

# מאזן האנרגיה של ישראל. ניתוח מערכתי

ד"ר יעקב סוסנובסקי, רו"ח יבגני ארייב

ישראל אינם יכולים לשמש השוואות בינלאומיות, היות ש: א) אינם כוללים את נתוני הניצול של מקורות האנרגיה המתחדשת ואת פילוח האנרגיה הסופית לפי מגזרי הכלכלה, בין היתר לפי סוגי מקורות האנרגיה; ב) שונים משמעותית מנתוני IEA.

כיוצא מהנאמר לעיל, הניתוח להלן מתבסס על נתוני IEA. יחד עם הצורה הטבלאית (המטריציונית), ניתן להציג את מאזני האנרגיה בצורה גרפית של תזרימי מוצרי האנרגיה; צורה זו חזותית יותר, במיוחד בהשוואות בינלאומיות. תרשים 4 ממחיש סכמה פשטנית של תזרימי האנרגיה של ישראל לשנת 2009, תרשים 5 - כנ"ל לגבי איטליה (בהתבסס על נתוני מאזני האנרגיה המתאימים של IEA).

להלן נדגים כיוונים אפשריים של ניתוח המידע הנכלל במאזני האנרגיה, על סמך מאזן האנרגיה של ישראל לשנת 2009.

## מבוא

מאזן האנרגיה של אובייקט - משק בית, עסק, מגזר כלכלי, מדינה - הינו אחד המקורות העיקריים למידע על מצבו ומגמות התפתחותו. על בסיסו ניתן להשוות בין אובייקטים שונים, כולל הקבלות בינלאומיות, לימוד דינמיקת המדדים, זיהוי הכיוונים להגברת האפקטיביות האנרגטית, בניית תחזיות הביקוש לאנרגיה ותוכניות פיתוח. במעבר לאובייקטים ברמה גבוהה יותר, מורכבותם מתעצמת, כך שהרכבת המאזנים דורשת השקעות רבות יותר של עמל מומחים. על אף כל הישגי מערכות המידע המודרניות, הפקת מאזני האנרגיה הלאומיים השנתיים עורכת בדרך כלל מעל שנה. כך, למועד כתיבת נייר זה, מאזני האנרגיה של מדינות, קבוצות מדינות, אזורים גיאוגרפיים וסיכום עולמי, אשר מפורסמים ע"י סוכנות האנרגיה הבינלאומית (IEA), מעודכנים לשנת 2009 בלבד.

## יסודות מתודולוגיים

שלבי הפקת וצריכת האנרגיה, החל ממקורות האנרגיה ועד הצרכן הסופי מוצגים בתרשים 1 [1, תרשים 2.1], זרימת מוצרי האנרגיה - בתרשים 2 [1, תרשים 2.2], כאשר העיקריים שבהם, הנאמדים בהתאם להנחיות IEA משנת 2004, - בתרשים 3 [1, תרשים 2.3]. בתרשים האחרון ניתן לראות התניות והנחות באומדני תזרימי מוצרי האנרגיה לפי שלבי ההפקה, ההמרה והצריכה של אנרגיה ראשונית.

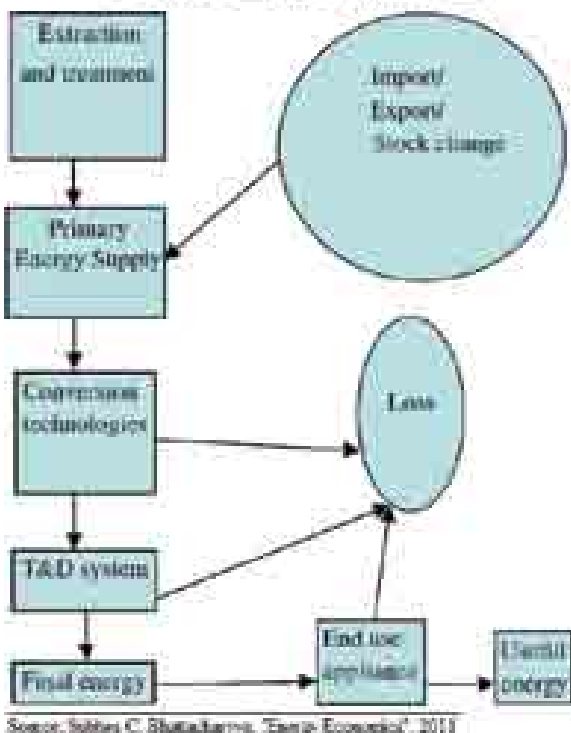
מאזן האנרגיה יכול להיות מוצג בצורת מטריצה (ראה/י טבלאות 1 ו-2, בהן מוצג מאזן האנרגיה של ישראל לשנת 2009): לאורך - שלבי המרת מקורות האנרגיה הראשונית, לרוחב - הרכב תזרימי מוצרי האנרגיה בכל שלב.

אמידת סוגי האנרגיה הנפרדים ביחידות פיסיקאליות מקוריות (דלקים מוצקים, נפט ומוצרי - בטונות, גז טבעי - במטרים מעוקבים, חשמל - בקו"ש, חום - בג'אול וכד') מאפשרת לסכום כל אחד מהם לטבלה, המייצגת "חשבון מוצרי האנרגיה".

מאזן האנרגיה הכללי (המלא) לפי סוגי האנרגיה מתקבל באמצעות שימוש ביחידה פיסיקאלית מוסכמת אחידה (קוהרנטית), בעלת תכונות האדיטיביות. היחידה הנפוצה ביותר והמקובלת בסטטיסטיקה הבינלאומית בתחום האנרגיה, אשר משמשת להערכת פוטנציאל יצירת החום של כל מקור אנרגיה, היא שווה ערך טון נפט (שעט"ן, TOE) = 10 מיליון קילו-קלוריות.

כפי שניתן לראות מהשוואת הטבלאות 1 ו-2, נתוני הלמ"ס של

Figure 1. Energy supply chain

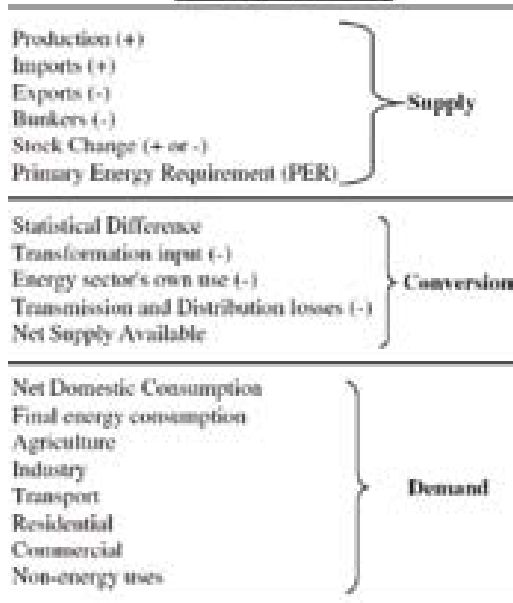


Source: Subfig C. Shattuck et al., 'Energy Economics', 2011

תרשים 1



Figure 3. Main flows considered in energy accounting

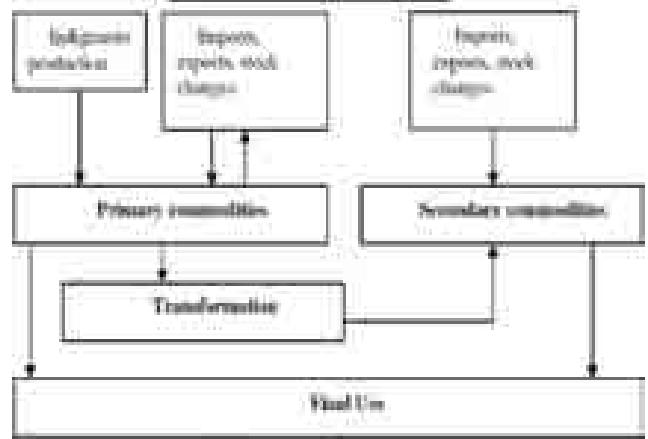


Source: Hubler C. Bhattacharya, "Energy Economics", 2011

תרשים 3

לרשות הפלסטינאית). יחס יצוא מוצרי הנפט לצריכה בארץ עומד על 34%.  
 5. מבנה האנרגיה הראשונית, הנצרכת בהפקת החשמל: דלקים מוצקים - 65.8%, מוצרי נפט - 4.5%, גז טבעי - 29.6%, אנרגיה מתחדשת - 0.1%.  
 6. רמת החשמול (נתח החשמל מסך צריכת האנרגיה הסופית) עומדת בישראל על 27.6%, בעוד הממוצע העולמי הינו 17.2%, האיחוד האירופי-27 - 20.3%, ארה"ב - 21.4%.  
 7. יעילות הפקת החשמל (יחס החשמל המיוצר לאנרגיה הראשונית שהושקעה בייצורו) עמדה על 0.42 ויכולה להיחשב גבוהה מספיק, בהתחשב במבנה שבסעיף 5. להשוואה (תחנות כוח בלבד, ללא תחנות

Figure 2. Energy commodity flow



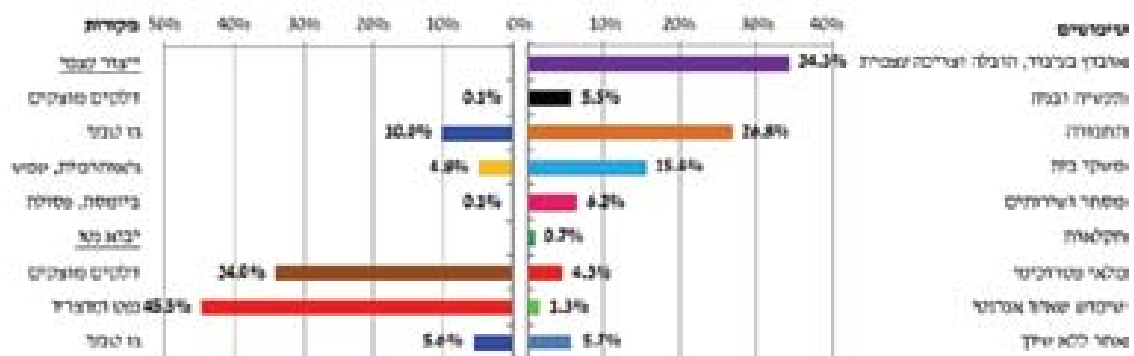
Source: Hubler C. Bhattacharya, "Energy Economics", 2011

תרשים 2

מדדי חישוב בסיסיים

- מבנה צריכת האנרגיה הראשונית: דלקים מוצקים 34.0%, נפט ומוצריו 45.5%, גז טבעי 15.6%, מקורות אנרגיה מתחדשת 4.9%.  
 1.1. בתרשים 6 מוצגת התפתחות מדד זה בשנים 1971-2009. צריכת האנרגיה הראשונית בתקופה זו גדלה כמעט פי 4, אך יחד עם זאת החל מאמצע שנות ה-80 נראה בירור המפנה במגמה. עד שנת 1981, כאשר החל השימוש בפחם מיובא, נפט ומוצריו היוו את המקור העיקרי של אנרגיה ראשונית. ניצול הגז הטבעי בבעלות ישראלית החל בשנת 2004. ללא הרף גדל השימוש במקורות אנרגיה מתחדשת וחלקם בסך צריכת האנרגיה הראשונית.  
 2. מקורות עצמיים של משאבי האנרגיה היוו 15.2%, כולל 10.0% באמצעות גז טבעי, 5.0% - אנרגיה מתחדשת, 0.2% - דלקים מוצקים. סוגיית האנרגיה המתחדשת מפורטת בחלקו האחרון של המאמר.  
 3. מבנה היבוא נטו (יבוא בניכוי יצוא) לפי סוגי האנרגיה הראשונית: דלקים מוצקים - 37.4%, נפט ומוצריו - 56.2%, גז טבעי - 6.4%.  
 4. מבנה היצוא: מוצרי נפט - 91.2%, חשמל - 8.8% (כולל

תוציפי האנרגיה בישראל בשנת 2009 (כ-1% מצריכת האנרגיה הראשונית)



תרשים 4



מוצרי האנרגיה (מוצרי נפט) מופנית לייצור מגוון של חומרי סיכה דליקים, בניה ואחרים; במקביל לייעול השימוש, נחוצה בתחום זה שאיפה מירבית להכנסת חומרים חליפיים למוצרי נפט.

3. **לעניין ממצא 8:** רמת החשמול בכלכלת ישראל הינה אחת הגבוהות בעולם. מומלץ לחקור את דרכי המיטוב של מדד זה בהתחשב בתוכניות הרחבת הניצול של הגז הטבעי המקומי.  
4. סעיף "שימושים בלתי משויכים" מגיע לכדי 9% מצריכת האנרגיה הסופית, מכך מעל 4/5 של מוצרי נפט והיתר חשמל. בהתאם להנחיות המתודולוגיות של IEA, לכאן, בין היתר, מיוחסות השקעות התעשיות הביטחוניות. מסיבה זו הסעיף בדרך כלל נפקד מניתוח כולל. לאור ניסיון של מספר מדינות, כגון, בדומה למוסדות מתוקצבים אחרים, נחוץ לקיים פעילות להמרצת שימור האנרגיה, כגון חובת עריכתה של ביקורת אנרגיה, קביעת היעדים לחסכון משאבי אנרגיה תוך ייסוד הקרן להמרצת שימור האנרגיה וכד'.

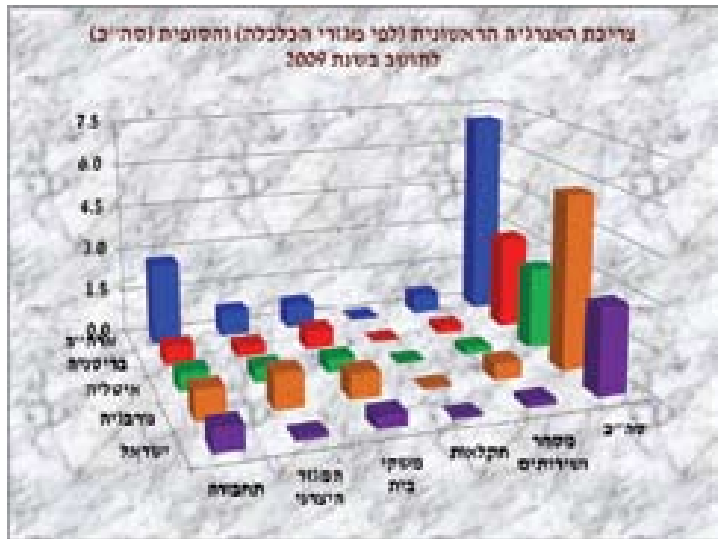
### שכלול סטטיסטיקת האנרגיה

1. בפרסומינו (בפרט במאמרנו "סוגיות שימור האנרגיה בישראל. היבט מדעי-מתודולוגי", אשר פורסם בגיליון 37 של "חשמל ואנשים" בספטמבר 2011 [5]) כבר הפנינו את תשומת הלב לאי דיוקים רציניים בפרסומים הסטטיסטיים של IEA, המעידים על גישתו נעדרת הביקורת של הארגון כלפי המידע המוגש ע"י מדינות שונות. בין היתר, במשך מספר שנים מוצג כי בארה"ב אין כלל שימוש בחשמל בחקלאות, יערנות ודיג, אך לעומת זאת בישראל - 100% חשמול!

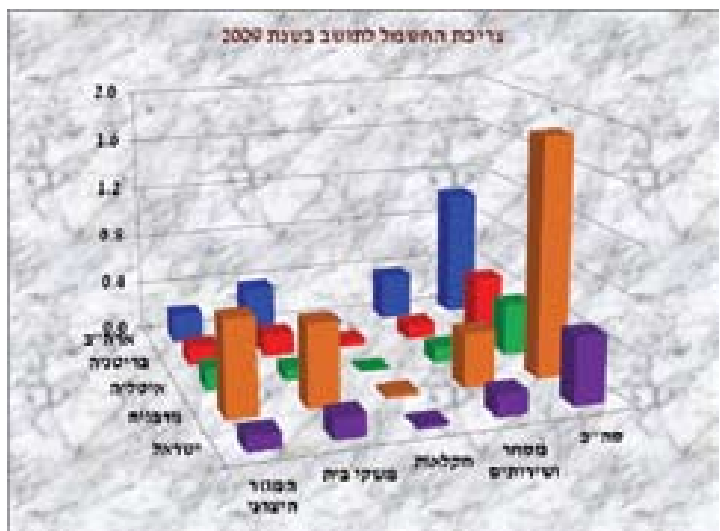
2. שכלול החישוב לגבי שימושי אנרגיה מתחדשת. במאזני האנרגיה של IEA הידרו-אנרגיה מובדלת לטור נפרד, בעוד יתר הסוגים מאוחדים תחת קבוצת "ביו-דלקים ופסולת" (כאן נכללת גם אנרגיית הרוח). בפרק פרסומי IEA "אנרגיה מתחדשת" נכללים נתונים מפורטים יותר לפי כל סוג אנרגיה מתחדשת - ביחידות מקוריות וכנתח מסך הפקת החשמל והחום, בפילוח לפי מגזרי הכלכלה. כידוע, 27 מדינות האיחוד האירופי הציבו יעד עד שנת 2020 להשיג נתח אנרגיית השמש בכלל הפקת האנרגיה ברמה של 20%, בישראל מתוכנן למועד זה להגיע ל-10% באמצעות כלל סוגי האנרגיה המתחדשת (סולארית, רוח, ביו-מסה).

2.1. בניית הסעיף "אנרגיה גיאו-תרמית, סולארית ואחרת" לפי נתוני ישראל נמצא כי רובה המכריע משמש לחימום בטמפרטורות נמוכות באמצעות דודי השמש, בעוד שיתר סוגי האנרגיה המתחדשת מנוצלים עד כה בנתחים קטנים עד מבוטלים מסך הצריכה. כידוע, ישראל הצטיינה כחלוצה ובמשך מספר שנים נותרה מובילת השימוש בהתקנים אלה - פשוטים, זולים יחסית, אמינים בשירות ובעלי יעילות גבוהה. (נכון לעת הזו, על פי נתוני [6]), שטח סוללות השמש בקפריסין נאמד בכ-0.71 מ"ר לתושב, בישראל - 0.56, בארה"ב - 0.01 בלבד).

בתנאי האקלים של ישראל, עם מספר ימי השמש המגיע ל-80%



תרשים 7



תרשים 8

### מספר סיכומי הביניים

1. **לעניין ממצא 2:** ניצול מקורות האנרגיה המתחדשת נותר נמוך מאוד, בהתחשב בתנאי האקלים בארץ. ניצול האנרגיה הסולארית מוגבל כעת בעיקר לשימוש בחום בטמפרטורות נמוכות, המופק בדודי השמש.

2. **לעניין ממצאים 3 ו-4:** נוכח יבוא מלא של נפט ומוצריו (נתחם ביבוא נטו עמד על 56.2%), ישראל בו-זמנית מייצאת מעל 23% ממוצרי הנפט המופקים, דהיינו חמישית מכוח העיבוד מופנה לטובת היצוא. ללא ספק, כך מושגת תוצאה כלכלית חיובית, אך מנגד יש להביא בחשבון תוספת השקעות אנרגיה לצריכה עצמית בזיקוק (4.9%) והעומס הסביבתי העולה בהתאמה.

יתרה מכך, סעיף המאזן "שימוש שאיננו אנרגטי", האוגר בתוכו כמעט 9% מצריכת האנרגיה הסופית, אשר שלושה רבעים ממנו נובעים מהמלאים בתעשייה הפטרוכימית, נותר בדרך כלל בלתי מנותח. יתרת

**Table 1. 2009 Energy Balance for Israel**  
in thousand tones of oil equivalent (ktoe) on a net calorific value basis

Supply & Consumption	Coal & Peat	Crude Oil	Oil Products	Natural Gas	Hydro	Geothermal, Solar, etc.	Biofuels & Waste	Electricity	Total*
Production	31	0	0	2,167	2	1,042	24	0	3,266
Imports	7,397	12,234	2,245	1,250	0	0	4	0	23,130
Exports	0	0	-3,372	0	0	0	0	-325	-3,697
International Marine Bunkers**	0	0	-345	0	0	0	0	0	-345
International Aviation Bunkers**	0	0	-811	0	0	0	0	0	-811
Stock Changes	2	0	0	0	0	0	0	0	2
<b>TPES</b>	<b>7,430</b>	<b>12,234</b>	<b>-2,283</b>	<b>3,417</b>	<b>2</b>	<b>1,042</b>	<b>28</b>	<b>-325</b>	<b>21,546</b>
Statistical Differences	-5	0	0	185	0	0	0	39	218
Electricity Plants	-7,425	0	-504	-3,338	-2	-3	-16	4,731	-6,557
Oil Refineries	0	-12,234	12,427	0	0	0	0	0	193
Energy Industry Own Use	0	0	-614	-97	0	0	0	-384	-1,095
Losses	0	0	0	0	0	0	0	-151	-151
<b>TFC</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9,027</b>	<b>167</b>	<b>0</b>	<b>1,039</b>	<b>12</b>	<b>3,908</b>	<b>14,154</b>
<b>Industry</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>55</b>	<b>167</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>906</b>	<b>1,128</b>
<b>Transport</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5,736</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5,736</b>
<b>Other</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,016</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,039</b>	<b>12</b>	<b>3,002</b>	<b>6,070</b>
Residential	0	0	982	0	0	1,039	4	1,300	3,326
Commercial and Public Services	0	0	0	0	0	0	0	1,344	1,344
Agriculture / Forestry	0	0	0	0	0	0	0	145	145
Non-Specified	0	0	1,034	0	0	0	8	213	1,255
<b>Non-Energy Use</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,220</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,220</b>
- of which Petrochemical Feedstocks	0	0	943	0	0	0	0	0	943

\* Totals may not add up due to rounding.

\*\* International marine and aviation bunkers are included in transport for world totals.

Source: [http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY\\_CODE=IL](http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=IL)

**Table 2. ENERGY BALANCE 2009**

Thousand toe. (tons of oil equivalent)

	Coal	Oil shales	Crude oil	Refinery feed-stocks	Total petroleum products	Natural gas	Electricity	Heat and steam
<b>Primary Energy Supply - Total</b>	<b>7,357.2</b>	<b>31.1</b>	<b>11,242.7</b>	<b>1,094.1</b>	<b>-2,097.5</b>	<b>4,478.0</b>	<b>-322.0</b>	
Indigenous production		31.1				2,862.4	3.3	
Imports	7,359.6		11,572.7	1,094.1	2,197.0	1,615.8		
Exports(1)					-3,678.9		-325.3	
Marine bunkers					-345.2			
Stock changes (increase)	-2.4		-333.3		-270.7			
Statistical differences	12.5		28.3	39.1	438.6	969.1	0.9	
<b>Final Consumption of Energy - Total</b>					<b>8,629.3</b>		<b>3,969.1</b>	<b>13.9</b>
Petroleum refineries			-11,214.4	-1,055.0	12,365.0	-75.7		
Electricity generation - total	-7,344.7	-31.1			-583.1	-3,433.4	4,679.2	13.9
For public consumption					-346.9	-3,355.6	4,579.8	
For own consumption					-210.3	-77.8	99.4	
Own use and losses					-616.5		-387.2	

1. Exports incl. sales to the Palestinian Authority.

2. Following the process of privatization in recent years, and pursuant to the Statistics Ordinance [New Version] 1972, the CBS is prohibited from publishing data on the energy balance as of 2007.

Source: [www.cbs.gov.il/shnaton62/download/st21\\_01.xls](http://www.cbs.gov.il/shnaton62/download/st21_01.xls)

מדודי השמש, גדל פי 1.4 ביחס למאזן האנרגיה משנת 2008 - הנ"ל לא נראה אמין. חשיבות מהימנותה של סטטיסטיקה עולה בהקשר של הרחבה מתעתדת בשימוש אנרגיה סולארית לחימום נמוך ובינוני. **מסקנה:** מומלץ לפתוח תת-סעיף "התקנים להפקת אנרגיה סולארית לחימום נמוך ובינוני (עד 160 מעלות)" ולגבש שיטה אחידה לחישוב ושיקוף אנרגיה זו במאזני האנרגיה. מכשירים מודרניים מאפשרים למדוד ולכמת נתוני אמת של צריכת אנרגיית דודי השמש.

### סיכום

1. נותחו היסודות המתודולוגיים לתחשיב תזרימים של מוצרי האנרגיה והצגתם בצורה מטריצינית (מאזני האנרגיה) וגרפית.
2. בהסתמך על מאזן האנרגיה של ישראל לשנת 2009, הוצגו כיוונים אפשריים לניתוח מדדי אנרגיה עיקריים, במטרה לזהות רוברות להגברת האפקטיביות האנרגטית.
- 2.1. בפרט, הוצגו יעילות השימוש בחום סולארי בטמפרטורות נמוכות ודרכים אפשריות להעלאת נתחו במאזן האנרגיה.
3. נמצאה נחיצות בשכלול סטטיסטיקת האנרגיה, ובין היתר טיפול בסוגיות להלן:
  - סטיה מהותית של מאזני האנרגיה, אשר הוכנו ע"י הלמ"ס של ישראל מהמלצות המתודיות הכלליות של IEA; בפרט, היעדר תחשיבי השימוש במקורות אנרגיה מתחדשת;
  - היעדר מתודולוגיה בינלאומית אחידה לתחשיבי השימוש בחום סולארי בטמפרטורות נמוכות - פרט אשר מקטין את מהימנותם של נתוני המדינות השונות.

### מקורות

1. Subhes C. Bhattacharyya. "Energy Economics. Concepts, Issues, Markets and Governance". London, "Springer", 2011.
2. IEA publications: [http://www.iea.org/stats/pdf\\_graphs/ILTPES.pdf](http://www.iea.org/stats/pdf_graphs/ILTPES.pdf).
3. IEA publications: <http://www.iea.org/stats/balancetable.asp>.
4. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה - מאזן אנרגיה 2009: [www.cbs.gov.il/shnaton62/download/st21\\_01.xls](http://www.cbs.gov.il/shnaton62/download/st21_01.xls).
5. 'סוסנובסקי, י' ארייב. "סוגיות שימור האנרגיה בישראל. היבט מדעי-מתודולוגי". "חשמל ואנשים", גיליון 37, ספטמבר 2011.
6. "עקפה אותנו בסיבוב: קפריסין שיאנית דודי השמש". Ynet - "כלכלה ירוקה", 02.01.2012: <http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4170293,00.html>

בשנה, השימוש בהם מאפשר לחסוך 80% מהאנרגיה לחימום המים ביחס לדודי חשמל. ההשקעות ברכישה, התקנה ותחזוקה מוחזרות במהירה באמצעות חסכון החשמל אפילו נוכח התעריף הנמוך יחסית (בעוד שתמרוץ הפקתה של האנרגיה הסולארית נתמך ע"י מיסוד ההטבות מטעם הממשלה: בעת העברת החשמל מסוג זה לרשת הכללית, משולם לבעלים תעריף גבוה פי כמה מתעריף חברת החשמל והוא אף הובטח למשך 18 שנה).

לאור זאת, השימוש בהם גובר בהתמדה, המבנה והטכנולוגיה משתכללים, מתקבלות החלטות רגולטוריות להרחבת השימוש במגזרים נוספים על משקי הבית.

מכאן ברורה כדאיות השימוש בדודי השמש במדינות אחרות ואזורים המאופיינים ברמת פעילות גבוהה של השמש. בנוסף, יש להתחשב בכך, שהיות שאנרגיה זו משמשת את המכשיר הסופי (הצרכן) באופן בלתי אמצעי, אפקט החלפת האנרגיה הראשונית גדול משמעותית מנתח אנרגיית דודי השמש, המשוקפת במאזני האנרגיה: כך, למשל, אם להניח שבמאזן האנרגיה של ישראל לשנת 2009 (טבלה 1) נתחה באמת הסתכם ב-4.8% מסך צריכת האנרגיה הראשונית, אזי דודי השמש החליפו לפחות 7.3% ממקורות האנרגיה המופקים מהאדמה (ואילו בהתבסס על חסכון החשמל ההחלפה מגיעה לכ-12%).

אולם ייחודיותו של סוג אנרגיה סולארית זה נעוצה בגישות לאמידת הפקתה וצריכתה. להבדיל מאנרגיית השמש, המופקת בהתקנים תרמיים או פוטו-וולטאים, אשר מומרת לחשמל ומחושבת באותן יחידות המדידה, עבור אנרגיית דודי השמש אין בינתיים שיטת חישוב בלתי אמצעית והיא נאמדת, כאמור לעיל, דרך חסכון אנרגיה יחסי מול התקני חימום מים אחרים או אף בשיטה גסה עוד יותר - באמצעות צמצום יחסי בצריכת האנרגיה במשק הבית.

מעבר לכך, ניתוח מאזני האנרגיה לשנת 2009 מגלה, שבשתי המדינות המובילות בהיקפי השימוש בדודי השמש שיטות ההערכה שונות מהותית. ניתן לראות זאת בעין בטבלה 3:

Indices			Israel	Cyprus
SWH total	million sq. m		4.17	0.575
	energy consumption	total, ktoe	1,039	59
		for 1 dweller, toe	0.14	0.072
	production from 1 sq. m, toe	0.249	0.101	
Share of SB in energy consumption	households		31.2%	15.9%
	TPES		4.8%	2.3%
	TFC		7.3%	3.3%

לשם השוואה: בארה"ב באותה שנה חימום המים במשקי הבית היוו 17.5% מסך צריכת האנרגיה. איסוף האנרגיה מיחידת שטח של התאים הסולאריים בישראל גבוה ביותר מפי 2 מאשר בקפריסין. סך האנרגיה, שהופקה בישראל