

שולחן הדיונים

רב־שיח בנושא ייצור חשמל בכורים גרעיניים בישראל

נועם סגל ואיתן קזכמן, ברכה חלף, שחר סולד וסטיליאן גלברג,
יעל פדג כהן מינץ, עמית מור, שמעון סרוסי ויובל לסטר, יונתן אייקנבאום

שולחן הדיונים

מה שנראה כדיון תיאודשי בלבד עבור ישראל כיום,
עשוי להפוך לאפשרות ממשית אם ישתנו התנאים
הגיאואסטרטגיים

למה צריך לדבר על אנרגיה גרעינית להפקת חשמל?

ביקוע גרעיני הוא מקור אנרגיה מרכזי המשמש זה שנים רבות להפקת חשמל במספר מדינות בעולם (דוגמת צרפת, ארה"ב, גרמניה, רוסיה וסין), ותורם כעשירית מתפוקת החשמל העולמית. עם זאת, הוא נחשב שנוי במחלוקת ורגיש מבחינה פוליטית בשל הסיכונים הכרוכים בשימוש בו. בעקבות האסון שאירע בשנת 2011 בתחנת הכוח הגרעינית בפוקשימה, הודיעו מספר מדינות שהן שוקלות מחדש את המשך השימוש בגרעין להפקת חשמל.

בישראל מעולם לא הופק חשמל מאנרגיה גרעינית. בשנות ה-70 החליטה הממשלה על הקמת תחנה גרעינית להפקת חשמל, אך החלטה זו לא יצאה אל הפועל. האפשרות לשימוש באנרגיה גרעינית בישראל נותרה על הפרק, ואף נכללת בטיטת תוכנית-האב האחרונה למשק האנרגיה (תוכנית שטרם הושלמה ולא קיבלה תוקף מחייב). התומכים בקידום השימוש באנרגיה גרעינית בישראל מניחים כי הגידול בביקושים לחשמל יימשך, וכי לא יחול שינוי במגבלות הטבעיות בהיצע מקורות האנרגיה (דוגמת מחסור בשטחי קרקע הנדרשים להפקת חשמל ממקורות מתחדשים). ישנו רצון להגביל את חלקו היחסי של הגז הטבעי כדי שלא יהיה דומיננטי מדי, ולצמצם את השימוש בפחם מאחר שהוא מזהם. היות שכך, יש לגוון את סל הדלקים, ואחד ממקורות האנרגיה האפשריים הוא הביקוע הגרעיני.

הדיון בסוגיה זו בישראל עשוי להיתפס כדיון תיאורטי-אקדמי בלבד בשל השילוב בין המגמה העולמית של דעיכת השימוש בטכנולוגיה זו ובין מצבה הגיאואסטרטגי של ישראל, הנוקטת שנים ארוכות מדיניות עמימות גרעינית, ומסרבת לחתום על אמנת אי-הפצת נשק גרעיני. עם זאת, תמורות עתידיות לא צפויות עשויות לשנות פרדיגמות, ומה שנתפס כיום כבלתי אפשרי עשוי להיעשות מציאותי בעתיד, ולכן אל לנו לחטוא בקיבעון מחשבת.

הפקת אנרגיה חשמלית מביקוע גרעיני היא סוגיה מורכבת, שהדיון בה מתפרס על פני מישורים רבים, כגון: טכנולוגיה, בטיחות קרינה, טיפול בפסולת והטמנתה לטווח ארוך, תפיסות סיכון, הירושה לדורות הבאים, שקיפות, דמוקרטיה, ריכוז מתקני ייצור אנרגיה אל מול ביזור, יחסים בין-לאומיים והתגרענות אזורית. כמו כן, אי אפשר להתעלם מהאסוציאציות המלחמתיות הקטטטרופליות הנלוות אליו.

על אף מורכבות הנושא לא יהיה נכון לקבוע עמדות לגביו כאילו הוא עומד בפני עצמו. כורים גרעיניים לייצור חשמל הם רק חלופה אחת בסל המקורות לייצור אנרגיה, ולכן יש לבחון את החלופה הזו אל מול החלופות האחרות.



בניית יחידה רביעית בכור גרעיני לייצור חשמל במדינת ג'ורג'יה (ארה"ב) | NRC, flickr CC-BY-2.0

החלו לפעול לפני יותר מ־30 שנה, וצפויים לצאת בהדרגה מכלל פעולה. למעשה, מספר הכורים שצפויים להיסגר בעשור הבא בשל גילם גדול פי ארבעה ממספר הכורים החדשים שאמורים לקום בתקופה זו^[4]. בשמינית מהכורים בעולם שהקמתם החלה מאז 1977, הופסקו העבודות בשלבים שונים. יותר משני שלישים מהפרויקטים סובלים מעיכובים ניכרים בהקמה. מספר הכורים שנמצאים בשלבי הקמה הולך ויורד, ומרבית הבנייה החדשה היא באסיה ובמזרח אירופה: מחצית מ־80 הכורים שבנייתם החלה בעשור החולף נמצאים בסין. לפתחן של הממשלות ניצב אתגר משמעותי נוסף בדמות 270,000 מ"ק של פסולת גרעינית ו־90,000 טונות דלק גרעיני משמש, המאופסנים במתקני אחסון זמניים^[5]. רק לאחרונה הושלמה הקמת מתקן ראשון לאחסון ארוך טווח של פסולת גרעינית בפינלנד בעלות של 3.5 מיליארד אירו. אפשר לאחסן בו 6,500 טונות פסולת גרעינית בעומק של 450 מטר.

מועדון הגרעין

אף שכורים גרעיניים מותקנים כאמור ב־31 מדינות בעולם, הרי ש־70% מההספק הגרעיני המותקן נמצא בשטחן של חמש מדינות בלבד: ארה"ב, צרפת, רוסיה, סין ודרום קוריאה. יתרה מכך, ארה"ב וצרפת מחזיקות לבדן ב־50% מההספק הגרעיני העולמי. תרומתה היחסית של תעשיית הגרעין לתפוקת החשמל העולמית מצטמצמת אף היא: מ־17.5% ב־1996 ל־10.5% בלבד ב־2016^[1]. לאחר אסון פוקושימה הודיעו מספר מדינות על צמצום השימוש

תעשיית הגרעין בעולם

נועם סגל* ואיתן קוכמן

בית הספר לקיימות, המרכז הבינתחומי הרצליה

noamsef@gmail.com *

תעשיית הגרעין בעולם היא תעשייה מזדקנת, המצויה בפרשת דרכים. השימוש באנרגיה גרעינית לצרכים אזרחיים החל בשנות ה־50 של המאה ה־20, במקביל למרוץ החימוש הגרעיני. בשנות ה־60 וה־70 התרחבה תעשיית הגרעין, ומאות כורים להפקת חשמל הוקמו במדינות שונות. בעשורים האחרונים התהפכה המגמה בעקבות תקלות ותאונות בכורים גרעיניים, לצד התנגדות ציבורית גוברת ועלויות תפעול והקמה שהלכו ותפחו. התקלה ב־Three Mile Island בארה"ב (1979) הביאה לביטול פרויקטים גרעיניים רבים במדינה זו. גם לאסון צ'רנוביל (1985) היו השלכות דומות, ובעקבותיו נבלמה תעשיית הגרעין באירופה, ולא הוקם בה כור חדש כבר כמה עשרות שנים. התחדשות העניין של מדינות בעולם באופציה הגרעינית בעשור הקודם ("הרנסנס של הגרעין") נבלמה אף היא בעקבות אסון פוקושימה שביפן (2011).

תמונת מצב

כיום פעילים בעולם 403 כורים גרעיניים ב־31 מדינות, מספר הנמוך ב־35% מהשיא שנרשם ב־2002. כמחצית מהכורים הפעילים כיום

הלאומיות להפחתת פליטות גזי חממה להרחיב את השימוש בגרעין (בלרוס, סין, יפן, טורקיה, בנגלדש ואיחוד האמירויות). לעומתן, 111 מדינות ציינו במפורש תוכניות להרחיב את השימוש במקורות אנרגיה מתחדשים כאמצעי הפחתה^[2]. יצוין כי תחשיבים שונים מלמדים כי לאנרגיה הגרעינית מִךְרָךְ פחמן בלתי מבוטל אם המדידה מתבצעת לאורך מחזור החיים של הכור והדלק הגרעיני. עם זאת, חשוב לציין שתחנות גרעיניות מספקות אנרגיה לאורך כל שעות היממה, בניגוד למקורות המתחדשים. התחזיות הן כי ייצור האנרגיה מגרעין יגדל בשנים הקרובות בשיעור נמוך מ-2% בשנה (בעיקר בשל החלפת כורים ישנים בכורים חדשים ויעילים יותר), ואילו תרומת הגרעין לייצור אנרגיה בעתיד תנוע בין 3% ל-7% (לעומת כ-10% כיום). עיקר הגידול בהפקת החשמל מגרעין יהיה בסין, בעוד שבאירופה צפוי חלקו לרדת בכ-30%.

הפעלת כורים גרעיניים קטנים

אחד הפתרונות לאתגרים שתעשיית הגרעין ניצבת בפניהם כיום הוא כורים גרעיניים קטנים (Small Modular Reactors). מדובר בכורים קומפקטיים בהספק קטן (300 מגה-ואט ומטה) ובייצור המוני, שמוצגים כחלופה מקומית (ואף ביתית) זולה ובטוחה יותר מהכורים הגדולים המוכרים. כורים אלה נבחנו לראשונה בארה"ב בשנות ה-40 של המאה ה-20, ומספר קטן של כורים אזרחיים מסוג

בגרעין, ואילו מדינות אחרות, דוגמת גרמניה ושווייץ, החליטו לסגור לחלוטין את כל הכורים שבתחומן. מנגד, 20 מדינות, ובהן ישראל, מצרים וירדן, בוחנות תוכניות לשימוש באנרגיה גרעינית להפקת חשמל^[6]. בפועל, רק שלוש מדינות שלא היו בהן כורים פעילים מקימות כיום כורים גרעיניים: איחוד האמירויות, בלרוס ובנגלדש; ב-30 השנים האחרונות החלו לפעול כורים לראשונה בארבע מדינות נוספות בלבד: סין, איראן, מקסיקו ורומניה.

גם מצבן של כמה מיצרניות הכורים הגדולות הורע בשנת 2017: בצרפת נאלצה הממשלה לחלץ את יצרנית הכורים הלאומית Areva מפשיטת רגל, בד בבד עם קידום חקיקה להפחתת ייצור החשמל במדינה מגרעין; בארה"ב הופסקה הסיוע הממשלתי לכורים כושלים כלכלית, ויצרנית הכורים הגדולה בעולם, חברת ווסטינגהאוס האמריקאית, הודיעה על פשיטת רגל; בדרום קוריאה החליטה חברת KEPCO המקומית לפנות לתחום האנרגיה המתחדשת ולשווקי יצוא לאחר סגירת הכור הוותיק במדינה והכרזת הממשלה על עידן חדש ללא גרעין.

תחרות מול אנרגיה מתחדשת

נוסף על עלויות הקמה ותפעול הולכות וגדולות מתמודדת לאחרונה תעשיית הגרעין עם אתגר חדש: אנרגיה מתחדשת. מבין המדינות השותפות להסכמי פריז, רק שש הציעו במסגרת תוכניותיהן



כריית מנהרה במתקן הראשון מסוגו לאחסון ארוך טווח של פסולת גרעינית. במתקן, שבפינלנד, ניתן לאחסן 6,500 טונות פסולת גרעינית בעומק של 450 מטר | צילום: Posiva Oy

מנקודת מבט זו, קשה שלא להתרשם מהחלופות הזולות והזמינות יותר להפקת חשמל בישראל, בתמהיל של אנרגיה מתחדשת וגז טבעי, שהסיכון הנשקף מהן לאדם ולסביבה נמוך משמעותית.

מקורות

- [1] BP. 2017. Statistical review of world energy. London: BP Group.
- [2] International Atomic Energy Agency. 2017. Nuclear power and the Paris Agreement. www.bit.ly/paris-agreement-IAEA.
- [3] Cooper M. 2014. Small modular reactors and the future of nuclear power in the United States. *Energy Research and Social Science* 3: 161-177.
- [4] Schneider M, Froggatt A, Hazeman J, et al. 2017. The world nuclear industry status report 2017. www.bit.ly/world-nuclear-report-17.
- [5] World Nuclear Association. 2016. International nuclear waste disposal concepts. www.bit.ly/WNA-2016.
- [6] World Nuclear Association. 2017. Emerging nuclear energy countries. www.bit.ly/WNA-2017.

זה הופעל שם במחצית שנות ה-60. הם לא זכו להצלחה, ונסגרו בשל העלויות הגבוהות: גם עלות ההקמה והתפעול הייתה גבוהה בהרבה מהתחזיות המקוריות, וגם עלות הפקת האנרגיה נמצאה גבוהה פי שלושה מזו שבתחנה פחמית. ניסיונות לפתח כורים קטנים במדינות אחרות (דוגמת הודו) נתקלו בקשיים דומים, ולא צלחו. גורמים שונים בתעשייה ממשיכים לקדם את הרעיון, אך חלק מיצרניות הכורים הגדולות הודיעו כי בכוונתן להפחית את ההשקעה בפיתוח כורים מסוג זה [3].

השפעת מצב תעשיית הגרעין על ישראל

מצב תעשיית הגרעין העולמית והגורמים לנסיגתה המתמשכת עשויים ללמד על האפשרות להקים בישראל תחנה גרעינית בעשורים הקרובים. מלבד האתגרים הגיאופוליטיים האזוריים והבינ-לאומיים, נדמה כי האתגר העיקרי הוא עלויות ההקמה והתפעול הגבוהות, שממשיכות להאמיר עם השנים, ובפרט הצורך להגדיל את ההשקעה ברכיבים שונים של בטיחות ואבטחה.



וסביבתיים שהשימוש בשאר מקורות ייצור האנרגיה נבחן על פיהם. מאחר שבניית תחנת כוח גרעינית מצריכה יכולות טכנולוגיות מתקדמות ומורכבות, עוסקות בכך רק חמש חברות ענק. הנחת העבודה של משרד האנרגיה היא שישראל לא תפתח יכולת עצמאית לבניית כור, כך שאם ייבנה כור שכזה הוא יירכש מאחת החברות הללו. כל עוד ישראל לא חתומה על האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, מנועות מדינות העולם מלמכור לנו כור גרעיני, ולכן אנרגיה

ממקור גרעיני אינה אפשרות קיימת בסל הדלקים הלאומי. עם זאת, במהלך השנים היו תקדימים למדינות שקיבלו אישור לבניית כור לייצור חשמל אך על פי שאינן חתומות על האמנה (למשל הודו ב-2009). לכן, עשוי להיות צירוף נסיבות עתידי, שיאפשר לישראל בדרך כלשהי לרכוש את הרכיבים הנדרשים לבניית כור גרעיני אזרחי. למשרד האנרגיה חשוב להיות מוכן לאפשרות כזו, כדי שאם יתברר שניתן להקים תחנת כוח גרעינית, תהיה לישראל היכולת לממש את האפשרות הזו תוך זמן קצר ככל הניתן. משק החפץ בהקמת תחנת כוח גרעינית צריך שיהיה בו אנשים בעלי הידע המתאים ותשתית מינימלית של בדיקות ושל רישוי. לא ניתן להשיג את הדברים הללו בהתראה קצרה, ולא ניתן לייבאם מחו"ל. לדוגמה, לאחרונה פורסמה כוונה לבניית כור גרעיני לייצור חשמל בירדן בעזרת רוסיה, והוערך שיחלוף לפחות עשור עד הפעלת הכור בגלל היעדר תשתית מתאימה בירדן.

ביחידת המדענית הראשית במשרד האנרגיה פועלת מנהלת

יצירת תשתית מדעית וטכנולוגית לכורים גרעיניים

ברכה חלף

מדענית ראשית, משרד האנרגיה

brachah@energy.gov.il

תחזיות עולמיות של גופים שונים, כגון סוכנות האנרגיה הבינ-לאומית, מראות כי אנרגיה גרעינית תישאר רכיב בסיסי בייצור חשמל לפחות ב-30 השנים הבאות. הצורך בחשמל ילך ויגדל, יכולת ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות תישאר מוגבלת, ואילו מאגרי הגז ילכו ויקטנו. לכורים גרעיניים יש יתרונות סביבתיים בולטים: הם אינם פולטים מזהמי אוויר וגזי חממה, ונפח הפסולת שנוצרת בהם (במיוחד בכורים מהדורות המתקדמים) קטן משמעותית מזה שנוצר בשריפת פחם.

משרד האנרגיה מפתח בשנים האחרונות 'מערכת של תוכנית-אב' למשק האנרגיה. זוהי מערכת של מודלים המאפשרת לבחון משמעותיות של הוספת מערכות ייצור, התפתחויות טכנולוגיות, שינוי בכמויות משאבי טבע שמשותמשים בהם ועוד. אם וכאשר הפקת חשמל מכורים גרעיניים תהפוך לאפשרות עבור מדינת ישראל, נוכל להשתמש במודלים הללו כדי לתכנן את אופן שילוב מקור זה במשק האנרגיה הלאומי, בהתאם לקריטריונים כלכליים, חברתיים

הנעשה בשיתוף המכון הגיאולוגי הישראלי, בהתאם לשינויים בעולם בתחומי המחקר והבנייה, ובהתאם לפעילות הרבקה הנעשית בשנים האחרונות בסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית. תוצאות התהליך ישמשו את הרשויות בבואן לבחור אתרים להקמת כורים.

חשוב לציין שהניסיון העולמי המצטבר בהפעלת כורי כוח הוא כ-15,000 שנות עבודה, שלוו בתקלה אחת, וגם היא לא עלתה בחיי אדם. כל אירוע בטיחות במהלך השנים הביא להחמרה בקריטריוני הבטיחות של הפעלת הכורים והמתקנים ולפיתוח דורות חדשים של כורים עם מערכות בטיחות משופרות. כיום ישנן גם מערכות פסיביות, המאפשרות לבצע מרחוק פעולות חירום להדממת המערכת. לכן, כורי כוח גרעיניים בטוחים יותר כיום ממתקנים אחרים לייצור חשמל.

יש ערך רב לדיון ציבורי בנושא השימוש באנרגיה גרעינית לייצור חשמל. אם וכאשר תיעשה האפשרות להקמת תחנת כוח גרעינית ממשית, חשוב שאנשי משרד האנרגיה לא יהיו היחידים שבקיאים בנושא ושמועניינים לקדם אותו. כדי שהדעות והתפיסות של הציבור בנושא זה יהיו מבוססות על ידע, חשוב שחוקרים ואנשי מקצוע רבים, שאינם ממשרד האנרגיה, וכן ארגוני סביבה, יהיו מסוגלים לספק לציבור מידע אמין.

תג"ר, שתפקידה המרכזי הוא ליצור תשתית מדעית וטכנולוגית שתאפשר לצאת לדרך בהינתן החלטה עתידית. אנו פועלים במספר אפיקים, למשל:

- א. קידום מחקרים על בטיחות כורים. זהו מיזם הדגל של המנהלת, ובמסגרתו מוקמת מעבדה תרמו-הידראולית לחקר זרימה בטמפרטורות גבוהות במערכות ייצור אנרגיה. המעבדה מוקמת בשיתוף המרכז הגרעיני שורק, ותשמש מרכז ידע להכשרת כוח אדם בתחומים של הפעלה, בטיחות ורישוי של כורי כוח.
- ב. בחינת דעת הקהל הישראלי בנושא. אם וכאשר תהיה אפשרות להקים כורים, לא נרצה להיות במצב שאנרגיה גרעינית נחשבת לטאבו בדעת הקהל. לכן חיוני לדעת מה הציבור חושב בנושא כיום, ולכוון את הפעילות שלנו כדי שנוכל לשכנע אותו במידת הצורך בנחיצות אפשרות זו. לשמחתנו, המחקר העלה שכ-80% מהציבור מתייחסים לאנרגיה גרעינית כמו לכל אנרגיה ממקור אחר, וכאל תשתית הכרחית כל עוד אינה מוקמת בחצר האחורית שלהם. ככל שנגדיל את הידע ונעמיק את ההבנה לגבי סוגי הכורים ורמת הבטיחות שלהם, כך ילך ויגבר אמון הציבור באפשרות זו (עוד בנושא בעמ' 71-73 בגיליון זה).
- ג. עדכון הקריטריונים הגיאולוגיים לבחינת יציבות הקרקע באתרים פוטנציאליים למיקום כורים. זהו תהליך חשוב ויסודי

אם וכאשר -

מערכת השיקולים הסביבתיים

מבוסס על ראיונות עם שחר סולר^[1]
וסטיליאן גלברג^[2]

^[1] ראש אגף תכנון סביבתי ובנייה ירוקה,
המשרד להגנת הסביבה

^[2] ראש אגף מניעת רעש וקרינה,
המשרד להגנת הסביבה

השלכות סביבתיות, כגון איכות האוויר, בטיחות קרינה, שימושי קרקע, שטחים פתוחים ועוד, מתוך מטרה להגן על הציבור ועל הסביבה. אם נגיע למסקנה שזה דבר טוב וראוי - נתמוך בו, אך אם היתרונות (שבוודאי יהיו בעיקר הפחתת זיהום אוויר) יימצאו כפחותים מהחסרונות (כגון פגיעה בציבור, בשימושי קרקע וכדומה), נציע שיפורים לתוכנית או נתנגד לה.

לפני שנים רבות יועד שטח באזור שבטה להקמת כור אזרחי, אך כידוע, לא הוקם שם עדיין כור. בהחלטה עתידית על הקמת כור יהיה צורך להביא בחשבון את המרחק מיישובים וכן היבטים פיזיים, כגון היציבות הגיאולוגית של האתר (מבחינת העתקים, סידוק וגלישת קרקע) - כל אלה עלולים להקשות עד מאוד על איתור שטח מתאים. המשרד להגנת הסביבה הוא משרד מקצועי, וכל דבר נבחן קודם כול בהתבססות על מידע ועל נתונים. בנושא הזה אין לנו מידע נכון לעכשיו.

פרופ' סטיליאן גלברג: עמדותי בנושא נחיצות השילוב של אנרגיה גרעינית בסל מקורות האנרגיה של מדינת ישראל חיובית. בתנאים מסוימים כדאי שתהיה לישראל, כמו לכל מדינה אחרת, אפשרות

שחר סולר: המשרד להגנת הסביבה טרם גיבש עמדה בנושא ייצור חשמל מכורים גרעיניים, מכיוון שנושא זה לא נמצא על שולחן הממשלה או מוסדות התכנון. בתחום של ייצור חשמל מכורים גרעיניים ישנן מורכבויות שהן מעבר לעולם התכנון (אמנות בין-לאומיות, יחסים גיאואסטרטגיים ועוד). אם יוסרו המכשולים הללו, הנושא עשוי לעלות על הפרק, ואז יידרש המשרד להגנת הסביבה לגבש עמדה ולהשתתף בתהליך קבלת ההחלטות בממשלה. אם וכאשר הנושא יעלה, המשרד יגבש עמדה שתביא בחשבון מגוון



כור גרעיני מתוצרת חברת ווסטינגהאוס, בדרום קרוליינה (ארה"ב), המייצר חשמל בהספק של 735 מגה-ואט | NRC, flickr CC-BY-2.0

נגרם עקב תקלה, אלא בגלל טיפשות וחוסר מחשבה, שגרמו לביטול אמצעי הבטיחות בכור (שמהווים כ-90% מהעלות של כורים גרעיניים), ובמצב זה נערכו בו בדיקות שהובילו לפריצת מעטפת ההגנה של ליבת הכור; בפוקושימה (2011) גרמו איתני הטבע לשילוב חריג של רעידת אדמה חזקה ביותר שגרמה להפסקת פעילות הכור, ולגל צונאמי גבוה ביותר שהציף את הגנטורים לשעת חירום של הכור. אומנם הותכו שלושה כורים, והיה צורך בעקירת אוכלוסייה ממקומה, אך הדבר לא הביא לפגיעה בנפש. לפיכך, לדעתי, על המדינה לקדם את האפשרות לשימוש באנרגיה גרעינית בישראל, ולהכשיר כוח אדם שיהיה זמין ומיומן בהפעלת כורים גרעיניים.

מקורות

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2017. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2016 report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: United Nations. www.bit.ly/UNSCEAR-2016.

של ייצור חשמל מכור גרעיני, מכיוון שמקור אנרגיה זה יציב זמין בכל השעות והימים, ונקי בהרבה מגז, ובוודאי מפחם. מקורות האנרגיה הקבועים שלנו הם כיום גז ופחם, ומאחר שהשימוש בפחם פחות משמעותית בעידן הנוכחי, הצורך בגיוון מחייב להחליף את הפחם באנרגיה גרעינית.

בדו"ח השנתי האחרון של הוועדה המדעית של האו"ם בנושא בטיחות קרינה אטומית [1] הושוותה החשיפה לקרינה מייננת ממקורות אנרגיה שונים. העורכים הגיעו למסקנה לא טריוויאלית: רמות הקרינה המייננת שהאנושות חשופה אליהן בעקבות השימוש בפחם, גדולות משמעותית מאלה שהיא נחשפת אליהן בגלל כלל הפעולות הכרוכות בייצור חשמל מאנרגיה גרעינית (כריית האורניום, ייצור הדלק הגרעיני ופינוי הפסולת), וזאת בשל הכמויות העצומות של פחם שנשרף בתחנות כוח ליחידת אנרגיה.

בשל אי-חתימה על האמנה לאי-הפצת נשק גרעיני מתקשה ישראל ברכישת כור גרעיני לייצור חשמל, אבל ההערכה היא שאף על פי כן, האפשרות עשויה להיות בת-מימוש באחת מהדרכים הבאות:

- שימוש בכורים שבתהליך ייצור החשמל בהם לא נוצרים חומרים רדיואקטיביים בעלי פוטנציאל לשימוש צבאי.
- הצבת כור על אונייה העוגנת מחוץ למים הטריטוריאליים של ישראל. החשמל שיוצר בכור יועבר לארץ בקווי מתח תת-ימיים, וכך תינהגה ישראל מחשמל שנוצר על-ידי אנרגיה גרעינית, מבלי שיהיה לה כור גרעיני.
- בניית כורים קטנים ("כורי סוללה"), המצטיינים בבטיחות מוחלטת, אפילו במקרה של הפצצתם. מדובר בכורים שגודלם כגודל מקרר, והם פועלים שנים בודדות (5-7 שנים). הם מייצרים חשמל המספק את התצרוכת של 50-60 אלף בתים, ומאפשרים ייצור מבוזר של חשמל ללא צורך בקווי הולכת חשמל.

הניסיון העולמי שנצבר בהפעלת כורים גרעיניים מצוין, ללא תקלות שגרמו לפגיעה בנפש: ב-Three Mile Island (1979) אומנם הייתה תאונה, אבל אף אחד לא נפגע; אסון צ'רנוביל (1986) לא

תחנת כוח גרעינית בישראל - מה יודע וחושב הציבור?

יעל פרג כהן מינץ

בית הספר לקיימות, המרכז הבינתחומי הרצליה
yparag@idc.ac.il

בשנים האחרונות שבה ממשלת ישראל לבחון את האפשרות להקים תחנת כוח גרעינית להפקת חשמל. בדיקה זו מערבת סוגיות טכניות, כלכליות ופוליטיות מגוונות. לדעת הקהל ולשיתוף הציבור בהחלטה עתידית על שימוש באנרגיה גרעינית יש מקום חשוב בתהליך קבלת ההחלטות על הקמת התחנה. בשנה החולפת נערך, לראשונה בישראל, מחקר הבוחן את השאלה מה חושב הציבור על האפשרות

הגרעיניות. המשתתפים מעדיפים שהן יוקמו רחוק ככל האפשר ממקום מגוריהם, כלומר בנגב.

את קבוצות המיקוד השלימו מספר ראיונות עם תושבי הדרום. בקרב המרואיינים עולה שהם מודעים לכך שהנגב נתפס כ"החצר האחורית" של המדינה. הם מניחים שאם יוקמו כורים גרעיניים, הם יוקמו בדרום, והם מקווים שיינקטו צעדים מספיקים להבטחת בטיחות התושבים ובריאותם. למרות ההשלמה לכאורה עם בניית הכורים בנגב, מרביתם ציינו שאם התחנה תוקם בקרבת מקום מגוריהם, הם יפעלו באופן אישי כנגד המהלך, ואף יצאו להפגנות. חשוב להדגיש שמבחינת תושבי הדרום מה שממוקם במרחק של עשרות ואף מאות קילומטרים ממקום מגוריהם עדיין נתפס כקרוב לבית.

לתפיסת המשתתפים בקבוצות המיקוד, ישראל אינה ערוכה להתמודדות עם אסונות כדוגמת צ'רנוביל ופוקושימה. ולראיה – ישראל מתקשה להתמודד עם אסונות קטנים בהרבה (כמו השריפות בכרמל). זאת ועוד, לישראל אין שטחים עודפים שניתן לפנות אליהם תושבים במקרה של תקלה. כמו כן, ישראל יכולה לבחור לא להסתכן בהקמת תחנת כוח גרעינית, מאחר שישנן חלופות טובות יותר – מאגרי הגז שהתגלו מבייחיים עצמאות מבחינת אספקת האנרגיה, ואנרגיית השמש נקייה יותר ולא תומנת בחובה כל סיכונים. מידע על השימוש הנרחב באנרגיה גרעינית במדינות אחרות נתפס כמעודד, אך עם זאת חלק מהמשתתפים טוענים שלא ניתן להשוות אותנו למדינות מפותחות אחרות, מאחר שאנו 'מדינת קומבינה'.

תפיסות האוכלוסייה היהודית הבוגרת

להלן הממצאים העיקריים מסקר אינטרנטי על עמדות הציבור שנערך בקרב 504 איש, המהווים מדגם מייצג של האוכלוסייה היהודית בגילאי 18 ומעלה:

- א. הציבור בישראל מעדיף שהחשמל ייוצר ממקורות מתחדשים, בעיקר שמש ורוח. אנרגיה גרעינית ואנרגיה ממקור פחמי הן שני המקורות שהועדפו על ידי האחוז הנמוך ביותר של משיבים.
- ב. הציבור בישראל חצוי בעמדתו ביחס לשימוש בגרעין להפקת חשמל. עם זאת, קרוב לשני שלישים מהמשיבים סבורים שאין להם מספיק מידע על אנרגיה גרעינית כדי לגבש עמדה בנושא.
- ג. הציבור סבור שאנרגיה גרעינית מפחיתה את התלות בדלקים מתכלים, ושהחשמל המופק בעזרתה נקי מפליטות מזהמים וגזי חממה. בו בזמן, הציבור מוטרד מסוגיית הבטיחות ומסכנת דליפה של חומר רדיואקטיבי מהתחנה. לכן, בטיחות היא הנושא החשוב ביותר שמקבלי החלטות צריכים להביא בחשבון.
- ד. ציבור המשיבים מביע אמון בארגוני הסביבה, באקדמיה ובמשרד להגנת הסביבה כמייצגים הטובים ביותר של האינטרסים שלו בדיון הציבורי בנושא גרעין. הנשאלים הביעו חוסר אמון מובהק

כי תוקם בישראל תחנה כזו. המחקר נערך בתמיכת משרד האנרגיה ובהובלת הכותבת, והשתתפו בו החוקרים נועם סגל ואיתן קוכמן וכן מכון רותם. במחקר שולבו מספר שיטות מחקר, ובהן ראיונות עם מומחים, עם ראשי רשויות בדרום ועם בעלי עניין אחרים, קבוצות מיקוד וסקר עמדות הציבור בקרב האוכלוסייה היהודית והערבית. עיקרי הממצאים שעלו בקבוצות המיקוד ובסקר מובאים כאן.

ממצאים עיקריים מקבוצות המיקוד

בחודש יולי 2017 נערכו מפגשים לחמש קבוצות מיקוד באזור המרכז. בדיון נמצא כי אנרגיה גרעינית מעוררת בקרב המשתתפים רגשות שליליים ופחדים, מאחר שהיא נקשרת מבחינה אסוציאטיבית למושגים כגון כורים גרעיניים, פצצות אטום, מלחמות וקרינה, לאסונות כמו דליפה רדיואקטיבית, ולהשפעות בריאותיות וגנטיות ארוכות טווח. בעוד שקיימת מודעות לכל מקורות האנרגיה החלופיים, בעיקר לגז ולשמש, אך גם למים ולרוח, ישנו חוסר מודעות מוחלט לאפשרות השימוש בגרעין כדלק חלופי לייצור חשמל.

משתתפי קבוצות המיקוד קיבלו את האפשרות ההיפותטית להקמת תחנות כוח גרעיניות להפקת אחוז ניכר מהחשמל בישראל בעתיד הקרוב ברגשות מעורבים. לצד ציפייה להחלת מחירי החשמל ולהקטנת הזיהום, עורר הגרעין חשש מאסונות ומתקלות. כך או כך, נראה שתוכנית להקמת תחנות כוח גרעיניות להפקת חשמל בישראל לא צפויה להצית את השיח הציבורי, אולם המשתתפים הביעו תקווה שתחנה גרעינית לא תוקם סמוך למקום מגוריהם. ככל הנראה, רק קרבה למקום המגורים תוביל לתגובות משמעותיות ולמעורבות אישית, כולל הפגנות.

המשתתפים סבורים שחשם עיקרי בשיתוף הציבור בהחלטה על הקמת תחנת כוח גרעינית הוא מידע ומומחיות, משום שלציבור חסרים הידע והמומחיות הנדרשים כדי לתרום להחלטה מושכלת. התייעצות עם ציבור חסר ידע נתפסת כדבר שעלול להוביל להחלטות שגויות. קיים גם חשש ממניפולציות שיפעילו גורמים בעלי עניין, שימסרו מידע לא אובייקטיבי ולא בהכרח מתוך חשיבה על טובת הציבור. מידע כזה עלול להטות את החלטת הציבור לכיוון הרצוי לגורמים הללו.

ישנו קונפליקט ביחס לזהות הגורמים הנתפסים כמתאימים לייצג את האינטרס של הציבור: ההחלטה על הקמת תחנות כוח גרעיניות נתפסת כהחלטה אסטרטגית, שהדרג הפוליטי הנבחר אמור לקבל. ועם זאת, דרג זה הוא בדיוק הגורם שנתפס כפחות אמין מכולם, שמניעו אישיים, כלכליים ופוליטיים, ואינם משרתים בהכרח את טובת הציבור. כמו כן, המשתתפים הביעו דרישה לשקיפות בתהליכי קבלת החלטות. המשתתפים הדגישו שחשוב מאוד שלא יסתירו מהציבור את המיקום המתוכנן של תחנות הכוח

ח. הציבור מעוניין להשתתף באופן פעיל בדיון על האפשרות כי תוקם תחנה גרעינית בישראל, ואינו סומך על הפוליטיקאים שייצגו את האינטרס שלו בסוגיה זו.

תפיסות האוכלוסייה הבדואית בנגב

סקר טלפוני בערבית נערך בקרב מדגם אקראי ומייצג של 102 נדגמים מקרב האוכלוסייה הבדואית בדרום הארץ. רק מחצית מהמשיבים מחוברים לרשת החשמל. בסקר נמצא כי מרבית המשיבים מתנגדים להקמת תחנת כוח גרעינית ליד יישוב המגורים שלהם, ובאופן מעט מפתיע, הצעה לפיצוי היישוב בגין הקמת תחנת כוח מעלה את אחוז המתנגדים. המתנגדים מסבירים את התנגדותם בכך שתחנת כוח גרעינית עלולה לגרום בעיות בריאות ונזקים סביבתיים. רק כשליש מהמשיבים שמעו על אנרגיה גרעינית כמקור להפקת חשמל, ולכן ממצאי הסקר צריכים להיבחן בהתייחס לעובדה זו. בדומה לאוכלוסייה היהודית, הביעו המשיבים אמון במשרד להגנת הסביבה ובארגוני הסביבה כגורם המייצג את האינטרסים שלהם בצורה הטובה ביותר.

בדרג הפוליטי ברמה הארצית ובשלטון המקומי.

ה. חשיפת הציבור למידע חיובי על אנרגיה גרעינית גורמת לעמדות חיוביות יותר כלפי הקמת התחנה. חשיפת הציבור למידע שלילי על אנרגיה גרעינית אינה גורמת לעמדות שליליות יותר, מכיוון שלציבור עמדה מוקדמת שלילית ביחס לשימוש בטכנולוגיה זו. לפיכך, כדי לקדם שימוש באנרגיה גרעינית יש להסיר את החששות של הציבור ממנה (בעיקר בכל מה שקשור לתקלות) ולתת במה בתקשורת ליתרונותיה.

1. תפיסת עולם מקיימת לא השפיעה על עמדות בעד הקמת התחנה או כנגדה.

2. ההתנגדות לתחנת כוח גרעינית גוברת כאשר מוצע להקימה בקרבת מקום המגורים של הנדגמים (תופעת נִמְבִּ"י). בקרב הנסקרים היהודים 69% מהנשאלים ענו שיתנגדו להקמת תחנה באזור מגוריהם, 23% בלבד יתנגדו להקמתה באזור אשלים שבנגב, ו-28% יתנגדו להקמת התחנה אם לא יצוין מיקומה הפיזי. ההצעה כי יישוב שבקרבתו תוקם התחנה יקבל פיצוי או תגמול כלשהו בשל כך, לא הקטינה את ההתנגדות לתחנה גרעינית סמוכה.



שילוב כורים גרעיניים בסל הדלקים לייצור חשמל בישראל

עמית מור ^[1], שמעון סרוסי ^[1] ויובל לסטר

^[1] אקו אנרג'י - יעוץ כלכלי אסטרטגי

* amitmor@decoenergy.co.il

קיימים שלושה שיקולים מרכזיים התומכים בהקמת כורים גרעיניים אזרחיים במשק החשמל הישראלי ^[1]:

א. היכולת לצמצם בדרך זו בצורה ניכרת את פליטות הפחמן הדו-חמצני כחלק מהמאמץ העולמי להקטנת פליטות גזי חממה התורמות להתחממות העולמית.

ב. השגת ביטחון מבחינת אספקת האנרגיה במשק החשמל דרך גיוון סל מקורות האנרגיה ומתן מענה הולם לגידול הצפוי בצריכת החשמל.

ג. היכולת לרכז את ייצור החשמל על פני שטח מצומצם יחסית ולהפחית את הלחץ על המשאב הקרקעי המצוי במחסור. בבסיס תהליך קבלת ההחלטות באשר לצורך בשילוב ייצור חשמל מכורים גרעיניים ניצבים שיקולים כלכליים, גיאואסטרטגיים וסביבתיים, שחלק מהם ייחודיים למדינת ישראל ^[1].



הוצאה מכלל שימוש של כור גרעיני בגרמניה | צילום: Forschungszentrum Juelich, flickr CC-BY-2.0, GmbH, באדיבות הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית

טכנולוגיות וחומרי דלק ממדינות זרות. הסחר בטכנולוגיות ובחומרי הדלק מורשה רק בין מדינות החתומות על האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, וישראל איננה חתומה עליה. הודו נהנית מתקדים שלפיו חרף העובדה שאינה חתומה על האמנה, היא מקבלת מארה"ב טכנולוגיות וחומרי דלק לייצור חשמל בכורים גרעיניים. ישראל יכולה לנסות ליהנות מהתקדים ההודי, ולהתחיל במאמצים להשיג הסכם דומה. לחלופין, היא תוכל להצטרף לאמנה למניעת הפצת נשק גרעיני על המשמעות הגלומות בכך. שתי החלופות יגבו מחיר מדיני-אסטרטגי.

החשש מהתגרענות אזרית

קיים קשר בין היכולת לייצר חשמל בכורים גרעיניים לבין היכולת לייצר נשק גרעיני. הודו ופקיסטן הן דוגמה למדינות שפיתחו באופן סודי נשק גרעיני בתוך כורי חשמל אזרחיים, שחלקיהם נמכרו להן על-ידי תעשיית האנרגיה הגרעינית העולמית. העובדה כי מדינות שכנות לישראל במזרח התיכון מעוניינות גם הן בייצור חשמל מכורים גרעיניים, צריכה להדליק נורה אדומה בהקשר זה.

עם הפנים קדימה

כדי שיהיה ניתן לענות על השאלה אם על ישראל לפעול לשילוב אנרגיה גרעינית במשק החשמל, נדרשת בדיקת היתכנות טכנית-כלכלית הכוללת גם בחינה מקיפה של שיקולים אסטרטגיים, סביבתיים וחברתיים. בדיקת היתכנות כזו צריכה להיעשות על-ידי אנשי מקצוע מרקע שונה (כגון מדע, כלכלה ומשפט), הנקיים מאינטרסים בנושא. על תהליך הבדיקה להיות שקוף לציבור ולארגונים שונים המייצגים אותן, ויש להקשיב להם לאורך שלבי הבדיקה השונים. המדינה צריכה להתחיל בהקדם בתהליך זה שיכול להימשך תקופה ארוכה, כדי שבסיומו נדע איזה נתיב ייבחר לפיתוח משק החשמל העתידי של ישראל.

אם בתום תהליך הבדיקה אכן תיבחר החלופה של הקמת כורים גרעיניים אזרחיים לייצור חשמל בישראל, יהיה זה מיזם תשתית לאומי מן הגדולים שהמדינה ידעה. הממשלה תידרש לגייס תשומות ומשאבים ולפעול בנחישות מול התנגדות מבית ומחוץ כדי לקדמו במשך תקופה של יותר מעשור עד למימושו.

מקורות

[1] מור ע, סרוסי ש ולסטר י. 2011. אנרגיה גרעינית בישראל? שיקולים כלכליים, סביבתיים, אסטרטגיים וגיאופוליטיים. הרצליה: אקו אנרג'י - יעוץ כלכלי אסטרטגי.

מִדְרָךְ הַקְרָקָע וּמִדְרָךְ הַפַּחְמָן שֶׁל כּוֹרִים גְרַעִינִיִּים אֶזְרַחִיִּים
אם מדינת ישראל תהיה מעוניינת לייצר 25% מהחשמל בשנת 2030 ממקורות אנרגיה מתחדשים, יהיה עליה לייעד לכך שטחים בהיקף של 250–300 קמ"ר. אם תבחר בחלופה של ייצור 5% מהחשמל בשנת 2030 ממקורות מתחדשים שאינם גרעיניים, וכן בהקמת ארבעה כורים גרעיניים עד לשנה זו בהספק מותקן של 1 ג'יגה-ואט כל אחד, יהיה עליה לייעד לכך שטחים בהיקף של 50–100 קמ"ר, בעיקר לצורכי תחנות הכוח של האנרגיה המתחדשת. בשתי חלופות אלה פליטות גזי החממה בתהליך ייצור החשמל יהיו פחות או יותר שוות.

היקף היכולת המותקנת הדרושה לישראל ואיתור שטחים מתאימים לכך

כדי שכורים גרעיניים אזרחיים יתפסו נתח משמעותי מהיכולת המותקנת של משק החשמל בישראל בסדר גודל של 10–20% בשנת 2030 ואילך, ידרשו 3–4 כורים גרעיניים בהספק מותקן של 1–1.2 ג'יגה-ואט כל אחד. השטח שחברת החשמל יעדה ליד בסיס שבטה מתאים ככל הנראה להספק גרעיני מותקן של כ-3 ג'יגה-ואט.

סילוק הפסולת הגרעינית

נכון להיום אין בעולם אתר לאחסנה סופית של דלק גרעיני מנוצל. בפני מדינת ישראל עומדות כיום שתי חלופות לסילוק פסולת גרעינית. הראשונה היא אחסנת הפסולת הגרעינית בתחומה לטווח בינוני. במקרה זה יהיה צריך להקים מערך שלם לפינוי מבוקר של פסולת גרעינית ואחסנתה. החלופה השנייה היא יצוא הפסולת הגרעינית למדינה שתסכים לעבד את הפסולת או לאחסן אותה לטווח בינוני. במקרה זה יהיה צריך למצוא מדינת יעד בעלת יכולת טיפול בפסולת גרעינית שתסכים לקבל אותה, וכן להקים מערך יצוא מבוקר של פסולת כזו.

שקיפות

אם ישראל תרצה לייצר חשמל בכורים גרעיניים אזרחיים, היא תהיה חייבת לפעול לשיפור השקיפות של המנגנונים השונים שיהיו אחראיים על הניהול והתפעול השוטף של הכורים, ולאפשר את הביקורת החשובה של גופים שלטוניים שונים ושל החברה האזרחית.

האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני

פיתוח יכולת ייצור חשמל בכורים אזרחיים בישראל יחייב קבלת

שנוכחנו לראות, למשל, בפוקושימה. דרך העדשה של מפרץ חיפה, ובייחוד של מכל האמוניה, אפשר לראות שאצל אזרחי ישראל נוצרה תודעה מכילת סיכון ברמות שלא מתקבלות על הדעת. יש סיכון כזה מאסונות טבע, כמו צונאמי או רעידות אדמה, וזו גזירת גורל, אבל אין שום סיבה שהאדם יוסיף סיכונים בהגדרה כזו (סבירות נמוכה, מחיר כבד מאוד).

יש לנהל סיכונים כשאפשר לחלק אותם בצורה הוגנת, והאנרגיה הגרעינית עדיין לא עונה לקריטריונים כאלה. אנרגיה גרעינית מחלקת סיכונים לא מידתיים לא רק לדור הנוכחי, אלא גם לדורות הבאים. נושא הסיכון מוביל למסקנה פשוטה – צריך לבזר את ייצור האנרגיה. ביזור הייצור משמעו ביזור הסיכונים. ואת המשימה הזו ממלאות אנרגיות מתחדשות שמתבססות על ריבוי מתקנים קטנים, למשל מתקני גגות. בניגוד להן, אנרגיה גרעינית יוצרת מחדש ריכוזיות.

האם אפשר לקיים שקיפות בכל הנוגע לאנרגיה גרעינית? לעניות דעתי, סוגיית השקיפות באשר לקידום מתקן להפקת חשמל מגרעין בישראל צריכה להידון במסגרת דיון רחב יותר בשתי סוגיות מְקוּרו: הראשונה היא מה מידתם ואופיים של הסיכונים שאזרחי ישראל מוכנים להיות חשופים אליהם (מדובר כמובן בסיכונים שיש לנו שליטה מלאה עליהם כמדינה ריבונית); הסוגיה השנייה היא מהן עמדות הציבור לגבי כלל מערך האנרגיה בישראל: כמה אנרגיות מתחדשות הציבור רוצה בישראל, כמה הוא מוכן לשלם עבורן, ועד כמה מערך הפקת החשמל צריך להיות מבזר.

קשה מאוד לדבר על שקיפות בנושא כמו אנרגיה גרעינית, וקשה עוד יותר לדבר על דמוקרטיה או על שיתוף הציבור. בניגוד לריכוזיות המתלווה לאנרגיה הגרעינית, אנרגיה מתחדשת היא ביזורית במהותה, וכך היא מתקשרת יותר להגדרה של אנרגיה דמוקרטית, כזו המערבת את הציבור לא רק כדי לקבל חותמת גומי, אלא כדי להיות גורם מעצב.

הירושה לדורות הבאים, המוכנות לסיכון וחוסר השקיפות – שלוש הבעיות המרכזיות של אנרגיה גרעינית

יונתן אייקנבאום

גרינפיס ישראל

jonathan.aikhenbaum@greenpeace.org

בימים שלאחר מלחמת העולם השנייה התפתחה האנרגיה הגרעינית לשימוש אזרחי. מדינות כמו צרפת ביססו את רוב ייצור החשמל שלהם על הגרעין. בסך הכול, באותה תקופה מספר האנשים שחלו או מתו בגלל השפעותיה השליליות של האנרגיה הגרעינית, היה נמוך ממספרם של אלה שחלו או מתו בעקבות השפעות שליליות של מקורות האנרגיה האחרים, ובראשם פחם. אם כן, מדוע שלא נבחר להשתמש בגרעין גם אנו? יש לכך כמה סיבות מהותיות.

הסיבה הראשונה קשורה לאופי הירושה שאנחנו מותירים לדורות הבאים. ביטוי זה בוודאי מעלה תמיהה רבה בקשר להגדרת הירושה ולהגדרת הדור הבא. נסתפק באמירה כי אסון הנפט שחולל סדאם חוסיין במלחמת המפרץ הראשונה הותיר מצב קטסטרופלי במפרץ הפרסי, אולם לתקופה קצרה יחסית בחיי האנושות (כמה שנים עד כמה עשרות שנים). מנגד, גרעין ופסולת גרעינית מותירים חומרים מזיקים לדורות רבים, לתקופה עתידית כה רחוקה, שאין לנו מושג איך תיראה. האם לדורות הבאים יהיו הכלים להתמודד עם מה שנשאיר להם? גם אם מטפלים בפסולת בצורה נאותה, וגם אם הסיכון נמוך, הנזק נשאר לאורך אלפי ואף מאות אלפי שנים.

סוגיית הירושה קשורה לסוגיית תרבות הסיכון. אנרגיה גרעינית יוצרת סיכון. סבירותו אומנם נמוכה מאוד, אבל אם יתממש, יהיו לו השלכות קטסטרופליות. הסבירות שרעידת אדמה או פיצוץ יפגעו בתחנה גרעינית היא נמוכה, אך ההשלכות יהיו נוראיות, כמו



תאונות משמעותיות בכורים גרעיניים (מימין לשמאל): פמלייתו של הנשיא קרטר עוזבת את Three Mile Island [1.4.1979]; חייל מטהר ציוד בצ'רנוביל [אפריל 1986]; ראש המשלחת של הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית לפוקושימה [27.5.2011] | צילום: NRC / IAEA; USFCRFC / IAEA; Greg Webb