

”וּבִתְחִילָתָהּ עָשָׂה מְלַחְמָה” (משלי כ', י"ח)

פיתוח מערכות לוחמה אלקטרונית ברפאל

ד"ר יואל צפירי

כתבה 27 בסדרת כתבות על תולדות רפאל בעריכת ד"ר ראובן אשל

התועלת המופקת משימוש במערכות לוחמה אלקטרונית (ל"א) בעימותים צבאיים באה לידי ביטוי כבר במלחמת העולם השנייה. במערכה המכונה "הקרוב על בריטניה" נחסכו חייהם של אלפי אזרחים ונמנעו נזקים עצומים ברכוש כאשר כתוצאה מהפעלת חסימות ל"א חכמות נגד המפציצים הגרמניים ביוני 1942 ירד אחוז הפגיעות במטרות על אדמת בריטניה ל-13% בלבד לעומת 50% לפני כן, בטרם הבריטים המציאו ויישמו את שיטת ה"ל"א הזאת.

דוגמה נוספת לתועלת של מערכות ה"ל"א ניתן להביא ממלחמת יום הכיפורים. בעקבות פיענוח מזורז של מערכות שלל של האויב, כדוגמת מערכות טילי קרקע-אוויר מסוג SA-3, פותחה ברפאל והוכנסה לשימוש חיל האוויר מערכת הגנת ל"א עבור מטוסים שתוקפים אזורים מוגני טילים (אמ"טים) של האויב. כתוצאה מכך פחת בממוצע פי עשרה שיעור היפגעות מטוסים מטיילי האויב. כך, בתקיפת אמ"ט על ידי 30 גיחות של מטוסים ללא הגנת ל"א הצליח האויב להפיל 10 מטוסים, ואילו במקרה של שילוב הגנת ל"א - הופל מטוס אחד בלבד!

אז מהי לוחמה אלקטרונית ואיך היא פועלת?

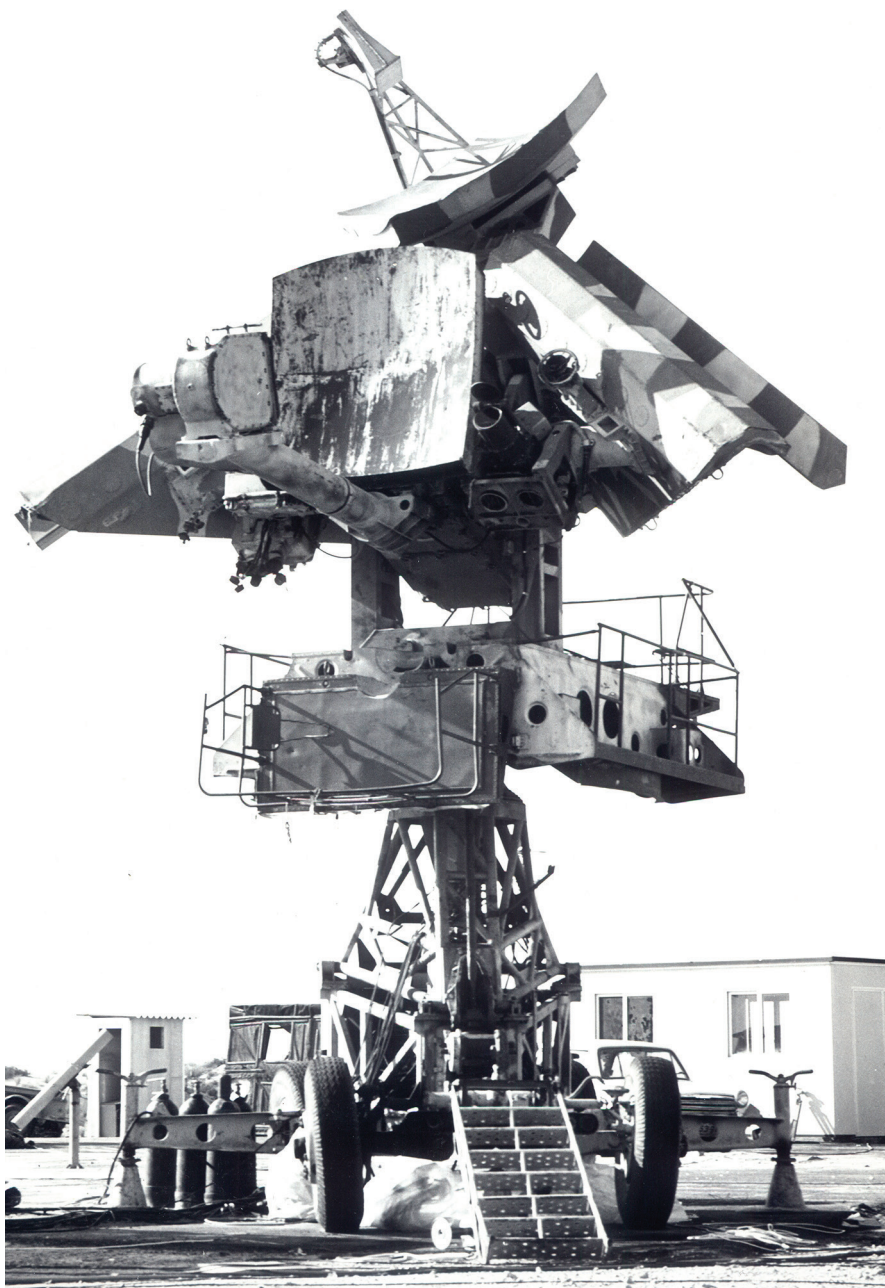
באופן כללי ניתן להגדיר את הלוחמה האלקטרונית כעוסקת בתחומים הבאים:

- **התקפה** - ניצול הספקטרום האלקטרומגנטי על מנת לפגוע בכשירות המבצעית של מערכי ומערכות האויב עד להוצאתם מכושר פעילות מבצעית;
- **שיבוש** - ניצול הספקטרום האלקטרומגנטי לשיבוש מערכות ל"א התקפיות של האויב;
- **הגנה** - חיסון של ציוד, מכשור, מתקנים וצוותים שלנו מפני התקפות ל"א של האויב.

פעילות ה"ל"א הינה מחזורית: לכל אמצעי חדש, מפתח הצד הנפגע אמצעי-נגד, וחוזר חלילה. פעילות מחזורית זו הינה מאתגרת מאוד, אך מצד שני גם "בלתי נגמרת".

ראשית דרכו של פיתוח ל"א ברפאל

הרעיון להכניס את תחום הלוחמה האלקטרונית (ל"א) כקו פעילות מחקרית ופרייקטית עצמאי



איור 1: מכ"ם עקיבה ופיקוד של טילי קרקע-אוויר SA-3



איר 2: סיפוק מהצלחת ניסוי של קריעת חוג העקיבה של טיל (1973) (מימין לשמאל: מפקד ח"א - האלוף בני פלד, רלצ"ד ח"א - תא"ל יוסף מעיין, מנכ"ל רפאל - ד"ר זאב בונן)

במלחמת יום כיפור באופן מוחלט מפני כ-60 טילי ים-ים מונחי מכ"ם שירו עליהם המצרים. זאת על ידי רקטות אשר פיזרו מוץ להטעיית הטילים ששוגרו על ידי האויב כנגד ספינותינו.

הקמת תשתית הסימולציה של לוחמה אלקטרונית (סמל"א)

במאמציו לזכות בהכרה בערך המבצעי של עבודתו בתחום הל"א, סיעו לנו באופן משמעותי מתקני סימולציה של ל"א שרכשו בארה"ב והוקמו כיחידה נפרדת ברפאל - שטח סמל"א (אשר לימים הפך למוקד ידע לאומי) וכמובן הצלחות מבצעיות וכושר תגובה מהירה לאיומים בלתי צפויים שבאו לידי ביטוי, לדוגמה, בפיענוח שלל על ידי רפאל וחיל האוויר עוד במהלך המלחמה, ותוצאות הפיענוח אפשרו לנו לפתח אמצעי נגד מתוחכם ויעיל בתגובה מהירה (ראה איורים 1, 2).

סמל"א אפשרה לבדוק את האפקטיביות של מערכות ל"א שונות על ידי סימולציית תרחישי קרבות תוך שילוב מכלולים בנויים עם דימוי ירי טילים והטסת מטוסים באמצעות תוכנה ייעודית שפותחה בסמל"א.

חשיבות הכרת האיום ופיתוח מערכת ל"א מותאמת כנגדו!

כפי שהדבר נכון לגבי כל סוגי הלוחמה, כך גם כשמדובר בל"א - הצלחת הפעילות מותנית, בראש ובראשונה, במודיעין איכותי, מקיף ומדויק ככל שניתן להשיגו, כאשר כאן הכוונה היא כמובן למודיעין המתייחס למערכות שפועלות בתחום הספקטרום האלקטרומגנטי (א"מ):

- לגבי מערכות התקשורת, פעילות המודיעין מכונה Communications Intelligence-Comint

- שיפור הדיוק של מוצא כיוון מוטס בתחומי תדר מיקרוגוליים: דרוש שיפור בסדר גודל לעומת הדיוק שהושג אז, שהוא מעלות בודדות. מסתמן היישום של השיטה האינטרפרומטרית, שבה רכש תחום תג"ם-מכ"ם ידע וניסיון במסגרת פיתוח ובנייה של מערכת אינטרפרומטר קרקעית עבור שדה ניסויים של חיל האוויר "שור", בעלת דיוק גבוה מאוד. ואכן בהמשך הוזמנו ופותחו מערכות מוטסות עבור חיל האוויר - "גביעון" ו"גביעי" - המבוססות על עקרונ פועולה זה.

- חסימת מערכת פיקוד של הטיל SA-2. מערכת זו מבוססת על שידור צופן מסובך שלא היה ידוע על כל פרטיו. העבודה חייבה מחקר מערכת, במטרה לפענח תחילה את השיטה שבשימוש ולאחר מכן להציע שיטת חסימה יעילה.

- הטעיית מכ"ם עקיבה מאיר של מערכת הטיל SA-2. מוצע לתכנן ולבנות מערכת המכונה Range Gate Stealer - RGS, שבאמצעותה ניתן יהיה להוציא את המכ"ם העוקב אחר הטיל והמטרה ממצב "נעילה" ולא לצו לעבור למצב "חיפוש" ועל ידי כך לשבש את פעילותו ולמנוע ממנו להנחות את הטיל אל עבר המטרה.

- פיתוח ובניית חוסמים מוטסים כנגד מערכות מכ"ם וקשר בתחומי תדר שונים מ-70 עד 200 מגה-הרץ ובהספקים מ-50 ועד 500 ואט.

יש לציין שבמקביל לפיתוח הקשרים עם חיל האוויר, פותחו בשטח הנעה של רפאל, במחצית השנייה של שנות השישים, אמצעי לוחמה אלקטרונית פסיביים-מתכלים עבור ספינות חיל הים, שסופקו והותקנו בסטי"לים והגנו עליהם

ברפאל החל עוד בשנות השישים של המאה הקודמת.

כבר בראשית הדרך התגלה קושי בלתי צפוי, שנבע מעצם המאפיינים של מערכות הל"א: בניגוד לטילים ולנשק מקובל אחר, שפגיעתם במטרה נראית לעין, לא ניתן להדגים בניסוי מערכת ל"א פגיעה במטרה, כי שום דבר אינו מתפוצץ ושום מטרה לכאורה אינה נפגעת. מכאן עולה השאלה מהי תועלתן של מערכות הל"א וכיצד ניתן להעריך אותה?

לסוגיה זו התייחס מי שהיה בזמנו קצין קשר ראשי, נספח צה"ל בווינגטון ולימים מנכ"ל רפאל ומנכ"ל משרד הביטחון, ישעיהו (יישי) לביא שכתב בין היתר:

"...הפעולה במדיום חדש - של האנרגיה האלקטרומגנטית - עדיין לא התקבלה בצה"ל כממד רביעי של לוחמה בנוסף לממדים הקלאסיים של יבשה, אוויר וים... הקשיים בהכרה באמצעי אלקטרוני כנשק, ולא כגורם מסייע, נעוצים לדעתי בעובדת היות הנשק והאפקט שלו רעיון מופשט - שאי אפשר להיווכח בו ישירות על ידי אחד מחושי האדם, אלא על ידי 'אמצעי תרגום' כגון מקלטים, אמצעי תצוגה וכו'".²

היה אפוא צורך להשקיע מאמצים ניכרים בשכנוע מקבלי ההחלטות, גם במערכת הפנימית ברפאל וגם אצל הגורמים המאשרים תקציבים והתקשרויות במשרד הביטחון, בחשיבותה ובתועלתה לצה"ל של פעילות בתחום הל"א בישראל בכלל, וברפאל בפרט.

הרמה המקצועית הגבוהה שאליה הגיעה רפאל כבר בשנות השישים הקנתה לה באותה תקופה יתרון תחרותי על פני מוסדות פיתוח אחרים וסייעה בשכנוע מזמינים בכוח ובפועל למסור דווקא לנו את הזמנותיהם. ב-1964 החליט ראש תחום תג"ם-מכ"ם, בעידודו ובתמיכתו של מנהל רפאל דאז, מר מוניו מרדור³, להזמין לביקור ברפאל את רס"ן יוסף נאור, מי שהיה אז ראש מדור ציוד ל"א במפקדת חיל האוויר וחלוץ-יוזם של פעילות הל"א בחיל. נאור וצוותו התרשמו מהכושר ומהכישורים של רפאל בנושאי מיקרוגולים, קומוניקציה, מחשבים, תג"ם-מכ"ם ואחרים. נאור השתכנע שראוי לנסות ולהזמין אצלנו פרויקטי ל"א שעמדו באותה עת על הפרק בחיל האוויר.

אחת הסיבות העיקריות שהניעו את רס"ן נאור לשקול את הזמנת הפרויקטים בתחום הל"א ברפאל הייתה היחשפותו בביקור לקשת הרחבה של תשתיות טכנולוגיות שפותחו ונבנו במחלקות קומוניקציה, תג"ם-מכ"ם ומחשבים, כגון: רכיבים מודפסים רחבי סרט, רכיבי SAW- (Surface Acoustic Waves), תת-מערכות שידור וקליטה, עיבוד אותות, Spread Spectrum, כמו גם התשתית בתחום האלקטרומגנטיות - אנטנות מתקדמות, נושאי התפשטות גלים, תאימות אלקטרומגנטית, ובשטח מחשבים - מערכות חישוב מתקדמות, תוכנה ועוד.

בשלהי 1964 ערכו ראש תחום תג"ם-מכ"ם וד"ר יעקב זיו ביקורי גומלין בח"א, ובמסגרתם נדונו גם נושאי פיתוח בתחומי הל"א⁴:

1. ד"ר יואל צפיר היה ראש שטח מכ"ם ול"א בשנות השישים ובהמשך הקים וניהל את חטיבת אלקטרוניקה בשנות השבעים. ביוזמתו הוכנס תחום הל"א כקו פעילות מחקרית ופרויקטית ברפאל.
2. ישעיהו לביא, "הלוחמה האלקטרונית בצה"ל", מסמך לוועדת פרס ביטחון, 30.1.1968 עמ' 1, 4.
3. מוניה מרדור, רפאל"ל בנתיבי המחקר והפיתוח לביטחון ישראל, הוצאת משרד הביטחון, פברואר 1981, עמוד 376.
4. יואל צפיר, מכתב אל ד"ר שמואל מרחב וד"ר אלכסנדר שני, מתאריך 13.11.1964.
5. יואל צפיר, פיתוח מערכות דופלר ואינטרפרומטר- דו"ח החמ"ר CD 05749, 94, מתאריך 25.12.2005.
6. דוד הלמן, יעקב מגד וישראל זירמן, "לוחמה אלקטרונית בזירה הימית באמצעות התקנים מתכלים אבשלום ואמנון", רפאל שלנו, גיליון 21, ספטמבר 2012, עמ' 45, 46.

על מנת לפתח שיטת ל"א שתצליח לחדור דרך ה"חלונות" ולשבש על ידי כך את חוג העקיבה של מערכת האויב, דרושה הכרת מרב פרטיה הטכניים של מערכת זו.

תיאור הממחיש את פעולתה של מערכת הל"א, שפיתוחה מבוסס על המידע שהוזכר לעיל ושמצליחה "לכופף" את מסלול הטיל כך שתיפגע פגיעתו במטוס שלנו, מובא באיור 2.

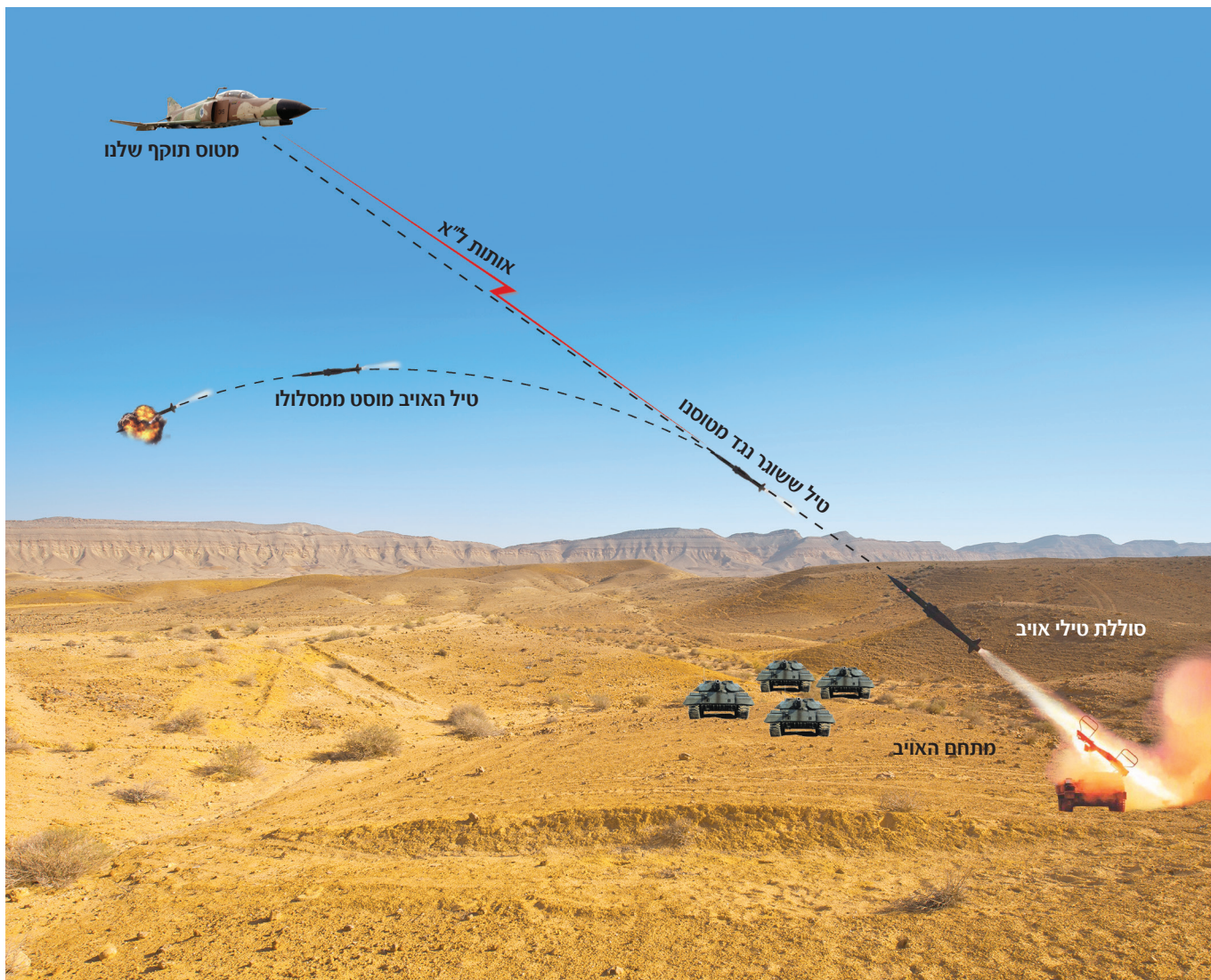
רפאל נהגה לאמץ את הפסוק: "ובתחבולות עשה מלחמה" כמאפיין את פעילותנו בתחום הפיתוח והייצור של מערכות שנועדו לספק את צורכי הביטחון של המדינה. אין משפט המתאים יותר על מנת לאפיין את פעילות הל"א ובמיוחד את זו שהתנהלה ומתנהלת גם בימינו אלה ברפאל.

● לגבי מערכות מכ"ם, זע"ט, טילים, פעילות המודיעין מכונה Electronic Intelligence-Elint

להשלמת התמונה ראוי עוד לציין שבשנים האחרונות צמחה והתרחבה פעילות הל"א, הקיפה תחומים נוספים וקיבלה כינויים מורחבים.

המידע הדרוש למפתחי מערכות הל"א רחב בהרבה ממה שמספקת ידיעת החתימות הא"מ של האותות, ודרוש מידע גם על האופן שבו כל מערכת טילי קרקע-אוויר של האויב מעבדת את האותות ומפיקה מהם את הפונקציות הדרושות לביצוע משימתה המבצעית. למשל, מערכת הנחיה של טיל מונחה בשיטה אלקטרומגנטית מיישמת שיטת עקיבה שכוללת, כאמצעי הגנה בפני ל"א, מה שמכונה "חלונות": "חלון הטווח" ו/או "חלון המהירות". חלונות אלה מגנים על חוג העקיבה בפני הפרעות הל"א שמולו, אשר נועדו לשבש את יכולת פגיעתו במטרה.

"הרמה המקצועית הגבוהה שאליה הגיעה רפאל כבר בשנות השישים הקנתה לה באותה תקופה יתרון תחרותי על פני מוסדות פיתוח אחרים וסייעה בשכנוע מזמינים בכוח ובפועל למסור דווקא לנו את הזמנותיהם"



איור 3: תיאור סכמתי של מערכת ל"א המונעת פגיעת טיל אויב במטוס תוקף שלנו