

נייר מדיניות - האם מדיניות
פיסקאלית לעידוד מעבר לאנרגיה
ירוקה היא יעילה כלכלית

ניצן פרנקו 313359135

יובל פז 208243048

תוכן עניינים

2	שאלת המדיניות ומטרות הנייר
2	עיקרי ההמלצות
3	חשיבות השאלה
4	ההקשר המקומי
5	חסמים בירוקרטיים וחוקים אשר מקשים על המעבר ועל הקמת פרויקטים
6	ניתוח מצבה של ישראל ביחס לעולם
12	ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת
13	השוואה בעלויות ייצור החשמל בסוגי הטכנולוגיה השונים
15	תוצאות
17	נתונים נוספים המחזקים את המודל
19	דרכי פעולה
20	סיכום
21	מקורות
23	נספחים
23	נספח 1 – מערכת התעודות השבדית
23	נספח 2 - מתודולוגיית חישוב העלות הכוללת
24	נספח 3 - פירוט החישובים ומתודולוגיית חישוב סובסידיה לחברות
28	נספח 4 - הירידה בעלויות הייצור של אנרגיית רוח (2019 – 1984)
28	נספח 5 – הירידה בעלויות הייצור של אנרגיה סולארית (2019 – 2010)

שאלת המדיניות ומטרות הנייר

נושא האנרגיה הירוקה/מתחדשת עולה לכותרות וצובר תאוצה בשנים האחרונות עקב ההתחממות הגלובלית שמתעצמת, ונותנת את אותותיה בשטח, ומודעות רחבה יותר של הציבור לנושאים הללו. אחד הגורמים המרכזיים להתחממות הגלובלית הוא שימוש באנרגיה מדלקים מאובנים (Fossil fuels), אל מול האלטרנטיבה שהיא שימוש באנרגיה מתחדשת. אנו רואים שמדינות רבות אינן אדישות לנושא ומקימות תוכניות להאצת המעבר לאנרגיה ירוקה על ידי מתן סובסידיה ממשלתית או דרישות רגולטורית בנושא. בישראל המעבר איטי יותר מאשר במדינות אחרות, ולכן מטרת נייר מדיניות זה היא לבחון האם מדיניות פיסקאלית לעידוד מעבר לאנרגיה ירוקה היא יעילה כלכלית.

כדי לענות על השאלה, נדרשנו לפרטה לתתי שאלות:

1. האם מדיניות פיסקאלית מאיצה מעבר לאנרגיה ירוקה?

2. מה התועלת שהמדינה (אזרחיה) תפיק מכך?

3. מה כמות ההשקעה הנדרשת?

4. האם הדבר מטיב עם ישראל מבחינה כלכלית?

5. מה דרך הפעולה של מדיניות פיסקאלית שהיא המועילה ביותר?

במאמרנו נעסוק בכל השאלות לעיל ובכך נגיע למסקנה בנוגע לשאלת המדיניות ובהתאם לכך להמלצות רלוונטיות.

עיקרי ההמלצות

בנייר מדיניות זה חקרנו את השאלה: "האם מדיניות פיסקאלית לעידוד למעבר לאנרגיה ירוקה היא יעילה כלכלית?". סקרנו את החסמים המרכזיים העומדים בפני החברות, הכוללים בעיקר את העול הבריורקטי המשמעותי הקיים במדינה, כמות ההשקעה הראשונית הגבוהה הנדרשת, טווח הזמן הארוך של הפרויקטים וההסתמכות הגדולה על מדיניות ממשלתית בתקבולים מהפרויקט. סקרנו את המצב בארץ ואת העובדות שמראות שישראל מדורגת במקום נמוך בתמהיל האנרגיה הירוקה ביחס למדינות הסמן להן היינו רוצים להידמות. בהמשך סקרנו את תוכניות ארוכות הטווח שהוחלטו מספר פעמיים לאורך ההיסטוריה, ואת העובדה שהמדינה פעם אחר פעם לא עמדה ביעדים אותה הציבה לעצמה בתחום זה. התוכנית שמונהגת בארץ בצורת חוק לעידוד אנרגיות מתחדשות לא נותנת את אותותיה בשטח בעיקר כאשר משווים אותה לתוכניות מוצלחות יותר שהונהגו במדינות סמן כמו שבדיה ודנמרק.

ניתחנו את התועלת הכלכלית שהמדינה יכולה להפיק ממעבר לאנרגיה ירוקה, ראשית בחנו את העלות החיצונית של שימוש בדלקים מאובנים הכוללת בעיקר את זיהום האוויר והשלכותיו, ולאחר מכן בחנו את הפרש עלויות הייצור מאנרגיה מתחדשת ביחס לייצור ממקורות מזהמים.

בחנו חברות אנרגיה מתחדשת ועל נקודות המבט שלהם מבחינת כדאיות כלכלית של פרויקט אנרגיה ירוקה ובחנו מה הסכום אותו הממשלה צריכה להעניק כסובסידיה כדי שהחברות יהיו אדישות בין הקמת פרויקט פה או באירופה, אשר חלק לא מבוטל מהן בוחרות להקים פרויקטים באחרון. ביצענו את כל החישוב והגענו למסקנה שהתועלת הכלכלית עולה בהרבה על העלות והמעבר יוביל לחיסכון של 23 מיליארד ש"ח בשנה.

מדינת ישראל יכולה לפעול בצורה טובה יותר על ידי הכנת תוכנית אסטרטגית רחבה שתספק מענה רחב:

1. אנו מציעים שממשלת ישראל תנקוט צעדים של סובסידיה ישירה לחברות אנרגיה ירוקה לפי

הסכומים אותם ציינו בנייר המדיניות כך שלחברות תהיה כדאיות כלכלית להקים בישראל

פרויקטים. דרך הפעולה המועדפת צריכה להיות השקעה ראשונית בפרויקט על מנת להתגבר על

- מחסום ההשקעה הראשונית. התוכנית נדרשת להיות פשוטה ככל שניתן ולא מפלה בין מקורות אנרגיה.
- 2.** אנו מציעים לבחון את החסמים הבירוקרטים אשר מונעים או מעכבים הקמת פרויקטים חדשים.
- 3.** אנו מציעים לייצר תוכנית 'תווים ירוקים' - כפי שהונהג בשבדיה - שניתנים לחברות אנרגיה ירוקה על חשמן שהן מייצרות ונדרשות ע"י חברות המייצרות או משתמשות באנרגיה ממקורות מזהמים, כך שיהיה לחברות משתלם כלכלית לעבור לאנרגיה ממקורות מתחדשים. על מנת לייצר תמריץ כלכלי נוסף לחברות לעבור לאנרגיה ירוקה.
- 4.** מומלץ כי משרד האנרגיה ישלים הכנה של תוכנית אב או תוכנית אסטרטגית אשר תכלול את התמהיל הרצוי של מקורות האנרגיה במשק. רצוי לבחון מתווה גמיש לבחירת חלופות לתמהיל, לרבות התפתחויות טכנולוגיות של מקורות קיימים וכן פיתוח מקורות אנרגיה שאינם ידועים עדיין - ולאשרה. יתר על כן, על הממשלה להסיר חוקים מגבילים המעכבים את תוכניות הקמת המפעלים הירוקים, ואף לחוקק חוקים המעודדים את המעבר לשימוש באנרגיה ירוקה.
- מתקנים של אנרגיות מתחדשות מאופיינים בתנודתיות בייצור החשמל בעונות שונות, במשך שעות היום ואפילו ברמה השעתית. ולכן, יש לתת את הדעת לתכנון מיטבי של רשת החשמל, כך שניתן יהיה מחד, לשמור על יציבות הרשת, ומאידך, למלא את יעדי ייצור החשמל מאנרגיה מתחדשת.
- 5.** ישנם קווי הולכה קיימים שלא ניתן לעבור אליהם בעקבות התיישבויות לא חוקיות ועל הממשלה לפעול כדי להגיע להסדר פינני עימם כדי לעבור לקווי הולכה חזקים יותר ואף להקים קווים נוספים שכרגע נשלטים על ידי התיישבויות לא חוקיות.
- 6.** כמו כן, חשוב כי רשות המסים, משרד האוצר ומשרד האנרגיה יפעלו בסינרגיה על ידי ווידוא החלטות על שינוי מדיניות המיסוי של מיזמים נוספים לייצור חשמל מאנרגיה ירוקה ותיאום עם היעדים שמקדם משרד האנרגיה בתחומים הנ"ל, לאחר שנבחנו המשמעויות הכלכליות, הפיסקאליות והתחבורתיות של שינויים אלה והשפעתם על זיהום האוויר ועל יכולתה של הממשלה לעמוד ביעדים להפחתת הפליטות שעליהן התחייבה.

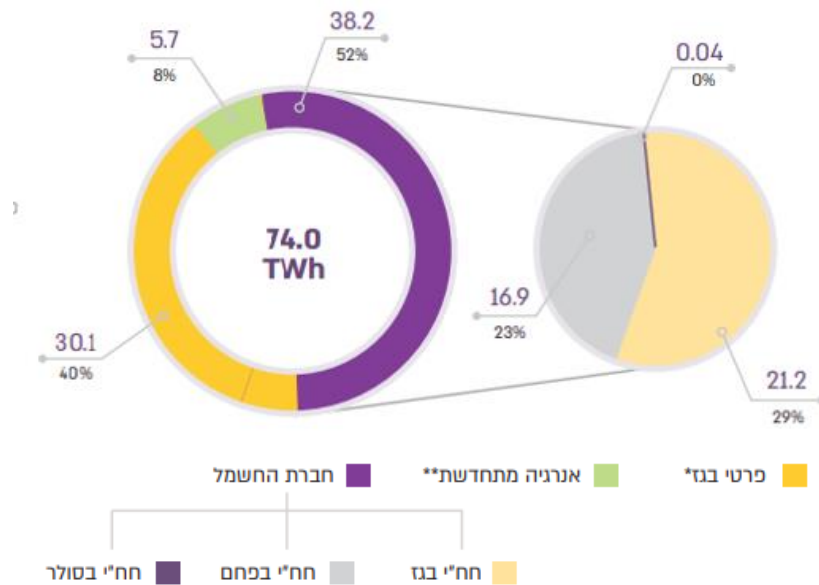
חשיבות השאלה

השקעה ממשלתית באנרגיה ירוקה היא משמעותית לכניסת חברות לשוק משלוש סיבות: הראשונה, תקופת החזר על ההשקעה ארוכה מאוד ולכן כוללת סיכון גבוה. שנית, הסכום הראשוני שנדרש להשקיע גבוה גם כן, ושלישית ההשקעה מאוד תלויה במדיניות, דרישה להשתמש באחוז גבוה יותר מהאנרגיה הנצרכת ממקורות מתחדשים יכולה לשנות דרסטית את החזר על ההשקעה (Yang, 2020). לכן, יש חשיבות מאוד גדולה לסובסידיה ממשלתית ולמדיניות ממשלתית תומכת על מנת להאיץ את המעבר לא"מ (אנרגיה מתחדשת) (Iskandarova, 2021), (Wüstenhagen, 2006). לפיכך, תחילה יש לבחון מה כשל בתוכניות קודמות, ומה הצליח, ולהבין מה המאפיינים של תוכנית ממשלתית נכונה שמקדמת את המטרה. לאחר מכן, יש לנתח את הנושא בראייה כלכלית ולהבין האם הדבר יעיל, כלומר האם התועלת שהמשק מפיק מכך עולה על העלות. ככל שכך המצב, המדינה נדרשת להשקיע באנרגיה ירוקה שכן היא תרוויח מכך. יש דברים שלא נוכל לכמת ולמדוד - שיפור מעמדה של המדינה בעולם במידה ותמהיל האנרגיה הירוקה מסך האנרגיה יגדל, על התלות הפוחתת במדינות סובבות בסוגיית של נפט וכן הלאה. ולכן אנו מעריכים שהאומדן שנקבל יהיה מוטא כלפי מטה. והתועלת האמיתית אף גבוהה יותר.

ההקשר המקומי

במדינת ישראל, בדומה לעולם כולו, גוברת המודעות לעידוד המעבר לאנרגיה מתחדשת - אנרגיה סולארית, אנרגיית רוח ומקורות לא מתכלים נוספים שאינם דלקים פוסיליים. בבסיסה של מגמה זו עומדת ההבנה כי מקורות האנרגיה המתכלים לא יישארו לעד, ויש להיערך לכך באמצעות גיוון מקורות האנרגיה. ובנוסף ההבנה שהפקת אנרגיה ממקורות מתכלים היא בדר"כ מזהמת הרבה יותר ותורמת רבות להתחממות הגלובלית מאשר שימוש באנרגיה ממקורות לא מתכלים. הטכנולוגיות העיקריות כיום לייצור אנרגיה מתחדשת בישראל הן טכנולוגיה סולארית פוטו-וולטאית (להלן - אנרגיה סולארית / PV) וטכנולוגיית רוח.

איור 1: ייצור משקי (TWh) שנת 2021



המקור: רשות החשמל. תרשים מתוך דו"ח משק החשמל.

בתרשים ניתן לראות שאחוז האנרגיה הירוקה מתוך סך האנרגיה שמיוצרת בישראל הוא יחסית נמוך ועומד על 8% (גוטגליק, נחמיה, & מקונן, 2021).

איור 2: ייצור חשמל נטו באיחוד האירופי לפי סוג דלק (2022)¹



המקור: נתונים מתוך האיחוד האירופי.

לעומת זאת, בשנת 2022, האיחוד האירופי ייצר TWh 2641 (טרה-וואט-שעה) של חשמל. כמעט 40% מהם הגיעו ממקורות מתחדשים. האיחוד האירופי (2022).

חסמים בירוקרטיים וחוקים אשר מקשים על המעבר ועל הקמת פרויקטים

משרד האנרגיה ורשות החשמל מקדמים אסדרות שונות כדי להרחיב את ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות, למרות זאת, עדיין קיימים חסמים הפוגעים ביישום החלטות הממשלה ובעמידה ביעדים שהיא קבעה לקידום השימוש באנרגיות מתחדשות. (מבקר המדינה, 2020).

1. היעדר תוכנית אב משקית

ראשית, מצבה של ישראל בתחום תשתיות האנרגיה סביר, אך המשק אינו ערוך לשינויים ברגולציה העולמית שיחייבו את ישראל להתאמות בתחום הפחתת פליטות. לפיכך, יש צורך בקידום תוכנית אב למשק האנרגיה בישראל שתביא בחשבון, בין היתר, את הצורך לפתח את מערכת ההולכה לשימוש באנרגיות מתחדשות, הגברת התחרות, השמירה על הביטחון האנרגטי של המדינה, פיתוח החברה לניהול המערכת שתכלול יחידה למעקב אחר הרגלי צריכת החשמל של משקי הבית וענפי הכלכלה ולניתוח בנושא. השלמת תוכנית אב או תוכנית אסטרטגית למשק האנרגיה, תתרום לכך שפיתוח משק האנרגיה יתנהל בראייה מתכללת וארוכת טווח ולא באמצעות השגת יעדים נקודתיים של הממשלה ומילוי צרכים נקודתיים של המשק. הצורך בתוכנית אב מתחדד במיוחד בתקופה זו של תמורות והתפתחויות רבות בתחום, בכללן פיתוח מאגרי הגז הטבעי ופיתוחן של אנרגיות מתחדשות, והיעדר התוכנית הוא חסם לפיתוח משק האנרגיה בכללותו.

2. קשיים בשדרוג ובהרחבה של מערכת ההולכה

חברת חשמל לישראל היא מונופול טבעי במערכת ההולכה ובמקטע החלוקה, ותפקידה להעביר את החשמל שהיא ויצרני החשמל הפרטיים מייצרים באמינות ויעילות לכלל הציבור בהתאם לאמות המידה שקבעה רשות החשמל. כמו כן, חברת החשמל אחראית לתחזוקת רשת החשמל על כל מקטעיה ועל פיתוחה. פיתוח רשת החשמל ותחזוקתה נועדו לאפשר מילוי של הצרכים המשתנים בהתאם לגידול

¹ <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold>

בצריכת החשמל ולאפשר את אספקתו. גם לאחר אישור תוכניות הפיתוח במוסדות התכנון היא נדרשת לפעולות נוספות שאורכות זמן רב, כגון פעולות תיאום, קבלת היתרים ממוסדות אחרים והשגת הסכמת בעל המקרקעין לביצוע עבודות בשטחו. אולם, אין לה די כלים על פי הדין להתמודד כראוי עם חסמים אלו. הנטל התכנוני והביורוקרטי הוא אתגר כלל-מערכתי המאפיין ענפים ומגזרים רבים בכלכלה הישראלית בכלל ובתחומי התשתית בפרט, ואינו מוטל על חברת החשמל לבדה. הליך התכנון ממושך בהיותו כרוך בתיאום עם גורמים רבים ובהקצאת משאבים הדורשת היערכות מראש. להלן יפורטו הקשיים בשדרוג ובהרחבה של מערכת ההולכה:

• שינוי סטטוטורי בהקמת קווי 161

השינוי הסטטוטורי משמעו כי הליך הקמת קווי 161 התארך, וכי חברת החשמל מתקשה לבצע פעולות נרחבות לשדרוג קווים אלו. בעקבות השינוי מתעכבת הקמתם של כמה קווי 161 הנדרשים עבור הפעלתם של מספר מתקני אנרגיה מתחדשת ולא ידוע מה הצפי להפעלתם.

• התיישבות מתחת לקווי הולכה

כדי לשמור על בטיחות הציבור ולמנוע פגיעה באמינות קווי מערכת ההולכה יש להקפיד על מרווחי בטיחות בין הקווים לבין מתקנים שונים כגון מבנים, חצרות, מתקני תאורה, מתקני תשתית וצנרת, כבישים וצמחייה. הנחיות חח"י קובעות כי מבנים המיועדים לאכלוס לא יוקמו מתחת לקווי ההולכה. הפזורה הבדואית בנגב הקימה עשרות רבות של אוהלים ומבנים בלתי חוקיים מתחת לקווי הולכה ולעיתים משתמשת בקווים כקונסטרוקציה לאוהלים. מקום הימצאם של האוהלים מקשה את הפעלתם של אותם קווים. להלן דוגמה: קו דימונה-צפית (להלן - אשכול נגב) הוא קו חשמל במתח 400 קילו וואט שנמצא בשלבי הקמה, אשר הוקם כדי להפעיל מתקנים רבים אנרגיה מתחדשת הצפויים לקום באזור הנגב ואילת. לאחר דחיות רבות התחייבה חברת החשמל להפעיל את קו אשכול נגב עד שנת 2023. כדי לתת פתרון זמני וחלקי לבעיה החליטה חברת החשמל להפעיל בינתיים את אשכול נגב כקו 161 קילוואט במקום כקו 400 קילוואט. יצוין כי בנובמבר 2017 אישרה הממשלה את תוכנית המתאר לאשכול נגב.

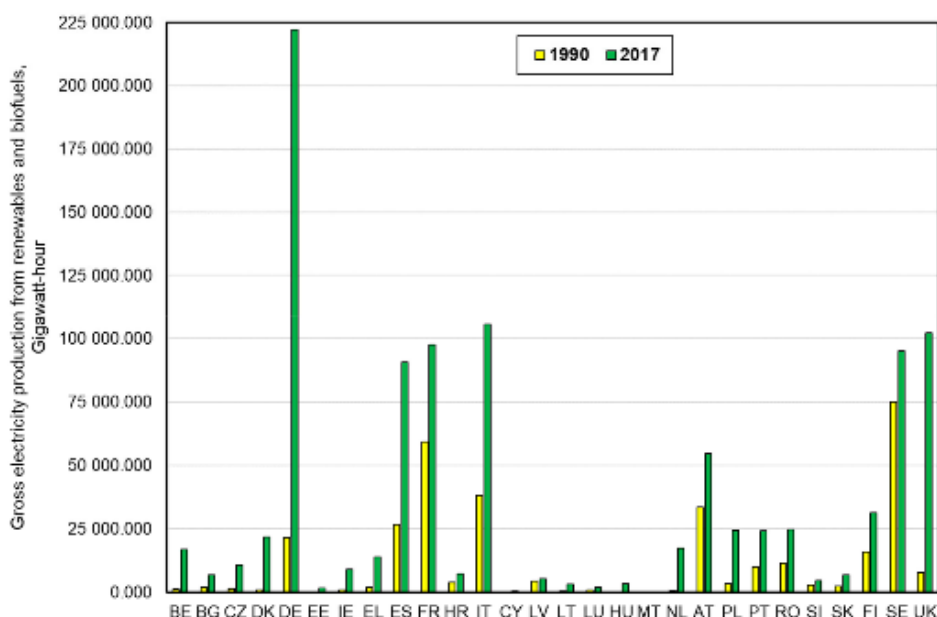
3. תנודתיות בייצור החשמל של מתקני אנרגיות מתחדשות

לאנרגיה מתחדשת מאפיינים ייחודיים מבחינת עלויות ההולכה. ככל שמתקנים אלו יהיו רחוקים יותר ממוקדי הצריכה, תיווצר עלות עודפת גדולה יותר נוכח השדרוג שיידרש בתשתיות ההולכה. נוסף על כך, מתקנים של אנרגיות מתחדשות מאופיינים בתנודתיות בייצור החשמל בעונות שונות, במשך שעות היום ואפילו ברמה השעתית. תנודתיות זו לא תמיד ניתנת לניהול, והדבר מציב אתגרים של ממש לפני הגורמים המנהלים את מערכת החשמל. מערכת החשמל הוקמה באופן שיאפשר לה להתמודד עם תנודתיות ברשת החשמל מצד הביקוש באמצעות שליטה על צד ההיצע. מערכת זו מוגבלת מבחינת יכולתה להתמודד עם תנודתיות בצד ההיצע אשר אינה מתואמת עם צד הביקוש. השינוי ביעדי ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות, ריכוזי המתקנים לייצור אנרגיות אלה באזורים מסוימים והיקפם ההולך וגדל עלולים להשפיע על יציבות הרשת.

ניתוח מצבה של ישראל ביחס לעולם

כדי לבחון את מצבה של ישראל והאם מדיניות פיסקאלית אכן יכולה להיות יעילה להאצת המעבר לאנרגיה מתחדשת, יש לבחון את המצב במדיניות מפותחות אחרות ולהבין היכן עומדת ישראל ביחס לעולם.

איור 3: השוואה של ייצור אנרגיה מתחדשת במדינות האיחוד האירופי (1990-2017)



גרף הלקוח מאמרו של (Brodny, 2020) בגרף ניתן לראות את השינוי בין השנים 1990 לבין 2017 בכמות האנרגיה המיוצרת ממקורות מתחדשים.

באיחוד האירופי אחוז האנרגיה המתחדשת מסך האנרגיה עלה בין השנים 1990-2017 ב- 28% (נקודות האחוז) לסך של 30.6%, כאשר עיקר השינוי נבע מהמדינות: גרמניה, ספרד, איטליה, פולין, בריטניה. חשוב לציין שקיימת הטרוגניות בין מקורות האנרגיה המתחדשת הקיימים ולא ניכר שיש מקור מתחדש דומיננטי, אלא פיזור די רחב, בו כל מדינה פיתחה את המקור שיותר מתאים עבורה. על מנת להגיע ליעד שקבע האיחוד האירופי של 0 פליטות עד 2050, נדרשת עבודת חקיקה משמעותית והשקעה פיננסית עצומה (Brodny, 2020). לפיכך, לא קיים מקור אנרגיה ספציפי שהוא בהכרח עדיף על אחרים והדבר תלוי במאפיינים רבים של המדינה, בנוסף יש צורך בקונצנזוס ציבורי מכיוון שפעולות עם השלכות משמעותיות יתרחשו כחלק מתהליך המעבר.

כאשר בוחנים את השינוי שמדינות הסמן ביצעו במהלך 25 השנה האחרונה משתקפת תמונה עגומה ביחס לישראל, כאשר ממוצע האנרגיה המתחדשת מסך האנרגיה הוא 31.82%, פי 6 יותר מאשר בישראל.

לוח 1: שיעור האנרגיה המתחדשת מסך האנרגיה ושיעור הגידול השנתי (באחוזים)

אנרגיה מתחדשת מסך האנרגיה 2021	שינוי ממוצע 1998 - 2021	שינוי ממוצע 1998 - 2003	שינוי ממוצע 2004 - 2009	שינוי ממוצע 2010 - 2015	שינוי ממוצע 2016 - 2021	
45.90	0.79	(0.42)	1.65	1.38	0.57	שבדיה
40.41	1.38	0.79	0.99	1.91	1.84	דנמרק
38.84	0.75	0.06	0.45	1.40	1.09	פינלנד
30.80	0.41	(0.36)	1.59	0.26	0.16	אוסטריה
24.36	0.35	0.06	0.13	0.66	0.53	שוויץ
10.63	0.38	0.06	0.39	0.12	0.95	הולנד

0.85	0.95	0.87	0.03	0.68	31.82	ממוצע מדינות סמן
0.45	(0.44)	0.24	0.08	0.08	5.07	ישראל
1.05	1.01	0.07	(0.93)	0.30	50.94	נורבגיה

ריכוז ועיבוד הכותבים לנתונים מה - OECD, שיעור שינוי שנתי מחושב כממוצע ארטימתי של השינוי השנתי המספרים הם באחוזים².

בין מדינות הסמן, אחת מאלה שמתבלטת לטובה היא שבדיה, משנת 2004 ניתן לראות שהמעבר לאנרגיה ירוקה הוא משמעותית, אחת הסיבות לכך היא מערכת תעודות החשמל השבדית (איור בנספח 1). התוכנית הושקה ב-2003 ומהותה היא למעשה להגביר את הדרישה לאנרגיה ירוקה ולהפוך את היצור שלה לזול יותר. התוכנית עובדת בצורה הבאה:

1. כל יצרן מקבל תעודה על כל קוט"ש חשמל שהוא מייצר מאנרגיה ירוקה
 2. היצרנים מוכרים את התעודות בשוק החופשי
 3. כל חברה/ יצרן חשמל חייב לרכוש תעודות כאחוז מסוים מכמות החשמל שהוא מייצר והוא מעביר את המחיר של התעודה לצרכן הסופי ובכך מייקר את מחיר האנרגיה המזהמת
 4. כל שנה התעודה נמחקת ובכך נוצר ביקוש חדש לתעודות נוספות
- התוכנית הייתה אפקטיבית והגדילה משמעותית את תמהיל האנרגיה הירוקה מסך האנרגיה בשבדיה, אחת היתרונות שלה היא למעשה שהמדינה לא הייתה צריכה לממן את השינוי אלא כלל המשק. התוכנית לא מפלה סוג טכנולוגיה אחד על אחר, מבוססת על שוק חופשי, מושפעת מכלל הדברים אשר מתרחשים בכלכלה ובכך היא הופכת ליעילה כלכלית.
- התוכנית כה מוצלחת כך שנוורבגיה הצטרפה אל התוכנית בשנת 2012 וכיום קיים שוק משותף לסחר בתעודות בין המדינות וגם שם ניתן לראות גידול משמעותי בשנים אלה בהאצת המעבר לאנרגיה ירוקה.

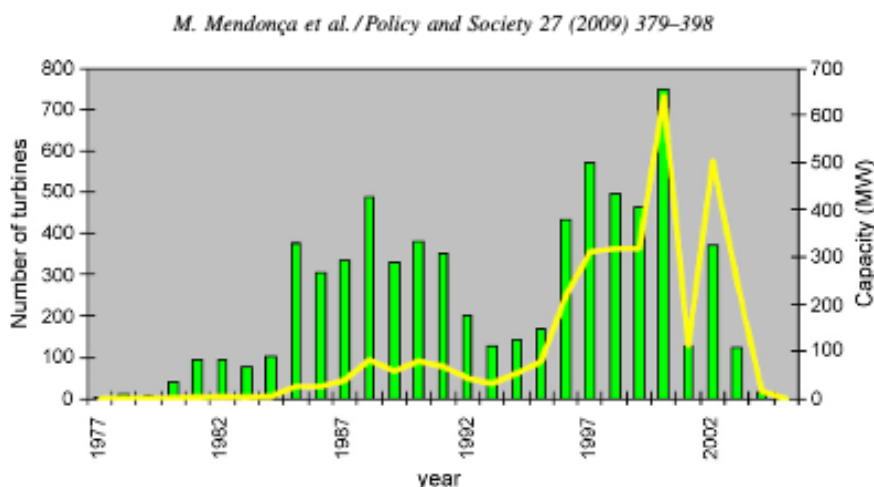
מדינת נוספת שבולטת לטובה היא דנמרק, שם הונהגה לאורך שנים רבות תוכנית ה-FIT - Fid in tariff - שכילה מספר גורמים (Mendonca, 2009):

1. סובסידיה ישירה להקמת תחנות רוח של עד 30%
 2. השקעה בתשתיות לרשת החשמל
 3. דרישה ממפיצי החשמל לקנות את כל החשמל ה"ירוק" שנוצר באזור
 4. הקלות מס ליצרני החשמל
 5. יציבות של התוכניות לאורך זמן, ואי אפליה בין מקורות אנרגיה
- כל הדברים הנ"ל כמובן גרמו לתמיכה הציבורית הרחבה בנושא עקב השילוב שלהם ברווחים. שינוי בסובסידיה (הקטנה) בתחילת שנות ה-2000 גרם לירידה דרסטית בכמות הטורבינות החדשות שהוקמו - מה שכמובן מראה על החשיבות של הסובסידיה בנושא.
- הלקחים מהמדינות השבדית הם בין היתר הירתמות ציבורית, פשטות של התוכנית, יציבות לאורך זמן ומצד שני הבעייתיות של אפליית גורם ייצור אנרגיה מתחדשת בודד על חשבון אחרים שכן ככל שעובר

² https://docs.google.com/spreadsheets/d/10IgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=73941633

הזמן מקורות אנרגיה מתחדשים חדשים נוספים או מגיעים לפריצות טכנולוגיות ויתכן שהופכים להיות יעילים יותר.

איור 4 : כמות טורבינות הרוח שהוקמו בדנמרק לאורך השנים



תמונה מהמאמר של (Mendonca, 2009) שמציג את כמות הטורבינות החדשות שהוקמו בכל שנה.

במדינת ישראל הונהג חוק לעידוד השקעה באנרגיות מתחדשות (הטבות מס בשל הפקת חשמל מאנרגיה מתחדשת), תשע"ז-2016, הקובע כי קיימות הקלות מס למכירת חשמל מאנרגיה מתחדשת ובנוסף הקלה במס על דמי השכירות ממקרקעין שמושכרים לטובת מתקני אנרגיה מתחדשת. מדובר על סובסידיה עקיפה שניתנת לאורך זמן בצורת הטבות מס, לא מייצרת 'שוק' לאנרגיה הירוקה, ולא מאפשרת סובסידיה ישירה בתחילת הפרויקט, שם מתהוות העלויות המשמעותיות ביותר. בסוגיית התקציב הממשלתי תקציב משרד האנרגיה יורד עם השנים בכ - 13.3% משנת 2018-2022.

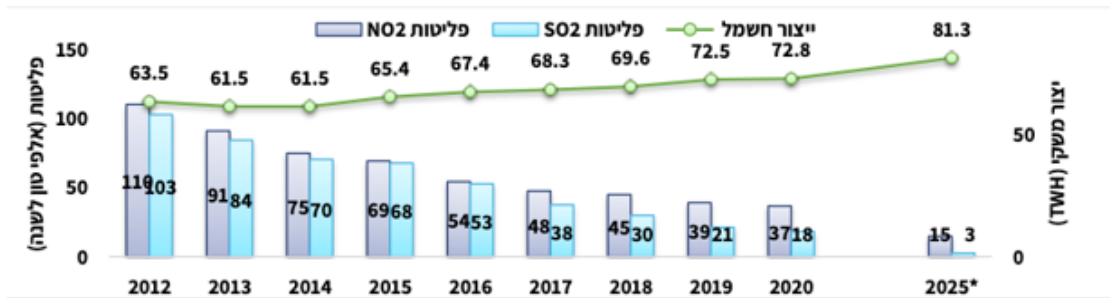
איור 5: תקציב משרד האנרגיה לשנים 2018 – 2022 (במיליוני ש"ח)

שנה	מקורי נטו	הוצאה מותנית	מקורי ברוטו	הרשאה להתייב
2018	676,254	49,000	725,254	245,000
2019	619,189	12,809	631,998	1,275,000
2020	509,460	12,773	522,233	309,500
2021	529,154	12,773	541,927	857,362
2022	586,192	12,773	598,965	372,237
שינוי	-13.3%	-73.9%	-17.4%	51.9%

טבלה מדו"ח מצב של הכנסת על משק האנרגיה בישראל.

על אף מצבה העגום של ישראל בסוגיית האנרגיה המתחדשת אכן יש קיטון משמעותי ברמת הפליטות המזהמות, בעיקר עקב המעבר הנרחב לשימוש בגז טבעי.

איור 6: ייצור חשמל ופליטת מזהמים בתהליך ייצור החשמל בישראל, 2012 – 2025



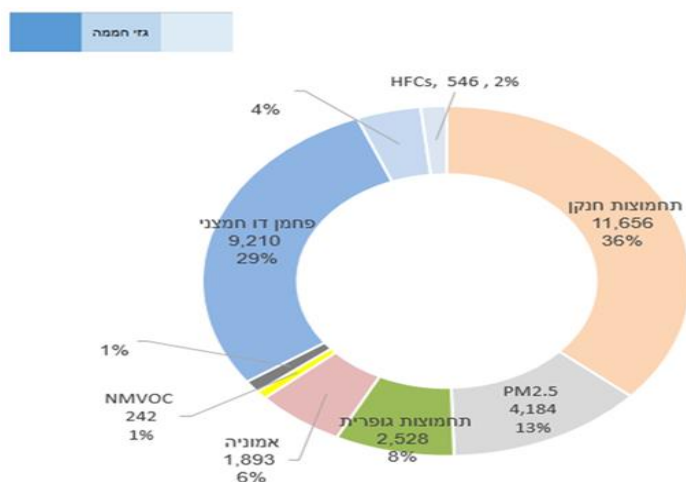
תמונה מדו"ח מצב של הכנסת על משק האנרגיה בישראל, הנוגע לכמות פליטות המזהמים בתהליך ייצור החשמל.

קיימת התחייבות בינלאומית של הממשלה כחלק מאמנת פריז להגעה בשנת 2025 ו-2030 לאחוז ייצור של אנרגיה מתחדשת מתוך סך הייצור של 20% ו-30% בהתאמה. אך ניכר שבעבר לא עמדו בהתחייבויות הללו, לדוגמא היעד לשנת 2020 עמד על כ-10% ובפועל הייצור עמד על כ-5.7%. קיימים חסמים משמעותיים להמשך פיתוח המשק, בין היתר רשת ההולכה עצמה כרגע בהשקעת חסר ביחס לביקושים הצפויים בשנים הקרובות, שיטת מכרזים אשר מגבילה את ההתפתחות וחוסר תיאום בין המשרדים שגרם לאי הגעה ליעד בשנת 2020. וכמובן שללא תוכנית סדורה, בירוקרטיה מאתגרת וללא מקור תקציבי אין סיבה לחשוב שהמצב יהיה שונה לטובה בהמשך.

תועלת כלכלית

ראשית יש לבחון מה העלות הכוללת כיום הנובעת משימוש בדלקים פוסיליים ומאנרגיה מתחדשת על מנת להשוות בין באופן מדויק יותר ולהכריע האם קיימת אפשרות עדיפה עבור אזרחי מדינת ישראל. לשם כך, יש להעריך בנוסף לעלויות ייצור החשמל את העלויות החיצוניות שבתהליך זה. עלות חיצונית מבטאת כערך כספי את ההשפעות החיצוניות השליליות על בריאות האדם והסביבה, אובדן רווחה חברתית מפליטת מזהמים וממפגעי סביבה שונים. התועלת השולית של המוצר עבור הצרכן שווה לעלות השולית לייצורו של המוצר מנקודת המבט של היצרן. עובדה זו היא שעומדת בבסיס הטענה שמחירי שוק יוצרים מצע להקצאה יעילה של גורמי ייצור ומוצרים במשק. אולם, ישנם מוצרים ושירותים שאין אפשרות לסחור בהם בשוק באופן ישיר, ולכן אין להם מחיר שוק, ובכל זאת הם בעלי ערך רב מבחינת החברה. איכות סביבה, ובפרט אוויר נקי, היא אחד מאותם מוצרים. ולכן על מחיר החשמל לכלול עלויות חיצוניות כדי לשקף את העלות האמיתית לחברה. (בקר, גרוסמן, ברק & חרובי, 2020).
ענף ייצור החשמל בעל העלות החיצונית הגבוהה ביותר במשק.

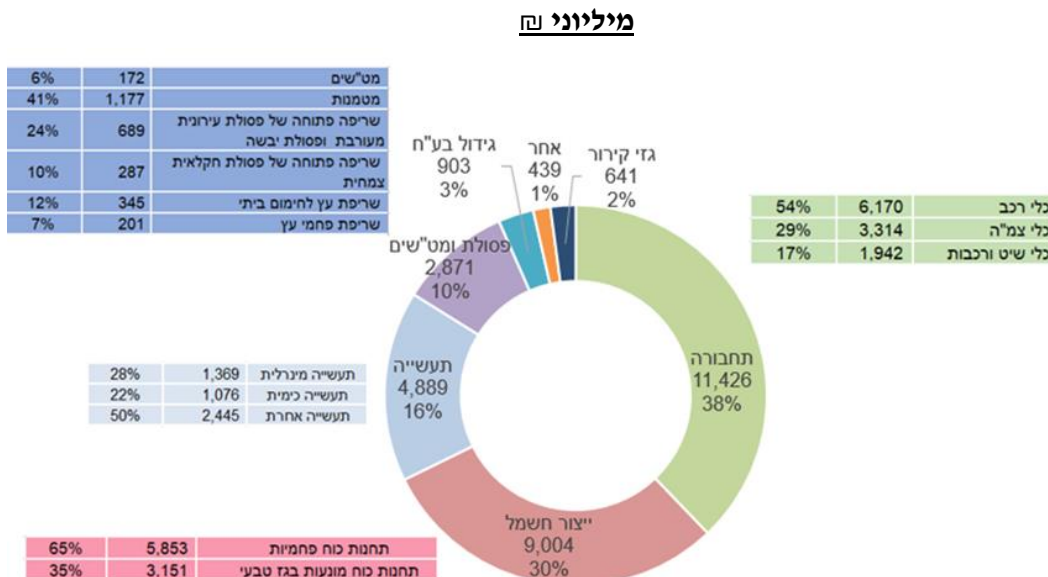
איור 7: התפלגות העלויות הייצונית של הפליטות לאוויר בישראל בשנת 2018 – לפי מזהמים, מיליוני ₪



המקור: (המשרד להגנת הסביבה 2021)

ניתן לראות בתרשים כי המזהמים שפליטתם גורמת לעלות הייצונית הגבוהה ביותר הינם תחמוצות חנקן ופחמן דו חמצני (36% ו 29% בהתאמה), כאשר 79% מפליטת הפחמן הדו חמצני מקורם בתחנות כוח של חברת החשמל ובתחנות כוח פרטיות. (בקר & גרוסמן, 2021)

איור 8: התפלגות העלויות הייצונית של הפליטות לאוויר בישראל בשנת 2018 – לפי מקורות פליטה, מיליוני ₪



המקור: (המשרד להגנת הסביבה, 2021)

בתרשים הנ"ל ניתן לראות כי 30% מסך העלות הייצונית המוטלת על המשק מיוחס לתחנות הכוח לייצור חשמל, (בקר & גרוסמן, 2021) ומתוכן לחברת החשמל נתח שוק של 52% מסך הייצור החשמל. דו"ח משק החשמל (גוטגליק & נחמיה, 2021).

כפי שתואר באיור 1, חברת החשמל היא יצרן החשמל העיקרי במשק (52%), והיא מייצרת חשמל מדלקים מזהמים (גז, פחם וסולר). בנוסף לכך, השוואה של התפלגות מקורות הפליטה השונים המדווחים למפליט

(מרשם הפליטות לסביבה – PTRT) בישראל עם התפלגות המקורות המדווחים ל E-PRTR של האיחוד האירופי מעלה ממצאים דומים – ענף ייצור החשמל הוא הגורם לעלות החיצונית הגבוהה ביותר בקר, (גרוסמן, ברק, & חרובי, 2020).

ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת

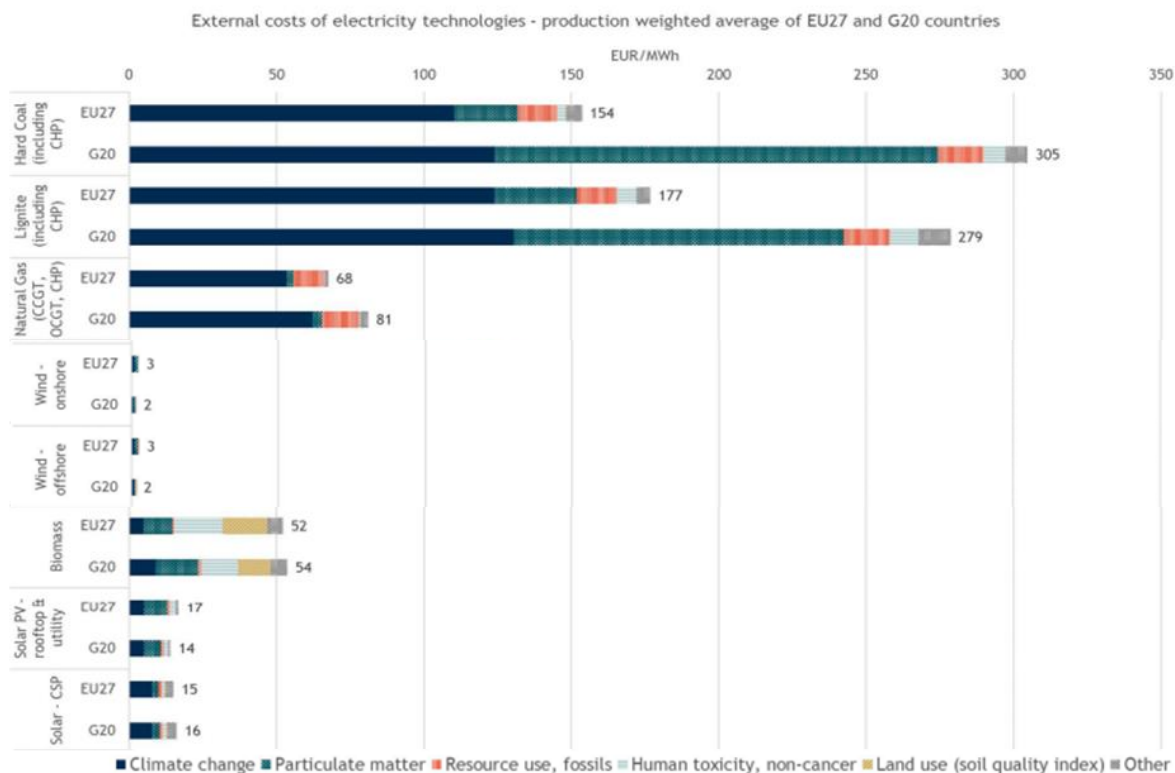
הטכנולוגיות העיקריות כיום לייצור אנרגיה מתחדשת בישראל הן טכנולוגיה סולארית פוטו-וולטאית וטכנולוגיית רוח. הטכנולוגיה הסולארית ממירה את אור השמש ישירות לחשמל באמצעות תאים סולאריים המכונים גם תאים פוטו וולטאיים. הטכנולוגיה לייצור חשמל מאנרגיית רוח מתבססת על טורבינות רוח המנצלות את הרוח כדי לסובב מנוע גנרטור המייצר חשמל.

עלויות חיצוניות בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות

גם בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות קיימות השפעות סביבתיות, אולם קיים הבדל מהותי בעלויות החיצוניות שמקורן מדלק פוסילי לעומת אלו שנובעות מייצור החשמל מאנרגיה ירוקה.

איור 9: עלויות חיצוניות של כל סוגי ייצור החשמל. האיחוד האירופי (2020)

Figure 2-1 EU27 and G20 average (production weighted) external cost of electricity per technology in €₂₀₁₈/MWh



המקור: דוח האיחוד האירופי לעלויות חיצוניות 2020³

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/91a3097c-1747-11eb-b57e-01aa75ed71a1/language-en>³

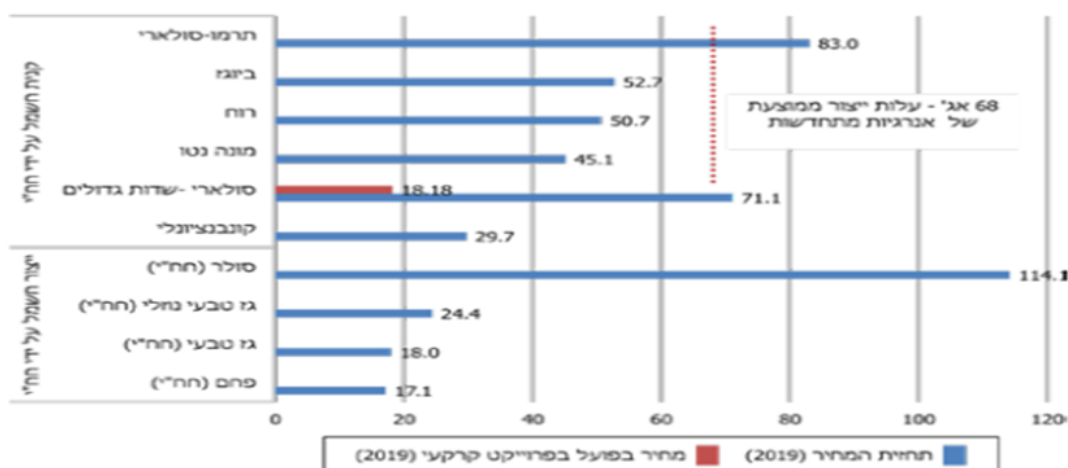
בתרשים הנ"ל העלות הממוצעת של גז ופחם גבוהה משמעותית מהשימוש באנרגיה סולארית ואנרגיית רוח. בחישוב ממוצע פשוט, ובהתחשבות בתמהיל הדלקים המשקי, עלויות ייצור החשמל הממוצעות פר קוט"ש (קילוואט לשעה) מגז ופחם הינן 0.52 ש"ח לעומת 0.04 ש"ח מאנרגיות מתחדשות. היות ותמהיל הדלקים המשקי עומד על 61% גז ו 31% פחם. (גוטגליק & נחמיה, 2021)⁴

העלות החיצונית הממוצעת בייצור חשמל מאנרגיה מזהמת יקרה משמעותית מייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. החיסכון פר קוט"ש מייצור סולארי ומייצור מאנרגיית רוח עומד על 0.45 ו 0.51 ש"ח בהתאמה (לאחר תיאום מחירי 2018 למחירים⁶ היום והמרת מגה וואט לקילוואט לשעה⁷). (מתודולוגיית החישוב המלאה מצורפת **בנספח 2**).

השוואה בעלויות ייצור החשמל בסוגי הטכנולוגיה השונים

העלות חולקה לשתיים, החלק הראשון מתייחס להבדל בעלויות ייצור החשמל והחלק השני מתייחס לרמת ההשקעה הנדרשת מהמדינה על מנת שחברות אנרגיה מתחדשת יהיו אדישות בין ביצוע פרויקטים בישראל לבין אירופה.

איור 10: השוואת עלות ייצור חשמל מדלקים פוסיליים לעומת ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת



המקור: תחזית עלות ייצור חשמל ממקורות שונים לשנת 2019 (דוח מבקר המדינה, 2020)

כיום עלויות ייצור החשמל מפחם וגז נמוכות מעלויות הייצור מאנרגיות מתחדשות, אולם קיימת מגמת ירידה עולמית בעלויות הייצור מאנרגיה סולארית ואנרגיית רוח⁸ ויתרה מזו, ככל ששטחי הפקת החשמל מאנרגיות מתחדשות יגדלו, עלות הייצור תפחת משמעותית. בחישוב ממוצע פשוט, ניתן לראות שעלות ייצור ממוצעת לקוט"ש חשמל מאנרגיית רוח עולה 0.51 ש"ח לעומת ייצור חשמל מדלק מזהם (גז ופחם), שעולה 0.2 ש"ח לקוט"ש.⁹

⁴ דו"ח מצב משק החשמל (2021) <https://www.gov.il/he/departments/general/dochmeshek>

⁵ https://docs.google.com/spreadsheets/d/10IgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=1627237660

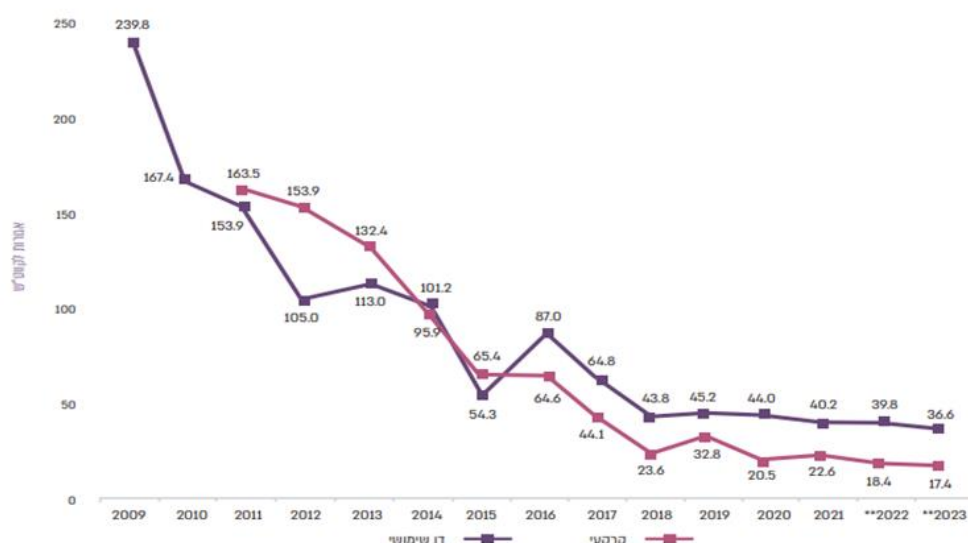
⁶ שער היורו הממוצע לשנת 2018 עמד על 4.24 ש"ח.

⁷ 1 מגה וואט = 1000 קילוואט.

⁸ ראה נספח 4 ו 5.

⁹ החישובים הנ"ל בוצעו בקובץ האקסל בגיליון עלויות כוללות - https://docs.google.com/spreadsheets/d/10IgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=1627237660

איור 11: עלויות ייצור במתקנים סולאריים



הערות
* בלוח זה מוצג התעריף הממוצע לשנה בה חוברו המתקנים לא כולל מתקנים באסדרת מונה טוג הנחשבים במחירי 2021
** תחזית מובסת על הערכת הרשות לחיבור המתקנים באותה שנה.

קיימת מגמת ירידה משמעותית בתעריפי הייצור במתקני PV. יצוין כי התעריף לכל מתקן מובטח למשך 15-25 שנה, בהתאם לאסדרה שמכוחה הוקם המתקן.

המקור: (גוטגליק & נחמיה, 2021)

בתרשים הנ"ל ניתן לראות שעלות ייצור חשמל מאנרגיה סולארית ממוצעת, המתחשבת בייצור מ PV קרקעי ודו שימושי עולה 0.31 ש"ח בשנת 2021. לפי הנתונים הנ"ל, המעבר מייצור חשמל מדלקים מזהמים, לייצור חשמל מאנרגיה סולארית ואנרגיית רוח, יוביל לתשלום ביתר בעלויות הייצור של 0.12 ו 0.31 ש"ח לקוט"ש בהתאמה.

השקעה נדרשת כסובסידיה לחברות:

כדי לבחון את ההשקעה הנדרשת מהמדינה, החלטנו לבחור מספר חברות אנרגיה ירוקה שנסחרות בארץ, אשר פועלות גם בארץ וגם באירופה על מנת לבחון מה ההבדל תשואה שהן רואות על ההשקעה ובכך להבין כמה סובסידיה המדינה נדרשת להשקיע על מנת שהחברות יהיה אדישות בין ביצוע פרויקט בישראל לבין ביצועו באירופה.

כדי לחשב זאת, בחרנו 5 חברות אנרגיה מתחדשת הנסחרות בבורסת ת"א, לחברות אלה חישבנו את שיעור הריבית על הלוואות לפי הנתונים בדוחות הכספיים שלהם, חישבנו את הביטא הממונפת שלהן (המתאם של החברה עם תיק השוק – מדד מניות רחב - המתחשב ברמת המינוף של החברה), בכך שלקחנו את הביטא הלא ממונפת של סקטור האנרגיה הירוקה ממאגר המידע של NYU, וחישבנו מה הביטא הממונפת לכל חברה לפי הנתונים הרלוונטיים מהדוח הכספי שלה ונתוני השוק שלה. חישבנו את ריבית חסרת הסיכון בהתייחס לריבית לפדיון על אג"ח ממשלתי לא צמוד לתקופה רלוונטית לפרויקטים מסוג זה (20 שנה), ואת תשואה השוק הממוצעת של מדד ת"א 125. לאחר מכן חישבנו את פרמיית הסיכון בישראל וע"י כך גם את מחיר ההון של החברות. ומנתונים אלה בהתחשב בשיעור מס חברות בישראל, חושב מחיר ההון המשוקלל (WACC) בו השתמשנו להיוון תזרים המזומנים בהמשך.

לאחר מכן אספנו נתונים בנוגע לכל הפרויקטים בהקמה שיש לחברות אותם ניתחנו לפי מהות הפרויקט (רוח/סולארי), מדינת הביצוע שלו ומה יכולת הייצור המותקנת בו.

חישבנו מהו הערך הנוכחי הנקי של הפרויקט (NPV), ע"י היוון הרווח התפעולי הצפוי מהפרויקט לפני פחת, הפחתות, מס וריבית (EBITDA) בניכוי עלות הפרויקט – כאשר ההנחה היא שהעלות מושקעת כולה ביום הראשון והרווח התפעולי מתפלג אחיד לאורך השנה.

חישבנו את יחס הסיכון של המדינה בה מבוצע הפרויקט ביחס לישראל לפי היחס בין תשואת האג"ח ל-10 שנים בין המדינות וניתחנו מה התשואה העודפת של פרויקטים באירופה ביחס לישראל.

לאחר מכן הבנו מה הנצילות של כל פרויקט אנרגיה מתחדשת בישראל לפי נתונים על מהירות רוח ממוצעת ושעות שמש במדינה והגענו לסכום שיש לסבסד כל קוט"ש על מנת שהחברות יהיו אדישות בין ביצוע פרויקט פה לבין ביצועו באירופה.

לאחר מכן ביצענו תחשיב של ההפרש בין רכישה של קוט"ש מאנרגיה מתחדשת לבין העלות שעולה לייצר קוט"ש ממקורות מתכלים, הוספנו לזה את החיסכון מעלות חיצונית והגענו לתועלת הכלכלית שתופק למדינה ממעבר לאנרגיה ירוקה. (מתודולוגיית החישוב המלאה מצורפת [בנספח 3](#)).

תוצאות

לוח 2: טבלת סיכום התועלת לקוט"ש כתוצאה ממעבר לאנרגיה ירוקה

שקלים	תועלת ממעבר לאנרגיית רוח לקוט"ש	שקלים	תועלת ממעבר לאנרגיה סולארית לקוט"ש
(0.309)	חיסכון ייצור רוח	(0.116)	חיסכון ייצור סולארי
(0.113)	השקעה נדרשת	(0.015)	השקעה נדרשת
(0.422)	רווח (הפסד) מייצור קוט"ש	(0.131)	רווח (הפסד) מייצור קוט"ש
0.509	חיסכון מעלות חיצונית	0.454	חיסכון מעלות חיצונית
0.09	סה"כ	0.32	סה"כ

המקור: קובץ אקסל שבו נעשו חישובי הכותבים. (בסוגריים = ערך שלילי)¹⁰.

לאחר ביצוע התחשיב הגענו למסקנה שיש לסבסד כל קוט"ש מאנרגיה מתחדשת, סולארי ורוח ב-0.015 ו-0.113 ש"ח בהתאמה על מנת שחברות יהיה אדישות בין ביצוע הפרויקט בארץ ביחס לביצוע שלו באירופה. ולכן, בתיסוף לתוצאות שנסקרו למעלה אשר מראות שיש עודף עלות מייצור של אנרגיה מתחדשת מסולארי ורוח של 0.015 ו-0.309 בהתאמה. אליו אנו מוסיפים את החיסכון מעלות חיצונית שהיא 0.454 ו-0.509 ש"ח אנו מגיעים לחיסכון כלכלי של 0.32 ו-0.09 ש"ח לקוט"ש סולארי ורוח בהתאמה.

לפי נתונים של משרד האנרגיה רמת הייצור ב 2021 היא 74 טרה-וואט לשעה, מתוכם 38.2 מיוצר ע"י חברת חשמל ו-5.7 מאנרגיה מתחדשת.

חישובים בוצעו בגליון אקסל - טבלת סיכום¹⁰
https://docs.google.com/spreadsheets/d/10IgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=1110604424

ולכן חישבנו מה היה החיסכון שנוצר למשק אילו כל החשמל במשק היה מיוצר מאנרגיה ירוקה בתמהיל של 60%-ו-40% סולארי ורוח בהתאמה, והגענו למסקנה שהתועלת שהייתה נוספת ברמה השנתית היא 23.1 מיליארד ש"ח.

במידה ומסתכלים בפרספקטיבה של 20 שנה הערך הנוכחי של ההשקעה הזה במונחי תועלת לתושבי מדינת ישראל הוא 311.5 מיליארד ש"ח.

לוח 3: התועלת שהייתה מתווספת למדינה בשנה (במיליוני ש"ח), במידה וכל החשמל היה מיוצר

מאנרגיה מתחדשת

עודף עלות עקב ייצור	(9,442)
חיסכון מעלות חיצונית	32,508
<u>סה"כ תועלת לשנה</u>	23,066
לאורך 20 שנה התועלת במונחי היום הייתה	
ריבית של המדינה	4.07%
תועלת לאורך 20 שנה מהוות להיום	<u>311,545</u>

כאשר חישבנו כמה כסף יידרש להשקיע על מנת לייצר את הכמות הזאת הגענו לסכום של 110,079 מיליארד ש"ח בהנחה ואנו מניחים שכמות החשמל הנדרשת תגדל ב-2% בכל שנה. סכום אשר יחזיר את עצמו (במונחי תועלת שנתיים) 5 שנים לאחר שמתקני האנרגיה הירוקה יחלו לעבוד.

לוח 4: כמות האנרגיה שצריך להמיר לאנרגיה ירוקה (במיליוני ש"ח)

68	TWh
2%	בהנחה גידול צריכה של
101	עוד 20 שנה נצטרך
60.86	מסולארי TWh
40.63	מרוח TWh
2146.2	נצילות של מתקן אנרגיה סולארית בשנה
938	נצילות של מתקן אנרגיה רוח בשנה
	<u>הספק שצריך להיות מותקן</u>

28.36	סולארי GW
43.32	רוח GW
מיליוני ש"ח	השקעה נדרשת היום
0.65	ל MW סולארי
2.12	ל MW רוח
110,079	השקעה (מיליוני ש"ח)

נתונים נוספים המחזקים את המודל

מבחינת נתונים על רכישת קוט"ש אנרגיה סולארית, כאשר בוחנים את הדוחות הכספיים של החברות התעריף שמבוטח נכון לשנת 2022 בממוצע הוא 0.23 אגורות, תמונה דומה ואף אופטימית יותר (מחיר זול יותר) מדו"ח של הכנסת. מדוח מבקר המדינה עולה כי הנצילות של מתקני סולארי ורוח יכולה להיות גבוהה יותר ובפרט 1,600-1,900 מגה-וואט לשעה ו-2,600 מגה-וואט לשעה (מבקר המדינה, 2020) בהתאמה שילוב של הדברים בתרחיש אופטימי יכול להוביל לתועלת שנתית נוספת בסך 5 מיליארד דולר בקירוב.

בנוסף לכך, הנחת גידול של 2% בצריכת האנרגיה יגדיל את התועלת ב 9-11 מיליארד ש"ח בשנה (בהתייחס לתרחיש אופטימי או פסימי) ותועלת עודפת לאורך 20 שנה מהוונת להיום של 130 – 154 מיליארד ש"ח

עלויות הייצור הלא משתלמות מאנרגיה סולארית ואנרגיית רוח יפחתו לאורך השנים ככל שהתשתית תתרחב. מלבד מבנים פרטיים וחקלאיים, בארץ יש שטחים ומבנים נוספים רבים, כגון: מאגרי מים, בריכות דגים, מחצבות, מכרות, מטמנות, סוללות, מחלפים, קירות אקוסטיים, חניונים, מגרשי ספורט, חממות, בתי עלמין וכדומה. יש פוטנציאל לניצול של חלק, לכל הפחות, משטחים אלו לצורך הנחת פאנלים סולריים. במדינות שונות, כגון ארה"ב, סין, איטליה וספרד, מנצלים שטחים אלה לצורך הנחת פאנלים סולריים. באוקטובר 2019 האגף לתכנון פיזי במשרד האנרגיה ביצע הערכה ראשונית של השטחים ושל פוטנציאל הייצור של חשמל מפאנלים סולריים שיונחו על מאגרי מים, בריכות דגים, סוללות, מחצבות, מכרות, מטמנות ושטחים כלואים בדרכים. זאת כדי לאפשר ניצול מיטבי של הקרקע ולצמצם את צריכת השטחים הפתוחים. (מבקר המדינה, 2020).

איור 12: פוטנציאל ייצור חשמל (במגה וואט) מסוגי שטחים שונים. דוח מבקר המדינה (2021)

סוג השטח	סה"כ שטחים בדונם	שטחים להפקת אנרגייה מתחדשת בדונם	פוטנציאל ייצור חשמל במגה-ואט ⁸²
מאגרי מים ⁸³	35,092	31,426	3,142
בריכות דגים ⁸⁴	19,790	6,600	660
סוללות ⁸⁵		4,251	425
מחצבות ⁸⁶	42,000	29,400	2,940
מטמנות	6,408	4,485	448
מכרות פוספטים	256,635	תלוי בהשלמת הכרייה	
שטחים כלואים בדרכים	5,000	2,500	250
סה"כ	364,925		7,865

המקור: משרד האנרגייה, בעיבוד משרד מבקר המדינה

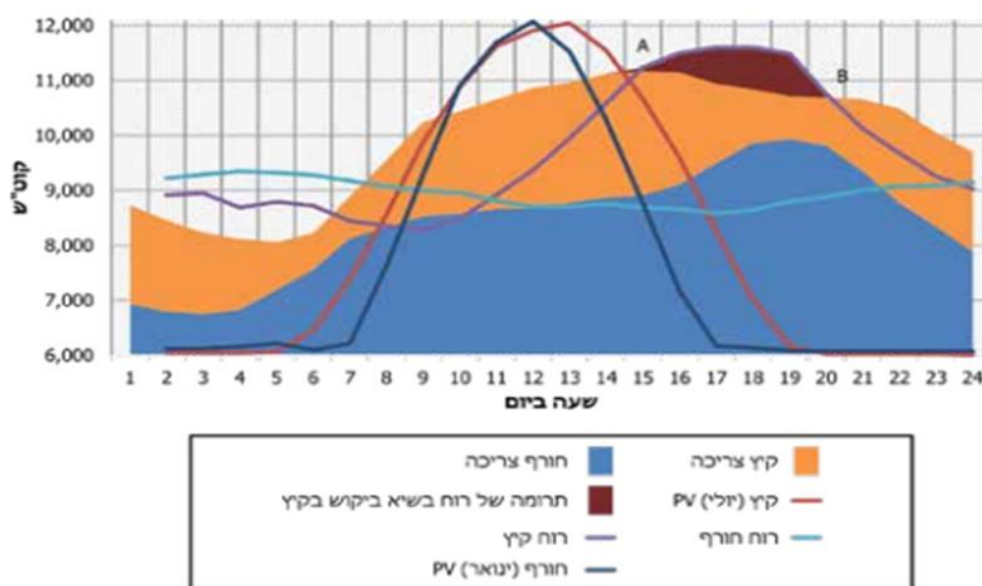
בטבלה שלהלן מרוכזים נתונים על פוטנציאל ייצור החשמל מסוגי שטחים שונים. קיים פוטנציאל ייצור חשמל של 7,865 מגה-ואט מפאנלים סולריים שיונחו על שטחים אלו, ללא הפוטנציאל הגלום במכרות פוספטים ששטחם כ-70% מכלל השטח הפוטנציאלי. החיסכון הפוטנציאלי מייצור חשמל בשטחים כאמור עשוי להסתכם בכ - 5.5 מיליארד שקל לשנה.

תמהיל אנרגיות מתחדשות יעיל

הפקת אנרגיה סולרית והפקת אנרגיית רוח מתבצעות לרוב במועדים שונים, ולמעשה הן משלימות זו את זו. מתקנים פוטו-וולטאיים פועלים בשעות היום, ושיא תפוקתם הוא בקיץ בצוהרי היום. בתנאי משטר הרוחות בישראל טורבינות רוח מייצרות אנרגיה לאורך רוב שעות היממה, אך בעיקר בשעות הערב והלילה, ושיא תפוקתן צפוי בעונת החורף. פריסתה של אנרגיית רוח על פני רוב שעות היממה תורמת לביזור ולאיוון של רשת החשמל. אנרגיית הרוח מסייעת לספק את הביקוש בשעות השיא, ובעונת החורף שבה מתקני האנרגיה הסולארית אינם מייצרים כמעט חשמל.

איור 13: פרופיל ייצור אנרגיית רוח וייצור אנרגיה סולארית יחסית לביקוש היומי לחשמל, בשנת 2010.

דוח מבקר המדינה (2021)



המקור: המועצה הלאומית לכלכלה במשרד ראש הממשלה ומשרד האנרגייה. עיבוד נתונים השייכים לאנרגיית הרוח נעשה על ידי חברה פרטית לייצור חשמל מאנרגייה זו.

מהתרשים עולה כי בחודשי הקיץ הביקוש לחשמל בשעה 19:00 קרוב מאוד לשיא ביקוש החשמל במהלך היום (נקודה B), ייצור החשמל מאנרגיה סולרית באותה השעה קרוב לאפס, ולכן ללא יכולות אגירה לא ניתן יהיה לחסוך בכומר ייצור חשמל מדלקים פוסיליים. גם בעונת הקיץ ייצור החשמל באמצעות אנרגיית רוח מגיע לשיאו לאחר הדעיכה בייצור חשמל מאנרגיה סולרית. שילוב בין אנרגיית רוח לאנרגיה סולרית נותן מענה טוב יותר למשק בשיא הביקוש בקיץ. אם יגדל באופן ניכר כומר ייצור חשמל מאנרגיית הרוח ניתן יהיה להפחית את היקף ההספק המותקן של ייצור חשמל בדלקים פוסיליים. מאחר שטורבינות רוח מייצרות אנרגיה לאורך רוב שעות היממה, כל תוספת ייצור של אנרגיית רוח תפחית את הצורך בהשקעת הון בתחנות גיבוי קונבנציונלי לעומת תוספת ייצור בטכנולוגיה סולרית. לדוגמה, הגדלת מרכיב הרוח בתמהיל מהמכסה הנוכחית של 730 מגה-ואט למכסה של 1,500 מגה-ואט (כמעט פי שניים) צפויה לחסוך 1,082 מגה-ואט גיבוי קונבנציונלי. חיסכון הגיבוי מוערך בכ-5 מיליארד ש"ח למשק. דהיינו, הפוטנציאל לייצור חשמל מאנרגיית רוח גדול פי כמה מהמכסה הקיימת, ומימוש פוטנציאל זה יחסוך למשק מיליארדי שקלים.

בנוסף, ייצור חשמל מאנרגיית רוח טומן בחובו יתרונות נוספים המאזנים את חסרונות הייצור הסולארי:

- השטח המשמש להפעלת מיזם אנרגיית רוח הוא כ-4% מהשטח המשמש להפעלת מיזם קרקעי של אנרגיה סולרית בהיקף זהה של ייצור אנרגיה.
 - צריכת המים במיזמי אנרגיית רוח היא אפסית, לעומת צריכה של כ-172 מ"ק מים למגה-ואט אנרגיה סולרית לשנה.
 - מיזמי אנרגיית רוח מאפשרים שימוש כפול בקרקע - הן שימוש חקלאי והן שימוש לייצור חשמל
 - מהתקנת 1 מגה-ואט אנרגיית רוח ניתן להפיק 2.6 מיליון קוט"ש לשנה, ולעומת זאת מהתקנת 1 מגה-ואט אנרגיה סולרית ניתן להפיק 1.7 מיליון קוט"ש בשנה בלבד.
- ככל שתמהיל אנרגיית הרוח - האנרגיה הסולרית מאוזן יותר, כך מתקבל מענה טוב יותר לשעות שיא הצריכה וכן פרופיל ייצור משולב אשר מסייע בגיבוי הדדי בין מקורות האנרגיה ובהפחתת התנודתיות באספקה.

דרכי פעולה

השקעה ממשלתית על ידי סובסידיה ממשלתית:

כפי שפרטנו בעבודתנו יש תועלת כלכלית שיכולה לנבוע מהשקעה באנרגיה ירוקה. לדעתנו עקב החסמים שניתחנו בעבודתנו יש שתי דרכים מרכזיות בהן הסובסידיה תהיה האפקטיבית והאטרקטיבית ביותר לחברות האנרגיה הירוקה. כל אחת מהן כמובן נדרשת להיות בסכום שהופך את הפרויקטים בארץ להיות בעלי החזר על השקעה זהה לממוצע של פרויקטים בחו"ל, אשר נותחו בעבודה. הראשונה היא השקעה ראשונית לפי התעריף שניתחנו שהוא 650 אש"ח לכל MW סולארי או 2.12 אש"ח ל-MW רוח מותקן, ניתנים בזמן הקמת הפרויקט - הנ"ל יכול לסייע עם האתגר המשמעותי הנוסף שהוא חסמי הכניסה הגבוהים ותואם את התוכנית שהתרחשה בדנמרק. אופציה נוספת היא שילוב אשר מציע 375 אש"ח ל-MW סולארי ו-1.06 אש"ח לרוח, ו-0.751 אגורות לקוט"ש סולארי ו-5.5 אגורות לקוט"ש רוח או כל תמהיל אחר הנ"ל יעניק ודאות לאורך זמן. בדרך זאת כל חברה תוכל לבחור את המענק שנוכח בעבורה לפי הצורך שלה במימון ראשוני, או גידול תשואה לאורך זמן. המדינה למעשה יכולה להגיע לסבסוד של עד 1.07 ש"ח לקוט"ש אנרגיה סולארית

ועדיין להיות ברווח כלכלי - פי 71 מתעריף שיוצר אדישות בין ביצוע פרויקט בארץ לבין ביצועו באירופה בממוצע.

בנוסף אנו מציעים לבצע תוכנית של 'תווים ירוקים' בהם חברות מזהמות נדרשות לשלם מס או קנס בגין זיהום שהם פולטות לאוויר והן יכולות לרכוש מחברות אנרגיה ירוקה את התווים שלהם, ובכך ליצור תמריץ כלכלי נוסף למעבר לאנרגיה ירוקה.

שינויים רגולטוריים

מדינת ישראל יכולה לפעול בצורה טובה יותר על ידי הכנת תוכנית אסטרטגית רחבה שתספק מענה לפערים הקיימים:

- השלמת של תוכנית אב או תוכנית אסטרטגית אשר תכלול את התמהיל הרצוי של מקורות האנרגיה במשק על ידי משרד האנרגיה.
- הסרת חוקים מגבילים המעכבים את תוכניות הקמת המפעלים הירוקים, ואף לחוקק חוקים המעודדים את המעבר לשימוש באנרגיה ירוקה.
- הסדר פינוי עם הפזורה הבדואית כדי לעבור לקווי הולכה חזקים יותר ואף להקים קווים נוספים באזורים שכרגע נשלטים על ידי התיישבויות לא חוקיות.
- תכנון מיטבי של רשת החשמל, כך שניתן יהיה מחד, לשמור על יציבות הרשת, ומאידך, למלא את יעדי ייצור החשמל מאנרגיה מתחדשת.
- תיאום החלטות רשות המסים, משרד האוצר ומשרד האנרגיה על שינוי מדיניות המיסוי של מיזמים נוספים לייצור חשמל מאנרגיה ירוקה עם היעדים שמקדם משרד האנרגיה בתחומים הני"ל, לאחר שנבחנו המשמעויות הכלכליות, הפיסקאליות והתחבורתיות של שינויים אלה והשפעתם על זיהום האוויר ועל יכולתה של הממשלה לעמוד ביעדים להפחתת הפליטות שעליהן התחייבה.

סיכום

לאור המחקר שלנו אנו מבינים שמשק החשמל בישראל בנושא האנרגיה הירוקה במקום נחות ביחס למדינות אליהן היינו רוצים להידמות. בנוסף, יש חשיבות גדולה להשקעה ממשלתית באנרגיה ירוקה על מנת שהמעבר הנדרש לאנרגיה ירוקה יקודם. הן בפן של חלוקת הסיכונים, הקטנת חסמי הכניסה ובפן של ההיתכנות הכלכלית מבחינת החברות.

המדיניות שנקטו עד כה בהטבות מס לא האיצה משמעותית את המעבר ויש צורך בפעילות נוספת הן בפן הכלכלי והן בפן הבירוקרטי.

העלות החיצונית של הפקת חשמל מגורמים מזהמים היא גדולה וכמות ההשקעה הנדרשת להינתן כסובסידיה לחברות אנרגיה ירוקה היא קטנה ביחס אליה והיא נמוכה משמעותית מהתועלת הכלכלית שתופק מכך, גם כאשר לוקחים הנחות מחמירות יחסית (שמקטינות את התועלת).

מדינת ישראל צריכה לבצע צעדים על מנת לקדם נושא זה שחשיבותו והזרקור עליו הולכת וגדלה ומתקדמת למרכז הבמה. גם מכיוון שהדבר יקדם את מעמדה של ישראל בעולם וגם מכיוון שהמעבר יעיל לישראל מבחינה כלכלית.

מקורות

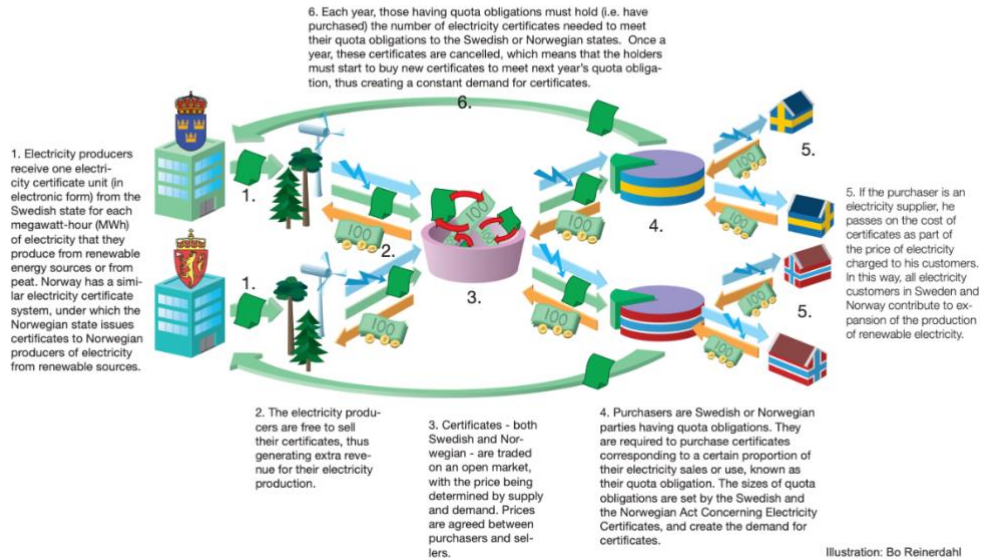
1. בקר, נ', & גרוסמן, מ'. (2021). "עלויות חיצוניות של הפליטות לאוויר מכלל המקורות בישראל". המשרד להגנת הסביבה.
https://www.gov.il/he/departments/guides/external_costs
2. בקר, נ', גרוסמן, מ', ברק, י', & חרובי, נ'. (2020). "הספר הירוק: הערכה ומדידה של עלויות סביבתיות – עלויות חיצוניות של מזהמי אוויר וגזי חממה". המשרד להגנת הסביבה.
https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/green_book_external_costs_air_pollutants_greenhouse_gases
3. גוטגליק, א', נחמיה, ל', & מקונן, ש'. (2021). "דו"ח מצב משק החשמל". רשות החשמל.
<https://www.gov.il/he/departments/general/dochmeshek>
4. הכנסת. (2022). "תיאור וניתוח תקציב ופעילות – משרד האנרגיה". הכנסת, מרכז המידע והמחקר.
https://fs.knesset.gov.il/globaldocs/MMM/e3283816-f884-ec11-8147-00155d0401c3/2_e3283816-f884-ec11-8147-00155d0401c3_11_19426.pdf
5. המדינה, מבקר. (2020). "קידום אנרגיות מתחדשות והפחתת התלות בדלקים". מבקר המדינה.
<https://www.mevaker.gov.il/sites/DigitalLibrary/Pages/Reports/3831-4.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
6. שחק, מ'. (2021). "אנרגיה מתחדשת בישראל - רקע וסוגיות לדיון". הכנסת - מרכז המידע והמחקר.
https://fs.knesset.gov.il/24/Committees/24_cs_bg_613268.pdf
7. Xiaolei Y. Lingyun H. Yufei X. Yufeng C. Effect of government subsidies on renewable energy investments: The threshold effect.
8. Wüstenhagen, R., & Bilharzm M. (2006). Green energy market development in Germany: effective public policy and emerging customer demand.
9. Iskandarova, M., Dembek, A., Fraaije, M., Matthews, W., Stasik, A., Wittmayer, J., & Sovacool, B. (2021). Who finances renewable energy in Europe? Examining temporality, authority and contestation in solar and wind subsidies in Poland, the Netherlands and the United Kingdom.
10. Mendonca, M., Lacey, S., & Hvelplund, F. (2009). Stability, participation and transparency in renewable energy policy: Lessons from Denmark and the United States.
11. Aguirre, M., & Ibikunle, G. (2014, June). Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis.
12. Damodaran, A. (2023). *Betas by Sector (US)*.

13. Damodaran, A. (2023). *Variables used in Datasets*.
14. Smith, M, Moerenhout, J, Thuring, M, de Regel, S & , Altmann, M. *External Costs - Energy costs, taxes and the impact of government* .EUROPEAN COMMISSION. (2022, October).

נספחים

נספח 1 – מערכת התעודות השבדית

The Swedish Electricity Certificate System



נספח 2 - מתודולוגיית חישוב העלות הכוללת

העלות הכוללת מורכבת מעלות ייצור החשמל בגין כל סוג אנרגיה (גז, פחם, סולארי ורוח), ומהעלות החיצונית שלו.

עלויות חיצוניות

העלויות החיצוניות נלקחו מתוך תחשיבים של ה EU27 ושל ה G20, ולאחר מכן בוצע ממוצע פשוט לכל סוג אנרגיה (למעט גז ופחם שחושבו יחד והוגדרו בקובץ כ"דלק מזהם"¹¹), והמרת יחידת המידה ממגה וואט לקילו וואט, והמרת המטבע מיורו לשקל במחירי 2018.

עלויות ייצור

עלויות הייצור נלקחו מתוך דוח מבקר המדינה לשנת 2020, לאחר עיבוד הנתונים ממשרד האנרגיה. חישוב העלויות בוצע בשימוש ממוצע פשוט והמרת הנתונים מאגורות לשקלים.

החיסכון

החיסכון בייצור הינו ההפרש בין עלויות הייצור מדלק מזהם לאנרגיה סולארית ואנרגיית רוח, והחיסכון בעלויות החיצוניות הינו ההפרש בין העלויות החיצוניות מדלק מזהם לאנרגיה סולארית ואנרגיית רוח.

העלות החיצונית הממוצעת מדלק מזהם תחילה חושבה כממוצע נפרד לכל סוג אנרגיה ולאחר מכן הותאם לתמהיל האנרגיה שקיים במדינה לפי נתונים של דוח משק החשמל. אנחנו השתמשנו ב 69% גז וכל השאר פחם על אף שקיים ייצור מועט של אנרגיה מחדשת, וזאת כדי לא ליצור סטייה בחישובים.¹¹

נספח 3 - פירוט החישובים ומתודולוגיית חישוב סובסידיה לחברות

ניתוח החברות הרלוונטיות והחישובים בגינם:

חברה ושנת הדו"ח	שיעור ריבית על הלוואות	ביטא ממונפת	מחיר ההון	מינוף	WACC	שווי שוק הון אלפי ש"ח
אנלייט 2021	2.5%	1.43	11.2%	91.3%	6.8%	7,080,766
אנרג'יקס 2022	2.6%	1.25	10.3%	63.6%	7.1%	5,896,344
סולג'ין 2022	4.8%	3.21	20.1%	365.8%	7.2%	254,463
דוראל 2022	9.1%	1.59	12.0%	115.2%	9.3%	1,200,000
נופר אנרג'י 2022	3.3%	1.27	10.4%	66.5%	7.3%	3,146,411

ראשית, נלקחו הדוחות הכספיים של החברות מאתר הבורסה, משם חולצו הנתונים של הוצ' המימון/הריבית שרלוונטים להלוואות, כל התחייבויות החברה המתקשרות להלוואות ומשם חושב שיעור הריבית הרלוונטי על ההלוואות.¹²

ריבית חסרת הסיכון בישראל לטווח זמן של 20 שנה שהוא טווח זמן שרוב הפרויקטים בתחום האנרגיה הירוקה מבוצעים בו היא 4.07%.^{14,13}

שיעור המס נלקח כשיעור מס החברות בישראל שהוא 23%.

המינוף חושב כיחס בין שווי ההלוואות בספרים כאומדן טוב לשווי השוק שלהם לבין שווי החברות בסוף השנה הרלוונטית.¹⁵

¹² https://docs.google.com/spreadsheets/d/10lgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=221354676

¹³ נלקחה בתאריך 2023/6/10 של ריבית על אג"ח ממשלתי לטווח זמן של 20 לא צמודה לפני מס.

¹⁴ https://market.tase.co.il/he/market_data/security/1125400/major_data

¹⁵ https://docs.google.com/spreadsheets/d/10lgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=221354676

נתון הביטא הלא ממונפת נלקח מהאתר של Demodaran(NYU)¹⁶ לסקטור האנרגיה הירוקה שהוא 0.84. לאחר מכן חושב ביטא לכל חברה לפי שיעור מס חברות ורמת המינוף הרלוונטית¹⁸¹⁷.

Unlevered Beta	This is the beta for the sector, unlevered by the market value debt to equity ratio for the sector. Unlevered Beta = Beta / (1 + (1 - tax rate) (Debt/Equity Ratio)) See description of debt/equity ratio for more detail.
----------------	--

לאחר מכן חושב WACC (מחיר ההון המשוקלל) ברמת החברה¹⁹, הנ"ל הוא שיעור ריבית נהוג בעולם המימון המתייחס גם לבעלי החוב וגם לבעלי ההון ומשמש להיוון תזרים מזומנים ש"שייד" לשת"י הקבוצות.

WACC Formula and Calculation

$$WACC = \left(\frac{E}{V} \times Re \right) + \left(\frac{D}{V} \times Rd \times (1 - Tc) \right)$$

שיעור היוון זה שימש אותנו על מנת להיוון את תזרים המזומנים בהמשך. לאחר מכן נלקחו מידע לגבי פרויקטים של כל חברה מהדוחות הכספיים שלה במדגם נלקחו 72 פרויקטים מהם נוכו 20 שהתרחשו בארה"ב ועקב שונות גדולות מאוד הוחלט להחסיר אותם מהמדגם, המידע נלקח כדי לחשב את ה-NPV (ערך נוכחי נקי) ברמת הפרויקט.²⁰ לגבי כל פרויקט שנמצא בהקמה בחנו באיזה מדינה הוא מתבצע, מה כמות ה-MW המתוכנן בו, האם מדובר בפרויקט אנרגיית רוח או סולארי, מה העלות הכוללת הצפויה, ה-EBITDA (רווח תפעולי לפני פחת והפחתות) ומה אורך החיים של הפרויקט. חישוב ה-NPV בוצע ע"י היוון תזרים ה-EBITDA בהנחה שהוא נשאר זהה בכל שנה לאורך כל חי הפרויקט ובמידה ולא ננקב אורך חיים ההנחה היא שאורך החיים הוא 20 שנה לפי הנהוג בפרויקטים אלה. לאחר מכן הונח שהתזרים מתפלג אחיד לאורך השנה, ועלות הפרויקט מושקעת כולה ביום הראשון. לאחר מכן נרמלנו את ה-NPV של הפרויקט ל-MW יכולת ייצור שמצוין בדוחות הכספיים.

¹⁶ https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html

¹⁷ בוצע גם חישוב של ביטא לפי נתוני מסחר יומיים ב-5 השנים האחרונות אך עקב שונות יחסית גדולה, ומדגם יחסית קטן, הוחלט לגשת לאמת מידה מקובלת בתחום המימון שהם הנתונים הנ"ל. הנתונים בקובץ אקסל

https://docs.google.com/spreadsheets/d/10lgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=1316190902

¹⁸ https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/variable.htm

¹⁹ <https://www.investopedia.com/terms/w/wacc.asp#:~:text=WACC%20is%20calculated%20by%20multi,plying,together%20to%20determine%20the%20total.>

²⁰ נתונים בנוגע לפרויקטים נמצאים בגיליון חישוב תשואות -

https://docs.google.com/spreadsheets/d/10lgrEUvgrqnt58vLd_xibaT0smkhLQrE/edit?pli=1#gid=221354676

הונגריה	שבדיה	רומניה	דנמרק	ישראל	איטליה	יוון	ספרד	פולין	NPV Per MW (מליוני ש"ח/MW)
-	372	100	-	329	-	-	329	301	סכימת MW פרויקטי רוח
25	-	1,035	60	695	900	158	83	655	סכימת MW פרויקטי סולארי
הונגריה	שבדיה	רומניה	דנמרק	ישראל	איטליה	יוון	ספרד	פולין	סוג פרויקט / אזור
(0.15)		2.33	1.73	0.71	0.95	0.36	7.45	2.11	ממוצע NPV/MW סולארי
	0.86	2.18		0.39			2.57	10.04	ממוצע NPV/MW רוח
%203	%61	%187	%70	%100	%106	%98	%88	%159	יחס סיכון ביחס לישראל
(0.86)	(0.71)	1.62	1.02	-	0.24	(0.35)	6.74	1.40	NPV ביחס לישראל - סולארי
(0.42)	(1.17)	0.87	1.46	-	0.23	(0.36)	7.68	0.88	NPV ביחס לישראל בנרמול לסיכון - סולארי
0.01	-	0.29	0.02	0.19	0.25	0.04	0.02	0.18	משקולות
(0.00)		0.25	0.02		0.06	(0.02)	0.18	0.16	חישוב לממוצע משוקלל
(0.39)	0.47	1.79	(0.39)	-	(0.39)	(0.39)	2.18	9.65	NPV ביחס לישראל - רוח
(0.19)	0.77	0.96	(0.56)	-	(0.37)	(0.40)	2.49	6.07	NPV ביחס לישראל בנרמול לסיכון - רוח
-	0.26	0.07	-	0.23	-	-	0.23	0.21	משקולות
-	0.20	0.07	-	-	-	-	0.57	1.28	חישוב לממוצע משוקלל

סכמנו את הנתונים לפי מדינה, מצאנו מה התשואה העודפת ביחס לישראל, וביצענו נרמול לפי רמת הסיכון בוצע ע"י חילוק התשואה לאג"ח 10 שנים²¹ במדינה הרלוונטית ביחס לאג"ח 10 שנים במדינת ישראל.

לאחר מכן בחנו זאת כממוצע משוקלל בין המדינות לפי כמות הנתונים בפרויקטים. כאשר מדובר בפרויקט אנרגיה סולארית ההערכה הייתה שהנצילות היא 25%²² ולכן MW מותקן מייצר MWh^{2,146} בשנה.²³

באנרגיית רוח נלקחו נתונים על ממוצע רב שנתי של מהירות הרוח בישראל²⁴ מהשירות המטאורולוגי הכולל סה"כ 38 מיקומים. נלקחו המיקומים בהם מהירות הרוח היא מעל 4 מטר לשנייה מתוך הבנה שטורבינות רוח יותקנו רק במקומות הרלוונטיים. והממוצע באזורים אלה הוא 4.4. נלקחו נתונים לגבי

²¹ <http://www.worldgovernmentbonds.com/spread-historical-data/>

²² [https://www.freeingenergy.com/math/solar-pv-gwh-per-mw-power-energy-mwh-m147/#:~:text=1%20megawatt%20\(MW\)%20of%20solar%20panels%20will%20generate%20%2C146%20megawatt.of%20solar%20energy%20per%20year.](https://www.freeingenergy.com/math/solar-pv-gwh-per-mw-power-energy-mwh-m147/#:~:text=1%20megawatt%20(MW)%20of%20solar%20panels%20will%20generate%20%2C146%20megawatt.of%20solar%20energy%20per%20year.)

<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=39832>

²³ 365 (ימים) * 24 (שעות ביום) * 25% (נצילות מתקן אנרגיה סולארית) = 2,146

²⁴ <https://ims.gov.il/he/node/282>

כמה אנרגיה מיצור MW מותקן במהירות רוח ממוצעת של 5.5 מטר לשנייה²⁵, הנתונים נורמלו לרמת הרוח (מהירות רוח משפיעה בחזקה שלישית על כמות האנרגיה המיוצרת) בישראל והתוצאה היא ייצור של 938 MWh.

	רוח לפי ממוצע		סולארי לפי ממוצע
השקעה נדרשת בפרוייקט לMW	2.12	השקעה נדרשת בפרוייקט לMW (מליוני ש"ח)	0.65
מהירות רוח ממוצעת בישראל ב10 האתרים המובילים	4.4	ייצור של מתקן אנרגיה סולארית בשנה - MWh	2,146
ייצור של טורבינת רוח בשנה - MWh	938	שנה	20
כמות מיוצרת	18,760	כמות מיוצרת	42,924
שי"ח לKWh כדי שישתלם לחברות להגיע	0.113	שי"ח לkWh כדי שישתלם לחברות להגיע	0.015

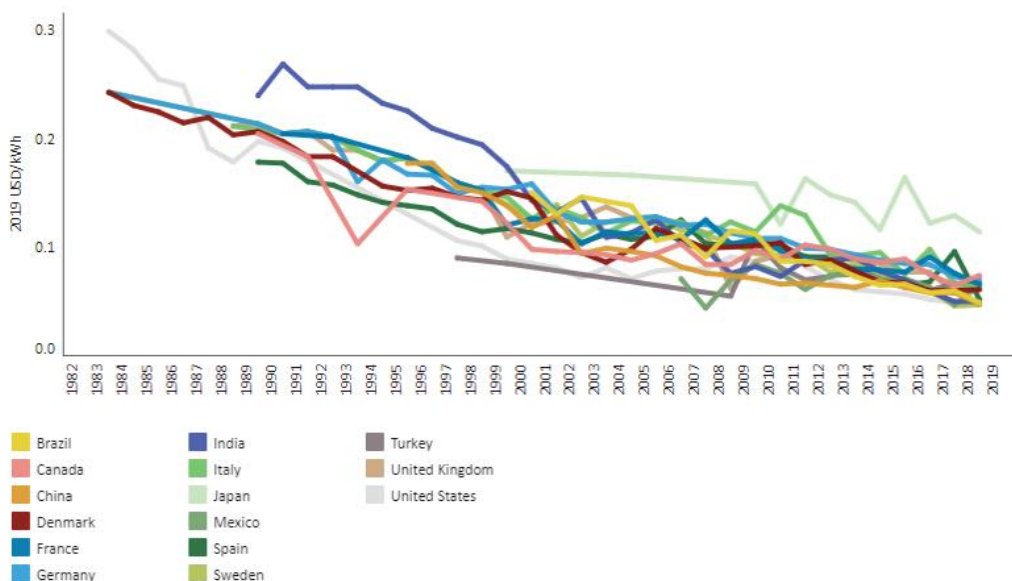
הנחנו שכל מגה וואט מותקן ייצר באופן קבוע לאורך 20 שנה, והגענו לכמות שיש לסבסד KWh של חשמל שמיוצר על מנת שחברות יהיו אדישות בין ביצוע פרויקט בישראל לבין אירופה אשר נסכם ל 0.015 ו- 0.113 שי"ח KWh חשמל שמיוצר מאנרגיה סולארית ורוח בהתאמה.

סכמנו את הנתונים כאשר התחשבנו בעודף העלות לייצור אנרגיה סולארית ורוח ביחס לאנרגיה מזהמת

שקלים	תועלת ממעבר לאנרגיית רוח לקוט"ש	שקלים	תועלת ממעבר לאנרגיה סולארית לקוט"ש
(0.309)	חיסכון ייצור רוח	(0.116)	חיסכון ייצור סולארי
(0.113)	השקעה נדרשת	(0.015)	השקעה נדרשת
(0.422)	רווח (הפסד) מייצור קוט"ש	(0.131)	רווח (הפסד) מייצור קוט"ש
0.509	חיסכון מעלות חיצונית	0.454	חיסכון מעלות חיצונית
0.09	סה"כ	0.32	סה"כ

²⁵ <https://www.renewablesfirst.co.uk/home/renewable-energy-technologies/windpower/windpower-learning-centre/how-much-energy-could-i-generate-from-a-wind-turbine/>

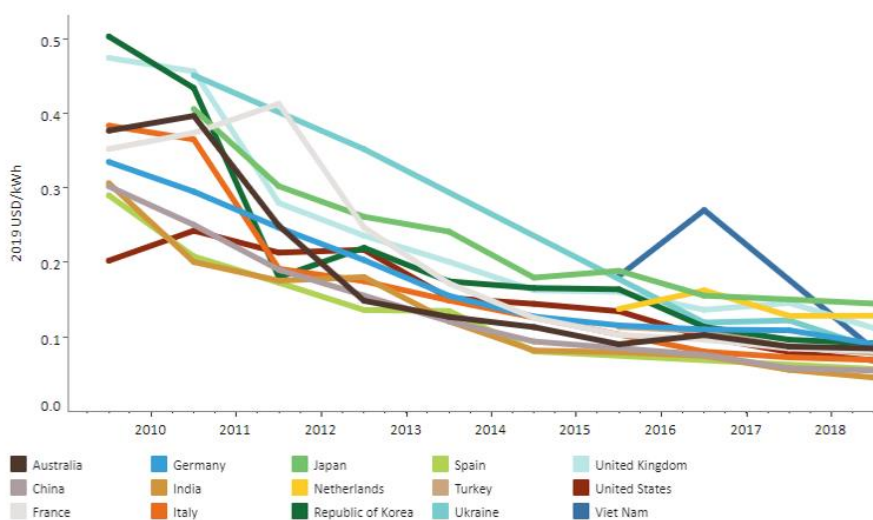
נספח 4 - הירידה בעלויות הייצור של אנרגיית רוח (1984 – 2019)



המקור: נתונים מ (International Renewable Energy Agency)IRENA

גרף המציג את מגמת הירידה בעלויות הייצור לקילו וואט של אנרגיית רוח לאורך השנים לפי מחירי 2019. ניתן לראות שהעלויות לא מפסיקות לרדת לאורך השנים וככל הנראה, ככל שהטכנולוגיה תשתפר והתשתית תהיה רחבה יותר העלויות ימשיכו לרדת.

נספח 5 – הירידה בעלויות הייצור של אנרגיה סולארית (2010 – 2019)



המקור: נתונים מ (International Renewable Energy Agency)IRENA

גרף המציג את מגמת הירידה בעלויות הייצור לקילו וואט של אנרגיה סולארית לאורך השנים לפי מחירי 2019. גם בגרף הנייל ניתן לראות שהעלויות לא מפסיקות לרדת לאורך השנים וככל הנראה, ככל שהטכנולוגיה תשתפר והתשתית תהיה רחבה יותר העלויות ימשיכו לרדת.