



באמצעות החלתו של מודל השלבים של המעבר לאנרגיה מתחדשת במדינות המזהות וצפון אפריקה על ישראל, מחקר זה מספק חזון שביכולתו לשמש הדרכה ולתמוך בפיתוח אסטרטגיה וניווט תהליך המעבר.



המעבר לקראת מערכת אנרגיה המבוססת על אנרגיה מתחדשת יכול להפחית את התלות ביבוא ולהגדיל את הביטחון האנרגטי של מדינת ישראל.



הנושאים המרכזיים שיש להתמודד עמם כדי לקדם את המעבר לאנרגיה מתחדשת בישראל הם הרחבת אפשרויות הגמישות, דיון בתפקיד הגז הטבעי בטווח הארוך, הגברת המעורבות והמודעות בציבור וחקירת תפקיד העתיד של חשמל X- במערכת האנרגיה.

שינוי אקלים, אנרגיה וסביבה

שינוי בר קיימה במערכת האנרגיה של ישראל

פיתוח מודל שלבים

סיבל רקל ארסוי, יוליה טרפון-פפאף,
טארק אבו חאמד, ג'וזף קדר
ספטמבר 2021

שינוי אקלים, אנרגיה וסביבה

שינוי בר קיימה במערכת האנרגיה של ישראל

פיתוח מודל שלבים

 Wuppertal
Institut



מכון הערבה

Arava Institute

معهد وادي عربة

תוכן עניינים

| | | |
|----|---|----------|
| 2 | הקדמה | 1 |
| 4 | המודל הקונספטואלי | 2 |
| 4 | הגרסאות המקוריות של מודל השלבים | 2.1 |
| 6 | נקודת מבט בת כמה רמות ושלושה שלבי מעבר | 2.2 |
| 6 | תוספות במודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה | 2.3 |
| 8 | מודל השלבים של אזור המזה"ת וצפון אפריקה | 3 |
| 8 | המאפיינים הייחודיים של אזור המזה"ת וצפון אפריקה | 3.1 |
| 9 | עיבוד הנחות המודל בהתאם למאפיינים של מדינות המזה"ת וצפון אפריקה | 3.2 |
| 9 | שלבי המעבר לאנרגיה מתחדשת במדינות המזה"ת וצפון אפריקה | 3.3 |
| 11 | החלת מודל השלבים על המקרה של ישראל | 3.4 |
| 11 | איסוף נתונים | 3.5 |
| 15 | יישום המודל על ישראל | 4 |
| 15 | סיווג השינוי במערכת האנרגיה בישראל על פי מודל השלבים | 4.1 |
| 36 | תחזית לשלבים הבאים של תהליך המעבר | 4.2 |
| 38 | מסקנות ותחזית | 5 |
| 39 | ביבליוגרפיה | |
| 44 | רשימת הטבלאות | |
| 44 | רשימת התרשימים | |

הקדמה

זוכה לתשומת לב באזור המזה"ת וצפון אפריקה. כדי להבטיח ביטחון אנרגטי בטווח הארוך ולממש את יעדי שינוי האקלים, מרבית מדינות המזרח התיכון וצפון אפריקה פיתחו תוכניות שאפתניות להרחבת ייצור האנרגיה המתחדשת בתחומן. הפוטנציאל הניכר לייצור אנרגיה מתחדשת שקיים באזור, ובייחוד של אנרגיית רוח ואנרגיה סולרית, מספקים הזדמנות לייצר חשמל ללא פליטת פחמן דו-חמצני ולתמוך בשגשוג כלכלי. אולם רוב המדינות האלה עדיין משתמשות בדלקים מאובנים כמקורות האנרגיה העיקריים, ובכמה מדינות בעלות אוכלוסייה צפופה התלות בדלקים מאובנים מציבה סיכונים בכל הנוגע לביטחון אנרגטי ולהוצאות ממשלתיות.

מעבר לקראת מערכת המבוססת על אנרגיה מתחדשת כולל יישום בקנה מידה רחב של טכנולוגיית אנרגיה מתחדשת, פיתוח תשתיות תומכות, החלת מסגרות רגולטוריות מתאימות ויצירת תעשיות ושוקים חדשים. אם כן, יש צורך קריטי בהבנה ברורה של יחסי התלות הסוציו-טכנית ההדדית במערכת האנרגיה והדינמיקה העיקרית של חדשנות מערכתית, ובחזון ברור של מטרת תהליך השינוי וכיוונו כדי לסייע בשינוי היסודי הרצוי (Weber and Rohracher, 2012). על כן חיזוק ההבנה של תהליכי שינוי יכול לתמוך בדיאלוג בונה על פיתוחים עתידיים של מערכות אנרגיה באזור המזה"ת וצפון אפריקה, ולאפשר לבעלי אינטרסים לפתח אסטרטגיות שינוי לקראת מערכת המבוססת על אנרגיה מתחדשת.

כדי לתמוך בהבנה זו פותח מודל שלבים לצורך מעבר לאנרגיה מתחדשת במדינות המזה"ת וצפון אפריקה. מודל זה מבנה את תהליך המעבר לאורך זמן דרך סדרה של שלבי מעבר. הוא מבוסס על מודל השלבים הגרמני ונוספו לו תובנות הקשורות לניהול המעבר ולמאפיינים של אזור המזה"ת וצפון אפריקה. השלבים מוגדרים על פי היסודות והתהליכים העיקריים המעצבים כל שלב ושלב, ובדגש על ההבדלים האיכותיים בין השלבים. המוקד של כל שלב הוא בפיתוח טכנולוגי. בה בעת, הוא כולל תובנות על התפתחויות בשווקים, בתשתיות ובחברה. תובנות משלימות מתחום חקר הקיימות מספקות תמיכה נוספת לפיקוח הממשלה על שינוי ארוך טווח במערכות האנרגיה, בד בבד עם השלבים. אם כן,

אזור המזרח התיכון (להלן: המזה"ת) וצפון אפריקה עומד בפני מגוון רחב של אתגרים, ובהם גידול אוכלוסייה מהיר, האטה בצמיחה הכלכלית, שיעורי אבטלה גבוהים ולחצים סביבתיים משמעותיים. אתגרים אלה מוחרפים עקב בעיות גלובליות ואזוריות, כגון שינוי האקלים. אזור המזה"ת וצפון אפריקה, שממילא פגיע מאוד בשל התנאים הגאוגרפיים והאקולוגיים הקיימים בו, יושפע אף יותר מההשלכות השליליות של שינוי האקלים בעתיד, ובפרט מגידול בצורת ובטמפרטורות באזור, שכבר סובל מאחת ממצוקות המים הקשות בעולם. אחוזים גבוהים של האוכלוסייה בו מרוכזים באזורי החוף, ולפיכך גם אנשיו יהיו פגיעים יותר למחסור במים, לסופות, לשיטפונות ולעלייה בטמפרטורות. במגזר החקלאי שינוי האקלים צפוי להוביל לרמות תפוקה נמוכות, בשעה שהביקוש למזון יגדל עקב גידול באוכלוסייה ושינויים בדפוסי הצריכה. יתר על כן, סכנת הנזק לתשתיות חיוניות הולכת וגדלה, וההוצאה על תיקון תשתיות והקמת תשתיות חדשות מכביד את העול על המשאבים הכלכליים הדלים בין כה וכה. אסור להתעלם מאתגרים מרובי רבדים אלה, העולים מקשרי הגומלין עם היבטים כלכליים, חברתיים ואקלימיים, שכן הם מציבים סכנות חמורות לשגשוג ולפיתוח הכלכלי והחברתי – ובסופו של דבר לציבותו של האזור.

רבים מהאתגרים האלה טומנים בחובם סוגיות מתחום האנרגיה. האזור מתאפיין בתלות גבוהה בנפט ובגז טבעי לסיפוק צורכי האנרגיה שלו. אף שהאזור ממלא תפקיד מרכזי בייצור אנרגיה, מדינות רבות במזה"ת ובצפון אפריקה מתקשות לספק את הגידול בביקוש המקומי לאנרגיה. המעבר למערכות המבוססות על אנרגיה מתחדשת הוא דרך מבטיחה לספק את העלייה בביקוש, ותוך כדי כך לסייע בהפחתה של פליטת גזי חממה בהתאם להסכם פריז. כמו כן לשימוש באנרגיה מתחדשת יש פוטנציאל להגדיל את הצמיחה הכלכלית ואת שיעורי התעסוקה המקומיים, ולהפחית את המגבלות הפיסקליות.

בהתאם לכך ועל רקע הצמיחה המואצת בביקוש לאנרגיה עקב גידול אוכלוסייה, שינויים בהתנהגות צרכנים, גידול בתהליכי עיור וגורמים אחרים – ובכללם תיעוש, התפלת מים והשימוש הגובר בחשמל למטרות קירור – אנרגיה מתחדשת

מודל השלבים מספק מבט כללי על תהליך מעבר מורכב ומסייע בפיתוח הראשוני של אסטרטגיות מדיניות ואמצעי מדיניות על פי צורכי השלבים השונים, ואלה משולבים ביצירת החזון הכולל המוביל.

במחקר זה מודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה מיושם על חקר המקרה של ישראל. מתבצעת בו הערכת מצב ההתפתחות הנוכחי בישראל וניתוחו אל מול מודל השלבים. התנהלו ראיונות עם מומחים כדי לספק הבנה מדויקת של מרכיבי המודל שהוגדר עד כה באופן מופשט. בהתאם לכך מוצעים צעדים נוספים במעבר לאנרגיה מתחדשת – על סמך הצעדים המופיעים במודל השלבים. יישום זה מבוסס על ממצאים ממחקרים ומפרויקטים קודמים שנערכו באזור, והשותף המקומי, מכון הערבה ללימודי הסביבה, אסף נתונים ספציפיים למקרה של ישראל לטובת המחקר.

המודל הקונספטואלי

2.1 הגרסאות המקוריות של מודל השלבים

יציבים) מוכרחה להיות מאוזנת כדי לשמור על יציבות רשת החשמל.

לפיכך יש לסנכרן בין הפקת חשמל לביקוש לחשמל, או ליישם אפשרויות לאגירתו. אולם אחסון חשמל הוא דבר מאתגר לרוב המדינות, והפוטנציאל שלו עדיין מוגבל עקב תנאים גאוגרפיים. בהתאם לכך, תערובת של אפשרויות נמישות שתתאים את האספקה הלא-סדירה מתחנות כוח של אנרגיית רוח ואנרגיה סולרית לביקוש לחשמל היא יעד שאפשר למלא באמצעות הרחבת רשת החשמל, הגדלת הנמישות של ייצור חשמל שיורי מבוסס דלקים מאובנים, אגירה או ניהול צד הביקוש. יתר על כן, הפיתוח של טכנולוגיות מידע ותקשורת יכול לתמוך בניהול הנמישות. אפשר לחבר בין ענפים שונים באמצעות השימוש בחשמל לדלק/חשמל לגז. הדבר כרוך בהתאמה של רגולציה ותשתיות, ובסיוע לעיצוב שוק חדש. בשל ביקוש החשמל הגבוה פי ארבעה או חמישה במערכת אנרגיה מתחדשת המבוססת על פליטת פחמן מצומצמת, שיפור יעילות האנרגיה הוא תנאי מקדים לשינוי מוצלח. הציות לעקרונות "יעילות אנרגטית תחילה" פירושו התייחסות ליעילות אנרגטית כמרכיב קריטי בתשתיות אנרגיה עתידיות, ולפיכך שקילתו בצד אפשרויות אחרות כגון אנרגיה מתחדשת, הבטחת אספקה וחיבור הדדי בין התשתיות (European Commission DG Energy, 2019).

מודל השלבים משרטט את מרכיבי התלות ההדדית הסוציו-טכנית של הפיתוחים שתוארו עד כה, אשר בנויים זה על גבי זה בסדר כרונולוגי. ארבעת השלבים הם מכריעים להשגת מערכת המבוססת במלואה על אנרגיה מתחדשת. בשלב הראשון מפתחים טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת ומכניסים אותן לשימוש בשוק. הפחתת ההוצאות נעשית באמצעות תוכניות מחקר ופיתוח (מיו"פ) ומדיניות לעידוד חדירה לשוק. בשלב השני נעשה שימוש באמצעים המוקדשים לשילוב אנרגיית חשמל מתחדשת במערכת האנרגיה, כולל נמישות של ייצור חשמל שיורי המבוסס על מאובנים, פיתוח ושילוב של אגירה וניצול נמישות בצד הביקוש. בשלב השלישי, כדי להוסיף ולהגדיל את אחוזי השימוש במקורות אנרגיה מתחדשים, חיוני ליישם אגירה לטווח ארוך של אנרגיית

מודל השלבים למעבר למערכות אנרגיה דלות פחמן המבוססות על אנרגיה מתחדשת במדינות המזהות וצפון אפריקה פותח על ידי פישדיק ואחרים (Fischedick et al., 2020), ונבנה על סמך מודל השלבים לשינוי מערכות האנרגיה בגרמניה של פישדיק ואחרים (Fischedick et al., 2014) והנינג ואחרים (Henning et al., 2015). הנינג ואחרים פיתחו מודל של ארבעה שלבים למעבר של מערכת האנרגיה בגרמניה למערכת נטולת פחמן ומבוססת על אנרגיות מתחדשות. ארבעת השלבים המודל מותאמים להנחות המרכזיות שהוסקו על פי מאפייני היסוד של מקורות האנרגיה המתחדשת, וסומנו כך: "יוצאים לדרך: אנרגיה מתחדשת", "שילוב מערכות", "חשמל לדלק/גז" ו"לקראת 100% אנרגיה מתחדשת".

מחקרים על תרחישי אנרגיה חוזים שבעתיד רוב המדינות, כולל אלה שבאזור המזהות וצפון אפריקה, יפיקו חשמל בעיקר מאנרגיית רוח ואנרגיה סולרית. הצפי הוא שמקורות אחרים, כגון ביומסה והידרו-אנרגיה, יהיו מוגבלים עקב שימור טבע, היעדר זמינות ותחרות עם שימושים אחרים (BP, IEA, 2017; 2018). לכן אחת מהנחות הבסיס של המודל היא גידול ניכר באנרגיית רוח ובאנרגיה סולרית בתערובת האנרגיה. הגידול כולל את השימוש הישיר בחשמל במגזרים צרכני-קצה שכרנע נסמכים בעיקר על דלקים מאובנים ועל גז טבעי. הנעה ששמלית בענף התחבורה ומשאבות חום בענף הבנייה צפויות למלא תפקיד מכריע. הענפים שקיים בהם קושי טכנולוגי להפחית את השימוש בפחמן דו-חמצני כוללים תעופה, ימאות ורכבים כבדים וחום בטמפרטורות גבוהות לצורכי תעשייה. בענפים אלה דלקי מימן או דלקים סינתטיים מבוססי מימן וגזים (חשמל לדלק/חשמל לגז) יכולים להחליף דלקים מאובנים וגז טבעי. אפשר להשיג את המימן הדרוש מאנרגיית חשמל מתחדשת דרך אלקטרוליזה. יש לשים דגש ברור על התאמת תשתיות החשמל, שכן הזנת אנרגיית החשמל וחילוצה (בייחוד ממקורות מתחדשים בלתי

1. מבוסס על Holtz et al., 2018.

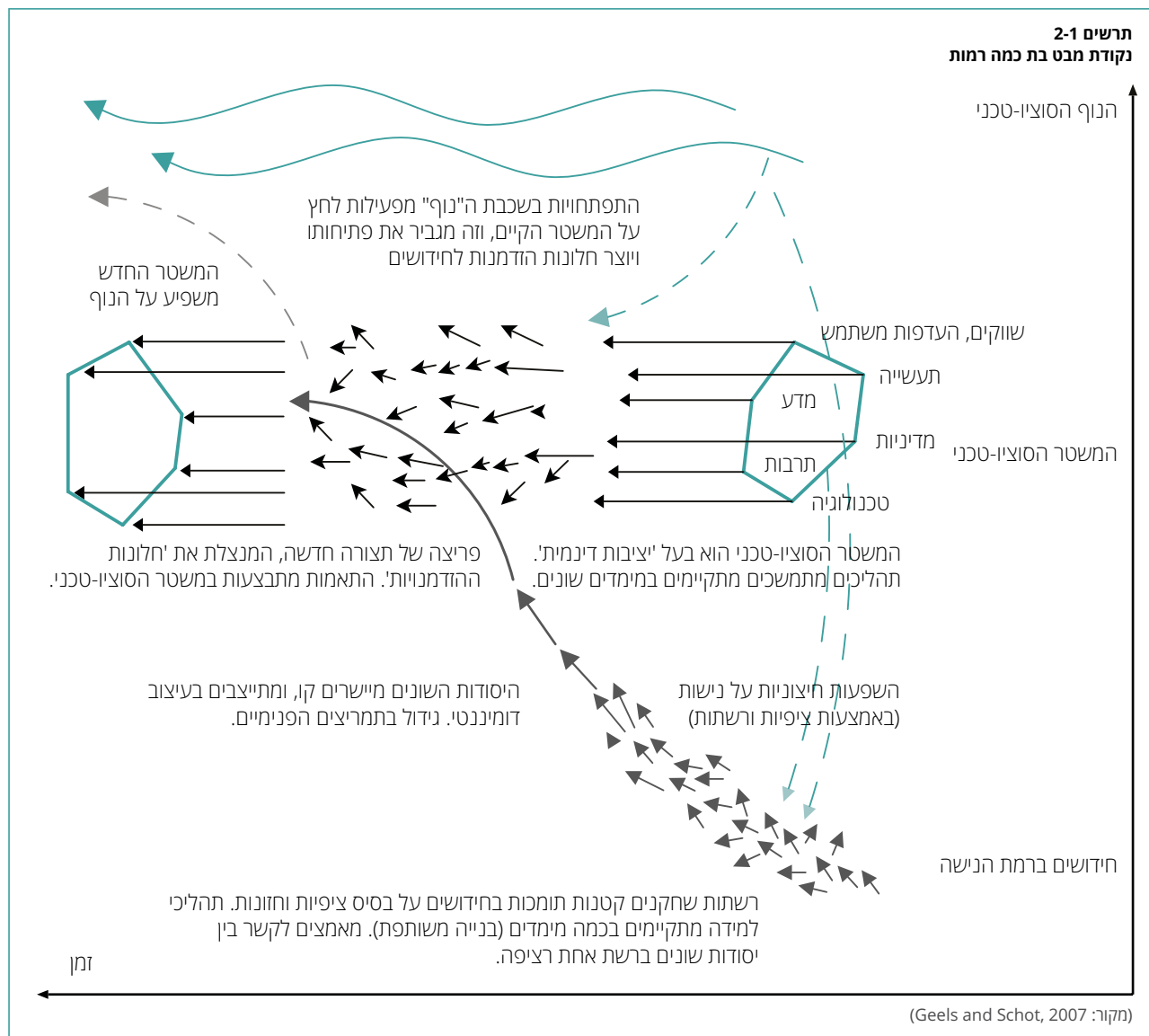
שחקנים ותהליכים רבים יוצרת דרגה גבוהה של תלות הדדית ואי-ודאות בנוגע להתפתחויות הטכנולוגיות, הכלכליות והסוציו-תרבותיות. בשל קשרי הגומלין בין תהליכים וממדים, מחקר מעבר בדרך כלל מיישם גישות אינטר-דיסציפלינריות. נקודת מבט בת כמה רמות (MLP) היא מסגרת חשובה המסייעת בהמחשה של דינמיקות מעבר ומספקת בסיס לפיתוח אמצעי ממשל (תרשים 2-1).

ברמת ה"הסביבה", מגמות בולטות כגון שינויים דמוגרפיים, שינוי אקלים, משבריים כלכליים וכו' משפיעות על רמת ה"משטר" ועל ה"נישה", ואילו שכבת ה"משטר" כוללת את המערכת הסוציו-טכנית ששולטת בענף הרלוונטי. במחקר זה ה"משטר" הוא ענף האנרגיה. ה"משטר" מורכב מהטכנולוגיות הקיימות, מהרגולציות, מדפוסי השימוש, מהתשתיות ומהשיח התרבותי שמשלבים לכדי מערכות סוציו-טכניות. כדי להגיע לשינוי מערכתי ברמת ה"משטר" ולהימנע מקיפאון (Lock-in) ומתלות מסלול (Path dependencies), חידושים ברמת ה"נישה" מתבצעים בהדרגה משום שהם מספקים את הבסיס לשינוי מערכתי.

חשמל מתחדשת כדי לאזן תקופות שבהן ההיצע עולה על הביקוש. השימושים בחשמל לדלק ובחשמל לגז נהפכים בשלב זה לחלק אינטגרלי במערכת האנרגיה, וחלה עלייה בחשיבות היבוא של אנרגיה ממקורות מתחדשים. בשלב הרביעי אנרגיה מתחדשת מחליפה לחלוטין דלקים מאובנים בכל המגזרים. כל השלבים צריכים להתחבר זה לזה באופן חלק, לשם השגת המטרה של מערכת אנרגיה המבוססת על 100% אנרגיה מתחדשת. לתיאור השינויים ארוכי הטווח במערכות אנרגיה שאמורים לחול על פי ארבעת השלבים, נוספו למודל תובנות ממחקר מעבר לקיימות הנוגעות לדינמיקה של שינוי ארוך טווח בתת-מערכות חברתיות דוגמת מערכת האנרגיה.

2.2 נקודת מבט בת כמה רמות ושלושה שלבי מעבר

אי אפשר לנווט מעברים בתחום האנרגיה במלואם, וגם לא לצפות אותם או לשלוט בהם לחלוטין. המעורבות של



בשלב ה"פריצה" את החידוש ברמת הנישה מפיצים השחקנים המעורבים, נתח שוק ושכפול במקומות אחרים. בשלב זה יש רלוונטיות ליחסי מחיר-ביצוע משופרים, ונדרשת גישה חופשית לתשתיות ולשוקים הכרחיים. שינוי בתקנות ובחקיקה וכן הגדלת המודעות בקרב החברה מסייעים בהפחתת המכשולים בדרך ליישום. כשהחידוש ברמת הנישה מגיע לרמת מחירים תחרותית לגמרי, וכבר אין צורך במנגנוני מדיניות תומכים, נראה ששלב ה"צמיחה מבוססת שוק" הושלם בהצלחה. בשלב זה טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת כבר שולבו במערכת באופן מלא.

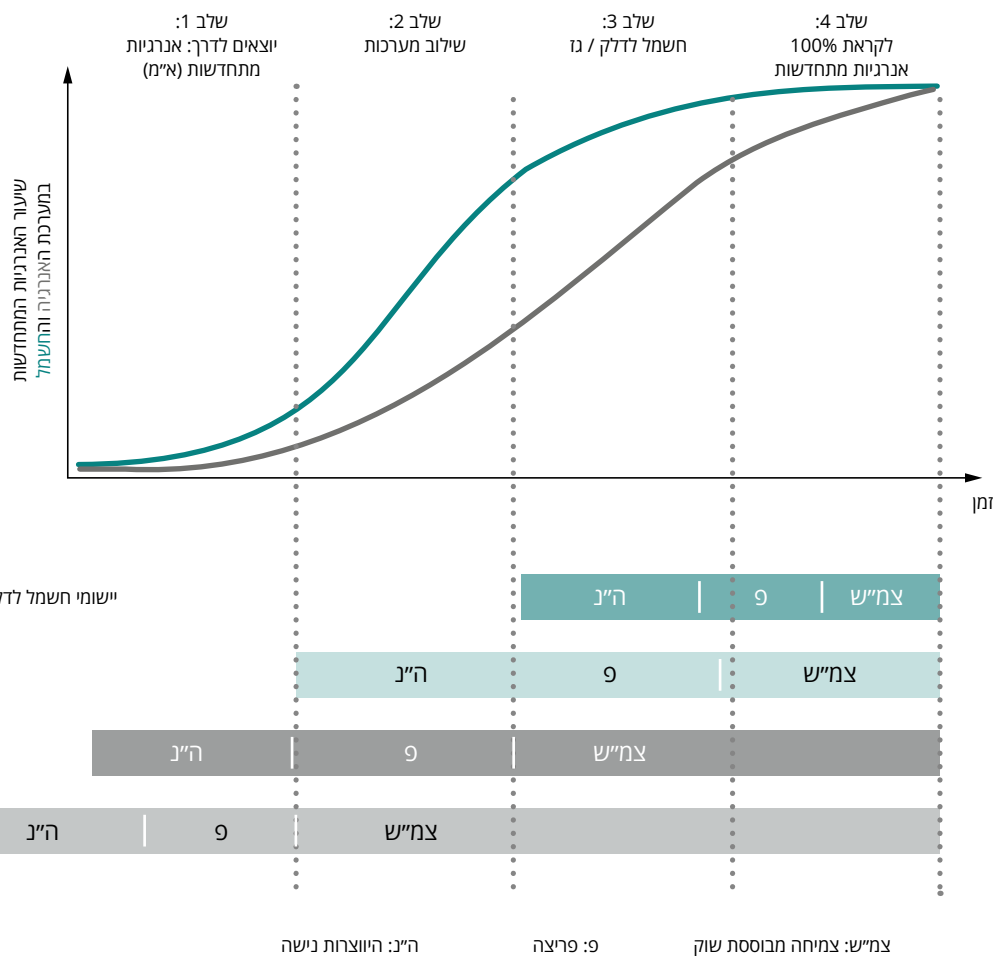
2.3 תוספות במודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה

בהתבסס על ההנחה שמודל השלבים של המעבר לאנרגיה מתחדשת בגרמניה, שפותח על ידי פישדיק ואחרים (2014) והנינג ואחרים (2015), רלוונטי גם למדינות המזה"ת וצפון אפריקה, ארבעת שלבי המעבר עומדים בעינם. "שכבת המערכת", שאומצה מתוך מודל השלבים המקורי, מספקת

נישות מתפתחות במרחבים מוגנים כמו מעבדות מו"פ, וצוברות תאוצה כאשר חזונות וציפיות מתקבלים בתמיכה רחבה. לפיכך, מבנים של רשתות שחקנים שבאפשרותם להפיץ ידע ולשנות ערכים חברתיים הם בעלי חשיבות מכרעת לתהליך המעבר (Geels, 2012). ניהול השינויים בידי הממשל דורש התנסות ולמידה, פיקוח מתמשך, רפלקסיביות, כושר הסתגלות ותיאום מדיניות בין מגוון רמות וענפים (Hoogma et al., 2005; Loorbach, 2007; Voß et al., 2009; Weber and Rohracher, 2012). פיתוח הנישות במסגרת של "ניהול נישות אסטרטגי" הוא תנאי מקדים הכרחי לשינוי יסודי. בתוך תהליכי השינוי אפשר להבחין בין שלושה שלבים עם נישות מדיניות הקשורות בהם: "יצירת נישה", "פריצה" ו"צמיחה מבוססת שוק". בשלב "יצירת הנישה", נישה מתפתחת ומתבגרת ועשויה להציע פתרונות שה"משטר" יוכל לקבל. בשלב זה יש חשיבות גדולה לציפיות ולחזונות שביכולתם לכוון תהליכי למידה. כמו כן מעורבות של שחקנים ורשתות חברתיות יכולה לתמוך ביצירת שרשרות הערכים ההכרחיות, ותהליכי למידה ברמות שונות יכולים לקדם את הטכנולוגיה.

תרשים 2-2

מודל שלבי המעבר לאזור המזה"ת וצפון אפריקה



(מקור: Holtz et al., 2018)

יעדים ברורים להתפתחות המערכת בצורה של הנחיות מכוונות למקבלי החלטות. מאחר שתהליכי היווצרות של נישות נחוצים להרחבה מוצלחת של חידושים נישתיים, נוספה רמת "נישה" למודל השלבים המקורי של פישדיק ואחרים (2020). לכל שלב זוהה מקבץ מסוים של חידושים: טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת (שלב ראשון), אפשרויות גמישות (שלב שני), טכנולוגיות חשמל לגז/דלק (שלב שלישי) וענפים כמו תעשייה כבדה או תעופה שיש קושי לצמצם בהם את פליטות הפחמן (שלב רביעי). בשלב הפריצה כל מקבץ חידושים תלוי בתהליך היווצרות הנישה שבשלב הקודם. לפיכך אמצעי ממשל מסוימים תומכים בתהליכי הפריצה וההרחבה בשלב הנוכחי. בשלבים מתקדמים יותר מקבצי החידושים ממשיכים להתפרש דרך צמיחה מבוססת שוק (Fischedick et al., 2020). בשל כך, "שכבת הנישה" מחזקת את הדגש על התהליכים שמוכרחים להתקיים לשם השגת מטרות המערכת.

השינוי בפרישת הטכנולוגיות על פני שווקים מתוארת ב"שכבה הטכנו-כלכלית", ואילו שלבי הממשל מוגדרים בתוך "שכבת הממשל". מטרת השכבה הזאת היא לחבר בין התפתחויות ברמה הטכנו-כלכלית למדיניות הממשלה בנושא תמיכה בשלבי המעבר, וכאן נכללים גם אמצעים הממוקדים היטב בפיתוח מערכת אנרגיה המבוססת על אנרגיה מתחדשת. למודל השלבים נוספו גורמים כמו כושר ייצור, תשתיות, שווקים וערעור המשטר הקיים, המבוסס על דלקים מאובנים. עם זאת, היבטים אלה משמשים אמצעי רפלקסיה בנוגע לממשל, ויש להעריך כל אחד מהם בנפרד בהתאם לכל אחת ממדינות המזהות וצפון אפריקה.

מחקר זה מתמקד בשכבת ה"נוף" ובתפקידה בהפעלת לחץ על משטרים קיימים ובפתיחת הזדמנויות לשינוי מערכת. שאלות הנוגעות להשפעת מסגרות בינלאומיות על שינוי האקלים, על סכסוכים גלובליים ומקומיים ולהשפעות לטווח ארוך של מגפת הקורונה על תהליכי המעבר נידונות במקרי בוחן של מדינות שונות. כמו כן בצד ההתמקדות בצורך לשפר את היעילות האנרגטית תוך כדי כל אחד מן השלבים, נוסף למודל ההיבט הגדול יותר של יעילות משאבים, המניח את ההפחתה המתמשכת של עצימות החומר דרך אמצעי התייעלות ועקרונות של כלכלה מעגלית.

מודל השלבים של אזור המזה"ת וצפון אפריקה

3.1 המאפיינים הייחודיים של אזור המזה"ת וצפון אפריקה

בידוד באיכות נמוכה בבניינים, חוסר יעילות טכנית של טכנולוגיות קירור וחימום ושל תשתיות חלוקה. שיעור הפסדי ההספק החשמלי הוא בין 11% ל-15% במדינות הציבות במזה"ת וצפון אפריקה, לעומת 4% בגרמניה (The World Bank, 2019).

מצד אחר, אזור המזה"ת וצפון אפריקה נהנה ממשאבים גדולים של אנרגיה מתחדשת. ועם זאת, חלק גדול מהפוטנציאל הכלכלי שבאנרגיה מתחדשת אינו מנוצל. אם מדינות האזור ינצלו את אותו הפוטנציאל, מרביתן יוכלו לקיים את עצמן מבחינה אנרגטית, ובשלב מאוחר יותר להיהפך ליצואניות של אנרגיה המבוססת על מקורות מתחדשים. ככל שיבוא אנרגיה ומימן ייהפך לעמוד תווך באסטרטגיית האנרגיה של אירופה (European Commission, 2020), יוכלו מדינות המזה"ת וצפון אפריקה – בעתיד – ליהנות משווקים צומחים של דלק סינתטי ולהפיק רווח מיצוא אנרגיה למדינות קרובות באירופה. מבחינה זו, כמה ממדינות המזה"ת וצפון אפריקה שקיימות בהן תשתיות נפט וגז יוכלו להשתמש בניסיוןן בהתמודדות עם גז ועם דלק נוזלי. השימוש בטכנולוגיות חשמל ל-X יוכל לתמוך במעבר חלק של יצואניות אנרגיה מאזור המזה"ת וצפון אפריקה משלב הדלקים המאובנים אל מערכת המבוססת על אנרגיה מתחדשת. אולם כדי להשיג יעד זה, יש להשביח את תשתיות החלוקה והאגירה הרחבות. מדינות אחרות באזור יוכלו לנצל את פוטנציאל האנרגיה המתחדשת שלהן בשלב מעבר מאוחר יותר ליצוא מוצרי חשמל ל-X, ובכך לפתוח הזדמנויות כלכליות חדשות.

עוד הבדל הוא שלעומת גרמניה, שבה רשת החשמל מפותחת לגמרי, למרבית מדינות המזה"ת וצפון אפריקה יש רשתות שזקוקות להרחבה ולפיתוח מקומיים ולחיבורן בין מדינות. החיבורים הפיזיים קיימים, אך בעיקר באשכולות אזוריים (The World Bank, 2013). באזור זה חסרה אפוא המסגרת הנחוצה למסחר בחשמל. כמו כן יהיה צורך לפתח קודי רשת טכניים כדי לשלב אנרגיה מתחדשת ולאן את חוסר הציבות שלה. נוסף על כך, מאחר שקיימים מעט סטנדרטים לאנרגיה סולרית ולאנרגיית רוח, יהיה צורך להטיל רגולציה ברורה כדי לאפשר גישה לרשת החשמל.

מודל השלבים המקורי פותח עבור ההקשר של גרמניה, כלומר הונחו בו הנחות מסוימות. מאחר שהמזה"ת וצפון אפריקה הוא אזור שונה, הנחות היסוד של מודל השלבים עברו עיבוד בהתאם למאפיינים של המדינות הכלולות בו. פישדיק ואחרים (2020) שרטטו את ההבדלים ותיארו את ההתאמות של מודל השלבים לאזור המזה"ת וצפון אפריקה, ועיבוד זה משמש נקודת פתיחה למעבר למודל המותאם לכל מדינה בנפרד.

אחד ההבדלים הוא סטטוס האנרגיה הנוכחי באזור המזה"ת וצפון אפריקה, המשתנה ממדינה למדינה. כמה מדינות, כגון אלג'יריה ועיראק, עשירות במשאבים המשמשים להפקת דלקים מאובנים. מדינות אחרות, כגון מרוקו, תוניסיה וירדן, מתאפיינות בתלות גבוהה באנרגיה מיובאת. נוסף על כך, מחירי אנרגיה מסובסדים ושוקי אנרגיה לא-ליברליים מציבים אתגרים נוספים למעבר לאנרגיה מתחדשת במדינות רבות באזור.

הבדל יסודי אחר מההקשר של גרמניה הוא מגמת הגידול בביקוש לאנרגיה במדינות המזה"ת וצפון אפריקה. לפי BP (2019), עד שנת 2040 יחווה המזה"ת גידול שנתי בביקוש לאנרגיה בשיעור של כ-2%. מגזרי החשמל, התחבורה, התעשייה ומגזרים אחרים שאינם מבוססי שרפת דלקים אחראים בעיקר לגידול הרב בצריכת האנרגיה הסופית. גורם אחר שתורם לכך הוא הגידול באוכלוסייה, ששיעורו צפוי להמשיך לעלות. נוסף על כך, תעשיות בעלות אינטנסיביות אנרגטית, כולל תעשיות הפלדה, המלט ותעשיות הכימיקלים, אחראיות לחלק ניכר בביקוש לאנרגיה. הגידול בביקוש לאנרגיה חל גם עקב הגידול בהתפלת מי ים במרבית מדינות המזה"ת וצפון אפריקה: הביקוש לחשמל עבור התפלת מי ים צפוי לגדול פי שלושה עד שנת 2030, בהשוואה לביקוש שתועד באזור בשנת 2007 (IEA-ETSAP, 2012 and IRENA). נוסף על כך, ברבות ממדינות המזה"ת וצפון אפריקה נמדדת עצימות האנרגיה בשיעור גבוה עקב

המזה"ת וצפון אפריקה אפשר יהיה לספק באמצעות אנרגיות על בסיס מקורות מתחדשים ומובילי אנרגיה כמו דלקים וזנים סינתטיים. לעומת גרמניה, שבה היבוא ממלא תפקיד גדול בשלבים המאוחרים (ובייחוד בשלב השלישי), במדינות המזה"ת וצפון אפריקה אפשר לייצא עודפי אנרגיה ולפתוח הזדמנויות כלכליות בשלב הרביעי. הגידול בתחרותיות בתחום האנרגיה המתחדשת פותח את האפשרות להאיץ את היווצרות הנישות בכל שלבי המעבר. עם זאת, יהיה צורך לשלב תהליכי היווצרות נישות בתוך האסטרטגיות המקומיות. וכן צורך בהקמת מוסדות לתמיכה בהתפתחויות נישה ובהתאמתם להקשר המקומי בכל מדינה ומדינה.

3.3 שלבי המעבר לאנרגיה מתחדשת במדינות המזה"ת וצפון אפריקה

מכון וופרטל פיתח את מודל השלבים למדינות המזה"ת וצפון אפריקה בהתבסס על מודל השלבים הגרמני והניסיון שנצבר בפרויקט "פיתוח מודל שלבים לסיווג ותמיכה בשינוי בר קיימה של מערכות אנרגיה באזור המזה"ת וצפון אפריקה", שנתמך בידי קרן פרידריך אברט (Holtz et al., 2018, Fischedick et al., 2020). השלבים שעוצבו לאזור המזה"ת וצפון אפריקה מוצגים בפירוט בכל היבטיהם, המבוססים על היצע, על ביקוש, על תשתיות, על שווקים ועל חברה. הפרספקטיבה הרב-ממדית של מחקר המעבר משתקף בשכבות אלה, ומבליט את הקשר ההדדי בין אותם הממדים תוך כדי שלבי המעבר. תרשים 3-1 מסכם את ההתפתחויות העיקריות בשכבות ה"טכנו-כלכליות" ובשכבת ה"ממשל", וכן ברמות ה"נוף", ה"מערכת" וה"נישה" לאורך ארבעת השלבים.

היקפי היצע החשמל המיוצר מאנרגיה מתחדשת הורחבו לאורך השלבים כדי לספק את הגידול בביקוש לאנרגיה בכל המגזרים. הצורך להגדיל את היעילות האנרגטית בכל השלבים הוא הנחה קריטית. ההתפתחויות בשלבים השלישי והרביעי תלויות בהתפתחויות טכנולוגיות, פוליטיות וחברתיות, ולפיכך כרוכות באי-ודאות גדולה מנקודת המבט העכשווית.

נערך ניתוח מפורט יותר של השפעת רמת ה"סביבה". ההנחה היא שגורמים אלה ישפיעו על כל השלבים: (1) מסגרות בינלאומיות לעיסוק בשינוי האקלים; (2) מאמצים של מדינות מתועשות להגיע לניטרליות פחמנית, כולל תוכניות הבראה ירוקות לאחר מגפת הקורונה; (3) סכסוכים גלובליים ואזוריים (בעלי השפעה על המסחר); (4) השפעות ארוכות טווח של מגפת הקורונה על הכלכלה העולמית; (5) תנאים גאוגרפיים וחלוקת משאבים טבעיים; וכן (6) התפתחות דמוגרפית.

מדינות המזה"ת וצפון אפריקה יפיקו יתרון ניכר מחידושים עולמיים בטכנולוגיות אנרגיה מתחדשת. הניסיון הגלובלי בפרישת טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת מוסיף לעקומת הלמידה, וכבר התבטא בצמצום עלויות. לאור זאת, עלויות של פאנלים סולריים צנחו בכ-80% מאז 2010, ומחירי טורבינות רוח ירדו בשיעור של בין 30%-ל-40% מאז 2009 (IRENA, 2019). לעומת מודל השלבים בהקשר הגרמני, המניח כי טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת צריכות זמן להבשיל, מודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה יכול לכלול צמצום בעלויות. כמו כן כבר קיימת רשת רחבה של חברות המתמחות בתחום של טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת.

מערכות האנרגיה באזור המזה"ת וצפון אפריקה נמצאות בשלב הפיתוח; אנרגיות מתחדשות הן תחום מושך לא רק במובני קיימות אלא גם במובנים של ביטחון אנרגטי. יתר על כן, יש להן הפוטנציאל להניע שגשוג כלכלי. עם זאת, תעשיות מתפתחות בתחום האנרגיה המתחדשת עדין חלשות בגלל היעדר מסגרת תומכת לזימות ולחדשנות טכנולוגית. לעומת גרמניה, שבה שחקנים בשוק הפרטי ממלאים תפקיד חשוב בתחנות כוח של אנרגיה סולרית ואנרגיית רוח בקנה מידה קטן, באזור המזה"ת וצפון אפריקה חברות בבעלות ממשלתית הן גורם מרכזי בפרויקטים בקנה מידה גדול. ניצול ההון הוא גורם משמעותי נוסף שידרוש אסטרטגיות מיוחדות.

3.2 עיבוד הנחות המודל בהתאם למאפיינים של מדינות המזה"ת וצפון אפריקה

ההבדל בין ההנחות במודל השלבים המקורי ובין מאפייני אזור המזה"ת וצפון אפריקה מתבטא בהתאמות ספציפיות בשלבי המודל המקורי. בהתבסס על פישדיק ואחרים (2020), נערכו שינויים במודל המקורי בארבעת השלבים ובתיאורם על ציר הזמן. כמו כן התיאור של "שכבת המערכת" מקבל השלמה באמצעות דגש על אי-יציבות המשטר ו"שכבת הנישה" מובלטת בכל שלב כהכנה לשלב הבא אחריה.

בשלבים הראשון והשני היקף השימוש באנרגיה מתחדשת גדל במידה ניכרת בלי לחתור תחת התעשיות הקיימות המספקות דלק מאובנים וזו טבעי, כדי לספק את הגידול בביקוש הכללי לאנרגיה. רשת החשמל במדינות המזה"ת וצפון אפריקה מוגבלת ביכולתה להתמודד עם שיעורים גבוהים של אנרגיה מתחדשת, והתוצאה היא יתר דגש על השבחת הרשת והרחבתה בשלב הראשון. כמו כן השלב השני צריך להתחיל מוקדם יותר מבמקרה של גרמניה, ובמדינות מסוימות הפיתוח עשוי לכלול התמקדות יתרה בפתרונות ליישומים מחוץ לרשת החשמל וברשתות קטנות ומבודדות. את הגידול בביקוש המקומי לאנרגיה במדינות

שלב ראשון - "יוצאים לדרך: אנרגיות מתחדשות (א"מ)"

החשמל מותאם להתמודדות עם אפשרויות אלה. תשתית טכנולוגיית המידע והתקשורת משולבת באופן מלא עם מערכת האנרגיה (דיגיטליזציה). נערך יישור קו של תקנות בענפי החשמל, התחבורה והחימום כדי להכשיר קרקע שווה למובילי אנרגיה שונים ברמה הפוליטית. המעבר לאנרגיית חשמל ביישומים בענפי התחבורה, התעשייה והחימום מוסיף לגמישות המערכת.

יישומי חשמל לדלק/גז מפותחים ברמת ה"נישה" כדי להכין את המערכת לפריצה בשלב השלישי. מיזמי פיילוט בודקים את יישומם של דלקים וגזים סינתטיים בתנאים המקומיים. מימן ירוק צפוי להחליף דלקים מאובנים בענפים כמו ייצור כימיקלים. בטווח הקצר עד בינוני סביר להפיק פחמן דו-חמצני מלכידת פחמן בתעשיות שדורשות אנרגיה רבה, אך בטווח הארוך הדגש הוא על לכידת פחמן ישירה מהאוויר או מביו-אנרגיה לשם הבטחת ניטרליות פחמנית. רשתות של שחקנים מייצרות ומשתפות ידע וכישורים בתחום חשמל לדלק/גז. בהתבסס על הערכת הפוטנציאל למסלולי המרה שונים של חשמל לדלק/גז, מפתחים אסטרטגיות ותוכניות לפיתוח תשתיות וחוקרים מודלים עסקיים.

רשת המים-אנרגיה זוכה לתשומת לב הולמת במסגרת נישות משולבות, בעוד המים נהפכים למשאב דליל יותר עקב שינוי האקלים. התוצאה יכולה להיות מחסורים המשפיעים על ענף האנרגיה או תחרות מצד שימושים אחרים, למשל ייצור מזון.

שלב שלישי - חשמל לדלק/גז

ברמת ה"מערכת" חל גידול בשיעור האנרגיה המתחדשת מתוך תערובת האנרגיה המשמשת לחשמל, והדבר מוביל לתחרות מוגברת בין דלקים ממקורות מתחדשים לדלקי מאובנים, ואף - באופן זמני - לעומסים שיוויים גבוהים ושלייליים. הפקת מימן ירוק ודלק סינתטי נעשית תחרותית יותר בשל הזמינות של חשמל בעלות נמוכה. המרת חשמל לדלק/גז, בתמיכת רגולציה הכוללת תוכניות תמחור, נכנסת לשוק וסופגת את השיעורים הגוברים של "עודף" אנרגיה מתחדשת בתקופות של היצע גבוה. ענפי התנועה והתחבורה בפרט תורמים לגידול בשימוש בחשמל לדלק/גז. הדבר מאפשר את החלפת הדלקים המאובנים והגז הטבעי. פיתוח תשתיות מימן ושדרוג תשתיות הנפט והגז הקיימות לשימוש בדלקים ובגזים סינתטיים יוצרים היצע של מתקנים המוקדשים לאנרגיה מתחדשת ליצוא בינלאומי. הפחתת המחירים והטלת אגרות ומסים על דלקים מאובנים משפיעות השפעה שלילית על תנאי השוק שלהם, ומכניסות לפעולה את הביטול ההדרגתי של דלקים מאובנים. התפתחויות אלה מביאות לשינויים במודלים העסקיים. מאחר שפתרונות חשמל לדלק/גז מספקים פתרונות אגירה לטווח ארוך, מתאפשר לבסס מבני יצוא לשווקים גדולים.

חשמל המופק מאנרגיה מתחדשת נכנס לשימוש במערכת החשמל עוד לפני ההגעה לשלב הראשון: "יוצאים לדרך: אנרגיות מתחדשות (א"מ)". התפתחויות ברמת ה"נישה", כגון הערכת הפוטנציאל האזורי, מיזמי פיילוט מקומיים, הקמת רשת שחקנים ושיתוף בכישורים ובידע על מערכת האנרגיה המקומית הם סימן ראשוני לתחילת ההפצה. תוך כדי קדם-שלב זה מתפתחים ציפיות וחזונות להתרחבות דור האנרגיה המבוססת על א"מ.

בשלב הראשון מכניסים לשימוש את פיתוח האפיונים ברמת המערכת ומתחילים בהגדלה ראשונית של אנרגיה מתחדשת, ובפרט של תחנות כוח של חשמל המופק מאנרגיה סולרית ומאנרגיית רוח. מדינות המזהות וצפון אפריקה יוכלו ליהנות מיתרונות ניכרים בזכות הטכנולוגיות הזמינות ברחבי העולם וירידת המחירים של אנרגיה מתחדשת, המאפשרות את כניסת האנרגיה הסולרית ואנרגיית הרוח לשוק. מאחר שהביקוש לאנרגיה חווה גידול ניכר באזור, כמות האנרגיה המתחדשת שנכנסת למערכת לא תחליף דלקים מאובנים בשלב זה. יש להרחיב ולשדרג את רשת החשמל כדי להתמודד עם רמות משתנות של אנרגיה מתחדשת. חוקים ותקנות שמטרתם לשלב מקורות מתחדשים במערכת האנרגיה, ולאפשר הזנה של חשמל מבוסס א"מ לתוך הרשת, נכנסים לתוקף. הפעלת תוכניות מחירים כתמריצים למשקיעים מאפשרת פרישה בקנה מידה רחב של א"מ ושל אנרגיה סולרית מבוצרת למשקי בית.

התפתחויות המתרחשות ברמת ה"נישה" סוללות את הדרך לשלב השני. כעת מעריכים את הפוטנציאל האזורי של אפשרויות התגמשות שונות (לדוגמה האפשרויות של אגירה שאובה וניהול צד הביקוש בתעשייה) ומתחילים לדון בחזון לאפשרויות התגמשות. בשלב זה דנים בתפקיד של חיבור בין מגזרים (לדוגמה מכוניות חשמליות, חשמל לחום וכו') וחוקרים מודלים עסקיים. צורכי הגמישות שנצפו מראש וחיבור בין ענפים מניחים את היסוד לסטארט-אפים בתחום טכנולוגיית מידע ותקשורת ולמודלים עסקיים דיגיטליים חדשים.

שלב שני - "שילוב מערכות"

בשלב השני התרחבות האנרגיה המתחדשת ממשיכה ברמת ה"מערכת", בעוד ששווקים מתפתחים עדיין מספקים מרחב לדו-קיום עם אנרגיה המבוססת על דלק מאובנים. ממשיכים בהרחבת רשת קווי החשמל, ונעשים מאמצים להקים קווי חשמל בין-ארציים כדי לאזן את ההבדלים האזוריים בהיצע אנרגיית הרוח והשמש. בשלב זה מזהים את אפשרויות הנמישות (ניהול צד הביקוש, אגירה), ועיצוב שוק

(או ישפיעו) על מחירי נפט וגז בעולם ועל התפתחות הענף. יתר על כן, בוצעה הערכה של הפרטים הנכללים בתפקיד הדומיננטי של דלקים מאובנים במערכת האנרגיה, ובהקשר זה גם של האתגרים בפיתוח ענף האנרגיה המתחדשת. תרשים 3-1 מציג את ההתפתחויות בשלבי המעבר.

3.5 איסוף נתונים

כדי ליישם את מודל השלבים על מדינות שונות, נאסף מידע מפורט על הסטטוס הנוכחי ועל ההתפתחויות הנוכחיות בשלל הממדים. הצעד הראשון היה סקירה מקיפה של הספרות הרלוונטית והנתונים הזמינים. בהתבסס על הערכת הנתונים הזמינים וניתוחם, זוהו פערי מידע. המידע החסר הושלם בעזרת ראיונות עם מומחים ומחקר שטח שנעשו בידי מוסדות מקומיים שותפים. נוסף על כך, הארגונים השותפים המקומיים סייעו לזהות את האתגרים הייחודיים למדינה ואת החסמים שעלולים לעכב את ניצול פוטנציאל האנרגיה המתחדשת בתוכה. בין המראיינים היו בעלי עניין עם ניסיון בענף האנרגיה או בענפים משיקים ממוסדות מעצבי מדיניות, מהאקדמיה ומהמגזר הפרטי. הראיונות עם המומחים נערכו בהתאם לקווים המנחים. הנתונים הכמותיים שנעשה בהם שימוש מבוססים על מקורות משניים, כגון מאגרי נתונים של סוכנות האנרגיה הבינלאומית (IEA) והסוכנות הבינלאומית לאנרגיה מתחדשת (IRENA), או חושבו על פי נתונים זמינים לשם זיהוי הסטטוס הנוכחי והמגמות בעתיד.

בחקר המקרה של ישראל נערך המחקר המקומי בידי המוסד השותף – מכון הערבה ללימודי הסביבה.

ברמת ה"נישה", ניסויים ביישומי חשמל לדלק/גז ממלאים תפקיד חיוני בענפים שבהם קשה לצמצם את פליטות הפחמן, כגון תעשייה כבדה (בטון, כימיקלים, פלדה), תחבורה כבדה ושילוח. כמו כן נחקר ומוערך הפוטנציאל לייצא מימן ודלקים וגזים סינתטיים, מתגבשות רשתות של שחקנים, מתבצעת למידה ראשונית ונלמדים מודלים עסקיים.

שלב רביעי – "לקראת 100% אנרגיה מתחדשת"

מובילי אנרגיה המבוססת על מקורות מתחדשים מחליפים בהדרגה דלקים מאובנים שיוריים. דלקים מאובנים יוצאים בהדרגה משימוש, והמרת חשמל לדלק/גז מפותחת במלואה מבחינת תשתיות ומודלים עסקיים. מאחר שכבר אין צורך בתמיכה באנרגיה מתחדשת, מופסקות בהדרגה תוכניות לתמיכה בתמחור אטרקטיבי. מבנים של שוקי יצוא מתרחבים, וכעת הם ענף מכריע בכלכלה.

3.4 החלת מודל השלבים על המקרה של ישראל

ב-2018 יושם מודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה על המקרה של ירדן לצורכי חקירה (Holtz et al., 2018). המודל הובא לדיון עם קובעי מדיניות בדרג בכיר, ועם נציגי המדע, התעשייה והחברה האזרחית בירדן. המודל הוכח ככלי מועיל לתמיכה בדיונים העוסקים באסטרטגיות ובניבוי מדויקות למעבר לאנרגיה מתחדשת, ושיהיה מתאים גם למדינות אחרות במזה"ת ובצפון אפריקה. שינויים הכרחיים במודל נעשו בהתאם, ומודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה יושם על המקרה של ישראל. התוצאות מספקות מבט-על מובנה על ההתפתחויות המתמשכות במערכת האנרגיה הישראלית, ומציעות תובנות על הצעדים הבאים הנדרשים להפיכתה למערכת מבוססת אנרגיה מתחדשת.

המטרות של ישראל הן אוטונומיה אנרגטית, הכלת שינוי האקלים והפחתת זיהום אוויר (Ministry of Finance, 2020 and Navon et al., 2021). ישראל, בהיותה בעלת סטטוס ייחודי במונחי השתלבות באזור ותשתיות אנרגיה, החליטה עוד בתחילת שנות האלפיים לעודד פרישה של טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת. המעבר לאנרגיה מתחדשת מציע לישראל את ההזדמנות להגדיל את הביטחון האנרגטי שלה, את יתרונותיה הסביבתיים ואת אפשרויות הפיתוח הכלכלי.

כדי לשקף את האתגרים ואת ההזדמנויות הייחודיים למעבר לאנרגיה מתחדשת שישראל עומדת בפניהם, נוספו כמה קריטריונים למודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה ונערך ניתוח של גורמים נוספים ברמת ה"סביבה". אלה כוללים את השפעת מגפת הקורונה ומאמצים גלובליים למעבר לכלכלות דלות פחמן לאור הסכם פריז, שכבר השפיעו

התפתחויות בשלבי המעבר

| שלב ראשון "יוצאים לדרך: אנריות מתחדשות" | שלב שני "שילוב מערכות אנרגיות מתחדשות" | שלב שלישי חשמל לדלק/גז | שלב רביעי "לקראת 100% אנרגיות מתחדשות" |
|--|---|---|--|
| * פריצת א"מ * אפשרות נמישה בהיווצרות הנישה | * צמיחה מבוססת שוק א"מ * פריצת אפשרויות נמישות * היווצרות הנישה "חשמל לדלק/גז" | * אפשרות נמישות של צמיחה מבוססת שוק * פריצת חשמל לדלק/גז * היווצרות נישה של יישומי חשמל לגז ייחודיים ויצוא | * צמיחה מבוססת שוק של חשמל לדלק/גז * פריצה של יישום חשמל לדלק/גז ייחודי ויצוא |
| * מסגרות בינלאומית להתמודדות עם שינוי האקלים * מאמצים לעבר ניטרליות פחמנית במדינות מתועשות (כולל תוכניות שיקום ירוקות לאחר מגפת הקורונה) * סכסוכים גלובליים ואזוריים (המשפיעים על המסחר) * השפעות ארוכות טווח של מגפת הקורונה על הכלכלה העולמית * תנאים גאוגרפיים וחלוקת משאבי טבע * התפתחות דמוגרפית | | | |
| רמת הסביבה | | | |
| רמת המערכת | | | |
| רמת החשמל | | | |
| שכבת הטכנו-כלכלית | | | |
| * שיעור א"מ במערכת האנרגיה כ-20%-0% | * שיעור א"מ במערכת האנרגיה כ-50%-20% | * שיעור א"מ במערכת האנרגיה כ-80%-50% | * שיעור א"מ במערכת האנרגיה כ-100%-80% |
| * כניסה לשוק של א"מ בהסתמך על טכנולוגיות זמינות גלובלית ועקב ירידת מחירים גלובלית | * המשך הרחבת הרשת (בתוך המדינה ובינלאומית) | * הרחבת האגירה לטווח ארוך (למשל אגירת גזים סינתטיים) | * בנייה של תשתיות חשמל לדלק/גז ליצוא בקנה מידה רחב |
| * הרחבת רשת החשמל והשבחה | * שילוב טכנולוגיות מידע ותקשורת במערכות האנרגיה (למשל התחלת שימוש במונים חכמים) | * בניית תשתיות חשמל לדלק/גז ראשונות (לסיפוק הביקוש המקומי/בינלאומי בעתיד) | * ביטול הדרגתי של השימוש בתשתיות דלקי מאובנים ומודלים עסקיים הקשורים בהם |
| * תקנות ותוכניות מחירים לא"מ | * חדירה של אפשרויות נמישות למערכת (למשל אגירת סוללה) | * עומסים שזורים שליליים גבוהים באופן זמני בשל שיעורים גבוהים של א"מ | * גיבוש מודלים ליצוא על בסיס א"מ |
| * פיתוח שרשרות האספקה המקומית לא"מ וחיוזוקן | * חשמול ישיר של יישומים בענפי הבנייה, התנועה והתעשייה; שינוי מודלים עסקיים בענפים אלה (לדוגמה, משאבות חום, מכונות חשמליות, מערכות ביתיות חכמות, שיווק השלת עומס של עומסים תעשייתיים) | * נפחי המכירות של דלקי מאובנים מתחילים להתכווץ | * החלפה מלאה של דלקי מאובנים בא"מ ודלקים מבוססי א"מ |
| * אין החלפה של דלקי מאובנים עקב שווקים מתפתחים | * אין החלפה (או החלפה מצומצמת בלבד) של דלקים מאובנים עקב שווקים מתפתחים | * מודלים עסקיים קיימים המבוססים על דלקי מאובנים מתחילים להשתנות | * התייצבות מודלים עסקיים וכושר ייצור של חשמל לדלק/גז (למשל השקעות בקנה מידה רחב) |
| | * התפתחות והרחבה של מיני-רשתות כפתרון ליישומים מחוץ לרשת ולמקומות נידחים | * גידול בנפח החשמל לדלק/גז בתחבורה, המחליף דלקי מאובנים וגז טבעי | |
| | * קידום המעבר לא"מ בענפים של משתמשי קצה (תחבורה, תעשייה ובנייה) | | |
| | * קידום המעבר לא"מ בענף התעשייה, הפחתת שיעור הפחמן הגבוה ממוצרים מסוימים והפליטות הגבוהות מתהליכים מסוימים | | |

מודל השלבים של אזור המזה"ת וצפון אפריקה

| שלב רביעי "לקראת 100% אנרגיות מתחדשות" | שלב שלישי חשמל לדלק/גז | שלב שני "שילוב מערכות אנרגיות מתחדשות" | שלב ראשון "יוצאים לדרך: אנרגיות מתחדשות" | התפתחות לפני שלב ראשון | |
|--|--|--|---|--|-------------|
| * צמיחה מבוססת שוק של חשמל לדלק/גז * פריצה של יישום חשמל לדלק/גז ייחודי ויצוא | * אפשרות נמישות של צמיחה מבוססת שוק * פריצת חשמל לדלק/גז * היווצרות נישה של יישומי חשמל לגז ייחודיים ויצוא | * צמיחה מבוססת שוק א"מ * פריצת אפשרויות נמישות * היווצרות הנישה "חשמל לדלק/גז" | * פריצת א"מ * אפשרות נמישה בהיווצרות הנישה | * היווצרות נישת אנרגיות מתחדשות (א"מ) | |
| * לחץ על דלקי מאובנים (למשל הפסקה הדרגתית של הייצור) | * לחץ על מרכיבי המערכת המנטרלים נמישות (לדוגמה סגירה הדרגתית של תחנות כוח לאספקה רציפה) | * לחץ על משטר החשמל המבוסס על דלקי מאובנים (למשל הפחתת סובסידיות, תמחור פחמן) | * תמיכה באימוץ א"מ (למשל תעריפי הונה), תקנות ותוכניות מחירים לא"מ | * הכרה בסיסית בכך שיעילות אנרגטית היא עמוד התווך האסטרטגי השני של הרפורמה במערכת האנרגיה | |
| * הפסקת התמיכה בחשמל לדלק/גז | * הפסקת התמיכה באפשרויות נמישות | * הפסקת התמיכה בא"מ (למשל תעריפי הונה להפסקה הדרגתית) | * הגדלת ההשתתפות של משקיעים מוסדיים (קרנות פנסיה, חברות ביטוח, קרנות וקרנות הון ממשלתיות) במעבר | | |
| * אמצעים להפחתת תופעות לוואי לא מכוונות של חשמל לדלק/גז (אם ישנן) | * אמצעים להפחתת תופעות לוואי לא מכוונות של אפשרויות נמישות (אם ישנן) | * אמצעים להפחתת תופעות לוואי לא מכוונות של א"מ (אם ישנן) | * הגדלת המודעות לנושאים סביבתיים | | |
| * נישה לתשתיות ולשוקים (למשל חיבור אתרי הייצור לצינורות) | * קביעת תקנות ותוכניות מחירים לחשמל לדלק/גז (למשל בתחבורה, להחליף דלקי מאובנים וגז טבעי) | * התאמת עיצוב השוק לתמיכה באפשרויות נמישות | * אספקת נישה לתשתיות ולשוקים לא"מ (למשל תקנות הקמה לנישה לרשת החשמל) | | |
| * תמיכה באימוץ (למשל סובסידיות) | * הפחתת מחירים ששולמו על חשמל המבוסס על דלקי מאובנים | * אספקת נישה לשוקים לאפשרויות נמישות (למשל התאמת עיצוב השוק, יישור קו לתקנות בתחומים של חשמל, תנועה וחום) | * מאמצים מתונים להאצת השיפורים ביעילות | | לשטח טכני |
| | * אספקת נישה לתשתיות ולשוקים לחשמל לדלק/גז (למשל השבחת צינורות להולכת גזים/דלקים סינתטיים) | * תמיכה ביצירת אפשרויות נמישות והפעלתן (למשל תעריפים לטעניה דו-כיוונית של מכוניות חשמליות) | | | אזור המזה"ת |
| | * תמיכה באימוץ של חשמל לדלק/גז (למשל פטורים ממס) | * סיוע לחיבור בין ענפים, בין ענפי חשמל וענפי משתמשי קצה, לתמיכה בשילוב א"מ בענף החשמל | | | |
| | | * התאמת עיצוב השוק לאפשרויות נמישות | | | |
| | | * הקצאה מחדש של השקעות לקראת פתרון של צמצום בפחמן: שיעור גבוה של השקעות בא"מ והפחתת הסיכון של נכסים נטושים | | | |
| | | * יישור קו בין מבנים סוציו-אקונומיים והמערכת הכלכלית; הרחבת דרישות הקיימות והרפורמה | | | |
| | | * יישור קו בין תקנות חשמל, תנועה וחום | | | |

| רמת הנדישה | | לשטח תחמם חשמל | | | |
|--|---|--|---|--|--|
| לשטח תחמם חשמל | | רמת הנדישה | | | |
| הערכת פוטנציאל הא"מ | * הערכת פוטנציאל האזורי לאפשרויות נמישות שונות | * הערכת הפוטנציאל למסלולי המרה שונים של חשמל לדלק/גז | * ניסויים ביישומי חשמל לדלק/גז בענפים כמו תעשייה (למשל פלדה, צמנט וכימיקלים) ותחבורה ייחודית (למשל תעופה, שילוח) | | |
| * מיזמי פיילוט מקומיים עם א"מ | * התנסות באפשרויות נמישות | * מיזמי פיילוט מקומיים של חשמל לדלק/גז בהתבסס על א"מ מימן (ולכידת פחמן) | * השקעה במודלים עסקיים ליצוא חשמל לדלק/גז | | |
| | * חקירה של מודלים עסקיים סביב אפשרויות נמישות כולל סטארט-אפים בתחום טכנולוגיות מידע ותקשורת ומודלים עסקיים דיגיטליים חדשים לחיבור בין ענפים | * חקירת מודלים עסקיים המבוססים על חשמל לדלק/גז | * פיילוט ליצוא דלקים סינתטיים | | |
| | | * חקירת אפשרויות חדשות בתחום ניהול צד הביקוש (למשל, טעינה חכמה ורכב-לרשת לרכבים חשמליים, חימום נמיש במשאבת חום, אנרגיה תרמית מוזנת בחשמל) | | | |
| | | * שימוש בניסיון גלובלי עם חשמל לדלק/גז | | | |
| * פיתוחים של חזונות וציפיות משותפים לפיתוח א"מ | * פיתוח חזונות וציפיות לשוק נמיש ושילוב מערכות אנרגיה (שווקי אנרגיה אזוריים ובינ"ל) | * פיתוח חזונות וציפיות משותפים לחשמל לדלק/גז (למשל) אסטרטגיה ותוכניות לפיתוח/התאמת תשתיות | * פיתוח חזונות וציפיות משותפים ליצוא חשמל לדלק/גז (למשל בנושא שוקי יעד ומקומות לצדדי המרה) | | |
| * תמיכה בתהליכי למידה סביב א"מ (למשל פרויקטים מקומיים) | * תמיכה בתהליכי למידה סביב נמישות (למשל פרויקטים מקומיים) | * תמיכה בתהליכי למידה סביב חשמל לדלק/גז (למשל) פרויקטים מקומיים לייצור חשמל לדלק/גז, שימוש בניסיון גלובלי עם חשמל לדלק/גז, חקירת מודלים עסקיים של חשמל לדלק/גז | * תמיכה בלמידה על ענפי חשמל לדלק/גז כגון תעשייה ותחבורה ייחודית (למשל ניסויים בשימוש במוצרי חשמל לדלק/גז להיתוך זכוכית) | | |
| * היווצרות רשת שחקנים בתחום הא"מ (למשל יוזמות משותפות) | * היווצרות רשתות שחקנים סביב נמישות בענפי החשמל, התנועה, החימום (למשל חקירה של מודלים עסקיים סביב נמישות הכוללים טכנולוגיות מידע ותקשורת ומודלים עסקיים דיגיטליים חדשים לחיבור בין ענפים) | * חקירה של רשתות שחקנים בהקשר של חשמל לדלק/גז (מקומיות ובינ"ל) | * תמיכה בלמידה סביב יצוא חשמל לדלק/גז (למשל בהקשר של קבלה לשוק ותקנות סחר) | | |
| * מעורבות והשתתפות מבוססות קהילה (למשל יוזמות אזרחיות) | * פיתוח של בסיס ידע משותף למסלולי הפחתת פחמן משותפים כדי לאפשר יישור קו ומסה קריטית שיוכלו לסייע בשינוי גורף בכלל הענף | | * היווצרות של רשתות שחקנים ליצירת מבני יצוא לדלק סינתטי בקנה מידה רחב (למשל יצרנים, אינודי מסחר, שווקים) | | |

* המשך שיפור בתחום היעילות האנרגטית

* המשך ההפחתה במאזן החומרי דרך אמצעי התייעלות ועקרונות של כלכלה מעגלית

יישום המודל על ישראל

דף מידע

| | |
|---|--|
| ✓ | הסכם פריז מאושר |
| X | אסטרטגיית צמיחה ירוקה |
| ✓ | קביעת יעדים לאנרגיה מתחדשת |
| ✓ | הסדרת מדיניות רגולטורית ליישום אנרגיה מתחדשת |
| ✓ | אסטרטגיית יעילות אנרגטית קיימת |
| X | אסטרטגיית חשמל ל-X |

בבניין ובדיזל לייצור אנרגיה ולתחבורה, ופליטת הפחמן הדו-חמצני כבר ירדה ב-20% לעומת 2012 (REN21, 2019; IEA, 2020a). למרות התפקיד המכריע שממלא הגז הטבעי, מדינת ישראל מנסה להרחיב את השימוש באנרגיה מתחדשת לאור ירידת המחירים של אותן הטכנולוגיות. המטרה העיקרית היא הגדלת הביטחון האנרגטי במדינה. בהקשר זה נערך פרויקט הדגל במדבר הנגב, שכלל תחנת שוקת פרבולית בהספק של 110 מגה-ואט ומפעל מגדלי שמש בהספק של 121 מגה-ואט, שדואגים ל-1% מהביקוש לחשמל בישראל (Negev Energy, 2016). עד שנת 2030 ישראל רוצה להגיע לנתח של 30% אנרגיה מתחדשת מתוך סך צריכת החשמל (Spyridonidou et al., 2021). צעדי מדיניות שננקטים כרגע לקידום אנרגיה מתחדשת כוללים תעריפי הזנה (feed-in tariffs) למערכות קטנות ומכריזים למערכת גדולה.

כדי להמשיך לקדם את המעבר למערכת אנרגיה המבוססת על מקורות מתחדשים, ישראל תוכל להיעזר בהגדלת יישומים המאפשרים נמישות. פרט לרכבים חשמליים ולשיפורים בחיבורי רשת החשמל, שיפור שיתוף הפעולה עם מדינות שכנות יוסיף להתפתחות לקידום המעבר לאנרגיה מתחדשת (Abu Hamed and Bressler, 2019).

על רקע זה, הסעיפים הבאים יספקו הערכה מפורטת של המצב הקיים ושל ההתפתחויות הנוכחיות של המעבר של ישראל לאנרגיה מתחדשת בהתאם למודל השלבים.

4.1.1 הערכת המצב הנוכחי והמגמות ברמות הנוף והמערכת

סעיף זה עוסק במצב הנוכחי של מערכת האנרגיה בישראל ובמגמות בתחומי ההיצע, הביקוש, התשתיות, רשת השחקנים והתפתחויות השוק.

ביקוש והיצע בתחום האנרגיה

כלל היצע האנרגיה העיקרית בישראל היה 22.3 מגה-טונה שעט"ן בשנת 2018 (IEA, 2020a). בכל הנוגע

4.1 סיווג השינוי במערכת האנרגיה בישראל על פי מודל השלבים

מישראל לרוב מתוארת בתור "אי אנרגטי" קרי, שאינו מקושר לתשתיות האנרגיה של שכנותיה (Fischhendler et al., 2015; Shaffer, 2011).

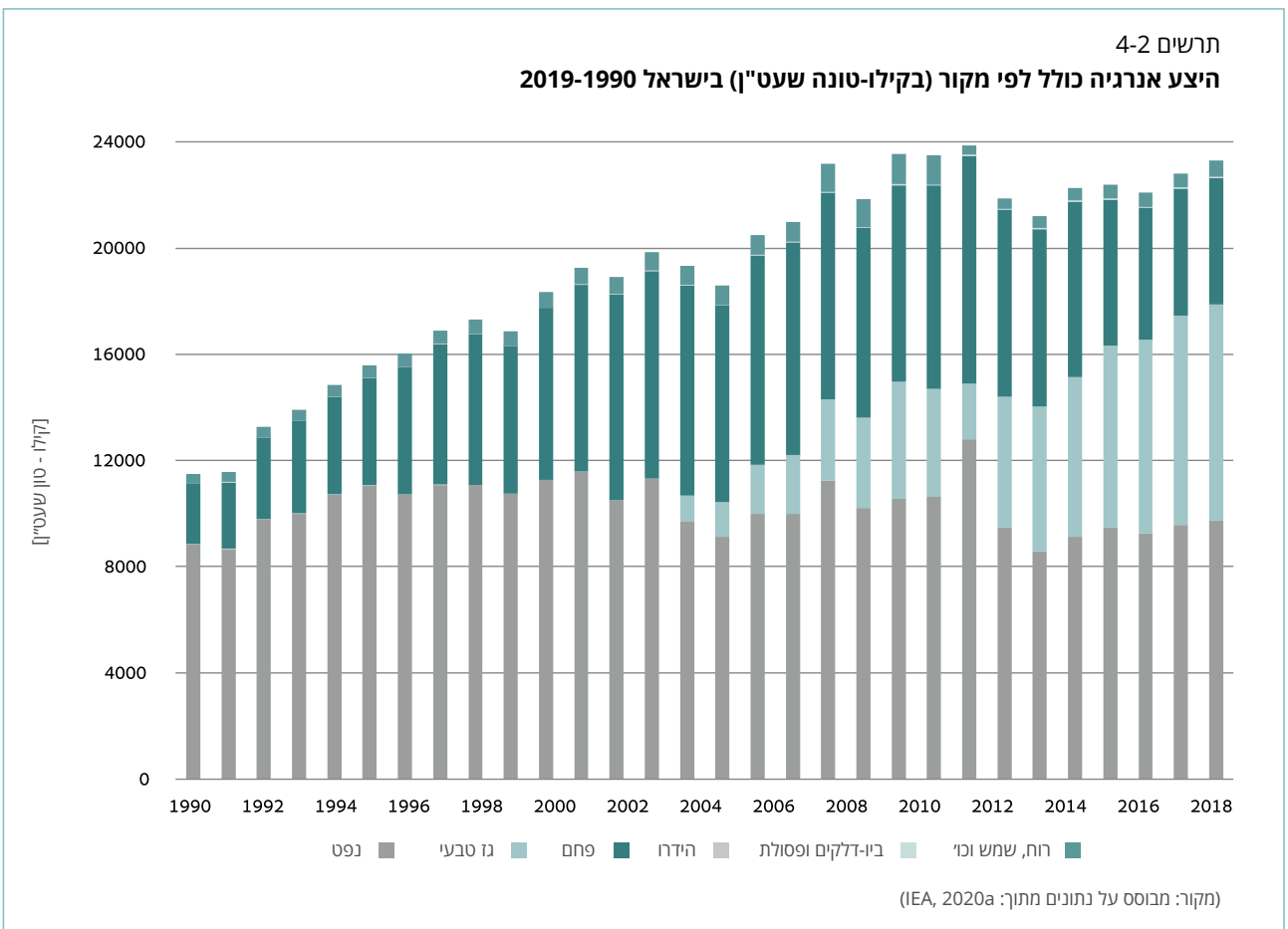
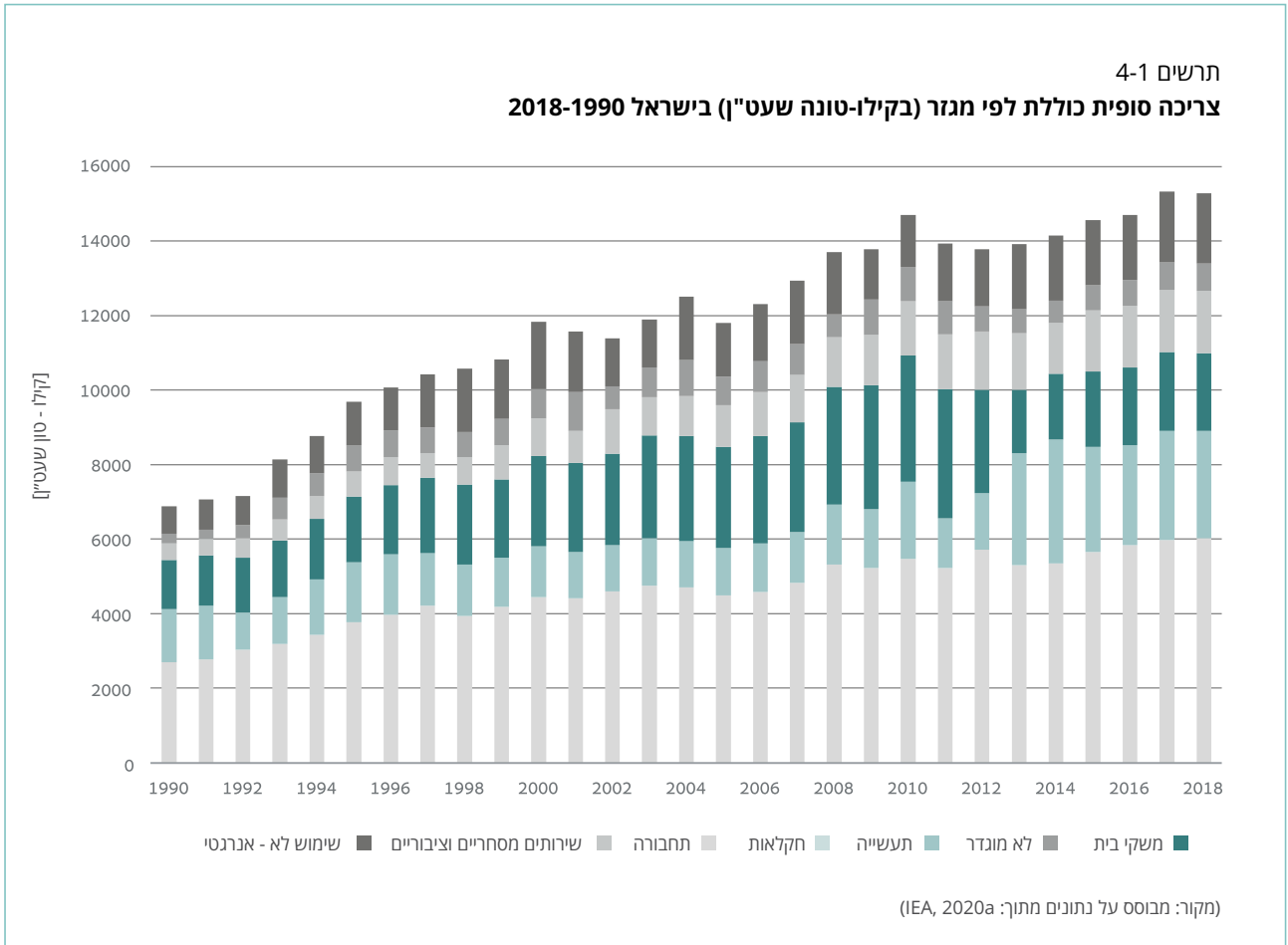
עד גילויים של שדות הגז הטבעי תמר ולווייתן קרוב לחופי הים התיכון, הייתה ישראל תלויה כמעט לחלוטין באנרגיה מיובאת. כיום קיימים קשרים עם מדינות שכנות בדמות צינורות גז למצרים ולירדן, אבל רשת החשמל המרכזית עדיין אינה מחוברת.

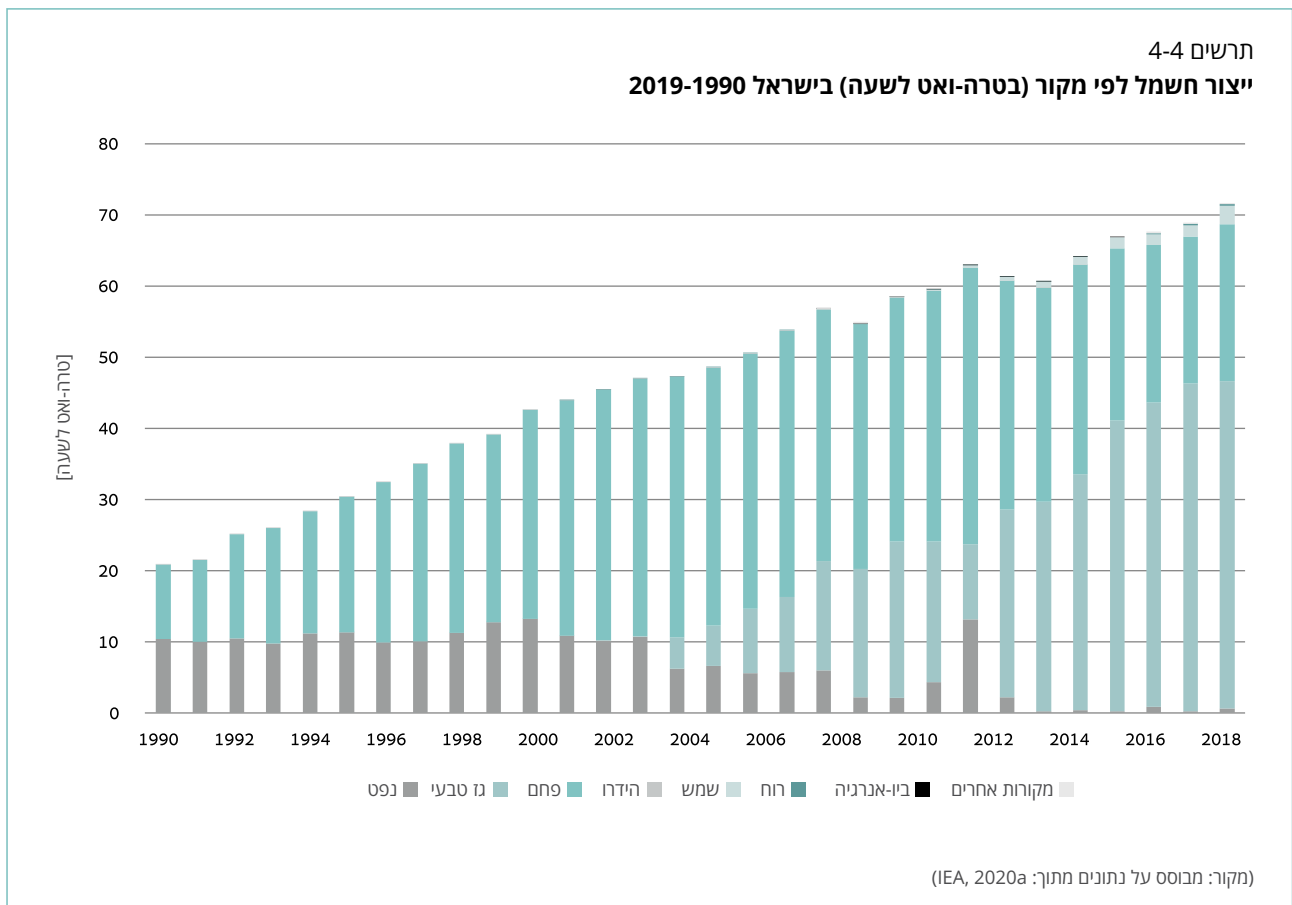
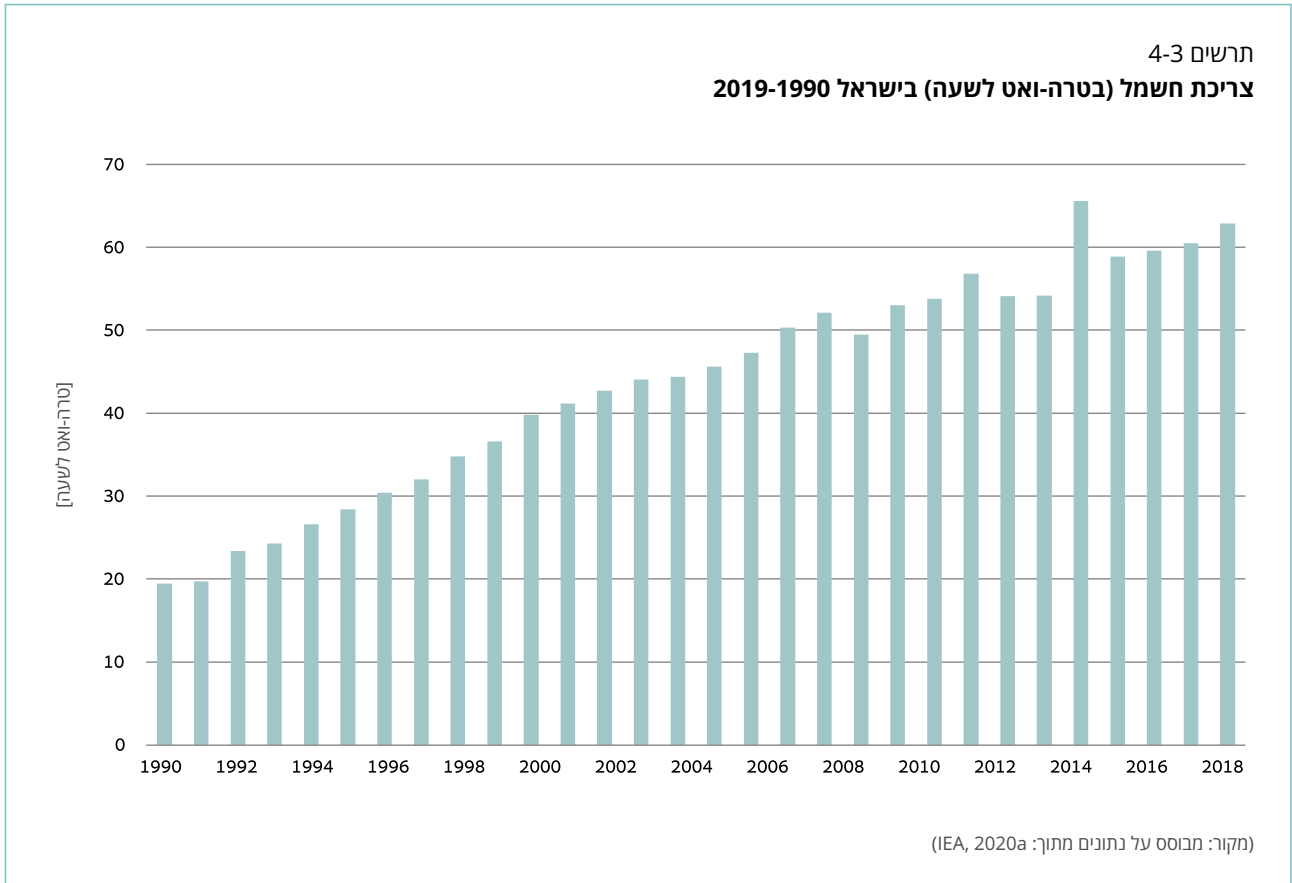
תמהיל מקורות האנרגיה עדיין נשלט בידי דלקים מאובנים. הרחבת התשתית לאנרגיות מתחדשות מתקדמת בקצב איטי. אולם עם החתימה על הסכם פריז הציבה ישראל לעצמה מטרה להפחית את פליטת גזי החממה ב-26% לעומת 2005. היות שהמדינה פגיעה לאי-יציבות שלטונית ולשינוי אקלים, היא גם הוסיפה מטרות ייחודיות לענפים מסוימים, כולל הפחתה של 17% בצריכת החשמל והפחתה של 20% בנוסעת רכבים פרטיים (Ministry of Environmental Protection, 2018). ישראל הפחיתה את זיהום האוויר ואת פליטות גזי החממה בשנים האחרונות בעיקר באמצעות החלפת פחם ודלקים קונבנציונליים אחרים, בגז טבעי. המדינה התחייבה להפסיק את השימוש בפחם,

לצריכת האנרגיה לפי מגזרים, המגזר הגדול ביותר הוא ענף התחבורה, שאחראי ל-39% מהצריכה, אחריו ענף התעשייה (19%), המגזר הביתי (13%) והשירותים המסחריים והציבוריים (11%) (IEA, 2020a) (תרשים 4-1). תמהיל האנרגיה מורכב בעיקר מדלקים מאובנים (תרשים 4-2). ב-2019 שיעור הנפט היה 42% מתמהיל האנרגיה, ואילו הנתח של הגז הטבעי היה 35% ושל הפחם 20%, בעוד הנתח של אנרגיות מתחדשות היה של כ-3% (IEA, 2020a). לאור הסכם פרז, שיעור השימוש הפחם, שהגיע לשיא של 36% ב-2012, ירד בהתמדה בשנים האחרונות בהתאם למדיניות משרד האנרגיה לשינוי סדר העמסת יחידות הכוח ולהפעלת היחידות הפחמיות במינימום התפעולי.

לעומת נתוני השיא של 12.9 קילו-ואט לשעה שנרשמו בקיץ 2018, ביקוש השיא בחורף של אותה השנה היה 11.8 קילו-ואט לשעה (Central Bureau of Statistics, 2020). בזמן חודשי הקיץ נרשם ביקוש השיא בין השעות 11:30 ל-18:00, והשיא בחודשי החורף נרשם בדרך כלל בין השעות 7:00-10:00 ל-17:00-21:00 (IEC, 2021). עקב העלייה באיכות החיים, הגידול באוכלוסייה והעלייה בטמפרטורות הקיצון בחודשי הקיץ, בשנים 1990-2000 עלתה צריכת החשמל בישראל מכ-20 טרה-ואט לשעה לכ-40 טרה-ואט לשעה, והציגה קצב גידול שנתי בשיעור של 3.8%. ב-2019 הסתכמה צריכת החשמל בכ-63 טרה-ואט לשעה (תרשים 4-3). הגידול השנתי בצריכת החשמל היה 2.4% בשנים 2000-2019, והצפי הוא שעד 2030 תמשיך צריכת החשמל לגדול באותו הטווח שבין 2.3% ל-2.8% (Abu Hamed and Bressler, 2019).

היצע האנרגיה בישראל היה פגיע מאוד לזעזועים מבחון יציב בזכות השימוש בגז טבעי מקומי. בעבר איימו אירועים פוליטיים על היצע האנרגיה בישראל. לדוגמה, כשבמצרים התחולל "האביב הערבי", נעצרה הזרמת הגז ממצרים לישראל דרך צינור אל עריש-אשקלון, ולפיכך נאלצה ישראל להחליף את הגז הטבעי בפחם ובנפט כדי לספק את הביקוש המקומי (Bahgat, 2011). בעשור האחרון גדל השימוש בגז טבעי בעקבות גילויים חדשים של גז בחופי הים התיכון (תרשים 4-4). השימוש בגז טבעי בייצור חשמל וכן בייצור ובמגזר המסחרי בקנה מידה רחב, ממשיך לגדול (Ministry of Environmental Protection, 2018).





בהשוואה לאותם החודשים ב-2019. ההשפעה הגדולה ביותר של הגבלת התנועה ניכרה בהפחתה בנסיעות של משקי בית. עקב כך נרשמה ירידה של 42% בכלל צריכת הבנזין, וירידה של 26% בצריכת הדיזל בהשוואה לאותם החודשים ב-2019 (Navon et al., 2021; IEC, 2020a).

לסיכום, הפקת החשמל בישראל נשלטת בידי פחם וגז, והפקת הגז הטבעי והשימוש בו נמצאים בעלייה בשנים האחרונות. בשל המצב הפגיע של אספקת האנרגיה, שלו השלכות מכרעות על הביטחון האנרגטי של ישראל, ישראל בהיותה "איי" מבחינה אנרגטית נסמכת כרגע על גז טבעי מקומי, ושואפת להגדיל את יישומן של טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת. אפשר לסווג את ישראל כמדינה הנמצאת בשלב הראשון על פי מודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה.

אנרגיה מתחדשת

ישראל בפירוש "הביעה עניין לאומי במעבר (...) לחשמל המופק מטכנולוגיות ידיותיות לסביבה" (Ministry of Environmental Protection, 2019c; The Jerusalem Post, 2019). כפי שהתחייב ראש הממשלה בנימין נתניהו ב-2011, אנרגיה מתחדשת מייצגת תוכנית בעלת "נחיצות ביטחונית" מבחינת ישראל (Bahgat, 2011). עקב הרצון העז להגיע לביטחון אנרגטי במדינה, ממשלת ישראל שמה למטרה את הגדלת הנתח של חשמל ממקורות מתחדשים ב-10% עד 2020 וב-17% עד 2030, והמטרה עודכנה ב-2021 ל-30% עד 2030 (Bellini, 2020; Spyridonidou et al., 2021). לדברי השר להגנת הסביבה, הכניסה של ישראל לשוק תעשיית הקלינטק (Cleantech) קיבלה תמיכה נוספת בשל הסכם פריז. לפיכך ממשלת ישראל מעוניינת מאוד להשקיע בפיתוח טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת, וכבר הגיעה להסכמים חשובים עם סין בתחום זה. הממשלה החליטה על כמה צעדים שיינקטו לקידום הקמתן של תחנות כוח לאנרגיה מתחדשת (Ministry of Environmental Protection, 2018):

1. פטור ממס, כולל ארנונה, מע"מ, מס הכנסה וביטול מס דלק על ביו-גז.
2. הרחבת המכסות המאושרות, כולל מכסה לתחנות כוח סולריות של 1,690 מגה-ואט וסך של 3,760 מגה-ואט לכלל האנרגיה המתחדשת.
3. מענקים ממשלתיים וערבויות על הלוואות לשם הפחתה בפליטות ולמימון יעילות אנרגטית.
4. מניעה של מטמנות לפסולת עירונית מוצקה.

מקורות אנרגיה מתחדשת, כגון אנרגיית שמש ורוח, מצויים בישראל בשפע. עד סוף 2019 הגיע כושר הייצור המצטבר מאנרגיה סולרית ל-1.72 ג'יגה-ואט (8.7% מהביקוש לחשמל במדינה), ואחריו כושר הייצור ממגדלי שמש עם

בישראל יש 16 תחנות כוח לייצור חשמל בניהול חברת החשמל לישראל שבבעלות לאומית, והן מבוססות בעיקר על פחם ועל גז טבעי. חברת החשמל לישראל מפעילה את חמש תחנות הכוח הגדולות והוותיקות ביותר לחופי הים התיכון: אורות רבין, רדינג, רוטנברג, אשכול וחיפה, אשר משתמשות במזוט כבד, בגז טבעי ובפחם (Abu Hamed and Bressler, 2019). ב-2018 היה כלל כושר הייצור המותקן 18,096 מגה-ואט. מתוכו 1.4 ג'יגה-ואט כושר ייצור מותקן - מקורו באנרגיה מתחדשת. באותה השנה הסתכם השיא השנתי ב-12,921 מגה-ואט (Central Bureau of Statistics, 2020). מאחר שקצב הגידול של ייצור החשמל האט בשנים 2013-2015, התקני חשמל נוספים באמצעות יצרניות חשמל פרטיות הובילו לרזרבות גבוהות (שוות ערך ליחס כושר הייצור המותקן מעל ביקוש השיא הצפוי). ב-2012 היו הרזרבות בשיעור של כ-15%, עדיין מתחת לערך של 17%-20% - הערך שמשד האנרגיה הציב כמינימום (שם). ב-2018 כבר הגיע שיעור הרזרבות ל-30% ללא אנרגיה מתחדשת ול-33% כולל אנרגיה מתחדשת.

שינוי האקלים הוא גורם משמעותי להגדלת צריכת החשמל והפקתו. גלי חום צפויים להשפיע על ביקוש השיא לאנרגיה במרכזים העירוניים הצפופים בחופי ישראל. לפי המשרד להגנת הסביבה (2018) 45% מכלל צריכת החשמל יכול להגיע ממיזוג אוויר (Michaelis and Parag, 2016; Ministry of Environmental Protection, 2018). הגורמים המרכזיים שתורמים לגידול בביקוש לאנרגיה הם משקי בית. יתר על כן, חל צמצום במשאבי מים עקב שינוי האקלים.

לפיכך פיתחה ממשלת ישראל אסטרטגיה להתמודדות עם צמצום משאבי המים הטבעיים. האסטרטגיה כוללת הרחבה של מפעלי ההתפלה כדי להגיע להספק של 1,500 מיליון מ"ק עד שנת 2050 (שם). כושר ההתפלה הנוכחי גדל מ-277 מיליון מ"ק ל-582 מ"ק בשנים 2010-2018. חמשת המתקנים הקיימים בישראל נמצאים בשורק, בחדרה, באשקלון, באשדוד ובפלמחים, ומספקים מים מותפלים לענפי החקלאות והתעשייה (שם). שיעור המים המסופקים הוא כ-80% ממי השתייה בישראל (Ministry of Energy, 2019). בימים אלה פורסם מכרז שמכתיב את הקמתו של מתקן התפלה בשורק בעל כושר ייצור של 200 מיליון מ"ק לשנה. המחיר המוצע למ"ק הוא 1.6 ש"ח, 0.5 ש"ח פחות מהמחיר הנמוך ביותר כיום (שם). התפלה היא תהליך בעל אינטנסיביות אנרגטית גבוהה, וההקמה של מפעלי התפלה נוספים בוודאי תגדיל אף יותר את צריכת האנרגיה של ישראל בעתיד.

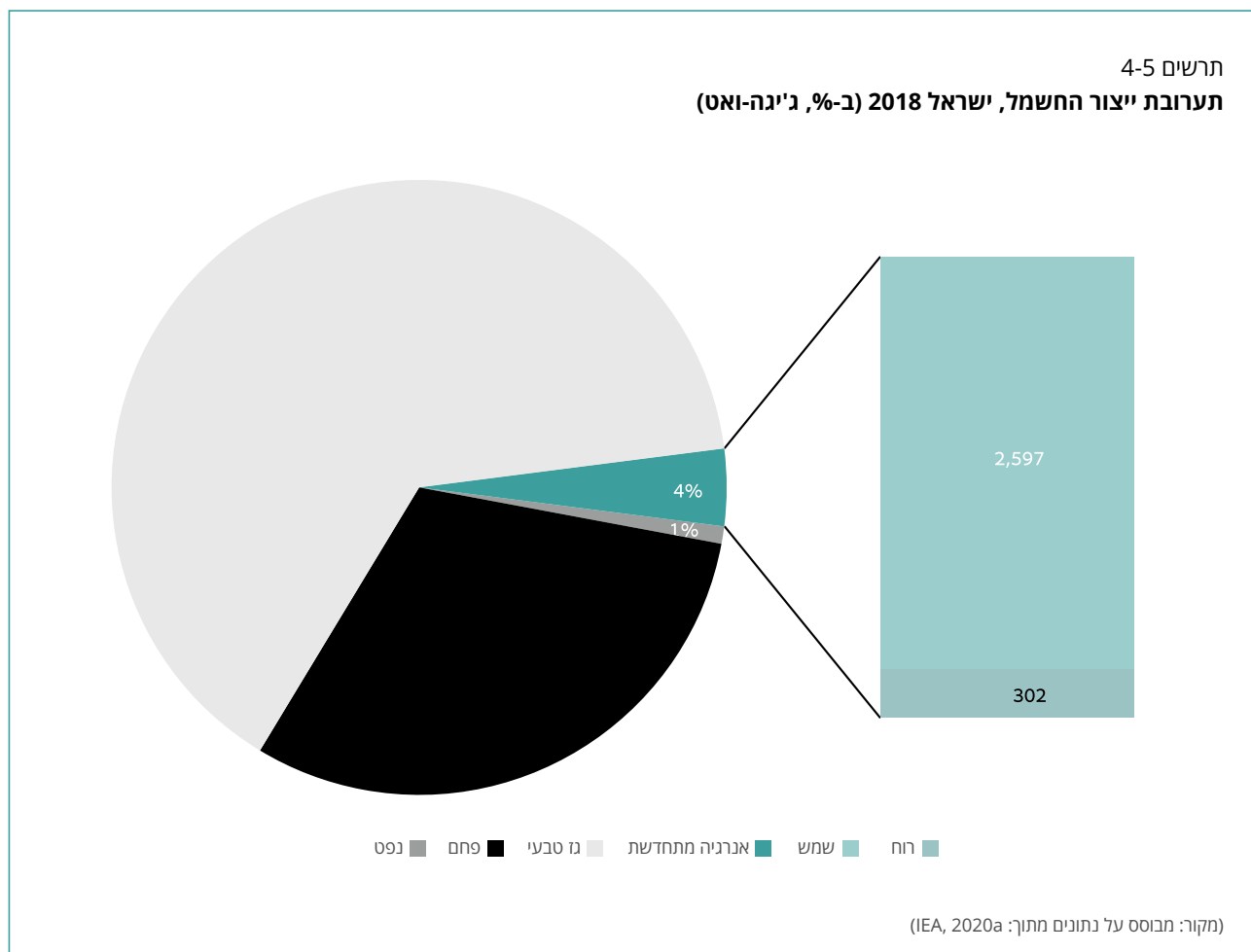
ענף האנרגיה הושפע במידה רבה ממגפת הקורונה, אשר האטה את הכלכלה והשפיעה על ענף החשמל. בשל הסגר המחמיר חלה ירידה של כ-13% בצריכה במגזר התעשייתי

טבעיים בישראל ולעלייה במחירי הנפט (Li et al., 2013). דודי שמש נכנסו לשימוש רחב, וכיום שיעורם הוא 77% מהציוד בבתי מגורים (Spyridonidou et al., 2021). הפצת השימוש בדודי שמש הצליח בישראל בזכות החקיקה הסולרית על פי סעיף 9 בחוק התכנון והבנייה (1970). חוק זה היה הגורם המרכזי שתרם לקידום השימוש באנרגיה סולרית בשל החובה להתקין מערכות אלה בבניינים בישראל (Grossman, 2016). פאנלים סולריים פוטו-וולטאים מוכנסים לשימוש הולך וגדל בתהליכי תעשייה, למשל בטיפול במי שפכים ובהתפלה. פרויקט הדגל של המדינה נמצא בנגב - תחנת הכוח באשלים. מתקן זה כולל את יחידה א' - שוקת פרבולית בעלת כושר ייצור של 110 מגה-ואט ואת יחידה ב' - מגדל שמש בעל כושר ייצור של 121 מגה-ואט, שהתחיל לפעול ב-2019. אלה ממלאים כ-1% מצורכי החשמל בישראל (נגב אנרגיה, 2016). תחנה א' ותחנה ב' שתיהן בעלות נפח אחסון תרמי של 4.5 שעות, המתקבל בעזרת השימוש במערכת מלח מומס (Windkraft Journal, 2015). מגדל השמש מתנשא לגובה של 260 מטר ונחשב אחד ממגדלי השמש הגדולים בעולם. היחידה השלישית המרכיבה את תחנת הכוח באשלים היא תחנת כוח פוטו-וולטאית בעלת כושר ייצור של 30 מגה-ואט ו-40 מגה-ואט.

0.24 ג'יגה-ואט (1.2% מהביקוש לחשמל), כושר הייצור מבינו-גז הניע ל-0.04 ג'יגה-ואט (0.15% מהביקוש לחשמל) וכושר הייצור מאנרגיית רוח עם 0.03 ג'יגה-ואט (0.15% מהביקוש לחשמל) (Spyridonidou et al., 2021). תרשים 4-5 מציג את תערובת ייצור החשמל בשנת 2018, שבו - לפי נתוני הסוכנות לאנרגיה בינלאומית - אנרגיה סולרית הפיקה 2,597 ג'יגה-ואט, ואילו ייצור חשמל מאנרגיית רוח הניע ל-302 ג'יגה-ואט.

פוטנציאל האנרגיה הסולרית בישראל, בהיותה מקור האנרגיה המתחדשת העיקרי, נע בין 5.5 ל-7 קילו-ואט למ"ר, תלוי באזור (Adelekan, 2012). האזור האופטימלי להקרנה סולרית בישראל הוא אזור הערבה הדרומי, שקולט בין 2,200 ל-2,400 קילו-ואט למ"ר של חשיפה אופקית לשמש (DiPersio et al., 2021; Navon et al., 2020). שיעור תשתית האנרגיה הסולרית הוא 96% מתוך כלל כושר הייצור המותקן של אנרגיה בישראל (שם). על פי ורדימון (2011), ייצור החשמל מפאנלים סולריים על גגות יכול לספק עד ל-32% מצריכת החשמל הארצית בישראל.

קולטי שמש לחימום מים במשקי בית נמצאים על סדר היום המדיני עוד משנות ה-80, בתגובה למחסור במקורות מים



ביו-גז מגיע ל-30 מנה-ואט בערך (Central Bureau of Statistics, 2020). ייצור הביו-גז כולל עיכול אנאירובי מיבול חקלאי, מפסולת אורגנית ממטמנות ומפסולת עירונית מוצקה.

השימוש בהידרו-אנרגיה מוגבל מאוד בישראל בשל מיעוט מקורות המים. כמה תחנות כוח הידרו-אלקטריות באזור הגליל מפיקות פחות מ-10 מנה-ואט נכון לעכשיו. בכל הנוגע לאגירה שאובה, לישראל יש תחנת כוח עיקרית אחת בעלת כושר ייצור של 300 מנה-ואט – פרויקט אגירה שאובה גלבוש (Maruzewski et al., 2016). תחנת הכוח התחילה לפעול לפני 2020, וצפויה לייצר 3,000 מנה-ואט לשעה של חשמל בכל שנה (Hydro Review, 2020). היא כוללת שני מאגרים של 2.5 מיליון קוב מים, ומחוברת באמצעות פיר בעומק 500 מטר וציונורות גדולים, ויש בה שתי טורבינות, כל אחת בעלת כושר ייצור של 150 מנה-ואט. היתרון הבולט של ישראל מיישום אגירה שאובה הוא תוספת לרזרבות של חברת החשמל והגדלת הנמישות, כדי לספק את ביקוש השיא (Electra, 2021).

הפרויקטים הנוכחיים והמתוכננים בתחום האנרגיה המתחדשת בישראל מופיעים בטבלה 4-1.

נוסף על כך, מתוכננים ארבעה פרויקטים סולריים סביב אשלים – באר שבע, ירוחם, שדה בוקר ומצפה רמון – עם כושר ייצור של 300 מנה-ואט, ויחד הם ירכיבו את "עמק האנרגיה הסולרית של ישראל" (ננב אנרגיה, 2016). תחנת הכוח באשלים משלבת הן מימון מוסדי, כגון התאגיד להשקעות פרטיות בחו"ל (OPIC) ובנק ההשקעות האירופי (EIB), והן בנקים מקומיים למסחר וחוזים כחלק מהסכמי רכישת חשמל (PPA) למשך 25 שנים. תחנת הכוח הפוטו-וולטאית הגדולה ביותר הפועלת בישראל היא הפארק הסולרי בצאלים, שלה כושר ייצור של 120 מנה-ואט, גם היא במדבר הנגב (Bellini, 2021a). פרויקט זה הושלם ב-2019 כמיזם משותף של Belectric וחברת סולל בונה המקומית (Enkhardt, 2019). עם זאת, תחנת הכוח הסולרית המתוכננת בדימונה צפויה להיות המתקן הפוטו-וולטאי הגדול בישראל לכשתושלם הבנייה ב-2023. כושר הייצור הצפוי של תחנת הכוח הוא 300 מנה-ואט עם אפשרות לאחסון (Enkhardt, 2019; Ministry of Energy, 2019). יתר על כן, שבעה מתקנים פוטו-וולטאיים הותקנו במאגרי מים בעלי כושר ייצור מותקן של כ-6 מנה-ואט מאושרים להפעלה (Ministry of Energy, 2019). באזור הערבה הדרומי, באילת-אילות, פועלות כרגע 15 תחנות כוח סולריות בקנה מידה בינוני-גדול, ומוסיפות 180 מנה-ואט לאספקת חשמל עבור הקהילות באזור (DiPersio et al., 2021). תחנות כוח אלה ממלאות תפקיד חיוני בתוכנית האסטרטגית של המועצה האזורית לפתח כושר ייצור של 400 מנה-ואט אנרגיה מתחדשת עד 2040, כדי להגיע ליעד האזורי של 100% עצמאות אנרגטית (שם).

מהירות הרוח בישראל משתנה בין 5 ל-7 קמ"ש, תלוי באזור (Ewind, 2020). מתקן הרוח העיקרי הוא חוות הרוח (6 מנה-ואט) בהר בני רסן שברמת הגולן, המייצרת כ-12,000 מנה-ואט לשעה בכל שנה. באזור הגלבוש פועלות 14 טורבינות רוח מתוצרת גמסה עם זרם נומינלי של כ-12 מנה-ואט. חוות הרוח סירין 1, שגם היא נמצאת באזור הצפון, היא בעלת כושר ייצור מותקן של 9 מנה-ואט, וכוללת 11 טורבינות רוח מתוצרת גמסה (The Windpower, 2019). חוות רוח בישראל נתקלות בחסמים גדולים עקב הצמצום בשטח פנוי והקושי לחבר שטחים אלה לרשת החשמל (Mor et al., 2009). נוסף על כך, עם הזמן טורבינות רוח נתקלות ביתר התנגדות מתושבי האזור עקב זיהום רעש (Peri et al., 2020). עם זאת, למרות חסמים אלה, הממשלה מתכננת להקים חוות רוח בצפון הארץ בשווי 72 מיליון דולר (Ewind, 2020), ובנייתן תוביל לכושר ייצור כולל של 730 מנה-ואט (Peri et al., 2020).

בישראל ישנן שתי צורות של אנרגיית ביומסה: ביו-גז ושרפת ביומסה. מכיוון שהפוטנציאל שלה מוגבל, ביומסה ככל הנראה לא תמלא תפקיד חשוב בעתיד האנרגיה המתחדשת בישראל. כושר הייצור המותקן של תחנות כוח מבוססות

הפרויקטים הנוכחיים והמתוכננים בתחום האנרגיה המתחדשת בישראל

| תחנות טורבינות רוח תפעוליות | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------|--------------|
| מקום | הר בני רסן | גלבע | סירין 1 | |
| כושר ייצור מותקן (מגה-ואט) | 6 | 12 | 9 | |
| תחנות טורבינות רוח מתוכננות | | | | |
| מקום | רמת הגולן | | | |
| כושר ייצור מותקן (מגה-ואט) | 189 | | | |
| סטטוס | יש לחתום על הסכם לרכי" שת השמל | | | |
| תחנות כוח סולריות תפעוליות (אנרגיה סולרית מרוכזת ופוטו-וולטאית) | | | | |
| מקום | אשלים יחידה א' | אשלים יחידה ב' | אשלים | צאלים |
| סוג | תרמית סולרית (שוקת פרבולית) | תרמית סולרית (מגדל שמש) | פוטו-וולטאית | פוטו-וולטאית |
| כושר ייצור מותקן (מגה-ואט) | 110 | 121 | 30 | 120 |
| תחנות כוח סולריות מתוכננות (אנרגיה סולרית מרוכזת ופוטו-וולטאית) | | | | |
| מקום | תחנת הכוח הסולרית דימונה (פוטו-וולטאית) | | | |
| כושר ייצור מותקן (מגה-ואט) | 300 | | | |
| סטטוס | (במרכז) | | | |
| תחנות כוח הידרו-אלקטריות תפעוליות | | | | |
| מקום | עין הנציב | נשר שניר | כפר הנשיא | נווה יעקב |
| כושר ייצור מותקן (מגה-ואט) | 1 | 2.2 | 3.45 | 0.11 |
| תחנות כוח הידרו-אלקטריות תפעוליות של אגירה שאובה | | | | |
| מקום | גלבע | | | |
| כושר ייצור מותקן (מגה-ואט) | 300 | | | |
| תחנות כוח הידרו-אלקטריות מתוכננות של אגירה שאובה | | | | |
| מקום | נשר, כוכב הירדן ומנרה | | | |
| כושר ייצור מותקן (מגה-ואט) | 800 (סה"כ, 300 מגה-ואט כבר יוצרו בגלבע) | | | |
| סטטוס | (במרכז) | | | |

(מקור: מבוסס על Enkhardt, 2019; Ewind, 2020; Negev Energy, 2016; The Windpower, 2019; Verma, 2020; Israel Government, 2019a)

ב-2010 ומטרתו להגדיל את העצמאות ואת הביטחון האנרגטיים של ישראל ולתמוך בתרבות של מודעות סביבתית. האסטרטגיה המדינית מציגה את הבסיס החוקי להחלת הטבות המס והתעריפים לצד צעדי מדיניות אחרים התומכים בקליטת אנרגיה מתחדשת, בדגש מיוחד על ענף המחקר ופיתוח (מז"פ) (IEA, 2020a; OECD, 2020). תוכניות כמו רכבים שיתופיים החלו לפעול ב-2016 לתמיכה בהיכרות עם מכונות חשמליות ועם רכבים היברידיים. ב-2004 פנתה רשות החשמל למנגנונים כלכליים, ואישרה סבסוד מהמדינה לייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת, סבסוד לטובת יצרנים שמוכרים את החשמל שלהם לחברת החשמל ולצרכנים פרטיים דרך הרשת של חברת החשמל

באופן רשמי נוצר שוק האנרגיה המתחדשת ב-2002, כשהממשלה הציבה לראשונה יעד לאומי של 5% אנרגיה מתחדשת שתשמש לייצור חשמל עד 2016 (IEA, 2020a; Ministry of Finance, 2021). יעד הייצור מאנרגיה מתחדשת עודכן ב-2009, ושונוה ל-10% אנרגיה מתחדשת מתוך תמהיל ייצור החשמל. בסוף אוקטובר 2020 קידם הקבינט יעד חדש של ייצור 30% מהחשמל בישראל מאנרגיה מתחדשת עד 2030, עקב לחץ הביקורת על משרד האנרגיה (Surkes and Staff, 2020). הדרך לפיתוח אנרגיה מתחדשת מפורטת במסמך "Policy on the integration of renewable energy sources into the Israeli electricity sector" (PIRES) שהתפרסם

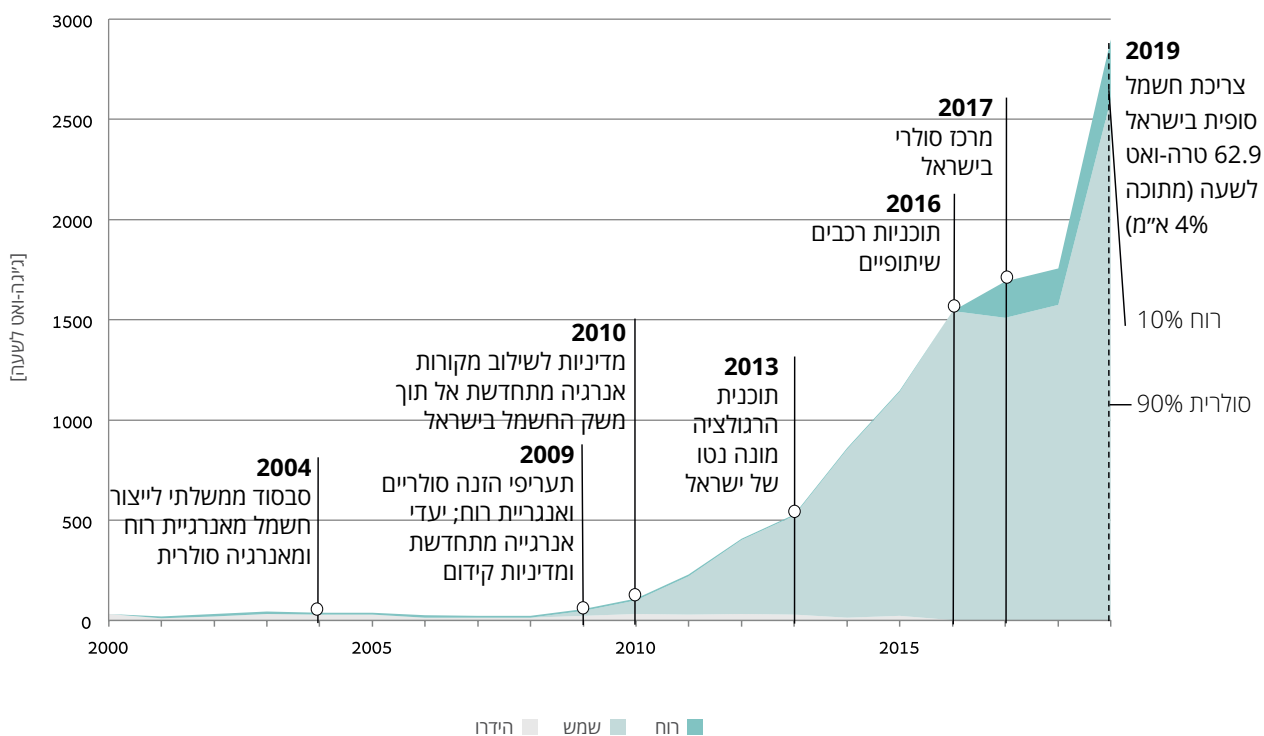
של 400 מגה-ואט אנרגיה מתחדשת לצריכה עצמית, שהתשלום עליה נבנה רק לשם איזון רשת החשמל (IEA, 2020a). ואכן, תוכנית מונה נטו המריצה את ייצור החשמל מאנרגיה סולרית.

מערכת תעריפי ההזנה הוחלפה לאחר מכן במכרזים. עם פרסום המכרז הראשון לפאנלים סולריים ב-2017, ממשלת ישראל הצליחה לקדם את המדינה ליעדי האנרגיה המתחדשת שהציבה. המכסות שאישרה רשות החשמל הורחבו ל-1,690 מגה-ואט לאנרגיה סולרית ול-3,760 מגה-ואט לכל סוגי האנרגיה המתחדשת, ובכך התאפשר גידול נוסף בכושר הייצור המותקן (Ministry of Environmental Protection, 2018). ב-2010 היה כושר הייצור המותקן 99 מגה-ואט, ואילו ב-2019 הוא הגיע ל-1,500 מגה-ואט; ביתר פירוט, כושר הייצור הסולרי הגיע ל-1,430 מגה-ואט, כושר הייצור מביו-אנרגיה הגיע ל-28 מגה-ואט, מרוח - 27 מגה-ואט ומהידרו-אנרגיה - 7 מגה-ואט (IRENA, 2020b). תרשים 4-6 מציג את התפתחות ייצור החשמל על בסיס אנרגיה מתחדשת לפי מקור, ובהתאם לאמצעי מדיניות האנרגיה שננקטו.

(שם). תעריף ההזנה הרגולטורי הראשון הוחל בידי הרשות לשירותים ציבוריים (רשות החשמל) למערכות פוטו-וולטאיות בקנה מידה קטן במגזר הביתי ובמגזר המסחרי בשנת 2008 (Green Energy Association of Israel, 2021). המכסה הראשונה שנקבעה הייתה 50 מגה-ואט לצרכנים מהמגזר המסחרי והוגדלה ל-120 מגה-ואט ב-2010, ואילו המכסה לצרכנים מהמגזר הביתי היא בלתי מוגבלת, כפי שנקבע ב-2011 (שם).

מתקנים בקנה מידה בינוני המותקנים על גגות ועל הקרקע גם הם נכללים בתעריף ההזנה. תעריף ההזנה נקבע ב-2009 לטורבינות רוח קטנות עם מכסה של 30 מגה-ואט, וב-2011 לטורבינות גדולות עם מכסה של 800 מגה-ואט. ב-2011 אושר תעריף ההזנה לביומסה ולמגדלי שמש ולפאנלים סולריים בקנה מידה רחב (איגוד חברות אנרגיה ירוקה לישראל, 2021). תעריף ההזנה נסגר ב-2013, אבל הוחל מחדש ב-2017 לפאנלים סולריים לנגות שמפיקים עד 50 קילו-ואט, וב-2020 התעריף שנקבע היה 0.12 סנט לקילו-ואט לשעה. ב-2013 החלה לפעול תוכנית מונה נטו. במסגרת רגולציה זו התוכנית תומכת במגבלת הספק

תרשים 4-6
התפתחות ייצור החשמל על בסיס אנרגיה מתחדשת לפי מקור (בגיגה-ואט לשעה) ואמצעי מדיניות אנרגיה, ישראל 2019-2000



(מקור: מבוסס על נתוני IEA, a2020)

שינה את התמונה בכל הנוגע ליבוא האנרגיה של ישראל. על רקע זה עלו שלוש שאלות חשובות ברמה המדינית (Shaffer, 2011):

1. מה יהיה השיעור העתידי של גז טבעי בתערובת החשמל והאנרגיה של ישראל?
2. כיצד להשתמש בגז טבעי מחוץ לענף החשמל?
3. באילו כמויות יש להשתמש בגבולות המדינה, ואיזה נפח יש לייצא?

בעשור האחרון הוחלפה כמות גדולה של פחם מיובא בגז טבעי מקומי. ב-2009 התגלו 32 מיליארד מטר מעוקב של גז טבעי בשדות תמר, וב-2010 התגלו 460 מיליארד מטר מעוקב של גז טבעי בשדות לווייתן. מאגרים אלה צפויים לספק אנרגיה לישראל במשך 25 שנים לפחות (Abu Hamed and Bressler, 2019). יתר על כן, תגליות אלה כמעט שינו את מעמדה של ישראל מיבואנית ליצואנית של גז טבעי. בתחילת 2020 החלה ישראל לספק גז טבעי למצרים. האסטרטגיה של מצרים היא לייצא את הגז מחדש לאירופה בתור גז טבעי נזולי (גז"ן). נוסף על כך, ישראל חתמה עם ירדן על חוזה אספקת גז ל-15 שנה החל ב-2020 (Al-Khalidi, 2020a). מצד אחר, התגליות בלב ים גם ליבו את הסכסוך בין לבנון לישראל בנוגע לתיחום הגבול, ועירבו גומים שלישיים כמו איראן (Shaffer, 2011).

לצד הגז, פחם המיובא בידי החברה הלאומית לאספקת פחם משמש להפקת חשמל (Ministry of Environmental Protection, 2018). כ-78% מדלקי מאובנים יובאו ב-2019 (Abu Hamed and Bressler, 2019), ואילו כיום, כעבור שנה, שיעורי היבוא ירדו ל-65% (IEA, 2020b). לפי המשרד להגנת הסביבה (2018), השימוש בדלק נפט פחת מ-11% ב-2010 ל-4% ב-2016, בעוד השימוש בגז טבעי עלה באותה התקופה מ-5.4 ל-9.66 מיליארד מטר מעוקב. תרשים 4-7 מציג נתונים על יבוא האנרגיה נטו של ישראל בשנים 1990-2019. כפי שמסומן בתרשים, יבוא האנרגיה ב-2012 הגיע לשיאו עם 22.4 מגה-טונה שעט"ן, ומנקודה זו החל לרדת והגיע ל-16.3 מגה-טונה שעט"ן עד 2019.

למרות הפוטנציאל הניכר של ישראל להפקת אנרגיה מתחדשת וההתקדמות שחלה ביישום טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת, הדרך עוד ארוכה. שיעור האנרגיה המתחדשת בישראל זניח לעומת הפוטנציאל הגדול שלו. אף על פי כן, מקורות אנרגיה מתחדשת עברו לראש סדר היום של ממשלת ישראל מטעמי מחסור במשאבי טבע ומשיקולי ביטחון אנרגטי. באופן כללי, על פי מודל השלבים אפשר לסווג את ישראל כנמצאת בשלב הראשון, אך בשלב מתקדם.

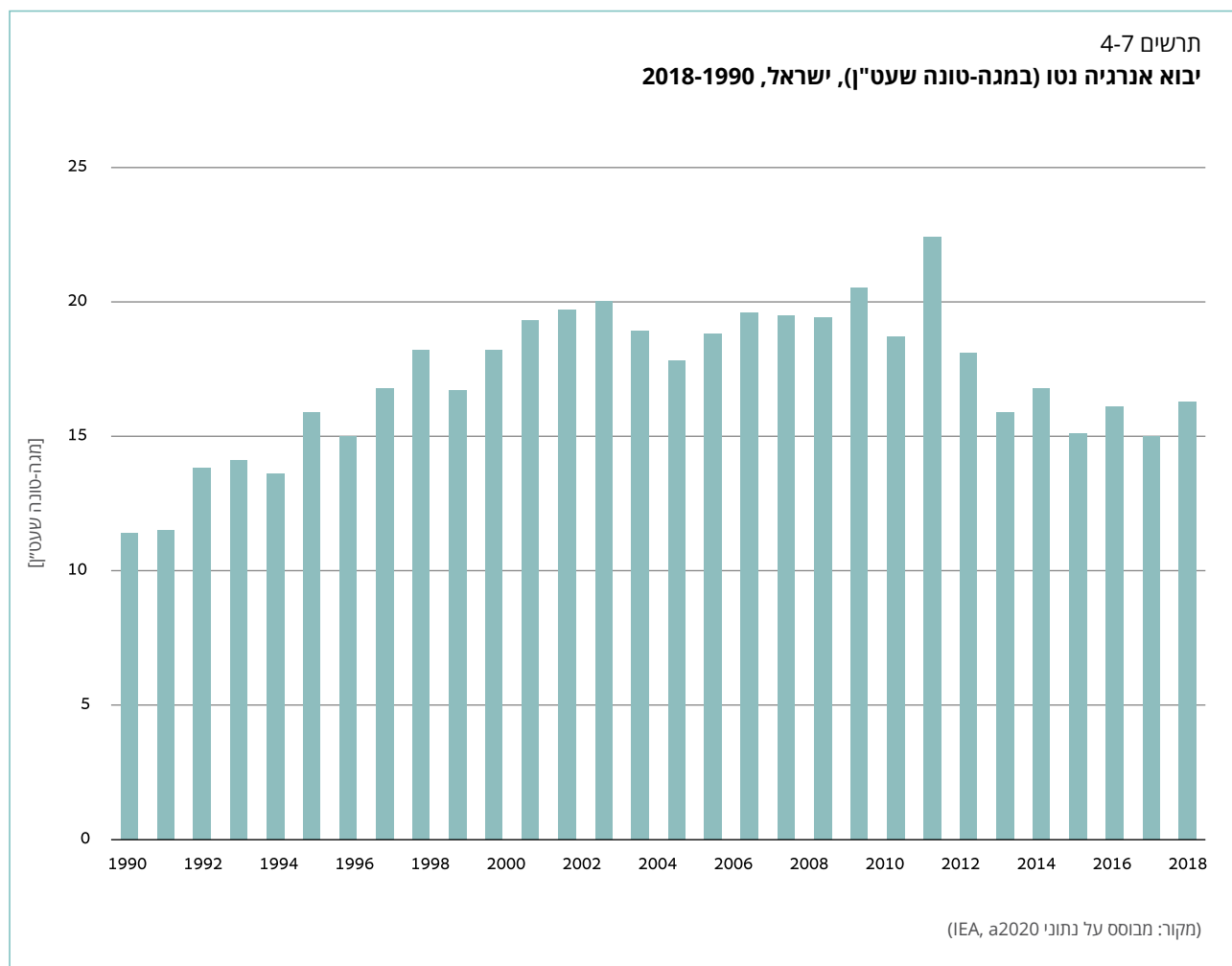
ענף דלקים מאובנים

ישראל אינה מחוברת לתשתית החשמל של המדינות השכנות לה, לכן נתפסת כמבודדת בכל הנוגע לאספקת אנרגיה (Fischhendler et al., 2015). מבחינה היסטורית, מעמדה של ישראל בתור "אי אנרגטי" מעוגן במצב המלחמה והסכסוך שלה עם מרבית שכנותיה באזור (Shaffer, 2011). זאת למרות העובדה שעד לגילוי שדות הגז הטבעי תמר ולווייתן שלחופי הים התיכון נסמכה המדינה כמעט אך ורק על אנרגיה מיובאת. כיום קיימים קשרים עם מדינות שכנות באמצעות צינורות גז המובילים למצרים ולירדן, אך עיקר רשת החשמל עדיין אינה מחוברת בין המדינות.

פרט לצינור הגז הטבעי אל עריש-אשקלון, ישראל מייבאת את מרבית הדלקים המאובנים שלה מרוסיה, מאנגולה ומנורווגיה (Abu Hamed and Bressler, 2019). נפט מיובא בעיקר מרוסיה, מאנגולה, מקולומביה, ממקסיקו ומנורווגיה. בשל חרם היסטורי שהטילו יצרניות נפט ערביות, ישראל תמיד נתונה בחשש מפני מחסור באספקת (Shaffer, 2011). בהינתן השילוב בין המתחיות הגאו-פוליטית לבין מיעוט המשאבים הטבעיים בגבולות המדינה, כל שיבוש באספקת האנרגיה של ישראל עלול להוביל להשלכות כבדות, החל בהפסקת חשמל וכלה בהפרעות באספקת המים (Spiritos and Lipchin, 2013). לפיכך מדיניות האנרגיה של ישראל קשורה בקשר הדוק למדיניות אספקת המים, בעוד שיישראל מפיקה חלק ניכר מאספקת המים שלה באמצעות התפלת מי ים, ולשם כך היא נזקקת לכמות משמעותית של אנרגיה (Shaffer, 2011).

לפני גילוי הגז הטבעי ולאחר הפסקות חשמל חמורות ב-2002, החלה מדינת ישראל להתקדם לאסטרטגיה של גיוון אנרגטי במקורות לייצור חשמל. ב-2005 חתמו ישראל ומצרים על הסכם לאספקת גז ל-15 שנה, וישראל החליפה את מרבית יבוא הפחם בגז טבעי ממצרים. עם זאת, לאחר מתקפות טרור חוזרות ונשנות על צינור הגז, ב-2012 הופסקו אספקות הגז הטבעי ממצרים לצמיתות (Fischhendler et al., 2015). בשל כך הפעילה ישראל שתי תחנות כוח מבוססות פחם בהספק מרבי, והמירה כמה תחנות גז למזוט כבד ולדיזל כדי להימנע משיבושים באספקה (Bahgat, 2011).

גילוי שדות הגז הטבעי באגן הים התיכון ב-2009 וב-2010



תשתיות

ישראל אינה חולקת רשתות הולכת חשמל עם שכנותיה באזור. אם כן, האתגר הגדול ביותר העומד בפני ישראל הוא שילוב הפקת חשמל מאנרגיה מתחדשת ברשת החשמל שלה, ללא אפשרות לאזן את הייצור התנדודי ממקורות מתחדשים בעזרת יבוא או יצוא חשמל.

כרגע תשתית הולכת החשמל בישראל מורכבת מ-5,661 ק"מ של רשת הולכה של מתח גבוה ומתח עליון בעלת 11 תחנות מיתוג ו-204 תחנות משניות. בענף חלוקת החשמל יש 5,661 ק"מ קווי הולכה במתח גבוה ומתח עליון, 28,689 ק"מ במתח בינוני, וכ-37,981 ק"מ של קווי מתח נמוך שמספקים חשמל לכ-2.9 מיליון צרכנים באופן ישיר. כושר הייצור של שנאי חלוקה מגיע ל-25,344 מגה-וולט אמפר. ב-2019 66% מייצור החשמל היו שייכים לחברת החשמל, המפעילה 16 תחנות חשמל, רובן תחנות כוח קונבנציונליות (Central Bureau of Statistics, 2020). כושר הייצור המותקן של חברת החשמל הוא 13.3 ג'יגה-ואט, ואילו כושר הייצור המותקן של גנרטורים פרטיים היה 3.4 ג'יגה-ואט, וב-2018 - 1.4 ג'יגה-ואט מכך היה ממקורות אנרגיה מתחדשים (שם). לעומת אזור החוף האורבני בצפון ישראל, המחובר לקווי חשמל של 400 קילו-ואט, האזורים

בעוד ישראל נהפכת ליצואנית גז טבעי, מתנהל דיון בכמה הסכמים עם מדינות שונות. ישראל חתמה על שני הסכמים:

1. איסטמד, שבכוונתו לכלול את ישראל, את יוון, את קפריסין ואת איטליה בשותפות עם האיחוד האירופי.
2. פורום הגז של מזרח אגן הים התיכון (EMGF), המייצג את פורום הגז של מדינות המזרח התיכון.

ההסכם הראשון נועד לממן פרויקטים שאפתניים וחדשניים של הקמת צינור גז המוביל גז טבעי מישראל דרך קפריסין ויוון לשוק האיחוד האירופי ולתמוך בפרויקטים אלה. ההסכם השני מכווון לפיתוח ענף הגז הטבעי (Ministry of Energy, 2019).

הקבינט הישראלי החליט כי באופן כללי אפשר לייצא 40% מההרבות של המדינה (EIA, 2016). השווקים המקומיים צפויים להתרחב, וענף הגז בישראל צפוי להיהפך לעמוד תווך כלכלי מכריע בטווח הקצר והבינוני. תחזית זו מציגה מכשול בפני המעבר למערכת המבוססת על 100% אנרגיה מתחדשת, שכן תיתכן תלות בטכנולוגיות המבוססות על דלק מאובנים. בנוגע לשימוש בדלק מאובנים, אפשר לסווג את ישראל כנמצאת בשלב הראשון של המעבר למערכת המבוססת על אנרגיה מתחדשת, על פי מודל השלבים.

ומשולב אנכית. משרד האנרגיה צמח מתוך משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים לשעבר. בתור גוף ממשלתי, תפקידו של משרד האנרגיה לפקח על ניהול האנרגיה ומשאבי הטבע, להטיל רגולציה ולנהל את התחומים הבאים: אספקת החשמל, דלקים נוזליים, גז טבעי, מים, שימור אנרגיה, גילוייה והפקתה. היעדים המרכזיים שעל סדר היום של משרד האנרגיה כוללים תכנון מדיניות אנרגיה לטווח הארוך, ביטחון אנרגטי, עידוד המגזר הפרטי והשקעה בו, הקלת ההשפעה הסביבתית וקידום מו"פ. המשרד מחולק לכמה מחלקות, ואחת מהן היא מחלקת הגז הטבעי והנפט, העוסקת ברגולציה של השימוש בגז ובנפט ובקידום פעיל של "מהפכת הגז" בישראל (Ministry of Energy, 2021).

רשות החשמל, שהקים משרד האנרגיה, היא הגוף הרגולטורי האחראי לשירותי חשמל, להסדרה ולפיקוח. רשות החשמל מציבה תעריפי חשמל, אחראית לרישוי ולהגדרת קריטריונים לתקני איכות (The government of Israel, 2021). הספקית היחידה של שירותי חשמל בישראל היא חברת החשמל – חברה משולבת אנכית, ריכוזית ובבעלות ממשלתית, הנתונה לרגולציה של משרד האנרגיה ורשות החשמל. חברת החשמל אחראית לייצור חשמל, להולכה ולחלוקה, ומספקת את מרבית החשמל בישראל (Ministry of Environmental Protection, 2012; Shaffer, 2011; Teschner et al., 2018). כ-2.9 מיליון צרכנים מהמגזר הביתי, המסחרי, החקלאי והתעשייתי מקבלים שירות מחברת החשמל, אשר מספקת חשמל גם למזרח ירושלים ולרשות הפלסטינית. לאחרונה נפתח שוק החשמל הישראלי לענף הייצור הפרטי עקב הגידול בביקוש לחשמל. הרפורמה המבנית שהחלה ב-2018 אמורה להיות מיושמת בתוך שמונה שנים (2018-2026) כדי להפחית את הריכוזיות של חברת החשמל, בין השאר (US Department of Commerce, 2019). לפיכך, עד 2016 כ-20% מכוח הייצור של החשמל בישראל הניעו מיצרנים פרטיים, ורשות החשמל צופה שכוח הייצור המותקן של יצרנים פרטיים יגדל ב-55% עד 2025 (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2020). בהתאם, בשנים הבאות אמור כוח הייצור המותקן של חברת החשמל לקטון מ-13.3 ג'יגה-ואט ב-2018 לכ-8.6 ג'יגה-ואט עד 2025, בעיקר בשל מכירת תחנות כוח ליצרנים פרטיים כחלק מהרפורמה המתמשכת (Central Bureau of Statistics, 2020). המהלך צפוי לעודד תחרות והתייעלות, ולאפשר ליצרנים פרטיים להרחיב את בסיס הלקוחות שלהם מצרכני מתח גבוה לאספקה ישירה לצרכני מתח נמוך. מכרזים המבוססים על מכסות להתקנת אנרגיה מתחדשת, למשל פרויקטים של פאנלים סולריים, פתוחים ליצרנים פרטיים (Navon et al., 2020). ועדת המכרזים הבינמשרדית, המיוצגת על ידי משרד האוצר, משרד האנרגיה ורשות החשמל, מקדמת את המכרזים (Ministry of Finance, 2021). יצרנים פרטיים שזוכים במכרז מקבלים אוטומטית חוזה ארוך טווח לכ-25

הנידחים בצפון ובמזרח מחוברים לקווים של 161 קילו-ואט. שיעור הפחת הממוצע (1.7%) הוא 6% במתקנים ברשת ההולכה ו-1% במתקנים ברשת החלוקה באמצעות "יחסי" כושר הייצור בין רשת ההולכה לרשת החלוקה (שם).

למערכת ההולכה אמינה ובטוחה יש חשיבות מרכזית לתשתיות בישראל, משתי סיבות: (1) היעדר החיבור לשכנותיה; (2) גודלה המצומצם ורגישותה הגדולה לשיבושים אפשריים ובטיחות הן הקריטריונים העיקריים בעיצוב רשת החשמל. עמידה בדרישות פירושה בחינה של המערכת שנועדה לספק חשמל בטיחותי לצרכנים, ואילו עקרון הבטיחות קשור לעמידה בכשלי חשמל ללא שיבושים באספקה (שם). מאחר שמרבית פוטנציאל האנרגיה הסולרית מצוי בדרום הארץ, נהוג לייצר הן חשמל מאנרגיה קונבנציונלית, בעיקר בתחנות כוח בעלות מחזור משולב, והן חשמל מאנרגיה מתחדשת, בעיקר בתחנות כוח פוטו-וולטאיות בקנה מידה גדול (שם). מאחר ששני סוגי תחנות הכוח פועלים בהספק מרבי רוב ימות השנה, כלל החשמל המותקן והמיוצר בדרום גבוה יותר מהביקוש, והדבר גורם עומס יתר בקווי החשמל אשר מסכן את יציבות הרשת וגורם הפסקות חשמל. מסיבה זו חברת החשמל אינה מעוניינת לקבל מערכות סולריות חדשות עד לשדרוג הרשת (שם). אולם שדרוג במערכת הולכת החשמל הוא הליך יקר וממושך.

מכיוון שישראל אינה מקושרת לתשתית חשמל אזורית, הממשלה מעוניינת לחבר את רשת החשמל שלה לזו של האיחוד האירופי בטווח הקצר. בהקשר זה חתמו ישראל, קפריסין ויוון על מזכר הבנות להקמת רשת חשמל באורך 1,208 ק"מ, שתחל לפעול בסוף 2023. הנציבות האירופית כבר אישרה את הפרויקט והשקיעה בו 647 מיליון אירו (ORF, 2021).

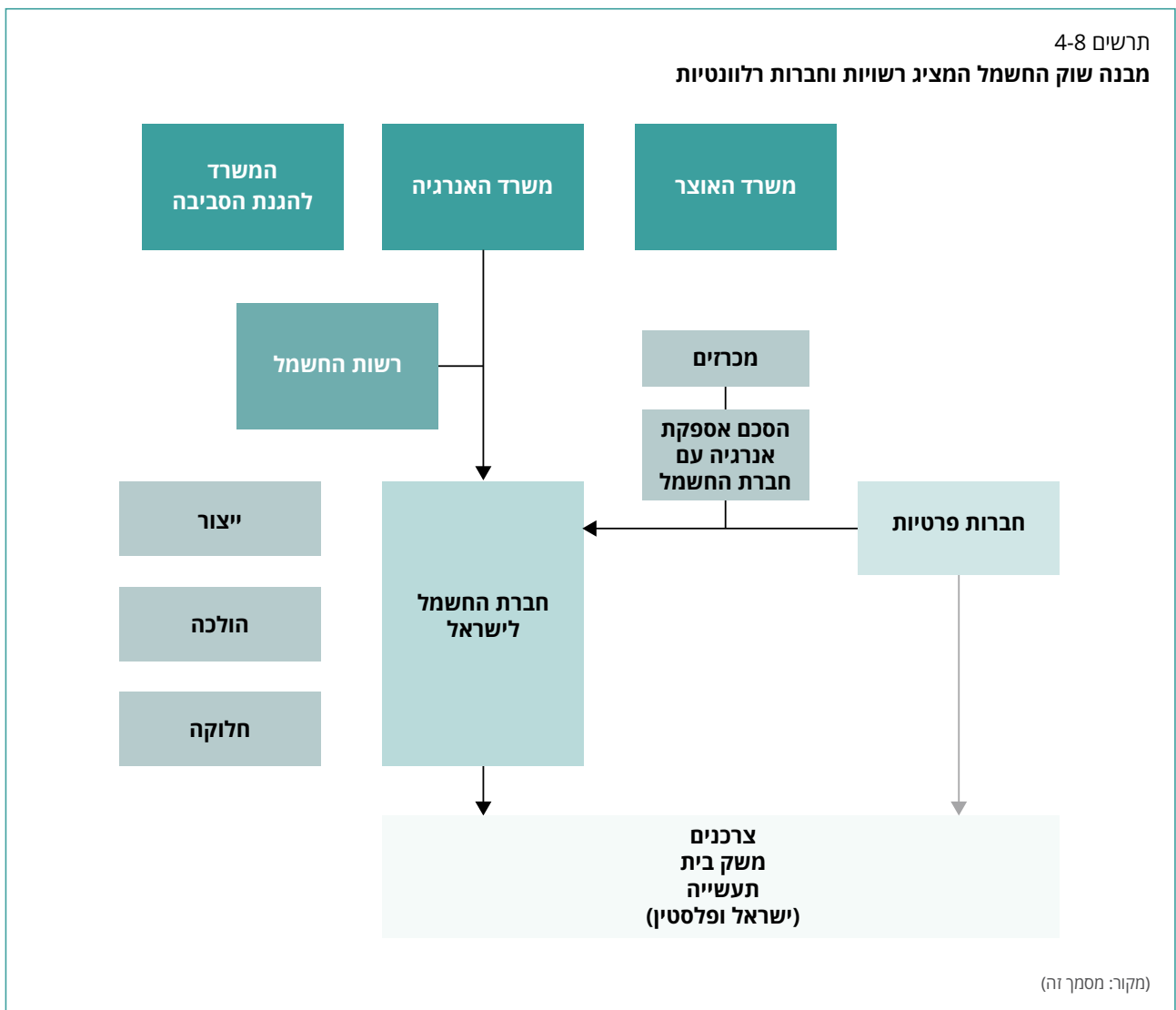
בהינתן שתשתית רשת החשמל של ישראל אינה נכללת בשום תוכנית לחיבור בין-אזורי, תכנון מערכת ההולכה דורשת שיתוף פעולה מוסדי הדוק בתוך הרשת הישראלית. על פי נבון ואחרים (2020), תכנון מוסדי של מיקום תחנות כוח סולריות חדשות וגודלן מפחית את הסיכון בכל הנוגע לאמינות, ומאפשר לזרז את הגידול בשימוש בחשמל מאנרגיה סולרית. שדרוג הרשת והחלת השימוש ברשתות חכמות נראים כפתרון בלתי טריוויאלי בטווח הקצר, שיש שלקדם בהתאם ללוח הזמנים, אם ישראל מעוניינת לממש את יעדיה לשנת 2030.

עקב מצב התשתיות הנוכחי, ובייחוד זה של רשת החשמל, אפשר לסווג את ישראל כנמצאת בשלב הראשון של המעבר לאנרגיה מתחדשת על פי מודל השלבים.

מוסדות וממשל

פרט לכמה שינויים בעלי חשיבות מכרעת לרפורמה בשוק החשמל בישראל, שוק זה נשאר מרוכז מאוד מבחינה מבנית

שנה הכולל הסכם הקמה, תפעול ואספקה (BOT). לאור הרפורמה ההדרגתית בחברת החשמל (הפרדת ייצור החשמל, ההולכה והחלוקה לשלוש חברות נפרדות) שכבר נקבעה בחוק שעבר ב-2003, ההולכה והחלוקה וכן ניהול הרשת, יישארו בפיקוח חברת החשמל (Meitar, 2018; US Department of Commerce, 2019). הדבר נועד להבטיח את יציבותה של חברת החשמל, ולאפשר לחברה להשקיע בתשתיות ההולכה והחלוקה, אשר זקוקות לשדרוג ניכר. אם כן, התוכנית היא שחברת החשמל תשקיע כמיליארד דולר בשנה במשך השנים הבאות בפיתוח רשת חשמל חכמה ומודרנית (US Department of Commerce, 2019). תרשים 4-8 מציג את המבנה המוסדי של שוק החשמל בישראל.



מתחדשת פרטיות. הסדר זה מאפשר ללקוחות לקוז מחשבונו את החשמל שייצרו, ולאזן בין עודף הייצור לעודף הצריכה (Public Utility Authority, 2012).

ההשקעה בניהול צד הביקוש, ומערכת מונה נטו בפרט, מעידות על נכונותה של רשות החשמל בישראל להתקדם לקראת מעבר למערכת אנרגיה מתחדשת. המעבר לשוק שבו הצרכן יכול להיות משתתף פעיל בייצור האנרגיה המתחדשת, ולמלא תפקיד באמצעים הננקטים למען יעילות אנרגטית, מבליט את התקדמותה של ישראל בשלב הראשון על פי מודל השלבים, וכבר אפשר לראות בה התפתחויות ראשונות הרלוונטיות לשלב השני של המעבר לאנרגיה מתחדשת.

פליטות גזי חממה

ישראל הפחיתה משמעותית את פליטות גזי החממה שלה כחלק מהתחייבותה למתן את שינוי האקלים. לעומת 2016, שבה הפחתת גזי החממה הסתכמה ב-6.2 מיליון טונות, ב-2017 הגיעה הפחתת גזי החממה ל-7.6 מיליון טונות (Ministry of Environmental Protection, 2019b). ב-2018 פליטות הפחמן הדו-חמצני היו 58 מנה-טונה, ובכך הראו ירידה אבסולוטית של 20% יחסית ל-2012, השנה שבה נמדד שיא הפליטות (תרשים 9-4). שיעור הפליטות והשימוש בדלקי מאובנים עשירים בגזי חממה לייצור חשמל ב-2012 הגיע לשיא עקב מחסור באספקת גז טבעי באותה השנה. משהתחדשה אספקת הגז הטבעי ב-2013, פליטות הפחמן החלו לרדת (Ministry of Environmental Protection, 2018). יותר מ-50% מפליטות הפחמן הדו-חמצני מקורם בענף החשמל והחימום, ואילו ענף התחבורה נמצא במקום השני בהקשר זה ואחריו ענף התעשייה. מתוך 34 מנה-טונה פחמן דו-חמצני הנפלט מייצור חשמל וחום, 54% מקורם בפחם, 45% מקורם בגז ו-1% מקורו בנפט, כפי שמשורטט בתרשים 10-4 לנתונים של 2018. באופן כללי ניכרת מגמת ירידה בעוצמת הפליטות, הן בפליטות הפחמן הדו-חמצני לתמ"ג לנפש והן בפליטות הפחמן הדו-חמצני לנפש (טבלה 2-4).

המסגרת המוסדית של משק החשמל משולבת אנכית עם חברת החשמל ואחראית ל-80% מהפעילות בענף. תהליך ההפרטה של משק החשמל אושר בחקיקה. עם זאת, חלו עיכובים ביישומו. מוסדות פרטיים ועצמאיים יוכלו לסייע לתמוך בתהליך בעזרת נקודות מבט שונות שיעשירו את דרכי המעבר. לאור העובדה של ישראל יש תוכנית קצרת טווח לפתיחת שוק החשמל לעוד יצרנים פרטיים ולהשקעה בחיזוק רשת החשמל באמצעות חזון של רשת חכמה, קיים סיכוי שהמעבר למערכת אנרגיה מתחדשת ייהפך לחלק אינטגרלי מהתפתחות ענף האנרגיה בישראל. נתונים אלה משמשים חיזוק לסיווגה של ישראל כנמצאת בשלב המעבר הראשון, אף שהוא מתקדם יחסית, על פי מודל השלבים.

שוק האנרגיה והכלכלה

על פי רשות החשמל, מבנה התעריף הביתי יכול להתחלק לייצור ולדלק, להולכה, לחלוקה ולעלויות תפעול המערכת. בהשוואה של מבנה העלויות בין השנים 2017, 2018 ו-2019 התברר כי מרכיב הייצור בתעריף הביתי עלה ב-7%, בעוד שעלויות המרכיבים האחרים ירדו בשיעור של כ-1% (Central Bureau of Statistics, 2020). העלייה בתעריף הביתי חלה בתחילת 2019, בעיקר בשל העלייה במחיר הדלק, השינויים בשערי החליפין והגידול בהתקנת מערכות אנרגיה מתחדשת (שם). בדרך כלל המחיר אחיד למשקי בית או ללקוחות עסקיים המשלמים על פי צריכה. עם זאת, ישנו תעריף שתלוי בשיעורי העומס על המערכת ובזמן השימוש, תקף לפרקים, מתחשב בעונות השונות ומגיע למחירי שיא שונים. על פי מערכת זו, תעריף הקיץ הוא בטווח של 31.59-96.41 אגורות לקילו-ואט לשעה, תעריף החורף הוא 33.94-87.59 אגורות לקילו-ואט לשעה ובאביב ובסתיו הטווח הוא 30.60-43.79 קילו-ואט לשעה, תלוי בביקושי השיא ובצריכה גבוהה או נמוכה (IEC, 2020b).

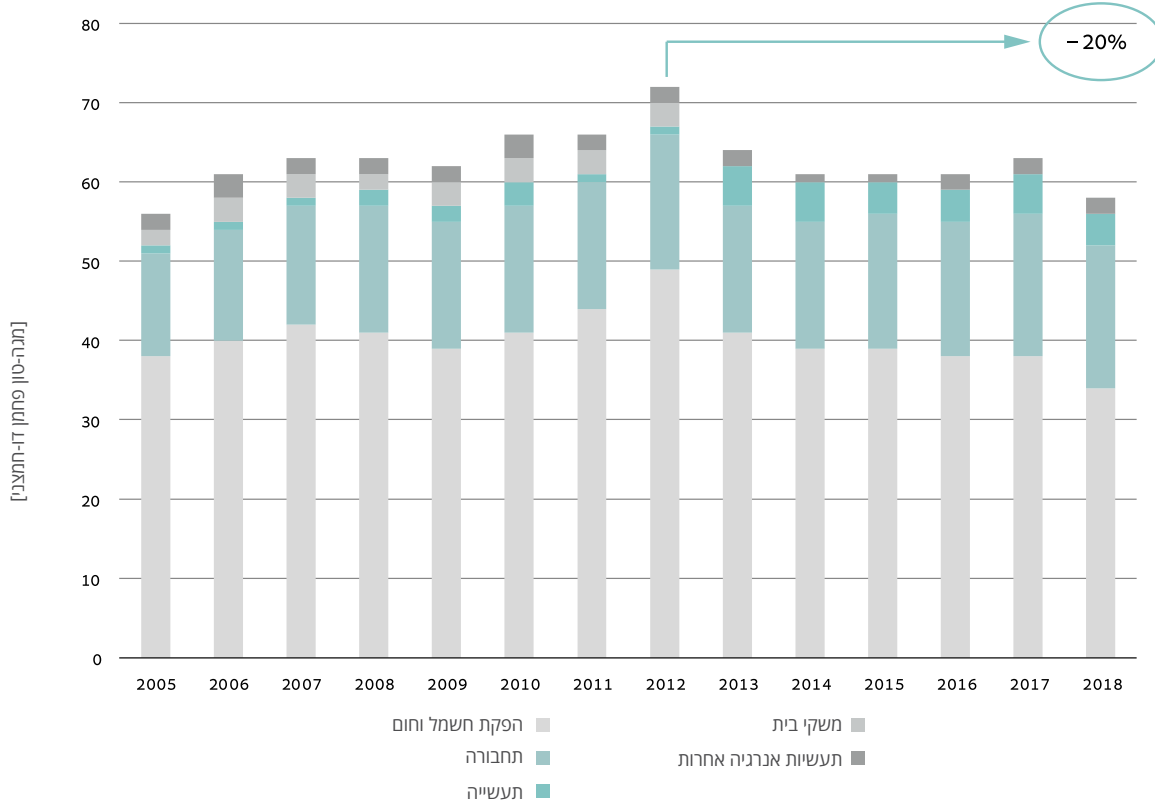
בשנים האחרונות ניכר גידול מתון בהשקעה בענף ההולכה והחלוקה. לעומת ההשקעות בענף ההולכה, שהסתכמו ב-0.9 מיליון ש"ח, סך ההשקעות בענף החלוקה הגיע ל-1.5 מיליון ש"ח בשנת 2018. ענף הייצור כולל בעיקר השקעות במתקנים המפחיתים פליטת גזי חממה, שלהם אחראים גם שימושי גז טבעי (Central Bureau of Statistics, 2020).

בין השנים 2011-2014 היה מחסור באספקת החשמל, והדבר הוביל לעלויות גבוהות לצד ניהול הביקוש, שהגיעו לשיא של 128 מיליון ש"ח ב-2012. עם הגידול בכושר הייצור המותקן ירדה העלות הממוצעת של הטיפול לצד הביקוש בכ-58 מיליון ש"ח בשנים 2016-2018 (Central Bureau of Statistics, 2020).

עם הפעלת תוכנית מונה נטו ב-2013, עודדו את האזרחים להפחית בצריכת החשמל שלהם או להקטין את חשבון החשמל שלהם באמצעות התקנת מערכות אנרגיה

תרשים 4-9

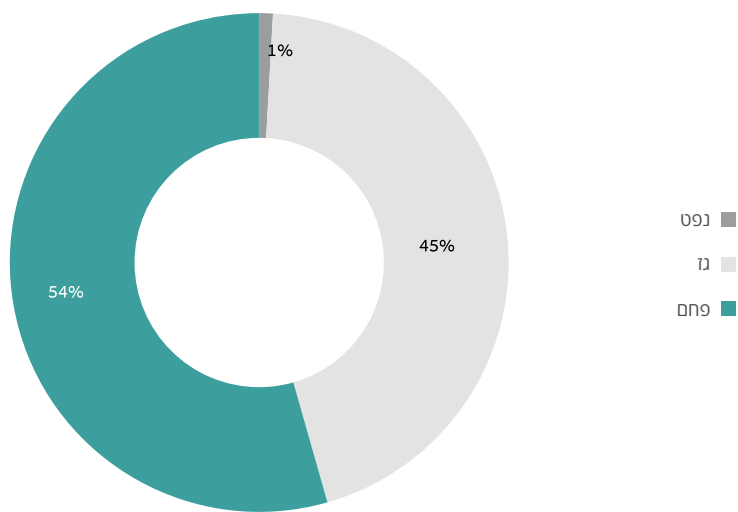
פליטות פחמן דו-חמצני לפי ענף (במגה-טונה פחמן דו-חמצני), ישראל 2005-2018



(מקור: מבוסס על נתונים מתוך: IEA, 2020)

תרשים 4-10

פליטות פחמן דו-חמצני מייצור חשמל וחום לפי מקור אנרגיה (במגה-טונה פחמן דו-חמצני), ישראל 2018



(מקור: מבוסס על נתונים מתוך: IEA, 2020a)

של מתקני קונגרציה חדשים שנועדו להגדיל את היעילות האנרגטית עד ל-80%, הן חלק מצעדיה של הממשלה.

משרד האנרגיה פיתח מכשירי רגולציה מגוונים כדי לעודד שימוש יעיל באנרגיה. לדוגמה, הוא קבע סטנדרט אנרגיה לדודי מים הפועלים בדלק המגדיר את שרפת האנרגיה המרבית המשמשת לחימום מים או יישם את הסטנדרט לרמת היעילות האנרגטית במנועי גנרטורים חשמליים. משרד הכלכלה והתעשייה הוא האחראי הרשמי ליישום סטנדרטים מחייבים בתחום האנרגיה ולתיוגם. בהקשר זה יש צורך בתיוג מחייב ובסיווג ביצועים אנרגטיים למכשירים כמו מקררים, מקפיאים וגופי חימום ומיזוג אוויר. ב-2005 נקבע סטנדרט וולונטרי חדש של בנייה ירוקה הכולל הנחיות בנוגע לחומרי בניין, לעיצוב המבנה, לתשתיות פנימיות ולטכנולוגיה (בין השאר) כדי לבנות בניינים יעילים אנרגטית.

ממשלת ישראל נמצאת בשלב מתקדם של זיהוי מאמצים להשגת יעילות אנרגטית כעמוד תווך חיוני במעבר לאנרגיה מתחדשת. אחת הדרישות הבסיסיות למעבר חלק לאנרגיה מתחדשת הוא יישום אמצעי יעילות אנרגטית עדכניים. הראיות תומכות בהנחה כי ישראל מתקדמת בתוכניותיה בתחום היעילות האנרגטית, ומעידות שהמדינה נמצאת בשלב מתקדם של שלב המעבר הראשון על פי מודל השלבים.

חברה

בישראל אין עדיפות גבוהה לקמפיינים בתחום האנרגיה או לנושאים של יעילות אנרגטית בתוכניות חינוכיות. עם זאת, חברת החשמל מפיצה ללקוחותיה מידע על חיסכון באנרגיה בחשבון החשמל. המודעות בקרב הציבור הישראלי לנושאים בתחום המעבר לאנרגיה מתחדשת ויעילות אנרגטית עדיין נעה בין בינונית לגבוהה. לעומת סוגיות של חיסכון באנרגיה, נושא המים נוכח יותר בקרב הציבור. מכשירים לחיסכון במים מותקנים באופן קבוע במקומות ציבוריים ופרטיים, וסוגים שונים של מדיניות ננקטים לקידום החיסכון במים, כך שהמודעות לחיסכון במים אפילו גבוהה יותר.

לפי סקר שערך מכון הערבה ללימודי הסביבה, 45% מהציבור הישראלי חושבים ששינוי האקלים משפיע על חייהם, ואילו 15% חושבים שלשינוי האקלים אין השפעה על חייהם בטווח הקצר. הסקר גם מעיד שאנרגיה סולרית ואנרגיית רוח הן מקורות האנרגיה המוכרים ביותר בישראל. 52% מהנסקרים מחשיבים את עצמם מודעים מאוד ליתרונות ולחסרונות באנרגיה סולרית. אפשר לייחס את נתון זה לשימוש הרחב בדודי שמש ברחבי הארץ. עם זאת, הסקר מצביע על רמה נמוכה מאוד של מודעות הציבור בנוגע למדיניות של ישראל כלפי יעדים בתחום שינוי האקלים ואנרגיה מתחדשת: רק 15% מהציבור מודעים למדיניות וליעדים אלה, ורק 8% מכירים את התקנות ואת

ישראל פיתחה מערכת בקרה, דיווח ואימות לסיוע בתהליך מיתון שינוי האקלים, בהתייעלות המדידה של מדיניות הפחתת גזי החממה, בעדכון ובהנגשת דוחות לציבור (Ministry of Environmental Protection, 2020). מערכת בקרה זו היא צעד חיוני למימוש היעדים של הסכם פריז. במסמך התרומות הלאומיות (NDCs) שלה קבעה ישראל יעד בלתי מותנה וחוצה מגורים בכלכלה, ולפיו היא תפחית את פליטות גזי החממה ל-7.7 טונות פחמן דו-חמצני לנפש עד 2030, הפחתה של 26% ביחס לפליטה של 10.4 טונות פחמן דו-חמצני לנפש שנמדדו ב-2005 (שם). יעד הביניים של הממשלה כרגע הוא פליטה של 8.8 טונות פחמן דו-חמצני לנפש עד 2025, השווה להפחתה כוללת צפויה של 86.6 מנה-טונה פחמן דו-חמצני. הפחתה ניכרת כבר הושגה באמצעות מדיניות משרד האנרגיה לשינוי סדר העמסת יחידות הכוח והפעלת היחידות הפחמיות במינימום התפעולי (Ministry of Environmental Protection, 2018, 2019b).

אם כן, פליטות הפחמן בישראל נמצאות ברידה בעיקר בשל השינוי במקורות הדלקים בענף ייצור החשמל, בשל עלייה בביקוש לאנרגיה סולרית, ועקב מתקני ייצור חשמל חדשים מגו טבעי אשר יכולים לבלום את מגמת הפליטה. מערכת הבקרה, הדיווח והאימות מאפשרת לממשלה לשלוח איתותים לקראת המעבר למערכת אנרגיה בעלת פליטות מופחתות, ההולמת את הסכם פריז. מגמות אלה תומכות בסיווגה של ישראל כנמצאת בנקודה מתקדמת בשלב הראשון של המעבר לאנרגיה מתחדשת על פי מודל השלבים.

יעילות אנרגטית

במסגרת הסכם פריז אישרה ממשלת ישראל את "התוכנית הלאומית להפחתת גזי חממה ולהגדלת היעילות האנרגטית", המכתיבה יעדים לכל ענף בנפרד להגדלת היעילות האנרגטית עד שנת 2030. המטרות הספציפיות ל-2030 כוללות (Ministry of Environmental Protection, 2021; Spyridonidou et al., 2018):

1. הפחתה של 17% בצריכת החשמל ביחס לתחזית תרחיש "עסקים כרגיל".
2. נתח של 30% אנרגיה מתחדשת מסך צריכת החשמל.
3. הפחתה של 20% בנסועת רכבים פרטיים ביחס לתחזית תרחיש "עסקים כרגיל".

כדי לממש את יעדי היעילות האנרגטית ולהפחית את פליטות הפחמן הדו-חמצני העבירה ממשלת ישראל מענק לפרויקטים בסך 190 מיליון ש"ח (Ministry of Environmental Protection, 2018). במסגרת התוכנית הלאומית, ההחלפה של תחנות כוח ישנות המבוססות על דלק בתחנות כוח המבוססות על אנרגיית גז, וההקמה

ארגון אירועים, מפגשים, הכנת דוחות וקידום הסוגיה בשיתוף גופים ממשלתיים. יוזמה אחת שהצליחה נולדה מתוך פעילות הייצוג של ארגון לא-ממשלתי, תוכנית "ישראל 2050". תוכנית זו מציבה יעדים אסטרטגיים למימוש עד שנת 2050 בענפים שונים כמו תחבורה, אנרגיה, בנייה ותכנון עירוני, מסחר תעשייתי ופסולת (Ministry of Environmental Protection, 2019a).

לסיכום, החברה הישראלית כבר מודעת לנושאים הסביבתיים, וזוהי דרישה חשובה להצלחה במעבר לאנרגיה מתחדשת. בכל הנוגע לנושאים מתחום האנרגיה, נראה שקמפיינים נוספים יוכלו לתמוך בהטמעה רחבה יותר של יעילות אנרגטית ואמצעי חיסכון. אם כן, לפי מודל השלבים, הסיווג של ישראל כנמצאת בשלב הראשון תקף גם בממד החברתי.

סיכום ההתפתחויות ברמת הנוף והמערכת

ברמת הנוף, גילוי שדות הגז הטבעי בסביבות 2010 צפוי להשפיע על המעבר לאנרגיה מתחדשת לפחות בטווח הקצר, אך ייתכן שגם בטווח הארוך. סביר להניח שההתמקדות בניצול משאבי הגז הטבעי האטה את פיתוח הפרויקטים בתחום האנרגיה המתחדשת. הביטחון האנרגטי של ישראל קיבל קדימות על פני דאגות סביבתיות.

נוסף על כך, מגפת הקורונה השפיעה במידה ניכרת על ענף האנרגיה בכלל ועל ענף החשמל בפרט. ישראיות המעידות כי התפרצות המגפה הובילה לירידה בצריכת האנרגיה. היקף הירידה משתנה בהתאם לסוג הדלק והענף. עוד אין לדעת עד כמה השפעות המגפה יהיו ניכרות רק בטווח הקצר, או שמא יהיו לה גם השלכות ישירות או עקיפות על המעבר לאנרגיה מתחדשת בטווח הארוך.

יתר על כן, ישנם כמה אתגרים טכניים ורגולטוריים המשפיעים על המעבר ברמת המערכת. היעדר החיבור לתשתיות האנרגיה במדינות שכנות הוא נקודת פתיחה מאתגרת לשילוב רחב היקף של אנרגיה מתחדשת. כמו בהרבה מדינות במזה"ת ובצפון אפריקה, ענף האנרגיה בישראל הוא שוק של קונה יחיד. לחברת החשמל יש מונופול על ייצור החשמל, הולכתו וחלוקתו. אמנם קיימת מסגרת חקיקה המכוונת לשינוי מבנה השוק, אך היישום איטי מאוד.

לסיכום, אפשר לזהות כמה גורמים ברמת המערכת שכיום מציבים אתגר למעבר של ישראל לאנרגיה מתחדשת: המצב האזורי והגאופוליטי המתוח המתבטא בבעיות חמורות בתחום הביטחון האנרגטי, מגפת הקורונה הנוכחית, המערך המוסדי והיעדר נכונות של החברה לשנות את התנהגותה בכל הנוגע לשימוש באנרגיה – כל אלה מעכבים את יכולתה של ישראל להגיע ליעדי המעבר. נוסף על כך, כרגע אנרגיה מתחדשת אינה מחליפה את השימוש בדלקים

הסטנדרטים הנוגעים לאנרגיה מתחדשת. אלא ששליש מהנסקרים סבור שהוא יכול להשפיע על תהליך קבלת החלטות בהקשר של מדיניות ויעדים בתחום שינוי האקלים ואנרגיה מתחדשת. נתונים אלה הם תוצאותיו של סקר שלא התפרסם, שנערך במרץ 2021 בקרב 1,500 נשאלים, ביוזמת מכון הערבה ללימודי הסביבה וביצועו.

נואל וסובקול (2016) ציינו שבאשר לאנרגיה קהילה סביבתית פעילה, ובה חברים יותר מ-100 ארגונים לא-ממשלתיים רשומים. קהילה זו נוצרה כתגובה לאיום הכבד על הביטחון האנרגטי ולהשלכותיו על הציבור. למרות מודעות כללית בינונית עד גבוהה, ננקטו מעט צעדים לשמירה על הסביבה (Noel and Sovacool, 2016). מרבית האזרחים אינם מקשרים בין השלכות על הביטחון האנרגטי ובין ההשלכות הסביבתיות של ניצול האנרגיה שלהם, והדבר מוביל לתמיכה פסיבית בלבד בסוגיות אלה (שם). מחקר אחר, מאת דיפרסיו ואחרים (2021), הגיע למסקנה שקהילות באזור הערבה הן פתוחות למדי לאנרגיות מתחדשות, ובייחוד לטכנולוגיות אנרגיה סולרית, שכן היא מוסיפה לעצמאות אנרגטית.

חוקרים אחרים, כגון מייקלס ואחרים (2016), טוענים שבאופן כללי, לישראלים אין עניין רב בניסויים שנועדו להסיט את העומס, למשל במכשירי חשמל ביתיים המופעלים בשלט רחוק. על פי הסקר שבמחקר, מרבית האנשים מגלים מעט מאוד עניין בטכנולוגיות האלה בשל אמון רופף במוסדות רחוקים ובשל סוגיות של פרטיות (Michaelis & Parag, 2016). מחקר זה גם מצא שמונים חכמים אינם נתפסים לחיוב בקרב האוכלוסייה. אולם החוקרים מציינים שמאחורי גישה זו מסתתר חוסר אמון רחב יותר במוסדות הממשלה. אף שהציבור הוא בעל גישה אוהדת יחסית לחידושים טכנולוגיים באופן כללי, היעדר האמון יכול להיות גם תוצאה של מחסור בפרסום ובתקשורת בנוגע למונים חכמים. לפי החוקרים, "מאמץ קולקטיבי" עשוי להיות גישה משכנעת יותר.

ממשלת ישראל מקדמת מחקר ופיתוח בתחום האנרגיה באמצעות מענקי מחקר, מימון מחקרי מדיניות חדשים ומתן עצות ממומחים. המעבר לטכנולוגיות חדשניות מושרש עמוק בקהילה המדעית המבוססת בישראל, אשר מרוכזת בתוך תעשיית ההיי-טק של המגזר הפרטי ובמגוון מוסדות המחקר. כמה מוסדות מתמקדים במחקר על אנרגיה מתחדשת, למשל מכון ויצמן בתחום האנרגיה הסולרית או הטכניון.

בכל הנוגע לפלטפורמות המציעות דיאלוג לקידום המעבר לאנרגיה מתחדשת, בישראל קיימים כמה ארגונים הפועלים למטרה זו, למשל הפורום הישראלי לאנרגיה, Israel Smart Energy Association, איגוד חברות אנרגיה ירוקה לישראל, מרכז השל לקיימות, חיים וסביבה, Ignite the Spark ואחרים. איגודים אלה תומכים בדיאלוג באמצעות

פי מודל השלבים. טבלה 2-4 מסכמת את האינדיקטורים החשובים בנוגע למעבר לאנרגיה מתחדשת בישראל ועורכת השוואה ביניהם לאורך כמה שנים.

מאובנים. ההפך, השימוש בנז טבעי מתרחב, ועשוי לגרום קיפאון טכנולוגי בעתיד. מצד אחר, החלת תוכנית PIREs ב-2010, אשר יוצרת את הבסיס החוקי להטבות תעריפים ומס לאנרגיה מתחדשת, הצביעה על נכונותה הפוליטית של ישראל להגדיל את השימוש באנרגיה מתחדשת. זוהי אבן דרך בגיוון מערכת האנרגיה. בהתאם לכך, אפשר לסווג את ישראל כנמצאת בשלב הראשון של המעבר לאנרגיה מתחדשת. באזורים אחדים היא כבר במצב מתקדם; באזורים אחרים נדרשים מאמצים נוספים כדי לעבור לשלב השני על

טבלה 2-4

מנמות ויעדים נוכחיים של המעבר לאנרגיה מתחדשת

| 2050 | 2030 | 2020 | 2018 | 2015 | 2010 | 2005 | אינדיקטור | קטגוריה |
|------------------------------------|--------------|--|------------|------------|------------|------------|--|-------------------------------------|
| - | - | אין נתונים | אין נתונים | -36% | -22% | -21% | פליטות פחמן דו-חמצני לתמ"ג לנפש | פליטות פחמן (בהשוואה ל-1990) |
| -26% מפליטות גזי חממה (לעומת 2005) | | אין נתונים | -4% | +9% | +29% | +21% | פליטות פחמן דו-חמצני לנפש | |
| - | 5.4 גיגה-ואט | 1,500 (2019) | 1,138 | 813 | 99 | אין נתונים | כושר ייצור מותקן ומתוכנן (מנה-ואט) | אנרגיה מתחדשת |
| - | אין נתונים | 2.8 (2019) | 2.4% | 2.3% | 5% | 4% | חלק מתוך צריכת האנרגיה הסופית | |
| - | 30% | 10 | 3% | 2% | 0.34% | 0.08% | חלק מתוך תמהיל החשמל (קייים ומתוכנן) | |
| - | - | אין נתונים | +93.9% | +89.6% | +101.7% | +60.9% | אספקת אנרגיה ראשונית כוללת (TPES) (בהשוואה ל-1990) | יעילות |
| - | - | אין נתונים | אין נתונים | -31% | -17.4% | -18.8% | עצימות אנרגיה ראשונית (בהש וואה ל-1990) | |
| - | - | אספקת אנרגיה ראשונית כוללת (TPES) (בהשוואה ל-1990) | 0% | +4% | +20% | +8% | אספקת אנרגיה כוללת לנפש (TES) (בהשוואה ל-1990) | |
| - | - | אין נתונים | +61.9% | +61.9% | +66.7% | +54.8% | צריכת חשמל לנפש (בהשוואה ל-1990) | |
| - | - | אין נתונים | +248.6% | +231.3% | +187.7% | +158.2% | צריכת חשמל ביתית סופית (בהשוואה ל-2005) | בנייה |
| - | - | אין נתונים | +124% | +110% | +103.4% | +66.9% | צריכת אנרגיה סופית כוללת | תחבורה (בהשוואה ל-1990) |
| - | - | אין נתונים | +124% | +110% | +100% | +62.5% | פליטות פחמן דו-חמצני בענף התחבורה | |
| - | - | פחות מ-1,000 ר"ח, כ-100,000 מכוניות היברידיים (2009) | אין נתונים | אין נתונים | אין נתונים | אין נתונים | מספר הרכבים החשמליים | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|------------|----------------|-----------|------------|------------|--|--------------------|--------------|
| - | - | אין נתונים | -34% | -30.4% | -33.8% | -70.9% | עצימות פחמנית של צריכה תעשייתית (בהשוואה ל-1990) | תעשייה | |
| - | - | אין נתונים | 19.4% | 20.2% | 21.1% | 21.5% | ערך מוסף (מתוך תמ"ג) | | |
| - | - | אין נתונים | -72.6% | -94.6% | 0 | אין נתונים | יבוא גז טבעי (בהשוואה ל-2010) | הבטחת אספקה | |
| - | - | אין נתונים | +24% | +0.9% | +51.4% | +92.3% | יבוא מוצרי נפש (בהשוואה ל-1990) | | |
| - | - | אין נתונים | 1,192.3% | +1,046.2% | +774.4% | +266.7% | יצוא חשמל (בהשוואה ל-1990) | | |
| - | - | אין נתונים | 100% | 99.9% | 99.7% | 99.9% | נישה לחשמל לפי גודל האוכלוסייה היערונית | | |
| - | - | אין נתונים | -99.8% | -99.7% | אין נתונים | אין נתונים | צריכת פחם (בהשוואה ל-2010) | | |
| - | - | אין נתונים | +400% | +300% | אין נתונים | אין נתונים | חרבות גז (בהשוואה ל-2009) | | |
| - | - | אין נתונים | 157,206 (2015) | 425,806 | אין נתונים | אין נתונים | השקעה בניטרליות פחמנית (מיליון דולר) | | השקעה |
| - | - | אין נתונים | 8,882,000 | | | | אוכלוסייה (2009) | | |
| - | - | אין נתונים | 1.9% | 2% | 1.8% | 1.7% | נידול באוכלוסייה | כלכלה וחברה | |
| - | - | אין נתונים | 92.3% (2017) | 92.1% | 91.8% | 91.5% | קצר העיור | | |
| - | - | אין נתונים | 3.5% | 2.3% | 5.6% | 3.9% | נידול בתמ"ג | | |
| - | - | אין נתונים | אין נתונים | -18.5% | -4.7% | 0% | רמת המחסור במים (בהשוואה ל-2005) | מים | |

(מקור: מבוסס על נתונים מתוך: BP, 2020; FAO, 2020; IEA, 2020a; IRENA, 2020a; Statista, 2020; World Bank, 2020)

מכלי רכב. לדוגמה, ב-2011 הושקה "התוכנית הלאומית לתחליפי דלקים ותחבורה חכמה" לקידום התוכנית הלאומית לאלטרנטיבות לדלק ולתנועה חכמה Fuel Choices Initiative, 2021). היוזמה מייצגת מאמץ משותף של עשרה משרדי ממשלה ומחברת בין גופים ממשלתיים, מכוני מחקר וחברות מסחריות לשם יצירת יציבות רגולטורית ואופק השקעה לבעלי עניין בשוק. ב-2016 החלו המשרד להגנת הסביבה וקרן קיימת לישראל (קק"ל) לתמוך בתוכנית להפעלת מיזמי רכבים שיתופיים בקהילות מקומיות. 220 מיליון ש"ח הוקצו למטרה זו. ישראל מתחייבת שעד 2030 יימכרו מכוניות פרטיות שהן חשמליות בלבד (REN21, 2019). משרד האנרגיה פירט את המטרות ואת הצעדים הבאים לקידום השימוש ברכבים חשמליים עד 2030:

1. כל הרכבים הפרטיים שיימכרו יהיו 100% חשמליים.
2. רכבים במשקל של עד 3.5 טונות: 20% גז טבעי דחוס

4.1.2 הערכת המגמות וההתפתחויות ברמת הנישה

התפתחויות ברמת הנישה בכל אחד מן השלבים הן קריטיות להגעה לשלבים הבאים של המעבר לאנרגיה מתחדשת (ראו טבלה 3-1). ישראל כבר רשמה התקדמות מתונה בכמה מהממדים שכבר צוינו: הנישה לאנרגיה סולרית בקנה מידה קטן, יעילות אנרגטית, חקירה ובדיקה של אפשרויות נמישות, תמיכה בתוכניות המקדמות שימוש ברכבים חשמליים ויוזמות בענף המו"פ בתחום המימן וטכנולוגיות חשמל ל-X. הפרק הזה מתאר בפירוט את התפתחויות אלה ברמת הנישה.

■ רכבים חשמליים

ישראל שמה לה למטרה להגדיל משמעותית את שיעור הרכבים החשמליים (ר"ח) בארץ כדי להפחית את הזיהום

מתאפיינת בתנודתיות רבה במשך היום ובין העונות, ושעות ביקוש השיא הן רק 3% מכלל שעות הביקוש בשנה. מערכת החשמל מסוגלת לייצר חשמל בכמות כפולה מהספק צריכת החשמל הממוצעת לשנה. כדי ליעל את הצריכה ולהפחית את ההשקעה בייצור מוגבר ויקר, ישראל מתנסה במדיניות המכוונות לניהול צד הביקוש. חברת החשמל פרסמה מכרז להחלפת המונים הרגילים במונים חכמים בכל רחבי המדינה. מכיוון שטכנולוגיות ניהול צד הביקוש אינן מיושמות בקנה מידה רחב, הציבור אינו מכיר אותן; לפיכך קיימות תפיסות שגויות וחשד בנוגע אליהן. לדוגמה, לצרכנים נראה משונה שצד שלישי שולט בצריכת החשמל בישראל. כמו כן הועלו כמה ספקות בנוגע להשפעות הבריאותיות של המונים החכמים (Michaels and Parag, 2016).

■ חשמל ל-X ומימן

המוביל העיקרי בתחום החשמל ל-X הוא המגזר הפרטי, משום שהממשלה תומכת רק במו"פ. כמה מוסדות חוקרים את התחום של תאי דלק, כגון the Israel National Research Center for Electrochemical Propulsion או Israeli Center for Research Excellence או Renewable Liquid Fuels (I-CORE). כמה סטארט-אפים גם פועלים בתחום זה, למשל PO-Gencell, CellTech, Electriq Global H2Pro, H2 Energy Now, NrgStorEdge, למימן, למשל Edrei Bio Hydrogen או NewCO2Fuels. נוסף על כך, מרבית חברות הדלק הישראליות חוקרות אפשרויות בתחום המימן. לדוגמה, סונול מתכננת להקים בשלוש השנים הבאות את תחנת דלק המימן הראשונה באזור חיפה; פז משקיעה בחברות תאי דלק; קבוצת בז"ן הקימה מרכז חדשנות, ויש לה מניות בחברת המימן H2PRO. חברת תשתיות אנרגיה בע"מ הממשלתית, האחראית לתשתיות הדלק בישראל, מפתחת אסטרטגיה לאגירת מימן בקנה מידה רחב. הממשלה חילקה מענקים בשווי כולל של 5.7 מיליון ש"ח ל-11 מיזמי סטארט-אפ ו-22.3 מיליון ש"ח ל-17 פרויקטים חלוציים ופרויקטי הדגמה בתחומים חשמל, אגירה, אנרגיה מתחדשת, תחליפי דלק לתחבורה, יעילות אנרגטית, סביבה וכו'. בין הפרויקטים שמומנו בשנת 2019 הפרויקטים הנבחרים הבאים פותחו או נמצאים בשלבי פיתוח: תחנת דלק המימן הראשונה, רחפן המופעל בתאי דלק, מסחר בגז טבעי, מערכת אגירה לאנרגיה ממכל אוויר דחוס, פיתוח מוביל לדלק מימן ועוד (Ministry of Energy, 2019).

ענף החשמל ל-X בישראל עדיין נחקר, ומחקר מאת בוגדנוב ובריר (2015) ניתח את מערך הטכנולוגיות המתאים ביותר לפי המשאבים הזמינים בארץ, והגיע למסקנה שטכנולוגיות חשמל לגז ואגירת גז ישימות רק בשיעור של 85% מכלל האנרגיה המתחדשת. לסיכום, לאחרונה ענף החשמל ל-X מקבל תשומת לב הולכת וגדלה. עם זאת, שוק החשמל ל-X

- 80% חשמליים.

3. משאיות במשקל שעולה על 3.5 טונות: 60% גז טבעי דחוס ו-40% חשמליות.

4. אוטובוסים: 25% גז טבעי דחוס ו-75% חשמליים.

כחלק ממאמצי הממשלה, מטרות אלה נועדו לקדם תחבורה חשמלית באמצעות תמריצי מיסוי:

טבלה 3-4

יעדי תחבורה חשמלית

| שנה | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| חשמליים לחלוטין | 10% | 10% | 10% | 10% | 20% | 35% |
| נטענים | 20% | 25% | 30% | 40% | 55% | 83% |
| היברידיים | 30% | 45% | 50% | 83% | 83% | 83% |

(מקור: Israel Government, 2019)

בזכות מחירי החשמל הנמוכים, מרחקי הנסיעה הקצרים והאפשרויות של אנרגיה מייצור עצמי, קיימים תנאים מיטביים לקידום רכבים חשמליים. מענקים בסך 29 מיליון ש"ח ניתנו לכ-30 רשויות מקומיות וליותר מ-15 חברות טעינה ודלק וליבואני רכב לקידום תנועה חשמלית (Gutman, 2019); (Ministry of Energy, 2019). כיום מותקנות 2,500 תחנות טעינה בישראל במימון משרד האנרגיה (Ministry of Energy, 2018). עם זאת, יישום התוכנית איטי למדי, כפי שמגלה מחקר שערך משרד האנרגיה. רוב האזרחים נרתעים מהתשתיות הירודות של תחנות הטעינה, והדבר בעיקר מעכב את רכישתם של רכבים חשמליים (Noel and Sovacool, 2016).

פרט לקידום רכבים חשמליים, ממשלת ישראל קבעה תקן לתערוכת מתנול. על פי הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה מתחדשת (IRENA, 2021), ב-2016 הוחל תקן M15. מתנול יכול להפחית את פליטות הפחמן (בהשוואה לבנזין), והוא נחשב דלק מתכלה. בדרך כלל הוא מופק מגז טבעי או מפחם, אך גם אפשר להפיק אותו באופן "ירוק" מביומסה או עם הספק של חשמל מאנרגיה מתחדשת. עם זאת, השימוש במתנול לדלק בישראל הוא מוגבל מאוד (שם).

■ ניהול צד הביקוש

השימוש במונים חכמים ובמכשירים חכמים יכול להתבצע אוטומטית או בשלט רחוק, וכעת נבדקות בישראל אפשרויות לאחסון סוללות לרכבים חשמליים כאמצעי לניהול צד הביקוש (Michaels and Parag, 2016). מכיוון שישראל אינה מחוברת לרשתות חשמל של המדינות השכנות לה, אי אפשר לגבות את מערכת החשמל שלה באמצעות יבוא ויצוא של חשמל באזור. בהתאם לכך, משק החשמל בישראל מעוצב לאספקת חשמל בכל רגע נתון, וכיום בעיקר באמצעות תחנות כוח גמישות של גז טבעי. צריכת החשמל

כדי לחקור שילובים מגוונים של חקלאות וייצור אנרגיה סולרית כדי להימנע מקונפליקטים אפשריים.

4.1.3 צעדים הכרחיים למעבר לשלב הבא

משק החשמל בישראל נחשב למערכת חשמל קונבנציונלית שבה הנכסים לצד ההיצע משמשים כמקור העיקרי לגמישות. לאור התכנון להגדיל את שיעור האנרגיה מתחדשת, ישראל אמורה להיות ערוכה לאזן בין צד ההיצע לצד הביקוש. לשם כך יש לרתום את אפשרויות הגמישות בכל חלקיה של מערכת האנרגיה, למשל בענפי הייצור, בהולכה ובחלוקה ובמערכות אגירה מתאימות.

מעבר חלק דורש משק שיחבר בין כל המגזרים של משתמשי הקצה. אלא שרוב הדיונים שמתנהלים כיום בישראל בנושא המעבר לאנרגיה מתחדשת מוגבלים בעיקר למשק החשמל. הולכת האנרגיה בענפי החימום, הקירור, התחבורה והתעשייה עוד לא זכתה לתשומת לב מספקת. היישום של יעדים ייחודיים לכל ענף בנפרד, ועדכוןם באופן קבוע לפי התפתחותם, יכולים לסייע בשילוב של אנרגיה מתחדשת מסוגים שונים בכל הענפים. בצד מטרות מוגדרות היטב, קביעת מדיניות להסדרת ניטרליות פחמנית בענפים השונים ולא רק בענף החשמל תוכל להמשיך לתמוך בתווך שבין ענף חשמל לענפים של משתמשי קצה.

חשוב לא פחות מכך הוא המהלך של הפיכת צרכנים ליצרני אנרגיה, כלומר לצרכנים-יצרנים, צעד שיכול לתמוך ביציבות רשת החשמל. החקירה של מודלים עסקיים חדשים לצד שירותי "צרכנים-יצרנים" לרשת החשמל, כגון מיקרו-ייצור, מונים חכמים, הפחתת הביקוש, הסטת העומס, רכבים חשמליים עם חיבור רכב לרשת ואגירת אנרגיה, מציעים פתרונות מבטיחים לשיתוף הצרכנים באיזון רשת החשמל (Michaels and Parag, 2016). פיתוחן של רשתות חכמות יוכל בסופו של דבר לאפשר לצרכנים-יצרנים למכור את עודפי החשמל שלהם לצרכנים אחרים המחוברים לרשת. הדבר יכול לתרום לביטחון האנרגטי ולהקל שילוב אנרגיה מתחדשת במערכת האנרגיה.

עדכון תשתיות רשת החשמל הכרחי לשילוב אנרגיה מתחדשת בהיקף גדול ולהבטחת אספקה אמינה של אנרגיה בטווח הארוך. הפוטנציאל הגדול ביותר של ישראל להפקת אנרגיה סולרית נמצא באזור הדרום, ואילו מרכזי העומס העיקריים הם במישור החוף ובצפון. החיבור לרשת הולכה איתנה וחיבורים בין רשתות הוא בעל חשיבות עליונה לייצור חשמל אופטימלי ולהפצתו. התרחבות כושר ההולכה היא גם אות שעשוי לחזק את האמון בקרב משקיעים באנרגיה מתחדשת. אף שהיא יציבות באזור ממלאת תפקיד מכריע בהגדלת שיעור האנרגיה המתחדשת בענף החשמל, החתימה על "הסכמי אברהם" לאחרונה עשויה לפתוח

בישראל, כמו בשאר העולם, עדיין בחיתוליו.

לכידת פחמן ואגירת

כיום אין שימוש בטכנולוגיות לכידת פחמן ואגירתו, אך הנושא נחקר. החל ב-2013 חקרו קלבו ובריייר גבירצמן (2013) אקוויפרי מלח בפרופיל הגאוגרפי של אזור הנגב הצפוני כדי לחשב ולמפות את כלל קיבולת אגירת הפחמן הדו-חמצני. מסקנת המחקר היא שקיימת קיבולת לאגירת פחמן דו-חמצני ושיש אפשרות כלכלית לנצל אותה (שם).

אגירה

כשיגדלו שיעורי האנרגיה המתחדשת, ישראל צריכה להתכונן לאיזון ההיצע והביקוש. לפיכך לפתרונות אגירה יש תפקיד מכריע. כדי להגיע ליעד של 30% אנרגיה מתחדשת עד 2030, ישראל עשויה להזדקק לכ-8 מגה-ואט לשעה של אנרגיה אגורה (Colthorpe, 2020). מכסה של 800 מגה-ואט אנרגיה שאובה אושרה כדי להרחיב את אפשרויות האגירה של ישראל, והיא מחולקת בין ארבעה פרויקטים: גלבו (כבר פעיל), נשר, כוכב הירדן ומנרה. אפשרויות אגירה אחרות מיוצגות למשל בידי אוגווינד, חברה לדחיסת אוויר ולאגירת אנרגיה שהקימה מערכת פיילוט במדבר הנגב עם קיבולת אגירה של 120 מגה-ואט לשעה לצד מתקן אנרגיה סולרית של 5 מגה-ואט (Willuhn, 2021). נוסף על כך, Chakratec, חברה ישראלית העוסקת באגירה חכמה, מספקת פתרונות לפרישת תחנות טעינה מהירה באמצעות גלגלי תנופה מהירים, שבכך יספקו טעינה בהספק גבוה לרכבים חשמליים.

טכנולוגיית מידע ותקשורת

חברת החשמל השיקה פיילוט לשימוש במונים חכמים לניהול יעיל של רשת החשמל. חברת החשמל אחראית לשימוש בטכנולוגיית מידע ותקשורת בענף החשמל, והיא התקינה מערכות בקרה ופיקוח מתקדמות במקטעי ההולכה והחלוקה של הרשת. המונים מודדים את הצריכה הממשית, ומעבירים למערכת הבקרה נתונים בזמן אמת כדי לאפשר בקרה טובה יותר של הצריכה ולספק לצרכנים מידע עליה. חברת החשמל פרסמה מכרז להחלפת המונים הרגילים במונים חכמים בכל הארץ.

אנרגיה אגרי-וולטאית

בהינתן זמינותה המוגבלת של הקרקע והגידול בביקוש לאנרגיה בישראל, האפשרות של שילוב אנרגיה פוטו-וולטאית וחקלאות היא פתרון אפשרי. משרד האנרגיה ומשרד החקלאות השיקו פיילוט של תוכנית מחקר להערכת ההיתכנות של פרויקטים אגרי-וולטאיים (Bellini, 2021b). מאחר שכ-20% משטח המדינה הם קרקע ראויה לעיבוד, נבדקות פרקטיקות חקלאיות כגון שדות פתוחים וחממות לשילוב בהפקת אנרגיה סולרית. משרדי הממשלה חילקו מענקים בסך של כ-3.5 מיליון ש"ח לשישה מחקרים שונים

מקבל מספיק מידע על יתרונותיה. לפיכך, אם ברצונה של ישראל להתקדם למערכת אנרגיה המבוססת על אנרגיה מתחדשת, יהיה עליה לפתח ולהוציא לפועל אסטרטגיה מקיפה, כולל האפשרות להפסיק את השימוש בגז בעתיד הרחוק.

4.2 תחזית לשלבים הבאים של תהליך המעבר

הניתוח שנערך כאן מספק שלל ראיות לכך שישראל צועדת לעבר המעבר לאנרגיה מתחדשת. אחרי שעברה שתי תמורות גדולות בכל הנוגע לאנרגיה – משבר הנפט ב-1973, שבו החליפה ישראל נפט בפחם כמקור העיקרי לייצור חשמל, ושיבוש אספקת הגז הטבעי ממצרים בתחילת שנות האלפיים – היא החלה את המעבר הנוכחי בצעדים קטנים, עד כה בעיקר בתחום האנרגיה הסולרית.

חוקים, תקנות, הוראות ומכשירי חקיקה רבים נקבעו כדי להסדיר את מדיניות האנרגיה בישראל. החקיקה המשמעותית ביותר לענף האנרגיה המתחדשת הוא סעיף 9 בחוק התכנון והבנייה (1970), שמאז 1980 מכתוב את השימוש באנרגיה סולרית (בצורת דוודי שמש) במגזר הביתי. חקיקה זו תרמה להפיכתה של ישראל לחלוצה בפיתוח אנרגיה סולרית. עם זאת, הדרישה לניצול אנרגיה סולרית מוגבלת עד כה למגזר הביתי. השימוש באנרגיה סולרית במגזר התעשייה והמסחר עדיין אינו מוסדר דיו. יש ליצור מסגרת הולמת להרחבת השימוש באנרגיה הסולרית במגזרים אלה. בייחוד במדינה כמו ישראל שקיים בה פוטנציאל גדול, יש לקדם את השימוש באנרגיה סולרית בתהליכים תעשייתיים, למשל באמצעות חום תהליך מאנרגיות מתחדשות.

תוכנית PIREs מ-2010 טרם עודכנה. אך ב-2018 השיק שר האנרגיה יובל שטייניץ תוכנית לרפורמה בענף האנרגיה בישראל שתיושם עד 2030, שמטרתה "להציל את ישראל מאנרגיה מזהמת" ולהפסיק את השימוש בפחמן בענף ייצור החשמל עד 2026 (Ministry of Energy, 2021). עם זאת, תוכנית זו לה התייחסה לשימוש הקונקרטי באנרגיות מתחדשות, וצפתה שיעורים של 80% גז טבעי ו-20% אנרגיות מתחדשות במשק החשמל, שמאז שובנו ל-70% גז טבעי ול-30% אנרגיות מתחדשות. יעדים אלה מראים שגז טבעי נמצא בעדיפות ראשונה מבחינת ממשלת ישראל (Surkes and Staff, 2020). אם כן, השקעות בסכומים גדולים מופנות אל תשתיות גז ולא אל ענף האנרגיה המתחדשת. לאור המאמצים הגלובליים להגיע לניטרליות פחמנית, המצב הנוכחי בישראל מסתכן בהשלכות של קיפאון טכנולוגי והשקעות נטושות. מצד אחר, הגיוון בתערובת האנרגיה של ישראל תוכל להיטיב עמה בכל הנוגע להפחתת גזי חממה ולחיזוק הביטחון האנרגטי.

אפשרויות חדשות לשיתוף פעולה ביצוא חשמל מאנרגיה מתחדשת או להולכת אנרגיה ירוקה, לדוגמה מימן ירוק.

יש צורך לשקול מחדש את מסגרת המיסוי הנוכחית, שכן היא תומכת בדלקים מזהמים. חברות תעשייתיות המשתמשות בדלקי מאובנים יכולות לרשום את העלויות כהוצאות מוכרות, ובכך להפחית מחובות המס שלהן (Grossman, 2016). בשל כך אנרגיה סולרית נעשית אטרקטיבית פחות, ובמקומה ממשיכים להשתמש בדלקי מאובנים. יש צורך לבחון מחדש את משטר המס, ולהחיל תמריצי מיסוי להעדפת אנרגיה מתחדשת על פני דלקי מאובנים.

מעבר מוצלח לאנרגיה מתחדשת דורש גם השתתפות מצד האזרחים. המעבר לקראת 100% אנרגיה מתחדשת הוא תהליך מערער, בענף האנרגיה ובכל שאר תחומי הכלכלה, אך גם בחיי היומיום. המהלך דורש תמיכה והבנה מצד הממשלה, אך יותר מכול מצד החברה. אף שהחברה הישראלית בעלה מודעות גבוהה לטכנולוגיות חדשניות, עדיין יש מחסור במודעות בכל הנוגע לצריכת האנרגיה שלה עצמה. יתר על כן, ניכר שבקרב רשויות מקומיות קיים לפחות מחסור חלקי במומחיות. פיתוח בתחום החינוך וההכשרה לצמצום פערי מיומנות, וליצירת אמון בטכנולוגיות ניהול צד הביקוש, למשל, עשוי לתמוך ביישום רחב יותר של אנרגיה מתחדשת.

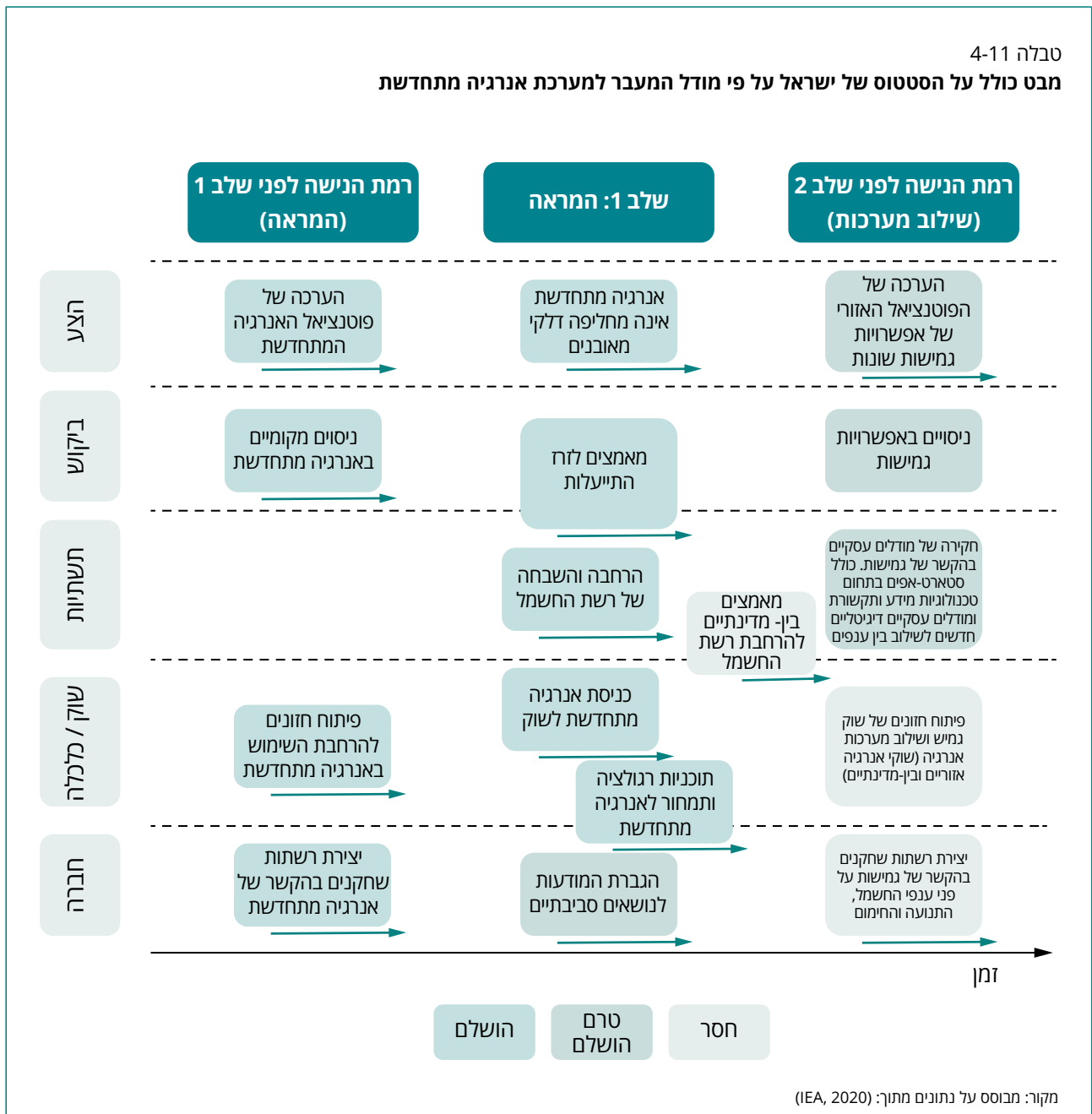
מסגרת מוסדית ורגולטורית איתנה ובת קיימה מבחינה כלכלית היא הכרחית לשוק אנרגיה פתוח ותחרותי יותר. האדריכלות המוסדית שקיימת כרגע בשוק החשמל המונופוליסטי מגבילה את סחירותו ואת יכולתו להתמודד ביעילות עם מבנים מורכבים יותר. כיום מרבית ההחלטות הנוגעות לענף האנרגיה מתקבלות בחברת החשמל, וסובלות מהיעדר תיאום בין משרדי ממשלה. מכיוון שחל גידול ניכר ביצרני חשמל פרטיים ובייצור חשמל בלתי ריכוזי, הקמת גופים רגולטוריים עצמאיים תוכל לסייע בייצוג האינטרסים של קהילת בעלי עניין רחבה יותר. תפקידה של חברת החשמל דורש אפוא בחינה מחדש. חברת החשמל או גוף רגולטורי עצמאי חדש יצטרך לקבל אחריות על בקרה ועל הערכה של הביצועים בענף. שיפור הביצועים המסחריים בענף עשוי לצמצם אי-יעילות, לסייע למשך פיתוחים מהמגזר הפרטי ולעודד צמיחה בשוק האנרגיה בישראל.

הרחבת האנרגיות המתחדשות תוכל לתרום משמעותית לחיזוק הביטחון האנרגטי בישראל. אולם אף שישראל הציבה יעד של 30% אנרגיה מתחדשת עד 2030, ואף שמקבלי החלטות ובעלי עניין מהתחום תומכים במעבר זה, גז טבעי צפוי להמשיך למלא תפקיד מכריע. תמיכה זו בגז טבעי האטה את פיתוחם ואת יישומם של פרויקטים בתחום אנרגיה מתחדשת (Willner, 2014). כמו כן אין תוכנית ברורה ליישום אנרגיה מתחדשת, והציבור אינו

טווח בשילוב תוכנית אסטרטגית יכול להגביר את הביטחון ואת האמון בקרב בעלי עניין ואת תמיכתם ואת מעורבותם בהתפתחות זו.

הניתוחים על פי מודל השלבים יכולים לשמש נקודת פתיחה לדיון באסטרטגיה ארוכת טווח שמוזכרת בפיתוחה, אסטרטגיה המביאה בחשבון את כלל מערכת האנרגיה ואת המעבר שלה למערכת המבוססת במלואה על אנרגיה מתחדשת. תרשים 4-11 מסכם את הסטטוס של ישראל במעבר לאנרגיה מתחדשת ומספק תחזית לצעדים הבאים.

המעבר של מערכת האנרגיה בישראל למערכת אנרגיה בעלת ניטרליות פחמנית ידרוש השקעות גדולות בפיתוח טכנולוגיה ופרישתה וכן בתשתיות. כדי לרשום התקדמות בכיוון זה הכרחי להתכונן כבר עכשיו לצעדים הבאים במעבר לאנרגיה מתחדשת, המוגדרים כשלב השני והשלישי על פי מודל השלבים. הדבר כולל, לדוגמה, דגש חזק יותר באפשרויות גמישות, דיון בתפקידו של הגז הטבעי בטווח הארוך, הגברת ההשתתפות והמודעות בקרב האוכלוסייה וחקירת התפקיד העתידי של טכנולוגיות חשמל ל-X במערכת האנרגיה. יתר על כן, פיתוח חזון למדיניות ארוכת



מסקנות ותחזית

בשינויים בתעריפים ובמיסוע וכלה בשדרוג רשת החשמל וחיבורה בין מדינות. כמו כן חיוני להגביר את המעורבות של המגזר הפרטי ושל כלל האוכלוסייה במעבר לאנרגיה מתחדשת. כדי לזכות בתמיכה פוליטית רחבה יותר, מקבלי החלטות צריכים להכיר במעבר לאנרגיה מתחדשת כהזדמנות לחזק את הביטחון האנרגטי ולטפח התפתחות כלכלית וחברתית בטווח הארוך.

אף שישראל רשמה התקדמות במעבר לאנרגיה מתחדשת, ואף שהיא נמצאת בשלב מתקדם בשלב היציאה לדרך, נדרשים מאמצים נוספים אם המדינה מעוניינת להמשיך במעבר לקראת מערכת אנרגיה המבוססת במלואה על אנרגיה מתחדשת. תוצאות הניתוח לאור מודל השלבים נועדו לעורר את הדיון במערכת האנרגיה של ישראל בעתיד, ולתמוך בו באמצעות הצגת חזון מקיף למעבר לאנרגיה מתחדשת ולפיתוח מדיניות בהתאם.

הבנה ברורה וחזון מובנה הם תנאים מקדימים לטיפול ולהכוונה של מעבר לקראת מערכת אנרגיה המבוססת במלואה על אנרגיות מתחדשות. מודל השלבים של המזה"ת וצפון אפריקה הותאם לחקר המקרה של ישראל כדי לספק מידע התומך במעבר למערכת אנרגיה בת קיימה. המודל, שנבנה על בסיס ההקשר הגרמני ונוספו לו תובנות על השתתפות הממשלה במעבר, עבר התאמות כדי לזהות את המאפיינים של אזור המזה"ת וצפון אפריקה ושל ההקשר המסוים של ישראל.

המודל, הכולל ארבעה שלבים ("יוצאים לדרך": אנרגיה מתחדשת, "שילוב מערכות", "חשמל לדלק/גז", ו"לקראת 100% אנרגיה מתחדשת"), הוחל כדי להגדיר ולנתח היכן ישראל עומדת בכל הנוגע למעבר לקראת אנרגיה מתחדשת, ולספק מפת דרכים המפרטת את הצעדים הדרושים להתקדמות במסלול זה. התובנות שנצברו בנייתו ובראיונות עם מומחים מאפשרות הבנה עמוקה ומפורטת יותר של המקרה של ישראל. ישראל היא בעלת פוטנציאל גדול לשימוש באנרגיה מתחדשת, ובמובן זה קיימים בה תנאים מקדימים מצוינים להתקדמות בדרך אל מערכת של 100% אנרגיה מתחדשת, ובייחוד אנרגיה סולרית ואנרגיית רוח. עם זאת, ישראל גם מגבירה את ייצור הגז הטבעי ומשקיעה השקעות אדירות בתשתיות אלה. אף שמהלך זה נראה מיטיב בטווח הקצר להתמודדות עם הגידול בביקוש לאנרגיה במדינה ולהפקת רווחים מהאפשרות לייצא גז טבעי, הוא עלול לגרום השלכות של קיפאון טכנולוגי והשקעות נטושות. העולם הציב יעד של ניטרליות פחמנית עד 2050, דבר שיפחית את הביקוש לדלקי מאובנים, ומוסדות השקעה נוטים יותר ויותר לשקול את הסיכונים שהשקעותיהם מציבות לאקלים, כך שההון הזמין לניצול משאבים קונבנציונליים הולך ופוחת. דגש חזק יותר על אנרגיה מתחדשת גם יוכל לסייע להפחית את התלות ביבוא. נוסף על כך, הדבר יסייע בחיזוק הביטחון האנרגטי, שהוא אחד מעמודי התווך של מדיניות האנרגיה בישראל.

כדי להמשיך את ההתקדמות בכיוון זה, יש להפוך את האנרגיה המתחדשת לחלק אינטגרלי ממערכת האנרגיה. לכך נדרשת תמיכה באפשרויות גמישות ויישומן, החל

- BP.** (2019). BP Energy Outlook – 2019 edition. <https://www.bp.com/energyoutlook>
- BP.** (2020). Statistical Review of World Energy 2020, 69th edition.
- Calvo, R., & Gvirtzman, Z.** (2013). Assessment of CO₂ storage capacity in southern Israel. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 14, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.12.027>
- Central Bureau of Statistics.** (2020). Energy. <https://www.cbs.gov.il/en/subjects/Pages/Energy.aspx>
- Colthorpe, A.** (2020). Israel likely to need 8GWh of storage to meet 2030 renewable energy goals. *Energy Storage News*. <https://www.energy-storage.news/news/israel-likely-to-need-8gwh-of-storage-to-meet-2030-renewable-energy-goals>
- DiPersio, T., Liedtke, N., Rosenthal, A., Wallace, A., Morris, A., Bar-On, I., Halasah, S., & Hamed, T. A.** (2021). Photovoltaic technology in Southern Arava of Israel: an analysis of public acceptance. *International Journal of Sustainable Energy*, 40(1), 85–103. <https://doi.org/10.1080/14786451.2020.1794865>
- EIA.** (2016). Israel. <https://www.eia.gov/international/analysis/country/ISR>
- Electra.** (2021). Hydroelectric Power Station. https://www.electra.co.il/en/about_us/project_showcase/hydroelectric_power_station
- Enkhardt, S.** (2019). Belectric bringt Solarpark mit 120 Megawatt in Israel ans Netz. *pv magazine Deutschland*. <https://www.pv-magazine.de/2019/11/18/belectric-bringt-solarpark-mit-120-megawatt-in-israel-ans-netz/>
- European Commission.** (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. <https://eur-lex.europa.eu/TodayOJ/>
- European Commission DG Energy.** (2019). Energy Efficiency First principle. 5th Plenary Meeting Concerted Action for the EED, Zagreb.
- Abu Hamed, T. A., & Bressler, L.** (2019). Energy security in Israel and Jordan: The role of renewable energy sources. *Renewable Energy*, 135, 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.036>
- Adelekan, B. A.** (2012). Recent Advances in Renewable Energy: Research, Applications and Policy Initiatives. *Physical Review % Research International*, 2(1), 1–21.
- Al-Khalidi, S.** (2020a). Jordan gets first natural gas supplies from Israel. Reuters. <https://www.reuters.com/article/jordan-israel-gas-idUSL8N2960Q9>
- Al-Khalidi, S.** (2020b). Jordan parliament passes draft law to ban gas imports from Israel. Reuters. <https://www.reuters.com/article/us-jordan-israel-gas-idUSKBN1ZIOH2>
- Bahgat, G.** (2011). Israel's Energy Security: Regional Implications. *Middle East Policy*, 18(3), 25–34. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4967.2011.00495.x>
- Bellini, E.** (2020). Israel wants another 15 GW of solar by 2030. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2020/06/03/israel-wants-another-15-gw-of-solar-by-2030/>
- Bellini, E.** (2021a). Israel reveals bidders for 300 MW solar-plus-storage tender in Negev Desert – Pv Magazine International. <https://www.pv-magazine.com/2021/02/15/israel-reveals-bidders-for-300-mw-solar-plus-storage-tender-in-negev-desert/>
- Bellini, E.** (2021b). Israeli government wants to boost development of agrivoltaics. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2021/02/01/israeli-government-wants-to-boost-development-of-agrivoltaics/>
- Bogdanov, D., & Breyer, C.** (2015). The Role of Solar Energy towards 100% Renewable Power Supply for Israel: Integrating Solar PV, Wind Energy, CSP and Storages. *Proceedings of the 19th Sede Boger Symposium on Solar Electricity Production*.
- BP.** (2018). BP Energy Outlook - 2018 edition. <https://www.bp.com/>

Energy Handbook (2. Aufl.). CRC Press.

Gutman, L. (2019). Israel planning 2,500 electric car charging stations from north to south. <https://www.ynetnews.com/articles/0,7340,L-5537046,00.html>

Henning, H.-M., Palzer, A., Pape, C., Borggreffe, F., Jachmann, H., & Fishedick, M. (2015). Phasen der Transformation des Energiesystems. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 65(Heft 1/2).

Holtz, G., Fink, T., Amroune, S., & Fishedick, M. (2018). Development of a Phase Model for Categorizing and Supporting the Sustainable Transformation of Energy Systems in the MENA Region. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Hoogma, R., Weber, M., & Elzen, B. (2005). Integrated long-term strategies to induce regime shifts towards sustainability: the approach of strategic niche management. In *Towards environmental innovation systems* (S. 209–236). Springer.

Hydro Review. (2020). Israel's 300-MW Mount Gilboa Pumped Storage begins operating. *Hydro Review*. <https://www.hydroreview.com/hydro-industry-news/israels-300-mw-mount-gilboa-pumped-storage-begins-operating/>

IEA. (2017). *World Energy Outlook 2017*. IEA - International Energy Agency.

IEA. (2020a). Data and statistics. <https://www.iea.org/countries>

IEA. (2020b). Data and statistics. <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy>

IEA-ETSAP, & IRENA. (2012). *Water Desalination Using Renewable Energy [Technology Brief]*. International Renewable Energy Agency (IRENA); Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP). <https://www.irena.org>

IEC. (2020a). *Financial Reports For The Nine and Three Months Ended September 30, 2020*. https://www.iec.co.il/EN/IR/Documents/The_Israel_Electric_Co-Financial_Reports_September_30_2020.pdf

IEC. (2020b). Standard electricity tariffs for low

Evwind. (2020). Israel to set up wind turbines worth 72 mln USD | REVE News of the wind sector in Spain and in the world. <https://www.evwind.es/2020/01/01/israel-to-set-up-wind-turbines-worth-72-mln-usd/72888>

FAO. (2020). 6.4.2 Water stress | Sustainable Development Goals | Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/642/en/>

Fishedick, M., Holtz, G., Fink, T., Amroune, S., & Wehinger, F. (2020). A phase model for the low-carbon transformation of energy systems in the MENA region. *Energy Transitions*. <https://doi.org/10.1007/s41825-020-00027-w>

Fishedick, M., Samadi, S., Hoffmann, C., Henning, H.-M., Pregger, T., Leprich, U., & Schmidt, M. (2014). Phasen der Energiesystemtransformation (FVEE - Themen). FVEE.

Fischhendler, I., Nathan, D., & Boymel, D. (2015). Marketing Renewable Energy through Geopolitics: Solar Farms in Israel. *Global Environmental Politics*, 15(2), 98–120. https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00300

Fuel Choices Initiative. (2021). *National Plan for Smart Mobility | Fuel Choices and Smart Mobility Initiative*. <https://www.fuelchoicesinitiative.com/activities/implementation/smart-mobility/>

Geels, F. W. (2012). A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of Transport Geography*, 24, 471–482. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.021>

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3), 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>

Green Energy Association of Israel. (2021). *Market Overview - Renewables*. <http://www.greenrg.org.il/he-il/english.htm>

Grossman, G. (2016). Energy in Israel: A Case for Renewables. In *Energy Efficiency and Renewable*

Electricity Sector. https://www.meitar.co.il/files/Publications/2018/electricity_reform_english_version.pdf

Michaels, L., & Parag, Y. (2016). Motivations and barriers to integrating 'prosuming' services into the future decentralized electricity grid: Findings from Israel. *Energy Research & Social Science*, 21, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.06.023>

Ministry of Energy. (2018). Another important step taken in the Israeli electric vehicle market: the Ministry of Energy is investing NIS 25 million to establish recharging stations for electric vehicles nationwide! GOV.IL. https://www.gov.il/en/departments/news/electric_car_200818

Ministry of Energy. (2019). Summary of Activities 2019.

Ministry of Energy. (2021). The Ministry of National Infrastructure, Energy and Water Resources. <https://www.energy-sea.gov.il/English-Site/About/Pages/Welcome-Page.aspx>

Ministry of Environmental Protection. (2018). Israel's third national communication on climate change. Submitted to the United Nations Framework on Climate Change.

Ministry of Environmental Protection. (2019a). Israel 2050. GOV.IL. https://www.gov.il/en/departments/policies/israel_2050

Ministry of Environmental Protection. (2019b). Ministry Report on Implementation of National GHG Reduction Plan Submitted to Government. GOV.IL. https://www.gov.il/en/departments/news/ghg_emissions_reduction_report

Ministry of Environmental Protection. (2019c). Ministry: We Plan to Extend Israel's Commitment to Agreements Reached at Paris Climate Conference. GOV.IL. https://www.gov.il/en/departments/news/israel_to_extend_its_commitment_to_paris_agreement

Ministry of Environmental Protection. (2020). Reporting on Greenhouse Gas Emissions. GOV.IL. https://www.gov.il/en/departments/guides/reporting_on_greenhouse_gas_emissions?fbclid=IwAR1sW_Xhw-cfd-

voltage supply. <https://www.iec.co.il/HomeClients/Documents/TaarifAhis01012021.pdf>

IEC. (2021). Demand Forecast. <https://www.iec.co.il/businessclients/pages/amat93new.aspx>

IRENA. (2019). Renewable Power Generation Costs in 2018. <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>

IRENA. (2020a). Data & Statistics. /Statistics/View-Data-by-Topic/Finance-and-Investment/Renewable-Energy-Finance-Flows

IRENA. (2020b). Renewable capacity statistics 2020 International Renewable Energy Agency (IRENA). IRENA.

IRENA. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. /publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol

Israel Government. (2019a). Files_Rishyonot_rish_kavuha_no solar_0318.pdf. https://www.gov.il/BlobFolder/reports/statusrish/he/Files_Rishyonot_rish_kavuha_no%20solar_0318.pdf?fbclid=IwAR1y_0lb9Ge7NX3MjNY7kNZZmcaputDYGjOw6VzLkbr oWUctkIsG4rBv56l

Israel Government. (2019b). מתווה מיסוי כלי רכב. היברידיים וחשמליים החל מ-2020. GOV.IL. <https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/tax-outline>

Li, W., Rubin, T. H., & Onyina, P. A. (2013). Comparing Solar Water Heater Popularization Policies in China, Israel and Australia: The Roles of Governments in Adopting Green Innovations. *Sustainable Development*, 21(3), 160–170. <https://doi.org/10.1002/sd.1547>

Loorbach, D. (2007). Transition Management: New Mode of Governance for Sustainable Development. International Books.

Maruzewski, P., Sautereau, T., Sapir, Y., Barak, H., Hénard, F., & Blaix, J.-C. (2016). The First Israeli Hydro-Electric Pumped Storage Power Plant Gilboa PSPP. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 49, 112003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/49/11/112003>

Meitar. (2018). The reform in the Israeli

- Peri, E., Becker, N., & Tal, A.** (2020). What really undermines public acceptance of wind turbines? A choice experiment analysis in Israel. *Land Use Policy*, 99, 105113. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105113>
- Public Utility Authority.** (2012). Israel Public Utility Authority's (Electricity) biennial activity report 2011-2012.
- REN21.** (2019). Renewables 2019 Global Status Report. REN21 Secretariat.
- Shaffer, B.** (2011). Israel—New natural gas producer in the Mediterranean. *Energy Policy*, 39(9), 5379–5387. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.026>
- Spiritos, E., & Lipchin, C.** (2013). Desalination in Israel. In N. Becker (Hrsg.), *Water Policy in Israel: Context, Issues and Options* (S. 101–123). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5911-4_7
- Spyridonidou, S., Sismani, G., Loukogeorgaki, E., Vagiona, D. G., Ulanovsky, H., & Madar, D.** (2021). Sustainable Spatial Energy Planning of Large-Scale Wind and PV Farms in Israel: A Collaborative and Participatory Planning Approach. *Energies*, 14(3), 551. <https://doi.org/10.3390/en14030551>
- Statista.** (2020, Dezember 14). OPEC global crude oil exports by country 2019. Statista. <https://www.statista.com/statistics/264199/global-oil-exports-of-opec-countries/>
- Surkes, S., & Staff, T.** (2020). With \$22 billion plan, Israel ups 2030 renewable energy target from 17% to 30%. <https://www.timesofisrael.com/israel-ups-2030-renewable-energy-target-from-17-to-30-at-cost-of-22-billion/>
- Teschner, N., McDonald, A., Foxon, T. J., & Paavola, J.** (2012). Integrated transitions toward sustainability: The case of water and energy policies in Israel. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(3), 457–468. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.08.013>
- The government of Israel.** (2021). The Electricity Authority. GOV.IL. https://www.gov.il/en/j9NdJuVsE71_J4NVtsisrP5GJlLzU8UAj6v7KH1m9rEl4
- Ministry of Finance.** (2021). Renewable Energy in Israel - Background. GOV.IL. <https://www.gov.il/en/departments/general/project-renewable-energy-ag>
- Mor, A., Seroussi, S., & Ainspan, M.** (2009). Electricity and Renewable Energy – Israel Profile. In M. Mason & A. Mor (Hrsg.), *Renewable Energy in the Middle East* (S. 19–40). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9892-5_2
- Navon, A., Kulbekov, P., Dolev, S., Yehuda, G., & Levron, Y.** (2020). Integration of distributed renewable energy sources in Israel: Transmission congestion challenges and policy recommendations. *Energy Policy*, 140, 111412. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111412>
- Navon, A., Machlev, R., Carmon, D., Onile, A. E., Belikov, J., & Levron, Y.** (2021). Effects of the COVID-19 Pandemic on Energy Systems and Electric Power Grids—A Review of the Challenges Ahead. *Energies*, 14(4), 1056. <https://doi.org/10.3390/en14041056>
- Negev Energy.** (2016, November 29). Ashalim (plot A) Project 110 MW CSP Thermo-Solar Power Plant. <http://www.eilateilot.org/wp-content/uploads/2017/01/Ashalim-Project-Negev-Energy.pdf>
- Noel, L., & Sovacool, B. K.** (2016). Why Did Better Place Fail?: Range anxiety, interpretive flexibility, and electric vehicle promotion in Denmark and Israel. *Energy Policy*, 94, 377–386. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.029>
- OECD.** (2020). Towards A Sustainable Electricity Sector for Israel | Accelerating Climate Action in Israel: Refocusing Mitigation Policies for the Electricity, Residential and Transport Sectors | OECD iLibrary. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/5d17bb43-en/index.html?itemId=/content/component/5d17bb43-en>
- ORF.** (2021, März 8). Israel und Europa wollen Stromnetze verbinden. news.ORF.at. <https://orf.at/stories/3204437/>

- Willner, S. E.** (2014). Hydropower and pumped-storage in Israel – The energy security aspect of the Med-Dead Project. 9.
- Willuhn, M.** (2021). Compressed air storage to be more than just hot air in Israel. Pv Magazine International. <https://www.pv-magazine.com/2021/01/26/compressed-air-storage-to-be-more-than-just-hot-air-in-israel/>
- Windkraft Journal.** (2015). Ashalim wird mit 110 MW das größte thermische Solarstromkraftwerk in Israel | Windkraft-Journal. <https://www.windkraft-journal.de/2015/10/13/ashalim-wird-die-mit-110-mw-das-groesste-thermische-solarstromkraftwerk-in-israel/72808>
- World Bank.** (2020). World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/indicator/sp.pop.grow?view=map>
- departments/the_electricity_authority
- The Jerusalem Post.** (2019). Israel reaffirms its commitment to Paris Agreement. The Jerusalem Post | JPost.Com. <https://www.jpost.com/israel-news/israel-reaffirms-its-commitment-to-paris-agreement-607032>
- The Windpower.** (2019). Sirin I (Israel) - Windparks - Online-Zugriff - The Wind Power. https://www.thewindpower.net/windfarm_de_16541_sirin-i.php
- The World Bank.** (2013). Integration of Electricity Networks in the Arab World – Regional Market Structure and Design (Report No: ACS7124). The World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/415281468059650302/pdf/ACS71240ESW0WH0I0and0I000Final0PDF.pdf>
- The World Bank.** (2019). Electric power transmission and distribution losses (% of output). <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>
- US Department of Commerce.** (2019). Israel's Reform in the Electricity Sector. https://2016.export.gov/israel/build/groups/public/@eg_il/documents/webcontent/eg_il_129643.pdf
- Vardimon, R.** (2011). Assessment of the potential for distributed photovoltaic electricity production in Israel. *Renewable Energy*, 36(2), 591–594. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.030>
- Verma, A.** (2020). Israel-based Enlight Renewable gets Financing for 189 MW Wind Project. <https://www.saurenergy.com/solar-energy-news/israel-based-enlight-renewable-gets-financing-for-189-mw-wind-project>
- Voß, J.-P., Smith, A., & Grin, J.** (2009). Designing long-term policy: rethinking transition management. *Policy sciences*, 42(4), 275–302.
- Weber, K. M., & Rohrer, H.** (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. *Research Policy*, 41(6), 1037–1047.

רשימת הטבלאות

| | | |
|----|--------------------------------|----------|
| 12 | התפתחויות בשלבי המעבר..... | טבלה 3-1 |
| | הפרויקטים הנוכחיים והמתוכננים | טבלה 4-1 |
| 22 | בתחום האנרגיה המתחדשת בישראל.. | |
| | מגמות ויעדים נוכחיים של המעבר | טבלה 4-2 |
| 32 | לאנרגיה מתחדשת..... | |
| 34 | יעדי תחבורה חשמלית..... | טבלה 4-3 |

רשימת התרשימים

| | | |
|----|--|------------|
| 5 | נקודת מבט בת כמה רמות..... | תרשים 2-1 |
| | מודל שלבי המעבר לאזור המזה"ת | תרשים 2-2 |
| 6 | וצפון אפריקה..... | |
| 12 | התפתחויות בשלבי המעבר | תרשים 3-1 |
| | צריכה סופית כוללת לפי מגזר (בקילו- טונה שעט"ן) בישראל 1990-2018. | תרשים 4-1 |
| 17 | היצע אנרגיה כולל לפי מקור (בקילו- טונה שעט"ן) בישראל 1990-2019. | תרשים 4-2 |
| 17 | צריכת חשמל (בטרה-ואט לשעה) | תרשים 4-3 |
| 18 | בישראל 1990-2019..... | |
| | ייצור חשמל לפי מקור (בטרה-ואט לשעה) בישראל 1990-2019..... | תרשים 4-4 |
| 18 | תערובת ייצור החשמל, ישראל 2018 | תרשים 4-5 |
| 20 | (ב-%, גייגה-ואט)..... | |
| | התפתחות ייצור החשמל על בסיס אנרגיה מתחדשת לפי מקור (בגייגה- ואט לשעה) ואמצעי מדיניות אנרגיה, ישראל 2000-2019..... | תרשים 4-6 |
| 23 | יבוא אנרגיה נטו (במגה-טונה שעט"ן), ישראל, 1990-2018..... | תרשים 4-7 |
| 25 | מבנה שוק החשמל המציג רשויות וחברות רלוונטיות..... | תרשים 4-8 |
| 27 | פליטות פחמן דו-חמצני לפי ענף (במגה-טונה פחמן דו-חמצני), ישראל 2005-2018..... | תרשים 4-9 |
| 29 | פליטות פחמן דו-חמצני מייצור חשמל וחום לפי מקור אנרגיה (במגה-טונה פחמן דו-חמצני), ישראל 2018..... | תרשים 4-10 |
| 29 | מבט כולל על הסטטוס של ישראל על פי מודל המעבר למערכת אנרגיה מתחדשת..... | תרשים 4-11 |
| 37 | | |

על המחברים

חותם

קרן פרידריך אברט, סניף ישראל
ת.ד. 1122355, הרצליה פיתוח 4673334, ישראל

טלפון: +972-9-951-47-60

פקס: +972-76-530-31-78

<http://www.fes.org.il>

להזמנת פרסומים: fes@fes.org.il

שימוש מסחרי בפרסומים של קרן פרידריך אברט ללא אישור
בכתב של הקרן אסור בהחלט.

ההשקפות המובעות בפרסום זה אינן בהכרח השקפותיה של
קרן פרידריך אברט או של הארגונים שמחברי המסמך עובדים
בהם.

סיבל רקל ארסוי (בעלת תואר מוסמך) היא חוקרת זוטרה
בצוות המחקר "מעברי אנרגיה בינלאומיים" במכון וופרטל
מאז 2019. תחומי המחקר שלה הם מסלולי מעבר לקראת
מערכות אנרגיה בנות קיימה בדרום הגלובלי ומידול רשת
המים-אנרגיה. מחקרה ממוקד בעיקר באזור המזה"ת וצפון
אפריקה.

ד"ר יוליה טרפון-פפאף היא חוקרת בכירה במכון וופרטל.
תחום המחקר העיקרי שלה הוא המעבר למערכת אנרגיה
בת קיימה במדינות מתפתחות ובשווקים מתעוררים, והיא
מתמקדת בעיקר באזור המזה"ת וצפון אפריקה.

שותפים יועצים בישראל:

על המחקר

מכון הערבה ללימודי הסביבה הוא מכון מחקר מוביל
ללימודי הסביבה במזה"ת. הוא משמש אכסניה לתוכניות
הסמכה אקדמיות, למרכזי מחקר וליוזמות שיתוף פעולה
בינלאומיות המתמקדות בשלל סוגיות ואתגרים סביבתיים.

למחקר זה נערך כחלק מפרויקט אזורי המיישם את מודל
השלבים של המעבר לאנרגיה מתחדשת על מדינות שונות
באזור המזה"ת וצפון אפריקה. את מודל השלבים פיתח
מכון וופרטל בנרמניה. הפרויקט, שתואם בידי פרויקט
המזה"ת לאנרגיה ולאקלים אזוריים המבוסס בירדן ומטעם
קרן פרידריך אברט, תורם להעמקת ההבנה של תהליכי
המעבר לאנרגיה מתחדשת והשלב שבו הם נמצאים בכל
מדינה ומדינה. כמו כן הוא מציע לקחים חשובים בנוגע
לכלל האזור, בהתבסס על ממצאים שנותחו בכל המדינות
הרלוונטיות. מטרת אלה הן חלק מהאסטרטגיה של קרן
פרידריך אברט לחבר בין נציגי ממשלה לארגוני החברה
האזרחית עם מחקר תומך, ולספק המלצות לניסוח מדיניות
לקידום ולהשגה של מעבר אנרגיה צודק חברתית וצדק
אקלימי לכול.

ד"ר טארק אבו חאמד הוא מנהל המרכז לאנרגיה
מתחדשת ושימור אנרגיה במכון הערבה. הוא בעל תואר
בוגר ותואר מוסמך בהנדסה כימית מאוניברסיטת גאזי
(טורקיה), ודוקטורט בהנדסה כימית מאוניברסיטת אנקרה
(טורקיה). במרץ 2021 מונה טארק אבו חאמד למנכ"ל מכון
הערבה החל בקיץ 2021.

ג'וזף קדר הוא עוזר מחקר במרכז לאנרגיה מתחדשת
ושימור אנרגיה במכון הערבה. הוא בעל תואר מוסמך
במדעי הסביבה מאוניברסיטת אטווש לוראנד בבודפשט,
הונגריה. תחומי המחקר שלו הם המעבר הגלובלי לאנרגיה
מתחדשת, חדשנות חברתית ודיגיטציה.

ISBN 978-965-91802-5-7



ISBN

978-965-91802-5-7

שינוי בר קיימה במערכת האנרגיה של ישראל

פיתוח מודל שלבים



ההרחבה של אנרגיות מתחדשות יכולה לתרום תרומה חשובה להפחתת התלות של ישראל באנרגיה מיובאת. כך אפשר לחזק את הביטחון האנרגטי של ישראל, שהוא מעמודי התווך של מדיניות האנרגיה שלה. פיתוח חזון פוליטי בטווח הארוך בשילוב תוכנית אסטרטגית יכול גם להגביר את האמון ואת הביטחון של בעלי העניין בתמיכתם ובהשתתפותם בתהליך המעבר. תוצאות הניתוח לאור מודל השלבים נועדו לעורר את הדיון במערכת האנרגיה של ישראל בעתיד, ולתמוך בו באמצעות הצגת חזון מקיף למעבר לאנרגיה מתחדשת ולפיתוח מדיניות בהתאם.

בהתאם לכך, ישראל כבר רשמה התקדמות ניכרת בכל הנוגע לפיתוח כושר ייצור של אנרגיה מתחדשת. אולם בה בעת, ישראל גם מגבירה את ייצור הגז הטבעי. לפיכך נדרשים מאמצים נוספים אם המדינה מעוניינת להמשיך במעבר לקראת מערכת אנרגיה המבוססת במלואה על אנרגיה מתחדשת. כדי להמשיך בהתקדמות בכיוון זה, על ישראל לנצל אפשרויות גמישות בכל חלקיה של מערכת האנרגיה כדי לאזן בין צד ההיצע לצד הביקוש. כרגע הדיון במעבר מוגבל לענף החשמל, ועליו להתרחב לענפים אחרים. מעבר חלק דורש חיבור בין כל ענפי משתמשי הקצה.

הבנה ברורה של מערכת התלות הסוציו-טכנית וחזון מובנה הם תנאים מקדימים לטיפול ולהכוונה של מעבר לקראת מערכת אנרגיה המבוססת במלואה על אנרגיות מתחדשות. מודל השלבים של המעבר לאנרגיה מתחדשת במדינות המזה"ת וצפון אפריקה פותח ויושם על חקר המקרה של ישראל כדי לסייע בהבנה זו. המודל מעוצב כדי לתמוך בפיתוח אסטרטגיה ובצעדים ממשלתיים לקראת המעבר, וכדי לספק הדרכה למקבלי החלטות. ישראל היא בעלת פוטנציאל גדול לשימוש באנרגיה מתחדשת, ובמובן זה קיימים בה תנאים מקדימים מצוינים להתקדמות אל מערכת של 100% אנרגיה מתחדשת, ובייחוד אנרגיה סולרית ואנרגיית רוח.

למידע נוסף על פרויקט זה:

<https://mena.fes.de/topics/climate-and-energy>