



מרכז בגין-סאדאת למחקרים אסטרטגיים

## הסימביוזה בין יישומים צבאיים ואזרחיים בפיתוח כורים גרעיניים זעירים ניידים

מאת סא"ל (מיל') ד"ר רפאל אופק

מבט מבס"א מס' 1,584, 27 במאי 2020

**תקציר:** משרד ההגנה של ארה"ב פועל בשנה האחרונה עם חברות אמריקניות בפרויקט שתכליתו לייצר ולהציג אב טיפוס של כור גרעיני זעיר נייד. כור זה מיועד לשימוש בצבא האמריקני בעת אירועים ביטחוניים בהם יהיה על כוחותיו להתפרס באתרים ברחבי העולם. זאת, במקביל לפעילות משרד האנרגיה של ארה"ב בתחום זה, במטרה לספק חשמל באתרים ניידים שקשה לספק להם חשמל באמצעות הרשת. יש בכך להצביע על הסימביוזה בין ההיבטים הצבאיים להיבטים האזרחיים של פיתוחים טכנולוגיים.

יחסי הגומלין בין ההיבטים הצבאיים להיבטים האזרחיים של הפיתוח הטכנולוגי זכו לתנופה לאחר מלה"ע ה-2, בעיקר בתחומי התקשורת, המחשוב, התעופה והחלל, אך גם במישור הטכנולוגיה הגרעינית. פרויקטים טכנולוגיים מסוימים הוצגו לעיתים כבעלי "שימוש כפול" לשם הצדקה כלכלית של פיתוחם. דוגמה לסימביוזה בתחום האנרגיה הגרעינית הייתה פיתוח כורים לייצור חשמל. ב-1956, כעשר שנים לאחר הרס הערים היפניות הירושימה ונגסאקי בפצצות גרעיניות, הופעלה לראשונה בבריטניה תחנת הכוח הגרעינית Calder Hall, שכללה ארבעה כורים שכל אחד ייצר 60 מגה-וואט חשמלי (MWe). נכון לדצמבר 2019 פעלו ברחבי העולם 443 כורים גרעיניים לייצור חשמל שתפוקתם הכוללת הייתה 395 ג'יגה-וואט חשמלי (GWe), דהיינו תפוקה ממוצעת של קרוב ל-900 מגה-וואט חשמלי לכור.

פיתוח הנעה גרעינית החל כבר בשלהי שנות הארבעים של המאה הקודמת. המטרה הייתה צבאית – הנעת צוללות - ולפיכך התמקד המאמץ בפיתוח כורים קטנים. האדמירל היהודי היימן ריקובר הוביל את תוכנית הצוללות הגרעיניות בצי האמריקני, והצוללת הגרעינית הראשונה, נאוטילוס, הושקה ב-1955. הכור שהותקן בצוללת, מדגם S2W - מטיפוס "מים בלחץ" ובעל תפוקה של 10 מגה-וואט - נבנה על-ידי חברת ווסטינגהאוס. ברה"מ מיהרה ללכת בעקבות ארה"ב ובשנת 1958 הוכנסה לשירות הצי הסובייטי הצוללת הגרעינית הראשונה. נכון להיום, ההנעה הגרעינית באה לידי שימוש בנושאות מטוסים ובספינות שוברות הקרח שמופעלות ע"י רוסיה. בשנות המלחמה הקרה ארה"ב וברה"מ אף יזמו פרויקטים לפיתוח מפציצים בעלי הנעה גרעינית לחיזוק ההרתעה הגרעינית, אך בפועל לא ייצרו מטוסים מבצעים בעלי הנעה גרעינית.

בינתיים החל פיתוח כורים קטנים למטרות שונות, אף שלא היו ניידים במדינות רבות. בקנדה פותחו ונבנו בשנות השבעים והשמונים כורים קטנים מדגמי SLOWPOKE ( Safe LOW Power K[c]ritical Experiment). חלקם שימשו למחקר, אך דגם SLOWPOKE-3, בעל תפוקה של 2 עד 10 מגה-וואט תרמי, נועד לאספקת חום באזורים קרים. כור קטן אחר, מדגם CAREM-25, פותח בארגנטינה בשנות השמונים. תפוקת הדגם הראשון של הכור הייתה 27 מגה-וואט חשמלי, והוא תוכנן לייצור חשמל ולהמתקת מי ים. ברוסיה פועלים כמה כורים קטנים. הוותיק בהם הוא EGP-6 שהוקם בסיביר, תפוקתו 11 מגה-וואט חשמלי, והוא צפוי להיסגר בקרוב. נושא פיתוח כורים קטנים וזעירים עלה על הפרק בארה"ב ובמערב אירופה רק בעשור האחרון.

בשנים האחרונות ניכרת בעולם מגמה לפתח כורים זעירים וניידים להפקת חשמל. תפוקת האנרגיה הצפויה של כורים אלה הינה בסדר גודל של מגה-וואט חשמלי בודדים או כמה עשרות מגה-וואט חשמלי. על רקע זה דווח לאחרונה כי בכונת משרד ההגנה האמריקני לייצר במעבדה הלאומית של איידהו אב טיפוס של כור גרעיני זעיר נייד מתקדם במטרה להבטיח בעתיד הספקת אנרגיה עבור הצבא האמריקני. כור זעיר מעין זה מתוכנן להיות קשיח ובעל תנאי בטיחות גבוהים ביותר, בעל יעילות רבה, ובעל יכולת לפעול ללא הפרעות במשך כעשר שנים ללא צורך בתדלוק. הכור מתאים לשימוש באזורים נידחים שקשה לספק להם חשמל באמצעות הרשת או כאשר עלות ההספקה גבוהה. מבחינת צבא ארה"ב, הכור מיועד לשימוש במהלך אירועים ביטחוניים שבהם יהיה על כוחותיו להתפרס באתרים ברחבי העולם, דבר שיאפשר הקטנת תלותם ברשתות החשמל המקומיות העלולות לקרוס כתוצאה מהמצב הקשה באותם אתרים. על פי התכנון, הכור שבו מעוניין משרד ההגנה של ארה"ב מיועד לייצר אנרגיה בין אחד לעשרה מגה-וואטים ולאפשר אספקת חשמל לכמה אלפי בתים. כמו כן, לא יהיה צורך בתחזוקה מתמדת של הכור, ואף ניתן יהיה להפסיק את פעולתו או לחדשה תוך זמן קצר. לפי משרד ההגנה האמריקני: "כור גרעיני בטיחותי, קטן ונייד יאפשר ליחידות צבא להביא איתן מקור אנרגיה אינסופי ונקי, ובכך לאפשר הרחבה ויכולת קיום מבצעים לתקופות זמן ארוכות בכל מקום על פני כדור הארץ".

פרויקט הכור הזעיר, שכינויו Pele, החל בינואר 2019 ביוזמת המשרד ליכולות אסטרטגיות. רשות הרגולציה הגרעינית האמריקנית תופקד על בטיחות וביטחון הפרויקט. לדברי ג'יי דרייר, מנכ"ל המשרד ליכולות אסטרטגיות: "ארה"ב מסכנת את עצמה בכך שהיא מוותרת לרוסיה ולסין על הובלת טכנולוגיית האנרגיה הגרעינית... באמצעות נטילתה מחדש של ההובלה הטכנולוגית תוכל ארה"ב לספק את טכנולוגיית האנרגיה הגרעינית החדשנית והמתקדמות ביותר". בראיית משרד ההגנה האמריקני, פיתוח מיקרו כורים הינו חיוני, מכיוון שמערכת ההגנה האמריקנית צורכת עתה כ-30 טרה-וואט-שעה (TWh) במשך שנה, וכ-40,000 מ"ק דלק ליום, וכמויות אלה אף צפויות לגדול.

לאחרונה פנה משרד ההגנה לשלוש חברות בארה"ב: BWX Technologies, Westinghouse Government Services ו-X-Energy, כאשר לאחר תקופת פיתוח של שנתיים תיבחר אחת מהן לייצר ולהציג את אב הטיפוס. לשם כך הן תקבלנה בשלב זה סכומים שבין 13 ל-15 מיליון דולר. הן נבחרו בעקבות פניית המשרד ליכולות אסטרטגיות לחברות בתעשייה האמריקנית לקבל מידע ולהתחרות ביניהן בפיתוח הטכנולוגיה של פרויקט Pele. בנוסף למשרד ההגנה ולמשרד ליכולות אסטרטגיות, יהיו אף משרד האנרגיה האמריקני וגופים נוספים של הממשל מעורבים בפרויקט Pele. הכורים הזעירים שהחברות הללו תצענה למשרד ההגנה שונים האחד למשנהו מבחינה טכנולוגית: טיפוס הכור, סוג הדלק הגרעיני, וכנראה גם בתפוקת החשמל הצפויה.

אף שהגורם המרכזי המניע כעת את פיתוח הכורים הזעירים הוא משרד ההגנה, בשנתיים האחרונות קיימת מוטיבציה לפיתוח וייצור כורים קטנים וזעירים מצד כלל

הארגונים והמערכות בארה"ב העוסקות באנרגיה גרעינית, כמו גם במדינות נוספות בעולם. זאת במטרה לספק מקורות אנרגיה למגוון רחב של צרכנים, בדגש בתחום המגורים ובפרט באתרים נידחים - לא רק לייצור חשמל אלא אף לחימום באזורים קרים ולייצור מי שתיה. לכורים אלה צפוי יתרון מבחינת מודולריות הייצור שלהם העשויה להבטיח סטנדרט איכות גבוה. בהיבט האזרחי עשויה להיות לכורים גרעיניים קטנים תרומה חשובה נוספת - הוזלת מחיר החשמל לצרכן. זאת, בשל עלות ייצורם הסדרתי ועלות הפעלתם הצפויות להיות נמוכות ביחס לבנייה והפעלה של כורי כוח גדולים בסדר גודל מאות מגה-וואט חשמלי. כמו כן צפוי חיסכון בגין עלות רשת הובלת החשמל לצרכנים. לבסוף, בטיחות הכורים הזעירים צפויה להיות גבוהה יותר, ובמידה שתתרחש תקלה כלשהי בכור מעין זה יהיה הזיהום הרדיואקטיבי הסביבתי נמוך יחסית.

בשונה מהכורים שתוארו לעיל, ב-2018 רשם תאגיד לוקהיד מרטין פטנט על תכנון מהפכני של כור היתוך נייד שניתן לשאתו במשאית. לטענת התאגיד, אחד מדגמיו עשוי לספק חשמל לעיר בת מאה אלף תושבים. כור זה במידה ופיתוחו וייצורו יסתיימו בהצלחה יפיק אנרגיה נקיה - ללא תוצרי ביקוע רדיואקטיביים. להערכת התאגיד לפני מספר שנים, פרויקט פיתוח הכור צפוי להגיע לשלב ייצור מסחרי לכל המוקדם במחצית העשור הנוכחי.

*סא"ל (מיל') ד"ר רפאל אופק הוא מומחה בתחום הפיזיקה והטכנולוגיה הגרעינית, אשר שרת בעבר כחוקר בכיר בקהיליית המודיעין הישראלית.*

[rhofek@gmail.com](mailto:rhofek@gmail.com)