

תכנית הגרעין



הפצצה מעל הירושימה. תצלום: ויקיפדיה

השבוע מלאו 70 שנה להטלת פצצות האטום על הערים היפניות הירושימה ונגסקי בסוף מלחמת העולם השנייה. אירוע זה מסמל את תחילתו הרשמית של עידן האטום. בהפצצות אלו הודגם כוחו ההרסני של ביקוע האטום ובהן ניתן למצוא את המקור הראשוני לחרדה האנושית מפני כוחו העצום של ביקוע הגרעין. חרדה זו הועצמה בזמן המלחמה הקרה, כאשר לא פעם היו גושי המערב והמזרח על ספה של מלחמה גרעינית – כמו במקרה של משבר הטילים בקובה, באוקטובר 1962. לצד הסכנה הנוראית שטמונה בכוח האטום, יש בו כמובן גם פוטנציאל עצום להפקת אנרגיה. אולם, ככל שהמדע התקדם במיצוי פוטנציאל זה לצרכים אזרחיים, חלק מהחרדה מפני מלחמה גרעינית עבר גם לתחום האנרגיה הגרעינית. בשנות ה-60 וה-70 של המאה הקודמת החלה תנועת מחאה עולמית נגד שימוש באנרגיה גרעינית, שנתפסה כמסוכנת לאדם ולסביבה. המתנגדים לאנרגיה גרעינית קיבלו הוכחה לצדקת דרכם ב-1979, כאשר תאונה בכור גרעיני island mile Three בפנסילבניה, ארצות הברית, גרמה לשחרור כמות גדולה של חומרים רדיואקטיביים לסביבה. בעקבות פעילות תנועת המחאה העולמית ובצירוף העובדה שמחירי דלקי המאובנים היו אז זולים מאוד, חלה האטה משמעותית בתוכניות פיתוח והקמה של כורים גרעיניים בעולם. כיום, רק כ-10 אחוזים מהחשמל בעולם מיוצר מאנרגיה גרעינית.

זיהום קרינה

בתגובת ביקוע גרעינית, גרעינים של אטומים או חלקיקים תת-גרעיניים מתנגשים זה בזה וגורמים ליצירת גרעינים או חלקיקים תת-גרעיניים חדשים. שינוי כזה במבנה של גרעין אטום גורם לשחרור כמות גדולה של אנרגיה. בכור גרעיני, גרעיני אורניום עוברים ביקוע גרעיני בצורה מבוקרת ואטית. האנרגיה שמשחררת משמשת לחימום מים לקיטור, שמניע טורבינות ליצירת חשמל. הייחוד של תהליך כזה, הוא שמכמות קטנה מאוד של חומר גלם ניתן להפיק כמות עצומה של אנרגיה. במהלך 64 השנים שחלפו מאז הקמת הכור הגרעיני הניסויי הראשון שייצר חשמל, אירעו כמאה תאונות בכורים גרעיניים, מתוכן

רק שלוש תאונות רציניות עם השפעות נרחבות על הסביבה: התאונה ב-mile Three island ספק אין. 2011-ב (יפן) פוקושימה ואסון, 1986-ב (אוקראינה) רנוביל'צ אסון, שהבעיה ארוכת הטווח במקרה של תאונה גרעינית היא זיהום קרינה, שיכול להתפשט על פני אזורים נרחבים ולהישאר במקומות מסוימים במשך עשרות שנים ואף אלפי שנים. עם זאת, צריך לזכור שמקרי המוות הישירים מקרינה משלוש תאונות גדולות אלו הסתכמו בפחות מ-50 בני אדם, כאשר ההערכות מדברות על כמה אלפי מקרי מוות



עקיפים - בגלל סרטן או מומים מולדים.

הפגנה נגד אנרגיה

גרעינית בארה"ב, סוף שנות ה-70. תצלום: Records and Archives National Administration לא, למשל, ב"בארה Three mile island-ב באסון נהרג אף אדם וגם לא נצפתה עלייה ברמת התחלואה באזור. בצ'רנוביל המצב בהחלט מסובך יותר לבדיקה, זאת בגלל הפעולות הנמרצות שבוצעו על ידי השלטון בברית המועצות לשעבר כדי להסתיר את האסון ולהעלים מקרי מות וחולי שהיו קשורים אליו. אולם, לצד ההסתרה הסובייטית, יש טענה שבשנים שלאחר התפרקות ברית-המועצות, אוקראינה ובלרוס, המדינות שנפגעו בצורה הקשה ביותר מאסון צ'רנוביל העצימו את הנזקים של האסון כדי לקבל סיוע בינלאומי רב יותר. יש מחקרים שאף טוענים שהגישה באותן מדינות להנציח את האוכלוסייה שנחשפה לאסון כקרבנות ולא כניצולים - גרמה לחלקים נרחבים באוכלוסייה לחרדות ולנזקים פסיכולוגיים ופסיכיאטריים שגרמו לבעיות רפואיות רבות, כמו תשישות, חולשה של המערכת החיסונית, התמכרויות, מחלות לב ועוד. מבחינת עלות הטיפול בדליפה, ההערכה היא שפעולות הניקיון וההגנה באסון ב כמה עלה רנוביל'צ באסון הטיפול. דולר כמיליארד עלה ב"בארה Three mile island מאות מיליארדי דולר לאורך 30 שנים (הכלה, ניקוי, פינוי, יישוב מחדש, תמיכה בנפגעים ועוד). מדובר בסכומים נכבדים, אבל בהשוואה לעלויות של דלקי המאובנים בעולם הם כמעט חסרי חשיבות: דלקי המאובנים גורמים לנזקים שמוערכים בכשני טריליון דולר ו שישה מיליון מקרי מוות **מדי שנה** מזיהום אוויר.

מתחדשות מול גרעין

את אנרגיית הגרעין אפשר להשוות מבחינת פליטות גזי חממה ומזהמים (לא רדיואקטיביים) לאנרגיית רוח. למעשה, היא טובה יותר גם מאנרגיה סולרית בצורתה הנוכחית. רוב ההשפעה הסביבתית באנרגיית גרעין היא בכריית חומרי הגלם, הקמת המתקנים ובסיום חיי המתקנים. הפקת האנרגיה עצמה זולה ובקושי פוגעת בסביבה. מובן שכל מקורות אנרגיה אלה עדיפים על דלקי מאובנים. אנרגיית גרעין בעייתית יותר מאנרגיות מתחדשות בעיקר בזיהום הרדיואקטיבי שנוצר בעת הכרייה, בזיהום חמור שיכול להתרחש במהלך תקלה, וכן בזיהום שנוצר בעת השלכת פסולת גרעינית. היתרונות הגדולים של אנרגיית הגרעין על פני האנרגיות מתחדשות הם היכולת לספק המון חשמל באמצעות מספר מצומצם של מתקנים (עשרות עד אלפי מתקני אנרגיה מתחדשת לעומת מתקן גרעיני אחד); פגיעה פחותה פי מאה בשטחים פתוחים; והיכולת לייצר זרם קבוע של חשמל ללא תלות באקלים ובמזג האוויר. בנוסף, עד שייכנסו לשימוש מסחרי [אמצעים לאגירת אנרגיה בקיבולת גדולה](#), לא ניתן להסתמך על אנרגיות מתחדשות, יש לשמור תחנות כוח הפועלות על דלקי מאובנים לגיבוי ויש עלויות תפעול גבוהות, שנובעות מחוסר היציבות של רשת החשמל ומהצורך להדליק ולכבות יחידות יצור בתדירות גבוהה. אולם לצד השיקולים המדעיים והסטטיסטיים, אנרגיית הגרעין מעוררת חששות ואתגרים מסוג אחר. כך, למשל, צריך לשקלל את הרצון של ארגוני הטרור בעולם שישמחו לשים את ידיהם על אמצעי קטלני שכזה. ארגון טרור כזה לא צריך פצצה גרעינית כדי לגרום לנזק בקנה מידה עצום - מספיק לפוצץ פצצה רגילה שמכילה כמה עשרות קילוגרמים של דלק גרעיני משומש במרכז עיר גדולה (או לרסק מטוס על כור גרעיני לא מוגן) כדי לחולל מהומת אלוהים. אמנם, לא יגרמו הרבה מקרי מוות, יחסית, אך ייווצר כאוס עצום בשל החרדה מפני קרינה רדיואקטיבית. ככל שיש יותר כורים גרעיניים ודלק גרעיני, יהיה קל יותר להוציא תכניות זדוניות כאלו לפועל.

כור כחול-לבן



כור גרעיני בביבליס, גרמניה. תצלום: Andy Rudorfer.flickr
שני מדור הם כיום בעולם הפעילים הגרעיניים הכורים רוב בנוסף, יש כ-12 כורי דור שלישי פעילים ואחרים נמצאים בבנייה. כורי דור שלישי בטוחים משמעותית (פי 16-333 יותר, תלוי בדגם) מאשר כורי דור שני (מהסוג של הכור בפוקושימה) והם אף מתוכננים לעמוד בהתנגשות מטוס. בישראל בוחנים כיום הקמה של כורים מדור רביעי. מדובר בכורים קטנים ומודולריים (Modular Small - SMR)

הוא, יתפוצץ כזה כור אם. מגהוואט 300-110 ל בין נע החשמלי שהספקם (Reactor), עלול לגרום לנזק קטן עד פי 10 מהכורים הקיימים כיום. יתרה מכך, כורים אלה יהיו בטיחותיים עוד יותר מכורים מהדור השלישי, והם נותנים מענה למספר בעיות בטיחותיות בכורים שניבנו עד כה: מערכות הכור יכולות להתגבר על כל תקלה מבלי להזדקק להתערבות מפעיל חיצונית או מקור לאנרגיה נוסף. בנוסף, משום שכורים מסוג SMR קטנים משמעותית במידותיהם מכור גרעיני רגיל, היחס בין פני השטח של מיכל הכור לכמות מוצרי הביקוע בתוכו גדול הרבה יותר מאשר בכור רגיל. נתון זה מאפשר לסלק ביתר קלות את החום השיווי מהליבה ובכך להקטין את סכנת התכת הליבה על ידי קירור פסיבי בהסעת חום טבעית. עד היום לא התקבלה בישראל החלטת ממשלה בנוגע להקמת תחנות כוח גרעיניות (תג"רים) בשטחה של מדינת ישראל. במשרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים פועלת מזה כשנתיים תחת יחידת המדען הראשי מינהלת תג"ר כשהיא מאוישת חלקית. המינהלת עוסקת בעיקר ביצירת התנאים המקדימים שיאפשרו הקמתה של תחנת כוח גרעינית בישראל, אם תתקבל החלטה כזאת. הקמת תחנת כוח גרעינית כחול-לבן נבדקת בעיקר משום שעל פי ההערכות, ב-2050 יחסרו למשק הישראלי 20 אחוז מצפי צריכת החשמל שלה (למרות שפע הגז בים שלנו). כמו כן, רצוי לגוון את מקורות האנרגיה של המדינה ולא להסתמך על מקור אחד או שניים בלבד.

אחרי פוקושימה

בעקבות אסון פוקושימה, מדינות מערביות רבות סגרו את תכניות הגרעין שלהן ומדינות אחרות צמצמו אותן. עם זאת, יש לזכור שמדינה כמו גרמניה, למשל, שקיבלה החלטה לסגור את הכורים שברשותה נמצאת במצב מדיני, כלכלי ופיננסי שונה לחלוטין מישראל. גרמניה מקושרת לשכנותיה ב"רשת חשמלית", ויש באפשרותה לקבל חשמל, או "למסור" חשמל שנמצא בעודף. לעומתה, ישראל מהווה "אי גרעיני" ולכן עליה להיות מסוגלת לספק את כל צרכי האנרגיה שלה באופן עצמאי. יפן עצמה, אגב, החליטה ממש לאחרונה שלא לסגור את הכורים שברשותה, זאת בשל הצפי למחסור משמעותי במקורות אנרגיה במדינה. כורים יפנים שהושבתו בעקבות אסון פוקושימה עוברים היום תהליכי "הערכה מחדש" ותחזוקה לפני פתיחה מחדשת. בנוסף, בניגוד למגמה בכמה ממדינות צפון-מערב אירופה, מדינות רבות במזרח אירופה, במזרח התיכון ובדרום-מזרח אסיה מתכננות הקמת תחנות גרעיניות חדשות. כיום יש יותר ויותר מדעני אקלים שקוראים לאימוץ אנרגיית גרעין דור שלישי ורביעי כפתרון הנוכחי היחידי לצמצום פליטות גזי חממה בקנה מידה עולמי, תוך פגיעה מינימלית בשטחים פתוחים. מי יודע? אם בעולם לא היו נסוגים מאימוץ האנרגיה הגרעינית בשנות ה-70 של המאה הקודמת וממשיכים בהרחבת השימוש באנרגיה גרעינית בעולם, יתכן והיום פליטות גזי החממה שלנו היו נמוכות בחצי.