

משק החשמל בישראל - הצעת ייעול באמצעות הסטת ביקושים

ליאור תבורי

עמית קורת - מכון מילקן

תודות

ברצוני להודות לתוכנית העמיתים קורת-מכון מילקן ולצוותה – לאורלי מובשוביץ-לנדסקרונר, לאלמה גדות-פרז ולפרופ' גלן יאגו – על ההזדמנות שניתנה לי ועל הסיוע והליווי הצמוד לאורך כל הדרך. ברצוני להודות גם למאיה הרן, עמיתת התוכנית, שהערותיה סייעו לי מאוד בכתיבת עבודה זו.

על אודות תוכנית עמיתי קורת-מכון מילקן

תוכנית עמיתי קורת-מכון מילקן מקדמת את הצמיחה הכלכלית בישראל באמצעות התמקדות בפתרונות חדשניים, מבוססי שוק, לבעיות מתמשכות בתחומים חברתיים, כלכליים וסביבתיים. התוכנית מתמקדת באיתור פתרונות גלובליים והתאמתם למציאות הישראלית ובבניית ממשקים חיוניים המחברים בין משאבים ממשלתיים, פילנתרופיים ועסקיים, לטובת צמיחה ופיתוח לאומי בר-קיימא.

התוכנית מעניקה מלגות שנתיות לישראלים מצטיינים, בוגרי מוסדות להשכלה גבוהה בארץ ובעולם, המתמחים במוקדי קבלת ההחלטות הלאומיים ומסייעים בפיתוח פתרונות באמצעות מחקר והתמחות. היקף הפעילות של עמיתי התוכנית הוא מקסימלי – התמחות, הכשרה ומחקר במשך חמישה ימים בשבוע.

במשך שנת התמחותם עוסקים עמיתי קורת-מכון מילקן במחקר המדיניות במשרדי הממשלה וברשויות שלטוניות אחרות, ומסייעים למקבלי ההחלטות ולמעצבי המדיניות בחקר ההיבטים השונים של סוגיות כלכליות, סביבתיות וחברתיות.

בנוסף עורכים העמיתים מחקר מדיניות עצמאי, שמטרתו לזהות חסמים לתעסוקה ולצמיחה בישראל ולאתר פתרונות אפשריים. מחקרי העמיתים מתבצעים בהדרכת צוות אקדמאי ומקצועי מנוסה ותומכים במחוקקים וברגולטורים, המעצבים את המציאות הכלכלית, חברתית והסביבתית בישראל.

במהלך השנה מוענקת לעמיתים הכשרה אינטנסיבית במדיניות כלכלית, ממשל ושיטות מחקר. במסגרת מפגשי ההכשרה השבועיים, העמיתים רוכשים כלים מקצועיים לכתובת תזכירים, מצגות וניירות מדיניות, וכן כלי ניהול, שיווק ותקשורת. בנוסף, נפגשים העמיתים עם בכירים במשק ובממשל ועם אנשי אקדמיה מהשורה הראשונה בישראל ובעולם. בסמסטר הראשון, העמיתים משתתפים בקורס המתמקד בחידושים פיננסיים, במסגרת בית הספר למנהל עסקים באוניברסיטה העברית בירושלים. הקורס מקנה 3 נקודות זכות אקדמיות, ומלמד אותנו פרופ' גלן יאגו, מנהל בכיר, ומייסד, המעבדות לחידושים פיננסיים™ במכון מילקן.

את בוגרי התוכנית ניתן למצוא במגוון תפקידים בכירים במגזר הפרטי, כמרצים באקדמיה, במגזר הציבורי וכיועצים לשרים ולמשרדי הממשלה. ישנם בוגרים שנקלטו במשרדי הממשלה, ואחרים המשיכו ללימודים גבוהים באוניברסיטאות מובילות בישראל, ארצות הברית ובריטניה.

תוכנית עמיתי קורת-מכון מילקן היא לא פוליטית ובלתי מפלגתית, ואינה מקדמת קו פוליטי או אידאולוגי. התוכנית ממומנת על ידי קרן קורת וקרנות פילנתרופיות מובילות בארצות הברית ובישראל ומנוהלת על ידי מכון מילקן.

למידע נוסף על אודות התוכנית: www.kmifellows.org



**משק החשמל בישראל - הצעת ייעול
באמצעות הסטת ביקושים**

ליאור תבורי

עמית קורת – מכון מילקן



תוכן עניינים

1	תקציר מנהלים
5	מבוא
6	שוק החשמל בישראל
6	סקירה כללית - חברת החשמל לישראל (חח"י)
6	ייצור וצריכה של חשמל בישראל
7	שוק החשמל בישראל - אי אנרגטי
10	תוכניות להסטת ביקושים
13	פתרונות לטווח הקצר
13	הצורך והקושי
13	קליפורניה (2001)
17	ברזיל (2001-2002)
20	ג'ונו, אלסקה (2008)
21	דרום אפריקה (2008-2009)
22	סיכום צעדים לטווח הקצר
23	פתרונות לטווח ארוך - משק החשמל בקליפורניה כדוגמה
24	השוואה בין ישראל וקליפורניה
29	צעדי מדיניות שנקטה קליפורניה
31	עיקרי מדיניות להפחתת ביקושים בישראל
32	פוטנציאל החיסכון מתוכנית תעו"ז מותאמת למגזר הביתי
33	גמישות הביקוש לחשמל
38	שיטת מחקר
40	הנחות נוספות
41	תוצאות
47	בדיקות נוספות
50	מדיניות מומלצת במשק החשמל
50	טווח קצר
50	טווח בינוני-ארוך
51	סיכום
52	נספחים
53	ביבליוגרפיה

תקציר מנהלים

מטרתו של מחקר זה היא לבחון אפשרויות לחיסכון במשק החשמל באמצעות תוכנית לניהול הביקוש (DSM – Demand Side Management).

מאז קום המדינה גורסת התפיסה השולטת באשר למשק החשמל כי מטרתה של חברת החשמל היא לספק את כל הביקוש לחשמל בישראל בכל מצב. גישה זו הובילה להגדלה משמעותית ביכולת הייצור של חברת החשמל לאורך השנים. עם זאת, יכולת זו אינה מנוצלת בצורה מיטבית – כדי לספק את סך הביקוש השנתי לחשמל נדרשת רק מחצית מיכולת הייצור שמחזיקה חברת החשמל נכון לסוף שנת 2010. עובדה זאת נובעת משני סממנים עיקריים של משק החשמל – תנודתיות וחוסר יכולת לאחסן חשמל.

הביקוש לחשמל מושפע מתנודתיות רבה, עונתית בעיקרה. בימים החמים ביותר בקיץ ובימים הקרים ביותר בחורף עולה הביקוש לחשמל עד 72% מעל לביקוש הממוצע. כיוון שכמעט בלתי אפשרי לאחסן חשמל, חברת החשמל חייבת להחזיק יכולת ייצור שמסוגלת להתמודד עם שיאי הביקוש.¹

נוצר מצב שבו תחנות כוח העולות מיליארדי שקלים מוחזקות על ידי חברת החשמל כדי לספק את התיאבון לחשמל ב-100 שעות הביקוש הגבוהות ביותר. נראה כי טיפול באותן 100 שעות עשוי להיות זול יותר מאשר החזקת יכולת הייצור הקיימת. ואכן חברת החשמל נוקטת צעדים להסטת הביקוש לחשמל. בעזרת תמריצים כלכליים מעודדת חברת החשמל צרכנים גדולים להקטין את הביקוש בשעות השיא ולהעביר אותו לשעות השפל. בצורה זאת ממתנת חברת החשמל את עקומת הביקוש, ונמנעת מהחזקת הון מיותר.

אך מהלכי חברת החשמל אינם מיועדים לכלל הצרכנים במשק, אלא רק לצרכנים הגדולים. צרכני החשמל הקטנים ומשקי הבית אינם נכללים בתוכניות של חברת החשמל לטיפול בביקושים. מסיבה זו מפסידה חברת החשמל צרכנים האחראים ל-40% מצריכת החשמל השנתית, ואף ליותר מכך בשעות השיא. פילוח של הביקושים מעלה כי משקי הבית הם נתח גדול יותר מהביקוש לחשמל בשעות השיא מאשר בסך הביקושים השנתי. בשנת 2008 עמד הביקוש של משקי הבית על 30.3% מסך הביקושים השנתיים, על 32% בשעת שיא הביקוש בקיץ ועל 49% בשעת שיא הביקוש בחורף (משרד התשתיות הלאומיות, 2010).

לפיכך, תוכנית להסטת ביקושים המיועדת לצרכנים אלה עשויה להביא לצמצום משמעותי בביקושי השיא, וכך מראה גם הניסיון הבין-לאומי.

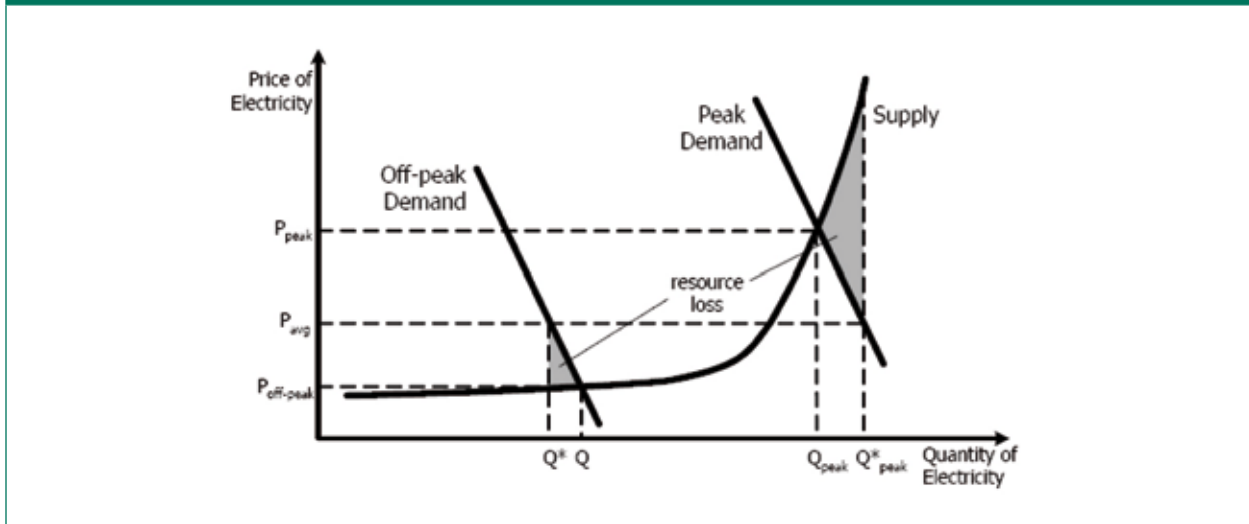
השוואה בין-לאומית מראה כי התנודתיות בביקושים בישראל, כפי שעולה מהיחס בין שיא הצריכה לממוצע הצריכה, גבוהה בהרבה מהתנודתיות במדינות הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים OECD – Organization for Economic Co-operation and Development (Heinen et al., 2011).² נתון זה רומז כי ניתן להקטין את התנודתיות בביקוש לחשמל, ובכך להקטין עוד יותר את החזקת ההון המיותר בידי חברת החשמל.

¹ פתרונות נקודתיים לאחסון חשמל יובאו בפירוט בהמשך.

² ישראל אינה נכללת במחקר זה. ההשוואה למדינות ה-OECD נעשתה על בסיס עיבודים עצמיים.

המצב הקיים אינו גורם רק להחזקת הון מיותר עקב הגדלת שיא הביקוש השנתי, אלא גורם לחוסר יעילות בכל תהליך ייצור החשמל. כיום משלמים מרבית משקי הבית וצרכני חשמל קטנים נוספים על צריכת חשמל על פי מחיר אחיד ללא תלות בזמן צריכתו. עובדה זו היא בעייתית, מכיוון שעלות ייצור החשמל משתנה משמעותית על פי העומס שהמערכת נדרשת לספק. למעשה, בסוף שנת 2010 הייתה עלות ייצור קוט"ש חשמל בשעות הפסגה גבוהה פי 10 מאשר עלות ייצורו בשעות השפל. תמחור החשמל, המבוסס על ממוצע העלויות במקום על העלות השולית, גורם לצריכת חשמל בצורה בזבזנית המייצרת "נטל עודף" על הכלכלה כפי שניתן לראות בגרף.

עקומת הצע וביקוש בשוק החשמל



מקור: U.S Department of Energy, 2006.

הנטל העודף גורם להפסד משאבים לצרכני החשמל וליצרני החשמל, מביא לעליית מחיר החשמל, משפיע על מחירי כל המוצרים והשירותים, ולפיכך מעלה את יוקר המחיה. נדרשת, אם כן, תוכנית שתאפשר את הקטנת הנטל העודף בייצור החשמל ואת הקטנת ההון המוחזק על ידי חברת החשמל. תוכנית שתאפשר להסיט את ביקושי החשמל משעות הפסגה לשעות השפל תשיג את שתי המטרות הללו. כדי לבצע זאת נדרש קודם כול שינוי באופן תמחור החשמל למשקי הבית. כאשר משקי הבית יראו מחירי חשמל שמשתנים בהתאם לעלויות ייצור החשמל, יהיה להם תמריץ משמעותי לצרוך את החשמל בצורה חכמה יותר. נוסף על כך, עצם שינוי אופן התמחור יעלה את מודעות הציבור לצורך בהסטת ביקושים, שכיום אינו ידוע כלל. הגדלת המודעות לנושא יוצרת בעצמה חיסכון ניכר (International Energy Agency, 2011).

מספר תפיסות שגויות וטעויות תכנון הובילו את מדינת ישראל ל"בצורת החשמל" שהיא מתמודדת איתה כיום, והן ממשיכות להשפיע על אופן ההתמודדות עם משבר זה. תפיסה ראשונה גורסת כי ייצור חשמל והקמת תחנות כוח מביאים לשגשוג כלכלי ולהגדלת מקורות תעסוקה. תפיסה מוטעית אחרת גורסת, כי הוצאות אנרגיה הן הוצאות קשיחות, ולכן חיסכון בהוצאות אלה אינו אלא שולי. אך הניסיון הבין-לאומי מראה כי תפיסות אלה אינן מדויקות, ובעיקר אינן

מעודכנות. שורה של מדינות הראו בעשור האחרון כי ניהול הביקוש הוא כלי יעיל להתמודדות עם משברים במשק החשמל. בייחוד מרשים לגלות כי משקי הבית הפגינו במקרים אלה גמישות גבוהה בביקוש לחשמל, והצליחו להשיג חיסכון משמעותי בשעות שיאי הביקוש, הן כתוצאה מתמריצים כלכליים הן כתוצאה מעליית המודעות למצב משק החשמל. למשל: בקליפורניה – במהלך משבר החשמל בקיץ 2001 הצליחו תוכניות להקטנת ביקושים להביא לירידה של 10.4% בשיאי הביקוש של חודשי הקיץ; בברזיל – במהלך בצורת החשמל, צרכנים ביתיים בדרום המדינה הראו חיסכון בחשמל, אף על פי שלא נכללו בתוכניות התמריצים להפחתת הביקושים (International Energy Agency, 2005).

ההנחה כי משקי הבית אינם יכולים להסיט את צריכת החשמל שלהם היא הנחה ישנה הנשענת על בסיס אמפירי מסוים, אך היא אינה מדויקת. מחקר על משקי בית בקליפורניה הראה כי קרוב למחצית ממשקי הבית אינם מגיבים לשינוי במחיר החשמל בטווח הקצר. משקי בית אלו מאופיינים במיעוט אחזקה של מכשירי חשמל. לעומתם, המחצית השנייה של האוכלוסייה הראתה גמישות כבר בטווח הזמן הקצר (Reiss and White, 2001). תוכנית הסטת ביקושים שתפנה אל האוכלוסייה המסוגלת להסיט את ביקושי החשמל, עשויה אם כך להיות יעילה יותר מאשר תוכנית לאוכלוסייה כולה. מחקר אחר מדווח כי משתתפים שבחרו להצטרף מרצונם לתוכנית מסוג זה, הראו גמישויות גבוהות יותר מאשר משתתפים שצורפו ללא אפשרות בחירה (Langmore and Dufty, 2004). נוסף על כך, ניתן להניח שההתפתחות הטכנולוגית המהירה בשנים האחרונות, בדגש על החיבור לרשת האינטרנט ועל חדירת הטלפונים החכמים, מאפשרת למשקי הבית שליטה מרחוק ותכנון מראש של צריכת החשמל, ובכך מגדילה את יכולתם להגיב לשינויים במחיר החשמל. לפיכך, ניתן להניח כי הגמישויות הצפויות להתקבל מתוכנית זו, כלומר היקף הסטת הביקושים של האוכלוסייה, יהיו גבוהות מהמצופה.

המכשול העיקרי ליישום התוכנית צפוי להיות החששות הרבים הקיימים בקרב הצרכנים מפני התייקרות חשבון החשמל עקב המעבר לתמחור חשמל המבוסס על עלות ייצור החשמל, שנקרא בקיצור תעו"ז (תעריף עומס וזמן). מחקרים בעולם מראים כי צרכנים חוששים שמעבר לתעו"ז יוביל להתייקרות החשמל (Lutzenhiser et al., 2002). נוסף על כך, קיים חשש שהצרכנים החלשים עשויים להיפגע ממעבר לתעו"ז (Langmore and Dufty, 2004). כדי להתמודד עם חששות אלה מוצעת תוכנית להסטת ביקושים שתבטיח, מנקודת ראותו של הצרכן, שחשבון החשמל לא יגדל. זאת על ידי קביעת תעו"ז שיש בו שני תעריפים בלבד – בשעות השיא ייגבה תעריף חשמל הזהה למחיר החשמל בתעריף הרגיל, בעוד בשאר השעות (שיוגדרו כשעות שפל) תעריף החשמל יהיה נמוך ב-10%. נוסף על כך, ההצטרפות לתוכנית תהיה רצונית ופתוחה לכל משקי הבית.

החיסכון שיושג על פי תוכנית זו ינבע מירידה בעלויות ייצור החשמל. בסוף שנת 2010 הייתה עלות ייצור קוט"ש בשעות הפסגה גבוהה פי 10 מעלות ייצורו בשעות השפל (חברת החשמל לישראל, 2010). נוסף על כך, הסטת הביקושים לחשמל משעות השיא לשעות השפל תאפשר דחייה של הקמת תחנות כוח חדשות, ותחסוך לחברת החשמל השקעות במיליארדי שקלים. הקטנת העלויות הכרוכות בייצור החשמל ובאספקתו תוביל לחיסכון משמעותי בשוק, של כ-2.5% מהתמ"ג בישראל בשנת 2010. החיסכון יתחלק בין יצרני החשמל ובין כלל צרכני החשמל. משקי הבית שיעברו לתוכנית התעו"ז המוצעת ייהנו ממחיר חשמל מופחת, וצרכני החשמל האחרים יושפעו בעקיפין מירידת עלות ייצור החשמל שתוביל לירידה במחירו. החיסכון המהוון על פני 20 שנים עשוי להסתכם לפי התרחישים השונים בסכום הנע בין 8.68 מיליארד ₪ עד 52.43 מיליארד ₪, שמתוכם חלקה של חברת החשמל נע בין הפסד של 1.1 מיליארד ₪ לרווח של 22.17 מיליארד ₪, והרווח של הצרכנים נע

בין 6.5 מיליארד ש"ח ל-36.02 מיליארד ש"ח. החיסכון המהוון הישיר למשק על פני 20 שנים הוא בין 1.07% ל-6.45% מהתוצר בשנת 2010. לשם השוואה, בשנת 2010 הסתכמו הוצאות ממשלת ישראל על ביטחון ב-6.2% מהתוצר.

התועלת העקיפה ממהלך זה עשויה להיות משמעותית לא פחות. מכיוון שחשמל משמש לייצורם של כל מוצר ושירות במשק מפותח, חיסכון בהוצאות החשמל יוביל לירידה בעלויות הייצור, ובהמשך יקטין את יוקר המחיה וישפר את התחרותיות של המשק הישראלי ביחס למשקים אחרים בעולם.

נוסף על כך, הצרכנים שיצטרפו לתוכנית להסטת ביקושים ייצרו ביקושים למוצרים ולטכנולוגיות שיאפשרו שליטה מרחוק בצריכת החשמל ותכנון מראש של צריכת החשמל. יצירת ביקושים בתחום זה, שאיננו מפותח בישראל כיום, צפויה להוביל ליצירת מקומות עבודה חדשים ולהגדלת היצוא והתוצר.

לבסוף צפויה התוכנית להוביל להפחתת ההשפעות הסביבתיות ולהקטנת פליטות מזהמים לאטמוספירה, ובכך להקטין את התחלואה ולסייע לישראל לעמוד ביעד שהציבה לעצמה בוועידת קופנהגן – הקטנת פליטות ה-CO₂ ב-20% ביחס לתרחיש 'עסקים כרגיל' עד לשנת 2020.

מבוא

הביקוש לאנרגיה בישראל נמצא בצמיחת שיא. ללא תוכנית אופרטיבית של ממש להגדלת ההיצע ולוויסות הביקושים, צפוי המשק הישראלי להיקלע למחסור בכושר ייצור חשמל כבר בקיץ הקרוב, מחסור שילך ויחמיר בשנים הקרובות.

בשנים האחרונות עסוקים משרד התשתיות וחברת החשמל לישראל בגיבוש "תוכניות חירום" להגדלת היצע החשמל במשק. התוכניות יהיו פתרון לטווח הארוך, וגם זאת באופן חלקי בלבד, אם מביאים בחשבון שיקולים סביבתיים ומחסור בעתודות קרקע.

עבודה זו אינה עוסקת בפתרונות השונים הנבחנים להגדלת היצע החשמל, אלא בטיפול בביקוש. בעיקר מבקשת העבודה הנוכחית להראות את חוסר היעילות המובנה בשוק החשמל בישראל ואת אפשרויות הייעול המהירות שקיימות, ובאמצעים זולים יחסית.

מספר תפיסות שגויות גורמות להימנעות מהתייעלות. לדוגמה, רווחת התפיסה המוטעית, שלפיה ייצור חשמל והקמת תחנות כוח מביאים לשגשוג כלכלי ולהגדלת מקורות תעסוקה. תפיסה מוטעית אחרת גורסת כי הוצאות אנרגיה הן הוצאות קשיחות, ולכן חיסכון בהוצאות אלה אינו אלא שולי.

עבודה זאת תבחן את הניסיון הבין-לאומי בנושא ותנסה להתוות תוכנית להסטת ביקושי החשמל משעות השיא לשעות השפל בצורה שתגדיל את היעילות, תשפר את רווחתם של הצרכנים, ותגדיל את הרווח של חברת החשמל. התוכנית תאפשר למדינת ישראל לעבור את תקופת החירום הצפויה במשק החשמל, ללא צורך בהפסקות חשמל יזומות, שעלולות לגרום נזקים כלכליים בסך של מאות מיליוני שקלים.

מעבר ליתרונות הכלכליים הגלומים בתוכנית זו יש בה תועלת נוספת למשק – כמות המזהמים בתהליך ייצור החשמל תפחת, תידרש השקעה קטנה יותר לפיתוח משק האנרגיה, וניתן יהיה לדחות את הקמתן של תחנות כוח חדשות, הגוזלות משאבים נוספים, כספיים ואחרים, ומגדילות את הזיהום הסביבתי, ובעיקר – התלות במשאבים מתכלים ובמקורות אנרגיה חיצוניים תקטן.

שוק החשמל בישראל

סקירה כללית - חברת החשמל לישראל (חח"י)

"חברת החשמל לארץ ישראל" הוקמה על ידי פנחס רוטנברג בשנת 1923, וכללה תחנת חשמל אחת קטנה בעיר תל-אביב. החברה הייתה בבעלות פרטית, וסיפקה חשמל למספר אלפי צרכנים בודדים. בשנת 1926 נתן השלטון המנדטורי הבריטי לחברה את זיכיון הירדן וזיכיון הירקון, שמכוחם הוענקה לחברה, למשך 70 שנה, הזכות הבלעדית להפיק, לספק, לחלק ולמכור חשמל ברחבי ארץ-ישראל המנדטורית. לזיכיונות אלה ניתן לאחר קום המדינה תוקף של חוק על פי פקודת זיכיונות החשמל 1927.

בעקבות גלי העלייה ארצה לאחר הקמת המדינה, עמדה חברת החשמל בפני אתגרי פיתוח והיקפי השקעות עצומים, מציאות שהובילה למשבר בייצור החשמל. על רקע זה הוקמה בחודש מאי 1951 ועדת הופיין, שתפקידה היה לבחון את הסיבות למשבר במשק החשמל ולהגיש הצעות לפתרונן.

באוקטובר 1951 הוגשו המלצותיה של הוועדה, ונקבע בהן חד-משמיעית הצורך בהלאמת החברה, שאחרת לא תוכל לעמוד בדרישות המשק עקב קשיי המימון. בחודש ינואר 1954 אישרה הממשלה רכישת 95% ממניות החברה, ובכך הלאימה אותה הלכה למעשה. מאז ועד היום נמצאת החברה בבעלות ממשלתית.

בראשית שנות ה-90, ככל שהלך וקרבו מועד פקיעתו של זיכיון חברת החשמל (מרץ 1996), רווחה בקרב מקבלי ההחלטות התפיסה, כי תום תקופת הזיכיון הוא הזדמנות היסטורית לשינויים במשק החשמל בישראל. שינויים אלה יביאו לעידוד התחרות והיעול בו ולעדכון החקיקה בענייני חשמל, שכאמור מבוססת על פקודה ארכאית משנת 1927.

על רקע זה הוקמו בתחילת שנות ה-90 מספר ועדות שתפקידן היה לבחון את מבנה משק החשמל בישראל ולהציע דרכים לקידומו. ההמלצות שהתגבשו היו שלא להאריך את זיכיון חברת החשמל ולהסדיר את מערך הייצור, הסחר, ההולכה והחלוקה של החשמל באמצעות מערך רישיונות ופיקוח, שיבטיח תנאים לתחרות בין הגופים העוסקים בחשמל (התנועה למען איכות השלטון בישראל, 2009).

בסוף שנת 2011, 15 שנים לאחר שהסתיים זיכיונה של חח"י לייצור חשמל בישראל, היה כושר ייצור החשמל המותקן של יצרני חשמל פרטיים כ-1.9% מכושר הייצור המותקן במדינת ישראל, וזאת אף על פי שניתנו רישיונות מותנים בהיקף כולל של 4,861.8 מגה-ואט, שהיו 38% מכושר ייצור החשמל נכון לאותה עת (חברת החשמל לישראל, 2011).

ייצור וצריכה של חשמל בישראל

ההתקדמות הטכנולוגית ומגמת התיעוש בעולם לאורך המאה ה-20 גרמו לביקוש הולך וגובר לחשמל. מגמה זאת לא פסחה על מדינת ישראל שמאז הקמתה השקיעה תקציבים עצומים כדי לפתח את רשת החשמל שלה ולהנגיש אותה לכלל אזרחיה. צריכת החשמל במדינת ישראל הצעירה אכן גדלה במהירות רבה, ונדרשו השקעות בתחנות כוח כדי להבטיח יכולת ייצור חשמל מספקת.

מאז קום המדינה גדלה האוכלוסייה בישראל פי 8.8 בקירוב, אך צריכת החשמל הממוצעת לנפש עלתה פי 21. מסיבה זו נדרשה חח"י להגדיל את יכולת הייצור שלה (יכולת נקובה) פי 185 (חברת החשמל לישראל, 2010א). אחת הסיבות

העיקריות לגידול בצריכה לנפש היא הגידול בהכנסה לנפש, שעלתה בין השנים 1950–2010 פי 6 במונחים ריאליים (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2010). ההוצאה של כלל הצרכנים במשק על חשמל הגיעה בשנת 2010 ל-19.65 מיליארד ₪, שהם כ-2.4% מהתוצר בשנה זאת.³

בסוף שנת 2010 הייתה יכולת הייצור הנקובה של חברת החשמל 12,769 מגה וואט. כלומר, אילו הייתה חח"י מפעילה את כל תחנות הכוח שלה בתפוקה מלאה לאורך כל השנה, היא הייתה יכולה לייצר 111,856.4 ג'יגה-וואט (1 ג'יגה-וואט = מיליון קילו-וואט לשעה).⁴ בפועל עמד ייצור החשמל רק על 56,102 ג'יגה-וואט, והביקוש לחשמל היה נמוך אף יותר (51,977 ג'יגה-וואט).

מתקבל שייצור החשמל בשנת 2010 היה כ-50.2% מיכולת הייצור התאורטית של חברת החשמל, והביקוש לחשמל היה אף נמוך יותר – כ-46.5% מכושר ייצור החשמל.

אם נשתמש בהנחות העבודה של חברת החשמל שצופות גידול שנתי ממוצע של 3.56% בשנה, הרי שכבר בשנת 2010 יש בידי חברת החשמל מספיק יכולת ייצור שתספק את כמות החשמל השנתית המבוקשת במדינת ישראל עד שנת 2030, וזאת ללא כל השקעה נוספת.⁵ אף על פי כן, נמצאת כיום מדינת ישראל במצב שמוגדר כ"מצב חירום" במשק החשמל, וננקטים צעדים דחופים כדי להגדיל את כושר הייצור של חברת החשמל. מצב זה נובע ממספר אלמנטים הייחודיים לשוק החשמל, ובפרט לשוק החשמל הישראלי.

שוק החשמל בישראל – אי אנרגטי

חח"י, כמו יצרני חשמל נוספים ברחבי העולם, אינה מתקשה כלל וכלל לספק את הביקושים הממוצעים לחשמל במשק (כדי לספק את ממוצע הביקוש נדרשת פחות מחצי יכולת ייצור החשמל של חח"י). הבעיה העיקרית של ספקי החשמל היא לספק את שיאי הביקוש. בעקבות התנודתיות הרבה של הביקוש לחשמל ולאור הרגלי הצריכה של המגזרים השונים, נוצרות מספר שעות שצריכת החשמל בהן גבוהה באופן חריג מהממוצע השנתי. חברת החשמל מעריכה שבכל שנה יש כ-100 שעות כאלה (מוסד שמואל נאמן, 2007). במהלך שעות העומס הללו מתקרב הביקוש ליכולת הייצור הזמינה, ואף עובר אותה, ולכן קיים חשש ליכולת אספקת החשמל, וייתכנו אף הפסקות חשמל יזומות. משק החשמל אינו מתוכנן כך שיוכל לספק את סך הביקושים השנתיים, אלא שיוכל להתמודד עם ביקושי השיא. כדי להתמודד עם שיא הביקוש נדרשת השקעה מתמדת בהגדלת יכולת ייצור החשמל. בשנת 2010 דיווחה חברת החשמל על השקעות מתוכננות של בין 2 ל-4.6 מיליארד ₪ בממוצע בכל אחת מהשנים 2011–2015, וזאת כדי לעמוד בתחזית הביקושים לשנים הקרובות (חברת החשמל לישראל, 2010ב).

הסיבה שמשק החשמל מתוכנן תוך התמקדות בשיאי הביקוש ולא בסך הביקושים נובעת ממספר מאפיינים ייחודיים לשוק זה:

1. **תנודתיות הביקוש** – לאורך השנה מתאפיין הביקוש לחשמל בתנודתיות גבוהה. ניתן לאפיין את התנודתיות על פי שלושה משתנים:

³ עיבודים עצמאיים על סמך דוחות חח"י והלשכה המרכזית לסטטיסטיקה.

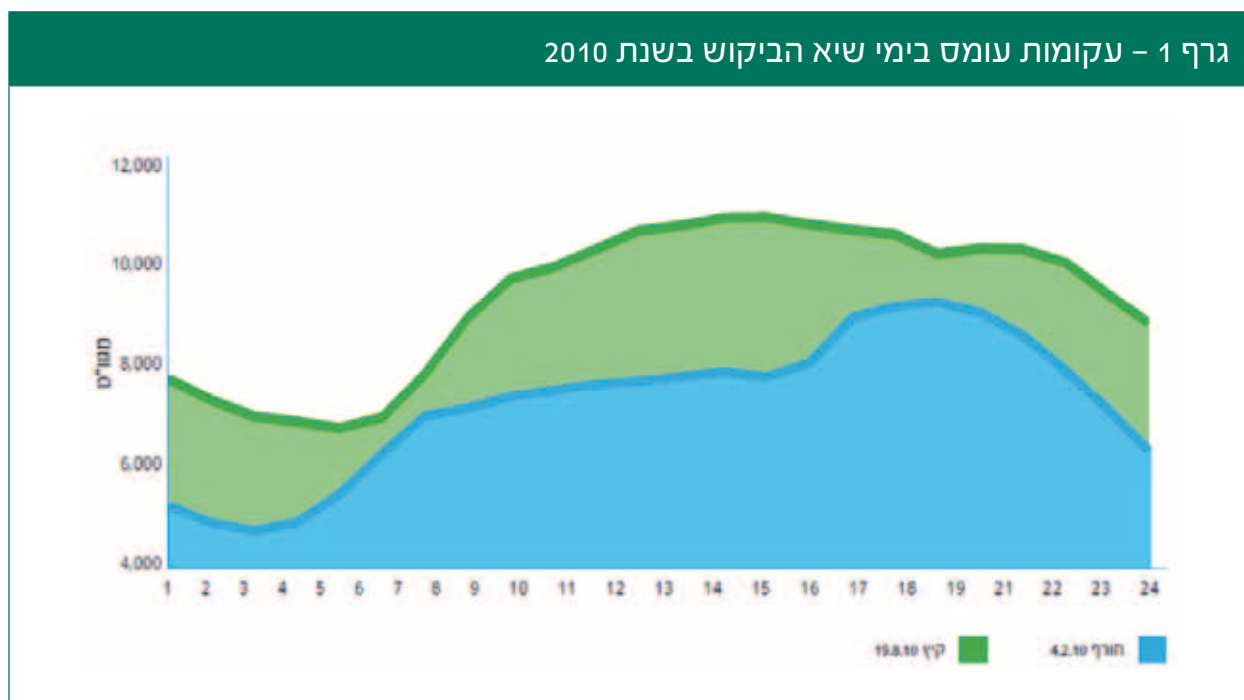
⁴ בהנחה שכושר הייצור הזמין בסוף השנה היה מופעל במשך כל השנה ב-100% ניצולת.

⁵ עיבודים עצמאיים על פי נתונים שפורסמו באתר משרד האנרגיה והמים, 2011.

א. תנודתיות בין חודשי השנה – הביקושים לחשמל משתנים משמעותית בחודשי השנה השונים. חודשי הקיץ והחורף מתאפיינים בביקושים גבוהים ביחס לעונות המעבר. כך, למשל, בעוד ממוצע ייצור החשמל החודשי בשנת 2010 עמד על 4,702 מיליון קוט"ש בחודש, יוצרו בחודש אפריל 3,854 מיליון קוט"ש ובחודש אוגוסט 6,314 מיליון קוט"ש (חברת החשמל לישראל, 2010א).

ב. תנודתיות בין ימי השבוע – לאורך כל השנה ניתן לראות שהביקוש לחשמל גבוה יותר במהלך ימי השבוע מאשר בשבתות ובחגים. כך, למשל, ניתן לראות בהוראות רשות החשמל (רשות לשירותים ציבוריים חשמל, 2012) שבחודשי הקיץ במהלך ימי השבוע יש 7 שעות שייצור החשמל בהן הוא ברמה גבוהה, 7 שעות שייצור החשמל בהן הוא ברמה בינונית ו-10 שעות שייצור החשמל בהן הוא ברמה נמוכה. לעומת זאת, בימי שישי ושבת כל השעות מוגדרות כשעות שייצור החשמל בהן הוא ברמה נמוכה.⁶

ג. תנודתיות בין שעות היום – הביקוש לחשמל משתנה מהותית לאורך שעות היום השונות. בקיץ באופן כללי הביקוש גבוה ביותר בעיקר בשעות החמות (12-18), בחורף לעומת זאת שיא הביקוש הוא דווקא בשעות הערב הקרות (18-21). דוגמא טובה ניתן לראות בגרף 1 המתאר את הביקוש לחשמל בימי שיא הביקוש לשנת 2010.



מקור: חברת החשמל לישראל, 2010א.

⁶ רשות החשמל מחלקת את תעריפי עומס וזמן (תערו"ז) ל-3 קבוצות ול-3 עונות שנה, שבכל אחת מהן מחיר החשמל שונה, כדי לייצג את העלויות הכוללות של ייצור החשמל בזמן זה (עלות שולית לייצור החשמל + העמסת עלויות קבועות). הקבוצות הן שפל (שרמות הביקוש לחשמל בו נמוכות), גבע (שרמות הביקוש לחשמל בו בינוניות) ופסגה (שרמות הביקוש לחשמל בו גבוהות). עונות השנה הן חורף (דצמבר, ינואר ופברואר), קיץ (יולי ואוגוסט) ועונת מעבר (שאר החודשים).

בגרף 1 אפשר לראות כיצד הביקוש לחשמל ביום שיא הביקוש הקיצי (הקו הירוק) עולה החל מסביבות השעה 7 בבוקר ונשאר גבוה מאוד לאורך כל היום. ביום שיא הביקוש החורפי (הקו הכחול) הביקוש נמוך מאוד בשעות הבוקר המוקדמות. לאחר מכן, בדומה לקו הירוק, הביקוש עולה בסביבות שעה 7 בבוקר לרמות בינוניות, ורק לקראת השעה 17 מטפס הביקוש לרמות גבוהות יותר, עד לשעה 21 שבה הוא מתחיל לרדת.

2. בעיית האחסנה (אגירת חשמל) – אילו הייתה חח"י מייצרת מוצר "נורמלי", כגון מכוניות, בשמים או כסאות, הפתרון הפשוט לבעיית התנדטיות בביקוש היה ייצור המוצר לאורך כל השנה. כאשר הייצור היה עולה על הביקוש, עודף הייצור היה גורם להיווצרות מלאי, ובזמנים שהביקוש היה עולה בהם על הייצור, המלאי היה נמכר כדי לספק את הביקוש. בצורה פשטנית ניתן לומר שחח"י הייתה צריכה להחזיק יכולת ייצור קטנה בהרבה, כי בכל יום הייתה צריכה לייצר רק את הכמות השנתית הממוצעת שנצרכת, ולא הייתה צריכה להתמודד עם שיאי הביקוש השנתיים. כאשר המוצר המדובר הוא חשמל, פתרון זה אינו יכול להתקיים. מבחינה טכנית – אגירת חשמל היא דבר אפשרי אך לא פשוט – ישנן מספר טכניקות לאגור חשמל ברמה של כמה מאות מגה-ואט, אך בכולן קיים איבוד אנרגיה רב. עם זאת, בגלל הפרשי העלויות הגבוהים בין ייצור חשמל בשעות שפל לייצורו בשעות שיא, תיתכן כדאיות כלכלית בהקמת תחנות אגירה.

בשנים האחרונות הבינו בממשלה את הצורך באגירת חשמל ואת הפוטנציאל הגלום בה, ובימים אלה מקודמת תוכנית להקמת שלושה מתקני אגירה שאובה.⁷ מתקנים אלה מתוכננים להתחיל לפעול בין השנים 2017–2022, וכאשר יופעלו בהספק מלא יספקו עד 850 מגה-ואט (שהם כ-6.5% מיכולת ייצור החשמל של חח"י בסוף 2010).

3. יתרון לגודל – במדינות רבות בעולם קיימות רשתות חשמל חוצות מדינות. לדוגמה, בארה"ב מחוברות מספר מדינות ביחד, וכך הן יכולות לגבות אחת את השנייה במקרה של עומסי ביקוש. הסבירות לעומס ביקוש בכל המדינות בו-זמנית היא נמוכה לנוכח הבדלי השעות והבדלי האקלים, שנובעים מהגודל והגאוגרפיה של המדינה. ישראל אינה מחוברת לרשת החשמל של שכנותיה, ולכן לא יכולה לסמוך על גיבוי של מדינות נוספות בשעות הצורך. כמו כן, גודלה של ישראל והגאוגרפיה שלה גוררים מצב שבו כאשר שורר מזג אוויר קיצוני, כל המדינה (או לפחות רובה המוחלט) סובלת ממנו, ולכן הביקושים בכל המדינה גבוהים מאוד. חיבור של ישראל לרשתות ייצור החשמל של מדינות שכנות היה יכול להקל מאוד על היכולת לעמוד בשיאי הביקוש, אך קשה להאמין שבמציאות הפוליטית של אזורנו תחליט הממשלה ליצור מצב שבו מדינת ישראל תצטרך להסתמך על שכנותיה כדי לספק את הביקוש לחשמל. החשש מפני התדרדרות במצב המדיני-ביטחוני מבטיח כנראה שישראל תמשיך להתנהל כ"אי אנרגטי" עוד שנים רבות.

4. זמן תכנון והקמה – תכנון והקמה של תחנות כוח אורכים זמן רב מאוד. הקמה של תחנה פחמית גדולה עשויה לארוך 8–10 שנים, ועלות ההקמה עשויה להגיע למיליארד דולר ארה"ב. הקמתן של יחידות ייצור קטנות היא מהירה וזולה יותר, אך העלות השולית בייצור חשמל היא גבוהה מאוד, שכן היחידות הקטנות מבוססות על דלקים יקרים יותר. בשנת 2010 עלה ייצור קוט"ש חשמל באמצעות סולר 143 אג', פי 10 מעלות ייצורו באמצעות פחם (13.8 אג'). לכן

⁷ בטכנולוגיה זו נבנים שני מאגרי מים בהפרשי גבהים משמעותיים. בשעות השיא מוזרמים המים מהמאגר העליון לתחתון, ומייצרים חשמל על ידי כוח נפילתם. בשעות השפל נשאבים המים בחזרה למאגר העליון. בצורה זו מתפקדים המאגרים כמעין סוללה, הנטענת בשעות השפל ומשמשת לייצור חשמל בשעות השיא.

נדרש תכנון ארוך טווח במשק החשמל, שמבוסס על הערכות ותחזיות. מכיוון שקיימת אי-ודאות גבוהה בתחזיות אלה, נדרשים מקדמי ביטחון בצורת רזרבה זמינה – יכולת ייצור גבוהה מהביקוש המרבי של אותה שנה.

5. עלויות אי-אספקת חשמל למשק – כאשר חח"י לא יכולה לספק את הביקושים במשק, נגרמות עלויות גבוהות מאוד למשק עקב פגיעה בפעילות הכלכלית, ואמינותה של חברת החשמל נפגעת. מצב זה גורר גם אי-ודאות מסוימת באשר ליכולת לקיים פעילות כלכלית תקינה בעתיד. משרד התשתיות משתמש בהערכה שעלותו המשוקללת של קוט"ש בלתי מסופק היא עד 121 ש"ח לכלל המשק במחירי 2009 (משרד התשתיות הלאומיות, 2011). העלות השולית הגבוהה ביותר של חח"י היא 143 אג' לקוט"ש ב-2010 (חברת החשמל לישראל, 2010ב). כלומר, אי-אספקת קוט"ש חשמל למשק עולה כמעט פי 100 מאשר ייצורו בעלות השולית הגבוהה ביותר. בגלל חשיבותה הרבה של אמינות אספקת החשמל ובשל אופיו המיוחד של מוצר זה, נדרשת חח"י להחזיק בכל עת עודף כושר ייצור (רזרבת חשמל). מבחינה טכנית רצוי שתהיה רזרבה גדולה ככל שניתן, כדי להבטיח שגם במקרים קיצוניים, כמו השבתת תחנת כוח עקב תקלה לא צפויה, יהיה היצע החשמל גדול מהביקוש לו. אך מבחינה כלכלית רצוי שתישמר רזרבה קטנה ככל הניתן, ולמעשה שלא תהיה רזרבה כלל, מפני שאחזקתו של ההון העודף כרוכה בעלויות גבוהות. בגלל ניגוד זה קיים צורך באופטימיזציה טכנו-כלכלית. בשנת 1998 המליץ יועץ חיצוני למשרד התשתיות על רזרבה של 20-25%, אך חח"י בדיוניה הגיעה לכלל החלטה שנדרשת רזרבה של 17% בלבד (מבקר המדינה, 2008). בפועל, הרזרבה שהוחזקה הייתה נמוכה בהרבה ב-20 השנים האחרונות, ועמדה על 6.1% במוצע בלבד.

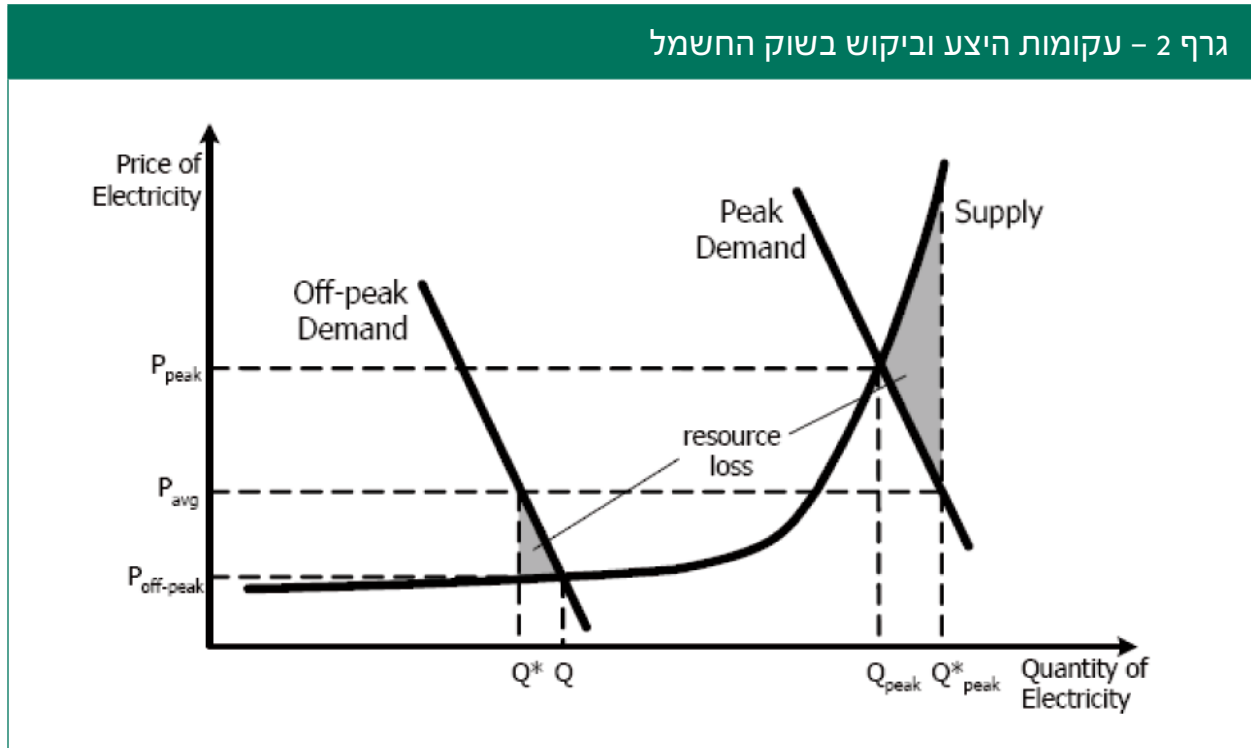
תוכניות להסטת ביקושים

כדי להתמודד עם שיאי הביקוש ועם התנודתיות הרבה בביקוש לחשמל מפעילה חברת החשמל מספר תוכניות לצרכני החשמל הגדולים. תוכניות אלה מנסות להשיג ירידה בביקושים בשעות העומס על ידי מתן תמריץ כלכלי לצרכנים שמסוימים את צריכת החשמל שלהם לשעות השפל. בצורה זאת "משטחת" חח"י את התנודתיות בביקוש היומי לחשמל. כמו כן, החברה רוכשת חשמל מיצרנים פרטיים, וכך מגדילה את היצע החשמל למשק בשעות שיאי הביקוש.

ההיגיון סביב תוכניות הורדת הביקושים בשעות העומס ברור – העלות השולית בייצור חשמל בשעות העומס גבוהה יותר מהעלות השולית בייצור חשמל בשעות השפל, והעלות למשק אם תקרוס רשת החשמל – עצומה. כמו כן, מתקשה חח"י להגדיל את יכולת ייצור החשמל בקצב שהביקוש גדל בו, ולכן כדאי לה להעניק תמריצים לצרכני חשמל גדולים להסיט ביקושים לשעות השפל. חח"י מעריכה שצריכת החשמל בישראל מושפעת בעיקר מ-2000 צרכני חשמל הגדולים, שכ-50% מצריכת החשמל בשעות העומס נובעת מהם (מוסד שמואל נאמן, 2007).

הסטת הביקושים כדאית גם לצרכני החשמל הגדולים, שכן היא מקטינה את עלויות החשמל שלהם, ולכן מבחינה כלכלית מדובר בפעולה שמגדילה את רווחת כל המשתתפים, ומכאן את היעילות בשוק זה. הסיבה להגדלת היעילות ניתנת להסבר על ידי עיקרון מיקרו-כלכלי בסיסי של השוואת העלות השולית לתועלת השולית. על פי עיקרון זה, היעילות המרבית תתקבל כאשר הצרכן והיצרן יקבלו את החלטותיהם בהתאם לעלות/תועלת השולית. התעריף הרגיל לחשמל במדינת ישראל מבוסס על עלות ממוצעת, ולכן בהכרח לא מאפשר הקצאה מיטבית של משאבים. העובדה שהצרכן אינו מרגיש את

העלות השולית בייצור המוצר, גורמת לו לצרוך את המוצר בצורה שאינה מיטבית ושיוצרת נטל עודף במשק. כדי להמחיש זאת ניתן להסתכל על גרף 2 שמתאר את היצע החשמל והביקוש בשעות שפל ובשעות שיא.



מקור: U.S Department of Energy, 2006.

גרף 2 מתאר את הקשר בין כמות החשמל המיוצרת והמבוקשת ובין מחיר החשמל בשוק טיפוסי. הגרף מציג את הביקוש לחשמל בשעות השיא והשפל, ומתאר את כמות החשמל המבוקשת תחת שני תרחישים שונים. בתרחיש הראשון צריכת החשמל היא על פי המחיר הממוצע, ובתרחיש השני צריכת החשמל היא על פי המחיר השולי. ניתן לראות כי שימוש במחיר הממוצע גורם לכך שבשעות השפל כמות החשמל המבוקשת (Q^*) קטנה מהכמות שהייתה מבוקשת אילו המחיר היה מייצג את עלות הייצור השולית (Q). בשעות השיא גבוה הביקוש לחשמל (Q^*_{PEAK}) מהביקוש שהיה מתקבל (Q_{PEAK}) אילו המחיר היה מייצג את עלות הייצור השולית. שני המשולשים השחורים שהתקבלו בגרף הם הנטל העודף על המשק. נטל עודף זה מתחלק בין הצרכנים והיצרנים בשוק, ופוגע ברווחה של כולם. קל לראות כי כל מהלך שיקרב את עלות החשמל שרואה הצרכן, לעלות הייצור השולית, יגרום להורדת הנטל העודף, ויוביל לשיפור מצבם של הצרכנים והיצרנים בשוק. במשק החשמל בישראל בולטת עוד יותר העובדה כי הנטל העודף מוטל כולו על אזרחי המדינה. זאת מכיוון שמשק החשמל הישראלי סגור גם מצד הייצע וגם מצד הביקוש. מצד הייצע – ישראל אינה מייבאת חשמל, חח"י היא היצרן הכמעט

בלעדי בישראל, וכל מנייתיה מוחזקות על ידי המדינה.⁸ מצד הביקוש – ישראל כמעט שאינה מייצאת חשמל.⁹ לפיכך, אזרחי המדינה הם גם הצרכנים וגם (בקשרי בעלות) היצרנים בשוק זה.

אך התוכניות הקיימות להסטת ביקושים אינן נותנת מענה מספק. העובדה שצרכני החשמל ה"רגילים" (הכוונה בעיקר לצרכני החשמל הביתיים אך גם לצרכנים מסחריים/תעשייתיים קטנים) אינם מקבלים תמריץ כלכלי כדי להסיט את הביקושים משעות העומס לשעות השפל, גוררת נטל עודף עצום על משק החשמל. צרכנים אלה אחראים ל-40% מצריכת החשמל השנתית ואף ליותר מכך בשעות השיא. חברת החשמל אינה מפרסמת נתונים מלאים על התפלגות הביקושים, אך מהתוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית ניתן ללמוד כי בשנת 2008 היו משקי הבית אחראים ל-30.3% מהביקוש השנתי לחשמל, ל-32% מהביקוש לחשמל בשיא הביקוש בקיץ ול-49% מהביקוש לחשמל בשיא הביקוש בחורף (משרד התשתיות הלאומיות, 2010).

נתונים אלה תואמים את התאוריה הכלכלית כפי שעולה גם מגרף 2. צרכנים שאינם מושפעים מהעלות השולית בשוק אלא מהעלות הממוצעת, יצרכו כמות עודפת מהחשמל כאשר מחירו אמור להיות גבוה. לעומתם, צרכני התעו"ז, שכן מושפעים מהעלות השולית, יצמצמו את צריכתם.

הניסיון הבינ-לאומי גם הוא תומך בתוצאות אלה. בקליפורניה לדוגמה, צרכנים ביתיים הם נתח גדול יותר בביקושי השיא מאשר בסך הביקושים השנתיים (California Energy Commission, 2003). גם בדרום אפריקה תועדה תופעה דומה (International Energy Agency, 2011).

נכון לשנת 2010 יכולה הסטה של 1 קוט"ש משעת העומס לשעת שפל לחסוך למשק החשמל בין 34.5–130 אג', שהן עד 91% מעלות ייצור החשמל.

כדי לפתור את חוסר היעילות המובנית בתעריפי החשמל נדרש מהלך שיביא לכך שכלל הצרכנים במשק יפנימו את העלות השולית בייצור החשמל. שינוי זה אינו יכול להתבצע במהלך אחד, אלא נדרש להתפרש על פני מספר רב של שנים ממספר סיבות. בראש ובראשונה קיימים חששות בקרב הצרכנים מהתייקרות חשבון החשמל. מחקרים רבים מראים כי הצרכנים חוששים שתחת תעריף משתנה חשבון החשמל שלהם יגדל, בין היתר עקב האמונה שהמגזר הביתי לא יכול להסיט ביקושים בצורה יעילה (Lutzenhiser et al., 2002). כמו כן, קיים חשש שצרכנים המשתייכים לשכבות החלשות ייפגעו מתעריפים משתנים מכיוון שהם נוטים להימצא יותר בבית בשעות שיא הביקוש ביחס לשאר האוכלוסייה (Sachdeva and Wallis, 2010). נוסף על כך, כדי לאפשר מחיר דיפרנציאלי לחשמל, שיתבסס על שעות שימוש או עומס על המערכת, נדרשים מונים המסוגלים לזהות את תזמון צריכת החשמל של הצרכן. המונים המותקנים במגזר הביתי אינם מסוגלים לבצע זאת, ויש צורך להחליפם. כמובן שיש קושי ועלות התחלתית גבוהה בהחלפת מספר כה רב של מונים – בסוף שנת 2010 היו בישראל קרוב ל-2.2 מיליון צרכנים ביתיים (חברת החשמל לישראל, 2010א), שרובם המוחלט בעלי מונים ישנים שיש להחליפם.

כדי להביא לפתרון מיטבי בטווח הארוך נדרשת תוכנית מעבר בין המצב הקיים למצב הרצוי, שבו כל צרכני החשמל ישלמו מחיר המשתנה על פי העלות השולית בייצור החשמל. הצעה לתוכנית מסוג זה, שתופעל בשלב הביניים, תוצג בהמשך

⁸ חח"י מייצרת 96% מהחשמל בישראל. מדינת ישראל מחזיקה ב-99.85% ממנייתיה של חח"י (חברת החשמל לישראל, 2011).

⁹ ישראל אינה מייצאת חשמל, אך היא מוכרת חשמל לרשות הפלסטינית. הרשות הפלסטינית צורכת 7.6% מסך צריכת החשמל בישראל בשנת 2010 (חברת החשמל לישראל, 2010א).

העבודה. אך עוד קודם לכן נדרש משק החשמל הישראלי לתוכנית חירום בטווח הקצר. זאת כיוון שכבר כיום קיים חשש אמיתי באשר ליכולת חח"י לעמוד בשיאי הביקושים הצפויים בקיץ הקרוב. הרזרבה הזמינה לחח"י בשיאי הביקוש נמוכה מאוד כבר שנים רבות. לדוגמה, בשנת 2010 עמדה הרזרבה על 3.3% בלבד. משק החשמל נמצא כיום בתהליך של הגדלת יכולת הייצור, ועד סוף שנת 2012 צפויה יכולת הייצור של חח"י (ושל היצרנים הפרטיים) לגדול ב-1,000 מגה-ואט בקירוב. אף על פי כן, הרזרבה הזמינה צפויה להמשיך לרדת.¹⁰ נוסף על כך, עקב הבעיות בהזרמת הגז הטבעי למערכת החשמל נדרשת חח"י להשתמש בדלקים חלופיים, וכושר הייצור שלה נפגע עוד יותר.

בפרק הבא אציג את הפתרונות המוצעים לבעיה זו ואמליץ על דרכים למנוף את תוכנית החירום לטווח הקצר לצורך יצירת פתרונות ארוכי טווח.

פתרונות לטווח הקצר

הצורך והקושי

כפי שתואר בהרחבה בפרקים הקודמים, אספקת חשמל באיכות גבוהה ובאמינות גבוהה חשובה לכל משק. עלות אי-אספקה של חשמל לצרכנים גבוהה עד פי 100 מעלות ייצורו, ולכן תמיד כדאי מבחינה כלכלית שכל ביקושי החשמל יסופקו. לפיכך, ספקי החשמל והממשלה יהיו מעוניינים להבטיח את אספקת החשמל המלאה למשק. עם זאת, עקב הצטברות של אירועים שונים עשוי משק החשמל להגיע למצבים של חוסר יכולת ייצור. הניסיון הבינ-לאומי מראה כי מצבים אלה יכולים להיווצר משני גורמים שונים. הראשון הוא פגיעה לא צפויה ביכולות ייצור החשמל, כפי שהתרחש למשל ברעידת האדמה ביפן (שהשביתה את הכורים הגרעיניים בפוקושימה ב-2011) או עקב בצורת מתמשכת שפגעה ביכולת ייצור החשמל ההידרואלקטרי בניו זילנד בשנת 2008. הגורם השני הוא חוסר תכנון מספק של יכולת ייצור החשמל כפי שאירע למשל בדרום אפריקה ב-2008 (International Energy Agency, 2011).

כאשר חסרה למשק יכולת ייצור חשמל הוא נדרש למצוא פתרון לחוסר שיווי המשקל באמצעות הגדלת היצע או הקטנת ביקוש. הגדלת היצע אינה אפשרית בדרך כלל, כיוון שהקמת תחנות כוח חדשות היא תהליך ארוך, שעשוי להימשך שנים רבות. גם ייצור חשמל בשעות השפל ואחסונו לשעות שיאי הביקוש אינם אפשריים ברוב המקרים עקב חוסר יכולת לאגור חשמל באופן ישיר (ניתן לאגור חשמל בטכנולוגיית "אגירה שאובה" כפי שפורט בפרקים הקודמים). לפיכך, הפתרון הסביר בטווח הזמן הקצר הוא ניהול צד הביקוש, וזאת על ידי הסטת ביקושים משעות שיאי הביקוש לשעות השפל. הסטת הביקושים מאפשרת לנצל טוב יותר את יכולות הייצור הקיימות ולהימנע מהפסקות חשמל.

בעשור האחרון נאלצו מספר מדינות בעולם להתמודד עם בצורות חשמל. ניתן ללמוד רבות מניסיוןן ולהמליץ על צעדי מדיניות אפשריים לישראל.

קליפורניה (2001)

המדינה הראשונה שהתמודדה בצורה מוצלחת עם מחסור בחשמל הייתה קליפורניה. בתחילת שנות ה-2000 הגיעה קליפורניה למשבר חמור במשק החשמל עקב שורה של אירועים שהרכיבו יחד "סערה מושלמת". משק החשמל של

¹⁰ הערכות חברת החשמל כפי שפורסמו באתר משרד האנרגיה והמים.

קליפורניה סבל באותו זמן מפשיטת רגל של יצרני חשמל, מבצורת שפגעה בייצור החשמל ההידרואלקטרי, ממחסור בגז טבעי ומבעיות בתיאום הרגולציה בתוך המדינה ובין המדינה לרשויות הפדרליות (International Energy Agency, 2005). בסתיו 2000 התברר שקליפורניה לא תוכל לספק את צריכת החשמל שלה בקיץ 2001, והוכרז מצב חירום במשק החשמל. ההערכות בקליפורניה צפו כ-260 עד 700 שעות של אי-אספקת חשמל, שהיו עולות למשק לפי הערכות שונות בין 2 ל-20 מיליארד דולר (Goldman et al., 2002).

מכיוון שהקמת תחנות כוח היא תהליך שאורך שנים רבות, הבינו בממשל שהדרך היחידה למנוע את המשבר בפרק הזמן הקצר שנותר עד לשיאי הביקוש של חודשי הקיץ, היא באמצעות טיפול מְיָדִי בצד הביקוש (DSM – Demand Side Management).

צעדי חירום שננקטו ב-2001 כללו הקצאת 1.1 מיליארד דולר לתוכניות להקטנת ביקושים ולהתייעלות אנרגטית. מבין היוזמות השונות שכללה תוכנית החירום בלטו שתי תוכניות חדשניות ויוצאות דופן שהושקו במטרה לרתום את משקי הבית למאמץ המשותף: תוכנית 20/20 והקמפיין התקשורתי "Flex Your Power". שתי התוכניות מייעדות בעיקרן למגזר הביתי. הקמפיין התקשורתי מבהיר לאזרחי קליפורניה את מצב החירום שמדינתם נקלעה אליו ומבקש את עזרת הציבור על ידי חיסכון בחשמל (בדומה לקמפיין הישראלי "חייבים להציל את הכנרת"), ותוכנית 20/20 מציעה תמריץ כלכלי לחיסכון בחשמל בקרב משקי הבית: כל מי שיצליח להוריד 20% מצריכת החשמל שלו באחד מחודשי קיץ 2001 ביחס לאותו החודש בקיץ 2000, יקבל מהממשל הטבה כספית בשווי של 20% נוספים (כלומר, חיסכון של 20% בצריכת החשמל החודשית מביא לחיסכון כספי בגובה של 40% מהחשבון של אותו חודש בקיץ 2000).

בתוכניות אלה בולט שינוי המגמה במאמצים לחיסכון באנרגיה בקליפורניה. עד למשבר זה, במשך 30 השנים שממשלת קליפורניה נקטה בהן מהלכים רבים להתייעלות אנרגטית, הדגש תמיד הושם בפתרונות לטווח ארוך, ועיקר המאמצים כווננו למגזר התעשייתי והמסחרי-ציבורי. כתוצאה מכך, רק 20% מסך החיסכון בחשמל לאורך השנים הללו הגיע מהמגזר הביתי (California Energy Commission, 2003). מצד שני, העובדה שהדגש הושם בשני המגזרים הללו לאורך השנים מעידה שפוטנציאל החיסכון שלהם כבר מוצה בחלקו, ולכן ישנו יתרון יחסי בפנייה למשקי הבית. אלה צורכים 30% מסך צריכת החשמל בקליפורניה, אך צריכתם בשעות השיא, נכון לשנת 2001, מגיעה ל-37% מסך הביקוש לחשמל (California Energy Commission, 2003). חשוב להבין שהמהלך שממשלת קליפורניה בחרה בו היה ראשון מסוגו בעולם (באותו זמן נקטה ממשלת ברזיל מהלך דומה, כפי שיפורט בהמשך), ולכן לא היה שום ביטחון ביכולתו של מהלך זה למנוע את הפסקות החשמל הצפויות בקיץ 2001. יותר ממיליארד דולר הושקעו במהלך שתוצאותיו היו בספק גדול. לא היה ברור אם ביכולתו של המגזר הביתי להסיט מספיק ביקושים כדי למנוע את משבר האנרגיה.

תוצאות המדיניות

בקיץ 2001 הסתבר ששינוי המגמה הוכיח את עצמו, והמודעות הציבורית לבעיית החשמל זינקה.¹¹ שליש ממשקי הבית בקליפורניה ו-26% מהצרכנים שמוגדרים כ"לא-ביתיים" נרתמו למאמץ והורידו את צריכת החשמל שלהם ב-20% ויותר באחד מחודשי הקיץ לפחות, ועל כן היו זכאים לקבל מענק לפי תוכנית 20/20. העלות הכוללת של התוכנית הסתכמה ב-350 מיליון דולר, ולזכותה נרשמה הורדת צריכת החשמל ב-5,250 ג'יגה-ואט (Goldman et al., 2002).

¹¹ לפי סקר טלפוני שנערך בקליפורניה (Goldman et al., 2002) (ראו נספחים, טבלה 11).

עם זאת, חשוב להתייחס לתוצאות התוכנית בעירבון מוגבל. זאת כיוון שמספר סיבות שונות עשויות להוביל לכך שחלק ממשקי הבית "יחסכו" 20% מצריכת החשמל שלהם באחד מחודשי הקיץ מבלי שבאמת עשו מאמצים להורדת הצריכה (לדוגמה, שינוי בתאריכי חופשה שנתית). לכן אפשר לומר שתוצאות אלה הן גבול עליון למספר הצרכנים שאכן הפחיתו את צריכת החשמל ב-20% או יותר. אך עדיין מתקבל שהמחיר ששולם בתוכנית זאת להורדת 1 מגה-ואט היה נמוך בהרבה מאשר בתוכניות אחרות להפחתת ביקושים (90 דולר בתוכנית זו לעומת 260–280 דולר בתוכניות אחרות). כפי שניתן לראות בטבלה 1, קיץ 2001 עבר ללא הפסקת חשמל, והעלות הכספית של התוכנית הייתה נמוכה בהרבה מהנזק שהיה צפוי לכלכלת קליפורניה עקב הפסקות החשמל.

טבלה 1 – מצבי חירום של מערכת החשמל בקליפורניה

Number of Events	"Pre-Crisis"				June - Sept. 2001
	Dec 1998- June 2000	June - Sept. 2000	Oct. 2000- Jan. 2001	Feb. – May 2001	
Stage 1	12	31	56	45	2
Stage 2	7	16	41	41	2
Stage 3	0	0	19	20	0
Rolling Blackouts	0	0	4	4	0

מקור: California Energy Commission, 2003.

טבלה 1 מתארת את מספר הפעמים שהוכרז בהן מצב מיוחד במשק החשמל של קליפורניה. "שלב 1" מתאר מצב שהרזרבה הזמינה בו בפועל נמוכה מ-7%; "ב"מצב 2" הרזרבה הזמינה בפועל נמוכה מ-5%; "ב"מצב 3" הרזרבה הזמינה בפועל נמוכה מ-1.5%. המצב האחרון (Rolling Blackouts) הוא הפסקת חשמל יזומה באחד המחוזות בהתאם לחוסר יכולת אספקת החשמל של המערכת.

כאשר מנרמלים את ההשפעות של מזג האוויר והצמיחה הכלכלית מסתבר שהביקושים השנתיים לחשמל ירדו ב-6.7% ביחס לשנת 2000. בחודשי הקיץ הייתה ירידה גדולה אף יותר, של 7.5%, ביחס לקיץ 2000. אך הנתון החשוב ביותר הוא ירידה של שיאי הביקוש החודשיים בכ-10.4% בממוצע. מנתון זה ניתן ללמוד שבעזרת התגייסות המגזר הביתי ניתן להשיג בשעות שיא הביקוש חיסכון שגדול יותר מאשר ממוצע החיסכון. עובדה זו חשובה משום שהיא מגדילה את הכדאיות הכלכלית בשימוש בתוכנית להסטת ביקושים, ועוזרת לתכנן את משק החשמל ולהקטין את שיאי הביקוש הצפויים.

בעקבות משבר האנרגיה בקליפורניה עלו הנקודות הבאות (California Energy Commission, 2003):

- הגמישות בהסטת ביקושים בקרב צרכני החשמל הייתה גבוהה מהמצופה.
- שינויי ההתנהגות הובילו לרוב החיסכון בחשמל ולא התייעלות אנרגטית.

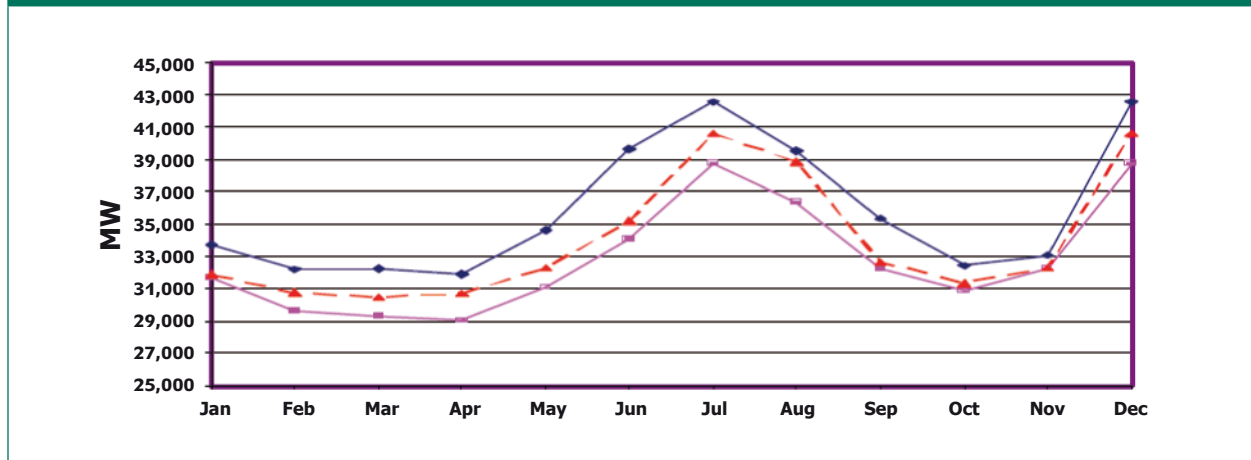
- נכונות הצרכנים לכבות מזגנים תרמה רבות למאמצי החיסכון (מזגנים הם הצרכן מספר 1 של חשמל בקליפורניה. בשעות השיא צורך השימוש במזגנים בקרב משקי הבית ובקרב המגזר המסחרי 15% ו-13.5% מסך הביקוש לחשמל בהתאמה).
- החיסכון לא התחלק בצורה שווה באוכלוסייה.
- שינויי ההתנהגות לא נבעו תמיד מאינטרס כלכלי, ולפעמים נבעו מהרגשת "חובה אזרחית".
- יישום מהיר של תוכניות לחיסכון בחשמל הוא אפשרי (לא מחויבת השקעה מראש ולאורך שנים. יש פתרון אפשרי למצבי חירום).
- חלק מדפוסי ההתנהגות החדשים נשמרו גם אחרי שהמשבר עבר.

הנקודה האחרונה חשובה במיוחד: ההשפעות של התוכנית יימשכו שנים נוספות, ולכן הרווחים מהתוכנית יהיו גבוהים אף יותר מאשר התוצאות שהתקבלו בשנת 2001. מחקר שבחן את השלכות תוכנית החיסכון בקליפורניה מעריך שבין 25% ל-30% מהחיסכון בשעות השיא יישמר לאורך השנים, כי הוא נובע מהשקעה בטכנולוגיות להסתת ביקושים וממכשירי חשמל בעלי צריכת אנרגיה נמוכה (Goldman et al., 2002).

חיסכון נוסף יתקבל כתוצאה משינוי התנהגות ארוך טווח של הצרכנים, אך המאמץ לא מכמת השפעה זאת. החוקרים מזהים כי תגובת הביקושים (Demand Response) השתפרה בעקבות המשבר, ולכן מעריכים כי בעתיד יהיה קל יותר להשפיע על התנהגות הצרכנים בעזרת שינויי מחירים.

גרף 3 מפרט את שיאי הביקוש החודשיים בקליפורניה בשנים 2000–2002 בניכוי הבדלים שנובעים ממוזג האוויר ומצמיחה כלכלית.

גרף 3 – שיאי הביקוש החודשיים בקליפורניה (בניכוי צמיחה כלכלית ומזג אוויר)



מקור: California Energy Commission, 2003.

מגרף 3 ניתן לראות שבשנת 2001, בעקבות התמריצים הכלכליים והקמפיין הפרסומי, הביקושים נמוכים משמעותית מאשר בשנת 2000, אך גם לאחר שהופסקו התמריצים הכלכליים בסוף 2001 לא חזרו הביקושים לאלה של שנת 2000. לאורך כל שנת 2002 נשארו הביקושים נמוכים מהביקושים של שנת 2000.

משרד האנרגיה בקליפורניה ניצל את המשבר לעריכת מחקרים מקיפים על התנהגות הצרכנים ועל תגובתם לתמריצים כלכליים ושאינם כלכליים. אחד המחקרים הבולטים בדק את ההתנהגות שהפגינו המגזרים השונים במהלך קיץ 2001 (Lutzenhiser et al., 2002).

מן המאמר עולים מספר גילויים חשובים:

- צרכנים מודעים לסך ההוצאות על אנרגיה ומודאגים לגביהן, אך לא חושבים שמידע פרטני (למשל כמה עולה שעת צפייה בטלוויזיה) הוא חשוב במיוחד.
- האזרחים מוכנים להירתם למאמצי החיסכון, בייחוד תחת תנאים מיוחדים.
- צרכנים בקליפורניה מבינים שבעיות אנרגיה נעשו חלק בלתי נפרד מחייהם, ולכן קל להם יותר להתאים את ביקושיהם למציאות המשתנה ("Demand Responsive").
- צרכנים מודאגים מגידול בעלויות אספקת האנרגיה, ומציינים שהם רוצים לראות הוכחות שתעריפי תעו"ז אכן יוזילו את העלות עבורם לפני שיסכימו לעבור לתעריף זה.
- ניסויים מוכיחים שיש הסכמה כללית באשר לנחיצותם של תעריף תעו"ז ושל מהלך להסטת ביקושים, אך גם מוכיחים שיעורי התנדבות נמוכים מאוד לתוכניות אלה.

גילויים אלה באשר לדרך שהצרכנים מתאימים בה את התנהגותם למצב החדש שנוצר, פותחים צוהר להבנת התהליך של הסטת ביקושים בטווח הקצר ובטווח הארוך, ומלמדים אותנו מהי התועלת שניתן להפיק מתוכניות אלה וכיצד צריך לבצע אותן כדי לקבל תוצאות מיטביות. מסקנות אלה ישמשו בהמשך לצורך בחינת הכדאיות הכלכלית של התוכנית להסטת ביקושים בישראל.

ברזיל (2001-2002)

במהלך שנת 2001 התפתח בברזיל החשש כי רשת החשמל במדינה לא תוכל לספק את הביקוש לחשמל בתקופת הקיץ, כלומר במהלך סוף 2001 ובתחילת 2002.¹² הקושי בהתמודדות עם הביקוש לחשמל נבע מתקופת בצורת ממושכת, שפגעה בכושר ייצור החשמל בתחנות ההידרואלקטריות שסיפקו 80% מהחשמל במדינה, ומהאצה גבוהה בפעילות הכלכלית במשק, שלווה בגידול בביקוש לחשמל (International Energy Agency, 2005).

במאי 2001 החליטה הממשלה להקים ועדה שתבחן את ההתמודדות עם המחסור בחשמל. המלצות הוועדה היו לנקוט צעדים דרסטיים כדי למנוע מחסור בחשמל. הצעדים כללו:

1. **קיצוב חשמל** – הוועדה המליצה לקבוע הקצבת חשמל על פי 5 קטגוריות שונות. באופן כללי, מכסת החשמל של כלל הצרכנים הייתה שווה ל-80% מצריכת החשמל ביוני 2000 (כשנה לפני המשבר). טבלה 2 מתארת את החיסכון שנדרשו לו הצרכנים על פי קטגוריות.

¹² עונות השנה בחצי הכדור הדרומי הפוכות. לפיכך, הקיץ בברזיל הוא בחודשים דצמבר עד פברואר.

טבלה 2 - רמת החיסכון הנדרשת על פי קטגוריה

יעדים לחיסכון באנרגיה בברזיל, לפי מגזרים

מגזר	חיסכון (%)
תאורת רחוב	35
מגזר ציבורי ומספר תעשיות (ברזל, בטון, כימיקלים, מכרות, נייר, עץ, ריהוט)	25
משקי בית (מעל 100 קוט"ש/חודש)	20
תעשייה (מוצרי חשמל, מזון, משקאות, טקסטיל, עור, נפט וגז)	15
משקי בית (פחות מ-100 קוט"ש/חודש)	0

מקור: International Energy Agency, 2005.

2. העלאת תעריפי החשמל ושיבוש אספקת החשמל הסדירה עבור צריכת חשמל עודפת – לקוחות שחרגו מצריכת החשמל שהוקצבה להם סבלו מאי-סדירות באספקת החשמל, ונאלצו לשלם מחירים הגבוהים ב-50% ועד 200% על צריכת החשמל מעבר להקצבה.
3. מתן אפשרות לסחור במכסות החשמל בין צרכני חשמל תעשייתיים – המגזר התעשייתי הראה קושי בשינוי צריכת החשמל בפרק זמן כה קצר. לפיכך, אפשרה הממשלה לצרכנים התעשייתיים לסחור במכסות חשמל. מפעלים מסוימים אף הגיעו למצב שמכירת מכסות החשמל שלהם הייתה פעולה רווחית יותר מאשר ייצור המוצרים ומכירתם בשוק (תעשיית האלומיניום והנחושת לדוגמה).
4. הנחות בתעריפי החשמל למשקי בית החוסכים מעבר לנדרש – צרכני חשמל קטנים קיבלו בונוס של ריאל ברזילאי אחד על כל קוט"ש שהם חסכו. באופן מפתיע, צרכנים אלה השיגו שיעורי חיסכון מרשימים.
5. העלאת המודעות הציבורית למשבר ברמה הלאומית – הממשלה פתחה בקמפיין ענק להעלאת מודעות האזרחים למחסור בחשמל. הקמפיין הזהיר מפני ניתוקי חשמל לצרכנים שלא יחסכו, ונתן המלצות על דרכים לחסוך חשמל. נוסף על כך, הממשלה ערכה מבצעים לרכישת נורות פלואורסצנט לצרכנים הביתיים, ומעל 5.5 מיליון נורות מסוג זה נרכשו.
6. צעדים לייעול צריכת האנרגיה – בסוף שנות ה-80 ובתחילת שנות ה-90 סבלה ברזיל משיעורי אינפלציה גבוהים. משפחות רבות התמודדו עם בעיה זאת על ידי קניית תצרוכת המזון החודשית עם קבלת המשכורות (כדי שהכסף לא יישחק כתוצאה מעליות המחירים), אך הדבר דרש מהן לרכוש מקפיאים גדולים שצרכו אנרגיה רבה. המחסור בחשמל, שהוביל משפחות רבות לחיפוש אחר צעדים שיורידו את צריכת החשמל הביתית, הוביל להחלפת מקררים רבים שכבר לא היו דרושים עקב ריסון האינפלציה. נוסף על כך, רשויות ממשלתיות קיבלו הוראות להפחית את צריכת החשמל לתאורה עד 50%. גם בנקים וחנויות שינו את שעות הפעילות שלהם כדי לחסוך בצריכת החשמל.

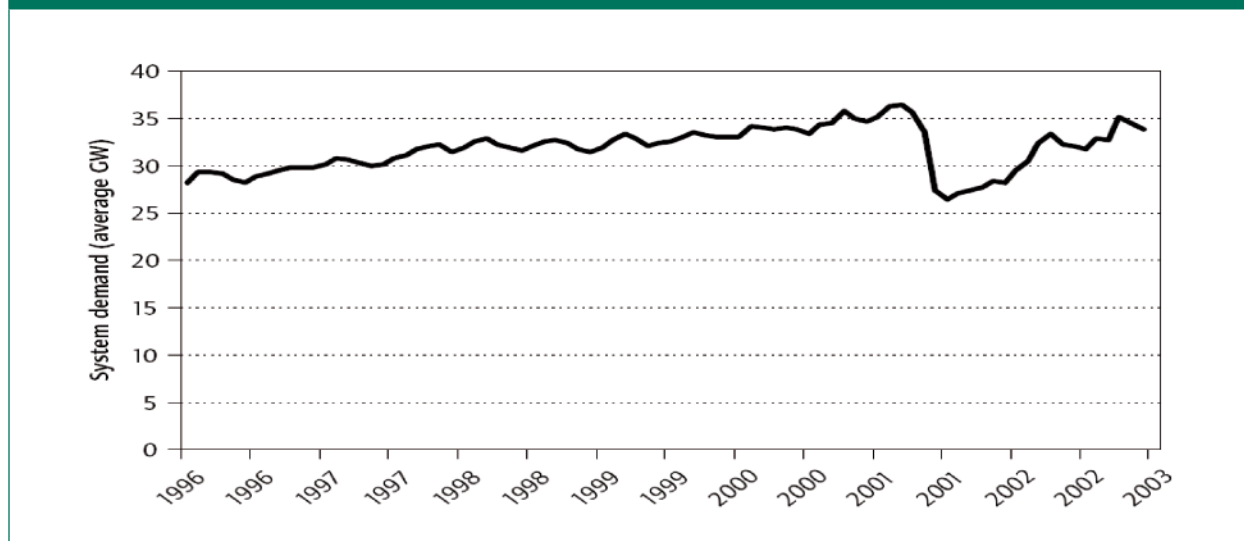
תוצאות

לתוכנית הקיצוב של ברזיל הייתה השפעה מיידית על התנהגות הצרכנים. יעדי הקיצוץ של 20% מצריכת החשמל הושגו בחודשים יוני-דצמבר 2001 בהשוואה לתקופה המקבילה בשנת 2000. כאשר מביאים בחשבון את העובדה כי בשנה זו גדל מספר צרכני החשמל והושגה צמיחה כלכלית, הרי שהחיסכון שהושג היה גבוה יותר (ביחס למצב "עסקים כרגיל") והגיע ל-25%. חשוב לשים לב שחיסכון בחשמל לא נרשם רק כתוצאה מתמריצים כלכליים, אלא גם מהעלאת המודעות לנושא. באזורים בדרום ברזיל, שכלל לא חויבו רשמית בקיצוב חשמל, צרכנים רבים נענו לקמפיין התקשורתי שעודד חיסכון בחשמל. החיסכון המשמעותי שהושג בביקוש לחשמל, לצד עונת משקעים רגילה, ביטלו את הצורך בנקיטת צעדים נוספים כגון הפסקות חשמל ו/או האפלות, והביאו את כמות המים במאגרים חזרה לרמות רגילות. בעקבות השיפור במצב החליטה הממשלה לסיים את תוכנית הקיצוב בפברואר 2002.

השפעות מתמשכות של תוכנית קיצוב החשמל

כפי שהתרחש בקליפורניה, גם בברזיל הובילו הצעדים לחיסכון בחשמל והעלאת המודעות לנושא לשינויי התנהגות ארוכי טווח. ניתן לראות בגרף 4 שהביקוש לחשמל ירד בצורה חדה, וחזר לרמה שלפני המשבר רק כעבור שנתיים (שכללו צמיחה כלכלית וגידול במספר צרכני החשמל). "פסק הזמן" שנלקח בעלייה בביקוש לחשמל אפשר את פיתוח תשתית החשמל ואת אספקת הביקושים באופן סדיר.

גרף 4 - התפתחות הביקוש לחשמל בברזיל לאורך זמן

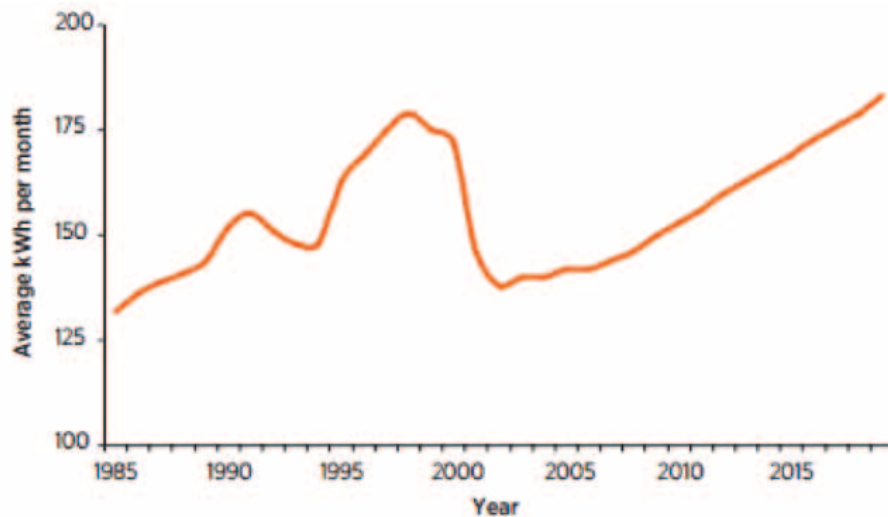


מקור: International Energy Agency, 2005.

ניתן לראות תופעה זו גם דרך צריכת החשמל הממוצעת של משקי הבית בברזיל. ערב תוכנית הקיצוב הייתה צריכת החשמל הממוצעת כ-180 קוט"ש בחודש למשק בית. תוכנית הקיצוב הובילה לירידה לרמה של 140 קוט"ש למשק בית ממוצע (עקב שינויים בהרגלי הצריכה), וגם כיום לא חזרה הצריכה הממוצעת לרמתה טרום המשבר. גרף 5 מראה את צריכת

החשמל בקרב הצרכנים הביתיים בברזיל. הצריכה צפויה לשוב לרמתה טרום המשבר רק ב-2019 (18 שנים לאחר המשבר!) וזאת למרות הצמיחה הכלכלית המהירה שחווה המדינה.

גרף 5 - צריכת החשמל הממוצעת במגזר הביתי בברזיל

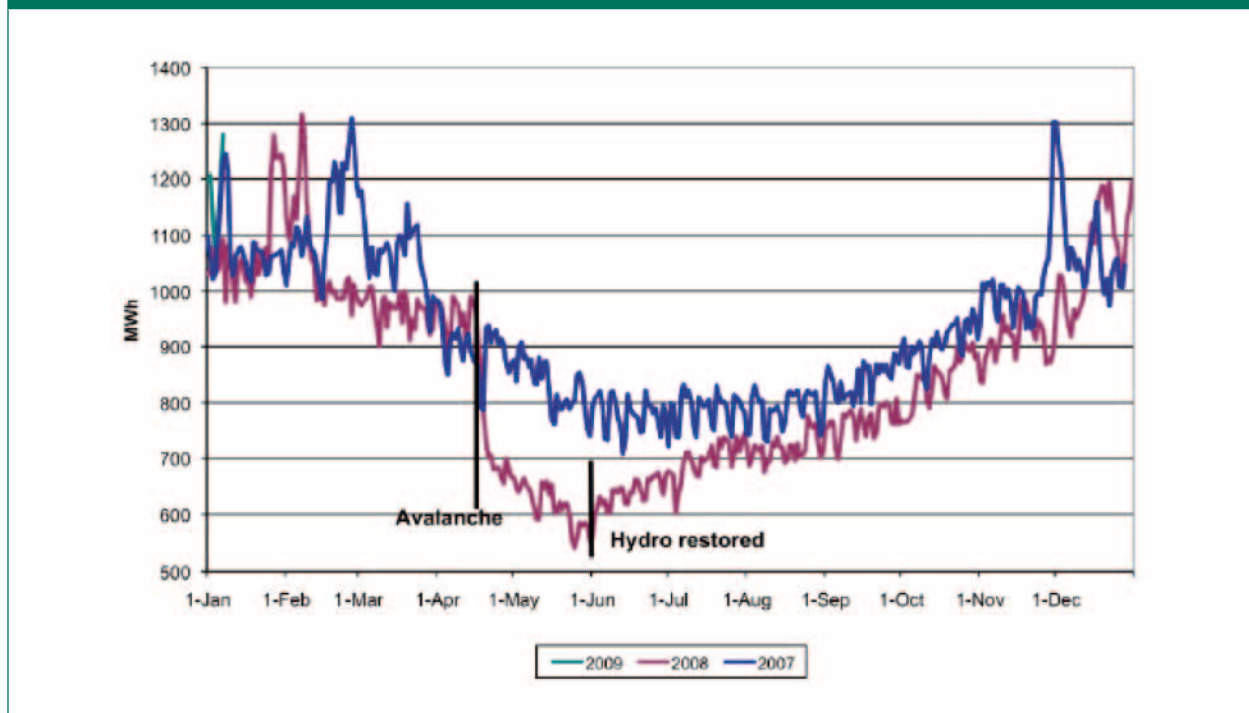


מקור: ESMAP, 2011.

ג'ונו, אלסקה (2008)

באפריל 2008 ניתקה מפולת הרים את החיבור של העיר ג'ונו (Juneau) לתחנת הכוח ההידרואלקטרית המספקת 90% מצריכת החשמל של העיר. במשך 6 שבועות, עד תיקון התקלה, נעשתה כל אספקת החשמל בעיר בעזרת גנרטורים שהופעלו בדיזל. באותם הימים הייתה עלותו של הדיזל גבוהה בהרבה מעלות החשמל ההידרואלקטרי, והעירייה הבינה כי הדרך היחידה למנוע ממחירי החשמל לעלות דרסטית היא לעודד חיסכון ניכר בקרב התושבים. קמפיין תקשורתי נרחב החל, וצריכת החשמל ירדה בצורה ניכרת. תוך 6 שבועות, בעקבות הקמפיין כמו גם בעקבות השיפור במזג האוויר (תחילת האביב), ירדה צריכת החשמל ב-40%. כאשר משווים את צריכת החשמל לתקופה המקבילה בשנה הקודמת (בתקנון על פי מזג אוויר וצמיחה כלכלית) החיסכון שהושג עמד על 30%-25%, כפי שניתן לראות בגרף 6.

גרף 6 - צריכת החשמל בג'ונו אלסקה



מקור: International Energy Agency, 2011.

שתי תוצאות מעניינות עולות מהמקרה של ג'ונו:

1. החיסכון בחשמל נבע כמעט לחלוטין מהעלאת המודעות ולא מתמריצים כלכליים. מרבית החיסכון בחשמל נעשה בזמן שבו הצרכנים עדיין שילמו את מחיר החשמל הנמוך ששרר לפני המפולת (International Energy Agency, 2011).
2. שנה לאחר המשבר, צריכת החשמל עדיין לא חזרה לרמתה משנת 2007. שליש מהחיסכון שהושג בזמן המשבר – נשמר גם כשנה לאחריו. עובדה זאת מראה את ההשלכות ארוכות הטווח של העלאת המודעות לחיסכון בחשמל.

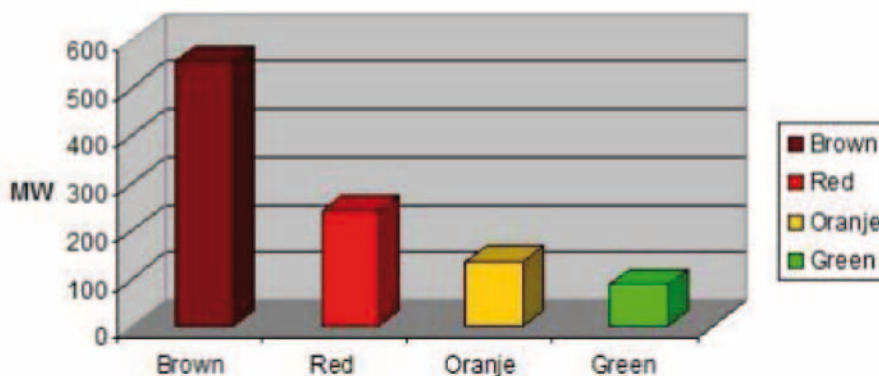
דרום אפריקה (2008–2009)

בתחילת 2008 סבלה דרום אפריקה ממחסור ביכולת ייצור החשמל לאחר שפיתוח משק החשמל לא עמד בקצב עליית הביקושים בשנים שקדמו לו. כדי להדביק את הביקושים לחשמל החלה חברת החשמל הדרום אפריקאית בבניית תחנות כוח חדשות. בד בבד עם הבנייה, החליטה הממשלה על קיצוב חשמל בייחוד במגזר התעשייתי (International Energy Agency, 2011). עד אמצע השנה הקטינו תוכניות להפחתת הביקושים את ביקושי השיא במדינה ב-10%.

הממשלה הבינה שהתמקדות במגזר התעשייתי בלבד אינה מספיקה. אף על פי שהביקושים במגזר הביתי היו רק 20% מהביקושים לחשמל במדינה, משקלם בשעות העומס גבוה בהרבה (ESMAP, 2010). לפיכך, החלה הממשלה לפרסם "התרעות חשמל" באינטרנט ובטלוויזיה במהלך שעות העומס. ההתרעות חולקו לארבע קטגוריות של רמות המחסור

בחשמל, והצליחו להשיג חיסכון של בין 100 מגה-ואט ל-500 מגה-ואט בממוצע מצריכת השיא (עד 1.5% מביקושי השיא), כפי שניתן לראות בגרף 7.

גרף 7 - התרעות חשמל בדרום אפריקה



מקור: ESMAP, 2010.

סיכום צעדים לטווח הקצר

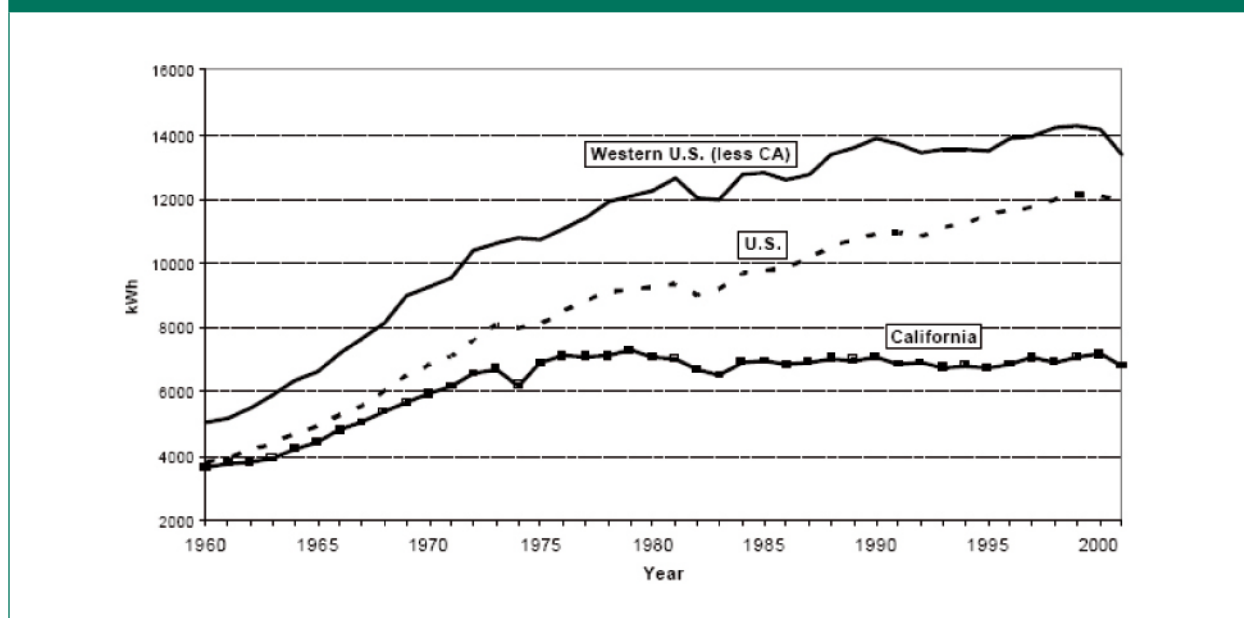
בעשור האחרון התמודדו מספר מדינות עם מחסור בחשמל, שנבע מסיבות שונות. מדינות אלה, שחלק מהן תוארו בפרק זה, אימצו דרכים שונות לטיפול במשבר, וזכו כולן להצלחות מרשימות. מספר מסקנות עולות מהצעדים שנקטו ומהשלכותיהם:

1. המגזר הביתי מראה גמישות גבוהה מהצפוי. קיימת יכולת לחיסכון ולהסטת ביקושים משמעותית במגזר זה גם בטווח הזמן הקצר.
 2. תמריצים כלכליים מובילים להפחתת הביקוש לחשמל ולהסטתו לשעות השפל בכל המגזרים.
 3. העלאת מודעות הציבור לנושא מובילה לחיסכון בחשמל גם ללא נקיטת תמריצים כלכליים.
 4. לפעולות קצרות טווח של הממשלה יש השפעות ארוכות טווח על הציבור - הרגלים של חיסכון בחשמל נמשכו גם לאחר תום המשבר, אם כי ברמה פחותה יותר.
 5. גם משקי בית עניים מסוגלים לחסוך בצריכת החשמל כאשר ניתנים להם תמריצים כלכליים נכונים.
- תוצאות אלה מראות כי מעבר לצורך המידי של הממשלה להתמודד עם המחסור הצפוי בחשמל בקיץ הקרוב, ניתן למנף את תוכניות החיסכון בחשמל ולהשתמש בהן לצורך בניית פתרונות ארוכי טווח. בפרק הבא אתאר פתרונות מסוג זה בקליפורניה וכן את הפירות הכלכליים שניתן לקבל ממהלכים אלה.

פתרונות לטווח ארוך - משק החשמל בקליפורניה כדוגמה

קליפורניה, אחת המדינות הבולטות בארה"ב ובעלת הכלכלה ה-8 בגודלה בעולם כולו, היא דוגמה יוצאת דופן לפוטנציאל חיסכון בתחום החשמל. צריכת החשמל לנפש בקליפורניה כמעט שלא השתנתה מאז תחילת שנות ה-70, בזמן שבשאר מדינות ארה"ב הגידול בשימוש בחשמל נשמר קבוע פחות או יותר. כבר משנת 1960 הייתה הצריכה לנפש בקליפורניה נמוכה יותר מאשר בשאר מדינות ארה"ב, כפי שניתן לראות בגרף 8.

גרף 8 - התפתחות צריכת החשמל לנפש בארה"ב, במדינות מערב-ארה"ב ובקליפורניה (1960-2000)



מקור: California Energy Commission, 2003.

במהלך העשור האחרון היה התוצר לנפש בקליפורניה מהגבוהים ביותר במדינות מערב-ארה"ב.¹³ הקשר בין תוצר לנפש לבין צריכת חשמל לנפש הוא חיובי ומובהק, וגמישות ההכנסה נאמדה ב-0.97 לארה"ב (Espey and Espey, 2004). ובכל זאת, הצריכה לנפש בקליפורניה נמוכה משמעותית מהצריכה לנפש בשאר מדינות מערב-ארה"ב. מתחילת שנות ה-90 מדובר בפער שמגיע ל-6,000-7,000 קוט"ש בשנה (בערך כמו הצריכה לנפש בישראל), כלומר אין מדובר בסטייה קלה בביקושים, אלא במדינה שהמאפיינים הכלליים של צריכת החשמל בה שונים בתכלית מאשר בשכנותיה, אף על פי שהן כולן חלק מאותה מדינה ומאותה התרבות וחולקות קווי דמיון נוספים רבים. למעשה, על פי נתונים של הוועדה לאנרגיה של קליפורניה בשנת 2010, הייתה הצריכה לנפש בקליפורניה 6,724 קוט"ש - הנמוכה ביותר בכל ארה"ב. לשם השוואה,

¹³ מתוך Bureau of Economic Analysis, 2012b.

הצריכה הממוצעת בארה"ב הייתה 12,146 קוט"ש לנפש (80% יותר מאשר בקליפורניה), והצריכה בווימינג (המדינה בעלת הצריכה הגבוהה ביותר לנפש) הייתה 27,457 קוט"ש לנפש, שהם יותר מפי 4 מצריכת החשמל לנפש בקליפורניה.¹⁴ לצריכת החשמל המרוסנת בקליפורניה יש השלכות כלכליות רבות. כך למשל, אילו הצריכה הממוצעת לנפש בקליפורניה הייתה הצריכה הממוצעת לנפש של מדינות ארה"ב, הייתה צריכת החשמל בשנת 2010 גבוהה יותר בכ-202,102 ג'יגה-ואט לפחות.¹⁵ מחיר החשמל בארה"ב הוא 9.83 סנט לקוט"ש בממוצע.¹⁶ לפי מחיר זה, החיסכון הכספי של קליפורניה בשנת 2010 בלבד הוא 19.866 מיליארד דולר, השווה ל-1.05% מהתוצר של מדינה זאת.¹⁷ חיסכון זה מושג רק מעלויות משתנות במקטע הייצור.

כמו כן, צריך לקחת בחשבון עלויות קבועות של אחזקת יחידות ייצור חשמל. בעקבות פעולות שנקט הממשל בקליפורניה לאורך שנים ירדו ביקושי השיא דרמטית. כך למשל, שיא הביקוש בשנת 2001 היה נמוך בכ-10,000 מגה-ואט מביקושי השיא הצפויים לולא נקטה פעולה על ידי הממשל (California Energy Commission, 2003). עלות אחזקה שנתית של מגה-ואט מותקן היא בין 50,000 דולר ל-100,000 דולר (U.S Department of Energy, 2006). כלומר, בעקבות הצורך להחזיק פחות יחידות ייצור נוצר למדינת קליפורניה חיסכון נוסף של 0.5-1 מיליארד דולר בשנת 2001. לאור העובדה שקליפורניה המשיכה במאמציה להפחית את שיאי הביקוש (California Energy Commission, 2010), אפשר להבין שהחיסכון בשנת 2010 היה גבוה עוד יותר. נוסף על כך, החיסכון בצריכת החשמל מוביל להפחתת עלויות במקטעי החלוקה וההשנאה, להקטנת עלויות סביבתיות ולתועלת ציבורית נוספת.

קליפורניה הוכיחה ב-40 השנים האחרונות שניתן לחסוך עלויות משמעותיות במשק האנרגיה, ובכל זאת לשמור על רמת חיים גבוהה. חיסכון של יותר מ-1% תוצר המתקבל בקליפורניה כל שנה הוא שווה ערך ל-8 מיליארד \$ של חיסכון שנת בישראל נכון לשנת 2010. מעניין לבחון איפה נמצאת ישראל בהשוואה בין ארה"ב לקליפורניה.

השוואה בין ישראל וקליפורניה

קליפורניה עשתה מאז שנות ה-70 צעדים רבים כדי לצמצם את הביקוש לחשמל, בעוד ששאר מדינות ארה"ב לא הלכו בעקבותיה. מעניין לראות איפה נמצאת מדינת ישראל ביחס למדינות ארה"ב. האם היא דומה יותר לפרופיל של מדינות חסכניות בחשמל, כמו קליפורניה, או דווקא לצרכניות החשמל הגדולות כגון ווימינג?

כדי להשוות בין המדינות נעזר בתוצר לנפש כמסביר של הביקוש לחשמל. מבחינה כלכלית חשמל הוא מוצר נורמלי, וזה אומר שעלייה בהכנסתו של פרט תגרום לעלייה בביקוש שלו לחשמל (גמישות הכנסה חיובית). במצבים שמדינה מתפתחת בהם במהירות, ייתכן אף מצב שבו החשמל מתנהג כמוצר "סופר-נורמלי". במצב זה גמישות ההכנסה גדולה מ-1, כלומר גידול של 1% בהכנסה מגדיל את הביקוש לחשמל ביותר מ-1%. מבחינה תאורטית, גמישות ההכנסה אמורה לקטון כאשר מדינה מפותחת עוברת מכלכלת ייצור לכלכלת שירותים.

¹⁴ הנתונים נלקחו מהאתר energyalmanac.ca.gov (California Energy Commission, 2012).

¹⁵ עיבוד עצמי על פי נתונים מ-energyalmanac.ca.gov (California Energy Commission, 2012b).

¹⁶ על פי נתונים מתוך U.S. Energy Information Administration, 2012.

¹⁷ על פי נתונים מתוך Bureau of Economic Analysis, 2011.

כדי לבחון את גמישות ההכנסה במדינת ישראל נעשתה אמידה בעזרת נתונים היסטוריים שמפרסמת חח"י על הביקושים לחשמל מאז הקמתה ובעזרת נתונים מהלמ"ס לגבי התוצר לנפש במדינת ישראל משנת 1950 ועד ימינו. האמידה נעשתה על ידי מודל LOG-LOG, שהמשתנה המוסבר בו הוא צריכת החשמל לנפש, והמשתנה המסביר הוא התוצר לנפש. עולה כי גמישות ההכנסה היא 1.63 וחשמל הוא מוצר "סופר-נורמלי".¹⁸ הסתכלות על השנים האחרונות מראה ירידה בגמישות. אמידה נוספת שנעשתה מתחילת שנות ה-2000 מראה שהחשמל הופך למוצר נורמלי בלבד, עם גמישות הכנסה של 0.6.¹⁹ תהליך זה של ירידת גמישות ההכנסה ככל שמדינה מתקרבת לרמות הצריכה לנפש של המערב, תואם את הניסיון הבין-לאומי ואת ההתפתחות המתוארת בספרות. לדוגמה, מאמר אחד מראה שגמישות ההכנסה של הטווח הארוך בארה"ב היא 0.97, אך גם מציין שבמדינות מתפתחות הוא גבוה בהרבה, כלומר מגמת הגידול בצריכת החשמל מתמתנת עם הגידול בתוצר לנפש (Espey and Espey, 2004).

מכיוון שמרבית ההשוואות הבין-לאומיות משוות בין מדינות שונות, לא נמצא מאגר מידע אחד שמשווה בין מדינות בארה"ב (states) לבין מדינות העולם. לפיכך, יובאו נתונים בין-לאומיים מהארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים (Organization for Economic Co-operation and Development) – OECD – להשוואה בין ישראל וארה"ב, ובנתונים המפורסמים בארה"ב להשוואה בין הממוצע הארצי לבין המדינות השונות. בשנת 2010 עמד התוצר לנפש מותאם כוח קניה על 41,975 דולר בארה"ב ועל 26,000 דולר בישראל.²⁰ כלומר, התוצר בארה"ב היה גבוה פי 1.6 מהתוצר לנפש בישראל באותה שנה. בקליפורניה היה התוצר לנפש גבוה אף יותר מהממוצע בכלל ארה"ב. על פי נתוני המשרד לניתוח כלכלי Bureau of Economic Analysis – BEA, התוצר לנפש בקליפורניה גבוה יותר מהתוצר לנפש בארה"ב מאז 1997 ועד היום, והפער הממוצע ביניהם בעשור האחרון עומד על 10%.²¹ כלומר אפשר לומר בקירוב שהתוצר לנפש בקליפורניה גבוה מהתוצר לנפש בישראל פי 1.75.

בישראל צריכת החשמל לנפש בשנת 2010 הייתה 6,238 קוט"ש, כלומר בערך 93% מצריכת החשמל לנפש בקליפורניה (6,724 קוט"ש) וכ-51% מצריכת החשמל הממוצעת בארה"ב (12,146 קוט"ש).

מכיוון שהתוצר לנפש בקליפורניה גבוה מהתוצר לנפש בארץ, היינו מצפים שצריכת החשמל תהיה גם היא גבוהה יותר, מכיוון שגמישות ההכנסה היא חיובית. הצריכה לנפש אכן גבוהה יותר בקליפורניה, אך השאלה היא אם באופן יחסי היא לא נמוכה יותר.

כדי לאמוד את השפעת התוצר לנפש על הביקוש לחשמל לנפש הורצו מספר רגרסיות, שבחנו את גמישות הביקוש לחשמל בישראל ביחס לתוצר. כזכור, רגרסיה 1 הראתה גמישות של 1.63 לחשמל משנת 1950 ועד 2010, ורגרסיה 12, שהורצה משנת 2000 ועד שנת 2010, הראתה גמישות של 0.6 בלבד. ירידת הגמישות צפויה ככל שעולה התוצר לנפש במדינה, כפי שמראים מחקרים בין-לאומיים. מכיוון שהתוצר לנפש בישראל נמוך מזה שבארה"ב, נראה לא סביר שהגמישות תפחת מ-0.97, שהיא הגמישות לטווח ארוך שנאמדה בארה"ב (Espey and Espey, 2004).

¹⁸ פרק נספחים – רגרסיה 1.

¹⁹ פרק נספחים – רגרסיה 12.

²⁰ על פי מידע מהארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים (OECD, 2012).

²¹ נתונים שנלקחו מתוך Bureau of Economic Analysis, 2012a.

לפיכך, בטבלה 3 מרוכזות תוצאות של 11 רגרסיות שהורצו משנת ההתחלה המצוינת ועד 2010. הרגרסיות מציגות את גמישות הביקוש ואת אומדן הביקוש לחשמל לנפש הנגזר מהן בהנחה שבמדינת ישראל התוצר לנפש היה זהה לזה של ארה"ב או קליפורניה.

טבלה 3 - גמישות הביקוש לחשמל לנפש לתוצר לנפש ואומדן צריכה עתידי						
מספר רגרסיה	שנת התחלה	שנת סיום	Beta	אומדן כאשר התוצר לנפש הוא כמו בארה"ב	אומדן כאשר התוצר לנפש הוא כמו בקליפורניה	
2	1990	2010	1.59	12,189	13,677	
3	1991	2010	1.55	12,039	13,490	
4	1992	2010	1.447	11,654	13,008	
5	1993	2010	1.396	11,463	12,769	
6	1994	2010	1.327	11,205	12,446	
7	1995	2010	1.236	10,864	12,021	
8	1996	2010	1.11	10,393	11,431	
9	1997	2010	0.9717	9,875	10,784	
10	1998	2010	0.84	9,382	10,168	
11	1999	2010	0.746	9,030	9,728	
12	2000	2010	0.601	8,487	9,050	

* כל הרגרסיות מובהקות ברמת מובהקות של 1%.

מקור: מכון מילקן, 2012.

מטבלה 3 ניתן לראות כי כמעט בכל הגמישויות שנאמדו, יהיה הביקוש לחשמל לנפש בישראל נמוך יותר מאשר בארה"ב (חוץ מרגרסיה 2 החוזה ביקוש גבוה במעט מאשר בארה"ב). אך בכל האומדנים יהיה הביקוש לחשמל בישראל גבוה בהרבה מאשר בקליפורניה. למעשה, כדי שהביקוש בישראל ישתווה לביקוש בקליפורניה נדרשת גמישות הכנסה של 0.1, שלא נראית סבירה.

תוצאות אלה מראות שישראל, באופן יחסי, קרובה יותר לממוצע מדינות ארה"ב מאשר לקליפורניה. לאור החיסכון הרב שהושג בקליפורניה ניתן להבין שפוטנציאל החיסכון בישראל גדול הרבה יותר.

בהקשר זה חשוב לציין כי ייתכן שבעקבות המשברים הכלכליים שהתרחשו בעשור האחרון (2002/3 ו-2008/9) התוצאות שמתקבלות מוטות כלפי מטה. בהתאם לתוצאות של מחקרים בין-לאומיים יהיה סביר להניח שגמישות ההכנסה של חשמל בישראל גבוהה מ-1.

משתנה חשוב נוסף הוא הצריכה לנפש בשעת שיא הביקוש השנתי, מכיוון ששיא הביקוש קובע בכמה כושר ייצור צריכה חברת החשמל להחזיק. שיא הביקוש בישראל בשנת 2010 היה 1.42 קוט"ש לנפש (חברת החשמל לישראל, 2010א), בארה"ב 2.5 קוט"ש לנפש, ובקליפורניה 1.68 קוט"ש לנפש.^{22,23}

שיא הביקוש לנפש בישראל מהווה כ-57% משיא הביקוש בארה"ב וכ-85% משיא הביקוש בקליפורניה.

כדי לאמוד את שיא הביקוש החזוי בישראל בהינתן שהתוצר לנפש בישראל היה שווה לארה"ב או לקליפורניה בהתאמה, הורצו גרסיות 13-23 כדי להעריך את גמישות ההכנסה של שיא הביקוש לנפש לתוצר לנפש.

טבלה 4 - גמישות שיא ביקוש לחשמל לנפש לתוצר לנפש ואומדן שיא ביקוש עתידי

מספר גרסיה	שנת התחלה	שנת סיום	Beta	אומדן כאשר התוצר לנפש הוא כמו בארה"ב	אומדן כאשר התוצר לנפש הוא כמו בקליפורניה
13	1990	2010	1.4	2.61	2.91
14	1991	2010	1.29	2.52	2.79
15	1992	2010	1.27	2.50	2.77
16	1993	2010	1.28	2.51	2.78
17	1994	2010	1.25	2.49	2.75
18	1995	2010	1.21	2.45	2.71
19	1996	2010	1.07	2.33	2.56
20	1997	2010	0.93	2.21	2.41
21	1998	2010	0.828	2.13	2.30

²² עיבוד עצמי על פי נתונים מתוך U.S. Energy Information Administration, 2011.
²³ עיבוד עצמי על פי נתונים מ- energyalmanac.ca.gov (California Energy Commission, 2012a).

טבלה 4 - גמישות שיא ביקוש לחשמל לנפש לתוצר לנפש ואומדן שיא ביקוש עתידי (המשך)

מספר רגרסיה	שנת התחלה	שנת סיום	Beta	אומדן כאשר התוצר לנפש הוא כמו בארה"ב	אומדן כאשר התוצר לנפש הוא כמו בקליפורניה
22	1999	2010	0.768	2.07	2.24
23	2000	2010	0.644	1.97	2.11

* כל הרגרסיות מובהקות ברמת מובהקות של 1%.

מקור: מכון מילקן, 2012.

מטבלה 4 ניתן לראות כי ב-5 מקרים יהיה שיא הביקוש לחשמל לנפש בישראל גבוה משיא הביקוש שנמדד בארה"ב או קרוב אליו מאוד. בשאר המקרים הוא יהיה נמוך יותר. לעומת זאת, בכל המקרים יהיה שיא הביקוש לחשמל לנפש בישראל גבוה בהרבה מהשיא שנמדד בקליפורניה. נקודה זו חשובה מאוד מבחינת היקף כושר הייצור המותקן שחברת החשמל נדרשת להחזיק. לשם המחשה, שיא הביקוש החזוי בישראל על פי תוצאות רגרסיות 13-23 גבוה ב-3,300 עד 9,500 מגה-ואט מאשר מצב שבו שיא הביקוש לנפש בישראל יהיה שווה ערך לזה של קליפורניה. בסוף שנת 2010 הייתה יכולת הייצור בתחנת הכוח "אורות רבין" בחדרה מעט פחות מ-2,600 מגה-ואט. כלומר ההבדל בין שני התרחישים מייצג חיסכון פוטנציאלי של בין 1.25-3.5 תחנות כוח בסדר גודל של "אורות רבין" במקרה שבו התוצר לנפש בישראל משתווה לזה של קליפורניה.

קיימת טענה שירידה בהוצאות החשמל היא למעשה ירידה ברמת החיים, שהרי חשמל הוא מוצר נורמלי, כלומר ככל שעולה הכנסתו של פרט עולה גם הביקוש שלו לחשמל. טענה זו מתעלמת מהעובדה שאיננו רואים את מחירו המלא של החשמל בעת שאנו צורכים אותו, כלומר את העלויות החיצוניות שבייצורו. נוסף על כך, אופן התשלום על החשמל מקשה על הצרכנים לזהות בזבוז. מחקרים מראים שתשלום מראש על צריכת החשמל (Pre-Paid) מוביל לירידה של 7% בצריכת החשמל עקב המודעות הגוברת לאופן צריכתו. כאשר מוסיפים מידע בזמן אמת לצרכנים - החיסכון גדל עד ל-15% (Sachdeva and Wallis, 2010).

מהשוואה שנעשתה ניתן לראות שההבדל בין קליפורניה לשאר מדינות ארה"ב נותן מעין הצצה לעתידה של ישראל עם תוכנית לחיסכון באנרגיה ובלעדיה.

ההבדלים בין דפוסי הצריכה בקליפורניה ובשאר מדינות ארה"ב מוכיחים שניתן לחסוך בצורה ניכרת בצריכת החשמל מבלי לפגוע ברמת החיים. הפחתה של הוצאות החשמל בעקבות ייעול הצריכה אינה מורידה את איכות החיים אלא דווקא מעלה אותם.

נוסף על כך, מחיר החשמל לא מייצג בהכרח את כל העלויות החיצוניות שבצריכתו, כגון השפעה על הסביבה ועל בריאות התושבים או הפגיעה בשטחים פתוחים עקב הצורך לבנות תחנות כוח נוספות.

נקיטת צעדי מדיניות שיובילו את ישראל לאמץ בטווח הארוך את "מודל קליפורניה" במקום את "מודל ארה"ב" תאפשר חיסכון כלכלי גבוה, ותסייע למדינת ישראל להפחית את פליטות גזי החממה בשטחה. צעד זה יהיה אחד מני רבים בדרכה של ישראל לעמוד ביעד ההפחתה שהציב הנשיא פרס בועידת קופנהגן – הפחתה של 20% בפליטות גזי החממה ביחס לתרחיש "עסקים כרגיל" עד לשנת 2020.

צעדי מדיניות שנקטה קליפורניה

כדי להגיע לרמות החיסכון שהציגה קליפורניה נדרשות מספר פעולות ברמה הלאומית.

1. תוכנית התייעלות אנרגטית;

2. הסטת ביקושים על ידי תעריפי חשמל מותאמי עומס וזמן (תעו"ז);

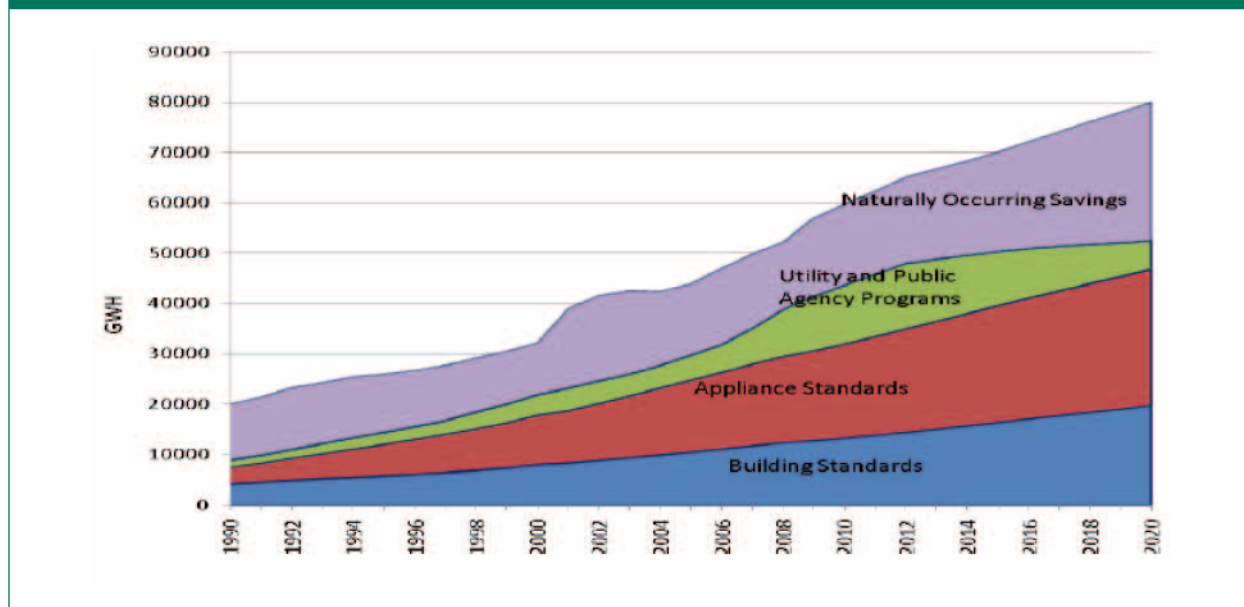
3. תקני מינימום מחייבים לבנייה ולמכשירי חשמל;

4. העלאת המודעות הציבורית לנושא.

קליפורניה היא דוגמה מצוינת לכך שאפשר להשיג חיסכון ניכר בצריכת החשמל בעזרת מדיניות ממשלתית נכונה. במשך 40 השנים האחרונות מציבה ממשלת קליפורניה תקנים לבנייה שמפחיתה את הצורך במיזוג אוויר ותקנים למכשירי חשמל שיעילות צריכת האנרגיה שלהם גבוהה כדי להקטין את הביקוש לחשמל. כמו כן מבצעת הממשלה תוכניות לחיסכון באנרגיה במתקניה, ובדרך זו משמשת דוגמה לאזרחיה. לאורך השנים הפעילה הממשלה תוכניות המעודדות צרכני חשמל גדולים לנהוג כמותה ולהתייעל בצריכת האנרגיה שלהם. כל הפעולות הללו הצליחו במשך שנים רבות לשמור את הצריכה לנפש בקליפורניה כמעט קבועה, למרות העלייה ברמת החיים, והביאו להקטנת הביקוש לחשמל בכלל ולהקטנת הביקוש בשעת השיא בפרט.

כפי שניתן לראות בגרף 9, בשנת 2010 היה הביקוש לחשמל בקליפורניה נמוך ביחס לתרחיש "עסקים כרגיל" בכ-60,000 ג'יגה-ואט הודות לפעולות החיסכון שננקטו במדינה. הצפי הוא שעד שנת 2020 יגיע החיסכון השנתי כבר ל-80,000 ג'יגה-ואט (California Energy Commission, 2009).

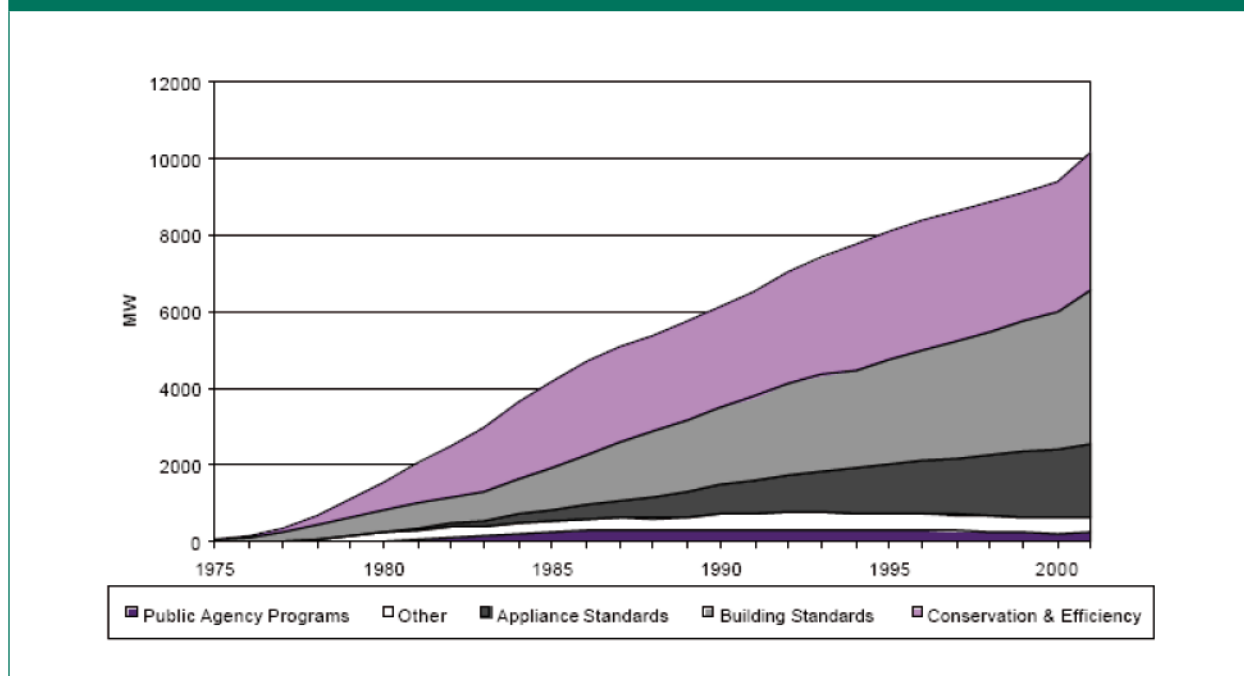
גרף 9 - שימור אנרגיה על פי מקור



מקור: California Energy Commission, 2009.

נוסף על החיסכון הכללי בחשמל, הובילו פעולות הממשל בקליפורניה לחיסכון בשיאי הביקוש. שיא הביקוש לחשמל בשנת 2001 היה נמוך בכ-10,000 מגה-ואט לעומת הצפי לולא נקטה הממשלה בפעולות אלה (California Energy Commission, 2003). חיסכון זה הוא 25.5% משיא הביקוש באותה השנה. אילולא פעלה מדינת קליפורניה לאורך השנים כדי להשיג חיסכון זה, הייתה נדרשת להקמת תחנות כוח נוספות העולות ביכולת הייצור שלהם על יכולתה של ח"י באותה השנה. עלות הקמתן של תחנות אלה בלבד הייתה 15–50 מיליארד דולר.

גרף 10 - החיסכון המצטבר בשיא ביקוש שנתי בקליפורניה (במגה-ואט)



מקור: California Energy Commission, 2003.

מגרף 10 ניתן לראות שנדרשת השקעה לאורך זמן כדי להשיג חיסכון משמעותי, אך עם זאת ניתן להשיג חיסכון כבר בטווח הזמן הקצר. החיסכון שנצבר בשנה הראשונה של כל מיזם חדש שהושק עומד בממוצע על הורדת הביקוש הכולל לחשמל ב-1,000 ג'יגה-ואט ועל הורדת שיאי הביקוש של אותה השנה ב-200 מגה-ואט (California Energy Commission, 2003). בשנים 2006–2009 לדוגמה, המשיכה קליפורניה במגמה של הפחתת הביקושים. תוכניות הפחתת הביקושים בשנים אלה הובילו לחיסכון נוסף של 2,500 מגה-ואט בשיאי הביקוש לחשמל (California Energy Commission, 2010).

עיקרי מדיניות להפחתת ביקושים בישראל

בשנת 2010 פרסם משרד התשתיות הלאומיות (כיום משרד האנרגיה והמים) את "התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית" שמטרתה צמצום של 20% בצריכת החשמל בישראל עד שנת 2020 בהשוואה למצב של "עסקים כרגיל" (משרד התשתיות הלאומיות, 2010). התוכנית המקצועית והמפורטת מציגה יעדים שיובילו לחיסכון ניכר בהוצאות האנרגיה במדינת ישראל.

מחקר זה, בהסתמך על הניסיון הבין-לאומי, שואף להדגיש שתי נקודות:

1. ניתן להשיג חיסכון משמעותי יותר מזה שהתוכנית שואפת אליו. כותבי התוכנית עצמם מציינים נקודה זאת והניסיון הבין-לאומי מחזק אותה. בייחוד חשוב לנצל את מצב החירום שמשק החשמל הגיע אליו כדי לזרז את תהליך הורדת הביקושים.

2. החיסכון המשמעותי מבחינה כלכלית מצוי בביקושי השיא ולא בסך הביקושים. לפיכך, התמקדות בהקטנת שיאי הביקוש לחשמל היא קריטית. לדוגמה, באוסטרליה בדקו ומצאו ש-27% מהוצאות החשמל השנתיות נובעות מ-87 שעות בלבד (Essential Services Commission, 2004). טיפול נקודתי באותן שעות בעייתיות עשוי להוביל לחיסכון כספי ניכר.

לפיכך, בפרק הבא אציג תוכנית ארצית להפחתת שיאי הביקוש לחשמל, ואנסה לאמוד את פוטנציאל החיסכון הכלכלי שלה.

פוטנציאל החיסכון מתוכנית תעו"ז מותאמת למגזר הביתי

ההיגיון הכלכלי שבקביעת תעו"ז (תעריף עומס וזמן) לכלל הצרכנים הוצג בפרקים הקודמים. הבעיה העיקרית שקיימת במשק החשמל כעת היא להעביר צרכנים מהתעריף הרגיל לתעו"ז. בעיה זו נובעת ממספר סיבות. הצרכנים פיתחו הרגלי צריכה לאורך שנים רבות, וקיים קושי בהסתגלות למבנה תעריפים חדש ומסובך יותר. בעיה נוספת נובעת מהצורך להתקין כמות גדולה של מונים חדישים בקרב צרכנים אלה (יותר מ-2 מיליון מונים חדישים). אך הבעיה הגדולה ביותר במהלך זה היא הקושי הפוליטי לאשר מהלך שילווה בחששות רבים מהתייקרות בחשבונות החשמל החודשיים של הצרכנים. כפי שהראו מחקרים בין-לאומיים, הצרכנים רוצים קודם לראות הוכחות שתעו"ז אכן יפחית את עלות החשמל החודשית, לפני שהם מוכנים לעבור לתעריף זה (Lutzenhiser et al., 2002). כדי להקל על צרכנים לבדוק אם כדאי להם לעבור לתעו"ז, מפרסמת חח"י באתרה באינטרנט מחשבון מיוחד לחשבונות החודשיים, שעוזר לצרכן לראות מה יהיו חשבונותיו החודשיים לאחר שיעבור לתעו"ז בִּרְתִי (תעו"ז למשקי הבית). חוסר הנכונות של אזרחים לעבור לתעריף זה הוא בוודאי סימן שהציבור חושש ממהלך זה.

אך קיום התעו"ז הִבְרָתִי ויישומו בשיעורים קטנים אינם מעידים בהכרח על חוסר נכונות הציבור להצטרף להסדר זה, וזאת מכמה סיבות:

1. המודעות הציבורית לקיומה של אפשרות זו היא נמוכה מאוד. לא בוצע קמפיין פרסומי לתהליך;
2. לא סביר להניח שהציבור יהיה פעיל בתהליך כזה וידרוש בעצמו להחליף מונה. ביחוד מקשה על המעבר המחירון המסובך, שאינו מאפשר השוואה פשוטה בין החלופות, ומחזק את הטיית הסטטוס קוו;
3. הציבור אינו רואה את התועלת החיצונית שבאימוץ דפוסי צריכה שונים, ואינו מפנים את העלויות הכוללות למשק. מעבר לכך, כיום מוכרת חח"י במקרים רבים חשמל במחירי הפסד. כלל יסוד בכלכלה הוא שעלות שנוצרה תשולם על ידי אחד הגופים במערכת. לפיכך, ניתן להבין שבמשק החשמל קיימים סבסודים צולבים מצד צרכנים שונים. קשה לומר בדיוק מיהם הצרכנים המסבסדים ומי המסובסדים. ניתן לומר שצרכני התעו"ז מסבסדים את הצרכנים הרגילים, שכן הסטת ביקושים מובילה לירידת התעריף המְדִי לצרכנים (King and Chatterjee, 2003). עלות זאת בוודאי מובילה בין השאר לעלייה ביוקר המחייה, שכן כל תהליך ייצור של מוצר או שירות במדינה מפותחת נסמך ברמה זאת או אחרת על חשמל.

ייתכן שגם בקרב הצרכנים הביתיים יש כאלה המשלמים מחירים גבוהים מדי, ועל כן מסבסדים צרכנים אחרים. גם החוב שחברת החשמל צוברת נובע בחלקו מחוסר יעילות זאת (או לפחות יכול להיות מקוּזז על ידי שיפור היעילות), ויוטל בעתיד על צרכני החשמל או על משלמי המיסים.

המשמעות ברורה מאוד – במודל התעריפים הנוכחי יש חוסר יעילות. הדבר מוביל לעלות עודפת למשק, ובעיה זו חייבת להיפתר.

כדי להבטיח שרפורמה במבנה תעריף החשמל תצליח לדלג מעל המכשולים הקשים שצפויים לה, דרוש מהלך שיהיה קל וברור, ולא יותר ספקות בידי הציבור ונבחריה באשר לתועלת שצפויה למדינה ולצרכנים ממהלך זה.

המהלך שיוצג מוצע בתור צעד ראשוני שבעתיד ניתן להוסיף עליו. הניתוח הכלכלי במחקר זה מראה שגם על ידי פעולה ראשונית פשוטה ניתן להשיג חיסכון שמסתכם על פני מספר שנים במיליארדי שקלים, ונותן הערכה גסה לחיסכון שניתן להשיג באמצעות פיתוח של תחום המחקר בנושא הסטת הביקושים והתייעלות אנרגטית.

הנקודה העיקרית בתע"ז למשקי הבית היא הדגש על עקרון הפשטות. לכן, תעריף זה יהיה בנוי משתי קטגוריות במקום 3 הקטגוריות שקיימות כיום בתע"ז הבררתי – קטגוריה אחת תהיה שעת שיא והשנייה תהיה שעת שפל.

בעזרת שתי קטגוריות אלה יהיה פשוט יותר להבטיח שתהיה הסטה משעות השיא לשעות שהביקוש בהן נמוך יותר (גבע/שפל). אמנם התהליך אינו מושלם, שהרי ישנו פוטנציאל בהסטת הביקושים גם משעות הגבע אל שעות השפל, אך כדי שהציבור יקבל את התהליך בהבנה ובליזוי כמה שפחות חששות, עקרון הפשטות הוא חיוני. התגייסות הציבור הרחב למהלך זה היא אחד מעמודי התווך של התוכנית.

דרישה נוספת שאינה ברורה מאלה, להצלחה מהירה של הרפורמה, היא שלא תהיה עליית מחיר ביחס למצב המוצא.

במצב המוצא (סוף שנת 2010) המחיר הממוצע לקוט"ש במגזר הביתי הוא 42.76 אג' (חברת החשמל לישראל, 2010א). אם במסגרת התעריף החדש יהיו מחירי שעות השיא גבוהים ממחיר זה, והמחיר של שעות השפל יהיה נמוך ממחיר זה, ייווצר החשש שחשבון החשמל יגדל, ולא תהיה הירתמות מלאה למהלך.

לעומת זאת, אם יוחלט שבשעות שיא המחיר הוא 42.76 אג' (מחיר הבסיס) ובשעות שפל המחיר נמוך יותר, אזי יהיה ברור לציבור הצרכנים מעל לכל ספק שחשבון החשמל יצטמצם. כתוצאה מכך תהיה היענות גבוהה למהלך, ואפילו ניתן לומר שהיענות צפויה להיות מוחלטת.

כמובן שצעד זה יוביל לירידה בפדיון של חח"י, מכיוון שבחלק משעות היום היא תגבה מחיר נמוך יותר על החשמל שהיא מוכרת למשקי הבית. צעד זה אף עשוי להוביל אותה להפסדים. מנגד – חח"י תרוויח מירידה בהוצאות על ייצור חשמל, מכיוון שחשמל שמיוצר בשעות השיא יקר יותר מאשר חשמל שמיוצר בשעות השפל. כדי להבין כיצד הצעד המוצע ישפיע על משק החשמל, חשוב לבחון את גמישויות הביקוש לחשמל, כלומר את ההשפעה של שינוי במחירים על אופן צריכת החשמל.

גמישות הביקוש לחשמל

התפיסה הרווחת היא שהביקוש לחשמל הוא קשיח, כלומר ששינוי מחיר לא ישנה משמעותית את כמות החשמל המבוקשת, שכן חשמל הוא מוצר בסיסי שלא ניתן לצמצם משמעותית את צריכתו, ואין לו כמעט תחליפים. חברת החשמל מעריכה כי גמישות הביקוש לחשמל ביחס למחירו היא (-0.2) בטווח הקצר ו-(-0.4) בטווח הארוך. כלומר, עלייה של 10% במחיר

החשמל תוביל לירידה של 2% בביקוש לחשמל בטווח הקצר, ול-4% ירידה בביקוש לחשמל בטווח הארוך. ירידת הביקוש בטווח הקצר נובעת בעיקרה מצמצום הצריכה, ובטווח הארוך גם מהתייעלות אנרגטית, כמו למשל מהחלפת מוצרי חשמל. בחינת הספרות המקצועית מראה שלתפיסה זאת יש בסיס אמפירי. אך הספרות מצביעה גם על מקרים שגמישות הביקוש בהם גבוהה יחסית. למעשה, טווח האומדנים שעולים בספרות הוא מפתיע ואף מבלבל. יהיה מעניין לבחון מדוע במקרים מסוימים הגמישויות נמוכות, ובאחרים גבוהות יותר. ניתן לחלק את הדיון בגמישות הביקוש לשני חלקים – הגמישות הכוללת, והתפלגות הגמישות בין הצרכנים.

סקירת ספרות - גמישות הביקוש לחשמל

אחד המחקרים בחן את גמישויות הביקוש לחשמל בסקטור הביתי, והעריך שהגמישות היא (-0.2) בטווח הקצר ו-(-0.7) בטווח הארוך (Bohi and Zimmerman, 1984).

מחקר נוסף באוסטרליה העריך שגמישות הביקוש במגזר הביתי היא (-0.25) (National Institute of Economic and Industry Research, 2007). המחקר קובע שבמגזר המסחרי ובמגזר התעשייתי הגמישויות גבוהות יותר. בדיקה של ביקוש החשמל בישראל מצאה כי הגמישות היא בין (-0.21) עד (-0.58) במגזר הביתי (Beenstock et al., 1999). בסקירה של שורת מחקרים על הביקושים במגזר הביתי ובקרב צרכנים מסחריים קטנים נקבע כי גמישות הביקוש היא (-0.3) (King and Chatterjee, 2003).

גמישויות הביקוש נבחנה בדרום אוסטרליה על פי שעות היום, עונות השנה וימות השבוע. לפי תוצאות הבחינה הסיקו החוקרים כי הגמישות נעה בין (-0.36) ל-(-0.43) (Fan and Hyndman, 2011). הם מסיקים ששימוש בתעו"ז יכול להיות יעיל בהפחתת שיא הביקוש.

המחקר המעניין מכולם, לטעמי, נערך בקרב צרכנים ביתיים בשווייץ (Filippini, 1995). המחקר הראה כי הביקוש לחשמל הוא אכן יחסית קשיח בטווח הקצר (גמישות של [-0.3]). מצד שני, המחקר גם הראה כי על ידי שינוי שיטת התעריף, מתעריף אחיד לתעריף משתנה על פי עומסי ביקוש, ניתן להביא להגדלת הגמישות של צרכני החשמל. זאת מכיוון שהיכולת לוותר על צריכת חשמל לחלוטין אמנם נמוכה, אך היכולת להסיט את ביקושי החשמל בין שעות היום גבוהה הרבה יותר. נראה כי גמישות הביקוש לחשמל ביחס למחירו פחות רלוונטית לבחינת השפעות התוכנית על משק החשמל, שכן המטרה היא לא לצמצם את צריכת החשמל אלא פשוט להסיט אותה משעות השיא לשעות השפל. לפיכך, הגמישות הצולבת של החשמל בשעות השפל והחשמל בשעות השיא היא הרלוונטית. כלומר, כיצד תמחור משתנה (למשל על פי שעות היום) משפיע על חלוקת הצריכה בין השעות השונות. ככל שגמישות זאת גבוהה יותר, היכולת להגיב לפערי מחירים על ידי הסתת ביקושים בין שעות היום היא גבוהה יותר. הקשר בין גמישות המחיר והגמישות הצולבת לא ברור. ברמה הבסיסית נראה שהגמישות הצולבת אמורה להיות גבוהה יותר מגמישות המחיר, כיוון שכל ירידה בביקוש עקב עליית מחיר יכולה פשוט להיות מוסטת משעת צריכה אחת לשעות אחרות. נוסף על כך, צריך לזכור שבקליפורניה, לדוגמה, בשנת המשבר ירדו שיאי הביקוש יותר מאשר סך הביקושים. עובדה זאת מחזקת את התחושה כי הגמישות הצולבת תהיה גבוהה מגמישות המחיר. מנגד, ניתן להניח שחלק מהירידה בביקוש בגלל עליית המחיר נובעת מירידה בביקוש בשעות השפל, ולכן יכולת ההסטה נמוכה מיכולת הפחתת הביקוש.

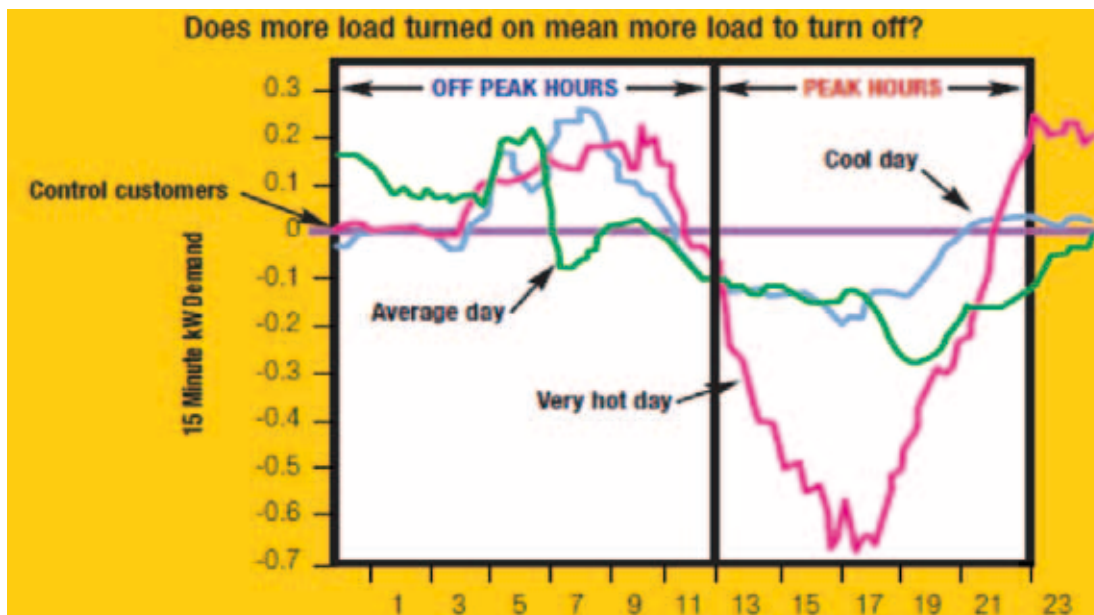
אפשר להניח שהגמישות הצולבת תהיה גבוהה יותר (בערך מוחלט). התוצאות כאן מפתיעות, ומעידות שברמה מסוימת תמחור דיפרנציאלי מאפשר לצרכנים לראות בצריכת חשמל בשעות שפל תחליף לצריכת חשמל בשעות השיא.

מחקר שבדק את הגמישות הצולבת באנגליה מדווח על גמישות נמוכה (בין 0.019 ל-0.074) כאשר החוקרים שמרו על הטמפרטורה קבועה (Henley and Peirson, 1998). מאחר שטמפרטורה היא אחד הגורמים המרכזיים בעלייה בביקושים בשעות השיא, תוצאות אלה אינן מסייעות לנו.

מחקר אחר בחן את הגמישות צולבת בקרב תעשיינים באנגליה, שקונים חשמל בשיטת RTP (Real Time Pricing). בשיטה זו נקבעים מחירי החשמל במכרז למרווחים של חצי שעה, ומדווחים 24 שעות מראש. החוקרים מבדילים בין הסטות ביקושים תוך-יומיות ובין הסטות ביקושים בין-יומיות, ומדווחים על גמישויות תוך-יומית של עד 0.08 ועל גמישות בין-יומית של 0.07 עד 0.35. החוקרים מסיקים שלתעשיינים קל יותר להסיט ביקושים בין ימים (מאשר בתוך אותו יום) כחלק מתכנון תהליך הייצור. עוד הם מדווחים על שונות גבוהה בין תגובות הצרכנים ולאורך זמן. בשעות שיא הביקוש (ולפיכך שיא המחיר) הגמישות מגיעה ל-0.36 (King and Shatrawka, 1994).

מחקר נוסף מדווח על הסטות ביקושים של צרכנים ביתיים במספר תוכניות ניסיוניות בקליפורניה. התוצאות מראות על ירידה של 24% בביקוש לחשמל בשעות העומס. גם כאן מדווח כי בימי שיא הביקוש ההפחתה בצריכת החשמל גדולה יותר, כפי שניתן לראות בגרף 11.

גרף 11 - הסטת ביקושים של צרכנים ביתיים בקליפורניה



מקור: King and Chatterjee, 2003.

החוקרים מדווחים שהיכולת להסיט ביקושים קשורה למספר גורמים, כמו למשל כמות מכשירי החשמל שיש לצרכנים בבית. המסקנה היא שאנשים במעמד כלכלי-חברתי גבוה יותר מסוגלים להסיט יותר ביקושים, אך פחות מושפעים משינויי מחירים. הם העריכו את הגמישות הצולבת בטווח הקצר ב-0.13 (King and Chatterjee, 2003).

תוצאות יוצאות דופן נמצאו במחקר שעסק בביקוש לחשמל בקרב צרכנים ביתיים בשווייץ. התוצאות מצביעות על תחלופה גבוהה בין צריכה בשעות השיא לצריכה בשעות השפל. גמישות הביקוש למחיר מגיעה עד ל-(-0.79) בטווח הקצר ול-(-1.92) בטווח הארוך, והגמישות הצולבת מגיעה ל-0.91 בטווח הקצר ול-2.16 בטווח הארוך. נראה שהתוצאות יוצאות הדופן התקבלו עקב מדגם קטן או עקב העובדה שתעריף דיפרנציאלי נהוג בשווייץ לאורך זמן רב, ולכן התוצאות למעשה מייצגות בתוכן גם השפעה ארוכת טווח של התנהגות צרכנים (Filippini, 1995).

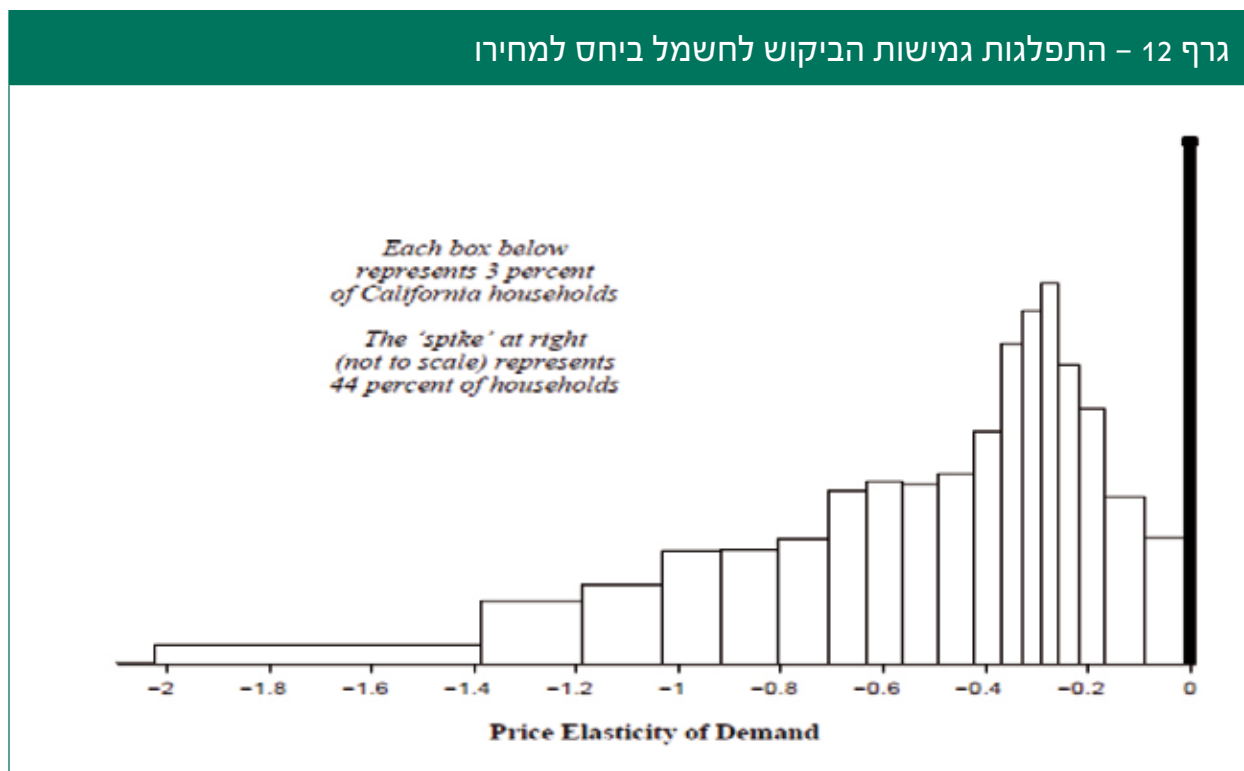
מספר מחקרים שבחנו את הגמישות הצולבת בשנות ה-70 בקליפורניה העריכו אותה בין (-0.13) ו-(-0.25) (Langmore and Dufty, 2004).

טווח התוצאות הרחב מעלה שאלות רבות לגבי גמישויות הביקוש לחשמל. נראה שהבדלים אלה נובעים ממספר גורמים, ובהם סוג הצרכנים שנבדקו (תעשייתיים, ביתיים ומסחריים), מדינות שונות ותקופות זמן שונות, מאפיינים של משק החשמל המקומי, תחליפים אפשריים לחשמל, השפעות של טווח קצר מול טווח ארוך ועוד.

התפלגות הגמישות

מאמר משנת 2005 בחן את הביקוש הביתי לחשמל בקליפורניה (Reiss and White, 2005). התוצאות מדווחות על גמישות מחיר של (-0.39), בדומה למחקרים רבים שצוטטו בתת-הפרק הקודם. אך נוסף על כך, החוקרים מדווחים על התפלגות הגמישות על פי הביקוש השנתי לחשמל של משקי הבית ועל פי הכנסות משק הבית. התוצאות המדווחות תואמות את התאוריה, כלומר – ככל שהביקוש לחשמל גדול יותר הגמישות גבוהה יותר, וככל שהכנסה גדולה יותר הגמישות קטנה יותר. כיוון שיש מתאם מסוים בין הכנסת משק הבית וצריכת החשמל השנתית (כפי שצוין לעיל, חשמל הוא מוצר נורמלי), קשה לזהות במדויק את הקבוצה שפוטנציאל הסטת הביקושים בה הוא הגבוה ביותר. תוצאה מעניינת ושימושית למחקר עולה מגרף 12 שמוצג כאן.

גרף 12 - התפלגות גמישות הביקוש לחשמל ביחס למחירו



מקור: Reiss and White, 2005.

ניתן לראות בגרף 12 שבקרב 44% ממשקי הבית בקליפורניה גמישות הביקוש בטווח הקצר היא 0. זאת כיוון שמשקי בית אלה מאופיינים בצריכת חשמל נמוכה, הנובעת בעיקר ממוצרי חשמל בסיסיים שאין כמעט יכולת לצמצם בהם את הביקוש לחשמל בטווח הקצר. לפיכך, גם יכולת ההסטה של ביקושי החשמל בקרב קבוצה זאת היא נמוכה. אם מתעלמים מקבוצה זאת של צרכנים, גמישות הביקוש בקרב שאר משקי הבית מגיעה ל-(-0.69).

מתוצאות אלה ניתן ללמוד שיש צדק בשתי טענות סותרות בנוגע לביקוש לחשמל – הראשונה טוענת שהביקוש לחשמל הוא קשיח, והיא נכונה עבור כמחצית מהאוכלוסייה שנבדקה במחקר שלעיל. הטענה השנייה טוענת שהביקוש לחשמל גמיש, והיא נכונה גם כן עבור כמחצית מהאוכלוסייה על פי מחקר זה. ניתן לשער שתוצאות דומות למחקר יתקבלו במדינות מפותחות אחרות, ובהן ישראל.

המסקנה ממחקרים אלה היא שכדי לקבל תוצאה מיטבית חשוב לסנן את האוכלוסייה שמושפעת מהתוכנית. לא מומלץ לכפות על כל האוכלוסייה להצטרף להסדרים אלה, אלא עדיף יהיה אם ההצטרפות תהיה מרצון, בהנחה שאופי התוכנית יעודד צרכנים רבים לאמץ אותה.

מחקרים בין-לאומיים נוספים תומכים במסקנה זאת. למשל, אחד המחקרים מדווח כי משתתפים שבחרו להצטרף לתעו"ז ב־רתי הראו גמישויות גבוהות יותר מאשר משתתפים שצורפו ללא אפשרות בחירה. נוסף על כך, הם מראים שמעורבות פעילה של הצרכנים מעלה עוד יותר את הגמישויות. כאשר יש צורך לברר את תעריף החשמל הרלוונטי בכל יום מחדש, הסטת הביקושים עולה עוד יותר (Langmore and Dufty, 2004).

שיטת מחקר

כדי לקבל את פוטנציאל החיסכון מתוכנית הסטת ביקושים נבדק השינוי בעלויות הייצור של החשמל ובפדיון של חח"י משנת 2010 עד שנת 2030. כתרחיש הבסיס השתמשתי בהנחות של חח"י, שצופות גידול שנתי של 4% בביקוש לחשמל (משרד התשתיות הלאומיות, 2010). כמו כן, לצורך הפשטות הנחתי בתרחיש הבסיס כי הגידול בביקוש יהיה זהה בכל אחת מהקטגוריות, כלומר הביקוש בכל אחת מהשעות (שפל/גבע/פסגה) של קבוצת צרכני התעו"ז וקבוצת הצרכנים הרגילים יעלה ב-4% בשנה. הנחה זאת מבוססת על הקשר בין שיא הצריכה השנתית לצריכת החשמל השנתית כפי שניתן לראות ברגרסיה 24.

רגרסיה 24 - היחס בין שיא הצריכה השנתית לצריכת החשמל השנתית

```
. reg maxd demand
```

Source	SS	df	MS			
Model	104.602552	1	104.602552	Number of obs =	61	
Residual	.305403722	59	.005176334	F(1, 59) =	20207.84	
Total	104.907956	60	1.74846593	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9971	
				Adj R-squared =	0.9970	
				Root MSE =	.07195	

	maxd	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
	demand	.9814418	.0069041	142.15	0.000	.9676268 .9952568
	_cons	-1.405148	.0632228	-22.23	0.000	-1.531657 -1.27864

מקור: מכון מילקן, 2012.

ברגרסיה 24 ניתן לראות כי הקשר בין שיא צריכת החשמל וצריכת החשמל השנתית הוא כמעט יחידתי. כלומר, גידול של 1% בצריכת החשמל השנתית צפוי להוביל לגידול של 0.98% בשיא הביקוש השנתי. ניתן גם לראות כי המשתנה מובהק בכל רמת מובהקות, והרגרסיה מסבירה כמעט את כל השינוי הנצפה (R-squared מעל 99%).

על תרחיש הבסיס יתווספו תרחישים נוספים כדי לבחון את רגישות התוצאות לשינויים בהנחות. צריך לשים לב ששינוי המחירים היחסי בין שעות השיא לשעות השפל יוצר שלושה תהליכים שונים:

- הסטה של ביקוש חשמל משעות השיא לשעות השפל, למשל הפעלת מכשירי חשמל בשעות השפל במקום בשעות השיא (אפקט התחלופה);
- הוזלה של חשמל בשעות השפל שעשויה להוביל להגדלת הביקוש לחשמל בשעות אלה (אפקט ההכנסה);
- הגדלת המודעות של הצרכנים לצריכת החשמל שלהם, שצפויה להקטין את הביקוש לחשמל בכל שעות היום (אפקט פסיכולוגי).

כיוון שאין ביכולתי להעריך, על סמך הנתונים שיש בידי, את ההשפעה של כל אחד מתהליכים אלה, אבחן שלוש אפשרויות שונות לתגובות הצרכנים:

אפשרות ראשונה – 'תרחיש רגיל'. מצב שקיימת בו הסטת ביקושים, אך סך הביקוש אינו משתנה כלל. כלומר, כל החשמל שהוסט משעות השיא נצרך על ידי משקי הבית בשעות השפל או הגבע. החשמל שהוסט מתחלק בין שעות השפל ושעות הגבע על פי התפלגות הביקוש שמדווחת רשות החשמל (הרשות לשירותים ציבוריים חשמל, 2012).

אפשרות שנייה – 'תרחיש הגדלת צריכה'. הביקושים מוסטים משעות השיא לשעות השפל ובסך הכול גדלים ביחס למצב המוצא.

אפשרות שלישית – 'תרחיש הפחתת צריכה'. הביקושים מוסטים משעות העומס לשעות השפל, ובסך הכול קטנים יחסית למצב המוצא.

הגמישויות ששימשו אותי תואמות את התאוריה הכלכלית, מקיימות גמישות מחיר שלילית וגמישות צולבת חיובית, ומבוססות על גמישויות שנאמדו במחקרים שהוזכרו לעיל. כיוון שאף אחד מהמחקרים שמצאתי לא אמד הצעה של הפחתת המחיר בשעות השפל כדי להסיט ביקושים משעות השיא, נאלצתי להניח את הגמישויות הבסיסיות. בהמשך אבחן באמצעות ניתוח רגישויות את ההשפעה של שינויים בהנחות הבסיס.

נוסף על כך, חשוב לשים לב כי מרבית המחקרים משתמשים בנתונים ישנים מאוד בכל הקשור לצריכת החשמל הביתית. סביר להניח כי עם התפתחות הטכנולוגיה, היכולת כיום להסיט ביקושים גדולה הרבה יותר ביחס לשנות ה-70 וה-80. זאת כיוון שהיכולת להעביר מידע ולשלוט מרחוק במכשירי חשמל עלתה משמעותית. ככל שהרגולציה תיתן עדיפות רבה יותר למעבר לתעריפים דינמיים, סביר להניח שנראה יותר פתרונות טכנולוגיים שמאפשרים ללקוחות הביתיים לתכנן מראש את אופן צריכת החשמל שלהם או להגיב בזמן אמת לשינוי מחירים. לבסוף, העלייה במודעות לגבי החיסכון הכלכלי והסביבתי צפויה אף היא להרחיב את תגובת הצרכנים.

הצעת מחקר זה היא השוואת מחיר החשמל בשעות השיא למחיר הבסיס, והקטנת מחיר החשמל בשעות השפל. ההשפעה החזויה היא שהביקוש בשעות השפל יושפע מגמישות המחיר, והביקוש בשעות השיא יושפע מהגמישות הצולבת. זאת כיוון שמחיר החשמל בשעות השיא מתייקר ביחס לחשמל בשעות השפל, וזאת אף על פי שמחירו לא השתנה.

התרחיש הרגיל מניח שכל החשמל שמוסט משעות השיא מועבר לשעות השפל. כלומר, קיימת השפעת תחלופה בלבד, שמובילה להפעלת מכשירי חשמל בשעות שונות.

תרחיש הגדלת הצריכה מניח שהשפעת התחלופה מתקיימת, אך מניח גם השפעת הכנסה, שגורמת להגדלת הביקושים בשעות השפל עקב הקטנת מחיר החשמל בשעות אלה.

תרחיש הפחתת הצריכה מניח שנוסף על הסטת החשמל משעות השיא לשעות השפל, יש השפעה של הגדלת המודעות, שמובילה לירידה בביקושים לחשמל בכל השעות.

טבלה 5 - גמישויות הביקוש ששימשו בתרחישים השונים			
טווח ארוך	טווח קצר	סוג גמישות	תרחיש
$\sim(-0.35)^{25}$	$1 \sim(-0.1)^{24}$	גמישות מחיר	תרחיש רגיל
0.7	0.2	גמישות צולבת	
(-0.85)	(-0.2)	גמישות מחיר	תרחיש הגדלת צריכה
0.7	0.2	גמישות צולבת	
$\sim(-0.35)^{25}$	$\sim(-0.1)^{25}$	גמישות מחיר	תרחיש הפחתת צריכה
0.7	0.2	גמישות צולבת	

מקור: מכון מילקן, 2012.

הגמישויות ששימשו לאמידה זאת משתנות לאורך השנים, ושינוי זה מייצג את תוצאות המחקרים שהובאו בפרקים הקודמים. לפי מחקרים אלה הגמישות עולה בטווח הארוך, קצב העלייה שהונח הוא לינארי, וטווח ארוך הוא החל מתחילת השנה ה-5 או ה-10 שלאחר קביעת תעריף תעו"ז (כלומר - שנת 2016 או 2021 והלאה, כתלות בתרחיש שנבחר, מייצגות כבר את הטווח הארוך).

כמו כן, הנחתי שכל שאר המשתנים קבועים, ואין שינויי מחירים (דלקים, הון, עבודה, שער חליפין, מחירי חשמל) לכן התרחיש מציג תמונת מצב רגילה, ללא אינפלציה וללא שינויי שער חליפין. חשוב מאוד להדגיש כי השינויים במחירי החשמל, שנבעו מהפסקת הזרמת הגז המצרי, אינם באים לידי ביטוי בעבודה זאת, שכן בסוף שנת 2010 בעיות אלה לא היו קיימות. התוצאות הן במחירי 2010, וההנחה היא שהחל משנת 2011 מתקיים שינוי בהתנהגות הצרכנים.

הנחות נוספות

- גידול בביקוש השנתי לחשמל - 3% שנתי בתרחיש הנמוך, 4% שנתי בתרחיש הבסיס ו-5% שנתי בתרחיש הגבוה;
- רזרבת חשמל נדרשת - 17%;
- איבוד חשמל בהפצה ובהולכה - 5.7%;
- עלות אחזקה שנתית לקילו-ואט מיוצר - 50,000 דולר;
- ריבית היוון - 3-5% רגיל;
- השפעות טווח ארוך - 5 עד 10 שנים מתחילת התרחיש;

²⁴ גמישות המחיר בתרחיש הרגיל ובתרחיש הפחתת הצריכה נועדה להבטיח שלא יהיה שינוי בסך הביקושים. מספר זה הוא מחצית מהגמישות הצולבת בקירוב (בערך מוחלט), כיוון שהיחס בין ביקוש בשעות השיא ושעות השפל הוא בקירוב 1 ל-2.

- הפחתת ביקושים – הביקוש קטן ב-10% לצרכנים שמתקינים מוני תע"ז, ואינו יורד לצרכנים שאינם מתקינים מונים אלה;
- חיסכון בעלויות הולכה והשנאה – 10% מהחיסכון בהוצאות הקבועות;
- עלות מונה תע"ז – 177.72 ₪;
- התעריף בשעות השפל נמוך ב-10% מהתעריף בשעות השיא.

תוצאות

התוצאות המוצגות הן תחת מספר הנחות מפשטות. אחת ההנחות המרכזיות היא שתוכנית התע"ז הביתית המוצעת תאומץ על ידי כלל הצרכנים בצורה מיידית. בפרק 'בדיקות נוספות' אתייחס להנחות אלה ולהנחות נוספות. התוצאות מוצגות הן מנקודת מבטה של חח"י הן מנקודת מבטו של "המתכנן המרכזי". מטרת התוכנית היא להביא לרווחה חברתית מרבית, בהינתן המגבלה שחח"י לא תפסיד מיישום התוכנית המוצעת.²⁵

חיסכון מעלויות משתנות במקטע הייצור

החיסכון הכלכלי למשק מתוכנית הסטת הביקושים נוצר בראש ובראשונה כתוצאה מהפחתת עלויות ייצור החשמל. עלות הייצור השולית משתנה בהתאם לסוג הדלק שחח"י מייצרת איתו את החשמל. קוט"ש המיוצר באמצעות פחם, גז טבעי, מזוט וסולר עולה 13.8 אג', 13.4 אג', 47.9 אג' ו-143 אג' בהתאמה (חברת החשמל לישראל, 2010). ההנחה במחקר זה היא שייצור החשמל מבוסס על פחם המשמש בכל שעות היום. הגז הטבעי הוא הדלק השולי בשעות השפל, כלומר עלות ייצור קוט"ש שולי בשעות השפל היא 13.4 אג'. הוספת המזוט להליך ייצור החשמל מתרחשת בשעות הגבע, ולכן עלות הייצור השולית בשעות אלה היא 47.9 אג'. בשעות הפסגה מיוצר החשמל באמצעות הסולר, ולכן עלות הייצור השולית בשעות אלה היא 143 אג'. ניתן לראות שהסטת קוט"ש מיוצר אחד משעות הפסגה לשעות השפל חוסכת כמעט 130 אג'. חיסכון זה מתחלק בין שני גורמים: חח"י והצרכנים הביתיים.

הרווח של הצרכנים הביתיים נובע מירידה בהוצאות משקי הבית על חשמל, ומוצג בטבלאות 20–22 כירידה בפדיון של חח"י ממכירת חשמל. הרווח של חח"י מורכב יותר: חח"י מרוויחה מירידה בעלויות הייצור (שימוש בדלקים זולים יותר), אך מפסידה מירידה בפדיון עקב ההנחה הניתנת על מכירת חשמל בשעות השפל.

הרווח המהוון של חח"י לתקופה של 20 שנים (מתחילת שנת 2011 עד לסוף שנת 2030) מחושב באמצעות הפחתה של סך ההוצאות והפדיון מהתרחיש "עסקים כרגיל" להוצאות ולפדיון המתקבלים מהתרחישים השונים שהוצגו כאן. מכיוון שבתוכנית המוצעת מחיר החשמל בשעות השפל נמוך יותר (גם על החשמל שממילא נצרך בשעות אלה), הרווח של חח"י עשוי להיות שלילי בחלק מן המקרים, כפי שניתן להתרשם בטבלאות 6–8.

²⁵ המגבלה נועדה להבטיח שהממשלה לא תצטרך להטיל מס כדי לפצות את חח"י על הפסדים שנוצרים לה בעקבות התוכנית. אמנם ייתכן שפתרון הכולל הטלת המס יהיה יעיל יותר, אך היבט זה חורג מעניינה של עבודה זאת.

חשוב לשים לב שהסטה של הביקוש לחשמל מובילה להסטה גדולה יותר בייצור החשמל, וזאת כיוון שבהובלת החשמל יש איבוד של 5.7% (הרשות לשירותים ציבוריים חשמל, 2012). אם כן, הסטה של קוט"ש בביקוש תוביל להסטה של 1.057 קוט"ש בייצור החשמל לפי ההנחות של איבוד חשמל בתהליך ההולכה וההפצה.

בסעיף זה ההשפעה הכללית על משק החשמל נעה בין הפסד של 2.05 מיליארד ₪ בערכים מהוונים לבין רווח של 12.55 מיליארד ₪ בערכים מהוונים.

טבלה 6 - חיסכון מהסטת ביקושים של צרכנים רגילים תרחיש רגיל (במיליוני ₪)

היוון לפי 5%		היוון לפי 3%		תרחיש	
10 שנים	5 שנים	10 שנים	5 שנים	מספר שנים לטווח ארוך	
8,390.90 ₪	9,434.53 ₪	10,533.77 ₪	11,704.19 ₪	נמוך	הפרש הוצאות ייצור (גידול ברוחה החברתית)
9,394.71 ₪	10,500.02 ₪	11,853.76 ₪	13,094.27 ₪	בסיס	
10,533.77 ₪	11,704.19 ₪	13,356.80 ₪	14,671.35 ₪	גבוה	
-10,269.93 ₪	-10,304.59 ₪	-12,501.90 ₪	-12,540.76 ₪	נמוך	הפרש פדיון (רווח צרכנים)
-11,319.12 ₪	-11,355.82 ₪	-13,864.15 ₪	-13,905.34 ₪	בסיס	
-12,501.90 ₪	-12,540.76 ₪	-15,406.43 ₪	-15,450.07 ₪	גבוה	
-1,879.04 ₪	-870.05 ₪	-1,968.13 ₪	-836.57 ₪	נמוך	רווח חח"י
-1,924.41 ₪	-855.80 ₪	-2,010.39 ₪	-811.08 ₪	בסיס	
-1,968.13 ₪	-836.57 ₪	-2,049.62 ₪	-778.73 ₪	גבוה	

מקור: מכון מילקן, 2012.

טבלה 7 - חיסכון מהסטת ביקושים של צרכנים רגילים תרחיש הגדלת צריכה (במיליוני ₪)					
תרחיש		היוון לפי 3%		היוון לפי 5%	
מספר שנים לטווח ארוך		5 שנים	10 שנים	5 שנים	10 שנים
הפרש הוצאות ייצור (גידול ברווחה החברתית)	נמוך	8,637.42 ₪	7,816.21 ₪	6,969.32 ₪	6,237.05 ₪
	בסיס	9,658.90 ₪	8,788.50 ₪	7,752.46 ₪	6,976.92 ₪
	גבוה	10,817.67 ₪	9,895.33 ₪	8,637.42 ₪	7,816.21 ₪
הפרש פדיון (רווח צרכנים)	נמוך	-7,808.40 ₪	-8,308.40 ₪	-6,500.49 ₪	-6,946.32 ₪
	בסיס	-8,604.19 ₪	-9,134.13 ₪	-7,116.03 ₪	-7,588.21 ₪
	גבוה	-9,503.43 ₪	-10,064.99 ₪	-7,808.40 ₪	-8,308.40 ₪
רווח חח"י	נמוך	829.02 ₪	-492.19 ₪	468.83 ₪	-709.27 ₪
	בסיס	1,054.71 ₪	-345.62 ₪	636.43 ₪	-611.29 ₪
	גבוה	1,314.24 ₪	-169.66 ₪	829.02 ₪	-492.19 ₪

מקור: מכון מילקן, 2012.

טבלה 8 - חיסכון מהסטת ביקושים של צרכנים רגילים תרחיש הפחתת צריכה (במיליוני ₪)					
תרחיש		היוון לפי 3%		היוון לפי 5%	
מספר שנים לטווח ארוך		5 שנים	10 שנים	5 שנים	10 שנים
הפרש הוצאות ייצור (גידול ברווחה החברתית)	נמוך	38,861.29 ₪	37,805.57 ₪	31,427.65 ₪	30,485.89 ₪
	בסיס	43,410.00 ₪	42,291.29 ₪	34,918.57 ₪	33,921.37 ₪
	גבוה	48,567.78 ₪	47,382.55 ₪	38,861.29 ₪	37,805.57 ₪
הפרש פדיון (רווח צרכנים)	נמוך	-29,013.28 ₪	-28,978.23 ₪	-23,638.35 ₪	-23,607.08 ₪
	בסיס	-32,297.94 ₪	-32,260.79 ₪	-26,163.74 ₪	-26,130.63 ₪
	גבוה	-36,019.46 ₪	-35,980.11 ₪	-29,013.28 ₪	-28,978.23 ₪

טבלה 8 - חיסכון מהסטת ביקושים של צרכנים רגילים תרחיש הפחתת צריכה (במיליוני ₪) (המשך)					
תרחיש		היוון לפי 3%		היוון לפי 5%	
מספר שנים לטווח ארוך		5 שנים		10 שנים	
רווח חח"י ²⁶		נמוך	₪ 9,848.01	₪ 8,827.34	₪ 7,789.30
		בסיס	₪ 11,112.06	₪ 10,030.50	₪ 8,754.83
		גבוה	₪ 12,548.32	₪ 11,402.44	₪ 9,848.01
					10 שנים
					5 שנים
					10 שנים

מקור: מכון מילקן, 2012.

ניתן לראות מסעיף זה שרוב החיסכון הוא של הצרכנים, בעוד שלחח"י יש בחלק מהתרחישים עלויות ממהלך זה. חשוב לשים לב שהתוצאות מושפעות מאוד ממספר הנחות, ובהן ריבית ההיוון, טווח הזמן עד לטווח ארוך וגמישויות הביקוש לחשמל.

הקטנת שיא הביקוש - הוצאות קבועות

הפחתה של הביקושים בשעות השיא צפויה להקטין את שיא הביקוש השנתי, ולכן תקטין את הרכוש הקבוע שחח"י צריכה להחזיק לצורכי ייצור והפצה. בעבודה זו משמשת הנחה שמרנית, שלפיה עלות של קילו-ואט מותקן לשנה היא 50 דולר. חשוב לציין שמשרד התשתיות מניח עלות גבוהה הרבה יותר, של 1,250 דולר לקילו-ואט מותקן לאורך מחזור חייו (משרד התשתיות הלאומיות, 2010).²⁶

השפעת התוכנית על שיאי הביקוש הוערכה בשתי דרכים המייצגות את החיסכון המזערי והמרבית בקטגוריה זאת כתוצאה מיישום התוכנית.

1. בשיטה הראשונה חושב היחס בין סך הביקושים בשעות הפסגה ושיא הביקוש. יחס זה מייצג את התנודתיות של שיא הביקוש ביחס לביקוש הממוצע בשעות הפסגה. ההנחה היא שרמת התנודתיות תישמר קבועה, ולכן למעשה שיטה זו מניחה שהירידה בביקוש בשעות הפסגה מתפלגת בצורה אחידה על פני כל שעות הפסגה. כיוון שהניסיון הבין-לאומי מוכיח שהחיסכון בשעות שיא הביקוש גבוה יותר מהחיסכון המצטבר של הציבור, שיטה זו מייצגת את החיסכון המזערי בביקושי השיא.

2. בשיטה השנייה חושב היחס שבין שיא הביקוש לביקוש הממוצע (על פני כל שעות השנה). יחס זה, הנקרא "מקדם שיא הביקוש", מייצג את התנודתיות של שיא הביקוש ביחס לממוצע הצריכה, ומושווה לתוצאות בין-לאומיות (Heinen et al., 2011). התוצאות שחושבו לישראל (1.72) גבוהות משמעותית מכל שאר מדינות ה-OECD המצוינות בדוח. כך למשל, מקדם שיא הביקוש הוא 1.54 במדינות צפון אמריקה (ארה"ב, קנדה ומקסיקו), 1.42 במדינות אירופה ו-1.45 במדינות מערב האוקיינוס השקט (אוסטרליה, יפן, קוריאה וניו זילנד).

²⁶ בהנחה שריבית ההיוון היא 3% וטווח הזמן הרלוונטי הוא 20 שנים, האומדן של משרד התשתיות גבוה ב-68% מהאומדן בעבודה זאת. בריבית היוון של 5% עולה הפער ל-101%.

לפיכך הנחתי שיישום התוכנית המוצעת יוביל לירידת מקדם שיא הביקוש לרמות הדומות לאלה שדווחו במדינות ה-OECD בצפון אמריקה תוך 10 שנים, ועל ידי כך יוביל לירידה בשיא הביקוש. הנחה זאת נראית אופטימית מדי, ולכן מייצגת לטעמי את החיסכון המרבי שניתן להשיג מיישום התוכנית.

טבלה 9 מציגה את הירידה, המזערית והמרבית, בשיאי הביקוש במספר שנים נבחרות, בהתאם לתרחישי הבסיס.

טבלה 9 – הורדת שיא צריכה שנתי (במגה-ואט) בשנים נבחרות ²⁷					
שנה					תרחיש
2030	2025	2020	2015	2011	
707.87	581.82	478.21	336.90	95.99	רגיל מזערי
5382.15	3317.80	1817.99	747.13	127.73	רגיל מרבי
707.87	581.82	478.21	336.90	95.99	הגדלה מזערית
5110.36	3079.29	1609.53	594.67	95.52	הגדלה מרבית
1695.37	1393.47	1145.33	864.73	237.11	הפחתה מזערית
6259.32	4087.57	2490.79	1305.18	277.27	הפחתה מרבית

מקור: מכון מילקן, 2012.

טבלה 10 – חיסכון כלכלי מהוון מהפחתת שיא הביקוש לשנת 2010 (במיליוני ₪) ²⁸				
מרבי			מזערי	
ריבית היוון 5%	ריבית היוון 3%	ריבית היוון 5%	ריבית היוון 3%	
₪ 4,369.63	₪ 5,658.39	₪ 1,020.23	₪ 1,265.66	רגיל נמוך
₪ 4,970.04	₪ 6,464.07	₪ 1,135.45	₪ 1,415.98	רגיל בסיס
₪ 5,658.39	₪ 7,390.42	₪ 1,265.66	₪ 1,586.52	רגיל גבוה
₪ 3,938.29	₪ 5,125.20	₪ 1,020.23	₪ 1,265.66	הגדלה נמוך

²⁷ התרחישים המוצגים מניחים השפעות טווח ארוך כעבור 3 שנים מתחילת התחזית.

²⁸ בהנחה שעלות קילו-ואט מותקן היא 31 דולר לשנה, וההשפעות לטווח הארוך מתחילות כעבור 3 שנים.

טבלה 10 - חיסכון כלכלי מהוון מהפחתת שיא הביקוש לשנת 2010 (במיליוני ₪) (המשך)

מזערי		מרבי		
ריבית היוון 3%	ריבית היוון 5%	ריבית היוון 3%	ריבית היוון 5%	
₪ 1,415.98	₪ 1,135.45	₪ 5,868.71	₪ 4,490.84	הגדלה בסיס
₪ 1,586.52	₪ 1,265.66	₪ 6,724.66	₪ 5,125.20	הגדלה גבוה
₪ 3,087.21	₪ 2,495.86	₪ 7,458.77	₪ 5,836.76	הפחתה נמוך
₪ 3,449.09	₪ 2,773.55	₪ 8,467.53	₪ 6,593.91	הפחתה בסיס
₪ 3,859.46	₪ 3,087.21	₪ 9,623.53	₪ 7,458.77	הפחתה גבוה

מקור: מכון מילקן, 2012.

בחישוב החיסכון המהוון למשק צריך לקחת בחשבון שהורדת 1 מגה-ואט משיא הביקוש השנתי מאפשר לחברת חשמל להוריד את ייצור החשמל ביותר מכך (עקב איבוד חשמל של 5.7% לאורך קווי החלוקה). נוסף על כך, חברת החשמל שואפת להחזיק רזרבה הגדולה ב-17% משיא הביקוש, ולכן הפחתת מגה-ואט משיא הביקוש תאפשר הקטנה של 1.236 מגה-ואט מותקן ביכולת הנדרשת של חח"י.

בעקבות הפחתת שיא הצריכה, החיסכון המהוון מדחיית הקמת תחנות כוח ומהקטנת ההון הנדרש של חח"י נע בין 907.4 מיליון ₪ ל-9.623 מיליארד ₪ לאורך השנים 2011–2030.

נוסף על החיסכון במקטע הייצור, מתקבל חיסכון במקטע ההולכה עקב הפחתת העומס על מערכת החשמל. ההנחה בעבודה זאת היא שהחיסכון במקטע ההולכה הוא כ-10% מהחיסכון הצפוי בעלויות הקבועות, וזאת בהתאם להנחות המקובלות בספרות (Faruqui et al., 2007). לפיכך, החיסכון הנוסף בעלויות הקבועות נע בין 90.7 מיליון ₪ ל-962.3 מיליון ₪. החיסכון בעלויות הקבועות נע בין מיליארד ₪ ו-10.585 מיליארד ₪. כל הכסף שייחסך בעלויות הקבועות הוא כסף שייחסך לחח"י ולא לצרכנים, מאחר שמי שנושא בעלויות הקבועות היא חח"י.

עלות התחלתית - התקנת מונים

עלות התקנת המונים החכמים לצרכן היא 177.72 ₪ על פי אתר חח"י.²⁹ במחקרים בין-לאומיים מעריכים את עלות המונים בכ-100–200 דולר, אך מציינים שהתקנתם מביאה לחיסכון ניכר בעלויות התפעוליות המגיע עד ל-89% (שם). שימוש באומדנים אלה מראה שהעלות למונה היא בין 11 ל-200 דולר. חיסכון של 75%–50 בעלויות התפעוליות מביא לעלות זהה לזאת שעליה מדווחת חח"י.

²⁹ חברת החשמל לישראל, 2012א.

לפיכך ההנחה בעבודה זו היא כי עלות התקנת המונה היא 177 ₪, כפי שדורשת חח"י מלקוחותיה. קל לראות כי עלות זאת תגרום לכך שהתקנת מונים חכמים אצל לקוחות קטנים לא תהיה כדאית כלכלית, גם אם ישיגו חיסכון והתייעלות באופן צריכת החשמל.

בתחשיב לפי עלות זו תעלה התקנת מונים אצל כל הצרכנים הביתיים קרוב ל-388 מיליון ₪.

כיסוי העלות יכול להתבצע על ידי חח"י או על ידי הצרכנים. כיסוי העלות על ידי חח"י יוביל בוודאי להגברת מהירות ההחזרה של מונים אלה לשוק ולהגדלת היקף ההחזרה, אך גם עלול להוביל להתקנת מונים לא יעילה, כלומר להתקנתם בקרב צרכנים שהחיסכון המושג בגינם אינו מצדיק את ההשקעה הראשונית. שאלת מימון עלויות התקנת המונים צריכה להיקבע בהתאם לאופי התוכנית המדויק שייקבע.

עלויות סביבתיות

בשנים האחרונות עולה המודעות בעולם ובישראל לנזקים הסביבתיים והבריאותיים הנגרמים בעקבות פליטות גזים מהתעשייה, להשפעתו של האדם על תהליך שינוי האקלים ולנזקים הצפויים ממנו לעולם כולו. ההשפעות הסביבתיות בתהליך ייצור החשמל נמדדות על פי רמת הפליטות של ארבעה חומרים: גפרית דו-חמצנית (SO₂), תחמוצות חנקן (NO_x), חלקיקים (PM) ופחמן דו-חמצני (CO₂). כדי לשקלל את ההשפעות הסביבתיות ניתן לכלל מזהם מחיר כלכלי (המשרד להגנת הסביבה, 2012). המחיר מאפשר למדוד את ההשפעות החיצוניות השליליות בייצור החשמל, וכן לתמחר בצורה טובה יותר את עלות ייצור החשמל באמצעות כל אחד מהדלקים. כך למשל הייצור באמצעות פחם הוא הזול ביותר מבחינה כלכלית, אך ההשלכות הסביבתיות שלו הן הגבוהות ביותר (חברת החשמל לישראל, 2010). לפיכך, בשקלול העלויות החיצוניות שימוש בפחם הוא יקר יותר מאשר שימוש בגז.

תוכנית הסטת הביקושים המוצעת מביאה להפחתת הזיהום הסביבתי בהליך ייצור החשמל. כאשר פורטים חיסכון זה למונחים כלכליים, התוכנית המוצעת מביאה לחיסכון כלכלי מזערי, וזאת משתי סיבות: הראשונה היא שהסטת הביקושים תוביל להקטנת ייצור החשמל באמצעות סולר ולהגדלת ייצורו באמצעות מזוט וגז. בעוד גז הוא זול ונקי יותר מאשר סולר, מזוט מזהם יותר ממנו. הסיבה השנייה היא שהשלכות הסביבתיות כפי שמתמחרים אותן המשרד להגנת הסביבה וחברת החשמל, אינן גבוהות ביחס לתועלת הכלכלית המוצגת במחקר זה. לפיכך, החיסכון הסביבתי המושג מהתוכנית הוא זניח (בהיקפים של כמה עשרות אלפי ₪) ולכן לא יוצג.

בדיקות נוספות

בטרם תאומץ תוכנית הסטת הביקושים בישראל נדרשות מספר בדיקות נוספות להבטחת הכדאיות הכלכלית של התוכנית:

1. **גמישויות הביקוש לחשמל** – הנחות הגמישות בחשמל בעבודה זאת הוערכו בהתאם למספר מחקרים בין-לאומיים המדווחים על מגוון רחב של תוצאות. הצלחת התוכנית מבוססת במידה רבה על ההנחה כי המגזר הביתי מסוגל להסיט את הביקושים שלו משעות השיא לשעות השפל. בחינת הגמישויות כיום בישראל, בין אם על ידי תוכנית ניסיונית ובין אם על ידי הערכת מומחים בהתאם לנתוני האמת של חברת החשמל היא קריטית לביסוס

- ההיתכנות הכלכלית של התוכנית המוצעת. נוסף על כך, חשוב לבחון את ההבדלים בין הגמישות בטווח הקצר ובטווח הארוך ולהבין כיצד הגמישות משתנה על פני השנים.
- 2. התפלגות גמישויות החשמל** – לשם הפשטות הנחתי שהגמישות לחשמל אחידה אצל כל הצרכנים. הנחה זאת היא הנחה פשטנית כפי שהוצג לעיל. הניסיון הבין-לאומי מוכיח כי יש הטרוגניות רבה בגמישויות בין משקי הבית, והדבר תלוי בין היתר בהכנסות משקי הבית, במספר מוצרי החשמל, באופי התוכנית (מחייבת או מרצון) ובאופן התגמול. כתיבת תוכנית מפורטת להסטת ביקושים בישראל צריכה להביא בחשבון הטרוגניות זאת ולתכנן את התמריצים כך שיכוונו למשקי הבית שהתשואה בהם על החיסכון בחשמל צפויה להיות חיובית.
- 3. תהליך התקנת מונים** – לשם פשטות הנחתי שניתן להתקין את המונים החכמים בקרב 2 מיליון צרכנים ביתיים עם תחילת התוכנית. הנחה זאת אינה מציאותית, וסביר שתהליך ההתקנה יימשך מספר שנים. לשם כך מומלץ כי רשות החשמל תיתן עדיפות להתקנה בקרב לקוחות שפוטנציאל החיסכון בקרבם גבוה יותר. הימשכות התקנת המונים על פני מספר שנים צפויה להקטין את החיסכון הכלכלי המהוון.
- 4. שינויים בעלויות ייצור** – בעבודה זאת הנחתי שעלויות ייצור החשמל על פי כל אחד מסוגי הדלקים נשארת קבועה על פני זמן. הנחה זאת אינה תואמת את המציאות שמשק האנרגיה בישראל חווה בשנים האחרונות, ששינויים במחירי הדלקים חלים בה וצפויים להימשך גם בשנים הקרובות לאחר תחילת הזרמת הגז ממאגר "תמר". יש להביא בחשבון שינויים במבנה העלויות לשם בחינת רגישות הכדאיות הכלכלית לשינויים במחירי הדלקים. לדוגמה, הקטנת פער המחירים היחסי בין המחיר השולי בפסגה למחיר השולי בשעות השפל (שפל+גבע) במחצית, מביאה לירידה ממוצעת של 5 מיליארד ₪ ברווחיות של כל תרחיש. נוסף על כך, עלות הייצור עשויה להשתנות עקב שינויים טכנולוגיים בהליך ייצור החשמל, למשל טכנולוגיות המאפשרות העלאת שיעור הנצילות של דלקים מסוימים.
- 5. שינויים בתמהיל הדלקים** – בשנים האחרונות עובר משק החשמל שינוי משמעותי בתמהיל הדלקים. כך למשל מדווחת חברת החשמל כי בשנת 2001 נעשה 20% מייצור החשמל בישראל באמצעות מזוט, בעוד שבשנת 2010 פחות מ-1% מהחשמל יוצר באמצעות מזוט. כמו כן, 36.6% מהחשמל בשנת 2010 יוצר באמצעות גז טבעי, בעוד בתחילת שנות ה-2000 הגז לא שימש את חברת החשמל בהליך הייצור (חברת החשמל לישראל, 2010א). שינוי תמהיל זה, שצפוי להימשך בשנים הקרובות בעקבות גילוי הגז הטבעי, עשוי להשפיע משמעותית על עלויות ייצור החשמל ויש להביאו בחשבון.
- 6. הנחות חיסכון במקטעי הייצור, ההולכה והחלוקה** – הנחות החיסכון במקטע הייצור התבססו על ההנחה שהסטת הביקושים לא תשפיע על העלות הממוצעת בייצור קוט"ש חשמל על ידי כל אחד מהדלקים. כלומר, שהעלות השולית בייצור קוט"ש על ידי כל סוג דלק שווה בדיוק לעלות הממוצעת. אם המחיר השולי בשעות השפל והגבע יהיה גבוה מהמחיר הממוצע או אם המחיר השולי בשעות השיא יהיה נמוך מהמחיר הממוצע, פוטנציאל החיסכון הכלכלי ייפגע (ולתפוך).
- 7. נוסף על כך, ההנחה באשר לחיסכון בעלויות במקטע ההולכה מבוססת על מחקר בין-לאומי. הנחות אלה צריכות לעבור תיקוף למשק החשמל בישראל.**

8. **תמהיל הסטת הביקושים לשעות השפל גבע** – בשנת 2010 היה סך הביקושים במגזר הביתי בשעות השפל גדול פי 2.5 מאשר בשעות הגבע. תוצאה זו מתקבלת כיוון שיש יותר שעות בשנה המוגדרות כשעות שפל מאשר שעות המוגדרות כשעות גבע. ההנחה בעבודה זו הייתה שהביקושים שיוסטו משעות השיא יתחלקו על פי יחס זה בין שעות השפל והגבע. הנחה זאת היא פשטנית ואינה מביאה בחשבון השלכות אפשריות של הסטת הביקושים על חלוקת שעות העומס. קיים חשש שתוכניות הסטת ביקושים יובילו ליצירת שעות שיא חדשות, מיד לאחר תום שעות השיא הרשמיות. במקרה זה לא תוביל הסטת הביקוש לירידה בעלות הדלקים, ולא תסייע בהכרח בהפחתת שיאי הביקוש.
9. מספר מחקרים שבדקו נושא זה הראו כי החששות הללו מופרזים, אך לא בלתי סבירים לחלוטין (King and Chatterjee, 2003).
10. **השפעה על צרכני תעו"ז** – שינוי הרגלי הצריכה בקרב משקי הבית צפוי להוביל לשינויי מחירים גם לצרכני התעו"ז בעקבות הפחתת העומס על מערכת החשמל והפחתת הצורך בהחזקת רכוש קבוע. מחקרים מראים כי ירידת המחירים בשוק המידי עשויה להביא לחיסכון משמעותי למשק (Faruqui et al., 2007; Langmore and Dufty, 2004). נוסף על כך, תוכנית הסטת הביקושים למשקי הבית יכולה לשמש תחליף חלקי לתוכניות הסטת הביקושים של צרכני התעו"ז (כגון מש"ב, פסגה ניידת ועוד). אם חברת החשמל תקטין את הסתמכותה על תוכניות הסטת ביקושים אלה ייווצר לה חיסכון כספי נוסף.
11. **יוקר המחיה** – חשמל מצוי בבסיס הייצור של כל מוצר ושירות במדינה מפותחת. הפחתת מחיר החשמל לצרכנים עשויה להוביל לירידת מחירים בכל מגזרי המשק ולהשפיע בצורה חיובית על ירידת יוקר המחיה במדינת ישראל ועל רמת התחרותיות של התעשייה הישראלית.
12. **תקופת השפעת התוכנית** – התוכנית המתוארת במחקר זה אומדת את החיסכון במשק החשמל על פני פרק זמן של 20 שנים. הרחבת טווח הזמן ל-30 או ל-40 שנים תגדיל את החיסכון המתקבל מתוכנית זאת. טווח התחזית נבחר ל-20 שנים בלבד עקב הקושי להעריך את ההתפתחויות ארוכות הטווח של משק החשמל ובשל הכוונה שתוכנית זאת תהיה לתקופת מעבר בלבד לתעו"ז מוחלט או לכל תוכנית אחרת שתייצג לצרכנים באופן הולם יותר את העלויות השוליות בייצור החשמל. לפיכך, התועלת הכלכלית של תוכנית זאת חורגת מהתוצאות המתוארות לעיל.
13. **מכוניות חשמליות** – בעת כתיבת מחקר זה המכוניות החשמליות היו שבריר אחוז מכלי הרכב בארץ ובעולם כולו. עם זאת, ייתכן כי כבר בעתיד הקרוב יגדל מספרן לכדי אחוז ניכר מהשוק. המעבר ממכוניות בעלות מנוע בעירה פנימי למכוניות הנסמכות על מערכת החשמל יוביל כמובן להגדלת הביקוש לחשמל, וישפיע על התפלגות צריכתו. באופן תאורטי יכולות המכוניות החשמליות להגדיל את יכולת ייצור החשמל בשעות השיא ולהחליק את צריכת החשמל, שכן ניתן לטעון אותן בשעות השפל ולהשתמש בהן לגיבוי מערכת החשמל בשעות השיא (Heinen et al., 2011).
14. **התפתחות טכנולוגיות עקיפות** – התוכנית צפויה להגדיל את הביקושים למונים חכמים ולטכנולוגיות שיאפשרו תכנון ושליטה מרחוק בצריכת החשמל. סביר להניח שהתוכנית תשפיע בצורה חיובית על התפתחות מוצרים

ושירותים שיופנו תחילה לשוק המקומי, אך עשויים בעתיד להרחיב את היצוא למדינות נוספות. לפיכך, לתוכנית עשויה להיות השפעה חיובית על התעסוקה, על היצוא ועל התוצר של המדינה.

מדיניות מומלצת במשק החשמל

טווח קצר

לקראת קיץ 2012 נעשו במשק החשמל מספר צעדים כדי להתמודד עם בצורת החשמל הפוקדת את ישראל. הפעולות שננקטו מזכירות את התמודדותה של קליפורניה עם בצורת החשמל בשנת 2001. תוכנית 20/20 אומצה בגרסה מצומצמת והציעה למשקי הבית 10% הנחה על חיסכון של 15–20% והנחה של 20% לחיסכון של 20–30% בצריכת החשמל ביחס לתקופת החשבון המקבילה בשנה הקודמת בחודשים יוני–ספטמבר.³⁰ לקוחות שיקטינו את צריכת החשמל מעל 30% לא יהיו זכאים להנחה, וזאת כדי להימנע ממצבי קיצון כמו למשל מצב שבו לקוח יוצא לחופשה ולא נמצא בדירה מרבית החודש. בד בבד פתח משרד האנרגיה והמים בקמפיין הסברה תקשורתי "למה בצהרים? עוצרים את בצורת החשמל".³¹ הקמפיין מעלה את מודעות האזרחים לצורך בהפחתת צריכת החשמל בשעות הצהריים ובתרומה של הסטת הביקושים למניעת הפסקות חשמל בשעות העומס. נוסף על כך, נעשו במהלך השנה האחרונה מספר צעדים ובהם מיזמים להחלפת מכשירי חשמל ישנים בחדשים, הגדלת היצע החשמל ומיצג תאורה המסמל את צריכת החשמל על ארובת רידינג. על פי הערכת חברת החשמל, הצעדים שננקטו מפחיתים את הביקושים בשעות השיא ב-250 מגה-ואט, ובכך מגדילים את רזרבת החשמל בקרוב ל-2%.

מכיוון שמחקר זה יתפרסם לאחר עונת הקיץ, המלצותיו אינן יכולות להשפיע על משק החשמל בעונה זאת. עם זאת, חשוב לשים לב שבצורת החשמל צפויה להימשך גם בקיץ 2013. במקרה זה יהיה קשה יותר להפעיל את התוכניות שנכנסו לתוקף השנה, ויהיה צורך למצוא פתרונות אחרים. לפיכך, עולה הצורך בהפעלת פתרונות לטווח הבינוני-ארוך בהקדם האפשרי. נוסף על כך, כפי שהראו מחקרים במדינות אחרות שסבלו מבצורת חשמל, המודעות הציבורית שנוצרה בקיץ 2012 צפויה לשפר את תגובת הצרכנים לשינויים עתידיים במשק החשמל (Lutzenhiser et al., 2002). עובדה זו מגדילה את הפוטנציאל הכלכלי של תוכניות להתיעלות אנרגטית ולהפחתת הביקוש לחשמל כמו גם לתוכניות להסטת ביקושים לחשמל.

טווח בינוני-ארוך

מחקר זה מבקש להדגיש כי אופן התמחור במשק החשמל גורם לחוסר יעילות מתמשך שעלותו מיליארדי ₪ בשנה. בטווח הארוך חייב שוק החשמל בישראל, כמו כל שוק כלכלי אחר, להיות מבוסס על המחירים השוליים בייצור החשמל ולא על המחירים הממוצעים. לשם כך נדרש שינוי בתמחור החשמל לצרכנים "רגילים", שיכול להתבצע רק לאחר שמוני החשמל של צרכנים אלה יוחלפו למוניים שמסוגלים למדוד את שעות השימוש בחשמל.

כדי להגיע למצב זה ולהתגבר על המכשולים הצפויים בדרך מוצעת במחקר זה תוכנית ביניים להסטת ביקושים במגזר הביתי. התוכנית מיועדת לטווח זמן שלא יעלה על 20 שנים, שבמהלכן יסתגל הציבור לשינוי הכללים במשק החשמל.

³⁰ חברת החשמל לישראל, 2012ב.

³¹ משרד האנרגיה והמים, 2012.

טווח זמן זה מיועד לאפשר התקנת מונים חכמים לכל הלקוחות, שינוי בהרגלי צריכת החשמל הביתית, התפתחות והטמעה של טכנולוגיות המאפשרות תכנון מראש ושליטה מרחוק בצריכת החשמל וכן פיתוח מודל תמחור של תע"ז ביתי מלא. התוכנית שתיושם בסופו של דבר תהיה ככל הנראה מסובכת יותר והדרגתית יותר מאשר זאת שהוצגה במחקר זה. הרגולטורים הרלוונטיים יצטרכו לבדוק פרטים טכניים רבים שלא הובאו בחשבון במסגרת עבודה זאת. עם זאת, המחקר המוצג כאן מבקש להדגיש שתי נקודות עיקריות בתוכנית להסטת ביקושים למגזר הביתי. הנקודה הראשונה היא עקרון הפשטות – נקודה זאת חשובה כדי להבטיח התגייסות גבוהה בקרב הציבור למהלך וכדי למנוע התנגדויות בקרב גורמים שונים. הנקודה השנייה נוגעת לתזמון – המועד הנכון להפעלת תוכנית מסוג זה הוא עכשיו. אי-ניצול של משבר החשמל ושל המודעות הציבורית הגוברת לקשיים במשק החשמל יפגע בכדאיות הכלכלית של התוכנית, וידחה במספר שנים את יכולתה לספק פתרון למשק החשמל המקומי. בטווח זמן זה צפוי להימשך פיתוח צד ההיצע, תהליך חיובי לכשעצמו אך כזה שעשוי להסתיר שוב את חוסר היעילות המובנה בשוק, ולכן עשוי לדחות שוב את השינוי המבני שנדרש בו.

סיכום

התוכנית שהוצגה בעבודה זו פירטה חלק מהתועלת הכלכלית למשק כתוצאה מהסטת ביקושים בקרב משקי הבית. מהתוכנית עולה כי ניתן להשיג חיסכון זה באמצעים מועטים יחסית ולרתום לכך נכונות ציבורית שטרם הופעלה בתחום. בהתאם לנתונים שהוצגו בעבודה, עולה כי פוטנציאל החיסכון הוא משמעותי ביותר, וזאת מבלי להביא בחשבון תמורות נוספות למשק, שעשויות לנבוע אף הן מתוכנית זו. החיסכון המהווך על פני 20 שנים עשוי להסתכם, לפי התרחישים השונים, בסכום הנע בין 8.68 מיליארד ₪ עד 52.43 מיליארד ₪, מתוכם הרווח של חח"י נע בין הפסד של 1.1 מיליארד ₪ לרווח של 22.17 מיליארד ₪. החיסכון המהווך למשק על פני 20 שנים הוא בין 1.07% ל-6.45% מהתוצר בשנת 2010. לתוכנית המוצעות יתרונות עקיפים נוספים. קיים פוטנציאל להתפתחות חברות הזנק שיספקו טכנולוגיית עילית להסטת ביקושים ואף ייצאו אותה לחו"ל; גידול הרווחים של חח"י יוכל להוביל לירידת מחירים נוספת, שאף תסייע להקטין את עלויות הייצור של המגזר העסקי בארץ, ותוכל להוביל לגל נוסף של ירידות מחירים בחלק מהמוצרים; התפלת מים (שאחת מהעלויות המרכזיות בה היא אנרגיה) תוזל, וייתכן שמיזמים חדשים בתחום זה ייעשו כדאיים כלכלית. השפעות אלה לא נבחנו במסגרת עבודה זו בגלל היקפן הנרחב ויחסי הגומלין המורכבים שבין המשתנים. לא יהיה זה מופרך להניח כי שינוי קטן בשוק החשמל עשוי להשפיע על כל משתנה מהותי במשק, היות שמדובר בשוק מרכזי ובסיסי שכל הפעילות הכלכלית והחברתית מושתתת עליו. הפנמת הבעייתיות הנובעת מצריכה בלתי מבוקרת והירתמות הציבור לפעילות כלכלית חוסכת אנרגיה עשויות להניע תהליכי ייעול בפעילות משק החשמל ולהביא לחיסכון ניכר שהצרכנים והמדינה ייהנו מן הירידות. להשגת מטרה זו נדרשים מדיניות מתאימה, חזון, ומנהיגות כלכלית המוכנה להתוות את הדרך ולהוביל את השינוי. תרומת עבודה זאת, אם בכלל, היא בבחינת חלופות ומתן ערכים כמותיים שיעזרו ב"התוויית הדרך" ובהתנעת המוטיבציה ללכת בה.

נספחים

גרסיה 1 - צריכת החשמל לנפש בישראל מוסברת על ידי התוצר לנפש

```
. reg dempc lnypc
```

Source	SS	df	MS			
Model	42.9240538	1	42.9240538	Number of obs =	61	
Residual	.262798735	59	.004454216	F(1, 59) =	9636.73	
Total	43.1868525	60	.719780876	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9939	
				Adj R-squared =	0.9938	
				Root MSE =	.06674	

dempc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnypc	1.630209	.0166065	98.17	0.000	1.596979	1.663439
_cons	-9.89687	.1796813	-55.08	0.000	-10.25641	-9.537329

מקור: מכון מילקן, 2012.

גרסיה 12 - צריכת החשמל לנפש מוסברת על ידי התוצר לנפש (אחרי שנת 2000)

```
. reg dempc lnypc if year>=2000
```

Source	SS	df	MS			
Model	.014023199	1	.014023199	Number of obs =	11	
Residual	.007326864	9	.000814096	F(1, 9) =	17.23	
Total	.021350063	10	.002135006	Prob > F =	0.0025	
				R-squared =	0.6568	
				Adj R-squared =	0.6187	
				Root MSE =	.02853	

dempc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnypc	.601109	.144833	4.15	0.002	.273474	.928744
_cons	1.844299	1.649124	1.12	0.292	-1.886279	5.574876

מקור: מכון מילקן, 2012.

טבלה 11 - סקר טלפוני בקליפורניה: עליית המודעות בציבור למשבר החשמל

Issue	Pre-Crisis		Crisis		
	Dec. 1998	Dec. 1999	Jan. 2001	July 2001	Dec. 2001
Electricity prices, cost, supply, demand	0%	0%	25%	56%	14%
Schools, education	36%	28%	26%	9%	12%
Jobs, economy, unemployment	5%	5%	4%	5%	15%

מקור: baldassarre, 1998, 1999, 2001a, 2001b, and 2001c.

ביבליוגרפיה

- גרוסמן, ג', א' אילון וט' גולדרט. 2007. ניהול ביקושים ואספקה; סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 8. חיפה: מוסד שמואל נאמן, הטכניון. חברת החשמל לישראל. 2010א. דוח סטטיסטי. חיפה.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2010. שנתון סטטיסטי. ירושלים.
- המשרד להגנת הסביבה. 2012. עלויות חיצוניות של זיהום אוויר. ירושלים.
- הרשות לשירותים ציבוריים חשמל. 2012. פרק לוחות תעריפים – עדכון ליום 1.1.12. ירושלים.
- התנועה למען איכות השלטון בישראל. 2009. הרפורמה במשק החשמל. ירושלים.
- חברת החשמל לישראל. 2010ב. דוח תקופתי. חיפה.
- חברת החשמל לישראל. 2010ג. דין וחשבון סביבתי. חיפה.
- חברת החשמל לישראל. 2011. דוח תקופתי. חיפה.
- חברת החשמל לישראל. 2012א. תע"ז ברירתי. www.iec.co.il/BusinessClients/Pages/OptionalTariff.aspx [נצפה ב-2 ביולי, 2012].
- חברת החשמל לישראל. 2012ב. חיטון קיץ 2012. www.iec.co.il/HomeClients/DocLib5/July2012.pdf [נצפה ב-2 ביולי, 2012].
- מבקר המדינה. 2008. "היערכות להתמודדות עם מחסור בחשמל". דוח שנתי 59 לשנת 2008 ולחשבונות שנת הכספים 2007: 1197–1218.
- משרד האנרגיה והמים. 2011. משק החשמל בישראל.
- energy.gov.il/Subjects/Electricity/Pages/GxmsMniAboutElectricity.aspx [נצפה ב-1 ביולי, 2012].
- משרד האנרגיה והמים. 2012. בקיץ עוצרים את בצורת החשמל. energy.gov.il/Campaigns/Pages/GxmsMniCampaignElectricityBazoret.aspx [נצפה ב-2 ביולי, 2012].
- משרד התשתיות הלאומיות. 2010. התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית. ירושלים.
- משרד התשתיות הלאומיות. 2011. תוצאות מחקר אומדן עלות אי-אספקת חשמל צד הביקוש. ירושלים.
- Beenstock, M., E. Goldin and D. Nabet. 1999. "The Demand for Electricity in Israel". *Energy Economics* 21: 168–183.
- Bureau of Economic Analysis. 2011. Widespread Economic Growth across States in 2011. U.S. Department of Commerce. www.bea.gov/newsreleases/regional/gdp_state/gsp_newsrelease.htm [accessed: July 2, 2012].
- Bureau of Economic Analysis. 2012a. Regional Economic Accounts: Download CSV. www.bea.gov/regional/downloadzip.cfm [accessed: July 2, 2012].
- Bureau of Economic Analysis. 2012b. Regional Economic Accounts. U.S. Department of Commerce. www.bea.gov/regional/index.htm [accessed: July 2, 2012].

- Bohi, D. and M. Zimmerman. 1984. "An Update of Econometric Studies of Energy Demand". *Annual Review of Energy* 9: 105–154.
- California Energy Commission. 2003. *Energy Efficiency and Conservation: Trends and Policy Issues*.
- California Energy Commission. 2009. *California Energy Demand 2010–2020 Adopted Forecast*.
- California Energy Commission. 2010. *2009 AB 2021 Progress Report: Achieving Cost- Effective Energy Efficiency for California*.
- California Energy Commission. 2012a. *Energy Almanac. California Electricity Demand – Historical Noncoincident Peak Demand*. energyalmanac.ca.gov/electricity/historic_peak_demand.html [accessed: July 2, 2012].
- California Energy Commission. 2012b. *Energy Almanac. U.S. Per Capita Electricity Use by State in 2010*. energyalmanac.ca.gov/electricity/us_per_capita_electricity-2010.html [accessed July 2, 2012].
- ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program). 2010. *Managing An Electricity Shortfall – A Guide for Policymakers*. Washington, D.C.: World Bank.
- ESMAP. 2011. *Best Practice for Market-Based Power Rationing*. Washington, D.C.: World Bank.
- Espey, J. and M. Espey. 2004. "Turning on the Lights: A Meta-Analysis of Residential Electricity Demand Elasticities". *Journal of Agricultural and Applied Economics* 36 (1): 65–81.
- Essential Services Commission. 2004. *Mandatory Rollout of Interval Meters for Electricity Customers (draft decision)*. Melbourne, Australia.
- Fan, S. and R. Hyndman. 2011. "The Price Elasticity of Electricity Demand in South Australia". *Energy Policy* 39: 3709–3719.
- Faruqui, A., R. Hledik, S. Newell and J. Pfeifenberger. 2007. "The Power of Five Percent". *The Electricity Journal* 20: 68–77.
- Filippini, M. 1995. "Swiss Residential Demand for Electricity by Time-of-Use". *Resource and Energy Economics* 17: 281–290.
- Goldman, C. A., J. H. Eto and G.L. Barbose. 2002. "California Customer Load Reductions During the Electricity Crisis: Did They Help to Keep the Lights on?". *Journal of Industry, Competition and Trade* 2: 113–142.
- Heinen, S., D. Elzinga, S. Kim and Y. Ikeda. 2011. *Impact of Smart Grid Technologies on Peak Load to 2050*. Paris: International Energy Agency (IEA).
- Henley, A. and J. Peirson. 1998. "Residential Energy Demand and the Interaction of Price and Temperature: British Experimental Evidence". *Energy Economics* 20: 157–171.
- International Energy Agency. 2005. *Saving Electricity in a Hurry*. Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency. 2011. *Saving Electricity In a Hurry – Update 2011*. Paris: OECD/IEA.
- King, C. S. and S. Chatterjee. 2003. "Predicting California Demand Response". *Public Utilities Fortnightly* 141: 27–32.

- King, K. and O. Shatrawka. 1994. "Customer Response to Real-Time Pricing in Great Britain". In Proceedings of the ACEEE 1994 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
- Langmore, M. and G. Dufty. 2004. Domestic Electricity Demand Elasticities. Issues for the Victorian Energy Market.
- Lutzenhiser, L., M. H. Gossard and S. Bender. 2002. "Crisis in Paradise: Understanding the Household Conservation Response to California's 2001 Energy Crisis". In Proceedings of the 2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol 8: 153–166. Washington D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy.
- National Institute of Economic and Industry Research. 2007. The Own Price Elasticity of Demand for Electricity in NEM Regions.
- OECD. 2012. Gross Domestic Product (GDP). stats.oecd.org/index.aspx?queryid=559 [accessed: July 2, 2012].
- Reiss, P. C. and M. W. White. 2005. "Household Electricity Demand Revisited". *The Review of Economic Studies* 72: 853–883.
- Sachdeva, A. and P. Wallis. 2010. *Our Demand :Reducing Electricity Use in Victoria Through Demand Management*. Clayton, Vic.: Monash Sustainability Institute.
- U.S. Department of Energy. 2006. *Benefits Of Demand Response In Electricity Markets And Recommendations For Achieving Them*.
- U.S. Energy Information Administration. 2011. *Electric Noncoincident Peak Load and Capacity Margin, 1986–2010*. www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.cfm?t=ptb0812 [accessed: July 2, 2012].
- U.S. Energy Information Administration. 2012. www.eia.gov/electricity/monthly [accessed: July 2, 2012].

FELLOWS | KORET
PROGRAM | MILKEN INSTITUTE

תוכנית עמיתי קורת – מכון מילקן
בית מילקן, רחוב תל חי 13
ירושלים, 97102

info@kmifellows.org
www.kmifellows.org