רבה זו מזו במשך הפיתוח הכולל ובעלויות, להוציא סיבוכים בלתי-צפויים. ההבדל החשוב הוא ביכולת הפיתוח המוקדם שלהן, כשלב ביניים:

● בגישה הראשונה, יפותח KKV תוך-אטמוספרי יעיל יותר על בסיס ה-SRAM-ASAS. בהנחה שתהיה התקדמות משמעותית-רצון, אפשר לפתח עבור המערכת המבצעית מאיץ מטיפוס "פרגרין", קצר-בערה וקטן יותר. מאיץ זה יתאים לתפעול משולב (עם חיל-האוויר והצי). גם במקרה זה יש לפתח יכולת API מוקדמת, לשלב הביניים, עם KKV

מספר שיקולים מבצעיים

ה-KAV שתוכננו מראש, או לייזר מוטס, מותנה בהתקדמות של פיתוחים שונים.

בין תפעול API/BPI לבין תקיפה יבשתית יש מספר אגבורים (סינרגיות) אפשריים. האגבור הסביר ביותר הוא תקיפה יבשתית, אחרי השיגור, של משגרים ניידים ואמצעים אחרים הממהרים למקומות מסתור וטעינה מחדש. פתרונות הרכשת מטרות של API ו-BPI עשויים לספק נתונים מדויקים (בחישוב לאחור) על מקום השיגור. אולם שיגור מהיר של חימוש ומעקב אחרי המשגר כדי להשמידו בשעת נסיגתו או במחבוא, יוגבלו בעשור הנוכחי – ברוב המקרים – לטווחים של פחות ממאה ק"מ. משום כך, כלי-נשק וחישנים שיותקנו על מטוסים המפטרלים במשימות דו-תכליתיות – BPI ונגד-כוח, אחרי השיגור, יהיו הפתרונות המעניינים ביותר.

כפיתוח נוסף לפעילות יבשתית, אפשר לפתח כלי-נשק "מנגד", מהירים וארוכי-טווח, כנגזרות של טילי היירוט API/BPI. משך בערת המאיץ של ה-SRAM-ASAS, שהוא ארוך מדי עבור יירוט בשלב ההאצה (BPI) של טילים בליסטיים זירתיים קצרי-טווח, לא יהיה חיסרון במקרה זה. ולבסוף, אם תשתפר היכולת לגלות ולזהות משגרים ותשתית של טילים בליסטיים זירתיים בשטחים נרחבים עוד לפני שיגורם, עד כדי כך שהיא תהיה שימושית מבחינה מבצעית, יוכלו כלי-הטיס הנושאים את ה-BPI לבצע פעולות חיפוש בשעה שהם מפטרלים באוויר ■

שאנו בוחנים את אפשרויות הפיתוח של API/BPI, יש לשים לב למספר שיקולים מבצעיים. ברור שמערכת API מוטסת, ארוכת-טווח, עשויה להועיל בשיטת שיגור "מנגד" (standoff), בשלבים הראשונים של סכסוך. את כלי ה-BPI בטווחים קצרים יותר, בדרך כלל מוטס במטוס-קרב, ניתן יהיה להפעיל לאחר שתושג עליונות באוויר. נוסף על כך, את ה-API המוטס ניתן יהיה להשבית בהדרגה, לפי צורך, אחרי שאפשר יהיה להשתמש במערכי הגנה API ימיים ויבשתיים, ובמערכי הגנה סופיים של הנדבך העליון.

מאחר שהטווח הקצר של יכולת ה-BPI הפוטנציאלית יישאר בעינו גם אחרי שנת 2000, מספר המטוסים שיידרשו כדי לקיים את הפטרול האווירי הקבוע עלול להיות גדול מאוד, אם הטילים הבליסטיים הזירתיים ישוגרו מאזורים גדולים, או מיותר ממספר מועט של אזורים מובהקים שהיו ידועים מראש. ואכן, הפעלת מערכת BPI המשאירה חותם קטן, מעניקה יתרון למיקום נאות של משטח הנשיאה של טיל היירוט.¹³ לפיכך, ייתכן שיש טעם להיערך לפיתוח מערכת BPI צנועה שתספיק במספר תרחישים, להוציא את הקשים והתובעניים ביותר. יכולת קשוחה וטובה יותר תיאלץ להמתין לפיתוח של יכולת BPI ארוכת-טווח, כולל מערכת הרכשת המטרות שתתמוך בה. מערכת זו יכולה להיות טיל יירוט מהיר, אולי בלויית שיפורים בייצור

¹³ אבל הרויית מערכת ה-API/BPI על-ידי שיגור טילים בליסטיים זירתיים בזה אחר זה או במרחב מצומצם, תישאר עדיין סוגיה מד-אינה, גם לאחר מיקום מתאים. במקרה הקיצור ניי, אפשר לחשוב על התמודדות עם מטח של טילים בליסטיים זירתיים שישוגר בבת אחת מכל המשגרים בא-זור מסוים.

ראשי-תיבות של מונחים שגורים

AMRAAM	Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile	טיל אוויר-אוויר מתקדם לטווח בינוני
API	Ascent-phase intercept	יירוט בשלב הנסיקה
ASAS	Advanced Solid Axial Stage	שלב צירי מוצק מתקדם
BPI	Boost-phase intercept	יירוט בשלב ההאצה
E ²	Endo/Exoatmospheric Interceptor	טיל יירוט תוך/חוץ אטמוספרי
GBI	Ground-Based Interceptor	טיל יירוט יבשתי
HEDI	High Endoatmospheric Defense Interceptor	טיל יירוט להגנה תוך-אטמוספרית בגובה רב
HVM	Hypervelocity Missile	טיל במהירות גבוהה ביותר
IR	Infrared	תת-אדום
IRST	Infrared search and track	חיפוש ומעקב תת-אדום
KKV	kinetic kill vehicle	חימוש באנרגיה קינטית
LEAP	Lightweight Exoatmospheric Projectile	טיל חוץ-אטמוספרי קל משקל
SRAM	Short-Range Attack Missile	טיל תקיפה לטווח קצר
TBM	Theater ballistic missile	טיל בליסטי זירתי
THAAD	Theater High-Altitude Area Defense	טיל להגנה זירתיית בגובה רב
TMD	Theater missile defense	הגנה נגד טילים זירתיים
UAV	Unmanned aerial vehicle	מטוס/מטוס זעיר ללא טייס (מל"ט/מזל"ט)