

3 באוגוסט 2023

חקר ביצועים ותורת המשחקים ככלים בהערכת המודיעין

ד"ר חיים אסא¹

הערכת המודיעין לגבי דרכי הפעולה האפשריות של יעד מודיעיני וההסתברות שיבחר באחת מהן מבוססת בדרך כלל על מידע הנאסף לגבי היכולות והכוונות שלו ודרכי התנהלותו בעבר במצבים רלוונטיים. תפיסה אינדוקטיבית זו מגבירה בדרך כלל את הסיכוי להגיע להערכה מועילה, קרי כזו שתאפשר למקבל ההחלטות לאמץ קו פעולה שיקדם את יעדיו. עם זאת, שיטת הערכה זו איננה טובה מספיק במקרים של תפניות ובמצבים בהם תמונת המצב בעיני נשוא המחקר היא אינטראקטיבית ותלויה בשינויים במדיניות של מקבל ההחלטות שעבורו מיוצרת תמונת המודיעין, ביחס לבניין הכוח והפעלתו.

מסמך זה עוסק באמצעים נוספים להערכת דרכי הפעולה האפשריות והנבחרות של נשוא המחקר, וזאת באמצעות שימוש בחקר ביצועים ובתורת המשחקים, כדי לשפר את יכולתו של המודיעין לסייע למקבל ההחלטות. אין הכוונה שאמצעי זה יחליף את השימוש במתודולוגיה המודיעינית המקובלת. להיפך, שימוש יעיל בו מחייב השענות על ידע ומומחיות הנוצרים תוך כדי שימוש במתודולוגיה המקובלת, אך הוספת כלים אלה עשויה להבהיר את תמונת המודיעין והדרך בה היא יכולה להתפתח בהקשרים שצוינו לעיל. השימוש בתורת המשחקים מציג את האפשרויות וחקר הביצועים עשוי להצביע על ההסתברות של התממשות אפשרות מסוימת, על בסיס ההנחות והתובנות לגבי הגיון הפעולה של היריב.

¹ ד"ר חיים אסא הוא עמית מחקר במכון לחקר המתודולוגיה של המודיעין. הוא בוגר המחלקה למתימטיקה מהאוניברסיטה העברית ירושלים, ותואר מאסטר בחקר ביצועים מהטכניון בחיפה (תורת המשחקים), ובעל תואר דוקטור בפילוסופיה מאוניברסיטת חיפה. שימש כחוקר בכיר בענף חקר ביצועים בחיל האוויר, ומפתח במסגרת מפאת עד היום. שימש כראש הצוות לבטחון לאומי של רוח"מ יצחק רבין, וכיום יו"ר CTO של חברת סייקאן. המחבר מבקש להודות ליוסי קופרוסר, ראש המכון לחקר המתודולוגיה של המודיעין, על תרומתו למאמר.

המאמר בוחן שיטה זו בהקשר ליכולת להרתיע מדינות שברשותן נשק גרעיני, במציאות שבה גם ליריבותיהן יש נשק כזה והן יכולות ליירט אמצעים לנשיאת חימוש גרעיני דוגמת טילים ומטוסים. בחרנו במקרה זה, נוכח העיסוק באפשרות של שימוש בנשק גרעיני סביב המלחמה באוקראינה ועל רקע ההתקדמות בתוכנית הגרעין של איראן, שכבר מעוררת עיסוק בגרעין גם במדינות נוספות במזה"ת. המאמר בוחן גם את תפקיד המודיעין בהשגת היכולת להרתיע מדינות מלהצטייד בנשק לא קונבנציונלי או להשתמש בו.

בעבר נותחו יכולות ההרתעה בהקשר של יכולת השמדה הדדית מובטחת (MAD - MUTUAL ASSURED DESTRUCTION בעיקר בהקשר של המלחמה הקרה בין ארה"ב לבריה"מ, ותחת ההנחה ש"הרוסים אוהבים את הילדים שלהם באותה מידה שהמערב אוהב את ילדיו", קרי שאף צד לא יסתכן בהרס טוטאלי. משחקים מתמטיים שפותחו בהקשר זה, למשל על ידי פון נוימן, מורגנשטרן ותומס שלינג, שימשו להוכחת ההיתכנות והסבירות הגבוהה ששני הצדדים יימנעו מהפעלת הנשק האסטרטגי שלהם. פיתוחים מאוחרים יותר הראו שבהינתן הגנה יעילה, אך בלתי מאוזנת, מול טילים בליסטיים, המערכת משתנה ועלול להיווצר תמריץ לאחד הצדדים לעשות שימוש ביכולות שברשותו וליריבו לבצע שינויים במדיניותו. על רקע זה, נחתמו ב-1972 הסכמי האמנה להגבלת כמות הטילים נגד טילים בליסטיים (ה-ABMT), שהגבילו את הצטיידות שתי המעצמות במערכות ליירוט טילים בליסטיים ארוכי טווח, כדי להבטיח את שימור ה-MAD כאמצעי למניעת שימוש בנשק גרעיני. בהמשך תרם פיתוח יוזמת ההגנה האסטרטגית (SDI) על ידי ארה"ב להתפרקות ברה"מ ולשינוי במדיניותה בנושא הגרעין והסכם ה-ABMT לא הוארך.

במקרה שלפנינו אנו מניחים אי הדדיות בתפיסת העולם והייעוד בין שתי המדינות, שלשתיהן יכולת להשמיד אחת את השנייה. האחת רואה ביכולת זו אמצעי הרתעה ותגובה למקרי קיצון ואילו האחרת רואה בה אמצעי להשמיד את יריבתה ורואה בהשמדת היריבה את תכלית קיומה, גם במחיר נזק כבד מאד - עד כדי השמדה - שייגרם לה. משימוש ב"משחק האסירים" ומניתוח בסיסי של חקר ביצועים, עולה שגם במקרה כזה, כדי להרתיע את התוקפת הפוטנציאלית אין צורך במערך הגנה שמונע ממנה לחלוטין להחדיר את כמות הרש"קים הבלתי קונבנציונליים המבוקשת לשטחה של המדינה המותקפת ובכך לממש את ייעודה להשמדה.

למעשה, אם מערך ההגנה של המדינה המותקפת יוצר מציאות שהסיכוי של המדינה התוקפת להחדיר חימוש גרעיני בכמות הנדרשת להשמדת יריבתה יהיה פחות מ-50 אחוז, היא עשויה להירתע מלתקוף, מפני שבסבירות גבוהה מדי היא לא תשיג את יעדה ומנגד תותקף גרעינית על כל המשתמע מכך על ידי המדינה המותקפת. יודגש, כי ככל שיהיו לתוקפת יותר חימושים, ובפרט ככל שיהיו לה יותר חימושים גרעיניים, כך תתקשה המדינה המותקפת לשמור את הסיכוי של התוקפת להחדיר את כמות החימושים הגרעיניים שהיא רוצה להחדיר מתחת ל-50%. ומנגד, ככל שיחסי העוצמה הם לטובת מערך ההגנה של המדינה העלולה להיות מותקפת וככל שהסיכוי להחדיר את החימושים הגרעיניים נמוך יותר, כך ההרתעה תהיה יותר משמעותית.

לשם המחשה, נניח שהמדינה התוקפת משגרת 1,000 טילים ש-100 מהם נושאים רש"ק גרעיני, ושמטרתה היא להחדיר 5 רש"קים גרעיניים לתחומה של המדינה היריבה, ונניח שאמצעי ההגנה נגד טילים של המדינה המותקפת מיירטים טילים בהסתברות של 95%, אזי ההסתברות שיחדרו 5 רש"קים כמצופה היא קרובה לוודאית. אם ישוגרו 100 טילים ומהם 10 גרעיניים ההסתברות להחדרת 5 רש"קים גרעיניים תהיה נמוכה מאד ותעמוד על פחות מאחוז אחד (ראה טבלה 1).

המשמעויות העולות מכך עבור מקבל ההחלטות הן:

- א. אין הכרח להצטייד במערכות הגנה המבטיחות קרוב למאה אחוזי הצלחה, כדי להרתיע יריב, כל עוד מספר החימושים הגרעיניים או הבלתי קונבנציונליים שהוא מסוגל לשגר הוא נמוך.
- ב. ככל שמספר החימושים הגרעיניים שבידי היריב גבוה יותר כך קשה יותר להרתיע אותו באמצעות הפחתת סיכוייו להחדיר את מספר החימושים הדרוש מבחינתו להשגת מטרתו, במיוחד אם הוא משגר תמהיל של חימושים קונבנציונליים ובלתי קונבנציונליים, המקשה על זיהוי החימושים הבלתי קונבנציונליים, באופן שיאפשר להתמקד בהם ולמנוע את הגעתם למטרה. לכאורה, לו שוגרו מאה טילים נושאי חימוש לא קונבנציונלי בלבד, ניתן היה לשגר לעבר כל אחד מהם יותר מיירטים ולהגדיל את סיכויי היירוט ובכך לשפר את ההרתעה, אך שיגור תמהיל של אלף טילים שמאה מהם הם גרעיניים, ללא יכולת להבחין ביניהם, הופך משימה זו לקשה בהרבה עד כדי לא סבירה.

ג. יכולותיו של המודיעין להבין ולהכיר את האסטרטגיה של המדינה השוקלת לתקוף, את היערכותה ויכולותיה, ולהבחין בעת הצורך בין טיל נושא חימוש קונבנציונלי לטיל הנושא חימוש לא קונבנציונלי ולסייע בכך בהשפעה על הדרך שבה המדינה התוקפנית מבינה את יכולות ההגנה של המדינה המותקפת הן בעלות חשיבות מכרעת להשגת ההרתעה. עצם ההצטיידות של מדינה בעלת תפיסת עולם תוקפנית בנשק בלתי קונבנציונלי היא מסוכנת מאד, אבל כל עוד ניתן להגביל את כמות החימושים ברי השיגור שברשותה ניתן לייצר מולה הרתעה למרות תפיסתה הקיצונית, באמצעות מערכות יירוט איכותיות בכמות סבירה. הצטיידות המדינה התוקפנית בכמות גדולה של כלי נשק בלתי קונבנציונליים תקשה על הרתעתה, והקושי יגבר עוד יותר במתאר של שיגור תמהיל של חימושים קונבנציונליים ובלתי קונבנציונליים.

נספח א'

טבלה 1: הסיכוי להחדיר מספר מבוקש של רש"קים גרעיניים

מספר הרש"קים הכולל במטח	מספר הרש"קים הגרעיניים במטח	היירוט סיכוי למיירט	מספר המיירטים ששוגרו	מספר הרש"קים המבוקש	הסיכוי
1000	100	0.9	1000	1	1.0
1000	100	0.95	1000	1	0.994
1000	100	0.95	1000	4	0.742
1000	100	0.9	1000	5	0.976
1000	100	0.95	1000	5	0.564
1000	100	0.9	1500	1	0.997
1000	100	0.95	1500	1	0.93
1000	100	0.9	1500	4	0.807
1000	100	0.95	1500	4	0.268
1000	100	0.9	1500	5	0.65
1000	100	0.95	1500	5	0.123
1000	100	0.9	2000	1	0.634
1000	100	0.95	2000	1	0.221
1000	100	0.9	2000	4	0.018
1000	100	0.95	2000	4	0.0
1000	100	0.9	2000	5	0.003
1000	100	0.95	2000	5	0.0
1000	50	0.9	1000	1	0.995
1000	50	0.95	1000	1	0.923
1000	50	0.9	1000	4	0.75
1000	50	0.95	1000	4	0.24
1000	50	0.9	1000	5	0.569
1000	50	0.95	1000	5	0.104
1000	50	0.9	1500	1	0.941
1000	50	0.95	1500	1	0.736
1000	50	0.9	1500	4	0.295
1000	50	0.95	1500	4	0.042

1000	50	0.9	1500	5	0.139
1000	50	0.95	1500	5	0.01
1000	50	0.9	2000	1	0.395
1000	50	0.95	2000	1	0.118
1000	50	0.9	2000	4	0.002
1000	50	0.95	2000	4	0.0
1000	50	0.9	2000	5	0.0
1000	50	0.95	2000	5	0.0
100	10	0.9	100	1	0.651
100	10	0.95	100	1	0.401
100	10	0.9	100	4	0.013
100	10	0.95	100	4	0.001
100	10	0.9	100	5	0.002
100	10	0.95	100	5	0.0
100	10	0.9	150	1	0.433
100	10	0.95	150	1	0.234
100	10	0.9	150	4	0.002
100	10	0.95	150	4	0.001
100	10	0.9	150	5	0.001
100	10	0.95	150	5	0.001
100	10	0.9	200	1	0.096
100	10	0.95	200	1	0.025
100	10	0.9	200	4	0.0
100	10	0.95	200	4	0.0
100	10	0.9	200	5	0.0
100	10	0.95	200	5	0.0
100	5	0.9	100	1	0.41
100	5	0.95	100	1	0.226
100	5	0.9	100	4	0.0
100	5	0.95	100	4	0.0
100	5	0.9	100	5	0.0
100	5	0.95	100	5	0.0
100	5	0.9	150	1	0.273
100	5	0.95	150	1	0.152

100	5	0.9	150	4	0.028
100	5	0.9	200	1	0.049
100	5	0.95	200	1	0.012
100	5	0.9	200	4	0.0
100	5	0.95	200	4	0.0
100	5	0.9	200	5	0.0
100	5	0.95	200	5	0.0

נספח ב'

משחק מתמטי המבוסס על מודל האסירים להערכת רמת ההגנה הנדרשת לצורך

קיום הרתעה

פתח דבר

1. מי צריך ולמה צריך להשתמש במודל מתורת המשחקים המתמטית? התשובה לשאלה הזאת מורכבת, ועיקרה: מודל המשחק המתמטי מאפשר להבין את התרחיש שאנו דנים בו בבהירות ותמציתיות (זה כוחה העיקרי של המתמטיקה), המאפשרות הסקת מסקנות הודות ל"צורה" בה הוא מוצג.
2. בתרחיש שבו אנחנו דנים, מדובר בשני שחקנים בעלי יכולת גרעינית (גם אם שניהם אינם מודים בכך) כשלשניהם יכולת השמדה מוחלטת של היריב.
3. לשני השחקנים אינטרסים שונים – המתורגמים להערכות נזק וכדאיות שמקבלות ביטוי מספרי המוצג בטבלת ה-PAYOFF. המספרים נקבעים על סמך הערכות מומחים, שאמנם עלולים לטעות, אך הם בעלי הידע הטוב ביותר הזמין לעניין זה. לדוגמה, המסקנה שעלתה ממשחק דומה שנערך באוניברסיטת תל אביב לפני המלחמה באוקראינה הייתה שמוטב לפוטין שלא לפתוח במלחמה. פוטין החליט אחרת. ניתן ללמוד מכך שתורת המשחקים איננה כלי שנועד לחזות התנהגות של נשואי המחקר המודיעיני, אלא לנתח מצבים מורכבים ולהבין את המשמעויות של האפשרויות השונות הנגזרות מאימוץ דרכי פעולה אפשריות.
4. במסגרת התרחיש, ניתן להריץ משחקים שונים עם הערכות PAYOFF שונות, כדי לנתח הרבה מאוד מצבים אפשריים או בלתי אפשריים בתרחיש המורכב של עימות אפשרי בין שתי מדינות הנמצאות במצב של MAD.
5. נושא ההרתעה בכל הקשר ובפרט בהקשר הגרעיני הוא מורכב ומסובך ומחייב התייחסות למספר רב של גורמים, שחלקם ממשיים, כמו יכולות הגנה והתקפה פיזיות מוכחות, וחלקם תודעתיים.

6. תמיד קיים קושי לכמת מרכיבי "מחיר" (PAYOFF) תודעתיים, וכאן כוחו של המשחק - הוא יכול לסבול מספר לא קטן של "סטים" של הנחות, הן בהקשר הכמותי והן בהקשר התודעתי. חשוב להתבונן ב"תמונת המשחק המתמטי" (מעבר לפתרון המתמטי של המשחק שהוא חלק פחות חשוב). תמונת המשחק פרושה הסתכלות על האסטרטגיות האפשריות של שני הצדדים, והסתכלות על המחירים לכל מפגש של אסטרטגיות (ביו שני היריבים).
7. משחק האסירים הוא מודל שנראה בעינינו מתאים לתרחיש שבו אנו דנים. שני יריבים שמתקיימים זה לצד זה הרבה מאוד שנים, מבלי שיעזו לתקוף, אבל עם שתי אסטרטגיות עיקריות: לתקוף או לא לתקוף. לכל אחד יש מידע על היריב, חלק מהמידע מוטה וניתן גם להטעיה והונאה, וכאן יש למערכת המודיעינית תפקיד חשוב הן בהקשר ההתקפי והן בהקשר ההגנתי, ובעיקר בהקשר של ההערכות לגבי היריב - היא נדרשת לספק מידע והערכות הן לגבי יכולות ממשיות והן לגבי כוונות ומחירים. ניתן לראות זאת בתמונת המשחק - שבה גורל שני היריבים הוא משותף. גורלו של השחקן התוקף יהיה תלוי בהחלטות וביכולות של הנתקף, כלומר - הם מתקיימים במערכת אחת, כשטעות או הפעלה לא מכוונת של שחקן אחד יכולה להיות גורלית לגבי השחקן היריב, למרות שהשקיע הרבה מאוד מאמצים כדי שיריבו יימנע מן הטעות הזאת.
8. אחת הסיבות להתנגדות מנהיגים מסוימים לקיומה של מערכת הכרעה גרעינית טמונה בנקודה שלעיל. ברגע שקיימת מדינה נוספת שהיא בעלת יכולת גרעינית - נולד המרוץ שעלול להביא לקריסתו (הכלכלית) של שחקן מסוים בגלל הצורך שלו להשקיע מאמצים שאינם אפשריים מבחינתו בבניית יכולת הגנה. ראה ברה"מ מול ארה"ב, שהחלה לפתח יכולות יירוט במסגרת ה SDI האמריקאי.
9. מומלץ ללמוד את המודלים שפיתח תומאס שלינג בתקופת המלחמה הקרה, שכולם נשענים על מודלים של משחקים מתמטיים שונים, כתלות בתרחישים, (המשחק המוצג בנספח ב' על

אינו מבוסס על שלינג², אלא על המשחק האסירים הקלאסי). כמו כן Luce & Raiffa³, מציגים בספרם את התאוריה ומודלים רלוונטיים של משחקים – לכל מי שמבקש להתעמק בנושא.

חלק א' - משחק האסירים – ואסטרטגיות הרתעה זו צדדיות

10. מה היא האסטרטגיה שמבטיחה לצד שנמצא בסיטואציה הקרויה MAD, שיריבו למצב הזה (שניהם בעלי יכולת גרעינית) יורתע ויימנע מתקיפה, גם אם מערכת הערכים שלו עלולה

להכתיב לו "תקוף גם אם הדבר יביא לאובדנה של מדינתך"?

11. לצורך כך הגדרנו משחק מתמטי (שני שחקנים – לא סכום אפס), מבוסס על מודל הקרוי "דילמת האסירים". ההתבססות על המשחק האסירים נובעת מהצורך להעמיד מודל של שני

שחקנים שאין להם אמון האחד ברעהו.

12. לצורך המחשה, פותחו מודלי משחק במאפיינים של שני שחקנים (בעלי יכולת גרעינית) שהם בעלי אמון הדדי רב (שאחד מהם לא יתקוף את משנהו). מודלים כאלה פותחו על ידי תומאס

שלינג, בתקופה המלחמה הקרה, והם מוצגים בספר "The Strategy of conflicts"⁴.

13. הדגש הוא אם כן על שני יריבים שאין ביניהם אמון, אבל צד אחד לפחות מבקש להקטין עד "חוסר היגיון" את האופציה של יריבו לתקוף, כלומר – ליצור הרתעה.

14. חשוב להדגיש שהמודל הזה אינו חזות הכול, ולצורך יצירת הרתעה נדרשים עוד מרכיבים רבים כמו יכולת תקיפה מוכחת, מערכת המבטיחה יכולת הגנה נוספות, ווידוא שהמידע

שמועבר ליריב יהיה משכנע (בניגוד לקיסר יפן – שלא האמין בסוף מלחמת העולם השנייה שלאמריקאים יכולת קטלנית בסדר גודל כה גדול (גרעיני), למרות ניסיונות לשכנעו שכדאי לו

להיכנע. סרבנותו הביאה לכך שהאמריקאים תקפו את הירושימה, וגם לאחר התקיפה

² Thomas Shelling – The Strategy of conflict, PP 214, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 1960.

³ Duncan Luce & Howard Raiffa, Games and Decisions, Dover books on Mathematics, 1989.

⁴ Thomas Shelling – The Strategy of conflict, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 1960.

בספר מוצגים מודלים של קונפליקט מסוגים שונים. רובם מוצגים על ידי משחק מתמטי שני שחקנים או מודל "הפחדן" – CHICKEN GAME. בחרנו במודל האסורים משום שהוא מייצג את הדילמה בה מצויים השחקנים באופן מדויק יותר. שני השחקנים אינן מתאמים את תשובתם לחוקרים, מנסים להטעות אחד את השני – רק כדי להשיג תוצאה טובה.

הנוראה הזאת הקיסר הירוהיטו עדיין לא השתכנע, וכך הביא את האמריקאים להטיל פצצת גרעין גם על נגסקי. רק אז הקיסר השתכנע ויפן נכנעה).

משחק האסירים הקלאסי

15. משחק האסירים הקלאסי הוא פרדוקס. שני השחקנים נעצרים על ידי המשטרה לאחר ששדדו בנק. מוכנסים לשני תאים נפרדים ונחקרים בנפרד. כל אחד מהם מקבל את ההצעה הבאה – אם תודה בשוד הבנק וחברך לא יודה, תזכה להנחה גדולה מאוד בעונש – ואפילו בפרס ותקבל 10 נקודות וחברך יקבל 0 נקודות שמשמעותן עונש כבד. מצד שני אם שניכם תודו – ייגזר עליכם עונש קל יותר, שכן בזכות הודאתכם תקבלו הקלה ותהיו זכאים ל 2 נקודות כל אחד. (2 נקודות מהווה עונש פחות חמור משמעותית מ 0 נקודות). אבל, אם שניכם תמשיכו לא להודות תזכו לעונש אפילו קל יותר, כלומר תזכו ל 5 נקודות כל אחד. (זיכוי ב 5 נקודות מהווה עונש קל יותר מאשר זיכוי של 2 נקודות). שני השחקנים בוחרים להפליל כל אחד את חברו כיוון שביקשו להגיע לתוצאה הכי טובה שיכולים היו, ולהבטיח לפחות שלא ייענשו בעונש החמור של 0 נקודות. כך, למרות שכל אחד מהם שואף למקסם את מצבו הם לא מקבלים את הפרס, וסופגים עונש חמור יותר מאשר אילו שתקו שניהם.

16. התוצאה של המשחק המוצג לעיל: שני האסירים בוגדים כל אחד בחברו מתוך מטרה להינצל מעונש חמור, גם בידיעה שבזאת כל אחד מהם עלול לגזור על חברו עונש מקסימאלי אם חברו יימנע מלהודות ומלבגוד בו. התוצאה הזאת נובעת גם משיקולי ה MINMAX שהוא נקודת האופטימום המתמטית. תוצאת המשחק הושגה גם ברוב תוצאות הניסויים שהורצו באופן מדעי (ראה אנאטול רפפורט ואמנון רפפורט).

טבלה 2: מודל המשחק

	ב	נאמן	בוגד
א			
נאמן לחברו (שותק)		5,5	0,10
בוגד (מודה ומפליל את חברו)		10,0	2,2

מודל ההרתעה בין שתי מדינות

17. מודל ההרתעה הדו-צדדית נשען על מודל משחק האסירים.
18. לשני הצדדים יכולת תקיפה גרעינית כך שמתקיים מצב של השמדה הדדית מובטחת MAD.
19. כל צד בונה אסטרטגיה של בניין כוח הגנה אווירית, שהאפקט הנדרש ממנה הוא ליצור יכולת יירוט כזו שההסתברות של חדירה של טיל גרעיני אחד לפחות תהיה קטנה מ- 50%. זאת, על בסיס ההנחה שרמה נמוכה זו של סיכוי להסב נזק קיומי לאויב תגרום למדינה השוקלת הפעלת נשק בלתי קונבנציונלי למטרת השמדה להימנע מלעשות שימוש בנשק זה.
20. המודל המכונה "מודל ההרתעה" מוצג בטבלה 2. התוצאה המתמטית של המשחק הינה – שני הצדדים נמנעים מתקיפה. זאת, לעומת המשחק שבו אין למדינות אלה יכולת הגנה אווירית כלל, שתיהן גרעיניות והאסטרטגיה האופטימלית שלהן היא כן לתקוף, אם צד מסוים אינו ממלא את ייעודו על ידי הימנעות מתקיפה. כלומר, הוא מסוגל לקבל החלטת תקיפה למרות שידוע לו שסיכוייו לשרוד הם אפסיים – אבל ייעודו מחייב אותו לבצע את התקיפה.
21. המודל המוצג מתייחס למצב זה, שבו קיים סיכוי של 50% לפחות שהצד האסרטיבי לא יממש את ייעודו וגם יאבד את שרידותו.
22. תוצאת המודל המוצג בטבלה 2 היא שהתוצאה הטובה ביותר עבור שני הצדדים תושג אם שניהם נמנעים מתקיפה או במילים אחרות מורתעים גם אם ייעודם מחייב לתקוף.

טבלה 3: טבלת ה-payoff הקלאסית של משחק האסירים

תוקף	מורתע	מדינה ב
		מדינה א
(2.5,5)	(5,5)	מורתע - נמנע מתקיפה.
(0,0)	(5,2.5)	תוקף

תוצאת ה MINMAX של המודל הינה "הרתעה דו צדדית". המספרים המייצגים את ה PAYOFF לכל שחקן ולכל אסטרטגיה שיבחר, מייצגים את המצב ששני השחקנים מודעים ליכולת יריבם כולל יכולת ההגנה האווירית. כלומר – הנחת יסוד הינה – קיום אינפורמציה מלאה של שני השחקנים על שניהם - PERFECT INFORMATION.

23. למעשה, בסיכויי זליגה של רש"ק גרעיני אחד לפחות של פחות מ 50% - הצד הנגדי יהיה מורתע, גם אם הוא מוכן לבצע תקיפה ולהביא לאובדנו של יריבו ובכך לממש את ייעודו.. ערכי ה-payoff שמוצגים (כמו 2.5,5) נגזרים ממשחק האסירים המקורי.... שבו אסיר שמפליל את חברו, וחברו שותק יוצר תוצאה של (0, 10), שכן הוא מפליל ולכן זוכה ב 10 נקודות בעוד חברו האומלל ששותק יקבל אפס נקודות, כי הוא גם הופלל וגם שתק. במשחק האסטרטגי אנחנו מורידים את ההישג של התוקף ל 5 כי הוא ישיג זאת רק בהסתברות של 50%, בעוד שיריבו המורתע יזכה ב 2.5 נקודות לעומת 0 במשחק האסירים מפני שהוריד את הסיכוי שלו להינזק ב- 50%.

24. מכאן, שרמת הגנה של מערכת היירוט יכולה להסתפק בהישג המבצעי שהוגדר לעיל - ולהימנע מהצורך ליירט 99% מהאיומים (רקטות וטילים) גם אם חלקם יהיה בעל רש"ק גרעיני. הצורך בכך יכול להיות אקוטי, שכן, ההשקעה במערכת הגנה אווירית שמבטיחה 99% יירוט היא גבוהה משמעותית ממערכת יירוט שמבטיחה אחוזי הצלחה נמוכים יותר.

25. יש בגישה הזאת כדי לבלום במידה מסוימת את המרוץ הכלכלי שעלול לייצר "יריב אסרטיבי", משום שלמתגונן (שאיננו מבקש להשמיד את יריבו אלא רק למנוע ממנו תקיפה) ניתנת האפשרות להסתפק בבניין כוח קטן וזול משמעותית.

חלק ב' - רמת ההגנה האווירית הנדרשת לכל שחקן בסיטואציית MAD

כדי שתבטיח הרתעה דו-צדדית

כללי

1. נניח שתי מדינות בעלות יכולת גרעינית צבאית, מבוססת על טילים טקטיים/מפציצים אסטרטגיים או טילים אסטרטגיים, ובעלות יכולת רקטית. לשתי המדינות מערכות הגנה מפני טילים (יירוט טילים).
2. יכולת גרעיניות מהוות כלים עיקריים ליצירת הרתעה מול מדינות אחרות שיש להן יכולת גרעינית, או איום על מדינות אחרות בין אם יש להן או שאין להן יכולת גרעינית.
3. מערכות ההגנה"א של כל מדינה אמורות לצמצם את עוצמת האיום הטמונה במתקפה גרעינית נגדה, כמו-כן, לצמצם את עוצמת האיום הלא גרעיני כנגדה.

הרתעה

4. מערכות ההגנה האווירית חייבות להיות ברמת אפקטיביות כזו שמדינה המבקשת לתקוף גרעינית את המדינה המתגוננת – תורתע בגין שני המרכיבים:
 - א. היכולת של המדינה המותקפת להגיב בתקיפה גרעינית (מכה שניה).
 - ב. היכולת של המדינה המותקפת לסכל את התקיפה הגרעינית.
5. השאלה הנשאלת היא מהי רמת ההגנה הנדרשת מהמדינה העלולה להיות מותקפת, כדי שהמדינה המבקשת לתקוף תירתע ותימנע מכך?

מודל

6. השאלה הנשאלת נמדדת במושגי זליגה. כלומר - מה היא רמת ההגנה של מערך ההגנה האווירית שתבטיח שהסיכוי של מדינה B להחדיר מספר רש"קים לא קונבנציונאליים שהיא

מעריכה כמספר הדרוש להשמדת יריבתה (לפחות אחד) מבעד להגנה האווירית של A – יהיה קטן מ 40-50%.⁵

הנחות על המודל:

מבוסס על 4 פרמטרים (L, P, N, M):

א – N הוא מספר הטילים המצוידים בראש קרבי גרעיני המשוגרים על ידי מדינה B אל מדינה A בתקיפה שמכילה M טילים ($M > N$).

ב – סיכויי היירוט של מערכת ההגנה האווירית של מדינה A למניעת זליגה של רש"ק מסוג כלשהו מוגדרים ב L.⁶

7. הסיכוי שמספר הטילים המבוקש בעלי רש"ק גרעיני יחדור הוא P.

8. הסיכוי שלא יחדור מספר הטילים בעלי רש"ק גרעיני המבוקש יסומן ב Q.

$$P=1-Q$$

משמעויות

9. רמת ההגנה (שמיוצגת על ידי אחוזי הזליגה) היא פרמטר קריטי במודל, וביטוי העיקרי טמון לא רק בערכו המבצעי (L), כלומר, בסיכוי ליירט טיל תוקף, אלא גם במחירו.

10. מחירו של טיל יירוט יחד עם רמת ההגנה הנדרשת (L) מגדירים למעשה את גודל הסד"כ האפשרי.⁷ אם המתגונן ישאף להצטייד במיירטים בכמות גדולה מעבר ליכולותיו הכלכליות הוא עלול להגיע למצב של אי יכולת עמידה (כלכלית), ובכך הוא למעשה יוכרע. כלומר, המשתנה העיקרי שמכריע את תוצאות המרוץ הגרעיני בין שתי מדינות טמון ביכולת הכלכלית שלהן להעמיד מערך יירוט יקר (בנוסף למערך התקפי המוגדר כמכה שנייה), שיש בו כדי

⁵ 40-50% - מתקיים יוכוח בין חוגים שונים לגבי המספר 40 או 50, ויש שמגדירים מספרים אחרים - אבל בסביבת 40-50%.
⁶ LEAKAGE RATE - מציינת את רמת הזליגה של טילים מבעד למסך ההגנה נגד טילים. רמת הזליגה מציינת את רמת האפקטיביות של מערך ההגנה והוא מציג את ההסתברות לחדירתם של טילים מבעד להגנה. אם L.R 0.2 פרושו - שעשרים אחוז מהטילים שתשגר מדינה A על B לא יורטו ויפגעו במטרותיהם (במידה והם מדויקים).

⁷ מחיר הטיל ורמת ההגנה הנדרשת - מהווים שני משתנים שקובעים את מחירה של ההגנה האווירית. הגנה ברמת הגנה של 90% כנגד טילים כלשהם היא יקרה יותר מהגנה ברמת הגנה של 80% (באותו מחיר של טילי היירוט).

להקטין משמעותית את יכולת היריב התוקף להכריעו בהחדרת טילים בעלי ראש גרעיני אל מטרות קריטיות שלו (כמו ערים ראשיות, אתרים אסטרטגיים-צבאיים וקריטיים וכיו"ב).

11. המונח המקצועי בנושא קרוי - THE ADDING PROBLEM - שמול כל טיל תוקף עלול המגן להידרש ל 2-4 טילים להגנה רק מסיבות גאוגרפיות (אם מוקד איום טילי יכול לאיים על שתיים או יותר מטרות בו זמנית ועל המתגונן להגן על שתיהן ולכן יידרש למספר מיירטים מול כל תוקף פוטנציאלי), וככל שהתוקף מגדיל את סדר הכוחות התוקפים שלו כך הוא מסבך יותר ויותר את המתגונן, ומאלץ אותו לרכוש יותר ויותר יכולות יירוט.

12. אם מספר הטילים התוקפים הוא גדול מאוד, ומספר הטילים המגינים נמוך מאוד (גם אם יכולת היירוט של כל אחד מהם היא גבוהה מאוד) נוצרת אפשרות לזליגה משמעותית בגין הפער בין שני המספרים שיביא להקטנה של רמת ההגנה – שמשפיעה באופן ישיר על יכולת ההרתעה. את זאת אפשר יהיה לראות מהסתכלות על המודל שלהלן.

19. **מודל ההרתעה:** במידה והסיכוי להחדרת לפחות רש"ק גרעיני אחד קטן מ 50% - היריב יהיה מורתע כי תקיפה כזאת אם תיכשל עלולה לפגוע מהותית בו עצמו, כשהסיכוי ששיג את מטרותו קטן מ 50%. הרציונאל לאסטרטגיה הזאת מוצג על ידי המשחק המתמטי שהוצג בפרק הקודם.

20. לסיכום, ככל **שגודל המטח של היריב יהיה גדול יותר**, סיכויי הזליגה עלולים לגדול. היתרון של התוקף בהקשר הזה הינו בתופעת ה-ADDING PROBLEM, כלומר – התוקף יכול להגדיל משמעותית את מספר הטילים "**הרגילים**" שהוא משגר בעוד מספר מערכות ההגנה היקרות מוגבל. ככל שסיכויי היירוט יורדים, המשמעות העיקרית אינה טמונה רק בכך שייפגעו עוד מספר מטרות – אלא בכך – שסיכויי ההחדרה של רש"ק גרעיני עולים ולכן היכולת להרתיע את האויב פוחתת.