

פצצות אלקטרומגנטיות

יהושע קליסקי, אייקי חזן | 7 באוגוסט, 2025

פצצות אלקטרומגנטיות (א"מ) הן נשק מבוסס על קרינה אלקטרומגנטית בתחום גלי המיקרו, עם פוטנציאל הרסני למערכות אלקטרוניות כולל מערכות תקשורת, מערכות בקרה, מחשבים ומערכות חשמל, עד כדי שיתוק של מערכות ביטחון, כלכלה ובריאות. לנשק המבוסס על פצצות א"מ יתרונות מובנים הנובעים מיכולת פעולה במהירות האור, פשטות הפעלה, כיסוי נרחב של מטרות ויכולת פעולה בכל תנאי סביבה ומזג אוויר. קיימים מספר סוגים של פצצות א"מ וניתן לשגרן ממערכות שונות כגון טילי שיוט, כטב"מים, חימוש המשוגר מכלי טיס וסוגים מסוימים של משגרי רקטות וארטילריה. פצצות אלו מהוות סיכון הן בממד היבשתי והן בממד החלל. על מדינת ישראל להיערך בדחיפות להתמודדות עם איום מתפתח זה, בפרט ביכולות ההגנה על תשתיות לאומיות חיוניות. במקביל, עליה לשקול פיתוח יכולות התקפיות מסוג זה כרכיב הרתעתי ומשלים ליכולות הקיימות.

רקע

פצצות אלקטרומגנטיות (א"מ) הן נשק אנרגיה מכוונת (directed energy weapon), המבוסס על שימוש בגלים אלקטרומגנטיים ומטרתו לשבש ולהשמיד מערכות אלקטרוניות. [הגלים האלקטרומגנטיים](#) הנוצרים מחממים חומרים מתכתיים, והשפעתם חזקה מספיק כדי לגרום נזק ולהתיך את המוליכים המתכתיים במערכות חשמליות. גלים בעוצמות או הספקים נמוכים יכולים לשבש באופן זמני את המערכות, ואילו גלים בעוצמה גבוהה עלולים להרוס אותן. הנזק שנגרם מן השימוש בפצצות א"מ הוא ברוב המקרים אלקטרומגנטי ולא קינטי, כך שהן לא משאירות עקבות פיזיות ופוגעות במטרה ללא נזק אנבי. גלי מיקרו בעוצמה גבוהה (HPM – High-Power Microwaves) הם גלים אלקטרומגנטיים בטווח תדרים של מגה-הרץ (מיליוני פולסים בשנייה) עד ג'יגה-הרץ (מיליארדי פולסים בשנייה). בדרך כלל, התחום המקובל לשימוש עבור פצצות אלקטרומגנטיות הוא של 1-300 ג'יגה-הרץ, ובהספקי שיא הנעים בטווח של בין 100 מגה-ואט ל-100 ג'יגה-ואט.

הגלים האלקטרומגנטיים פוגעים במערכות האלקטרוניות באמצעות "נקודות כניסה" (entry points) – דרך חיבור חיצוני כמו אנטנות שמחוברות למערכת, או דרך חיבור פנימי כמו כבלים,

¹ אייקי חזן – מתמחה בנושאי אסטרטגיה וקבלת החלטות, אוניברסיטת רייכמן, הרצליה.

חוטמים, קווי טלפון, פתחי אוורור וחלקי מיגון פגומים שמאפשרים גישה לחלקים הפנימיים של המערכות, וזרכם האנרגיה של הגל יכולה להיכנס. הגלים מסוגלים להשבית מגוון רחב של מערכות, כולל מערכות טלפוניה, תקשורת, חשמל ואבטחה, וכן לפגוע במכשירים אלקטרוניים כמו מחשבים, טלפונים ניידים ושעונים חכמים. הם יכולים גם [להשבית](#) כלי רכב וכן כלים צבאיים כמו מטוסים, כטב"מים, רחפנים, טנקים, ספינות ומערכות טילים. יתרה מכך, גלי המיקרו יכולים לחדור ולהשבית גם מתקנים צבאיים תת-קרקעיים דרך מערכות התקשורת, הכבלים והאנטנות המחוברים אליהם, ובכך להשבית מערכות פיקוד ושליטה ואף מתקנים גרעיניים. היתרונות הגלומים בנשק מבוסס גלי מיקרו הם בין היתר:

- יכולת פעולה במהירות האור (300 אלף ק"מ בשנייה).
- אפשרות שימוש בכל מזג אוויר, גם כאשר יש עננים, גשם, ערפל ואבק.
- אם קיימת השפעה אטמוספרית ניתן למזער אותה על ידי בחירת אורכי גל מתאימים.
- מבחינה מבצעית, מערכות התפעול, הכוונן והמעקב פשוטות יחסית, עקב ההתבדרות המרחבית הגדולה של הגל האלקטרומגנטי.
- יכולת השמדה סימולטנית של מספר מטרות עקב ההתבדרות והכיסוי המרחבי.
- הגל האלקטרומגנטי אינו מושפע מכוח הכבידה.
- לנשק מבוסס גלי מיקרו יש יכולת להשמיד או לשבש מטרות, תלוי בהספק ובתדר המופעל.
- נזק אגבי מינימלי, שכן טווח הנזק של פצצות אלקטרומגנטיות מוגבל בדרך כלל לרדיוס של מאות מטרים סביב נקודת הפגיעה. הנזק לבני אדם מוגבל לטווח של מטרים אחדים בלבד.

עד כה לא מוכר שימוש מבצעי בפצצות אלקטרומגנטיות לצורך השבתת מערכות אלקטרוניות. אף על פי כן, השימוש בנשק לצורך להשמדת מערכות אלקטרוניות התרחש בעבר, כאשר ארצות הברית השתמשה [בפצצות גרפיט](#) (המכונות גם Blackout Bombs) המסוגלות לשבש רשתות חשמל על ידי פיזור חוטי גרפיט שגורמים לקצרים במערכת החשמל, ללא גרימת נזק פיזי לתשתיות. השימוש הראשון בפצצות גרפיט תועד במלחמת המפרץ בשנת 1991, כאשר במהלכה ארצות הברית השביתה 85% מייצור החשמל של הצבא העיראקי. שימוש נוסף נעשה במלחמת קוסובו בשנת 1999, שהביא לקריסה של כ-70% מאספקת החשמל של סרביה. גם [קוריאה הדרומית](#) מפתחת פצצות גרפיט לשם נטרול מערכות חשמל, במקרה של עימות עתידי עם קוריאה הצפונית.

סוגי פצצות אלקטרומגנטיות

קיימות מספר דרכים וטכנולוגיות לייצור ולשימוש בפצצות אלקטרומגנטיות. [הדרך הראשונה](#) התגלתה במהלך הניסויים הגרעיניים המוקדמים שביצעו מדענים אמריקאים בשנות ה-40 של המאה הקודמת. הם גילו שאם מפוצצים פצצה גרעינית בגובה רב (לפחות 30 ק"מ), הפיצוץ מייצר כמות עצימה של פולסים אלקטרומגנטיים (EMP), אשר מייצרים שדה חשמלי שמשבית את האמצעים האלקטרוניים בטווח רחב של מאות עד אלפי קילומטרים, תלוי בגובה הפיצוץ. מאמר זה אינו עוסק בפולסים אלקטרומגנטיים כתוצר של פיצוץ גרעיני.

בעקבות הגילוי של פעימה אלקטרומגנטית כתוצר נלווה לפיצוץ גרעיני, נערכו מחקרים רבים שחקרו את מנגנוני ההשפעה של פולסים אלקטרומגנטיים, שבהמשך הובילו להמצאה של [פצצות אלקטרומגנטיות לא-גרעיניות](#). בשונה מפצצה גרעינית, [הטווח](#) שלהן קצר יותר ואינו עולה על קילומטר אחד. כיום יש ליותר מ-20 [מדינות](#) תוכניות לפיתוח פצצות אלקטרומגנטיות לא-גרעיניות, ביניהן ארצות הברית, סין ורוסיה. עקרון הפעולה של סוגים מסוימים של פצצות אלקטרומגנטיות לא-גרעיניות מבוסס על שיטה פשוטה יחסית מבחינה טכנית, שמופיעה בספרות האקדמית הפומבית, כך שלפי ההערכות כל מדינה עם תשתית טכנולוגית מפותחת יכולה לייצר. נהוג [לסווג](#) את השימוש בפצצות אלקטרומגנטיות לא-גרעיניות לשני סוגים: פצצות בעלות פס תדרים רחב ופצצות בעלות פס תדרים צר. מרבית הפיתוחים הטכנולוגיים כיום מתמקדים ביישומים של נשק בעל פס תדרים צר, שפיתוחו החל אחרי פיתוח נשק בעל פס תדרים רחב. לרוב יהיה ניתן להשתמש בנשק בעל פס צר פעמים מרובות, על ידי ירי גלי מיקרו ממקור חשמלי לאורך זמן ועבור מטרות ממוקדות. נשק מסוג פס תדרים צר פולט טווח תדרים מצומצם יותר, ועוצמת הגלים שלו גבוהה יותר בצורה ניכרת. נשק בעל פס צר פולט קרן ממוקדת בהספקים גבוהים (מאות ועד אלפי קילוואט לפולס), שפוגעת באופן מדויק במטרות. יש לו פוטנציאל שימוש רחב יותר – יכולת לירות מאות פולסים בשנייה ולייצר קרן כמעט רציפה, המאפשרת לפגוע במטרות רבות בפרק זמן קצר.

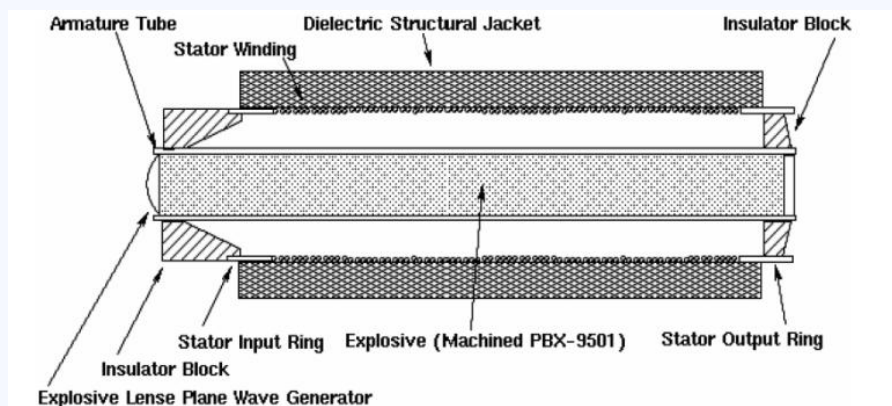
לעומת זאת, השימוש בנשק בעל פס תדרים רחב הוא כנגד מטרות שטח עם רכיבי אלקטרוניקה הפגיעים למגוון רחב של תדרים. המקור לנשק זה הוא חימוש מתכלה – פצצות או פגזי ארטילריה שניתנים להפעלה חד-פעמית. פצצות אלקטרומגנטיות בעלות פס רחב יוצרות כמות מרובה של פולסים אלקטרומגנטיים (EMP) בבת אחת, שמתפרסים לכל עבר ומשבשים ומנטרלים את כל המערכות אלקטרוניות באזור הפיצוץ. ככל שהפיצוץ קרוב יותר למערכות כך הוא משפיע עליהן יותר, לכן הוא חייב להיות סמוך למקור שאותו הוא מיועד לשבש. לגלים שנוצרים בעקבות הפיצוץ יש אנרגיה נמוכה יותר (עד עשרות ג'אולים לפולס), והם פחות משפיעים על בני אדם. ניתן לשגר פצצות אלו ממערכות רבות כגון טיל שיוט, כטב"ם, חימוש המשוגר מכלי טיס וסוגים מסוימים של משגרי רקטות וארטילריה.

שיטות לייצור פצצות אלקטרומגנטיות לא-גרעיניות

דחיסת שטף מגנטי

מדובר בשיטה לייצור פצצה אלקטרומגנטית לא גרעינית בתהליך של דחיסת שטף מגנטי (FCG - Flux Compression Generator) על ידי פיצוץ חומר נפץ. מדובר בהתקן גלילי, כאשר הסליל החשמלי והמגנט נמצאים בהיקף הגליל, ואילו חומר הנפץ נמצא בתוך הגליל. הפיצוץ גורם לשדה המגנטי שמוצר בפצצה, לרוב באמצעות סליל חשמלי נושא זרם, לקרוס ולהידחס באופן שגורם להגברת השדה המגנטי, ליצירת פולס חשמלי אנרגטי ומהיר, ועקב כך לפליטה מרובה של פולסים אלקטרומגנטיים בתדר של גלי מיקרו בעלי רדיוס התפשטות רחב.

תיאור סכמתי של מערכת מבוססת על תהליך של דחיסת שטף מגנטי:



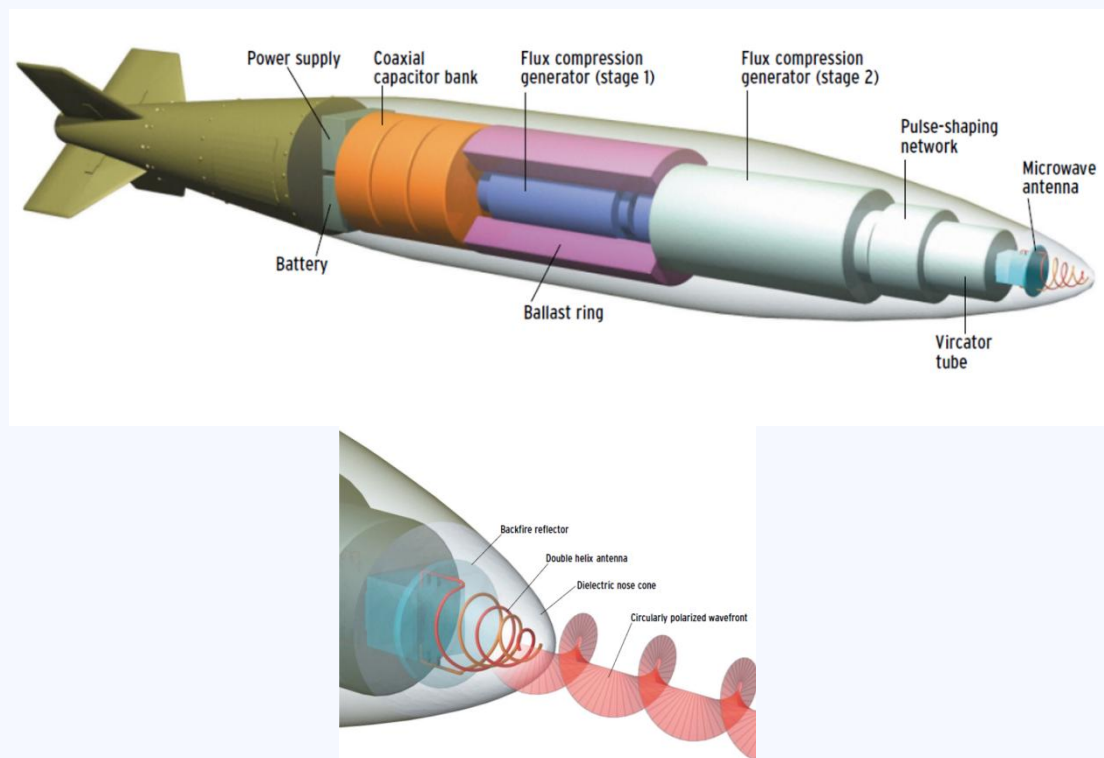
יצירת גלים אלקטרומגנטיים בשיטה מגנטית הידרו-דינמית: Magneto Hydrodynamic (MHD) generators

דרך נוספת לייצר פצצות אלקטרומגנטיות בעלת פס תדרים רחב היא שימוש בטכנולוגיה המבוססת על גנרטורים הידרו-דינמיים מבוססי פלזמה (MHD), המונעים על ידי חומרי נפץ או דלק. בגנרטורים הידרו-דינמיים יש מוליך שנע דרך שדה מגנטי ומפיק זרם חשמלי בכיוון ניצב לשדה ולתנועת המוליך. בגנרטורים המונעים על ידי חומרי נפץ או דלק המוליך הוא פלזמה (אטומים בעלי מטען חשמלי ואלקטרונים) של חומר נפץ מיונן או גז דחף. המטען החשמלי נאסף על ידי אלקטרודות שבאות במגע עם סילון הפלזמה. בתהליך זה של איסוף המטען החשמלי נוצרים פולסים אלקטרומגנטיים בתחום של גלי מיקרו.

מקור גלי מיקרו רבי עוצמה מחזוריים בתדר שנקבע לפי צורך מבצע

אחת השיטות המתקדמות לייצור גלי מיקרו מבוססת על התקן מיוחד הנקרא וירטואל קתוד (Virtual Cathode Oscillator). התקן זה ממיר אנרגיה חשמלית לגלי מיקרו בהספקי שיא גבוהים מאוד ובתדר שנקבע לפי הצורך המבצעי. הווירטואל גורם לתהליך של האצת אלומת

אלקטרוניים בזרם גבוה אל מול אנודה (התקן שאוסף אלקטרונים) מרושתת. האלקטרונים שעוברים דרך האנודה יוצרים בתנאים מסוימים בועת מטען חשמלי שנעה בתדר של גלי מיקרו שנקבע כרצוננו. שתי התצורות הנפוצות הן וירקטור צירי שיורה קרן ממוקדת, ווירקטור רוחבי שיורה קרן המתפזרת ברדיוס רחב יותר. האיורים הבאים מדגימים את [הרעיון של פצצה אלקטרומגנטית המבוססת על גלי מיקרו בעוצמה גבוהה](#).



מקור: [Dawn of the E-Bomb](#)

נזכיר כאן כי ניתן להשתמש בנשק המבוסס על מקור של גלי מיקרו לשימושים שונים מעבר לפצצות אלקטרומגנטיות (כמו למשל לצורך הגנה אווירית ושליטה בקהל), וניתן להתקין את כלל המערכות המבוססות על גלי מיקרו בעוצמה גבוהה על גבי פלטפורמות מגוונות כמו כלי רכב, ספינות, מטוסים, כטב"מים, טילי שיוט ומערכות קרקעיות שונות.

אופטימיזציה של יעילות הפצצה והנזק המרבי

כדי שהפצצה תוכל לגרום לנזק המרבי יש להביא בחשבון מספר גורמים המשפיעים על מאפייני הנזק, כגון סוג הפצצה, ההספק המופק מההתקן האלקטרומגנטי, משך הזמן של אנרגיית הפולס האלקטרומגנטי (בעגה המקצועית "הספק שיא"), והתאמת טווח תדרי הקרינה הא"מ לסוג הרכיבים שבהם מתכננים לפגוע, וזאת על מנת למקסם את יעילות הקרינה למטרות שונות או בהתקנים הפועלים בטווח תדרים רחב ומשתנה תוך גרימת נזק

מרבי. שיטה נוספת להגברת אפקט הקרינה הא"מ על המטרה היא תכנון מדויק של אנטנת שיגור הגל אל המטרה, מבחינת חומרי מבנה העמידים בהספקים גבוהים ובממדים שמתאימים לאורך הגל המשודר.

על מנת לפגוע ולגרום נזק למקבץ מטרות הנמצאות בתא שטח מסוים יש לבצע אופטימיזציה של גובה הפיצוץ: ככל שגובה הפיצוץ רב יותר, כך יגדל כיסוי השטח שבו נמצאות המטרות, אך מנגד יפחת הספק קרינת המיקרו של הפצצה הא"מ, ועל כן יש להביא בחשבון את פרמטר גובה הפיצוץ מול הנזק הנדרש.

בטבלה המסכמת להלן מתוארים סוגי הנזק הנגרמים על ידי נשק מבוסס על גלי מיקרו:

סוג הנזק	פירוט	תוצאה
שיבוש	שלילת יכולות הפעלת המערכת ללא גרימת נזק	אפקט באזור פגיעה מסוים וזמני בלבד
דגרדציה	שיבוש וגרימת נזק מינימלי למערכות האלקטרוניות, לעיתים נעילת המערכת	אפקט זמני, המערכת אינה פועלת בזמן נתון, יש לאתחל אותה ולעיתים לבצע תיקונים מזעריים כדי שתחזור לפעולה
נזק	פגיעה במערכות ובתת-מערכות על מנת לשתק את מערכות האויב לזמן מסוים	הפגיעה עלולה לגרום נזק קבוע או נזק ארוך טווח, תלוי ביכולת לתקן או להחליף רכיבים פגועים
הרס	פגיעה חמורה עד כדי הרס מוחלט	נזק מוחלט למערכות האויב, יש צורך בבנייה מחדש של מערכות ובהחלפת חומרה

סיכונים משימוש בפצצות אלקטרומגנטיות

סיכון בממד היבשתי

קיימים סיכונים רבים העולים משימוש בפצצות אלקטרומגנטיות (קונוונציונליות או גרעיניות) כאשר הן נופלות לידיים הלא-נכונות. מבחינה מתודולוגית אי אפשר להפריד בין אפקטים של EMP עקב פיצוץ גרעיני או נשק א"מ קונוונציונלי, אך מאמר זה מתמקד בנשק קונוונציונלי. הסכנה הקיצונית ביותר של פצצה א"מ עולה מ**מזוח** שפרסמה ועדת ביטחון המולדת של בית הנבחרים של ארצות הברית בשנת 2014. הדוח מציין תרחיש קיצון שבו כל רשת החשמל, המערכות האלקטרוניות והתשתיות החיוניות לקיום חיים בארצות הברית מושבתות לזמן ממושך עקב פצצה אלקטרומגנטית גרעינית או קונוונציונלית המופעלת מעל ארצות הברית, מה שיגרום לתמותה המונית. בשלב זה תרחיש מסוג זה רלוונטי פחות למקרה הישראלי, גם בשל היעדר יכולת של אויבותיה של ישראל להשיג פצצה אלקטרומגנטית גרעינית (למרות האיום הפוטנציאלי של הימצאות נשק גרעיני בידי איראן בעתיד, דבר העשוי לשנות מצב זה), וגם בשל העובדה שכל פיצוץ של פצצה א"מ גרעינית או קונוונציונלית מעל לישראל ישבית גם את המערכות האלקטרוניות ברדיוס נרחב במדינות נוספות מלבד אזורים נרחבים בישראל ובשכנותיה הקרובות, כגון קפריסין וכן חלקים מערב הסעודית, עיראק וטורקיה, ואולי חלק ממדינות אירופה באגן הים התיכון. כל זאת מעבר להשלכות האסטרטגיות של עצם השימוש בנשק גרעיני, גם כאשר אין מדובר בפיצוץ ישיר על הקרקע. סיכון נוסף שעולה בדוח הוא פיתוח פצצות אלקטרומגנטיות קטנות לא-גרעיניות בידי גורמים לא-מדינתיים, המתאפשר בשל הזמינות הרחבה של הטכנולוגיה. הדוח מציין כי טרוריסטים, פושעים ואפילו אנשים יחידים יכולים לבנות פצצות אלקטרומגנטיות קטנות ללא קושי או עלות גבוהה, תוך הסתמכות על תוכניות שאינן מסווגות וזמינות לציבור באינטרנט, ושימוש ברכיבים הזמינים בחנויות אלקטרוניקה רגילות.

מעבר לארצות הברית, גם רוסיה, סין וקוריאה הצפונית מחזיקות כיום **ביכולת** לבצע מתקפת EMP גרעינית. כולן **הכניסו** את השימוש בפצצות אלקטרומגנטיות לדוקטרינה הצבאית שלהן, ויש להן תוכניות מגירה או תרחישים שנבחנו בהקשר של שימוש בפצצות אלו נגד ארצות הברית. האיום הראשון של שימוש בפצצות אלקטרומגנטיות גרעיניות התרחש בשנת 1999, במהלך פגישה של משלחת רוסית עם משלחת קונגרס אמריקאית בווינה על רקע מבצעי נאט"ו ביוגוסלביה. ולדימיר לוקין, ראש המשלחת הרוסית והשגריר הרוסי בארצות הברית לשעבר, איים כי ביכולתה של רוסיה לשגר טיל גרעיני מצוללת ולפוצץ אותו בגובה רב, דבר שיגרום להרס רחב היקף של המערכות האלקטרוניות בארצות הברית. כמו כן, **מזוח** שפרסם כוח המשימה לאיומי EMP על הביטחון הלאומי וביטחון הפנים של ארצות הברית בשנת 2020 עולה כי סין יכולה להשתמש בפצצה אלקטרומגנטית גרעינית או קונוונציונלית

שתוכל לגרום נזק מהותי לתשתיות קריטיות אמריקאיות, ובכך לפגוע בצבא ובכלכלה של ארצות הברית. בין התשתיות שצוינו בדוח ניתן למנות מערכות תקשורת, תחנות כוח, מערכות מידע צבאיות ואף נושאות מטוסים. במקרה של קוריא הציפונית, אשר פיתחה את הטכנולוגיה בהתבסס על ידע שקיבלה ממומחים רוסיים, סוכנות הידיעות הממלכתית של המדינה [הצהירה](#) בגלוי כי יש בידי הצבא הצפון-קוריאני יכולת להשתמש בפצצת מימן בגובה רב כדי להשביט תשתיות אלקטרוניות בהתאם ליעדים האסטרטגיים של המדינה.

סיכון בממד החלל

יישום אפשרי נוסף של פצצות אלקטרומגנטיות הוא לצורך פגיעה ויירוט של לוויינים. הן עשויות לשתק חלק ניכר ממערך הלוויינים המסחריים והממשלתיים שעליהם מתבססת הפעילות היומיומית בכדור הארץ, החל משיחות סלולריות ותשלומים מקוונים ועד גלישה באינטרנט. גורמים בקהילת המודיעין האמריקאית [מסרו](#) ל-CNN בשנת 2024 כי רוסיה מפתחת פצצה אלקטרומגנטית גרעינית שמסוגלת להשמיד לוויינים. לפי מומחים המעורים בתחום, סוג כזה של נשק עשוי להיות בעל פוטנציאל להשמיד מערכים עצומים של לוויינים קטנים, כמו מערכת ה-Starlink של חברת SpaceX, ששימשה בהצלחה את אוקראינה במלחמתה מול רוסיה. טרם ברור אם המערכת מסוגלת לפגוע בלווייני GPS ובלווייני שליטה ובקרה גרעינית, שנעים במסלול גבוה יותר. למרות זאת, שימוש בנשק זה עשוי להיות המוצא האחרון עבור רוסיה, משום שהוא יפגע באותה מידה גם בלוויינים רוסיים שנמצאים באותו אזור. גם צבא סין מפתח מערכת חדשה שצפויה להיות מסוגלת ליירט לוויינים ולדכא אותות של מערכות GPS, לפי [דיווח](#) של העיתון South China Morning Post משנת 2024. טכנולוגיה זו משתמשת בסיבים אופטיים ומסנכרנת גלי מיקרו בעוצמה גבוהה של שבעה מקורות של גלי מיקרו ניחים שונים לכדי קרן ממוקדת בעלת פס צר בעוצמה של 1 ג'יגה-ואט.

האיום האיראני

גם [איראן](#) הכניסה את השימוש בפצצות אלקטרומגנטיות לדוקטרינה הצבאית שלה. היא מתארת בכתבים צבאיים פומביים את הפצצות האלקטרומגנטיות ככלי לטרור וכנשק האולטימטיבי לגבור על המערב. [בדוח המשרד לביטחון המולדת](#) בארצות הברית מובא ציטוט מתוך ירחון צבאי איראני שבו נאמר כי "אם מדינות העולם התעשייתיות ייכשלו בפיתוח דרכים יעילות להגן על עצמן מפני תקיפות אלקטרוניות מסוכנות, הן יתפרקו תוך מספר שנים [...] חיילים אמריקאים לא יוכלו למצוא אוכל ואף לא לירות ירייה אחת". למרות שאיראן טרם הצליחה לייצר נשק גרעיני מבצעי, היא ביצעה ניסויים במערכות שיגור טילים המדמות מתקפה של פצצה אלקטרומגנטית גרעינית, כולל ניסויי שיגור טיל מסוג שיהאב 3 שמתוזמן לפיצוץ בגובה רב. ישנם גם דיווחים שברצונה של [איראן](#) לפתח פצצות אלקטרומגנטיות לא-גרעיניות. כמו כן, לפי [פרסום](#) של העיתון אל-ג'רידה הכוויית, איראן סיפקה

לחזבאללה ולשלוחים נוספים שלה פצצות אלקטרומגנטיות וטילים הנושאים ראשי קרב אלקטרומגנטיים.

שימוש רחב היקף מצד איראן או חזבאללה בפצצות אלקטרומגנטיות נגד ישראל עלול [להשבית](#) חלק נכבד מרשת החשמל בישראל ולגרום נזק למתקנים אזרחיים וצבאיים מגוונים, בדגש על תשתיות אסטרטגיות. השימוש של רשת החשמל יכול להיגרם מפגיעה בתחנות כוח, קווי מתח וגנרטורים. הפצצות האלקטרומגנטיות יכולות לפגוע במכשירים אישיים כמו טלפונים ניידים ומחשבים אישיים, וכן לפגוע ברכיבים אלקטרוניים ובתקשורת של מערכות ציבוריות ושירותי בנקאות באופן שישבש את יכולת התפקוד של גופי ממשל וגופי החירום, בהם המשטרה, מן דוד אדום והרשות לכבאות והצלה. פצצות אלו יכולות גם להשבית מערכות אלקטרוניות חיוניות בבתי חולים, כמו מכשירי הנשמה ומוניטורים רפואיים, ובכך לסכן חיי אדם. נוסף על כך הן יכולות לשבש את אספקת המים בישראל על ידי פגיעה במערכות לאספקת מים שאינן יכולות לעבוד ללא חשמל, כמו מתקני התפלה, מערכות לשאיבת מים ומתקנים לעיבוד ולטיהור שפכים. יתרה מכך, פולסים אלקטרומגנטיים יכולים לפגוע בכלי תחבורה כמו מכוניות, משאיות, ספינות, רכבות ומטוסים, ובמערכות התומכות בהם כגון מערכי בקרה אווירית, מערכות שליטה ובקרה של רכבות, תחנות דלק, רמזורים ומערכות תקשורת ימיות, ובכך לשבש את מערך התחבורה. מעבר לפגיעה ביכולת להתנייד, שיבוש אמצעי התחבורה עלול לפגוע בשרשראות האספקה, שייפגעו גם כתוצאה מהשביתה של מערכות קירור שיגרמו למזון להתקלקל. בהיבט הצבאי, הפצצות האלקטרומגנטיות עשויות להשבית מערכות וכלים צבאיים המבוססים על מכשירים אלקטרוניים כמו מטוסי קרב, חוות שרתים, חימושים מדויקים, מכ"מים ומערכות הגנה אווירית. בהקשר זה ראוי לציין את הידיעה [בוושינגטון פוסט](#) שלפיה ישראל חיסלה את הפצצה האלקטרומגנטית שפותחה באיראן.

לפי [דיווח](#) של ה'דיילי סטאר' מחודש אפריל 2024 (שאינו לו אישור רשמי), לישראל יש פצצות אלקטרומגנטיות לא-גרעיניות צרות פס, והיא הייתה עשויה להשתמש בהן במסגרת מתקפה אפשרית נגד איראן – דבר שלמיטב ידיעתנו לא קרה. על פי המאמר ב'דיילי סטאר', לפעולה מסוג זה פוטנציאל הרס של תשתיות אסטרטגיות ומתקנים צבאיים.

מערכת ה-CHAMP האמריקאית

[CHAMP](#) (Counter-electronics High Power Microwave Advanced Missile Project) הוא פרויקט אמריקאי לפיתוח נשק מבוסס גלי מיקרו המותקן על גבי טיל שיוט. טיל השיוט נכנס למרחב האווירי של האויב בגובה נמוך ומערכת ה-CHAMP המותקנת עליו פולטת, באמצעות מקור של גלי מיקרו בעל פס צר, גלי מיקרו בעוצמה גבוהה המנטרלים מערכות אלקטרוניות מבלי לגרום נזק אגבי לבני אדם או לתשתיות פיזיות. הייחוד של מערכת ה-CHAMP טמון ביכולתה לירות קרן ממוקדת ומדויקת פעמים רבות במהלך משימה אחת,

בניגוד לפצצות אלקטרומגנטיות אחרות המשביתות בפעולה יחידה את כל המערכות בסביבה ללא הבחנה. המערכת יכולה גם לעקוף אמצעי הגנה של מערכות אלקטרוניות שנבנו במטרה להתמודד עם הפצצות האלקטרומגנטיות הקלאסיות. לטילים המשמשים את מערכת CHAMP יש טווח של עד 1,100 ק"מ, וניתן לשגר אותם מהמפציץ האסטרטגי B-52. גורמים רשמיים בממשל האמריקאי שמעורבים בפרויקט [אישרו](#) כי פעולה מסוג זה אפשרית גם כנגד מערך הטיילים הצפון-קוריאני.

הפרויקט יצא לפועל בארצות הברית בשנת 2009 במסגרת שיתוף פעולה של הזרוע הביטחונית של חברת בואינג (Phantom Works) עם מעבדת המחקר של חיל האוויר האמריקאי (AFRL). את הרכיבים האלקטרוניים [מייצרת](#) חטיבת ריית'יאון של תאגיד RTX, ואת טיילי השיוט עצמם מייצר תאגיד לוקהיד מרטין. בשנת 2012 נערך במדבר יוטה ניסוי מוצלח במערכת באמצעות טיל CHAMP-86 ששוגר מהמפציץ האסטרטגי B-52. במהלך הניסוי הצליחה מערכת ה-CHAMP לנטרל את כל המערכות האלקטרוניות במבנה בעל שתי קומות. מרי לו רובינסון, האחראית על מחלקת גלי המיקרו בעוצמה גבוהה במעבדת המחקר של חיל האוויר האמריקאי, אישרה בשנת 2019 למערכת [הדיילי מייל](#) כי מערכת ה-CHAMP מבצעת.

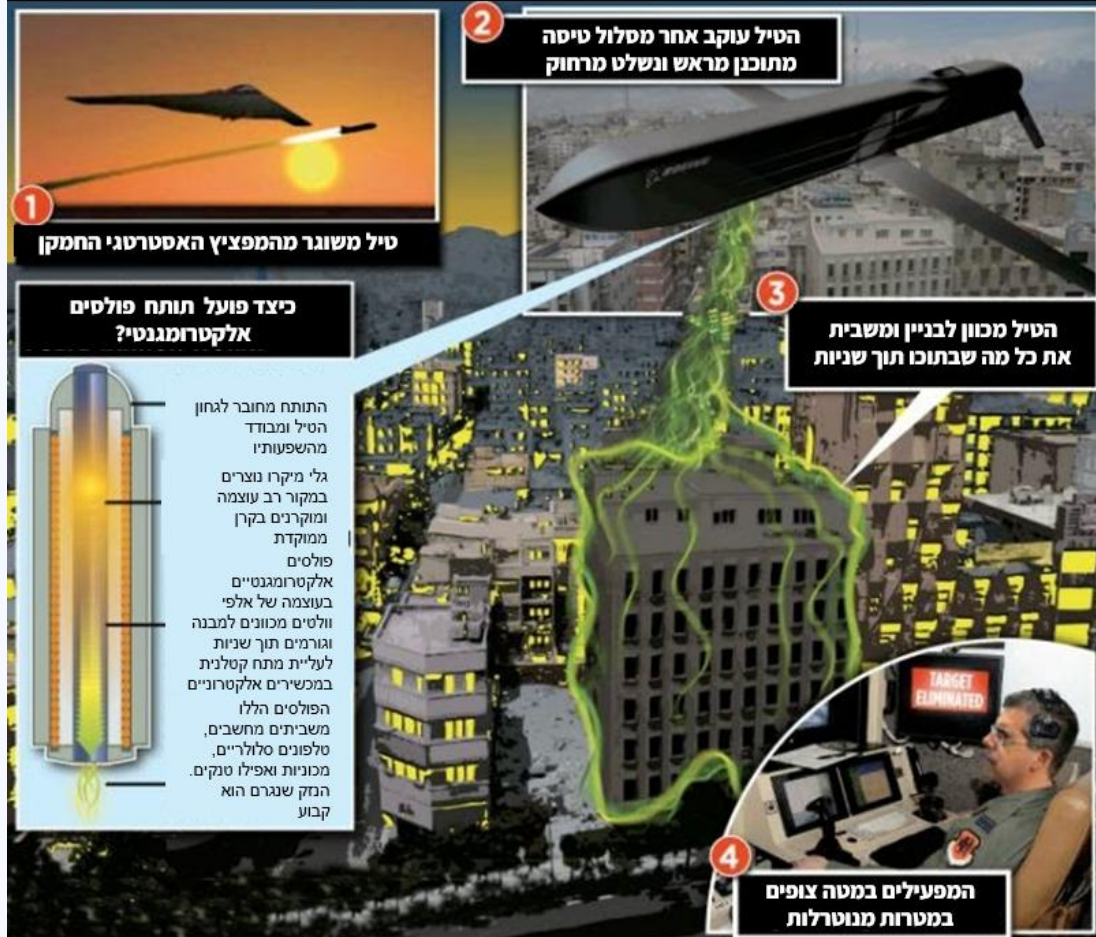
[\(סרטון קצר שמתאר את מערכת ה-CHAMP\)](#)

[במאמר](#) נוסף שפורסם בדיילי מייל באפריל 2024 ציינו גורמים רשמיים בממשל האמריקאי כי מערכת ה-CHAMP מסוגלת להשמיד או לנטרל לזמן ממושך מתקנים הקשורים לתוכנית הגרעין האיראנית, ללא פגיעה בחיי אדם.

איצד פועלת מערכת ה-CHAMP?

1. טיל הנושא פצצה אלקטרומגנטית משוגר ממפציץ חמקן.
2. הטייל, שבגחונו התקן ליצירת קרינה אלקטרומגנטית רבת הספק, מתכוון אל מטרה מתוכננת מראש תוך יצירת פולסים א"מ של גלי מיקרו רבי עוצמה הממוקדים אל המטרה.
3. פולסים אלקטרומגנטיים בעוצמה של אלפי וולטים מכוונים למבנה שנבחר מראש וגורמים לעליית מתח קטלנית במכשירים אלקטרוניים תוך שניות ספורות.
4. הפולסים הללו משביתים מערכות חשמל, תקשורת, מחשבים, טלפונים סלולריים, מכונות ואפילו טנקים. הנזק שנגרם הוא קבוע. מפעילי הנשק האלקטרומגנטי מקיימים מעקב והערכת נזקים כדי לוודא את יעילות הפצצה.

כיצד פועלת מערכת ה-CHAMP?



[עקרון הפעולה של מערכת ה-CHAMP](#)

סיכום והמלצות

נשק אלקטרומגנטי יכול להשבית חדרי פיקוד ושליטה, לרבות אלו הממוקמים מתחת לפני הקרקע, וזאת באמצעות השבתת מערכי התקשורת, המחשוב, אמצעי המעקב והמודיעין וכל שאר האמצעים האלקטרוניים שנמצאים בהם. כל זאת מבלי לגרום נזק פיזי לאף אדם או תשתית. המענה לנשק א"מ מחייב השקעה ניכרת במיגון אפקטיבי, ובפרט בהגנה על תשתיות לאומיות חיוניות.

כאמור, לפצצות אלקטרומגנטיות יש פוטנציאל פגיעה משמעותי ברשת החשמל, בתשתיות אסטרטגיות ובמכשירים אלקטרוניים מכל הסוגים. הדיווחים על הצטיידות אפשרית של איראן וחזבאללה בפצצות אלו מגבירים את החשש מהתממשות האיום בעתיד. לכן, על ישראל לפעול

למיגון תשתיות לאומיות חיוניות מפני פצצות אלקטרומגנטיות. בתגובה לפיתוח של פצצות אלקטרומגנטיות פותחו [אמצעי הגנה](#) שונים שמטרתם למנוע את חדירתם של פולסים אלקטרומגנטיים למכשירים האלקטרוניים. השיטה היעילה ביותר והמקובלת היא מיגון מרחבי באמצעות כלוב פארדיי – מערכת העוטפת את הרכיבים האלקטרוניים או מתקנים רגישים בחומר מוליך (לרוב מתכתי), החוסם שדות אלקטרומגנטיים על ידי פיזור המטען החשמלי על פני שטח הכלוב באמצעות הארקה שמוליכה את הזרם המושרה מהפולס ישירות לקרקע. שיטה נוספת היא העברת מידע על ידי שימוש בסיבים אופטיים שאינם מוליכים חשמל וחסונים להשפעות של EMP. למרות זאת, אמצעים אלו אינם מגינים הרמטית על המערכות ועלותם בדרך כלל גבוהה. **יש אם כן צורך לפתח אמצעי הגנה נוספים יעילים ובעלות סבירה.**

מבחינה התקפית, על ישראל לפעול לפיתוח עצמאי של מערכות נשק א"מ התקפיות, ובמקביל לשקול לרכוש את מערכת ה-CHAMP מידי הממשל האמריקאי בהקדם האפשרי, עוד בתקופת ממשל טראמפ, שעמדתו בנושא מכירת נשק לישראל גמישה יותר. השימוש במערכת עשוי לסייע בהשבתת אמצעים אלקטרוניים למטרות שונות בעת הצורך, לרבות פגיעה בחדרי פיקוד ושליטה, השבתת מפעלי ייצור נשק ומחסני אמל"ח באזורים רגישים ונטרול אתרי שיגור. אם יתעורר צורך למנוע את שיקום אתרי הגרעין באיראן, ניתן יהיה לשקול שימוש במערכת ה-CHAMP או במערכות דומות לה כאמצעי משלים לפגיעה קינטית.