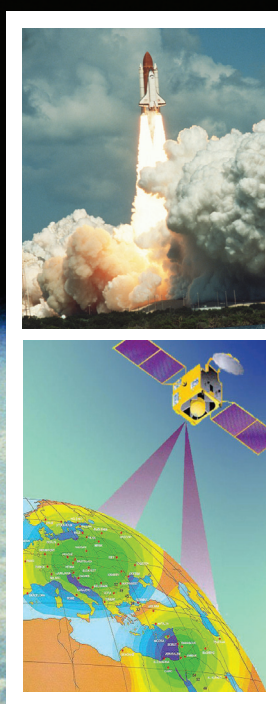


הערכת ההשפעה של תעשיית החלל על כלכלת ישראל



- ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל בישראל
- דו"ח מסכם על חקר השוק והמדיניות בתחום החלל

ד"ר דפנה גץ, ארקדי כצמן, בלה זלמנוביץ, דגנית פייקובסקי,
ורד סגל ויאיר אבן זוהר

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

1 מבוא

מוסד נאמן הוקם בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל נאמן. מטרת המוסד ודרך פעולתו פורטו במסמכי ההקמה: "מוסד נאמן מוקם לסייע בחיפוש פתרונות לבעיות הלאומיות בתחום הפיתוח הכלכלי, המדעי והחברתי במדינת ישראל"; "בחירת נושאי הפעילות תותנה על ידי השאיפה לעידוד בפתרון בעיות המדינה לטווח בינוני וארוך, תוך ניצול מאגר כוח האדם המדעי והטכנולוגי הנמצא בטכניון וגיוס צוותות המורכבים מאנשי הטכניון ומחוצה לו לתקופות מוגבלות אשר ירכזו מאמציהם בנושאים שנקבעו".

להשגת יעדים אלה מקדם מוסד נאמן מחקרי מדיניות ומדיניות מו"פ מתוך כוונה לגבש על בסיסם ניירות עמדה ומסמכי מדיניות, אשר יובאו לפני הציבור המקצועי וציבור קובעי המדיניות, ויצילו לפניהם חלופות שונות לקבלת החלטות.

2 ייעוד והיקף פעולה

הדגש העיקרי בפעילות המקצועית במוסד נאמן היא באותם תחומים שהם בפן הביניים, שבין מדע וטכנולוגיה ובין כלכלה וחברה. הפעילות בתחומי ביניים אלה הינה חשובה כיום יותר מאשר אי פעם בעבר, זאת משום שבתקופתנו המדע והטכנולוגיה הם הכוח המניע לקידום ושגשוג כלכלי ויש להם השפעה מהותית על איכות החיים ועל מגוון של היבטים חברתיים. זה הייחוד של מוסד נאמן כמכון למחקרי מדיניות. היבט חשוב נוסף לפעילות בתחומי ביניים אלה גלום ביכולתם להשפיע על המחקר המדעי והטכנולוגי ועל קביעת סדרי עדיפויות בתחומים אלה. קשרי הגומלין ההדוקים בין מדע וטכנולוגיה, כלכלה וחברה יוצרים מערכת מורכבת של היזונים הדדיים וכתוצאה מכך ההתפתחות המדעית והטכנולוגית כיום אינה מתנהלת בדרך עצמאית לחלוטין, כפי שהיה בעבר הלא רחוק. היא מושפעת בצורה גוברת והולכת על ידי צרכים כלכליים וחברתיים. לפיכך, ההבנה של קשרי גומלין אלה הינה אלמנט חשוב נוסף בקביעת מדיניות מחקר ותחומי מחקר באוניברסיטאות ובמכוני מחקר.

3 מבנה ודרך פעולה

מוסד נאמן ממוקם בתוך קמפוס הטכניון ונהנה מהתשתית של מוסד זה. יחד עם זאת מוסד נאמן הינו גוף עצמאי מבחינה משפטית ומנהלית. מבנה זה מאפשר לו פעולה יעילה למילוי ייעודיו בכל הקשור לגמישות בהרכבת צוותי חוקרים ומומחים, הכוללים גם נציגים מאוניברסיטאות וגופים מחוץ לטכניון, הדרושים לפעילות הבין-תחומית.

4 פעילות מקצועית

סקירות של פרויקטים שונים, שבוצעו במוסד נאמן מוצגות בדיווחים השנתיים המופצים בציבור. חומר זה ופרסומים אחרים מוצגים באתר האינטרנט של המוסד www.neaman.org.il.

תחום מחקרי מדיניות לאומית הקשורים במדע וטכנולוגיה הנו גרעין הפעולה של מוסד נאמן. הוא משתלב בפעילויות יישום ופעולות משלימות נוספות, שעיקרן הוא יצירת קשר עם השטח, בכל הקשור לנתונים הנדרשים למחקרי מדיניות, שמטרתן ליצור תודעה בציבור המקצועי ובציבור מקבלי ההחלטות כדי ליישם את מחקרי המדיניות. הפעילות במחקרי מדיניות מקיפה ארבעה תחומים עיקריים: מדע-טכנולוגיה-כלכלה; סביבה, תשתיות ותכנון לאומי; טכנולוגיה וחברה; חינוך אוניברסיטאי, הון אנושי והתפתחויות מדעיות. פעילויות היישום כוללות, בין השאר, ייזום וניהול של השותפים האקדמיים בקונסורציה שבמסגרת מג"ט ומאגרי מידע לשימוש החוקרים והציבור הרחב.

הערכת ההשפעה של תעשיית החלל על כלכלת ישראל

**ד"ר דפנה גץ
ארקדי כצמן
בלה זלמנוביץ'
דגנית פייקובסקי
ורד סגל
יאיר אבן-זוהר**

ספטמבר 2009

מוסד שמואל נאמן, הטכניון

"הערכת ההשפעה של תעשיית החלל על כלכלת ישראל"

מחקר בנושא "הערכת ההשפעה של תעשיית החלל על כלכלת ישראל" מתבצע על ידי צוות של מוסד שמואל נאמן בטכניון בראשותה של ד"ר דפנה גץ, במימון משותף של מוסד נאמן (במסגרת תוכנית כלכלת הביטחון הלאומי (ENS)) ושל מפא"ת (מת"א).
שותפים בצוות: ארקדי כצמן, בלה זלמנוביץ', דגנית פייקובסקי, יאיר אבן-זוהר וורד סגל. פרופ' דן פלד, שעמד בראש תוכנית ה-ENS, מלווה את הפרויקט.

מטרות הפרויקט:

- להעריך את השפעתה של תעשיית החלל האזרחית (עם מערכת הביטחון ברקע, כיום וכמזמין עיקרי) על כלכלת ישראל, באמצעות איסוף וניתוח של נתונים על תעשיית החלל, על הכשרת כוח אדם ועל המו"פ בתחום זה.
- לרכז נתוני מפתח הקשורים לתעשיית החלל הישראלית, הגורמים המשפיעים על התפתחותה ועל תרומותיה כדי לבחון את מדיניות התמיכה הממשלתית בתעשייה זו.

החלק השני של העבודה, אשר מאוגד במסמך זה, מורכב משני דו"חות כמפורט להלן:

ניתוח מגמות של תעשיית החלל ומאפייניה נעשה ב**דו"ח החמישי**. הדו"ח מציג נתונים מסקר של החברות ומראיונות עם גורמים המעורבים בתעשיית החלל ובפעילות החלל בארץ ומנתח את הממצאים. הדו"ח מציג את ההישגים, היתרונות ונקודות החוזק של תעשיית החלל בארץ, וכן מנתח את הקשיים ונקודות החולשה של תעשיית החלל של ישראל.

הדו"ח השישי, המסכם, מוקדש בעיקר למדיניות בתחום החלל (עידוד חקר החלל בארץ ובמדינות אחרות, המעורבות הממשלתית הרצויה בתעשיית החלל בישראל, חלל כנושא מאתגר, שיכול לעודד את הנוער ללמוד מקצועות טכנולוגיים, והמלצות למדיניות). כמו כן, הדו"ח מנתח את מבנה שוק החלל העולמי, מגמות של תעשיית החלל בעולם, מיקומה של תעשיית החלל הישראלית בשוק הגלובלי ומיצובה.

החלק הראשון של העבודה, הורכב מארבעה דו"חות כמפורט להלן:

הדו"ח הראשון דן במעמדה המחקרי של ישראל בתחומי הנדסת חלל על פי נתונים ביבליומטריים בהשוואה למדינות אחרות. הממצאים העיקריים: ישראל מדורגת במקום הראשון במספר הפרסומים לנפש, מחקרי ישראל בהנדסת אוויר-חלל מדורגים במקום הראשון בעולם במדד קדימות התחום ובמקום החמישי באיכות הפרסומים.

בדו"ח השני רוכזו נתונים עיקריים על הפעילות שקשורה בחלל - בארץ ובעולם - במונחים מספריים וכספיים, מהיבט מבני (ענפי תעשיית החלל) ומהיבט עסקי (מידע שיטתי ומגוון על חברות העוסקות בתחום).

הדו"ח השלישי - "מדדים לפעילות בתחום החלל" - מציג אינדיקטורים מקובלים (OECD) של ענף החלל, ומעלה נושאים מתודולוגיים רלבנטיים.

הדו"ח הרביעי מוקדש למודלים עסקיים בתעשיית החלל. המודל העיקרי שמוצג הוא מודל של שותפות ציבורית-פרטית, שנפוץ יותר ויותר בעולם. מודל זה רלבנטי במיוחד לתוכניות חלל שלהן רמה טכנולוגית ו/או סיכונים שוק גבוהים. רעיון הליבה של המודל הוא, שהמגזר הציבורי מממן פרויקטים בשלב מוקדם (סיכון גבוה), ובהמשך, במהלך השלב ה"תפעולי", חברות פרטיות מבצעות ומממנות את הפרויקטים, באופן שיוחזר חלק נכבד מההשקעות הציבוריות ההתחלתיות (למשל, דרך תמלוגים).

הידע שנצבר במוסד נאמן במהלך המחקר על תעשיית החלל בישראל, שימש להכנת אחד הפרקים במסמך **"ישראל 2028** - חזון ואסטרטגיה כלכלית חברתית בעולם גלובלי". מסמך זה, שחלק נכבד ממנו חובר על-ידי מוסד נאמן, הוגש לראש הממשלה ונדון בממשלה.



ד"ר ד.גץ • ב. זלמנוביץ' • א.כצמן • ד.פייקובסקי • י.אבן-זוהר

ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל בישראל

חיפה, 2009





מוקדש לזכרו של ד"ר מרסל קליין



תקציר מנהלים

במסגרת המחקר נערכו ראיונות עם פעילים בתחום החלל. בנוסף, נערך סקר חברות שבמסגרתו נשלח שאלון למנהלים בכירים ולנציגי תעשיית החלל בארץ. הדו"ח הנוכחי מציג ומנתח את תוצאות סקר החברות ואת הראיונות עם הגורמים המעורבים בתעשיית החלל ובפעילות החלל בארץ.

לדעתם של המרואיינים, יש לתעשיית החלל של ישראל יתרונות ונקודות חוזק רבות: יתרונות טכנולוגיים (כגון הנדסת מערכת ברמה גבוהה, מצלמות ומכ"ם לחלל מהטובים בעולם), נקודות חוזק ארגוניות (כוח אדם איכותי ומנוסה, יכולת ארגונית-מערכתית טובה, "סביבת היי-טק" וכו'), ונקודות חוזק כלכליות (כגון עלויות נמוכות של פיתוח מערכות, יזמות עסקית גבוהה, "התאזרחות" מוצלחת של תעשיית החלל).

ניתוח נקודות החולשה של תעשיית החלל הישראלית מגלה כי הקשיים נובעים בעיקר מהיבטים ביטחוניים (מגבלות יצוא ומגבלות שיגור, התנגשות בין שיקולים ביטחוניים וכלכליים וכו') ומהיקפה הקטן של תעשיית החלל בארץ (איבוד היתרון של עלויות נמוכות בהעדר ייצור סדרתי, וכד'). יש גם קשיי כוח אדם (העדר המשכיות בנושא, מחסור במנהלי פרויקטים, תנאי עבודה לא מספיק אטרקטיביים), קשיים הנובעים ממדיניות בנושאי החלל (העדר מדיניות מכוונת שמגובה בתקציבים בתחום זה, חוסר התייחסות לקידום השכלה טכנולוגית), וקשיים אחרים.

אנשי תעשיית החלל הביעו את דעתם על ההזדמנויות של תעשיית החלל בישראל (שימוש בלוויינות כבכלי מדיני, חידוש לוויינים וכד') ועל איומים עליה (הנובעים ממחסור בתקציבים ממשלתיים, וכו').

נותחו שינויים ומגמות עיקריים בתעשיית החלל בישראל (עליה בביקוש, השתלבות בשוק העולמי, נוהלי עבודה מסודרים יותר) ותחזיות של שינויים ומגמות (בתחומי ייצור, שיווק ושיתוף גורמים צבאיים ועסקיים).

המרואיינים הציעו כיוונים טכנולוגיים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל בישראל - תקשורת לייזר בין לוויינים ומלוויינים לקרקע, פיתוח מערכות הנעה, מיקרו-לוויינים וכד'.

את התמונה הכללית של נושאים מרכזיים בתעשיית החלל בארץ משלים ניתוח תוצאות הסקר בנושאי מו"פ וחדשנות בתחום החלל, אפיון תהליכי העברת ידע וטכנולוגיה, השפעות והשלכות הפעילות בתחום החלל על החברות.



תוכן העניינים

1. מבוא.....	1
2. מתודולוגיה.....	2
3. תעשיית החלל בארץ - מצב קיים.....	5
4. ניתוח נקודות חוזק של תעשיית החלל בישראל.....	7
4.1 יתרונות טכנולוגיים.....	7
4.2 נקודות חוזק ארגוניות.....	8
4.3 נקודות חוזק כלכליות.....	9
5. נקודות חולשה של תעשיית החלל.....	10
5.1 היבטים ביטחוניים.....	10
5.2 קשיים הנובעים מהיקפה הקטן של תעשיית החלל.....	11
5.3 קשיי כוח אדם.....	12
5.4 קשיים הנובעים ממדיניות בנושאי חקר ותעשיית החלל.....	12
5.5 קשיים אחרים.....	13
6. הזדמנויות של תעשיית החלל בישראל.....	14
7. איומים על תעשיית החלל בישראל.....	14
8. שינויים ומגמות עיקריים בתעשיית החלל בישראל.....	15
9. תחזית שינויים ומגמות בתעשיית החלל בארץ.....	16
10. כיוונים טכנולוגיים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל בישראל.....	16
11. מו"פ וחדשנות בתחום החלל.....	19
12. אפיון תהליכי העברת ידע וטכנולוגיה.....	21
13. השפעות והשלכות של הפעילות בתחום החלל על החברות.....	22
14. סיכום.....	25
15. ביבליוגרפיה.....	27
נספחים.....	28
נספח 1 : רשימת המרואיינים :.....	28
נספח 2 : שאלון של סקר החברות.....	29



1. מבוא

דו"ח זה מציג ומנתח את תוצאות סקר החברות של תעשיית החלל בישראל ואת הראיונות שנערכו עם גורמים שונים המעורבים בתעשיית החלל ובפעילות החלל בארץ.

תעשיית החלל בארץ החלה להתפתח בראשית שנות ה-80. ישראל מהווה דוגמה יוצאת דופן בתחום החלל - אין עוד מדינה בגודלה של ישראל שמייצרת ומשגרת עצמאית לוויינים מתוככמים. תעשיית החלל מתקיימת (בישראל ובחו"ל) במידה רבה בזכות הזמנות ממשלתיות. ישראל לא הייתה מקימה תשתית של בינוי ואינטגרציה של לוויינים ללא הזמנות ביטחוניות ממשלתיות. במישור הכלכלי גרידא אין, לדעת אנשי תעשיית החלל שאותם ראיינו, זכות קיום לתעשיית החלל האזרחית (מלבד החברות שמספקות שירותי חלל כגון גילת) ללא תמיכה של הממשלה כלקוח או כגורם בעל עניין בפיתוח התעשייה. התעשייה ממסחרת יכולות שפותחו בשני תחומים עיקריים - לווייני תקשורת, שהוסיפו פן אזרחי ליכולת החללית של ישראל ולווייני תצפית.

ההתמחויות של תעשיית החלל בארץ צמחו מצרכי הביטחון של המדינה ומגבלות בכושר השיגור.¹ לישראל היה צורך בייצור לוויין תצפית מסיבות ביטחוניות ועל בסיס זה היא נכנסה כאמור גם ליצור לווייני תצפית ותקשורת אזרחיים. כושר השיגור של ישראל אינו גדול - כ-300 ק"ג, ועל מנת לא להיות תלויה במדינות אחרות, פיתחה ישראל לוויינים קטנים. מאותה סיבה לישראל גם חשוב להיות עצמאית בייצור הרכיבים לתעשיית החלל. התמחות נוספת שיש לישראל הינה גם בתחום שירותי תקשורת לוויינית (העברת נתונים, קול ווידאו בתקשורת לוויינית - גילת).

הדו"ח הנוכחי מחולק ל-15 פרקים. פרק 2 עוסק בנושאים מתודולוגיים, וכולל את הצגת החברות שהשתתפו בסקר. פרק 3 מציג את המצב הקיים של תעשיית החלל בארץ ומתמקד בהתפתחויות האחרונות בה. בפרקים הבאים מובאים סיכומים וניתוחים של דעות המרואיינים ותשובות נציגי תעשיית החלל לשאלות הסקר בנושאים מרכזיים של תעשיית החלל בארץ: ניתוח נקודות חוזק וחולשה של תעשיית החלל בישראל (פרקים 4, 5), הזדמנויות העומדות בפני תעשיית החלל בישראל והאיומים עליה (פרקים 6, 7), שינויים ומגמות עיקריים בתעשיית החלל ותחזית של שינויים ומגמות עתידיות (פרקים 8, 9), כיוונים טכנולוגיים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל בארץ (פרק 10), מו"פ, חדשנות ותהליכי העברת ידע וטכנולוגיה (פרקים 11, 12), השפעות והשלכות של הפעילות בתחום החלל על החברות (פרק 13). פרק 14 מסכם את הדו"ח. הדו"ח כולל שני נספחים - רשימת המרואיינים ושאלון הסקר.

¹ כיוון השיגור האופטימלי הוא מזרחה בכיוון סיבוב כדור הארץ. מדינת ישראל בחרה לשגר מערבה על מנת ששיגוריה לא יתפרשו על ידי המדינות השכנות כפעילות עויינת. התוצאה היא הפסד אנרגיה בעל משמעות.



2. מתודולוגיה

במסגרת המחקר נערכו ראיונות עם 26 אנשים המעורבים בתעשיית החלל ובפעילות החלל בארץ (רשימת המראיינים מוצגת בנספח 1). בנוסף, נערך סקר לחברות שבמסגרתו נשלח שאלון (ראה נספח 2) למנהלים בכירים ולנציגים בתעשיית החלל בארץ. השאלון מבוסס על שני מקורות:

- מודל הערכה שהשתמשו בו במחקר שבוצע על-ידי שני גופים, בהזמנת משרד התעשייה והמסחר הבריטי וה- British National Space Centre (BNSC):
 - SQW Consulting (חברת יעוץ בריטית, המתמחה בניתוח תהליכים כלכליים וחברתיים)
 - SPRU² (המובילה במחקר ויעוץ במדיניות בתחומי המדע, הטכנולוגיה והחדשנות)
- UK Innovation Survey - סקר שנערך במסגרת ה-CIS³, שמאפשר לבצע הערכת התקדמות של מדינות האיחוד האירופי בתחום החדשנות.

קבלנו תשובות לשאלונים מ-9 נציגים שונים של חברות⁴, המהוות ברובן את המעגל הראשון של חברות בתחום החלל בארץ - חברות שעוסקות בייצור לוויינים ובאספקת שירותי לוויין. התשובות שקבלנו יחד עם חומר הראיונות, מאפשרים לשרטט תמונה כללית של הנושאים המרכזיים בתעשיית החלל בארץ.

להלן תיאור קצר של החברות שהשתתפו בסקר. ניתן לקרוא בהרחבה על חברות אלה בדו"ח "נתונים על תעשיית החלל בישראל ובעולם" שהוכן על-ידי מוסד נאמן ב-2007.

- **התעשייה האווירית** היא חברה ממשלתית, והחברה הגדולה בארץ בתחום החלל, הגיעה למקום החמישי (בשנת 2007)⁵ בדירוג דן אנד ברדסטריט של החברות התעשייתיות הגדולות בישראל (לפי היקף המכירות). בדירוג 50 חברות החלל המובילות בעולם לשנת 2006, שהתפרסם באוגוסט 2007, הגיעה התעשייה האווירית למקום ה-23. התעשייה האווירית עוסקת בתוכניות החלל בארץ באמצעות שלושת המפעלים הבאים ובאמצעות חברת הבת - אלטא:

- **מפעל מב"ת - חלל** - עוסק בבניית לווייני התקשורת מסדרת עמוס, לווייני התצפית מסדרת אופק ו-EROS, ומיקרו לוויינים, וכן באספקת יכולות מבצעיות, כולל תחנות עקיבה שליטה ובקרה, ותחנות קרקע לחישה מרחוק. כל הלוויינים בארץ (מלבד לווייני הטכניון) נבנו במפעל זה.

¹ Social Policy Research Unit של אוניברסיטת סאסקס

³ Community Innovation Survey

⁴ בנוסף להם - גם נציג של העמותה הישראלית ללוויינות זעירה INSA מילא שאלון.

⁵ Dun and Bradstreet (2007).



- **מפעל תמ"מ** - מספק מערכות ניווט ובקרה ללוחמיים.
- **מפעל מל"מ** - פיתח משגר "שבית", שמאפשר שיגור של לוויינים קטנים ובינוניים.
- **אלתא**, חברת בת של התעשייה האווירית, מייצרת מגוון מערכות ומוצרים, בעיקר מתחום האלקטרוניקה. מוצרי החטיבה מיועדים לזרועות הצבא, בעיקר לצורכי מודיעין, סיור ותצפית, התרעה מוקדמת ובקרה, מיגון והגנה. תרומתה העיקרית לתוכנית החלל הינה באספקת מטעדים. בין שאר המוצרים של אלתא - מכ"ם ללווייני SAR (Synthetic Aperture Radar), שמאפשר צילום בכל תנאי מזג אוויר. לחברה מוקדים טכנולוגיים, תשתיות ומתקנים ייחודיים ובלעדיים בארץ.
- חברת **אל-אופ** תעשיות אלקטרו-אופטיות מקבוצת אלביט מערכות, חברת אלקטרו אופטיקה הגדולה בארץ, מפתחת ומייצרת סוגים שונים של מערכות. רוב המוצרים הם מוצרים ביטחוניים, החל ממשקפות ראיית לילה קטנות, וכלה במצלמות חלל. אל-אופ נחשבת אחת מיצרניות מצלמות החלל המובילות בעולם. החברה מייצרת מטעדי צילום ברזולוציה גבוהה, מטעדים בתחום האינפרא-אדום, מטעדים מולטי-ספקטראליים והיפר-ספקטראליים (המבוססים על זיהוי אובייקטים באמצעות חתימות התדר שלהם) ללוויינים צבאיים ואזרחיים. היא מייצרת גם מצלמות זעירות ביותר ללוויינים קטנים ולמיקרו-לוויינים. 40% מ-1,200 עובדיה - מהנדסים ועובדי מו"פ.⁶
- חברת **אלישרא** מערכות אלקטרוניקה, היא אחת מהיצרניות הגדולות בארץ של ציוד למערכות אלקטרוניות בטחוניות. היא נכנסה לתחומי הטכנולוגיות המתקדמות של תקשורת לוויינית וסלולארית, עיבוד תמונה, ניטור למטרות ביטחון ועוד. החברה מעורבת בתכנון החלל הלווייניות של ישראל בנושא תקשורת.
- **גילת רשתות לוויין**, החברה השנייה בגודלה בארץ בתחום החלל, עוסקת בייצור ושיווק תחנות זעירות לתקשורת לוויינית VSAT (Very Small Aperture Terminals). בדירוג דן אנד ברדסטריט של החברות התעשייתיות הגדולות בארץ לשנת-2007 היא נמצאת במקום ה-53. מוצרי החברה נותנים פתרונות תקשורת, אינטרנט והעברת נתונים באמצעות לוויינים. גילת בונה בטכנולוגיית VSAT פלטפורמות להעברת קול, נתונים ווידאו; מאפשרת הקמת תחנות טלפוניה לוויינית באזורים מרוחקים; מספקת לחברות טכנולוגיות IP מתקדמות. גילת הקימה מספר רשתות VSAT - מהגדולות בעולם. החברה ספקה יותר מ-600,000 תחנות לוויין זעירות לתקשורת ליותר מ-85 מדינות בכל היבשות.⁷

⁶ DunsGuide Israel (2006)

⁷ Dun's 100 Ranking of the Top Israeli Companies (2007)



- חברת **ספייסקום** (חלל-תקשורת) הוקמה כמיזם משותף של התעשייה האווירית ומספר חברות ישראליות נוספות, והיא עוסקת בשיווק שירותי תקשורת Direct broadcast satellite services (DBS) על-ידי הלוויינים מסדרת עמוס ללקוחות בארץ ובחו"ל. היא בונה ומתחזקת תחנות קרקע לווייניות עבור מגוון לווייני תקשורת בישראל ובעולם, כגון עמוס, אינטלסאט, יוטלסאט, וכו'. פרויקט טיפוסי כולל את חיבור מערכת התקשורת של הלקוח לתחנת קרקע קיימת או לתחנה שנבנתה במיוחד למטרה זו (קבועה או ניידת) תוך הסדרת הקשר אל הלוויין וממנו, ומתן הכשרה עבור סגל הלקוח. החברה החלה את פעילותה ב-1996 עם שיגורו של לוויין התקשורת עמוס-1, ובמהלך השנים ביססה את מעמדה כמפעילת לוויינים מובילה בשוק הישראלי, במזה"ת ובאירופה. בין לקוחותיה בארץ נמנים ממשלת ישראל, רשות השידור, הרשות השנייה (ערוץ 2 וערוץ 10), חברת הטלוויזיה בלוויין Yes וגילת. בין לקוחותיה בחו"ל ניתן למנות את HBO (ארה"ב), אנטנה (הונגריה), BOOM TV (רומניה) וגורמי שידור רבים אחרים, כמו גם משתמשים ממשלתיים.
- חברת **אימג'סאט** (ImageSat International - ISI) בשליטת התעשייה האווירית ואלביט מערכות, עוסקת בהפעלת לווייני תצפית EROS ובמכירת שירותי צילומי לוויין, המשמשים בעיקר לצרכי ביטחון לאומי, מודיעין, צבא וביטחון פנים, וכן לשימושים אזרחיים כמו פיקוח ותכנון חקלאי. אימג'סאט היא אחת מארבעת ספקי שירותי לווייני צילום ברזולוציה גבוהה בעולם.



3. תעשיית החלל בארץ - מצב קיים

בישראל הוקמה בעשורים האחרונים תעשיית חלל מפותחת. ישראל היא אחת מתשע המדינות בעולם המשגרות באופן עצמאי לוויינים לחלל. תוכנית החלל הישראלית נוצרה בשנות ה-80 בעיקר לצרכי מודיעין צבאי. בשל מגבלות גודל ומשאבים, בחרה ישראל להתמקד בעיקר בשני תחומים של טכנולוגיות החלל: חישה מרחוק ותקשורת. בגלל מגבלות תקציביות ומגבלות שיגור, הלוויינים בארץ קטנים יחסית לשאר הלוויינים בעולם, אך בעלי ביצועים גבוהים מאוד. איכות ההון האנושי הגבוהה והחתימה המתמדת להצטיינות בתחומי הביטחון וההגנה, מקנות לישראל יתרון תחרותי בתחום החלל.

לצמיחה של תעשיית החלל יש השפעה חיובית על הכלכלה. צמיחה בכלכלה מודרנית מסתמכת באופן ניכר על הון אנושי ועל המידה שבה החברה והמשק שלה מבוססים על ידע. פיתוח של טכנולוגיות חלל תורמות באופן ישיר למרכיבים אלה, והאתגרים שתעשייה זו מציבה מסייעים לישראל למשוך אליה מדענים ומהנדסים איכותיים. הישגיה הבולטים של ישראל בתחומי טכנולוגיות החלל, חרף ההשקעות הזעומות יחסית לאלה של מדינות אחרות, מצביעים על יתרון יחסי לפחות בחלק מטכנולוגיות אלה.

הנושאים העיקריים, שבהם פועלת התעשייה הישראלית בתחום החלל כיום הם: בניית לוויינים, מערכות שליטה ופיקוד קרקעיות ואוויריות, טכנולוגיות צילום מלוויינים ותקשורת. ישראל בונה לווייני תקשורת מסדרת "עמוס", לווייני תצפית - מסדרת "אופק" (לוויינים צבאיים) ומסדרת "EROS" - לוויין אופק בתלבושת אזרחית. השנה שוגר הלוויין TecSAR ("פולאריס"), שמצלם את כדור הארץ באמצעות מכ"ם, בכל עת ובכל מזג אוויר, ולוויין התקשורת "עמוס-3".

נושא תעשיית החלל בארץ נידון בהרחבה בדו"ח "נתונים על תעשיית החלל בישראל ובעולם" שהוגש על-ידי מוסד נאמן ב-2007. כאן נתמקד בלוויינים ששוגרו לאחרונה.

הלוויין הראשון של ישראל - לוויין צילום "אופק 1" שוגר ב-1988. ב-1990 שוגר "אופק 2", וב-1995 - "אופק 3". ב-1998 נכשל השיגור של הלוויין "אופק 4". הכישלון דרבן את ההחלטה לשגר את לוויין התצפית המסחרי הראשון "EROS-A" ומערכת הביטחון השתמשה בו כלקוח. הצלחתו הביאה ב-2006 לשיגור "EROS-B", שגם ביכולותיו משתמשת מערכת הביטחון כלקוח לכל דבר. חברת Imagesat מפעילה את לווייני EROS ומשווקת בעולם צילומי לוויין.

ב-2002 שוגר הלוויין הצבאי "אופק 5" מהדור החדש של לוויינים. אחר כך בא כשלון שיגור "אופק 6". ב-2007 שוגר בהצלחה הלוויין "אופק 7", ובינואר 2008 שוגר מהודו הלוויין "טקסאר" (TecSAR), לוויין מכ"ם שמשמש למשימות צילום. המכ"ם פותח על-ידי אלתא, והלוויין - על-ידי תע"א. הפרויקט החל לפני שש שנים בהזמנת משרד הביטחון. הלוויין "טקסאר" שוגר באמצעות טיל הודי, כחלק משיתוף הפעולה בין המדינות בתחום הביטחוני. לישראל אמנם יש את היכולת לשגר לוויינים, אך השיגור מישראל קשה ומוגבל בשל אילוצי הביטחון, ולפיכך מעדיפים בישראל לשגר את הלוויינים המסחריים ממדינות אחרות. "טקסאר" מבוסס על טכנולוגית מכ"ם להבדיל מ"אופק 7"



שמבוסס על צילום אלקטרו-אופטי, לכן הוא בעל יכולות צילום טובות ביום ובלילה, גם בתנאי מזג אוויר קשים ושמים מעוננים. "טקסאר" נחשב ללוויין המתקדם ביותר של ישראל בחלל.

באפריל 2008 שוגר כאמור גם לוויין התקשורת החדש, "עמוס-3", שיחליף את הלוויין "עמוס-1" שפעל בחלל במשך 12 שנים. ל"עמוס-2", ששוגר ב-2003 צפויות עוד כשמונה שנות שירות. בעקבות ההצלחה הטכנית והמסחרית של "עמוס-1" ו"עמוס-2" תוכנן ונבנה על-ידי תע"א עבור חברת חלל-תקשורת (Spacecom) הלוויין "עמוס-3", ששוגר מקזחסטן. "עמוס-3" הוא הגרסה המשוכללת והעדכנית בין לווייני התקשורת של ישראל, הוא מצויד בארבע אנטנות שידור, שתיים מהן ניידות הניתנות לכיווןן מהקרקע לפי צורכי הלקוחות. כך שבנוסף לשידורי טלוויזיה, רדיו ושירותי העברת נתונים באלומות הקבועות לחוף המזרחי של ארה"ב, אירופה והמזרח-התיכון, יכול "עמוס-3" לספק שירותים באמצעות האנטנות הניידות לכל נקודה במזרח-התיכון, באירופה, באפריקה ובאזורים נוספים ביבשת אמריקה. טרם שיגורו לחלל נרכשו למעלה מ-85% מקיבולת השירות שלו. חלל תקשורת מתכננת לשגר בעשר השנים הקרובות עוד ארבעה לוויינים לשתי נקודות שמיים שונות; בין יתר היעדים חברת חלל תקשורת תמשיך לבסס את מעמדה כספקית של פלטפורמות DTH⁸ מובילות באירופה, תוך חדירה לשווקים חדשים כדוגמת אפריקה.

הפרקים הבאים מתייחסים לראיונות ולסקר החברות שבוצעו במסגרת הפרויקט. ניסינו לייצג את כל מגוון הדעות שהביעו המרואיינים, ולעתים גם לשמור על הניסוח האותנטי שלהם.

⁸ Direct-To-Home TV.



4. ניתוח נקודות חוזק של תעשיית החלל בישראל

שוק החלל הוא שוק תחרותי מאוד. תעשיית החלל בארץ קטנה, אך הצליחה להחדיר לשוק החלל מוצרים בתחומים מסוימים בזכות היעילות הכלכלית, היכולת הטכנולוגית והיזמות שקיימת בישראל בתחום זה.

4.1 יתרונות טכנולוגיים

- **יכולת לבנות לווייני תצפית קטנים בעלי יכולות גדולות** - בתחום של לוויינים קטנים לצילום וחשיפה מרחוק, תעשיית החלל של ישראל היא מובילה: ישראל הצליחה לפתח יכולות גדולות בלוויינים קטנים, שהם המתקדמים בעולם. המגבלה של יכולת השיגור אילצה את ישראל לפתח לוויינים במשקל נמוך בהתאם לכושר השיגור, ובהם תעשיית החלל הצליחה להכניס יכולות ביצוע ברמה גבוהה מאוד. דבר זה מקנה לה יכולות שכמעט ולא קיימות במדינות אחרות. הלוויין האלקטרו אופטי של תע"א הינו בעל רזולוציה של פחות ממטר ומשקלו רק 300 קילו. משקל של לוויין עם ביצועים דומים אצל האמריקאים והאירופאים הינו מעל לטון. בשל העלייה במשקל, עולה מחירו של הלוויין. לווייני הצילום האלקטרו אופטיים והמכ"מים של ישראל הם הקלים בעולם והינם כדאיים מאוד מבחינת היחס של הביצועים למחיר - Cost effective.
- **הנדסת המערכת** בתעשיית החלל בארץ נמצאת ברמה גבוהה, המהנדסים מצליחים להכניס יכולות גבוהות ללוויינים קלים. אפשר לציין חשיבה הנדסית טובה ברמה מערכתית.
- **יכולת יצירת אבי טיפוס** בזמן קצר ובמחיר נמוך, היא אחד מהמאפיינים והיתרונות הייחודיים של תעשיית החלל של ישראל.
- **התאמת אפליקציות לצרכים** - הצרכים של ישראל הינם ספציפיים, ואחד היתרונות הוא ביכולת להתאים להם את האפליקציות, לייצר לוויינים קטנים המותאמים בצורה הטובה ביותר לצרכים אלו.
- **מערכות הנעה** ללוויינים המבוססות על הידרזין, שפיתחה ומייצרת רפא"ל, הן הישג בקנה מידה עולמי. לאחרונה, קנו הצרפתים מרפא"ל רכיבים של מערכת הנעה בשביל מספר פרויקטים שלהם בתחום החלל. כל הלוויינים הישראליים, מלבד לווייני התקשורת, משתמשים במערכת הידרזין HPM⁹ שהיא בעלת 14 מנועים. רפא"ל עשתה פריצת דרך בתחום המנועים. בין לקוחותיה שרכשו מערכות הנעה פרי הפיתוח שלה נמנית גם חברת Global Star (חברה אמריקאית המספקת שירותי טלפון לווייני, העברת קול ונתונים ליותר מ-120 מדינות).

⁹ Hydrazine Propulsion Modules



- **מצלמות החלל ומכ"ם SAR של אל-אופ ואלתא** - הם מהטובים בעולם, ונמצאים בחזית הטכנולוגיה בתחום זה.

4.2 נקודות חוזק ארגוניות

- **כוח אדם** איכותי ומנוסה. אנשי תעשיית החלל בארץ מאופיינים בחשיבה טכנולוגית טובה - פשוטה, שמביאה תוצאות. הם בעלי יכולת להבדיל בין עיקר לטפל, להבין את דרישות הלקוח, ובעלי יכולת לספק פתרונות טכנולוגיים מתאימים. הם פתוחים לחדשנות, למציאת פתרונות ייחודיים, ויש להם יכולת חשיבה "מחוץ לקופסה". העסקת אנשים צעירים ומשכילים מקרב החיילים תורמת גם היא לאיכות הגבוהה של כוח האדם בתחום. לדברי עופר לפיד ממת"א, "אנחנו משתמשים ב"ילדים" הכי חכמים של המדינה".
- **יכולת ארגונית-מערכתית** טובה ויעילה שהוכיחה את עצמה. לתעשיית החלל הישראלית יש יכולת מערכתית פרויקטאלית - יכולת לנהל פרויקטים בצורה שונה מהמקובל: יכולת לקחת סיכונים, לחתוך פינות וכו'. זו יכולת שפותחה במדינת ישראל, וודאי בתעשייה הביטחונית.
- **גמישות מחשבתית וביצועית**. לדברי המרואיינים, חלק מהדברים שקדמו את ישראל היו האילוצים והמגבלות, שדחפו למצוא פתרונות, כדי להתגבר עליהם. לדוגמה, הודות לאיסור להשתמש ברכיבים אמריקאים, פותח הייצור של רכיבים בארץ. היינו מוגבלים במשקל, בנפח, ובכיוון השיגור. כל זה הכתיב ללכת ללוויינים קטנים, הכתיב הרבה פתרונות של אוטונומיות, ויצאו דברים ייחודיים. לדברי אחד המרואיינים, "ההכרח הוא אם כל ההישגים. אנחנו לא יותר טובים מאף אחד... הכול זה צורך שהוא חזק מאיתנו".
- **מסורת של עבודה מול אילוצים** היא אחת מנקודות החוזק.
- **"סביבת היי-טק"** - התחום הטכנולוגי חזק במיוחד בארץ. הסביבה הישראלית מאוד טובה להיי-טק, ותורמת לפתרון בעיות בצורה מהירה וטובה¹⁰.
- **גודלה הקטן של המדינה** הוא יתרון ארגוני - יש פחות סרבול. להיות קטנים וחסרי משאבים גדולים - מאלץ להיות יותר ממוקדים במטרות. יש פחות בירוקרטיה, מדברים באותה שפה, באותו זמן ובמרחק של 100 ק"מ.
- **מיקוד** - ישראל לא עסקה בחלל בצורה רחבה, היא מאוד ממוקדת. הזמנות משרד הביטחון ממוקדות במוצרים מסוימים שהיום נחשבים בעולם למוצרים מאד מתקדמים. המיקוד מביא אותנו לפתרונות מהירים וזולים.

¹⁰ פרסום טרי של מוסד נאמן מוקדש לנושא זה: Getz, D. and Segal, V. (2008).



4.3 נקודות חוזק כלכליות

- **עלויות נמוכות של פיתוח מערכות.** לפי ד"ר מרסל קליין ז"ל, מחלוצי תעשיית החלל בישראל, שהיה מנהל סוכנות החלל הישראלית ומדען ראשי של רפא"ל, "במדינת ישראל מפתחים לווין בשליש העלות של פיתוח בארה"ב. העבודה שנעשית בארה"ב על-ידי צוות של 20 עובדים, עושה כאן אדם אחד, ורק הוא יודע לעשות אותה טוב" (זה גם חסרון - תלות במספר מצומצם של אנשים עם כל הסיכונים הכרוכים בכך).

- **יכולות גבוהות במחיר נמוך.**

- לווויני הצילום האלקטרו אופטיים והמכ"מים של תעשיית החלל בארץ הם הקלים ביותר בעולם והיחס עלות-תועלת (cost effectiveness) שלהם הוא הגבוה ביותר. אחת מההוכחות לאטרקטיביות של לוווינים אלה – חברת NG חתמה הסכם בלעדי לשווק את הלווינים המכ"מים של ישראל בארה"ב, כי הם זולים בהרבה ממה שמציעים אחרים. נציגי חיל האוויר האמריקאי ששמעו על הלווינים האופטיים שלנו ביקשו לקבל הצעת מחיר לתחנה שתקלוט לוווינים אלו באפגניסטן.

- גם לווויני התקשורת זולים יותר מאלו המיוצרים על-ידי האירופאים והאמריקאים. ההבדל נעוץ בעיקר בכך שהפרויקטים קצרים ותכליתיים יותר, ולכן בפועל התשלום למשכורות נמוך יותר. בארץ יודעים לקצר תהליכים ולעגל פינות.

- **מעגלים קצרים בין הלקוח לספק,** היוצרים קשר אינטימי ושיתוף פעולה הדוק, מקצרים זמן ומורידים מחירים.

- **יזמות עסקית** גבוהה (למשל: בשוק האזרחי מציעים ללקוחות חבילות שירות, אשראי, בניית מתקנים וכד').

- **יתרון שווקי** בתחום תקשורת החלל. חברת גילת הקימה מספר רשתות VSAT - מהגדולות בעולם, ובין לקוחותיה נמצאות חברות תקשורת בכל העולם, שירות הדואר של ארה"ב (US Postal Service) ואחרים. חברת חלל תקשורת (ספייסקום) שגרה ב-2008 את הלוויין עמוס-3, ועוד טרם שיגורו לחלל נרכשו למעלה מ-85% מקיבולת השירות שלו.

- **"התאזרחות" מוצלחת של תעשיית החלל.** בתחילת דרכה של תעשיית החלל בארץ התקבלה החלטה שהמדינה צריכה לשלוט בטכנולוגיה שנחשבת כטכנולוגיה אסטרטגית. תעשיית החלל שירתה את הצרכים הצבאיים של ישראל. עם השנים התעשייה גדלה והתפתחה, והפנתה את היכולת שלה לעולם האזרחי. בתחום התצפית - לווויני ביון "אופק" הפכו ללוויינים שניתן למכור לפחות את תוצרתם לשימוש אזרחי - לווויני EROS, וחברת Imagesat מפעילה את הלוויינים בהצלחה. בתחום לווויני תקשורת - חברת חלל תקשורת מספקת שירותים ללקוחות רבים



באמצעות הלוויינים מסדרת "עמוס". תעשיית החלל של ישראל מצליחה להיות תחרותית בעולם האזרחי ולנצל את התשתיות הקיימות כדי לעשות עסקים.

5. נקודות חולשה של תעשיית החלל

5.1 היבטים ביטחוניים

• תלות במשרד הביטחון

○ **תלות "מחשבתית"**. פעילות החלל בישראל מזוהה במידה רבה עם משרד הביטחון. משרד התמ"ת אינו תומך בתעשייה זו, וזה המצב גם לגבי משרדים ממשלתיים אחרים.

○ **תלות תקציבית**. רוב התקציבים מגיעים ממערכת הביטחון. עובדה זו מכתיבה כיוונים ויישומים מסוימים, דבר שאינו בהכרח טוב לתעשייה.

○ **תקצוב לא מספיק גבוה** - לדברי מרואיינים, "בהזמנות ממשלתיות הגענו למצב שהתעשיות מסבסדות את משרד הביטחון בתחום החלל".

• **מגבלות יצוא** גורמות נזקים לתעשיות הישראליות בתחום החלל. המצב הוא בעייתי, בפרט בחברות שמשווקות תת-מערכות ורכיבים לתחום החלל כמו אל-אופ.

• **מגבלות השיגור** - כיוון השיגור האופטימלי הוא מזרחה בכיוון סיבוב כדור הארץ. מדינת ישראל בחרה לשגר מערבה על מנת ששיגוריה לא יתפרשו על ידי המדינות השכנות כפעילות עוינת. התוצאה היא הפסד אנרגיה בעל משמעות.

• **התנגשות בין שיקולים ביטחוניים וכלכליים**. החלטות שנבעו משיקולים צבאיים לא תמיד עומדות היום בבחינה כלכלית. המשגר הישראלי שביט, למשל - חלק מהמרואיינים תומך בהמשך השימוש בו, אחרים גורסים ששביט הוא הדוגמה להתנגשות בין שיקולים ביטחוניים וכלכליים. לדעתו של אחד מהמרואיינים, "זו שגיאה טוטאלית שישראל הפכה ליצרן משגרים. במל"מ מסתכלים על שיגור לוויין כאל ניסוי ירי". הוא גורס כי תפיסה זו בעייתית מאוד, כי אם יורים טיל ומפספסים, אפשר לירות עוד אחד. במשגר יש לוויין שעולה עשרות או מאות מיליונים. "חשוב להבין שהמשגר משרת את הלוויין, ולא להפך. בנוסף, משגרים את האופק בקצה מעטפת הביצועים של השביט." הוא מזכיר שמהארץ אנחנו יכולים לשגר רק מערבה, שקשה מאוד להגיע למסלולים. שיגור בשביט עולה כיום למדינה כ-35 מליון דולר.



5.2 קשיים הנובעים מהיקפה הקטן של תעשיית החלל

- **איבוד היתרון של עלויות נמוכות** בהעדר ייצור סדרתי. יתרון העלויות הנמוכות שיש לישראל בתחום הפיתוח, אינו קיים בייצור. להפך, בארץ מייצרים לוויינים בודדים בלבד, בהשוואה לארה"ב או למדינות אחרות, ולכן העלות הסופית שלהם דומה לעלותם בחו"ל. בתעשיית החלל יש יתרון לגודל. בחברות גדולות יש קווי ייצור של לוויינים, הן לא מתחילות לייצר לווין רק ברגע שהן קבלו הזמנה, כפי שזה קורה בארץ.
- **קושי בשמירת כוח אדם** בהעדר ייצור סדרתי. באל אופ, למשל, מחזיקים בנושא החלל סדר גודל של שלושים - ארבעים איש שהם dedicated לנושא הזה. אם יש הזמנה אז הם עובדים... אם מפרקים צוות של חלל, קשה להרכיב אותו בחזרה וקשה להחזיר את היכולות¹¹.
- **אין לווייני מדף** - כאשר מדינה או חברה כלשהי מזמינה לווין, היא בדרך כלל מזמינה לווין ממשפחת לוויינים נתונה של חברה גדולה - חברת Alcatel למשל. אנחנו מצטיינים בפיתוח והתאמה, אבל ברוב המקרים אין בזה צורך.
- **התפזרות על יותר מדי דברים** - יש לישראל היום חוזק בכמה תחומים, ויש שאיפה להיכנס לנושאים חדשים, שבשבילם אנחנו קטנים מדי. אין בארץ מסה קריטית להתמקצע ולהיות מובילים או קרוב למובילים בכל התחומים של תעשיית החלל. חלק מהמרוויגים מביאים בהקשר זה כדוגמה את נושא המיקרו לוויינות¹².
- **הערך המוסף של תעשיית החלל בישראל הוא קטן** - בלווייני התקשורת, למשל, קונים בחו"ל את המטעדים, מערכות חשמל, הנעה ומחשוב. בישראל עושים את הנדסת המערכת, את האינטגרציה (הכללה) והבדיקות. "אם 90 אחוז מהלוויין, החומרה שלו, אנחנו קונים בחו"ל, אז הערך המוסף של התעשייה הישראלית הוא קטן", לדברי אחד המרוויגים. ההמלצה היא להגדיל את אחוז הכחול-לבן בלוויינים, ולחפש דרכים להעלאת ערך המוסף.
- **תלות הולכת וגוברת בספקים מחו"ל**. תע"א קונה רכיבים בחו"ל - רוב הרכיבים, כולל האסטרטגיים והחשובים, מגיעים מחו"ל, ונוצרת תלות בזמני האספקה וכד'. קיימת גם תלות בנושא החומרים, ישראל לא מייצרת את כל החומרים הנדרשים. סיבי פחמן, למשל, לא מייצרים בישראל, וכאשר מבקשים לקנות חומרים אלמנטאריים בחו"ל - זה פוגע גם במוניטין.

¹¹ בפרק 5.3 נרחיב את הדיון בנושא כוח אדם

¹² נרחיב את הדיון בנושא המיקרו לוויינים בפרק 10.



5.3 קשיי כוח אדם

- **העדר המשכיות בנושא כוח אדם.** מספר העובדים המקצועיים הוא קטן. אנשים מקצועיים בעלי ותק פורשים לפנסיה, במיוחד בתחום התוכנה. במב"ת למשל מקבלים פרויקטים ולא יודעים אם יעמדו בהם. זקוקים לאנשים שפרשו לגמלאות לביצוע פרויקטים חדשים, ונוצר מצב שמביאים אותם כיועצים בחוזה חיצוני. הדבר נכון גם בייצור לווייני תקשורת, וגם עם לווייני תצפית. את אופק-8 בונים היום אותם אנשים שבנו את אופק-1, פחות או יותר (מתבקשת השאלה למה לא מתבצעת במב"ת הכשרת כוח אדם צעיר וחונכות על-ידי העובדים הוותיקים).

- **מחסור במנהלי פרויקטים** - זהו צוואר הבקבוק.

- **תנאי העבודה לא מספיק אטרקטיביים** - בתעשיית החלל לא מציעים את תנאי העבודה שמציעים בחברות ההיי-טק, ובכך מפסידים כוח אדם איכותי לטובת ההיי-טק. אפילו כאלה שלמדו לתואר שלישי בנושא חלל, מעדיפים לעבוד בתחום אחר, כמו תעשיית ההיי-טק, שמתגמלת יותר את עובדיה. יש ניסיון לגשר על הפער. תעשיית החלל לא יכולה להתחרות בהיי-טק, היא מנסה לתת אפשרות לאלו שרוצים להמשיך לטפל באתגרים לאומיים לא להיפגע חזק מדי מבחינה חומרית.

5.4 קשיים הנובעים ממדיניות בנושאי חקר ותעשיית החלל

- **ניהול- אין מדיניות מכוונת** בנושאי חקר ותעשיית החלל, מדיניות שמגובה בתקציבים ממשלתיים. לדברי המרואיינים, לסוכנות החלל אין היכולת, מאחר ואין לה אנשים ואין לה תקציבים.

- **תקציבים- אין תקציבים** למו"פ. הממשלה דרך משרד המדע או דרך סל"ה, לא משקיעה. כיום, תעשיית החלל בישראל נבנית על ההשקעות שנעשו בעבר. מב"ת, למשל, לא משקיעה בפיתוח. הממשלה מקצצת בנושא החלל. ההשקעה הממשלתית והתמיכה בתחום החלל בישראל הן נמוכות מאוד בהשוואה לשאר המדינות. פרופ' יצחק בן-ישראל, יו"ר סל"ה: "כל חוקי העידוד של המו"פ לא חלים על חלל - פעם עשיתי עבודה כמה צריך להשקיע בחלל בישראל, אם שומרים על היחס בדומה לארה"ב, בהתחשב בשוני בתל"ג, או בהשקעה לנפש. לפי התחשיב הזה יצא שהמדינה צריכה להשקיע כ- 150 מיליון דולר בשנה. ההשקעה הקיימת היא מאוד נמוכה. בשוק התקשורת משקיעים אפס. והשוק העולמי הוא ברובו תקשורת לוויינים." התעשייה מסתמכת על השקעות שנעשו בעבר. דודי זוסימן, מנהל פרויקט עמוס-3 בחברת חלל תקשורת: "כיום, אנחנו נבנים על ההצלחה של פעם, שהמקור שלה היה השקעת משאבים, השקעת תשתיות, כוח אדם והמון חזון".

- **שיווק** - אנשי התעשייה לא מרגישים סיוע מהמדינה בפעילויות בין לאומיות, במקומות שצריך מטריה של הממשלה. המרואיינים מביאים בתור דוגמה את נשיאי צרפת וארה"ב, שמקדמים את התעשייה שלהם בעולם. עיקר העסקאות בתחום החלל הן בין ממשלות (G to G).



- **השכלה -** יש חוסר התייחסות לקידום השכלה טכנולוגית, ובהמשך - להעלאת אטרקטיביות העבודה בתחום החלל, המחקר וכך הלאה.
- **פיתוח מדעי -** כמעט ואין בישראל פיתוח אזרחי מדעי בנושא החלל. בארץ פותחו שני לוויינים בטכניון. במדינות אחרות בונים לוויינים מדעיים רבים. אצלנו הלוויינים המבצעיים הם הלוויינים בהם מנסים, לראשונה, בדרך כלל, את הטכנולוגיה. תמונה דומה קיימת עם המשגרים.

5.5 קשיים אחרים

- **הסתמכות יתר על יכולת האילתור.** אין בישראל תרבות חלל המאפיינת את ארה"ב ואירופה. ישראלים מאופיינים על-ידי יכולת אלתור, אבל מתקשים "לעשות את מה שכתוב".
- **העדר מודעות לנושא חלל** בחינוך ובסדר היום הציבורי. ישראל לא "מצמיחה" אנשי חלל עתידיים. האטרקטיביות של תחום החלל לאנשים צעירים בתחילת דרכם אינה גבוהה. כיום, הולכים יותר לכיוונים של תוצאות עסקיות מיידיות, ותחום החלל דורש אורך נשימה, התמדה, נחישות, והינו תחום מרובה סיכונים. צריכים לעודד את הנוער להיכנס לתחום זה. החלל יכול לשמש כאמצעי יוצא מהכלל למשוך ילדים ונוער לנושא של טכנולוגיה ומדע.



6. הזדמנויות של תעשיית החלל בישראל

- **לוויינות ככלי מדיני** - הלוויין יכול להוות כלי מדיני ביחסי החוץ של ישראל. לדעת המרואיינים, ניתן להפוך את הלוויינות לכלי דיפלומטי יעיל.
- **חידוש לוויינים** - אפשר להעריך שיהיו בקרוב לא מעט לוויינים שיסיימו את חייהם. הייתה פריחה מאד גדולה בלוויינות בשנות ה-90. לוויין חי 15 - 12 שנה. זוהי בדיוק התקופה שהלוויינים מתחילים לסיים את חייהם, כך שאפשרות של חידוש לוויינים נראית אקטואלית.
- **מינוף היתרונות** - ישראל מצליחה לייצר מערכות שהן טובות בהרבה היבטים - רזולוציה, ביצועים, משקל, נפח. הלוויינים הולכים ונעשים טובים יותר - עמוס-4 למשל יהיה אחד הלוויינים המשוכללים בעולם בהיבט הטכנולוגי. שוק התקשורת מתרחב, וזוהי הזדמנות טובה ללוויינים ישראלים.
- **יוזמה בפתיחת שווקים חדשים** - יש הרבה מדינות שלא רוצות להתעסק עם יצור לוויינים. חברה כמו חלל תקשורת יכולה להציע למדינה כזו להזמין שירותי תקשורת של לוויין שנבנה על-ידי התע"א, שחלק מהמשיבים (transponders) שלו יהיו מיועדים למדינה זו, וחלק אחר - ללקוחות אחרים של חלל תקשורת.

7. איומים על תעשיית החלל בישראל

- **מחסור בתקציבים ממשלתיים** (בעיקר בתחום לווייני תצפית).
- **שמרנות יתר** של חלק מאנשי המפתח בתחום החלל בארץ, חשש מטכנולוגיות חדשות שיכולות לבטל טכנולוגיות קיימות.
- **בעיות בזיהוי הזדמנויות**. חברות חלל זרות לעתים קרובות מזהות את המגמות שנחשבות למרכזיות ונמצאות לפנינו במרוץ - למשל חברת Surrey - בנושא המיקרו לוויינים.



8. שינויים ומגמות עיקריים בתעשיית החלל בישראל

• **עליה בביקוש** - לפני עשור תעשיית החלל בישראל הייתה במשבר. היו מספר שנים שבהן לא היו תקציבים והזמנות לפיתוח ולבניית לוויינים חדשים. מימון מערכת הביטחון בהיקף מוגבל של 100-150 מליון דולר לשנה אפשר לייצר לוויין אחד בכמה שנים. היו מקרים שבהם השיגור נכשל והלוויין נפל לים (אופק-4, אופק-6). לא הייתה תוכנית רב-שנתית. המצב השתנה לטובה בעשר השנים האחרונות כתוצאה מצרכים אזרחיים וצבאיים. תע"א השקיעה בעמוס-1, שהצריך השקעה כספית רבה. עמוס-2 ועמוס-3 כבר היו פרויקטים שמומנו על-ידי חברת חלל תקשורת. כיום מפתחת תע"א מספר לוויינים שהוזמנו עבור לקוחות שונים, רובם עבור משרד הביטחון.

הלוויינים שנמצאים בפיתוח:

- לווייני תצפית אופטיים – עבור משרד הביטחון (מת"א).
- לווייני SAR (Synthetic Aperture Radar) - לווייני מכ"ם המסוגלים לצלם בכל תנאי מזג אוויר. לוויין המכ"ם TecSAR שוגר בהצלחה בינואר 2008¹³.
- עמוס - לוויין תקשורת אזרחי הינו בפיתוח עם חברת חלל תקשורת. עמוס-3 שוגר בהצלחה באפריל 2008, כיום מפתחים את לווייני עמוס-4 ו-5.
- ונוס - לוויין אזרחי קטן נוסף הינו בפיתוח עם הצרפתים. פרויקט ונוס כולל תכנון ובניה של מיקרו-לוויין במשקל של כ-160 ק"ג על מערכותיו הבסיסיות, שמכיל שני מטעדים (מטעד מדעי - מצלמה מולטי ספקטראלית המאפשרת לצלם מהחלל באופן סימולטאני במספר אורכי גל שונים ועל-ידי כך לקבל מידע ייחודי אודות האזורים הנצפים, ומטעד טכנולוגי המכיל מערכת הנעה חשמלית מתקדמת) ותחנה קרקעית לקליטה ועיבוד תמונות הלוויין. רפא"ל מספקת מבנים חלליים מחומרים קלים וחזקים, מערכת הנעה כימית ייחודית ומערכת הנעה חשמלית. חברת אל-אופ נבחרה ליצר את המצלמה המולטי ספקטראלית.
- **השתלבות בשוק העולמי** - תעשיית החלל הישראלית מראשית דרכה עובדת בעיקר "בתוך הבית", בעיקר על פרויקטים צבאיים ועל רכיבים, כמו מנועים, שעונים אטומים ותוכנה. בארץ, הייתה העדפה לעשות את הדברים באופן עצמאי, החל מהלוויין, המטעד והשיגור, כמעט ללא שימוש ברכיבים זרים. זו תולדה של פיתוח הלוויינים הצבאיים. חשוב היה לישראל לשמור על עצמאות בתחום החלל. בעשור האחרון עם פתיחת האפשרויות לקנות רכיבים ושירותים בחו"ל, התעשייה שנתה את פניה והתחילה להתמקד בפיתוח מוצרים שלא ניתן או לא כדאי לקנות בחוץ. בייצור של לווייני עמוס, למשל, ישראל איננה עצמאית - תע"א קונה רכיבים רבים עבור עמוס מחו"ל.

¹³ פרטים נוספים - בפרק 3.



- **נוהלי עבודה מסודרים יותר** - משנת 2000 קיימת דרישה מבצעית מסודרת מהצבא ליצרני הלוויינים. מת"א עובדת עם חמ"ן ועם חיל האוויר כדי לקבל מהם דרישות מדויקות ולייצר בהתאם את הלוויינים על-פי צרכי הצבא. נוצרה מערכת של עבודה רצופה עם היוזמים חוזרים של הלקוחות מהצבא עם התעשייה האווירית ועם מת"א.

9. תחזית שינויים ומגמות בתעשיית החלל בארץ

- **היקף התעשייה** - בראיונות עלו תחזיות פסימיות שצפו שהתעשייה לא תתרחב, תישאר מצומצמת ותעבוד על מרכיבים כגון מטעדים, מצלמות וכד', ולעומתן - תחזיות אופטימיות, שצפו גידול משמעותי בהיקפי תעשיית החלל בארץ. כבר כיום יש הכפלה ושילוש של הכספים המוזרמים לתעשיית החלל לעומת המצב שהיה בסוף שנות ה-90. רוב הכסף מגיע מתוכניות צבאיות/פרה צבאיות של מערכת הבטחון. תעשיית החלל נמצאת במגמת עליה, שתימשך - לפי תחזיות אלה - גם בשנים הבאות.
- **שווקים חדשים** - בשנה האחרונה ניסתה חברת חלל תקשורת ליצור קשרים בדרום אמריקה, במזרח אסיה ובאוקיאניה עם גופים מקומיים. בנוסף, התקיימו מגעים עם נציגי ארגנטינה, ברזיל ואינדונזיה. יחד עם זה קיים קושי לחדור לשווקים בארה"ב ובאירופה שכן כל מדינה תומכת בתעשייה שלה. שוק החלל מושפע מאוד משיקולים גיאופוליטיים.
- **פיתוח וייצור לוויינים** - תחום הפיתוח והייצור של לווייני תצפית קלים וטובים הינו נישא מסורתית של תעשיית החלל בארץ. הצפי הוא שישראל תמשיך להיות בין המדינות המובילות בעולם בתחום זה.
- **ייצור רכיבים ללוויינים** - אלאופ תמשיך בפיתוח וייצור של מצלמות קלות, אלתא - בפיתוח מכ"מים, ורפא"ל - בפיתוח וייצור של מערכות הנעה.
- **שיתוף גורמים ממשלתיים ועסקיים** - שיתוף זה קיים כבר היום¹⁴. יש לצפות שבעתיד יהיו התחברויות שונות בתחום התקשורת בין גורמים ממלכתיים/צבאיים לגורמים עסקיים/אזרחיים. לדוגמה, חברת חלל תקשורת ומשרד הביטחון יכולים לפתח לוויין תקשורת מתקדם שעלותו 300 מליון דולר, לדברי אחד המרואיינים. במידה ושני גופים אלה ישתפו פעולה, חלק מהמשיבונים (transponders) ילך לצבא וחלק אחר לתחום האזרחי באמצעות טכנולוגיה ה-Time sharing.

10. כיוונים טכנולוגיים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל בישראל

על בסיס הראיונות קבצנו את התשובות לגבי כיוונים טכנולוגיים אפשריים צפויים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל הישראלית:

¹⁴ דו"ח מודלים עסקיים בתעשיית החלל, שנכתב על-ידי מוסד נאמן ב-2007 במסגרת פרויקט זה, דן בהרחבה במגוון של מודלים לצרכי שיתוף פעולה מסוג שותפויות "ממשלה-תעשייה".



- **תקשורת לייזר** בין לוויינים ומלוויינים לקרקע. הטכניון (פרופ' מאיר אורנשטיין מהפקולטה להנדסת חשמל ופרופ' גלמן מהפקולטה לאוויר-חלל) עוסק בנושא זה בשבע השנים האחרונות, בתחילה בשיתוף פעולה עם גרמניה, ובימים אלה - בשיתוף פעולה עם רפא"ל (בחטיבת טילים - נחמיה מילר ועזרא שמאי).
- **מערכות הנעה** - הנעה כימית על בסיס הידרוזין והנעה חשמלית (ונוס). בסיס הידע בתחום ההנעה החשמלית נמצא במרכז הגרעיני בנחל שורק, והוא פותח בישראל על-ידי מדענים עולים מבריה"מ. הפוטנציאל הכלכלי בנושא טכנולוגיות ההנעה אינו גדול כי יישום הטכנולוגיה נעשה בחלל בלבד. "בסך הכל אפשר אולי להרוויח עד 10 מיליון דולר, לא יותר. עיקר הכסף מסתובב בבניית הלוויינים, לא ברכיבים" (נחמיה מילר, רפא"ל).
- **mission on demand** - הרעיון הוא שבמקום להחזיק מערך לוויינים במסלול בחלל, עם כל העלויות הכרוכות בתפעולו, נהיה מוכנים תמיד עם משגר קטן, לוויינים ופלטפורמות הכוללות מטע"דים ותכן מערכתי, שיאפשרו, במידת הצורך, לבצע את ההתאמה שלהם תוך מספר שעות, ולהוציא לפועל את המשימה. במידה ופעילות זו תהפוך לדבר מסחרי, אפשר יהיה לשתף עוד מדינות וחברות.
- **פיתוח רכיבים** - חברת אקוביט בירושלים מעוניינת להכניס שעון אוטומטי לננו לוויינים. דוגמה נוספת - רכיבים חלליים מוגני קרינה. כבר היום יש לישראל יכולת לפתח ולייצר רכיבים כאלה. יכולת זו קודמה באמצעות מחקרים בטכניון, ומייצרת את הרכיבים חברת "RamonChips" - החברה הראשונה בישראל לפיתוח רכיבים אלקטרוניים לחלל - בניהולו של פרופ' רן גינוסר.
- **רכיבים למכשור GPS** המפותחים על-ידי חברת Bae Systems- ROKAR International
- **עלות השיגור** - זהו המחסום הגבוה ביותר בדרך לחלל נגיש/זמין. פריצת הדרך הגדולה – יכולה להיות בכיוון של מציאת גישה זולה לחלל. ההחלטה כיום היא שמדינת ישראל צריכה להיות עצמאית בפיתוח ויצור של משגרים ללוויינים עד 300 קילו. יש הטוענים שכדאי לשגר מהודו או ממדינות אחרות, על מנת לעודד יחסים כלכליים בין המדינות, וגם מכיוון שהמשגרים במדינות אלה בטוחים ואמינים יותר, והן בעלות ניסיון מצטבר רב יותר.
- **מיקרו לוויינים** - לוויינים במשקל בין 50 ל-100 קילו. דעותיהם של המרואיינים לגבי הרעיון של מיקרו לוויינים כאחד הכיוונים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל בישראל, היו שונות ומגוונות, והתחלקו לשתי קבוצות של כאלה שהיו בעד הרעיון ומתנגדיו.
- המתנגדים טענו שלמיקרו לוויינים אין תפוקה של "לוויינים אמיתיים", וספק אם יהיו מסוגלים לתת תפוקה זו בעתיד; "מיקרו לוויינים מעולם לא המריאו כלכלית", לדברי אחד המרואיינים; ואין טעם להתחרות באוניברסיטת Surrey המהווה מרכז ייצור של מיקרו לוויינים.



תומכי הרעיון הביעו שיקולים אחרים:

- הטכנולוגיה תגיע למזעור הלוויינים, ותוזיל אותם. שימוש ברכיבים אלקטרוניים פשוטים ובטכנולוגיה של מיניאטוריזציה יכול לאפשר בנייה של מיקרו-לוויין ב-10 מליון דולר (בהשוואה ל-120 מליון - עלות לוויין רגיל).
- לישראל יש יתרון יחסי במיניאטוריזציה. התחום האתגרי של מיקרו לוויינות יעודד את התפתחותה של תעשיית החלל בישראל. בנוסף, הוא יכול לתרום להכשרת כוח אדם בתחום החלל – כדאי למשל לתת לסטודנטים בטכניון פרויקטים בבניית מיקרו לוויינים.
- עלותו של מיקרו לוויין הינה זולה יותר גם בשיגור. כיום מיקרו לוויינים לא משוגרים עצמאית לחלל, אלא כ"טרמפיסטים" למשימה, אך לא לכל משימה מתאים טרמפיסט. כיוון אתגרי בנושא השיגור הוא שיגור אווירי למיקרו לוויינים.
- ניתן יהיה להחזיק את הלוויינים בארסנל ולשגר בעת הצורך באמצעות מטוס קרב.
- לא ברור אם פער הביצועים שעליו מדברים הוא פער אמיתי. אחד המרואיינים אמר שהכין תוכנית עסקית למיקרו לוויינים ושלחערכתו, הצפי עומד על מכירות של 700 מליון דולר ועלות מכר של 630 מליון עם רווח של 70 מליון דולר, לעשר שנים.

- **מערכות קוהרנטיות למיקרו לוויינים עם תקשורת ביניהם** - ניתן להחליף לוויין גדול ומגושם בקבוצת ננו לוויינים קוהרנטית, המכונה נחיל¹⁵. רכיבי הנחיל שוקלים מספר גרמים (mems). הקוהרנטיות הינה ברמת הקבוצה של הלוויינים או בין הקבוצה לקרקע, או בשינוי פונקצית העבודה של נחיל הלוויינים. כל רכיב מצויד במערכת תקשורת ורכיב למיקרו הנעה. השליטה היא מהקרקע.
- **חומרים חדישים לחלל** - כיום מחיר השיגור של 1 ק"ג לחלל הוא 20,000-50,000 דולר לק"ג. מערכות המשוגרות לחלל הינן במשקל גדול, הן בשל הצורך לתמוך במרכיבים והן בשל התאוצות הגבוהות של השיגור. המטרה להגיע למצב שבו שיגור של 1 ק"ג של חומרה יעלה כ-200 דולר. במצב כזה שיגור אדם לחלל יעלה בדומה למחיר של טיסה טרנס אטלנטית - כ-2,000 דולר במקום 200,000 דולר. לפיכך, הכיוון הוא פיתוח חומרים שישפרו את היחס בין חוזק למשקל. חומרים אלה, בחוזק עד פי 600 מפלדה, יתבססו על אטומים ומולקולות של פחמן ויסודות בצנורות בקוטר של 1 ננומטר. מצנורות אלו ניתן לייצר מבנים לשימוש בחלל הקטנים פי מאה מהמבנים הקיימים כיום, ובמשקל הקטן פי מאה.

¹⁵ כאן ובהמשך הפרק - רעיונות ונתונים מהרצאתו של פרופ' חיים אשד "תוכנית החלל: הווה ועתיד" ביום עיון מטעם המכון לחקר בטחוני עתידי ב-5.3.07.



- **מערכות שיגור** - משגרי לוויינים הינם מורכבים ומשקלם נע בין 200-500 טון. אמינותם קטנה פי 1000 מאמינותו של מטוס. כל שיגור של 1 ק"ג לחלל יקר פי 10,000 מהטסה של כל ק"ג במטוס מטען. נדרש שיפור דרמטי על מנת להוריד את המורכבות והמחיר של השיגור. הורדת מחירי השיגור יכולה להתבצע באמצעות שיפור חומרי הדלק. המטרה להוזיל בכל עשור את מחירי השיגור והחומרה באופן משמעותי, דבר שייתן תנופה גם לתיירות החלל.

השלבים בהורדת מורכבות השיגור:

- החלפת משגר חד-פעמי (Expendable launch vehicle) במשגר לשימוש חוזר (Reversible launch vehicle).
- שימוש במשגר דו-שלבי במקום במשגר רב-שלבי.
- שילוב מערכות אוטומטיות בשיגור – מערכות שידועות לבצע בקרה ולתקן את הדברים בעצמן.
- אפשרות עתידית נוספת הינה העלאת לוויין לחלל באמצעות כבל שבסופו משקולת של 10 טון.

11. מו"פ וחדשנות בתחום החלל

פרק זה והפרקים הבאים מתייחסים לתוצאות סקר החברות שבוצע במסגרת הפרויקט. במסגרתו נשלח שאלון למנהלים בכירים ולנציגים של תעשיית החלל בארץ. נתקבלו תשובות לשאלונים מ-9 נציגים של חברות.

נציגי החברות נשאלו על אפקטים שונים של חדשנות בתחום החלל - אם הייתה השפעה של החדשנות על פעילות החברות, ומהי חשיבותה. התשובות רוכזו בטבלה 1 (המספרים בטבלאות כאן ובהמשך מייצגים מספר תשובות חיוביות מתוך 9 חברות שנציגיהן השיבו לשאלון). רוב הנשאלים השיבו שלחדשנות יש חשיבות רבה לחברות - במיוחד בתחום שיפור האיכות של המוצרים/השירותים שלהן.



**טבלה 1. דירוג של החברות לחשיבות אספקטים שונים של חדשנות בתחום החלל
(של מוצרים/שירותים ותהליכי יצור) בשנים 2004-2006**

חשיבות רבה	חשיבות בינונית	חשיבות נמוכה	
3	1	1	מגוון רחב יותר של מוצרים/שירותים
3	1	0	כניסה לשווקים חדשים או הגדלת נפח שוק
3	2	0	שיפור האיכות של מוצרים/שירותים
1	1	0	הפחתת העלות של יצור המוצרים
0	0	1	הפחתת זיהום האוויר או השפעה בריאותית או בטיחותית חיובית
0	2	0	הגדלת הערך המוסף (משכורות ורוחים)

בהמשך נתבקשו נציגי החברות לדרג את חשיבותם של מקורות ידע שונים למו"פ בתחום החלל בחברה שלהם. תשובותיהם רוכזו בטבלה 2. מניתוח התשובות עולה כי החשיבות הרבה ביותר מיוחסת לספקי ציוד, חומרים, שירותים או תוכנה, ללקוחות ולחברות אחרות. לספרות מדעית, טכנית וכד' מיוחסת חשיבות בינונית. חשיבות פחותה יש למקורות ידע כגון יועצים ומעבדות, מוסדות מו"פ ומוסדות להשכלה גבוהה, כנסים, ירידים ותערוכות.

טבלה 2. דירוג החשיבות של מקורות ידע שונים למו"פ בתחום החלל בשנים 2004-2006

חשיבות רבה	חשיבות בינונית	חשיבות נמוכה	מקורות ידע	
4	1	0	ספקי ציוד, חומרים, שירותים או תוכנה	מקורות שוק
3	0	1	לקוחות	
3	1	1	מתחרים או חברות אחרות	
0	2	1	יועצים, מעבדות או מוסדות מו"פ פרטיים	
0	1	2	מוסדות להשכלה גבוהה	מקורות מוסדיים
0	0	2	מוסדות מחקר ציבוריים, משרד המדע	
0	2	2	כנסים, ירידים, תערוכות	מקורות אחרים
1	2	1	ספרות מדעית, טכנית וכד'	
0	1	0	איגודים אזוריים וארציים	
1	2	0	תקנים	



12. אפיון תהליכי העברת ידע וטכנולוגיה

נציגי החברות נשאלו האם מתקיימים בחברות שלהם תהליכי העברת ידע שונים מתחום החלל האזרחי לתחומי פעילותה האחרים של החברה. התשובות רוכזו בטבלה 3. רוב התשובות החיוביות תיארו שימוש בתוצאות העבודה בתחום החלל האזרחי גם בתחומי פעילות אחרים של החברות. כמה מנשאלים השיבו כי מוצרים, מיומנויות ושירותים שפותחו על-ידי החברה בתחום החלל, אפשרו לחברות להיכנס לשווקים אחרים, חדשים לגמרי עבור החברה, או נמכרו לחברות שאינן פעילות בתחום החלל. מטבע הדברים, תהליכי העברת ידע וטכנולוגיה אופייניים בעיקר לחברות גדולות שפועלות במספר תחומים כגון תע"א.

טבלה 3. תהליכי העברת ידע וטכנולוגיה

מספר החברות שדווחו על תהליך	תהליכי העברה
4	תוצאות העבודה בתחום החלל האזרחי מצאו שימוש בתחומי פעילותה האחרים של החברה.
3	... אכן מצאו, והעבודה בתחום החלל האזרחי הובילה לשיפורים טכנולוגיים בתחומים אחרים.
3	... אכן מצאו, והעבודה בתחום החלל האזרחי הובילה לפיתוח מיומנויות ששמשו את החברה בתחומים אחרים.
2	מוצרים, מיומנויות ושירותים, שפותחו על-ידי החברה בתחום החלל, אפשרו להיכנס לשווקים אחרים - חדשים לגמרי עבור החברה.
2	מוצרים, מיומנויות ושירותים, שפותחו על-ידי החברה בתחום החלל, נמכרו לחברות שאינן פעילות בתחום החלל.
3	מוצרים, מיומנויות ושירותים, שפותחו על-ידי החברה בתחום החלל, עברו התאמה ומצאו שימוש בתוך החברה - לייצור מוצרים שלא קשורים לחלל.

המרוויינים סיפקו מספר דוגמאות בנושא העברת ידע וטכנולוגיות מתחום החלל לתחומים אחרים - נציג Imagesat ציין כי מערכות שפותחו עבור פרויקטי חלל (לדוגמה מערכות ניווט) ואלגוריתמים לשיפור הדיוקים הוטמעו בתעשייה. הוא ציין גם כי ידע וטכנולוגיה בתחומי הניסוי הועברו מתעשיית החלל אל עולם הרפואה וענף המזון.

באל-אופ ההשקעה בפיתוח טלסקופים ללוויינים הביאה ליצירת מערכת צילום מוטסת - למטוסים, בעלת ביצועים טובים מאוד. באלתא פותחה שיטה למדידה מדויקת של הגיאומטריה של אנטנת TecSAR, ניתן להשתמש בשיטה זו גם באפליקציות אחרות, ונעשה שימוש רב בה בתע"א.



דוגמה נוספת מאלתא - פתרון בעיה בפרויקט החלל, שיש לו ערך אדיר לחברה. אחד הרכיבים העיקריים במוצרים של אלתא הוא משדר. הזמן הממוצע בין כישלונות MTBF (mean time between failures) שלו הוא 500-600 שעות. בעקבות עבודת פיתוח מסיבית ה - MTBF עלה לאלפי שעות - עובדה שהיא חיונית לרכיבים לשימוש בחלל. הציווד ותהליכי העבודה שפותחו משרתים את החברה באופן משמעותי בקווי הייצור האחרים שלה.

בנושא הקמה של חברות בתחומים קרובים הוזכרה חברת "תלתן צילומי אויר והפקות בע"מ" המבצעת מיפוי ועיבוד תמונות. מערכות מיפוי, ניווט ואלגוריתמים לשיפורי דיוקים פותחו ב- Imagesat עבור פרויקטי חלל.

נרצה להרחיב את הדיון בנושא העברת ידע וטכנולוגיה בדו"ח הבא שיוגש במסגרת הפרויקט.

13. השפעות והשלכות של הפעילות בתחום החלל על החברות

החברות נשאלו האם מתבצע שימוש באותם טכנולוגיות, תהליכי ייצור וכד' בעבודתן בשני התחומים - האזרחי והצבאי, ותשובותיהן רוכזו בטבלה 4. רוב הנשאלים השיבו "כמעט תמיד" ו"בדרך כלל". רק בנושא השימוש במערכות עסקיות משותפות (כגון שיווק) התשובות הן פחות אחידות.

טבלה 4. דירוג החברות לקשרים שקיימים בעבודתן בנושאי חלל לתחום האזרחי והצבאי

כמעט ולא	לפעמים	בדרך כלל	כמעט תמיד	
0	0	3	6	בתוכניות החלל האזרחי והצבאי אנחנו משתמשים באותן הטכנולוגיות
0	0	2	7	... אנחנו משתמשים באותם תהליכי הייצור
0	0	0	9	... אנחנו משתמשים באותן המיומנויות של עובדים
1	2	3	1	... אנחנו משתמשים באותן המערכות העסקיות (כגון שיווק)

בהמשך נתבקשו נציגי החברות לדרג את חשיבותם של גורמים שונים בקבלת החלטה להיכנס לתחום החלל האזרחי. תשובותיהם רוכזו בטבלה 5.



טבלה 5. חשיבותם של גורמים שונים בקבלת החלטת החברה להיכנס לתחום החלל האזרחי

גבוהה מאד	גבוהה	בינונית	נמוכה	נמוכה מאד	
3	1	2	0	0	שיפור הרווחיות
1	0	2	1	0	פיתוח מיומנויות שישמשו את החברה גם בתחומי עיסוק אחרים
0	1	1	1	2	האצת מו"פ שישמש את החברה גם בתחומים אחרים
0	2	0	1	2	פיתוח טכנולוגיות שישמשו גם בתחומים אחרים
2	1	2	0	0	יצירת קשרים שחשובים לחברה
4	0	0	0	1	שיפור מוניטין החברה בעיני הלקוחות בארץ
4	0	0	0	1	שיפור מוניטין החברה בעיני הלקוחות בחו"ל
4	1	0	0	0	קירבתו של התחום לפעילות החברה, כי עבדנו כבר בתחום החלל הצבאי
1	3	1	0	0	הערכה גבוהה של פוטנציאל התחום בעתיד

לבסוף, נציגי החברות התבקשו להעריך את גודל התרומה הכוללת של פעילות החברה בתחום החלל האזרחי לתחומים שונים של פעילות החברה. הערכות גבוהות נתנו בעיקר בהקשרים של מוניטין, שיפור הכשרת כוח אדם, רכישת מיומנויות ושיטות עבודה חדשות ושיפור בדיקת ואבטחת האיכות (טבלה 6).

נציג תע"א ציין את השפעתה הרבה של הפעילות בתחום החלל על פעילות החברה בתחומים אחרים - בהגנה על סביבה, בסטנדרטיזציה וכד'. העיסוק באיכויות יותר גבוהות, הנדרשות בעבודה בתחום החלל, משפר את הסטנדרטים ונוהלי עבודה. מודל של מעבר חום שפותח עבור החלל מיושם גם במערכות יבשתיות בחברה. בגלל מגבלות בבדיקות הפיתוחים בניסויים התפתח מאוד בחברה התחום של סימולציות. יש גם תרומה שיווקית לתע"א - שופר הקשר עם חברות גדולות (גם בתחום החלל וגם בתחומים אחרים). מהעבודה בתחום החלל צמחו תועלות גם לעובדי החברה - הם למדו לעבוד תוך חשיבה מערכתית ובצורה יותר מבוקרת.



טבלה 6. הערכת גודל התרומה הכוללת של פעילות החברות בתחום החלל האזרחי לתחומים שונים של פעילותן

גבולה מאוד	גבולה	בינונית	נמוכה	נמוכה מאוד	
0	1	0	3	0	הערכת גודל התרומה ל- : ...פיתוח מוצרים חדשים
0	4	2	1	0	...פיתוח תהליכי ייצור חדשים
0	2	0	1	1	...כניסה לשווקים חדשים (שלא קשורים לחלל האזרחי)
1	2	0	2	0	...שיפור הכשרת כוח אדם, רכישת מיומנויות ושיטות עבודה חדשות
2	1	1	0	0	...שיפור בדיקת ואבטחת האיכות
0	0	1	1	1	...התייעלות החברה
0	2	0	0	1	...יצירת שיתופי פעולה ארוכי טווח
0	2	0	0	1	...האצת זיהוי ואימוץ של טכנולוגיות מחברות אחרות
1	3	0	0	0	...מוניטין החברה



14. סיכום

בדו"ח זה הצגנו ניתוח של תוצאות סקר החברות ושל הראיונות עם הגורמים המעורבים בתעשיית החלל ובפעילות החלל בארץ.

הניתוח מגלה:

- יתרונות טכנולוגיים של תעשיית החלל הישראלית:

- ✓ יכולת לבנות לווייני תצפית קטנים בעלי יכולות גדולות
- ✓ הנדסת מערכת ברמה גבוהה
- ✓ יכולת יצירת אבות טיפוס בזמן קצר
- ✓ התאמת אפליקציות לצרכים – קשר הדוק עם הלקוחות
- ✓ מערכות הנעה מתקדמות
- ✓ מצלמות ומכ"ם SAR לחלל מהטובים בעולם

- נקודות חוזק ארגוניות:

- ✓ כוח אדם איכותי ומנוסה
- ✓ יכולת ארגונית-מערכתית טובה
- ✓ גמישות מחשבתית וביצועית
- ✓ מסורת של עבודה מול אילוצים
- ✓ "סביבת היי-טק"

- נקודות חוזק כלכליות:

- ✓ עלויות נמוכות של פיתוח מערכות
- ✓ יכולות גבוהות במחיר נמוך
- ✓ מעגלים קצרים בין הלקוח לספק
- ✓ יזמות עסקית גבוהה
- ✓ "התאזרחות" מוצלחת של תעשיית החלל

- נקודות החולשה של תעשיית החלל:

- ✓ היבטים ביטחוניים (מגבלות יצוא ומגבלות שיגור, תלות במשרד הביטחון, התנגשויות בין שיקולים ביטחוניים וכלכליים)



- ✓ היקפה הקטן של תעשיית החלל בארץ גורם לאיבוד היתרון של עלויות נמוכות בהעדר ייצור סדרתי, לקושי בשמירת כוח אדם, לתלות הולכת וגוברת בספקים מחו"ל וכד'
- ✓ קשיי כוח אדם - העדר בטחון בהמשכיות בנושא ואי יכולת לשמר מסה קריטית, מחסור במנהלי פרויקטים, תנאי העבודה לא מספיק אטרקטיביים
- ✓ קשיים הנובעים ממדיניות בנושאי חקר ותעשיית החלל (העדר מדיניות מכוונת שמגובה בתקציבים בנושאי חקר ותעשיית החלל, אין מספיק התייחסות לקידום השכלה טכנולוגית, העדר פיתוח אזרחי מדעי בנושא החלל)

אנשי תעשיית החלל הביעו את דעתם על הזדמנויות של תעשיית החלל הישראלית:

- ✓ שימוש בלוינות לקידום יעדים מדיניים
- ✓ חידוש לוויינים וכד'

ועל איומים עליה, הנובעים:

- ✓ ממחסור בתקציבים ממשלתיים
- ✓ משמרות יתר של חלק מאנשי המפתח בתחום החלל, וכו'.

שינויים ומגמות עיקריים בתעשיית החלל בישראל הם:

- ✓ עליה בביקוש בתקופה האחרונה
- ✓ השתלבות בשוק העולמי
- ✓ נוהלי עבודה מסודרים יותר

כיוונים טכנולוגיים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל בישראל:

- ✓ תקשורת לייזר בין לוויינים בחלל ומלוויינים לקרקע
- ✓ פיתוח מערכות הנעה מתקדמות
- ✓ חומרים חדישים לחלל
- ✓ מערכות קוהרנטיות למיקרו לוויינים עם תקשורת ביניהן
- ✓ מיקרו-לוויינים וכד'

משלים את התמונה הכללית של נושאים מרכזיים בתעשיית החלל בארץ הוא הניתוח של תוצאות הסקר בנושאים:

- ✓ מו"פ וחדשנות בתחום החלל
- ✓ אפיון תהליכי העברת ידע וטכנולוגיה
- ✓ השפעות והשלכות של הפעילות בתחום החלל על החברות.



15. ביבליוגרפיה

- גץ, ד., זלמנוביץ', ב., כצמון, א., סגל, ו., פייקובסקי, ד., אבן-זוהר, י. (2007). *דו"ח מדדים לפעילות בתחום החלל והשפעותיהם הכלכליות*. מוסד שמואל נאמן, טכניון, חיפה.
- גץ, ד., זלמנוביץ', ב., כצמון, א., סגל, ו., פייקובסקי, ד., אבן-זוהר, י. (2007). *דו"ח מודלים עסקיים בתעשיית החלל*. מוסד שמואל נאמן, טכניון, חיפה.
- גץ, ד., זלמנוביץ', ב., כצמון, א., סגל, ו., פייקובסקי, ד., אבן-זוהר, י. (2007). *דו"ח נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם*. מוסד שמואל נאמן, טכניון, חיפה.
- פייקובסקי, ד. (2005). *ישראל בחלל: נייר עמדה*. אוניברסיטת ת"א.
- אתר האינטרנט של התעשייה האווירית :
<http://www.iai.co.il/Templates/Homepage/Homepage.aspx?lang=EN>
- אתר האינטרנט של רפא"ל :
<http://www.rafael.co.il/marketing/Templates/Homepage/Homepage.aspx?FolderID=203>
- אתר האינטרנט של מכון אשר בטכניון : <http://www.technion.ac.il/ASRI>
- אתר האינטרנט של מכון פישר למחקר אסטרטגי, אוויר וחלל : <http://www.fisherinstitute.org.il>
- אתר האינטרנט של סוכנות החלל הישראלית :
http://www.most.gov.il/index.php/he/naaedaa_u_aecii_aeeuoaeieu/euaaoeei
- אתר האינטרנט של הידען- מדע וחלל בישראל : <http://www.hayadan.org.il/israelsat.html>
- Department of Trade and Industry of the UK (2005). *UK Innovation Survey 2002-2004*.
- Dun and Bradstreet (2007). *Dun's 100 Israel's Largest Enterprises, 2007*
http://duns100.dundb.co.il/asp/news2007_17t.asp
- DunsGuide Israel (2006): <http://dunsguide.dundb.co.il/netis/duntrade/index.asp>
- Dun's 100 Ranking of the Top Israeli Companies (2007):
<http://duns100.dundb.co.il/indexeng.asp>
- Halsband, A. (2007). *Israel's Space Industry: it's History, Present and Future Forecast*. Israel Aerospace Industries, February 2007.
- Getz, D. and Segal, V. (2008). *The Israeli innovation system: an overview of national policy and cultural aspects*. The Samuel Neaman Institute, Technion, Haifa.
- S. Neaman Institute, Asher Space Research Institute. (1988) *Civilian Space Applications. Israel's Role. Proceedings of the International Workshop*. Haifa: S.Neaman Press.
- SQW Consulting, SPRU (2003). *Review of Business Support Related Civil Space Activities. A Report to the Department of Trade and Industry*. London.



נספחים

נספח 1: רשימת המרואיינים:

1. אביעד שמריהו - סגן ראש מת"א.
2. ברוק דניאל - לשעבר מנהל השיווק של חברת Imagesat, כיום עובד באל-אופ.
3. פרופ' בן-ישראל יצחק - יו"ר סל"ה מ-2005.
4. ד"ר בר-לב משה - לשעבר ראש מנהל החלל בתעשייה האווירית.
5. ד"ר ברוש נח - החוג לפיזיקה ואסטרונומיה, אוניברסיטת תל-אביב.
6. פרופ' גורפיל פיני - הפקולטה להנדסת אירונאוטיקה וחלל, הטכניון.
7. גולד שלמה - סגן מנהל חטיבת מט"ח, התעשייה האווירית.
8. גל אבי - מנהל פיתוח עסקי, גילת.
9. פרופ' גלמן משה - ראש מכון אשר לחקר החלל, טכניון.
10. הר-אבן אבי - בעבר, ראש סוכנות החלל הישראלית (במשך 10 שנים).
11. פרופ' הררי עובדיה - בעבר מנהל מלם, סמנכ"ל התעשייה האווירית ומנהל חטיבת כלי טיס צבאיים, משנה למנכ"ל לתפעול, ממלא מקום מנכ"ל התע"א.
12. זוסימן דודי - מנהל פרויקט עמוס 3 בחברת חלל תקשורת.
13. ד"ר טמיר רז - מהנדס במב"ת וראש העמותה ללוויינות זעירה בישראל.
14. יהודה שוקי - CTO אלישרא וחכים דודו, מנהל שיווק, אלישרא.
15. לפיד עופר - מת"א.
16. מילר נחמיה - כיום יועץ של רפא"ל. בעבר ראש מינהלת מערכות חלל בחטיבת מנו"ר (מנועים וראשי קרב) ברפא"ל.
17. ד"ר סרוסי גבי, אילן פורת - חטיבת מודיעין חזותי וחלל אל-אופ.
18. פולק דוד - מנכ"ל חברת חלל תקשורת.
19. צוקרמן רון - חיל מודיעין.
20. צפריר נועם - מנהל כספים ראשי (CFO), Imagesat.
21. צרפתי אבי - מנהל תחום חלל, אלתא.
22. ד"ר קליין מרסל ז"ל - בעבר, מנהל סוכנות החלל הישראלית, מדען ראשי של רפא"ל, מחלוצי תעשיית החלל בישראל.
23. ד"ר קפלן צבי - החל מאוקטובר 2004, מנהל סוכנות החלל הישראלית. בעבר מנהל המרכז למחקר גרעיני בנחל שורק.
24. רוזנפלד עמיצור - מנכ"ל חברת מיקרוסאט, מנהל חברת Nar Projects לניהול פרויקטים בתחום החלל.
25. רמתי יאיר - סמנכ"ל שיווק, תע"א.
26. שחר משה - רמ"ח לוויינים, מת"א.



נספח 2: שאלון של סקר החברות

1. תחום העיסוק.

- שנת תחילת הפעילות של החברה בתחום החלל.
- פירוט המוצר(ים) או השרות(ים) העיקריים שהחברה מספקת.
- מה הם לדעתך שינויים ומגמות עיקריים בתעשיית החלל ב-5 השנים האחרונות?
- איך הם השפיעו על החברה שלך?
- אילו שינויים ומגמות בתעשיית החלל אתה צופה ב-5 השנים הקרובות?
- איך הם יכולים להשפיע על החברה שלך? איך אתה רואה את עתידה של החברה בתחום החלל (טכנולוגיות חדשות, תחומי עיסוק חדשים, לקוחות חדשים)?
- אם החברה עובדת בשני התחומים - האזרחי והצבאי :
 - איזה מהם קדם?
 - לאיזה מהם יש היום \ תהייה בעתיד חשיבות גדולה יותר? מדוע?
- איך היית מדרג את המשפטים הבאים?

כמעט ולא	לפע- מים	בדרך כלל	כמעט תמיד	
				בעבודתה בשני התחומים - האזרחי והצבאי - החברה משתמשת באותם : - טכנולוגיות.
				- תהליכי ייצור.
				- מיומנויות של עובדים.
				- מערכות עסקיות (כגון שיווק).



- באיזו מידה הגורמים הבאים היו חשובים בקבלת החלטה להיכנס לתחום החלל האזרחי?

אינני יודע	גבוהה מאוד	גבוהה	בינונית	נמוכה	נמוכה מאוד	
						שיפור הרווחיות.
						פיתוח מיומנויות שישמשו את החברה גם בתחומי עיסוק אחרים.
						האצת מו"פ שישמש את החברה גם בתחומים אחרים.
						פיתוח טכנולוגיות שישמשו גם בתחומים אחרים.
						יצירת קשרים שחשובים לחברה.
						שיפור מוניטין החברה בעיני הלקוחות: - בארץ. - בחו"ל.
						קירבתו של התחום לפעילות החברה, כי עבדנו כבר בתחום החלל הצבאי.
						הערכה גבוהה של פוטנציאל התחום בעתיד.

- מה הם לדעתך ה-SWOT העיקריים של תעשיית החלל בארץ? (SWOT = strengths, weaknesses, opportunities, threats).
- באילו תחומים וכיוונים צריכה הממשלה להתרכז בעידוד של תחום החלל בארץ?

2. המודל העסקי.

- מהם מקורות המימון של הפעילות הקשורה בחלל?
- הלקוחות העיקריים: (בארץ ובחו"ל, אזרחי או ביטחוני, ענף כלכלי של הלקוח, שמות הלקוחות והיקף המכירות).
- באיזו צורה ובאיזה אופן המחירים מכסים את הוצאות החברה? איך אתם "מעמיסים" את ההוצאות על הלקוחות? האם יש מרכיב משמעותי של הוצאה קבועה אותו יש לחלק בין הלקוחות, (למשל, עלויות בניה ושיגור של לוויין המשרת לקוחות רבים)?
- תחרותיות בשוק: מי הם המתחרים הישירים בשוק של החברה? האם המתחרים הם חברות פרטיות, ממשלתיות או בגבוי ממשלתי?



3. טכנולוגיות.

- תאור הטכנולוגיות (בתחום החלל) בשימוש החברה.
- אילו טכנולוגיות פותחו במסגרת החברה?
- באילו טכנולוגיות ביצעה החברה התאמות משמעותיות?
- האם לחברה פטנטים רשומים/בהליך רישום, או זכויות קניין רוחני אחרות? פירוט.
- שותפים לפיתוח/התאמת טכנולוגיות, (כולל גורמים עסקיים, ביטחוניים ואקדמיה).

4. מו"פ וחדשנות.

- נא להעריך איך היקף המכירות של החברה בתחום החלל ב-2006 היה מחולק בין הקטגוריות הבאות:

מוצרים שנכנסו לייצור בשנים 2006-2004, שהיו חדשים בשוק	%
מוצרים שנכנסו לייצור בשנים 2006-2004, שהיו חדשים לחברה אך לא לשוק	%
מוצרים, שעברו שיפור משמעותי בשנים 2006-2004	%
שאר המוצרים	%
סה"כ היקף המכירות בתחום החלל	100 %

- איזו חשיבות הייתה לכל אחד מהאפקטים הבאים של חדשנות (של מוצרים/שירותים ותהליכי יצור) בשנים 2004-2006? נא לסמן ב-X תשובה רלוונטית בכל שורה.

חשיבות רבה	חשיבות בינונית	חשיבות נמוכה	לא רלוונטי	
				מגוון רחב יותר של מוצרים/שירותים
				כניסה לשווקים חדשים או הגדלת נפח שוק
				שיפור האיכות של מוצרים/שירותים
				הפחתת העלות של יצור המוצרים
				הפחתת זיהום האוויר או השפעה בריאותית או בטיחותית חיובית
				הגדלת הערך המוסף (משכורות ורווחים)



- עד כמה חשובים היו בשנים 2004-2006 מקורות הידע הבאים למו"פ בתחום החלל בחברה?
נא לסמן ב-X תשובה רלוונטית בכל שורה.

מקורות ידע	לא נעשה שימוש	חשיבות נמוכה	חשיבות בינונית	חשיבות רבה
פנימיים				
מקורות שוק	בתוך החברה (קבוצת חברות)			
	ספקי ציוד, חומרים, שירותים או תוכנה			
	לקוחות			
	מתחרים או חברות אחרות			
מקורות מוסדיים	יועצים, מעבדות או מוסדות מו"פ פרטיים			
	מוסדות להשכלה גבוהה			
	מוסדות מחקר ציבוריים			
מקורות אחרים	כנסים, ירידים, תערוכות			
	ספרות מדעית, טכנית וכד'			
	איגודים אזוריים וארציים			
	תקנים			

- מהו לדעתך מקור היתרון התחרותי של החברה, וכיצד הוא קשור לחדשנות?



5. העברת ידע וטכנולוגיה.

- סמן, בבקשה, ב-V את התשובה הנכונה לשאלות הבאות.

לא	כן	
		האם תוצאות העבודה בתחום החלל האזרחי מצאו שימוש בתחומי פעילותה האחרים של החברה?
		אם אכן כן, האם העבודה בתחום החלל האזרחי הובילה ל-: - שיפורים טכנולוגיים בתחומים אחרים?
		- פיתוח מיומנויות ששמשו את החברה בתחומים אחרים?
		האם מוצרים, מיומנויות ושירותים, שפותחו על-ידי החברה בתחום החלל: - אפשרו להיכנס לשווקים אחרים - חדשים לגמרי עבור החברה?
		- נמכרו לחברות שאינן פעילות בתחום החלל?
		- עברו התאמה ומצאו שימוש בתוך החברה - לייצור מוצרים שלא קשורים לחלל?

- האם אתה יכול לתת דוגמה, איך העבודה בתחום החלל השפיעה על פעילות החברה בתחומים אחרים?
- האם ידוע לך על חברות שהוקמו בתחומים קרובים, ושמבססות על טכנולוגיות ו/או כוח אדם מתחום החלל?
- האם אתה יכול לציין מקרים אחרים של העברת ידע וטכנולוגיה, שפותחו בתחום החלל, לתעשיות אחרות?



6. השפעות של פעילות בתחום החלל האזרחי על החברה.

- תן, בבקשה, דוגמאות להשפעות בולטות של פעילות בתחום החלל האזרחי על החברה (פעילות חלל בתוך החברה או פעילות חיצונית לחברה שהשפיעה עליה).
- איך היית מעריך את גודל התרומה של פעילות החברה בתחום החלל האזרחי על:

אינני יודע	גבוהה מאוד	גבוהה	בינונית	נמוכה	נמוכה מאוד	
						...פיתוח מוצרים חדשים
						...פיתוח תהליכי ייצור חדשים
						...כניסה לשווקים חדשים (שלא קשורים לחלל האזרחי)
						...שיפור הכשרת כוח אדם, רכישת מיומנויות ושיטות עבודה חדשות
						...שיפור בדיקת ואבטחת האיכות
						...התייעלות החברה
						...יצירת שיתופי פעולה ארוכי טווח
						...האצת זיהוי ואימוץ של טכנולוגיות מחברות אחרות
						...מוניטין החברה
						...משהו נוסף? (נא לפרט)

- האם אתה יכול לפרט תועלות, שצמחו מתהליכי הלמידה של עובדי החברה בעבודתם בתחום החלל?



7. נתונים כלכליים.

האם תוכל לתת לנו את הנתונים הבאים לשנת 2006? נתונים - במיליוני ₪. אם אין נתונים מדויקים בנושא כלשהו - נודה גם על אומדנים לפי הערכתך.

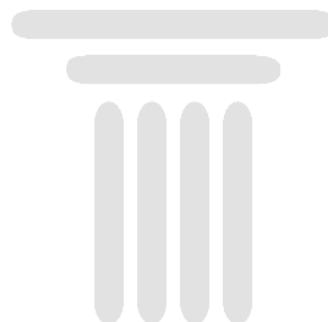
מתוך זה - בתחום החלל האזרחי	בתחום החלל	סה"כ בחברה - לא רק בתחום החלל	
			תקבולי המכירות
		X	תחזית למכירות לשנת 2010
			שכר עובדים והוצאות נלוות
X	X		רווח נקי
X	X		מיסים ששולמו למדינה
X			מס' המועסקים
X			ייצוא
X		X	הוצאות מו"פ

תודה רבה לך על שיתוף הפעולה.



רשימת הדו"חות של פרויקט החלל.

1. 2007 : מעמדה המחקרי של ישראל בתחומי הנדסת חלל על פי נתונים ביבליומטריים בהשוואה למדינות אחרות.
2. נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם.
3. מדדים לפעילות בתחום החלל והשפעותיהם הכלכליות.
4. מודלים עסקיים בתעשיית החלל.
5. 2008 : ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל.
6. דו"ח מסכם על חקר השוק והמדיניות בתחום החלל.





ד"ר ד.גץ • ב. זלמנוביץ' • א. בצמן • ו. סגל • ד. פייקובסקי • י. אבן-זוהר

דו"ח מסכם על חקר השוק והמדיניות בתחום החלל





תקציר מנהלים

דו"ח זה מתמקד במדיניות לתחום החלל (עידוד תחום החלל בארץ ובמדינות אחרות, המעורבות הממשלתית הרצויה בתחום החלל בישראל, תרומת תחום החלל לחינוך הטכנולוגי וכיו"ב). הדו"ח דן גם במבנה של שוק החלל העולמי ובמיקומה של מדינת ישראל במפת החלל העולמית. בנוסף, מוצגים בו תוצאות סקר מדענים שנערך במסגרת פרויקט זה.

תעשיית החלל היא אחת התעשיות המובילות בכלכלה העולמית מבחינת הקדמה הטכנולוגית. היקף הפעילות הכולל של תעשיית החלל העולמית בשנת 2006 היה 219.78 מיליארד דולר. שוק החלל העולמי מפגין צמיחה יציבה בשנים האחרונות. בישראל פועלות כיום כ- 20 חברות בתחום החלל. התעשייה האווירית וחברת גילת נמצאות ברשימת 50 חברות החלל המובילות בעולם.

תשתית החלל ומערכות החלל הם כלים אסטרטגיים של מדינות מפותחות. פיתוחן של טכנולוגיות החלל דורש השקעות כבדות בתשתית מדעית ותעשייתית. החשיבות המיוחדת לטכנולוגיות החלל משתקפת בהשקעות עצומות בתחום החלל בכל העולם. ישראל איננה מפרסמת את הנתונים על תקציב החלל שלה. לפי מקורות זרים, היא משקיעה כ-60-50 מיליון דולר בשנה בתחום החלל. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מפרסמת נתונים על מימון מו"פ אזרחי, ולפי הנתונים שלה, הסתכם התקציב הממשלתי למו"פ אזרחי בתחום החלל בישראל ב-2006 ב-2.7 מיליון דולר. לפי פרמטר זה ישראל מדורגת במקום ה-26 בעולם, אחרי רומניה, צ'כיה ופורטוגל. המשקל של תוכניות בתחום החלל בתקציב הממשלתי הכולל למו"פ אזרחי, הוא 0.2% בלבד. גם לפי קריטריון זה, ישראל נמצאת במקום ה-26 בעולם. בכל קריטריון של השוואה, ההוצאה של ממשלת ישראל בתחום החלל קטנה בהרבה בהשוואה להוצאות של מדינות אחרות החברות ב"מועדון החלל".

מדינת ישראל הגיעה להישגים מרשימים בקנה מידה עולמי בנישוח מסוימות של תחום החלל. את ההישגים הללו ניתן לייחס במידה רבה להשקעות שנעשו בעבר על ידי מערכת הביטחון. התמונה כיום שונה: התפתחה בארץ תעשיית חלל אזרחית, עובדה זו מחייבת הסתכלות חדשה על תחום החלל בארץ. תפקידה של הממשלה להמשיך ולהרחיב את התמיכה בתעשיית החלל, במחקר ובחינוך בתחום זה, בהכשרת כוח אדם מקצועי. אם מדינת ישראל רוצה לשמור על השגייה בתחום החלל, ולפתח את התחום מתוך ראיית החלל כאמצעי לקידום היבטים שונים של כלכלה, חברה וביטחון.

במסגרת סדרת ראיונות שנערכו, השיבו אנשי מפתח בתעשיית החלל בישראל לשאלות צוות המחקר בנוגע למעורבות הרצויה של הממשלה במחקר ובתעשיית החלל בארץ, בקשר לתמיכה בשיתופי פעולה בין לאומיים ובמו"פ בתחום החלל, ולהכשרה וטיפוח של כוח אדם מקצועי. תשובותיהם מרוכזות בדו"ח זה יחד עם חומר רלוונטי ממקורות אחרים.



תוכן העניינים

40	ראשי תיבות
41	מבוא
42	1. מבנה שוק החלל העולמי
42	1.1 שוק החלל - הגדרה ומבנה
46	1.2 ענפי שוק בתחום החלל
46	1.3 שחקנים בשוק החלל
48	1.4 שימוש כפול בטכנולוגיות ובמערכות החלל
52	1.5 העברה טכנולוגית
57	1.6 גודלו של שוק החלל
58	1.7 צמיחת תעשיית החלל
60	1.8 שינויים בשוק החלל העולמי ותחזיות
63	2. ישראל על מפת החלל העולמית
63	2.1 מיקומה של ישראל בשוק החלל העולמי
68	2.2 הזדמנויות של תעשיית החלל הישראלית
71	3. התפתחות תחום החלל בארץ - מבט היסטורי
74	4. תחום החלל בישראל מנקודת מבטם של חוקרים באקדמיה
74	4.1 חקר החלל ותעשיית החלל בישראל
75	4.2 כח אדם
76	4.3 העברת ידע
77	4.4 קידום תחום החלל
78	4.5 עבודתם בתחום החלל של משתתפי הסקר
80	5. תרומת תחום החלל לחינוך הטכנולוגי בישראל
80	5.1 סקירה כללית
81	5.2 הפעילות החינוכית של סוכנות החלל האמריקאית
85	5.3 פעילויות של סוכנות החלל האירופאית בתחום החינוך
86	5.4 פעילות בתחום החינוך לחלל בישראל
91	6. עידוד תחום החלל בישראל ובמדינות אחרות
91	6.1 השקעות ממשלתיות בתחום החלל
95	6.2 עידוד מו"פ אזרחי בתחום החלל
97	6.3 השקעה ממשלתית בתחום החלל
99	7. מדיניות חלל לישראל
99	7.1 סיבות להשקעות ממשלתיות בתחום החלל
101	7.2 המעורבות הרצויה של הממשלה בתחום החלל
107	8. סיכום
109	ביבליוגרפיה



ראשי תיבות

BSS	Broadcast service satellites
DARS	Digital audio radio service
DBS	Direct broadcast satellite (services)
DTH	Direct-to-home (TV)
EROS	Earth Remote Observation Satellite / Earth Resources Observation System
ESA	European Space Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FSS	Fixed Satellite Services
GEO	Geostationary/Geosynchronous Earth Orbit
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema = Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
LEO	Low Earth Orbit (satellite)
LVAD	The left ventricular assist device
MEO	Medium Earth Orbit (satellite)
MSS	Mobile Satellite Services
NASA	National Aeronautics and Space Administration
SAR	Synthetic Aperture Radar
SIA	Satellite Industry Association
TTPO	Technology Transfer and Promotion Office
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
USAT	Ultra Small Aperture Terminal
VSAT	Very Small Aperture Terminal



מבוא

דו"ח זה דן במבנה שוק החלל העולמי, במיקומה של מדינת ישראל על מפת החלל העולמית ובנושאים נוספים (כגון חקר החלל מנקודת ראותם של מדענים ומבט היסטורי על התפתחות תחום החלל בארץ), אך בעיקר הוא מוקדש למדיניות בתחום החלל: עידוד חקר החלל בארץ ובמדינות אחרות, המעורבות הממשלתית הרצויה בתעשיית החלל, טיפוח החלל כנושא שיכול לעודד את הנוער ללמוד מקצועות טכנולוגיים, והמלצות למדיניות בתחום החלל.

ישראל נמצאת כיום בשורה הראשונה של המדינות המפותחות מבחינת טכנולוגיית חלל. תוכנית החלל של ישראל, שנולדה מתוך צרכים ביטחוניים, התפתחה עם השנים לתעשייה שפועלת בשווקים ביטחוניים ואזרחיים, והיא בעלת תרומה משמעותית לביטחון, למשק, לחברה ולמעמדה של המדינה בעולם. לווויני התצפית חיוניים לביטחון ישראל, חברות תעשיית החלל מצליחות בנישות שונות של שוק החלל העולמי, ואזרחי המדינה נהנים משירותים הולכים ומתרחבים של תקשורת לוויינית.

לדברי פרופ' חיים אשד, ראש מנהלת החלל במשרד הביטחון, "נוכחות צבאית ואזרחית בחלל היא אינטרס חיוני של מדינת ישראל, המחייב בניית תוכנית חלל איתנה שתבטיח נוכחות זו".¹⁶

יו"ר סוכנות החלל, פרופ' יצחק בן ישראל, פירט במכתבו לחברי הוועדה המנחה של סוכנות החלל, את מטרותיה העיקריות של תוכנית החלל הישראלית: "לבנות ולקיים בחלל מערכות לוויינים לחקר החלל ולמחקר כדור הארץ מהחלל; לפתח את הטכנולוגיות, הידע והתשתית המדעית (כולל מעבדות וכוח אדם מתאים) הנחוצים לחקר החלל; לקדם שיתופי פעולה בינלאומיים בחקר החלל וניצולם על מנת לחזק את האינטרסים הכוללים של מדינת ישראל; לפעול לחיזוק הקשר בין המחקר והשימוש בחלל ובין החברה בישראל".¹⁷

העבודה שבוצעה על ידי צוות מוסד נאמן בנושא, סוכמה בדו"ח הנוכחי הכולל שמונה פרקים. בפרק הראשון מנותח מבנה שוק החלל העולמי. הפרק השני מוקדש למיקומה של ישראל במפת החלל העולמית. בפרק השלישי מתוארת ההתפתחות ההיסטורית של תחום החלל בישראל. תוצאות סקר המדענים מוצגות בפרק הרביעי. פרקים חמש עד שבע מתמקדים בהיבטים שונים של מדיניות החלל: בפרק החמישי נדונה תרומת החלל לחינוך הטכנולוגי בישראל, פרק מספר שש - בעידוד תחום החלל בארץ ובמדינות אחרות, ופרק מספר שבע עוסק במדיניות החלל בישראל. סיכום העבודה מוצג בפרק מספר שמונה.

¹⁶ ענבר, ט' (2008).

¹⁷ בליזובסקי, א' (2007).



1. מבנה שוק החלל העולמי

1.1 שוק החלל - הגדרה ומבנה

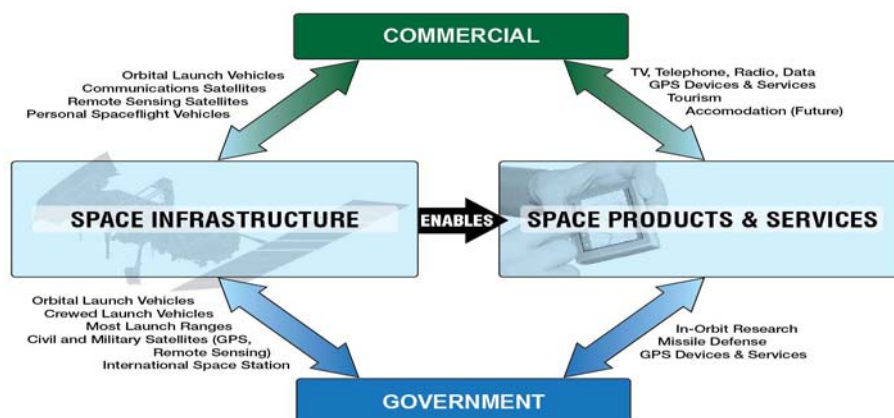
שוק החלל, לפי הגדרתו של הפורום הגלובאלי לכלכלת חלל של ה-OECD¹⁸, כולל את כל הגורמים הציבוריים והפרטיים המעורבים בפיתוח ובאספקת מוצרים ושירותים הקשורים לחלל. הוא כולל שרשרת ארוכה של גופים - החל ממוסדות מו"פ ויצרני "חומרה" (לוויינים, משגרים, תחנות קרקע וכד') וכלה בספקי מוצרים (ציוד לניווט למשל) ושירותים המבוססים על לוויינים.

תעשיית החלל היא אחת התעשיות המובילות בכלכלה העולמית מבחינת הקדמה הטכנולוגית, ומערכות החלל נתפסות כנכסים אסטרטגיים על ידי המדינות המחזיקות בהן. בתחילת עידן החלל הן פותחו כפרויקטים ביטחוניים ומדעיים, והתפתחו בהדרגה גם לתחום המסחרי. כיום הן מספקות תשתית שמשרתת את המשק העולמי כולו. תעשיית החלל הינה בעלת מרכיב תשתיתי גדול ולמעשה משמשת ככלי להרבה יישומים אחרים.

ממשלות משחקות תפקיד מרכזי בכלכלת החלל בתור המשקיעים, הבעלים, המפעילים והלקוחות העיקריים. תשתית החלל והפיתוחים שבוצעו עבור פרויקטים בתחום החלל משמשים עבור יישומים אזרחיים וצבאיים (פרק 1.4 דן בנושא השימוש הכפול בתשתית החלל).

היקף הפעילות הכולל של תעשיית החלל העולמית בשנת 2006 היה 219.78 מיליארד דולר¹⁹ - סכום זה כלל הכנסות בתחומי תשתית ושירותי החלל, שאינן נובעות מהזמנות ממשלתיות ומתקציבים ממשלתיים בתחום החלל. שוק החלל נחלק לשני חלקים עיקריים - שוק ציבורי/ממשלתי (34.3% ב-2006²⁰) ושוק מסחרי/פרטי/עסקי (65.7%). החלוקה הענפית העיקרית של תעשיית החלל היא לענפי תשתית החלל ולענפי השירותים. איור 1 מציג את הקשרים בין המרכיבים של שוק החלל.

איור 1. קשרים בין מרכיבי שוק החלל



מקור: Christensen, C. (2008)

¹⁸ OECD (2007).

¹⁹ Space Foundation (2007).

²⁰ ibid



בפרק זה יובא פירוט של מבנה תעשיית החלל; ליד כל ענף יצוין היקף הפעילות בו בשנת 2006 לפי הערכות שונות²¹. המספרים מתייחסים להכנסות, שאינן נובעות מהזמנות ממשלתיות.

תשתית החלל מאפשרת אספקה של מוצרים ושירותים של תעשיית החלל ללקוחות. פעילות בתחום זה כוללת פיתוח, ייצור, שיגור והתקנה של כלים וציוד, וגם שירותים תומכים (כגון ביטוח). תשתית החלל מורכבת מהאלמנטים הבאים:

- לוויינים (ב-2006 היקף הפעילות בענף יצור הלוויינים בהזמנת גופים לא ממשלתיים הסתכם בכ-2.92 מיליארד דולר)
 - משגרים ואתרי שיגור (1.40 מיליארד דולר)
 - תחנות קרקע וציוד קרקעי אחר - ציוד VSAT, צלחות לקליטת שידור דיגיטאלי, טלפונים ניידים וציוד רדיו DARS (28.80 מיליארד דולר)
 - תחנת חלל וציוד אחר בחלל (מימון - מתקציבים ממשלתיים)
 - תשתית מוסדית- גופים פיננסים וחברות השקעות, ביטוח ושיווק, אשר תומכים בפעילות החלל (1.02 מיליארד דולר)
- מוצרים ושירותים של תעשיית החלל** - מוצרים ושירותים המבוססים ישירות על תשתית החלל, מיועדים לתחום החלל או נמצאים באינטראקציה ישירה עם תחום זה.
- שימושים המבוססים על לווייני תקשורת- ענף זה של תעשיית החלל הוא "עסקי ביותר", עם היקפי פעילות גבוהים (70.5 מיליארד דולר בהזמנת גופים לא ממשלתיים ב-2006)
 - טלוויזיה direct-to-home (DTH), או טלוויזיה לוויינית- זהו הענף בעל היקף הפעילות הגבוה ביותר (55.05 מיליארד דולר ב-2006)
 - רדיו לווייני (1.59 מיליארד דולר)
 - שירותי תקשורת ללקוח המשתמש במכשור נייד (FSS)- השכרת טרנספונדרים לשידור ולטלוויזיה בכבלים, שירותי VSAT (11.80 מיליארד דולר)
 - שירותי תקשורת ללקוח שמשמש במכשור נייד (MSS) (2.00 מיליארד דולר)
 - ניווט- מכשור וציוד ל-GPS (שוק ענקי, השני אחרי שוק הטלוויזיה הלוויינית- 40.70 מיליארד דולר)

²¹ Space Foundation (2007).



- שימושים המבוססים על שימוש בלווייני צילום וחישה מרחוק (המימון- בעיקר מתקציבים ממשלתיים)
- תחבורה ותיירות בחלל (לדוגמא, חברות Space Adventures ו Virgin Galactic - 0.03 מיליארד דולר)
- הגנה נגד טילים ושימושים צבאיים אחרים (המימון- מתקציבים ממשלתיים)

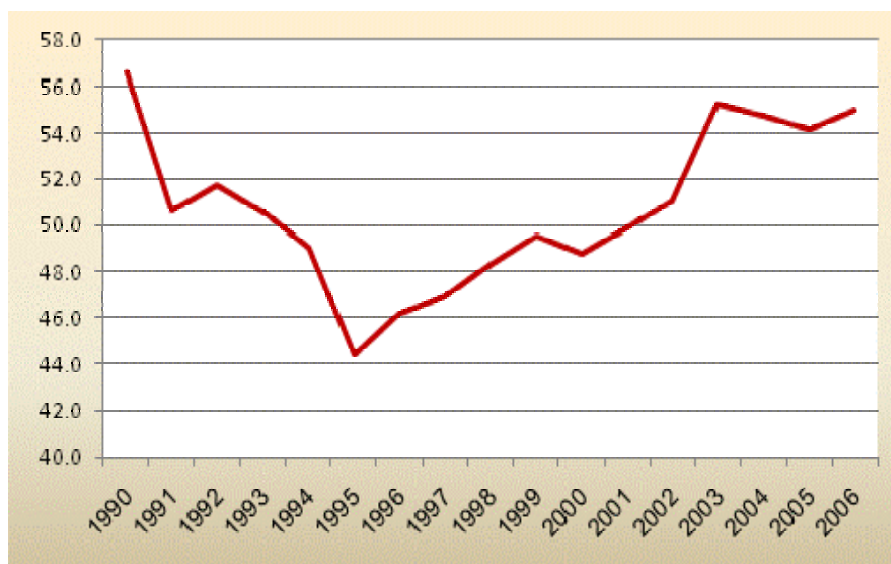
התקציבים הממשלתיים בתחום החלל הסתכמו ב-2006 ב-75.46 מיליארד דולר (מהם 62 מיליארד בארה"ב). שוק החלל הממשלתי נחלק לשניים- שוק אזרחי ושוק צבאי.

הפלח האזרחי כולל מדע, חקר החלל, וכד'. השחקנים העיקריים בשוק זה הם ממשלת ארה"ב וסוכנויות החלל של האיחוד האירופי, הודו, איטליה, יפן, רוסיה וקנדה.

חלק ניכר מהתקציבים הממשלתיים בתחום החלל מוקדש למטרות צבאיות. בארה"ב למשל, כ-55% מתקציב החלל הוקצבו למשרד ההגנה. כפי שניתן לראות באיור 2, בתחילת שנות התשעים, עם סיום המלחמה הקרה, שיעור ההוצאות הצבאיות בתחום החלל היה בירידה, אך החל מ-1995 הוא נמצא במגמת עליה.

איור 2. שיעור הוצאות צבאיות בתקציב החלל של ארה"ב

בשנים 1990-2006 (באחוזים)



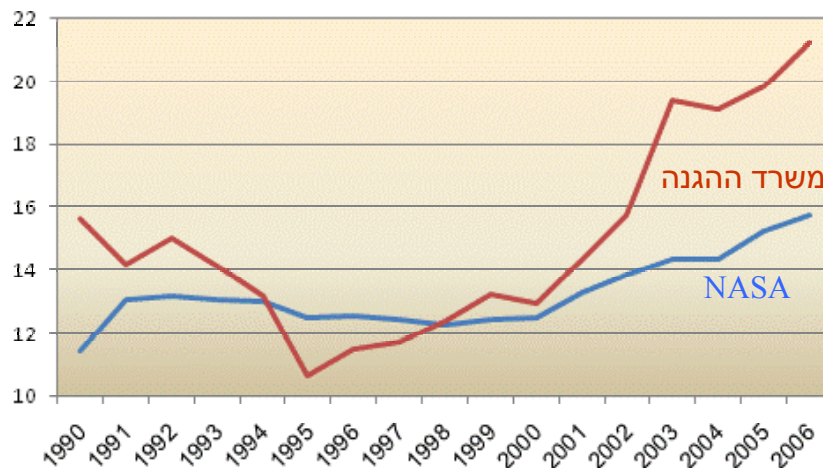
מקור : NASA (2006)



איור 3 מציג את הפער ההולך וגדל בין תקציב החלל של משרד ההגנה האמריקאי לבין תקציב NASA.

איור 3. תקציבי החלל של משרד ההגנה האמריקאי ושל NASA

בשנים 1990-2006 (במיליארדי דולר)



מקור: Shawcross, P. (2006)

פעילות משמעותית בתחום החלל הצבאי מתקיימת גם בצרפת, בריטניה, רוסיה וסין.

טבלה 1 מסכמת את פילוח שוק החלל.

טבלה 1. פילוח שוק החלל העולמי

ב-2006 (במיליארדי דולר)

סה"כ	שוק ממשלתי	שוק אזרחי/עסקי	
220	75	34	תשתיות
		111	מוצרים/שירותים
	75	145	סה"כ

מקור: Space Foundation (2007)



1.2 ענפי שוק בתחום החלל

שוק ייצור הלוויינים מהווה אוליגופול עם מספר מוגבל של ספקים וקונים. מחסומי הכניסה (כגון צורך בהזמנות ממשלתיות כדי לשרוד וכד') שומרים על מספר קטן של ספקים. החברות המובילות בייצור הלוויינים הן: Lockheed Martin, Boeing, Northrop Grumman, Space Systems/Loral, Alcatel Alenia, EADS Astrium Space Systems. השוק "מוגן" במובן שממשלות מזמינות, על פי רוב, בעיקר מהחברות המקומיות, גם אם המחירים בחו"ל זולים יותר. היצרנים המובילים בונים מספר רב של לוויינים בו זמנית, ובניית לוויין דורשת בדרך כלל בין 15 ל-59 חודשים²².

שוק השיגור גם הוא אוליגופוליסטי. הספק הראשי הוא United Launch Alliance (ULA) (ארה"ב), אשר מאחד את פעילותן של Boeing ו-Lockheed Martin בתחום זה. Arianespace (צרפת) מייצרת את מערכות השיגור של המשגר האירופאי Ariane 5. הקונסורציום הבין-לאומי Sea Launch הוא יוזמה משותפת לשיגור מלב ים של חברות מארבע מדינות: Boeing (ארה"ב), Energia (רוסיה), Aker Kvaerner (נורבגיה) ו-SDO Yuzhnoye/PO Yuzhmash (אוקראינה). חברות מרוסיה ומאוקראינה מפעילות משגרים, Soyuz ו-Zenit. SpaceX (Space Exploration Technologies Corporation), חברה אמריקאית חדשה (2002), מפתחת סדרת רכבי שיגור בשם Falcon הניתנים לשימוש חוזר וסדרת חלליות בשם Dragon. בשנים האחרונות גם חברות מהודו וסין מתבססות בשוק השיגור. המגזר הממשלתי הוא הקונה העיקרי בשוק זה, ובדרך כלל מה שמעניין אותו קודם כל זה אמינות ולא עלות. שינויים טכנולוגיים ודרישות לשיפור היכולות של לוויינים מייקרים אותם, ולכן הקריטריון העליון בבחירה הוא אמינותן מערכות השיגור.

בשוק שירותי הלוויינים, לצד חברות גדולות יש גם לא מעט חברות בינוניות וקטנות, והתחרות בו היא חופשית יותר מאשר בתחומי ייצור הלוויינים ושיגורם.

1.3 שחקנים בשוק החלל

השחקנים בשוק החלל הם יצרני לוויינים ומרכיבים אחרים של תשתית החלל, מפעילים של לוויינים ומערכות החלל, חברות המספקות את השירותים המבוססים על תשתית החלל, והמשתמשים בשירותים הללו (ממשלות וגופים פרטיים).

תעשיית החלל נתמכת במידה רבה על ידי הזמנות ממשלתיות. מדינות רואות במערכות החלל נכס אסטרטגי. חשיבות מרחב החלל לפעילות צבאית הובילה לרגולציה ממשלתית הדוקה בתחום זה. חשיבות צבאית איננה הסיבה היחידה או אפילו העיקרית לפיקוח ממשלתי: לחלל יש מאפיינים של "מוצר ציבורי", כמו אויר צח או ים, המצדיקים פיקוח ממשלתי ותיאום בין מדינות על ניצולו הנכון. מחסומים למסחר ששמות רשויות הביטחון, כגון כללי ITAR (International Traffic in Arms Regulations) של ארה"ב, מגבילים את זרימת הידע והטכנולוגיה בתחום החלל.

²² Futron (2004)



בשנים האחרונות, מחירי הכניסה לשוקי המפעילים וספקי השירותים הולכים וקטנים, כתוצאה מכך מספר המפעילים בענפי שוק אלה הולך וגדל, ויש בשוק זה לא מעט חברות בינוניות או קטנות. להבדיל משוק השירותים, ענף הייצור מאופיין במיזוגים (Merges & Acquisitions) של חברות. בענף יצור הלוויינים אין מקום לחברות ייצור קטנות, החברות הגדולות משתלטות על השוק. "כרטיס הכניסה" למועדון יצרני לוויינים ומרכיבים אחרים של תשתית החלל הוא יקר, וההצטרפות ליצרנים בשוק זה בעייתית מאוד. מחסומי הכניסה כוללים:

- השקעות הון גדולות הנדרשות לפעילות הייצור בתחום החלל
- כוח אדם מיומן ומשכיל, שיכול להתקדם יחד עם התפתחות הטכנולוגיות
- התפקיד החשוב שיש לידע ומומחיות בתחום החלל
- תלות בהזמנות ממשלתיות
- מענקים ממשלתיים וסובסידיות שונות יתרון לחברות שכבר נמצאות בשוק
- רגולציה ממשלתית המגבילה את יכולת הכניסה של חברות זרות

מחסומים אלה מובילים לאינטגרציה ורטיקאלית שמאפיינת את השוק. החברות הגדולות מנסות להיכנס לתחומי פעילות נוספים. נערכים מיזוגים רבים, הנוצרים לעיתים קרובות "מצד הכסף" – גופים פיננסיים גדולים וקרנות פרטיות ענקיות קונים את החברות ומחברים אותן. דוגמאות למיזוגים - בארה"ב: המיזוג של Boeing עם North American Rockwell, McDonnell Douglas, Hughes Electronics; באירופה: יצירת European Aeronautic Defense and Space Corporation (EADS) ממספר חברות ענק. מיזוג זה חצה גבולות לאומיים ויצר חברה אזורית דומיננטית שיכולה להתחרות ב-Lockheed Martin ו-Boeing הממוזגות (United Launch Alliance - ULA).

ענף הייצור של תעשיית החלל עדיין נשלט על ידי חברות גדולות, אשר מציעות מגוון רחב של מוצרים ופועלות במדינות שונות. עם כניסתן של מדינות חדשות לשוק החלל וירידת עלויות הייצור, תפקידן הדומיננטי של הממשלות הולך ונחלש בהדרגה, והשווקים הגלובליים נעשים פתוחים יותר לספקים מכל העולם. אומנם ממשלות מעדיפות לרכוש ציוד ושירותים מחברות מקומיות, אך קשיים תקציביים (שאמורים להתעצם עם התגברות המשבר הכלכלי הנוכחי) ותנאים טובים שמציעות חברות זרות מזרזים את תהליכי הגלובליזציה בשוק החלל. דוגמאות לתהליך זה הן שימוש של יצרני לוויינים אמריקאים במערכות השיגור האירופאיות Ariane 5 ושימוש במנוע מתוצרת רוסיה ביצור המשגר של חברת ULA.

הצרכנים העיקריים בשוק החלל הם הממשלות והמשתמשים האזרחיים בשירותים המבוססים על תשתית החלל. כושר המיקוח של גופים ממשלתיים הוא גבוה, אך לא מעבר לכך, היות שהם זקוקים למוצרים ולשירותים של תעשיית החלל. יצרני וספקי השירותים משפרים ומגוונים את המוצרים והשירותים, וזה מחזק את מעמדם בשוק מול הצרכנים.



בדו"ח "נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם"²³, שהוגש במסגרת מחקר זה ב-2007, מוצגות החברות המובילות בעולם בתחום החלל (פרק 5 וגם בנספח לדו"ח), בדו"ח מרוכז מידע מגוון על החברות הללו ועל המדיניות המובילות בפעילות בתחום (פרק 6).

1.4 שימוש כפול בטכנולוגיות ובמערכות החלל

מערכות שימוש כפול (dual use) בתחום החלל הן מערכות לווין שונות הניתנות לשימוש אזרחי וצבאי. תופעת השימוש הכפול בטכנולוגיות ובמערכות חלל למטרות אזרחיות וצבאיות הינה אחד המאפיינים החשובים של שוק החלל²⁴. המניע העיקרי לשימוש כפול הוא מניע כספי, שכן השיטה מאפשרת למערכת הצבאית לקבל שירותים נחוצים בהשקעות קטנות יותר ובדרך כלל בלי להתחייב להשקעות לטווח ארוך. עבור המפעילים הפרטיים, השיטה עוזרת בפתרון בעיית המימון וללקוחות האזרחיים, הודות להשתתפות המערכת הצבאית במימון חלק מהעלויות, השירות ניתן במחיר סביר (למשל ניווט דרך מערכת GPS²⁵). בין יתרונות השימוש הכפול בטכנולוגיות חלל ניתן למנות הוזלת עלויות מו"פ, חיזוק התעשייה, שימור ופיתוח מוקדי ידע ויצירת שיתופי פעולה בינלאומיים.

ישנם מספר סוגים של שימוש כפול:

- א. לווין בבעלות ממשלתית המיועד ליישומים ביטחוניים אשר ניתן להשתמש בו באופן חלקי גם לשימוש אזרחי סלקטיבי. לדוגמא: GPS.
- ב. לווין בבעלות והפעלה מסחרית המוכר שירותים גם ללקוחות ביטחוניים וגם ללקוחות אזרחיים (תוך הגבלות חוקתיות ומנהלתיות). לדוגמא: SpainSat, GeoEye.
- ג. יוזמה של התעשייה, במימון פרטי לבניה, שיגור והפעלה של מערכות חלל ומכירת שירותים לגורמים ממשלתיים. לדוגמא: XTAR.

התחומים העיקריים של שימוש כפול בסוגי נתונים שמספק הלוויין: מטאורולוגיה, חישה מרחוק, תקשורת וניווט.

²³ גץ, ד. ואחרים. (2007). נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם.

²⁴ הדיון בתת-פרק זה מבוסס במידה רבה על הרצאתו של טל ענבר ועל דבריהם של פרופ' חיים אשד ואחרים בכנס החלל השני על שם אילן רמון במכון פישר בהרצלייה, בתאריך 31.01.07.

²⁵ מערכת לווין הניווט היא מקרה מיוחד, היות והיא אמנם מספקת שירות ללקוחות אזרחיים וצבאיים, והיום ייתכן שהשימושים האזרחיים רבים יותר, אך זוהי מערכת צבאית שמתופעלת על ידי חיל האוויר האמריקאי.



אבני דרך בתחום השימוש הכפול בלווייני צילום וחישה מרחוק:

1972 - לוויין החישה מרחוק Landsat שוגר על-ידי NASA. הלוויין צילם את כדור הארץ וזו הייתה הפעם הראשונה שבה סופקו תוצרים של לוויין חישה מרחוק לגורמים לא ממשלתיים.

1986 - צרפת שגרה את הלוויין SPOT 1. תוצרי לוויין הצילום נמכרו למדינות וללקוחות מסחריים ובכך הסתיימה ההגמוניה האמריקאית על מכירת הדמאות לגורמים שונים בעולם.

1989 - שיגור IKONOS שהיה הלוויין המסחרי הראשון עם הדמאות ברזולוציה של 1 מטר.

דוגמאות לשימוש כפול:

- GeoEye - חברה אמריקאית שנוצרה על ידי מיזוג של החברות Space imaging ו-Orbimage. החברה מפעילה מערך של לוויינים לצרכי חישה מרחוק: OrbView-2 ו-IKONOS. בספטמבר 2008, שיגרה החברה את הלוויין GeoEye 1 שהוא לוויין התצפית המסחרי בעל הרזולוציה הגבוהה ביותר ששוגר עד כה - 41 סנטימטרים. חוזה שנחתם בין מפעיליו לבין חברת גוגל מבטיח לגוגל בלעדיות על תמונות הלוויין, שישמשו לשיפור ניכר של היישום Google Earth. ל-GeoEye מגוון לקוחות מהמגזר האזרחי והביטחוני, ביניהם: ממשלות, סוכנויות מודיעין, הסוכנות הלאומית האמריקנית לגיאוגרפיה מרחבית (NGA-National Geospatial-Intelligence) (Agency) וחברות כדוגמת Microsoft, Yahoo ו-Google. צילומי הלוויינים משמשים למגוון צרכים: ביטחון לאומי, מיפוי, ניטור סביבתי, תכנון עירוני, הערכות למצבי חירום, ועוד.²⁶
- GMES (Global Monitoring for Environment and Security) - תוכנית של האיחוד האירופי וסוכנות החלל האירופית (ESA) לניטור כדור הארץ למטרות ביטחון לאומי ואיכות הסביבה. התוכנית משרתת בין השאר ארגונים לא ממשלתיים, ארגונים פרטיים וגופים העוסקים באיכות הסביבה.

שימוש כפול בלווייני תקשורת:

המניע העיקרי לשימוש כפול בלווייני תקשורת הוא מניע כספי-המימון. מניע נוסף נובע מכך שצבאות בעולם אינם יכולים להתחייב להשקעות לטווח ארוך. צבא ארה"ב רוכש 80% מרוחב הפס לתקשורת מלווייני תקשורת מסחריים.

²⁶ מקור: <http://www.geoeye.com/CorpSite/corporate/Default.aspx> (אוקטובר 2008). הלוויין של גוגל באוויר. ביטאון חיל האוויר. אוחר בתאריך 12 לאוקטובר 2009
<http://www.iaf.org.il/Templates/Journal/Journal.In.aspx?lang=HE&folderID=2126&subfolderID=2127&docfolderID=2132&lobbyID=50&docID=28190>



דוגמאות ללוויינים בשימוש כפול בתחום התקשורת:

XTAR - מערך הלוויינים הראשון בעולם אשר נבנה כלוויין מסחרי לשימושים אזרחיים וצבאיים על מנת לספק פתרונות תקשורת בתחום תדרי ה-X לממשלת ארה"ב, נאט"ו, ולממשלות וארגונים צבאיים ברחבי העולם. הלוויין מופעל על ידי חברת XTAR LLC שהינה מיזם משותף בין שתי חברות Loral Space & Communications ו-HISDESAT. מערכת ה-XTAR תוכננה כך שתספק שירותי תקשורת מותאמים לביטחון ארה"ב וסוכנויות של בנות בריתה ושרותים צבאיים על מנת לתמוך ולהגדיל את נכסי החלל לצרכי מלחמה שבבעלות הממשלה. בנוסף, מערכת ה-XTAR תומכת בפעולות מיוחדות ול- "comms-on-the-move" עבור שליטה בדואר נייד, וספינות קטנות וטיסות שמעבירות שידורי נתונים.²⁷

Spain Sat - לוויין המיועד לשימוש אזרחי ובטחוני, הלוויין נבנה על ידי חברת Loral Space & Communications עבור חברת HISDESAT. חלק מהטרנספודרים של הלוויין מוכרים למשרד ההגנה הספרדי, חלק אחר של הטרנספודרים מוכרים לחברת XTAR LLC ומשמשים לקוחות מהמגזר הצבאי-בטחוני בארה"ב ובמדינות נוספות.²⁸

חברות חלל ישראליות פעילות בתחום השימוש הכפול. חברת חלל תקשורת (Spacecom), למשל, המשווקת ומפעילה את לוויני עמוס, מגייסת כסף ציבורי בשוק ההון ומספקת שירותי תקשורת הן למשרד הביטחון והן ללקוחות אזרחיים. חברת גילת מוכרת ומייצרת מערכות תקשורת לוויינית להעברת נתונים כולל נתוני קול ווידאו, עבור לקוחותיה, אזרחיים וביטחוניים, בכל העולם.

טכנולוגיות החלל הן מטבען בעלות רגישות ביטחונית. שירות Google Earth²⁹, למשל, יכול להוות סוג של סוכנות ביון. בשימוש ב-Google Earth ישנם היבטים ביטחוניים כבדי משקל. תצורה תלת ממדית של ההדמאות יכולה לסייע בתכנון מלחמות ובפעילויות טרור. ממשלות דרום קוריאה והודו דרשו צנזורה אשר נועדה לפעול נגד חשיפת תשתיותיהן על-ידי Google Earth. הצנזורה נעשית באמצעות הפחתת הרזולוציה מאזורים/יעדים שונים. קיים מגוון רחב של הגבלות בפרקטיקה של השימוש הכפול.

אמצעים עיקריים להגבלת השימוש הכפול הם:

- הגבלת רזולוציית ההדמאות, כמו במקרה של Google Earth, והגבלת הנגישות להדמאות, למשל- שימוש בהן רק לאחר 24 שעות (המגבלה הזו בוטלה על ידי ארה"ב בשנה האחרונה).

²⁷ <http://www.xtarllc.com/about-xtar.html>
<http://www.xtarllc.com/capabilities.html>

²⁸ http://space.skyrocket.de/doc_sdat/spainsat-1.htm

²⁹ תוכנה מבית Google המציגה תצלום לוויין דינמי ואינטראקטיבי המשולב במידע גיאוגרפי רב ממדי.



- פיקוח על המצלמה בלווייני צילום- הפיקוח נמסר לגורם מוסמך כדי שהחומר לא יגיע לידיים עוינות.
- מודלים שונים שנועדו להבטיח את בטחון המידע המופק, תקשורת מאובטחת וכד'.
- חקיקה בנושאים רגישים. כיום לווויינים מוגדרים כאמצעי לחימה או ככלי נשק, ולכן הם נמצאות תחת מגבלות חמורות מאוד של יצוא.
- פיקוח על שיווק ההדמאות, באופן שההדמאות לא יגיעו לגורמים עוינים.
- מגבלות על טכנולוגיות מסוימות לעיבוד תמונה.
- בתחום התקשורת- הממשל האמריקאי דורש מערכות מוצפנות לטלמטריה של תקשורת לווויינית ונדרש אישור וסיווג בטחוני של ממשלת ארה"ב למפעילי מערכות הלוויין.
- חסימת גישה בעיתות משבר: במלחמת המפרץ הראשונה, למשל, נחסמה הגישה ללוויינים מטאורולוגים מעיראק.

שימוש כפול בלווייני ניווט - GPS

המטרה של השימוש הכפול בלווייני ניווט הינה שמירה על הביטחון הלאומי, שירותי חירום והצלה ומטרות מסחריות. ההגבלה על שימוש כפול בלווייני ניווט נעשתה בעבר באמצעות: GPS דיפרנציאלי והגבלות על דיוק- Selective Availability. Selective availability - הינה טכניקה הקשורה להכנסתן של טעויות מכוונות לאותות GPS, ואשר מונעת דיוק מלא ממשתמשי SPS (Standard Positioning Service - שימוש לכל המעוניין). בשנת 2000, הוחלט לאפס את פעילות ה-SA ובשנת 2007, הכריז משרד ההגנה האמריקאי כי לווויני GPS דור שלישי לא יכללו תכונה זו³⁰. כיום, כאשר לרוסיה יש מערכת ניווט משלה, פיקוח בינלאומי להגבלת הדיוק בלווייני ניווט נראה בלתי סביר. היוזמה האירופאית- גלילאו מחלישה את התלות במערכת GPS האמריקאית (גלילאו נועדה ליישומים ביטחוניים אירופאים ולשימוש מסחרי). ההגבלות חשובות בעיקר לאור העובדה שככל שהטכנולוגיה משתכללת, ההבדלים בין לווין שמוגדר אזרחי או פרטי לבין לווין צבאי הולכים ומטשטשים. אם בעבר לווין צבאי סיפק רזולוציה טובה הרבה יותר מזו של לווויינים אזרחיים - המצב היום אינו כזה. מדינות בעלות יכולות בחלל מנסות לשמר את יכולותיהן לעצמן בשיטות שונות. ארה"ב, למשל, לא יישמה הלכה למעשה את האופציה להפסקת פעילות לווין חישה מרחוק מסיבות של ביטחון לאומי, אלא נקטה בשיטות של שכנוע, קניית שליטה בחברות כדי למנוע מכירת הדמאות, והנהיגה מגבלות יצוא. לממשלות יש אפשרות להלאמת לווויינים, לא רק בארה"ב. צעד זה לא ננקט עדיין, אם כי בשלב מסוים של המלחמה באפגניסטן הממשל האמריקאי רכש את כל זכויות הצילום ובכך "הלאים"

³⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System#Selective_availability
<http://www.new-techmagazine.com/article.aspx?ID=232>



למעשה את הלוויין בדרך "ידידותית למפעיל". סין ממשיכה לעטוף את מערכות לוויין התצפית שלה במעטה סודיות. הודו מגבילה הפצה בינלאומית של נתונים וקנדה, תחת לחץ אמריקאי, אמורה ליצור מגבלות על תפעול הלוויין המסחרי שלה - Radarsat International.

קיים סיכוי נמוך שהמדינות הפועלות בתחום החלל תתכנסנה כדי לקבוע תקנות וחוקים משותפים להגבלת השימוש הכפול במערכות חלל. הנורמות הבינלאומיות היחידות, שיש לפקח עליהן בפעילויות חלל עתידיות, יכולות להיות בעלות מאפיינים מסחריים בעיקר, ולהיווצר במסגרת ארגון הסחר העולמי. סביר להניח, שריבוי מערכות החלל והשימוש הנרחב בהן למטרות מגוונות, אזוריות וביטחוניות, ימשך. שוק החלל הגלובלי יעשה עם הזמן חופשי יותר ותופעת השימוש הכפול תמשיך להתפתח.

1.5 העברה טכנולוגית

העברה טכנולוגית היא תהליך של שימוש בטכנולוגיה, מומחיות, ידע מקצועי או תשתיות למטרה שלא הייתה היעד המקורי של הארגון המפתח. בטכנולוגיה שפותחה עבור סקטור מסוים נעשה שימוש בתחום שונה לחלוטין.

העברה טכנולוגית NASA

במסגרת תוכנית האווירונאוטיקה והחלל, NASA יוצרת טכנולוגיות חדשות לשימושים בחלל. כשטכנולוגיות אלו מוכחות, הן נעשות לעיתים קרובות בעלות שימושים פוריים בתחומים אחרים לתועלתה של כלל החברה. NASA מחויבת להעברת טכנולוגיות מאז היווסדה ב-1958 מתוקף ה-National aeronautics and space act. כבר אז, מנהיגים הכירו בכך של-NASA יש תפקיד חשוב בעידוד ומימון פיתוחים טכנולוגיים לצורך מטרות בחלל ושטכנולוגיות אלו עשויות לספק יתרונות לאומה. החוק דורש את הפצת תוצאות הפעילויות של NASA ונותן לה סמכות לרשום פטנטים על ההמצאות שלה. מתוך הכרה בצורך לגישה מובנית בתהליך העברת הטכנולוגיות שלה, יצרה NASA ב-1962 את ה-Industrial Application Program, שהפכה מאוחר יותר ל-NASA's IPP-Innovative Partnerships Program, גוף האחראי על שיתוף הציבור בתוצאות המחקרים של NASA. מטרת התוכנית ליצור שותפויות בין נאס"א לבין גורמים מהתעשייה, האקדמיה, גופי ממשל ומעבדות לאומיות על מנת להגדיל, לפתח ולהטמיע את מגוון הטכנולוגיות שבשימושה של נאס"א. מטרה נוספת היא שטכנולוגיות אלו יהיו בעלות פוטנציאל מסחרי ויוכלו לשמש את הציבור הרחב. התוכנית מספקת לחברות מהתעשייה, לעסקים ולמוסדות מחקר אפשרות לקחת חלק במחקר במימון ממשלתי. התוכנית מורכבת ממספר יוזמות, שביניהן ה-Small Business Innovative Research (SBIR) Research וה-Small Business Technology Transfer (STTR) - שמטרתן קידום שותפויות בין מוסדות מחקר (אוניברסיטה, מעבדה לאומית) לעסקים קטנים (פחות מ-500 מועסקים) וה-Innovative Partnerships Program Seed Fund - המספקת מימון התחלתי לתוכניות אלו. כמו כן, התוכנית כוללת יוזמות נוספות ביניהן: Centennial challenges prize program, תחרות נושאת פרסים התומכת ביעדי מחקר החלל, NASA Innovation Fund, קרן



שמטרתה לתמוך בממציאים בשלבים הראשונים של עבודתם, וה- Innovation Ambassadors, יוזמה שמטרתה לאפשר לעובדי נאס"א לשהות שנה בחברות היי-טק, על מנת לשאוב רעיונות חדשים ולחלוק את ניסיונם ואת הידע שלהם³¹.

בטבלה 2 יש פירוט של תקציבי NASA המיועדים להעברת טכנולוגיה בפועל ל- 2008 ובתכנון לשנים 2009-2014.

טבלה 2. תקציב NASA (במיליוני דולרים) להעברת טכנולוגיה³²

	2008 בפועל	2009 מוערך	2010	2011	2012	2013	2014
Technology Infusion	6.7	9.1	13.5	13.1	13.5	13.7	14.0
Small Business Innovative Research	86.9	113.4	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1
Small Business Technology Transfer Research	13.2	13.6	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
Innovation Incubator	0.0	0.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Future Centennial Challenges	0.0	0.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Partnership Development	39.9	24.1	23.8	20.2	19.9	19.7	21.3
Innovative Technology	0.0	0.0	2.8	6.8	7.5	8.1	7.0
Innovative Partnership Program	146.8	160.2	184.4	184.9	185.7	186.3	187.0

NASA מוציאה בכל שנה דו"ח שנקרא Spinoff Publication, שבו היא מפרסמת את 50 סיפורי מסחר הטכנולוגיה הטובים ביותר בהתבסס על מדדים כמו: שיפור איכות החיים, קידום טכנולוגי יוצא דופן, השפעה כלכלית, חדירה לשווקים, ועניין אנושי. באמצעות פרסומים אלה היא מתקשרת כמה מהיתרונות שנוצרו כתוצאה מההוצאות הכספיות של קרנות NASA. הפרסום משמש ככלי ליידוע של התקשורת והציבור ביתרונות ההשקעה הלאומית, בטכנולוגיות בעלות חשיבות אסטרטגית

³¹ מקורות: NASA FISCAL YEAR 2009 BUDGET ESTIMATES
http://www.nasa.gov/pdf/210019main_NASA_FY09_Budget_Estimates.pdf

אתר נאס"א-http://www.nasa.gov/offices/ipp/about_us/index.html

³² מקור: NASA Fiscal Year Budget Estimates, p. viii
http://www.nasa.gov/pdf/345225main_FY_2010_UPDATED_final_5-11-09_with_cover.pdf



שיש להן פוטנציאל לשימוש אזרחי, לרווחה ולקידום איכות החיים של בני האדם והחברה. הדו"ח מדגים את האפשרויות ליישום טכנולוגיות חלל בסביבות שונות, מדגיש את כושר ההמצאה של ממציאים אמריקניים, יזמים ומהנדסי יישומים ואת הנכונות של משרדי ממשלה לעזור להם, לחזק את התחרויות הגלובליות ואת המנהיגות הטכנולוגית של ארה"ב.

החל מ-1958, פותחו בנאס"א או בשיתוף פעולה עם מדענים ומרכזי המחקר של נאס"א, כ-1,600 טכנולוגיות ומוצרים לתועלת הציבור הרחב. הטכנולוגיות של NASA הועברו לתחומים שונים ותרמו לאיכות חיים, לבטיחות הציבור ולצמיחה כלכלית. תחומים אלה כללו: בריאות ורפואה, תחבורה, בטיחות הציבור, מסחר, משאבים חקלאיים וסביבתיים, טכנולוגית מחשב ופיריון תעשייתי. להלן מובאות מספר דוגמאות³³:

1982: אסטרונאוטים שעבדו בירח לבשו ביגוד מיוחד לצורך קירור מתחת לחליפות החלל שלהם על מנת להגן עליהם מטמפרטורת הירח שלעיתים קרובות מגיעה ל-120 מעלות צלסיוס. הטכנולוגיה שפיתח מרכז החלל של NASA על מנת לייצר ביגוד זה הינה דוגמה לאחד מה-spinoffs שנעשה בהם השימוש האזרחי הרחב ביותר. הטכנולוגיה אומצה והותאמה למערכות קירור ניידות לטיפול רפואי במחלות כגון כוויות, טרשת, פציעות עמוד שדרה ופציעות ספורט.

1986: פרויקט משותף של NASA ושל המכון הלאומי לתקנים (National Bureau of standards) הסתיים ביצירת מערכת להקלה בנשימה (Light weight breathing system) המיועדת לשימוש בעת כיבוי שריפות. עד היום כל יצרן של ערכות נשימה משתמש בטכנולוגיה זו של NASA בצורה כלשהי, ומספר הפציעות כתוצאה משאיפה של חומרים מסוכנים ירד באופן משמעותי.

1991: שלוש טכנולוגיות/תוכניות נפרדות של NASA (SPATE 9000 System, MSC/NASTRAN, Wyle Ride Quality Meter) פותחו במקור עבור מעבורות חלל ומטוסים ונועדו למדוד עמידה בעומסים, לחץ, תנודות בנסיעה, גילוי זרמים חבויים ומעקב אחר שינויים מבניים במהלך עומס. טכנולוגיות אלו שולבו בבדיקת מושבי אוטובוס להובלת תלמידים לבתי ספר. חברה בשיקגו הצליחה לנתח מתמטית ולנבא כיצד המושב יחזיק מעמד בלחץ, לעקוב אחרי שינויי מבנה במבחני עייפות ולפתח מדד תנודות בנסיעה. מבחנים אלה תרמו לכך שהחברה יצרה מושבי אוטובוס בטוחים ואמינים יותר.

³³ הדוגמאות לקורות מ- Comstock, D.A and Lockney, D. (2007). NASA's legacy of technology transfer and prospects for future benefits. AIAA space 2007 conference & exposition, California. http://www.sti.nasa.gov/tto/hist_techtransfer.pdf
Covering the Cutting Edge: 25 Years of NASA Tech Briefs <http://www.nasatech.com/Features/timeline/timeline.html>
NASA Spinoffs: Bringing Space down to Earth <http://www.thespaceplace.com/nasa/spinoffs.html>
The SAO/NASA Astrophysics Data System <http://adsabs.harvard.edu/abs/1991spin.rept...70>



1995: מתקן בשם The left ventricular assist device (LVAD) נכנס לשימוש על מנת לספק את קיבולת פעימות הלב בחדר השמאלי. המתקן מאפשר לשמר את הלב במצב יציב בחולים שנדרשים לעבור השתלה עד שימצא תורם. במקרים מסוימים אין צורך בהשתלה באמצעות החדרת LVAD קבוע. מתקן זה פותח על ידי שני אנשים David Saucier ממרכז החלל על שם ג'ונסון וד"ר Michael DeBakey מ-Baylor College of Medicine. המתקן פותח באמצעות כלים וטכנולוגיה שבשימוש NASA לשם עיצוב חלקי מערכת הנעה למעבורת חלל.

2000: אינטרנט המבוסס על GPS גלובלי דיפרנציאלי - Internet based global differential GPS- (IGDG) פותח במעבדות Jet propulsion וזיכה את הממציא בפרס תוכנת השנה של NASA לשנת 2000. המערכת משמשת לצורך בקרה ותפעול של נתונים המגיעים מרשת GPS הגלובאלית של נאס"א מ-60 אתרים שונים. מינהל התעופה הפדראלי של ארה"ב (FAA) הכניס לשימוש מערכת זו על מנת ליידע את הטייסים הנמצאים במרחב האווירי של ארה"ב לגבי מיקומם המדויק בזמן אמת.

2007: (1) פיתוח של רשת של חיישנים סביבתיים (Network of environmental sensors) למעקב אחר המצב הרפואי של האסטרונאוט בחלל. חיישניים אלו יכולים לשמש את עובדי מערכת הבריאות במרכזים עירוניים ולספק להם מידע על איכות המים, מזג אוויר ועל התפרצות מחלות באזורים מרוחקים. (2) על בסיס תוכנה שפותחה בנאס"א ומיועדת לפענוח תמונות המתקבלות ממעבורת החלל (Spacecraft imagery) פותחה מערכת פשוטה וזמינה לשימושם של רופאים לשם ביצוע ניטור לבבי שאינו פולשני (noninvasive heart monitoring)³⁴.

2008: (1) זרוע רובוטית (Robotic arm) שפותחה לצורך תיקונים בתחנת החלל הבין-לאומית משמשת גם בניתוחים אורטופדיים פולשניים (ניתוחי ברכיים). הדיוק של הזרוע מאפשר החדרת שתלים קטנים. (2) חישן שפותח למדידת רמות הנוזל בכך הנחיתה (Landing gear) משמש למדידת רמות הדלק ולגילוי מים במיכלי הבנוין של מנועי סירות.³⁵

³⁴ -NASA SPINOFF 2007 http://www.sti.nasa.gov/tto/Spinoff2007/PDF/basic_version_07.pdf

³⁵ -NASA SPINOFF 2008 <http://www.sti.nasa.gov/tto/Spinoff2008/pdf/spinoff2008.pdf>



העברה טכנולוגית ESA

ESA (European Space Agency) הקימה ב-1990 את ה-TTPO (Technology Transfer and Promotion Office) לצורך העברת טכנולוגיות שפותחו לחלל לשימושים אזרחיים. המטרה הייתה למקסם את החזר ההשקעה במחקר בחלל, למדינות החברות ב-ESA, באמצעות מציאת יישומים לטכנולוגיות ולמערכות שפותחו לחלל במגזרים לא חלליים וזיהוי ופיתוח של Spin-offs.

התוכנית להעברה טכנולוגית של ESA מופעלת באמצעות רשת של מתווכי טכנולוגיה - TTN - Network of Technology Brokers ברחבי אירופה וקנדה בחסות ובתמיכת המשרד לקידום העברה טכנולוגית של ESA (TTPO). למתווכים שלושה תפקידים: (1) לזהות טכנולוגיות בעלות פוטנציאל ליישומים לא חלליים, (2) לברר מהם הצרכים והדרישות הטכנולוגיות של הסקטור הלא חללי, ו- (3) להתאים טכנולוגיות זמינות לצרכים הלא חלליים ולספק עזרה בתהליך ההעברה.

על מנת להמריץ חדשנות ותחרותיות תוכנית ההעברה הטכנולוגית של ESA ייסדה את ה-ESI European Space Incubator. ה-ESI ביחד עם Network of European Space Incubators (ESINET) עוזרת לחברות סטרט אפ, שמעוניינות לקדם שימוש רחב יותר בטכנולוגיות מבוססות חלל, באמצעות עזרה במימון השלב הראשון. היישומים לטכנולוגיות חלל רבים וכוללים תקשורת, ניווט, רפואה, ניהול מים, אורך חיים, חקלאות, תעשיית הרכב ותחומים רבים נוספים.

ה-TTPO הצליח לקדם ולמסחר מספר גדול של טכנולוגיות וליצור אווירה של מודעות מסחרית ויזמות. יותר מ-200 טכנולוגיות חלל הועברו למגזרים לא חלליים עם החזר מצטבר לספקי ולמקבלי הטכנולוגיה של כמעט מיליארד אירו ב-2005. ההחזר השנתי לספקים ולמקבלי הטכנולוגיה שווה ערך ל-1,500 משרות. בחישוב שנערך, נמצא שהרווחים מהעברות אלה, בהן זכו המדינות החברות, עברו את ההוצאות שהיו כרוכות בהן פי 15-20. המספר הגבוה ביותר של Spin-offs נמצא במגזר התובלה (25%), אחר-כך בריאות (18%) ומכונות (13%). 30% מההעברות הטכנולוגיות נעשו בתחום החיישנים וטכניקות מדידה, כ-20% בתחום החומרים וכמעט 15% בתחום המחשבים. ההעברות המוצלחות כללו 200 ספקי טכנולוגיה אירופאים וקנדיים, כ-250 חברות שקיבלו את הטכנולוגיה, עם חלוקה כמעט שווה בין העברות בינלאומיות ללאומיות. בממוצע, בכל חודש מתבצעות בין 1-2 העברות מוצלחות. ההחזר השנתי של מקבלי הטכנולוגיה ב-2007 היה 80 מיליון אירו, בעוד שלספקי הטכנולוגיה הוא עמד על כ-1.4 מיליארד אירו. במהלך 2005 העבירה TTN עשרה Spin-offs חדשים, כשהערך הכולל של העברות אלה הסתכם ביותר מ-22 מיליון אירו. מספר דוגמאות להעברות מוצלחות היו: מערכת וויסות חום למלחמה בשרפות, מערכות הדמיה הגנתיות, מתקני סטריליזציה חדשניים ומתקן הדמיה למיפוי גנטי³⁶.

³⁶ Raitt, 2007

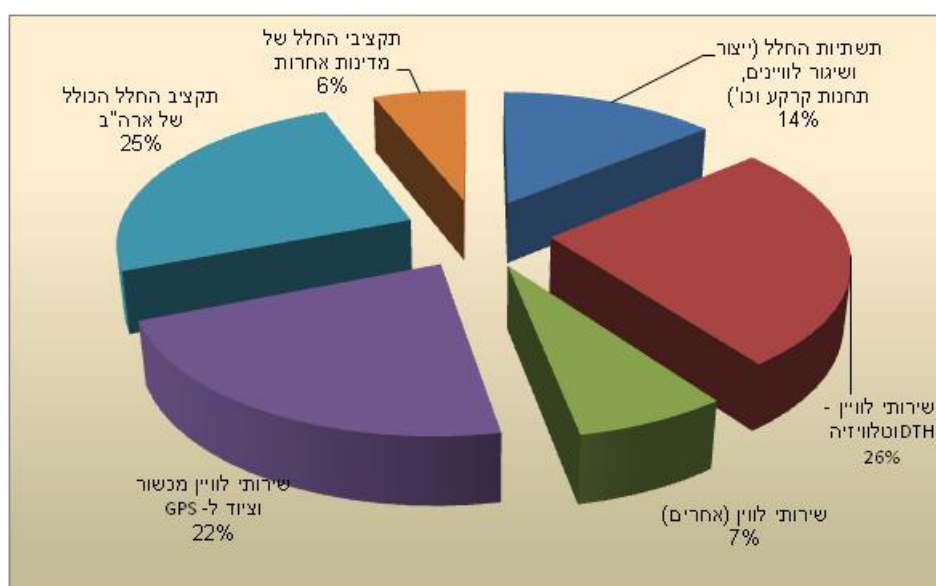


1.6 גודלו של שוק החלל

לא קל לאמוד את גודלו של שוק החלל העולמי לאורך השנים בגלל היעדר נתונים ברי השוואה. בדו"ח של מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה, "נתונים על תעשיית החלל בישראל ובעולם"³⁷, שהוגש ב-2007, נעשתה הערכה של היקף הפעילות בתעשיית החלל לשנת 2005 על סמך מחקרים ודו"חות שפורסמו על ידי מוסדות מחקר וארגונים מובילים בעולם, ונתונים שנלקחו ממאמרים בעיתונים מובילים בתחומי הכלכלה והחלל. בשנת 2007, לפי מחקר מקיף של ה-Space Foundation, היקף הפעילות בתעשיית החלל לשנה זו הסתכם ב-251.16 מיליארד דולר³⁸. פילוח ההכנסות בשוק החלל מוצג באיור 4. היקפי הפעילות ברכיבי השוק, השונים, מתייחסים רק להכנסות שאינן נובעות מהזמנות ממשלתיות, למעט תקציבים ממשלתיים.

כפי שניתן לראות, כ-55% מההכנסות בשוק החלל נובעות ממכירת שירותי לוויין מסחריים, ורבע מההכנסות נובע מתקציבי ממשלת ארה"ב. שני ענפים בשוק שירותי הלוויין - טלוויזיה direct-to-home (DTH), או טלוויזיה לוויינית, וציוד ומכשור של GPS - הם הענפים העיקריים בשוק זה, והם מובילים את הצמיחה בשוק החלל.

איור 4. הערכת היקף הפעילות העולמית בתעשיית החלל ב-2007 לפי ענפים



מקור: Space Foundation (2008).

³⁷ ג, ד. ואחרים (2007). נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם.

³⁸ Space Foundation (2008).



1.7 צמיחת תעשיית החלל

- שוק החלל העולמי מפגין צמיחה מהירה ויציבה בשנים האחרונות. מאפייני הצמיחה העיקריים הם³⁹:
- שיעורי צמיחה גבוהים - היקף הפעילות הכולל של תעשיית החלל עלה ב-2007 ב-14.3% לאחר עליה משמעותית עוד יותר (18.0%) ב-2006.
 - ההרכב הענפי של שוק החלל שומר על יציבות בשנים האחרונות, מה שמעיד על בגרותו ועל הקשרים היציבים בין ענפי תעשיית החלל.
 - התקציבים הממשלתיים ממשיכים לגדול - גידול של 8.8% ב-2006 ושל 2.4% ב-2007. השוק המסחרי צומח במהירות רבה יותר - 23.3% ב-2006 ו-20.4% ב-2007.
 - הצמיחה בשוק תשתית החלל (שוק מסחרי בלבד, ללא הזמנות ממשלתיות) הייתה מתונה - 13.5% ב-2006 ו-2.5% ב-2007. אחת הסיבות להאטה בהכנסות יצרני הלוויינים ב-2007 היא שיעור גדול יותר של מיקרו-לוויינים, הזולים בהרבה מלוויינים גדולים. ב-2006 שוגרו 101 לוויינים (מתוכם 9 מיקרו-לוויינים), וב-2007 - 102 לוויינים (מתוכם 16 מיקרו-לוויינים⁴⁰). נמשכת המגמה של העברת כובד המשקל בענף ייצור הלוויינים מהשוק הממשלתי לשוק המסחרי: שיעור ההכנסות מלקוחות לא ממשלתיים בסך ההכנסות בתחום ייצור הלוויינים עלה מ-25% ב-2006 ל-33% ב-2007⁴¹.
 - הענף שמוביל את צמיחתו של שוק תשתית החלל הוא ענף ציוד הקרקע, ובפרט - בשוק הלקוחות הפרטיים. מקלטים לקליטת שידורי טלוויזיה ורדיו לווייניים וציוד אחר נעשים יותר ויותר משוכללים ויקרים עם השקת יישומיים חדשים ושילוב הולך וגדל של היישומים.
 - קטר הצמיחה העיקרי בשוק החלל הוא ענף שירותי החלל. הענף צמח בשיעור של 27.9% ב-2006 וב-24.9% ב-2007. השוק עצום (גדול פי 4 מהמצרף של שאר המגזרים של שוק החלל המסחרי).
 - בענף שירותי החלל, תת-הענף של ה-GPS (מכשור וציוד לניווט) הראה את הצמיחה המהירה ביותר בין ענפי שירותי החלל (ובשוק החלל כולו) - 42.8% ב-2006 ועוד 38.1% ב-2007.
 - שוק הטלוויזיה הלוויינית צמח בשנים 2006 ו-2007 ב-19.7% ו-18.9% בהתאמה.

³⁹ הנתונים נלקחו מה - Space Foundation (2007), Space Foundation (2008), אם לא צוין מקור אחר.

⁴⁰ Futron (2008).

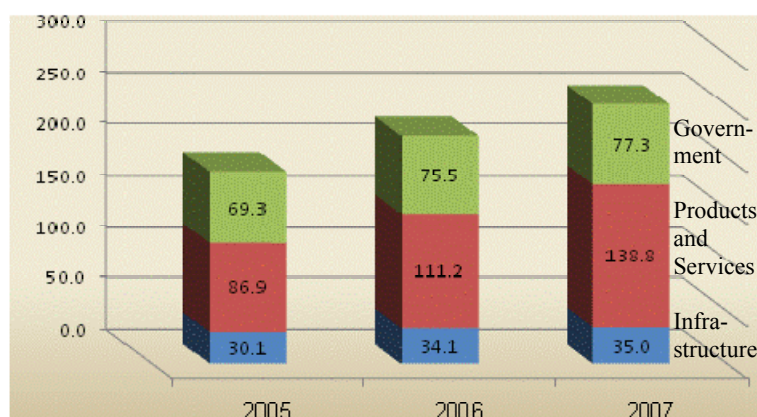
⁴¹ ibid



- שוק הרדיו הלווייני ממשיך לגדול. ב-2007 היקף הפעילות בענף זה גדל כמעט בשליש - מ-1.6 מיליארד דולר ל-2.1 מיליארד, ומספר המנויים הגיע ל-18 מיליון⁴².

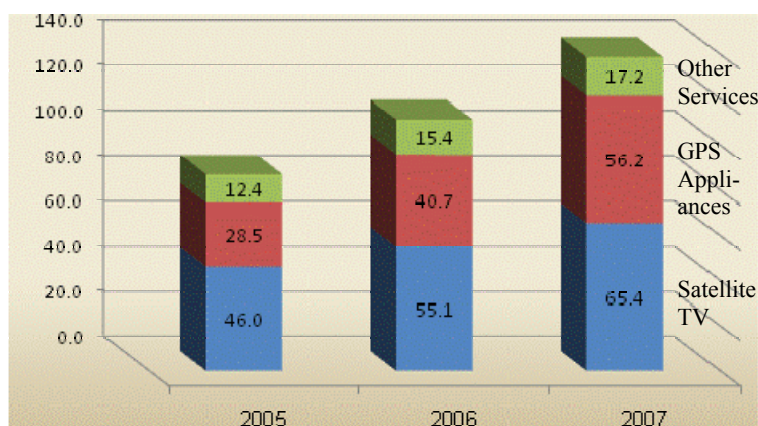
האיורים הבאים מציגים את צמיחתם של שוק החלל הכולל ושל השוק המוביל בתחום החלל - שוק שירותי החלל - בשנים האחרונות. גם באיורים אלו, המספרים בכל הענפים (מלבד הענף הממשלתי) מתייחסים להכנסות שאינן נובעות מהזמנות ממשלתיות.

איור 5. היקפי הפעילות בשוק החלל בשנים 2005-2007 (מיליארדי דולר)



מקור: Space Foundation (2007), Space Foundation (2008)

איור 6. היקפי הפעילות בשוק שירותי החלל בשנים 2005-2007 (מיליארדי דולר)



מקור: Space Foundation (2007), Space Foundation (2008)

⁴² ibid



1.8 שינויים בשוק החלל העולמי - מגמות ותחזיות

התהליכים העיקריים שמחוללים שינויים בשוק החלל הם:

- גלובליזציה הולכת וגוברת של פעילות והשקעות בתחום החלל
- שימוש הולך וגובר במיקור חוץ (outsourcing)
- שינויים באופי העבודה ובהרכב העובדים בתעשיית החלל
- מו"פ וחדשנות
- התפתחות והשתלבות של טכנולוגיות המידע והתקשורת

במסגרת מחקר זה, נערכו ראיונות עם אנשים הפעילים בתחום החלל בישראל וכן נערך סקר חברות הפעילות בתחום החלל בישראל. עיקר הממצאים הוצגו בדו"ח "ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל" שהוגש בחודש יוני 2008⁴³. בפרק זה מובא סיכום דעותיהם של המרואיינים והמשתתפים בסקר בנושא: מגמות וכיווני ההתפתחות של שוק החלל העולמי. לצד דעותיהם מוצגות גם תחזיות של מומחים בנוגע לשוק החלל העולמי.

ניתוח שוק החלל העולמי - מגמות, כיווני התפתחות, תחזיות:

- חלל - כללי
 - מעבר מהעולם הצבאי נטו לעולם ה-dual use
 - חשיבות הולכת וגוברת של שוק החלל האזרחי בהשוואה לשוק הצבאי
 - שימוש הולך וגדל בשירותים מבוססי לוויין (שירותי תקשורת מתקדמים, מסחר ובידור באינטרנט, השכלה ורפואה דרך אינטרנט, חקלאות ותכנון ערים, מניעת אסונות טבע ומטאורולוגיה, פיקוח על יישום חוזים בינלאומיים, ניטור איכות הסביבה)
 - התפתחות תיירות החלל
 - הופעת ה-ORS (operationally responsive space)
 - הפיכת החלל לזירת לחימה אפשרית. בעבר, מלחמות נערכו על פני הקרקע והים, לאחר מכן הן עלו לאוויר, ובעתיד צפוי שהן יעלו גם לחלל. בחלל יהיו מערכות שילחמו מול מערכות הנמצאות על פני הקרקע, בים, באוויר ובחלל ולהיפך.

⁴³ גץ, ד. ואחרים. (2008). ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל.



• תחום הלוויינות

- צמיחת השוק לטווח ארוך, לפי תחזיות של ה- Euroconsult
- שיפור משמעותי בביצועים של הלוויינים (כיסוי שטח, רזולוציה, יכולות מכ"מיות, ראיית יום ולילה)
- מגמות מנוגדות במחירי הלוויינים: ירידה במחיר הודות לשיפורים טכנולוגיים ועליה בגלל דרישות ליכולות וביצועים גבוהים יותר.
- מגמות מנוגדות בגודלי הלוויינים: מצד אחד- עליה במשקל עם שכלול המטעדים, מצד שני - טכנולוגיות חדשות מאפשרות מזעור הלוויינים ועליה במספר המיקרו לוויינים
- שימוש הולך וגדל במערכי (קונסטלציות) של לוויינים תוך שיתוף של מדינות (נאט"ו, אירופה)
- הרחבת מועדון המדינות המשגרות לוויינים. מדינות- מסיבות שונות- מעוניינות לפתח לוויינים באופן עצמאי. לעיתים קרובות הלוויין מפותח תוך שיתוף פעולה ניכר עם מדינות אחרות (רכש רכיבים שונים, למשל), אבל קל "לצבוע" אותו בצבעי הדגל הלאומי

• שוק השיגור

- לפי תחזיות האנליסטים, הביקוש לשירותי שיגור יגבר בטווח קצר. הצמיחה בשווקים של שירותי תקשורת וחישה מרחוק תוביל לעליה בביקוש ולעליה במחיר של שירותי השיגור⁴⁴

• חישה מרחוק

- המשך שיפור הרזולוציה גם עבור אפליקציות אזרחיות.
- טכנולוגית SAR- כיום הטכנולוגיה משמשת לצרכים צבאיים אך היא יכולה לשמש באותה מידה גם לצרכים אזרחיים. הטכנולוגיה מתאימה לצורך קבלת תמונות של שפכים, גידולים, צילום של תשתיות וכו'.
- חישה מולטי והיפר ספקטראלית - כיום נושאים אלו מדשדשים בעולם המסחרי בגלל חוסר ודאות לגבי כדאיותם המסחרית. מדענים שיגרו לחלל מרכיבים היפר-ספקטראליים, אך זה לא חלחל עדיין לעולם המסחרי.
- אפליקציות חדשות הקשורות להצלחת Google Earth ומושפעות ממנה.

• תקשורת

⁴⁴ Euroconsult (2005)



- מגמת צמיחה יציבה - ענף זה גדל למעלה מעשר שנים וימשיך לגדול. יש יותר ויותר משתמשים בשירותי תקשורת לוויינית ובתקשורת בכלל.
- התחזקות הדומיננטיות של ענף לווייני התקשורת בשוק החלל.
- הביקוש הגדל לוידאו דיגיטאלי. סגמנט זה של השוק יהפוך לדומיננטי⁴⁵.
- עליה בביקוש לטלוויזיה לוויינית DTH, בעיקר בסין ובהודו.
- ירידה יחסית בביקוש לשירותי קול⁴⁶.
- התרחבות שירות High Definition Television HDTV. שירות זה דורש רוחב פס גבוה. התחום פרץ בעולם בחמש שנים האחרונות.
- כניסה של טכנולוגיות חדשות- לדוגמה, Adaptive Coding- (ACM) Modulation, DVBS2.
- IPTV- העברת שידורי טלוויזיה דרך האינטרנט. עדיין לא ידוע מה העתיד של טכנולוגיה זו, האיכות לא גבוהה ויש צורך ברוחב פס גבוה מאוד.
- שוק ה- (very small aperture terminal) VSAT - למרות העובדה שטכנולוגיות קרקעיות מחברות יותר ויותר מקומות לתקשורת פס רחב, המכירות של VSAT בעולם גדלות.
- השוק של back calling לסלולארי ול-Wimax גדל וצפוי להמשיך לגדול.
- כניסה לתחומי תדר חדשים בעתיד.
- שיפור של יכולת דחיסת המידע.

⁴⁵ Euroconsult (2006)

⁴⁶ Starzyk, J. (2006).



2. ישראל על מפת החלל העולמית

2.1 מיקומה של ישראל בשוק החלל העולמי

ישראל פועלת בתחום החלל כ-30 שנה. הנושאים העיקריים בהם פועלת התעשייה הישראלית בתחום זה כיום הם: בניית לוויינים, מערכות שליטה ופיקוד קרקעיות ואוויריות, טכנולוגיות צילום מלוויינים ותקשורת.

בישראל פועלות כיום כ-20 חברות בתחום החלל - כל התעשיות הביטחוניות מעורבות בנושא ברמות שונות, וכן חברות נוספות. התעשייה האווירית וחברת גילת הן החברות המובילות בתחום החלל, והן נכללות ברשימת 50 חברות החלל המובילות בעולם⁴⁷. הישגיה הבולטים של ישראל בתחומי טכנולוגית החלל מצביעים על יתרון יחסי, לפחות בחלק מטכנולוגיות אלה.

בדו"ח "נתונים על תעשיית החלל בישראל ובעולם"⁴⁸ שהוגש במסגרת מחקר זה ב-2007, מפורטות פעילויותיהן של חברות ישראליות בתחום החלל (פרק 8). טבלה המופיעה בנספח 2 של הדו"ח מרכזת את הנתונים העיקריים על חברות אלה. נתונים אלה נאספו בעיקר מאתרי החברות ואתרי דירוג חברות באינטרנט.

מידע נוסף - על השווקים הנוכחיים והעתידיים של החברות ועל מתחריהן - נאסף במהלך הראיונות שערכנו עם אנשים הפעילים בתחום החלל ובאמצעות סקר של החברות הפעילות בתחום החלל. השאלון שהכנו במסגרת הסקר ונשלח למנהלים בכירים ולנציגי תעשיית החלל בישראל, מצורף כנספח לדו"ח "ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל" שהוגש במסגרת מחקר זה בחודש יוני 2008.

בפרק זה יוצג המידע על החברות, שנציגיהן ענו על השאלון הנ"ל, לאחר הצגה קצרה של כל חברה.

התעשייה האווירית היא החברה המרכזית בישראל העוסקת בתוכניות החלל באמצעות ארבעת המפעלים:

- מפעל מב"ת - חלל עוסק בפיתוח וייצור לוויינים (לווייני התקשורת מסדרת עמוס, לווייני התצפית מסדרת אופק ו-EROS, ומיקרו לוויינים), תחנות עקיבה, שליטה ובקרה, ותחנות קרקע רב-לווייניות לחישה מרחוק.
- מפעל תמ"מ - מספק מערכות ניווט ובקרה ללוויינים
- מפעל מל"מ - פיתח את משגר השביט. (המשגר הינו טיל תלת שלבי. מנועי השלב הראשון והשני מיוצרים על-ידי תע"ש, ומנוע השלב השלישי על-ידי רפא"ל)

⁴⁷ Top 50. Space Industry Manufacturing and Services (2007)

⁴⁸ ג, ד, ואחרים (2007). נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם.



- אלתא - חברת בת של התעשייה האווירית, המספקת מטעדים. אלתא פיתחה מכ"ם ומייצרת אותו עבור לווייני מכ"ם SAR (Synthetic Aperture Radar).

הספקים הגדולים של החברה בתחום החלל הם רפא"ל (מערכות הנעה) ואלישרא (תקשורת). התעשייה האווירית קונה מערכות שונות באיטליה, ארה"ב, גרמניה וצרפת.

הלקוחות העיקריים של התעשייה האווירית בתחום החלל הם משרד הביטחון (לווייני חישה מרחוק צבאיים), חברת ספייסקום (לווייני תקשורת) ו- Imagesat (לווייני תצפית). לקוחותיה של אלתא בישראל ובחו"ל הם בתחום הביטחוני בלבד. אומנם למטעדי SAR יש אפליקציות אזרחיות אפשריות רבות, אך האפליקציות המיושמות כיום הן צבאיות (לצרכי זיהוי מטרות) ופרה-צבאיות, כדוגמת homeland security.

לתעשייה האווירית אין מתחרים בישראל בתחום החלל. בשוק העולמי היא מתחרה עם חברות גדולות אחרות בארה"ב, ברוסיה ובאירופה. התעשייה האווירית מקיימת שיתוף פעולה בינלאומי - פרויקט ונוס עם סוכנות החלל הצרפתית. גם לאלתא אין מתחרים בישראל. בשוק העולמי אלתא מתחרה בחברות פרטיות.

רפא"ל מספקת מנוע שלב שלישי של המשגר למפעל מל"מ של התעשייה האווירית, ומנועי הידרזין ללווייני אופק למפעל מב"ת - חלל. ב-13 לוויינים אשר שטים כיום בחלל יש רכיבים של רפא"ל. החברה מעורבת בפרויקט גלילאו (חברת Astrium זכתה במכרז למערכת ההנעה במסגרת הפרויקט, Astrium פרסמה מכרז לבניית רכיבי מערכת ההנעה, שבו זכתה רפא"ל).

בישראל רוב המכירות של רפא"ל בתחום החלל הינן למערכת הביטחון. בחו"ל רוב השוק של רפא"ל הינו אירופאי- רפא"ל מוכרת בתחום החלל להולנד ולשבדיה. בין לקוחותיה של רפא"ל באסיה - סוכנויות החלל של קוריאה ויפן. בשוק האזרחי, רוב המכירות הינן לחברות פרטיות.

התחרות העיקרית של רפא"ל היא עם חמש חברות בחו"ל. בישראל אין לחברה מתחרים, וגם באירופה אין הרבה תחרות בשטח בו עוסקת רפא"ל בתחום החלל.

אל-אופ מפתחת מצלמות ומטעדים ללווייני תצפית צבאיים ואזרחיים. היא נחשבת לאחת ממפתחות ומייצרות מצלמות החלל המובילות בעולם. מצלמות החלל של אל-אופ נמצאות בלווייני ארוס ואופק.

הלקוחות העיקריים של אל-אופ בישראל הם משרד הביטחון ו- Imagesat, התעשייה האווירית- מפעל מב"ת, ואוניברסיטת תל-אביב (טאווקס).

לקוחותיה של אל-אופ בחו"ל הם סוכנויות החלל הצרפתית, והקוריאנית. החברה מנסה, עדיין ללא הצלחה, לקשור קשרים עסקיים עם סוכנות החלל ההודית ISRO. אל-אופ איננה מתכוונת להיכנס



לתחום מצלמות SAR, שהוא תחום פעילותה של אלתא. השוק העתידי של החברה ימשיך להתבסס על מצלמות ומטעדים אלקטרו-אופטיים. יתכן שהיא תפתח מצלמות היפר ספקטראליות (בוונוס נמצאת היום מצלמה מולטי ספקטראלית). כיוון אפשרי נוסף- עיבוד של התוצרים, עיבוד קרקעי- added value products.

התחרות בתחום התמחותה של אל-אופ בישראל קטנה יחסית ומגיעה בעיקר מצידה של התעשייה האווירית.

אלישרא היא אחת מהיצרניות הגדולות בישראל לציוד ומערכות אלקטרוניות ביטחוניות. אלישרא מורכבת מחברה "אלישרא מערכות אלקטרוניקה בע"מ" ומשתי חברות שבבעלותה המלאה של אלישרא מערכות אלקטרוניקה- "תדיראן מערכות אלקטרוניקה בע"מ" ו"תדיראן ספקטראלינק בע"מ". החברה מעורבת בתכניות החלל הלווייניות של ישראל בנושא תקשורת. בין הישגי אלישרא ניתן למנות משפחה של מערכות תקשורת להעברת נתונים (אלישרא מערכות אלקטרוניקה ותדיראן ספקטראלינק מפתחות מערכות תקשורת - כל אחת בתחום תדרים אחר), מערכת קרקעית מתקדמת, מערכת תקשורת דו כיוונית, ורכיבי תקשורת שונים.

לקוחותיה העיקרים של החברה בתחום החלל הם התעשייה האווירית (מפעל אלתא) וגילת רשתות לוויין.

גילת רשתות לוויין, החברה השנייה בגודלה בישראל (אחרי התעשייה האווירית) בתחום החלל, עוסקת בפיתוח, ייצור ושיווק תחנות לוויין זעירות לתקשורת (Very Small Aperture VSAT Terminals). מוצריה מספקים פתרונות תקשורת, אינטרנט והעברת נתונים באמצעות לוויינים. גילת הקימה מספר רשתות בכל העולם. לגילת שלוש יחידות עסקיות (חטיבות):

- GNS ("Gilat Network Systems"), המספקת מערכות תקשורת ושירות מקצועי ללקוחותיה.
- Spacenet Inc., חברת בת בצפון אמריקה, המספקת שירותים לצרכנים (שירות StarBand, לעסקים ולמשלות (שירות Connexstar)).
- Spacenet Rural Communications, המציעה פתרונות טלפוניה כפרית וגישה לאינטרנט לאזורים מרוחקים באמריקה הלטינית. בנישה זו פועלות שתי חברות-בת: Gilat Colombia SA, Gilat To Home Peru SA.

החטיבה בה מועסקים רוב עובדי החברה בישראל היא GNS, המוכרת רשתות לוויינים לתקשורת קרקעית. שתי החטיבות האחרות מספקות שירותים. הן שוכרות מבעלי הלוויינים מקטעי לוויין עבור הלקוחות ומספקות ללקוחות מתקנים וציוד.



לקוחותיה של גילת נמצאים ביותר מ-85 מדינות בששת היבשות, להן החברה סיפקה יותר מ-600,000 תחנות לוויין זעירות לתקשורת. הלקוחות של גילת הם:

- ספקי שירותים
- עסקים (לדוגמה, רשת גדולה של בתי מרקחת בארה"ב. גילת מספקת לחברות טכנולוגיות IP מתקדמות)
- ממשלות (להן החברה מספקת, לדוגמה, רשתות שמאפשרות גישה לאינטרנט ולטלפון באזורים מרוחקים, פרויקטים של למידה מרחוק, גישה לאינטרנט בבתי ספר)

בישראל המתחרה העיקרית של גילת היא חברת Shiron Satellite Communications. בשוק הבינלאומי גילת מתחרה עם חברות אירופאיות ואמריקאיות גדולות, כגון HNS (Hughes Network Systems).

ספייסקום (הידועה גם כחברת חלל או חברת חלל-תקשורת) הוקמה כמיזם משותף של התעשייה האווירית ומספר חברות ישראליות נוספות, והיא מספקת את שירותי הלוויין ללקוחות בישראל ובחו"ל. החברה נותנת פתרונות כוללים, ללקוחות שמעוניינים בכך, גם שירותי שידור מהקרקע וגם שירותי קליטה מהקרקע. לדוגמה, עבור רשות השידור והרשות השנייה לטלוויזיה ורדיו הקימה החברה תחנה המשדרת ללוויין, והיא מטפלת גם בתחנות הקליטה. חברת Yes (די.בי.אס שירותי לוויין) משתמשת בלוויין. במקרה זה ובמקרים דומים ספייסקום מספקת את התדרים ואת רוחב הסרט לשימוש הלקוח.

השווקים העיקריים של החברה הם:

- המזרח התיכון: ישראל (Yes), הממשלה, הרשות השנייה, קפריסין (Middle East T.V.), אזרבייג'אן.
- מרכז-מזרח אירופה (אוקראינה, רומניה, פולין, הונגריה). בשוק זה מתנהלת עיקר פעילות המכירות ועיקר השיווק, אבל בהכנסות הוא יחסית קטן.

עד לפני כשנה החברה הפעילה לינק לאמריקה, לחוף המזרחי - הצבא האמריקאי רכש שירות מעיראק לארה"ב בשני כיוונים: שירות תקשורת לחיילים בשטח, אינטרנט, מייל וכו' דרך עמוס 2. שווקים עתידיים הם מזרח אסיה (הודו, וייטנאם, תאילנד, פיליפינים, יפן), מזרח אפריקה ואוסטרליה.

ספייסקום עובדת עם התעשייה האווירית (ספק לווייני התקשורת, אם כי כבר לא ספק בלעדי: את עמוס 5 ספייסקום תרכוש מהחברה הרוסית NPO PM לפי הסכם שנתחם ב-31 ביולי 2008⁴⁹) ועם

⁴⁹ <http://www.hayadan.org.il/wp/amos5-030808>



חברות שבונות את תחנות השידור כגון RRsat, Satcom, Satlink. שיתוף הפעולה בקנה מידה הגדול ביותר היה עם RRsat. ספייסקום הוציאה אליה במיקור חוץ את בניית תחנות השידור עבור רשות השידור והרשות השנייה. ספייסקום מטפלת בחלק המסחרי ובשירותי הלקוחות, את הצדדים הטכניים היא מעבירה למיקור חוץ.

המתחרים של ספייסקום בשוק העולמי הם חברות פרטיות, חלקן חברות גדולות בעלות לוויינים רבים כדוגמת: Eutelsat, Intelsat. לספייסקום אין לוויינים רבים, היא קונה מתע"א את הפעלת הלוויין, כלומר תע"א מפעילה את הלוויין וספייסקום קונה את השירות היקר הזה. ניתן להעריך כי לו היו לספייסקום לפחות 4-5 לוויינים, היא הייתה יכולה להפעיל את הלוויינים לבד, כפי שעושות החברות המקבילות לה.

חברת **אימג'סאט** (ISI) שבשליטת התעשייה האווירית ואלביט מערכות, עוסקת בהפעלת לווייני תצפית ובמכירת שירותי צילום לווייני. כיום החברה איננה עוסקת ביישומים של עיבוד מידע, ומספקת רק את המידע הגולמי. המוצר הוא - הדמאות לוויין בנתונים טכניים שונים שאופייניים לכל אחד מהלוויינים. קיימים שני מוצרים בסיסים - תמונה שנקראת A1 (שעברה תהליך של תיקונים רדיומטריים), ותמונה שנקראת B1 (תמונה עם תיקונים גיאומטריים).

החברה נמצאת בקשר עם מדינות מכל היבשות: 35 מדינות, ברמה זו או אחרת. הלקוחות הגדולים והכבדים הם ממשלות, אבל בין לקוחותיה של החברה יש גם חברות.

החברה מציעה שירותי צילום ברמות שירות שונות:

- Low End - הזמנה מזדמנת של לקוח
- PAS - Priority Full Vision Service - לקוח שמקבל עדיפות בהזמנות שלו. יש אפשרות שהלקוח יקלוט את הנתונים אצלו בזמן אמת על ידי תחנת קרקע.
- מודל מתקדם יותר נקרא EPOD - Exclusive Pass on Demand - ללקוח יש אזור שמוגדר אזור התקשורת שלו, ויש לו אפשרות לקבל בתיאום מראש חליפה מסוימת. יתכן מצב שבו יהיו כמה דורשים על אותה חליפה. מאותו רגע שהחליפה הוקצתה עבורו, יש לו את האפשרות, באופן בלעדי, לתכנן את משימת הצילום ולקלוט את החומר בזמן אמת.
- המודל האולטימטיבי שהוא בלעדי לחברה נקרא SOP - Satellite Operating Partner - הלקוח, על פי הסכם עם החברה, מגדיר איזה שהוא פוליוגון - מעגל ברדיוס של עד 2000 ק"מ. בתוך המרחב הזה הלקוח הוא הריבון. מבחינת הלקוח, המשמעות הינה נגישות תמידית. הלקוחות במודל זה הינם בדרך כלל ממשלות עשירות. לפעמים המודל הזה מפריע לחברה לשרת לקוחות אחרים, ולכן המחיר של שירות זה הוא די גבוה.



הלקוח העיקרי של ISI בישראל הוא משרד הביטחון, ובחז"ל - המגזר הביטחוני וארגונים אזרחיים גדולים. רוב השירותים ש-ISI מספקת הם לשימושים ביטחוניים או פרה ביטחוניים. מעט מאוד ליישומים אזרחיים. שוק גדול של החברה התפתח ברוסיה. יש לחברה ארבע תחנות במדינה זו. הלקוחות ברוסיה הם גופים ממשלתיים, חברות לפיקוח על צינורות גז ונפט, על כריתת יערות (לצורך מניעת כריתה בלתי חוקית, למשל). החברה הצליחה להרחיב משמעותית את הפעילות בשוק האזרחי.

שווקים עתידיים: ISI פועלת בכיוון התרחבות השווקים האזרחיים והצבאיים שלה (הטכנולוגיה היא dual use), ומשתדלת להיכנס לתחומים פרה צבאיים כגון בקרה על שמירת גבולות. החברה שוקלת "להשתדך" עם גופים שעוסקים ביישומים כדי לספק פתרונות כוללים.

טכנולוגיות עתידיות: הכיוון העיקרי הוא הגדלת הרזולוציה, הלקוחות הצבאיים מתחום המודיעין רוצים רזולוציה גבוהה ככל האפשר. כיוון נוסף - צילום בצבעים (אבל לא על חשבון הרזולוציה). הלוויין הבא צריך לספק בוודאות רזולוציה יותר גבוהה, ואולי גם צילום בצבעים. כיוון נוסף, צילום היפר ספקטראלי - לא צפוי בטווח הקרוב.

המתחרים העיקריים של ISI בשוק העולמי הם - חברות מסחריות אמריקאיות Geoeye ו-Digital Globe וחברה צרפתית בשם Spot Image. הרוסים וההודים אינם מהווים תחרות כיום, אם כי יש להם יכולת מעשית להתחרות בשוק זה בעתיד. ISI איננה החברה המובילה בתחום הרזולוציה, וחסרה לה יכולת צבע שיש לחלק מהמתחרים.

2.2 הזדמנויות של תעשיית החלל הישראלית

בדו"ח "ניתוח מגמות ומאפייני תעשיית החלל"⁵⁰ שהוגש במסגרת מחקר זה ביוני 2008, הוצגו ונותחו דעותיהם של אנשי תעשיית החלל, שרואיינו וענו על השאלון שלנו במסגרת סקר החברות, בנושאים שונים, כגון יתרונותיה של תעשיית החלל הישראלית, נקודות חוזק וחולשה, מגמות עיקריות בה וכדומה.

רבים מהמראיינים הצביעו בהקשר זה על הפוטנציאל הקיים במינוף היתרונות של תעשיית החלל הישראלית. ישראל נמצאת בין חמש המעצמות המתקדמות בעולם בתחום טכנולוגיית החלל. ישראל מצליחה לייצר מערכות מהטובות בעולם בהיבטים רבים. לדעתם של חלק מאנשי תעשיית החלל, ישראל צריכה גם בעתיד להתמקד בבניית לוויינים קטנים ולהתקדם בתחום מזעור הלוויינים. בניית לוויינים קטנים (במשקל עד 100-120 ק"ג) הינה מגמה כלל עולמית⁵¹. הלוויינים הקטנים מאפשרים להוזיל את עלויות הייצור והשיגור בהשוואה ללוויינים הגדולים.

⁵⁰ ג, ד, ואחרים. (2008). ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל.

⁵¹ Sandau, R. (2007)



השווקים והשימושים שנראים כמבטיחים ביותר בטווח הקצר בתחום הלוויינים הקטנים, לפי הערכת המומחים מ-Futron Corporation, הם כדלקמן⁵²:

• שוק החישה מרחוק האזרחי:

- צילום ברזולוציה גבוהה- השוק לצילומים ברזולוציה זו הולך ומתרחב. התחרות בשוק זה היא מצד מערכות חלל קיימות ומערכות של צילום אווירי.
- אספקת נתונים לניטור סביבתי - מערך (קונסטלציה) של לוויינים קטנים יכולים לספק תמונות מולטי-ספקטראליות בעלות רזולוציה בינונית (30-90 מטרים), "רצופות יותר" (בתדירות גבוהה יותר) בהשוואה למה שלוויין אחד גדול יכול לספק (גישה זו נשקלה עבור Landsat 8, אך נדחתה). המתחרים הם Landsat וערכות קיימות אחרות.

• שוק התקשורת האזרחי:

- קבלת נתונים מחיישנים באתרים מרוחקים. הלקוחות העיקריים בשוק זה יהיו גופים ממשלתיים אזרחיים, כגון USGS (U.S. Geological Survey), אשר זקוקים לגישה טובה יותר לנתונים המתקבלים מחיישנים באתרים מרוחקים. התחרות בשוק זה תהיה מצד מערכות חלל קיימות, כגון ORBCOMM (מערכת גלובלית מסחרית להעברת נתונים ומסרים באמצעות מערך של 29 לוויינים) וממערכות המבוססות על רדיו.
- תקשורת עם אתרים מרוחקים - מתאים במיוחד לסוכנויות אזרחיות שרוצות לקיים תקשורת דו-צדדית עם צוותים במקומות מרוחקים. גם בשוק זה התחרות תהיה בעיקר ממערכות רדיו וממערכות חלל קיימות, כגון ORBCOMM, Iridium וכד'.

• שוק צבאי:

- מעקב ופיקוח, סיור מעל שטח אויב. התחרות בשוק הזה היא בעיקר מצד מטוסים ללא טייס ומערכות על פני הקרקע.

⁵² Foust, J. (2008)



שימושים נוספים בלוויינים הקטנים :

• שוק הצילום והחישה מרחוק האזרחי :

- מטאורולוגיה
- ניטורים
- הערכת אסונות טבע
- סקר מחצבים

• שוק התקשורת האזרחי :

- מעקב אחרי נכסים
- תקשורת חירום למקרים של אסונות
- שידור לאזורים נרחבים ומרוחקים

• שוק צבאי :

- תקשורת צבאית
- התרעה מוקדמת והגנה נגד טילים
- ניווט
- הגנה על לוויינים ונכסים אחרים בחלל
- פיקוח בחלל

• שווקים אחרים :

- בידור
- חקר הגרביטציה
- רשתות ניווט
- פיקוח ושירות למערכות חלל
- מחקר מדעי

להערכת Futron Corp., הביקוש השנתי הצפוי ללוויינים הקטנים לשימושים, שנראים כמבטיחים ביותר בטווח הקצר, יהיה בין 39 ל-76 לוויינים⁵³. לצורך השוואה, בשנת 2007 שוגרו בעולם 86 לוויינים (ללא מיקרו-לוויינים)⁵⁴.

לפי דעתו של פרופ' חיים אשד, הלוויינים של ישראל יהיו בין ה"להיטים" בעולם בשנים הבאות⁵⁵.

אנשי תעשיית החלל הביעו את דעתם על הזדמנויות נוספות של תעשיית החלל בישראל, ביניהן :

⁵³ Foust, J. (2008).

⁵⁴ Futron (2008).

⁵⁵ צזנה, ר' (2008).



- שימוש בלוויינות ככלי מדיני ביחסי החוץ של ישראל
- חידוש לוויינים, הזדמנות שנראית אטרקטיבית לשנים הבאות, כיון שבמהלך שנות ה-90 שוגרו לוויינים רבים, ואלה עתידים לסיים את מחזור חייהם הראשון בשנים הקרובות

3. התפתחות תחום החלל בישראל - מבט היסטורי

הפעילות הישראלית בתחום החלל החלה בשנות ה-60 והתמקדה במחקר באוניברסיטאות. בשנת 1963 הקימה האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים את הוועדה הלאומית לחקר החלל, ובשנים שלאחר מכן פרסמו חוקרים ישראלים מחקרים בתחום החלל, יחד עם עמיתים מחו"ל. לצד הפעילות המחקרית נעשו מאמצים להקים תעשיית חלל, כדי לנצל את היתרונות הישראלים בתחום הטכנולוגיה.

סמוך לפרוץ מלחמת יום הכיפורים ב-1973 ובמהלכה, ביקשה ישראל מידע מודיעיני לווייני מהאמריקאים על תנועות הסורים והמצרים, ובקשתה לא נענתה. באותה עת סיפקה ברה"מ למדינות ערב תצלומי לוויין של היערכות הכוחות הישראלים.⁵⁶ היעדר המידע בעת הצורך חיזק את ההכרה בישראל בנחיצותה של עצמאות מודיעינית. כך החלה הדחיפה להקמת תעשיית חלל ישראלית.

לאחר מלחמת יום הכיפורים יצא ראש הממשלה דאז, יצחק רבין ז"ל לארה"ב. במסגרת הביקור הגישה ישראל לארה"ב בקשת רכש. לרשימה הרכש הזו הוסיף היועץ לשר הביטחון, יובל נאמן ז"ל, בקשה ללוויין ביון קטן או לקבלת תצלומי לוויין מעודכנים של המזרח התיכון. ארה"ב השיבה בשלילה.⁵⁷

בסוף שנות השבעים חתמה ישראל על הסכם שלום עם מצרים. ההסכם ופינוי סיני הרחיקו את צה"ל משטחה של מצרים, מעבר לתעלת סואץ, כך איבדה ישראל אפשרות לבצע טיסות צילום מאוישות מעל שטחה של מצרים. ההסכם לא ביטל את החשש מפני כוונות לוחמה מצד המצרים. יכולת מודיעינית ישראלית בחלל נעשתה חשובה מאוד לחיל המודיעין. כך התחזק הצורך הצבאי בלוויין, ובהקמת תעשיית חלל ישראלית.⁵⁸

בשנת 1981 הוקמה במשרד הביטחון מחלקה שהייתה אחראית על תוכנית לפיתוח וייצור של לוויין ישראלי- מנהלת מת"א. בין דוחפי הרעיון בתעשייה היה ד"ר יונתן מס ז"ל, שהיה באותם הימים סמנכ"ל פיתוח ברפא"ל. ב-1984 נבחרה התעשייה האווירית-חברת מב"ת- להיכנס לתחום זה, לפתח את התשתיות לייצור ושיגור לוויינים, ולפתח את לוויין התצפית הראשון. במפעל מב"ת של תע"א הוקמה מנהלת חלל שטיפלה בהנדסה של מערכות הלוויין ובניהול ואינטגרציה של הפרויקט. מפעל מל"מ של התעשייה האווירית הפך להיות קבלן ראשי בכל הקשור לשיגור הלוויין באמצעות בניית המשגר שביט. במפעל תע"ש- גבעון ברמלה נבנו המנועים.

⁵⁶ פייקובסקי, ד. (2005).

⁵⁷ רבין, י. (1979).

⁵⁸ פייקובסקי, ד. (2005).



בשנת 1983 הוקמה סוכנות החלל הישראלית. במהלך השנים השתלבה ישראל בפרויקטים מחקריים וטכנולוגיים בין-לאומיים בתחום החלל, וזכתה להכרה ומוניטין בין-לאומיים על הישגיה ויכולותיה.

ב-19 בספטמבר 1988 שיגרה מדינת ישראל לחלל את הלוויין הישראלי הראשון "אופק-1" – לוויין טכנולוגי שפותח ונבנה בישראל. הלוויין שוגר באמצעות משגר הלוויינים הישראלי "שבית". בכך הצטרפה ישראל כחברה שמינית במועדון היוקרתי של מדינות ששיגרו בכוחות עצמן לוויין מתוצרתן.

אבני הדרך של תוכנית החלל בישראל:

- ב-1988 שוגר הלוויין הישראלי הראשון - לוויין הניסוי "אופק 1"
- "אופק 2", לוויין ניסוי מתקדם, שוגר ב-1990
- הלוויין המבצעי הראשון "אופק 3" שוגר ב-1995. זהו לוויין אלקטרו-אופטי שפעל בחלל במשך חמש שנים וחצי
- לוויין התקשורת "עמוס 1" שוגר ב-1996 באמצעות משגר אירופי
- לוויין הטכניון "TechSat" שוגר ב-1998. באותה שנה נכשל שיגור הלוויין "אופק 4" (לוויין הסטודנטים הראשון לא הגיע לחלל היות והמשגר התפוצץ)
- חברת אימג'יסאט אינטרנשיונל ISI, חברת בת של התעשייה האווירית, שיגרה את "EROS A" בשנת 2000. זהו הלוויין המסחרי הקל ביותר בעולם שמיועד לצילומים של כדור הארץ ברזולוציה גבוהה. הוא תוכנן לספק שירותי צילום דיגיטליים באיכות גבוהה למגוון רחב של יישומים מסחריים. גם מערכת הביטחון משתמשת בו. הלוויין נבנה ונבדק על ידי מפעל מב"ת של התעשייה האווירית, ושוגר באמצעות המשגר הרוסי סטארט 1 מאתר הקוסמודרום באזור סבובודני, סיביר
- "אופק 5", לוויין צילום צבאי אלקטרואופטי, שוגר ב-2002. "אופק 5" שייך לקטגוריה של הלוויינים הקלים והקטנים. משקלו בשיגור היה כ-300 ק"ג. "אופק 5" החליף בחלל את "אופק 3" שסיים את תפקידו
- "עמוס 2" שוגר בסוף 2003
- ב-2006 שוגר "EROS-B", שגם ביכולותיו משתמשת מערכת הביטחון כלקוח
- ב-2007 שוגר בהצלחה הלוויין "אופק 7" שמבוסס על צילום אלקטרו-אופטי (שיגורו של "אופק 6" ב-2006 נכשל)



- בינואר 2008 שוגר מהודו הלוויין "טקסאר" (TecSAR) - לוויין מכ"מ שמשמש למשימות צילום

- "עמוס 3" שוגר באפריל 2008, והוא החליף את "עמוס 1" שסיים את חייו לאחר למעלה מעשור. במקביל אליו יפעל "עמוס 2" - לו צפויות עוד כשמונה שנות שירות. חלל תקשורת מתכננת לשגר בעשר השנים הקרובות עוד ארבעה לוויינים לשתי נקודות שמיים שונות

להישגים של ישראל בתחום החלל יש להוסיף את שיגורו לחלל של האסטרונאוט הישראלי הראשון, אילן רמון ז"ל. ב-16 בינואר 2003 המריא אילן רמון לחלל על סיפון המעבורת האמריקנית "קולומביה" בטיסה STS-107. ב-16 הימים בהם שהה צוות האסטרונאוטים במעבורת, הם ביצעו יותר מ-80 משימות. הניסוי שביצע אילן רמון היה בתחום סופות אבק והשפעותיהן על האטמוספירה. ב-1 בפברואר 2003, עם כניסתה חזרה לאטמוספירה, התרסקה המעבורת "קולומביה" ושבעת חברי הצוות שהיו עליה נספו.

תעשיית החלל הישראלית מתפתחת וצוברת יוקרה רבה בעולם. חברות רבות פועלות בתחום הלוויינות, ייצור רכיבים רלבנטיים לתחום החלל, ומוצרים נלווים.



4. תחום החלל בישראל מנקודת מבטם של חוקרים באקדמיה

במסגרת המחקר נערך סקר מדענים העובדים בתחום החלל בישראל. שאלוני המחקר נשלחו ל-80 חוקרים. לא הייתה היענות גבוהה: התקבלו תשובות משבעה חוקרים ונערכו ראיונות אישיים עם שני מדענים. צוות המחקר מביע תודה מיוחדת על שיתוף הפעולה לפרופ' משה גלמן וד"ר פני גורפיל מהטכניון ומכון אשר לחקר החלל⁵⁹ ולד"ר נח ברוש מאוניברסיטת תל-אביב. להלן תשובותיהם של המדענים בנושאים השונים שהועלו בשאלון.

4.1. חקר החלל ותעשיית החלל בישראל

4.1.1 נקודות החוזק והחולשה העיקריות של חקר החלל ותעשיית החלל בישראל.

נקודות חוזק:

- יכולות טובות של התעשייה
- תשתית מדעית תומכת באקדמיה

נקודות חולשה:

- תלות תקציבית במשרד הביטחון. המשרד הוא המממן העיקרי בתחום החלל בישראל, והוא אינו מממן את המחקר האזרחי. קשה מאוד לקדם פרויקטים שאין להם יישום ביטחוני. מצב זה "חונק" למוות כל התפתחות מדעית, לדברי אחד המרואיינים. הוא מוסיף כי מבחינת חקר החלל ישראל נמצאת בשנות ה-60.
- אין מודעות מספקת לנושא החלל. הנושא לא נתפס כרציני בקרב הקברניטים הפוליטיים. אין תמיכה ציבורית נרחבת (יחסי ציבור גרועים).

4.1.2 שינויים ומגמות הצפויים בתחומי חקר ותעשיית החלל בישראל בחמש השנים הקרובות:

- מזעור הלוויינים - יחול מעבר מלוויינים גדולים וכבדים ללוויינים קלים יותר ולמיקרו-לוויינים.
- החלפת מערכות הנעה קיימות במערכות הנעה חשמלית.

⁵⁹ לאחרונה מונה פרופ' פני גורפיל לראש המעבדה לפיתוח טיסות של "להקות" לוויינים בחלל. חוקרי הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל הקימו בדצמבר 2008 את המעבדה היחידה מסוגה בישראל. להקת לוויינים תאפשר הפעלה בזמנית של עד ארבעה לוויינים בחלל למטרות צילום וניווט, באיכויות חסרות תקדים.
<http://www.hayadan.org.il/wp/technion-developed-satellite-swarm-1512081>



- המשך חקר מערכת השמש, ושימוש בטלסקופים שמצלמים פלנטות הנמצאות מחוץ למערכת השמש.
- המשך הפעילות הצבאית וצמצום הפעילות המחקרית/מדעית, אלא אם יחול שינוי בהתייחסות לנושא מצד הממשלה.
- המשבר העולמי ייצור בחינה מחדש של השקעות במחקר באופן כללי, ובתחום החלל בפרט.

4.1.3 דוגמאות הממחישות כיצד המחקר והפעילות בתחום החלל משפיעים על המשק והחברה בישראל:

- הדבר הבולט הוא השימוש בלווייני תקשורת, דבר המאפשר את פעילות Yes.
- יישומים רבים בשימוש בלווייני הדמאה.
- יש עבודות בנושא ניצול יעיל של מים על ידי ניטור מהחלל, ולזה יש כמובן השפעה על המשק.

4.2. כוח אדם

4.2.1 ביקוש והיצע למומחים בתחום החלל בישראל:

- הביקוש למומחים בתחום החלל עולה על ההיצע הן בתעשייה והן בתחום ההוראה. בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל בטכניון קיים ביקוש מצד הסטודנטים להכשרה מתקדמת בתחום החלל, דבר שדורש גיוס חברי סגל נוספים לפקולטה.
- בתחום המחקר יש בארץ מספיק מומחים לרמת הפעילות הנוכחית; קיימת, כמובן, יכולת לעשות הרבה יותר, במידה ויינתנו תקציבים ובמידה שתהיה תכנית חלל לאומית.

4.2.2 איכות הכשרת כוח האדם בתחום החלל בישראל:

איכות הכשרת כוח האדם בתחום החלל בישראל אינה מספקת. בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל בטכניון, הסטודנטים לומדים קורס חובה אחד בלבד בנושא החלל, וקשה למצוא קורסי בחירה, היות שאין מרצים. סטודנטים בתחום החלל אמורים ללמוד לעומק מגוון נושאים שיקנו להם בסיס איתן במקצועות של מכאניקת גופים בחלל, בקרת חלליות, אמצעי הנעה בחלל, בעיות של מעבר חום. בטכניון אין כיסוי לכל הנושאים בתחום החלל ובישראל אין אוניברסיטאות שבהן נלמדים נושאים אלה (מלבד הנושא של החישה



מרחוק). מהנדסי מב"ת בכירים הם בוגרי הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, אך את ההכשרה העיקרית שלהם רכשו בתעשייה.

4.2.3 המלצות לשיפור ההכשרה של כוח אדם :

הרבה תלוי בהנהגת תוכנית חלל לאומית. אם היעדים יהיו ברורים ואם יוקצבו כספים לפעילות בהיקף משמעותי (נניח לוויין מדעי כל חמש שנים), ניתן יהיה לפתח תכניות הכשרה באוניברסיטאות להתמחות בנושא חלל.

המלצות לשיפור ההכשרה בפקולטה לאוירונאוטיקה וחלל בטכניון :

- הוספת חברי סגל בפקולטה
- מינוי משותף לחברי סגל בכמה פקולטות בטכניון
- תוכניות משותפות לכמה פקולטות
- הכנסת קורסים נוספים (הדורשות כוח אדם שילמד קורסים אלו)
- חיזוק שיתוף הפעולה עם התעשייה במחקר (העבודה בתעשייה מהווה חלק מההתמחות באוניברסיטאות אירופאיות)
- בניית לווייני סטודנטים

4.3 העברת ידע

4.3.1 דוגמאות להעברת ידע בתחום החלל מהאקדמיה לתעשיית החלל :

- פרויקט TAUVEK, שבראשו עומד אחד המרואיינים, ד"ר נח ברוש, הביא ידע בנושאי הגילוי, בניית המכשור וכיולו, מתחום האסטרונומיה לחברת אל-אופ. החברה רכשה מיומנויות בנושא המכשור לתחום האולטרא-סגול שלא היו בידיה. כנ"ל לגבי הנושא של שמירת הניקיון של מרכיבים חלליים ונושא כיול רדיומטרי של מכשירים אופטיים חלליים.
- פרויקט ונוס מבוסס במידה רבה על המחקרים שנעשו בטכניון.
- בכל המשימות הגדולות של NASA יש חוקר ראשי מעולם האקדמיה, מומחה בתחומי הדמאה, אופטיקה, עיבוד תמונות וכד'. בפרויקט האבל, למשל, היה חוקר ראשי (ישראלי לשעבר) מתחום האקדמיה.
- אוניברסיטת Surrey היא דוגמה לסימביוזה בין האקדמיה והתעשייה.



4.3.2 דוגמאות של העברת ידע וטכנולוגיה, שפותחו בתחום החלל, לתעשיות אחרות:

- מערכות בקרה, ייצור רובוטים משוכללים - הגיעו לתעשייה מתוכניות חלל
- שימוש בסיבי פחמן המגיע ממערכות החלל
- בדים ומזון שפותחו לצרכי האסטרונאוטים מוצאים שימוש בשווקים אחרים

4.4 קידום תחום החלל

4.4.1 הגורמים המקדמים את חקר החלל ואת הפיתוח של תעשיית החלל בישראל:

מנהלת תוכנית אופק (חלק ממפא"ת), סוכנות החלל, מנהלת גלילאו, רשויות האיחוד האירופי דרך תוכניות המחקר ה-6 וה-7. בישראל מדובר במספר לא גדול של אנשים שמקדמים ודוחפים את תחום החלל: קומץ משוגעים לדבר באקדמיה, קבוצת אנשים במשרד הביטחון ובצה"ל, סל"ה במשרד המדע, ואנשים מהתעשייה שמלווים את הנושא בשלושה העשורים האחרונים.

4.4.2 דרך הפעולה הממשלתית הרצויה בתעשיית החלל בישראל:

- הקמת גוף מתאם לנושא החלל, סוכנות חלל ראווה לשמה - בעלת סמכויות ותקציבים, מנהלת חלל או גוף מתאם אחר. רצוי שיהיה גוף עצמאי במסגרת משרד ראש הממשלה. לסל"ה כיום אין כוח ואין תקציבים משמעותיים - יש רק מספר אנשים בעלי חזון. בתור מודל ניתן לקחת את NASA, המרכזת תשתיות, כוח אדם, חינוך וכד'. כיום הפיתוחים הביטחוניים נעשים בנפרד מאלה האזרחיים. נחוץ גוף שיתאם את פעילות החלל בישראל ושיוכל להזרים מימון לחקר החלל האזרחי ולבנייה וחיזוק של התשתית ושל התעשייה בתחום החלל.
- הקמת מועצת חלל שתכלול אנשי אקדמיה, תעשייה ובטחון, שתנסח מדיניות חלל לאומית. בתחומים מסוימים, חקר והנדסת החלל הגיעו לרוויה, לדעתו של אחד המרואיינים, ונדרשים חזון ואופטימיזציה של יעדים.
- העברת תוכנית חלל לאומית בכנסת, בצורה שתבטא בתקציב המדינה.
- כניסה ל-ESA - דבר קריטי, שיעשה שינוי דרמטי בחקר החלל בישראל.

4.4.3 האם יש מקום להגדיל את ההשקעה במו"פ בתחום החלל על-ידי הממשלה?

בהחלט כן. כיום למעשה אין תוכנית מו"פ לתחום החלל, יש רק מחקרים ספוראדיים.



4.4.4 תחומים וכיוונים שבהם צריכה הממשלה להתרכז בעידוד של תחום החלל בישראל:

- עידוד המחקר הבסיסי בתחום החלל (יישומים תעשייתיים יעשו על בסיס מסחרי על ידי חברות שונות).
- מימון מחקר תיאורטי בעל השלכות מחקריות או תעשייתיות משמעותיות.
- מחקר שימושי, יישומי באקדמיה ובתעשייה.
- שת"פ בין אקדמיה ותעשייה - תוכניות כגון מגנט ומגנטון.
- השקעה באוניברסיטאות ובמכללות שיכניסו תוכניות לימוד בתחום החלל - כדי להרחיב את פעילות החלל, שמתרכזת היום במספר מאוד מצומצם של מוסדות חינוך.

4.4.5 כיווני התפתחות של התעשייה שישפרו את הפעילות הכוללת של ישראל בתחום החלל:

- פרויקטים עצמאיים של ישראל (כולל שיגורים אזוריים מהארץ או מאתרי שיגור אחרים אך עם טילים ישראלים) יגבירו את ההכרה העולמית ביכולות של ישראל.
- פיתוח יכולת שיגור מפלטפורמה מוטסת, בנוסח המשגר Pegasus האמריקאי, ייתן יכולת שיגור של לוויינים קלים (בהם מתמחה ישראל) לכל כיוון ולא רק מערבה.
- עידוד השתתפות ישראלית בפרויקטים בינלאומיים באמצעות בניית מכשור חללי בישראל על ידי התעשייה, אך במעורבות/יוזמה של גופים מהאקדמיה.

4.4.6 מה צריכה האקדמיה לעשות בכדי לשנות לחיוב את הנעשה בתחום החלל?

- להציע כיווני התפתחות עתידיים, בעלי פוטנציאל כלכלי, חברתי וביטחוני.
- לפתח רעיונות פורצי דרך בתחומים שונים של חקר והנדסת החלל.
- ליצור שיתופי פעולה עם מוסדות בחו"ל. פרויקט "יונס", למשל, משפר את פעילות תעשיית החלל בעזרת המחקר האקדמי.
- להקנות ידע בנושא החלל לתלמידים. חשוב שאנשי האקדמיה "ירדו מהאולימפוס לחברה".

4.5 עבודתם בתחום החלל של משתתפי הסקר

4.5.1 מקורות כספי המחקר:

משרד המדע, חברות תעשיית החלל, מנהלת גלילאו, התוכנית ה-6 של האיחוד האירופי.



4.5.2 שותפים למחקר בישראל ובעולם, מתחומי האקדמיה והתעשייה :

- חוקרים מאוניברסיטאות בישראל (תל-אביב, חיפה) ובחו"ל (פרינסטון, טקסס, מישגן, סינגפור), מהמכון ההודי לאסטרופיזיקה, ממוסדות חקר החלל בארה"ב, ברוסיה, בדרום אפריקה ובמדינות אחרות.
- אנשי חברות תעשיית החלל בישראל וחברות זרות (IBM, למשל), גופים זרים אחרים.

4.5.3 תחומים, שבהם עוסקים האנשים השותפים למחקרים :

חקר והנדסת חלל, מתמטיקה, פיזיקה.



5. תרומת תחום החלל לחינוך הטכנולוגי בישראל

5.1 סקירה כללית

מדינות רבות בעולם רואות בנושא החלל אמצעי לקידום המדינה במספר תחומים, ביניהם חיזוק היכולות הטכנולוגיות. מחקרים הראו כי עיסוק בנושא החלל, מעצם היותו תחום בינתחומי ואינטגרטיבי, תורם להעלאת ציוניהם של התלמידים במקצועות קשורים כגון פיזיקה, מתמטיקה וכימיה. כיום, כל אספקט בחיינו תלוי ביישומים מדעיים וטכנולוגיים, לכן קידום החינוך המדעי והטכנולוגי הינו מרכיב הכרחי. בשל כך, הירידה במספר התלמידים המגלים עניין בלימודי מדע וטכנולוגיה, מדאיגה. לילדים ולנוער יש משיכה לנושאים הקשורים לחלל, לגלקסיה ולאסטרונאוטים ולעיתים קרובות, פעילויות הקשורות לחלל מעודדות אותם לפתח יצירתיות, סקרנות והתלהבות. נושא החלל קשור למגוון רחב של נושאים: מתמטיקה, מדע, טכנולוגיה, גיאוגרפיה ועוד. לפי Pujol, Montgobert & Benito (2006), ההיבטים בחלל שנמצאו כמלהיבים בקרב ילדים ונוער הם:

- החלל כיקום מגוון, מסתורי ומרתק המעלה שאלות קיומיות כדוגמת האם אנו לבד בעולם.
- החלל כיקום שונה מהעולם שבו אנו חיים - סביבה פיזיקאלית שונה, העדר של כוח כבידה.
- החלל כיקום שעדיין לא מוכר - יש עדיין גלקסיות שלא התגלו ותופעות שצריך לחקור ולהבין. ההנחה היא, כי באמצעות התלהבות התלמידים מנושא החלל וההכרות עם תופעות מדעיות חדשות, הם יתקרבו למדע.
- החלל מהווה דוגמה לשיתוף פעולה בין לאומי. דוגמה לכך היא תחנת החלל הבין לאומית, המהווה פרויקט מחקר מדעי מורכב, לו שותפים ארה"ב, רוסיה, יפן, קנדה ומדינות אירופה. העניין של הנוער בסביבה בין-לאומית ורב תרבותית יכול להוות גורם משיכה נוסף להתעניינותו בנושאים הקשורים לחלל.

במהלך שני העשורים האחרונים, סוכנויות חלל רבות (NASA), סוכנות החלל האירופאית וסוכנויות החלל הצרפתית, הגרמנית והקנדית) פיתחו, בשיתוף פעולה עם מורים, מגוון רחב של חומרי למידה בנושא החלל, המיועדים לחינוך היסודי והתיכוני: ערכות למידה, ספרי תרגול, תקליטורים, אתרי אינטרנט, DVD, משחקי וידאו ועוד.

יחד עם זאת Thrash (2004), מצביע על הקשיים בלימוד נושאים הקשורים לחלל:

- החלל אינו מעניין את הציבור, כפי שהיה בעבר לפני שלושים שנה, כשתוכנית אפולו והמרוץ לירח נגד הרוסים הלהיבו את הציבור האמריקאי. כיום התקשורת כמעט ולא מדווחת על הישגי תוכנית החלל, והציבור הרחב מודע לקיומו של החלל במקרים של כישלונות



(המעבורות צ'לנגר וקולומביה). גם משימות חלל ותגליות חדשות לא משפיעות על הציבור ואינן מהוות גורם לגאווה לאומית כפי שהיו בעבר.

- באופן דומה, ילדים ונוער מושפעים ממצבה הנוכחי של תוכנית החלל – ילדים אינם חולמים, כפי שהיה בעבר, על טיסה לחלל. גם מורים רבים לא חשים בנוח עם הנושא, דבר שמקשה עליהם לטעת מוטיבציה בתלמידיהם ללמוד תחומי מדעים ומתמטיקה הקשורים לחלל. בנוסף, קיימים תחומים חדשים כדוגמת מחשבים וביטכנולוגיה המלהיבים את הנוער ומהווים תחרות לנושא החלל.

חשיבותו של החינוך לחלל אינו רק כנושא המקדם ידע חדש, ערכים ותורם להבנת העולם מסביבנו. הלימודים בתחום החלל מבוססים על מתמטיקה, פיזיקה ומסייעים לפיתוח תהליכי חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות, וקבלת החלטות. בשל הקשר שבין החלל לחינוך והשכלה, אונסק"ו פיתחה תוכנית ללימודי חלל בשיתוף עם סוכנויות חלל, אוניברסיטת החלל הבין-לאומית, וגופים לא ממשלתיים.

מטרות התוכנית הן:

- קידום נושאי החלל בבתי הספר ובאוניברסיטאות, במיוחד במדינות המתפתחות. מאז 1988, אונסק"ו תמכה בפתיחתם של מרכזים לחינוך טכנולוגי ולחינוך בתחום החלל במדינות שונות. מרכזים אלו הוקמו בהודו, מרוקו, ניגריה, ברזיל, מקסיקו וירדן. מרכזים אלו מספקים תוכניות יישומיות ומחקריות בתחומי חישא מרחוק, תקשורת לוויינים, מדעי החלל והאטמוספירה, מטאורולוגיה ולימודי אקלים.⁶⁰
- מתן אפשרות למורים לקדם את הידע שלהם בנושאים הקשורים לתחום החלל ולסייע להם ברכישת חומרים לימודיים מתאימים.
- העלאת המודעות הציבורית ליתרונות של החלל בהקשר החברתי, הכלכלי והתרבותי, וקידום השימוש בטכנולוגית חלל ככלי למחקר ולפיתוח.
- תרומה להכנת הדור הבא של כוח אדם בתחום החלל: מדענים, אסטרונאוטים, מהנדסים ועוד.

5.2 הפעילות החינוכית של סוכנות החלל האמריקאית

מאמרים ודו"חות שונים מצביעים על משבר בכוח אדם בתעשיית האווירונאוטיקה בארה"ב. בשנת 2004 מספר העובדים בתעשייה היה הקטן ביותר מאז שנות ה-50, חלה ירידה במספר המדענים והמהנדסים המועסקים בתעשייה האווירונאוטית מ-145,000 בשנת 1986 ל-40,000 בשנת 2003.

⁶⁰ Haubold H.J. (2003).



בנוסף, קיימת הזדקנות של כוח האדם העובד בתעשייה - הגיל הממוצע בתעשייה הוא 51. לפי תחזית התעסוקה של משרד העבודה האמריקאי, בשנת 2006 היו בארה"ב כ-90,000 משרות של מהנדסי אווירונאוטיקה ואילו בשנת 2016 הצפי הוא ל-99,000 משרות (תוספת של כ-9,000 משרות, עליה של כ-10%). נתונים אלה מעידים על פער אפשרי בין ההיצע של כוח האדם המדעי והטכנולוגי לביקוש הצפוי⁶¹. המסקנה העולה מנתונים אלו היא שאם ארה"ב מעוניינת לשמור על מעמדה המוביל בתעשיית החלל העולמית, עליה להשקיע באופן מסיבי בחינוך למדעים ולטכנולוגיה בקרב תלמידי מערכת החינוך היסודית והתיכונית (BLS, 2008; Trash, 2004; Pelton et al, 2003).

ב-NASA קיים גוף מיוחד העוסק בחינוך, מחלקת החינוך (NASA Office of Education), גוף זה פועל בשיתוף פעולה עם מוסדות להשכלה גבוהה, ארגונים מקצועיים והתעשייה. פעילותו העיקרית היא פיתוח תוכניות לימודים שיספקו השראה ומוטיבציה לתלמידים לבחור בקריירות בתחומים הקשורים למדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה (STEM)⁶².

מטרות מחלקת החינוך של NASA:

1. פיתוח כוח עבודה מדעי וטכנולוגי בארה"ב באמצעות שורה של יוזמות ותוכניות המיועדות לתלמידים בכל רמות החינוך (מבתי ספר יסודיים ועד לאוניברסיטאות), במיוחד בקרב קבוצות אתניות שונות (אפרו-אמריקאים, היספאנים).
2. עידוד סטודנטים ללמוד לתארים במקצועות המדע והטכנולוגיה בתחומים הקשורים לצרכים המדעיים והטכניים של NASA.
3. יצירת שותפות אסטרטגית וקשרים בין גופי החינוך הפורמאלי והלא-פורמאלי בתחומי המדע והטכנולוגיה.

הפעילויות של NASA בתחום החינוך משתלבות בתוכנית הלאומית להגדלת כוח האדם המדעי והטכנולוגי בארה"ב. דגש מיוחד מושם על שיפור החינוך למתמטיקה ומדעים בקרב תלמידי החינוך היסודי-הגדלת העניין שלהם בתחומי המדע וההנדסה באמצעות הפעילויות והמשימות הייחודיות ל-NASA - חקר החלל, הנחתת אדם על הירח ומשימת המאדים. המחלקה לחינוך של NASA היא הגוף המקשר בין מדעני ומהנדסי NASA לקהילת החינוך. המחלקה "מתרגמת" את המשימות של NASA לחומרים חינוכיים ולתוכניות לימודים המיועדות לכל הגילאים. בנוסף, על התקציב המיועד ישירות לפעולות חינוכיות, בכל משימה או תוכנית של NASA, מפורטת הרלבנטיות של המשימה למטרות האסטרטגיות של NASA, לסדר היום הלאומי האמריקאי, לחינוך ולתועלת הציבור הרחב. בכל משימה של NASA (לדוגמה, טלסקופ החל האבל, המשימה למאדים), מוקדש כאחוז אחד מהתקציב

⁶¹ נתונים נוספים על ההיצע והביקוש של כוח אדם מדעי וטכנולוגי ניתן למצוא בדו"ח שהוצא על ידי מוסד נאמן-גץ, ד., בוכניק צ., ואחרים (2007) "כוח אדם מדעי וטכנולוגי בישראל".

⁶² STEM – Science, Technology, Engineering & Mathematics



לפיתוח תוכנית לימודים ותוכניות לציבור הרחב בנושא המשימה. הטבלה הבאה מציגה את התוכנית התקציבית של המחלקה לחינוך של NASA לשנת 2009 ואילך, כפי שהוגשה לנשיא ג'ורג' בוש.

טבלה 3. התוכנית התקציבית של המחלקה לחינוך של NASA (במיליוני דולר).

2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007 (בפועל)	
35.7	35.8	35.8	38.1	32.1	23.8	35.1	בתי ספר יסודיים ותיכוניים
-	-	-	-	-	11.6	-	תוכנית המענקים למחקר תחרותי
6.8	6.7	6.7	6.7	6.8	5.8	3.6	למידה מרחוק
30.7	30.7	30.7	30.7	28.1	27.5	24.7	תוכנית אוניברסיטאית למחקר וחינוך לבני המיעוטים
10.1	10.1	10.1	10.1	9.5	9.0	8.1	השכלה גבוהה
10.0	10.0	10.0	10.0	8.3	12.8	12.8	תוכנית ניסיונית לעידוד המחקר התחרותי
28.4	28.4	28.4	28.4	28.7	35.7	29.9	מענקים ומלגות
					7.0		חינוך בנושא שינויי אקלים גלובליים
2.1	2.1	2.1	2.1	2.0		1.6	חינוך לא פורמאלי
					7.8		מוזיאונים למדע ופלנטריוםים
					5.8		מרכזי מבקרים
123.8	123.8	123.8	126.1	115.6	146.8	115.9	סך כול התקציב המיועד לחינוך
19,358.8	18,905.0	18,460.4	18,026.3	17,614.2	17,309.4	16,285.0	סך כול תקציב NASA

מקור: National Aeronautics and Space Administration President's FY 2009 Budget



בסקירה שלהלן, יובא פרוט קצר על התוכניות והפרויקטים החינוכיים המופיעים בתוכנית ובתקציב של NASA:

- בתי ספר יסודיים ותיכונים - התקציב נותן למורים כלים ואפשרויות להשתתף בפעילויות של NASA, להרחיב את הידע שלהם בתחומי המדע וההנדסה ולהוות השראה לתלמידיהם לבחור בתחומים אלו.
- מענקים למחקר תחרותי (Competitive Educational Grant Program) - תוכנית המחלקת מלגות לבתי ספר ציבוריים וארגונים שאינם למטרות רווח, על בסיס תחרותי. המלגות נועדו לסייע בהצגת עולם החלל וההנדסה לצעירים, דבר שיעודד אותם לבחור עיסוקים הקשורים לעולם זה.
- למידה מרחוק (E-Education) - תמיכה במחקר ובפיתוח של יישומיים, מוצרים ושירותים טכנולוגיים לשימוש בחינוך הפורמאלי והלא פורמאלי.
- תוכנית אוניברסיטאית למחקר וחינוך לקבוצות אתניות שונות (Minority University Research and Education Project) - חלוקת מלגות למוסדות, אנשי סגל וסטודנטים המשתייכים לקבוצות אתניות (אפרו-אמריקאים, היספאנים) העוסקים בתחום מחקרי הרלבנטי ל-NASA. מטרת התוכנית הגדלת להגדיל את השתתפותם של בני קבוצות אלו בכוח העבודה המדעי וההנדסי באמצעות לימוד מקצועות רלבנטיים.
- השכלה גבוהה - תמיכה בחיזוק יכולות המחקר של המוסדות להשכלה גבוהה והגדלת מספר הסטודנטים שיבחרו ללמוד את התחומים הרלבנטיים לקריירות עתידיות ב-NASA.
- תוכנית ניסיונית לעידוד המחקר התחרותי (Experimental Program to stimulate Competitive Research) - מספקת תשתיות מחקר ומימון שנועדו לפתח בסיס מחקר במוסדות האקדמיים השייכים למדינות השונות בארה"ב, זאת על מנת לפתח פעילות מחקר אקדמית ארוכת טווח.
- מלגות בתחום החלל- (NASA Space Grant) - מענקי מחקר ומלגות לסטודנטים ולחברי סגל בתחומי המדע, ההנדסה והטכנולוגיה. המלגות ניתנות על ידי רשת הכוללת שותפים מ- 850 אוניברסיטאות, מכללות, מפעלי תעשייה, מוזיאונים, מרכזי מדע, גופי ממשל מקומיים ולאומיים. המלגות מיועדות לסטודנטים, להכשרה של חברי סגל, לפיתוח חומרי למידה ולפרויקטים חינוכיים.
- חינוך בנושא שינויי אקלים (Global Climate Change Education) - פרויקט תחרותי המיועד לתלמידים בנושא שינויי אקלים.
- חינוך לא פורמאלי - הפרויקט מספק מימון לפיתוח חומרי למידה, ספרות, ומעודד שיתופי פעולה בין מרכזי NASA לגופי החינוך הלא פורמאלי, ובין מוסדות בחינוך הפורמאלי והלא פורמאלי.



- מוזיאונים למדע ומצפי כוכבים (פלנטריומים) - מטרת התוכנית לעודד מוזיאונים ומצפי כוכבים לפתח ולקדם תוכניות הקשורות לחקר החלל, מדע החלל, אווירונאוטיקה ומיקרו גרביטציה.
- מרכזי מבקרים - פיתוח פעילויות חינוכיות במרכזי המבקרים של NASA, כמו גם תערוכות במדע טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה.

5.3 פעילויות של סוכנות החלל האירופאית בתחום החינוך

הירידה במספר הסטודנטים הלומדים מדע והנדסה מהווה נושא לדאגה גם בסוכנות החלל האירופאית. העניין הפוחת בלימודי מדע גורם להזדקנות כוח האדם המדעי ולמחסור במדענים צעירים. הדור הקודם, שהחל את הקריירה שלו בתעשיית החלל האירופאית במהלך שנות ה-60, פורש ומספר המדענים מתחת לגיל 30 הולך וקטן. לפי דו"ח על תעשיית החלל האירופאית - 30% מהמועסקים בתעשייה הם מעל גיל 50 ו-50% מהמועסקים הם מעל גיל 44 - כלומר בעשור הקרוב צפוי גל של פרישה. על מנת לפתור את בעיית המחסור בכוח אדם לתעשיית החלל, האיחוד האירופאי הצהיר על כוונתו לנקוט בפעולות בתחום החינוך המיועדות לדור האירופאי הצעיר, שבהן יכללו המרכיבים הבאים:

- שילוב נושאים הקשורים לחלל בבתי הספר ובאוניברסיטאות.
- פרויקטים בתחום החלל כוללים שיתופי פעולה בין מדינות שונות, לכן יש להבטיח את הניידות של מדענים וחוקרים.
- קמפיינים תקשורתיים המיועדים לקהל הרחב בנושא החלל (European Union, 2003 ASD 2008).

באופן דומה ל-NASA, גם לסוכנות החלל האירופאית יש מחלקה שעוסקת בענייני חינוך ESA Education Department. המחלקה מכינה ומפיצה תוכניות לימודים ברמות השונות (מהחינוך יסודי עד למערכת ההשכלה הגבוהה) בתחומי חקר החלל, לוויינים, משגרים, המערכת הסולארית, האדם בחלל ותחנת החלל הבין לאומית.

לשם כך, מחלקת החינוך הקימה מרכז משאבים המוקדש לנושא החלל ה-ESERO - European Space and Education Resource Office. המרכז עושה שימוש במשימות החלל של מדינות אירופה כאמצעי להלהיב אנשים צעירים לתחומי המדע, ההנדסה והטכנולוגיה. המרכז מהווה גורם מקשר בין סוכנות החלל האירופאית לקהילת החינוך, באופן שמאפשר לסוכנות החלל האירופאית לתמוך בקהילת החינוך בחומרים, מידע ופעילויות הקשורות לחקר החלל. תמיכה זו מלווה בקשיים - זה כמעט בלתי אפשרי להגיע למיליוני התלמידים והמורים ברחבי אירופה. בנוסף, מדובר במדינות עם מערכות חינוך שונות הדוברות שפות רשמיות שונות. לשם כך, הוחלט שמרכזי המשאבים יוקמו בנפרד בכל מדינה החברה בסוכנות החלל האירופאית. המדינות הראשונות בהן הוקם המשרד הן: הולנד,



בלגיה וספרד. אחת התוכניות הבולטות המוצעות לתלמידי תיכון ולסטודנטים, במסגרת פעילותה של סוכנות החלל האירופאית, היא בנייה ושיגור של כדורים פורחים, רקטות, ונוו לוויינים. המטרות החינוכיות של תוכניות אלו הן:

- לימוד מדעים
- ניהול פרויקטים מורכבים
- ניסיון בהפעלת טכנולוגיות מתחכמות
- השתתפות התלמידים בפיתוח משימות מדעיות, בעיבוד נתונים ופירושים
- גוף נוסף העוסק בחינוך הוא אוניברסיטת החלל הבין-לאומית- הוקמה בשנת 1987 וממוקמת בשטרסבורג צרפת. האוניברסיטה מציעה תוכניות לימודים לתואר שני או קורסי קיץ. תוכניות הלימודים של האוניברסיטה הן אינטר-דיסציפלינאריות ומקיפות מגוון של תחומים במדעי החלל, בהנדסת חלל, בהנדסת מערכות, במדיניות חלל, במנהל עסקים, ובחלל וחברה. מאז היווסדה, למדו בה כ- 2,700 סטודנטים מ-100 מדינות מרחבי העולם. אחת המטרות של האוניברסיטה היא יצירת קשרים בין אנשים מובילים בתעשיית החלל וקידום שיתוף הפעולה הבין לאומי בנושאי החלל⁶³.

5.4 פעילות בתחום החינוך לחלל בישראל

פעילות החינוך בתחום החלל במדינת ישראל נחלקת בין מספר גופים. להלן תובא סקירה קצרה המפרטת את פעילותם בתחום זה:

משרד החינוך - ממצאי מחקרים שנערכו בתחילת שנות ה-80 הראו, שהישגי תלמידים בגילאי בית הספר היסודי וחטיבת הביניים בנושא חלל בישראל היו נמוכים בהשוואה לעמיתיהם בעולם. החל משנת 1997, הוכנס נושא החלל לתוכניות הלימודים החדשות במדע וטכנולוגיה. נושא החלל הוכנס בין השאר על מנת לשפר את העמדות של התלמידים כלפי מקצועות המדע והטכנולוגיה⁶⁴.

לפי דבריה של עליזה מויאל, מפקחת ארצית למדע וטכנולוגיה במשרד החינוך⁶⁵, השליחות של אילן רמון ז"ל במעבורת קולומביה ביולי 2003, היוותה גורם משמעותי ומאתגר לקידום נושא החלל במערכת החינוך במדינת ישראל. אחד הניסויים שביצע אילן רמון ז"ל במעבורת קולומביה, הוכן בידי תלמידי תיכון "אורט קריית מוצקין". הניסוי נבחר מתוך עשרות הצעות לניסויים שהגישו ל-NASA תלמידים מכל העולם. הניסוי עסק בגידול גבישים בחלל בתנאי חוסר כבידה. לרגל שיגור המעבורת קולומביה, הכינו סוכנות החלל הישראלית ומשרד החינוך תוכנית משותפת שנקראה "המסע

⁶³ מקור: http://www.isunet.edu/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=24&Itemid=139
אוחזר בתאריך ה-9 לנובמבר 2009

⁶⁴ ד"ר חנה ויניק, בישיבת הוועדה לענייני מחקר ופיתוח מדעי מיום 8 לפברואר 2000

⁶⁵ מתוך ישיבה מיוחדת של ועדת המדע והטכנולוגיה לציון יום השנה החמישי לפטירתו של אילן רמון ז"ל
<http://www.knesset.gov.il/protocols/data/rtf/mada/2008-01-28-01.rtf/>



המתקשב של מערכת החינוך בחלל". התוכנית כללה בין השאר חבילת חומרים לבתי-הספר, ביקורים של מרצים אורחים מאוניברסיטאות, סרטונים, תערוכות במוזיאונים, הרצאות וימי עיון. כיום מבוצעות פעילויות לתלמידים ומורים בנושא חלל במסגרת הפעילויות להנצחת זכרו של אל"מ אילן רמון. דוגמה לפעילות זו היא אולימפיאדה בנושא חלל ואסטרונאוטיקה על שם אילן רמון- האולימפיאדה מתקיימת החל משנת 2003 על-ידי מרכז המורים הארצי למדע וטכנולוגיה במכון דוידסון לחינוך מדעי ומשרד החינוך, התרבות והספורט ובשיתוף מכון ויצמן למדע, האגודה הישראלית לאסטרונאוטיקה, אוניברסיטת תל-אביב, האוניברסיטה הפתוחה והמוזיאון הלאומי למדע, טכנולוגיה וחלל בחיפה. בשנת 2003 השתתפו באולימפיאדה כ-600 תלמידים ואילו בשנת 2008 השתתפו בה כ-1,000 תלמידים (גידול של כ-40%)⁶⁶. אולם העניין שגילו תלמידי תיכון בלימודי מדע בשנים שקדמו לאסון קולומביה, הולך ומתפוגג, ותלמידים כיום מתרחקים מנושא החלל⁶⁷.

במערכת החינוך העל-יסודית קיימות מספר תוכניות לימודים בנושא חלל:

1. החל משנת הלימודים תשס"ה, נלמד מקצוע אוויר-חלל במסגרת המגמה המדעית-הנדסית. בין הנושאים הנלמדים: יסודות הנדסת אווירונאוטיקה, הנעת כלי טיס וטילים, מערכות אלקטרוניות, אלגוריתמיקה, חיים בחלל, אסטרופיזיקה ועוד. ההתמחות אוויר-חלל נלמדת בין השאר בבתי הספר הבאים: "מכללת אורט לתעופה וחלל" שבמעלה אדומים, אורט "אבין" ברמת-גן ובי"ס "אורט שפירא" בכפר-סבא⁶⁸.

2. החל משנת 2007, ניתן לגשת לבחינת בגרות במדעי החלל במסגרת לימודי פיזיקה ברמה של חמש יחידות לימוד בתיכון "מטרו ווסט" שברעננה. במסגרת הלימודים לבגרות, נלמדו במשך שלוש שנים הנושאים הבאים: תיאוריה והיסטוריה של החלל, עקרונות הטיסה, טילים, רקטות, לוויינים, חלל ואנרגיה. תוכנית הלימודים פותחה על-ידי טל ענבר, חוקר בכיר למדעי החלל במכון פישר בהרצלייה. התוכנית היא תלת שנתית- בכיתה י' נלמדים נושאי יסוד ובכיתות י"א וי"ב התלמידים עובדים על פרויקט⁶⁹.

3. תוכנית לימודים נוספת בשם⁷⁰ STMC (Space Technology Meryrhoff College) נלמדת בבתי ספר בהרצלייה, קרית אונו וטירה. התוכנית פותחה בישראל על-ידי ד"ר אנה הלר. תוכנית ה-STMC היא תכנית מולטי-דיסציפלינארית ומטרתה לממש את הפוטנציאל של התלמידים בנושאי טכנולוגיה מתקדמים. במסגרת התוכנית, נחשפים התלמידים לפעילויות רבות מחוץ לבית הספר כגון: סיורים במצפה הכוכבים בגבעתיים, ביקורים באתרים של תעשיית החלל בישראל, סדנאות, ימי עיון, כנסים, תחרויות ועוד. התוכנית החלה בשנת 2002 וכללה 30 תלמידים. לפי הערכה של ד"ר אנה הלר, עד

⁶⁶ <http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Dovrut/actualya/olimpiadatilanramon.htm>

⁶⁷ ליוזבסקי, א' (2008).

⁶⁸ שני, נ' (2008).

⁶⁹ ליוזבסקי, א' (2006).

⁷⁰ <http://stmc.picosat.googlepages.com/index.html>



היום השתתפו בתוכנית כ-800 תלמידים⁷¹. שיאה של התוכנית הוא בנייה מתוכננת של פיקו לוויין (לוויין השוקל קילו) על ידי כ-40 תלמידים עד לשנת 2011.

בנוסף, בית הספר היסודי במושב בני ציון הכין תוכנית ללימודי חלל. מכון פישר למחקר אסטרטגי אויר וחלל סייע בהכנת התוכנית וישתלב בהדרכות שיתקיימו במקום בעתיד.

4. **העמותה הישראלית ללוויינות זעירה** (INSA⁷²) - העמותה הוקמה בשנת 2006 במטרה להוביל פרויקטים בתחום הלוויינות הזעירה בישראל והיא מתכוונת לשגר שני ננו-לוויינים (לוויינים שמשקלם עד שלושה קילו) בין החודשים יולי-ספטמבר 2009. שני פרויקטים המבוצעים על-ידי תלמידי תיכון עתידים להיות משוגרים על הננו-לוויינים:

1. תחנת קרקע ויחידות תקשורת המפותחת על ידי קבוצה של כ-40 תלמידי תיכון יהודים וערבים הלומדים במסגרת תוכנית ה-STMC במעבדה לנושא לוויינים וחלל במרכז המדעים בהרצליה⁷³ בהנחייתה של ד"ר אנה הלר. פעילות בנושא החלל המתבצעת במרכז המדעים החדש בהרצליה מקבלת תמיכה מגופים שונים, ביניהם עיריית הרצליה, צה"ל, משרד המדע התרבות והספורט וחברות היי-טק.

2. אלגוריתם בקרה של הננו-לוויין מתוכנן כפרויקט גמר של תלמידי כיתה י"א מהמכללה הטכנולוגית "אורט תעופה וחלל" במעלה אדומים בהנחיית נתנאל לוי, מהנדס בתעשייה האווירית. הפרויקט יתבצע בשיתוף פעולה עם העמותה⁷⁴.

כמו כן, העמותה ללוויינות זעירה מקיימת קשרים עם בתי ספר המעוניינים בכך באמצעות הדרכה של מורים בנושאים הקשורים לחלל. על פי חזון העמותה, ננו-לוויינים הוא נושא היכול לקדם את נושא החלל ולעודד שיתופי פעולה בין-לאומיים בתחום זה⁷⁵.

אגודת החלל הישראלית - פיתוח תוכנית לימודים בנושא החלל. התוכנית המוצעת לבתי-ספר ולמתנ"סים כוללת:

- הקמת חדרי אסטרונומיה וחלל
- ארגון תערוכות בנושא חלל
- בניית רקטות לימודיות

מועדון החלל ע"ש אילן רמון - מועדון מדע הפועל במסגרת תוכנית "מצוינות 2000"⁷⁵ בשיתוף מכון אשר לחקר החלל בטכניון. במהלך פעילות המועדון מתקיימים סיורים במצפה כוכבים, במעבדות

⁷¹ מתוך שיחה עם ד"ר אנה הלר שהתקיימה בתאריך 10.12.08

⁷² Israel Nano Satellite Association - <http://insa.netquire.com/index2.htm>

⁷³ <http://portal.herzliya.k12.il/sites/kampus/default.aspx>

⁷⁴ ילוז נ (2008).

⁷⁵ מתוך שיחה עם ד"ר רז טמיר, יו"ר העמותה הישראלית ללוויינות זעירה בתאריך 1.12.08



לחקר החלל, חידונים, תחרויות, בניית מודלים, צפייה בסרטי חלל ומפגשים עם מומחים לחקר החלל ואסטרונאוטים. המועדון כלל בשנת תשס"ז 13 בתי-ספר. כמו כן, במסגרת המועדון מתקיימות השתלמויות למורים בתחום החלל.

מכון פישר למחקר אסטרטגי באוויר ובחלל - במסגרת ימי העיון לזכרו של אילן רמון שנערכים במכון בכל שנה, מחולקות מלגות לתלמידים ולסטודנטים מצטיינים. ביום העיון האחרון שנערך ב-31 לינואר 2008, הוקדש מושב מיוחד לנושא החינוך בתחום החלל כאמצעי לעודד לימודי מדע וטכנולוגיה. במושב הוצגו פרויקטים בנושאים שונים כגון: "טומטוספרה" (פרויקט של סוכנות החלל הקנדית שבו משתתפות 11,000 כיתות והכולל גידול של זרעי עגבניות שנחשפו לתנאים הקיימים בחלל), בניית רקטות, דימוי המשימה למאדים (mars rover) ו-First - תחרות רובוטיקה לתלמידים ברחבי העולם המתקיימת גם בישראל.

בנוסף, יש צורך לחזק גם את לימודי האסטרונומיה. לפי דבריו של ד"ר יגאל פת-אל, יו"ר האגודה הישראלית לאסטרונומיה⁷⁶, בהשוואה לעבר, העניין של בני הנוער במדע הולך ויורד, ואילו מערכת החינוך ניצבת בפני קשיים במתן מענה לעניין של בני נוער בתחומים אלו, כגון מחסור במורים להנחיית עבודות גמר של תלמידים בנושאי חלל ואסטרונומיה. להלן יובאו מספר דוגמאות ליוזמות חינוכיות בתחום האסטרונומיה.

פרויקט פרחי מדע - פועל תחת חסותו של המרכז הארצי למחקר וחינוך מדעי במכללת עמק הירדן. בפרחי מדע קיימים שני מסלולי פעילות של חינוך מדעי, אחד מהם - אסטרונומיה. מסלול האסטרונומיה משלב מחקר, פיתוח אמצעי למידה, הדרכת מורים והנחיית תלמידים בקבוצות ובעבודות אישיות. המרכז מציע פעילויות לגילאים השונים: משחקים, ספרים ותוכנות אינטראקטיביות לילדי הגן והחינוך היסודי, ימי מדע, מעבדה אסטרונומית ניידת ומחנות קיץ בנושא אסטרונומיה לנוער עד גיל 16, ועבודות גמר לתלמידים הניגשים לבגרות.

- **אסטרונוט-עבודת-חקר אישית באסטרונומיה**, שמבצעים תלמידי בית הספר התיכון, במהלך כיתות י"א וי"ב. תלמיד המסיים את העבודה זוכה בנקודת בגרות אחת, שתחליף את בחינת המעבדה בפיזיקה.
- **מחנות מדע בנושא אינטרנט ואסטרונומיה**, מתקיימים בתמיכת קרן סקט"א-רש"י. התלמידים מבצעים פרויקטים אישיים בתחום האסטרונומיה, תוך כדי שימוש במאגרי המידע באינטרנט.
- **פעילות במצפי הכוכבים** - בישראל קיימים מספר מצפי כוכבים, במוסדות חינוך ומצפי כוכבים פרטיים. הבולטים שבהם - מצפה הכוכבים במצפה רמון ומצפה הכוכבים בגבעתיים,

⁷⁶ מתוך פרוטוקול ישיבת ועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת בתאריך ה-8 לינואר 2008
<http://www.knesset.gov.il/protocols/data/html/mada/2008-01-28-01.html>



המשמש כמצפה הראשי של האגודה הישראלית לאסטרונומיה. במצפים אלו מתקיימים סיורים של בתי-ספר, הרצאות, פעילויות חינוכיות והנחייה של עבודות גמר לבגרות.

- **פעילות במוזיאונים ומרכזים לחינוך מדעי** - המוזיאון הלאומי למדע, טכנולוגיה וחלל בחיפה מהווה מרכז תמיכה ללימודי מדע, טכנולוגיה וחלל לתלמידי בתי הספר ולקהל הרחב. במקום מופעלת רשת של מעבדות בנושאים מדעיים וטכנולוגיים שונים. במסגרת פעילות המוזיאון, מכון מדעטק לחינוך מפעיל תוכניות לימוד בנושאים מגוונים: פיסיקה ואסטרופיסיקה, רובטיקה, ועוד. בין השאר הפעילויות כוללות:

- מסע בין כוכבים - פעילות בנושא אסטרופיזיקה לכיתות ה' ומעלה.
- מעבדה ניידת בתחומי האסטרונומיה והמדעים. המעבדה הניידת מציעה מגוון פעילויות: הכנת מפת כוכבים, הכרות עם מערכת השמש, מופעי ירח ועוד.
- במסגרת תחרות מדענים צעירים מוצגים פרויקטים בנושאי חלל.

הטכנודע, מרכז לחינוך מדעי וטכנולוגי הממוקם בגבעת אולגה כולל ספרייה מדעית, מצפה כוכבים ופלנטריום. הטכנודע מפעיל תוכניות חינוכיות וחברתיות כדוגמת: הטכנוגן- מדע לגיל הרך, תוכנית בוקר לבתי ספר יסודיים, תוכנית בוקר לחטיבות העליונות, תוכנית מחוננים, פרויקט מצוינות, פנימיות יום, הרצאות באסטרונומיה ועוד.



6. עידוד תחום החלל בארץ ובמדינות אחרות

6.1 השקעות ממשלתיות בתחום החלל

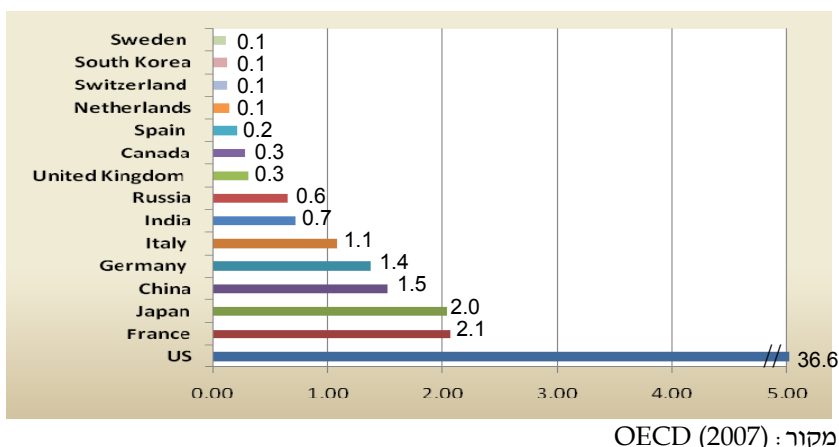
תשתית החלל ומערכות החלל הם כלים אסטרטגיים של מדינות מפותחות. זוהי אחת הסיבות העיקריות להשקעות ממשלתיות בתחום החלל במדינות שמבצעות פעילות נרחבת בחלל. מטרת ההשקעות הממשלתיות היא למנוע כשלי שוק היכולים לפגוע בפיתוח טכנולוגיות חלל חדשות. תעשיית החלל מונעת במידה רבה על-ידי גופים ממשלתיים וציבוריים. תוכניות המבוססות על צורכי המגזר הציבורי הן המנוע העיקרי של האבולוציה הטכנולוגית בתחום החלל.

תעשיית החלל תלויה בטכנולוגיות במידה רבה מאוד. מחזורים טכנולוגיים בתחום החלל הם ארוכים יותר מהממוצע בתעשיות ההיי-טק. מהבשלת הרעיון עד ליישומו בתעשיית חלל יכולים לעבור עשר שנים ויותר. מזה נובעים סיכונים טכנולוגיים ופיננסיים גבוהים בתחום החלל. המגזר הפרטי לא ייקח על עצמו סיכונים אלה בהעדר גב ממשלתי.

פיתוחן של טכנולוגיות החלל דורש השקעות כבדות בתשתית מדעית ותעשייתית. תחום החלל הוא גם תחום רגיש מבחינה ביטחונית, ופעילות בחלל וייצוא טכנולוגיות החלל נמצאים תחת רגולציה קפדנית.

החשיבות המיוחדת לטכנולוגיות החלל משתקפת בהשקעות עצומות בתחום החלל בכל העולם. תוכניות חלל קיימות כיום ביותר משלושים מדינות, ותקציבי חלל ממשלתיים, ביטחוניים ואזרחיים כאחד, ממשיכים לגדול⁷⁷. באיור 7 מוצגים תקציבי החלל של מדינות שונות.

איור 7. תקציבי החלל של מדינות שונות ב-2005 (במיליארדי דולר)
(מוצגים תקציבים שמעל 100 מיליון דולר)



⁷⁷ הנתונים בפרק זה נלקחו מה- OECD (2007), European Commission (2007). חלק מהנתונים מתבססים על הערכות ולא על נתונים רשמיים.



ארה"ב השקיעה יותר מ-36 מיליארד דולר בתחום החלל ב-2005, מהם כ-20 מיליארד הוקצבו לצרכי מערכת הביטחון (4.5% מתקציב הביטחון הכולל). תקציבי החלל של ממשלת ארה"ב עולים באופן מתמיד, במיוחד משנת 2001 נכרת מגמה ברורה של עליה באחוז תקציבי החלל המוזרמים למשרד הביטחון (ראו איור 2). צפוי שהשקעות אמריקאיות בתחום החלל הצבאי ימשיכו לגדול.

ב-2006 הכריזה ארה"ב על מדיניות חלל חדשה, המעלה את תוכנית החלל לראש סדר העדיפויות, תוך הכרה כי יכולות החלל חיוניות לאינטרסים הלאומיים שלה. למדיניות זו יש משמעות עבור תעשיית החלל במדינות אחרות: למשל, כ-60% מהרכיבים ומהציוד של כל לוויין אירופאי מיוצרים מחוץ לאירופה, בעיקר בארה"ב. על הרכיבים והציוד האלה חלים כללי הפיקוח של International Traffic in Arms Regulations (ITAR), כך שגם אם מצליחים לקבל את אישור הייצוא, תהליך זה עלול לגרום לעיכובים בביצוע של פרויקטים. רבים מאנשי קהילת החלל מצפים שהממשל החדש של הנשיא הנבחר, ברק אובמה, יערוך שינויים בתחום זה, אך לאחרונה הונמכו הציפיות לאור ההכרה כי הממשל החדש יתמקד תחילה בפתרון המשבר הכלכלי ולא ישית דעתו דווקא לתחום זה.

גם האיחוד האירופי מקציב משאבים גדולים לתוכניות החלל – כ-6 מיליארד דולר ב-2005. חלקן המשותף של שלוש התורמות העיקריות לתוכניות החלל באירופה (צרפת, גרמניה ואיטליה) הוא כ-80% בסך תקציבי החלל של האיחוד.

בהשוואה לארה"ב, תחום החלל באירופה הוא תוצר של גישה מדינית אחרת ורמה אחרת של השקעות ממשלתיות. ממשלות אירופה מייעדות כ-90% מתקציב החלל למטרות אזרחיות⁷⁸ (שיעור כפול משיעור התקציבים למטרות אזרחיות בארה"ב). תעשיית החלל האירופית תלויה פחות מהתעשייה האמריקאית בלקוחות ממסדיים ובתקציבים ממשלתיים (תקציב החלל של ארה"ב גבוה פי שישה מתקציבו של האיחוד האירופי). לפיכך, ההצלחה בשוק המסחרי נחוצה ליצרנים בתעשיית החלל האירופית כדי להשיג מסה קריטית ולשמור על כוח אדם בתעשייה.

מתוך 6 מיליארד דולר שהקציבו מדינות האיחוד האירופי לתחום החלל ב-2005, כ-4 מיליארד הושקעו באמצעות ESA (European Space Agency). החברות ב-ESA תורמות כסף לפעילות המנדטורית של הסוכנות (תוכניות חלל מדעיות ותקציב כללי) בהתאם לתל"ג שלהן. שלושה רבעים מתקציב הארגון מקורם בתוכניות אופציונאליות. כל מדינה מחליטה באילו תוכניות היא מעוניינת להשתתף וכמה היא מוכנה לתרום. הסוכנות פועלת על בסיס החזר לפי מדינה, היא משקיעה בכל מדינה, דרך החוזים לביצוע עבודות, באופן פרופורציוני לגודל תרומתה של כל מדינה. בסיס ההחזר הזה מהווה תמריץ למדינות להשקיע. הסוכנות היא למעשה קונסורציום חלל, שבו כל מדינה משקיעה כסף, ובהתאם לזה מקבלת עבודות.

ממשלת יפן משקיעה בתחום החלל כ-2 מיליארד דולר לשנה. בשנים האחרונות עולה השפעתן של מדינות חלל נוספות. כאשר דנים בתקציבי החלל של רוסיה, סין והודו, יש להתייחס לא רק לגובה

⁷⁸ European Commission (2007)



התקציבים, אלא לקחת בחשבון גם את כוח הקניה של הכסף במדינות אלה - רמות שכר נמוכות יחסית וכדומה.

רוסיה, מעצמת החלל הראשונה, השקיעה בחלל ב-2005, לפי אומדנים, 647 מיליון דולר. תוכנית החלל הפדראלית של רוסיה לשנים 2006-2016 שמה לה למטרה את החזרת המעמד המוביל של רוסיה בתחום החלל; פיתוח לוויינים לתקשורת, תצפית כדור הארץ, מדע ומטאורולוגיה; החלפת "סויוז" בספינת חלל מודרנית יותר להטסת קוסמונאוטים; פיתוח משגר "אנגרה"; שדרוג מערכת הניווט GLONASS.

תקציב החלל של סין הוערך על ידי הסינים כעשירית מתקציבה של NASA, כלומר כ-1.5 מיליארד דולר, אם כי לדעת מומחים סין משקיעה הרבה יותר. השקעותיה של סין משמעותיות בכל הפלחים של שוק החלל, עם התמקדות בפיתוח של מערכות לתצפית כדור הארץ ולניווט, ובתוכניות צבאיות גדולות. ב-2007 סין שגרה טיל שהשמיד בחלל לוויין מטאורולוגי שלה, והצטרפה לארה"ב וברה"מ לשעבר, שבצעו פעולה דומה בעבר. סין מפתחת טכנולוגיות מפתח החשובות לפעילות צבאית בחלל.

תקציב החלל של הודו ב-2005 הסתכם ב-714 מיליון דולר. ממשלת הודו רואה בחלל האזרחי זרז של הפיתוח הכלכלי של המדינה המתפתחת בקצב מהיר. כבר כיום הודו היא המדינה המובילה ביישומי חלל כגון למידה מרחוק ורפואה מרחוק, ומובילה בתחומי השיגור ותצפית כדור הארץ. ההשקעות של הודו בחלל הצבאי הן סודיות לאור המתרחשות הקשורה במצבה האזורי של הודו. המדינה מתחרה בהצלחה בשוק הלוויינים הקטנים והבינוניים. סוכנות החלל ההודית ISRO מנהלת את פעילות החלל הפורחת של הודו.

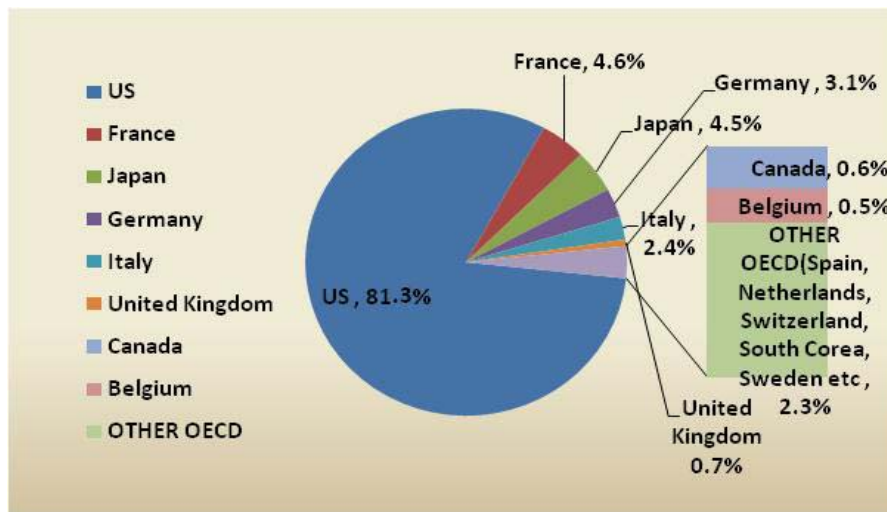
רוסיה, הודו וסין, כמו גם ישראל, אינן חברות ב-OECD. ב-2005 התקציבים הממשלתיים בתחום החלל במדינות החברות בארגון (תקציבים צבאיים ואזרחיים כאחד) הסתכמו ב-45 מיליארד דולר. 81% מסכום זה הושקע על-ידי ממשלת ארה"ב, אחריה ברשימת המדינות המובילות נמצאות צרפת, יפן, גרמניה ואיטליה. באיור 8 מוצגים תקציבי החלל של מדינות באחוזים מסך תקציבי החלל של מדינות ה-OECD.

ארה"ב היא המדינה המובילה גם בדירוג המדינות לפי תקציבים ציבוריים בתחום החלל כשיעור מהתמ"ג, (0.3% ב-2005). במקום השני נמצאת הודו - 0.1% מהתמ"ג, דבר המדגיש את החשיבות הרבה שמייחסים במדינה זו לתחום החלל. ב"חמישייה הפותחת" נמצאות גם צרפת, רוסיה וסין.

באיור 9 מוצגים התקציבים הציבוריים באחוזים מהתמ"ג לשנת 2005. מדובר בכל תוכניות החלל הן האזרחיות והן הצבאיות.

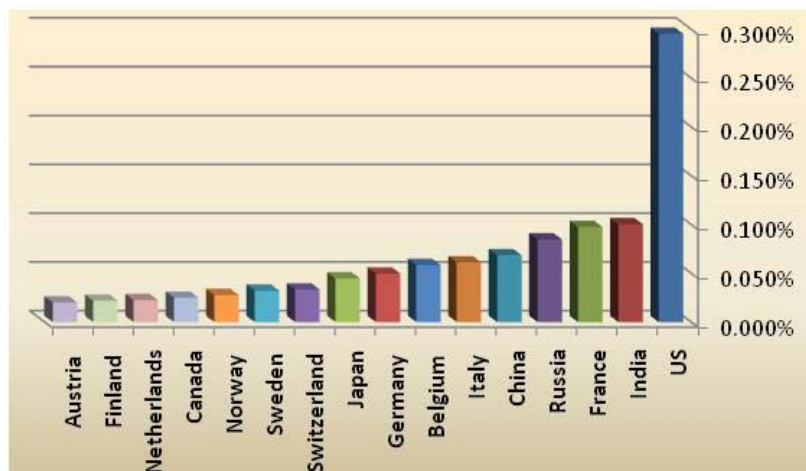


איור 8. תקציבי החלל של מדינות ה-OECD,
2005, אחוזים מסה"כ⁷⁹.



מקור: OECD (2007)

איור 9. תקציבים ציבוריים בתחום החלל ביחס לתמ"ג,
2005, באחוזים.



מקור: OECD (2007)

⁷⁹ סך כול תקציבי החלל של מדינות ה-OECD הוא כאמור 45 מיליארד דולר (2005).



6.2 עידוד מו"פ אזרחי בתחום החלל

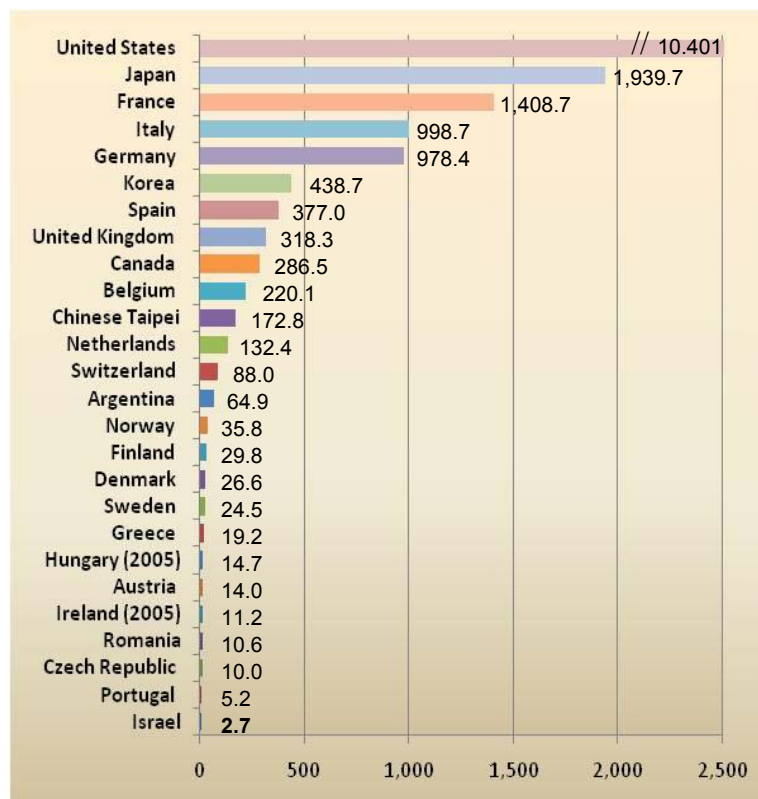
ממשלות העולם מממנות את תוכניות החלל בהיקפים גדולים. מתחילת עידן החלל, התמיכה הממשלתית במו"פ הייתה חיונית לפיתוח תעשיית החלל. בתת-פרק זה מובא ניתוח של תקציבי המו"פ האזרחי של מדינות שונות בתחום החלל. להבדיל מתקציבי ההצטיידות והשימוש בשירותי חלל שנותחו בתת-הפרק הקודם, בנושא המו"פ האזרחי בתחום החלל קיימים גם נתונים מישראל שנתייחס אליהם כאן ובתת הפרק הבא.

ניתן למדוד את התמיכה הממשלתית במו"פ בתחום החלל האזרחי בשתי דרכים. דרך אחת היא לסכם את ההקצבות של כל הגורמים הממשלתיים למו"פ, שאותן ניתן לייחס לפעילות חלל אזרחית והדרך השנייה היא להתייחס לחלוקת התקציבים למטרות חברתיות וכלכליות שונות לפי הצהרות ממשלתיות. ארגון ה-OECD מודד את התמיכה הממשלתית במו"פ בתחום החלל האזרחי בדרך השנייה. השיטה משתמשת בנתוני GBAORD (Government Budget Appropriations or Outlays for R&D). מדובר בתקציב ממשלתי המוקצה למו"פ, שכולל את מימון המגזר הממשלתי לביצוע של מו"פ הן על ידי המגזר הממשלתי והן על ידי שאר המגזרים (עסקי, השכלה גבוהה ומלכ"רים), במדינה עצמה או במדינות אחרות.

איור 10 מציג את ההוצאות הממשלתיות על מחקר ופיתוח בתחום החלל האזרחי במדינות שונות. הנתונים מתייחסים לאחד מהיעדים בקטגוריה הסוציו-כלכלית הנקרא "חקר החלל לצרכים אזרחיים". קיימות מספר מדינות, שיש להן תוכניות חלל ושאינן מספקות נתונים על GBAORD בתחום החלל-רוסיה, סין (סין העממית - להבדיל מטייוואן) והודו.



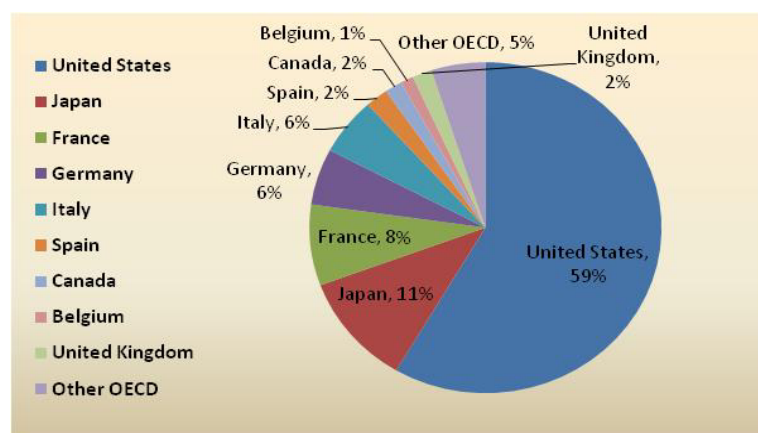
איור 10. תקציבים ממשלתיים למו"פ אזרחי בתחום החלל,
2006 (או שנה אחרונה), מיליוני דולר במונחי PPP.



מקור: OECD Statistics (2008)

ההוצאות הממשלתיות על מחקר ופיתוח בתחום החלל האזרחי ב-2006 הסתכמו במדינות OECD בכ-17.7 מיליארד דולר⁸⁰. איור 11 מציג את חלוקתן של הוצאות אלו בין מדינות הארגון.

איור 11. תקציב OECD במחקר ופיתוח בתחום החלל האזרחי לפי מדינות,
2006 (באחוזים).



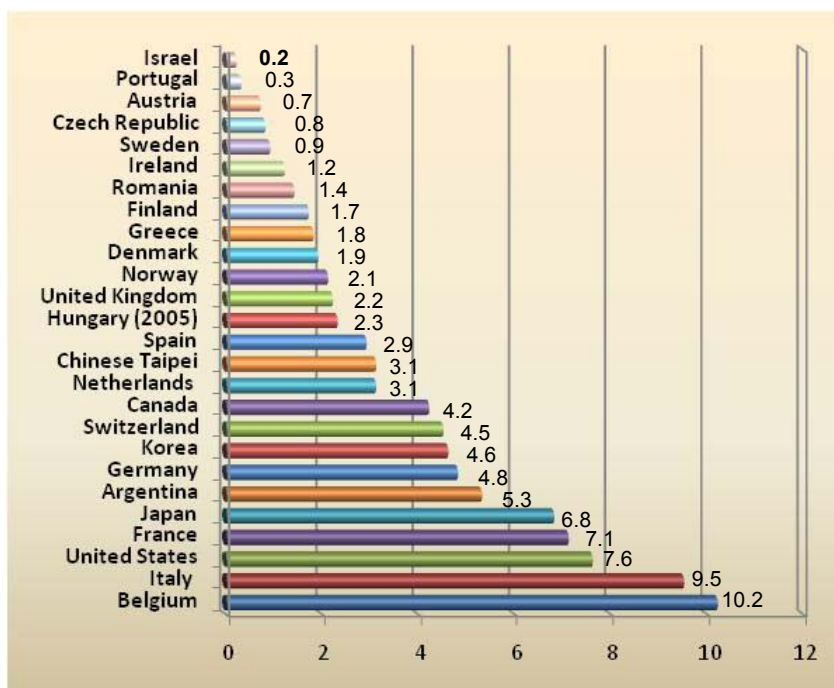
מקור: OECD Statistics (2008)

⁸⁰ <http://oecd-stats.ingenta.com>



ארה"ב מובילה בהוצאות למו"פ אזרחי בתחום החלל במונחים מוחלטים, ואילו במשקלן של תוכניות החלל בתקציב הממשלתי הכולל למו"פ אזרחי, הובילו ב-2006 בלגיה, איטליה וארה"ב (ראו איור 12).

איור 12. המשקל של תוכניות מו"פ בתחום החלל בסה"כ תקציב ממשלתי למו"פ אזרחי, 2006 (או שנה אחרונה), אחוזים.



מקור: OECD Statistics (2008)

6.3 השקעה ממשלתית בתחום החלל בישראל

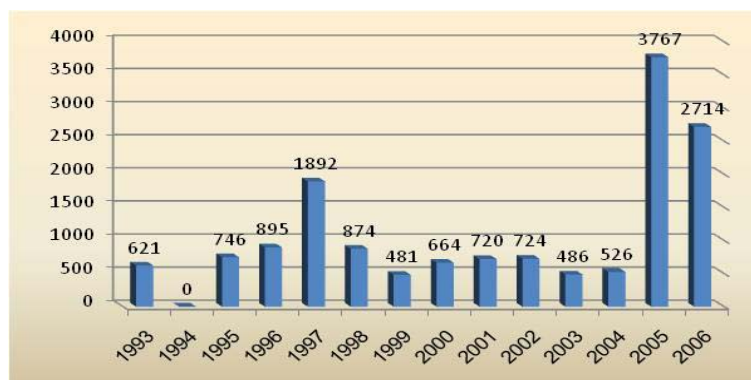
מדינת ישראל לא מפרסמת את הנתונים על תקציב החלל שלה. לפי מקורות זרים, ישראל משקיעה כ-50-60 מיליון דולר בשנה בתחום החלל. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מפרסמת מדי שנה את הנתונים על מימון מו"פ אזרחי על-ידי משרדי ממשלה לפי יעדים, שביניהם גם מו"פ בנושא חלל⁸¹.

התקציב הממשלתי למו"פ אזרחי בתחום החלל בישראל ב-2006 היה 2,714 אלף דולר⁸² (אלף, לא מיליון). תקציבים מקבילים במדינות אחרות (במיליוני דולר) - מוצגים באיור 10. איור 13 מציג את נתוני התקציב הממשלתי המוקצה למו"פ אזרחי בתחום החלל בישראל בעשור האחרון.

⁸¹ הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2008), לוח 10: מימון מו"פ אזרחי על ידי משרדי ממשלה, לפי יעדים 1997-2006
⁸² OECD Statistics (2008)



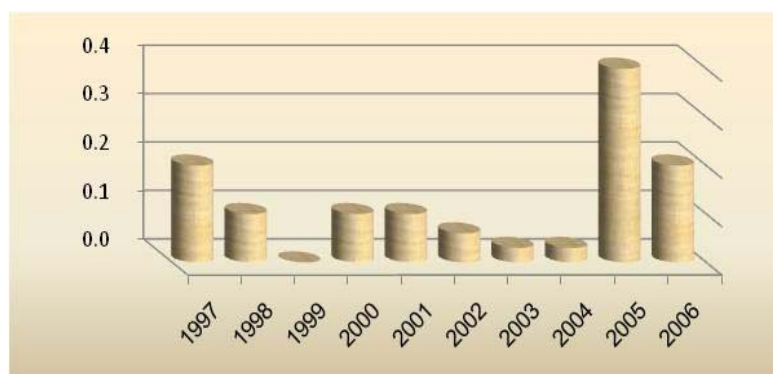
איור 13. תקציב ממשלתי למו"פ אזרחי בתחום החלל בישראל, אלפי דולר PPP.



מקור: OECD Statistics (2008)

איור 14 מציג את משקלן של תוכניות בתחום החלל בתקציב הממשלתי הכולל למו"פ אזרחי בעשור האחרון.

איור 14. משקלן של תוכניות מו"פ בתחום החלל בישראל בסיס תקציב ממשלתי למו"פ אזרחי, 1997-2006, אחוזים.



מקור: בסיס הנתונים של למ"ס

בשנת 2006 היה המשקל של תוכניות בתחום החלל בתקציב ממשלתי כולל למו"פ אזרחי 0.2% בלבד (נמוך בהרבה מאשר במדינות חלל אחרות, כפי שניתן לראות באיור 12), וברוב השנים הוא היה אף נמוך יותר - בין 0.0% ל-0.1%.

בכל קריטריון של השוואה, ההוצאה של ממשלת ישראל בתחום החלל קטנה בהרבה מההוצאה של מדינות אחרות החברות ב"מועדון החלל". לדברי ראש סוכנות החלל, פרופ' יצחק בן-ישראל, כל קבוצת המדינות שאליה אנחנו רוצים להשתייך, המערב במובן הקונספטואלי, כולל יפן ודרום קוריאה, משקיעות בין 0.05 ל-0.1 אחוזים מהת"ג שלהם במיזמי חלל אזרחיים (מובן שיש מדינות שמשקיעות הרבה יותר, כמו ארה"ב). לטענתו על ישראל להשקיע לפחות 120 מיליון דולר. זו השקעה כלכלית שתחזיר את עצמה. לדעתו של פרופ' בן-ישראל, השקעה של 120 מיליון דולר בשנה תשפר את



עמדותיה של ישראל בשוק החלל העולמי ותאפשר לה להשיג נתח שוק של כ-5 מיליארד דולר⁸³. אם ישראל רוצה לשמור על יכולותיה בתחום החלל, עליה להגדיל משמעותית את התקציב המופנה לנושאי חלל, ולהגדיר כלים לניהול מושכל של תקציב זה.

7. מדיניות חלל לישראל

7.1 סיבות להשקעות ממשלתיות בתחום החלל

מדינת ישראל הגיעה להישגים מרשימים בקנה מידה עולמי בנישוח מסוימות של תחום החלל. ישראל הקימה תעשיית חלל עם צבר הזמנות במאות מיליוני דולרים, מכוני מחקר ותשתית אקדמית. את ההישגים הללו ניתן לייחס במידה רבה להשקעות שנעשו בעבר על ידי מערכת הביטחון. התמונה כיום שונה. התפתחה בישראל תעשיית חלל אזרחית, ונדרשת הסתכלות חדשה על תחום החלל בישראל. תפקידה של הממשלה להמשיך ולהרחיב את התמיכה בתעשיית החלל, במחקר ובחינוך בתחום זה ובהכשרת כוח אדם מקצועי. מדינת ישראל צריכה לשמור על השגייה בתחום החלל, ולפתח את התחום מתוך ראיית החלל כאמצעי לקידום בהיבטים שונים של כלכלה, חברה ובטחון.

הסיבות להשקעות ממשלתיות בתחום החלל:

- צרכי הביטחון הלאומי.

פעילות בחלל ופיתוח עצמאי בתחום החלל מגדילים את היכולת האסטרטגית של מדינת ישראל. לדברי פרופ' חיים אשד: "הקשר שבין עוצמת החלל של ארה"ב לבין מעמדה, יכול ללמד על מעמדה האזורי של ישראל בהתאם לעוצמתה בחלל"⁸⁴. ממשלות ישראל פועלות לפי הדוקטרינה של בן-גוריון, שישראל חייבת להרתיע את שכניה. יש הרבה תחומים הרתעתיים שאינם ניתנים לפרסום, שעליהם אפשר רק לרמוז; עם חלל אין בעיה במובן זה. נוכחות בחלל מגבירה את העומק האסטרטגי של ישראל ומאפשרת לה איסוף מודיעין על מדינות אחרות מבלי להפר את ריבונותן. ישראל עצמאית בתחום המודיעין הודות ללוחיינים שמצלמים את שכנותיה, דבר שבמקרים רבים מהווה את הפתרון היחידי לקבלת מידע מודיעיני. היכולות בחלל משפרות את יכולות ההתקפה וההגנה. לישראל מערכת טילי חץ המספקת הגנה נגד טילי קרקע-קרקע. החלל מסייע בשימוש בחימוש מונחה מדויק (בנשק מסוג זה עשו האמריקאים שימוש נרחב במלחמת עיראק ב-2003). גם לתקשורת לוויינים יש חשיבות רבה מנקודת הראות הצבאית.

בעבודה של דגנית פייקובסקי "Space Technology, Patterns of Warfare and Force Build up: Between a Power and a Small State" (ENS Economics and National Security Program) של מוסד שמואל נאמן, הוצג ניתוח מעמיק של שינוי

⁸³ בליזובסקי, א' (2007).

⁸⁴ ציטוט לפי: צזנה, ר' (2008).



הדוקטרינות הצבאיות של ארה"ב ומדינות אחרות בעידן החלל. העבודה מספקת נתונים סטטיסטיים על תפקידן ההולך וגובר של טכנולוגיות החלל כחלק מהפעילות הצבאית. יכולותיה של ישראל בחלל עוזרות לה להתגבר על המגבלות הגיאוגרפיות שלה ולהשיג יתרונות אסטרטגיים בזירה האזורית.

● קידום התעשייה והכלכלה.

לדברי פרופ' חיים אשד, צרכיה של מדינת ישראל בתחום הביטחוני קידמו בצורה משמעותית את הטכנולוגיה ואת תעשיית ההיי-טק. תעשיית ההיי-טק קידמה את החינוך ואת האוניברסיטאות ובהמשך נדרשו יותר מדענים ומהנדסים ואלה, בתורם, קידמו את תעשיות ההזנק⁸⁵. פעילויות ישראל בחלל הזרימו למשק הון ממשקיעים זרים, יצרו מקומות תעסוקה והזמנות לתעשייה⁸⁶. טכנולוגיות החלל מהוות בסיס לפיתוח טכנולוגיות מתקדמות בעלות פוטנציאל מסחרי בתחומים אחרים של התעשייה, דבר שתורם לצמיחה כלכלית ולהעסקת כוח אדם ברמה גבוהה. תעשיית החלל מייצרת הון אנושי ותורמת לתעסוקה: ב-2002 היה היקף התעסוקה הישיר בתעשיית החלל ברחבי העולם כ-250,000 עובדים, ומספר דומה של עובדים הועסק בצורה הקשורה לתעשיית החלל באופן עקיף. גם בישראל אלפי משקי בית נתמכים על-ידי תעשייה זו. תעשיית החלל פותחת שווקים חדשים ואפשרויות חדשות לצמיחה כלכלית. מחקרים שנעשו בחו"ל מראים שלפעילות בחלל יש השפעה חיובית משמעותית על ענפים אחרים של המשק. כך, למשל, ממחקר שנערך על ידי ה-Euroconsult עולה כי 5 מיליארד אירו, שהושקעו ביצור ושיגור של לווייני תקשורת ב-2002, הביאו למכירות בהיקף של כ-100 מיליארד אירו בענף הטלקומוניקציה, בשנים שלאחר מכן⁸⁷.

● קידום המדע והטכנולוגיה.

פעילות בתחום החלל מסייעת בשדרוג הידע הטכנולוגי וביצירת מוקדי איכות להכשרת כוח אדם. מדע וטכנולוגיה הם המשאבים המרכזיים בכלכלת העולם, ובמיוחד בכלכלת ישראל. אין למדינת ישראל משאבים אחרים מלבד ההון האנושי שלה. טכנולוגיות החלל מקדמות מדע, הן דורשות רמה כללית גבוהה של פיתוח טכנולוגי במדינה ותורמות לפיתוח זה. למשל, חקר החלל היה אחד הגורמים המרכזיים שהשפיעו על מגמת המזעור באלקטרוניקה, שהולידה בין היתר את שבב המחשב. אין לדעת אם שבב המחשב היה מפותח בכלל, אלמלא היה בו צורך בחקר החלל וביישומים צבאיים.

⁸⁵ דברי פרופ' חיים אשד בישיבת ועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת 28 בינואר 2008.

www.knesset.gov.il/protocols/data/rtf/mada/2008-01-28-01.rtf

⁸⁶ העדרה של תשתית נתונים כלכליים על פעילות החברות הישראליות בתחום החלל, מונע מאיתנו את כימות ההשפעות הכלכליות של תעשיית החלל על המשק.

⁸⁷ Achache, J. (2006), OECD (2007).



ישראל היא מדינה מובילה בעולם בתחום ההיי-טק. כפי שהתבטא מנכ"ל חברת התקשורת סיסקו, ג'ון צ'מברס בכנס כלכלי בדאבוס בינואר 2008: "ישראל היא השפיץ של חוד החנית הטכנולוגי בעולם"⁸⁸.

- רוחת האזרח וטובת החברה.

פעילות בחלל באמצעות תרומתה לצבא ולכלכלה משפיעה על החוזק החברתי. הפיתוח של יכולות חלל והדרישה לעובדים בתחום זה מובילים להקמתן של תשתיות טכנולוגיות, מדעיות ואקדמיות, שמפתחות ושומרות על ההון האנושי. ההשקעה בתוכנית חלל ויצירת משרות מעודדות כוח עבודה איכותי להישאר בישראל.

יישומי החלל מסייעים לחברה המודרנית לענות על האתגרים שעומדים בפניה, כגון ניטור איכות הסביבה, בטיחות וביטחון, מעבר לחברת מידע, וכד'. אספקטים רבים של חיי היום-יום כגון חיזוי מזג האוויר, תקשורת, שידור טלוויזיוני, ניווט וכד' תלויים יותר ויותר בשימוש בטכנולוגיות החלל. חשיבות סוציו-כלכלית רבה יש ליישומי חלל רבים, כגון לימוד מרחוק, רפואה מרחוק וכד'. בדומה למערכות לאספקת מים ואנרגיה, גם מערכות החלל והשירותים שהם מספקים, נהפכו לדבר מובן מאליו, שבלעדיו החברה תתקשה לתפקד. התועלות העיקריות הנובעות מהשימוש במערכות חלל מתבטאות במונחים של מהירות בביצוע עסקות העברה, חיסכון בעלויות, שיפור בפירוק, הרחבת מגוון השירותים ושיפור באיכותם עבור המשתמש הסופי.

- שיפור המעמד הגיאופוליטי של המדינה וחיזוק הגאווה הלאומית.

יכולותיה של מדינת ישראל בתחום החלל והתשתיות הטכנולוגיות, המדעיות והאקדמיות, מוסיפות ליוקרה הבינלאומית של ישראל ותורמות לשיפור המעמד הבינלאומי והאזורי שלה. חקר החלל ותעשיית החלל יכולים לתרום לטיפול שיתוף פעולה בין-מדינתי וקשרים דיפלומטיים. תוכנית החלל היא פרויקט יקר למדינה קטנה כמו ישראל, והפיתרון נמצא בשיתוף פעולה עם מדינות ידידותיות המעוניינות אף הן בטכנולוגיה כזו. היכולות המוכחות של ישראל בחלל הינן מקור ובסיס לשיתוף פעולה זה, שתורם לאטרקטיביות של הקשר עם ישראל עבור מדינות, שאינן בעלות יכולות עצמאיות בתחום החלל, אך מעוניינות ברכישת טכנולוגית חלל.

7.2 המעורבות הרצויה של הממשלה בתחום החלל

במסגרת ראיונות עם אנשי המפתח בתעשיית החלל, שאלנו מהי המעורבות הרצויה של הממשלה בתעשיית החלל ומהן המלצותיהם בנושא מדיניות החלל בישראל. תשובותיהם מרוכזות להלן יחד עם חומר רלוונטי ממקורות אחרים.

⁸⁸ דברי פרופ' חיים אשד בישיבת ועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת 28 בינואר 2008.
www.knesset.gov.il/protocols/data/rtf/mada/2008-01-28-01.rtf



7.2.1 גיבוש מדיניות חלל

- הקמת רשות לאומית מתאמת בנושא החלל. משרד הביטחון "לקח על עצמו" את הנושא עד היום, הוא הקים את התשתיות, הקים ודחף את התעשייה, והביא להקמת סוכנות החלל הישראלית (סל"ה) על ידי הממשלה. חשוב מאוד להפוך את החלל גם לנחלת הגופים האזרחיים: משרד המדע, משרד התמי"ת, משרד התקשורת, משרד החוץ, משרד החינוך, ומשרד התשתיות. גוף ממשלתי זה (הרשות הלאומית, מנהלת החלל) צריך להיות קשור למערכת הביטחון, אבל לא נשלט על-ידיה. האינטרסים של התעשייה ושל מערכת הביטחון לא תמיד זהים, ועל כן יש צורך בגוף שיספק מבט-על ברמה לאומית, נקי מהאינטרסים הצרים של כל סקטור. הרשות המתאמת בראיה לאומית של נושא החלל צריכה לאגד את הפעילויות המדעיות, הביטחונית והמסחרית. אפשר לתת את התפקיד הזה לסל"ה ולהציבה לשם כך תחת משרד ראש הממשלה.
- הקמת מועצת חלל שתכלול אנשי אקדמיה, תעשייה וביטחון, שתנסח מדיניות חלל לאומית.
- המלצות לגבי סל"ה:
 - מרואיינים הצביעו על הצורך בהגדלה משמעותית של תקציבה וסמכויותיה. סל"ה צריכה לקבוע מדיניות (לגבי ונוס, למשל) ולבצע מו"פ בסיסי בתחום החלל בהיקף שמתאים למדינה שחברה במועדון החלל העולמי.
 - המלצה נוספת של אחד המרואיינים – "להעביר את סל"ה למשרד התשתיות: חלל הוא תשתית לאומית וחייבים להשקיע בה, כמו בתשתית הכבישים". נראה לנו שיש בזה היגיון מסוים, אך בהינתן יכולותיו ותקציביו של משרד זה, המלצה זו נראית מאוד מסוכנת לעתיד תעשיית החלל בישראל.
- פיתוח תוכנית חלל כוללת ורב-שנתית. אנשי תעשיית החלל ממליצים להכריז על החלל כעל פרויקט לאומי, ובהתאם לספק תקציבים, לשגר לוויינים טכנולוגיים ולעודד צעירים לפנות ללימודי מדעים וטכנולוגיה.
- שיתוף פעולה בין פרויקטים אזרחיים וצבאיים מקובל מאוד בעולם, ופרויקטים גדולים רבים (כגון GPS, גליליאו, GMES) בחלל משמשים לצרכים צבאיים ואזרחיים כאחד. בישראל שיתוף פעולה אזרחי-צבאי בתחום החלל קיים בתחום התצפית (לווייני ארוס) ואפשרי גם בתחומים נוספים- בתחום התקשורת למשל. יש צורך לעודד שיתוף פעולה בין המגזרים הצבאי והאזרחי. לדוגמה, כיום אין שימוש ברוב המסלולים של לוויינים צבאיים. הלוויינים מצלמים רק כאשר הם עוברים מעל האזור שלנו. ניתן למכור למדינות אחרות צילומים שנעשו כאשר הלוויינים נמצאים מעל אזורים שאינם מעניינים את מערכת הביטחון של ישראל. יש לעודד יצירת שותפויות ממשלתיות ופרטיות - PPP - Public Private Partnership.
- גיבוי ממשלתי לעסקים בשוק החלל העולמי - יש דוגמאות רבות לאופן שבו מעורבות ממשלתית עוזרת לחתום על עסקאות. לדוגמה, בצ'ילה היה מכרז שבו זכתה חברה צרפתית כי שרת ההגנה



הצרפתית הגיעה ונתנה לצייליאנים הצעה שלא יכלו לסרב לה. ממשלות צרפת וארה"ב עומדות באופן מלא מאחורי תעשיית החלל בדחיפה שיווקית. במדינת ישראל זה לא המצב.

בתעשיית החלל יש חשיבות רבה לייצוא. השוק המקומי אינו יכול לספק את "המסה הקריטית" ואת התמיכה הנדרשת לתעשייה צומחת. התעשייה הביטחונית של ישראל מתבססת במידה רבה על ייצוא, ואין סיבה לכך שגם בתעשיית החלל לא יהיה שיעור ייצוא גבוה⁸⁹.

כמו כן, מומלצת הגדלה משמעותית של מעורבות משרד התמ"ת בתמיכה ועידוד של תעשיית החלל: שילוב תעשיית החלל בתוכניות כמו מגנט ומגנטון תוך תיאום עם משרד הביטחון, יצירת מנגנונים יעילים לשיתופי פעולה בין התעשיות בתחום החלל ותעשיות מסקטורים אחרים, כדי להביא לשימושים נוספים של טכנולוגיות שמפותחות בסקטורים השונים.

7.2.2 תמיכה בשיתופי פעולה בין לאומיים

- שיתופי פעולה בין לאומיים נחוצים ביותר לתעשיית החלל ממספר סיבות⁹⁰:
- הרחבת בסיס הפעילות על-ידי השתתפות בתוכניות מדעיות. דוגמה טובה לשת"פ הוא פרויקט ונוס. צרפת ביקשה לבנות לוויין יחד עם ישראל. לפי ההסכם שנחתם, הישראלים בנויים את הלוויין והצרפתים את המצלמה. הלוויין נבנה בתעשייה האווירית וחלקית ברפא"ל, ובסופו של דבר, גם ההזמנה למצלמה רב ערוצית הגיעה לחברה ישראלית - לחברת אל-אופ⁹¹.
 - הרחבת בסיס הידע - מדינת ישראל איננה מסוגלת לייצר את כל הידע הנדרש לפיתוח יישומי חלל שונים. רצוי שלאוניברסיטאות יהיו שיתופי פעולה בתחום החלל עם אוניברסיטאות ממדינות זרות.
 - הרחבת הבסיס לשיתופי פעולה מסחריים בעתיד - שיתופי הפעולה מכניסים את תעשיית החלל הישראלית לקהילה הבין-לאומית, מפתחים קשרים וידע ופותרים אותה לעולם.
- ההמלצה העיקרית בתחום זה היא שישראל תצטרף לתוכנית ARTES של ESA. מדינת ישראל צריכה ליצור סביבת רגולציה אופטימאלית שמעודדת פעילות בתחום החלל בישראל דרך שיתופי פעולה בינלאומיים.

7.2.3 תמיכה במו"פ בתחום החלל

- מימון ממשלתי ארוך טווח - כדי לפתח טכנולוגיות שיהפכו להיות מעשיות בעוד מספר שנים, מדענים זקוקים למימון ממשלתי ארוך טווח.

⁸⁹ Halsband, A. (2007).

⁹⁰ ibid

⁹¹ <http://www.hayadan.org.il/wp/ben-israel-on-space-program-0509076>



- השקעות ממשלתיות במו"פ - העדר מימון אינו מאפשר לממש את הפוטנציאל שיש בישראל בתחום החלל. זה תחום שמאפיינים אותו סיכונים גבוהים, השקעות כבדות לאורך זמן ותשתיות מאד יקרות. עד היום, להוציא את משרד הביטחון, מדינת ישראל השקיעה פירורים לאורך השנים, ובעיקר בתחום אחד של לווייני צילום. זה לא מספיק, יש צורך להשקיע בטכנולוגיות נוספות. לדברי ראש תכנית החלל במערכת הביטחון, פרופ' חיים אשד, ישראל חייבת להשקיע יותר בצד הטכנולוגי, במחקרים בתחום חומרים חדשים לחלל, בנושאי מבנים מסתגלים לחלל, בתחומי התקשורת לחלל ובחלל, וכמובן בחומרי הנעה שמשמשים לשיגורים לחלל. בכל אחד מהתחומים האלה ישראל משקיעה היום סכומים זעומים לעומים בלבד⁹².
- תמיכה באוניברסיטאות/באקדמיה - כמעט כל המחקר בישראל מתבצע באוניברסיטאות. אין בישראל מכונים לאומיים, מעבדות ואת שאר תשתיות המחקר שקיימות במדינות אחרות. אוניברסיטאות המחקר חייבות תמיכה ממשלתית. האקדמיה בישראל בעשור האחרון נמצאת בדעיכה רבתי. תפקיד האוניברסיטה התחלף מייצור ידע ללימוד תלמידים ורמת הלימודים נמצאת בירידה.
- תמיכה במחקרים הנעשים בטכניון- מדובר בכספים לא גדולים, מליון עד שני מליון שקל לפרויקט, כדי לעודד מחקרים בנושאים רבים כגון הנעה יונית, שינוי במסלולים, פרויקטים של סטודנטים, בניית מיקרו לוויין. יש בזה תועלת, לא רק למו"פ אלא גם לפיתוח התודעה, לפרסום בעיתונות ליצירת הד תקשורת, ולמשיכת הנוער למקצועות חלל. בסכום אפסי אפשר להשיג מכפילים אדירים בכל ההיבטים הללו.
- עידוד שיתופי הפעולה בין התעשייה והאקדמיה- אנשי תעשיית החלל ציינו שהם מרוויחים משיתוף פעולה עם חוקרים מהאקדמיה במסגרת המאגדים של תוכנית "מגנט". הם ציינו פרויקטים שנערכו בשיתוף פעולה עם חוקרי מכון ויצמן, הטכניון, אוניברסיטת תל-אביב ואוניברסיטת באר-שבע. שיתוף הפעולה הזה נמצא כמועיל לשני הצדדים.

7.2.4 כ"א מקצועי

- ההמלצה העיקרית בנושא הינה לתת אפשרות לאנשים שרוצים לעבוד בתחום החלל "לא להיפגע חזק מדי מבחינה חומרית", לדברי אחד המרואיינים. תעשיית החלל לא יכולה להתחרות בהיי-טק בנושא השכר, אבל מצד שני, בתעשיות הממוקדות בצרכים לאומיים, קיים אתגר שהיי-טק לא יכול לספק. צריכים להפוך את תעשיית החלל ליותר אטרקטיבית על ידי יצירת אפשרויות לתגמל את העובדים בצורה טובה יותר ולהתאים את המשכורות לרמות השכר בהיי-טק, לפחות באופן חלקי.

⁹² דברי פרופ' חיים אשד בישיבת ועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת 28 בינואר 2008.
www.knesset.gov.il/protocols/data/rtf/mada/2008-01-28-01.rtf



- למשוך צעירים לעבודה בתחום החלל - מקומות תעסוקה בתעשיית החלל אינם נתפסים כמקומות אטרקטיביים לצעירים. מצד אחד, התחום מצית את הדמיון אך מצד שני, המהנדסים מהר מאד מגלים שדווקא בשל כל מיני הגבלות, הקשורות בבטיחות, אמינות וכד', קשה לקדם רעיונות.

7.2.5 הכשרה מקצועית

תחום החלל מרכז מקצועות שונים. מהנדסי אלקטרוניקה הם חלק ניכר בקרב המועסקים בתעשיית החלל וביחד עם אנשי תוכנה מהווים כ-50% מכוח האדם בתחום.

אין בישראל הכשרה מאורגנת בנושא החלל; נושא החלל נלמד בטכניון, בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל. מכון אשר בטכניון, שפעילים בו חברי סגל מפקולטות שונות, עוסק במחקר ולא בהוראה. חוקרי המכון מנחים סטודנטים לתארים מתקדמים. בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, ישנם רק חברי סגל בודדים שמתמחים בחלל (ביניהם פרופ' משה גלמן ופרופ' פני גורפיל). בטכניון אין תוכנית מלאה בנושא חלל, הסטודנטים מקבלים הכשרה בתחומי האווירונאוטיקה והחלל, כשבפועל לתואר ראשון יש מספר מצומצם של קורסים: קורס אחד חובה (3 נקודות) בנושא חלל ו-3 קורסי בחירה. מקסימום הנקודות שסטודנט לתואר ראשון יכול לצבור בתחום החלל הוא 12 נקודות מתוך 160 נקודות לתואר ראשון. יש מספר סטודנטים לתואר שני ושלישי שלומדים יותר קורסים בנושאי חלל (קורסים של הנעה ומסלולים). נושא החישה מרחוק אינו נלמד בטכניון, אלא נלמד באוניברסיטאות אחרות בישראל: אוניברסיטת חיפה, אוניברסיטת בן-גוריון ואוניברסיטת תל-אביב.

סטודנטים בשנה האחרונה ללימודיהם בטכניון בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל עושים פרויקט גמר- טילי, מטוסי או חללי. שליש מהסטודנטים בוחרים בנושא החללי. בכל מחזור סטודנטים יש 6-12 סטודנטים שמעורבים בפרויקט לתקופה של סמסטר אחד או שניים (ההשתתפות בפרויקט נותנת 6 נקודות). להבדיל מאוניברסיטאות בחו"ל, בטכניון משתתפים בפרויקטים חלליים רק סטודנטים מהפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל. בחו"ל לוקחים חלק בהם סטודנטים מתחומי המחשבים, חשמל, תקשורת וכו', לכן הפרויקטים בחו"ל הם רציניים יותר. אוניברסיטאות בחו"ל מעלות לחלל לוויינים באופן קבוע, וכל הפקולטות משתתפות בזה - הן מייצרות מטעדים או מיני-מטעדים ללוויינים אלו. פירותיה של פעילות זו מגיעים בסופו של דבר גם לתעשייה.

כרבע מהסטודנטים הנרשמים לפקולטה מעוניינים לעסוק בנושאי חלל, אך פחות מ-10% מהבוגרים מועסקים בתחום החלל. הרוב מועסקים בתחומים אחרים, בפרט בתחום הטילים. בתעשייה האווירית, בוגרי תואר שני מקבלים שכר גבוה יותר בתחום הטילים מאשר בפרויקטים הקשורים לחלל, ולכן הבוגרים נוטים לעסוק בתחום זה.

התעשייה מעוניינת לקלוט בעיקר בוגרי תואר שני. לעתים קרובות מעסיקים בתעשייה בוגרי תואר ראשון מכיוון שאין מספיק בוגרי תואר שני (הדרישה לבוגרי תואר שלישי היא הנמוכה ביותר). הביקוש לבוגרי הפקולטה בתעשייה גדול יותר מההיצע. לכן בחברות כדוגמת אלביט, אלאופ, תע"א ורפא"ל ממשיכים את הכשרת המהנדסים. ברוב המקרים ההכשרה העיקרית נעשית במקום העבודה.



רוב אנשי התעשייה הדגישו שלבוגרי הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל יש יתרון משמעותי בהשוואה לבוגרים בתחומים אחרים. שמענו גם דעה אחרת, שלפיה אין בישראל פעילות חלל גדולה וענפה שמצדיקה מסלולי חלל באקדמיה; קשה לתכנן תוכנית לימודים שתקיף הכול; ככל שהטכנולוגיה יותר מתקדמת, צריך ללמד יותר את הבסיס; ההצלחה של ישראל בלוחמים הגיעה הודות להצטיינות בתחומים הבסיסיים ולא ממרכז החלל באקדמיה; תפקיד האקדמיה הוא להכשיר את הדור הבא של המהנדסים, לתת כלים מתמטיים, יכולות, הבנה הנדסית.

ההמלצות בנושא ההכשרה המקצועית הן:

- חיזוק האוניברסיטאות בישראל, ושיפור בהוראת פיזיקה, מתמטיקה, הנדסה ומקצועות אחרים הקשורים לתחום החלל
- עידוד שיתופי הפעולה בין תעשייה ואקדמיה, שגם סטודנטים מעורבים בהם ונהנים מהם.



8. סיכום

דו"ח זה הוא הדו"ח המסכם במסגרת המחקר להערכת ההשפעה של תעשיית החלל על כלכלת ישראל. נהוג למדוד את ההשפעה של ענף מסוים על המשק במונחי תוצר ותעסוקה. את המודלים העיקריים להערכת ההשפעה הענפית על המשק הצגנו בדו"ח "מדדים לפעילות בתחום החלל"⁹³.

אין לנו נתונים על ערכיהם של המדדים העיקריים בתחום החלל במדינת ישראל, יש רק הערכות של גורמים שונים, וגם לא תמיד ברור איזו פעילות הם מייחסים לתעשיית החלל. למשל, לפי הערכה של זאב רותם מחברת רותם אסטרטגיה, שניתנה בישיבת ועדת הכנסת, מחזור מכירות שנתי של מדינת ישראל בתחום החלל נע בין 500 ל-600 מיליון דולר; מחצית מהסכום הולך לתעשיות הביטחון במונחים של מכירות שנתיות, בערך 40 אחוזים לחברות תקשורת, כמו גילת, ועשרה אחוזים לחברות שירותים כמו אימאג'יסט (פרוטוקול מס' 19 מישיבת ועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת, 18 ביולי 2006). קיימות הערכות שונות גם לגבי תקציב החלל הממשלתי; על פי מקורות זרים, ישראל משקיעה בין 50 ל-60 מיליון דולר בשנה בתוכנית החלל שלה⁹⁴. בדו"ח זה הבאנו מספר הערכות והמלצות של פרופ' יצחק בן ישראל. בציטוט הבא הוא מתייחס לנושא הערך המוסף של תעשיית החלל: "אני רוצה שישאל תעסוק בחלל ולא בתעשיות המסורתיות, אומר בן ישראל. לדבריו, הערך המוסף של תעשיית החלל כפול אף מזה של ההייטק: חברות התעשייה הטכנולוגית מוכרת בעולם סדרי גודל של 200-250 אלף דולר בשנה לעובד. בתעשיות החלל הממוצע הוא 500 אלף דולר"⁹⁵.

בקשנו לקבל מחברות העוסקות בתחום החלל בישראל נתונים על פעילותן בתחום זה. במהלך הראיונות נתקלנו בסירוב מצד כמעט כל החברות לספק נתונים כלכליים על פעילותן (אפילו הנתונים הבסיסיים ביותר). מאחר ולא קבלנו את הנתונים, לא יכולנו לבצע ניתוחים כלכליים כמותיים. לכן, עשינו ניתוח איכותי של תעשיית החלל בהיבטיה השונים.

עבודת המחקר סוכמה ב-6 דו"חות. להלן, יובאו הדו"חות הללו והממצאים העיקריים שלהם.

- הדו"ח הראשון דן במעמדה המחקרי של ישראל בתחומי הנדסת חלל על פי נתונים ביבולומטריים בהשוואה למדינות אחרות. הממצאים העיקריים: ישראל מדורגת במקום הראשון במספר הפרסומים לנפש, מחקרי ישראל בהנדסת אוויר-חלל מדורגים במקום הראשון בעולם במדד קדימות התחום ובמקום החמישי באיכות הפרסומים.
- בדו"ח השני רוכזו נתונים עיקריים על הפעילות שקשורה בחלל - בארץ ובעולם - במונחים כמותיים וכספיים, מהיבט מבני (ענפי תעשיית החלל) ועסקי (מידע שיטתי ומגוון על חברות העוסקות בתחום).

⁹³ ג, ד. ואחרים, (2007). מדדים לפעילות בתחום החלל והשפעותיהם הכלכליות.

⁹⁴ OECD (2004).

⁹⁵ בליזובסקי, א' (2007).



- הדו"ח השלישי - "מדדים לפעילות בתחום החלל" - מציג אינדיקטורים מקובלים (OECD) של ענף החלל, ומעלה נושאים מתודולוגיים רלבנטיים.
 - הדו"ח הרביעי מוקדש למודלים עסקיים בתעשיית החלל. המודל העיקרי שאנחנו מציגים הוא מודל של שותפות ציבורית - פרטית, שנעשה יותר ויותר נפוץ בעולם. מודל זה רלבנטי במיוחד לתוכניות חלל בעלות רמה טכנולוגית ו/או סיכוני שוק גבוהים.
 - ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל נעשה בדו"ח החמישי. הדו"ח מציג ומנתח תוצאות של סקר בין החברות וראיונות עם גורמים המעורבים בתעשיית החלל ובפעילות החלל בארץ. המסקנות העיקריות מהניתוח: לתעשיית החלל של ישראל יש יתרונות טכנולוגיים, נקודות חוזק ארגוניות וכלכליות. ניתוח נקודות החולשה של התעשייה מגלה כי הקשיים נובעים בעיקר מ"היבטים ביטחוניים" ומהיקפה הקטן של תעשיית החלל בארץ. יש גם קשיי כוח אדם, קשיים הנובעים ממדיניות בנושאי החלל, וקשיים אחרים. אנשי תעשיית החלל הביעו את דעתם על ההזדמנויות של תעשיית החלל ועל איומים עליה. נותחו שינויים ומגמות עיקריים בתעשיית החלל בישראל ותחזיות לגבי שינויים ומגמות. המרואיינים הציעו כיוונים טכנולוגיים להמשך התפתחותה של תעשיית החלל בישראל.
 - הדו"ח הנוכחי, השישי, מוקדש בעיקר למדיניות בתחום החלל (עידוד תחום החלל בארץ ובמדינות אחרות, המעורבות הממשלתית הרצויה בתחום החלל בישראל, תרומת תחום החלל לחינוך הטכנולוגי בישראל) ולתחום החלל מנקודת הראות של מדענים.
- הידע שצברנו במוסד שמואל נאמן במהלך המחקר על תעשיית החלל בישראל היווה חלק מהחומר ששימש להכנת אחד הפרקים במסמך "ישראל 2028 - חזון ואסטרטגיה כלכלית חברתית בעולם גלובלי". מסמך זה, שחלק נכבד ממנו נכתב על ידי מוסד נאמן, הוגש לאחרונה לראש הממשלה ונדון בממשלה. אנחנו מקווים שהידע והמומחיות בנושא תעשיית החלל, שנצברו במוסד נאמן, ימצאו גם שימושים נוספים.



ביבליוגרפיה

- בליזובסקי, א' (2006). *לראשונה בישראל: בגרות במדעי החלל*. אוחר בתאריך 30 לנובמבר 2008. <http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3208318,00.html>
- בליזובסקי, א' (2007). להשקיע 200 מיליון דולר בשנה בחלל. <http://www.ifeel.co.il/page/3831>
- בליזובסקי, א' (2008). *חייבים להלהיב את הנוער לנושא החלל*. אוחר בתאריך 30 לנובמבר 2008. <http://www.hayadan.org.il/wp/to-excite-the-youth-in-space-2901086/>
- גץ, ד., זלמנוביץ', ב., כצמן, א., סגל, ו., פייקובסקי, ד., אבן-זוהר, י. (2007). *מדידים לפעילות בתחום החלל והשפעותיהם הכלכליות*. מוסד שמואל נאמן, טכניון, חיפה.
- גץ, ד., זלמנוביץ', ב., כצמן, א., סגל, ו., פייקובסקי, ד., אבן-זוהר, י. (2007). *מודלים עסקיים בתעשיית החלל*. מוסד שמואל נאמן, טכניון, חיפה.
- גץ, ד., זלמנוביץ', ב., כצמן, א., סגל, ו., פייקובסקי, ד., אבן-זוהר, י. (2008). *ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל*. מוסד שמואל נאמן, טכניון, חיפה.
- גץ, ד., זלמנוביץ', ב., כצמן, א., סגל, ו., פייקובסקי, ד., אבן-זוהר, י. (2007). *נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם*. מוסד שמואל נאמן, טכניון, חיפה.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2008). *ההוצאה הלאומית למחקר ופיתוח אזרחי 1989-2006*. ירושלים, אדר א' תשס"ח. http://www.cbs.gov.il/publications/mop06/pdf/h_print.pdf
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה - בסיס הנתונים <http://www.cbs.gov.il/publications/mop06/pdf/t10.pdf>
- ילו נ' (2008). *השמיים הם לא הגבול*. אוחר בתאריך 30 לנובמבר 2008. http://c3.ort.org.il/Apps/WW/page.aspx?ws=ae466ecb-cf97-419c-b96d-20087ad1af8f9ad1&page=cd3ea023-0f2d-4daf-8a06-db2b32d43ea7&fol=8a7cb9a3-d243-4269-a5b0-bb2812275357&box=75d07ac6-bea3-4f40-8a0d-e0b7fe856a78&pstate=item&_item=bce2d15b-aa5f-48af-96da-22ed17c90fb5
- ענבר, ט' (2008). *כחול ולבן בחלל*. סדרת כתבות באתר "הידען". <http://www.hayadan.org.il/wp/blue-and-white-in-space-3009086>
- פייקובסקי, ד. (2005). *ישראל בחלל: נייר עמדה*. אוניברסיטת ת"א.
- פרוטוקול מס' 75 משיבת ועדת המדע והטכנולוגיה יום שני, כ"א בשבט התשס"ח (28 בינואר 2008) ישיבה מיוחדת לציון יום השנה החמישי לפטירתו של אלי"מ אילן רמון ז"ל <http://www.knesset.gov.il/protocols/data/rtf/mada/2008-01-28-01.rtf>
- פרוטוקול מס' 1226 משיבת הוועדה לענייני מחקר ופיתוח מדעי וטכנולוגי שהתקיימה ביום ג', ב' באדר א' התש"ס, 8 בפברואר 2000, בשעה 13:30 - התפתחות חקר החלל בישראל ומדיניות הממשלה בקידום
- צונה, ר' (2008). *שדה הקרב העתידי – בחלל*. מאמר באתר "הידען" 26 ביולי 2008. <http://www.hayadan.org.il/wp/future-battlefield-260708>
- רבין, י. (1979). *פנקס שרות*. הוצאת מעריב: תל אביב. עמ' 497



שני, נ' (2008). *מגמות ומקצועות חדשניים בחינוך ההנדסי-טכנולוגי-מדעי*. אוחר בתאריך 30 לנובמבר 2008.

http://c3.ort.org.il/Apps/WW/page.aspx?ws=ae466ecb-cf97-419c-b96d-7ad1af8f9ad1&page=cd3ea023-0f2d-4daf-8a06-db2b32d43ea7&fol=8a7cb9a3-d243-4269-a5b0-bb2812275357&box=75d07ac6-bea3-4f40-8a0d-e0b7fe856a78&_pstate=item&_item=cf9cad49-f870-4d55-89aa-78f43540ab46

שירות הידען (2008). *תלמידים במרכז למדעים בהרצליה יבנו ננו לוויין*. אוחר ב-30 בנובמבר 2008. <http://www.hayadan.org.il/wp/highschool-nanosat-herzelia-050108230>

אתר האינטרנט של אגודת החלל הישראלית <http://www.space.org.il>

אתר האינטרנט של אוניברסיטת החלל הבין-לאומית <http://www.isunet.edu>

אתר האינטרנט של אונסקו
http://www.unesco.org/science/earth/space_education/sepdisciplines.shtml

אתר האינטרנט של הטכנודע - גבעת אולגה <http://www.technoda.org.il>

אתר האינטרנט של הידען- מדע וחלל בישראל: <http://www.hayadan.org.il/israelsat.html>

אתר האינטרנט של התעשייה האווירית: <http://www.iai.co.il>

אתר האינטרנט של מדעטק - המוזיאון הלאומי למדע וחלל <http://www.madatech.org.il>

אתר האינטרנט של מועדון החלל על שם אילן רמון ז"ל
<http://www.see.org.il/hebrew/Index.asp?CategoryID=355&ArticleID=121>

אתר האינטרנט של מכון אשר בטכניון: <http://www.technion.ac.il/ASRI>

אתר האינטרנט של מכון פישר למחקר אסטרטגי, אוויר וחלל:
<http://www.fisherinstitute.org.il>

אתר האינטרנט של סוכנות החלל האירופאית <http://www.esa.int/edu>

אתר האינטרנט של סוכנות החלל האמריקאית <http://education.nasa.gov/>

אתר האינטרנט של סוכנות החלל הישראלית:
http://www.most.gov.il/index.php/he/naaadaau_aecii_aeeuoeaieu/eaaoeei

אתר האינטרנט של פרויקט "פרחי מדע" <http://www2.kinneret.ac.il/bloss/about.htm>

אתר האינטרנט של רפא"ל: <http://www.rafael.co.il>

Achache, J.(2006), *Les sentinelles de la Terre*, Hachette, Paris.

ASD – Eurospace (2008). *The European Space Industry in 2007*
<http://pagesperso-orange.fr/eurospace/fandfreport2008web.pdf>

Bierett, R. (2007), *Presentation for Telecom Info Days 2007*, European Space Agency, ESTEC, April.



Christensen, C. (2008). *Overview of the Space Industry*. Presentation on the Space Investment Summit, May 28, 2008.

Commission of the European Communities (2003). *Space: a new European frontier for an expanding Union*. An action plan for implementing the European Space policy.
http://www.globalsecurity.org/space/library/policy/int/eu_white-paper_nov2003.pdf

Comstock, D.A and Lockney, D. (2007). *NASA's legacy of technology transfer and prospects for future benefits*. AIAA space 2007 conference & exposition, California.

Dun and Bradstreet (2008). *Dun's 100 Israel's Largest Enterprises, 2008*
<http://duns100.dundb.co.il/ts.cgi?tsscript=/2008e/e59a1>

Euroconsult (2005). *The world space industry: Back in the big time*.
<http://www.euroconsult-ec.com/news.php?ref=36>.

Euroconsult (2006). *Strategic issues for the FSS business* . http://www.euroconsult-ec.com/pdf_news/synthese-ws2-financial-community-final-4a.pdf.

European Commission, (2007). *Impact assessment of the European Space Policy*, draft. Brussels. http://ec.europa.eu/enterprise/space/doc_pdf/impact_ass_summary_en.pdf

Foust, J.(2008). *If You Build It, Who Will Come? Identifying Markets for Low-Cost Small Satellites*. Presentation on the 22nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, August 11.

Futron (2004). *Satellite Manufacturing: Production Cycles and Time to Market*.
<http://satelliteonthenet.co.uk/white/futron6.html>.

Futron (2008). *State of the Satellite Industry Report*.

Halsband, A. (2007). *Israel's Space Industry: it's History, Present and Future Forecast*. Israel Aerospace Industries, February 2007.

Haubold, H.J. (2003). *Education Curricula in space science and technology: the approach of the UN-affiliated regional centers*. Space Policy 19, 221-223.

Kries, W. (1999). *Dual use of satellite remote sensing. Global network*.
<http://www.space4peace.org/ethics/dusrs.htm>

NASA (2006). *Aeronautics and Space Report of the President, Fiscal Year 2005 Activities*.

NASA (2008). *Fiscal Year (2009) Budget Estimates*
http://my.nasa.gov/pdf/210019main_NASA_FY09_Budget_Estimates.pdf

OECD (2004). *Space 2030 - Exploring the Future of Space Application*. OECD Publication Service. Paris.

OECD (2005) *Space 2030, Tackling Society's Challenges*. OECD Publications. Paris.



- OECD (2007). *The Space Economy at a Glance*. OECD Publications. Paris.
- OECD Statistics (2008): <http://oecd-stats.ingenta.com/OECD/TableView/tableView.aspx>
- Pelton, J.N. (2004). *Satellite security and performance in an era of dual use*.
satjournal.tcom.ohiou.edu/pdf/issue6/pelton.pdf
- Pelton J.N.; Johnson, R. & Flournoy D. (2004). *Needs in Space Education for the 21th century*.
Space Policy 20, 197-205.
- Pujol, C.; Montgobert C.; Nunez Benito, F. (2006). IAC-06-E1.02: *Space Education: it is time to scale up!*
- Pundak, D., & Pustilwnik L. (2006). *Space & Astronomy education programs in Israel*
National Science Educational Center "Blossoms of sciences" and project "ASTROTOP"
in Israel.
- Raitt, D. (2006). *Benefiting Society: ESA's Successful Technology Transfer Programme*.
European Space Agency, 2005. Technology transfer.
- S. Neaman Institute, Asher Space Research Institute. (1988) *Civilian Space Applications. Israel's Role. Proceedings of the International Workshop*. Haifa: S.Neaman Press.
- Sandau, R.(2007) *Potential of Small Satellites*. The Global Magazine for Geometrics. May 2007. Volume 21, Issue 5.
- Shain, Y., Ben Israel, I., Paikowsky, D., Eshed, C., & Pedatzur, R. (2005). *Israel in Space*.
Tel-Aviv workshop for Science Technology and Security.
- Shawcross, P. (2006) The U.S. Government Space Budget.
http://www.secureworldfoundation.org/siteadmin/images/files/file_173.pdf
- Space Foundation (2006). *The Space Report. The Guide to Global Space Activity*.
<http://www.TheSpaceReport.org>
- Space Foundation (2007). *The Space Report. The Guide to Global Space Activity. 2007 Update*.
<http://www.TheSpaceReport.org>
- Space Foundation (2008). *The Space Report. The Guide to Global Space Activity*.
<http://www.TheSpaceReport.org>
- Starzyk, J. (2006). *Futron's 10th Global Satellite Capacity Demand Forecast*. http://www.futron.com/pdf/resource_center/conference_presentations/Starzyk%20-%20ISCe.pdf.
- Steinberg, G.M. (1998). *The impact of dual-use aspects of high resolution commercial observation satellites in the Middle East*. The Geospatial Resources Portal.
<http://faculty.biu.ac.il/~steing/index.shtml>
- Taitt, D. (2007). *ESA's Technology Transfer Programme: Benefits, Applications, Opportunities*.
SineQuaNet Workshop , Frascati, Italy



The Space Industry (2007). The Industrial College of the Armed Forces. National Defense University, Washington, D.C.

Top 50. Space Industry Manufacturing and Services (2007). *Space News*, August, 6.

Trash T.A (2004). *Space Education and Public Relations: What Goes Up Must Stay Down*

U.S. Department of Commerce (2006). *Apogee and Perigee: Analysis of the U.S. Aerospace Industry* http://trade.gov/static/aero_rpt_Apogee_and_Perigee_2006.pdf

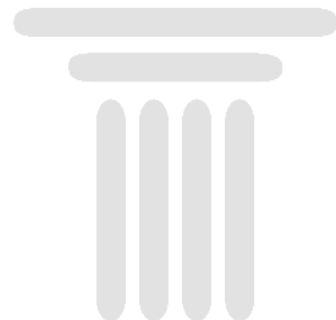
U.S Department of Labor. Bureau of Labor Statistics (2008). *Engineers, Life & Physical Scientists and Related Occupations in Occupational Outlook Handbook 2008-09 Edition*. Retrieved June 10, 2008 from <http://www.bls.gov/oco/reprints/ocor003.pdf>





רשימת הדו"חות של פרויקט החלל.

1. 2007 : מעמדה המחקרי של ישראל בתחומי הנדסת חלל על פי נתונים ביבליומטריים בהשוואה למדינות אחרות.
2. נתונים על תעשיית החלל בארץ ובעולם.
3. מדדים לפעילות בתחום החלל והשפעותיהם הכלכליות.
4. מודלים עסקיים בתעשיית החלל.
5. 2008 : ניתוח מגמות ומאפיינים של תעשיית החלל.
6. דו"ח מסכם על חקר השוק והמדיניות בתחום החלל.



ד"ר דפנה גץ, עמיתת מחקר בכירה, מוסד שמואל נאמן. בעלת תואר שלישי במדעים. נושאי מחקר עיקריים: הערכת מו"פ, ניהול מו"פ, מדיניות מו"פ, קידום טכנולוגיות חדשות, קשר בין אקדמיה, תעשייה וממשלה.
daphne@sni.technion.ac.il

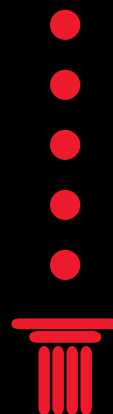
ארקדי כצמן, חוקר, מוסד שמואל נאמן. בעל תואר שני בכלכלה. נושאי פעילות עיקריים: הערכת תוכניות מו"פ והיבטים כלכליים אחרים של מו"פ, תעשיית החלל ומדיניות בתחום זה, כלכלת ישראל (השתתפות בהכנת הדו"ח "ישראל 2028").
arkady@sni.technion.ac.il

בלה זלמנוביץ, מידענית, מוסד שמואל נאמן. בעלת תואר שני במידענות. נושאי פעילות עיקריים: - כוח אדם מדעי וטכנולוגי והשפעת החלל על כלכלת ישראל.
bella@sni.technion.ac.il

דגנית פייקובסקי, עמיתת-מחקר בבית הספר לממשל ולמדיניות באוניברסיטת תל אביב, משלימה בימים אלה עבודת מחקר לתואר שלישי במדיניות חלל.
deganit.paik@gmail.com

ורד סגל, חוקרת, מוסד שמואל נאמן. בעלת תואר שני במדעי ההתנהגות, נושאי פעילות עיקריים: הערכה של תוכניות מו"פ, ומדיניות חדשנות ונוו טכנולוגיה.
vered@sni.technion.ac.il

יאיר אבן זוהר, מידען, מוסד שמואל נאמן. בעל תואר שני במידענות, עוסק במחקרי ביבליומטריה ובמאגרי מידע.
yair@sni.technion.ac.il



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה
טל. 04-8292329, פקס. 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 32000
www.neaman.org.il