



כנס הרצליה ה-14

עתיד המזרח התיכון והשפעת הטלטה האזורית על תפיסת הביטחון של ישראל

חדשנות ואתגרים בבטחון החלל

נייר מסכם לדיון שהתקיים במסגרת כנס הרצליה ה-14
עיבוד ועריכה: אורי סלונים

ההתפתחות המרכזית שהניעה את הדיון בנושא החלל שהתקיים במסגרת כנס הרצליה ה-14 היתה העלייה הדרמטית במספר הלוויינים ששוגרו לחלל בשנתיים האחרונות. בשנת 2013 נרשמה עלייה בעלת משמעות במספר הלוויינים החדשים שהוצבו במסלול, בשנה זו הוצבו במסלול כ-200 לוויינים חדשים לעומת 100-120 לוויינים שהוצבו מידי שנה במסלול בעשור הקודם. הסיבה עיקרית לעלייה הדרמטית במספר הלוויינים היא ההתפתחות הטכנולוגית המאפשרת הקטנה במשקל ובמימדים של הלוויינים החדשים כך שהם מאפשרים ביצוע משימות חלל רבות שבעבר דרשו לוויינים גדולים ויקרים יותר, הדגמות טכנולוגיות ויכולים גם להחשב כ"כרטיס כניסה" למדינות שעד כה לא יכלו לעמוד בעלויות הגבוהות הנדרשות לפיתוח פרויקטים בחלל.



מנחם קדרון, מנכ"ל סוכנות החלל הישראלית, משרד המדע

משתתפים:

מנחה: **פרופ' אלון (מיל.) יצחק בן ישראל**, יו"ר סוכנות החלל הישראלית, יו"ר המועצה הלאומית למחקר ופיתוח שבמשרד המדע, הטכנולוגיה והחלל וראש סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון באוני' תל אביב
פרופ' חיים אשד, יו"ר וועדת החלל של המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח
עו"ד קרן שחר בן-עמי, מנהלת מחלקה, אגף היעץ המשפטי, משרד החוץ
מנחם קדרון, מנכ"ל סוכנות החלל הישראלית, משרד המדע
סא"ל (מיל.) עפר לפיד, מנהל תוכנית ULTRASAT, מכון ויצמן
ד"ר דגנית פייקובסקי, יועצת למדיניות חלל, המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח; עמיתה בכירה, סדנת יובל נאמן למדע טכנולוגיה וביטחון, אוני' תל אביב
ענבל קרייס, סגנית מנהל מפעל חלל, חטיבת מערכות טילים וחלל, התעשייה האווירית

ההתפתחות הטכנולוגית, המאפשרת מזעור והזלה של מחירי לוויינים, מהווה שינוי אסטרטגי נוסף בתחום החלל שבמרכזו נמצא גידול משמעותי בהיקף הפעילות המסחרית במקביל לירידה בהיקף היחסי של המעורבות והמימון הממשלתיים. בשנת 2013 נאמד היקף הפעילות בשוק החלל בכ-314 מיליארד דולר כשכל התחזיות מציינות את המשך התרחבותו מבחינת השקעות והיקף הפעילות המתבצעת בו.

העלייה במספר הלוויינים הנמצאים במסלולים שונים סביב כדור הארץ משמעה עלייה בפעילות בחלל, עלייה במספר העצמים (לוויינים פעילים, לוויינים שיצאו מכלל שימוש ופסולת חלל אחרת) ומכאן עלייה בהסתברות של סיכונים הקשורים בסביבה החללית. התפתחויות אלה מדגישות את הצורך בהסדרה בינלאומית של נהלי הפעילות בחלל מתוך הבנה לפיה העדרו של קוד התנהלות אוניברסאלי מוסכם יוביל לפגיעה באינטרסים של כל המדינות שלהן נכסים בחלל וביכולת להשתמש במרחב זה.

הדיון שהתקיים במסגרת המושב התמקד בשלושת הנושאים הבאים:

- מהפיכת הננו-לוויינים
- הפעילות הדיפלומטית-משפטית הגלובלית להסדרת הפעילות בחלל
- הפעילות הישראלית בתחום החלל וההזדמנויות לישראל במסגרת התפתחויות הטכנולוגיות והמסחריות של השנים האחרונות

מהפיכת הננו-לוויינים



סא"ל (מיל) עפר לפיד, מנהל תוכנית ULTRASAT, מכון ויצמן

מיועדים למלא משימות בתחום האיתור/איכון והצילום. מלבד שיפור האיכות מושקע מאמץ טכנולוגי בפיתוח יכולת שיגור של לוויינים זעירים כקבוצה מודולארית במסגרתה יאפשר ריבוי הלוויינים משימות מורכבות ואיכותיות במבנה או נחיל כשהעבודה מתחלקת בין הלוויינים השונים. מאמץ טכנולוגי נוסף מושקע בפיתוח פלטפורמות שיגור ייעודיות ללוויינים זעירים. מדובר בפיתוח טילים קטנים שיאפשרו הכנסה למסלול נמוך של לוויינים בעלות נמוכה יחסית המוערכת על ידי אחדים בכ-2 מיליון דולר לשיגור ועל ידי יזמים פרטיים אף במיליון דולר. השיגור של הלוויינים כמטען במסגרת שיגור "רגיל" מכרסם משמעותית בכדאיות השימוש בלוויינים הזעירים והוא בגדר חסם להתפתחות מהירה יותר של התחום. יש לציין כי פלטפורמות שיגור יעודיות יאפשרו גם הצבתם של הלוויינים במסלול אופטימלי למשימתם, וזאת בניגוד למצב כיום בו הם מוצבים במסלולים הנגזרים מהיותם מטען נלווה לשיגורים של לוויינים גדולים יותר.

פרויקט SpaceX לפיתוח רכבי חלל ופלטפורמות לשיגור מסחרי נתפש כדוגמה הבולטת ביותר למאמץ זה. אם כי הוא מיועד ברובו ללוויינים בינוניים ואף גדולים. מדובר בחברה פרטית שהצליחה לפתח יכולת שיגור עצמאית של לוויינים לחלל ובשנת 2009 אף חתמה עם NASA על חוזה בהיקף של 1.5 מיליארד דולר לפיתוח אמצעי שיגור שיחליפו את שיגור הלוויינים באמצעות מעבורות חלל.

למרות שה"ננו לוויינים" מבצעים כיום בעיקר משימות הדגמה טכנולוגית הצפי הוא כי בשנים הקרובות יתפתח התחום ויגיע לדרגת בשלות שתאפשר שימוש מסחרי תוך הוצלה בעלויות השיגור, ומכאן לעלייה משמעותית בקצב השיגורים ובמספר הלוויינים מסוג זה שיפעלו בחלל במשימות מבצעיות.

"ננו-לוויינים" מוגדרים כלוויינים במשקל 10-20 ק"ג והם חלק ממשפחת לוויינים המכונה "לוויינים זעירים" המתארת לוויינים במשקל של עד 50 ק"ג, שהופכת בהדרגה בעשור האחרון למבצעית במסלולים הנמוכים סביב כדור הארץ, 400 עד 2000 ק"מ. ה"ננו לוויינים" זכו לתת קטגוריה משל עצמם בעיקר הודות לפיתוח מבנה גנרי ללוויין קטן בעל מבנה קובייתי (cubesat) במימדים של 10X10X10 סנטימטרים, שפותח באוניברסיטת סטנפורד בתחילת העשור הקודם. במקביל פותח גם מודל שיגור גנרי במסגרתו נאזרים מספר ננו-לוויינים בארגז מיוחד המצטרף כמטען נלווה בשיגורים לחלל. פיתוח זה, ה-cubesat, יצר אפשרות לבצע משימות חלל באמצעות לוויינים זולים משמעותית מהמחיר המאפיין שימוש בלוויינים גדולים, כאשר המודל הגנרי מקנה גם יתרונות בתחום הוצלת העלות הנגזרים מייצור סדרתי ובהיותו של כל לוויין מוגדר לביצוע משימה יחידה במסלול נמוך. מרבית הלוויינים מסוג זה ששוגרו עד היום הם לווייני ניסוי, רובם במסגרת פרויקט מו"פ אוניברסיטאיים, כשלצידם מתפתחת פעילות יזמית עצמאית של גופים במימון פרטי, רובו של בעלי הון בעלי עניין אישי בחלל וחלקו באמצעות מכשירי גיוס הון מסוג "מימון המונים". עד כה התבררו לוויינים אלה כבעלי אמינות נמוכה, כזו שאינה עומדת בסטנדרטים המקובלים בתעשיית החלל ולכן עדיין אינה יכולה למלא משימות המבוצעות כיום באמצעות לוויינים גדולים ויקרים משמעותית. מאידך, השימוש בקבוצה של מספר לוויינים קטנים מקטין את התלות בלוויין הבודד כך שמתאפשרת מידה מסוימת של ירידה באיכות הלוויין ויוצרת פוטנציאל להוצלה משמעותית בעלות הכוללת של ביצוע המשימה.

מומחים מצביעים על עקומת למידה מעודדת של התחום ועל עלייה באיכות ובאמינות של הלוויינים מסוג זה, שכיום



ענבל קריים, סגנית מנהל מפעל חלל, חטיבת מערכות טילים וחלל, התעשייה האווירית

פיתוח נורמות וקוד בינלאומי לשימוש בחלל

(1975), תיאום פעילות הנוגעת לשינוי מלאכותי של אקלים וסביבה (1976), הקצאת תדירים לפעילות תקשורת (1986) ועוד. האמנה מ-1967 וההסכמים הנוספים משקפים סדר יום מובהק של המלחמה הקרה והם אינם מספקים מענה מתאים להתפתחויות של שני העשורים האחרונים. כך למשל כוללת אמנת החלל התייחסות לנושא החימוש הגרעיני בחלל ולחימוש קונבנציונלי, אך איננה מתייחסת לנשק ליזר, פעילות סייבר או הסטה מכוונת של לוויין/עצם ממסלול. אלמנטים נוספים מעולם המלחמה הקרה הם למשל ההתייחסות לפעילות על הירח וההחרגה המתירה לאסטרונאוטים שימוש בנשק אישי לצרכי הגנה עצמית.



ד"ר דגנית פייקובסקי, יועצת למדיניות חלל, המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח; עמיתה בכירה, סדנת יובל נאמן למדע טכנולוגיה ובטחון, אונ' תל אביב

הדיונים בשנים האחרונות לעדכון כללי השימוש בחלל תוך השגת מחויבות מחדשת מצד כל המדינות צריכים לגשר על פערים הנובעים מאינטרסים שונים של המדינות העושות שימוש בחלל. הפערים העמוקים ביותר נמצאים בין קבוצת עשר המדינות שהן בעלות יכולת שיגור עצמאית של עצמים לחלל ובין כל יתר המדינות. המדינות בעלות יכולת שיגור עצמאית יכולות לפתח בחלל פעילות צבאית ואזרחית מגוונת כשהידוק הפיקוח על הנעשה בחלל עשויה לצמצם את מרחב הפעילות שלהן, לחייב העלאה ברמת השקיפות וברמת האחריות שלהן לתוצאות של פעילותן. יחד עם זאת העלייה באינטנסיביות של השימוש יצרה הכרה גם בקרב מדינות אלה בדבר הצורך לעדכן את האמנות הבינ"ל הנוגעות לחלל, עדכון אותו מוביל משרד החלל של האו"ם, המאמץ ה-UNOOSA (UN Office of Outer Space Affairs). הדיפלומטי-משפטי מתרכז במציאת נקודת האיזון בין ניסוח עקרונות שאכן יבטאו התקדמות ועדכון ובין רמת פירוט כזו שתאפשר הצטרפות וולונטרית של כל המדינות.

הננו-לוויינים וההתרחבות הצפויה בשימוש בהם מתקשרים לתחום מרכזי נוסף בדיון העכשווי בנושאי חלל והוא העלייה בצפיפות העצמים החגים סביב כדור הארץ, לוויינים ופסולת חלל, ובהתאם לכך עלייה ברמת הסיכונים הקשורים בפעילות בחלל. כיום נמצאים במסלול סביב כדור הארץ כ-1200 לוויינים פעילים, מלבדם מזהים למעלה מחצי מיליון עצמים בגודל 1 סמ"ר ומעלה כשבתוך קבוצה זו ישנם כ-25,000 עצמים בגודל של 10 סמ"ר ויותר אחריהם מתבצע מעקב. כולם נעים במהירות עצומה של קרוב ל 24,000 קמ"ש. מצב זה הופך את הצורך בפיתוח של כללי התנהלות ונורמות לתיאום הפעילות בחלל והאחריות על הסיכונים הכלולים בה להכרחי. גם מבלי להתייחס לפעולות הנעשות בזדון ישנם נושאים רבים המחייבים הסדרה ותיאום הנובע מהעלייה באינטנסיביות השימוש בחלל וצפיפות העצמים הנמצאים בו: תיאום מסלולים, שימוש בספקטרום האלקרו-מגנטי ואחריות על פסולת חלל או פגיעה בנכסי חלל של מדינות אחרות. הגידול בהיקף הפעילות ללא הסדרה עלולה להביא למצב של פגיעה באינטרסים החלליים של כלל השחקנים המעורבים בפעילות זו. מתוך הבנה זו מתקיימת בעשור האחרון פעילות דיפלומטי-משפטית אינטנסיבית לגיבוש קוד התנהלות ואחריות של מדינות לשימוש שהן עושות בחלל. בהיותו של החלל משאב משותף של האנושות כולה, בדומה לאוקיינוסים ולשכבת האוזון, מרכזת הוועדה של האו"ם לניצול החלל לצרכי שלום חלק גדול מפעילות זו.



פרופ' חיים אשד, יו"ר וועדת החלל של המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח

במושג בכנס נסקרו המגעים והדינמיקה המשפטית-דיפלומטית הסובבת את הניסיון לגבש גירסה מעודכנת, מתאימה לצרכי ומאפייני הסביבה הנוכחית, של "אמנת החלל החיצון" הוותיקה. אמנה זו נחתמה בשנת 1967 ומופיעים בה עקרונות כלליים לשימוש בחלל והגדרתו כמשאב משותף לאנושות כולה, דוגמת האוקיינוסים, הקטבים ושכבת האוזון. על בסיס אמנת החלל נוספו במהלך שנות ה-70 ובמחצית הראשונה של שנות ה-80 אמנות הקשורות בהיבט ספציפי של פעילות בחלל בהם מפורטים כללים ודפוסי פעילות ואחריות ברזולוציה גבוהה יותר. במסגרת זו ניתן לציין את האמנה בנוגע לאחריות למק הנגרם מפעילות בחלל (1972), רישום עצמים בחלל

1. קבוצה זו מכונה קבוצת המדינות "שותרות החלל" ונמצאות בה: ארה"ב, רוסיה, סין, הודו, אוקראינה, צרפת, בריטניה, יפן, ישראל, איראן וצפון קוריאה.

2. בדצמבר שנת 2007 שיגור הסינים טיל נסיוני שנועד לפוצץ לוויין במסלול. הניסוי הסיני הוא דוגמה בולטת למערכת הסיכונים והאיזמים הנוכחית בחלל. ניסוי זה מבטא מאמץ פיתוח של יכולת פגיעה בנכסי חלל של מדינות אחרות וכמו כן הוא מדגים בעיות הקשורות לאחריות מדינות על פעילותן בחלל. במקרה הנ"ל יצר הניסוי הסיני כ-2000 שברים בגודל של כדור טניס ועוד 150,000 שברים קטנים יותר. דוגמה רלוונטית נוספת היא התנגשות בינואר 2009 בין לוויין רוסי ולוויין של חברת איירדיום האמריקאית.

פעילות ישראלית בחלל

מבחינה הסטורית יכולה ישראל להחשב כמעצמת חלל של ממש מבחינת יכולתה להציע לוויינים שהקדימו בדור את השוק מבחינת היחס בין גודל, היקף משימות ואמינות. לווייני אופק הראשונים היו לוויינים במשקל 200-300 (לווייני מיני) ק"ג שאיפשרו ביצוע משימות באיכות ובהיקף שנתפשו עד אז כאפשריים רק באמצעות לוויינים גדולים במשקל 2 טון לפחות. ההצלחה של לווייני אופק ומשגרי שביט שמיצרים בתעשייה האווירית הקנתה לתעשיית החלל הישראלית יוקרה רבה והביאה להתפתחות מרשימה שלה בכל הכיוונים, לא רק הלוויין ומערכת השיגור אלא גם הציוד המותקן עליו דוגמת מצלמות ומכ"מ ומערכות שליטה ובקרה. כיום מורכבת תעשיית החלל הישראלית מכ-50 מפעלים וחברות המעסיקות בין 2000 ל-3000 עובדים ואחריות למחזור מכירות שנתי בהיקף של כחצי מיליארד דולר.



עו"ד קרן שחר בן-עמי, מנהלת מחלקה, אגף היועץ המשפטי, משרד החוץ

בשנת 1998 הדגימה ישראל פריצת דרך טכנולוגית נוספת עם שיגור לוויין ה-TECHSAT של הטכניון, שהיה לוויין מיקרו (50 עד 100 ק"ג) שאיפשר ביצוע של 6 ניסויים מדעיים, מצלמה ושני טרנספונדרים לניסוי בשידורי רדיו. למרות חלוציותו הטכנולוגית של הלוויין, בניגוד למקרה "אופק" לוויין הטכניון וטכנולוגיית המיקרו-לוויינים לא התפתחה בארץ לכדי תעשייה. לטענת פרופ' חיים אשד מדובר בהזדמנות שפוספה על רקע רצונם של השחקנים בתעשייה למצות את ההשקעה במכ"מ ובפיתוח העסקי של עולם המיני לוויינים. אשד מציין כי היכולות שהתפתחו בישראל מציבות אותה בראש תחום הננו לוויינים ממש כפי שהיתה בראשית עידן המיני לוויינים¹. באופן כללי תקצבה המדינה, באמצעות סוכנות החלל הישראלית, תכנית חומש בהיקף של 300 מיליון שקל לפיתוח תחום החלל במטרה להביא את תעשיית החלל המקומית למחזור מכירות שנתי בהיקף של 3-4 מיליארד דולר. יש לציין כי בניגוד לתחומים טכנולוגיים אחרים בהם קיימים שורה של מודלים ממוסדים לשיתוף בין האקדמיה, הממשלה והתעשייה (מודל מגנט למשל) בתחום החלל מבנה השיתוף הוא אד-הוק והוא תלוי בעיקר בעניין ובתקציב של השחקנים בתעשייה ובראשם התעשייה האווירית². תשתיות המחקר הקשורות בחלל נמצאות

3. אשד רמז לכך בדבריו בכנס. הדברים פורטו בשיחת רקע שקיימנו בעת העבודה על נייר זה.

2. התעשייה האווירית מגדירה את המתווים לשיתוף כמבוססים על מספר מודלים המשמשים לשיתופי פעולה עם גופים חיצוניים לתע"א, אף אחד מהם אינו ייחודי לחלל: מודל בו התעשייה מתקשרת חוזית עם אקדמיה למימוש בחינה/מחקר בנושא מסוים שימש בהמשך את התעשייה להמשך פיתוח של מוצר או מערכת – בד"כ נכון למחקרי תשתית, טכנולוגיה חדשה



פרופ' אלוף (מיל.) יצחק בן ישראל, יו"ר סוכנות החלל הישראלית, יו"ר המועצה הלאומית למחקר ופיתוח שבמשרד המדע, הטכנולוגיה והחלל וראש סדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה ובטחון באוני' תל אביב בעיקר בתעשייה, חלקן מיושנות ומתאימות לפעילות מ"פ הקשורה בדור טכנולוגי קיים. המובילות הישראלית בתחום והפוטנציאל הרב של תחום הננו ייתכן ומחייבים הקמה של מעבדה לאומית למ"פ חלל או לפחות תיאום ותכנון מרכזי של עדכון ופיתוח תשתיות מחקר כך שתתאפשר נגישות למ"פ עבור חוקרים באקדמיה ושחקנים קטנים.

מעבר לשאלת הצבת הננו בראש סדר העדיפויות של המחקר והפיתוח הלאומי בנושא חלל, ישראל משולבת בשורה ארוכה של פרויקטים הקשורים למ"פ חלל חלקם בתמיכת משרד המדע/סוכנות החלל הישראלית, בהם גם פרויקטים בתחום הננו. בפרויקטים אלה ניתן לציין את פרויקט Samson של הטכניון במסגרתו מתוכננים להיות משוגרים לחלל בהמשך שנת 2014 ובשנת 2015 שלושה לוויינים קטנים המדגימים טיסת מבנה של ננו-לוויינים, פרויקט דוכיפת שבו הרכיבו תלמידי בית ספר תיכון בהרצליה ננו-לוויין ששוגר לחלל ביוני 2014, פרויקט משותף עם סוכנות החלל האיטלקית (פרויקט שלום), פרויקט משותף עם סוכנות החלל הצרפתית בו מעורבות גם החברות הישראליות אל-אופ והתעשייה האווירית לפיתוח לוויין המיועד לניטור שינויים סביבתיים, ופרויקטים של סוכנות החלל האירופית בהם פיתוח פלטפורמות שיגור ופרויקט לפיתוח מערכת איכון. מלבד פעילויות אלה שותפה ישראל במאמץ אותו מובילה וועדת החלל של האו"ם לספק שירותי הדמאות לוויין כסיוע לניהול מצבי אסון. כמו כן מתמודדים שחקנים ישראלים בתחרות בינ"ל לפיתוח לוויין מדעי חלוצי לתצפיות בתחום העל-סגול. על פרוייקט זה מתמודדת קבוצה הכוללת את מכון ויצמן, קאל-טק, NASA ונציגים מהתעשייה הישראלית. תחומים נוספים בהם יכולה ישראל לפתח פעילות, תחומים בהם היא יכולה להציג ידע ונסיון ייחודיים ומתקדמים הם תחום הניטור של לוויינים ועצמים בחלל (הדגש כאן על יכולות של ישראל בתחום המכ"ם), תקשורת, אופטיקה, הגנה מפני פעילות סייבר. פרוייקט אמריקאי-אירופי לפינוי והגנה מפני פסולת חלל בשם space fence אוזכר כפרוייקט בו יכולה ישראל להשתלב ולהציע לו ערכים מוספים ייחודיים.

וכדומה; מודל בו הממשלה מזמינה פרוייקט מהתעשייה לצרכיה או כחלק משיתוף בינלאומי (כדוגמת פרוייקטים של משהב"ט, או לוויין ונוס); מודל בו התעשייה והאקדמיה (לא בהכרח) מגשים הצעת מחקר לממשלה הנותנת הלוואה למימוש המחקר תחת הכנפים של המדען הראשי.