

סטטוס עדכני של הפיתוח הגרעיני באיראן

יהושע קליסקי | 25 ביולי, 2024

ידיעות מהזמן האחרון בדבר אפשרות פריצה של איראן לנשק גרעיני מעוררות עניין ודאגה בישראל ובעולם ובמיוחד בהקשרים של פעילות חשאית במסלול פלוטוגני. על פי [דיווחים עדכניים](#) של הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה אטומית (סבא"א), איראן רחוקה שבועות בודדים מהשגת חומר מועשר ברמת העשרה צבאית - מעל 90% העשרה - שתאפשר פיתוח פצצה גרעינית. [בדו"ח קודם, מיוני 2023](#) נאמר כי ברשות איראן 114.1 ק"ג אורניום מועשר לרמות שונות, עד 60% העשרה. [בדו"ח עדכני של סבא"א מפברואר 2024](#), נמסר כי מלאי האורניום המועשר לרמת 60% הוא 121.5 ק"ג, וחלק ניכר מההעשרה נעשה בעזרת צנטריפוגות מהדור החדש - IR6. [ניתוח מעמיק](#) בהקשר לדו"ח של סבא"א ממאי 2024 מצביע כי חלה האצה בתכנית ההעשרה לרמות של 60% והגדלת [המלאי ל-142.1 ק"ג](#). ההנחה המקובלת היא כי [כמות של 42 ק"ג](#) אורניום מועשר לרמת העשרה של 60% ניתנת להעשרה נוספת לרמת של 90% לפחות, מה שיספיק ליצירת פצצה גרעינית אחת. בנוסף, פעילות בנושאי מים כבדים (מכ"ד) ויכולת איראנית לפתח חפיסות של דלק גרעיני מעלה חשד של אפשרות לפיתוח חשאי של מסלול פלוטוגני או ייצור רכיבים גרעיניים אחרים בכור מכ"ד או במתקנים הקשורים לייצור מכ"ד, ויש לתת את הדעת על כך בדחיפות עליונה.

הסבר טכנולוגי

ראש נפץ גרעיני ניתן לייצור בשני מסלולים שונים זה מזה מהותית: מסלול האורניום והמסלול הפלוטוגני. מאמר זה לא נתמקד במסלול הפלוטוגני, זולתי בקשר למאמץ האיראני העלול להוביל גם לכיוון פלוטוגני.

מסלול האורניום דורש מתקני העשרה ומתקנים כימיים שונים כדי להמיר את תוצר ההעשרה למתכת ולאחר מכן לעצב את מתכת האורניום המועשר לראש נפץ פעיל. אורניום, שסמלו הכימי הוא U, המשמש כחומר בסיסי להפקת אנרגיה גרעינית, הוא מחצב הנמצא בטבע ובמצבו הטבעי הוא יסוד לא בקיע (U-238) ולכן לא ניתן להפיק ממנו אנרגיה גרעינית. האורניום הטבעי מכיל כמויות זעירות של 0.7% אטומי אורניום אחרים, שניתנים לביקוע (להלן U-235), אך יש לבדוד את האורניום הבקיע מתוך האורניום הטבעי. כדי לקבל חומר בקיע המתאים ליישום כפצצה גרעינית, יש צורך בתהליך שנקרא "העשרה", כלומר להעשיר את

כמות האורניום הבקיע מכלל האורניום הטבעי על מנת לקבל אחוז גבוה, 90% ומעלה, של החומר הבקיע. טכנית, תהליך ההעשרה יכול להתבצע במספר שיטות, כאשר השיטה המקובלת כיום במספר מדינות, לרבות מדינות השייכות ל"ציר הרשע": איראן, פקיסטן, צפון קוריאה, סין ורוסיה, היא על ידי צנטריפוגות (סרכזות) המפרידות בין הרכיב הבקיע לרכיב הלא בקיע, בהתבסס על הפרשי המסות בין שני התרכובות.

מיתקן העשרה איננו מיתקן העומד בפני עצמו, אלא הוא מהווה שלב אחד בשרשרת הייצור של נשק גרעיני. מדובר בקומפלקס של מיתקנים הדורשים ידע טכנולוגי רב לשם תפעולתם.

ניתן לתאר את תהליך יצירת הנשק הגרעיני על פי השלבים הבאים:

1. הפיכת מחצב האורניום הטבעי לתרכובת כימית במצב גז, המכילה כ-90% אורניום בקיע (U-235).

2. המרה חוזרת של התרכובת הגזית, המכילה אורניום בקיע, בתהליך דו-שלבי לאורניום מתכתי נקי המכיל 90% ויותר של אורניום בקיע.

3. תהליך מטלורגי של עיצוב האורניום המתכתי המועשר לצורה הרצויה לנשק גרעיני, או שימוש באורניום מתכתי בהעשרות נמוכות יותר ליצירת מוטות דלק לכורים גרעיניים.

4. אם המסלול הוא מסלול נשק - בניית ראש נפץ פעיל.

5. תהליך הנשקה - הרכבת מתקני חומר נפץ (חנ"מ) ואמצעי עזר להאצת תהליכים.

6. סימולציות וניסויים של תהליכים ברמת מעבדה לשם בחינת אפקטיביות התהליך הגרעיני.

סטטוס נוכחי

לנוכח האתגר הטכנולוגי הכרוך בייצור ראש נפץ גרעיני, יש לבחון את הסטטוס של פיתוח הנשק הגרעיני בעיקר לאור [הדו"ח האחרון של סבא"א](#), מפברואר 2024:

סטטוס הפקת אורניום מועשר: הדו"ח מצביע על מאגרי אורניום מועשר בכמויות שונות ברמות העשרה שונות בטווח של 20 – 60 אחוזים. לענייננו, כמות האורניום המועשר לרמה של 60% היא משמעותית שכן הזמן הנדרש להעשרה מרמת 60% לרמה צבאית של 90% ומעלה מוערך במספר מועט של שבועות.

העשרות האורניום מבוצעות במתקני העשרה תעשייתיים - FEP-Fuel Enrichment Plant ובמתקן מו"פ PFEP-Pilot Fuel Enrichment Plant, אשר נמצא בבניין A1000 בנתנו, וכן

במתקן ההעשרה בפורדו - Fordow Fuel Enrichment Plant FFE. הדו"ח מציין את הכמויות השונות. נכון ל-10 בפברואר 2024, הערכת הכמות הכוללת של אורניום מועשר לרמות שונות היא 5164.5 ק"ג ומתוכם הכמות שמועשרת לרמה של 60% היא 121.5 ק"ג. כמות זו ניתנת להעשרה נוספת לרמה של 90% בקצב מהיר לפחות במהירות, מה שיספיק ליצירת חומר בקיע עבור פצצה או שתיים. הטבלה הבאה (שנבנתה על סמך [דו"ח סבא"א מפברואר 2024](#)) מציגה את הכמויות של האורניום המועשר ברמות העשרה שונות, לפי הערכת פקחי סבא"א. לשם השוואה מובאים נתונים [מדו"ח סבא"א ממאי 2024](#).

מל"א U נכון ל- 10.2.2024	מל"א U נכון ל- 11.5.2024	רמת העשרה (U-235 %)
1934.0	2609.8	2%
2396.8	2376.9	5%
712.2	751.3	20%
121.5	142.1	60%

לפי הדו"ח, פעולות ההעשרה בוצעו באתרי העשרה בנתנו ובפורדו תוך שימוש גם בצנטריפוגות מהדור החדש IR6, שיש לו **משמעות מבחינת יעילות וקיצור זמן תהליך ההעשרה לרמות העשרה צבאיות**. ואכן, [ההערכות החסיויות של סבא"א](#) מדברות על האצה ביכולות ההעשרה של איראן לרמה של 60% וכתוצאה מכך, מלאי האורניום המועשר של איראן גדל פי 27 מהגבול שאושר בהסכם מ- (Joint Comprehensive Plan of Action - JCPOA). [הדו"ח האחרון](#) (מאי 2024, ששוחזר לפרסום על ידי AP), פירט הגדלה נוספת של הכמות הכוללת של אורניום מועשר לרמות שונות (6,200 ק"ג), ומתוכם 142.1 ק"ג מועשרים לרמת 60% - מלאי הגדול פי 30 ממה שאושר בהסכם משנת 2015. מלאי זה יאפשר לפי הערכות סבא"א הגעה מהירה לייצור מספר ראשי נפץ גרעיניים.

הטבלה הבאה מציגה את כמויות האורניום מועשר בתצורת אורניום-הקסה-פלואוריד ($U^{235}F_6$), שהופקו בתקופה שבין ה-28 באוקטובר 2023 ל-9 בפברואר 2024 תוך שימוש בצנטריפוגות מהדור החדש - IR6:

כמות (Kg U ²³⁵ F ₆)	רמת העשרה (% U-235)	אתר העשרה
69.9	20%	FFEP פורדו
23.5	60%	FFEP פורדו
13.5	60%	PFEP נתנו – מו"פ

סטטוס מתקני ההעשרה (צנטריפוגות): על פי [הדו"ח האחרון של סבא"א](#), לאיראן יש בסך הכל כ-62 קסקדות המשמשות להעשרת אורניום לרמות העשרה שונות, בתחום שבין שניים ל-שיש אחוזים. הקסקדות נמצאות באתרי ההעשרה בנתנו (חלקן, במיוחד המתקדמות שבהן, הן למטרות מו"פ) ובפורדו. לצורך ההעשרה, נעשה שימוש במגוון דגמים של צנטריפוגות, החל מהדור הישן - IR1 - וכלה באלו מהדור החדש - IR4 ו-UR6. מספרן הכולל של הקסקדות הפעילות הוא 62. הדו"ח מציין כי המספר המרבי של צנטריפוגות בכל קסקדה הוא 174 ועל כן ניתן להעריך את מספר הצנטריפוגות הפעילות מכל הסוגים בכ-10,788. מדובר בהערכה בלבד, שכן הדו"ח מציין בהערה חשובה כי המספר הכולל של הצנטריפוגות בנתנו איננו כולל את מספר הצנטריפוגות המתוכננות להרכבה באולם B1000, או צנטריפוגות נוספות באולם A1000, שכן האיראנים לא סיפקו נתונים על אודות מספר הצנטריפוגות והדגמים.

סטטוס המרה חוזרת ומטלורגיה: הדו"ח האחרון של סבא"א מציין בקצרה את הנעשה במתקן להמרה חוזרת UCF-Uranium Conversion Facility¹: המתקן להמרה חוזרת ולייצור אורניום מתכתי באספהאן קיים אך לא נעשתה כל פעולה על ידי האיראנים בנושא ההמרה החוזרת. משמעות הדבר היא כי התהליך ההנדסי – כימי של ההמרה החוזרת ידוע לאיראנים, והמיתקן להמרה חוזרת מוכן להפעלה. כלומר, אין בעיה טכנולוגית הנדסית אלא חסרה רק הוראת ביצוע. יצוין כי לאיראנים ידע רב בהמרה חוזרת ולסבא"א הוכחות אשר פורסמו [בדו"ח מיוחד](#) – 7 במארס 2024, שם נאמר כי פעילות אינטנסיבית של המרה חוזרת לתחמוצות אורניום בוצעה בשנים 1999 – 2003 באתר בלתי מוצהר בשם Varamin.

¹ UCF: As of 14 February 2024, the Agency verified that no nuclear material had been introduced into the production area of the UCF at Esfahan, where installation of equipment for the production of uranium metal had been completed and which was ready to operate.

שאריות חומרים גרעיניים/איזוטופים וציוד מוסתר הועברו לאחסון באתר בלתי מוצהר אחר בשם טורקוזאבאד (Turquzabad), מבלי הסבר סביר (עד לכתובת הדו"ח) למקור החומרים והציוד.

יוזכר כי אין מידע גלוי לגבי יכולות במטלורגיה, עיצוב ראש קרבי והנשקה – שלבים 3-6 בפיתוח נשק גרעיני, כמתואר לעיל.

סטטוס יצירת מוטות דלק במיתקן Fuel Plate Fabrication Plant (FPFP): לפי הדו"ח האחרון של סבא"א, עדכני לפברואר 2024, לא נרשמה התקדמות בתהליך הכימי הכרוך בהפחתת אטומי הפלואור בתרכובת של U-235 עם אטומי פלואור, קרי, שלב 2 של התהליך ליצירת נשק גרעיני. הדו"ח מציין כי הציוד אמנם הותקן, אך לא עבר בדיקות עם חומר גרעיני. הדו"ח מדגיש כי נכון ל-12 בפברואר 2024, איראן לא הפיקה שום חומר מתכתי בתקופה הרלבנטית לכתובת הדו"ח.

סטטוס הדלק בכור המחקר הגרעיני בטהרן Teheran Research Reactor (TRR): הדו"ח העדכני של סבא"א מצביע על כי ב-12 בפברואר 2024 הכור בטהרן קיבל 13 מוטות דלק ו-2 מוטות בקרה (המשמשים לבליעת נייטרונים כדי לשלוט על פעולת הכור) אשר עדיין לא הופעלו. כן נמדה קרינה של מוטות משומשים. הדו"ח מציין כי הדלק התקבל ממפעל לייצור חפיסות דלק באיראן FPFP-Fuel Plate Fabrication Plant.

סטטוס ייצור מים כבדים - מכ"ד - Heavy Water Production Plant (HWPP): הדו"ח הנוכחי לא מרחיב בנושא ייצור מים כבדים, אלא מציין כי בביקור בכור המכ"ד המחקרי ב-Khondab בוצעו עבודות תחזוקה ובניה שונות ועדיין לא הוכנסו מוטות דלק IR-20, אשר תוכננו על בסיס ידע איראני. יש להעריך כי נושא ייצור מים כבדים חשוב ביותר בהקשר לפעילות גרעינית במסלול הפלוטוגני (למשל פעילות אפשרית בכור המכ"ד הלא מחקרי באראק), או בהקשר לייצור רכיבים אחרים שגלומה בהם סכנה.

בהקשר למיתקן לייצור מים כבדים (HWPP), הדו"ח מציין כי מאז פברואר 2021 איראן אינה מאפשרת ניטור ומעקב אחר הפעילות במיתקן (לא בלי סיבה...) בהתבסס על נתונים מלוויין מסחרי, סבא"א מניחה כי מיתקן המכ"ד פועל ברציפות גם בתקופות שבהן לא מתאפשר ניטור הפעילות.

סיכום

לאיראן יש יכולות טכנולוגיות המאפשרות ייצור חומר בקיע ברמות העשרה צבאיות לשם יצירת ראש נפץ גרעיני, בהינתן הוראה מדינית ממנהיג איראן. [ההנחה הנוכחית](#) של סבא"א היא כי אין אינדיקציות לכך שאיראן נעה לעבר תכנית נשק. עם זאת, מספר הצנטריפוגות באיראן מוערך בכ-11,000 ואולי יותר, והן מותקנות ב-62 קסקדות באתרי העשרה שונים - חלקם אולי

מוסתרם. עובדה זו תאפשר לאיראנים להגיע במהירות (תוך מספר מועט של שבועות) לרמות העשרה צבאיות. לאיראן יש מתקן להמרה חוזרת (UCF) באספאהן, שנועד לאורניום מתכתי מועשר, אך לפי המידע שבידי סבא"א פעילות זו לא בוצעה עד כה. יש לבדוק האם נושא ייצור חפיסות הדלק תואם לנאמר בסעיף הקודם בו נאמר כי איראן לא הפיקה אורניום מתכתי. האם מדובר בהרכב אחר, לא מתכתי, למשל אורניום אוקסיד? האם יש לאיראן יכולות גליויות או נסתרות ליצירת דלק גרעיני?

למרות שאין דווחים של סבא"א בנושאי מטלורגיה, אין להוציא מכלל אפשרות שנעשות פעולות חשאיות באיראן במקביל לתהליכי ההעשרה כדי לייצר ראש נפץ גרעיני יעיל. פעילות זו עשויה לכלול בין היתר ייצור אורניום מתכתי מועשר ברמה צבאית ועיבוד המתכת לראש קרבי פעיל. יש להניח (למרות חוסר ההוכחות) כי הפעילות תלווה סימולציות וניסיונות להגביר את יעילות התהליך.

לאיראן יש מפעל לייצור מים כבדים (מכ"ד) וכור מחקרי שעדיין איננו פעיל, במקום כור המכ"ד באראק, שנודע גם בשם IR-40. הכור באראק נמצא בפיקוח סבא"א, אך בניגוד לכך, האיראנים לא מאפשרים ניטור וביקורת במיתקן לייצור מכ"ד. **על מדינת ישראל להפנות קשב לנושא של פעילות גרעינית הקשורה לשימושים במכ"ד עקב הפוטנציאל הגרעיני המסוכן הכרוך בשימושים אלו.**

יש לתת את הדעת בדחיפות עליונה לאפשרות של פיתוח חשאי של מסלול פלוטוגני או ייצור רכיבים גרעיניים אחרים בתשתית הלא-מבוקרת.