

# בחזרה לאוסיראק הערכת היכולת של ישראל להרוס את מתקני הגרעין של איראן

וויטני ראס ואוסטין לונג

לתבחין היתכנות של התערבות צבאית למניעת הפצת נשק גרעיני.

מזה ארבע שנים ויותר<sup>3</sup> נושא הגרעין האיראני מצוי על סדר היום של הקהיליה הבינלאומית. התקשורת קיימה דיונים חוזרים באפשרות שארצות הברית תבצע מכת-מנע נגד איראן. המעורבות האמריקנית בעיראק מטילה מגבלות על הרצון האמריקני למכת מנע. מאידך גיסא, בישראל הפחד מפני איראן גרעינית גדול מזה של ארצות הברית ולכן יתכן מצב שבו ישראל תיאלץ להשתמש בכוח על מנת לצמצם את היכולות של איראן בעקבות כישלון הדיפלומטיה.<sup>4</sup>

ישראל הביעה את התנגדותה הנחרצת לאיראן חמושה בגרעין וחרושת השמועות באשר לפעולות שישראל עלולה לעשות כדי למנוע מאיראן את פיתוח הנשק הגרעיני הולכת וגוברת ובאמת ישנם דיווחים רבים שמנהיגי ישראל אכן שוקלים מכת-מנע כנגד האיום של יכולת גרעינית איראנית.<sup>5</sup> אכן יש רגליים לדבר: בשבעה ביוני 1981 בצעה ישראל את אחת ממכות המנע האוויריות השאפתניות ביותר מאז ומעולם. מטוסי חיל האוויר הישראלי מדגמי F16 ו-F15 השמידו את הכור הגרעיני העיראקי באוסיראק בתצוגה מרשימה של מה שהוגדר מאוחר יותר כ"תקיפה כירורגית". כל המטוסים שבו בשלום לבסיסם ולמרות המשמעויות הפוליטיות נחשבה התקיפה להצלחה מסחררת.<sup>6</sup>

ככל שהתכנית הגרעינית האיראנית מתקדמת הופכים השיקולים בעד מכת מנע למשכנעים יותר ויותר בעיני ממשלת ישראל. עם זאת, אין מידע בלתי מסווג שמעריך

יונים רבים נערכו באשר לאפשרות לשימוש בכוח צבאי כדי לעצור את הפצת הנשק הגרעיני, ופעם אף הוצא האיום מן הכוח אל הפועל. בשנות הששים שקלה ארצות הברית להרוס את תכנית הגרעין של סין בשלב מוקדם של התפתחותו, אך בסופו של דבר החליטה שלא לעשות זאת.<sup>1</sup> השיקול הקובע בהחלטה על פלישה לעיראק בשנת 2003 היה הסיכון המגולם במאגר הנשק להשמדה המונית שבידי עיראק, על פי החשדות. למרות שלא נמצאה עדות משכנעת לקיומו של מאגר של נשק להשמדה המונית בעיראק, עדיין נותרת האפשרות לשימוש בכוח צבאי למניעת התפשטות נשק שכזה, ובמקרה זה לאיראן. הדיון בשימוש בכוח נגד מתקני הגרעין של איראן צובר תאוצה בזירה הפומבית, ומעסיק כתבים, קצינים בדימוס ומומחי הגנה.<sup>2</sup> התכנית הגרעינית של איראן הופכת

**וויטני ראס** (Raas) היא חוקרת במרכז למחקרים של הצי (Center for Naval Analyses) באלכסנדריה, וירג'יניה. היא ניהלה מחקר זה תוך כדי השלמת לימודי תואר בהנדסה גרעינית ובמדע המדינה במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT).

**אוסטין לונג** (Long) הוא מועמד לדוקטוראט במדע המדינה במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס, חבר בתוכנית לימודי הביטחון של MIT וחוקר לווה בתאגיד ראנד (RAND).

המאמר פורסם ב- <http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/isec.2007.31.4.7> בכתב העת International Security, מטעם המרכז ללימודים אסטרטגיים, המכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT), ומובא כאן בתרגום של ד"ר יובל ברנדשטטר וברשות המערכת של MIT.

כך הופכת האפשרות למניעה צבאית למפתה יותר. ואכן, ממשל הנשיא בוש הכריז כי אמנעה צבאית היא חלק מן המדיניות הכוללת שלו.<sup>10</sup> איראן משמשת אם כך כתבנית לבחינת הסיכויים והסיכונים של שימוש בעוצמה אווירית כנגד מטרות שהן גרעיניות, מוקשחות וממוגנות כדבעי.

מאמר זה אמור למלא את החסר בספרות הנוכחית על ידי דיון נקודתי בהתקפה אווירית ישראלית על מתקנים ידועים של תכנית הגרעין האיראנית.

## בחזרה לאוסיראק

**ב**התקפה על הכור באוסיראק נטלה ישראל סיכון מחושב ללא ביטוח. בדיונים שהחלו כמעט מיד לאחר בחירתו של מנחם בגין בשנת 1977 נחלקו הדעות באשר לתבונה של מכת המנע. בגין החליט להמתין ככל שיידרש עד למבצע. בינתיים ביצע המוסד פעולות שנועדו להרוויח זמן. צעדים אלה כללו חבלות שבוצעו, על פי פרסומים, בליבות הכור המיועד לאוסיראק עוד לפני שהחברות הצרפתיות סיפקו אותו לעיראק, וכן התנקשויות בפקידים עיראקיים שעסקו בגרעין.<sup>11</sup> באותה עת החל חיל האוויר באימוני הכנה לקראת התקפה מתוכננת. הרעיון להרוויח זמן פעל במידת מה אך בסופו של דבר לא עצר את התקדמות תכנית הגרעין של עיראק. בחדש אוקטובר 1980 הודיע המוסד לראש הממשלה בגין כי הכור באוסיראק צפוי להיות מבצעי החל מיוני 1981. לאחר דיונים סוערים ניתנה ההוראה לפעול.

אחרי חודשים של הכנות מדוקדקות המריאה דבוקת מכת-המנע של ששה עשר מטוסים, שמונה מדגם F15 ושמונה מדגם F16 משדה "עציון" אשר בסיני. תכנית הטיסה כללה שיוט בגובה נמוך מעל מפרץ אילת, דרום ירדן, וצפון ערב הסעודית. מטענם של מטוסי F16 כלל שתי פצצות 2000 ליטראות מדגם 84-MK, עם נפצים מושהים. הפצצות הללו היו "טיפשות", רוצה לומר, ללא הנחייה מעבר לזו של המטוס המטיל אותן. המטוסים עצמם היו מצוידים במערכות בקרת אש שהאצילו לפצצות דיוק סביר, אך חייבו קרבת-יתר למטרה.

דבוקת ההפצה הגיעה לאזור האוסיראק מבלי שנתגלתה ובגובה נמוך. מטוסי ה-F16 התכנסו בנקודות ציון ידועות מראש לצורך ההפצה בעוד שמטוסי ה-F15 נערכו לחומת הגנה מעופפת כדי ליירט מטוסים עיראקיים. התוקפים נסקו במרחק 4 מייל מן המטרה עד לגובה חמשת אלפים רגל כדי לצלול על אוסיראק ולהטיל את הפצצות. למרות קשיי ניווט ופעילות ההגנה האווירית העיראקית פגעו לפחות שמונה מתוך שש עשרה הפצצות במעטפת הכדורית של הכור.

הדבוקה סבה על עקביה ונסקה לגובה שיוט בנתיב דומה מאוד לזה שבו באה. כל ששה עשר המטוסים שבו בשלום לישראל לאחר שחצו את ירדן. התוצאות של הפשיטה היו

אל נכון את היכולות הנוכחיות של ישראל להשמיד מתקני גרעין איראניים.<sup>7</sup> מחד גיסא, יכולותיו של חיל האוויר הישראלי התפתחו באופן מרשים, ומאידך גיסא, המתקנים הגרעיניים של איראן מציבים אתגר קשה בהרבה מאשר האוסיראק.

הערכה זו של חלופות צבאיות מבוססת רק על חומר גלוי ולכן כוללת הנחות יסוד וחוסרים מובנים. קודם כל היא מבוססת על דיווחים גלויים בנושא הגרעין האיראני, ובמיוחד אלו של הוועדה הבינלאומית לאנרגיה גרעינית (IAEA), המתארים את הפעילות המתועדת של איראן. ישנם מומחים הטוענים כי לאיראן יש תכנית צפונה, מקבילה לזו הגלויה, וזו האחרונה התקדמה לפחות כמו זו הגלויה שתחת הפיקוח של הוועדה, ואולי אף יותר. אם כך הדבר הרי שהתקפה על התכנית הגלויה לא תעכב את תכנית הגרעין האיראנית באופן משמעותי.<sup>8</sup>

לדעתנו, הסיכוי שלאיראן תכנית גרעינית "צפונה" הוא קלוש. לאור העובדה שהתכנית הגלויה לא נחשפה לפני 2002 הנחת ה"תכנית המוצפנת" מביאה בחשבון שתי תכניות פעילות, על כל הכרוך במחיר, בהסתרה, ובכוח אדם.<sup>9</sup> סביר יותר להניח כי איראן הסתירה את תכניתה ה"גלויה" בתקווה שזו לא תתגלה. לכן ניתן להניח כי בכל האמור במתקנים התעשייתיים הגדולים, במיוחד אלה העוסקים בזיקוק ובהעשרת האורניום, אלה החשובים והמתקדמים ביותר, הם היחידים. פגיעה בפעילותם של אלה תהיה מכה משמעותית לשאפתנות הגרעינית של איראן.

אין כוונה במאמר זה לכסות את כל החלופות הצבאיות שניתן להעלות על הדעת. קיימות שלוש חלופות צבאיות שיש לסקור. משימה המכוונת למתקנים הגרעיניים בלבד, משימה נרחבת הכוללת גם מתקנים צבאיים אחרים, ופלישה רבת עוצמה שתפקידה למוטט את המשטר האיראני. שתי החלופות האחרונות אינן מציאותיות מבחינת ישראל ולכן נתרכז בהיתכנות משימת התקפה על המתקנים הגרעיניים בלבד. במיוחד בכוח האוויר, שכן ישראל רכשה חלקים משמעותיים מן הכלים האוויריים במחשבה תחילה של תקיפות ארוכות טווח.

ולבסוף, אין כוונתו של המאמר להציב עמדה לזכות או לשלילת הרס המתקנים הגרעיניים. המשובים של התקפה כזו הם רבים, כולל גינויים מדיניים ותגובה צבאית מגוונת מצידה של איראן. התוצר הסופי של הדיונים הדיפלומטיים בנושא הגרעין האיראני איננו ברור כלל ועיקר, והתקפה יכולה אף לבצר את נחישותה של איראן להמשיך בתכנית הגרעינית. במאמר זה נתייחס לשאלה המצומצמת אך העליונה בחשיבותה: האם תיתכן התקפה שכזו, בלי קשר לשאלה האם זו החלטה טובה או רעה.

מעבר להערכה הנקודתית של איראן-ישראל מספק המאמר תובנות גם לשאלה היותר כללית של שימוש בעוצמה אווירית כמכשיר למניעת הפצה (של נשק גרעיני). ככל שהדאגות מתעצמות נוכח הפצת נשק להשמדה המונית

מדהימות. הכור נהרס באופן מוחלט בעוד שסביבתו הקרובה לא נפגעה כלל.

## מתקני הגרעין של איראן

האיראנים למדו מספר דברים מן הפשיטה על האוסיראק. מתקני הגרעין של איראן הם גדולים, מוסתרים ומבוזרים באופן נרחב על פני כל המדינה. האמנה למניעת הפצתו של נשק גרעיני, שגם איראן חתומה עליה, נותנת למדינות החתומות גישה מסוימת לטכנולוגיות גרעיניות לצורכי שלום במסגרת של תחומים ומגבלות.<sup>12</sup> פקידים איראנים הודיעו כי עד שנת 2020 תחייב הצמיחה הטבעית של איראן, ובמקביל עליית הצריכה של נפט, תוספת משמעותית של אספקת כוח ממקור גרעיני כדי לאפשר ייצוא מתמשך של נפט.<sup>13</sup> כדי לעמוד במטרות הללו של אספקת אנרגיה זמינה פיתחה איראן תכנית גרעינית למשך עשרות שנים, כולל יכולת טכנולוגית מלאה, קדומנית ואחורית, לפיתוח ולטיפול בחומר בקיע. (הערה: "קדומנית" משמעותה: הפעולות הדרושות לפני שמוסיפים את הדלק הגרעיני לכור, "אחורית" משמעותה פעולות שלאחר הוצאת הדלק מן הכור. "קדומנית" כוללת כרייה, עיבוד, הפקה, העשרה, והכנת הדלק, בעוד ש"אחורית" משמעותה עיבוד של החומר שסיים את תפקידו, ותהליכי עיבוד הפסולת הגרעינית. לפרטים נוספים ראו: רונלד אלן ק-ניץ, טכנולוגיה גרעינית, תיאוריה וטכנולוגיה של אנרגיה גרעינית לצרכים מסחריים, מהדורה 2, ניו-יורק, 1992.<sup>14</sup>)

איראן מפתחת יכולות עצמאיות להעשרת אורניום כדי להשיג אורניום מועשר ברמה הדרושה לנשק גרעיני, וכן, הפקת פלוטוניום בכור של מים כבדים, ומתקנים נוספים כדי להפריד מן הדלק הגמור את הפלוטוניום.<sup>15</sup> שני הפיתוחים האחרונים מהווים סכנה של הפצה, אם כי לעת הזו יכולת ההעשרה של האורניום התקדמה מעבר לזו של הפרדת הפלוטוניום. מתקנים תעשייתיים מוצהרים כוללים כור מים קלים בבושהר, מכרות אורניום, מתקני עיבוד והעשרה, מתקן ליצור דלק גרעיני, ומתקן ליצור מים כבדים. איראן גם בונה כורי מים כבדים.<sup>16</sup> מתקנים קטנים בסדר גודל מעבדתי כוללים יכולות חשאיות להפקת פלוטוניום והעשרה באמצעות לייזר, וכן ניסויים במתכת האורניום.<sup>17</sup> לצורך מאמר זה יש להבחין בין מתקנים שתורמתם להפצת נשק גרעיני גדולה לבין אלו שהסיכון בקיומם נמוך. איראן ביזרה את מתקני הגרעין הרבים שלה ברחבי המדינה, כדי להקשות על ישראל לפגוע בכלל התשתית.<sup>18</sup> על מנת לעכב את התכנית הגרעינית באופן משמעותי על ישראל לבדוד את הצמתים החיוניים, דהיינו אלה שמייצרים חומר גרעיני בקיע, שכן ללא חומר בקיע הפצצה לא תגיע לכלל מימוש.

לתכנית הגרעינית של איראן ישנם שלושה צמתים

חיוניים המיועדים לייצור חומר גרעיני בקיע ואלו הם: מתקן עיבוד אורניום באיספהן, מתקן גדול להעשרת אורניום בנתאנו, וכורי מים כבדים והפקת פלוטוניום בעראק.<sup>19</sup> בעבר התמקדו החששות של הקהילה הבינלאומית באשר לתכנית לייצור נשק אטומי בתשלובת הכורים המבוססים על מים קלים בבושהר, שעל בנייתם הופקדו הרוסים.<sup>20</sup> אלא שמכיוון שהכורים בבושהר אינם נחשבים להכרחיים בשרשרת הייצור בדרך לנשק גרעיני לא כללנו אותם באסופת המטרות.<sup>21</sup> יתר על כן, גם אם ישראל תחליט כי התשלובת בבושהר ראויה להתייחסות הרסנית, הרי שהתשלובת איננה מוקשחת, היא ממוקמת לחוף המפרץ הפרסי ולכן התקפת טילי שיוט משוגרים מצוללת יכולה לעשות את המלאכה ללא צורך בהתקפה אווירית.<sup>22</sup> מתקן העיבוד של אורניום באיספהן הוא המתקן הכימי הראשון במעלה בתכנית האיראנית. המתקן מייצר אורניום 6-פלוואוריד (UF6) שהוא הגז המוזן אל הסרכוזת (צנטריפוגות) של אורניום, אורניום דו חמצני (UO2) עבור דלק גרעיני, ואת מתכת האורניום.<sup>23</sup> אבדן האספקה המקומית של אורניום 6-פלוואוריד עבור תהליך ההעשרה, וכן אבדן קווי התהליך ההופכים אותו שוב למתכת האורניום יפגעו קשות ביכולת לייצר אורניום מועשר עבור נשק גרעיני עתידי. רוסיה מחויבת לספק דלק לכורים של בושהר ולכן הפסקת פעילות מתקן העיבוד הראשי לא תיפגע ביצור החשמל באופן מיידי. מאידך גיסא תהיה בהרס מתקן העיבוד באיספהן פגיעה אנושה ביכולת להעשיר ולייצר חומר דלק, בשל חוסר קריטי בגז UF6 ובאורניום דו חמצני.

להרס מתקן העיבוד הראשי ישנם סיבוכים צפויים מראש, בשל הפעילות הרוחשת בו כבר עכשיו. טונות רבות של אורניום מצויות במתקן בתצורות כימיות שונות. הרס המתקן יביא בהכרח לשחרור טונות של אורניום 6 פלוואוריד, אורניום 4 פלוואוריד ועוד תצורות של אורניום ופלוואור לאוויר. מעבר לזיהום באורניום, שחרור הפלוואור לאוויר יגרום להיווצרות פלוואור חד מימני, חומר הרסני ומאכל במיוחד. בהנחה שהישראלים יהיו מוכנים להסתכן בהריסת מתקן כימי הצמוד לכרך גדול כמו איספהן, הרי שהרס מתקן העיבוד הראשוני יעצור את אספקת גזי האורניום למתקן ההעשרה בנתאנו, וכן את הכנת האורניום דו-חמצני עבור כורי המים הכבדים אשר בעראק. הצומת החיוני הבא בשלשלת הייצור של אורניום מועשר הוא המתקן בנתאנו. מתקן זה כולל מתקן מחקרי להעשרת אורניום, ומתקן תעשייתי גדול בהרבה המצוי במעבה האדמה, וממתין להתקנת אלפי סרכוזות. המיקום הוא שלש מאות ועשרים קילומטרים דרומית לטהרן, וכ-60 קילומטרים מן העיר הקרובה. על מנת להרוויח את העיכוב הגדול האפשרי בתכנית הגרעינית צריכה ישראל להמתין להתקנת רוב הסרכוזות במתקן זה. אלפי הסרכוזות במתקן מייצגות השקעה אדירה שלא קל לשחזרה. לכן

התכניות המיידיות של איראן להתקדם לעבר עוצמה גרעינית.

## חימוש: כמות וסיווג הפצצות

חיל האוויר של ישראל התחמש ביכולות משופרות לפיצוח מטרות מוקשחות, כדוגמת המתקן להכלת הכור הגרעיני או מתקני סרכזות החבויות במעבה האדמה, העולות על אלו ששימשו בהתקפת האוסיראק בשנת 1981. השיפורים ניכרים בשתי צורות: שיפור בדיוק ושיפור בחזירות. את החימוש הנוכחי קל יותר להטיל והסבירות להרס המטרה גדולה יותר.

חיל האוויר שינה את אופן משימת ההפצצה בעקבות הצטיידות בחימוש מונחה מדויק. הטלה מדויקת איננה מחייבת עוד גישה נמוכה ונסיקה לקראת צלילה מכוונת כפי שבוצע באוסיראק. חיל האוויר יכול להטיל פצצות מונחות לוויין ומונחות לייזר בטווחים רחוקים ומגובה רב.<sup>28</sup> לדוגמה, מטוסי ה-F16 שתקפו את אוסיראק השתמשו במערכת הכוונה ממוחשבת אשר נתנה לפצצה המוטלת ממוטוס התוקף, באורח המניח את הדעת, תחום פגיעה של 8 עד 12 מטרים.<sup>29</sup> לעומתן פצצות מונחות לוויין, כדוגמת "תחמושת משולבת להתקפה" ובראשי תיבות JDAM, מסוגלות להשיג תוצאה דומה או טובה יותר גם אם יוטלו מגובה רב ובמרחק של חמישה עשר קילומטרים אם לא יותר. תחמושת מונחת לייזר מסוגלת להגיע לדיוק רב יותר – תחום פגיעה של שלושה מטרים – מאותו גובה ואותו טווח. שני סוגי החימוש הללו נהנים ממעטפת יותר מתירנית מזו של הפצצה המונחת מחשב, מכיוון שיש להם יכולת תמרון גם לאחר הטלתן.<sup>30</sup>

גם יכולת הפיצוח של תחמושת כנגד מטרות קשיחות שופרה רבות מאז הפשיטה על האוסיראק. הנשק הזה שקרוי "קליעים לחדירה" או בשפה בוטה יותר "מרסקי הבונקרים" הוא עתיר שימוש בידי האווירייה האמריקנית. כאשר הוא מוטל מגובה רב ומגיע אל המטרה בזווית חדה, חודרות הפצצות הללו מטרים רבים של אדמה ומטרים ספורים של בטון מזוין.<sup>31</sup>

ברשימת הציוד של חיל האוויר הישראלי מצויות פצצות בסיווג של 1000 ליטרה (חצי טון) המוכרות בסיווג 500A1 PB.<sup>32</sup> בנוסף ביקשה ישראל לרכוש מארצות הברית ראשי נפץ כבדים יותר. בחודש ספטמבר 2004 הודיעה ישראל כי בכוונתה לרכוש 5000 פצצות מונחות-דיוק, ובכללן אלו המצוידות בראש נפץ של אלפיים ליטראות (תשע מאות קילוגרם) מדגם "מפצח" שסימנו BLU-109.<sup>33</sup> בזמן האחרון אושרה רכישתם של מאה תחמישים מונחי-דיוק שהראש הקרבי שלהם במשקל 5000 ליטראות, סימן BLU-113.<sup>34</sup> האספקה של הפצצות הללו תואץ בעקבות העימות נגד החיזבאללה בלבנון ויש להניח כי ישולבו בזריזות במערך הנשק שברשות חיל האוויר הישראלי.<sup>35</sup>

הזמן המתאים ביותר להתקפה הוא לאחר התקנת הסרכזות אך לפני שהזנה כמות גדולה של גז האורניום 6 פלואוריד. אין טעם להפציץ אולמות יצור ריקים שכן האיראנים יוכלו להציב את הסרכזות במקום אחר, אולי בחשאי.

המתקן הסופי ליצור חומר בקיע הראוי להרס הוא הכורים ליצור מים כבדים ופלוטוניום, ההולכים ונבנים בעראק. מתקן המים הכבדים הוא מתקן תעשייתי גדל מימדים הממוקם במרכז איראן, כמאתיים וחמישים קילומטרים דרום-מערבית לטהרן, כשלושים ושניים קילומטרים מן העיר הקרובה.

איראן כבר מפעילה כור מעבדתי קטן המשתמש במים כבדים לצרכי קירור, אך המתקן בעראק צפוי לייצר יותר מ-16 טונות מים כבדים בשנה, הרחק מעל ומעבר לצורכי מחקר, ואף יותר מכל מה שנדרש לצרכים אזרחיים. פקידים איראניים הכריזו כי בכוונתם לבנות כורי מים כבדים ואכן הוחל בבניית שניים כאלה בעראק, והם יעשו שימוש בכל המים הכבדים שיוצרו שם.<sup>24</sup> הכורים יושלמו ב-2014. (בהערה, קיימת האפשרות כי טהרן כבר בנתה כור גדול ליצור פלוטוניום אשר לא התגלה עד עתה. לפי מיטב שיקולנו אפשרות זו איננה סבירה שכן קשה להסתיר כורים ועוד יותר קשה לבנות אותם ללא סיוע חוץ).

כורי מים כבדים מן הסוג שאיראן מתכוונת לבנות מציגים את הסיכון הגדול ביותר להפצת הפלוטוניום מכיוון שהפלוטוניום המיוצר בהם יהיה בהכרח באיכות נשק גרעיני.<sup>25</sup> בנוסף, הודיעו הפקידים האיראניים לוועדה למניעת ההפצה שבכוונתם לבנות מתקני זיקוק-על בעראק על מנת להפריד "איזוטופים מאריכי חיים" מדלק גרעיני שסיים את חייו בכורי פלוטוניום מסחריים שיוקמו באתר.<sup>26</sup> ניתן לומר ברמה גבוהה של ביטחון שמתקן עראק מיועד לייצור פלוטוניום באיכות של נשק גרעיני, שכן אותם "תאים חמים" ישמשו להפקת הפלוטוניום מדלק גמור. למרות שתהליך הבנייה מצוי בשלבים מקדימים עצם קיומו של המתקן הוא מקור לחששות כבדים, והרס המתקן בעראק יעכב באופן משמעותי את היכולת האיראנית העתידית לייצר פלוטוניום.

התכנית הגרעינית של איראן מורכבת מגורמים רבים נוספים אלא ששלושת המתקנים שהוזכרו לעיל חיוניים לפיתוח נשק גרעיני. הרס שלושם יעשה את המיטב על מנת לדכא את היכולת של טהרן לייצר נשק גרעיני. מתקן העיבוד, לחסימת ייצור גז אורניום 6 פלואוריד, מתקן נתאנו להעשרת האורניום, וכורי עראק למערכת ייצור הפלוטוניום. מבין שלושתם השלישי הוא הפחות חשוב מכיוון שהשלמת המתקנים לוטה בערפל העתיד, ולכן, עד שיושלמו, המים הכבדים חסרי שימוש. מאידך גיסא מתקן נתאנו הוא החשוב מכולם מבחינת היכולת של איראן לייצר חומר בקיע.<sup>27</sup> הרס אתר נתאנו הכרחי על מנת לסקל את

מעבר ליכולות המוכרות ביישום חימוש מונחה-דיוק ומפצחי בונקרים, ידוע כי ישראל מתחזקת יכולת של כוחות מיוחדים לתמיכה בפשיטות אוויריות. האחת מתמחה בסימון מטרות עבור הנחיית לייזר (סיירת שלדג/ יחידה 5101) והשנייה היא יחידת הערכת הנזק בזמן אמיתי, יחידה 5707.<sup>36</sup> יחידות אלה תוכלנה לחדור לאזור המטרה לפני ההתקפה. נוכחותן של יחידות אלה תאפשר סימון מטרות גם במזג אוויר קשה. הן תוכלנה לבצע הערכה של נזק לאחר התקפה ולכוון הטלת חימוש נוסף כדי לפצות על החטאות.

מאחר שהצגנו באופן כללי את היכולות של חיל האוויר הישראלי נפנה ליישום יכולות אלה למטרות עצמן.

נתאנו היא המטרה הקשה אך החשובה ביותר להרס. מתקן ההעשרה הראשי מורכב ככל הנראה משני אולמות ענק, על שטח של 25 עד 35 דונם בעומק של 8 עד 23 מטרים מתחת לאדמה, המוקשחים בעזרת שכבות רבות של בטון מזוין.<sup>37</sup> השילוב של גודל ענקי והקשחה מציב אתגר מרשים בפני התוקף.

אחת הטכניקות המשמשות כדי להביס מתקנים מוקשחים היא שימוש בחימוש מפצח המוכוון באמצעות לייזר לאותה נקודה באופן עוקב כדי להתחפר לתוך המטרה, טכניקה זו זכתה לדיון בחיל האוויר האמריקני במלחמת המפרץ של שנת 1991.<sup>38</sup> הטכניקה מיישמת את הדיוק הגבוה של החימוש המונחה בשילוב עם יכולת הפיצוץ. נראה כי חיל האוויר הישראלי כיוון את הצטיידותו בחימוש מונחה לייזר על פי הטכניקה הזו. מפקד חיל האוויר לשעבר איתן בן אליהו, ממשותפי הפשיטה על האוסיראק, אמר דברים ברוח זו לשבועון "גיינס הגנה אווירית": "גם אם פצצה אחת לא תספיק כדי לחדור נוכל להנחות פצצות עוקבות אל הבור שיצרו הקודמות ובסופו של דבר לפצח כל מטרה."<sup>39</sup>

החימוש הצפוי לשימוש כנגד מטרה כמו נתאנו הוא האחרון שהוזכר, במשקל 5000 ליטרו. יתכן כי תחמיש אחד כזה יספיק כדי לפצח את מעטפת האדמה והבטון המגינה על מתקן נתאנו, אבל לבטח שניים כאלה, המוטלים באופן עוקב, יעשו את העבודה. הסבירות ששתי פצצות עוקבות יפלו האחת על גבי השנייה מוערכת ב-0.45.<sup>40</sup> הטלה עוקבת של הפצצות הכרחית רק אם המתקן מוקשח לפי ההערכות המחמירות ביותר. לדוגמא, אם נניח שהמתקן מצוי 23 מטרים מתחת לשטח ומתוכם שני מטרים הם בטון מזוין, יש צורך בשתי פצצות עוקבות. אם העומק וההקשחה בתחום של שמונה מטרים גם אחת תפצח את המתקן בנקל.

השאלה הנשאלת היא כמה פצצות חודרות לתחומי אולמי הסרכזות יספיקו כדי להבטיח הרס? אנו מעריכים כי עצמת ההדף, בתוך התחום הסגור של שלוש פצצות מדגם 113, בשילוב עם תמט של התקרה, רסיסים ותופעת גל החום יספיקו להרס של הרוב המכריע של הסרכזות

המצויות במתקן.<sup>41</sup> אם להאמין למומחים מסוימים הרי שמאמץ זה מצוי בתחום ההגזמה, מכיוון שסרכזות עובדות הן רגישות מטבע בריתן לכישלון הרסני עקב הפרעות באספקת זרם חשמל.<sup>42</sup>

החדרת ששה זוגות של פצצות 113 לכל אולם, ובסיכום שנים עשר זוגות, תספק ביטחון רב להשגת הרס בלתי הפיך. בהנחה שכל זוג פצצות נהנה מסבירות של 0.45 להצלחה, ששה זוגות יספקו סבירות של 0.31 להשגת שלושה פיצוחים מוצלחים לכל אולם וסבירות של 0.71 לשני פיצוחים לכל אולם.<sup>43</sup> מעבר לחזירה של יחידות חימוש, אשר תחדורנה לתוך אולמות הסרכזות, צפויות אחת או שתיים להתפוצץ מעל כל אולם, ובכך להשיג תמט של כל המבנה. כדי לשפר עוד את סיכויי ההצלחה יוכלו נקודות הפגיעה של פצצות 113 לקבל תגבור של פצצות 109, כפי שנדון בהמשך. ולסיום, גם המתקן שמעל הקרקע יזכה למנת הרס משל עצמו. לא נראה כי המתקן מוקשח ולכן יספיקו שתי פצצות של אלפיים ליטרות שאינן חייבות להיות מפצחות.

המטרה הבאה לדיון הוא מתקן העיבוד באיספהאן אשר איננו טמון באדמה למרות שניתן להבחין בעדות לחפירת מנהרות בקרבת מקום.<sup>44</sup> בהסתמך על צילומים והדמיה מלווין מסחרי נראה כי צורת המתקן מלבנית, אורכו 180 מטרים ורוחבו נע בין 40 ל-80 מטרים.<sup>45</sup> לא נראה כי המתקן מוקשח באופן משמעותי ולכן אין הכרח להפעיל חימוש מפצח כדי להשיג הרס. יתכן כי חיל האוויר הישראלי יעדיף להשתמש בפצצות מפצחות בכל זאת, כדי לחדור את קירות המתקן ולהבטיח פיצוץ בסמוך למרכיבים חיוניים.

במקרה זה הפצצה הקטנה יותר, סימן 109, ראוייה לשימוש. פצצה מדגם זה תוכל לחדור בנקל, ולכן דיוק בפגיעה פחות חשוב. שטחו של המתקן הוא כפי הנראה כ-10 דונם ולכן יספיקו תשע פצצות מדגם 109 כדי לחשוף את כל המתקן לגל הדף שיתגבר על השלמות של המיכלים הכימיים.<sup>46</sup> הדיוק של פצצות מונחות לייזר מבטיח סבירות של 0.9 לפגיעה ברדיוס של 10 מטרים מן הנקודה אליה כווננו, ולכן התקפה הכוללת שניים עשר חימושי 109 תספיק להבטיח את הרס המתקן.<sup>47</sup>

המטרה האחרונה, מתקני עראק, מורכבת משתי דבוקות של מטרות. האחת היא מתקן להפקת מים כבדים והשנייה אתר הקמת הכור המבוסס על מים כבדים. אף אחת משתי המטרות איננה מוקשחת ואת אלה קל יחסית להרוס.

המרכיב העיקרי של המתקן הוא אסופת מגדלים המשמשים בייצור מים כבדים. ישנם שלושה מגדלים עיקריים ותשעה משניים, בשתי קבוצות שאורכן שמונים מטרים ורוחבן שלושים. כדי להבטיח הרס די בשלוש פצצות של אלפיים ליטרות מוכוונות על כל אחת מן הקבוצות.<sup>48</sup>

אתר הבנייה של הכור מורכב מחצי-כדור להכלה ומתקן

קירור, שניהם בבנייה. בהנחה שכדאי להרוס את המתקן הבלתי גמור, ארבע פצצות של אלפיים ליטרות הן די והותר. סיכום של כלל התחמישים הדרושים להשלמת הרס כל שלוש המטרות הוא עשרים וארבע פצצות של חמשת אלפים ליטרות, ועשרים וארבע פצצות של אלפיים ליטרות.

## מערך הכוחות, ישראל ואיראן

מהלך עשרים השנה ויותר מאז הפשיטה על האוסיראק השתפרה לאין ערוך יכולת הפגיעה לטווח ארוך המצויה בחיל האוויר הישראלי. יכולת זו קיבלה הדגמה מוקדמת בהפצצת מפקדת אש"ף בתוניס בשנת 1985. הפצצה זו חיבה תדלוק אווירי וטיסה של יותר מ-4000 קילומטר.<sup>49</sup>

יכולת הפגיעה בטווח רחוק עדיין מסתמכת על מטוסי F15 ו-F16.<sup>50</sup> אבל עתה מצוידת ישראל בעשרים וחמישה מטוסי F15 בגרסת "רעם" ולפחות עשרים וחמישה מטוסי F16 בגרסת "סופה", שניהם בתצורה המיועדת להתקפה מרוחקת. F15I הוא הגרסה הישראלית למטוס האמריקני מאותו דגם, לצורך תקיפת מטרות קרקע. המטוס מצויד במכלים מותקנים, אשר בתוספת של מכלי דלק נתיקים מעניקים טווח קרבי של אלף ושבע מאות קילומטרים עם מטען קרבי מלא.<sup>51</sup> נוסף על יכולותיו המוכחות כמפציץ נושא עמו ה-F15I חבילת אמצעי לוחמה אלקטרונית ויכולת מוכחת בקרבות אוויר.

מטוס F16I הוא גרסת F16 בלוק 52/60 שיוצר במיוחד לפי מפרט ישראלי לצורכי חדירה עמוקה. בדומה ל-F16 גם למטוס זה מכלי דלק מותאמים שמותחים את המעטפת הקרבית לטווחים לא מדווחים, אך צפוי כי מדובר בטווח של 1700 קילומטרים בתוספת מכלים נתיקים.<sup>52</sup> לאור ההחלטה הישראלית לוותר על רכש מטוסי F15 לטובת F16I יש להניח כי הטווח היעיל שלו דומה לזה של הרעם. F16I מסוגל להטיל שתי פצצות של אלפיים ליטרות, גם כאשר הוא נושא מכלים נתיקים, ובדומה ל-F15I הוא נושא עמו חבילה מתוחכמת של אמצעי לוחמה אלקטרונית ויכולת מצוינת בלוחמת אוויר-אוויר.

בניגוד ליכולות העכשוויות של חיל האוויר הישראלי מחזיקה מערכת הביטחון האיראנית באסופה משונה של טכנולוגיות. עד לנפילתו של השאח בשנת 1979 הייתה איראן לקוחה עיקרית של ארצות הברית ולכן צוידה במיטב האמל"ח שארצות הברית הייתה מסוגלת לספק. אלא שלאחר המהפכה נסוגה היכולת הטכנולוגית של איראן בשל מנוסתם או רציחתם של טכנאים וקצינים כישרוניים. נוצר חוסר בחלפים אמריקניים, ובהתאם לכך החלה איראן להצטייד מכל הבא ליד, מרוסיה, סין, וספקים נוספים.<sup>53</sup>

התערובת של מערכות ממקורות שונים ניכרת היטב בתמהיל המרכיב את ההגנה האווירית האיראנית. למרות

שלכאורה אין היא נראית יעילה במיוחד אין להתעלם ממנה. המערכת מורכבת משלושה מרכיבים: מטוסים, טילי קרקע-אוויר, ותותחי נ"מ.

האיכות של סך הציוד והיכולת של חיל האוויר של הרפובליקה האיראנית ירודה למדי. מערכי האיוון והתחזוקה אין ביכולתם ליצור עוצמה אווירית המסוגלת להתמודד עם חיל אוויר מן המעלה הראשונה כמו חיל האוויר הישראלי. לחיל האוויר האיראני 40 מטוסי מיג 29 הראויים להטסה, ושאר המלאי האווירי מורכב ממטוסים משנות השבעים, או מוקדם יותר. גם טילי האוויר-אוויר שיכולים לחמש את המטוסים הנם מיושנים ובאיכות ירודה.<sup>54</sup>

חיל האוויר האיראני נהנה מיתרון משמעותי בבואו להתמודד עם דבוקת הפצצה ישראלית בשמי איראן. קודם כל, מטוסים הפועלים במרחק קצר מבסיסהם לא יסבלו ממגבלות דלק, מגבלה חשובה ביותר במהלך קרבות אוויר. שנית, מטוסים איראניים יוכלו להיעזר במכ"ם מקומי כדי לנהל קרב יעיל נגד מטוסי ח"א ישראלי. זו עדיפות שתאפשר יירוט בתנאים נוחים, דהיינו, הכוונה אל מאחורי המטוסים התוקפים.<sup>55</sup>

מערך טילי הקרקע-אוויר של איראן דומה באיכותו למערך המוטס, אך סובל מפיצול אחריות בשל חלוקה בין הצבא, חיל האוויר, ומשמרות המהפכה. המרכיב המרכזי במערך הוא טילי "הוק" (Hawk) משנות השבעים. יש להניח כי הגיל והחוסר בחלפים מפחיתים רבות את יעילותם של טילי ה"הוק". יתר על כן, ישראל משתמשת במערכת ה"הוק" ויש להניח כי כבר פיתחה יכולת לוחמה אלקטרונית להתמודד עם האיום. טילי קרקע-אוויר נוספים שברשות איראן שייכים לאותה תקופה ויעילותם כלפי עוצמה אווירית מן המעלה הראשונה מוגבלת.<sup>56</sup> איראן ניסתה לרכוש טילי ק"א רוסיים מתקדמים מדגם SA 10 אך אין עדיין עדות ברורה שאלו אכן סופקו.<sup>57</sup>

דיווחים חדשים אודות אספקה רוסית של טילי SA-15 GAUNTLET לאיראן<sup>58</sup> הופיעו בזמן האחרון. מהלך זה יוסיף למערך הטילים האיראני טילים המיועדים ליירוט בגובה בינוני/נמוך בגיבוי מכ"ם עקיבה מסוג phased array. מאידך מכ"ם זה מרגיש מטרות במרחק של 12 קילומטר ובגובה מרבי של 6000 מטר<sup>59</sup> אלא שדבוקת ההתקפה של ח"א ישראלי צפויה להישאר בגובה רב מעל 5000 מטרים ולהטיל את החימוש ממרחק של 10 קילומטרים ויותר, על כן לא סביר להניח שכלים אלו יציבו סכנה של ממש למטוסים התוקפים. לעומתו מערכת ה"הוק" הישנה והטובה מסוגלת להרגיש מטרות עד גובה של 17,000 מטר ובטווח של 40 קילומטרים,<sup>60</sup> ואילו מערכת ה-SA-15 יכולה לנסות וליירט את הפצצות המונחות עצמן. בכל זאת גם מאמץ מוגבל לדיכוי מערכת ההגנה האווירית די בו כדי לצמצם את יעילותה עד מאוד.

לבסוף, איראן מצוידת בכמויות עצומות של תותחים נגד

מטוסים. אלה חסרי משמעות כלפי איומים בגובה רב ומאידך יש להם יתרון על מערכות הגנה מבוססות טילים. יתרון זה מתבטא בעמידות לאמצעי לוחמה אלקטרונית בשל היכולת לייצר כוח-אש סמיק.

השילוב של מערכות טילים ותותחי נ"מ יכול לספק הגנה מסוימת לאתרים ייחודיים. ובכל זאת חולשתן העיקרית נעוצה בשילובן ובמקרה זה לאי-שילובן, למערכת הגנה אווירית משולבת. ללא מערכת יעילה, המרכיבים לא משלימים אחד את השני, ובכך יעילותם ליירט התקפה נחושה מוגבלת עוד יותר. החשש מפגיעה עצמית יגביל את השימוש המשולב במטוסי קרב ובטילים באותה זירה.

## מסלולי התקפה

רשות הישראלים עומדים שלושה מסלולי טיסה לצורך תקיפה. הראשון הוא טיסה צפונה מעל הים התיכון, תדלוק אווירי, וטיסה מעל תורכיה עד לאיראן. השני הוא טיסה דרום מזרחית בשולי ירדן וערב הסעודית, צפון מזרח מעל עיראק (שחזור של הפשיטה על אוסיראק) עם אפשרות לתדלוק אווירי אי שם בדרך. לחילופין טיסה בתוואי צפון מזרחי מעל ירדן ועיראק. בשלישי הם יוכלו לבחור תוואי דרום מזרחי, מזרח לאורך גבול סעודיה-עיראק עד למפרץ הפרסי ומשם צפונה, שוב עם תדלוק אי-שם בדרך.

לתוואי הצפוני שלושה קטעים. הראשון הוא מבסיס ישראלי עד לגבול התורכי. ההמראה תתבצע מחצרים, חצור ורמת דוד.<sup>61</sup> לצורך החישוב נתייחס לבסיס המרוחק ביותר, חצרים. אמנם חיל האוויר יוכל לצמצם טווחים בהזת הטייסות לבסיסים צפוניים אך זה מהלך שיספק התראה למודיעין האויב. מחצרים ועד לים התיכון המרחק הוא כ-80 קילומטרים ועוד חמש מאות עד לתורכיה. הקטע השני חוצה את תורכיה ממערב למזרח מעט צפונית לגבול הסורי. הוא מתחיל מזרחית לעדנה, דרומית לדיארבקיר, ומסתיים בגבול האירני, מערבית לאורומיה, מרחק 840 קילומטרים. הקטע הסופי הוא חציית איראן לעראק, נתאנו ואיספהן. חישובנו את הנקודה הסופית כמרחק למטרה המרוחקת ביותר, במקרה זה איספהן. המרחק מאורומיה לאיספהן הוא כ-800 קילומטרים, מה שמביא את סכום אורך התוואי ל-2200 קילומטרים.

תוואי זה ארוך יותר מן הטווח הקרבי ללא תדלוק של מטוסי ההתקפה הישראליים אך יתרונו בכך שתדלוק אווירי יתבצע מעל לים התיכון. מטוסי תדלוק הם מטרה פגיעה ולכן יש יתרון גדול בתדלוק בתחום האווירי הבינלאומי. התייעוד של יכולות תדלוק אוויר של ישראל איננו שלם אך נראה שמדובר בחמישה עד שבעה מטוסי KC-707 וארבעה עד חמישה מטוסי KC 130H.<sup>62</sup> זה האחרון לא יכול לתדלק מטוסי F15 ו-F16 בשל תכנון מתקן התדלוק בתצורת נגרר, אלא אם נעשה בו שינוי או אם הוא

נושא מיכלים חיזוריים שלהם התצורה החדרנית. מטוס ה-KC-707 יכול להעביר 120,000 ליטרות של דלק סילוני במרחק של 1000 קשר (מן הבסיס) ולעשות זאת מהר מאוד.<sup>63</sup> מטוסי התדלוק יוכלו להעביר בין 12000 ל-16000 ליטרות של דלק לכל מטוס בדבוקת התקפה של חמישים מטוסים במרחק של 1000 קשר ימי מן הבסיס. מכיוון שהמרחק הצפוי הוא כ-400 קשר ימי בלבד, כמות הדלק אף עולה על האמור לעיל.

לאחר תדלוק מעל הים התיכון תוכל הדבוקה לתמרן כנגד מערכת ההגנה האווירית האיראנית מבלי לחשוש מחוסר בדלק. מאידך גיסא, התדלוק בדרך אל המטרה יהיה מוקדם במשימה, לאחר טיסה של שש מאות קילומטרים בלבד, תדלוק שיהיה מוגבל מאוד. המרחק מעדאנה לאיספהן הוא 1640 קילומטרים, קרוב מדי לטווח המרבי המוכר עבור ה-F-15. לכן יהיה הכרח לתדלק שוב בדרך הביתה. מטוסי התדלוק ימתינו בקרבת הגבול התורכי תחת חסותם של מטוסי יירוט ישראלים.

אחד החסרונות של תוואי זה הוא המעבר בסמוך למספר בסיסים של חיל האוויר התורכי, כולל שניים מן הגדולים שבהם: אינסירליק ליד עדאנה ודיארבקיר. לא ברור מה תהיה התגובה התורכית לחדירה דרך שטחה. אין ספק שהם יתרגזו כדבעי, השאלה היא האם יפתחו באש על מטוסים ישראלים. היחסים בין תורכיה וישראל משופרים למדי בתחומים הצבאי והכלכלי, גם אם השיח הפוליטי די בוטה. מאידך חברי הממשלה המוסלמית השלטת הרחיקו עצמם מישראל במידת מה.

יתר על כן, תוואי זה חולף ליד מספר בסיסים של חיל האוויר האיראני, טבריז, שרוהקי (ליד חמאדאן) קרמנשהא, חתאמי (ליד איספהאן) ו-והדאתי, סמוך לדזפול.<sup>64</sup> הבסיסים הראשיים שליד טהראן מרוחקים יותר. עובדה זו מסכנת את דבוקת ההפצה מכיוון של מספר טייסות יירוט גם בכניסה וגם ביציאה.

בהנחה שחיל האוויר הישראלי מעדיף שלא להיתקל בקשיים הדיפלומטיים הכרוכים בטיסה מעל תורכיה, הוא יוכל לבחור בתוואי החוצה את סוריה למשך מרבית הקטע של מזרח מערב. או אז יצטרך לחתוך בשמי תורכיה לזמן קצר בסמוך לגבול האיראני. אין ספק שסוריה תפתח באש על מטוסים ישראלים. בחירה בתוואי זה היא למעשה שחלוף של סיכון המשימה לטובת שיכון המחיר הדיפלומטי.

התוואי השני הוא הישיר ביותר ונושא בחובו את הסיכון הפוליטי הכבד ביותר. הוא מורכב משני קטעים, בכפוף לאופן שבו תיערך הטיסה. בחלק הראשון המטוסים יצאו מרמת דוד למפרץ אילת. זהו כלל אורכה של ישראל, לכן יתכן כי המטוסים ירוכזו בדרום מראש. כפי שצוין לעיל, אנו מניחים כי כל המטוסים יצאו מבסיסי האם. קטע ראשוני זה אורכו 360 קילומטר.

מסוכנות. הוא יוכל לבצע תדלוק מעל לשטח סעודי, תוך סיכון בהתערבות סעודית. לחילופין, התדלוק יעשה מעל למפרץ הפרסי ובכך תצומצם הסכנה. המיכליות המעופפות יצטרכו עדיין לחצות שטח סעודי, ומועמדות ליירוט על ידי מטוסי חיל האוויר האיראני מעל המפרץ. התוואי חולף ליד מספר בסיסים, בושהר, ווהדאתי, איספהאן ועבדאן (בסיס שאיננו צבאי אך בר שימוש), גם שיראז איננה רחוקה.<sup>66</sup> כל התוואים מציבים סיכונים מבצעיים ופוליטיים. טכנית, אף אחד מהם איננו בלתי אפשרי. המשך הניתוח מתבית על ההגנה האווירית האיראנית בסמוך למטרות, ללא תלות בתוואי שייבחר על ידי דבוקת התקיפה.

## עימות כוחות אפשריים

אנו מניחים כי חיל האוויר הישראלי יתקוף את מתקני הגרעין האיראניים בכוח של עשרים וחמישה מטוסי F15 ומספר זהה של F16. ניתן להעלות על הדעת כוח גדול יותר אבל זה ייצור עומס לא סביר על יכולת התדלוק ועל הבקרה. חבילה זו תורכב משלושה כוחות משימה, אחד עבור כל מטרה.

העימות של דבוקת התקיפה עם ההגנה האווירית האיראנית קשה לחיזוי. בפשיטה על האוסיראק נמלטו המטוסים מכל מגע מעבר לירי חסר תוחלת מתותחי נ"מ סביב הכור. לא סביר שחיל האוויר הישראלי יזכה למנה גדושה כזו של מזל בהתקפה על איראן, אך ליקוייה הידועים של מערכת ההגנה האווירית המשולבת מעלים את הסיכוי לעימות מצומצם.

אין מידע מדויק באשר לאיכות ותפקוד הציוד האיראני. לו יש בידה מערכת הגנה ברמת אמינות ויעילות בינונית יכולה איראן להתעמת עם חדירה ישראלית. מאידך גיסא, אם כל אלה ברמה נמוכה כי אז יוכל חיל האוויר הישראלי לסלק מעל פניו בנקל את הכוחות האיראניים.

מכיוון שאין טעם למפות את כל האפשרויות (על סמך מידע לקוי – המתרגם) התמקדנו במספר המטוסים שחייבים להגיע לכל אתר על מנת להטיל את ראשי הנפץ כפי שתוארו בבחירת כלי הנשק. מכאן נוכל להעריך את רמת השחיקה שהאיראנים יצטרכו להשיג כדי למנוע את הצלחת המשימה. רק אז נוכל להעריך באורח גס את הסבירות שכך יקרה.

אשר לנתאנו, אם כל F15 נושא עימו פצצת 113 יחידה (בגחון) בנוסף למיכלים נתיקים וטילי אוויר-אוויר, אזי 24 מטוסים יהיו חייבים להגיע לכדי הטלת הפצצות. יש לזכור כי נשיאת פצצת 113 יחידה מתחת לגחון הגוף, פותחת את האפשרות לנשיאת פצצות 109 נוספות על נקודות הנשיאה הקשיחות. פגיעה באיספהאן ובעראק דורשת מספר קטן יותר של מטוסים מטילי חימוש. אשר לאיספהאן, ששה מטוסי F16 נושאי שתי פצצות 109 יהיו

הקטע השני הוא טיסה ישירה מצפון מפרץ אילת ישירות למטרות. זו טיסה ארוכה ביותר כאשר נתאנו, הרחוקה ביותר מצויה במרחק של כ-1800 קילומטר. כלל המרחק הוא 2160 קילומטרים, לא פחות מן התוואי הצפוני. תדלוק אווירי הוא הכרחי במקום כלשהו. גם מרחק של טיסה ישירה מחצרים לנתאנו הוא 1750 קילומטר, בקצה גבול היכולת של המטוסים.

שתי החלופות הללו מחייבות שיתוף פעולה, או לפחות העלמת-עין מצידם של הירדנים ובמיוחד האמריקנים שבעיראק. התוואי השני חולף היישר מעל עמאן ובסיס אווירי עיקרי באזראק. שני התוואים חוצים את עיראק ויחייבו תדלוק אווירי מעל עיראק. כל זאת נראה כמעט בלתי אפשרי ללא משיכת תשומת הלב של האמריקנים וכנראה גם הירדנים. אמנם כל התקפה ישראלית על איראן תקבל פירוש של גיבוי אמריקני, אך תוואי זה משמעותו הוכחה ניצחת לגיבוי שכזה.

לתוואי המרכזי יתרון בחציית המרחב האווירי של איראן במידה פחותה, ובהימנעות ממגע עם טברזי, אף ששאר בסיסי חיל האוויר האיראני יוכלו ליצור מגע. מאידך גיסא, מערכת ההגנה הפרושה לאורך גבול עיראק צפויה להיות ערנית יותר מאשר זו שלאורך הגבול התורכי. התוואי השלישי עובר במרחב אווירי מוגן פחות מכל האחרים, לפחות בשלבים הראשוניים. הוא גם ארוך למדי ומציב אתגר בתחום התדלוק האווירי. התוואי נמתח מזרחה מעל צפון סעודיה למפרץ הפרסי ומשם צפון, צפון-מזרח לתוך איראן.

הקטע הראשון נמתח מרמת דוד למפרץ אילת, 360 קילומטר כפי שצוין לעיל. מאילת יחצו המטוסים את צפון ערב, דרומית לגבול העיראקי, מן החוף ליד העיר חאקל עד לחוף המפרץ ליד ראס-אל-חפגי, מרחק 1350 קילומטרים. הקטע השני חוצה את המפרץ לאיראן צפונה עד לזירת ההתקפה, מרחק של 700 קילומטרים, ובסיכום 2410 קילומטר, בהחלט התוואי הארוך ביותר משלושת התוואים שהוזכרו.

התוואי השלישי מציב אתגרים דיפלומטיים מסוג דומה לזה של התוואי הצפוני, שכן הוא חוצה מרחב אווירי סעודי ומספר בסיסי ח"א סעודי. יתר על כן, ערב הסעודית השקיעה ממון רב בבניית מערך הגנה אווירית משולבת. על הנייר מערכת זו מאוד מרתיעה. מאידך מדווח כי רמת המוכנות של הסעודים נמוכה מאוד.<sup>65</sup> נוסף על כך, מרבית ההשקעה במערכת הגנה אווירית בצפון המדינה נועדה כנגד האיום העיראקי, יש להניח כי המוכנות שם ירודה מאוד לאור העובדה כי האיום של צדאם סולק. לבסוף, לא ברור אם יעדיפו הסעודים לירות לעבר מטוסים ישראלים או לשגר מתקפה דיפלומטית רבת עצמה.

הסיכון העיקרי נעוץ בתדלוק. התוואי ארוך יותר מכל הערכה אופטימית של טווח יעיל של המטוסים. בפני חיל האוויר הישראלי תעמודנה שתי חלופות, ושתייהן



חייבים להגיע ולפרוק. בעראק יספיקו חמישה F16I שיגיעו למטרות.

מערכת ההגנה האווירית תצטרך לשחוק את הכוח הזה באופן די משמעותי על מנת למנוע ממנו להטיל את הפצצות. חיל האוויר הישראלי יוכל למנות שני מטוסי F16I העמוסים בשתי פצצות 109 עבור עראק ואיספהאן, ועדיין להשאיר עשרה מטוסים כדי לסוכך על דבוקת התקיפה. מערכת ההגנה האיראנית תצטרך להפיל שלושה מתוך שבעה התוקפים את עראק ושלושה מתוך שמונה התוקפים את איספהאן, שחיקה של 40 אחוזים. תוצאה זו היא מעבר לכל דמיון עבור היכולות האיראניות, שכן אפילו הפשיטה האסונית על פלוישטי במלחמת העולם השנייה ספגה שחיקה של 32 אחוז "בלבד". (כמובן שמדובר במספרים גדולים הרבה יותר). השוואה טובה יותר היא הלילה השלישי של הפשיטות האוויריות על האנוי בשנת 1972, סך האבדות של מטוסי B52 בגל הראשון והשלישי היו פחות מ-10 אחוזים בעוד שכלל האבדות היו 6 אחוזים.<sup>67</sup>

החולשה העיקרית היא בשחיקה אפשרית של כוח ה-F15I בהנחה שכל אחד מהם נושא פצצת 113 יחידה. במקרה זה תספיק הפלת שניים מתוך 25 (8 אחוזים) כדי לגרום לכישלון הטלת הפצצות. זה אפשרי לחלוטין. לדוגמה, מטוסי סיוע הקרקע של חיל האוויר הישראלי סבלו מאבדות קשות ביותר בימים הראשונים של מלחמת יום כיפור, עד כדי 8 אחוזים מכלל העוצמה האווירית ביום הראשון בלבד. השחיקה הממוצעת היומית של מטוסי חיל האוויר הישראלי במהלך כל העימות הייתה 3 אחוז בלבד.<sup>68</sup>

השוואה מתאימה יותר היא הפשיטה האמריקנית על לוב בשנת 1986. תקיפה זו שכונתה "ערוץ אל-דורדו" דומה במידה רבה להצעת ההתקפה הישראלית. הכוח היה דומה במספרו (במקרה זה 24 מטוסי אף 111) בטיסה ממושכת ביותר מאנגליה, סביב צרפת, מעל לים התיכון. התכונה התקשורתית לקראת התקיפה הייתה בעוצמה הנונת אזהרה מוקדמת לא פחותה מזו שיש בידי איראן. רק מטוס אמריקני אחד נפגע, חישוב שחיקה של כארבעה אחוזים.<sup>69</sup> האמינות היא כמובן שאלה פתוחה בכל האמור במטוסים ובחימוש. מספיק שרק F15I יחיד לא יצליח להשלים את משימתו בשל בעיות אמינות כדי שהאיראנים יצטרכו להוריד רק מטוס אחד. אם שניים יכשלו לא יצטרכו האיראנים לפגוע ולו במטוס אחד. יתר על כן, חיל האוויר האיראני לא חייב להפיל מטוס. מספיק שיעסיק אותו בעוצמה הדרושה כדי שישליך את הפצצות כדי לתמוך. זה קרה בווייטנאם, לא פעם, למטוסי תקיפה אמריקניים. כאשר היתרון של בקרת יירוט טובה וכוח אש של טילי קרקע-אוויר בידו, יכול חיל האוויר האיראני להשיג תוצאות דומות. לעומת זאת, גם אם כל המטען המחושב למטרת הרס

מוחלט של נתאנו לא יגיע ליעדו תספוג תכנית הגרעין האיראנית מכה מעכבת. מספיק שפצצה גדולה אחת תתפוצץ בכל אולם סרכזות כדי לעצור את פעילותו, ואם אחת מהן אכן פועלת יזוהם האולם באורניום פלואוריד. מעבר לכך, כדי לאבטח את השמדת המתקן החיוני יוכל חיל האוויר הישראלי להקצות יותר משאבים לנתאנו, כפי שיתואר בהמשך.

לבסוף, מערכת ההגנה האווירית של איראן הוכיחה יעילות מוגבלת מאוד כנגד חיל האוויר העיראקי במלחמת איראן-עיראק 1980-1988.<sup>70</sup> חוסר הצלחה שכזה כנגד חיל אוויר שאיכותו מפקפקת ביותר, בשילוב עם התיישנות של מערכות נשק כדוגמת ה"הוק", מורידה את הסבירות שהאיראנים יוכלו להתמודד עם חיל האוויר הישראלי באופן יעיל. עובדות אלה מוסיפות לביטחון בהצלחת המשימה.

חיל האוויר הישראלי יוכל להעצים את התקפת מטוסי F15I על נתאנו על ידי הקצאת מטוסי F16I החמושים בפצצות 109 לתקוף את אותן נקודות שכבר ספגו פגיעת תחמיש ה-113. למרות שפצצת 109 פחות חודרת מאחותה הגדולה, היא עודנה נשק רב עוצמה. בהנחה כי ששה מטוסי F16I יוקצו להעצמת ההתקפה, אפשר להטיל עוד שתי פצצות 109 על כל נקודת פגיעה של ה-113. התוצאה היא סיכוי של מעל 0.8 שלפחות תחמיש אחד יחדור ויפצח את מתקן נתאנו.<sup>71</sup> כמות חומר הנפץ שמכילים שני ראשי הנפץ הללו דומה למדי כך שהסבירות להרס שלם תעלה באורח משמעותי.

נוסף על כך, כפי שכבר צוין, כל אחד ממטוסי ה-F15I יכול לשאת שתי פצצות 109 נוסף על פצצת ה-113 הנישאת מתחת לגחון. בהנחה שכל מטוס נושא פצצת 113 יחידה ושתי פצצות 109, דבוקת הפצצה של עשרים וחמישה מטוסי F15I תישא עמה עשרים וחמש פצצות 113 וחמישים פצצות 109. שתיים מהן ישמשו להרס המתקן העל-קרקעי אך כל השאר יוטלו לפיצוח המתקן התת-קרקעי. גם אם מערכת ההגנה האווירית תשיג שחיקה של 40 אחוזים מן הכוח, חמש עשרה פצצות 113 ושלושים פצצות 109 יגיעו אל מטרותן, גם ללא העצמה של מטוסי F16I. בכך יכונו ארבעה תחמישים לכל אחד מ-12 נקודות המטרה (שש בכל אולם) וכך ניתן להקצות את מטוסי ה-F16I להעסקת מערכת ההגנה האווירית ולקרבות אוויר.

## סיכום

א יינו מייחסים להערכה דלעיל ערך מוחלט בנוגע ליכולת הישראלית להרוס את מתקני הגרעין של איראן. אלא שהערכה זו מאפשרת לומר שחיל האוויר הישראלי, לאחר תהליך התעצמות והתחדשות, יכול להרוס גם מטרות מוקשחות וממוגנות היטב בשטח

## נספח :

### הערכות של טווח מבצעי והטלה עוקבת של פצצות

טווח ההעברה (ferry range) (המרחק שמטוס יכול לטוס בכיוון אחד ללא תדלוק) עבור F15E, המצויד במכלים קבועים ושלושה מכלים נתיקים, שנמסר על ידי חיל האוויר האמריקני, הוא 3840 קילומטרים. יש מקורות הטוענים לטווח אמיתי של 5600 קילומטר. ספר "גיינס, כל מטוסי העולם" רושם נתון של 4445 ק"מ. במושגים של טווח מבצעי, הטווח המצוטט פעמים רבות עבור מטוס זה הוא 1270 ק"מ, עם מכלים קבועים וחימוש מלא. הטווח מוארך על ידי שחלוף שני כלי נשק במכלים נתיקים. אפשר להעריך די בפשטות, על ידי השוואה של משקל הדלק בנוכחות מכלים קבועים (כ-23000 ליטרות) לעומת משקל בנוכחות שני מכלים נתיקים של 610 גלון (כ-31000 ליטרות). היחס המחושב הוא 1.35 וכאשר זה מוכפל בנתון של 1270 ק"מ מתקבלת התוצאה של 1700 ק"מ. הערכה זו מתיישבת גם עם ההערכה הרשמית של טווח העברה, שכן בנוכחות מכלים מלאים ושלושה נתיקים המטוס נושא 35300 ליטרות של דלק, ביחס של 1.53. חישוב מראה על טווח מבצעי של 1900 ק"מ או טווח העברה של 3800 ק"מ. הנתון של טווח העברה מוציא מגדר המשימה את הצורך בתמרון, ומאידך גיסא הערכה זו היא שמרנית למדי. יש מקורות המעריכים את הטווח הקרבי ב-1800 ק"מ ולכן גם הטווח הרשמי של 1700 ק"מ הוא נתון שמרני. ברוגט (BREUGET) מחשב הערכה המבוססת על הטווח שפורסם של F15E, צריכת דלק יחידנית של 0.9, טיסה במהירות קבועה של 700 קשר, קבועי עילוי ידועים, יחס עילוי למשיכה של 6.193, משקל המראה של 80,000 ליטרות עם 30,000 ליטרות של דלק. כל אלה מחושבים לטווח קרבי של 1800 קילומטרים וזאת מבלי להתחשב בהשתחררות ממשקל החימוש.

מטוס F16D שעליו מבוסס דגם ה-I, נהנה מיכולת לאצור כמעט 5900 ליטרות של דלק, וטווח מבצעי של 540 קילומטרים. בתוספת של מכלים קבועים, מכל גחון של 300 גלון ושני מכלים של 600 בכנפיים, יכול F16I לשאת 19,000 ליטרות של דלק. אם נפעיל את אותה שיטת חישוב נגיע ליחס של 3.22 ולכן לטווח מבצעי של 1730 ק"מ. בשל העובדה שמכלים קבועים יוצרים גרר אוויר פחות בהרבה מזו של מכלים נתיקים, סביר להניח כי הטווח גדול אף יותר. מקור אחד לפחות, מרכז יפה, מוסר נתון של 2100 ק"מ, לכן הנתון המחושב הוא כנראה שמרני. ספר "גיינס", כל מטוסי העולם" מדווח על טווח מבצעי של 1361 ק"מ, במתווה קרבי של גבוה-נמוך-נמוך-גבוה, עבור דגם F16C מבלוק 50, המצויד במכלים קבועים, מכל גחון של 300 גלון ושני מכלים נתיקים של 370 גלון (בערך 17,100 ליטרות של דלק) וזאת בעוד הוא נושא שתי פצצות של 2000 ליטרות

איראן במידה סבירה של ביטחון. בהתעלם מן הדיון של כדאיות ההתקפה לנוכח התגובה הדיפלומטית של איראן, נראה כי לישראל שלוש חלופות להתקפה אווירית על שלושה מן הצמתים החיוניים של תכנית הגרעין האיראנית. למרות שכל אחת מן החלופות מציבה אתגרים מבצעיים ומדיניים אנו טוענים שחיל האוויר הישראלי יכול לבצע. המבצע לא נראה מסוכן יותר מן הפשיטה על הכור באוסיראק, ותועלתו שווה לפחות בכל האמור בהשגת תכנית הגרעין האיראנית. אפשר כי הרווח הזה איננו שווה את המחיר בסיכון מבצעי ומדיני. ולמרות הכל הערכה זו מספקת יסוד להניח כי לממשלת ישראל היכולת הטכנית להוציא אל הפועל את הפשיטה עם סיכויים טובים להצלחה. השאלה, אם כך, מתמקדת ברצון ובחישובים יחידניים.

באופן יותר כללי, הערכה זו מדגימה את היכולות והמגבלות של שימוש בנשק מתוחכם כנגד הפצת הטכנולוגיה הגרעינית. בהנחה שיש מודיעין טוב על מטרות, יכולים כלי הנשק המונחים למלא תפקיד חשוב בהרס המטרות ברמה גבוהה של ביטחון, ובכך להקטין את כוחות המשימה ואת הסיכון לסגל ולציוד. למרות מגבלות קיימות, במיוחד כנגד מטרות מוקשחות, היכולות של תחמישים מונחים השתפרו לאין שיעור, במיוחד בנוכחות של הגנה אווירית חלושה. אין לבטל אם כך את החלופה של התקפה אווירית לצורך מניעת ההפצה.

הערכה זו מאירה באור יקרות את החיוניות של מודיעין אודות המטרה. במקרים רבים היכולת לתקוף ולהשמיד מטרות של נשק להשמדה המונית חשובה פחות מן היכולת למצוא אותן, או להסתיר את מיקומן. טוב יעשו המופקדים על מניעת הפצתו של נשק גרעיני אם ישקיעו רבות באיסוף והערכת מודיעין, בעוד שמפתחי הנשק הגרעיני צפוי שישענו על הסתרה ופיזור, ולא על הקשחת המטרות.

יתר על כן, בהערכה זו אנו מראים כי היכולת הטכנית לבצע מתקפה מחוירה לעומת הבעיה של "היום שאחרי". בימים שבהם תקפה ישראל את האוסיראק הייתה עיראק מעורבת במלחמה עקובה מדם נגד איראן אשר הגבילה את יכולתה להגיב בעצמה. כיום, כאשר עיראק בתוהו ובוהו, בעוד שחיזבאללה המחוזק בלבנון משמש כממלא מקום איראן, ונוכח העלייה במחירי הנפט, איראן הנוכחית מצוידת באמצעים רבי עצמה לפגוע גם בישראל וגם בארצות הברית. אף שחיל האוויר הישראלי יכול להרוס את אתרי ההתגרענות של איראן (ובאופן הגיוני יכול ח"א אמריקני לעשות זאת באותה מידה) ואכן לעכב באופן משמעותי את התכנית, התגובה הצפויה מצד איראן להתקפה מעין זו עלולה להניא את קובעי המדיניות מלאחזו בנשק. גם אם האמצעים הצבאיים יעילים יש חובה לאחוז באמצעים מדיניים וכלכליים אם ברצון המנהיגות למנוע את הפצתו של הנשק הגרעיני.

ושני טילי אוויר-אוויר מדגם "סיידווינדר". הערכה זו עולה בקנה אחד עם נתונים רשמיים של חיל האוויר האמריקני הטוען לטווח העברה העולה על 3200 קילומטרים בנוכחות שני מכלים של 600 גלון ועוד שניים של 370 גלון במשקל כולל של 18,700 ליטרות, יחס של 3.28. חישוב זה מעלה טווח מבצעי של 1770 קילומטרים וטווח העברה של 3540 קילומטרים.

## חדירת פצצות עוקבות

פגיעה עוקבת של פצצות מחושבת על פי המשוואה  $Pk=1-0.05(LR/cep)$  כאשר Pk מייצג את הסבירות לנחיתה מדויקת בתוך הרדיוס הקטלני (LR) של המטרה. נוסף על כך, הפיזור שאיננו על פי גאוס של פצצות מונחות לייזר מסומל על ידי חלק הפצצות שפוגעות ללא טעות, בנקודה שאליה כווננו. הרדיוס הקטלני הוא רדיוס המכתש לכן גם החטאה קרובה היא בתחום המכתש. במקרה של שתי החטאות קרובות הרדיוס הקטלני הוא מחצית (מזה של פגיעה מושלמת), ובמילים אחרות אם הפצצה הראשונה פוגעת במרחק של חצי רדיוס-קטלני מנקודת המכוון, השנייה תפגע אל נכון בתוך הרדיוס הקטלני אם תפגע במרחק של חצי רדיוס-קטלני מנקודת המכוון. על רקע ההנחות הללו נוצרות ארבע סבירויות. פגיעה-פגיעה, פגיעה-החטאה, החטאה-פגיעה והחטאה-החטאה. סך כל הסבירויות הללו מסתכם ב-0.56, וכאשר מספר זה מוכפל באמינות מצטברת 0.9 כפול 0.9 שווה 0.81 הסבירות להשיג פגיעה קטלנית היא 0.45. ההנחה היא של רוחב המכתש של 0.37 מטר של פצצת GBU-28 במשולב עם השפעת הפיצוץ המרסק את האדמה שמסביב לפיצוץ, בתוספת אוורור ההדף דרך החדירה של ראש הנפץ. האמור לעיל צפוי ליצור נזק מבני שיספיק לפצצת ה-113 העוקבת לחדור בקלות אם תפגע במרחק של 3.6-1.8 מטרים (10-20 קטרי הפצצה עצמה) מנקודת החדירה של הפצצה הראשונה. חישובים אלה לקוחים מ: C.R. Andereg, *Sierra Hotel: Flying Airforce Fighters in the Decades after Vietnam*, Washington, DC: Air Force History and Museums Program, 2001; Morris Drells, *Weaponizing: Conventional Weapons System Effectiveness*, Reston, VA: American Institute for Aeronautics and Astronautics, 2004.

**הערות המתרגם, ד"ר יובל ברנדשטר, והיועץ לענייני תעופה אל"מ (מיל.) יהואר גל אשר השתתף בעצמו בפשיטות ארוכות טווח של חיל האוויר הישראלי.**

א. המסקנה העיקרית של המאמר היא כי אין מניעה טכנולוגית לבצע התקפה יעילה על מתקני הגרעין של איראן, כזו אשר תשתק או תעכב את השגת הנשק הגרעיני לשנים רבות. המניעה שייכת

לתחום המדינאות בלבד. כאן המקום לצטט את הסנטור מק-קיין, טייס קרב הפצצה בעצמו, אשר נפל בשבי הווייט-קונג וסירב להשתחרר עד אשר שוחררו כל עמיתיו. הסנטור הוא מועמד אפשרי של המפלגה הרפובליקנית לנשיאות ארצות הברית, וכה אמר: "יש רק דבר אחד רע ממלחמה נגד איראן, וזו איראן גרעינית". ביכולתו של חיל אוויר הישראלי להטיל חימוש על כל מקום על פני הגלובוס. יכולת זו הייתה קיימת כבר ב-1985, בפשיטה על תוניס, טווח של ארבעת אלפי קילומטרים, קל וחומר ביעדים שטוח הטיסה אליהם כאלפיים קילומטרים. ■

ב.

## הערות

1. See William Burr and Jeffrey T. Richelson, "Whether to 'Strangle the Baby in the Cradle': The United States and the Chinese Nuclear Program, 1960-64", *International Security*, Vol. 25, No. 3, Winter 2000/01, pp. 54-99.
2. Seymour M. Hersh, "The Iran : רבות נאמרה על ידי : Seymour M. Hersh", *New Yorker*, April 17, 2006, pp. 30-37.
3. בשנת 2002 חשפה "ועידת ההתנגדות הלאומית של איראן" את סוד "Mullahs' Top Secret Nuclear Site and WMD Projects Exposed at NCRI Press Conference", *Iran Liberation*, August 19, 2002, pp. 1-4; על הפעילות הגרעינית של איראן. בנאום שנשא (IAEA) מאז דיווחה הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה אטומית יושב ראש הסוכנות מוחמד אל בראדעי בפני עצרת האו"ם ב-2006 הוא אמר כי "הסוכנות לא מסוגלת להוכיח את האופי רודף-השלום של התכנית הגרעינית של איראן". אמרה זו צוטטה ב-Statement to the sixty-first regular session of the United Nations General Assembly", NY, October 30, 2006.
4. פניות דיפלומטיות של צרפת גרמניה ובריטניה התמקדו במתן חיוקים חיוביים לאיראן תמורת עצירת התכנית לעיבוד והעשרת הגרעין. מאמצים אלו נכשלו למרות הכל, והאו"ם הצביע פה אחד לכפות עיצומים על איראן בסוף שנת 2006. "Iran Rebuffs UN, Vows to Speed Up Uranium Enrichment", *Washington Post*, December 25, 2006.
5. See, for example, Uzi Mahnaimi and Sarah Baxter, "Israel Readies Forces for Strike on Nuclear Iran", *Sunday Times* (London), December 11, 2005, <<http://www.timesonline.co.uk/article/0,2089-1920074,00.html>>; Ian Bruce, "Israelis Plan Pre-emptive Strike on Iran", *Herald* (London), January 10, 2006, <<http://www.theherald.co.uk/news/53948.html>>; and Josef Federman, "Israeli Hints at Preparation to Stop Iran", *Washington Post*, January 22, 2006.
6. For details on the 1981 raid, see Rodger W. Claire, *Raid on the Sun: Inside Israel's Secret Campaign That Denied Saddam the Bomb*, NY: Broadway Books, 2004; and Shelomoh Nakdimon, *First Strike: The Exclusive Story of How Israel Foiled Iraq's Attempt to Get the Bomb*, NY: Summit Books, 1987.
7. עבודות עדכניות ניסו לעסוק בסוגיית מכת המנע ותוצאותיה הצפויות אך לא העריכו כלל את היכולות הישראליות כנגד הגנה איראנית. במקום זאת נאמרה אמירה סתמית כי התקפה על מתקנים איראנים תהיה קשה יותר מאשר על האוסיראק. ראה: Sammy Salama and Karen Ruster, "A Pre-Emptive Strike on Iranian Nuclear Facilities: Possible Consequences", Center for

- Austin Long, "Osirak Redux? Assessing Israeli Capabilities to Destroy Iranian Nuclear Facilities", *International Security*, Cambridge, MA: Security Studies Program, Massachusetts Institute of Technology, April 2006, <<http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/isec.2007.31.4.7.html>> .
- CIA, "The : אודות החששות האמריקניים בשל הכור בבושה ראה: The Unclassified Report to the Congress on the Acquisition of Technology Relating to Weapons of Mass Destruction and Advanced Conventional Munitions", January 1 through June 30, 2002, <[http://www/cia.gov/cia/reports/archive/reports\\_2002.html](http://www/cia.gov/cia/reports/archive/reports_2002.html)> .
- בושה לא נחשבת חיונית לתכנית הגרעין של איראן מארבעה טעמים: הפלוטוניום שמוצר בכור סובל מאיכות ירודה ביותר לצורך הפיכה לנשק אטומי. החשש מפני זליגת טכנולוגיה הולך ושוך ככל שהמתקן בבושה מתקרב להשלמה. איראן חתמה על הסכם להשיב לרוסיה דלק שסיים את תפקידו והמתקן מצוי תחת פיקוח מדוקדק של הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה אטומית ללא מחאות מצד הפקידים האיראנים. ראה: Harmon W. Hubbard, "Plutonium from Light Water Reactors as Nuclear Weapon Material", Washington, DC: Nonproliferation Policy Education Center, April 2003, <<http://www/npec-web/org/essays/2003-4-01Hubbard.pdf>> .
- לישראל מספר צוללות ממשפחת דולפין מונעות בדיוק אשר מסוגלות לירות טילי שיוט מדגם הרפון-צוללות, וכן טילי שיוט מדגמי פופי וגבריאל. ראה: Jane's Underwater Warfare Systems Electronic Database Entry for "Dolfin", March 2006.
- ייצור מתכת האורניום מתרחש לאחר העשרת אורניום 6 פלואוריד. הגו אשר הועשר באורניום 235 שב למתקן העיבוד UCF על מנת להפוך שוב למתכת האורניום.
- נכתב בסוגריים בגוף הטקסט.
- פלוטוניום הוא תוצר לוואי של כל כור המופעל באמצעות אורניום. מאידך, בכל הכורים האחרים הפלוטוניום המופק איננו באיכות נשק אטומי.
- מנהל הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה אטומית "ייושם הסכם האבטחה של האמנה למניעת הפצתו של הנשק הגרעיני ברפובליקה האסלאמית של איראן GOV/2003/63.
- כל זאת בהנחה שאין עוד בנמצא כורים גדולי ממדים אשר יוכלו להשתמש במים כבדים כגורם ממתן כדי להפיק פלוטוניום מדלק גרעיני שגמר את חייו.
- אודות העדיפות לטיסה בגובה רב ראה: Barry R. Posen, "Command of the Commons: The Military Foundation of US Hegemony", *International Security*, Vol. 28, No. 1, Summer 2003, pp. 5-46.
- CEP הוא מדד תקני לדיוק הטלת חימוש ומוגדר כרדיוס של מעגל מסביב לנקודת המכוון שמחצית מן החימוש שיוטל פוגע בתוכו. הדיוק של הפצצה מבוקרת-מחשב תלוי במספר משתנים שמייצרים החטאה. יתר על כן, מכיוון שהפצצה איננה מונחית, הטעות מתרחבת עם המרחק. ה-CEP שצוטט, של: 8-12 מטרים נחשב למיטבי בנוכחות הטלת החימוש במרחק של 2 קילומטרים. למידע נוסף על התיאוריה שמאחרי חישוב טעות בהפצצת מבוקרת-מחשב ראה: Morris Drells, *Weapon Engineering: Conventional Weapons System Effectiveness*, Reston, VA: American Institute for Aeronautics and Astronautics, 2004, pp. 70-93.
- See Jane's Air-Launched Weapons Electronic Database Entries for "JDAM" and "Paveway III Penetration Bombs", November 2006 המעטפת היא נקודה או אזור תלת-מימדי שעל המטוס להיות בו בזמן הטלת החימוש כדי יפגע במטרה.
- לסיכום של חימוש חודר ומפצח ראה: Clifford Beal and Bill Sweetman, "Striking Deep: Hardened-Target Attack Options Nonproliferation Studies Research, August 12, 2004, <<http://cns.mils.edu/pubs/week/040812/htm>> and Yiftah Shapir, "Iranian Missiles: The Nature of the Threat", *Tel Aviv Note*, No. 83, Tel Aviv: Jaffee Center for Strategic Studies, TA University, 2003, <<http://www.tau.ac.il/jcss/tanotes/TAUnotes83.doc>> .
8. שצוטטה רבות היא, דוגמה: "How Good is American Intelligence on Iran's Bomb?", *Yale Global Online*, June 13, 2006, <<http://yaleglobal.yale.edu/display.article?id=7553>> .
9. אפשר לדמיין השוואה של ארצות הברית המנסה לפתח שתי "תכניות מנהטן" בשנות הארבעים המוקדמות.
10. See George W. Bush, *The National Security Strategy of the United States of America*, Washington, DC: White House, September 2002, sec. 5, <<http://www.whitehouse.gov/nsc/nss.html>> . The 2006 version does not differ on this point. See George W. Bush, *National Security Strategy of the United States of America*, Washington, DC: White House, March 2006, <<http://www.whitehouse.gov/nsc/nss/2006>> .
11. התקציר שאוב בעיקרו מ: Claire, *Raid on the Sun*.
12. Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons, <<http://www.un.org/events/npt2005/npttreaty.html>> , especially art. 4.
13. Reza Aghazadeh, "Iran's Nuclear Policy: Peaceful, Transparent, Independent", נאומו של סגן הנשיא של איראן, בוועדה לאנרגיה אטומית, וינה, אוסטרית 6 במאי 2003, "התכנית הגרעינית של איראן, למטרות שלום, שקופה ועצמאית".
14. הסבר לפעילות קדומנית ואחורית בטקסט עצמו. לפרטים נוספים ראה: Ronald Allen Knief, *Nuclear Engineering: Theory and Technology of Commercial Nuclear Power*, 2nd ed., NY: Hemisphere, 1992.
15. אורניום באיכות של נשק אטומי הוא מעל 93 אחוזים של אורניום 235. ראה: Owen R. Cot, Jr., "A Primer on Fissile Materials and Nuclear Weapon Design", in Graham T. Allison, Richard A. Falkenrath and Steven E. Miller, *Avoiding Nuclear Anarchy: Containing the Threat of Loose Russian Nuclear Weapons and Fissile Material*, Cambridge, MA: MIT Press, 1996. For information on Iran's plutonium production, see Iran Watch, "Latest Developments in the Nuclear Program in Iran, in Particular on the Plutonium Way", presentation by France, Nuclear Suppliers Group 2003 Plenary Meeting, Pusan, Republic of Korea, May 19-23, 2003.
16. אלא אם יאמר אחרת, התקציר אודות הפעילות הגרעינית של איראן נלקח מאחד מן המקורות הבאים: Director-General, IAEA, "Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran", GOV/2004/11, Vienna: IAEA, February 24, 2004; Director-General, IAEA, "Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran", GOV/2003/63, Vienna: IAEA, August 26, 2003; and Director-General, IAEA, "Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran", GOV/2003/75, Vienna: IAEA, November 10, 2003.
17. Andrew Koch and Jeanette Wolf, "Iran's Nuclear Facilities: A Profile", Monterey, CA: Center for International Studies, Monterey Institute of International Studies, 1998, <<http://cns.mii.edu/pubs/reports/pdfs/iranrpt.pdf>> .
18. אחד המומחים זיהה "יותר מ-400 אתרים מעניינים מבחינה צבאית אלא שלא כולם זוהו כאתרים גרעיניים ראה: Hersh, "The Iran Plans"; and James Fallows, "Will Iran Be Next?", *Atlantic Monthly*, December 2004, pp. 99-110.
19. For a more detailed analysis of Iran's nuclear infrastructure in the context of nuclear weapons development, see Whitney Raas and

העלאה בריבוע של סבירות זו נותנת את הסיכוי לשלש פגיעות בכל אולם של 0.44 בעוד שלשתי פגיעות הסיכוי עולה ל-0.84.

44. See "Esfahan/Isfahan Technology Center", in "Weapons of Mass Destruction", <<http://www.globalsecurity.org/wmd/world/iran/esfahan-imagery-tunnel2.htm>>.
45. תאור זה מבוסס על הדימות ב- <[http://www.globalsecurity.org/wmd/world/iran/esfahan\\_comp-zonea.htm](http://www.globalsecurity.org/wmd/world/iran/esfahan_comp-zonea.htm)> וכן על צילומים המופיעים ב: Jane's Sentinel Eastern Mediterranean Electronic Database Entry for "Israel", October 2005.
46. בעת פיצוץ של 240 הקילוגרם של טריטונאל המוכלים בתוך פצצת 109 יופק לחץ יתר של PSI 10 המספיק לרסק מכלים במרחק של 20 מטרים.
47. כפי שנאמר לגבי הסרכוזות של נתאנו ישנם מומחים הטענים כי סף הניק למתקן העיבוד באיספהאן נמוך בהרבה. הנרי מצייני כי סוכן שרות הביון האמריקני Ruel Marc Gerecht טוען כי מספיק מטען המצוי בתרמיל גב כדי ליצור נוק חמור בתוך מתקן איספהאן. Henry: *The Covert Operation*.
48. ראש הנפץ של GBU-10 במשקל 428 ק"ג טריטונאל יפיק PSI 15 של לחץ-יתר המספיקים כדי להרוס את מגדלי ההפרדה של נפט שבהם השתמשו לדימוי, במרחק של כ-21 מטרים. שלושה כלי נשק יודאו שכל הדבוקה תכוסה ברמה זו של לחץ-יתר.
49. See Associated Press, "Israel Calls Bombing a Warning to Terrorists", *The New York Times*, October 2, 1985.
50. הערכה זו מבוססת על רכש מחברות בואינג ולוקהיד-מרטין. שני מטוסי F16 נמסרו בחדש פברואר 2004 ומאו נמסרו שניים בכל חודש. הערכות הן שכלל המטוסים מדגם זה שנמסרו עד סוף שנת 2004 הם 20-18. רושם כי חיל האוויר החל תהליך של רכש 50 מטוסים בנובמבר 2003 אשר היה צריך להסתיים בסוף שנת 2005. ראה: F16 סופה, <<http://www.globalsecurity.org/military/world/israel/f-16i.htm>>; Jane's Sentinel Eastern Mediterranean Electronic Database Entry for "IAF", August 2005; and "Transfers and Licensed Production of Major Conventional Weapons: Imports Sorted by Recipient. Deals with Deliveries or Orders Made in 1994-2004", Stockholm International Peace Research Institute, <[http://www.sipri.org/contents/armstrad/REG\\_IMP\\_ISR\\_94-04.pdf](http://www.sipri.org/contents/armstrad/REG_IMP_ISR_94-04.pdf)>.
51. חישובים מדויקים בנספח והערות.
52. חישובים נוספים בנספח והערות.
53. אנתוני קורדסמאן מספק סקירה עדכנית על הארגון של צבא איראן. "התפתחות היכולת הצבאית של איראן". See Anthony H. Cordesman, "Iran's Developing Military Capabilities", draft paper Washington, DC: Center for Strategic and International Studies, 2004.
54. הערכה זו נלקחה בעיקר מן המקור דלעיל עמודים 25-28; Jane's World Air Forces Electronic Database Entry for "IRIAF", November 2006; Jane's World Armies Electronic Database Entry for "Iran", October 2006; and "Air Force" in "Military", <<http://www.globalsecurity.org/military/world/iran/airforce.htm>>.
55. כדי לקבל מושג אודות היתרון שמכ"ם מסוג זה מקנה ראה: Marshall Michel III, *Clashes: Air Combat over North Vietnam, 1965-1972*, Annapolis: Naval Institute Press, 1997.
56. See Jane's Land-Based Air Defense Electronic Database Entry for "HAWK", October 2006.
57. See Jane's Sentinel Gulf States Electronic Database Entry for "Iran", October 2005.
- Grow", *Jane's International Defense Review*, Vol. 27, No. 7, July 1994, pp. 41-44.
32. See Jane's Air-Launched Weapons Electronic Database Entry for "PB 500A1", February 2007.
33. "American Sale of New Bombs to Israel Sends Message to Iran", *Times* (London), September 22, 2004. For details, see Jane's Air-Launched Weapons Electronic Database Entry for "BLU-109" יכולת החדירה המדווחת היא 1.8 עד 2.4 מטרים של בטון מזוין בתלות בזווית הפגיעה.
34. "Pentagon Notifies Congress of Potential 'Bunker Buster' Sale to Israel", *Defense Daily*, April 29, 2005. For details, see Jane's Air-Launched Weapons Electronic Database Entry for "Paveway III Penetration Bombs", February 2007 מטרים לפחות ובשלושים מטרים של אדמה.
35. Tim McGirk, "Israel and the Bombs", *Time*, August 14, 2006.
36. See Jane's Sentinel Eastern Mediterranean Electronic Database Entry for "IAF", August 2005.
37. See "Natanz", in "Weapons of Mass Destruction", <<http://www.globalsecurity.org/wmd/world/iran/natanz.htm>>; and David Albright and Corey Hinderstein, "The Iranian Gas Centrifuge", "Uranium Enrichment Plant at Natanz: Drawing from Commercial Satellite Images", Washington, DC: Institute for Science and International Security, March 14, 2003, <[http://www.isis-online.org/publications/iran/natanz03\\_02.html](http://www.isis-online.org/publications/iran/natanz03_02.html)>.
38. See Eliot Cohen, *Gulf War Air Power Survey*, Washington, DC: Office of the Secretary of the Air Force, 1993, Vol. 2, pt. 1, pp. 240-241 אמריקני שקל הטלת עד ארבעה ראשי נפץ על כל נקודת-מכוון על מנת לפצח מתקנים במעבה האדמה. נאמר לכותבי מאמר זה כי הטכניקה נוסתה בהצלחה כנגד מחסן תת קרקעי של מטוסים בשדה תעופה פודגוריקה, במונטנגרו, במהלך מבצע "עוצמה מאוחדת" בשנת 1999, אך לא ניתן לוודא את הדיווח ממקורות גלויים.
39. Quoted in Alon Ben-David, "Paveway III Sale to Bolster Israeli Strike Capability", *Jane's Defence Weekly*, May 4, 2005. יש לשים לב לעובדה כי בשונה מפצצות מונחות לייזר מדורות קודמים, הפצצות המודרניות כוללות ניווט אינרציאלי וניווט לווייני. לכן, אם האות של הלייזר נעלם בשל אבק או עשן בשל הפצצה הראשונה תמשך השנייה לעקוב אחר הראשונה בדיוק מרבי.
40. ראה התוסף לחישובים שלנו. 0.45 הוא קו-אמצע של החישוב אשר מתפרש בין 0.1-0.7.
41. כל פצצת BLU-113 מכילה 306 קילוגרם של טריטונאל. על פי מתאר הפיצוץ הידועים של TNT, העובדה שטריטונאל שווה 1.07 של TNT, והנוסחה לחישוב לחץ במרחק היא  $Z = D/W^{1/3}$  חישבנו כי כל פיצוץ של BLU-113 יפיק לחץ יתר של PSI 3 במרחק של 41 מטרים ממוקד הפיצוץ באוויר החופשי. שלושה פיצוצים יכסו 50-65 אחוז מאולם הסרכוזות ברמה זו של לחץ-יתר שמספיקה להרוס בניין עץ תקני. מידע אודות רגישות לקוח ממשד ההגנה: *Physical Vulnerability Handbook*, Washington, DC: Defense Intelligence Agency, 1974, declassified.
42. ציטוט מפיו של המומחה למניעת הפצתו של הנק הגרעיני ג'ון וולפשוטאהל: "כאשר הזרם החשמלי המניע את המגנט מתנווד תוכל לגרום לכך שהסרכוזת תעוף החוצה מן הזיווד ותשתולל בתוך האולם כמו כדור של כדורת ותהפוך על פניהן את כל שאר הסרכוזות." ראה: Henry, "The Covert Option: Can Sabotage and Assassination Stop Iran from Going Nuclear?", *Atlantic Monthly*, December 2005, p. 56.
43. סיכום תוצאות הנוסחה הבינומיאלית עבור K של 0, K של 1 ו-K של 2 כאשר הסבירות היא 0.45 וה- $6 = N$  אפשר להוכיח כי הסבירות המסוכמת של השנת 0, 1, או 2 היא 0.44. אחרי שמפחיתים את הסכום מ-1 מקבלים סבירות של שלוש הצלחות לכל אולם של 0.56.

Eliot A. Cohen and John Gooch, *Military Misfortunes: The Anatomy of Failure in War*, NY: Free Press, 1990, pp. 104, 110.

See Joseph T. Stanik, *El Dorado Canyon: Reagan's Undeclared War with Qaddafi*, Annapolis: Naval Institute Press, 2002.

See Efraim Karsh, "The Iran-Iraq War: A Military Analysis", Adelphi Paper, No. 220, London: International Institute for Strategic Studies, 1987, p. 40; and Anthony H. Cordesman, *The Iran-Iraq War and Western Security, 1984-1987: Strategic Implications and Policy Options*, London: Jane's, 1987, pp. 114-115, 131, 135.

.71 הסבירות של שתי פגיעות ישירות מתוך 4 ראשי נפץ, (שניים של 0.65 ושניים של 109) היא 0.8 בהנחה של אמינות של 0.9 וסיכוי של 0.113 לפגיעה ישירה. חישוב זה לא מתייחס לסיכוי להחטאה קרובה של שתי פצצות 113 ושתי פגיעות של 109.

## הערות לנספח

- For data in the appendix, see John Anderson, *Introduction to Flight*, 5th ed., Boston: McGraw-Hill, 2005; Jane's All the World's Aircraft Entry for "F-15" and "F-16"; "F-15E Strike Eagle", < <http://www.af.mil/factsheets/factsheet.asp?fsID?102> >; "F-15 Eagle", in "Military", < <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-15-specs.htm> >; Jaffee Center, "Air Force Equipment", in "Middle East Military Balance", < <http://www.tau.ac.il/jcss/balance/airf.pdf> >; "Air Force Equipment F-15E 'Strike' Eagle Long-Range Interdiction Fighter, USA", < <http://www.airforcetechnology.com/projects/f15/> >; "F-15E Strike Eagle", < <http://www.f-15estrikeeagle.com/weapons/loadouts/oif/oif.htm> >; "F-16 Fighter Falcon", < [http://www.af.mil/factsheets/factsheet.asp?fsID\\_103](http://www.af.mil/factsheets/factsheet.asp?fsID_103) >; "F-16 Fighting Falcon", < <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-16-specs.htm> >; and "F-16 Fighting Falcon Multi-Role Fighter Aircraft, USA", < <http://www.airforcetechnology.com/projects/f16/> >.

- .58 See "US Criticizes Russian Sale of Anti-Missile Systems to Iran", *Haaretz*, January 16, 2007; and "Tor-M1s to Go to Iran by Year-End", *Jane's Defence Weekly*, October 18, 2006.
- .59 See Jane's Land-Based Air Defence Electronic Database Entry for "SA-15", October 2006.
- .60 See Jane's Land-Based Air Defence Electronic Database Entry for "HAWK".
- .61 See "Airfields" in "Military", < <http://www.globalsecurity.org/military/world/israel/airfield.htm> >.
- .62 See "Israel-IAF Equipment", in "Military", < <http://www.globalsecurity.org/military/world/israel/iaf-equipment.htm> >; and Jane's World Air Forces Electronic Database Entry for "Israel", October 2006.
- .63 See Federation of American Scientists, "KC-135 Stratotanker", < <http://www.fas.org/nuke/guide/usa/bomber/kc-135.htm> >. The KC 707 has essentially the same airframe as the US KC-135, so we assume they have roughly the same refueling capability.
- .64 See "Airfields and Bases", in "Military", < <http://www.globalsecurity.org/military/world/iran/airfield.htm> >.
- .65 See Anthony H. Cordesman, *The Military Balance in the Gulf: The Dynamics of Force Development*, Washington, DC: Center for Strategic and International Studies, 2005, pp. 131-134.
- .66 See "Airfields and Bases", < <http://www.globalsecurity.org/military/world/iran/airfield.htm> >.
- .67 אודות פלוישטי ראה: Stephen W. Sears, *Air War against Hitler's Germany*, NY: Harper Row, 1964, p. 74. On Linebacker II, see Alfred Price, *War in the Fourth Dimension: US Electronic Warfare from the Vietnam War to the Present*, Mechanicsburg, PA: Stackpole, 2001, p. 120. הגל הראשון והגל השלישי שניהם אבדו 3 מטוסי B-52 מתוך 33 ו-39 בהתאמה. סך כל המטוסים שנשלחו למשימה באותו לילה היה 99 מטוסי B-52, אם ששה נאלצו לשוב על עקבותיהם.
- .68 בעימות שנמשך 18 יום איבד חיל האוויר הישראלי כ-115 מטוסי קרב הפצצה מתוך 358, ובחישוב אבדן של 3-2.3 אחוזים בכל יום