

# המרכז הבינתחומי הרצליה

## בית הספר לכלכלה

נייר מדיניות כלכלית

### מהי המדיניות הראויה לקידום ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות?

נכתב ע"י גיל אקשטיין וגיא טוילי

מנחה: ד"ר אורן לוינטל

12/07/2015

## תוכן עניינים

1	תקציר העבודה ועיקרי ההמלצות
3	שאלת המדיניות ומטרת הנייר
4	פרק א': רקע
9	פרק ב': שיטות וניתוח
9	מבוא לקביעת תעריפים ככלי מדיני
9	תעריפי הזנה
10	תעריפי פרמיום
11	מכרזים
12	מודל השקעה באנרגיות מתחדשות עם השפעות חיצוניות בתנאי אי ודאות
12	הכדאיות הכלכלית ליזמים ללא התערבות המדינה
17	התערבות הממשלה באמצעות תעריפי הזנה
22	התערבות הממשלה באמצעות תעריפי פרמיום
27	תעריפי הזנה מול תעריפי פרמיום
30	מדיניות ממשלת ישראל
32	מודל הקצאת גורמי ייצור באמצעות אנרגיות מתחדשות
33	אופן חישוב תעריף ההזנה
33	קשיים במדיניות הקיימת בעידוד ייצור חשמל באמצעות אנרגיה מתחדשת
35	מדיניות בעולם
35	איטליה
39	ספרד
42	גרמניה
47	פרק ג': מסקנות והמלצות
52	ביבליוגרפיה
56	נספחים

## תקציר העבודה ועיקרי ההמלצות

בעשורים האחרונים עלתה המודעות לשמירה על הסביבה ברחבי העולם. צמצום זיהום האוויר ופליטת גזי חממה משפיעים על ההתחממות הגלובלית ופוגעים במערכות אקולוגיות, בעלי השלכות תברואתיות ובריאותיות. עם זאת, פיתוח ענף האנרגיות המתחדשות מהווה נכס כלכלי אסטרטגי אשר יהווה בעתיד מקור אנרגיה עיקרי למדינות העולם. אולם, תקופה ארוכה הענף לא צמח לאור מחסור במדיניות לקידומו מצד ממשלות וכדאיות השקעה אפסית מצד היזמים. בעקבות כך, וכן השאיפה לביטחון אנרגטי תוך הימנעות מחשיפה לתהפוכות גיאופוליטיות וגלובליות המשפיעים על היצע האנרגיה, מדינות העולם נקטו פעולות ליצירת מדיניות אנרגיה לאומית רחבה וארוכת טווח אשר תאפשר התפתחותו של ענף האנרגיות המתחדשות.

בעקבות זאת, נקבע בהחלטת ממשלה 4450 יעד מנחה לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בהיקף של 10% מצורכי האנרגיה בחשמל של מדינת ישראל לשנת 2020 וכיעד ביניים נקבע ייצור בהיקף של 5%. כפי שנראה ועל פי הערכת הכנסת, ישראל לא תעמוד ביעד הביניים של ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. בכדי לעמוד ביעדים אלו, מדינת ישראל מעוניינת לקבוע מדיניות אשר תתמך יזמים להשקיע בפרויקטים לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות תוך מקסום רווחה חברתית. על מנת לקבוע מדיניות אופטימאלית שכזו תוך התמודדות עם הקשיים הקיימים במדינת ישראל, נבחנו הכלים המדיניים השונים כגון תעריפי הזנה ותעריפי פרמיום אשר משמשים מדינות מתקדמות בתחום האנרגיות המתחדשות. מדיניות על פי כלים אלו נבדקה בהתאם לתנאי השוק השונים כגון שינויים במחירי החשמל ואפשרות להשקעות אלטרנטיביות.

על מנת להבין את ההשפעות השונות על שיקולי היזם והמדינה, נבחן מודל השקעה של יזם בתנאי אי ודאות עם השפעות חיצוניות. נמצא כי יש לבחון את המדיניות הנקבעת בהתאם לתנאי השוק הספציפיים וכי אין פתרון יחיד אופטימאלי. שיקולי היזם מושפעים ממחירי החשמל ותנודתיותם, תשואה מהשקעה אלטרנטיבית וכן מן המגבלות אשר מציבה הממשלה בפני היזם. שיקולי הממשלה נתונים לעמידה ביעדיה המדיניים תוך התחשבות בעלויות החברתיות הנגרמות עקב התערבות. התערבות ממשלתית באמצעות סובסידיה נמצאה כאופטימאלית, אך אובחן כי כל שיטת תמחור הינה עדיפה בהתאם לתנאי שוק שונים.

תעריפי הזנה הינם תשלומים קבועים מעל תעריף החשמל לייצור חשמל באמצעות אנרגיה קונבנציונאלית. תשלומים אלו מכילים פרמיה מסובסדת והינם לתקופה אשר נקבעת לזמן קבוע מראש של כ-20 שנה. באופן שונה, תעריפי פרמיום הינם תעריפים הצמודים למחיר החשמל ומכילים פרמיה מסובסדת קבועה. בתעריפי פרמיום, השפעת השינויים במחירי החשמל יותר דומיננטית מאחר ותעריפי הזנה הינם תשלומים קבועים. לכל אחת מהשיטות נדרש לקבוע מכסות מגבילות בכדי לא להעמיס נטל עודף מיותר ממתן הסובסידיה על האוכלוסייה המקומית. כאשר נקבעות מכסות הייצור, בהתאם נקבעים מכרזים לפרויקטים ובכך מקדמים הוצאה לפועל של פרויקטים יעילים התואמים את יעדי המדינה.

מבחינת תפוקה ועלויות, טכנולוגיות התומכות בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות התייעלו בקצב חסר תקדים. התייעלות זו באה לידי ביטוי בייחוד בתחום הפוטו-וולטאי. ירידת מחירי הפאנלים הסולאריים בעולם הביאה להשקעה רחבה של יזמים בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות באמצעים פוטו-וולטאים. התקני ייצור חשמל מאנרגיה פוטו-וולטאית ורוח הינן הפופולאריות ביותר בישראל כיום מאחר והן מקיימות את תנאי השטח והאקלים האופטימאליים. המדיניות הננקטת בישראל הינה מדיניות של מכסות ותעריפי הזנה קבועים ללא התאמה לירידה פוטנציאלית בעלויות ההקמה ופיתוח. מדיניות זו יעילה לקידום התחום בטווח הקצר אך מביאה לעלויות חברתיות גבוהות בעקבות חוסר תמריץ להתייעלות בטווח הארוך.

איטליה הינה מדינה אשר התוותה מדיניות של תעריפי הזנה מסובסדים במידה יתרה ללא מכסות ובכך הביאה לעלויות חברתיות גבוהות למרות הצלחתה לקדם את תחום האנרגיות המתחדשות. ספרד קבעה מדיניות "דו-תעריפית" אשר אפשרה ליזמים לבחור בין תעריפי הזנה לתעריפי פרמיום ובכך אפשרה התאמה נקודתית בין שיקולי היזם לתנאי השוק הנוכחיים והתפתחותו בעתיד. תעריפי פרמיום בספרד היו מתואמים חלקית עם מחירי החשמל והבטיחו תשלום מינימאלי ליזמים כאשר מחירי החשמל נמוכים מאוד. כך צומצם הסיכון אשר עלול להתרועע יזמים מלבחור בשיטת תמחור זו. גרמניה קבעה

רגולציה המחייבת את חברות החשמל לרכוש חשמל מיצרני אנרגיה מתחדשת באמצעות תעריפי הזנה אשר עודכנו באופן המוסדר כחוק ועודכן בהתאם לתנאי השוק לאורך השנים. גרמניה הצליחה מאוד בשיטה זו לקדם את התחום ולעמוד בהתחייבויות מול היזמים. לאחר מכן הוסיפה את שיטת תעריפי פרמיום באותו אופן אשר בספרד. שלושת מדינות אלו אופיינו בשילוב אנרגיות מתחדשות בהיקף נרחב מייצור החשמל.

על בסיס הניסיון בעולם והתאמתו לייחודיות המשק המקומי המלצותינו להלן:

+ ניהול **מדיניות "דו-תעריפית"** המשלבת תעריפי פרמיום ותעריפי הזנה הכוללים **מכרזים ומכסות** לכל אחת מהן עבור הטכנולוגיות השונות. המכסות יקבעו בהתאם להעדפת המדינה לגיוון מקורות האנרגיה ולא יועברו מטכנולוגיה אחת לאחרת למניעת התחרות בישראל המתנהלת בדרך של הכשלות.

+ **תעריף ההזנה שיקבע יפחת על פני זמן ויקבע בנפרד לכל מקבץ ביקוש ועונות השנה בהתאם לקשת תעריפי החשמל.** תמחור תעריפי ההזנה יהיה מוצמד לשינויים בעלויות של כל טכנולוגיה, וכן לגורמים נוספים בהם הממשלה תראה לנכון. בכך הקדמה והצמיחה לא יובילו למצב בו ישנם תשלומים עודפים ליזמים.

+ תעריף הפרמיום שיקבע יהיה דומה לזה בספרד ובגרמניה. **הפרמיה תהיה מתואמת חלקית עם מחיר החשמל ותבטיח תשואה נורמטיבית עם תקרה אשר יתעדכן, גם הוא, על בסיס שעתי במהלך היממה.**

+ **על גובה התעריפים השונים להתעדכן בנוסף בצורה אשר תשמר את תמרוץ היזמים להשקעות בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בהתאם ליעדי הממשלה.** מכאן כי נדרוש התאמת התעריפים לתנודתיות מחירי החשמל וגובהם וכן בהתחשב בתשואה האלטרנטיבית חסרת הסיכון של אג"ח ממשלתי לתקופה של לפחות 10 שנים.

+ **יש לשמר את גילום הסובסידיה לאנרגיות מתחדשות במחירי החשמל.** מדיניות זו כפי שבגרמניה בעלת הגיון כלכלי וקוהרנטית עם יעדי ההתייעלות בצריכת האנרגיה ושילוב מתקני אנרגיות מתחדשות במערך ייצור החשמל.

## שאלת המדיניות ומטרת הנייר

**שאלת המדיניות :** מהי המדיניות הראויה לקידום ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות?

משק האנרגיה המתחדשת העולמי קיבל תאוצה חסרת תקדים בשנים האחרונות. שינויי אקלים מתגברים כתוצאה מפליטת גזי חממה המובילים להתחממות גלובלית עוררו מודעות בקרב מדינות העולם לפעול לקביעת מדיניות בענף. בעקבות כך, מדינות רבות ובמיוחד באירופה ובכללם בישראל נקטו במדיניות כלכלית אקטיבית לקדם שימוש באנרגיה ירוקה ובמיוחד בתחום אנרגיית שמש ורוח כדי לצמצם את השימוש באנרגיות דלק וגז במיוחד בתחום ייצור החשמל. לשם שילוב האנרגיות המתחדשות במשק החשמל, בשנת 2009 (החלטת ממשלה 4450), הציבה ממשלת ישראל יעד של ייצור 10% מהחשמל בישראל באמצעות מקורות אנרגיה מתחדשים עד 2020. כיעד ביניים נקבע ייצור של 5% עד שנת 2014.

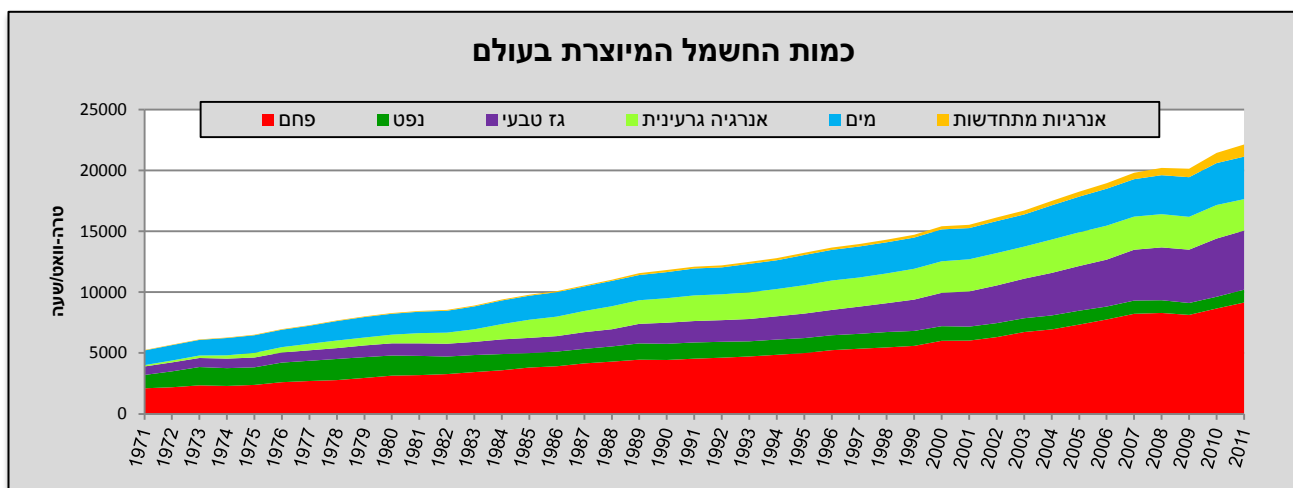
בעבודה זו נתמקד בבחינת המדיניות הראויה לקידום ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בהתאם ליעדים אשר נקבעו בהחלטת הממשלה 4450. לפיכך, נבחן **כיצד תוכל מדינת ישראל לעמוד ביעדים תוך מינימיזציה של העלויות למשק ותמרוץ נאות ליזמים**. מדיניות שכזו הינה אופטימאלית.

בשנת 2013 ייצור חשמל באנרגיה מתחדשת מהווה כ- 1.37% מכמות החשמל המיוצרת. על מנת לעמוד ביעד של 10%, נדרשת המדיניות להתמודד עם מגוון חסמי כניסה לענף ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות. ביניהם, תגליות של דלקים פוסיליים ותנודתיות מחירי הדלקים המקשים על תפעול כלכלי של מערכות הייצור. תנודתיות זו יוצרת אי ודאות בהשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. אי לכך, הבטחת סובסידיה ליזמים מעלה את כדאיות ההשקעה וכניסתם לענף. עם זאת, סובסידיה זו יקרה וכן על אף זאת נראה כי לישראל דרך ארוכה עד ליעדים המוצבים. בהתאם לכך, יש לבחון שיטות מדיניות שונות בעולם וללמוד מניסיוןן לשם השגת מדיניות אופטימאלית.

בכדי למצוא ולהמליץ על שיטת המדיניות הראויה לקידום ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות: (1) נציג את שיטות התמחור השונות המקובלות היום בישראל וכן את השיטות השונות המקובלות במדינות נבחרות בעולם אשר מאופיינות בענף אנרגיות מתחדשות מפותח. (2) נכתוב מודל של השקעה של יזם בייצור אנרגיות מתחדשות כשאר יש אי ודאות לגבי מחיר החשמל כתוצאה מתנודתיות במחירי הדלקים. בנוסף, המודל יקח בחשבון השפעות חיצוניות בעת שימוש באנרגיה קונבנציונאלית. (3) נבחן את השפעה על כדאיות ההשקעה מנקודת ראות היזם באמצעות המודל בתנאי אי ודאות והשפעות חיצוניות. על בסיס זה נציג את שיטות התמחור והמרכיבים שלהם כך שהיזמים יבחרו להשקיע והמדינה תעמוד ב-2020 ביעד של 10% מהייצור החשמל. (4) נערוך השוואה בינלאומית למדינות איטליה, ספרד, גרמניה ונבחן את היסטוריית התפתחות ענף האנרגיות המתחדשות בכל אחת מהן. (5) עבור כל מדינה, נמצא האם התפתחות הענף תואמת את המודל. (6) נשווה בין התוצאות לצורך קביעת שיטת תמחור אופטימלית בישראל על רקע המדיניות שננקטה עד היום.

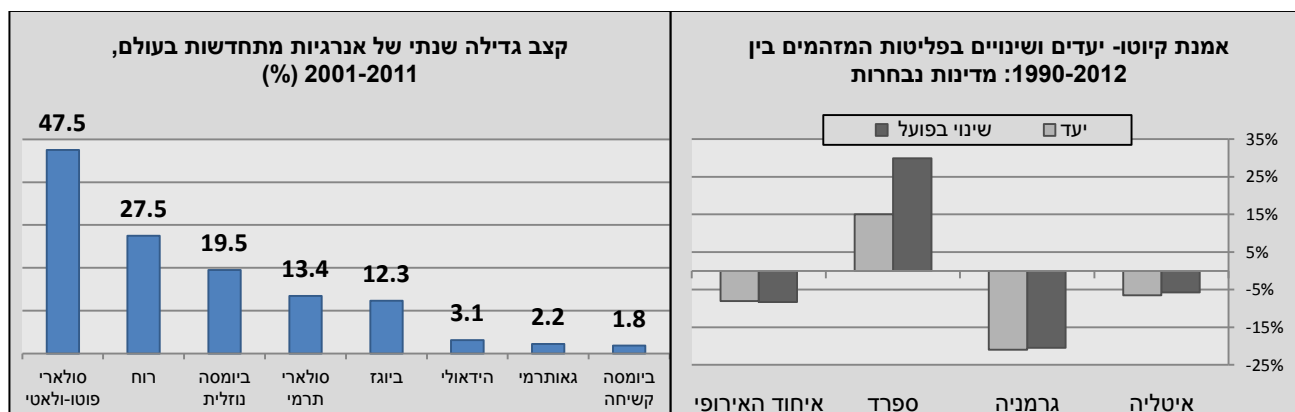
## פרק א': רקע

הגידול באוכלוסייה והתפתחות התעשייתית ברחבי העולם, בעיקר בעולם המערבי, גדלה עם השנים כך שייצור החשמל כיום הינו כפי 4.2 ממה שהיה ממה שהיה בשנת 1970. על מנת לספק את הביקוש הגדל לחשמל, גדלה כמות הדלקים המובערים בתחנות כוח ברחבי העולם. דלקים אלו כוללים נפט גולמי, פחם וגז טבעי. אלו הם אמצעים קונבנציונאליים להפקת אנרגיה. הבערת דלקים אלו יוצרת השפעות חיצוניות שליליות. פליטת מזהמים וגזי חממה לאטמוספירה אשר גורמים לשינויי אקלים, התחממות גלובלית, פגיעה במערכות אקולוגיות, השפעות תברואתיות ובריאותיות ועוד פוגעים ברווחת הציבור כיום ובעלי השלכות עתידיות רחבות היקף. בעשורים האחרונים עלתה המודעות לשמירה על הסביבה שהביאה עמה את הצורך בנקיטת יוזמה משותפת ברמה בינלאומית להתמודדות עם אתגרים אלו (דולב, סגל, כהן-פראן, רוזנטל, גבאי, 2013).



גרף 1: כמות החשמל המיוצרת בעולם. מקור: (OECD factbook, 2014)

בשנת 1992 יזם האיחוד האירופי ועידה בינלאומית בריו-דה-ז'נרו אשר מטרתה לעורר מודעות ויוזמה כלל עולמית לקידום השמירה על איכות הסביבה. בהמשך לזאת, בשנת 1995 התקיימה בברלין הישיבה הראשונה בה נקבעו דרכי פעולה לצמצום פליטות מזהמים בין מדינות העולם. שנתיים לאחר מכן, בוועידת קיוטו (1997) הוכרז כי יש למצוא פתרון להתחממות גלובלית אשר לה נזקים סביבתיים ארוכי טווח וכן יש להתמודד עמה. בעקבות זאת, מדינות העולם נקטו פעולות ליצירת מדיניות אנרגיה לאומית רחבה וארוכת טווח אשר תאפשר התפתחותו של ענף האנרגיות המתחדשות. פותחו וקודמו כלי מדיניות שונים לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות לצמצום השימוש באנרגיות דלק וגז במיוחד בתחום ייצור החשמל. נקבעו מטרות ויעדים ברורים בין המדינות המשתתפות למען צמצום פליטות מזהמים על מנת למנוע פליטות גזי חממה לאטמוספירה וכן כי קיימות עלויות להשפעות חיצוניות שליליות אלו. היעדים נקבעו בהתאם לתחזיות התפתחות התעשייה של כל מדינה (IEA Statistics). בין המדינות אשר היו חלק מן המאמץ העולמי הינן המדינות הנסקרות בנייר זה: איטליה, ספרד וגרמניה (גרף 2).

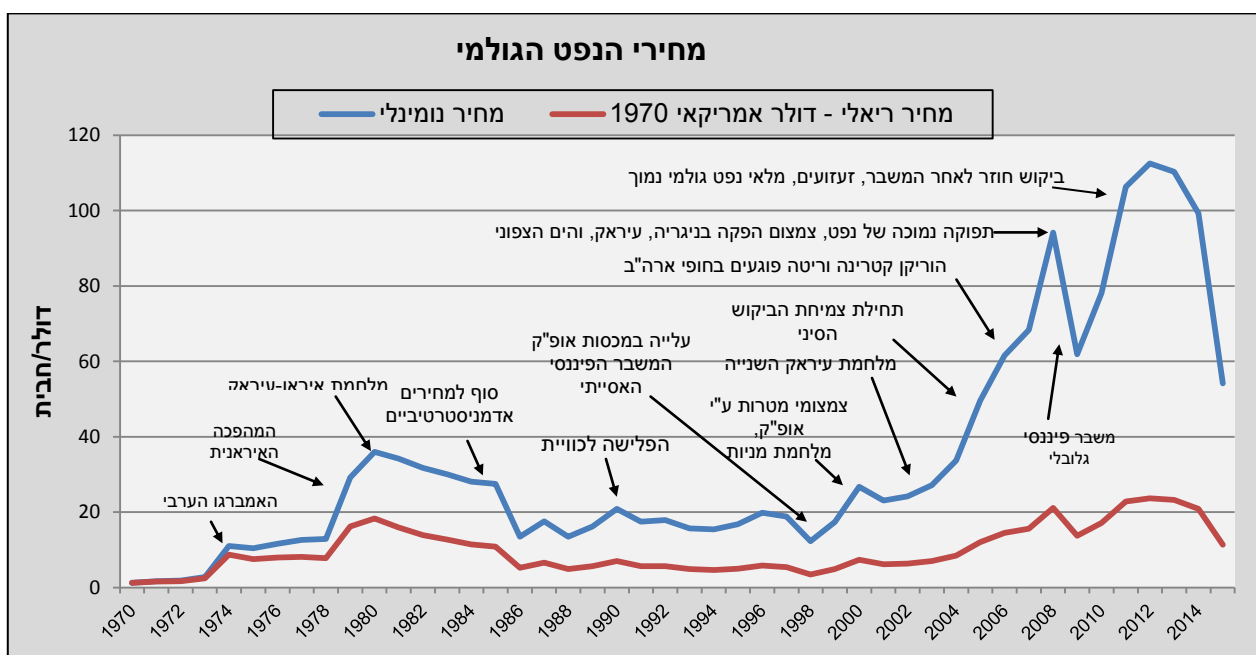


גרף 2 (מימין): אמנת קיוטו- יעדים ושינויים בפליטות המזהמים בין 1990-2012: מדינות נבחרות. (IEA Statistics).  
 גרף 3 (משמאל): קצב גדילה שנתי של אנרגיות מתחדשות בעולם, 2001-2011 (%). (BMW, 2014).

בנסיבות אלו התחייב הנשיא שמעון פרס בדיוני ועידת האקלים בקופנהגן בשנת 2009 להתייעלות משק האנרגיה וצמצום פליטת מזהמים ב-20%. בהמשך לכך וכחלק מארגון המדינות המפותחות - OECD, הציבה ממשלת ישראל (החלטה 4450) יעד של ייצור 10% מהחשמל בישראל באמצעות מקורות אנרגיה מתחדשים עד 2020. כיעד ביניים נקבע 5% עד שנת 2014. על פי החלטה זו, אנרגיה מתחדשת מוגדרת כאנרגיה שמקורה בניצול חום וקרינת שמש, רוח, ביו-גז וביו-מסה או מקור לא מתכלה אחר שאינו דלק פוסילי (משרד ראש הממשלה, 2009).

בהמשך לכך, באוגוסט 2010 פרסם משרד האנרגיה את עיקרי מדיניותו לשילוב אנרגיה מתחדשת במערך ייצור החשמל בישראל. מדיניות זו, בדומה לעולם, מבוססת על הנחת יסוד כי הפקת חשמל מאנרגיה קונבנציונלית (נפט גולמי, פחם, גז טבעי) לעולם תהיה זולה יותר מייצור חשמל מאמצעים מתחדשים לאור עלויות הקמה גבוהות ושעות פעילות מתקן מצומצמות יותר. על כן, לשם שילוב ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות יש לסבסד טכנולוגיות אלו. סבסוד המשקלל את העלות העודפת למשק של כל טכנולוגיה ולא יעלה על התועלת המתקבלת ממנה (משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים - ייצור חשמל). אף על פי כן, שיעור ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות לא התפתח בצורה משמעותית ומהווה חלק זעום מכלל החשמל הנצרך.

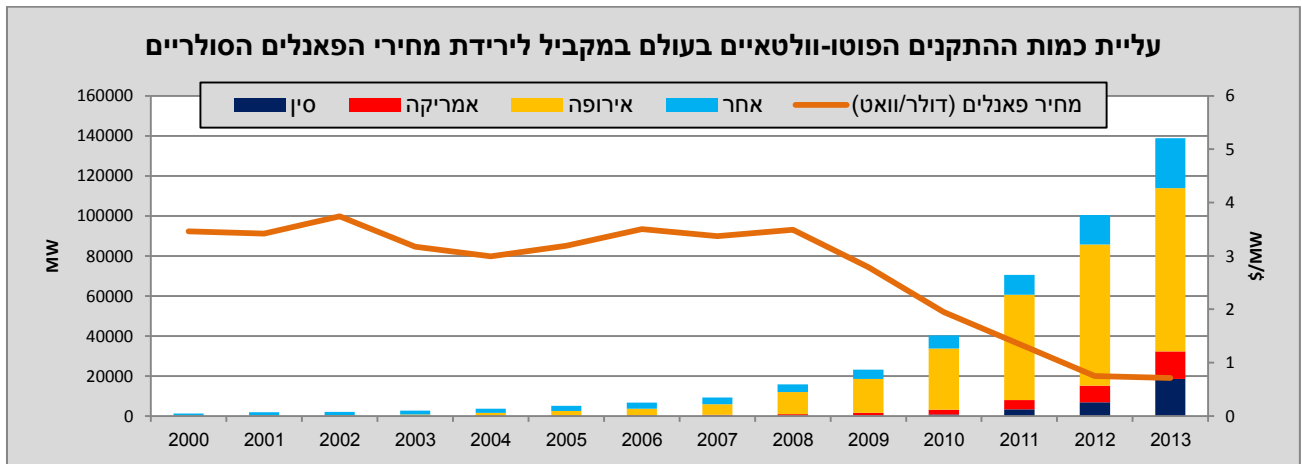
הנפט הגולמי הינו משאב הטבע העיקרי בעולם להפקת חשמל ומהווה כבסיס לתמחור גובה הסובסידיה עבור הקמת מתקנים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. מחירו בעולם בעלייה מתמדת כבר יותר מ-40 שנה ובעשור האחרון החל להאמיר בקצב חסר תקדים. עלותו הגבוהה מעלה את כדאיות ההשקעה באנרגיות מתחדשות. יזמים המשקיעים בטכנולוגיות ירוקות מקבלים תשואה גבוהה יותר עבור כל קוט"ש חשמל מיוצר. אף על פי כן, תנודתיות במחירי הדלקים, ואף תגליות הגז בעולם, מעלים את הסיכון ליזם ויוצרים עבורו אי ודאות בהכנסות העתידיות ממתקני ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. מכאן כי במדינות בהם מחירי החשמל נמוכים ותנודתיות המחירים גבוהה כדאיותו של היזם להשקיע בתחום הולכת ופוחתת. שיטות המדיניות השונות מנסות להתמודד עם אתגרים רבים ולהביא להתפתחות מתמדת (OECD factbook, 2014).



גרף 4: מחירי הנפט הגולמי. (OECD factbook, 2014)

תחום האנרגיות המתחדשות בעולם התפתח בשני העשורים האחרונים במהירות מסיבות נוספות (גרף 4). השיפורים הטכנולוגיים אפשרו להגברת השימוש באנרגיות מתחדשות בקרב מדינות השואפות לצמצם את זיהום האוויר ופליטת גזי חממה במדינתם. ניתן לראות התקדמות זאת בעיקר בתחום הפוטו-ולאטי אשר מחירי ייצור הפאנלים הסולריים הביאו להוזלה מהותית בעלויות הייצור. כתוצאה, צמיחה חסרת תקדים בכמות ההתקנים העולמית (גרף 3). תחזיות רבות צופות

לירידה נוספת בעלויות כך שעלויות הייצור בתחום יהיו כעלויות ייצור חשמל באמצעות אנרגיה קונבנציונאלית ( Grid Parity) ואף זולה יותר. כאשר העלויות יהיו כה נמוכות, יהיה תמריץ רווחי לצד תמריץ סביבתי לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. בגרף 5 להלן ניתן לראות כי בין שנת 2008 לשנת 2013 הייתה ירידה בכ-80% ממחירי הפאנלים הסולאריים כאשר המחיר לשנת 2014 הוא כ-0.6 יורו לווואט:



גרף 5: עליית כמות ההתקנים הפוטו-וולטאיים בעולם במקביל לירידת מחירי הפאנלים הסולריים. (EPIA)

בשוק החשמל והאנרגיות המתחדשות פועלים ארבעה שחקנים מרכזיים: הממשלה, חברות החשמל, ספקי החשמל והיזמים אשר הם יצרני החשמל מאנרגיה מתחדשת. היזמים, חברות החשמל והספקים מעוניינים למקסם את רווחיהם. הממשלה מעוניינת במקסימום רווחה חברתית הכוללת, בין היתר, עמידה ביעדים מדיניים ויעילות בייצור. תועלת הממשלה מורכבת מיעילותם של היזמים, רווחת כלל אזרחי המדינה (המתואמת שלילית עם מחירי החשמל והמיסים), וכן עמידה ביעדי הממשלה (צמצום פליטות המזהמים וכדומה). בעקבות התערבות ממשלתית נוצר נטל עודף אשר נלקח בחשבון גם כן בפונקציית התועלת הממשלתית. לפיכך, שיטת תמחור אופטימאלית הינה שיטת תמחור אשר ממקסמת את תועלת הממשלה, רווחת הציבור בכללותה, משילוב אנרגיות מתחדשות במשק האנרגיה.

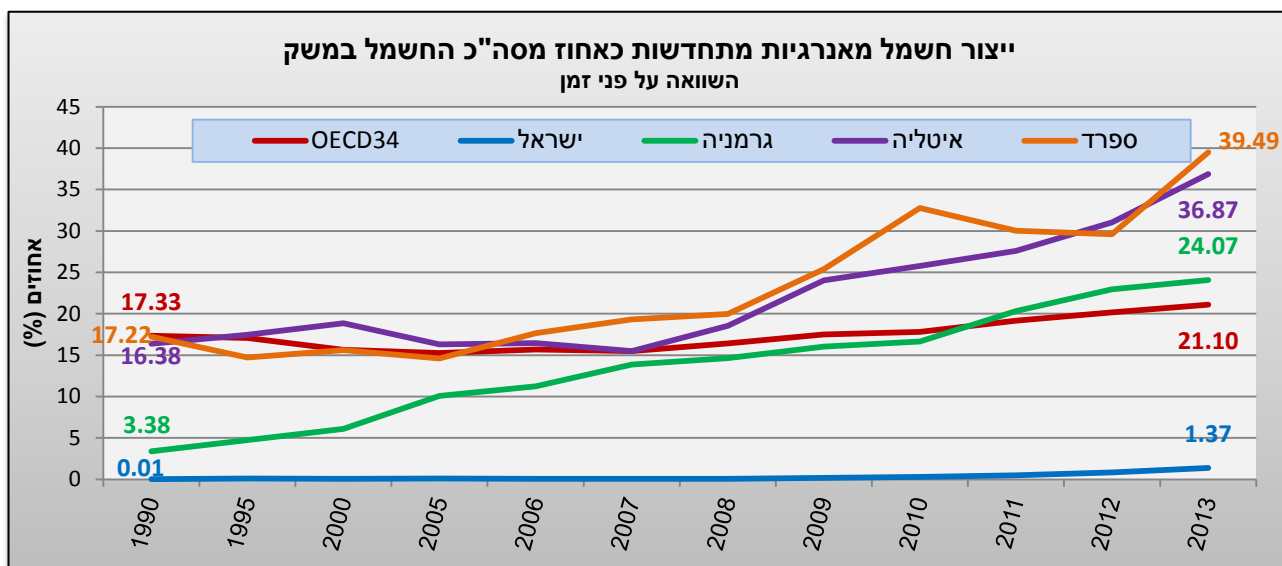
הממשלה משתמשת בתמריצים על מנת למשוך יזמים לבצע השקעות בפרויקטים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. התמריצים ניתנים בתעריפים עבור כל יחידת חשמל מיוצרת, אשר נמדדת לפי קילו-וואט חשמל לשעה (קוט"ש). דרכי התמחור המרכזיים כוללים תעריפי הזנה, תעריפי פרמיום, תעודות ירוקות ומכרזים (יפורטו בפרק שיטות תמחור). כמו כן, הממשלה קובעת רגולציה על חברות החשמל והספקים על מנת לשלב את היזמים בשוק החשמל. לדרכי התמחור והרגולציה יש השלכות על שוק החשמל מבחינת התאמת ביקוש להיצע וכן יציבות מחירים (Antonelli & Desideri, 2014). גורמים חיצוניים מרכזיים המשפיעים על השוק הינם תנודתיות המחירים, שער הריבית ומחירי החשמל. הממשלה משתמשת בכל האפשרויות הקיימות בהינתן הגורמים והשפעתם על השחקנים בשוק על מנת לקבוע מדיניות ראויה.

שוק החשמל בישראל הינו מורכב מחברת חשמל אחת אשר הינה חברה ממשלתית ציבורית ופועלת בהתאם למדיניות ממשלת ישראל למען אספקת חשמל במדינת ישראל והרשות הפלסטינית. חברת החשמל בישראל הינה מונופול יחיד המייצר ומספק חשמל על ידי חיבור כלל הביקוש לרשת החלוקה. רובו המוחלט של החשמל המיוצר הינו באמצעות אנרגיות קונבנציונאליות שונות ואילו חלק מזערי נרכש על ידי חברת החשמל מיצרנים פרטיים המייצרים באמצעות אנרגיות מתחדשות (משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים).

בהתאם להחלטות ממשלת ישראל בשנת 2009 (החלטת ממשלה 4450), קודמה מדיניות אשר תומכת אנרגיות מתחדשות דרך מתן סובסידיה ליזמים על מנת לתמרץ השקעות פרטיות בפרויקטים של הפקת חשמל מאנרגיות מתחדשות. הסובסידיה הניתנת הינה תעריף אשר גבוה מתעריף החשמל אליו זכאי יצרן החשמל הקונבנציונאלי. התעריף נקבע למשך זמן קבוע מראש וחושב על בסיס עלויות הקמה ופיתוח, תועלות חברתיות וסביבתיות וגורמי השוק השונים. תעריף זה נקרא תעריף הזנה (הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות, 2013).



ישראל כיום מפגרת מאחורי המדינות המערביות בתחום האנרגיות המתחדשות אך כבר החלה בתהליך של שילובם במשק האנרגיה. במדינת ישראל כמות ההתקנים המייצרים חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות הינם בעיקר מאנרגיה סולארית-פוטו-וולטית ורוח (אנרגיה תרמו סולארית עדיין יקרה אך בשלבי התפתחות). אנרגיה פוטו-וולטית מתאימה לישראל בשל השטחים הפתוחים והאקלים המדברי בחלקו הדרומי של המדינה. אנרגיית הרוח מתאימה בשל הרוחות החזקות ברמת הגולן והשטחים הפתוחים אשר בנגב המקיימים תנאים אידיאליים לטכנולוגיה זו (משרד התשתיות- סקרי אנרגיה מתחדשת). התפתחות תחום האנרגיות המתחדשות במדינות שונות אשר נסקרת בעבודה זו מתמקדת בטכנולוגיות אלו, מאחר והן המרכזיות בתחום האנרגיות המתחדשות והרלוונטיות ביותר לקידום בישראל.



גרף 6: ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות כאחוז מסה"כ החשמל במשק - השוואה על פני זמן. (IEA Statistics, 2014)

בעקבות גילויי הגז הטבעי, נוצר חסכון בעלויות ייבוא של דלקים קונבנציונליים אלטרנטיביים. כמו כן בעקבות אופיו החסכוני של גז הטבעי בעת שימוש, נוצר חסכון בפליטות הזיהום. בנוסף לזאת, נראה כי מחירי הדלקים בשנה האחרונה במגמת ירידה והסובסידיה המובטחת ליזמים מעלה האומנם מעלה את כדאיות ההשקעה וכניסת יזמים לענף אך יקרה. עובדות אלו מעלות את שאלת הכדאיות הכלכלית של שימוש באנרגיות אלטרנטיביות לאמצעים הקונבנציונליים הקיימים כגון אנרגיות מתחדשות. מעבר לכך, "כפי הנראה, ישראל לא תעמוד ביעד הביניים של ייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות, היינו 5% מהצריכה בשנת 2014" (רונו, 2013). עם זאת, עולים סימני שאלה על אופן יישום המדיניות ותמחור התועלות בבסיס המדיניות הקיימת. בהמשך לכך, דוח הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית מאנרגיות מתחדשות, אשר נכתב ע"י ועדת קנדל (2013), מצא כי ישנה תועלת כלכלית חיובית משילוב אנרגיות מתחדשות וכן סיפקה המלצותיה למען קידום התחום במדינה בשיטת תעריפי הזנה. בדוח נבחנה התועלת המשקית משילוב אנרגיות מתחדשות במשק בתחומים: דלקים, חסכון בהון, סביבה, ביטחון אנרגטי ופיתוח כלכלה.

בנייר זה נבחנו הגורמים המשפיעים על שיעור ההשקעה בענף האנרגיות המתחדשות לשם השגת מדיניות של שיטת תמחור אופטימאלית. בחינה זו נעשתה באמצעות הצגת מודל מתמטי של השקעה באנרגיות מתחדשות בתנאי אי-ודאות עם השפעות חיצוניות וניתוחי סטטיקה השוואתית על מנת לקבוע את אופן השפעת הגורמים השונים. כמו כן, נבחנו דרכי מדיניות במדינות איטליה, ספרד וגרמניה. אלו מדינות החלוצות בעולם בקביעת מדיניות המקדמת אנרגיות מתחדשות.

המודל המתמטי בנייר זה הינו מודל של אי-ודאות המבוסס על מודל התיק הנכסים של טובין (Tobin's q) עם השפעות חיצוניות (Wendy & Soskice, 2006). סקירת שיטות התמחור השונות התבססה על עבודתם של Lesser ו-Su (2007) אשר סקרו את שיטות התמחור השונות למען קידום שימוש באנרגיות מתחדשות. Antonelli ו-Desideri (2014) בחנו את שיטת תעריפי הזנה באיטליה וכן ההשלכות לסובסידיה גבוהה מידי. Haas ו-Schallenberg-Rodriguez (2012)

סקרו את המדיניות הזו-תעריפית בספרד והתחלופה ליזמים בין שני סוגי תעריפים אשר קודמו תחת מדיניות ספרד: תעריפי הזנה ותעריפי פרמיום. Zipp (2015) סקר את מדיניות תעריפי ההזנה בגרמניה וכיצד עזר לתהליך של צמיחת משק האנרגיה המתחדשת המאוד מפותח בגרמניה. כמו כן, מאגר של נתונים המציגים מעקב אחר שינויים בקביעות מדיניות נעשה על ידי סוכנות החשמל הבינלאומית (IEA) וסיפקו נתונים רלוונטיים לנייר זה.

## פרק ב': שיטות וניתוח

### מבוא לקביעת תעריפים ככלי מדיני

קביעת תעריפים הינה כלי של מדיניות ממשלתית על מנת להגיע ליעדים אשר מציבה הממשלה. לכן ישנו צורך בקביעת מדיניות ראויה על מנת להגיע ליעדים הנגזרים משיקולי תועלת משילוב הפקת חשמל מאנרגיות ירוקות במשק החשמל. כפי שצוין, ממשלת ישראל קבעה החלטה יעד לשילוב אנרגיות מתחדשות בהיקף אספקה של 10% מסך משק החשמל הישראלי עד שנת 2020. כדי להגיע ליעד זה, בחרה הממשלה בשיטת תמרוץ ע"י סבסוד ממשלתי בצורה של תעריפי הזנה.

קביעת שיטת התמחור הינה קריטית למדינה הרוצה להשיג התייעלות ומקסום תועלת בתחום ייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות. האתגר הינו לקבוע שיטת תמחור אשר מגיעה לאופטימיזציה הן בתיק הנכסים של הממשלה והן של היזמים. היזמים המשקיעים בפרויקטים מתוגמלים לפי כל יחידת קוט"ש אשר הם מספקים למשק החשמל. כאשר התשלום עבור יחידת חשמל קבוע, ליזמים וודאות מלאה לגבי הכנסותיהם העתידיות. כאשר התשלום המובטח מתואם עם מחירי שוק החשמל, נוצרת חוסר וודאות בצד ההכנסות של היזמים. הסיכון הנובע מחוסר וודאות זו עלול לדכא השקעות ולהביא למחסור בפרויקטים וכתוצאה לחוסר בייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות בהתאם ליעדי הממשלה. במידה ושינויי מחירי החשמל אינם מגולמים בתיק הנכסים של היזמים, עלולים להיווצר פערים בין ביקוש להיצע וכתוצאה עיוותים במחירים. לכן יש לקבוע תמחור אשר יביא את הממשלה ליעדה, וכן יתחשב בהשפעות השליליות הנלוות לסיכון במשק החשמל (Lesser & Su, 2007).

### תעריפי הזנה

תעריפי הזנה הינם תשלומים קבועים ומסובסדים לפרק זמן מובטח. בשוק האנרגיות המתחדשות, התעריף נקבע בהתאם לעלויות ההתקנים באותה השנה, והתשלום הינו קבוע עבור כל קוט"ש חשמל המסופק לרשת החשמל. משך זמן התשלומים נקבע לפי אורך חיי ההתקנים (כ-20 שנה לתחנות רוח ופוטו-וואלטאיות). תעריפי הזנה הוכיחו את עצמם יותר יעילים משיטות תמחור אחרות ככלי קידום לייצור בעזרת אנרגיות מתחדשות ואנרגיה סולארית בפרט. תעריפי הזנה מספקים יציבות פיננסית ליזמים מאחר ומצמצמים את הסיכון מירידת מחירי החשמל. מאחר ומתוגמלים בתשלום קבוע לטווח ארוך, ליזמים וודאות מלאה לגבי הכנסותיהם העתידיות. כאשר ההוצאות ידועות מראש גם כן, ליזמים וודאות מלאה לגבי רווחיהם העתידיים ושווי הפרויקט להשקעה.

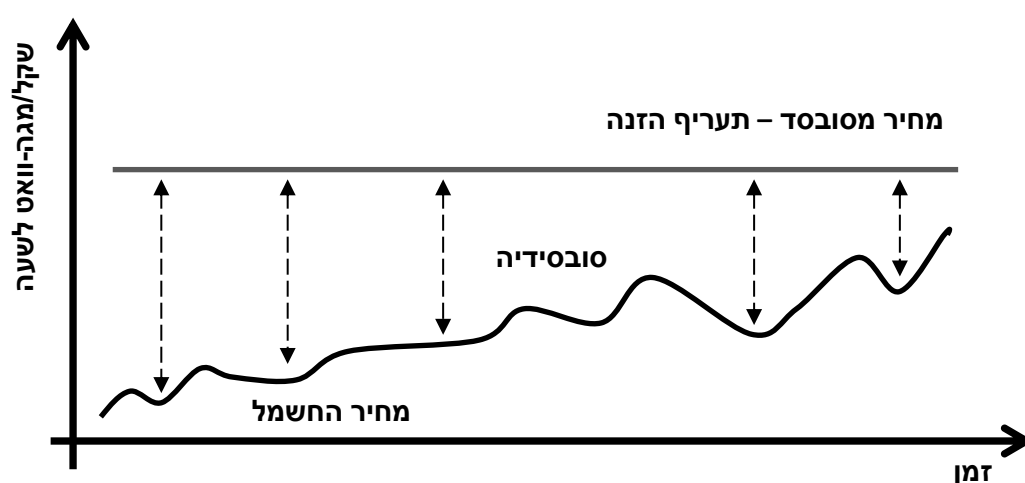
עם זאת, תעריפי הזנה יכולים להיות לא יעילים למשק כאשר ישנם שינויים משמעותיים במחירים בזמן תקופת ההתחייבות. מאחר ובינתיים ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת הינו יקר יותר מאשר ייצור חשמל מאנרגיה קונבנציונאלית, סובסידיה ממשלתית הינה גורם המימון לתמרוץ היזמים להשקיע בפרויקטים. יש לקבוע תעריף מסובסד לא נמוך מידי, כדי לקדם כדאיות להשקעות בפרויקטים. מצד שני, יש לקבוע תעריף שאינו גבוה מידי, על מנת לא לחרוג מהתקציב הממשלתי המותנה. הסובסידיה הממשלתית הינה ממומנת בעזרת מיסים או באמצעות גילומה במחירי חשמל גבוהים יותר לכלל הצרכנים. בהתאם לכך, תשלום מסובסד של תעריפי הזנה גבוה מידי עלול להביא לעלויות חברתיות גבוהות מידי.

דוגמא המייצגת חסרונות פוטנציאליים הטבועים בשיטת תמחור לפי תעריפי הזנה באה לידי שימוש לראשונה בידי ממשלת ארה"ב כחלק ממערך תמרוץ למען אספקת אנרגיה למשק בשנת 1978. בדומה לתעריפי הזנה בשוק האנרגיות המתחדשות, התשלומים ליזמים נקבעו בעזרת הערכת מחירי הדלק בעתיד כחלק מההוצאות הצפויות של יזמים אשר מייצרים חשמל קונבנציונאלי. ההערכה לשנת 2000 נקבעה כ-100 דולרים לחבית נפט, כאשר המחיר בפועל היה 30 דולרים. סטייה שכזו הפכה תמחור שכזה ללא יעיל. הממשלה אשר קבעה עם היזמים חוזים לטווח ארוך, שילמה הרבה יותר כסף בפועל ממה שהיה נחוץ לתמרוץ היזמים לו הייתה הצמדת תשלום למחירי הדלקים. (Lesser & Su, 2007).

יעילות של מדיניות תעריפי הזנה תימדד באופן דומה למרבית כלים מדיניים שונים, בהתאם להשפעות חיוביות ועלויות. מאחר וקשה למדוד האם התועלת מהשפעות חיוביות (צמצום פליטת מזהמים) גבוהה מהתועלת השלילית של העלות, יש להשוות בין סוגי שיטות תמחור המביאים למדיניות ממשלתית אופטימאלית. תעריפי הזנה, במידה ונקבעים באופן המתאים למחירי השוק, בעלי השפעות חיוביות בטווח הארוך והקצר. בטווח הקצר, תעריפי הזנה מושכים יזמים להקים מתקני ייצור

גם מטכנולוגיות אשר עוד בחיתוליהן מבחינת יעילות טכנולוגית. השפעה חיובית שכזאת ממריצה את התפתחות התחום ובכך מגדילה את כדאיות ההשקעה במחקר ופיתוח לשיפורים טכנולוגיים בטווח הארוך. שיפורים אלו מביאים להוזלה בעלויות כך שבעתיד אנרגיות מתחדשות יהוו תחרות ליצרני החשמל הקונבנציונאלי (Grid Parity). עם זאת, תעריפי הזנה עלולים להשפיע שלילית על ההתפתחות הטכנולוגית. תעריפי הזנה נקבעים בצמוד למחירי הטכנולוגיה הקיימת ויזם יכנס לפרויקט אשר יניב לו וודאות לרווחים. תעריפי הזנה שכאלו אינם מתמרצים השקעות והתייעלות טכנולוגית ויוצרים מיקוד קצר טווח ברווחים העתידיים הבטוחים מהמתקנים הקיימים (Antonelli & Desideri, 2014).

על מנת למקסם התייעלות אנרגטית קובעי המדיניות זקוקים למידע עדכני ומדויק של מחירי שוק החשמל, מחירים עתידיים של עלויות הקמה ותפעול ההון בשוק האנרגיות המתחדשות ובשוק הקונבנציונאלי. מידע שכזה הינו בעייתי לתחזיות שכן מחירי תמהיל הדלקים נתונים לשינויים עתידיים אשר רק ניתנים להערכות וספקולציות. הערכות שכאלו מאופיינת בחוסר וודאות משמעותית (Kitzing, 2014).

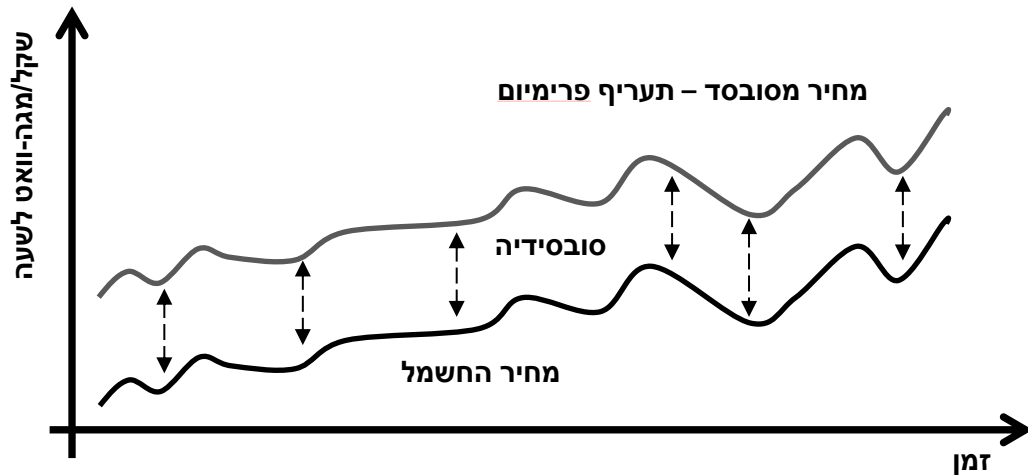


גרף 7: דוגמא לתעריף הזנה המותנה לייצרן חשמל מאנרגיות מתחדשות. פיתוח עצמאי.

### תעריפי פרמיום

בתעריפי פרמיום, הסובסידיה המשולמת ליזם הינה סובסידיה קבועה למשך תקופת התחייבות. היזם מוכר את החשמל אותו מייצר, במחירי שוק החשמל, ומקבל בנוסף סובסידיה ממשלתית קבועה עבור כל יחידה שמכר. תעריפי פרמיום צמודים למחירי החשמל.

מאחר ותעריפי פרמיום עקביים עם מחירי שוק החשמל המשתנים, ידע תחזיתי של המחירים יהווה גורם מהותי בהחלטת היזם להשקיע בפרויקט. לכן, יתרחשו שינויים בהשקעות בפרויקטים ובניהול המתקנים, תחזוקה והתייעלות כתוצאה משיטת תמחור של תעריפי פרמיום המושפעת מתנודתיות מחירים בענף (Lesser & Su, 2007).



גרף 8: דוגמא לתעריף פרמיום המותנה לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. פיתוח עצמאי.

עבור היזמים, קיים סיכון משמעותי הגלום בירידת מחירי החשמל המשתנים, הן בטווח הקצר והן בטווח הבינוני והארוך, אשר מובילים לתשלום נמוך יותר עבור הייצור במתקן. כך נוצר מצב שההכנסות העתידיות של היזמים אינן וודאיות ומלוות בשונות גבוהה. למרות הסובסידיה הקבועה, מחירי החשמל משתנים על בסיס שעותי, ולכן גם התשלום עבור קוט"ש מיוצר משתנה על בסיס שעותי במהלך שעות היממה. חסרון נוסף בתעריפי פרמיום, הינו הובלה לתשלומי יתר ליצרנים כאשר מחירי החשמל עולים מהר באופן משמעותי. כאשר מחירי החשמל מאוד גבוהים, אין כל צורך במתן סובסידיה ליצרנים. כמו כן, כאשר סובסידיה של תעריפי פרמיום גבוהה מתעריפי הזנה, על הצרכן קיים נטל גבוהה יותר.

היתרון המשמעותי של תעריפי הפרמיום הינו הצמדה למחירי החשמל. בשילוב מתן סובסידיה לכל יחידה מיוצרת מאנרגיה מתחדשת השיטה מאפשרת הגדלת התחרות בין טכנולוגיות מתחדשות לקונבנציונאליות. נוצרת התאמה בין הביקוש להיצע, וכן ייצור מוגבר של חשמל בשעות שיא הביקוש. תעריפי פרמיום אמנם מכילים סיכון מנקודת המבט של היזם, אך מביאים גם להתאמת היצע לביקושים ומחירים ללא עיוותים (מה שלא קורה בתעריפי הזנה). שימוש בתעריפי פרמיום מובילים להפנמה של הזולה בעלויות, תחזוקת מתקנים, ותמריץ להתייעלות. המשתמע מכך אם כן, כי שימוש בתעריפי פרמיום מביא לתכנון לטווח הרחוק על מנת להגיע ליעילות גבוהה יותר בהמשך הדרך (Schallenberg-Rodriguez & Haas, 2011).

## מכרזים

מכרז הוא הליך של פנייה לקבלת הצעות לביצוע מיזם מסוים עבור הפונה. בהקשר זה, המדינה לרוב עורכת מכרזים ומעניקה אשרות למספר מוגבל של משקיעים פוטנציאליים ויזמים עבור פרויקטים מסובסדים בשוק הפרטי. היזמים מגישים תוכנית עסקית הכוללת מבנה עלויות וקיבולת הפקת אנרגיה לטווח זמן מסוים. היזמים האמינים והזולים ביותר בעלויות יהיו אלו אשר יקבלו את האשרות להקמת המתקנים וכן זכאות לסובסידיה. מנגנון זה אופיין היטב בבריטניה על ידי הארגון הבריטי NFFO אשר לפי הכרזת יעדי המכסות של ממשלת בריטניה, תמחר את הזכאות למכסות באמצעות מכרזים והיצרן הזול והמהימן ביותר היה זה שקיבל את הזכאות לייצר על פי חוזה לתשלום לטווח ארוך. הרעיון היה לבדל את היצרנים היעילים מהלא יעילים. הבעיות המשמעותיות שהיו בבריטניה בשיטה זו הייתה שמרבית היצרנים אינם עמדו בהתחייבותם ושיטת המכרזים היוותה מוקד פרוץ למשחקים פוליטיים וטובות הנאה. לאחר מכן NFFO שינתה את שיטת התמחר לשיטה היותר דומה ל-TGC (נספח א'). הממשלה שימשה כגורם מתווך בין היצרנים לצרכנים בכך שמתמחרים את השימוש באנרגיה ממקורות מתחדשים בעזרת נקודות קרדיט (Lesser & Su, 2007). אף על פי כן, שיטת המכרזים נפוצה בעולם ומשולבת עם שיטות תמחר נוספות. דוגמא לכך ניתן לראות בספרד וגרמניה הנסקרות בנייר.

### מודל השקעה באנרגיות מתחדשות עם השפעות היצונית בתנאי אי ודאות

האתגר העיקרי הניצב מול המדיניות האופטימאלית הינו תמרוץ מספק לכניסת יזמים לענף האנרגיות המתחדשות תוך הקצאת משאבים יעילה של הממשלה. אתגר זה כולל גורמי אי וודאות המשפיעים על כדאיות ההשקעה בענף וכוללים ירידה ותנודתיות של מחירי הדלקים הפוסיליים, שינוי תמהיל מקורות האנרגיה, זמינותו הגבוהה ומחירו הנמוך של הגז הטבעי, יציבות אספקתו של הפחם והקצאת משאבים מצומצמים להתייעלות אנרגטית. אלו מפחיתים את הכדאיות הכלכלית של פרויקטים להתייעלות אנרגטית ומביאים את המשק לביסוס בעתיד על דלקים מחצביים מזהמים ומתכלים. הפוטנציאל הכלכלי והאסטרטגי הטמון בקידום טכנולוגיות ירוקות, אזילתו של הגז הטבעי בעשורים הקרובים והשפעות היצונית שליליות כגון פליטת מזהמים, התחממות גלובלית, בעיות תברואתיות וכדומה מחייבים ראייה קדימה לצורך התייעלות אנרגטית תוך שקלול התועלות והעלויות העתידיות אשר יאפשרו התפתחותו של הענף בהקדם.

בהתאם לכך, ננתח את ההשפעה של אי הוודאות לגבי מחיר החשמל על כדאיות ההשקעה של יזם בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בהתאם למודל תיק הנכסים של Tobin בשילוב השפעות היצוניות. באמצעותו נוכל לשלב את המשתנים העיקריים והכוחות השונים הפועלים בענף המשפיעים על כדאיות ההשקעה באנרגיה מתחדשת והתועלות ממנה. תחילה נבחן את החלטת היזם כאשר אין מדיניות בענף ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות ונראה כי למדינה כדאי להתערב למען קידום הענף. חלק זה יהווה בנצ'מרק (benchmark) להמשך. לאחר מכן, ניתוחים נוספים יבוצעו עבור שיטות התמחר השונות ויהיו בסיס להמלצה למדיניות אופטימאלית.

### הכדאיות הכלכלית ליזמים ללא התערבות המדינה

הכדאיות הכלכלית העומדת בפני היזם שונה מכדאיות הממשלה. בעוד פונקציית התועלת אשר רואה הממשלה מורכבת ממספר תועלות כגון צמצום זיהום אוויר, השפעות אקלימיות ותברואתיות ונטל עודף המושטת על המשק המקומי בשיטת המדיניות הננקטת, היזם הפרטי מודד תועלתו במושגי רווח בלבד. הרווח של היזם מורכב מהתשלום אותו יקבל עבור כמות האנרגיה שייצר, בניכוי ההוצאות עבור המיזם, והשקעתו באג"ח מדינה המשקף ריבית ללא סיכון. לפיכך, הבעיה של היזם הינה חלוקת העושר שלו (מנורמל ל-1) בין ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת, כלומר, כמות ההון המושקע בטכנולוגיות מתחדשות וההשקעה האלטרנטיבית באג"ח מדינה. נסמן ב- $k$  ו- $(1 - k)$  בהתאמה, את שיעור ההשקעה באלו.

$$(1) k + (1 - k) = 1$$

עם זאת, ננרמל גם כן ל-1 את סך החשמל המיוצר במשק. לפיכך,  $k$  מהווה באופן אגרסיבי את שיעור החשמל המופק באמצעות אנרגיה מתחדשת וכן  $(1 - k)$  אשר משקף את שיעור ההשקעה באג"ח של היזם ייצג גם את שיעור החשמל המופק מאנרגיה קונבנציונאלית. על מנת לפשט את המודל, היצע החשמל הקונבנציונאלי יתאים עצמו אוטומטית כחלק ממדיניות הממשלה. כלומר, החלק אשר היזם משקיע באג"ח ממשלתי מושקע אוטומטית בייצור חשמל מאנרגיה קונבנציונאלית על ידי הממשלה ובכך הממשלה משלימה את הביקוש באופן מלא. בהתאם לנאמר לעיל  $k$  הינו מוגבל לתחום בין אפס לאחד (0-1).

נניח כי תועלת הפרט תלויה חיובית בתוחלת התשואה מתיק הנכסים,  $\mu_R$ , ושליילית במידת הסיכון של התיק,  $\sigma_R$ . כלומר, הפרט הינו שונא סיכון.

$$(2) U_{\text{entrepreneur}} = \mu_R - \sigma_R^2$$

בהתאם לכך, בעיית היזם הינה ההחלטה בחלוקת תיק הנכסים וקביעת שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות,  $k$ , הממקסמת את תועלתו בהינתן הקשר בין תשואה לסיכון.

עבור תשואה על אג"ח ממשלתי, המשקפת ריבית חסרת סיכון,  $r_f$ , ותשואה על ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות,  $\pi_{\text{renewable}}$ , נקבל כי התשואה על תיק הנכסים של היזם הינה:

$$(3) R = (1 - k)r_f + k\pi_{\text{renewable}}$$

בהינתן  $P_e$  המייצג את מחיר החשמל אשר נקבע בשווי משקל בין ביקוש להיצע, פונקציית הרווח של היזם מוצגת במונחי תשואה:

$$(4) \pi_{renewable} = \frac{P_e F(k) - k}{k}$$

אי הודאות במחירי שוק החשמל הינה משמעותית הן ליזם והן לממשלה. תנודתיות מחירי החשמל עלולה להביא לרווחי או הפסדי הון. כאשר חוסר הודאות מונח על כתפי היזמים, עליה בחוסר הודאות בתקבולים עלולה לעקב יציאה לפועל של פרויקטים עקב הסיכון הגדל של הפרויקט. בהינתן כי פונקציית הייצור של היזם הינה בעלת תפוקה קבועה,  $F(k) = k$ , ותנודתיות מחיר החשמל הינה בהסתברות 0.5 לעלייה או ירידה במחיר של  $\alpha$  נקבל כי פונקציית התשואה מהשקעה בטכנולוגיות מתחדשות הינה:

$$(5) \max_k \pi_{renewable} = \begin{cases} P_e - 1 + \alpha, & 0.5 \\ P_e - 1 - \alpha, & 0.5 \end{cases}$$

נניח כי אין סיכון בהשקעה באג"ח ממשלתי. ממשוואות (3) ו-(5) עולה כי התוחלת וסטיית התקן של תיק הנכסים הינם:

$$(6) \mu_R = E(R) = (1 - k)r_f + k(P_e - 1)$$

$$(7) \sigma_R = \sqrt{VAR(R)} = k\alpha$$

היזם ממקסם את תועלתו מהתשואה והסיכון על תיק הנכסים על ידי בחירת שיעור השקעה אופטימאלי בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בכפוף למגבלת התקציב שבמשוואה (1). לכן נציב את משוואות (6) ו-(7) בפונקציית התועלת של היזם.

$$(8) \max_k U_{entrepreneur} = (1 - k)r_f + k(P_e - 1) - k^2\alpha^2$$

נגזור את משוואה (8) לפי  $k$ :

$$(9) -r_f + P_e - 1 - 2k\alpha^2 = 0$$

נבודד את  $k$  ונקבל את החלק מתוך תיק הנכסים שהיזם יקצה, באופטימום, לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות:

$$(10) k_{entrepreneur}^* = \frac{P_e - 1 - r_f}{2\alpha^2}$$

נניח כי מתקיים  $P_e - 1 > r_f$  כך שהתשואה על השקעה באנרגיות מתחדשות תהיה גבוהה מזו על השקעה באג"ח ממשלתי. בהתאם להנחה זו פונקציית התועלת של היזם, ובהמשך נבחין כי גם של הממשלה, עולות לפחות בחלקן של התחום  $1 \geq k \geq 0$  (ראה נספחים – פונקציה א'). מכיוון ש- $k$  תחום בין אפס לאחד, ניתן להבחין כי עבור תנודתיות שואפת לאפס ( $0 \leftarrow \alpha$ ) שיעור ההשקעה האופטימאלי של היזם בטכנולוגיות מתחדשות יהיה מלוא הונו ( $k = 1$ ).

הממשלה רואה פונקציית תועלת שונה מזו של היזם. הממשלה מתחשבת הן ביזם והן מקבלת תועלת חיובית בעקבות צמצום פליטת מזהמים, השפעות אקלימיות ותברואתיות. עם זאת, התועלת פוחתת ככל שההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות עולה. הצורך בגיוון מקורות האנרגיה ובגיבוי מערכת החשמל הירוקה עם אנרגיה קונבנציונאלית מפחיתים את התועלת השולית מהשקעה נוספת. לכן, נניח כי תועלתה של הממשלה מטכנולוגיות מתחדשות הינה  $Aln(k) > 0$  כאשר  $A > 0$  ומשקף את מקדם התועלת ו"אהבת" אנרגיות מתחדשות. לפיכך, הממשלה ממקסמת את תועלתה האישית והן את תועלתו של היזם.

$$(11) \max_k U_{government} = (1 - k)r_f + k(P_e - 1) - k^2\alpha^2 + A \ln(k)$$

נגזור לפי  $k$  ונפתור משוואה ממעלה שנייה התחומה בין אפס לאחד :

$$(12) k_{government}^* = \frac{P_e - 1 - r_f}{4\alpha^2} + \frac{\sqrt{(-P_e + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2}$$

לאחר שהפתרון הנמוך נפסל מכיוון שהינו שלילי ועקב תועלת קטנה יותר עבור כל  $k$  בתחום נשארנו עם הפתרון הגבוה יותר (ראה נספחים- פונקציה א'). קל הבחין כי מכיוון שלממשלה תועלת חיובית גבוהה מייצור השמל באמצעות אנרגיות מתחדשות לעומת היזם, היא תעדיף כי היזם ישקיע יותר באנרגיות מתחדשות ויגדיל את  $k$  בהתאם אליה. בהתאם לכך, לממשלה כדאי להתערב ולהפעיל מדיניות שתקדם את יעדיה בצורה אופטימאלית.

$$(13) k_{government}^* > k_{entrepreneur}^*$$

נסמן, שיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות במצב בו אין התערבות ממשלתית הינו  $k_{wiog}$  without (involvement of government). לפיכך:

$$(14) k_{wiog} = k_{entrepreneur}^*$$

התועלות המתקבלות כאשר הממשלה אינה מתערבת ואינה מקדמת את התפתחות ענף האנרגיות המתחדשות תלויה ב-  
 $k_{entrepreneur}^*$

$$(15) U_{entrepreneur}(k_{wiog}) = r_f + \frac{(P_e - 1 - r_f)^2}{4\alpha^2}$$

$$(16) U_{government}(k_{wiog}) = r_f + \frac{(P_e - 1 - r_f)^2}{4\alpha^2} + A \ln\left(\frac{P_e - 1 - r_f}{2\alpha^2}\right)$$

### סטטיקה השוואתית

נבחן את ההשפעה של שינוי התנודתיות ( $\alpha$ ), מחירי החשמל ( $P_e$ ) וריבית חסרת סיכון ( $r_f$ ) על כדאיות ההשקעה מראות עיניו של היזם ואת ההשפעה על תועלתו בהינתן שיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות ללא התערבות הממשלה ( $k_{wiog}$ ):

$$(17) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{d\alpha} = -\frac{P_e - 1 - r_f}{\alpha^3} < 0 \quad (17^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{wiog})}{d\alpha} < 0$$

$$(18) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{dP_e} = \frac{1}{2\alpha^2} > 0 \quad (18^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{wiog})}{dP_e} > 0$$

$$(19) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{dr_f} = -\frac{1}{2\alpha^2} < 0 \quad (19^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{wiog})}{dr_f} = 1 - \frac{(P_e - 1 - r_f)}{2\alpha^2} ? 0$$

משוואה (19\*) קובעת כי עבור פרמטרים שונים מתקבלות השפעות בכיוונים מנוגדים. כאשר התנודתיות מאוד גבוהה או שהתשואה מההשקעה באנרגיות מתחדשות נמוכה ביחס לתנודתיות היזם ישקיע יותר באג"ח. הנגזרת של התשואה על אג"ח ממשלתית תהיה חיובית, הסיכון עבורו יפחת ותועלתו תעלה. ההפך נכון עבור היפוך התנאים. ניתן לראות זאת בתיאור גרפי בהמשך.



$$(20) \frac{dk_{government}^*}{d\alpha} = -\frac{P_e - 1 - r_f}{8\alpha^3} - \frac{32A\alpha^3 + 8\alpha(P_e - 1 - r_f)}{\sqrt{(-P_e + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}} < 0 \quad (20^*) \frac{dU_{government}(k_{wlog})}{d\alpha} ? 0$$

$$(21) \frac{dk_{government}^*}{dP_e} = \frac{P_e - r_f}{4\alpha^2 \sqrt{(-P_e + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}} > 0 \quad (21^*) \frac{dU_{government}(k_{wlog})}{dP_e} ? 0$$

$$(22) \frac{dk_{government}^*}{dr_f} = -\frac{P_e - r_f}{4\alpha^2 \sqrt{(-P_e + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}} < 0 \quad (22^*) \frac{dU_{government}(k_{wlog})}{dr_f} ? 0$$

מבחינת ההשפעה של הפרמטרים השונים עולה כי כיווני ההשפעה אינם חד משמעיים ותלויים בפרמטרים השונים. כלומר, עבור כל שינוי בפרמטר מסוים תתכן גזרת חיובית או שלילית המשפיעה על התועלת. כיוון הנגזרת תלוי בפרמטרים האחרים ולכן לא נוכל לקבוע בצורה חד משמעית את כיוון ההשפעה על התועלת. אף על פי כן, כיווני ההשפעה על שיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות ברור.

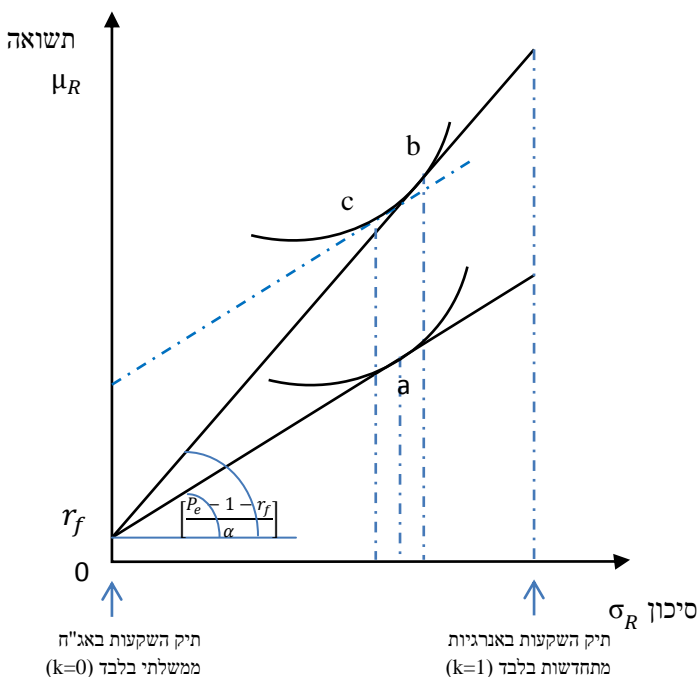
### הצגה גרפית

מהצבת משוואה (7) במשוואה (6) נמצא את קו התקציב. קו התקציב מציג תחלופה בין שני מוצרים מהם ליזם יש תועלת חיובית, תשואה ואי-סיכון.

$$(23) \mu_R = r_f + \left[ \frac{P_e - 1 - r_f}{\alpha} \right] \sigma_R$$

הנחת המודל הינה  $P_e > 1 + r_f$  וגם  $\alpha > 0$ , כלומר, התשואה המתקבלת על השקעה מסוכנת בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות גבוהה ממש מהשקעה באג"ח ממשלתי אשר משקף תשואה ללא סיכון, תוצאה אשר תואמת את המציאות. לאור זאת, ממגבלת התקציב עולה קשר חיובי עולה ומתקבל פתרון פנימי. במידה והיזם מעוניין בהגדלת התשואה של תיק הנכסים עליו להשקיע יותר בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. עם זאת, מצב זה יגרור סיכון גדול יותר. במידה וכי  $k_{entrepreneur}^* > 1$ , כלומר, התנודתיות קטנה ממש והתשואה על השקעה באנרגיות מתחדשות מספיק גבוהה מאשר באג"ח

ממשלתי, היזם יבחר בפתרון הפינתי בו כל תיק נכסיו יהי מושקע באנרגיות מתחדשות  $k_{entrepreneur}^* = 1$ . לעומת זאת, עבור  $P_e < 1 + r_f$  נקבל פתרון פינתי בו היזם משקיע את כל הונו באג"ח ובכך מבטיח לעצמו תשואה מקסימאלית לתיק הנכסים ללא סיכון, אך מצב לא תואם את המודל. לפיכך, לא יתכן מצב בו היזם יבחר להשקיע את כל נכסיו באג"ח ממשלה  $(k = 0)$ .



העדפת הפרט הינה תוחלת תשואה גבוהה וסיכון נמוך. בהתאם לכך, עקומות האדישות של הפרט הינן בעלות שיפוע חיובי במישור  $(\mu_R, \sigma_R)$ . עם זאת, נניח כי ככל שהסיכון יעלה הפרט ידרוש תשואה הולכת וגדלה כפיצוי. מכאן שעקומות התועלת של הפרט הינן קמורות כלפי הראשית. יתר על כן, עלייה בעקומת האדישות של הפרט משקפת עלייה בתועלת ולכן מקסום תועלת הפרט הינו בנקודת ההשקה בין עקומת האדישות של הפרט לקו התקציב (נקודה a).

ליזם אפשרות להשקיע הן באג"ח ממשלתי והן בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. מהמודל המוצג עולה כי החלטתו להשקיע בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות תלוי במספר גורמים :

- + קשר שלילי בין  $\alpha$  ו- $k$  : עלייה בתנודתיות מחירי החשמל ( $\uparrow \alpha$ ) מפחיתה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $\downarrow k$ ). הסיבה לכך הינה עליה בסיכון ליזם.
- + קשר חיובי בין  $P_e$  ו- $k$  : עלייה במחיר החשמל ( $\uparrow P_e$ ) מגדילה את תקבולי היזם ולפיכך את שיעור כדאיות ההשקעה בטכנולוגיות מתחדשות ( $\uparrow k$ ).
- + קשר שלילי בין  $r_f$  ו- $k$  : עלייה אקסוגנית בתשואת האג"ח ( $\uparrow r_f$ ) מפחיתה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $\downarrow k$ ). זאת ומאחר וכדאי להשקיע יותר באג"ח ממשלתי.
- + השפעות אלו זהות גם עבור שיעור ההשקעה  $k^*_{government}$  של הממשלה ו- $k^*_{entrepreneur}$  של היזם.

מההצגה הגרפית ניתן לראות כי ירידה בתנודתיות מחירי החשמל מגדילה את שיפוע קו התקציב. בהתאם לכך היזם משנה את שיעור ההשקעה בנכסיו. את בעיית הפרט ניתן לפרק לשני גורמים, אפקט תחלופה ואפקט הכנסה.

+ **אפקט הכנסה (מעבר מנקודה a ל-c) :** מעל לקו התקציב הראשוני שורטט קו תקציב זהה מקווקו אשר הינו בעל שיפוע זהה והמשקף שיעור תחלופה שולי, בין תשואה לסיכון, זהה. כעת הפרט רואה עבור כל סיכון, תשואה גבוהה יותר מאשר במצב המוצא (מעבר מנקודה a לנקודה c). את אפקט ההכנסה ניתן לראות בירידה ב- $k$  ממשוואה (7). מכאן עולה כי אי סיכון ותשואה הינם מוצרים נורמאליים (בהכנסה עולה הוא צורך יותר אי סיכון ותשואה).

+ **אפקט תחלופה (מעבר מנקודה c ל-b) :** מבטא את נטיית הצרכן לשנות את הכמות הנצרכת מאי סיכון ולהחליפה בתשואה כאשר התנודתיות משתנה. ניתן לראות כי עבור אותה עקומת אדישות, עבורה תועלת זהה ליזם, בשיעור תחלופה שולי שונה, היזם מגדיל את הסיכון וצורך תשואה גבוהה יותר.

+ ממשוואה (10) והסטטיקה ההשוואתית עולה כי אפקט התחלופה הינו הדומיננטי. במעבר מנקודה a ל-c כתוצאה מירידה בתנודתיות ( $\downarrow \alpha$ ) מביאה את היזם להגדיל את ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $\uparrow k^*_{entrepreneur}$ ). תוצאה זו באה לידי ביטוי בשרטוט.

+ ניתוח זה רלוונטי בנוסף עבור עלייה בתוחלת מחיר החשמל כתוצאה משינויים בהיצע ובביקוש לחשמל. אף על פי כן, עבור שינוי אקסוגני בתשואה חסרת סיכון על אג"ח ממשלתי לא ניתן לקבוע במדויק את ההשפעה על התועלת וזאת מכיוון שגם השיפוע וגם נקודת החיתוך עם ציר התשואה משתנים. את ההשפעה הזו נוכל לבחון רק עבור פרמטרים ספציפיים.

+ בבחינת ההשפעה של התנודתיות, תשואה על אג"ח ממשלתי ומחיר החשמל על תועלת הממשלה לא ניתן לקבוע בצורה חד משמעית את כיוונה למרות כיווני השפעה חד משמעיים על שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. השפעה תלויה בגובה הפרמטרים הללו.

### התערבות הממשלה באמצעות תעריפי הזנה

בשיטת מדיניות זו מתחייבת הממשלה לקחת על עצמה את הסיכון בתנודתיות מחירי החשמל וזאת בכדי לתמרץ כניסת יזמים לענף האנרגיות המתחדשות. ליוזם מובטח תעריף הזנה קבוע, בגובה מחיר החשמל הנוכחי ( $T = P_e$ ), המניב תשואה חסרת סיכון לתקופת פעילות המתקן.

לפיכך, תיק הנכסים של היוזם מניב את התשואה הבאה :

$$(24) R = (1 - k)r_f + k\pi_{Feed-in Tariff}$$

אי הודאות במחירי שוק החשמל בשיטת מדיניות זו מונחת על כתפי הממשלה בלבד. היוזם רואה מחיר קבוע, בגובה מחיר החשמל הנוכחי, עבור כל יחידה שהוא מייצר. בהינתן כי פונקציית הייצור של היוזם הינה בעלת תפוקה קבועה :  $F(k) = k$  ותנודתיות מחיר החשמל הינה בהיסתברות 0.5 לעלייה או ירידה במחיר של  $\alpha$  נקבל כי פונקציית התשואה מהשקעה בטכנולוגיות מתחדשות הינה :

$$(25) \max_k \pi_{Feed-in Tariff} = \begin{cases} T - 1, & 0.5 \\ T - 1, & 0.5 \end{cases}$$

אין סיכון מהשקעה באג"ח ממשלתי ורווחיו של היוזם הינם ודאיים ואינם נושאים בסיכון כלל הודות לממשלה. ממשוואות (23) ו-(24) עולה כי התוחלת וסטיית התקן של תיק הנכסים הינם :

$$(26) \mu_R = E(R) = (1 - k)r_f + k(T - 1)$$

$$(27) \sigma_R = \sqrt{VAR(R)} = 0$$

היוזם ממקסם את תועלתו מהתשואה והסיכון על תיק הנכסים על ידי בחירת שיעור השקעה אופטימאלי בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. לכן נציב את משוואות (26) ו-(27) בפונקציית התועלת של היוזם.

$$(28) \max_k U_{entrepreneur} = (1 - k)r_f + k(T - 1)$$

נגזור את משוואה (28) לפי  $k$  ונקבל:

$$(29) T - 1 > r_f$$

מכאן שיש פתרון פיננסי אחד. עבור כל אפשרות השקעה, השקעה באג"ח והשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, מובטחת תשואה ללא סיכון. לפיכך, בהינתן הנחת המודל כי תשואה על ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות גבוהה מאשר השקעה באג"ח, כלומר,  $P_e - 1 > r_f$ , וכן כי  $P_e = T$ , היוזם ישקיע את כל הונו בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $k = 1$ ). מצב זה גורר כניסה מלאה של יזמים לענף. לעומת זאת, כאשר תעריף ההזנה המובטח ישקף תשואה נמוכה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות מאשר על אג"ח ממשלתי,  $T - 1 < r_f$ , כאשר  $P_e > T$ , היוזם ישקיע את כל מיטב הונו באג"ח. בהתאם לכך, לא תהיה כניסה כלל של יזמים לענף – מקרה אשר לא תואם הן את הנחת המודל והן את תכלית שיטת המדיניות של תעריפי הזנה.

פונקציית התועלת של הממשלה שונה מזו של היוזם בשל התועלת הסביבתית והחברתית מהשקעה באנרגיות מתחדשות. לכן, הממשלה, אשר מעוניינת בכניסת יזמים לענף, לוקחת את הסיכון על עצמה ומאפשרת זאת באמצעות הבטחת תעריף הזנה קבוע לכל יחידה מיוצרת ויצירת מכסות מגבילות לייצור חשמל מטכנולוגיות מתחדשות. נניח כי הממשלה מעבירה את הסיכון לפרטים במשק ומבטיחה מחיר קבוע על ידי העברת כספים ממקור אחד לאחר באמצעות גביית מיסים. הממשלה גובה מיסים גבוהים כשהשינוי במחיר ( $\alpha$ ) גדול ולהפך וכן ככל ששיעור ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות גבוה יותר

נצפה כי המיסים יעלו גם כן. עם זאת, נניח להמשך המודל כי ככל ששיעור המחיר המובטח ממחיר השמל  $\left(\frac{T}{P_e}\right)$  גבוה יותר הנטל העודף גדל בהתאם. בהינתן כי עלייה במיסים גוררת נטל שולי הולך וגדל השווה בערכו לסיכון נקבל:

$$(30) \tau = -\left(\frac{T}{P_e}\right) k^2 \alpha^2$$

בנוסף, הממשלה מתחשבת הן ביזם והן מקבלת תועלת חיובית פוחתת ככל שההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות עולה בדומה למצב המוצא  $(Aln(k) > 0)$ . כמו כן, תועלת הממשלה תלויה בשיעור ההשקעה  $k$  ולכן, בהינתן כי היזם מעוניין להשקיע בייצור חשמל את כל הונו, הממשלה מגבילה אותו על ידי מכסות. בהתאם לכך, בכוחה לקבוע  $k$  אופטימאלי עבורה. אי לכך ובהתאם למדיניות תעריפי הזנה הקובעת  $T = P_e$ , התועלת המתקבלת של הממשלה הינה:

$$(31) \max_k U_{government} = (1 - k)r_f + k(T - 1) + Aln(k) - k^2 \alpha^2$$

נגזור לפי  $k$  ונבודד אותו :

$$(32) k_{government}^* = \frac{T - 1 - r_f}{4\alpha^2} + \frac{\sqrt{(-T + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2}$$

הפתרון הנמוך נפסל עקב תועלת קטנה יותר עבור כל  $k$  בתחום ונשארנו עם הפתרון הגבוה יותר (ראה גרף בנספחים – פונקציה א'). בהמשך לכך, ניתן לראות כי שיעור ההשקעה האופטימאלי מבחינת הממשלה מוגבל בהינתן תועלת שולית פוחתת. עבור  $k > k_{government}^*$  לממשלה נטל עודף גבוה יותר מהתועלת המופקת מייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. בהתאם לכך, על אף שאיפת היזמים להשקיע את כל הונו בייצור חשמל כאשר מובטח להם מחיר קבוע,  $k_{government}^* < k_{entrepreneur}^*$ , מתקסם הממשלה את תועלתה על ידי הגבלתם באמצעות קביעת מכסות ייצור אופטימאליות למשק. לפיכך, מתקבל פתרון אופטימאלי :

$$(33) k_{Feed-in Tariff} = k_{government}^*$$

התועלות, הן של היזם והן של הממשלה, המתקבלות עבור מדיניות של תעריפי הזנה עבור השקעה בשיעור  $k_{government}^*$  בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות:

$$(34) U_{entrepreneur}(k_{Feed-in Tariff}) = r_f + (T - 1 - r_f) \left[ \frac{T - 1 - r_f}{4\alpha^2} + \frac{\sqrt{(-T + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2} \right]$$

$$(35) U_{government}(k_{Feed-in Tariff}) = r_f + \frac{(T - 1 - r_f)^2}{4\alpha^2} + Aln\left(\frac{T - 1 - r_f + \sqrt{(-T + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2}\right) + \frac{(T - 1 - r_f)\sqrt{(-T + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2} - \alpha^2 \left[ \frac{T - 1 - r_f}{4\alpha^2} + \frac{\sqrt{(-T + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2} \right]^2$$

כאשר נבחן את ההשפעה של שינוי התנודתיות ( $\alpha$ ), מחירי החשמל ( $P_e$ ) וריבית חסרת סיכון ( $r_f$ ) על כדאיות ההשקעה מראות עיניו של היזם מתקבל כי היזם אינו מושפע כלל משינויים בגורמים השונים. זאת לאור כי מובטחת לו תשואה קבועה גבוהה על השקעה באנרגיות מתחדשות. לעומת זאת, תועלתו משתנה בעקבות שינוי שיעור ההשקעה אופטימאלי מצד הממשלה המגבילה באמצעות מכסות ( $k_{government}^*$ ):

$$(17) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{d\alpha} = 0 \quad (17^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{Feed-in Tariff})}{d\alpha} < 0$$

$$(18) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{dP_e} = 0 \quad (18^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{Feed-in Tariff})}{dP_e} > 0$$

$$(19) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{dr_f} = 0 \quad (19^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{Feed-in Tariff})}{dr_f} ? 0$$

מכיוון ששיעור השקעתו של היזם באנרגיות מתחדשות נקבע על ידי מכסות שקבעה המדינה, תועלתו של היזם מושפעת משינויים בפרמטרים השונים. עלייה (ירידה) במחיר החשמל תגדיל (תפחית) את תועלתו לאור תעריף ההזנה הקבוע המובטח בגובה מחיר החשמל. השפעה הפוכה ישנה לתנודתיות מחיר החשמל. כמו כן, קיבלנו תוצאה דומה למצב המוצא עבור כיוון ההשפעה של שינוי אקסוגני בגובה התשואה על אג"ח ממשלתי.

מראות עיני הממשלה ההשפעה על שיעור ההשקעה האופטימאלי בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות לא השתנתה לעומת הבנצ'מרק עצם היותה ממקסמת פונקציית תועלת זהה. עם זאת, ההשפעה על תועלת הממשלה אינה חד משמעית ותלויה בגובה הפרמטרים.

$$(20) \frac{dk_{government}^*}{d\alpha} = -\frac{T-1-r_f}{8\alpha^3} - \frac{32A\alpha^3 + 8\alpha(T-1-r_f)}{\sqrt{(-T+1+r_f)^2 + 8A\alpha^2}} < 0 \quad (20^*) \frac{dU_{government}(k_{Feed-in Tariff})}{d\alpha} ? 0$$

$$(21) \frac{dk_{government}^*}{dP_e} = \frac{T-r_f}{4\alpha^2 \sqrt{(-T+1+r_f)^2 + 8A\alpha^2}} > 0 \quad (21^*) \frac{dU_{government}(k_{Feed-in Tariff})}{dP_e} ? 0$$

$$(22) \frac{dk_{government}^*}{dr_f} = -\frac{T-r_f}{4\alpha^2 \sqrt{(-T+1+r_f)^2 + 8A\alpha^2}} < 0 \quad (22^*) \frac{dU_{government}(k_{Feed-in Tariff})}{dr_f} ? 0$$

**ליזם** אפשרות להשקיע הן באג"ח ממשלתי והן בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. ממודל **תעריפי הזנה** עולה כי החלטתו להשקיע בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות לא תלויה בגורמים השונים אך לאלו השפעה על תועלתו. תועלתו מושפעת מאלו מכיוון שהממשלה קובעת **מכסות ייצור** אשר קובעות את גובה השקעתו באנרגיות מתחדשות על אף שאיפתו להשקעה מקסימאלית ( $k = 1$ ):

✚ **אין קשר בין  $\alpha$  ו- $k_{\text{entrepreneur}}$**  : עלייה בתנודתיות מחירי החשמל ( $\uparrow \alpha$ ) לא משנה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $= k$ ). הסיבה לכך הינה כי ליזם מובטחת ודאות מלאה בדמות של תעריף הזנה קבוע.

✚ **קשר שלילי בין  $\alpha$  ו- $U_{\text{entrepreneur}}(k_{\text{Feed-in Tariff}})$**  : עלייה בתנודתיות ( $\uparrow \alpha$ ) השפעה שלילית על שיעור ההשקעה האופטימאלי באנרגיות מתחדשות מצד הממשלה ( $\downarrow k$ ). ירידה זו מפחיתה את השקעתו של היזם באנרגיות מתחדשות לאור שיטת המכסות. מכאן שתועלתו קטנה כשהתנודתיות גדלה.

✚ **אין קשר בין  $P_e$  ו- $k_{\text{entrepreneur}}$**  : עלייה במחיר החשמל ( $\uparrow P_e$ ) לא משנה את החלטתו להשקיע את כל הונו באנרגיות מתחדשות ( $= k$ ). הנחת המודל הינה כי  $P_e - 1 > r_f$  ולכן כל עוד מובטחת לו תשואה ודאית גבוהה יותר מאנרגיות מתחדשות מאשר על אג"ח ממשלתי החלטתו תישאר זהה.

✚ **קשר חיובי בין  $P_e$  ו- $U_{\text{entrepreneur}}(k_{\text{Feed-in Tariff}})$**  : עלייה במחיר החשמל מגדילה שיעור ההשקעה האופטימאלי באנרגיות מתחדשות של הממשלה. בעקבות כך, תקבולי היזם עולים ובהתאם תועלתו.

✚ **אין קשר בין  $r_f$  ו- $k_{\text{entrepreneur}}$**  : עלייה אקסוגנית בתשואת האג"ח ( $\uparrow r_f$ ) אינה מפחיתה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות והוא נשאר זהה ( $= k$ ). זאת ומאחר וישנה ודאות מוחלטת בתשואה על ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות.

✚ **קשר חיובי או שלילי בין  $r_f$  ו- $U_{\text{entrepreneur}}(k_{\text{Feed-in Tariff}})$**  : את כיוון הקשר נוכל לקבוע רק בהתאם לפרמטרים ספציפיים. כאשר תעריף ההזנה הופך גבוה יותר ההשפעה של ריבית נמוכה הינה שלילית יותר ושל ריבית גבוהה הינה חיובית יותר. השפעות אלו דומות גם עבור מקדם אהבת אנרגיות מתחדשות ( $A$ ) גבוה יותר ותנודתיות קטנה יותר. בהתאם לכך, לא ניתן לקבוע את כיוון הקשר בין תועלת היזם לגובה הריבית על אג"ח ממשלתי.

✚ **גובה ההשקעה מבחינת היזם אינו תלוי כלל בגובה המחיר המובטח, התנודתיות והתשואה על האג"ח.**

**הממשלה** אשר רואה מול עיניה פונקציית תועלת הזזה למצב המוצא מושפעת בבחירת גובה שיעור ההשקעה האופטימאלי בייצור חשמל באותו האופן:

✚ **קשר שלילי בין  $\alpha$  ו- $k_{\text{government}}$**  : עלייה בתנודתיות מחירי החשמל ( $\uparrow \alpha$ ) מפחיתה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $\downarrow k$ ). הסיבה לכך הינה עליה בסיכון לממשלה ובנטל העודף.

✚ **קשר חיובי בין  $P_e$  ו- $k_{\text{government}}$**  : עלייה במחיר החשמל ( $\uparrow P_e$ ) מגדילה את תקבולי היזם ולפיכך מעלה את כדאיות ההשקעה בטכנולוגיות מתחדשות ( $\uparrow k$ ).

✚ **קשר שלילי בין  $r_f$  ו- $k_{\text{government}}$**  : עלייה אקסוגנית בתשואת האג"ח ( $\uparrow r_f$ ) מפחיתה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $\downarrow k$ ). כאשר הממשלה מגבילה את היזם במכסות היא ממקמת רווחה חברתית ומתחשבת בתועלתו המשלבת השקעה באג"ח ממשלתי.

✚ **בבחינת ההשפעה של הפרמטרים על תועלת הממשלה עולה כי אין תשובה חד משמעית.** אך עם זאת, נרחיב את השיח ונדגיש את ההשפעות בפרק ההשוואה בין שיטות המדיניות.

לאחר ניתוח ההשפעות של הגורמים השונים עולה מההשוואה לבנצ'מרק, כאשר אין התערבות ממשלתית, ניהול מדיניות של תעריפי הזנה מגדילה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות ירוקות. מצב זה מתאפשר לאור זאת שפונקציית התועלת של הממשלה לא השתנתה והיא מגדילה את ודאותו של היזם.

$$(36) k_{\text{Feed-in Tariff}} > k_{\text{wiog}}$$

הממשלה רואה פונקציית תועלת הזוהה לזו במצב המוצא ואילו היזם נהנה מהבטחת מחיר קבוע, ללא סיכון, לכל יחידת חשמל המיוצרת מאנרגיה מתחדשת. במצב זה, הן תועלת היזם והן תועלת הממשלה גדלות במדיניות זו. ממשואות (15) ו-(33), (16) ו-(34) מתקבל בהתאמה:

$$(37) U_{\text{entrepreneur}}(k_{\text{Feed-in Tariff}}) > U_{\text{entrepreneur}}(k_{\text{wiog}})$$

$$(38) U_{\text{government}}(k_{\text{Feed-in Tariff}}) > U_{\text{government}}(k_{\text{wiog}})$$

לפיכך, למדינה עדיפות לקביעת מדיניות של תעריפי הזנה ולהתערב לקידום השקעות ירוקות לעומת הישארותה אדישה להתפתחות הענף. מצב זה מתאפשר לאור העובדה כי לה תועלת חיובית מאנרגיות ירוקות והגידול מ- $k_{\text{wiog}}$  ל- $k_{\text{Feed-in Tariff}}$  יוצר תועלת שולית חיובית גבוהה יותר מאשר התועלת השולית השלילית מהנטל העודף.

### התערבות הממשלה באמצעות תעריפי פרימיום

במדיניות תעריפי פרימיום הממשלה מבטיחה ליזם סובסידיה כערך קבוע ( $S$ ), מעל למחיר החשמל ( $P_e$ ), עבור כל קוט"ש המיוצר באמצעות אנרגיות ירוקות. תוחלת התשואה בהשקעה בטכנולוגיות מתחדשות עולה ואילו הסיכון ליזם נשאר זהה. שיטה זו מתמדת יזמים להקמת פרויקטים כאשר כעת הינם רואים תוחלת רווח גבוה יותר. תיק הנכסים של היזם מניב את התשואה הבאה:

$$(39) R = (1 - k)r_f + k\pi_{Premium\ Tariff}$$

תנודתיות המחירים נשארת בגינה ומוטלת על היזם. אי הוודאות במחיר משפיעה שלילית על תועלת היזם. לעומת זאת, התשלום הקבוע המתקבל מהממשלה עבור כל קוט"ש חשמל מופק (מעין סובסידיה) מגדיל את תוחלת התשואה ומגולם במחיר ליחידה גבוה יותר שהיזם כעת רואה מול עיניו. נניח  $S < P_e$ . בהינתן כי פונקציית הייצור של היזם הינה בעלת תפוקה קבועה,  $F(k) = k$ , ותנודתיות מחיר החשמל הינה בהסתברות 0.5 לעלייה או ירידה במחיר של  $\alpha$  נקבל כי פונקציית התשואה מהשקעה בטכנולוגיות מתחדשות הינה:

$$(40) \max_k \pi_{Premium\ Tariff} = \begin{cases} (P_e + S) - 1 + \alpha, & 0.5 \\ (P_e + S) - 1 - \alpha, & 0.5 \end{cases}$$

אין סיכון מהשקעה באג"ח ממשלתי. ממשוואות (39) ו-(40) עולה כי התוחלת וסטיית התקן של תיק הנכסים הינם:

$$(41) \mu_R = E(R) = (1 - k)r_f + k(P_e + S - 1)$$

$$(42) \sigma_R = \sqrt{VAR(R)} = k\alpha$$

היזם ממקסם את תועלתו מהתשואה והסיכון על ידי בחירת שיעור השקעה אופטימאלי בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בכפוף למגבלת התקציב שבמשוואה (1). לכן נציב את משוואות (41) ו-(42) בפונקציית התועלת של היזם.

$$(43) \max_k U_{entrepreneur} = (1 - k)r_f + k(P_e + S - 1) - k^2\alpha^2$$

נגזור את משוואה (43) לפי  $k$ :

$$(44) -r_f + P_e + S - 1 - 2k\alpha^2 = 0$$

נבודד את  $k$  ונקבל את החלק מתוך תיק הנכסים שהיזם יקצה, באופטימום, לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות:

$$(45) k_{entrepreneur}^* = \frac{P_e + S - 1 - r_f}{2\alpha^2}$$

ניתן לראות כי תנודתיות השוואת לאפס ( $0 \leftarrow \alpha$ ) גוררת שיעור השקעה מקסימאלי באנרגיות מתחדשות ( $k = 1$ ).

פונקציית התועלת של הממשלה מתחשבת הן ביזם והן מקבלת תועלת חיובית פוחתת בהתאם למצב המוצא. ביישום מדיניות של תעריפי פרימיום הממשלה מעניקה תשלום קבוע, על כל יחידה מיוצרת, אשר ממומן באמצעות מיסים היוצרים נטל עודף הולך וגדל. על פי משוואה (30) המגדירה נטל עודף, המיסים הנגבים עולים הן כאשר שיעור ההשקעה באנרגיות ירוקות עולה ( $\uparrow k$ ) והן כאשר התנודתיות עולה ( $\uparrow \alpha$ ). הנטל העודף הינו פונקציה ריבועית עולה של התנודתיות ושיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות התלויה בשיעור הסבסוד ממחיר החשמל. ראינו כי כאשר כל הסיכון מוטל על הממשלה בשיטת תעריפי הזנה התקבל נטל עודף  $\tau = -k^2\alpha^2$ . כעת הממשלה מעלה את תוחלת התשואה של היזם בגובה תעריף הפרימיום ( $S$ ) המהווה תשלום קבוע מובטח הקטן ממחיר החשמל. מכאן כי הנטל העודף המתקבל הינו:



$$(46) \tau = -\left(\frac{S}{P_e}\right)k^2\alpha^2$$

תועלתה של הממשלה מטכנולוגיות מתחדשות הינה  $Aln(k) > 0$  כאשר  $A > 0$ . לפיכך, פונקציית התועלת של הממשלה:

$$(47) \max_k U_{government} = (1-k)r_f + k(P_e + S - 1) - \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)k^2\alpha^2 + Aln(k)$$

נגזור לפי  $k$  ונפתור משוואה ממעלה שנייה התחומה בין אפס לאחד:

$$(48) k_{government}^* = \frac{P_e + S - 1 - r_f}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} + \frac{\sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}$$

לאחר פסילת הפתרון הנמוך מסיבות שתוארו, עולה כי עבור תעריף פרימיום אפסי ( $S = 0$ ) מתקבל פתרון זהה לבנצ'מרק עבור הממשלה. מעבר לכך, קיים קשר שלילי בין גובה תעריף הפרימיום לשיעור ההשקעה האופטימאלי באנרגיות מתחדשות מצד המדינה **בהינתן הנחות המודל**  $P_e - 1 - r_f > 0$  ותיחום של  $1 \geq k \geq 0$ . כיוון ההשפעה של שינוי גובה תעריף הפרימיום ( $S$ ) (ראה נספחים-פונקציה ב'):

$$(49) \frac{dk_{government}^*}{dS} < 0$$

היזם לעומת זאת יגדיל את השקעתו באנרגיות מתחדשות עם העלייה במחיר הפרימיום. נגזור את משוואה (45) ונקבל:

$$(50) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{dS} = \frac{1}{2\alpha^2} > 0$$

ראינו כי לממשלה כדאי להתערב בענף מאשר להישאר אדישה ותועלתה כתוצאה תגדל כאשר שיעור ההשקעה של היזם **במצב המוצא** יעלה מ-  $k_{entrepreneur}^*$  עד למקסימום ממשלתי של-  $k_{government}^*$ . מצאנו כי **עלייה בתעריף הפרימיום** מקטינה את  $k_{government}^*$  ואילו מעלה את  $k_{entrepreneur}^*$ . מכאן ננתח שני מצבים לשיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות אשר יהווה אופטימום. במצב בו  $k_{entrepreneur}^* > k_{government}^*$  הממשלה יכולה להגביל את ההשקעה על ידי הפחתת תעריף הפרימיום. תועלתה תגדל עצם הנטל העודף שקטן ושיעור ההשקעה שגדל מאשר ללא התערבות ועדיין חסום על ידי  $k_{government}^*$  של מצב המוצא (ראינו כי תעריף פרימיום אפסי נותן תוצאה מקסימאלית זהה לבנצ'מרק וכן קיים קשר שלילי בין  $S$  ל- $k$ ). מצד שני, כאשר  $k_{government}^* > k_{entrepreneur}^*$  הממשלה יכולה להגדיל את גובה תעריף הפרימיום ולתמרץ כניסת יזמים לענף אשר יגדילו את תועלתה. מכאן ניתן להסיק כי הממשלה, בהתאם לאופטימום, תבחר  $S$  חיובי ממש שיקיים:

$$(51) k_{entrepreneur}^* = k_{government}^* = k_{Premium\ Tariff}$$

תחת משוואה (51) הממשלה מצליחה למקסם את תועלתה מעבר למצב המוצא בו שיעור ההשקעה אשר מהווה חסם הינו של היזם, זאת על אף רצונה להשקעה גבוהה יותר. תמרוץ היזמים באמצעות תעריף פרימיום מאפשר מימוש התועלת של הממשלה מאנרגיות מתחדשות. התועלת השולית מאנרגיות מתחדשות באופטימום החדש שווה לנטל העודף והסיכון של היזם. נפתור את משוואה (51) ונקבל כי על גובה תעריף הפרימיום האופטימאלי על הממשלה לקיים (ראה נספחים – פתרון פונקציה ממעלה שלישית):

$$(52) S(P_e + S - 1 - r_f)^2 = 2A\alpha^2 P_e$$

ניתן לראות כי באופטימום הפרמיה תלויה בתנודתיות, מחיר החשמל, תשואה חסרת סיכון ומקדם התועלת הממשלתית המשקף את אהבתה לאנרגיות מתחדשות. אך כדי לפשט את המודל נניח כי תעריף הפרמיום הינו אקסוגני מספיק גבוה כדי לתמרץ כניסת יזמים בהתאם לרצון הממשלה ונקבע פעם אחת על פי הפרמטרים הללו אך אינו מושפע מהם בהמשך. באמצעות הנחה זו נוכל לבחון את כיווני ההשפעה בסטיטיקה השוואתית. בנוסף הממשלה קובעת מכסות כך ששיעור ההשקעה האופטימאלי יהיה  $k_{government}^*$ . כלומר, שיעור ההשקעה נקבע בסופו של דבר על בסיס שאיפותיה של הממשלה כך שתעריף הפרמיום נקבע בהתאם:

$$(53) k_{government}^* = k_{Premium\ Tariff}$$

מכאן התועלות המתקבלות:

$$(54) U_{entrepreneur}(k_{Premium\ Tariff}) = r_f + \frac{(P_e + S - 1 - r_f)}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \left[ (P_e + S - 1 - r_f) + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right] - \frac{\alpha^2}{16\alpha^4 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)^2} \left[ P_e + S - 1 - r_f + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right]^2$$

$$(55) U_{government}(k_{Premium\ Tariff}) = r_f + \frac{(P_e + S - 1 - r_f)^2}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} + \frac{(P_e + S - 1 - r_f) \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} - \frac{\alpha^2}{16\alpha^4 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)^2} \left[ P_e + S - 1 - r_f + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right]^2 + A \ln \left( \frac{P_e + S - 1 - r_f}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} + \frac{\sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right)$$

### סטטיקה השוואתית

ההשפעות של שינוי התנודתיות ( $\alpha$ ), מחירי החשמל ( $P_e$ ) וריבית חסרת סיכון ( $r_f$ ) על כדאיות ההשקעה מראות עיניו של היזם נשאר זהה למצב המוצא. כמו כן, נבדוק את ההשפעה על התועלות תחת מדיניות של תעריפי פרמיום.

$$(55) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{d\alpha} = -\frac{P_e + S - 1 - r_f}{\alpha^3} < 0 \quad (55^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{Premium\ Tariff})}{d\alpha} < 0$$

$$(56) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{dP_e} = \frac{1}{2\alpha^2} > 0 \quad (56^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{Premium\ Tariff})}{dP_e} > 0$$

$$(57) \frac{dk_{entrepreneur}^*}{dr_f} = -\frac{1}{2\alpha^2} < 0 \quad (57^*) \frac{dU_{entrepreneur}(k_{Premium\ Tariff})}{dr_f} ? 0$$

לאחר גזירה ושימוש במשוואה (52) נקבל כי מראות עיני הממשלה כיווני השפעה לא השתנו לעומת הבנצ'מרק (ראה נספחים – התערבות ממשלה בתעריפי פרימיום):

$$(58) \frac{dk_{government}^*}{d\alpha} < 0 \qquad (58^*) \frac{dU_{government}(k_{Premium\ Tariff})}{d\alpha} < 0$$

$$(59) \frac{dk_{government}^*}{dP_e} > 0 \qquad (59^*) \frac{dU_{government}(k_{Premium\ Tariff})}{dP_e} > 0$$

$$(60) \frac{dk_{government}^*}{dr_f} < 0 \qquad (60^*) \frac{dU_{government}(k_{Premium\ Tariff})}{dr_f} ? 0$$

### סיכום ומסקנות

מודל תעריפי פרימיום מראה כאשר הממשלה ממקסמת את תועלתה היא מבטיחה סובסידיה קבועה כך שמתקיימת משוואה (52). לאחר פתרון גובה הסובסידיה האופטימאלי, שמבטיח תעריף הפרמיום, וגזירתו מתקבלות תוצאות בעלות השפעה דומה במציאות:

✚ **עלייה במחיר החשמל ( $\uparrow P_e$ ) מביאה את הממשלה להורדת תעריף הפרימיום ( $\downarrow S_e$ ).** תוחלת רווחיו של היזם מספיק גבוהים ומתמרצים אותו להשקיע יותר באנרגיות מתחדשות ללא צורך בתעריף פרימיום כה גבוה. לפיכך, הממשלה מפחיתה את תעריף הפרימיום במצב זה.

✚ **עלייה בתשואה על אג"ח ממשלתי ( $\uparrow r_f$ ) מביאה את הממשלה להגדלת תעריף הפרימיום ( $\uparrow S_e$ ).** כאשר ישנה עלייה בריבית חסרת סיכון היזם מעוניין להגדיל את השקעתו באג"ח על חשבון ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. הממשלה מעוניינת למנוע ירידה בהשקעה באנרגיות מתחדשות ולכן מגדילה את תעריף הפרימיום למען תמרוץ יזמים.

✚ **עלייה בתנודתיות מחיר החשמל ( $\uparrow \alpha$ ) מביאה את הממשלה להעלאת תעריף הפרימיום ( $\uparrow S_e$ ).** בכך מעלה את תועלתו של היזם מהשקעה נוספת לאור העובדה כי הינו שונא סיכון.

עם זאת, מאחר וכעת אנו מתייחסים אל תעריף הפרמיום כאקסוגני וכקבוע נוכל לבחון את השפעת התנודתיות, מחיר החשמל והתשואה על האג"ח על החלטות היזם והממשלה להשקעה אופטימאלית באנרגיות מתחדשות. אך עם זאת, על אף כי כיווני ההשפעה על החלטותיהם זהים לא נוכל לקבוע על מי ההשפעה גדולה יותר עקב תלות בערך הפרמטרים, למשל "אהבת" אנרגיות מתחדשות של הממשלה (A).

✚ **קשר שלילי בין  $\alpha$  ו- $k$ :** עלייה בתנודתיות מחירי החשמל ( $\uparrow \alpha$ ) מפחיתה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $\downarrow k$ ) הן של הממשלה והן של היזם. הסיבה לכך הינה כי היזם רואה סיכון גבוה יותר והממשלה רואה בנוסף לסיכון זה גם נטל עודף גבוה יותר.

✚ **קשר חיובי בין  $P_e$  ו- $k$ :** עלייה במחיר החשמל ( $\uparrow P_e$ ) מגדילה את החלטתם להשקיע באנרגיות מתחדשות ( $\uparrow k$ ). תוחלת הרווחים של היזם עלתה ואילו הממשלה נהנית בנוסף גם מירידה בנטל העודף.

✚ **קשר שלילי בין  $r_f$  ו- $k$ :** עלייה אקסוגנית בתשואת האג"ח ( $\uparrow r_f$ ) מפחיתה את שיעור ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ( $\downarrow k$ ). היזם רואה תועלת גבוהה יותר מהשקעה באג"ח ממשלתי מכיוון שכעת מובטחת לו תשואה גבוהה יותר ללא סיכון. הממשלה שרואה את תועלת היזם מבחינה זאת ולכן מפחיתה גם היא את שיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות.

✚ **קשר שלילי בין  $\alpha$  ל- $U_{entrepreneur}(k_{Feed-in\ Tariff})$  ו- $U_{government}$ :** כאשר הסיכון קטן הממשלה והיזם נהנים מכך.

✚ **קשר חיובי בין  $P_e$  ל- $U_{entrepreneur}(k_{Feed-in\ Tariff})$  ו- $U_{government}$ :** עלייה במחיר החשמל מעלה את הרווחים ומקטינה נטל עודף.

✚ **קשר חיובי, שלילי או אפסי בין  $r_f$  ל- $U_{entrepreneur}(k_{Feed-in\ Tariff})$  ו- $U_{government}$ :** כיווני קשרים יכולים להתקבל רק בהצבת פרמטרים ספציפיים.

ניהול מדיניות של תעריפי פרימיום, בהשוואה למצב המוצא, מביאה לשיעור השקעה באנרגיות מתחדשות גדול יותר. הממשלה מנצלת את יכולתה לגביית מיסים כדי לשפר את כלל הרווחה הציבורית באמצעות העברתם כסובסידיה קבועה המוענקת ליזם עבור יחידת חשמל אשר מייצר מאנרגיות מתחדשות. סובסידיה זו מעלה את תוחלת רווחיו והוא מוכן להשקיע יותר ואילו הממשלה נהנית מהשקעתו הנוספת יותר מאשר הנזק שנגרם מהנטל העודף שנוצר. בהתאם לכך, מתאפשר שיעור השקעה גבוה יותר לעומת הבנצ'מרק:

$$(61) \quad k_{Premium\ Tariff} > k_{wiog}$$

במדיניות של תעריפי פרימיום, הן תועלת היזם והן תועלת הממשלה גדלות במדיניות זו. זאת מאחר ותחולת רווחיו של היזם עולים והממשלה נהנית משיעור השקעה גבוהה יותר באנרגיות מתחדשות. ממשוואות (62) ו-(53), (16) ו-(54) מתקבל בהתאמה:

$$(62) \quad U_{entrepreneur}(k_{Premium\ Tariff}) > U_{entrepreneur}(k_{wiog})$$

$$(63) \quad U_{government}(k_{Premium\ Tariff}) > U_{government}(k_{wiog})$$

לפיכך, מדינה אשר אינה מתערבת בענף האנרגיות המתחדשות יכולה להגדיל את סך כל התועלות במשק באמצעות ניהול מדיניות של תעריפי פרימיום. תועלתה השולית מהשקעה נוספת באנרגיות מתחדשות, במצב ללא התערבותה, גבוהה מהנטל העודף וסיכון היזם השוליים אשר בעלי השפעה שלילית על התועלות בכללותם. השקעה נוספת לכן, מ- $k_{wiog}$  ל- $k_{Premium\ Tariff}$ , מגדילה את הרווחה.

## תעריפי הזנה מול תעריפי פרימיום

תחילה ראינו שלממשלה כדאי להתערב בענף האנרגיות המתחדשות, עבור כל ערך של הפרמטרים השונים המקיימים את הנחות המודל, ובכך היא מעלה את שיעור ההשקעה בו ובהתאם לכך את תועלתה. בחנו שתי אפשרויות שונות להתערבות, תעריפי הזנה ותעריפי פרימיום (לצורך פשטות ההשוואה דרשנו כי תעריף הפרימיום יהיה אקסוגני). לכל אחת מהשיטות יתרונות וחסרונות וכן כדאיות משתנה במצבים שונים ועבור פרמטרים שונים הן עבור היזם והן עבור הממשלה:

$$(64) k_{Premium\ Tariff} ? k_{Feed-in\ Tariff}$$

$$(65) U_{government}(k_{Premium\ Tariff}) ? U_{government}(k_{Feed-in\ Tariff})$$

$$(66) U_{entrepreneur}(k_{Premium\ Tariff}) ? U_{entrepreneur}(k_{Feed-in\ Tariff})$$

בהתאם לכך, המדיניות האופטימאלית שעל הממשלה לנקוט צריכה לקחת בחשבון את האפשרויות הללו ולבחור את הטובה ביותר במונחים של רווחה חברתית. מאחר שכבר ניתחנו את השפעת הגורמים השונים על כדאיות ההשקעה באנרגיות מתחדשות בפרקי סטטיקה השוואתית, נותר לבחון את השפעתם על מעבר בין סוגי המדיניות ועבור אלו נתונים כל שיטת מדיניות עדיפה על פני השנייה הן בהיבט החברתי והן בהיבט היזמי. נסמן,

$$(67) \Delta k_{PT,FIT} = k_{Premium\ Tariff} - k_{Feed-in\ Tariff}$$

$$(68) \Delta U_{govPT,FIT} = U_{government}(k_{Premium\ Tariff}) - U_{government}(k_{Feed-in\ Tariff})$$

$$(69) \Delta U_{entPT,FIT} = U_{entrepreneur}(k_{Premium\ Tariff}) - U_{entrepreneur}(k_{Feed-in\ Tariff})$$

כאשר,

$$(70) \Delta k_{PT,FIT} = \frac{P_e + S - 1 - r_f}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} + \frac{\sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} - \frac{T - 1 - r_f}{4\alpha^2} - \frac{\sqrt{(-T + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2}$$

$$(71) \Delta U_{govPT,FIT} = \frac{(P_e + S - 1 - r_f)}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \left[ (P_e + S - 1 - r_f) + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right] - \frac{(P_e - 1 - r_f)}{4\alpha^2} \left[ (P_e - 1 - r_f) + \sqrt{(-P_e + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2} \right] - \left(1 + \frac{S}{P_e}\right) \alpha^2 \left[ \frac{P_e + S - 1 - r_f}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} + \frac{\sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right]^2 + \alpha^2 \left[ \frac{P_e - 1 - r_f}{4\alpha^2} + \frac{\sqrt{(-P_e + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2} \right]^2 + \text{AIn} \left( \frac{P_e + S - 1 - r_f + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}}{\left( (P_e - 1 - r_f) + \sqrt{(-P_e + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2} \right) \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right)$$

$$(72) d\Delta U_{entPT,FIT} = \frac{(P_e + S - 1 - r_f)}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \left[ (P_e + S - 1 - r_f) + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right] - \frac{\alpha^2}{16\alpha^4 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)^2} \left[ P_e + S - 1 - r_f + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right]^2 - (T - 1 - r_f) \left[ \frac{T - 1 - r_f}{4\alpha^2} + \frac{\sqrt{(-T + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}}{4\alpha^2} \right]$$

כאשר  $\Delta U_{PT,FIT}$  חיובי ישנה עדיפות לניהול מדיניות של תעריפי פרימיום ואילו כאשר  $\Delta U_{PT,FIT}$  שלילי ישנה עדיפות לניהול מדיניות של תעריפי הזנה מצד הממשלה. היזם בהתאם יעדיף מדיניות של תעריפי פרימיום על פני תעריפי הזנה עבור  $\Delta U_{entPT,FIT}$  חיובי ותעריפי הזנה על פני תעריפי פרימיום עבור  $\Delta U_{entPT,FIT}$  שלילי. כמו כן, כאשר  $\Delta k_{PT,FIT}$  חיובי

שיעור ההשקעה בייצור אנרגיות מתחדשות יהיה גבוהה יותר תחת מדיניות תעריפי פרימיום וכאשר  $\Delta k_{PT,FIT}$  שלילי יושקע יותר במדיניות תעריפי הזנה.

### סטטיקה השוואתית

גזירה לפי המשתנים השונים מעלה את כיווני ההשפעה של הגורמים השונים:

$$\begin{array}{lll}
 (66) \frac{d\Delta U_{gov_{PT,FIT}}}{d\alpha} ? 0 & (66^*) \frac{d\Delta U_{ent_{PT,FIT}}}{d\alpha} ? 0 & (66^{**}) \frac{d\Delta k_{PT,FIT}}{d\alpha} ? 0 \\
 (67) \frac{d\Delta U_{gov_{PT,FIT}}}{dP_e} ? 0 & (67^*) \frac{d\Delta U_{ent_{PT,FIT}}}{dP_e} ? 0 & (67^{**}) \frac{d\Delta k_{PT,FIT}}{dP_e} > 0 \\
 (68) \frac{d\Delta U_{gov_{PT,FIT}}}{dr_f} ? 0 & (68^*) \frac{d\Delta U_{ent_{PT,FIT}}}{dr_f} ? 0 & (68^{**}) \frac{d\Delta k_{PT,FIT}}{dr_f} > 0 \\
 (69) \frac{d\Delta U_{gov_{PT,FIT}}}{dS} ? 0 & (69^*) \frac{d\Delta U_{ent_{PT,FIT}}}{dS} > 0 & (69^{**}) \frac{d\Delta k_{PT,FIT}}{dS} < 0
 \end{array}$$

### סיכום ומסקנות

השוואה בין שיטות המדיניות השונות באמצעות מודל מאפשרת בחינת השינויים השונים בגורמים המשפיעים על כדאיות ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. מניתוח התוצאות עולה:

✚ **קשר משתנה בין  $\alpha$  ל- $\Delta k_{PT,FIT}$  :** ניתוח ההשפעה מעלה הקשר משתנה ותלוי במקדם "אהבת" אנרגיות מתחדשות (A) -

○ **A גבוה-** לערכים נמוכים של תנודתיות יש השפעה חיובית גבוהה יותר ( $\alpha$ ) (נגזרת חיובית). כלומר, מכיוון שלתנודתיות השפעה שלילית על כל שיטת מדיניות, ההשקעה באנרגיות מתחדשות במדיניות תעריפי פרימיום תקטן בפחות מאשר בתעריפי הזנה כאשר A גבוה ו- $\alpha$  נמוכה. שיעור ההשקעה במדיניות של תעריפי פרימיום יהיה גבוה מאשר בתעריפי הזנה. כמו כן,  $\alpha$  גבוהה תביא לירידה גבוהה יותר בשיעור ההשקעה במדיניות של תעריפי הזנה לעומת תעריפי פרימיום. הפער בשיעור ההשקעה יגדל.

○ **A נמוך-** מתקבלת השפעה שלילית יותר לתנודתיות ( $\alpha$ ) המתארת ירידה גדולה יותר בהשקעה בתעריפי פרימיום ככל שהתנודתיות עולה (נגזרת שלילית עבור כל  $\alpha$ ). שיעור ההשקעה במצב זה יהיה נמוך יותר במדיניות תעריפי פרימיום לעומת תעריפי הזנה והפער ילך ויגדל עם עליית התנודתיות.

✚ **קשר חיובי בין  $P_e$  ל- $\Delta k_{PT,FIT}$  :** תחת שתי שיטות המדיניות יש השפעה חיובית לעלייה במחיר על שיעור ההשקעה. כאשר מחיר החשמל עולה ( $P_e \uparrow$ ) תהיה עלייה גבוהה יותר בהשקעה באנרגיות מתחדשות במדיניות של תעריפי פרימיום. השקעה באנרגיות מתחדשות בתעריף פרימיום גבוהה מאשר בתעריפי הזנה ( $k_{Premium\ Tariff} \uparrow > k_{Feed-in\ Tariff}$ ).

✚ **קשר חיובי בין  $r_f$  ל- $\Delta k_{PT,FIT}$  :** בשיטות המדיניות ישנה השפעה שלילית של עלייה בריבית ( $r_f \uparrow$ ) על ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, אך השקעה זו קטנה יותר במדיניות תעריפי פרימיום מאשר בתעריפי הזנה. השקעה באנרגיות מתחדשות בתעריף פרימיום גבוהה מאשר בתעריפי הזנה ( $k_{Feed-in\ Tariff} > k_{Premium\ Tariff}$ ).

✚ **קשר שלילי בין S ל- $\Delta k_{PT,FIT}$  :** כעת אנו מתייחסים לתעריף הפרימיום כאקסוגני על מנת לפשט את הניתוח. אף על פי כן, הנחנו כי תעריף הפרימיום נקבע באופן אופטימאלי באופן חד פעמי ולאחר מכן אינו מושפע משאר המשתנים. מכיוון שהממשלה היא זו שקובעת בסופו של עניין את שיעור ההשקעה בהינתן התנהגות היוזמים באופטימום עולה כי ככל שהיא תעלה את גובה תעריף הפרימיום היא תעדיף להפחית את סך ההשקעה באנרגיות מתחדשות על אף שהיזום מעוניין להגדילה. הסיבה לכך נעוצה בתועלת השלילית מהגדלת הסובסידיה היוצרת נטל עודף ואינה משנה את הסיכון שהיזום רואה. במידה ולא היינו מניחים תעריף פרימיום אקסוגני היה נוצר קושי

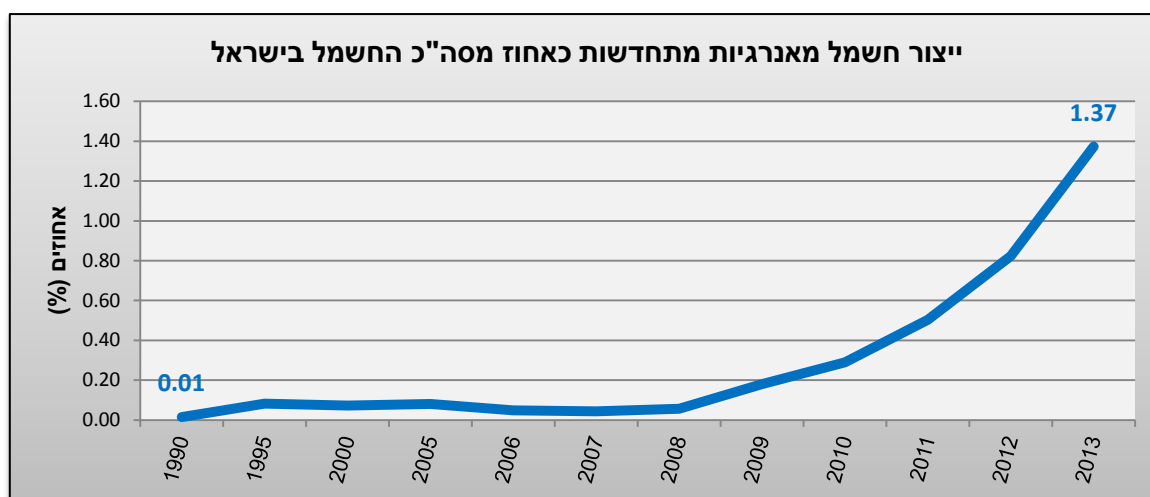
בבחינת ההשפעה מפאת מחסור בזמן, יכולות אנליטיות ומקצועיות שהרי מדובר במשתנה אנדוגני ממעלה שלישית.

ניתוח הפרש התועלות מעלה כי אין תשובה חד משמעית לכיווני ההשפעה של הפרמטרים השונים על עדיפות לאחת משיטות המדיניות הן מבחינת המדינה והן מבחינת היזם. על מנת למצוא את ההשפעה נדרש להציב פרמטרים ספציפיים ועבורם תוצג התמונה בבירור.

## מדיניות ממשלת ישראל

תכליתה של מדיניות משרד האנרגיה הינה הבטחת אספקה שוטפת של אנרגיה חשמלית בטווח הקצר והארוך בהיקף, בזמינות ובאיכות הדרושים. עם זאת, בעלות כלכלית, חברתית וסביבתית אופטימלית תוך שמירה על הביטחון האסטרטגי של מדינת ישראל, וכן להבטיח יכולת לספק את מלוא שירותי האנרגיה החיוניים בישראל במצב חירום (משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים- סקרי אנרגיה מתחדשת).

בהמשך לכך, ננקטו פעולות לקידום אנרגיות מתחדשות בישראל כבר לקראת סוף שנות ה-90. בשנת 1998 התקבלה לראשונה החלטת ממשלה בועידת שרים להגנת הסביבה כי על מדינת ישראל לפתח ולקדם טכנולוגיות של אנרגיות חלופיות על מנת להקטין את הזיהום הסביבתי וכמות הדלקים המיובאים. בשנת 2002 התקבלה החלטה כי יש לעודד התקנת מתקנים הפועלים באמצעות אנרגיות מתחדשות על ידי יזמים פרטיים וחברת החשמל. בנוסף, נקבעו יעדים לתחילת הפקת חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות החל משנת 2007. אף על פי כן, חרף כל הניסיונות עד אז להביא את ענף האנרגיות מתחדשות לצמיחה לא היה מימוש של אותן החלטות. חברות לא השקיעו בענף וייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות נשאר אפסי וללא שינוי מהותי. בעקבות זאת, בשנת 2007 התקבלה החלטת ממשלה 2178 אשר קבע כי יש לקדם הסרת חסמים במשק האנרגיה על מנת לקדם פרויקטים לייצור חשמל באמצעות אנרגיה סולארית.



גרף 9: ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות כאחוז מסה"כ החשמל בישראל. (IEA Statistics, 2014)

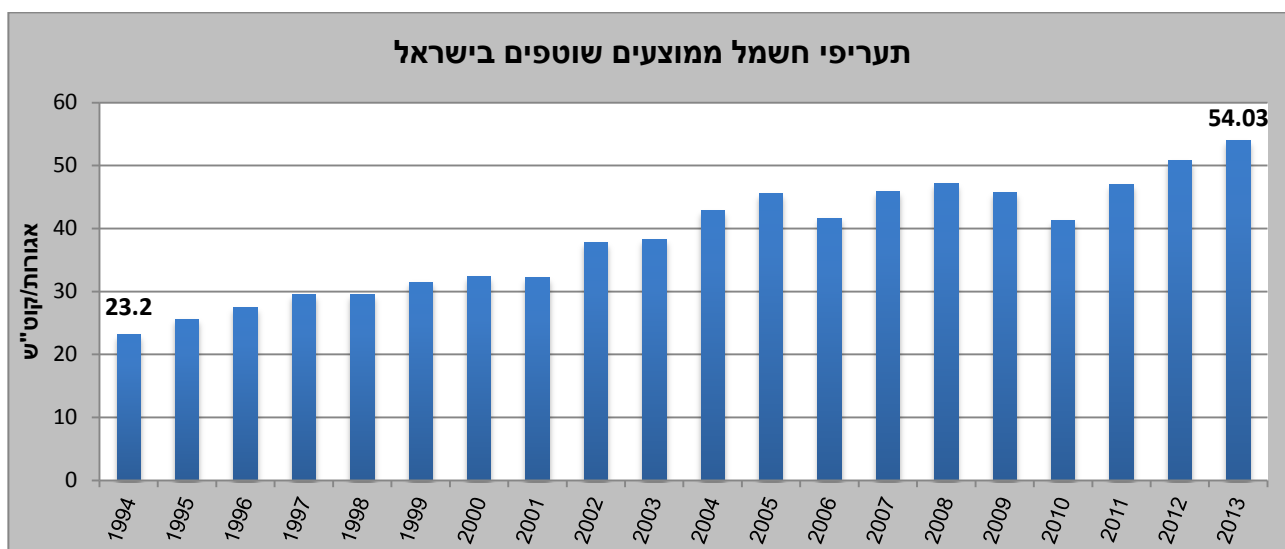
בשנת 2008 בהחלטת ממשלה 3338 כי באתר אשלים בנגב יקודמו מכרזים להקמת תחנות כוח תרמו סולאריות ופוטו-וולטיות. בהמשך שנה זו, התקבלה החלטת ממשלה 3954 המפרטת תקציב מדיני מותנה לקידום השקעות ולמחקר ופיתוח. המטרה הייתה ליצור סביבת השקעה בתחום האנרגיות המתחדשות. נקבעו תעריפים לייצור חשמל באנרגיה סולארית פוטו-וולטית ותרמו סולארית והענף החל להתפתח.

בשנת 2009 התקבלה החלטת ממשלה 4450 אשר בא נקבעו יעדים מנחים וגיבוש כלים מדיניים למען פיתוח תחום האנרגיות המתחדשות בישראל. נקבע יעד לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בהיקף של כ-10% מסך הביקוש לחשמל של מדינת ישראל ב-2020. כיעד ביניים נקבע ייצור של 5% עד שנת 2014 ונקבע כי החל משנת 2010 תיבנה תחנת חשמל בכל שנה באזור הנגב והערבה בהיקף לא פוחת מאשר 250 מגוואט עד שנת 2020. החלטת ממשלה 4450 אושרה בשנת 2011 על ידי ממשלת ישראל וקבלת יעדיה כיעדי המדינה. כמו כן, מכסות ייצור לטכנולוגיות ייצור החשמל השונות התקבלו בהחלטת ממשלה 3484 באותה השנה והאחריות על הסדרתן הוגדרה באחריות רשות החשמל (משרד ראש הממשלה- החלטות ממשלה). כל אלו נביאו לתנופה בהשקעות בענף האנרגיות המתחדשות ושיעור החשמל המתחדש עלה פי 22.8. עם זאת, חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות עדיין מהווה חלק זעום מכלל החשמל הנצרך במשק.



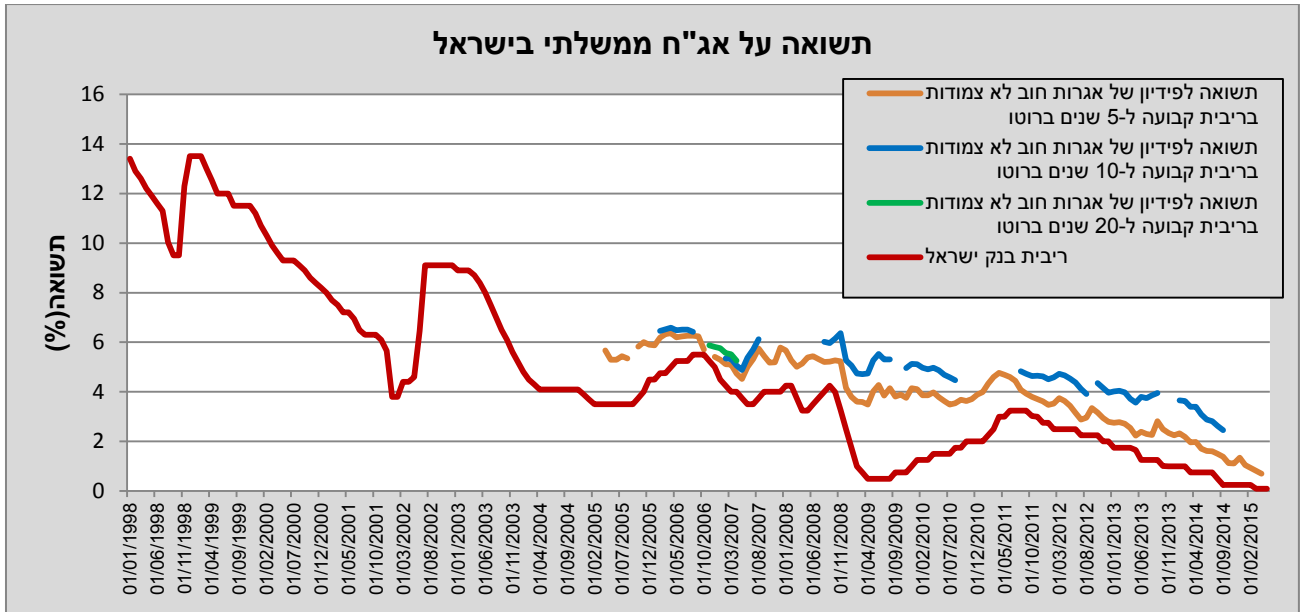
שיטת המדיניות שנקטת יוצרת תמריץ ליזמים להתקין מתקני ייצור באמצעות מכרזים ותעריפי הזנה. תעריף ההזנה מבטיח תשלום קבוע צמוד למדד אשר גבוה ממחיר החשמל לצרכן למשך עשרים שנים (אורך חיי המתקנים). בשתי שיטות אלו הוגדרו מראש הטכנולוגיות הנדרשות, והתהליך הרגולטורי התמקד באישור איכות המתקן והערכת העלות הנורמטיבית או המינימלית על ההון המושקע הנדרשת ממשק החשמל לשלם. הנחת היסוד הינה כי ייצור חשמל קונבנציונלי לעולם יהיה זול יותר מייצור חשמל באמצעים מתחדשים. על בסיס זה נקבעה מדיניות של תעריפי הזנה אשר מבטיחה תשואה ודאית ראויה לחברות המשקיעות בענף וכן נקבעו מכסות ייצור למניעת עלויות עודפות שעלולות להוות נטל עודף כבד על המשק בכללותו. עם זאת, המכסות חולקו בהתאם להערכה של העלות העודפת למשק של כל טכנולוגיה. מנגנון זה מתנהל באמצעות חברת חשמל שהינה חברה ממשלתית השולטת על שוק החשמל בהיותה מונופול. בהתאם לכך, נדרשת לרכוש את כלל החשמל המיוצר מאנרגיות מתחדשות מהיזמים. את העלויות הגבוהות של אנרגיה זו חברת חשמל מגלגלת על הצרכנים באמצעות גילומם על מחיר החשמל.

עם זאת, תעריף החשמל בישראל הינו משתנה לקילו-וואט לשעה ומכונה תעו"ז. התעריף מבוסס על עומס המערכת וזמן השימוש ויוצר בהתאם לכך קשת של תשעה תעריפים על פני עונות השנה (קיץ, חורף ועונת מעבר) על בסיס שלושה מקבצי ביקוש. אולם, תעריף ההזנה המגולם על מחיר החשמל, מבטיח ליזמים מחיר קבוע ואינו משתנה בדומה לתעריף החשמל.



גרף 10: תעריפי חשמל ממוצעים שוטפים בישראל. (חברת החשמל).

מגרף תעריפי החשמל בישראל עולה כי יש מתאם עם תנודתיות מחירי הנפט בעולם. אומנם, חלק מהשינוי בתעריפי החשמל משנת 2009 ואילך מקורה בעלייה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות שעיקרה פוטו-וולטאית. מניתוח ההשפעות על פי המודל שהוצג, ראינו כי עלייה תעריף החשמל מעלה את שיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות. תוצאה זו תואמת את שהתרחש בישראל. לאחר החלטת ממשלה 4450 בשנת 2009, כניסת המשקיעים לא הייתה כה גבוהה לאור מחירי הדלקים הנמוכים ותקופת הפנמת המדיניות החדשה. אף על פי כן, כאשר החלו לעלות, כמות המשקיעים במתקני אנרגיות מתחדשות עלתה הרבה יותר. השפעה זו נמשכה לאורך כל עליית מחירי הדלקים עד 2013. במקביל חלה ירידה בתשואה האלטרנטיבית למשקיעים כחלק מהורדת הריבית בישראל, מה שהביא השקעה גבוהה יותר בענף האנרגיות המתחדשות.



גרף 11: תשואה על אג"ח ממשלתי בישראל. (בנק ישראל).

**מודל הקצאת גורמי ייצור באמצעות אנרגיות מתחדשות**

מסמך המדיניות של משרד התשתיות הגדיר את מכסות הייצור עבור סוגי האנרגיות המתחדשות בהתאם לטכנולוגיית הייצור ועלותה השולית. המודל מבוסס על הקצאה יעילה של גורמי ייצור חשמל בטכנולוגיות מתחדשות, תחת מגבלת משאבים. היות ועל פי הנתונים לעיל ובהתבסס על מתודולוגיה זו, העלות השולית של ייצור קונבנציונאלי נמוכה מהותית מייצור על ידי מקורות מתחדשים, נוצרת עלות עודפת. בהינתן ההשלכות העתידיות על המשק והפנמתן, עלות עודפת זו הינה מושתתת על צרכני החשמל במשק המקומי על מנת לקדם את החלטות הממשלה (מדיניות משרד התשתיות הלאומיות לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך ייצור החשמל בישראל, 2010).

עם זאת, השתתת העלות העודפת על צרכני החשמל מגלמת ביסודה את הנחת המודל כי ענף האנרגיות המתחדשות בעל פוטנציאל כלכלי אסטרטגי בעולם ובפרט בישראל, וכן בטווח הארוך יחולו שיפורים טכנולוגיים בנצילות ייצור חשמל, בטכנולוגיות מתחדשות וקונבנציונאליות. עם זאת, בטווח הארוך עלות פליטת מזהמים תעלה בעקבות הסכמים סביבתיים בינלאומיים שירסנו השפעות חיצוניות שליליות על ידי קנסות. מתוך כך, עלויות טכנולוגיות מתחדשות ירדו ובסיס ההשוואה לייצור חשמל מאנרגיה קונבנציונאלית יעלה. מכאן כי קיים פוטנציאל עתידי להשקעות ופיתוח ענף האנרגיות המתחדשות.

לאור זאת, תומחרו עלויות שוליות עבור כל טכנולוגיה מתחדשת בשקלול יציבות אספקת החשמל למשק. כתוצאה, מתאפשרת השוואה בין הטכנולוגיות השונות כך שהיעילות מבניהן יזכו לקדימות ולפיכך לסובסידיה. בהתאם לכך ובנוסף לדרישת מינימיזציה של עלויות, השוואה לעלות האלטרנטיבית (מחז"מ גז ועלויות חיצוניות מהפעלתו) מאפשר כימות היעילות הכלכלית והעלויות העודפות, אשר יושתתו על צרכני החשמל, עבור כל יחידת חשמל המיוצרת באמצעות אנרגיה מתחדשת. מתוך כך, מכסות הייצור המוענקות לטכנולוגיות השונות מבוססת על הקצאה יעילה של משאבים.

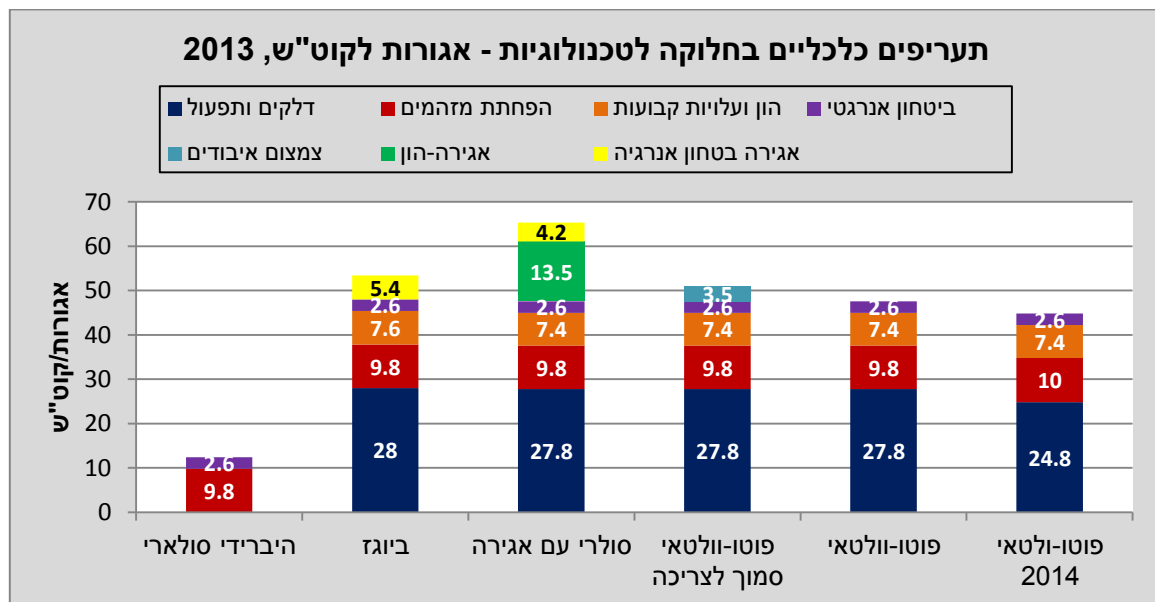
שיטה זו שנבחרה לקדם את החלטת הממשלה נקראת "תעריף הזנה". תעריפים קבועים מראש, אשר נקבעו כמפורט לעיל ומובטחים למשך 20 שנה (משך חיי שנות מתקן רוח ופוטו-וולטאי). אלו משולמים על ידי חברת חשמל ליצרנים ומסרתם לעודד ייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות בהתאם לתועלת המופקת מהם. כך, התווה משרד התשתיות הלאומיות יעדי ייצור עבור כל אנרגיה מתחדשת וקבע יעד ייצור החשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות 6.43 טרה-ואט לשעה בשנת 2020 (10% מסך הביקוש לחשמל). ניתנה עדיפות לטכנולוגיה שעלות החשמל המיוצר באמצעותה נמוכה יחסית. לפיכך, ניתנו מכסות גדולות לאנרגיית הרוח ולשדות סולאריים גדולים, ומכסות מצומצמות למתקני פוטו-וולטים קטנים.

## אופן חישוב תעריף ההזנה

במסמך המדיניות של משרד התשתיות נעשה חישוב של העלות העודפת של כל סוג של אנרגיה מתחדשת, לפי אופן הייצור. עלות עודפת זו חושבה עבור כל קוט"ש המיוצר באמצעות אחד מסוגי האנרגיות המתחדשות לעומת טורבינת גז במחזור משולב (מחז"מ) כאשר עלות קוט"ש במחז"מ גז חושבה כאפס (מדיניות משרד התשתיות הלאומיות לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך ייצור החשמל בישראל, 2010).

לכל טכנולוגיה ניתן מקדם יעילות בהתאם לניצול האנרגיה להפקת חשמל. עבור כל טכנולוגיה חושבו העלויות החיצוניות: תוספת לעלות הייצור לקוט"ש במחז"מ נגזרת משימוש בדלקים פוסיליים היוצרים זיהום אוויר, וכוללים עלויות אחסון וגידור מחירים. תוספת עלות עבור אנרגיות מתחדשות נגזר מהגיבוי הקונבנציונאלי הנדרש בעתות של מחסור/אי יכולת הפקת חשמל מהטכנולוגיה המתחדשת. בנוסף, לכל טכנולוגיה נעשה חישוב בהתאם למספר השעות בשנה שבה אפשר לנצלה להפקת חשמל.

שקלול מרכיבים אלו, בנוסף ליכולת האגירה של הטכנולוגיה המתחדשת, מחירי הדלקים הפוסיליים, עלויות סביבתיות, רמות קרינה, השפעות אקלימיות ותברואתיות של פליטת גזי חממה ממתקני ייצור קונבנציונאליים, עלויות תפעול, הקמה והולכה אפשרו כימות התועלת לערכים סופיים. בהתאם לזאת מחושב תעריף ההזנה.



גרף 12: תעריפים כלכליים בחלוקה לטכנולוגיות – אגרות לקוט"ש. (רונו, 2013).

## קשיים במדיניות הקיימת בעידוד ייצור חשמל באמצעות אנרגיה מתחדשת

תמרוץ יזמים לפיתוח ענף האנרגיות המתחדשות הוא הסדר של תעריף הזנה. התהליך הרגולטורי התמקד באישור איכות המתקן והערכת העלות הנורמטיבית על ההון המושקע. עלות נורמטיבית זו מגולמת בתעריף ההזנה אשר מובטח ליזמים למשך 20 שנה, עבור רכישת החשמל לתקופה זו. הבטחה זו באה בעקבות הנחה כי עלויות ייצור באמצעות אנרגיות מתחדשות גבוהות מעלות ייצור קונבנציונאלית וזו נחוצה לקידום הענף.

מודל זה מסיר חלק גדול מאי הודאות ליזם והן לממשלה. עם זאת, החסם העיקרי בתחום האנרגיות המתחדשות הוא האי ודאות הרגולטורי, הנובע משינויים תכופים בתעריפי ההזנה. שינויים אלה מקשים על תכנון לטווח ארוך.

העלות העודפת של האנרגיות המתחדשות, אשר מסובסדות באמצעות תעריפי הזנה, מגולמות מחירי החשמל לצרכן, ולכן היא מוטלת על כלל צרכני החשמל במשק. התחייבות לתעריף הזנה כיום למשך עשרים שנה, כאשר מחירי הייצור ממתקנים פוטו-וולטאים יורדים, פוגעת בעודף הצרכן בעתיד.

מבנה עלויות שונה עבור כל טכנולוגיה מביא את מדינת ישראל להגדיר עבור כל טכנולוגיה מתחדשת מכסה ומחיר. לפיכך, ניתנת עדיפות למתקנים פוטו-וולטים אשר עלותם למשק, נקודתית, הינה הנמוכה ביותר. אלו זכו לכמות מכסות גבוהה ביותר באופן יחסי. לאור זאת, תמהיל מקורות האנרגיה מאופיין על ידי נתח מהותי גדל של מתקנים פוטו-וולטאים. אי שקלול המגמה והקצב של העלויות היורדות של הללו גרמו לבחירה לא אופטימלית ויקרה של טכנולוגיות. עבורם הובטח תעריף הזנה גבוה אשר אינו משקף את עלותם כיום. בנוסף, מהטבלה עולה כי ייצור החשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות נעשה במתקנים פוטו-וולטאים קטנים ובינוניים בעוד הקמתם של שדות סולאריים גדולים ושל חוות רוה גדולות עדיין לא החלה.

טבלה 1: חלוקת המכסות והתקדמות הקמת המתקנים לעומת היעדים שקבעה הממשלה במדיניותה:

מדיניות משרד האנרגיה	ביצוע על ידי רשות החשמל	ביצוע על ידי יזמים
מגה-וואט מותקן עד 2020	מכסות ייצור שניתנו עד שנת 2017 - מגה-וואט	מכסות ייצור שנוצלו עד ראשית 2013 - מגה-וואט
טכנולוגיה		
רוח (חוות גדולות)	800	0
רוח (טורבינות קטנות)	30	0
ביו-גז וביו-מסה	210	0
שדות סולאריים גדולים	520	452
פוטו-וולטאי בינוני	300	270
פוטו-וולטאי קטן	678	250
סה"כ הספק מותקן	<b>2,488</b>	<b>972</b>

(ריון, 2013)

עם זאת, נוצר מצב בו אין תמרוץ מספק של טכנולוגיות מתחדשות נוספות. הבטחת תעריף הזנה גבוה עבור הקמת מתקנים פוטו-וולטים מדכא איכות ויעילות כלכלית. כתוצאה, בטווח הארוך מושגות עלויות עודפות וחוסר גיוון בתמהיל מקורות האנרגיות המתחדשות.

כמו כן, מודל תעריף ההזנה במדינת ישראל לוקה בתמחור שגוי של התועלות למשק. אין התחשבות בשעות בהן האנרגיה מסופקת, באמינות האספקה של המתקן, עלויות והיקף תשתית ההולכה הנדרשת. כתוצאה, נוצרת הטיה בתמחור התועלת למשק.

מודל תעריף ההזנה מבוסס על הקצאת מכסות עבור כל טכנולוגיה מתחדשת. מכסות אשר אינן מנוצלות במערכת אחת מועברת לאחרת אשר ישימה יותר על מנת לעמוד ביעדי הממשלה. מנגנון זה מביא יזמים (את חלקם) להקשות על יזמים נוספים מטכנולוגיות שונות בהקמת מתקניהם. התחרות מתנהלת בדרך של הכשלות ואינה מתקיימת במישור האיכות והמחיר. בנוסף, הצורך העז לניצול מקסימאלי של המכסות ולמנוע עיכובים מביא את משרד התשתיות הלאומיות להקצאת מכסות עבור טכנולוגיות ותיקות ומוכחות. חברות חדשות, וביניהן ישראליות, להן פוטנציאל ארוך טווח לשיפור מערכת החשמל לא זוכים למכסות. כתוצאה, מתנקזת התחרות למקומות שאינם יעילים.

מטרת מודל זה הינה לתמוך ביצירת שוק מקומי בו פועלות חברות רבות, כאשר התחרות ביניהן תבסס את הענף ותוזיל בטווח הבינוני והארוך את מחירי המערכות להפקת אנרגיה מתחדשת כך שלא תידרש עוד סובסידיה ציבורית.

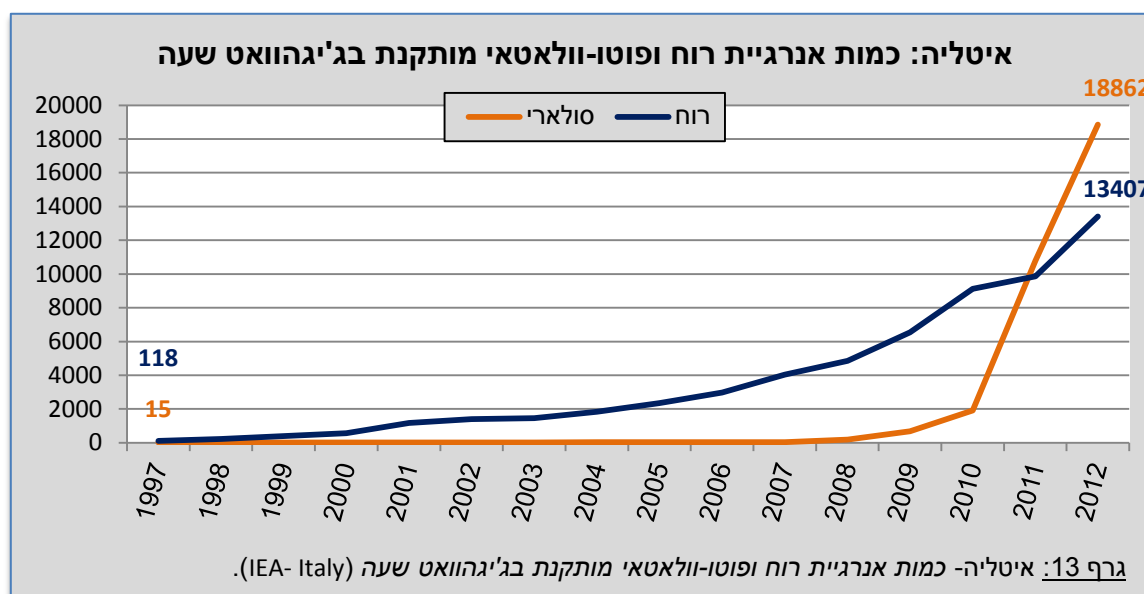
עם זאת, ניתן לקבוע כי המודל הצליח להביא לעמידה בניצול מכסות למתקנים פוטו-וולטאים. עבור אלו נרשם ביקוש רב לקבלת רישיונות. לפיכך, ניתן ללמוד כי תעריף הזנה זה מגלם סובסידיה גבוהה מידי. אף על פי כן, אין תמרוץ מספק לייצור חשמל מטכנולוגיות מתחדשות נוספות והמכסות שלהן לא מתמלאות. לפיכך, עולה הצורך בבחינת המודל הקיים (הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות, 2013).

## מדיניות בעולם

### איטליה

איטליה אחת מן חלוצות אירופה בתחום האנרגיות המתחדשות. על פי רישומי שינויי המדיניות שברשות סוכנות האנרגיה הבינלאומית נבחנו שינויי המדיניות במקביל להשפעה אשר חלה בפועל על שוק האנרגיות המתחדשות באיטליה. כבר בשנת 1991 יצאה הממשלה בחקיקה המתמדת יצרני חשמל להשתמש באנרגיות מתחדשות לשימוש עצמי כולל אפשרות למכירה לרשת החשמל. החקיקה בעצם היוותה אבן דרך לחקיקות הבאות בתחום זה. בשנת 1999 שיטת התמחור לפי יצירת שוק TGC אושרה. במקביל, ממשלת איטליה יזמה קרן למען צמצום פליטות זיהום אוויר. הקרן כללה סבסוד באופנים שונים פרויקטים לייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים בהיקף של כ-600 מיליוני יורו למשך 3 שנים. בשנת 2005 הוצגו לראשונה באיטליה תעריפי פרמיום עבור גופים פוטו-וולטאים. עד שנת 2007 ניתן לראות (גרף 13) כי לא הייתה התפתחות משמעותית בכמות ייצור האנרגיה. לאחר מכן באותה השנה, ממשלת איטליה יזמה השקעה בתשתיות בקנה מידה רחב אשר ייעדה חיבור מתקנים המייצרים חשמל מאנרגיות מתחדשות לרשת החשמל. ההשקעה הרחבה בתשתיות הייתה קריטית על מנת ליצור הכנה בהמשך ליזמים המעוניינים להתחבר לרשת החשמל אליה יספקו את החשמל המיוצר (IEA- Italy). בהמשך לכך, בשנת 2008 נקבעה שיטת תמחור של תעריפי הזנה לכלל האנרגיות המתחדשות כאשר תעריפי פרמיום למתקנים סולאריים PV נזנחו. בשלב זה, יזם אשר היה מעוניין לייצר אנרגיה ממקורות מתחדשים יכול היה לבחור בין תעריפי הזנה או לקבל תשלומים לפי שיטת שוק ה-TGC שעד כה לא הראתה תוצאות. מאז חלה עליה משמעותית בכמות ההשקעות בפרויקטים אשר הגדילו את אחוז אספקת האנרגיה למשק באמצעות אנרגיות מתחדשות. הגידול חל בזכות מדיניות תעריפי ההזנה הגבוהים אשר בה בחרו היזמים לקבל תשלומים ולהשתלב בענף. בשנת 2008 הייתה צמיחה של כ-397% מסך ההתקנים שהיו עד אז (גרף 13).

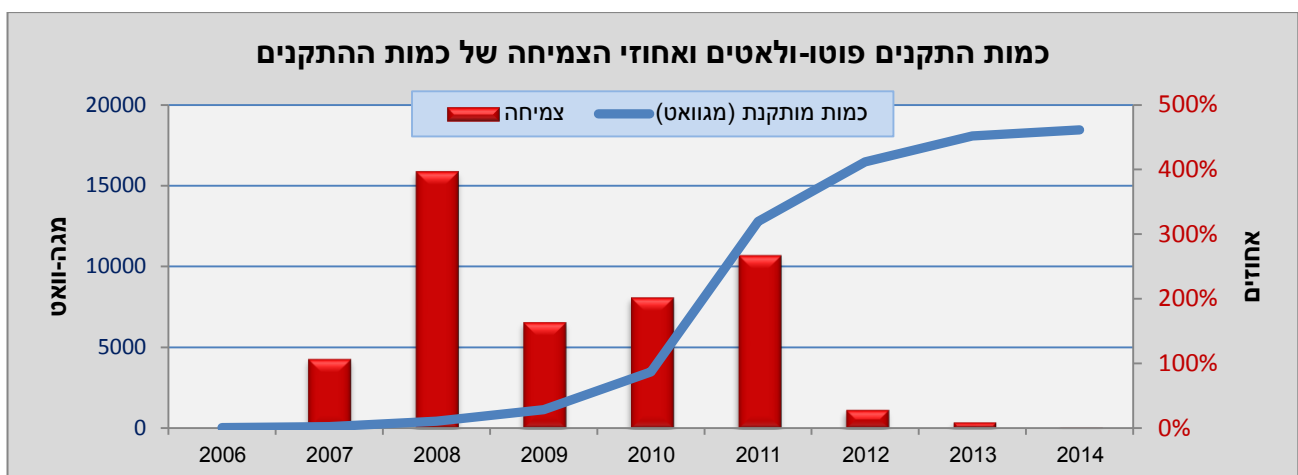
בשנת 2009 תחת חוק מס' 99 קבעה ממשלת איטליה תכנית מדינית למען חסכון באנרגיה והתייעלות. החקיקה הציבורית קבעה יעד התחיבותי לאספקת 17% מהביקוש לאנרגיה באמצעות אנרגיות מתחדשות. בהתאם לכך, לכל תחום באופן נפרד, הוגדרו מכסות ושיטות תמחור שונות.



משנת 2008 עד 2011 הייתה צמיחה חדה ומפתיעה בכמות ההשקעות באנרגיות מתחדשות. נראה היה כי איטליה קבעה תעריפי הזנה גבוהים מידי וללא בקרה על כמות מכסות. מספר רב של יזמים השקיעו מאחר והרווחים היו גבוהים. באיטליה לא בוצעה הבחנה והפרדה בין יזמים יעילים ללא יעילים וכתוצאה הרבה פרויקטים לא יעילים יצאו לפועל.

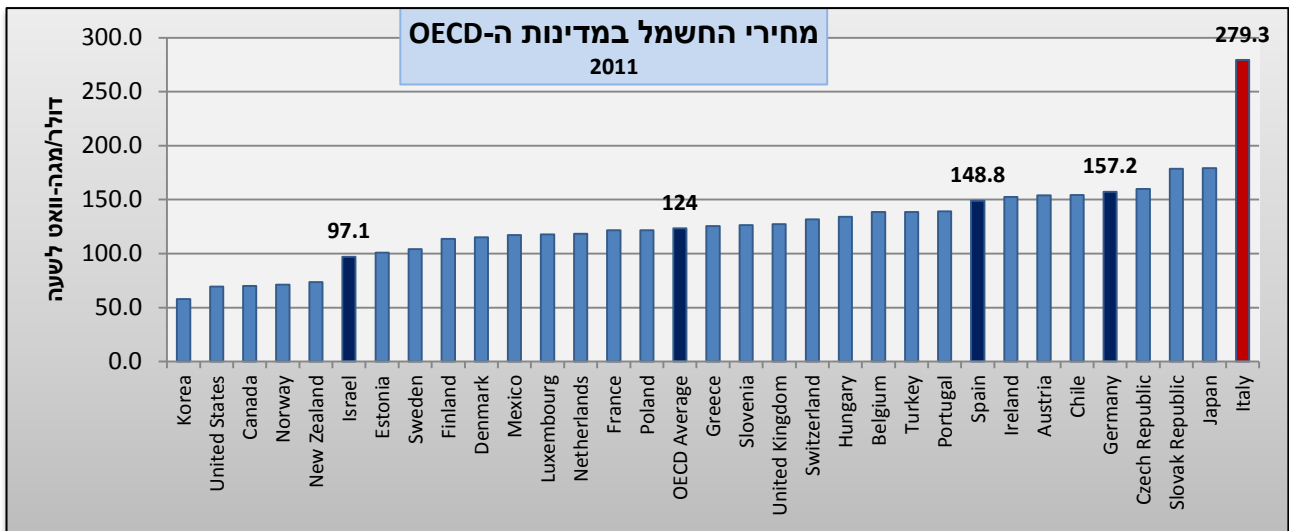
לאחר שממשלת איטליה הפנימה את הנוק הפוטנציאלי, החל תהליך של הפחתת תעריף ההזנה כבר בשנת 2011. מטרתה של ממשלת איטליה הייתה למגר את כמות ההשקעה בפרויקטים וצמצום בתשלומי ממשלה. אף על פי כן, מחירי הפאנלים הסולאריים ירדו באופן משמעותי יותר מירידת תעריפי ההזנה שיזמה הממשלה, דבר אשר הביא להמשך עליה בכמות ההשקעות בתחום. במקביל, מצבה הכלכלי של איטליה הדרדר, ולא עמדה בהתחייבויות התשלומים בהתאם לחוזים שנקבעו עם היזמים. איטליה חרזה מעבר לתקציב אותו קבעה ונאלצה לבלום את כמות הפרויקטים המתרחבים לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת, בעיקר בתחום הפוטו-ולאטי המתפתח.

נכון לשנת 2012, מרבית האנרגיות המתחדשות באיטליה תומחרו בשיטה של תעריפי הזנה. במושגי תמרוץ השקעות, תעריפי ההזנה זכו להצלחה רבה בקרב מדינות אירופה מאחר והניבו ייצור מוגבר של חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות ותהליך של למידה באמצעות עשייה שהביאו להתפתחות מהירה של הענף. בעקבות חריגת התקציב לקידום תחום האנרגיות המתחדשות, ביולי 2012 ממשלת איטליה שינתה את מדיניות שיטת התמחר של אנרגיה פוטו-ולאטית משימוש בתעריפי הזנה חזרה לתעריפי פרמיום. מאחר ומחירי הפאנלים הסולאריים ירדו באופן יותר משמעותי מצמצום גובה התשלומים באותה תקופה, הגידול בכמות המתקנים הפוטו-ולאטים לא נפסק והממשלה עמדה בפני חובות אף גדולים עוד יותר.



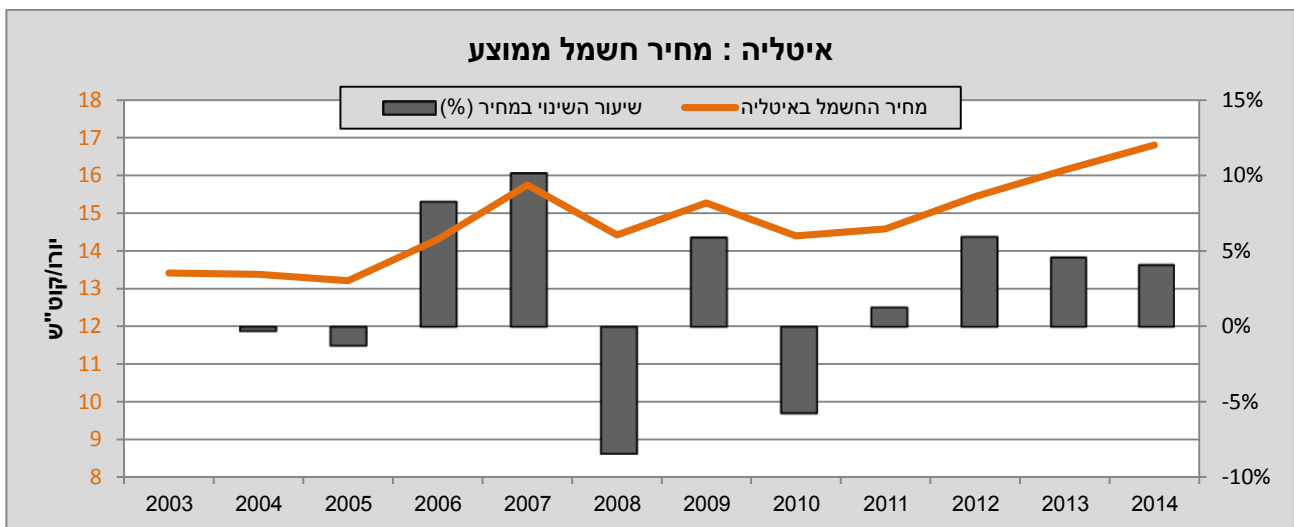
גרף 14: כמות התקנים פוטו-ולאטים ואחוזי הצמיחה של כמות ההתקנים. (IEA- Italy).

מחירי החשמל באיטליה כיום הינם בין הגבוהים ביותר באירופה. עיקר עליית מחירי החשמל מתואמת עם הפנמת הנוק שנגרם ממדיניות תעריפי ההזנה האגרסיביים שאיטליה קבעה. מאחר ולאורך 5 שנים לא היו מכסות על כמות התקנים של ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, איטליה הפכה להיות מדינה מובילה בתחום זה, אך גם תחת חובות של כ-9 מיליארד דולר ליזמים מפרויקטים שונים אליהם התחייבה. חובות אלה הן עול על חשבון אזרחי איטליה וכלל הרווחה אשר מגולמים במחירי החשמל (Antonelli & Desideri, 2014).



גרף 15: מחירי החשמל במדינות ה-OECD 2011. (Energy statistics of OECD countries, 2014).

מנתוני מחירי החשמל לאורך השנים באיטליה עולה כי מאז 2003 חל גידול של כ-25% אחוזים במחיר החשמל (גרף 15). בעקבות יעדי התייעלות בצריכת החשמל, מחירו היה מלכתחילה בין הגבוהים בעולם לצורך ריסון הביקושים. גם השאיפה לשמירה ולאיכות הסביבה תרמו רבות למחיר הגבוה כאשר איטליה מייבאת גז טבעי בכמויות במקום דלקים פוסיליים. בגרף הבא ניתן לראות כי חרף מחיר החשמל המנופח, התמודדה איטליה עם שגיאתה במדיניות תערפי הזנה ללא מכסות מגבילות בשנת 2012 באמצעות העלאת מחירי החשמל שהאמירו באחוזים נוספים.



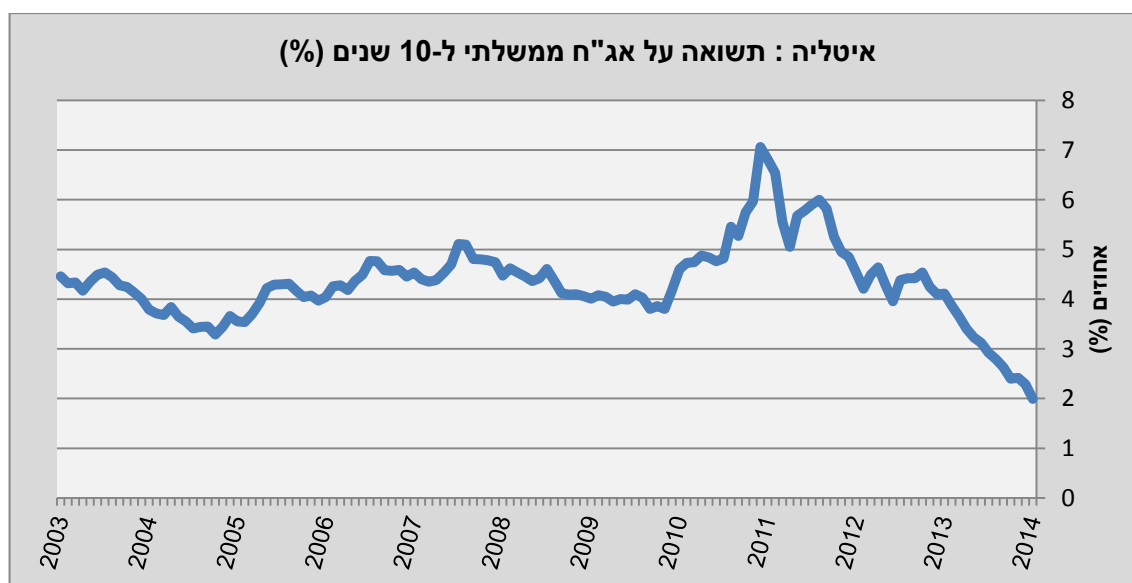
גרף 16: איטליה: מחיר חשמל ממוצע. (Eurostat)

כאשר בתחום האנרגיות המתחדשות ישראל ואיטליה משתמשות בשיטת תערפי הזנה, קיים הבדל בסקטור הפוטו-וולטאי בלבד בו איטליה מנהלת מדיניות של תערפי פרימיום ואילו ישראל מנהלת מדיניות של תערפי פרימיום. התמרוץ ליזמים בישראל מגיע באמצעות תערפי הזנה אשר מהווים מחיר קבוע לזים, ובכך הממשלה המסבסדת לוקחת את כל הסיכון עליה במידה וקיימים שינויים במחירי תמחיל החשמל. אם המחירים יורדים, הממשלה "מפסידה" כאשר העלות האלטרנטיבית "זולה יותר" באופן יחסי. כיום באיטליה, תחת מדיניות תערפי פרימיום, היזמים מקבלים פרמיה קבועה מעל מחיר החשמל בשוק (המיוצר באופן קונבנציונלי). במצב שכזה, אם מחירי החשמל יורדים, גם התשלום הכולל ליזמים יורד באותה כמות (עבור מחיר חשמל אפסי היזם מקבל את הפרמיה בלבד). מצב שכזה מניח את כל הסיכון הנובע משונות במחירי החשמל על היזמים.

מדיניות של תעריפי הפרימיום מאפשרת ליזמים באיטליה אשר ייצרו אנרגיה ממקורות מתחדשים למכור את החשמל בשוק הפרטי לספקים במחיר שוק החשמל, והממשלה משלמת במקביל פרמיה קבועה לכל קוט"ש חשמל מיוצר. מדד תעריפי הפרימיום מוצמדים למדד המחירים לצרכן ומתעדכנים על בסיס שנתי. בכך מתקיימת הצמדה לאינפלציה ושינויי המחירים (RES- Italy Policy). מאחר ומחירי החשמל באיטליה גבוהים באופן יחסי, היזמים באיטליה מרוויחים יותר. בזכות המחירים הגבוהים, הממשלה יכולה לצמצם סובסידיה ועדיין לא לפגוע בכדאיות ההשקעה מצד היזמים.

לסיכום, ממקרה איטליה והשלכתו על מודל "ההשקעה בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בתנאי אי ודאות והשפעות חיצוניות", ניתן ללמוד כי התשואה הגבוהה המובטחת ליזם תחת מדיניות של תעריפי הזנה תמרצה אותו להשקיע את מיטב הונו בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ללא סיכון מתנודתיות המחירים. תעריפי הזנה גבוהים ללא מכסות מגבילות מצד הממשלה הביאו לצמיחה מוגברת ולא צפויה אשר הביאו להשפעות חברתיות שליליות כגון נטל עודף, מסים כבדים יותר, וכן עלויות חשמל גבוהות. כתוצאה, תועלתה של המדינה ספגה מהלומה קשה ואילו היזמים נהנו מההפקר. מעבר לכך, נוצרה פגיעה ביעילות הייצור בעקבות adverse selection. הבחנה בין פרויקטים יעילים ללא יעילים הינה קריטית כדי להביא לצמצום עלויות חברתיות וזו לא התבצעה.

כמו כן, ממקרה איטליה ניתן להבין כי לא קיים פתרון יחיד בנוגע למדיניות ממשלתית בנושא זה. מפאת מחסור בנתונים בתקופה הראשונה בה הנהיגו תעריפי פרימיום נוכל ללמוד מהתקופה השנייה בלבד משנת 2012. עולה כי עדכון תעריפי הפרימיום התבצע על בסיס מדד המחירים לצרכן בלבד. לפי המודל ראינו כי תמחור שכזה לא מאפשר התאמה של התעריפים באופן אופטימאלי. שינויים בתשואה על אג"ח ממשלתי המהווה אלטרנטיבת השקעה, והן שינויים בתנודתיות משפיעים גם הם על כדאיות ההשקעה מבחינת היזם ועל תועלתה של המדינה הממקסמת רווחה חברתית כתוצאה מתמחור חסר או עודף. על פי הנתונים נראה כי הממשלה יכלה להפחית את תעריפי הפרימיום ובנוסף להגדיל את תועלתה.



גרף 17: איטליה : תשואה על אג"ח ממשלתי ל-10 שנים (%). (ECB Stat).

בנוסף לירידת מחירי הפאנלים הסולאריים לאורך השנים, מאז שנת 2012 בה המדיניות עברה לתעריפי פרמיום, חלה ירידה בתשואה על אג"ח ממשלתי של איטליה ועלייה במחירי החשמל. מהסטיקה ההשוואתית במודל ראינו כי כדאיות היזם להשקיע בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות עולה בירידת התשואה על האג"ח ועולה עם מחיר החשמל. לפיכך, היעדר אלטרנטיבת השקעה, ירידת מחירי הפאנלים ועדכון לוקה בחסר של גובה תעריפי הפרימיום הגבוה הביאו להמשך השקעה באנרגיות מתחדשות חרף סלידתה של הממשלה.



תהליך של למידה מעשיה הינו חשוב אך יש לשלב ראייה לטווח הארוך על מנת להימנע מחרטות ושינויים תכופים במדיניות. הנזקים בסדר גודל כפי שניתן היה ללמוד בשוק האיטלקי לקידום אנרגיות מתחדשות היו כבדים. יש לבחור בקפידה את האמצעים המדיניים היעילים ביותר אשר יקדשו את המטרה.

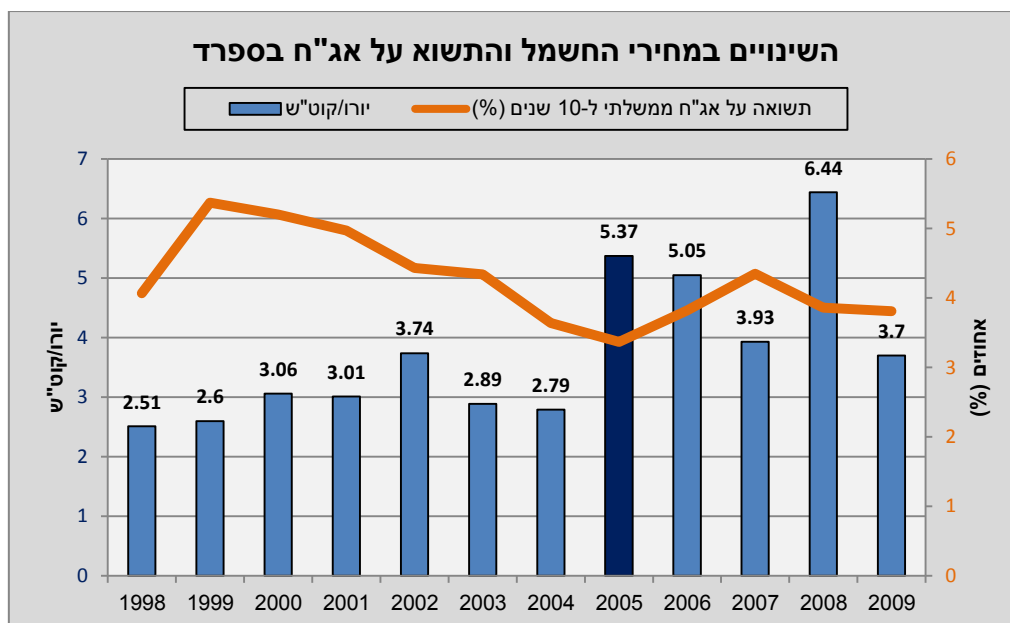
## ספרד

בספרד, בשנת 1997 במסגרת חוק מספר 57 נקבעו יעדי ממשלה למען שילוב של 12% אנרגיות מתחדשות במשק החשמל. בשנת 1998 הוצגו ליזמים שתי אפשרויות לתמחור אנרגיה מתחדשת אשר נקראה "התוכנית הזו-תעריפית" ומאפשרת בחירה בין תעריפי הזנה ותעריפי פרמיום הצמודים למחירי החשמל. המטרה הייתה לתמרץ יזמים להשקעה בפרויקטים לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות. תעריפי ההזנה כללו תשלום קבוע למשך כ-20 שנה, הכוללים סובסידיה ממשלתית מובנת. שיטת תעריפי פרמיום כללה סובסידיה ממשלתית קבועה לכל קוט"ש מיוצר המתואם עם מחירי החשמל. ההתאמה למחירי החשמל הייתה חלקית, כלומר התשלום אותו קיבל יזם עבור כל קוט"ש מיוצר היה מתואם בין 80%-90% למחירי שוק החשמל במטרה לצמצם את הסיכון הנובע מתנודתיות במחירי החשמל. באותו הזמן, היה קיים פער משמעותי בין העלויות של פרויקטים שונים לפי סוגי אנרגיות מתחדשות שונות. מאחר והתחום הפוטו-ולאטי היה בוסרי, הפקת אנרגיה מפאנלים סולאריים פוטו-ולאטיים היו יקרים באופן משמעותי מתחנות רוח. לכן הוחלט כי תעריפי פרמיום לא תקפים לתמחור עבור יזמים בפרויקטים פוטו ואלטאיים, והוצעה להם רק שיטת תעריפי הזנה. תעריפי ההזנה סיפקו ודאות ליזמים ועזרו לקדם בהדרגתיות את התחום הפוטו-ולאטי שהיה עוד בחיתוליו. פער עלויות זה הצטמצם בהמשך הדרך כאשר תעשיית הפאנלים הסולריים התפתחה (IEA- Spain).

בשנת 1999 נקבעה תוכנית מסודרת אשר כללה הקלה ברגולציה, תחומי השקעה, מכסות ובניית תקציב מסודר לקידום השקעות בפרויקטים בשוק הפרטי. התוכנית הפכה לאפקטיבית והביאה תוצאות. משנת 2000 כמות ההתקנים גדלה באופן משמעותי, בעיקר בהתקנים המייצרים חשמל באמצעות אנרגיית רוח לאור עלותם הנמוכה.

אחד מהחסרונות משימוש בתעריפי הזנה הינו חוסר התאמה בין היצע לביקוש ויצירת נטל עודף על חשבון סך הרווחה החברתית. תנודתיות במחירי החשמל מגבירה תופעות שליליות אלו במשק. לכן ממשלת ספרד הייתה מעוניינת לקדם מעבר יזמים מקבלת תשלומים בתעריפי הזנה לתעריפי פרמיום. כדי לקדם את המעבר בין התעריפים, הסובסידיה אשר ניתנה באותו הזמן כללה סך תשלום פרמיה בתוספת למחיר שוק החשמל, הגבוה מסך התשלום שהציעה שיטת תעריפי ההזנה. לאחר המעבר משיטת תמחור אחת לשנייה, מחויב יזם אשר עשה את המעבר להישאר בה לפחות שנה.

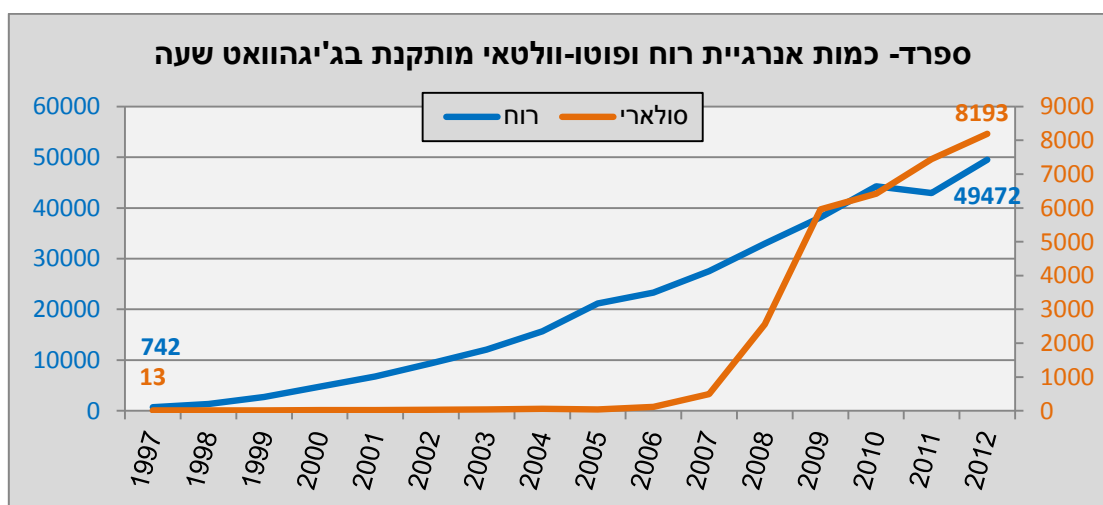
למרות אפשרות לשימוש בשני שיטות תמחור, בשנת 2004 עדיין היה רוב מוחלט בין היזמים לשימוש בשיטת תעריפי הזנה. תעריפי פרמיום באותה שנה הוגברו על מנת למשוך יותר יזמים לשימוש בתעריפים אלו. בשנת 2005 חלה עלייה משמעותית במחירי החשמל בספרד. עליית מחירים זו בהחלט עזרה למשוך יותר יזמים לשיטת תעריפי פרמיום על פני תעריפי הזנה. בשנת 2007 נקבעה תוכנית תמלוגים אשר קבעה תעריפי הזנה ופרמיום חדשים, וכן הוגדלו מכסות הייצור. יצרנים יעילים יותר קיבלו זכאות לבונוסים נוספים. כלל השינויים הללו הובילו לעליה משמעותית נוספת בכמות הייצור באמצעות אנרגיית רוח ובייחוד באמצעות טכנולוגיה פוטו-ולאטאית. בין 2007 ל-2009 כמות האנרגיה המסופקת באמצעות טכנולוגיה פוטו-ולאטית הכפילה את עצמה. מאז פתיחת הרגולציה והגברת תעריפי הפרמיום, אפיין את שוק האנרגיות המתחדשות בספרד מעבר חד של יזמים לשיטת פרמיום אשר העניקה ליזמים תוחלת תשואה גבוהה מזו של תעריפי הזנה. בשנת 2009 כ-96% מיצרני אנרגיית הרוח, וכל יצרני האנרגיה הפוטו-ולאטית בספרד תומחרו כחלק משיטת תעריפי פרמיום (Schallenberg-Rodriguez & Haas, 2011).



גרף 18: השינויים במחירי החשמל והתשואה על אג"ח בספרד (Schallenberg-Rodriguez & Haas, 2011).

לאור חשש לייצור יתר, בשנת 2009 נקבעה רגולציה אשר מחמירה עם תנאי סף לזכאות לסובסידיה ממשלתית כדי למנוע השקעה בפרויקטים לא יעילים. המטרה בספרד הייתה להביא לגידול קבוע ויציב בכמות ההתקנים לאספקת אנרגיה מאמצעים מתחדשים בהתאם ליעדי הממשלה. נראה כי החלטות הרגולציה אשר נקבעו היו נכונות בדיעבד כאשר מחירי הפאנלים הסולאריים צנחו. בעקבות הירידה במחירי הפאנלים חל גידול משמעותי בכדאיות הייצור בתחום הפוטו-ולאטי אשר לולא רגולציה מתאימה ממשלת ספרד הייתה עומדת בפני סבסוד מספר פרויקטים מאוד גדול אשר היו מעמידים אותה בהוצאות משמעותיות. יחד עם מצבה הכלכלי הרעוע בעקבות משבר 2008, ספרד הייתה מתמודדת מול חובות אף גבוהים יותר מאלו אשר לה כיום.

נראה כי ספרד התמקדה במדיניות המקדמת טכנולוגיות יעילות בעלויות. ההתפתחות המוקדמת ועיקר הצמיחה חל בין השנים 1998-2006 בתחום אנרגיית הרוח. בהמשך עם התפתחות טכנולוגיית הפוטו-ולאטי והוזלת עלויותיה, ספרד קידמה מדיניות מתאימה המתמקדת יזמים להשקיע בתחום זה. סך ההשקעות באנרגיה פוטו-ולאטית גדלה עם השנים באופן אשר תואם את הירידה בעלויות מחירי הפאנלים הסולאריים (ירידה מכ-3.25 דולר/וואט בשנת 2008 לכ-0.8 דולר/וואט בשנת 2012).

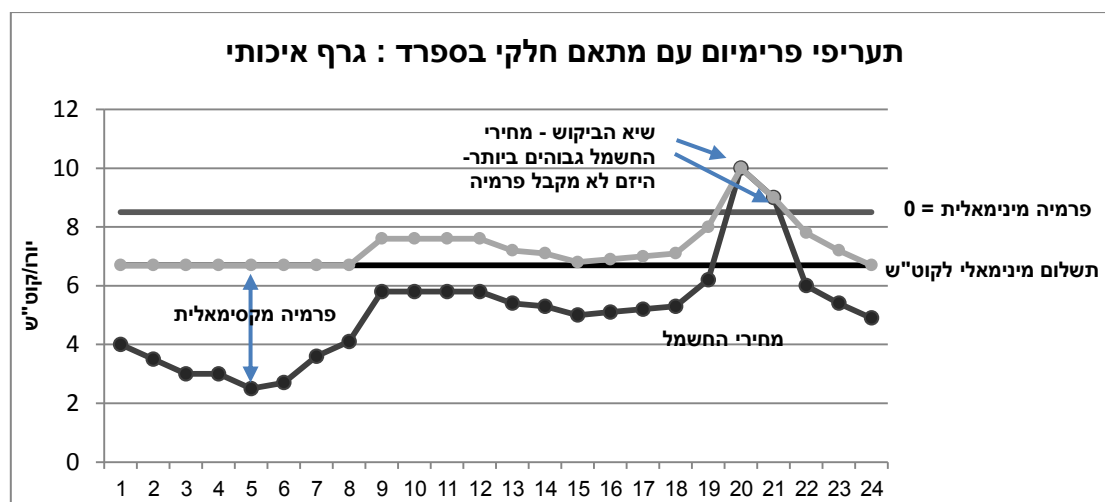


גרף 19: ספרד- כמות אנרגיית רוח ופוטו-וולטאי מותקנת בג'יגהוואט שעה (IEA- Spain).

על פי מודלים של אי ודאות פרט שונא סיכון יעדיף את הערך הוודאי – תשלום קבוע – על פני חוסר ודאות בתקבולים אלא אם תוחלתם גבוהה מזו של הערך הוודאי. כלומר, יש להעניק תעריף פרמיום מספיק גבוה אשר יאפשר תוחלת תשואה העולה על זו המתקבלת בתעריף ההזנה. אם כן, הסובסידיה המוגברת לתעריפי הפרמיום בספרד אשר הייתה מוצעת לאורך השנים 2004-2009 הייתה גבוהה מתעריפי ההזנה על מנת למשוך יזמים לתעדף תעריפי פרמיום. התמחור בתעריפי פרמיום מתעדכן על בסיס שעתי במהלך היממה בהתאם לשינויי מחירי החשמל. משיכת היזמים לתעריפי פרמיום תמרצה יזמים ליצר חשמל דווקא בשעות שיא הביקוש לחשמל בהם המחירים גבוהים יותר, ולכן התשלומים ליזמים גבוהים יותר. מענה לביקושים בשעות השיא סיפקו ערך מוסף למדינה וכלל הרווחה בעקבות חסכון בהפעלת יתר של תחנות כוח קונבנציונליות אשר מייצרות זיהום עודף בשעות אלו.

כאשר אנו מעוניינים למשוך יזמים לתעריפי פרמיום, נרצה להבין מהו גובה הסובסידיה במדיניות של תעריפי פרמיום הנדרשת כדי לפצות יזמים על הסיכון הנוסף, אך לשלם מחיר שאינו גבוה מידי. שיטה זו מאופיינת בסיכון מתגודותיות מחירי החשמל לעומת תשלום קבוע ללא סיכון המתקבל בתעריפי הזנה. במידה וחלה עליה משמעותית במחירי החשמל, אין צורך בסובסידיה גבוהה על מנת לתמרץ יזמים לייצר חשמל. לכן נקבעה שיטת תמחור של תעריפי פרמיום על בסיס מתאם חלקי עם מחירי החשמל. תעריפי פרמיום הינם מתעדכנים על בסיס שעתי לפי שינויי מחירי החשמל בהתאם לביקושים ושעות העומס.

השיטה שחלה בספרד הייתה כזאת אשר מקיימת מתאם עם מחירי החשמל (כהגדרת תעריפי פרמיום) אך המתאם עם מחירי החשמל הינו חלקי, בין 80%-90%, תלוי בסוג הטכנולוגיה המתומחרת. בנוסף לזאת, נקבע תשלום מינימאלי, אשר מבטיח תשואה נורמטיבית, וכן תשלום מקסימאלי עבור כל קוט"ש מיוצר. התשלום המינימאלי מובטח ליזמים לכל תעריף חשמל, נמוך ככל שיהיה. במידה ומחירי החשמל עולים גבוהה דיו תשואת היזם עולה והפרמיה המשולמת קטנה. עבור תשואה מעל זו המקובלת בענף לא תינתן יותר פרמיה ליזמים (היזם יקבל את מחיר החשמל הנקי ללא תוספת פרמיה). כך ניתן היה להקטין את הסיכון בירידת מחירי החשמל אשר פוגע ביזמים, ולמנוע תשלומי פרמיה עודפים במידה ומחירי החשמל גבוהים במיוחד.



גרף 20: תעריפי פרמיום עם מתאם חלקי בספרד : גרף איכותי. פיתוח עצמאי.

תכנית הסובסידיה הדו-תעריפית בספרד נחשבה באופן כללי להצלחה בהיבטים של קידום תחום האנרגיות המתחדשות (הביאה לעליה מייצור 10 טרה-וואט לשעה באמצעות אנרגיות מתחדשות בשנת 1995 ל-74 טרה-וואט לשעה בשנת 2009) והגעה ליעילות בעלויות חשמל מיוצר ביחס לכמות המותקנת. יעילות זו באה לידי ביטוי ברווח מהותי ליזמים בשוק הספרדי והן בעלויות נמוכות חברתיות עבור קוט"ש מיוצר לכל כמות חדשה של חשמל המיוצרת באנרגיה מתחדשת (Schallenberg-Rodriguez & Haas, 2011). מאחר וניתנה אפשרות ליזמים לבחור שיטת תמחור מתאימה ספציפית

לפרויקט, היה בידי הזמים אפשרות לבחור את שיטת התמחור הרווחית ביותר עבורם. בעקבות רגולציות אשר מטרם הייתה לסנן פרויקטים פחות יעילים, נמנעו השקעות יקרות מיותרות אשר יכלו לפגוע במשק. כמו כן, מאחר ולא היו שינויים מהותיים בין שיטות התמחור לאורך השנים, נוצרה אמינות לאופי התמחור של תעריפי פרמיום. אמינות זו היוותה מוקד משיכה לזמים להשתמש בשיטה זו למרות השונות במחירי החשמל. כך הממשלה יכלה להקטין במעט את סכום הסובסידיה הקבועה בתעריפי פרמיום בלי לחוות צמצום מהותי בכמות ההשקעות.

בבחינת מדיניותה של ספרד והשלכתה על מודל ההשקעה בתנאי אי ודאות עם השפעות חיצוניות עולה כי אכן לא ניתן לקבוע בוודאות את העדפת הזים למדיניות אחת על פני השנייה. בהינתן מדיניות אחת בלבד יתכן שהזים יבחר לא להשקיע ואילו השנייה תתמרץ אותו יותר. יזמים ספרדים לא השקיעו באנרגיות מתחדשות תחת מדיניות של תעריפי הזנה עד שנת 2006. תעריפי ההזנה היו נמוכים ביחס למחירי הפאנלים שלא הוזלו דיו והיזמים נמנעו מלהשקיע כסף רב בתחום ולכן צמיחתו הייתה איטית. יתכן כי תועלתה של הממשלה הייתה יכולה להיות גבוהה יותר אילו הייתה מציעה במקביל תעריף פרמיום בעל נטל עודף נמוך יותר על החברה וגבוה מספיק כדי למשוך יזמים להקמת מתקנים פוטו-וולטאים. מסקנה זו אכן באה לידי ביטוי בהתפתחותם של מתקנים לייצור חשמל מאנרגיית רוח לאורך כל השנים שעלותם הייתה נמוכה. יזמים השתלבו בשתי השיטות עם נטייה לתעריפי הזנה לאור ניסיונם הדל בענף בשנים הראשונות. בהתאם לכך, מדיניות "דו תעריפית" הכרחית למקסם תועלת ורווחה חברתית. מצד אחד הזים ממקסם את תועלתו בבחירת המדיניות האופטימאלית עבורו ומשקיע בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ומצד שני הממשלה נהנית מהשקעה נוספת כאשר גובה תעריף ההזנה והפרמיום נקבעים על בסיס מקסום תועלתה.

עם זאת, שאיפתה להעברת יזמים למדיניות של תעריפי פרמיום הביאה לתוצאות מרשימות. מדיניות תעריף הפרמיום המשתנה בספרד תמרצה יזמים להתייעלות והפחית את הנטל העודף על החברה כאשר התאים את עצמו למחיר החשמל. תוצאה זו אכן באה לידי ביטוי במודל בצורך להתאמת תעריף הפרמיום עבור שינויים בתנאי השוק ומכאן ניתן להגיד כי ספרד הפגימה חשיבות זו. נוסף לזה כי מחירי הפאנלים הסולאריים ירדו משנת 2008, התשואה האלטרנטיבית על אג"ח ממשלתי ל-10 שנים לא השתנתה כמעט מאז ותעריף הפרמיום החדש בשנת 2007 לקח בחשבון את חוסר הניסיון בתחום אשר מפחית את כדאיות ההשקעה, נוצר תמריץ איכותי המיטיב עם המשקעים והממשלה ומגדיל את הרווחה החברתית.

באופן כללי, שימוש במדיניות התומכת בשתי שיטות תמחור בספרד נחשבת כהצלחה. תעריפי הזנה עזרו למנוע סיכון משינויים במחירי החשמל ולתמרץ יזמים להשקיע בפרויקטים. זוהי השיטה הקיימת במשק האנרגיה המתחדשת הצעיר במדינת ישראל גם כן. בכך ניתן לקדם תחום זה למען יצירת שוק של אנרגיות מתחדשות אשר מקיים תהליך של שיפור מלמידה. הוספת תעריפי פרמיום כחלק מאפשרויות התמחור במשק הישראלי יכול לקדם התאמת היצע לביקושים ובייחוד עידוד ייצור חשמל בשעות שיא הביקוש. שיטה של תעריפי פרמיום מתאימה יותר לטכנולוגיות מפותחות, ועבור מתקנים בעלי קיבולת ייצור גבוהה. תעריפי פרמיום מקדמים שוק חשמל הדומה יותר לשוק החשמל הסטנדרטי (קונבנציונאלי) מבחינת מכניזם השוק והתאמת היצע לביקושים. זאת מאחר ומלבד הסובסידיה הקבועה, אין שינוי מהותי בין תנודתיות התשלומים לצד ההיצע באנרגיות מתחדשות לבין ההיצע הקונבנציונאלי. המטרה בעתיד היא למזער את עלויות הטכנולוגיה ולמקסם יעילות כך שעלויות הפקת חשמל מאנרגיות מתחדשות יהיו אף זולות יותר מייצור באמצעים קונבנציונאליים ולא יהיה צורך כלל בסובסידיה. כיום אף ניתן לראות בספרד מעט מתקנים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בעלי עלויות הזולות מאשר באמצעות אנרגיה קונבנציונאלית.

## גרמניה

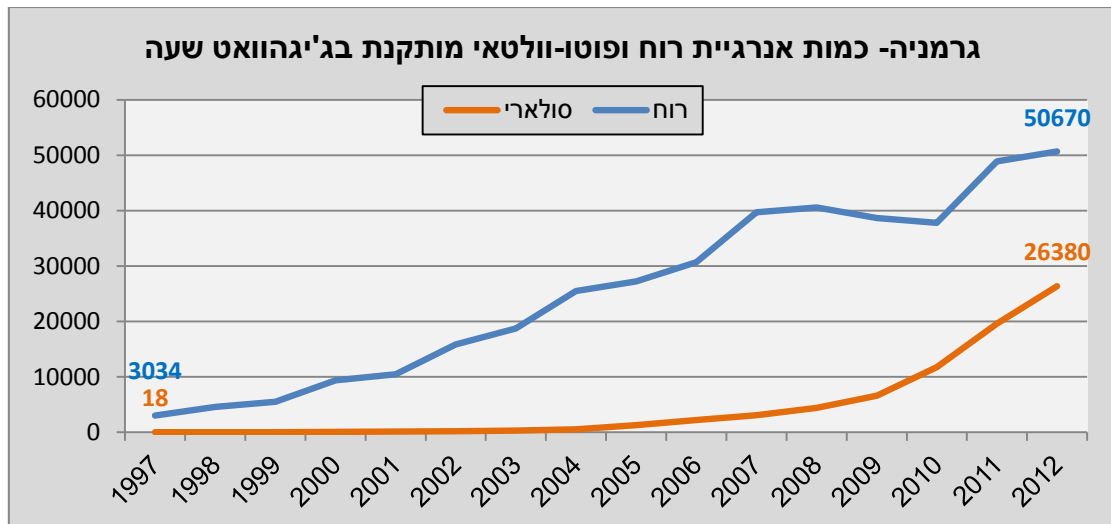
גרמניה הינה דוגמה למדינה אשר מקיימת מדיניות של תעריפי הזנה באופן אגרסיבי על מנת לתמרץ השקעה בפרויקטים של הפקת חשמל מאנרגיות מתחדשות. בשוק החשמל הגרמני, באופן שונה משוק החשמל הישראלי, קיימים חברות חשמל וספקי חשמל מקומיים באופן נפרד (חברת החשמל הינה מונופול אשר גם יצרן וגם ספק). שוק החשמל הגרמני הינו שוק תחרותי. הצרכנים בגרמניה יכולים לבחור בין מגוון ספקי החשמל המקומיים אשר אחראיים על תשתיות והולכת החשמל לצרכן. ספקי החשמל המקומיים רוכשים את החשמל מחברות החשמל ומובילים אותו לכלל הצרכנים. בגרמניה שלוש חברות חשמל גדולות. חברות אלו מייצרות את החשמל בשוק הגרמני באמצעים קונבנציונאליים, וכן רוכשות חשמל מיצרנים קטנים יותר בנוסף לחשמל אותו מייצרות (חברת החשמל בישראל פועלת באופן זהה). יצרנים קטנים אלו מייצרים

חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות. חברות החשמל רוכשות את החשמל ומוכרות אותו יחד עם שאר החשמל אשר מיוצר לספקי רשת ההולכה המקומיים.

בשנת 1991 חוקקה ממשלת גרמניה את חוק ההזנה אשר מחייב את חברות החשמל הגדולות לקנות חשמל מיצרני החשמל מאנרגיה מתחדשת בסדר גודל בין 5%-10% מסך הכמות המסופקת על ידם. התשלום היה בתעריפי הזנה אשר חושבו על פי ממוצע מחירי החשמל בשנה הקודמת. תעריפי ההזנה היום מורכבים ממחיר החשמל בתוספת פרמיה. חברות החשמל היו מחויבות לשלם ליצרני החשמל מאנרגיות מתחדשות את מחיר החשמל בתוספת הפרמיה המחושבת כאחוז מממוצע מחיר החשמל בשנה הקודמת. התשלומים היו קבועים לכל מתקן למשך זמן קבוע מראש לשנה (לפי אורך חיי פעולת המתקן) והתעדכנו מידי שנה לכל יזם הנכנס לחוזה ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. באותו הזמן, טכנולוגיות מתפתחות כגון רוח ופוטו-וולטאי היו זכאיות לפרמיה של כ-90% ממוצע מחיר החשמל בשנה שעברה. טכנולוגיות זולות יותר כגון טורבינות הידרואליות קיבלו פרמיה נמוכה יותר (65%). הפרמיה אשר שולמה ליזמים שייצרו חשמל מאנרגיות מתחדשות הייתה על חשבון חברות החשמל וחייבה אותם על פי חוק לשלם את הפרמיה וכן להיות אחראיים על חיבור ההתקנים לרשת החשמל. הממשלה לא השקיעה כלל בסובסידיה ממשלתית (IEA-Germany). בכך חסכה תקציב ממשלתי אשר היה ממומן על ידי מיסים שהיו יוצרים נטל עודף על כלל הרווחה. במקום זאת, הנטל עבר לחברות החשמל אשר גלגלו את תשלומי הפרמיה על חשבון מחיר החשמל הסופי לצרכן. כתוצאה מכך, נוצרו עיוותים בשוק החשמל. חברות חשמל גדולות נדרשו לרכישת כמות אנרגיה גבוהה יותר מאשר חברות קטנות. ככל שסך החשמל מאנרגיה מתחדשת עלה כך גם התשלום לצרכנים הסופיים גדל בהתאם. אף על פי כן, החוק נחל הצלחה בכך שבתוך שנים ספורות פותחה תשתית רחבה של אנרגיה מתחדשת בגרמניה והתפתחות משמעותית בטכנולוגיות רוח ופוטו-וולטאי. עם זאת, חברות החשמל הביעו התנגדות עצומה לנוכח המחיר הגבוה שהיו צריכים לשלם, ובנוסף להתמודד עם עלויות ההולכה (Zipp, 2015).

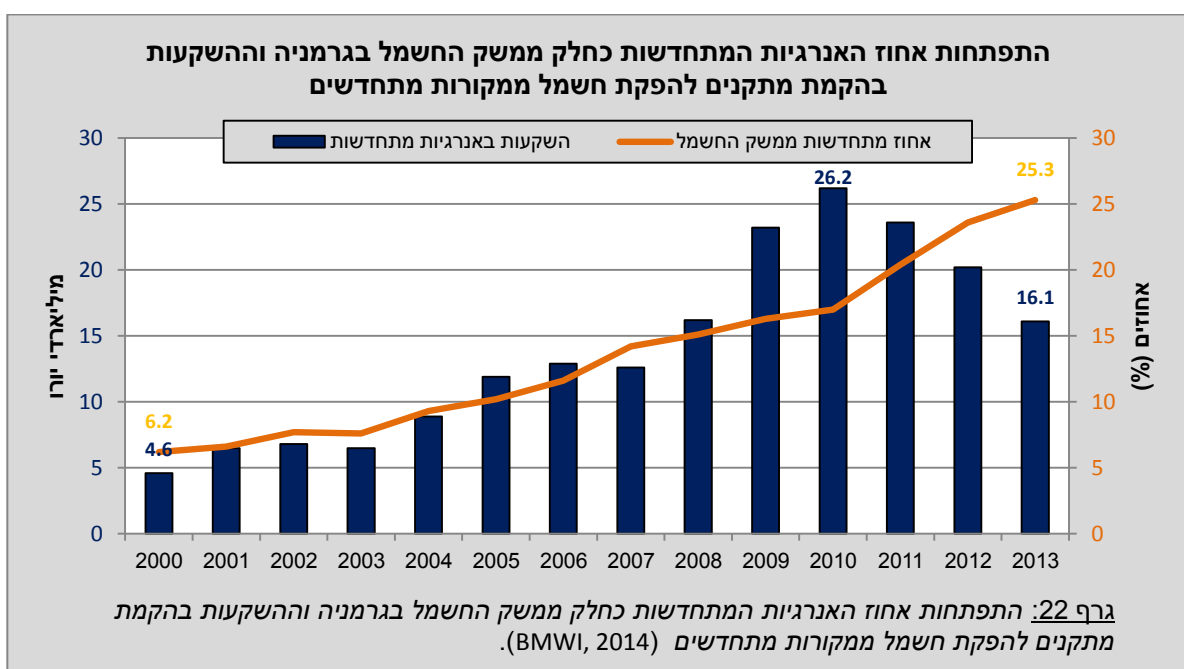
בשנת 2000 ממשלת גרמניה ביצעה תיקונים לחוק ההזנה. נקבעו יעדי ממשלת גרמניה להכפיל את כמות האנרגיה המתחדשת המיוצרת במדינה ולהגיע ל-12% חשמל מיוצר באמצעות אנרגיות מתחדשות. בעקבות ההתנגדות של חברות החשמל, נקבעו תיקונים לחוק ההזנה כגון שינויי רגולציה ושינוי אופי התמחור. התשלומים נקבעו כקבועים למשך 20 שנה על מנת למזער את חוסר הודאות ליזמים. עם זאת, כל שנה תעריף ההזנה אשר הוצע ליזמים המעוניינים להקים פרויקט הלך ופחת. הסיבה לכך הינה יעדים להתייעלות. כלל התעריפים המוצעים לאנרגיות מתחדשות קטנו ריאלית מדי שנה באופן מבוקר באמצעות אי התאמתם לאינפלציה. כל טכנולוגיה תומחרה באופן שונה ובהתאם לסוג המתקן. כחלק מתיקוני החוק, חובת תשלומי הפרמיה ליצרני האנרגיות המתחדשות עברה לאחריית ספקי החשמל. עלות החיבור לרשת החשמל הייתה על חשבון היזמים המייצרים מאנרגיה מתחדשת, והספקים היו אחראים על תיקונים במידת הצורך. העיוותים בתחרות בין חברות החשמל תוקנו כאשר כל חברה חויבה על פי חוק לשלב אחוז זהה של אנרגיות מתחדשות הנרכשות מהיזמים הפועלים בשוק. גם הספקים חויבו ליחס זהה של אנרגיה ממקורות מתחדשים מסך החשמל המסופק. בכך נשמר שוק מאוזן ותחרותי אשר מיועד לעמוד ביעדי הממשלה החדשים.

במשך השנים ממשלת גרמניה הקימה מיזמים שונים לקידום תחום האנרגיות המתחדשות. המיזמים כללו השקעות משותפות על חשבון תקציב ממשלתי ובנוסחים למתקנים יעילים בעלויות. כמו כן תכניות מחקר ופיתוח רבות מומנו באמצעות תקציבים ממשלתיים. בין השנים 2007-2009 נראה היה כי נוצרה האטה משמעותית בכמות ההשקעות בסקטור אנרגיית הרוח בעקבות עליית מחירי הפלדה והנחושת אשר ייקרו את עלויות ההקמה. לאור זאת, בשנת 2009 תיקנה שוב ממשלת גרמניה את חוק ההזנה והעלתה את תעריפי ההזנה כדי שיזמים יוכלו להתמודד עם העלייה בעלויות ההקמה ולהמשיך להשקיע בפרויקטים. בשנת 2010 חל תיקון נוסף לחוק אשר קבע יעדים לשנת 2020. היעדים כללו שילוב אנרגיות מתחדשות בסדר גודל של 18% מסך משק האנרגיה הגרמני, שילוב של 37% מהביקוש לחשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות, וצמצום של כ-20% מצריכת החשמל. העלאת תעריפי ההזנה היו אפקטיביים מבחינת תמרוץ יזמים לפרויקטים כאשר חלה שוב עליה בקצב ההשקעות וייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות אשר תאם ליעדי ממשלת גרמניה. כמו כן, העלאת תעריפי ההזנה המגולמים במחירי החשמל יצרה תמריץ שלילי לצריכת חשמל ובכך קידמה צמצום שימוש בחשמל.

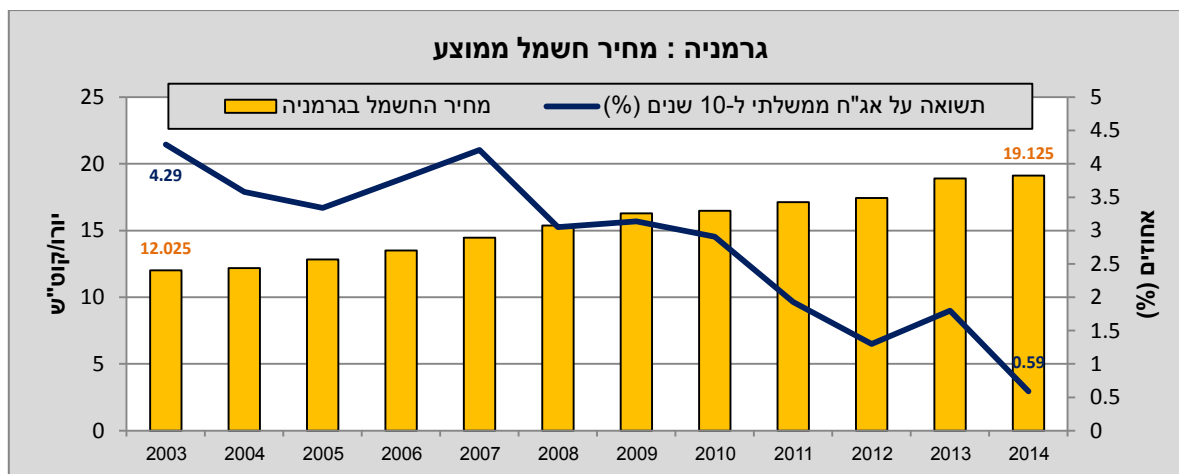


גרף 21: גרמניה- כמות אנרגיית רוח ופוטו-וולטאי מותקנת בג'יגהוואט שעה (IEA- Germany).

גרמניה התפתחה והפכה למובילה בעולם בעלויות ייצור פאנלים סולאריים, דבר אשר גרם להאצה בתחום זה. השקעות רבות החלו משנת 2004 ועד היום. בשנת 2012 גרמניה הייתה מובילה עולמית בתחום האנרגיות המתחדשות, בעיקר באנרגיות רוח ופוטו-וולטאית. בשנה זו נקבעו תיקונים נוספים לחוק ההזנה ונקבעו בנוסף יעדים רחוקי טווח הכוללים שילוב של 35%, 50%, 65%, ו-80% אנרגיות מתחדשות מסך ייצור החשמל במשך השנים 2020, 2030, 2040, ו-2050 בהתאמה. יעדים אלו שימשו מקור השראה ליתר מדינות העולם. בגרמניה קיימות תכניות אשר מיושמות בעקבות מדיניות הממשלה למען תמיכה ביעול הייצור מאנרגיות מתחדשות. המדיניות כוללת תכנית להכשרת מתקינים והסמכתם, וכן תכניות לקידום התחום, הן מבחינה השקעות והן מבחינת מחקר ופיתוח. בעקבות הצמיחה המהירה של תעשיית הפאנלים הסולריים, ב-2012 גרמניה הכניסה אפשרות לתגמול יצרני אנרגיה פוטו-וולטאית בתעריפי פרמיום באותו האופן בו תומחרו בספרד (המתאם עם מחירי החשמל על בסיס שעתי באופן חלקי). התשלומים אשר נקבעו החל מאותה שנה הוקטנו בהתאם לירידת מחירי ייצור הפאנלים הסולריים במטרה לשמור על שוק אשר צומח באופן קבוע ולא מהיר מדי. גרמניה הצליחה בצעדים אלו למנוע תשלומי יתר ליזמים ומתן האפשרות לתעריפי פרמיום עודדה ייצור חשמל בשעות שיא הביקוש. כבר אז גרמניה נחשבה לאחת מן המדינות אשר יותר יעילות בתחום האנרגיות המתחדשות ובעלת צמיחה סולידית ויציבה ביחס האנרגיות המתחדשות מסך הייצור החשמל.



אם כן, גרמניה לאורך השנים הינה חלוצה בקביעת מדיניות לקידום תחום האנרגיות המתחדשות ושימוש יעיל בתעריפי הזנה. תעריפי ההזנה כללו פרמיה אשר הייתה מגולמת במחירי החשמל. פרמיה זו ייקרה את מחירי החשמל ובכך צרכני החשמל הם אלו הנושאים את נטל המחיר הגבוה יותר. מחיר חשמל גבוה יותר מצמצם את כמות צריכת החשמל. ההשפעות הללו הינן מקדמות את ההשפעה החיובית של צמצום בזיהום האוויר לכלל תושבי המדינה. מדיניות זו בעלת היגיון כלכלי כאשר קובעי המדיניות מחליטים כי צרכני החשמל הם אלו שצריכים להפנים באופן ישיר את ההשפעות השליליות משימוש בחשמל ויצירת זיהום אוויר. עם זאת, יש לוודא כי מחיר חשמל גבוה יותר אינו עולה לרמה כזו הפוגעת ברווחת צרכני החשמל באופן אשר מקטין את תועלת כלל הרווחה הציבורית כמו באיטליה.



גרף 23: גרמניה: מחיר חשמל ממוצע. (Eurostat)

עדכוני תעריפי ההזנה על בסיס שנתי, וכן עדכון הרגולציות בהתאם למכניזם השוק עזרו להביא ליצירת שוק אנרגיה מתחדשת יציב וצומח בהתאם ליעדים אשר הציבה הממשלה. מאחר והשוק הפוטו-ולאטי צומח בקצב חסר תקדים, בוצעו תיקונים נוספים בשנת 2014. כעת, יזמים נדרשים להתחרות ביניהם דרך מכרזים אשר מיועדים לקדם את הפרויקטים הזולים והיעילים ביותר. בכך גרמניה תמגר את תופעת עליית מחירי החשמל בעקבות עלייה בתשלומי הפרמיה לאנרגיה מתחדשת (BMWI- EEG 2014, 2014).

מדינת ישראל מקיימת מדיניות דומה לגרמניה. במדינת ישראל גם כן שימוש בתעריפי הזנה הנקבעים מראש למשך תקופה ארוכה של כ-20 שנה, כאשר תוספת הפרמיה מגולמת במחירי החשמל. כמו כן המדיניות בישראל וגרמניה מקיימת מכרזים עבור פרויקטים. המכרזים מיועדים לסנן את הפרויקטים הפחות יעילים. תעריפי ההזנה בישראל ובגרמניה אינם מעודדים את תהליך הייצור בשעות השיא אשר ניתן להשיג בשיטת תמחור של תעריפי פרמיום. לכן גרמניה הוסיפה את שיטת התמחור של תעריפי פרמיום בשנת 2012. יעדיה של גרמניה הדורשים מחברות החשמל והספקים שיעור אנרגיות מתחדשות גבוהות בשילוב עם תעריפי הזנה הביא ליציאה לפועל של פרויקטים רבים ובכך שוק האנרגיות המתחדשות בגרמניה צמח במהירות, בעיקר רוח, ומחירי החשמל האמירו. אף על פי כן, כמו בספרד, תעריפי ההזנה עבור מתקנים פוטו-וולטאיים לא היו גבוהים דיו כדי לספק תמריץ לכניסת יזמים לענף. ייצור חשמל מטכנולוגיה פוטו-וולטאית לא הייתה כדאית הן כלכלית והן מבחינת רווחה חברתית. בהמשך כאשר מחיר הפאנלים החלו לרדת יותר ויותר יזמים החלו להשקיע והממשלה קטפה את פירותיה. בישראל מההתחלה הוצבו מכסות רבות אשר הגבילו את כמות ההתקנים בשנה לפי סוג הטכנולוגיה על אף שאיפתה ליעדים גבוהים בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. בכך ניסתה ליצור מעבר ושינוי הדרגתי יותר. אך עם זאת נקבע תעריף הזנה נמוך מידי ולא מספיק יזמים נכנסו לתחום ממגוון הטכנולוגיות השונות.

ההתפתחות המהירה בגרמניה שהביאה לעליית מחירים משמעותית עם השנים האומנם לא יצרה נטל עודף על תקציב הממשלה אך זו מכבידה עד היום על אזרחי המדינה. עם זאת, ניתן לקבוע כי לגרמניה הרואה עצמה כחלוצה בתחום ובשורה הראשונה עם המדינות המובילות בענף תועלת גבוהה מאשר הנטל במחיר על הצרכנים. באופן כללי, נראה כי תעריפי ההזנה הגבוהים שקבעה המדינה ואלטרנטיבת ההשקעה הנמוכה באג"ח ממשלת גרמניה הצליחו לתמרץ דיו את המשקיעים לכניסה

לענף האנרגיות המתחדשות לפי היעדים שהוצבו. הבטחת מחיר קבוע ללא סיכון, בצור מבוקרת, הביאו את היזמים לצבור ניסיון רב וגרמניה ראתה לנכון לעבור לתעריפי פרמיום משתנים, בדומה לשיטה המוצעת במודל שהצגנו, שיובילו להתייעלות. ההצלחה של גרמניה בעדכוני מדיניות האנרגיות המתחדשות מהווה מקור השראה למדינות כגון ישראל אשר אימצו מדיניות דומה.



## פרק ג': מסקנות והמלצות

מטרת נייר זה הינה לקבוע מדיניות ראויה לממשלת ישראל על מנת שתוכל לעמוד ביעדיה כפי שנקבעו בהחלטת ממשלה 4450 בצורה האופטימאלית ביותר. הממשלה מעוניינת במקסום רווחת התושבים. לפיכך, תנסה למזער את ההשפעות החיצוניות השליליות על האוכלוסייה המקומית ולהביא את הכלכלה לצמיחה ברת-קיימא. בהתאם לכך, תועלת הממשלה פוחתת כאשר היזמים מרוויחים פחות ושיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות לא עולה. לאור העובדה כי לממשלות העולם תועלת חיובית מפיתוח התחום, ראינו בעזרת מודל ההשקעה באנרגיות מתחדשות בתנאי אי ודאות עם השפעות חיצוניות כי התערבות הממשלה הכרחית להתפתחות ומביאה לשיפור פראטו ברווחת הציבור. מניתוח הענף עולה כי התנהגות היזמים ושיעור השקעתם בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות משתנה במצבים שונים ותלוי במספר רב של גורמי השוק. גובהו של מחיר החשמל, תנודתיותו והתשואה על השקעה אלטרנטיבית הינם פרמטרים עיקריים המשפיעים על כדאיות השקעתו בתחום.

✚ **קשר חיובי בין מחירי החשמל לכמות ההשקעות בענף האנרגיות המתחדשות:** היזם מוכר את החשמל המיוצר במחיר השוק. בהתאם לכך, תקבולים גבוהים יותר ליזם עבור כל קוט"ש חשמל יובילו לשיעור השקעה גבוה יותר בענף ולהתפתחותו.

✚ **קשר שלילי בין תנודתיות מחירי החשמל לכמות ההשקעות בענף האנרגיות המתחדשות:** יזמים ישקיעו פחות כאשר התשלום אותו יקבלו אינו וודאי.

✚ **קשר שלילי בין תשואה האלטרנטיבית ללא סיכון לכמות ההשקעות בענף האנרגיות המתחדשות:** אג"ח ממשלתי, לתקופה הדומה לאורך חיי הפרויקט מאנרגיה מתחדשת, משקף תשואה אלטרנטיבית כמעט וודאית לגמרי וללא סיכון (כדוגמת אג"ח ארה"ב ל-10 שנים). כאשר תשואה זו עולה יזם ישקיע פחות באנרגיות מתחדשות לאור תוחלת תשואה גבוהה יותר עם פחות סיכון.

✚ **השפעות אלו זהות הן עבור היזם והן עבור הממשלה אשר ממקסמת תועלת כלל משקית.**

שיטות מדיניות שונות קודמו על מנת להתמודד עם אתגרים אלו. לכל אחת מהן יתרונות וחסרונות שעליהם יש לשים דגש למען אי פגיעה בתועלתה של האוכלוסייה. מדיניות של "תעריפי הזנה" מאפשרת מזעור אי הודאות בהשקעה עבור היזמים והבטחת תשואה נאותה המגלמת את התועלת עבור המשק המקומי. אך לכך גם השפעות חיצוניות בדמות נטל עודף המגולם על הצרכנים בצורות שונות. לעומת זאת, מדיניות של "תעריפי פרמיום" אינה משנה את הסיכון הניצב מול היזם אך מעלה את תוחלת רווחיו באמצעות הבטחת פרמיה מעלה למחיר החשמל. בכל אחת מהשיטות היזם והממשלה מושפעים בצורה שונה.

✚ **תעריף הזנה לתקופה ארוכה המבטיח תשואה קבועה הגבוהה מהשקעה אלטרנטיבית ליזמים יביא אותם להשקיע את מלוא הונם באנרגיה מתחדשת. הממשלה מצדה צריכה לממן את הסובסידיה הזו. ככל שגובה התעריף עולה כך גם הנטל העודף על המשק. בהתאם לכך, הממשלה מעדיפה שיעור השקעה הנמוך משל היזמים אשר כנגד עיניהם רווחים בלבד. ללא קביעת מכסות מגבילות שיעור ההשקעה יהיה גבוה מהמצופה והרווחה החברתית תפחת.**

✚ **תעריף פרמיום גבוה (נמוך) מעלה (מפחית) את כדאיות ההשקעה של היזמים באנרגיות מתחדשות. ההפך נכון עבור הממשלה המממנת פרמיה זו וסובלת מנטל עודף על אזרחיה.** מודל תעריפי פרמיום מראה שכאשר הממשלה ממקסמת את רווחה ציבורית היא מבטיחה פרמיה (סובסידיה) משתנה התלויה בתנאי השוק ובשינויים החלים בו:

○ **קשר שלילי בין מחיר החשמל לגובה תעריף הפרמיום:** עלייה במחיר החשמל מגדילה את תוחלת רווחיו של היזם המתמרצים אותו להשקיע יותר באנרגיות מתחדשות ללא צורך בתעריף פרמיום כה גבוה. לפיכך, הממשלה יכולה להפחית את הפרמיה במצב זה.

○ **קשר חיובי בין תשואה אלטרנטיבית ללא סיכון לגובה תעריף הפרמיום:** עלייה בתשואה חסרת סיכון מעלה את כדאיות היזם להגדיל את השקעתו באג"ח על חשבון ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. הממשלה מעוניינת למנוע ירידה בהשקעה באנרגיות מתחדשות ולעמוד ביעדים שהציבה לעצמה ולכן מגדילה את תעריף הפרמיום למען תמרוץ יזמים.

- **קשר חיובי בין תנודתיות מחיר החשמל לגובה תעריף הפרמיום:** עלייה בתנודתיות מחיר החשמל מביאה את הממשלה להעלות תעריף הפרמיום. הממשלה מפצה את היזם השונא סיכון, שנפגע מתנודתיות מחירים, באמצעות פרמיה גבוהה יותר. בכך מעלה את תוחלת רווחיו ונהנית מגידול בהשקעה באנרגיות מתחדשות מצד היזם.

**+** **הממשלה ממקסמת את תועלתו של הציבור וכחלק מכך את של היזמים.** בהתאם לכך, מושפעת משינויים במחיר החשמל, תנודתיות מחיר החשמל והתשואה האלטרנטיבית באופן דומה ליזמים בכל שיטת מדיניות בכיוונים זהים. שינויים בשיעור ההשקעה האופטימאלי יכולים להתבצע בעזרת כלים שונים. בשיטת תעריפי הזנה מתבצע באמצעות מכסות שונות לאותה התקופה ולעיתים גם באמצעות שינוי גובה תעריף ההזנה ואילו במדיניות של תעריפי פרמיום באמצעות שינוי גובה הפרמיה לקוט"ש במקביל או בנפרד לשינוי כמות המכסות.

- **קשר שלילי בין תנודתיות מחיר החשמל לשיעור ההשקעה האופטימאלי:** הממשלה יודעת כי תגבה יותר מיסים מהאזרחים, לצורך מימון התעריף בכל אחת משיטות המדיניות, היוצר נטל עודף עולה על כתפיהם.

- **קשר חיובי בין מחיר החשמל לשיעור ההשקעה האופטימאלי:** בשיטת תעריפי הזנה הממשלה מממנת תשלום קבוע הגבוה ממחיר החשמל. מכאן כי גובה התשלום המסובסד ליזמים מעל מחיר החשמל פוחת כשמחיר החשמל עולה ואילו גדל כשזה יורד. המיסים המממנים תשלום זה משתנים בהתאם ולפיכך גם הנטל העודף. מכאן כי עלייה במחיר החשמל מפחיתה את התשלום, ואת הנטל העודף וכתוצאה שיעור ההשקעה האופטימאלי מצד הממשלה עולה. במדיניות תעריפי פרמיום עלייה במחיר החשמל מפחיתה את גובה הפרמיה האופטימאלית. הנטל העודף קטן בהתאם ולממשלה כעת תועלת שולית חיובית מהשקעה נוספת בענף הגבוהה מהנזק השולי. מכאן כי שיעור ההשקעה האופטימאלי מבחינת הממשלה עולה.

- **קשר שלילי בין התשואה על אג"ח ממשלתי ל-10 שנים לשיעור ההשקעה האופטימאלי:** באופטימום הן במדיניות תעריפי הזנה והן תעריפי פרמיום, כאשר הממשלה ממקסמת רווחה חברתית, עלייה בתשואה חסרת סיכון מביאה יותר יזמים להשקיע באותו האג"ח. הסיכון המשקי קטן והתשואה עולה ולכן שיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות, אשר מסוכן יותר, פוחת.

**בחינת המדיניות האופטימאלית במצבים שונים העלתה כי אין תשובה חד משמעית להעזפת אחת על פני השנייה.** מול כל מדינה ניצבת פונקציית תועלת שונה המושפעת מגורמים שונים, ביניהם תנודתיות מחיר החשמל וגובהו, תשואה על השקעות אלטרנטיביות, ערכים סביבתיים וכדומה. בהתאם לכך, ומניתוח המודל מצאנו כי **קומבינציות שונות של גורמי השוק הללו וערכי המדינה מביאות כל ממשלה להחלטה הרלוונטית עבורה בנקודת זמן ספציפית ויתכן ואינה מתאימה לאחרת.** מדיניות שונות, בעלות תנאי שוק זהים אך ערכים סביבתיים שונים יכולות למצוא עצמן מנהלות שיטות מדיניות שונות וכן כל אחת אכן פועל בהתאם למקסום תועלתה. מצב זה אפשרי עבור מגוון רחב של קומבינציות ועל כן מעמיד כל ממשלה לבחינת המדיניות האופטימאלית עבורה בהתאם לתנאי השוק וגורמיו הייחודיים לה בלבד.

עם זאת, **השפעתם של מחיר החשמל והתשואה אלטרנטיבית על שיעור ההשקעה האופטימאלי גבוהה יותר, באופן ודאי, במדיניות של תעריפי פרמיום על פני תעריפי הזנה.**

**+** עלייה במחיר החשמל בעלת השפעה חיובית על גובה ההשקעה האופטימאלי באנרגיות מתחדשות בשתי שיטות המדיניות. אולם, העלייה בשיעור ההשקעה האופטימאלי תהיה גדולה יותר עבור מדיניות של תעריפי פרמיום לעומת תעריפי הזנה. עם זאת, השקעה באנרגיות מתחדשות בתעריף פרמיום תהיה גבוהה מאשר בתעריפי הזנה.

**+** עלייה בתשואה האלטרנטיבית בעלת השפעה שלילית על ההשקעה באנרגיות מתחדשות. אך בנוסף, שיעור ההשקעה קטן בפחות במדיניות תעריפי פרמיום מאשר בתעריפי הזנה. בהתאם לכך, שיעור ההשקעה בתעריפי פרמיום עולה על זה שבתעריפי הזנה.

**+** **הקשר בין תנודתיות מחיר החשמל לשינוי בגובה ההשקעה באנרגיות מתחדשות אינו קבוע ומשתנה בהתאם לגובה תועלתה של המדינה מאנרגיה ירוקה.** ככל שלמדינה יותר ערכים סביבתיים, מודעות לאיכות הסביבה ו"נהנית" משמירה עליה כך התנודתיות תשפיע לרעה פחות במדיניות של תעריפי פרמיום לעומת תעריפי הזנה.

כלומר, שיעור ההשקעה יפחת פחות במדיניות של תעריפי פרמיום בעוד שיפחת בהרבה בתעריפי הזנה. כתוצאה, השקעה גבוהה יותר מתקבלת עבור תעריפי פרמיום. לעומת זאת, עבור תועלת סביבתית נמוכה לממשלה תנודתיות תשפיע שלילית יותר על ההשקעה במדיניות של תעריפי פרמיום. בהתאם לכך, שיעור ההשקעה יהיה גבוה יותר במדיניות של תעריפי הזנה.

כחלק מתהליך של למידה מניסיון בוצעה השוואה בין-לאומית בין מדינות נבחרות המובילות בשילוב אנרגיות מתחדשות מסך האנרגיה המופקת. עבור כל מדינה נבחנו שיטות המדיניות שהובילו להתפתחות ענף האנרגיות מתחדשות, שגיאות שבוצעו לאורך השנים והתמודדות עם אתגרים שונים לשם עמידה ביעדים הממשלתיים של כל אחת מהן.

✚ **הניסיון במדינת איטליה כולל ניהול מדיניות של תעריפי הזנה ופרמיום גבוהים ללא מכסות מגבילות. אלו הביאו לצמיחה מוגברת ולא צפויה אשר יצרה השפעות חברתיות שליליות כגון נטל עודף, מסים כבדים יותר, וכן עלויות חשמל גבוהות. בהתאם למודל המוצג, ראינו כי מדיניות של תעריפי הזנה ותעריפי פרמיום הכוללים פרמיה גבוהה מביאים יזמים רבים להשקיע את מרב כספם בענף. איטליה אשר לא קבעה מכסות ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות חוותה זאת על בשרה. יזמים רבים הקימו מתקנים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בשפע ועל כל קוט"ש חשמל שייצרו קבלו תשלום קבוע בכל שיטת מדיניות (מעין סובסידיה). סובסידיה זו גולמה על מחירי החשמל לצרכנים והנטל העודף הרקיע שחקים כאשר מחירו האמיר עוד ועוד. לפיכך יש לשים דגש על הצורך בקביעת מכסות לשיעור ההשקעה באנרגיות מתחדשות, בהתאם ליעדי הממשלה, ללא תלות בשיטת המדיניות.**

✚ **ספרד הנהיגה מכסות מגבילות ורגולציה מחמירה בתנאי הסף לזכאות לסובסידיה ממשלתית כדי למנוע השקעה בפרויקטים לא יעילים. מכסות אלו הלכו וגדלו עם השנים לאור הצבת יעדים גבוהים יותר. התנהלות זו אפשרה צמיחה מבוקרת של הענף אשר הטיבה עם רווחת הציבור שנהנה מכך. מכאן כי יש לתמריץ יזמים באמצעות סובסידיה שתבטיח תשואה נורמטיבית ליעילים מבניהם שעברו תהליך סלקציה ממיין.**

✚ **תעריפי הזנה מבטיחים תשלום קבוע לתקופת החוזה בהתאם למדינה. התפתחות טכנולוגית המובילה להורדת עלויות מציבה את הממשלות שהתחייבו לתעריפי הזנה מול סבסוד עודף. מקרה זה מתרחש בישראל כאשר המכסות מחולקות לפי הערכה של העלות העודפת למשק של כל טכנולוגיה. מכיוון שפאנלים סולריים הינם הזולים ביותר בהשוואה לשאר הטכנולוגיות הוקצו עבורם מכסות רבות. אולם, מחיריהם במגמת ירידה זה מספר שנים וכיום ישראל ניצבת מול התחייבות לתעריפי הזנה עודפים היוצרים נטל עודף מיותר.**

✚ **מדיניות תעריפי הזנה בגרמניה גלגלה בצורה מבוקרת את הסובסידיה על מחיר החשמל לצרכנים כך שיעלה, ייצור תמריץ שלילי לצריכת חשמל ויצמצם ביקושים. מטרתה הייתה התייעלות בצריכת החשמל. גרמניה קבעה מכסות מגבילות לתעריפי הזנה על ידי חיוב חברות החשמל, ובהמשך ספקים, לרכוש שיעור ספציפי של חשמל מאנרגיה מתחדשת מיזמים. אותם ספקים נשאו בתשלומי הסובסידיה (תעריף ההזנה) וכל המנגנון התנהל דרכם. בהתאם לכך ולתחרות העזה בשוק החשמל ומכירתו לצרכנים, לא היה להם תמריץ להגדיל את שיעור האנרגיה המתחדשת מעבר לדרישת הממשלה.**

✚ **גרמניה דרשה מהספקים וחברות החשמל המקומיות לשיעור ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת אשר בה על חשבון ייצור מאנרגיה קונבנציונאלית ולא במקביל אליו. ענף האנרגיות מתחדשות צמח בקצב מהיר. בכך צמצמה השפעות חיצוניות שליליות והגדילה את שיעור האנרגיה הירוקה במשק המקומי.**

✚ **תעריפי הזנה בגרמניה אינם צמודים לאינפלציה ופוחתים על פני זמן ובכך מחייבת את היזמים להתייעל בהפקת האנרגיה בעתיד. הממשלה צפתה ירידה של עלויות הקמה ופיתוח והתפתחות טכנולוגית משמעותית שיגדילו את כדאיות ההשקעה עם השנים. לאור זאת, הפנימה כי אין צורך בהצמדת תעריף ההזנה למדד המחירים**

לצרכן ובכך שמרה על תשואה נורמטיבית, לא גבוהה מידי, ליזמים וחיבה אותם להתייעל בעקיפין. **כתוצאה, הנטל העודף ממתן הסובסידיה פחת עם השנים.**

**טכנולוגיות לא יעילות לא קבלו תעריף הזנה או תעריף פרמיום.** עד תחילת ירידת מחירי הפנאליים הסולאריים בספרד, איטליה וגרמניה לא הייתה השקעה משמעותית בייצור חשמל מאנרגיה פוטו-וולטאית לאור עלויותיהם הגבוהות. המדינות לא היו מעוניינות בתמרוץ היזמים להקמת מתקנים לא יעילים אלו וקבעו תעריפי הזנה כה נמוכים אשר לא אטרקטיביים ליזמים. בספרד, לאחר המעבר לתעריפי פרמיום, נמנע סבסוד של מתקנים לא יעילים.

**תעריף פרמיום המתואם חלקית עם מחיר החשמל, המבטיח תשואה נורמטיבית עם תקרה והמתעדכן על בסיס שעתי במהלך היממה מביא לצמצום הפעלה יתר של מתקני אנרגיה קונבנציונאלית, צמצום זיהום האוויר, מחייב את היזמים להתייעל ומפחית את הנטל העודף על המשק המקומי.** תעריפי פרמיום המשתנים בצורה זו נהוגים בספרד ובגרמניה ומתמרצים יזמים לייצור חשמל דווקא בשעות שיא הביקוש בהם מחיר החשמל בשיאו. בכך מעלים את רווחיהם. ייצור מוגבר זה הפחית את כמות תחנות הכוח הקונבנציונאלית היוצרות זיהום אויר עודף בשעות השיא. עם זאת, ההצמדה למחיר החשמל והשינויים בתעריף, בהתאם לירידה בעלויות וההתפתחות הטכנולוגית, מונעים תשלומי יתר ליזמים ומתמרצים אותם להתייעל למען הבטחת תוחלת תשואה גבוהה יותר עבור השקעתם. שיטה זו ממקסמת את תועלת המדינות ודומה לזו המוצגת במודל ההשקעה בתנאי אי ודאות עם השפעות חיזונית. איטליה, שעברה לתעריפי פרמיום מתעריפי הזנה, לא ניהלה תעריף פרמיום דומה. הפרמיה התעדכנה על בסיס שנתי ובכך יזמים זכו לתשלומים מופרזים שהניבו תשואה עודפת והפכו לבסוף לנטל עודף על כלל צרכני החשמל המקומיים.

**שילוב שתי שיטות המדיניות, תעריפי הזנה ותעריפי פרמיום, ימנע התמקדות בפתרון יחיד ויתמרץ יזמים להקים מתקנים לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בהתאם לשיטת המדיניות המועדפת עליהם.** שיטה זו מונהגת בספרד ונקראת "דו-תעריפית". באמצעותה, היזמים יכולים לבחור את השיטה שהכי נראית להם בהתאם להעדפתם ואינם יגבילו את כניסתם לענף לשיטה מוצעת יחידה.

**תעריף פרמיום היוצר ליזמים תוחלת תשואה גבוהה מזו המובטחת בתעריף הזנה מביא למעבר למדיניות תעריפי פרמיום.**

**מדיניות תעריפי פרמיום עדיפה על פני מדיניות תעריפי הזנה עבור טכנולוגיות מפותחות.** ההתפתחות הטכנולוגית מביא להורדת עלויות הקמה ופיתוח והוצאות שוטפות. תוחלת רווחיהם של היזמים עבור מתקנים חדשניים עולה. הממשלה כעת יכולה לקבוע תעריף פרמיום כך שהנטל העודף ממנו יהיה נמוך מזה בתעריף ההזנה, כאשר בשני השיטות תוחלת הרווחים ליזמים זהה.

**קביעת שיטות תמחור ללא שינויים תכופים יוצרת אמינות.** אמינות מהווה מקור משיכה ליזמים ומגדילה את ודאותם. בכך הממשלה יכולה להפחית את גובה התעריף בכל שיטת מדיניות מבלי לחוות צמצום בכמות ההשקעות בענף האנרגיות המתחדשות.

על פי ז'אן טירול, זוכה פרס נובל בכלכלה לשנת 2014 עבור ניתוח כוחות שוק ורגולציה, "על רגולציה להשתנות באופן אשר תואם את התנאים הספציפיים בכל תעשייה" (Nobel Prize). מסקנה דומה התקבלה במודל המוצע בנייר. בהתאם לכך, המלצותינו למדינת ישראל מבוססות על הנעשה במדינות הנסקרות בנייר ובניסיונם בענפי אנרגיית רוח ופוטו-וולטאית תוך התאמתן לייחודיות המשק הישראלי.

ניהול מדיניות "דו-תעריפית" המשלבת תעריפי פרמיום ותעריפי הזנה הכוללים מכרזים ומכסות לכל אחת מהן עבור הטכנולוגיות השונות. המכסות יקבעו בהתאם להעדפת המדינה לגיוון מקורות האנרגיה ולא יועברו מטכנולוגיה אחת לאחרת למניעת התחרות בישראל המתנהלת בדרך של הכשלות. בהתאם לכך, חברות בעלות פוטנציאל יוכלו לבחור את השיטה המועדפת עליהן ולהתחיל את מסען בענף האנרגיות המתחדשות. עם זאת, יהיה עליהן לעמוד בתנאי סף מחמירים לזכאות לסובסידיה ממשלתית כדי למנוע השקעה בפרויקטים לא יעילים. סובסידיה זו תבטיח תשואה נורמטיבית לחברות יעילות בלבד. בהמשך, לאחר שענף האנרגיות המתחדשות עובר את שלב הבוסריות, בו הוא נמצא כיום במדינת ישראל, ניתן להגביר רגולציה למען התייעלות.

**תעריף ההזנה שיקבע יפחת על פני זמן ויקבע בנפרד לכל מקבץ ביקוש ועונות השנה בהתאם לקשת תעריפי החשמל.** תמחור תעריפי ההזנה יהיה מוצמד לשינויים בעלויות של כל טכנולוגיה, וכן לגורמים נוספים בהם הממשלה תראה לנכון, ובכך הקדמה והצמיחה לא יובילו למצב בו ישנם שלומים עודפים ליזמים. הבטחת תעריף הזנה מוצמד, מתמרץ וכלכלי בנקודת הזמן הנוכחית תהיה בהכרח כדאית לממשלה בעתיד כשהעלויות יפחתו. הצמדה זו תתמרץ את היזמים להתייעל עם השנים ועדיין תשתמר הודאות בהשקעה בשיטה זו. עם זאת, גובה התעריף ישתנה על בסיס שעתי בהתאם להתפלגות הביקושים ושעות השיא ויהיה ידוע מראש. כתוצאה, הנטל העודף ממתן הסובסידיה יפחת.

**תעריף הפרמיום שיקבע יהיה דומה לזה בספרד ובגרמניה.** הפרמיה תהיה מתואמת חלקית עם מחיר החשמל ותבטיח תשואה נורמטיבית עם תקרה אשר תתעדכן, גם היא, על בסיס שעתי במהלך היממה. מכיוון שישנה עדיפות למדיניות תעריפי פרמיום על פני תעריפי הזנה עבור טכנולוגיות מפותחות, ניתן עבורן לקבוע תעריף הזנה נמוך יותר באופן יחסי כך שיזמים אכן יעדיפו מדיניות תעריפי פרמיום. בשיטה זו, היזמים החדשים, חסרי הניסיון ושונאי הסיכון הקיצוניים ביותר הם אלו שיעדיפו את מדיניות תעריפי ההזנה.

על גובה התעריפים השונים להתעדכן בנוסף בצורה אשר תשמר את תמרוץ היזמים להשקעות בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בהתאם ליעדי הממשלה. מכאן כי נדרוש התאמת התעריפים לתנודתיות מחירי החשמל וגובהם וכן בהתחשב בתשואה האלטרנטיבית חסרת הסיכון של אג"ח ממשלתי לתקופה של לפחות 10 שנים. עדכונים אוטומטיים אלו אשר מוצהרים מראש על ידי הממשלה יביאו להגברת האמינות בענף. בכך נבטיח כניסה של יזמים להשקיע בענף האנרגיות המתחדשות.

במדיניות הנוכחית במדינת ישראל, חברת החשמל, שהינה חברה ממשלתית, מחויבת לרכוש מיזמים שיעור ספציפי של חשמל המיוצר מאנרגיה מתחדשת מסך החשמל המופק על ידם. בכך כל מנגנון התעריפים מתנהל דרכם והעלות העודפת עבור אנרגיה זו מגולמת במחירי החשמל. מדיניות זו דומה לנהוגה בגרמניה ויש לשמרה. העובדה כי חברת חשמל הינה מונופול בשוק זה מחזקת זאת.

לסיכום, חשוב להדגיש כי ענף האנרגיות מתחדשות הינו מורכב ודורש ידע רב, ניסיון וותק על מנת להבין את כלל האתגרים והמכשולים על בורים. עבודה זו מהווה בסיס להמשך העבודה מעמיקה יותר ומאפשרת קבלת פרספקטיבה על ההיבטים השונים בשיטות המדיניות העיקריות בעולם, תעריפי הזנה ותעריפי פרמיום.

Antonelli, M., & Desideri, M. (2014). The doping effect of Italian feed in tariffs on the PV market. *Energy Policy*, 67, 583-594.

Bertoldi, P., & Thomas Huld. (2002). *Design of a new scheme for tradable certificates for renewable electricity and energy efficiency*. Institute for Environment and Sustainability: European Commission .

BMWI. (2014). *Renewable energy sources in figures, national and international development*. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Retrieved from <http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/renewable-energy-sources-in-figures,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf>

BMWI - EEG 2014. (2014). *Germany renewable sources Act*. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Retrieved from <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/G/gesetz-fuer-den-ausbau-erneuerbarer-energien,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

ECB Stat. *Statistical data warehouse*. Retrieved from <http://sdw.ecb.europa.eu/>

Eurostat. *Electricity prices by type of user*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

EPIA. (2014). *Global market outlook for photovoltaics 2014-2018*. Retrieved from [http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/EPIA\\_Global\\_Market\\_Outlook\\_for\\_Photovoltaics\\_2014-2018\\_-\\_Medium\\_Res.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf)

IEA Statistics. (2014). *Co2 emissions from fuel combination*. International Energy Agency. Retrieved from <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>

IEA- Germany. *Highlighted records constitute key elements of renewable energy policy framework - Germany*. Retrieved from <http://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/?country=Germany>

IEA- Italy. *Highlighted records constitute key elements of renewable energy policy framework – Italy*. Retrieved from <http://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/?country=Italy>

IEA- Spain. *Highlighted records constitute key elements of renewable energy policy framework - Spain*. Retrieved from <http://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/?country=Spain>

Kitzing, L. (2014). *Risk implications of renewable support instruments: Comparative analysis of feed in tariffs and premiums using mean-variance approach*. Technical University of Denmark.

Lesser, J.A., & Su, X. (2007). Design of an economically efficient feed-in tariff structure for renewable energy development. *Energy Policy*, 36, 981-990.

OECD factbook. (2014) . *OECD factbook 2014- Environmental and Social Statistics*. OEDC. Retrieved from <https://books.google.co.il/books?id=RjDjAwAAQBAJ&pg=PA2&dq=2014++OECD+FACTBOOK&hl=en&sa=X&ei=PYSVaOSLoq4ygP8kKvYCg&ved=0CBwQ6AEwAA#v=onepage&q=2014%20%20OECD%20FACTBOOK&f=false>

RES- Italy Overall Summery. *Legal Sources on Renewable Energy*. Retrieved from <http://www.res-legal.eu/search-by-country/italy/summary/c/italy/s/res-e/sum/152/lpid/151/>

RES- Germany Overall Summery. *Legal Sources on Renewable Energy*. Retrieved from <http://www.res-legal.eu/search-by-country/germany/>

RES-Spain Overall Summery. *Legal Sources on Renewable Energy*. Retrieved from <http://www.res-legal.eu/search-by-country/spain/>

Schallenberg-Rodriguez, J., & Haas, R. (2012). Fixed feed-in tariff versus premium: A review of current Spanish system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 293-305.

Wendy, C., & Soskice, D. (2006). *Macroeconomics: Imperfections, Institutions and Policies*. Oxford University Press: Oxford, New York CS.

Zipp, A. (2015). Revenue prospects of photovoltaic in Germany-Influence opportunities by variation of the plant orientation. *Energy Policy*, 16, 293-305.

בנק ישראל. ריבית בנק ישראל- מאגרי סדרות. נדלה מ- [/http://www.boi.org.il](http://www.boi.org.il)

דולב, ש., סגל, נ., כהן-פארן, י., רוזנטל, ג., גבאי, ד. (2013). אפס פליטות פחמן בישראל. הפורום הישראלי לאנרגיה.

הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות. (2013). *לחץ הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות*. נדלה מ- <http://www.tashtiot.co.il>

חברת החשמל. תעריפים קודמים. נדלה מ- <https://www.iec.co.il>

מדיניות משרד התשתיות הלאומיות לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך ייצור החשמל בישראל. (2010). משרד התשתיות. נדלה מ- <http://www.tashtiot.co.il>

משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים- ייצור חשמל. נדלה מ- <http://energy.gov.il/Subjects/RE/Pages/GxmsMniRenewableEnergyCleanEnergy.aspx>

משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים- סקרי אנרגיה מתחדשת. נדלה מ- <http://energy.gov.il>

משרד ראש הממשלה. (2009). קביעת יעד מנחה וגיבוש כלים לקידום אנרגיות מתחדשות בפרט באזור הנגב והערבה. נדלה מ- <http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2009/Pages/des4450.aspx>



משרד ראש הממשלה - החלטות ממשלה. נדלה מ-

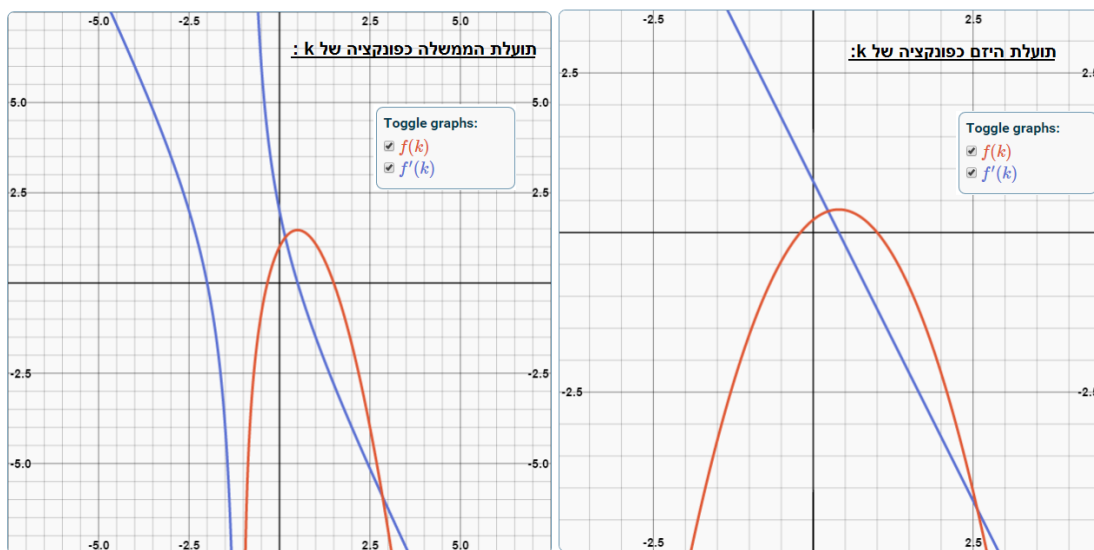
<http://www.pmo.gov.il/SECRETARY/GOVDECISIONS/Pages/default.aspx>

רובן, י. (2012). הקצאת מכסות לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות וחסימים בהקמת מתקני ייצור. הכנסת, מרכז המחקר והמידע.

רובן, י. (2013). ייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות בישראל – מעקב אחר יישום החלטת הממשלה מס' 4450. הכנסת, מרכז המחקר והמידע.

**מודל השקעה בתנאי אי ודאות עם השפעות היצוניות:**

ללא התערבות ממשלתית - פונקציה א - גזירה לפי k :



**פתרון פונקציה ממעלה שלישית :**

There is an analogous formula for polynomials of degree three: The solution of  $ax^3+bx^2+cx+d=0$  is

$$x = \sqrt[3]{\left(\frac{-b^3}{27a^3} + \frac{bc}{6a^2} - \frac{d}{2a}\right) + \sqrt{\left(\frac{-b^3}{27a^3} + \frac{bc}{6a^2} - \frac{d}{2a}\right)^2 + \left(\frac{c}{3a} - \frac{b^2}{9a^2}\right)^3}} + \sqrt[3]{\left(\frac{-b^3}{27a^3} + \frac{bc}{6a^2} - \frac{d}{2a}\right) - \sqrt{\left(\frac{-b^3}{27a^3} + \frac{bc}{6a^2} - \frac{d}{2a}\right)^2 + \left(\frac{c}{3a} - \frac{b^2}{9a^2}\right)^3}} - \frac{b}{3a}$$

מכאן נפתור את המשוואה הבאה עבור S:

$$S(P_e + S - 1 - r_f)^2 = 2A\alpha^2 P_e$$

$$S^3 + (2P_e - 2 - 2r_f)S^2 + (P_e - 1 - r_f)^2 S - 2A\alpha^2 P_e = 0$$

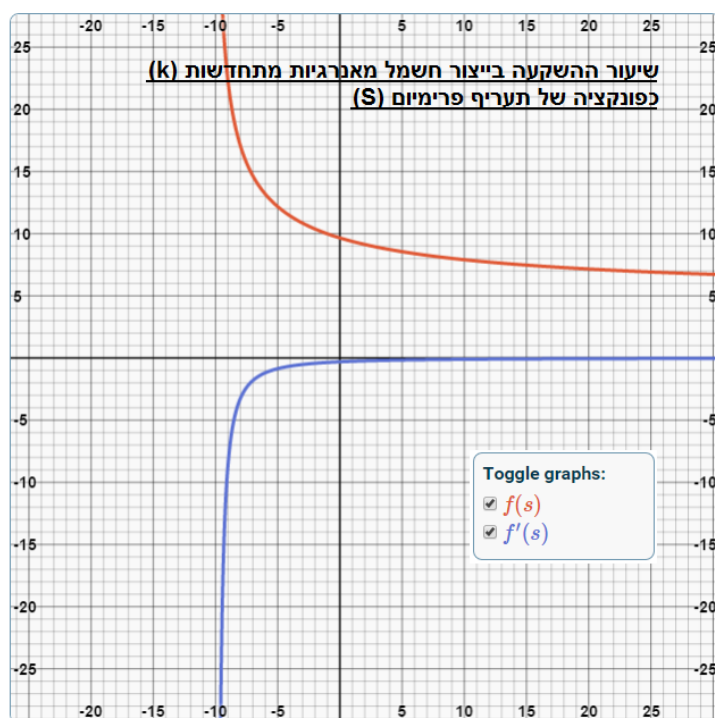
a=1, b=(2P<sub>e</sub> - 2 - 2r<sub>f</sub>) , c=(P<sub>e</sub> - 1 - r<sub>f</sub>), d=-2Aα<sup>2</sup>P<sub>e</sub>      עבור

נקבל :

$$S = \sqrt[3]{\left(\frac{-(2P_e - 2 - 2r_f)^3}{27} + \frac{(2P_e - 2 - 2r_f)(P_e - 1 - r_f)}{6} + A\alpha^2 P_e\right) + \sqrt{\left(\frac{-(2P_e - 2 - 2r_f)^3}{27} + \frac{(2P_e - 2 - 2r_f)(P_e - 1 - r_f)}{6} + A\alpha^2 P_e\right)^2 + \left(\frac{P_e - 1 - r_f}{3} - \frac{(2P_e - 2 - 2r_f)^2}{9}\right)^3}} + \sqrt[3]{\left(\frac{-(2P_e - 2 - 2r_f)^3}{27} + \frac{(2P_e - 2 - 2r_f)(P_e - 1 - r_f)}{6} + A\alpha^2 P_e\right) - \sqrt{\left(\frac{-(2P_e - 2 - 2r_f)^3}{27} + \frac{(2P_e - 2 - 2r_f)(P_e - 1 - r_f)}{6} + A\alpha^2 P_e\right)^2 + \left(\frac{P_e - 1 - r_f}{3} - \frac{(2P_e - 2 - 2r_f)^2}{9}\right)^3}} - \frac{(2P_e - 2 - 2r_f)}{3}$$

○ התערבות ממשלה בתעריפי פרימיום

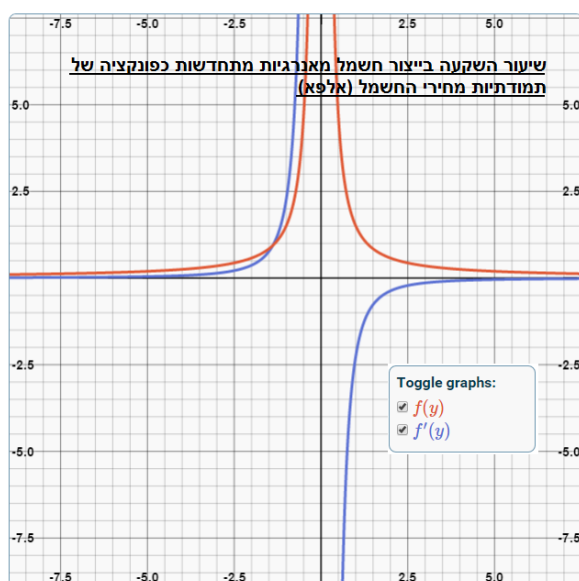
פונקציה ב' – גזירה לפי S:



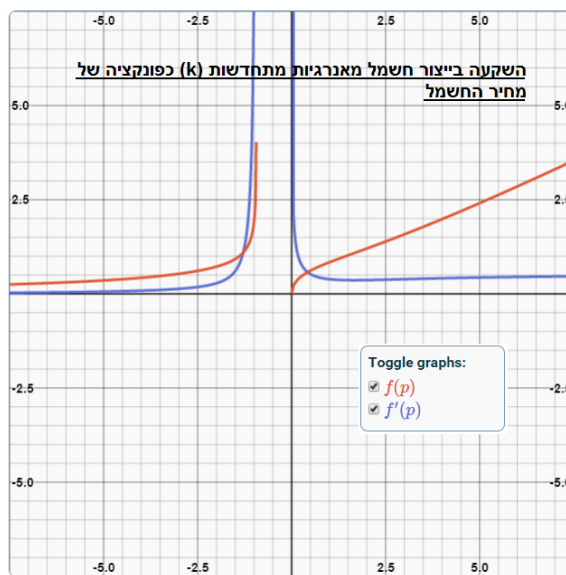
מתקבלת נגזרת שלילית עבור כל S חיובי

גזירת שיעור ההשקעה האופטימאלי:

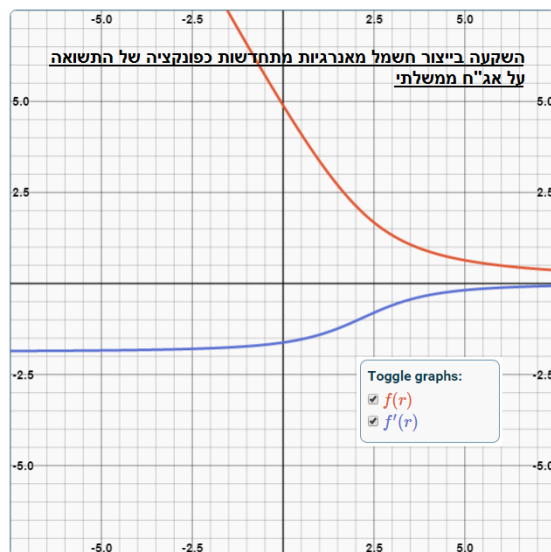
$$(58) \frac{dk_{government}^*}{d\alpha} = -\frac{P_e + S - 1 - r_f}{8\alpha^3} - \frac{32A\alpha^3 + 8\alpha(P_e + S - 1 - r_f)}{\sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2}} < 0$$



$$(59) \frac{dk_{government}^*}{dP_e} = \frac{S \left[ P_e + S - 1 - r_f + \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \right]}{4\alpha^2(P_e + S)^2} + \frac{1}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)} \left[ 1 + \frac{P_e^2(P_e + S - 1 - r_f) - 4A\alpha^2 S}{P_e^2 \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}} \right] > 0$$



$$(60) \frac{dk_{government}^*}{dr_f} = - \frac{P_e + S - r_f}{4\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right) \sqrt{(-P_e - S + 1 + r_f)^2 + 8A\alpha^2 \left(1 + \frac{S}{P_e}\right)}} < 0$$



**TGC- Tradable Renewable Certificates / תעודות ירוקות סחירות**

מדיניות נוספת לקידום הפקת חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות הינה תעודה ירוקה סחירה (TGC (Tradable Green Certificate). תעודה זו הינה נייר ערך סחיר אשר מייצג את שוויה של אנרגיה מתחדשת. שוויה של אנרגיה מתחדשת נמדד ע"פ עלויות הזיהום אשר יש לאנרגיה קונבנציונאלית. כל קוט"ש מיוצר מאנרגיה מתחדשת חוסך קוט"ש ייצור אנרגיה קונבנציונאלית. חסכון זה הינו חסכון עלויות הזיהום וערכו מגולם בערך תעודת TGC. בשיטה זו, יזם המייצר חשמל באמצעות אנרגיה מתחדשת, ועבור כל קוט"ש הוא זכאי ל TGC אחת. את תעודה זו הוא רשאי למכור לספקי החשמל באותו מחיר תחרותי של תחנות הכוח הקונבנציונאליות המספקות חשמל גם כן. כלומר, היזם זכאי לתעודות סחירות אשר מספקות לו רווחים נוספים שמפצים על העלויות הגבוהות יותר של ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת, זאת בהינתן והינו מוכר אותן. על היזם לקחת בחשבון כי עליו לעמוד בתקנים של ארגון ה-TGC על מנת להיות זכאי לתעודות ירוקות. היזם ישקיע בפרויקט אשר זכה לאישור מהארגון, וכן לאחר הקמת ההתקנים תתקיים ביקורת נוספת. במידה ולא עמד בתקן, לא יקבל תעודות ירוקות ויאלץ או לבצע שינויים כך שיעמוד בתקן, או למכור חשמל כיצרון קונבנציונאלי. כך או כך, יהיה ניתן למכור את החשמל המיוצר לספקי החשמל (Bertoldi, 2002).

על פי TGC Renewables המכניזם הינו-

- יזם מקים פרויקט לייצור אנרגיה מתחדשת ומגיש בקשה לקבלת TGC.
- לאחר בדיקת עמידה בתקנים ע"י הגוף המוסמך, היזם זכאי ל- TGC אחת לכל 1 מגה-וואט לשעה מיוצר, ללא הבדלה בין סוג הטכנולוגיה. במידה ואינו עומד בתקן יאלץ לשפץ על מנת לעמוד בדרישות או שלא יקבל את הזכות ל-TGC.
- היזם מוכר את האנרגיה המיוצרת בשוק החשמל הפתוח באופן נפרד לזכאותו לתעודה.
- בנוסף למכירת החשמל, היזם רשאי למכור את ה-TGC את השוק את ה-TGC את התעודות שבזכותו ובכך להיות תחרותי בשוק החשמל הפתוח מול יצרני החשמל הקונבנציונאלי.

צרכנים הצורכים חשמל מאנרגיה מתחדשת רשאים לקבלת תעודות ירוקות גם כן כתגמול על שימוש באנרגיה אשר מזהמת פחות את כדור הארץ. גם סוחרים בניירות ערך אשר אין כל קשר בינם לאנרגיות מתחדשות רשאים לסחור בתעודות ירוקות. קניה ומכירה של תעודות תתבצע מאמונה כי מחיר הזיהום גדל ולכן גם מחיר התעודה גדל. כלומר, המכניזם של היצע וביקוש ומידת התחרותיות של השוק הם שקובעים את מחיר התעודה הירוקה הסחירה. היתרון של תעודות ירוקות הן הגברת ביקושים ומידת התחרותיות בין יצרנים, והיעילים יותר בעלויות מתוגמלים יותר ברווחיהם.

למרות זאת, ישנם שתי בעיות מרכזיות בתעודות ירוקות. הראשונה היא שחוסר הודאות לגבי המחיר העדכני והעתידי של התעודה הירוקה מגדיל את הסיכון ליזמים ובכך מוריד את התמריץ עבורם לייצור אנרגיה מתחדשת. כמו כן, עבור צרכני החשמל מאנרגיה מתחדשת, עליה משמעותית של מחיר התעודה מוריד את התמריץ לרכישת חשמל מאנרגיות מתחדשות במסגרת ה-TGC, בכך קטנה הכמות הנסחרת.