תמהיל האנרגיה של ישראל

הקדמה למורה:

בשל שינויי האקלים מאוד לא רצוי להמשיך להשתמש בדלקי מאובנים (דלקים פוסיליים), ואנו חייבים למצוא דרכים להפחית את השימוש בדלקים אלו ולעבור לתחליפי אנרגיה ירוקים יותר. בשיעור זה נעמיק באפשרויות לצמצום פליטות בשימוש באנרגיות חלופיות, בהתייעלות אנרגטית ובמיסוי ירוק. בפתיחת השיעור נחשף למקומה של ישראל לעומת מדינות אחרות מבחינת תמהיל האנרגיה שלה. במהלך השיעור יבחנו התלמידים את היתרונות והחסרונות של כל פתרון - ידונו התלמידים במגוון אפשרויות לצמצום גזי חממה. לסיכום יכתבו התלמידים מכתב לשר האנרגיה, לשרה להגנת הסביבה או לרשות המקומית או לכל גוף אחר בנושא צמצום פליטות גזי חממה של ישראל.

כיום העולם הולך ומתקדם לעבר שימוש במקורות אנרגיה חלופיים. משמעות המושג "אנרגיה חלופית" היא הפקת אנרגיה ממקורות שאינם דלקי מאובנים (דלקים פוסיליים). דלקי מאובנים נפוצים כיום לשימוש להפקת חשמל, ומדובר בעיקר בנפט המזוקק (סולר ומזוט), בפחם ובגז מחצבים (גז "טבעי"). חשוב למצוא מקורות אנרגיה חלופיים משתי סיבות עיקריות:

1. המשאבים המשמשים להפקת אנרגיה מתכלים ועשויים להיגמר ביום מן הימים.

2. מקורות אנרגיה אלו הם אחת מהסיבות העיקריות לזיהום האוויר ולפליטת גזי החממה אשר הובילו להתחממות כדור הארץ ולשינויי האקלים.

חשוב לזכור כי לא כל אנרגיה חלופית היא בהכרח ידידותית לסביבה. למשל אנרגיה גרעינית אינה פולטת גזי חממה, אבל היא מייצרת פסולת רדיואקטיבית; ואנרגיית תנועת מים לא תמיד ידידותית לסביבה.

פעילות זו מתוך יחידת הוראה פתרונות לשינוי האקלים, שיעור 2 (פיתוח: ד"ר נירית לביא אלון, ד"ר הגר ליס, מרכז בידינו)

משך השיעור: 45 דקות

מושגים: אנרגיה חלופית, אנרגיות מתחדשות, תמהיל אנרגיה

מיומנויות: אוריינות מדעית - הסבר מדעי של תופעות, התמצאות מדעית, פרשנות נתונים וראיות. אוריינות מידע - ארגון מידע, שימוש במידע. התנהלות חברתית - עבודת צוות.

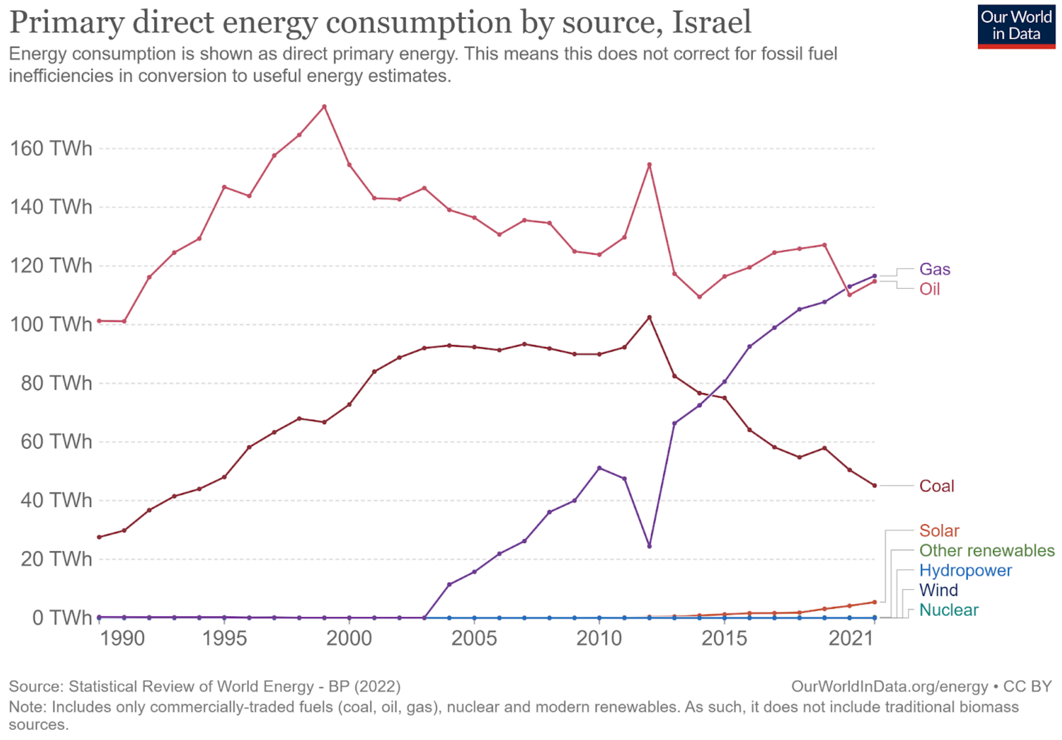
פתיחה לשיעור:

נציג לתלמידים את התחייבותה של מדינת ישראל לעבור ל 30 אחוזים של אנרגיות מתחדשות עד שנת 2030:

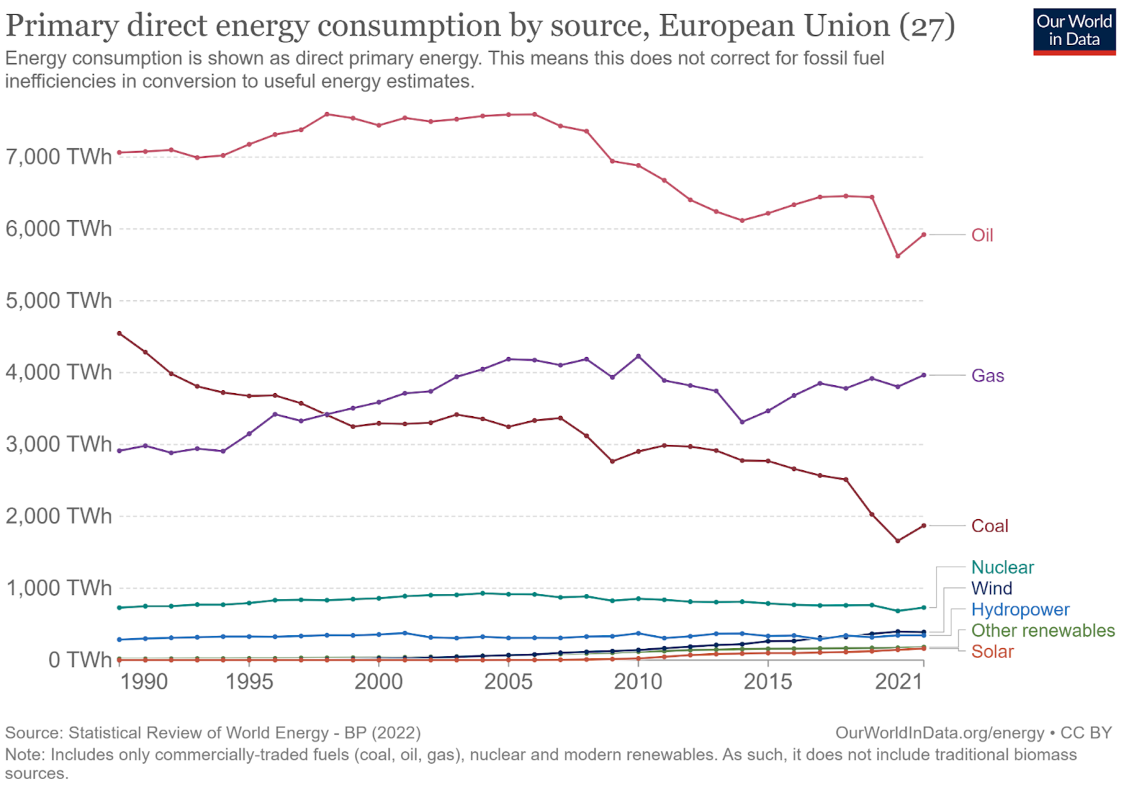
מתוך מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050 | משרד האנרגיה

בנוסף לכך, לפני כשנתיים יצאה אל הדרך הרפורמה במשק החשמל. רפורמה זו מאפשרת פיתוח משק חשמל תחרותי ויעיל תוך הקצאת המשאבים הנדרשים לפיתוח רשת החשמל לצורך קליטת אנרגיות מתחדשות. כמו כן, הכריז שר האנרגיה על יעדי משק האנרגיה לשנת 2030. היעדים כוללים את הפחתת השימוש במוצרי דלק מזהמים ובפרט הפסקת השימוש בפחם והפסקת רובו המכריע של השימוש בתזקיקי נפט, תוך שמירה על אמינות ורציפות אספקת האנרגיה. בשנת 2020 אימצה הממשלה את יעדי משרד האנרגיה וקיבלה החלטה להעלות את יעדי ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות ל30% מתמהיל הייצור, מרביתן ייצור סולארי, עד לשנת 2030. לפי פרסומים של ה-IEA, כבר היום, ישראל נמצאת בעשרת המקומות המובילים בעולם בייצור חשמל מאנרגיית שמש ובזכות היעד השאפתני של 30% ישראל תמשיך להיות בצמרת העולמית. בנוסף, הושלמה ההכנה של תכנית לאומית להתייעלות באנרגיה עד לשנת 2030 הקובעת יעד של 1.3% שיפור שנתי בעצימות האנרגיה. להלן גרף המציג את ההספק המותקן באנרגיות מתחדשות, רובו ככולו מהשמש, בתחזית לעשור הקרוב. עוד ניתן לראות כי על אף שיעד המתחדשות שולש (מיעד של 10% בשנת 2020 ליעד של 30% בשנת 2030) סך ההספק המותקן צריך לגדול פי 6 (!) בין העשור השני לשלישי וזאת כיוון שאנרגיית השמש מוגבלת לשעות מסוימות ביממה ובשנה.

נבחן את תמהיל צריכת האנרגיה של מדינת ישראל בהשוואה למדינות האיחוד האירופי בשנת 2022 (איורים). נדון בהבדלים בין ישראל למדינות אחרות וננסה להעלות רעיונות מדוע ההבדלים האלו קיימים. נתחיל בשאלות אשר מתמקדות במיומנות קריאת גרפים: מהו מקור האנרגיה המרכזי של ישראל ושל מדינות האיחוד האירופי בשנת 2021?



מקור:
https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-consumption-by-source?time=1990..latest&country=~ISR



מקור:
https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-consumption-by-source?time=1990..latest&country=~European+Union+%2827%29

<u>נקודות אפשריות לדיון:</u>

- מהו תמהיל מקורות האנרגיה של ישראל?
- אילו הבדלים ניכרים בין תמהיל האנרגיה של ישראל לתמהיל של מדינות האיחוד האירופי?
- מה לדעתכם מעבב את המעבר לאנרגיות מתחדשות כמו אנרגיה סולארית?

גורמים אלה מעכבים את המעבר לאנרגיות מתחדשות בישראל:

- לאנרגיות מתחדשות רבות ניצולת נמוכה יחסית. הם יעילים הרבה פחות מדלקי מאובנים.
- ישראל היא מדינה קטנה ולה שטח מצומצם, בכל זאת חשוב שתפחית את פליטת גזי החממה שלה (מתקשר לנושא אחריות קולקטיבית לפליטות ושימוש הגבוה יחסית של תושבי מדינות מערביות באנרגיה).
- חוסר תמיכה מדינית במעבר לאנרגיות מתחדשות (אין סבסוד, הורדת מס וכו'...) ועידוד שימוש בגז.
- נדרש שיתוף פעולה של הרשויות כמו רשות החשמל וחברת החשמל.
- עיכוב בגלל פרוצדורות ובירוקרטיה, קביעת מכסות ותעריפים.

עיבוד רפלקטיבי: נשאל את התלמידים מה הם חושבים או מרגישים כאשר נחשפים לנתונים של ישראל בהשוואה לעולם? האם חשים תסכול? אכזבה? הפתעה? נעודד אותם לבטא את תחושותיהם ומחשבותיהם

גוף השיעור: תמהיל חדש לישראל

בפתיחת השיעור ראינו שמדינת ישראל צריכה ליישם יותר פתרונות להפחתת פליטת גזי חממה. נסביר לתלמידים שהם ועדה מייעצת למדינה ישראל שעכשיו מבקשת לשנות את תמהיל צריכת האנרגיה שלה ובוחנת כמה אפשרויות. השיעור יתנהל בשיטת ג'יקסו. בשלב הראשון נחלק את התלמידים לקבוצות מומחים שבהן הם ילמדו על נושא מסוים וימלאו דף מנחה. בשלב השני נחלק את הכיתה מחדש לקבוצות של ועדה מייעצת - כל ועדה תורכב ממומחה אחד מכל תחום.

שלב ראשון:

נחלק את התלמידים לקבוצות מומחים, כל קבוצה תבחן אפשרות אחרת לצמצום השימוש בדלקי מאובנים. הקבוצות יבחנו פתרונות אנרגיה לצד פתרונות אחרים כמו התייעלות אנרגטית ומיסוי ירוק (ראו רשימה מטה). כל קבוצת מומחים תקבל כרטיס מידע או תאסוף מידע ברשת על מקור האנרגיה שהיא חוקרת. כל קבוצה תבחן את הפתרון שלה בתבחינים האלה: יתרונות וחסרונות; השלכות סביבתיות של שימוש במקור אנרגיה זה; עלויות (ראו דף מנחה בנספח 1).

שימו לב - יש תשע קבוצות מומחים. יש לדאוג לחלוקה של הכיתה מראש לפי מספר התלמידים. אם אין די תלמידים, אפשר לוותר על אנרגיה גיאותרמית ואנרגיית תנועת מים, לחלופין אפשר לחבר את הנושאים האלו יחד לקבוצה אחת. אפשרות נוספת היא ליצור קבוצות קטנות יותר לנושאים אלה וכך לא יהיה מומחה אנרגיית תנועת מים או אנרגיה גיאותרמית בכל ועדה מייעצת.

<u>רשימת קבוצות מומחים (ראו כרטיסי מידע בנספח):</u>

הערה: הנושאים הקשים יותר מסומנים בכוכבית

- ביודיזל (דלק ביולוגי) *
- אנרגיה משרפת פסולת
- אנרגיה סולרית *
- אנרגיית רוח
- אנרגיה גרעינית
- אנרגיה גיאותרמית
- אנרגיית תנועת מים
- התייעלות אנרגטית *
- מיסוי ירוק

שלב שני:

לאחר פגישת קבוצת המומחים יתחלקו התלמידים שוב, הפעם לוועדות מייעצות - בכל ועדה מייעצת יהיה לפחות נציג מומחה אחד של כל פתרון אנרגיה. בתוך הוועדה המייעצת יציג כל מומחה את מקור האנרגיה שלו בפני התלמידים האחרים בקצרה. בתום ההצגות הוועדה צריכה להחליט על תמהיל חדש של אנרגיה (אילו אנרגיות ירכיבו 100 אחוזים מהתמהיל) לישראל וגם להמליץ המלצות נוספות להתייעלות אנרגטית ומיסוי ירוק ולנמק נימוק יסודי של הצעתם (ראו דף מנחה בנספח 2).
דף מידע כללי אשר משווה בין פליטות גזי החממה, העלות והיעילות של הפתרונות המוצעים (נספח 3)

יעמוד לרשות הוועדה. שימו לב: כמה מהגרפים בנספח 3 עלולים להיות קשים. אפשר לבחור את הגרפים שתואמים את צורכי הכיתה. הגרפים פותחים פתח לדיון מעמיק יותר בחלופות אנרגיה.

סיכום מבנה המהלך:

חלקו את הכיתה ל-9 קבוצות מומחים
קבוצת מומחים יושבת ולומדת את הנושא תוך כדי קריאת כרטיסיות המידע ומילוי דף מנחה

←

תלמידים יוצרים קבוצות חדשות של ועדה מייעצת. בכל וועדה יש נציג מכל אחת מהקבוצות מומחים (9 תלמידים).

←

הוועדה המייעצת מחליטה על המלצות ע"פ הנחיות בנספח 2 ומידע נוסף הנמצא בנספח 3

←

הצגת ההמלצות של הוועדה המייעצת בסיכום השיעור.

הערה: רשימה של כל הדפים שצריך להכין ולהדפיס מופיעה בתחילת הנספחים.

סיכום:

נחלק את התלמידים לקבוצות ונבקש מהם לכתוב מכתב לנציג ממשלה - שר האנרגיה, השרה להגנת הסביבה, משרד התחבורה, רשות מקומית, מנהל בית ספר או כל דמות אחרת או גוף אחר שתבחרו. במכתב יתייחסו התלמידים להיבט מסוים של צמצום פליטות גזי חממה בארץ, באזור מסוים בארץ או בארגון מסוים - למשל התקנת תאים פוטו־וולטאים על גג בית הספר, הקמת תחנת כוח סולרית, מיסוי ירוק או התייעלות אנרגטית. חשוב שהמכתב יכלול טיעונים הנתמכים בנימוקים מדעיים (קישור נוסף לטיעון: אתר פרקטיקות משרד החינוך).

עיבוד רפלקטיבי - נבקש מהתלמידים להתייחס לתחושות ורגשות העולים בעקבות הפעילות - האם עדיין חשים אכזבה או תסכול? האם הפעילות עוררה בהם תקווה או אופטימיות? נעודד אותם לשתף את תחושותיהם ולהתייחס לדברי העמיתים. נדגיש שכל תחושה היא לגיטימית ונקפיד על דיון רגוע ומכבד.

רשימת נספחים:

	נושא	**למי מיועד?**	**מספר עותקים**
נספח 1	דף מנחה לקבוצת מומחים	קבוצת מומחים	כל התלמידים
נספח 2	דף מנחה לוועדה מייעצת	ועדה מייעצת	לכל התלמידים
נספח 3	מידע על דלקי מאובנים ואנרגיות חלופיות	ועדה מייעצת	שני עותקים לכל קבוצה
נספח 4	כרטיסי מידע	קבוצות מומחים	עותק של הכרטיסייה הרלוונטית לכל תלמיד מקבוצת מומחים מסוימת

נספח 1: דף מנחה לקבוצת מומחים

קראו את כרטיס המידע שלפניכם ומלאו את הטבלה בעת הדיון בקבוצה. רצוי להשתמש במקורות מידע נוספים (ראו מקורות מידע בסוף כרטיס המידע. אפשר לחפש עוד מקורות). שימו לב למידע נוסף אשר משווה בין מקורות האנרגיה בנספח 3. כל תלמיד או תלמידה בקבוצת המומחים צריכים למלא את הטבלה, והיא תשמש אותם בדיון בוועדה המייעצת.

סוג האנרגיה	
האם נפלטים גזי חממה?	**כמה שטח נדרש לטכנולוגיה?**
עלות התקנה או יישום: **גבוה מאוד, גבוה, בינוני, נמוך**	**עלות תחזוקה:** **גבוה מאוד, גבוה, בינוני, נמוך**
האם אפשר ליישם במדינת ישראל? **באיזה קנה מידה?**	**מה הם הקשיים ביישום?** **כיצד אפשר לעודד יישום?**
סיכום יתרונות	**סיכום חסרונות**

נספח 2: דף מנחה לוועדה מייעצת

התכנסתם בוועדה מייעצת שתדון באמצעים להפחתת פליטות גזי חממה במדינת ישראל. הוועדה צריכה להציע תמהיל אנרגיה (אילו אנרגיות יבנו את סך כל האנרגיה המשמשת בארץ בחלוקה לאחוזים) והמלצות נוספות שיכולות להפחית את התלות של המדינה בדלקי מאובנים (דלקים פוסיליים). את ההמלצות תתנו על בסיס מידע מהמומחים ועל בסיס המידע שניתן בנספח 3. לפניכם דף מנחה שיעזור לכם במתן ההמלצה. לכל אחת מהאפשרויות ניתן ניקוד (מ־1 – לא כדאי, עד 5 – כדאי מאוד) על פי כמה תבחינים (קריטריונים).

שימו לב שלא כל התבחינים רלוונטיים לכל האפשרויות. אפשר להוסיף תבחינים נוספים (בהסכמת כל הוועדה) כדי לשפוט את האפשרויות. בתום מילוי הטבלה, שכללו את כלל הניקוד לכל אחת מהאפשרויות. אם רוצים, בשלב השכלול אפשר לתת משקל שונה לכל תבחין.

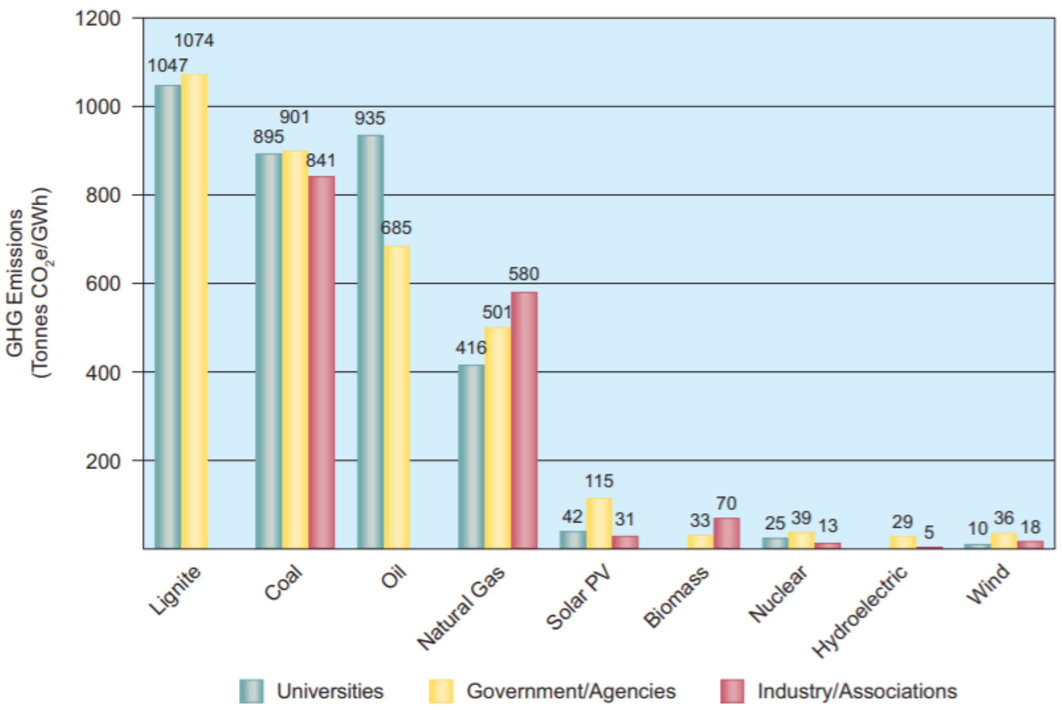
סכמו את המלצות הוועדה בנוגע לתמהיל האנרגיה של מדינת ישראל באחוזים - כמה אחוזים מכל סוג אנרגיה ירכיבו את סך כל האנרגיה המשמשת בארץ ובנוגע לצעדים נוספים להפחתת פליטת גזי חממה.

	כמות פליטות	**עלות התקנה (אם נדרש)**	**עלות תחזוקה**	**שטח הנדרש**	**יעילות אנרגטית - כמה אנרגיה ליחידת חומר**	**חיסכון באנרגיה**	**אחר (פרטו)**	**סך הכול ניקוד**
פחם								
נפט או סולר								
גז טבעי								
ביודיזל								
שרפת פסולת								
תחנת כוח סולרית								
תאים סולריים פוטו־וולטאים								
אנרגיית רוח								
אנרגיה גרעינית								

אנרגיה גיאותרמית								
אנרגיית תנועת מים								
התייעלות אנרגטית								
מיסוי ירוק								
אחר								

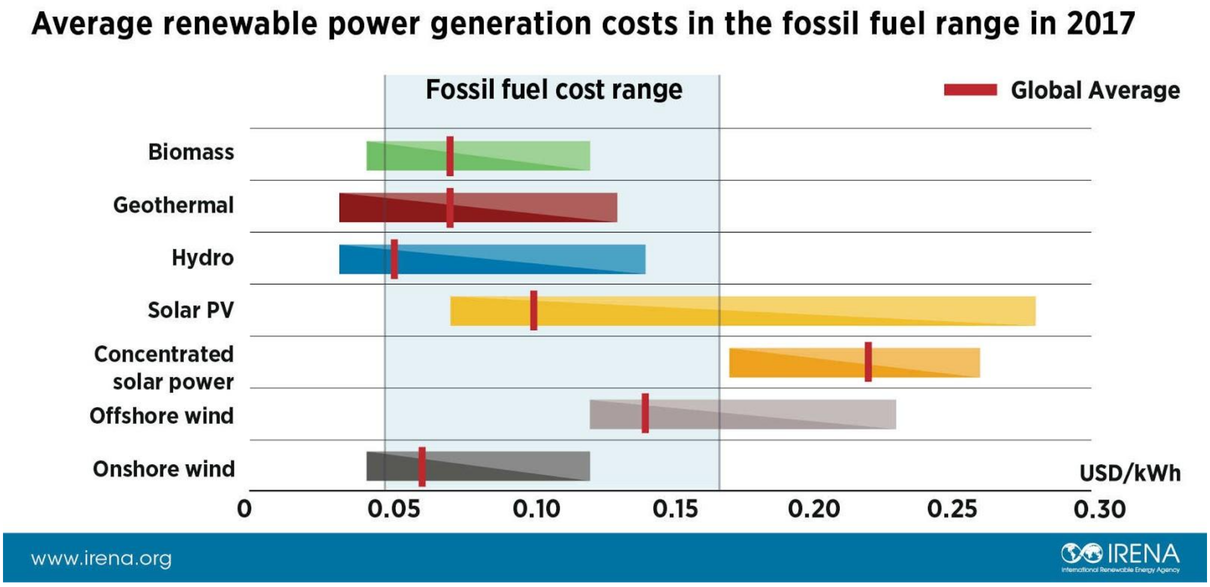
נספח 3: מידע על דלקי מאובנים ואנרגיות חלופיות

איור 1: השוואה של פליטת גזי חממה של כמה מקורות אנרגיה.



איור 1: פליטות גזי חממה בשימוש באנרגיות שונות ביחידות של טון פחמן דו־חמצני בהספק אנרגיה של גיגה ואט לשעה. באיור אפשר לראות סיכום נתונים ממחקרים שערכו כמה גופים. ירוק מסמן מחקרים שיצאו מקבוצות מחקר באוניברסיטאות, צהוב מסמן מחקרים של גופי ממשלה וסוכנויות ובאדום מסומנים מחקרים של התעשייה וארגונים אחרים. מקור.

איור 2: עלות של אנרגיות חלופיות בהשוואה לדלקי מאובנים.



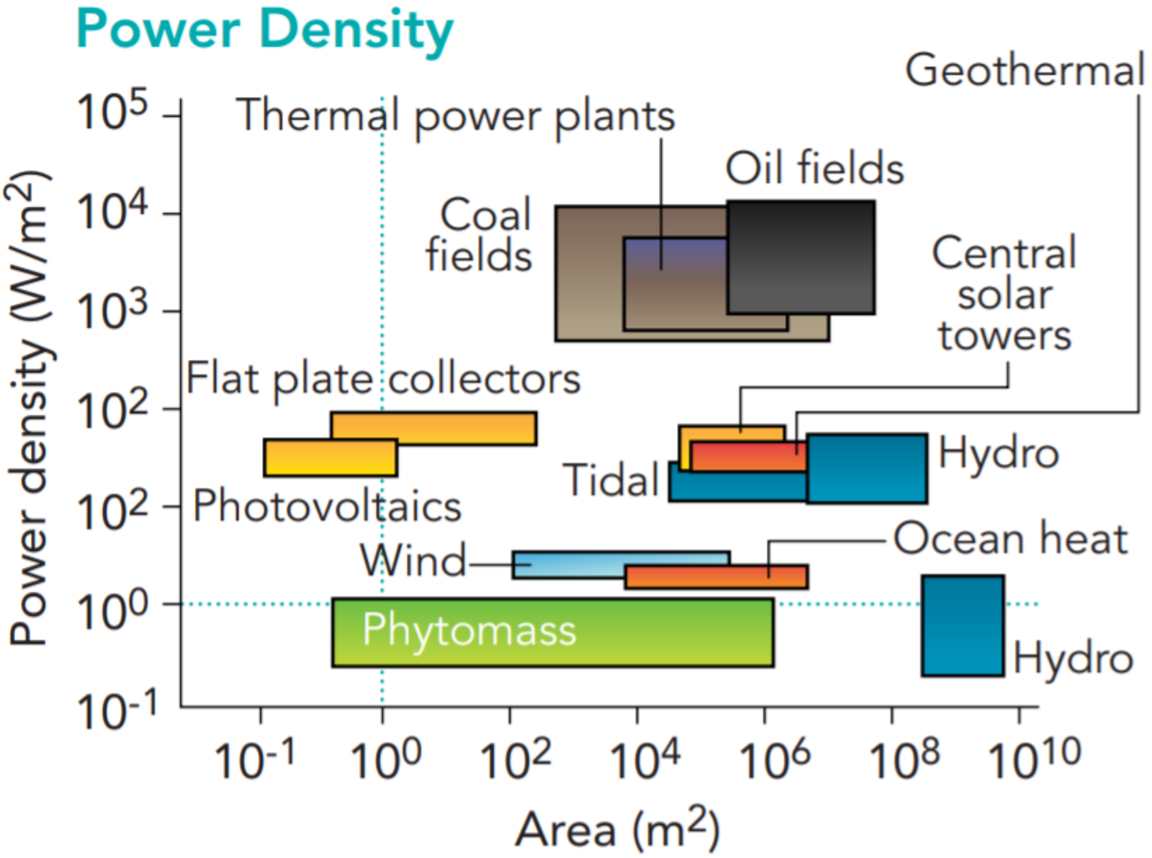
איור 2: טווח עלות (בדולר לקוט"ש) של אנרגיות חלופיות לעומת עלות דלקי מאובנים (דלקים פוסיליים). טווח עלות של דלקי מאובנים מוצלל באפור (fossil fuel cost range). הקווים האדומים מסמנים את העלות הממוצעת בעולם (global average). שימו לב שטווח העלות של אנרגיה סולרית מְתאים פוטו־וולטאים (solar PV) רחב. מכיוון שכללו בחישוב גם טכנולוגיות ישנות שהיו יקרות יותר מהטכנולוגיות המשמשות היום.

מקור: https://www.irena.org/International Renewable Energy Agency - IRENA

תרגום:

Biomass	דלקים ביולוגים
Geothermal	אנרגיה גיאותרמית
Hydro	אנרגיית מים
Solar PV	אנרגיה סולרית - תאים פוטו־וולטאים
Concentrated solar power	אנרגיה סולרית מרוכזת (ריכוז שמש על ידי מראות או עדשות, מיושם במגדלי שמש)
Offshore wind	אנרגיית תנועת רוח הנקצרת על ידי טורבינות שעומדות בתוך גופי מים, בדרך כלל בים
Onshore sind	אנרגיית תנועת רוח הנקצרת על ידי טורבינות ביבשה

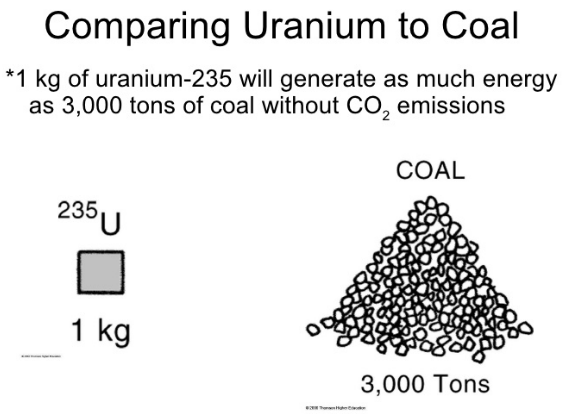
איור 3: יעילות אנרגטית של מקורות אנרגיה (גרף זה קשה להבנה ולכן מתאים לתלמידים מתקדמים).



איור 3: צפיפות ההספק במקורות אנרגיה שונים והשטח שהם דורשים - כמות האנרגיה שאפשר להפיק (ציר Y) מול השטח הנדרש להפקת אותה אנרגיה. ככל שצפיפות ההספק גבוהה יותר, אפשר להפיק אנרגיה רבה יותר מאותו מקור ליחידת שטח. למשל, צפיפות ההספק של אנרגיה סולרית נמוכה מזו של פחם. אפשר לראות שנדרש יותר שטח למתקני אנרגיה סולרית (תחנות כוח סולריות) מלפנלים סולאריים (פוטו־וולטאים) אבל לשניהם צפיפות אנרגיה דומה. על אנרגיה גרעינית ראו איור 4.

מקור: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518305512

איור 4: יעילות אנרגטית של אנרגיה גרעינית לעומת פחם



איור 4: צפיפות ההספק של אנרגיה גרעינית גדולה בהרבה מזו של פחם - אפשר להפיק מק"ג אחד של אורניום 235 את אותה כמות אנרגיה שאפשר להפיק מ־3,000 טון פחם, בלי פליטת גזי חממה.

מקור: https://www.slideshare.net/edstermer/nuclear-power-3961454

נספח 4: כרטיסי מידע

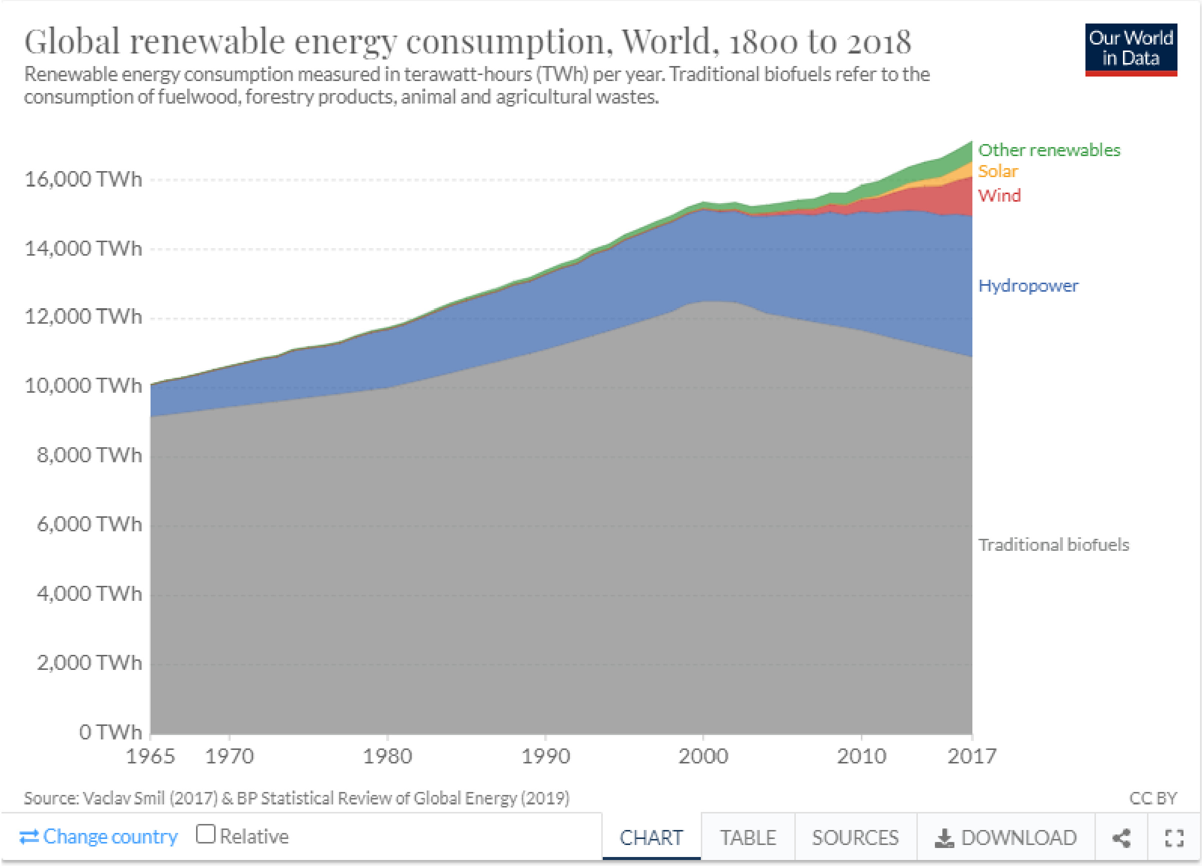
1. **<u>ביודיזל (דלק ביולוגי)</u>**

ביודיזל הוא סוג של דלק ביולוגי* העשוי משמנים כגון שומן חיות, שמני מאכל משומשים (כולל שמן סויה, שמן קנולה, שמן קוקוס ושמן בוטנים) או שמנים צמחיים המופקים במיוחד לשם ייצור ביודיזל מתירס, סויה או מדקלים. אפשר להשתמש בדלק ביודיזל לדלק טהור או לערבב אותו עם סולר באחוזים משתנים. ביודיזל נקי יותר מדלקי מאובנים (דלקים פוסיליים) כי השרפה שלו פולטת הרבה פחות גזי חממה (ראו איור 1 בנספח 3). יתר על כן, בעת שרפת ביודיזל חלה ירידה ניכרת בפליטת מזהמים אחרים כגון תחמוצות גופריות, פחמימנים שונים וחלקיקי פיח. הביודיזל הוא בטווח המחירים של דלקי מאובנים, ואף יכול להיות זול יותר מהם אם יטילו על דלקי מאובנים מס גבוה יותר מעליו (ראו איור 2). עם זה, האנרגיה הטמונה בביודיזל, כלומר, ערכו הקלורי, נמוכה בכ־9 אחוזים מזה של הסולר. זאת אומרת שטווח הנסיעה לליטר ביודיזל נמוך מדלקי מאובנים.

שלא כנפט, הביודיזל אינו רעיל וכך במקרה של נזילות אל הקרקע או אל מקורות מים, אין חשש לאסון אקולוגי. הביודיזל בטוח לשימוש והובלה. מנגד, מאחר שהביודיזל אינו רעיל ומקורו ביולוגי חיידקים ופטריות נוטים להתפתח בו בעת אחסנה ממושכת. לכן השימוש בו צריך להיות קרוב ככל האפשר לרגע הייצור, שאם לא כן, הוא מתקלקל. עקב המגמה ההולכת וגוברת בעולם לשימוש באנרגיה חלופית, החלו בעת האחרונה יצרני רכב גדולים לייצר מכוניות המתוכננות לנסוע על ביודיזל. במכוניות רגילות אפשר למהול סולר בביודיזל בריכוז שאינו עולה על 5 אחוז, בלי לשנות את מנוע הרכב. יש בביו דיזל גם כמה חסרונות מבחינת הכלכלה העולמית - ככל שיגדל השימוש בדלקים ביולוגיים, כך תגדל גם התחרות בין ענף האנרגיה לענף המזון. מכיוון שעיקר חומרי הגלם המשמשים לייצור ביודיזל הם אותם חומרים שנעשה בהם שימוש בתעשיית המזון. כך למשל שימוש בתירס לביודיזל במקום להזנה יפגע במחירי המזון ובזמינותו.

אף שביודיזל משווק כאנרגיה ירוקה, יש גם עלויות אקולוגיות נוספות לשימוש בביודיזל צמחי: הצורך הגדל בצמחים לתעשיית הביודיזל יוביל להקצאת שטחים נרחבים בבדור הארץ למטרה זו ושטחים טבעיים ויערות ייפגעו מכך. כך למשל שטח ניכר מיערות הגשם בברזיל נכרת לצורך גידולי סויה כמקור לביודיזל. ייצור רב של ביודיזל יכול גם להוביל לעלייה במחירי התבואה הן לצורכי דלק הן לצורכי מזון, ואוכלוסיות חלשות ייפגעו מכך. הפתרון האידיאלי לחלק גדול מן החסרונות הוא שימוש בשמנים משומשים ועודפים משומני חיות, אולם כמותם אינה עונה על הדרישה העולה לביודיזל. נכון להיום המשרד להגנת הסביבה מתנגד להפקת אנרגיה מגידולים ייעודיים, הן משום שלרוב מדובר בגידולים שבאים על חשבון גידולים חקלאיים המיועדים למזון או שבאים על חשבון שטחים טבעיים שיומרו לשטחים חקלאיים, הן משום שגידול של ביומסה לאנרגיה דורש השקעה גדולה יחסית במים, בדשנים, בקרקע ובאנרגיה.

*דלק ביולוגי (או ביו־דלק) הוא מקור אנרגיה מחומרים אורגנים (מהחי והצומח). דלקים ביולוגיים נחשבים מקור לאנרגיה מתחדשת, כיוון שהשימוש בהם יוצר "מעגל סגור" של פחמן דו־חמצני: אותו פחמן דו־חמצני שמשתחרר בתהליך שרפת הדלקים האלו נצרך בחזרה בתהליך הפוטוסינתזה בזמן גידול הצמחים. דלקים אלו יכולים להיות מבוססים אלכוהול (מתהליך תסיסה של סוכרים) או שמנים (ביודיזל). דלקים ביולוגים יכולים להיות מוצקים. דוגמאות נפוצות הן עצים, נסורת, גזם דשא, אשפה ביתית או פסולת חקלאית. כפי שאפשר לראות באיור שלהלן, דלקים ביולוגים משמשים חלק הארי של האנרגיה המתחדשת הנצרכת בעולם.



איור 1 - צריכת אנרגיה מתחדשת בעולם בין השנים 1800-2018. אפשר לראות שדלקים ביולוגיים מסורתיים (לרוב חומר צמחי כמו עץ) משמשים בין 60 ל-70 אחוזים מסך כל הדלקים המתחדשים. במדינות עניות, שימוש בדלקים ביולוגיים מסורתיים נפוץ מאוד לצורכי בישול וחימום. מקור: https://ourworldindata.org/renewable-energy

מקורות מידע:

[שימוש בביומסה במקור לאנרגיה, מכון ויצמן]

[ביודיזל, פורטל המיחזור]

[ביודלק, אתר אנרגיה מתחדשת]

2. הפקת אנרגיה מפסולת

בישראל מיוצרת מדי שנה כמות של כ־17.5 מיליון טונות פסולת מוצקה לסוגיה השונים, ומהם כ־5 מיליון טונות פסולת עירונית וכ־6 מיליון טונות פסולת חקלאית. טיפול בפסולת הזאת היא אתגר גדול מאוד, ואחד הפתרונות הוא להפיק ממנה אנרגיה. הרווח מכך כפול: מצד אחד מפיקים אנרגיה שיכולה להחליף דלקי מאובנים (דלקים פוסיליים) ומצד אחר, אפשר לצמצם את נפח הפסולת שעולה על גדותיו. על פי החלוקה הבסיסית, פסולת מחולקת לשני סוגים: פסולת רטובה ופסולת יבשה. פסולת רטובה כוללת חומרים אורגניים, בעיקר שאריות מזון, ואפשר לפרק אותה פירוק ביולוגי. פסולת יבשה כוללת את כל יתר הפסולת - חומרים אורגניים כמו עץ ונייר לצד פלסטיק – שאי אפשר למחזר אותם בקומפוסט או לפרק אותם על ידי פעילות חיידקים.

אפשר לחלק את הטיפול בפסולת לשלושה תבחינים מרכזיים:

1. שרפה - מתאים לפסולת יבשה.
2. טיפול ביולוגי - מתאים לפסולת ביולוגית רטובה – עיכול אנאירובי (פירוק על ידי חיידקים בסביבה בלי חמצן)
3. טיפול בחום - מתאים לפסולת יבשה – כולל מגוון טכנולוגיות שבהן משקיעים אנרגיה ומעלים את הטמפרטורה כדי להפיק חומרי דלק מהפסולת. לא נעמיק בקטגוריה זו.

שרפה - בעבר שיטה זו שימשה, בין השאר, חלופה להטמנה. אפשר להפיק אנרגיה מתהליך השרפה ביעילות, אך צריך קודם כול למיין את הפסולת. יש להוציא תחילה את החומרים הניתנים למחזור, כגון פלסטיק, נייר וקרטון, זכוכית, מתכות, וחומר פריק ביולוגי. עדיף שההפרדה הזאת תיעשה בעת השלכת הפסולת (אריזות לפח הכתום), אך אפשר גם להפריד את החומרים במתקני מיון. חשוב להרחיק מוצרים גדולים או מסובכים שיכולים להביא לפליטת חומרים מסוכנים. זה עשרות שנים שרפה אינה משמשת פתרון ראשון לטיפול בפסולת בשל ההשלכות הסביבתיות ובריאותיות שלה. בעקבות השרפה מזדהם האוויר ונפלטים גזי חממה המשפיעים על ההתחממות הגלובלית. באירופה מערכות רבות לטיפול בפסולת משלבות מניעה, שימוש חוזר, הפרדה במקור, מחזור ושרפת פסולת כמכלול פתרונות קבילים, בניסיון לצמצם את נפחי הפסולת הנשלחים להטמנה.

טיפול ביולוגי וביוגז - ביוגז הוא גז המופק מחומר אורגני בתהליך של פירוק חיידקי בתנאים בלי חמצן. ביוגז יכול לשמש להנעת גנרטורים לייצור חשמל או ליצירת חום בעת שרפתו. תהליך זה הוא טבעי ומתרחש מעצמו בתנאים המתאימים, לדוגמה במטמנות ובאתרי פסולת. ממחקרים שנערכו באתרי הטמנה גדולים (אתרים שאליהם מובילים פסולת מוצקה) גילו שכמויות גדולות של גזים נפלטים מריכוזי האשפה. אחד מהגזים הללו הוא המתאן. גז זה יכול לשמש מקור אנרגיה. החישובים מראים שאפשר להפיק כ־200 ליטר גז מתאן מכל 1 ק"ג פסולת מוטמנת. את הגז אוספים באמצעות צינורות שמחדירים אל תוך ערמת הפסולת. הגז עולה ונשאב מתוך הצינורות. גז זה יכול לשמש אנרגיה חלופית המשמשת להנעת כלי רכב למשל. כמו כן, אפשר להקים מתקנים ייעודיים להפקת ביוגז מפסולת אורגנית. בישראל קיימים שלושה מתקנים אזוריים (מיצר ברמת הגולן, עמק חפר ובאר טוביה) המשמשים להפקת ביוגז מזבל רפתות. אחת הבעיות הקשות בהקמת מתקנים אזוריים אלו היא ההתנגדות של התושבים אשר חוששים ממפגעי תברואה וריח ואינם רוצים שמתקנים אלו יקומו באזורם. נוסף על כך, במתקן שמופק בו ביוגז מזבל פרות יש לטפל בעודפי הנוזלים שנוצרים בתהליך הקרויים מי נטל. מים אלו מכילים מלחים וצורן ויש לסלקם לאתרים מיוחדים. יש גם מתקנים לייצור ביוגז מפסולת תעשייתית (מחלבות, משחטות, מפעלי מזון, מפעלי משקאות, מפעלי בירה וגם מפעל נייר).

חשוב להבין שהשבת פסולת לאנרגיה לא תפתור את בעיות האנרגיה של ישראל. בטכנולוגיות הקיימות, מדובר באחוזים בודדים מכלל צריכת האנרגיה הישראלית בשנה. אבל להפקת אנרגיה מפסולת יש היבט כלכלי שיהפוך את הטיפול בפסולת ליעיל כלכלית וגם יעיל סביבתית יותר ממחזור, יותר משיטות שאינן מפיקות אנרגיה; דבר זה יביא אף לצמצום ההטמנה של הפסולת ויפחית את ההזנחה של הטיפול בפסולת שעדיין קיים בישראל. אחד התנאים המקדימים החשובים ביותר להפקת אנרגיה מפסולת הוא הפרדת הפסולת.

מקורות מידע:

היבטים כלכליים של הפקת אנרגיה מפסולת עירונית וחקלאית

שיפור מערך הפקת האנרגיה מפסולת אורגנית בישראל

הפקת אנרגיה מפסולת, מוסד שמואל נאמן

3. אנרגיה סולרית

מקורה של אנרגיה סולרית היא בקרינת השמש (אנרגיית חום ואור) שהיא אחד המקורות הזמינים ביותר לאנרגיה. השמש צפויה לבעור עוד מיליארדי שנים ולכן נחשבת לאנרגיה מתחדשת. כמו כן, אנרגיה סולרית היא נקייה יחסית וניצולה אינו גורם לפליטת כמויות גדולות של גזי חממה (ראו איור 1 וטבלה 1). כמות האנרגיה הסולרית שמגיעה לכדור הארץ עצומה - כל צריכת האנרגיה העולמית השנתית משתווה לכמות האנרגיות שמגיעה מהשמש אל כדור הארץ במשך שעות ספורות. השימושים של אנרגיה שמקורה בשמש מגוונים. אפשר להשתמש באנרגיה זו מיד וישירות למטרות חימום, אידוי וייבוש מזון, כמו בישול בעזרת תנור שמש, ברכות אידוי להפקת מלחים וייבוש כביסה. כך נחסוך בחשמל או בגז בזמן בישול מזון ובחשמל שצורך מייבש כביסה. אפשר גם להמיר את אנרגיית השמש לחום. הדרך המוכרת לנו היא דודי שמש - קולטנים המורכבים על גגות הבתים הופכים את אנרגית השמש לאנרגיית חום ומחממים את המים שבדודי השמש. השימוש בדודי שמש נפוץ כל כך, עד שלמעשה בחוק הישראלי נקבע כי חובה להתקין על כל בית חדש שנבנה מערכת קולטני שמש ודודים.

בדומה לכך, אפשר הגם ליצור חשמל באמצעות אנרגיית שמש. מכיוון שמדובר בכמות אדירה של אנרגיית שמש, אנרגיה סולרית יכולה לשמש מרכיב בעל תפוצה נרחבת בשוק האנרגיה העולמי. עדיין קיימים שני אתגרים עיקריים בתחום זה:

(א) אנרגיית השמש אינה מרוכזת, כלומר היא מתפזרת על פני שטח גדול מאוד.

(ב) קשה לאגור את אנרגיית השמש. עוצמת הקרינה המגיעה ללוחות סולריים משתנה בהתאם לתנאי מזג האוויר - וצריכת האנרגיה בפועל (כמה חשמל אנשים משתמשים, למשל) אינה בהכרח תואמת לתנאים אלו, לכן יש צורך באמצעי אגירה. רק בעשור האחרון (2010־2020) תהליכי הלכידה, ההמרה והאגירה של אנרגיית השמש עברו התייעלות, ולכן גם מחירי האנרגיה הסולרית נעשו כדאיים יותר כלכלית (ראו איור 2). מתקני אנרגיה סולרית מרכזים את קרינת השמש באמצעות מראות או עדשות וכן מערכות אשר מאפשרות מעקב אחר השמש. כל אלו מאפשרים ניצול טוב יותר של אנרגיית השמש ושימוש ביישומים שבהם נדרשת טמפרטורה גבוהה. מתקני עקיבה, שעוקבים אחר תנועת השמש בשמיים בשעות היום, עשויים לתרום להגדלת יעילות המתקן גם ללא ריכוז קרני השמש.

שימוש באנרגיית השמש לצרכים תעשייתיים או ליצירת חשמל אפשריים באחת משתי דרכים אלה:

1. **קצירת אנרגיה תרמו־סולרית** - חימום נוזל לצורך הפעלת מנוע חום שמייצר חשמל או עבודה מכנית. בשיטה זו בשלב הראשון הופרים את האנרגיה הנקלטת מהשמש לחום. בשלב השני יוצרים מהחום קיטור, ובסופו של דבר, משתמשים בקיטור כדי להפעיל טורבינה המייצרת חשמל.

2. **קצירת אנרגיה פוטו־וולטאית** (אנרגיה פוטו־חשמלית) - תאים פוטו־וולטאיים הם תאים סולריים שממירים אור שמש לחשמל. תאים אלו עשויים מסיליקון ומכילים חומר מוליך למחצה (Semi-conductor). אפשר לייצר חשמל ישירות, או לחלופין לאגור את אנרגיית השמש באמצעי אגירה כמו סוללות, שאיבת מים לגובה, או אגירה תרמית (חום) בתוך נוזלים או מוצקים ולהפיק את האנרגיה מהאמצעים האלו מאוחר יותר. בשימוש בטכנולוגיה הפוטו־וולטאית אפשר לחסוך במשאבי קרקע בהתקנה של קולטי שמש על גגות הבתים. אחד היתרונות הבולטים של אנרגיה סולרית הוא שהיא מקטינה את התלות במשווקים חיצוניים ומאפשרת להפיק חשמל בהפקה עצמאית.

לצד היתרונות הרבים לשימוש באנרגיה סולרית ישנם גם כמה חסרונות: ההשקעה הכספית הראשונית בבניית תחנות כוח סולריות ובהפקת חשמל היא גבוהה יחסית לתחנות הכוח הקונבנציונליות. כאן נדרשת

תמיכה מדינית. כמו כן, אנרגיה סולרית אינה יציבה ומשתנה לאורך שעות היום ובמהלך השנה, והיעילות שלה ליחידת שטח נמוכה, כיוון שאנרגיית השמש אינה מגיעה לכדור הארץ בצורה מרוכזת. גם הניצול של שטחים פתוחים לצורך בניית תחנות כוח סולריות פוגע בסביבה, במגוון הביולוגי ובמשאבים הטבעיים. לכן עדיף להתקין לוחות סולריים על גגות מבנים. בניית תחנת כוח דורשת גם היא שימוש בחשמל, בטכנולוגיות ובחומרים הפוגעים בסביבה. כדי להתגבר על כמה מהחסרונות בשימוש באנרגיה סולרית, נעשים היום ניסיונות לשלב בין תחנות אנרגיה סולרית ובין תחנות אנרגית רוח (מאמר 2 בנושא). בשיטה זו אפשר לנצל גם את שעות הלילה ואת עונות החורף כדי לייצר חשמל. בנוסף לכך, מושקעים מאמצים בבניית קולטי שמש בעלי שטח פנים גדול יותר המשלבים רכיבים ננו־טכנולוגיים כדי להגדיל את תפוקת האנרגיה הנוצרת.

מקורות מידע:

אנרגית שמש, מכון ויצמן

ניצול יעיל של אנרגיית השמש, מכון דוידסון

חשמל סולארי מהרוח

אנרגיה סולארית, ויקיפדיה

יתרונות וחסרונות באנרגיה סולארית

חשמל במסלול הירוק, החברה להגנת הטבע

4. אנרגית רוח

אחת מהדרכים הנפוצות בעולם להפקת אנרגיה חלופית לייצור חשמל לערים שלמות היא הקמת תחנות כוח המבוססות על טורבינות רוח. טורבינות רוח הן מדחף המורכב על גבי עמוד, בדומה לתחנת הרוח ההיסטורית אשר שימשה בעבר לטחינת קמח באמצעות חשמל שהפיקה מאנרגיית הרוח. טורבינות הרוח משמשות מקור אנרגיה חלופי ולא מזהם (ראו איור 1 וטבלה 1) אשר אינו מתכלה. יתר על כן, אחד מהשיקולים המשפיעים ביותר על ההחלטה להקים שדה טורבינות רוח הוא רווח כספי (ראו איור 2). אמנם עלות ההתקנה של מערך טורבינות גבוה יותר מהקמת תחנת כוח מבוססת דלקי מאובנים - אך תפוקתן של טורבינות הרוח גדולה יותר משל תחנה רגילה, לצד יתרונות נוספים. העלות של ייצור חשמל על ידי טורבינות הרוח היא רק הקמתן, ועלות הקמתן בטלה לחלוטין לעומת תפוקתן. שימוש בטורבינות להפקת החשמל הוא פשוט וכמעט נטול תקלות. נוסף על כך, הטורבינות מצריכות יחסית מעט טיפול ותחזוקה.

אי אפשר להקים מערך טורבינות רוח ליצירת חשמל בכל מקום. יש לבחון את מהירות הרוח הממוצעת באזור שבו יותקן מערך הטורבינות, וככל שהרוח באתר חזקה יותר ותדירה יותר, כך יפיק מערך הטורבינות כמות גדולה יותר של חשמל. ייצור חשמל מטורבינות רוח בים, ובעיקר בים העמוק, הוא תחום שמתפתח במהירות. על פי מחקר שבחן את הפוטנציאל להפקת חשמל באמצעות טורבינות רוח מול חופי ישראל (במגבלות נתיבי השיט וצורכי חיל הים) מצא כי קיים פוטנציאל רב להפקת חשמל ממקור זה. מאפייני הטורבינות עצמן משפיעים ישירות על כמות החשמל שהן ייצרו ועל יעילותו של מערך הטורבינות - המשתנים העיקריים הם גודלם של להבי הטורבינה והדגם שלה. ככל שלהבי הטורבינה גדולים יותר - כך הטורבינה יכולה להפיק חשמל רב יותר. דגמי הטורבינות העכשוויים מבוססים על טכנולוגיות חדישות המאפשרות ייצור של חשמל רב.

הבעיות העיקריות ביצירת חשמל בניצול אנרגיית הרוח הן הרעש הנוצר מהמדחפים ומתנועת הלהבים והריצוד (עוצמת אור משתנה באזורים מסוימים מהטלת צל להבי הטורבינה) ובשלן נוצרת התנגדות להקמת מערכי טורבינות בקרב הציבור. לכן נאלצים להקים את חוות הרוח במקומות מרוחקים מיישובים מאוכלסים, מה שמייקר את הקמת התשתיות. ככל שיידרש יותר חשמל המיוצר ממערך הטורבינות - כך יוקצה שטח גדול יותר לחוות רוח. הקצאת שטח גדול לחוות רוח יכולה לגרום להפרעות במערכות אקולוגיות ולפגיעה בנוף. כמו כן, ישראל היא מדינה קטנה בעלת שטחים קטנים יחסית. אחד הפתרונות לכך הוא הקמת מערך טורבינות מול חופי המדינה, כפי שנעשה בארצות הברית ובבריטניה. סיבוב הטורבינות יכול גם לפגוע בציפורים ובעטלפים אשר לא מבחינות בכנפי הטורבינה. עם זה, בדגמים החדשים האטו את תנועת הטורבינות והגדילו את הלהבים, כך שיהיו ברורים לציפורים ותימנע פגיעתם.

השימוש בחשמל המופק מאנרגיית תנועת רוח עומד על כאחוז אחד מסך תפוקת החשמל העולמית הכללית. אירופה היא כנראה המובילה מבין יבשות העולם בניצול אנרגיית הרוח. מדינת ישראל מייצרת אף היא חשמל מאנרגיית הרוח בשתי חוות רוח השוכנות באזור רמת הגולן ובגלבוע. הפקת אנרגיה מרוח בישראל מוגבלת בשל אופי השטח, האקלים, וכמובן בשל צפיפות הבנייה ושימושי הקרקע. נוסף על כך, מסדרון הרוח של ישראל הוא גם נתיב מעבר של מיליוני עופות נודדים, ויש חשש לפגיעה במגוון ביולוגי. זו אחריות מוסרית של ישראל לדאוג למגוון הביולוגי העובר בתחומה. בהתאם לפרסומי הנתונים הרשמיים בשנת 1998, פוטנציאל האנרגיה להפקה מהרוח בישראל עומד על כשש מאות מגה ואט, שזהו הספק השווה למאה חוות רוח בממוצע. כמו כן, נעשים היום ניסיונות לשלב בין תחנות אנרגיה סולרית ובין תחנות אנרגית רוח (מאמר שני בנושא).

מקורות מידע:

רב–שיח בנושא הקונפליקט סביב אנרגיית הרוח בישראל, אקולוגיה וסביבה

אטלס אנרגיית הרוח של ישראל, אקולוגיה וסביבה

הערכה כלכלית-סביבתית של הפקת אנרגיה באמצעות טורבינות רוח בישראל, אקולוגיה וסביבה

אנרגית הרוח וניצולה, מכון ויצמן

חשמל סולארי מהרוח

אנרגית רוח, אתר אנרגיה מתחדשת

רעש וריצוד מטורבינות רוח – דרכי התמודדות בעולם והמלצות לישראל, אקולוגיה וסביבה

השפעות טורבינות רוח על הבריאות והסביבה, החברה להגנת הטבע

5. אנרגיה גרעינית

בתהליך הפקת אנרגיה גרעינית מתרחשת תגובת שרשרת שמתחילה עם ביקוע הגרעין באטום. תגובת שרשרת של ביקוע גרעיני הוא הבסיס לפעולתו של כור גרעיני והוא נעשה בצורה מבוקרת ואיטית. תגובה זו מייצרת כמויות עצומות של חום ובעזרתו מרתיחים מים לקיטור אשר מפעיל טורבינות ליצירת חשמל. בכורים משתמשים בחומרים רדיואקטיביים, לרוב אורניום או פלוטוניום. ייצור אנרגיה על ידי ביקוע גרעיני הוא תהליך יעיל מאוד - שכן דרושה כמות קטנה של חומר להפקת כמות גדולה של אנרגיה (ראו איור 5, נספח 3). לאנרגיה גרעינית יתרון גדול נוסף והוא שהיא נקייה כמעט לחלוטין מפליטת גזי חממה (ראו איור 1 בנספח 3).

בשנת 2011 אנרגיה גרעינית תרמה כעשרה אחוזים מסך כל ייצור החשמל בעולם. עלות ייצור חשמל בשיטה זו זולה במקרים רבים מעלות ייצורו מפחם, והיא נחשבת לזולה מקרב האנרגיות החלופיות (שימו לב שעל פי רוב אין מחשיבים את הטיפול בפסולת רדיואקטיבית בחישוב העלות). הפקת חשמל מאנרגיה גרעינית מיושמת בעשרות ארצות כולל צרפת, ארצות הברית, סין, גרמניה ועוד. עם זה, לאנרגיה גרעינית חסרונות רבים. אחת הבעיות המרכזיות היא תוצרי הלוואי הרעילים והרדיואקטיביים שקשה להיפטר מהם ויש לאחסנם בבטיחות כך שלא ידלפו לקרקע או חלילה יזהמו מאגרי מים. בכל שנה מיוצרים בעולם עשרות אלפי טונות של פסולת רדיואקטיבית שיש לקוברה. בארצות הברית חוצבים מנהרות אחסון מאובטחות בליבם של הרים מבודדים. לחלופין מדינות שולחות אלפי טונות של פסולת רדיואקטיבית ליבשת אפריקה או לאזורים במזרח אירופה תמורת תשלום גבוה מאוד. את הפסולת הרדיואקטיבית אין קוברים מיד. הפסולת מאוחסנת למשך כמה חודשים בכורים עצמם. משום שיש להמתין עד שרמת הרדיואקטיביות של הפסולת תדעך קצת. חשוב לציין שרמת הרדיואקטיביות של הפסולת מכור גרעיני נשארת מסוכנת לאלפי שנים, כך שבעיית האחסון הבטוח נשארת לדורות הבאים. חיסרון נוסף של הפסולת הרדיואקטיבית של כורים גרעיניים הוא החשש שאפשר להשתמש בתוצרי הביקוע של הכור הגרעיני כדי לבנות פצצה גרעינית.

חיסרון נוסף הוא תרחיש של דליפה בכור הגרעיני כתוצאה מתאונה, אסון טבע או פגיעה מכוונת (נושא רגיש במדינות שאינן יציבות מבחינה גיאופוליטית). דליפת קרינה רדיואקטיבית היא הרת אסון בקנה מידה גדול כמו האסון שהתרחש בצ'רנוביל שבאוקראינה בשנת 1986. בניגוד לדעה הרווחת, תחנת כוח גרעינית אינה יכולה לגרום לפיצוץ גרעיני. בעקבות האסון שאירע בשנת 2011 בתחנת הכוח הגרעינית בפוקושימה שביפן הודיעו כמה מדינות שהן שוקלות מחדש את המשך השימוש בגרעין להפקת חשמל. תחזוקה שוטפת של כור גרעיני בטוח היא מורכבת מאוד ויש חשש כבד מסיכון לעובדים ולסביבה במקרה של תקלה.

מסיבות אלו בעולם המערבי כמעט לא מקימים תחנות כוח גרעיניות חדשות בשנים האחרונות, וישנן מדינות כמו גרמניה שהתחייבו לסגור את הכורים הגרעיניים שלהן בתוך פרק זמן קצוב בעקבות לחץ ציבורי. לעומת זאת, בארצות כמו קוריאה הדרומית, סין, רומניה ורוסיה הולכות ונבנות תחנות גרעיניות רבות כדי להתמודד עם צריכת החשמל ההולכת וגוברת. כורים אלו נבנים לפי תקנים מחמירים המאפשרים דרגת בטיחות גבוהה. בשנים האחרונות (2002־2008) החלה החברה לאנרגיה אטומית של קנדה (AECL) בשיתוף עם חברות חשמל קנדיות לשפץ כורים גרעיניים קנדים שהתיישנו, לצורך הארכת השימוש בהם גם אחרי התקופה המקורית שעבורה הם נבנו.

בישראל מעולם לא הופק חשמל מאנרגיה גרעינית. בשנות השבעים החליטה הממשלה על הקמת תחנה גרעינית להפקת חשמל, אך החלטה זו לא יצאה אל הפועל. לדיון בסוגיה זו בישראל יש רובד נוסף, בשל מצבה הגיאופוליטי של ישראל, הנוקטת שנים ארוכות מדיניות עמימות גרעינית ומסרבת לחתום על אמנת אי־הפצת נשק גרעיני. על אף מורכבות הנושא לא יהיה נכון לקבוע עמדות לגביו כאילו הוא עומד בפני עצמו.

כורים גרעינים לייצור חשמל הם רק חלופה אחת בסל המקורות לייצור אנרגיה, ולכן יש לבחון את החלופה הזאת אל מול החלופות האחרות.

מקורות מידע:

אנרגיה גרעינית, מכון דוידסון

אנרגיה גרעינית בישראל. זה כדאי?, Ynet

רב–שיח בנושא ייצור חשמל בכורים גרעיניים בישראל, אקולוגיה וסביבה

שילוב אנרגיה גרעינית בתמהיל הדלקים העתידי בישראל: מה מבין, יודע וחושב הציבור?, דו"ח למשרד האנרגיה

6. אנרגיה גיאותרמית

המושג גיאותרמי מקורו במילים היווניות גיאה שפרושה ארץ, ותרמוס שפרושה חום. בתוך כדור הארץ יש מאגר חום עצום שאפשר להשתמש בו להפקת אנרגיה. מקור אנרגיה זה נחשב למקור שאינו מתכלה. מקור החום הוא מהתפרקויות רדיואקטיביות של כמה יסודות (אורניום 238, תוריום 232 ואשלגן 40) ואנרגיה אגורה בליבת כדור הארץ מתקופת היווצרותו. האזורים בעולם שבהם האנרגיה הגיאותרמית זמינה ביותר הם האזורים שקיימת בהם פעילות טקטונית. החום עולה לפני השטח באזורים וולקניים עם הלבה הרותחת שמקורה במעמקים, או בצורת מים חמים או קיטור מגייזרים. לחלופין באמצעות קידוח לעומק כדור הארץ אפשר להגיע לשכבות בטמפרטורות גבוהות, ולנצל חום זה כאנרגיה זמינה. אפשר להשתמש באנרגיה זו לייצור חשמל או לוויסות טמפרטורת בניינים ובתים. השדה הגיאותרמי הגדול בעולם נמצא באזור הגייזרים בקליפורניה, צפונית לסן־פרנסיסקו. נוסף לארצות הברית מייצרים חשמל גיאותרמי גם במדינות רבות אחרות כמו באיטליה, בצרפת, בניו־זילנד, במקסיקו ובאיסלנד. ברוב המקומות מפיקים את החשמל בשימוש בקיטור ובמיעוטם ממים חמים. כך למשל באיסלנד, בנוסף לייצור חשמל, המים מחוממים עד לטמפרטורה של כ־82 מעלות צלזיוס ומוזרמים לצנרת של עיר הבירה רייקיאוויק, שם הם משמשים לרחצה, להסקה ואף להפשרת שלג וקרח מהמדרכות.

אנרגיה גיאותרמית היא נקייה מאוד מבחינת פליטת גזי חממה ומבחינת זיהום אחר (ראו איור 1, נספח 3). כמו כן, זהו מקור אנרגיה אמין כיוון שאין השפעות של אספקת דלק או תלות במחירי דלקים (כמו בתחנות כוח מבוססות דלקי מאובנים), אין השפעות של מזג אוויר ואין הבדלים בין יום ללילה (כמו באנרגיה סולרית ואנרגיית תנועת רוח). בנוסף מקור אנרגיה גיאותרמי אינו דורש שטחי קרקע גדולים, ולכן אינו משפיע על תוואי הנוף. במדינת ישראל אין תחנות כוח גיאותרמיות אך יש מערכות אקלום גיאותרמי - מערכת המבוססת על החלפת חום עם האדמה על ידי הזרמת מים במערכת צינורות סגורה. טמפרטורת הקרקע היא קבועה (בישראל כ־20 מעלות צלסיוס), והמערכת הגיאותרמית בנויה מצינורות היורדים לעומקים של כמה עשרות מטרים לאדמה וחוזרים בחזרה למבנה. בצינורות זורמים מים המתקררים או מתחממים (בהתאם לעונת השנה) באדמה עד לטמפרטורה של 20 מעלות וחוזרים למבנה כדי לקררו או לחממו. כך נדרשת פחות אנרגיית חשמל לווסת את הטמפרטורה במבנה (למשל על ידי מזגן). משרד האנרגיה האמריקני מעריך כי בשימוש במערכות אקלים גיאו־תרמיות חוסכים בין 30 אחוזים ל־70 אחוזים באנרגיה. כדי להניח את הצמרת יש לחפור חפירה אנכית לעומק של כמה עשרות מטרים, או חפירה אופקית לעומק של כמה מטרים, תלוי באופי הקרקע ובעומס החום הדרוש. מערכת צינורות גיאותרמיים ניתנים ליישום במבנים חדשים ובמבנים קיימים.

מקורות מידע:

מערכת איקלום גיאותרמית, המועצה לבניה ירוקה

אנרגיה גיאותרמית, מכון ויצמן

מהי אנרגיה גיאותרמית?, מכון דוידסון

אנרגיה גיאותרמית – לייצר חשמל מבטן האדמה, פורטל תשתיות

אנרגיה גיאותרמית, אתר אנרגיה מתחדשת

אנרגיה גיאותרמית

7. אנרגיית תנועת מים

אנרגיית תנועת מים היא אנרגיה המופקת מתנועה טבעית של מים. שימוש בתנועת מים כמקור אנרגיה החל כבר בזמנים קדומים, למשל זרימת מים שימשה מקור אנרגיה בטחנות קמח שבהן הניעה זרימת המים את אבן הריחיים. בימינו השימוש העיקרי באנרגיית תנועת מים הוא בהפקת אנרגיה חשמלית, המכונה אנרגיה הידרואלקטרית. זוהי האנרגיה המתחדשת הנמצאת בשימוש הנפוץ ביותר ומיוצרת מניצול תנועת המים בנהרות, בנחלים, במפלים, בגלי ים ובתנועת הגאות והשפל של האוקיינוסים. את האנרגיה מתנועת המים אפשר להסב בקלות לחשמל בניצול זרימת המים לסיבוב גלגל (טורבינה) המייצר אנרגיה חשמלית. בתחנת כוח הידרואלקטרית מים נופלים מפתח סכר או ממפל מים טבעי ומסובבים טורבינה. מרגע שתחנת כוח כזו נבנית ומופעלת כמעט שלא נוצרים גזי חממה או פסולת בעקבות פעולת התחנה. המים ניתנים לאגירה באגמים טבעיים או מלאכותיים או במאגרים אחרים. וכך אפשר לאגור את אנרגיית המים הפוטנציאלית (כאנרגיה שאובה) ולהשתמש בה לייצור חשמל כאשר עולה הצורך בכך.

תחנת הכוח הראשונה שסיפקה חשמל לארץ ישראל ולעבר הירדן הייתה תחנה הידרואלקטרית – את תחנת הכוח בנהריים הקים פנחס רוטנברג והיא נחנכה בשנת 1932. התחנה ניצלה את מי הירדן והירמוך להפקת חשמל. התחנה פעלה משנת 1932 ועד כיבוש המקום בידי חיילי הליגיון הערבי בשנת 1948. בישראל אין מפלים המאפשרים ניצול אנרגיה הידרואלקטרית ובכלל יש מעט מאוד מקורות מים, וכמות המים הזורמת בנחלים אינה משתווה לזרימה בנהרות גדולים במדינות אחרות בעולם. אולם בנימין הרצל כבר הגה את פרויקט תעלת הימים. מדובר בחפירת תעלה שתזרים מים לים המלח מהים התיכון או מים סוף לשם ייצור חשמל בעזרת זרימת מים. בשנות החמישים החלו לעבד תוכניות לייצור חשמל מטורבינות מים בתעלת הימים, שהייתה אמורה לזרום מהים התיכון או מים סוף לים המלח, בניצול הפרשי הגבהים הגדולים. בדיקות הראו שאין לתוכנית כדאיות כלכלית ויש לה השלכות סביבתיות נרחבות, וכך, למרות ההשקעה העצומה שבבר גויסה לשם כך מיהודי התפוצות ננטשה התוכנית. במדינת ישראל קיימות כיום שתי תחנות כוח הידרואלקטריות - האחת בכפר הנשיא (על הירדן ההררי) והשנייה בנהריים. התחנות מפיקות כמויות קטנות יחסית של חשמל (2.5 ו־18 ג'יגהוואט בהתאמה).

מקורות מידע:

[הגן הסולארי]

[אנרגיה הידרואלקטרית, ויקיפדיה]

8. התייעלות אנרגטית

כדי שתתרחש התייעלות אנרגטית יש להשתמש בפחות אנרגיה לעשיית משימה שבדרך כלל תדרוש צריכת אנרגיה רבה יותר - כלומר, צמצום בזבוז אנרגיה. להתייעלות אנרגטית מגוון יתרונות: הפחתת פליטות גזי חממה, הפחתת הצריכה של אנרגיה מיובאת והוזלת עלויות במשקי בית, בתעשייה ובכלכלה כולה. בעוד אנרגיות מתחדשות חשובות בהשגת היעדים האלה, התייעלות אנרגטית היא הדרך הזולה ביותר, ולעיתים קרובות המידית ביותר, להפחתת השימוש בדלקי מאובנים. אפשר ליישם התייעלות אנרגטית בכל מגזר במשק, בין שמדובר בבניינים ובתחבורה, בין שמדובר בתעשייה או בייצור אנרגיה. דו"ח של סוכנות האנרגיה הבינלאומית (IEA) קבע שהתייעלות אנרגטית יכולה להפחית את הגידול בצריכת הנפט ב־23 מיליון חביות בשנה. לצורך השוואה, מדובר בכמות שוות ערך להפקת הנפט של ערב הסעודית ורוסיה יחד ביום בשנת 2015. ישראל התחייבה לעמוד ביעד לאומי של צמצום צריכת החשמל בשיעור של 17 אחוזים לפחות עד שנת 2030 מצריכת החשמל הצפויה לפי תרחיש "עסקים כרגיל".

<u>בניינים:</u>

בניינים מכל סוג (מלונות, בתי חולים, קניונים ובנייני מגורים למשל) צורכים כמויות אנרגיה גדולות לפעילותם השוטפת. אפשר ליישם התייעלות אנרגטית הן בשלבי התכנון והבנייה של בניינים חדשים הן בבניינים קיימים. תהליך ההתייעלות יכול להיות בקנה מידה קטן - שימוש בנורות לד חסכוניות באנרגיה, ובמכשירי חשמל אחרים שצורכים פחות אנרגיה; או בקנה מידה גדול יותר - למשל התקנת בידוד יעיל שיקטין את הצורך בהפעלת מיזוג לצורכי קירור או חימום. כמו כן, אפשר לשלב אנרגיות מתחדשות בבניינים, כגון לוחות סולריים אשר יקטינו את השימוש באנרגיית חשמל. רעיון נוסף - בציפוי שמשות לסינון קרינת השמש אפשר להפחית בעד 50 אחוז מהצריכה הצפויה של מיזוג בבניין שהשמשות שלו אינן מצופות. החיסרון של שיטה זו היא שרוב הציפויים האלו מסננים חלק ניכר מקרינת האור, מה שיכול לגרום לירידה בעוצמת האור הטבעי ולצורך להדליק תאורה מלאכותית באמצע היום, דבר שפוגע ביעילות הורדת צריכת החשמל למיזוג.

<u>תחבורה:</u>

ישנם כלי רכב יעילים באנרגיה שהם צורכים, כלומר הם צורכים פחות דלק מכלי רכב אחרים כדי לנסוע את אותו מרחק. כמו כן, קיימים כלי רכב היברידיים וכלי רכב חשמליים אשר פולטים פחות גזי חממה. רכב היברידי משתמש בשני סוגי מנועים יחד (ומכאן שמו: מנוע היברידי – בן־כלאיים): מנוע בעירה פנימית הוא מנוע הבנזין הרגיל והמוכר; ומנוע חשמלי אשר ממיר את אנרגיית התנועה (האנרגיה הקינטית) של הרכב לחשמל. רוב כלי הרכב ההיברידיים שבשוק היום הם מסוג "היבריד מקביל", כלומר, כלי רכב בעלי מערכות חכמות המפעילות את שני המנועים יחד בתזמון שמאפשר שימוש יעיל באנרגיה, בהתאם לסוג הנסיעה ולתנאי הדרך. כך, למשל, בנסיעה איטית יעבוד המנוע החשמלי יותר ולא יצטרך את הסיוע ממנוע הבנזין, וכך החיסכון בדלק יהיה גדול יותר.

<u>מחזור חום:</u>

לא כל אנרגיית החום שנוצרת בתחנות כוח המבוססות על פחם, על סולר, על גז טבעי או אפילו על אנרגיה גרעינית נהיות חשמל. תחנות כוח כאלה יוצרות חשמל על ידי חימום מים במערכת סגורה, שרפה של דלק (פחם, גז או סולר) או ביקוע גרעיני. המים מתאדים ונהיים קיטור. הקיטור גורם להנעת טורבינה המניעה מגנטים שיוצרים שדה חשמלי. בדרך כלל, יותר מחצי מאנרגיית החום המיוצרת בתהליך אובדת ואינה מנוצלת. ב"לכידת" החום עודף ובניצולו אפשר להגיע ליעילות גבוהה יותר של ניצול אנרגיה. יעילות זו שיכולה להגיע עד ל־80 אחוז ניצול (לעומת פחות מ־50 אחוזים בדרך המסורתית). פירוש הדבר הוא

שנדרשת כמות קטנה יותר של דלק כדי לייצר את אותה כמות של חשמל. קיימות תחנות כוח הפועלות בשילוב כוח וחום. אילו לוכדות את כל החום או חלק ממנו למטרות חימום, ומשתמשות בו בסמוך למתקן או במקומות מרוחקים יותר על ידי חימום מים והעברתם בצינורות.

<u>תעשייה:</u>

הפעלת מכונות גדולות בתעשייה גם היא יוצרת חום רב, ואפשר לנצל אותו. נוסף על כך, מכונות רבות מבזבזות אנרגיה בלי בקרה - ובדיקה פשוטה תאפשר ייעול וחיסכון באנרגיה.

התוכנית להתייעלות אנרגטית של משרד האנרגיה:

התוכנית עוסקת בצמצום צריכת החשמל בשנים 2016־2030 ולפיה צפויה ירידה של 17 אחוזים בצריכת החשמל בארץ עד 2030. פעולות אלה יצמצמו את השימוש בחשמל:

- יינתן תקן ליעילות מינימלית של מבנה חדש או משופץ על פי תקן שיפחית את צריכת החשמל ויוזיל עלויות.
- עידוד בנייה מאופסת אנרגיה.
- חשיפה של בעלי מבנה חדש או בעלי מבנים קיימים למידע על צריכת אנרגיה.
- שיפור אנרגיה במערכות קירור וחימום.
- מתן תקן למכשירי חשמל ולגופי תאורה חסכניים באנרגיה ולאנרגיה חסכונית בתעשייה.

<u>התנהגות:</u>

האסטרטגיות שלעיל משפרות את יעילות האנרגיה באמצעות טכנולוגיה ועיצוב. עם זה, לדרך בה אנשים משתמשים בטכנולוגיה יש השפעה מרחיקת לכת על היעילות. מחקרים הראו כי 30 אחוז מחיסכון האנרגיה הפוטנציאלי בטכנולוגיות יעילות נאבד בגלל מגוון גורמים חברתיים, תרבותיים וכלכליים. ולכן חשוב לתת את הדעת לגורמים אלה בתהליך ההתייעלות האנרגטית. עם החסמים הבולטים להתייעלות נמנים חוסר במידע או חוסר מודעות של הצרכנים בנוגע לשימוש יעיל וחסכוני באנרגיה, ואף לבחירה נכונה בטכנולוגיות החוסכות אנרגיה; היעדר מימון ותמריצים מספיקים ועוד.

סרטון: https://www.youtube.com/watch?v=bJh53jhpKDA

מקורות:

Energy Efficiency (באנגלית)

ההיבט ההתנהגותי של ההתייעלות האנרגטית, חברת חשמל

"התייעלות אנרגטית היא טרנד מהחזקים בעולם, אסור להתעלם", גלובס

קוגנרציה, ויקיפדיה

Efficient energy use (באנגלית), ויקיפדיה

בניה ירוקה, ויקיפדיה

מהי בנייה ירוקה?, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

9. מיסוי ירוק / מס סביבתי

דרך נוספת להפחית את השימוש בדלקי מאובנים היא הטלת מיסים על דלקי מאובנים ועל פליטות פחמן.

צפו בסרטון זה (אפשר להתחיל בדקה 3:34 ולסיים בדקה 9:42) ועיינו במקורות האלה:

מיסוי ירוק, גלובס

מס סביבתי, אקו-ויקי

الملحق 1: ورقة إرشاد لمجموعة من الخبراء (اقتراح 1) أو السكان (اقتراح 2)

اقرأوا بطاقة المعلومات التي أمامكم واملأوا الجدول خلال النقاش في المجموعة. من الأفضل استخدام مصادر معلومات إضافية (انظروا إلى مصادر المعلومات في نهاية بطاقة المعلومات. يمكنكم البحث عن المزيد من المصادر). انتبهوا إلى المعلومات الإضافية التي تقارن بين مصادر الطاقة في الملحق 3. يجب على كل طالب وطالبة في مجموعة الخبراء إكمال الجدول، حيث يتم استخدامه خلال النقاش في اللجنة الاستشارية.

نوع الطاقة	
هل تنبعث غازات الدفيئة؟	ما هي المساحة المطلوبة للتكنولوجيا؟
تكلفة التركيب أو التطبيق: مرتفع جدًّا، مرتفع، متوسط، منخفض	تكلفة الصيانة: مرتفع جدًّا، مرتفع، متوسط، منخفض
هل يمكن تطبيقه في دولة اسرائيل؟ بأي مدى؟	ما هي الصعوبات في التطبيق؟ كيف يمكن التشجيع على التطبيق؟
تلخيص الحسنات	تلخيص السيئات

الملحق 2: ورقة إرشاد للجنة الاستشارية

اشتركتم في لجنة استشارية تُناقش إجراءات الحدّ من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في دولة إسرائيل. يجب على اللجنة أن تقترح مزيجًا لاستخدام الطاقة وتوصيات إضافية يمكن أن تقلل من اعتماد الدولة على الوقود الأحفوري (الوقود المتحجر). يمكنكم تقديم توصيات بناءً على معلومات من الخبراء وبناءً على المعلومات الواردة في الملحق 3. أمامكم ورقة إرشادية تساعدكم في تقديم التوصية. نمنح كل إمكانية عدد معين من الدرجات (من 1 – غير جدير بالاهتمام، إلى 5 - مفيد جدًا) وفقًا لعدة معايير.

انتبهوا إلى أنه ليست كل المعايير مناسبة لجميع الإمكانيات. يمكن إضافة معايير إضافية (بموافقة اللجنة بأكملها) للحكم على الإمكانيات. في نهاية ملء الجدول الذي يشمل النتيجة الإجمالية لكل إمكانية من الإمكانيات. إذا رغبتم في ذلك، يمكنكم في مرحلة إعداد النتائج إعطاء درجة مختلفة لكل معيار.

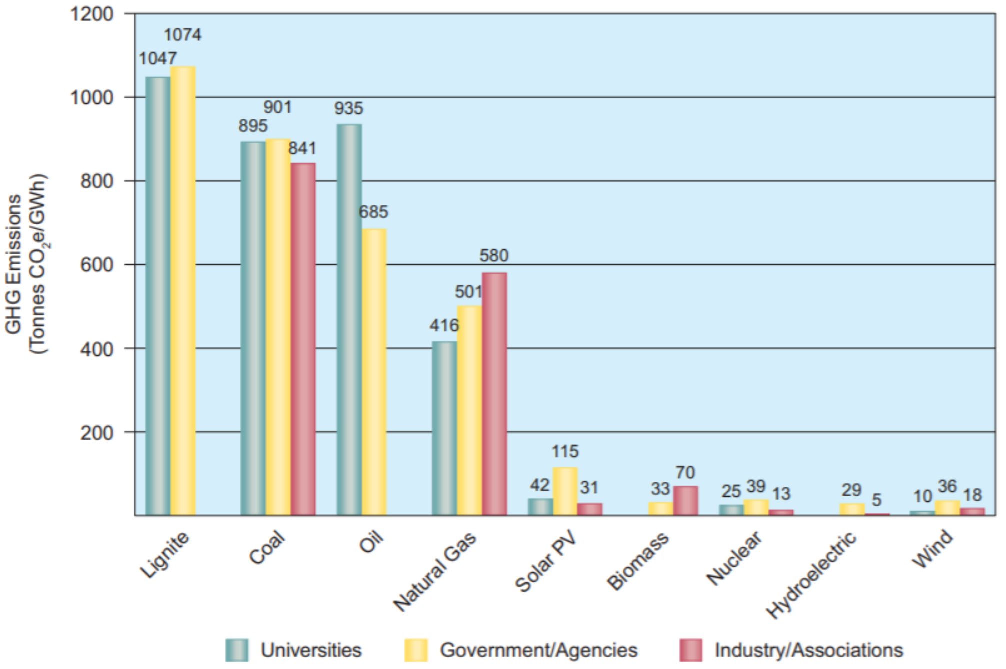
لخصوا بالنسبة المئوية توصيات اللجنة بخصوص مزيج استخدام الطاقة لدولة إسرائيل - ما هي النسبة المئوية من كل نوع من أنواع الطاقة التي تكوّن إجمالي الطاقة المستخدمة في الدولة، وفيما يتعلق بالتدابير الإضافية لتقليل انبعاث غازات الاحتباس الحراري.

	كمية الانبعاث	تكلفة التركيب (إذا لزم الأمر ذلك)	تكلفة الصيانة	المساحة المطلوبة	كفاءة الطاقة – كمية الطاقة لكل وحدة من المادة	توفير الطاقة	أخرى (فصّلوا)	مجموع الدرجات
الفحم الحجري								
نفط أو سولار								
غاز طبيعي								
بيو ديزل								
حرق النفايات								
محطة للطاقة الشمسية								
الخلايا الشمسية الكهروضوئية								

طاقة الرياح								
الطاقة النووية								
الطاقة الحرارية الأرضية								
طاقة حركة الماء								
كفاءة الطاقة								
الضرائب الخضراء								
آخر								

الملحق 3: معلومات عن الوقود الأحفوري والطاقات البديلة

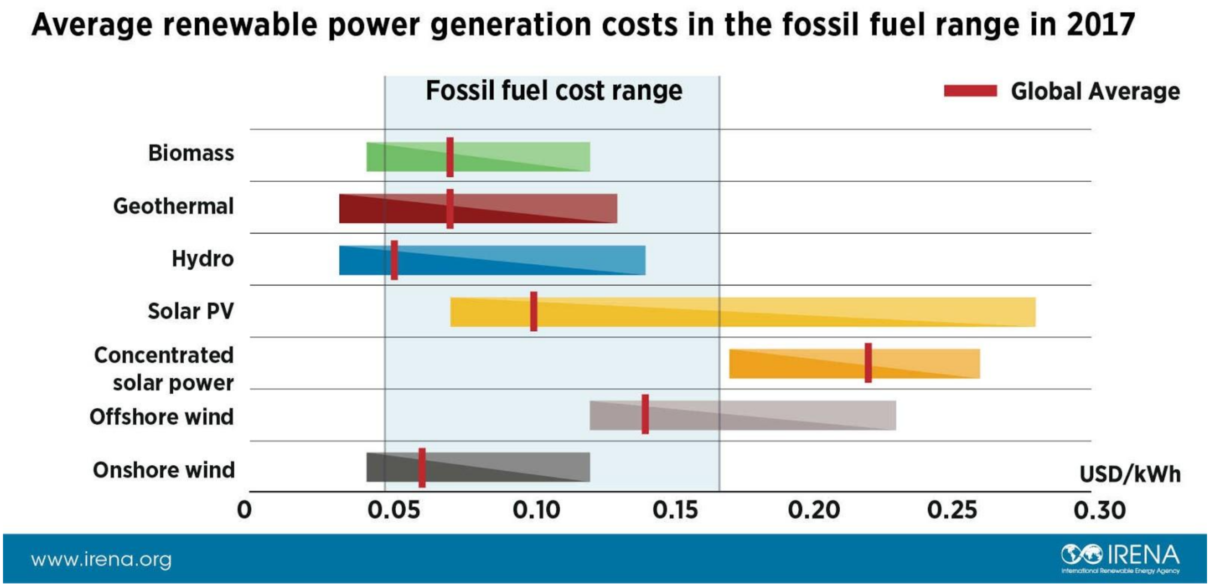
<u>الرسم البياني 1: مقارنة بين انبعاث غازات الاحتباس الحراري من عدة مصادر للطاقة.</u>



الرسم البياني 1: انبعاث غازات الاحتباس الحراري باستخدام طاقات مختلفة، بوحدة طن ثاني أكسيد الكربون، بقدرة طاقة مقدارها واحد جيجا واط في الساعة. يمكن أن نرى في الرسم البياني تلخيص لمعطيات أبحاث أجرتها عدة

مؤسسات. يُشير اللون الأخضر إلى أبحاث أجرتها مجموعات بحث في الجامعات، يُشير اللون الأصفر إلى أبحاث أجرتها هيئات ووكالات حكومية، ويُشير اللون الأحمر إلى أبحاث أجرتها الصناعة ومنظمات أخرى. [מקור](.)

<u>الرسمة 2: تكلفة الطاقات البديلة مقارنة بالوقود الأحفوري.</u>

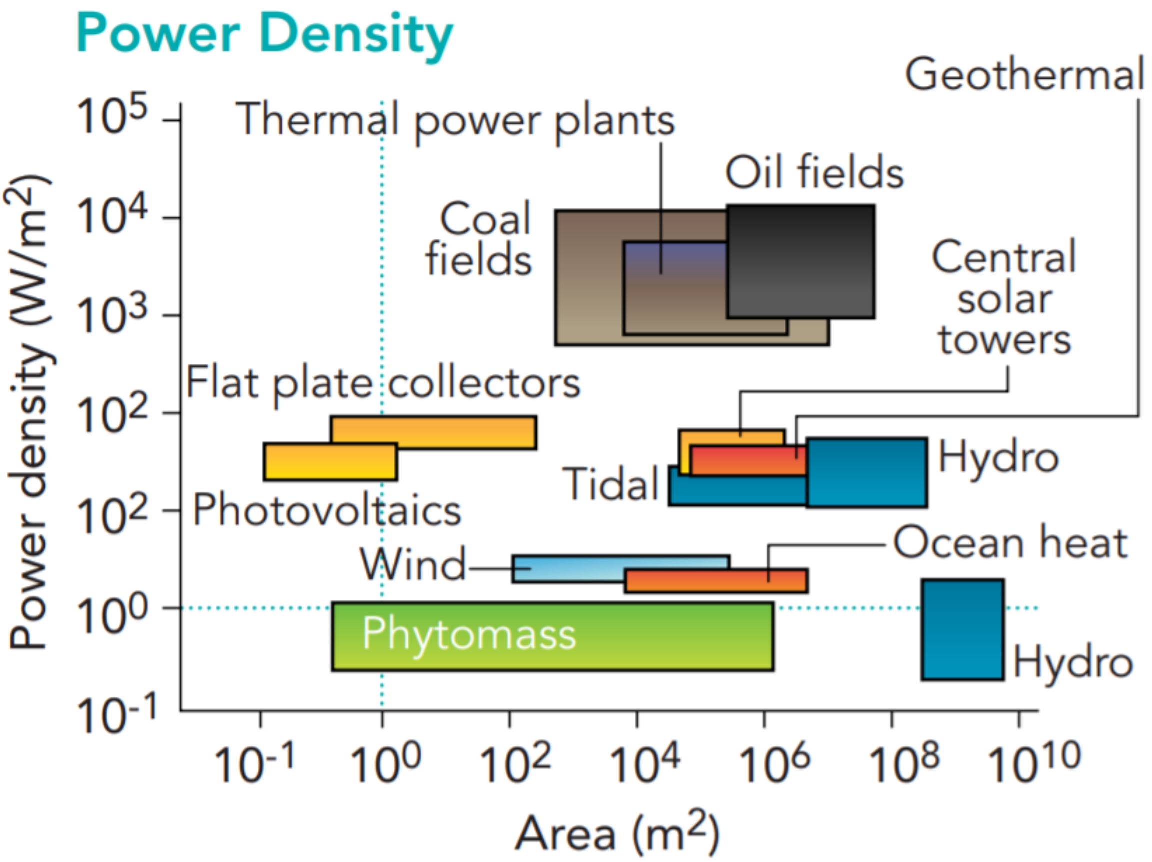


الرسم البياني 2: مجال التكلفة (بالدولار لكل كيلو واط ساعة) للطاقات البديلة مقابل تكلفة الوقود الأحفوري (الوقود المتحجر). مجال تكلفة الوقود الأحفوري مُظلل باللون الرمادي (fossil fuel cost range). تُشير الخطوط الحمراء إلى معدل التكلفة في العالَم (global average). انتبهوا إلى أن مجال تكلفة الطاقة الشمسية مناسب للخلايا الكهروضوئية الواسعة (solar PV)، لأنها تشمل في الحسابات التقنيات القديمة أيضًا، التي كانت أغلى من التقنيات المستخدمة اليوم. المصدر:

International Renewable Energy Agency - IRENA https://www.irena.org/

Biomass	الوقود الحيوي
Geothermal	طاقة حرارية من باطن الأرض
Hydro	طاقة الماء
Solar PV	الطاقة الشمسية - الخلايا الكهروضوئية
Concentrated solar power	الطاقة الشمسية المجمّعة (تجميع الطاقة الشمسية بواسطة مرايا وعدسات، يتم تطبيق ذلك في الأبراج الشمسية)
Offshore wind	طاقة حركة الرياح التي تحصدها التوربينات الموجودة داخل أجسام مائية، عادة في البحر.
Onshore sind	طاقة حركة الرياح التي تحصدها التوربينات في اليابسة

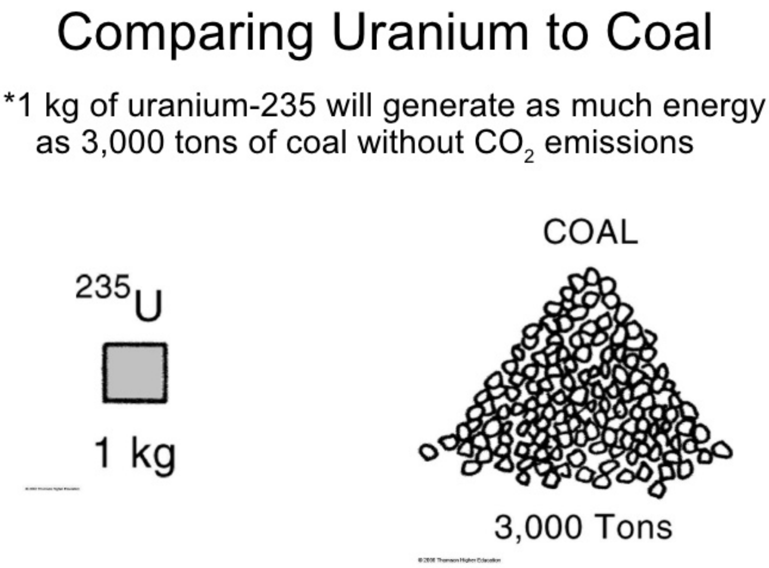
الرسم البياني 3: كفاءة مصادر الطاقة (هذا الرسم البياني صعب، لذا فهو مناسب للطلاب المتقدمين).



الرسم البياني 3: كثافة قدرة الطاقة من مصادر طاقة مختلفة والمساحة التي تتطلبها - كمية الطاقة التي يمكن استخراجها (المحور Y) مقابل المساحة المطلوبة لاستخراج نفس الطاقة. كلما ازدادت كثافة قدرة الطاقة، يُمكن استخراج المزيد من الطاقة من نفس المصدر لكل وحدة مساحة. مثلًا: كثافة قدرة الطاقة الشمسية أقل من كثافة قدرة طاقة الفحم الحجري . نلاحظ أن هناك حاجة إلى مساحة أكبر لمنشآت الطاقة الشمسية (محطات الطاقة الشمسية) كالألواح الشمسية (الخلايا الكهروضوئية)، لكن كلاهما لهما كثافة طاقة مماثلة. أما بالنسبة للطاقة النووية، انظروا إلى الرسم البياني 4.

المصدر: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518305512

الرسم البياني 4: كفاءة الطاقة النووية مقارنة بالفحم الحجري



الرسم البياني 4: كثافة قدرة الطاقة النووية أكبر بكثير من كثافة قدرة طاقة الفحم الحجري - يُمكن استخراج نفس كمية الطاقة من 3000 طن من الفحم الحجري ومن كيلوغرام واحد من اليورانيوم -235، دون انبعاث غازات الاحتباس الحراري من الطاقة النووية.

المصدر: https://www.slideshare.net/edstermer/nuclear-power-3961454

ملحق 4: بطاقات معلومات

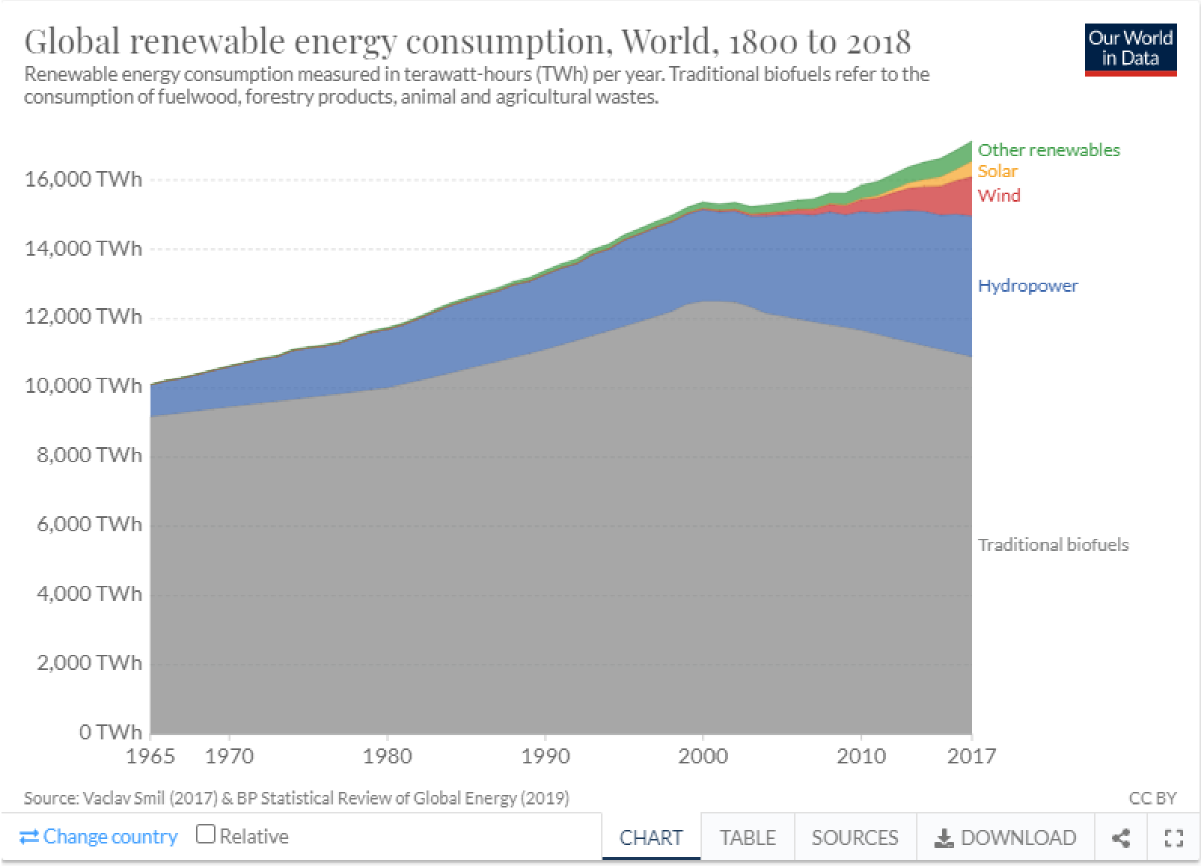
وقود الديزل الحيوي (وقود حيوي)

وقود الديزل الحيوي هو نوع من الوقود الحيوي* المصنوع من زيوت، مثل: الدهون الحيوانية، زيوت الطعام المستخدمة (بما في ذلك زيت فول الصويا، زيت الكانولا، زيت جوز الهند وزيت الفول السوداني) أو الزيوت النباتية المُستخرجة خصيصًا لإنتاج الديزل الحيوي من الذرة، فول الصويا أو النخيل. يُمكن استخدام وقود الديزل الحيوي كوقود نقي أو نخلطه مع الديزل بنسب مختلفة. يُعتبر وقود الديزل الحيوي أنظف من الوقود الأحفوري (الوقود المتحجر)، لأن احتراقه يُنْتِج غازات دفيئة أقل بكثير (انظروا إلى الرسم البياني 1 في الملحق 3). بالإضافة إلى ذلك، أثناء حرق وقود الديزل الحيوي، هناك انخفاض كبير في انبعاثات الملوثات الأخرى، مثل: أكاسيد الكبريت، هيدروكربونات مختلفة وجسيمات السخام. سعر وقود الديزل الحيوي في مجال أسعار الوقود الأحفوري، ويمكن أن يكون أرخص منه إذا تمّ فرض ضريبة أعلى على الوقود الأحفوري (انظر الرسمة 2). ومع ذلك، فإن الطاقة الموجودة في وقود الديزل الحيوي، أي قيمته من السعرات الحرارية، أقل بنحو 9 في المائة من وقود السولار. هذا يعني أن مسافة السفر لكل لتر من وقود الديزل الحيوي أقل من الوقود الأحفوري.

على عكس النفط، فإن وقود الديزل الحيوي غير سام، وبالتالي في حالة تسربه إلى الأرض أو مصادر المياه، لا يوجد خوف من كارثة بيئية. وقود الديزل الحيوي آمن للاستخدام والنقل. من ناحية أخرى، بما أن وقود الديزل الحيوي غير سام ومن مصدر بيولوجي، تميل البكتيريا والفطريات إلى التطور أثناء التخزين المطول. لذلك يجب أن يكون استخدامه في أقرب وقت ممكن من لحظة الإنتاج، وإلا فسوف يفسد. في أعقاب الاتجاه المتزايد في العالَم لاستخدام الطاقة البديلة، بدأ كبار مصنعي السيارات مؤخرًا في إنتاج سيارات مصممة للعمل على وقود الديزل الحيوي. في السيارات العادية، يُمكن تخفيف السولار بوقود الديزل الحيوي بتركيز لا يزيد عن 5 في المائة، دون تغيير محرك السيارة. للديزل الحيوي بعض السيئات فيما يتعلق بالاقتصاد العالمي - كلما ازداد استخدام الوقود الحيوي ازدادت المنافسة بين مجال الطاقة ومجال صناعة الأغذية. لأن معظم المواد الخام المستخدمة في إنتاج وقود الديزل الحيوي هي نفس المواد المستخدمة في صناعة المواد الغذائية. على سبيل المثال، فإن استخدام الذرة للديزل الحيوي بدلًا من التغذية يضر بأسعار الغذاء وتوافره.

على الرغم من تسويق وقود الديزل الحيوي على أنه طاقة خضراء، إلا أن هناك أيضًا تكاليف بيئية إضافية لاستخدام وقود الديزل الحيوي النباتي: تؤدي الحاجة المتزايدة إلى النباتات لصناعة وقود الديزل الحيوي إلى تخصيص مساحات كبيرة من الأراضي لهذا الغرض وتتضرر المناطق الطبيعية والغابات نتيجة لذلك. على سبيل المثال، تمّ قطع الكثير من الغابات الماطرة في البرازيل لزرع محاصيل فول الصويا كمصدر للديزل الحيوي. يمكن أن يؤدي الإنتاج الكثير للديزل الحيوي إلى ارتفاع أسعار الحبوب لكل من الوقود والغذاء، وسوف يتضرر السكان الفقراء من ذلك. الحل الأمثل للعديد من السيئات هو استخدام الزيوت المستعملة والدهون الحيوانية الزائدة، لكن كميتها لا تلبي الطلب المتزايد لوقود الديزل الحيوي. تُعارض وزارة حماية البيئة المحيطة حاليًا إنتاج الطاقة من محاصيل معينة، لأن هذه المحاصيل تكون على حساب محاصيل غذائية أخرى، أو على حساب مناطق طبيعية يتم تحويلها إلى أراضٍ زراعية، أو لأن زراعة الكتلة الأحيائية للطاقة يتطلب استثمارًا كبيرًا نسبيًّا في المياه، الأسمدة، التربة والطاقة.

*الوقود البيولوجي (أو الوقود الحيوي) هو مصدر للطاقة من مواد عضوية (من الحيوانات والنباتات). يُعتبر الوقود الحيوي مصدرًا للطاقة المتجددة، لأن استخدامه يُنْتِج "دائرة مغلقة" من ثاني أكسيد الكربون: نفس ثاني أكسيد الكربون الذي يتمّ إطلاقه في عملية حرق هذا الوقود يتمّ استهلاكه مرة أخرى في عملية التركيب الضوئي أثناء نمو النبات. يمكن أن تعتمد هذه الوقود على الكحول (من عملية تخمير السكريات) أو الزيوت (وقود الديزل الحيوي). يمكن أن يكون الوقود الحيوي صلبًا. الأمثلة الشائعة هي: الأشجار، نشارة الخشب، قصاصات العشب، القمامة المنزلية أو النفايات الزراعية. يتضح من الرسمة أدناه أن استخدام الوقود الحيوي يُشكّل الجزء الأكبر من الطاقة المتجددة المستهلكة في العالَم.



الرسمة 1 - استهلاك الطاقة المتجددة في العالَم بين السنوات 1800-2018. نلاحظ أن الوقود الحيوي التقليدي (عادة مادة نباتية مثل الخشب) يُستخدم بنسبة 60 إلى 70 في المائة من جميع أنواع الوقود المتجدد. في الدول الفقيرة، يُستخدم الوقود الحيوي التقليدي بشكل شائع جدًّا لأغراض الطهي والتدفئة.

مصدر: https://ourworldindata.org/renewable-energy

مصادر المعلومات:

שימוש בביומסה כמקור לאנרגיה, מכון ויצמן

ביודיזל, פורטל המיחזור

ביודלק, אתר אנרגיה מתחדשת

2. استخراج الطاقة من النفايات

في إسرائيل، يتمّ إنتاج حوالي 17.5 مليون طن من النفايات الصلبة كل عام، منها حوالي 5 ملايين طن نفايات مدنية وحوالي 6 ملايين طن نفايات زراعية. تُعتبر معالجة هذه النفايات تحديًّا كبيرًا للغاية، وأحد الحلول هو استخراج الطاقة منها. الربح من ذلك مضاعف: من ناحية واحدة، يتمّ استخراج طاقة بدلًا من الوقود الأحفوري (الوقود المتحجرة) ومن ناحية أخرى يمكن تقليل حجم النفايات الفائضة. حسب التقسيم الأساسي، تنقسم النفايات إلى نوعين: النفايات الرطبة والنفايات الجافة. تحتوي النفايات الرطبة على مواد عضوية، خاصة بقايا طعام، ويمكن تحليلها تحلل بيولوجي. تشمل النفايات الجافة جميع النفايات الأخرى - المواد العضوية، مثل: الخشب الورق والبلاستيك الذي لا يمكن إعادة تدويره في عملية الكومبوست (السماد)، ولا يمكن تحليله بواسطة نشاط بكتيريا.

يمكن تقسيم معالجة النفايات إلى ثلاثة معايير رئيسية:

1. الاحتراق - مناسب للنفايات الجافة.
2. المعالجة البيولوجية - مناسبة للنفايات البيولوجية الرطبة - التحليل اللاهوائي (تحلل بواسطة بكتيريا في بيئة محيطة خالية من الأكسجين).
3. المعالجة الحرارية - مناسبة للنفايات الجافة - مجموعة متنوعة من التقنيات التي يتم فيها بذل طاقة ورفع درجة الحرارة لاستخراج وقود من النفايات. لا نتعمق في هذه الفئة.

حرق النفايات: في الماضي، تمّ استخدام هذه الطريقة، من بين أمور أخرى، كبديل للطمر. يمكن استخراج طاقة من عملية الاحتراق بكفاءة، لكن يجب أولًا تصنيف النفايات. يجب أولًا إخراج المواد القابلة لإعادة التدوير، مثل: البلاستيك، الورق والكرتون، الزجاج، المعادن والمواد القابلة للتحلل بطريقة بيولوجية. من الأفضل أن يتمّ هذا الفصل قبل التخلص من النفايات (الرُّزم إلى الحاوية البرتقالية) ، لكن يمكن أيضًا فصل المواد عن بعضها في منشآت فرز المواد. من المهم ابعاد منتجات كبيرة أو خطيرة يُمكن أن تؤدي إلى انبعاث مواد خطيرة. منذ عشرات السنين، لا يُستخدم الحرق كحلّ أول لمعالجة النفايات بسبب عواقبه البيئية المحيطة والصحية. بَعد الحريق يتلوث الهواء وتنبعث غازات الدفيئة مما يؤثر ذلك على ظاهرة الاحتباس الحراري. في أوروبا، تدمج العديد من أنظمة معالجة النفايات بين الوقاية، إعادة الاستخدام، الفصل في المصدر، إعادة التدوير والحرق كمجموعة من الحلول المقبولة، في محاولة لتقليل حجم النفايات التي يتمّ إرسالها للطمر في مكب النفايات.

المعالجة البيولوجية والغاز الحيوي: الغاز الحيوي هو غاز يُستخرج من مادة عضوية في عملية تحلّل بواسطة بكتيريا في ظروف خالية من الأكسجين. يمكن استخدام الغاز الحيوي لتشغيل المولدات الكهربائية لتوليد الكهرباء أو لتوليد الحرارة عند حرقه. هذه العملية طبيعية وتحدث تلقائيًّا في ظروف مناسبة، على سبيل المثال في أماكن طمر النفايات ومواقع النفايات. وُجد في الأبحاث التي أُجريت في مطامر نفايات كبيرة (المواقع التي تُنقل إليها النفايات الصلبة) أن كميات كبيرة من الغازات تنبعث من القمامة. أحد هذه الغازات هو الميثان. يمكن استخدام هذا الغاز كمصدر للطاقة. بيّنت الحسابات أنه يمكن إنتاج حوالي 200 لتر من غاز الميثان من كل 1 كغم من النفايات المطمورة. يتمّ تجميع الغاز بواسطة أنابيب أُدخلت في كومة النفايات. يصعد الغاز ويُضخ من الأنابيب. يمكن استخدام هذا الغاز كطاقة بديلة تستخدم لتشغيل المرْكَبات على سبيل المثال. يُمكن أيضًا إنشاء منشآه خاصة لاستخراج الغاز الحيوي من النفايات العضوية.

في إسرائيل، هناك ثلاث منشآت إقليمية (ميتسر في الجولان، وادي حيفر وبئر توفيا) تُستخدم لإنتاج الغاز الحيوي من زبل الحظائر. إحدى المشاكل الصعبة في إنشاء هذه المنشآت الإقليمية هي اعتراض السكان الذين يخشون من المضرات الصحية والرائحة، ولا يريدون بناء هذه المنشآت في منطقتهم. بالإضافة إلى ذلك، في المنشأة التي يُستخرج فيها الغاز الحيوي من روث البقر، يجب معالجة السوائل الزائدة التي تَنْتُج خلال العملية وتسمّى مياه الصابورة (مياه ثقل، تُستعمل لتوازن السفن). تحتوي هذه المياه على أملاح وسليكون ويجب إزالتها إلى مواقع خاصة. هناك أيضًا منشآت

لإنتاج الغاز الحيوي من النفايات الصناعية (إنتاج الألبان، المسالخ، مصانع الأغذية، مصانع المشروبات ومصانع الجعة (البيرة) ومصانع الورق أيضًا).

من المهم أن نفهم أن إعادة النفايات إلى طاقة لا يحلّ مشاكل الطاقة في إسرائيل. في التقنيات الحالية، تشكّل هذه الطاقة نسبة قليلة من إجمالي استهلاك الطاقة الإسرائيلي سنويًّا. لكن استخراج الطاقة من النفايات له جانب اقتصادي يجعل معالجة النفايات أكثر نجاعة من ناحية اقتصاديّة، وأيضًا أكثر كفاءة من الناحية البيئية المحيطة مقارنة بإعادة التدوير، أكثر من الطرق غير المنتجة للطاقة؛ يؤدي ذلك أيضًا إلى تقليل طمر النفايات وإلى تقليل إهمال معالجة النفايات التي لا تزال موجودة في إسرائيل. يُعتبر فصل النفايات أحد أهم المتطلبات الأساسية لإنتاج الطاقة من النفايات.

مصادر المعلومات:

היבטים כלכליים של הפקת אנרגיה מפסולת עירונית וחקלאית

שיפור מערך הפקת האנרגיה מפסולת אורגנית בישראל

הפקת אנרגיה מפסולת, מוסד שמואל נאמן

(3) الطاقة الشمسية

مصدر الطاقة الشمسية هو الإشعاع الشمسي (طاقة الحرارة والضوء) وهو أحد أكثر مصادر الطاقة المتوافرة. من المتوقع أن تحترق الشمس لمليارات السنين، لذا تُعتبر طاقة متجددة. كما أن الطاقة الشمسية نظيفة نسبيًّا واستخدامها لا يُنْتِج كميات كبيرة من غازات الاحتباس الحراري (انظروا إلى الرسمة 1 والجدول 1). كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض هائلة - كل استهلاك الطاقة العالمي السنوي يساوي كمية الطاقة التي تصل من الشمس إلى الأرض بضع ساعات. استخدامات الطاقة التي مصدرها من الشمس متنوعة. يُمكن استخدام هذه الطاقة على الفور وبشكل مباشر لأغراض التدفئة، التبخير وتجفيف الطعام، مثل: الطهي بمساعدة فرن يعمل بالطاقة الشمسية، برك التبخير لإنتاج الأملاح وتجفيف الغسيل. هكذا نوفر الكهرباء أو الغاز أثناء طهي الطعام، كما نوفر الكهرباء التي يحتاجها مجفف الملابس. يُمكن أيضًا تحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة. الطريقة التي نعرفها هي سخانات المياه بالطاقة الشمسية דודי שמש - المستقبلات المثبتة على أسطح المنازل تحوّل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية وتسخن المياه في سخانات المياه بالطاقة الشمسية. يُعتبر استخدام سخانات المياه بالطاقة الشمسية أمرًا شائعًا لدرجة أنّ القانون الإسرائيلي ينص في الواقع على وجوب تركيب نظام من الألواح الشمسية والمراجل في كل منزل جديد يتم بناؤه.

وبالمثل، يمكن أيضًا توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية، لأن كمية الطاقة الشمسية هائلة، ويمكن أن تُستخدم الطاقة الشمسية كمكون واسع النطاق في سوق الطاقة العالمي.

لا يزال هناك تحديان رئيسيان في هذا المجال:

(أ) الطاقة الشمسية غير مركّزة، بمعنى أنها موزعة على مساحة كبيرة جدًّا.

(ب) من الصعب تخزين الطاقة الشمسية. يتغير شدة الإشعاع الذي يصل الألواح الشمسية حسب ظروف الطقس - ولا يتوافق استهلاك الطاقة الفعلي (كمية الكهرباء التي يستخدمها الناس، على سبيل المثال) بالضرورة مع هذه الظروف، لذلك هناك حاجة إلى وسائل تخزين. فقط في العقد الماضي (2010 - 2020)، أصبحت عمليات التقاط، تحويل وتخزين الطاقة الشمسية أكثر كفاءة، لذا أصبحت أسعار الطاقة الشمسية مجدية من الناحية الاقتصادية (انظروا إلى الرسمة 2).

تُركّز منشآت الطاقة الشمسية أشعة الشمس بواسطة مرايا أو عدسات، وكذلك أنظمة تُتيح متابعة الشمس. كل هذا يُتيح استخدام أفضل للطاقة الشمسية واستخدامها في التطبيقات التي تتطلب درجة حرارة عالية. قد تساهم أجهزة التتبع التي تراقب حركة الشمس في السماء نهارًا في زيادة كفاءة الجهاز حتى بدون تركيز أشعة الشمس.

يمكن استخدام الطاقة الشمسية للأغراض الصناعية أو لتوليد الكهرباء بإحدى طريقتين:

1. تجميع الطاقة الحرارية الشمسية - تسخين سائل لتشغيل محرك حراري ينتج كهرباء أو عمل ميكانيكي. في هذه الطريقة، في المرحلة الأولى، نحوّل الطاقة الممتصة من الشمس إلى حرارة. في المرحلة الثانية، يتمّ توليد بخار من الحرارة، وفي النهاية يتمّ استخدام البخار لتشغيل التوربينة التي تُنْتِج الكهرباء.

2. **تجميع الطاقة الكهروضوئية** - الخلايا الكهروضوئية هي خلايا شمسية تحوّل ضوء الشمس إلى كهرباء. هذه الخلايا مصنوعة من السيليكون وتحتوي على مادة شبه موصلة (Semi-conductor). يمكن توليد الكهرباء مباشرة، أو تخزين الطاقة الشمسية بوسائل تخزين، مثل: البطاريات، أو ضخ المياه إلى ارتفاع، أو التخزين الحراري (الحرارة) في السوائل أو المواد الصلبة واستخراج الطاقة من هذه الوسائل لاحقًا. يمكن أن يؤدي استخدام التكنولوجيا الكهروضوئية إلى توفير مورد الأرض عن طريق تركيب الألواح الشمسية على أسطح المنازل. إحدى المزايا البارزة للطاقة الشمسية في أنها تقلل من الاعتماد على المسوقين الخارجيين، وتُتيح توليد الكهرباء بشكل مستقل.

إلى جانب الحسنات العديدة لاستخدام الطاقة الشمسية، هناك أيضًا بعض السيئات: الاستثمار المالي الأولي في بناء محطات الطاقة الشمسية وتوليد الكهرباء مرتفع نسبيًّا مقارنة بمحطات الطاقة التقليدية. هناك حاجة إلى دعم

سياسي. كما أن الطاقة الشمسية غير مستقرة وتتغير على مدار اليوم وطوال العام، وكفاءتها لكل وحدة مساحة منخفضة، حيث لا تصل الطاقة الشمسية إلى الأرض بطريقة مركّزة. إنّ استخدام مساحات أراضي مفتوحة لبناء محطات الطاقة الشمسية يضر أيضًا بالبيئة المحيطة، بالتنوع البيولوجي وبالموارد الطبيعية. لذلك من الأفضل تركيب ألواح شمسية على أسطح المباني لוחות סולריים על גגות מבנים. يحتاج بناء محطة توليد كهرباء إلى استخدام كهرباء، تقنيات ومواد تضر بالبيئة المحيطة. من أجل التغلب على بعض سيئات استخدام الطاقة الشمسية، تُبذل محاولات اليوم لدمج محطات طاقة شمسية مع محطات طاقة رياح (المقال 2 حول هذا الموضوع) לשלב בין תחנות אנרגיה סולרית ובין תחנות אנרגית רוח (מאמר 2 בנושא). بهذه الطريقة يمكن استغلال ساعات الليل وفصول الشتاء لتوليد الكهرباء. بالإضافة إلى ذلك، تُبذل جهود لبناء ألواح شمسية ذات مساحة سطحية أكبر تشتمل على مكونات نانو تكنولوجية لزيادة إنتاج الطاقة الناتجة.

مصادر المعلومات:

אנרגית שמש, מכון ויצמן

ניצול יעיל של אנרגיית השמש, מכון דוידסון

חשמל סולארי מהרוח

אנרגיה סולארית, ויקיפדיה

יתרונות וחסרונות באנרגיה סולארית

חשמל במסלול הירוק, החברה להגנת הטבע

(4) طاقة الرياح

إحدى الطرق الشائعة في العالَم لتوليد طاقة كهربائية بديلة لمدن بأكملها هي بناء محطات طاقة تعمل بواسطة توربينات الرياح. توربينات الرياح טורבינות רוח عبارة عن مروحة مثبتة على عمود، على غرار محطة الرياح التاريخية التي كانت تُستخدم سابقًا لطحن الدقيق باستخدام الكهرباء الذي نولده من طاقة الرياح. تُستخدم توربينات الرياح كمصدر طاقة بديل وغير ملوث (انظروا إلى الرسمة 1 والجدول 1) وهي غير قابلة للاستنفاد. علاوة على ذلك، فإنّ أحد أكثر الاعتبارات تأثيرًا في قرار إنشاء حقل توربينات الرياح هو الربح المالي (انظروا إلى الرسمة 2). على الرغم من أن تكلفة تركيب مجموعة التوربينات أعلى من تكلفة بناء محطة طاقة تعمل بواسطة الوقود الأحفوري - إلا أنّ ناتج توربينات الرياح أكبر من إنتاج محطة عادية، إلى جانب حسنات أخرى. إن تكلفة توليد الكهرباء عن طريق توربينات الرياح هي بنائها فقط، وتكلفة بنائها قليل جدًا مقارنة بإنتاجها. يُعتبر استخدام التوربينات لتوليد الكهرباء أمرًا بسيطًا وخالٍ من المشاكل تقريبًا. بالإضافة إلى ذلك، تحتاج التوربينات إلى القليل من العناية والصيانة نسبيًّا.

لا يمكن إنشاء مجموعة من توربينات الرياح لتوليد الكهرباء في كل مكان. يجب فحص معدل سرعة الرياح في المنطقة التي يتمّ تركيب التوربينات فيها، وكلما ازدادت قوة الرياح وكانت أكثر ترددًا في الموقع ازدادت كمية الكهرباء التي يُمكن توليدها من التوربينات.

يُعتبر توليد الكهرباء من توربينات الرياح البحرية، وخاصة في أعماق البحار، مجالًا سريع التطور. وبحسب أبحاث فحصت إمكانية توليد الكهرباء باستخدام توربينات رياح قبالة سواحل إسرائيل (على الرغم من محدودية ممرات الشحن والاحتياجات البحرية)، وُجد أن هناك إمكانيات كبيرة لتوليد الكهرباء من هذا المصدر. تؤثر خصائص التوربينات نفسها بشكل مباشر على كمية الكهرباء التي تولدها وعلى كفاءة التوربينات - المتغيّرات الرئيسية هي حجم شفرات التوربينات ونموذجها. كلما ازداد كبر شفرات التوربينة ازدادت الطاقة التي يمكن أن تولدها التوربينة. تعتمد نماذج التوربينات الحالية على التقنيات الحديثة التي تُتيح إنتاج الكثير من الكهرباء.

المشاكل الرئيسية הבעיות העיקריות في توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح هي الضوضاء الناتجة عن المراوح وحركة الشفرات ووميض الظل (تختلف شدة الضوء في بعض المناطق بسبب ظل شفرات التوربينات)، ونتيجة لذلك يعترض الناس على إنشاء أنظمة توربينات بالقرب من المناطق السكنية. لذلك، يتمّ إنشاء مزارع الرياح في أماكن بعيدة عن المناطق المأهولة بالسكان، مما يجعل بناء البنية التحتية أكثر تكلفة. كلما ازدادت الحاجة إلى المزيد من الكهرباء الذي تولده التوربينات، يتمّ تخصيص مساحة أكبر لمزارع الرياح. يمكن أن يؤدي تخصيص مساحة كبيرة لمزرعة رياح إلى حدوث اضطرابات في الأنظمة البيئية وإلى إلحاق الضرر بالمناظر الطبيعية أيضًا، إسرائيل دولة صغيرة ذات مناطق صغيرة نسبيًّا. أحد الحلول لهذا الأمر هو إنشاء مجموعة من التوربينات قبالة سواحل البلاد מערך טורבינות מול חופי המדינה، كما حدث في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة. يمكن أن يؤدي دوران التوربينات إلى إصابة الطيور والخفافيش التي لا تلاحظ أجنحة التوربينات. ومع ذلك، في النماذج الجديدة قاموا بإبطاء حركة التوربينات وزيادة الشفرات بحيث تكون واضحة للطيور وتمنعها من الاصطدام.

يبلغ استخدام الكهرباء الناتج من طاقة الرياح حوالي واحد بالمائة من إجمالي إنتاج الكهرباء العالمي. ربما تكون أوروبا هي القارة الرائدة في العالم في استخدام طاقة الرياح. تُنْتِج دولة إسرائيل الكهرباء من طاقة الرياح في مزرعتين للرياح تقعان في مرتفعات الجولان وفي الجلبوع. إنتاج طاقة الرياح في إسرائيل محدود بسبب طبيعة المنطقة والمناخ، وبالطبع بسبب كثافة البناء واستخدامات الأرض. بالإضافة إلى ذلك، يُعتبر ممر الرياح في إسرائيل طريق عبور لملايين الطيور المهاجرة أيضًا، وهناك خوف من الإضرار بالتنوع البيولوجي. إن مسؤولية إسرائيل الأخلاقية هي الاهتمام بالتنوع البيولوجي الذي يمرّ عبر أراضيها. وفقًا للمعطيات الرسمية المنشورة في عام 1998، تبلغ القدرة الكامنة لإنتاج الطاقة من الرياح، في إسرائيل، حوالي ستمائة ميغاوات، وهذه القدرة تساوي معدل مائة مزرعة رياح. كما تُبذل محاولات اليوم للدمج بين محطات الطاقة الشمسية ومحطات طاقة الرياح (المقال الثاني في هذا الموضوع). לשלב בין תחנות אנרגיה סולרית ובין תחנות אנרגית רוח (מאמר שני בנושא).

مصادر المعلومات:

רב–שיח בנושא הקונפליקט סביב אנרגיית הרוח בישראל, אקולוגיה וסביבה

אטלס אנרגיית הרוח של ישראל, אקולוגיה וסביבה

הערכה כלכלית-סביבתית של הפקת אנרגיה באמצעות טורבינות רוח בישראל, אקולוגיה וסביבה

אנרגית הרוח וניצולה, מכון ויצמן

חשמל סולארי מהרוח

אנרגית רוח, אתר אנרגיה מתחדשת

רעש וריצוד מטורבינות רוח – דרכי התמודדות בעולם והמלצות לישראל, אקולוגיה וסביבה

השפעות טורבינות רוח על הבריאות והסביבה, החברה להגנת הטבע

(5) الطاقة النووية

في عملية إنتاج الطاقة النووية، يحدث تفاعل متسلسل يبدأ بانشطار النواة في الذرة. تفاعل سلسلة الانشطار النووي هو أساس تشغيل المفاعل النووي، وهو يتم بطريقة بطيئة ومنضبطة.

يُنْتِج هذا التفاعل كميات هائلة من الحرارة وبمساعدتها يتم تسخين الماء حتى درجة الغليان للحصول على بخار لتشغيل التوربينات لتوليد الكهرباء. في المفاعل النووي تُستخدم مواد مشعة (راديوأكتيفية)، وغالبًا ما يكون يورانيوم أو بلوتونيوم. يُعتبر إنتاج الطاقة عن طريق الانشطار النووي عملية ناجعة للغاية - حيث إنّ كمية صغيرة من المادة مطلوبة لإنتاج كمية كبيرة من الطاقة (انظروا إلى الرسمة 5، الملحق 3). الميّزة الرئيسية الأخرى للطاقة النووية أنها خالية تمامًا تقريبًا من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (انظروا غلى الرسمة 1 في الملحق 3).

في عام 2011، ساهمت الطاقة النووية بنحو 10% من إجمالي إنتاج الكهرباء في العالَم. غالبًا ما تكون تكلفة توليد الكهرباء بهذه الطريقة أرخص من تكلفة إنتاجها من الفحم الحجري، وتُعتبر أرخص الطاقات البديلة (انتبهوا إلى أن معالجة النفايات المشعة عادة لا تؤخذ في الاعتبار في حساب التكلفة). يتمّ تنفيذ توليد الطاقة النووية في عشرات الدول بما في ذلك فرنسا، الولايات المتحدة، الصين، ألمانيا وغيرها. ومع ذلك، فإن الطاقة النووية لها سيئات كثيرة. إحدى المشاكل المركزية هي النواتج الثانوية السامة والمشعة التي يصعب التخلص منها، ويجب تخزينها بأمان حتى لا تتسرب إلى الأرض أو تلوث مجمعات المياه. في كل عام يتمّ إنتاج عشرات الآلاف من الأطنان من النفايات المشعة، في جميع أنحاء العالم، التي يجب دفنها. في الولايات المتحدة، توجد أنفاق تخزين آمنة في قلب الجبال المعزولة. بدلاً من ذلك، تُرسل دول معينة آلاف الأطنان من النفايات المشعة إلى القارة الأفريقية أو إلى مناطق أوروبا الشرقية مقابل مبالغ عالية جدًّا.

لا يتمّ دفن النفايات المشعة على الفور. يتمّ تخزين النفايات لعدة أشهر في المفاعلات نفسها. لأنه يجب الانتظار حتى يتلاشى مستوى النشاط الإشعاعي للنفايات قليلًا. من المهم أن نذكر أنّ مستوى النشاط الإشعاعي للنفايات من المفاعل النووي لا يزال خطيرًا لآلاف السنين، لذلك تبقى مشكلة التخزين الآمن للأجيال القادمة. سيئة أخرى للنفايات المشعة من المفاعلات النووية هي الخوف من استخدام النواتج الانشطارية للمفاعل النووي لبناء قنبلة نووية.

سيئة أخرى هي سيناريو حدوث تسرب في المفاعل النووي نتيجة لحادث أو كارثة طبيعية أو ضرر متعمد (قضية حساسة في الدول غير المستقرة من الناحية الجيوسياسية). التسرب الإشعاعي هو كارثي على نطاق واسع مثل ذلك الذي حدث في تشيرنوبيل، أوكرانيا في عام 1986، צ'רנוביל שבאוקראינה . خلافًا للاعتقاد السائد أن محطة الطاقة النووية لا تؤدي إلى انفجارًا نوويًا.

بَعد كارثة سنة 2011 في محطة فوكوشيما للطاقة النووية في اليابان، أعلنت عدة دول أنها تُعيد النظر في استمرار استخدام الطاقة النووية لتوليد الكهرباء. إن الصيانة الروتينية لمفاعل نووي آمن أمر معقد للغاية، وهناك خطر كبير على العمال وعلى البيئة المحيطة في حالة حدوث خلل.

لهذه الأسباب، لا يتمّ في العالم الغربي إنشاء محطات طاقة نووية جديدة في السنوات الأخيرة، وهناك دول مثل ألمانيا تعهدت بإغلاق مفاعلاتها النووية في غضون فترة زمنية محدودة بعد الضغط الشعبي.

في المقابل، في دول مثل كوريا الجنوبية، الصين، رومانيا وروسيا يتمّ بناء العديد من محطات الطاقة النووية لمواجهة الاستهلاك المتزايد للطاقة الكهربائية. تم بناء هذه المفاعلات وفقًا لمعايير صارمة تُتيح مستوى عالٍ من الأمان. في السنوات الأخيرة (2002-2008) دخلت الشركة الكندية للطاقة الذرية (AECL) في شراكة مع شركات كهرباء كندية لتجديد المفاعلات النووية الكندية القديمة لتمديد استخدامها حتى بعد الفترة الأصلية التي بُنيت من أجلها.

في إسرائيل، لم يتمّ توليد الكهرباء من الطاقة النووية مطلقًا. في السبعينيات، قررت الحكومة بناء محطة للطاقة النووية، لكن هذا القرار لم يتحقق. إنّ الحديث عن هذا الموضوع في إسرائيل له جوانب أخرى بسبب الوضع الجيوسياسي

لإسرائيل، التي اتبعت لسنوات عديدة سياسة الغموض النووي، وترفض التوقيع على معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية. على الرغم من تعقيد القضية، لا يجوز اتخاذ مواقف بشأن هذا الموضوع كأنه موجود بمفرده. المفاعلات النووية لتوليد الكهرباء ليست سوى بديل واحد في سلة مصادر إنتاج الطاقة، لذلك يجب فحص هذا البديل مقابل البدائل الأخرى.

مصادر المعلومات:

אנרגיה גרעינית, מכון דוידסון

אנרגיה גרעינית בישראל. זה כדאי?, Ynet

רב–שיח בנושא ייצור חשמל בכורים גרעיניים בישראל, אקולוגיה וסביבה

שילוב אנרגיה גרעינית בתמהיל הדלקים העתידי בישראל: מה מבין, יודע וחושב הציבור?, דו"ח למשרד האנרגיה

(6) الطاقة الحرارية الأرضية

مصدر المصطلح طاقة حرارية أرضية Geothermal energy من الكلمات اليونانية gea التي تعني أرض، وَ thermal التي تعني حرارة. يوجد داخل الأرض مجمع حراري ضخم يمكن استخدامه لإنتاج الطاقة. يُعتبر هذا المصدر للطاقة مصدرًا غير قابل للاستنفاد. مصدر الحرارة هو التحلل الإشعاعي لعدّة عناصر (اليورانيوم 238، الثوريوم 232 والبوتاسيوم 40) وطاقة مخزونة في لب الأرض منذ تكوينها. المناطق التي تتوفر فيها الطاقة الحرارية الأرضية أكثر هي المناطق التي يوجد فيها نشاط تكتوني. تصعد الحرارة إلى السطح في المناطق البركانية مع الحمم البركانية المغلية التي مصدرها في الأعماق، أو تصعد على شكل ماء ساخن أو بخار من الينابيع الحارة. بدلًا من ذلك، من خلال الحفر في عمق الأرض، يمكن الوصول إلى طبقات فيها درجات حرارة عالية، واستخدام هذه الحرارة كطاقة متوافرة. يمكن استخدام هذه الطاقة لتوليد الكهرباء أو تنظيم درجة حرارة المباني والمنازل. يقع أكبر حقل للطاقة الحرارية الأرضية في العالم في منطقة الينابيع الحارة في كاليفورنيا، شمال سان فرانسيسكو. بالإضافة إلى الولايات المتحدة، يتمّ إنتاج الكهرباء من الحرارية الأرضية في العديد من الدول الأخرى، مثل: إيطاليا، فرنسا، نيوزيلندا، المكسيك وأيسلندا. في معظم الأماكن يتمّ توليد الكهرباء باستخدام البخار وفي أماكن قليلة يتم استعمال الماء الساخن. في أيسلندا على سبيل المثال، بالإضافة إلى توليد الكهرباء، يتمّ تسخين المياه إلى درجة حرارة حوالي 82 درجة مئوية، ويتم تدفقها في أنابيب العاصمة ريكيافيك، حيث يتمّ استخدامها للاستحمام، التدفئة وحتى إذابة (انصهار) الثلج والجليد من الأرصفة.

الطاقة الحرارية الأرضية نظيفة للغاية من حيث انبعاث غازات الاحتباس الحراري والتلوث (انظروا إلى الرسمة 1 ، الملحق 3). كما أنها مصدر موثوق للطاقة حيث لا يوجد تأثير لإمدادات الوقود أو الاعتماد على أسعار الوقود (كما هو الحال في محطات الطاقة التي تعمل بواسطة الوقود الأحفوري)، ولا يوجد تأثير على الطقس ولا يوجد فروق بين النهار والليل (كما هو الحال في الطاقة الشمسية وطاقة الرياح). بالإضافة إلى ذلك، لا يحتاج مصدر الطاقة الحرارية الأرضية إلى مساحات أراضي كبيرة، وبالتالي لا يؤثر على المناظر الطبيعية. لا توجد محطات لتوليد الطاقة الحرارية الأرضية في دولة إسرائيل، لكن توجد أنظمة للتأقلم مع حرارة الأرض מערכות אקלום גיאותרמי - نظام يعتمد عمله على تبادل الحرارة مع الأرض عن طريق تدفق المياه في نظام أنابيب مغلق. درجة حرارة الأرض ثابتة (حوالي 20 درجة مئوية في إسرائيل) ويتكون نظام الطاقة الحرارية الأرضية من أنابيب تنزل إلى عمق يبلغ بضع عشرات من الأمتار في الأرض وتعود الأنابيب إلى المبنى. تتدفق مياه في الأنابيب وهي تبرد أو تسخن (حسب الموسم) في الأرض إلى درجة حرارة 20 درجة وتعود إلى المبنى لتبريده أو تسخينه. وبالتالي، يتطلب الأمر إلى طاقة كهربائية أقل لتنظيم درجة الحرارة في المبنى (على سبيل المثال عن طريق مكيف الهواء). تُقدر وزارة الطاقة الأمريكية أنّ استخدام أنظمة المناخ الجوفية للطاقة الحرارية الأرضية تُوفر ما بين 30% إلى 70% من الطاقة. لتركيب الجزء العلوي، يجب أن نحفر عموديًّا على عمق بضع عشرات من الأمتار، أو نحفر أفقيًّا على عمق بضعة أمتار، وذلك بناء على طبيعة التربة والحمل الحراري المطلوب. يمكن تطبيق نظام الأنابيب الحرارية الأرضية في المباني الجديدة والمباني الموجودة.

مصادر المعلومات:

מערכת איקלום גיאותרמית, המועצה לבניה ירוקה

אנרגיה גיאותרמית, מכון ויצמן

מהי אנרגיה גיאותרמית?, מכון דוידסון

אנרגיה גיאותרמית – לייצר חשמל מבטן האדמה, פורטל תשתיות

אנרגיה גיאותרמית, אתר אנרגיה מתחדשת

אנרגיה גיאותרמית

(7) طاقة حركة الماء

طاقة حركة الماء هي الطاقة الناتجة عن الحركة الطبيعية للماء. يعود استخدام حركة الماء كمصدر للطاقة إلى العصور القديمة، على سبيل المثال، تمّ استخدام تدفق المياه كمصدر للطاقة في مطاحن الدقيق، حيث حرّك تدفق المياه حجر الرحى. في الوقت الحاضر، الاستخدام الرئيسي لطاقة حركة المياه هو إنتاج طاقة كهربائية، والمعروفة باسم الطاقة الكهرومائية. إنها الطاقة المتجددة الأكثر استخدامًا الناتجة عن استغلال حركة المياه في الأنهار، الجداول، الشلالات، أمواج البحر وحركة المد والجزر في المحيطات. يمكن تحويل طاقة من حركة الماء بسهولة إلى كهرباء عن طريق استخدام تدفق الماء لتدوير عجلة (توربينة) تُنْتِج طاقة كهربائية. في محطة توليد الطاقة الكهرومائية، تسقط المياه من فتحة سد أو شلال طبيعي وتدور التوربينات. من لحظة بناء وتشغيل هذه المحطة للطاقة، لا تَنْتُج غازات دفيئة أو نفايات تقريبًا نتيجة لتشغيل المحطة. يمكن تخزين المياه في بحيرات طبيعية أو صناعية أو مجمعات أخرى. وهكذا يمكن تخزين الطاقة المائية الكامنة (كطاقة مضخّة) واستخدامها لتوليد الكهرباء عند الحاجة.

أول محطة تزويد كهرباء إلى إسرائيل وعبر الأردن هي محطة طاقة كهرومائية – بنى بنحاس روتنبرغ محطة الكهرباء في نهاريم، وتمّ افتتاحها في عام 1932. استغلت المحطة مياه الأردن واليرموك لتوليد الكهرباء. عملت المحطة من عام 1932 حتى احتلالها من قبل جنود الفيلق العربي عام 1948. في إسرائيل، لا توجد شلالات تُتيح استخدام الطاقة الكهرومائية، وبشكل عام هناك عدد قليل جدًا من مصادر المياه، وكمية المياه المتدفقة في الجداول لا تساوي التدفق في الأنهار الكبيرة في دول أخرى في العالم. ومع ذلك، وضع بنيامين هرتسل تصورًا لمشروع القناة البحرية، وهو عبارة عن حفر قناة لتدفق المياه إلى البحر الميت من البحر الأبيض المتوسط أو البحر الأحمر لتوليد الكهرباء بمساعدة تدفق المياه. في الخمسينيات من القرن الماضي، بدأ تحضير خطط لتوليد الكهرباء من توربينات المياه في القناة البحرية، وكان من المفترض أن تتدفق المياه من البحر الأبيض المتوسط أو البحر الأحمر إلى البحر الميت، حيث تُستغل فروق الارتفاعات الكبيرة لتوليد الطاقة الكهربائية. بيّنت الفحوصات أن الخطة ليس لها جدوى اقتصادية، ولها عواقب بيئية محيطة بعيدة المدى. وبالتالي، على الرغم من الاستثمار الضخم الذي تمّ جمعه لهذا الغرض من يهود الشتات، فقد تم التخلي عن الخطة.

يوجد في دولة إسرائيل حاليًا محطتان لتوليد الطاقة الكهرومائية - واحدة في قرية هناسيه (على جبل الأردن) والأخرى في نهاريم. تولد هاتان المحطتان كميات صغيرة نسبيًّا من الكهرباء (2.5 وَ 18 جيجاواط على التوالي).

مصادر المعلومات:

הגן הסולארי

אנרגיה הידרואלקטרית, ויקיפדיה

(8) كفاءة (نجاعة) الطاقة

من أجل تحقيق كفاءة الطاقة، يجب استخدام طاقة أقل لأداء مهمة تتطلب عادةً المزيد من استهلاك الطاقة - أي تقليل هدر الطاقة. لكفاءة الطاقة مجموعة متنوعة من الحسنات: تقليل انبعاث غازات الاحتباس الحراري، تقليل استهلاك الطاقة المستوردة وخفض التكاليف في المنازل، الصناعة والاقتصاد كله. في حين أن الطاقات المتجددة مهمة في تحقيق هذه الأهداف، فإن كفاءة الطاقة هي الطريقة الأرخص، والأكثر إلحاحًا في كثير من الأحيان، لتقليل استخدام الوقود الأحفوري. يمكن تطبيق كفاءة الطاقة في كل قطاع من قطاعات الاقتصاد، سواء كان في المباني والمواصلات، وسواء كان في الصناعة أو إنتاج الطاقة. يُشير تقرير صادر عن وكالة الطاقة الدولية (IEA) إلى أن كفاءة الطاقة يمكن أن تقلل من زيادة استهلاك النفط بمقدار 23 مليون برميل سنويًا. للمقارنة، هذه الكمية تساوي إنتاج النفط في المملكة العربية السعودية وروسيا معًا يوميًا حتى عام 2015. تعهدت إسرائيل بتحقيق الهدف الوطني لخفض استهلاك الكهرباء بنسبة 17 في المائة، على الأقل، بحلول عام 2030 من استهلاك الكهرباء المتوقع في إطار سيناريو "الأعمال كالمعتاد".

المباني:

تستهلك المباني بجميع أنواعها (مثل: الفنادق، المستشفيات، مراكز التسوق والمباني السكنية) كميات كبيرة من الطاقة لنشاطاتها اليومية. يمكن تطبيق كفاءة الطاقة في مرحلتيّ التخطيط وبناء المباني الجديدة والمباني الموجودة. يمكن أن تكون عملية تحسين نجاعة الطاقة على نطاق صغير - باستخدام مصابيح LED الموفّرة للطاقة، والأجهزة الأخرى التي تستهلك طاقة أقل؛ أو على نطاق أوسع – مثلًا: تركيب عازل ناجع من شأنه أن يقلل الحاجة إلى تشغيل تكييف الهواء لأغراض التبريد أو التدفئة. يمكن أيضًا دمج الطاقة المتجددة في المباني كالألواح الشمسية التي تقلل من استخدام الطاقة الكهربائية. فكرة أخرى - عند طلاء الزجاج الأمامي في المبنى لتصفية الإشعاع الشمسي، يمكن تقليل الاستهلاك المتوقع لمكيف الهواء بنسبة تصل إلى 50 في المائة مقارنة بمبنى لا يتم طلاء زجاجه الأمامي. السيئة لهذه الطريقة هو أن معظم هذه الطلاءات تقوم بتصفية جزء كبير من إشعاع الضوء، مما يؤدي إلى انخفاض شدة الضوء الطبيعي والحاجة إلى تشغيل الإضاءة الاصطناعية في منتصف النهار، ومما يُضعف كفاءة انخفاض الطاقة لمكيف الهواء.

المواصلات:

هناك مَرْكَبات موفّرة للطاقة التي تستهلكها، مما يعني أنّها تستهلك وقودًا أقل من المرْكَبات الأخرى لقطع نفس المسافة. هناك أيضًا مَرْكَبات هجينة ومرْكَبات كهربائية تنبعث منها غازات دفيئة أقل. تستخدم السيارة الهجينة نوعين من المحركات معًا (ومن هنا جاء اسمها: المحرك الهجين): محرّك الاحتراق الداخلي هو محرّك البنزين العادي والمعروف؛ والمحرِّك الكهربائي يقوم بتحويل طاقة حركة السيارة إلى كهرباء. معظم المرْكَبات الهجينة الموجودة في السوق اليوم هي من النوع "الهجين المتوازي" ، هذا يعني أن المرْكَبات ذات أنظمة ذكية تُشغل المحركين معًا بتزامن يُتيح استخدام الطاقة بشكل ناجع حسب نوع السفر وظروف الطريق . مثلًا: في السفر البطيء، يعمل المحرك الكهربائي أكثر ولا يحتاج إلى مساعدة من محرك البنزين، وبالتالي يكون توفير الوقود أكبر.

إعادة الحرارة:

ليست كل الطاقة الحرارية الناتجة في محطات الطاقة التي تعمل بواسطة الفحم الحجري، أو الديزل، أو الغاز الطبيعي أو حتى الطاقة النووية تصبح كهرباء. تولد هذه المحطات الكهرباء عن طريق تسخين المياه في نظام مغلق أو حرق الوقود (الفحم الحجري، أو الغاز، أو الديزل) أو الانشطار النووي. يتبخر الماء ويصبح بخارًا. يُحرّك البخار التوربينات التي تحرك مغناطيس يُنْتِج مجالًا كهربائيًا. عادة، يتمّ فقدان أكثر من نصف الطاقة الحرارية الناتجة في العملية ولا يتمّ استخدامها. من خلال "التقاط" الحرارة الزائدة والاستفادة منها، يمكن تحقيق كفاءة أعلى في استخدام الطاقة. يمكن أن تصل هذه الكفاءة إلى 80 في المائة من الاستخدام (مقارنة بأقل من 50 في المائة بالطريقة التقليدية). هذا يعني أن هناك حاجة إلى كمية وقود أقل لإنتاج نفس الكمية من الكهرباء. هناك محطات لتوليد طاقة تعمل بواسطة الدمج بين

الطاقة والحرارة، حيث تلتقط كل الحرارة أو جزء منها لأغراض التسخين، وتستخدمها بالقرب من المنشأة أو في أماكن بعيدة عن طريق تسخين المياه ونقلها عبر الأنابيب.

الصناعة:

عند تشغيل الآلات الكبيرة في الصناعة تنتج كمية كبيرة جدًّا من الحرارة التي يمكن الاستفادة منها. بالإضافة إلى ذلك، تهدر العديد من الآلات الطاقة بدون مراقبة - ويتيح فحص بسيط تحسين كفاءة الطاقة وتوفيرها.

خطة كفاءة الطاقة التابعة لوزارة الطاقة:

تتناول الخطة تقليص استهلاك الكهرباء في السنوات 2016-2030، والتي بموجبها من المتوقع حدوث انخفاض بنسبة 17% في استهلاك الكهرباء، في الدولة، بحلول عام 2030. تُقلل هذه الإجراءات من استخدام الكهرباء:

- توفير معيار للحد الأدنى من الكفاءة للمبنى الجديد أو المجدد وفقًا لمعيار يقلل من استهلاك الكهرباء ويقلل من التكاليف.
- تشجيع بناء صفر أو منخفض الطاقة.
- يتعرف أصحاب مبنى جديد أو أصحاب مبانٍ موجودة على معلومات عن استهلاك الطاقة.
- تحسين الطاقة في أنظمة التبريد والتدفئة.
- توفير معيار للأجهزة الكهربائية ولأجسام الإضاءة الموفرة للطاقة، وللطاقة الموفرة في الصناعة.

السلوك:

تعمل الاستراتيجيات المذكورة أعلاه على تحسين كفاءة الطاقة من خلال التكنولوجيا والتصميم. ومع ذلك، فإن الطريقة التي يستخدم بها الناس التكنولوجيا لها تأثير بعيد المدى على الكفاءة. بيّنت الأبحاث أنّ 30 بالمائة من توفير الطاقة الكامنة في التقنيات الناجعة تضيع بسبب مجموعة متنوعة من العوامل الاجتماعية، الثقافية والاقتصادية. لذلك من المهم الانتباه إلى هذه العوامل في عملية كفاءة الطاقة. هناك عوائق بارزة تُقلل من كفاءة الطاقة منها نقص المعلومات أو نقص الوعي من قبل المستهلكين فيما يتعلق باستخدام الطاقة بنجاعة وتوفيرها من حيث التكلفة، وحتى الاختيار الصحيح لتقنيات توفر الطاقة؛ قلة التمويل والحوافز الكافية وغير ذلك.

فيلم قصير: https://www.youtube.com/watch?v=bJh53jhpKDA

مصادر:

Energy Efficiency (באנגלית)

ההיבט ההתנהגותי של ההתייעלות האנרגטית, חברת חשמל

"התייעלות אנרגטית היא טרנד מהחזקים בעולם, אסור להתעלם", גלובס

קוגנרציה, ויקיפדיה

Efficient energy use (באנגלית), ויקיפדיה

בניה ירוקה, ויקיפדיה

מהי בנייה ירוקה?, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

(9) الضرائب الخضراء / الضرائب البيئية المحيطة

هناك طريقة أخرى لتقليل استخدام الوقود الأحفوري، وهي فرض ضرائب على استخدام الوقود الأحفوري وعلى انبعاث الكربون. شاهد هذا الفيلم القصير סרטון זה (يمكنكم البدء في الدقيقة 3:34 والانتهاء في الدقيقة 9:42) واقرأوا المصادر التالية:

מיסוי ירוק, גלובס

מס סביבתי, אקו-ויקי