

פרויקט "תחזית קיימות לישראל 2030" החל באוקטובר 2010 כמיזם משותף של המשרד להגנת הסביבה והמרכז למדיניות סביבתית במכון ירושלים לחקר ישראל, וצפוי להסתיים במאי-יוני 2012. תחזית קיימות לישראל 2030 שמה לה למטרה להציג חזון קיימות לשנת 2030 שאליו ישראל צריכה לשאוף. זאת על מנת לאפשר למקבלי ההחלטות בישראל להבין את המגמות הקיימות, לאתר את הפערים להגשמת החזון, ולהצביע על הנתונים בהם עליהם לצעוד על מנת להגשימו.

## פרויקט תחזית קיימות לישראל 2030

### מדדים – קיימות אתמול, היום ומחר

#### פליטת תחמוצות גפרית (Sox)

עורכים: ד"ר עמיר אידלמן ויעל יבין

הדברים הנאמרים הם על דעת המחברים בלבד.

## פליטת תחמוצות גפרית (SO<sub>x</sub>)

**תחמוצות גפרית (SO<sub>x</sub>)** הן שם כולל למשפחת תרכובות גזיות הנפלטות לאוויר משריפת דלק המכיל גפרית. התרכובת העיקרית הנפלטת בתהליך השריפה היא גפרית דו-חמצנית: SO<sub>2</sub> (יותר מ-95%) והשאר גפרית תלת-חמצנית (SO<sub>3</sub>).

המקורות העיקריים שפולטים תחמוצות גפרית הם בתי זיקוק, תחנות כוח ומפעלים שונים. לכלי הרכב (בעיקר רכבי הדיזל) היתה בעבר תרומה לפליטות תחמוצות גפרית, אולם בשנים האחרונות שיעור הפליטות מכלי הרכב זניח.

השימוש הנרחב בפחם ובדלקים עתירי גפרית, היה הגורם המרכזי לפליטות גבוהות של SO<sub>x</sub> עד לעשורים האחרונים של המאה ה-20. התקנים המחמירים שהונהגו מאז במדינות אירופה, היו חלק מהמהלכים שנקטו להפחתת הפליטות. בשנת 2005 החלו להכניס לשימוש בישראל את התקן "Euro 4", המחייב בין היתר את בתי הזיקוק לייצר דלק דל-גפרית עבור כלי רכב, ובו 50 חל"ב<sup>1</sup> בלבד. בשנת 2009 החל להיכנס לשימוש בארץ התקן "Euro 5", המחייב לייצר דלקים לכלי רכב עם תכולת גפרית של 10 חל"ב בלבד. השימוש הרווח בדלק ובסולר דל-גפרית, ופיתוח אמצעים לצמצום פליטות מזהמים מכלי רכב, הביאו בשנים האחרונות להפחתה ניכרת בפליטות הגפרית מכלי רכב בארץ.

דרישות המשרד להגנת הסביבה מחברת החשמל הביאו לשיפור דרסטי בכל הנוגע לתכולת הגפרית במזוט, בו נעשה שימוש בתחנות הכוח. משיעור של כ-85% מזוט רב-גפרית בשנת 1990, הגיעה ישראל להפסקה מוחלטת של שימוש במזוט זה בשנת 2001. החל משנת 2005 תחנות הכוח משתמשות במזוט דל-גפרית בלבד. במקביל ירד גם ריכוז הגפרית בפחם וכל אלה הביאו לצמצום פליטות תחמוצות הגפרית מתחנות הכוח.

### נזקי תחמוצות גפרית:

גפרית דו-חמצנית היא גז חסר צבע, בעל ריח חריף. כשהיא חודרת לגוף היא פוגעת ברקמות, גורמת הפרעות בדרכי הנשימה, כאבי ראש והפרעות בראייה. חרף האמצעים הננקטים וההפחתה בפליטות, קיימת עדיין סכנה לבריאות הציבור מפליטות SO<sub>2</sub>.

בנוסף לנזק הבריאותי הישיר, גורם ריכוז גבוה של תחמוצות הגפרית באטמוספירה להיווצרות גשם חומצי, אשר לו השלכות כבדות על המערכת האקולוגית, על החקלאות והוא מזיק גם למבנים.

תחמוצות גפרית נפלטות לאטמוספירה גם בתהליכים טבעיים, כמו התפרצויות של הרי געש, אולם אלה זניחים ביחס למקורות האנתרופוגניים (מעשי ידי אדם).

<sup>1</sup> חל"ב - חלקים לפיליון (Parts Per Billion - PPB).

פליטת תחמוצות גפרית היא מדד מקובל להשוואות בינלאומיות ולבחינת מידת הקיימות. מעקב אחר פליטות ה-SOx לאורך זמן, מאפשר לבחון עד כמה מיושמת מדיניות המעודדת שימוש בדלקים משופרים ונקיים יחסית.

היקף פליטת SOx נאמד על פי כמות השימוש בפחם ובדלקים, בעיקר בהפקת חשמל, בתעשייה ובתחבורה והוא מתבסס על מקדמי הפליטה הידועים<sup>2</sup> עבור מקורות הפליטה השונים.

המידע המוצג בפרק זה מבוסס על נתוני הלמ"ס עבור הפליטות משריפות דלק בישראל בין השנים 2000 ל-2008, אשר להן נתונים מהימנים וקונסיסטנטיים.

המדד מציג את מגמות ההשתנות בסך כל הפליטות והתפלגותן לפי המקורות העיקריים. כמו כן הוא מציג את שיעור הפליטות לנפש, הפליטות לתמ"ג והפליטות ביחס לתמ"ג לנפש.

ההשוואה הבינלאומית נעשתה עם מדינות ה-OECD, בהתבסס על נתונים מ-OECD Environmental Data- compendium 2009-2010 בנושא אוויר.

---

<sup>2</sup> לפי המדידות והספרות המקצועית.

## 1. ישראל, אתמול והיום

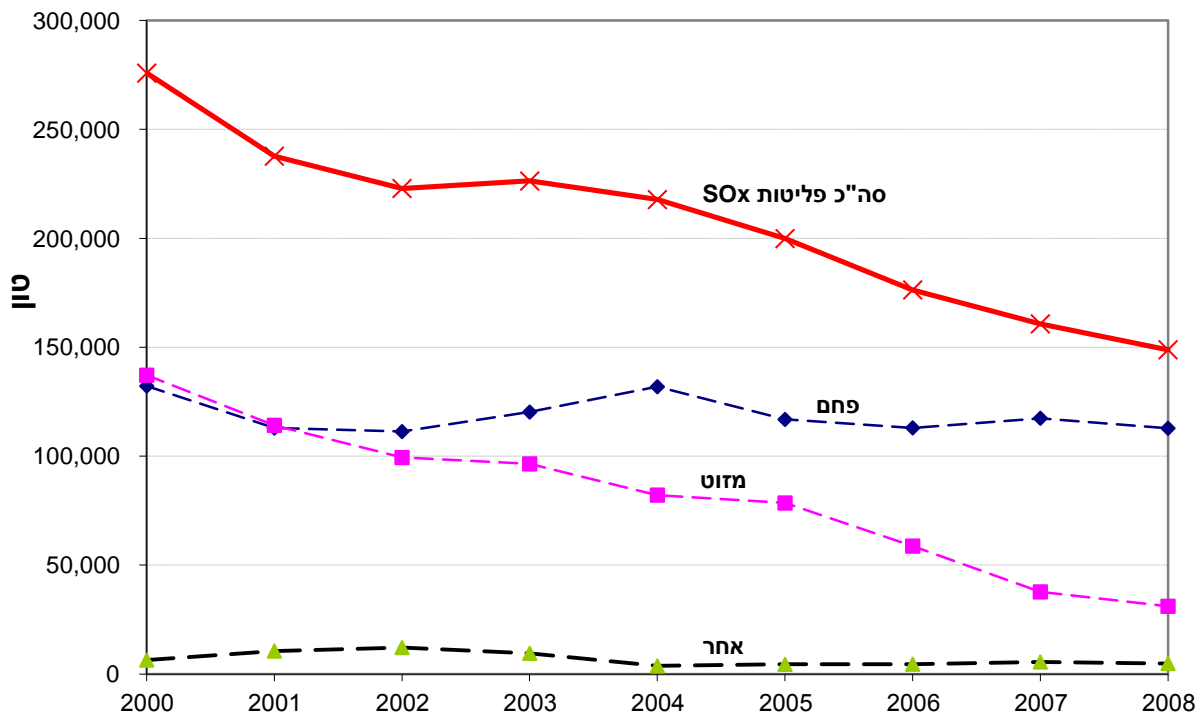
### 1.1 פליטת SOx בשנים 2000-2008

פליטות SOx בישראל ירדו בשנים 2000-2008 מכ-276 אלף טון בשנת 2000, לכ-149 אלף טון בשנת 2008 (תרשים 1). זוהי הפחתה של 46% לאורך התקופה ושל כ-7% לשנה בממוצע.

עיקר פליטות SOx נובע משריפת פחם ומזוט (כ-76% וכ-21% בהתאמה בשנת 2008). המגמות בפליטות משריפת פחם<sup>3</sup> בין השנים 2000-2008 היו מעורבות ובסה"כ פחתו בכ-15%: מכ-132 אלף טון בשנת 2000 לכ-113 אלף טון בשנת 2008. ההפחתות נובעות בעיקר מצמצום תכולת הגפרית בפחם, כמו גם צמצום תכולת הגפרית במזוט ובסולר בתהליכי ייצור החשמל ומהפעלת תחנות כוח המונעות בגז טבעי (הפחתה ניכרת בשנים 2004-2005).

השימוש במזוט לסוגיו לייצור חשמל, ירד מאוד עם השנים וכתוצאה מכך גם פחתו פליטות SOx משימוש במזוט מכ-137 אלף טון בשנת 2000 לכ-31 אלף טון בשנת 2008 – הפחתה של 77%.

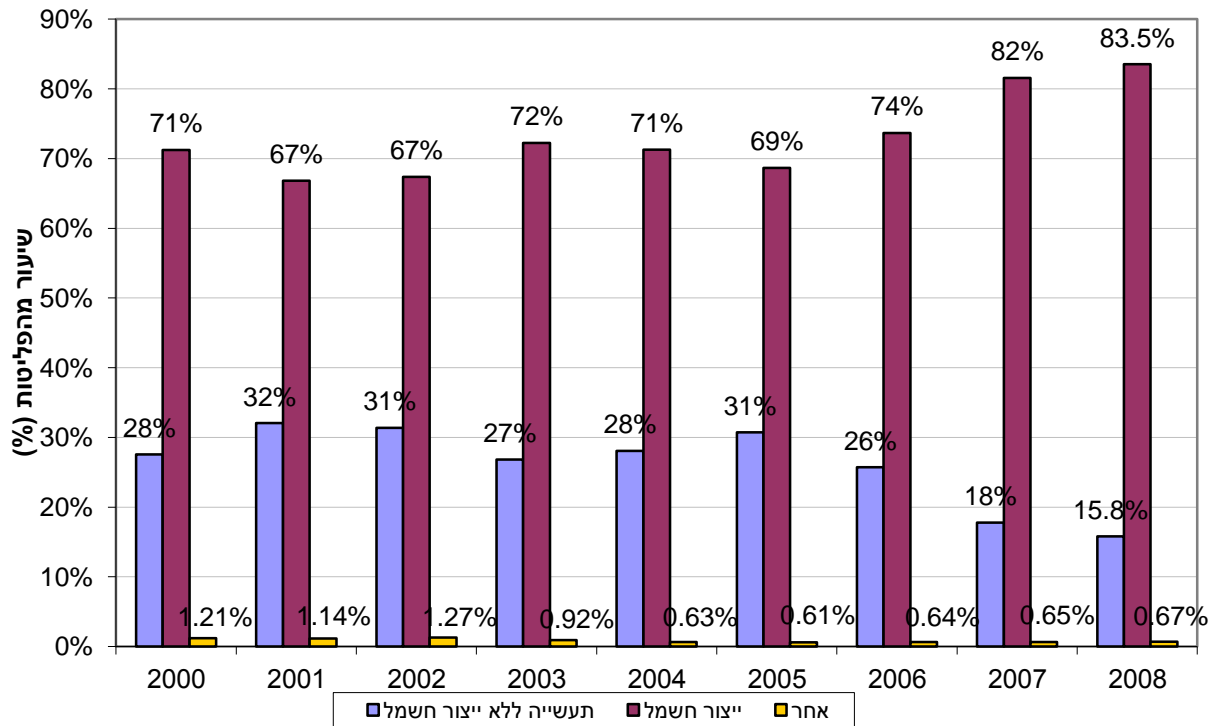
תרשים 1 מציג את סך הפליטות בין השנים 2000-2008 ואת התפלגות הפליטות לפי סוגי הדלק.



תרשים 1: פליטת SOx בישראל בשנים 2000-2008 (מקור: למ"ס)

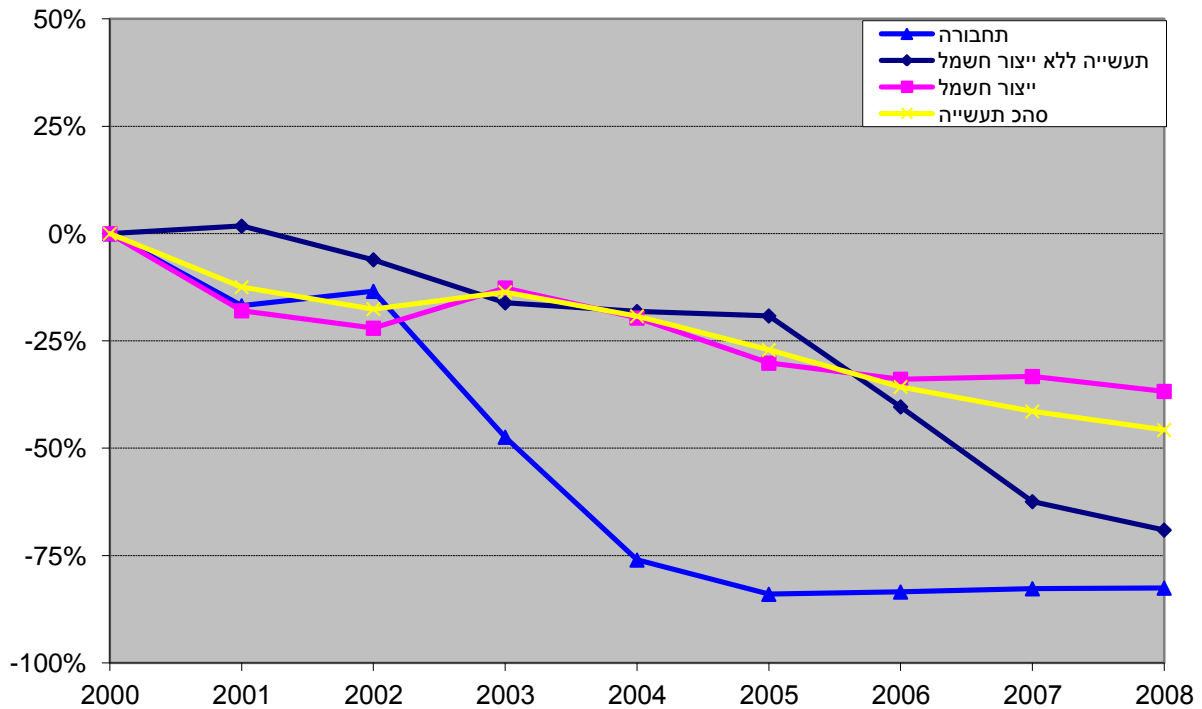
<sup>3</sup> כולל פטקוק ופצלי שמן.

משק החשמל והתעשייה הם המקור העיקרי וכמעט המוחלט לפליטות SOx בארץ. שריפת פחם ומזוט בשנת 2008 היתה המקור לכ-97% מסך כל פליטות הגפרית הדו-חמצנית, כ-84% מתוכם נפלטו מתחנות כוח. השפעתם של שימושים אחרים, כמו כלי רכב ושימושים ביתיים ומסחריים העושים שימוש בדלקים אחרים, היא זניחה ושיעור הפליטות מהם מגיע ל-0.5% בלבד (תרשים 2).



תרשים 2: התפלגות פליטת SOx בישראל בשנים 2008-2000 לפי מקורות הפליטה (מקור: למ"ס)

המגמות בשנים 2008-2000 מצביעות על הפחתה של כ-37% בפליטות SOx מייצור חשמל וירידה של כ-69% בפליטות מענפי התעשייה האחרים (תרשים 3). ההפחתה בפליטות תחמוצת גפרית מכלי רכב ניכרת אף יותר (83%).

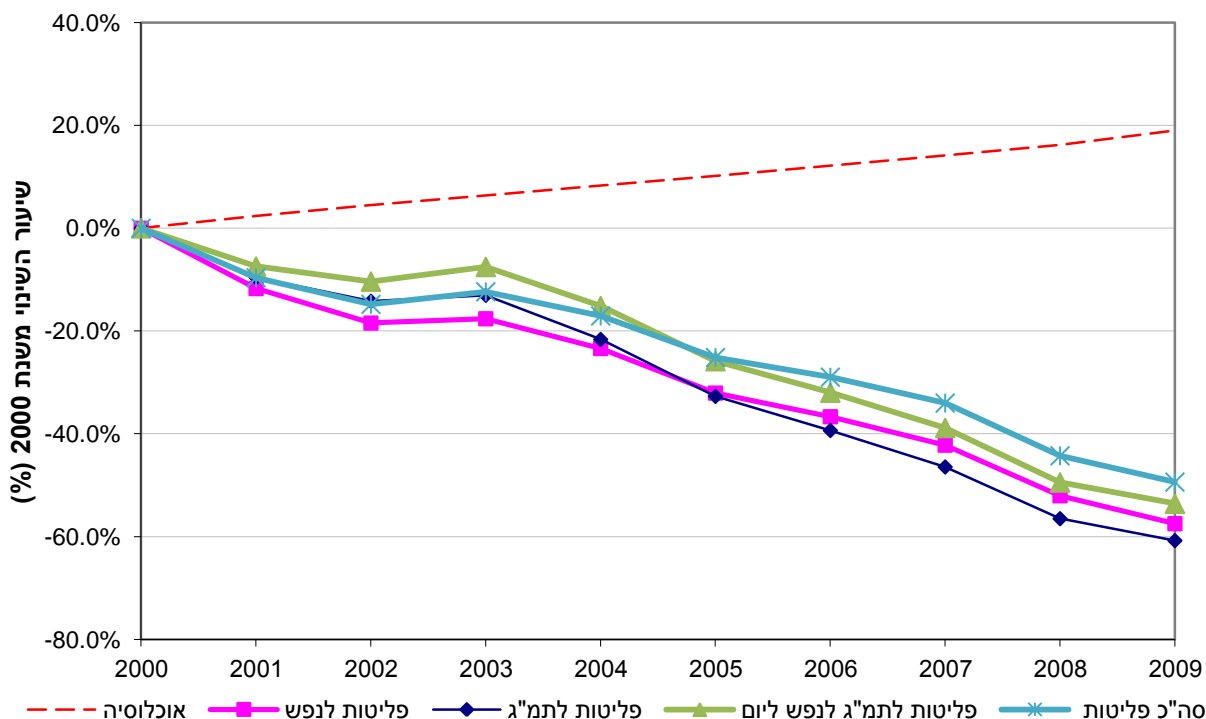


תרשים 3 : מגמות בפליטת תחמוצות גפרית מהמקורות העיקריים (שנת בסיס - 2000)  
(מקור: למ"ס)

### 1.2 פליטת SOx לנפש, לתמ"ג ולתמ"ג לנפש

פליטות SOx לנפש בישראל ירדו מכ-44 ק"ג לנפש לערך בשנת 2000, לכ-20 ק"ג לנפש בשנת 2008 – שה"כ הפחתה של 54% ושל כ-9% בממוצע שנתי. פליטות SOx ליחידת תמ"ג ירדו בתקופה זו מ-2.02 ק"ג ל-1000 דולר בשנת 2000 לכ-0.85 ק"ג ל-1000 דולר בשנת 2008 (במחירי 2000 ו-PPP של שנת 2000). זוהי הפחתה שנתית ממוצעת של כ-10% ובסה"כ הפחתה של כ-58% בשנים 2008-2000. בחינת מגמת השינויים בפליטות תחמוצות גפרית לתמ"ג לנפש, מצביעה על ירידה מכ-35 ק"ג לדולר לנפש ליום בשנת 2000, לכ-17 ק"ג לדולר לנפש ליום בשנת 2008, כלומר: הפחתה של 51%. ההפחתה השנתית עמדה על 8.4% בממוצע.

תרשים 4 מציג את מגמת השינוי בפליטות SOx לנפש, לתמ"ג ולתמ"ג לנפש, לאורך התקופה, כשברקע שיעור גידול האוכלוסייה בתקופה זו. בסה"כ ניתן לראות כי המגמות דומות בכל אחד מהמדדים.



תרשים 4: מגמות בפליטת תחמוצות גפרית לנפש, לתמ"ג ולתמ"ג לנפש (שנת הבסיס - 2000)  
(מקור: למ"ס)

### 1.3 מדידת ריכוז המזהמים באוויר

מעבר לחישוב כמות ה-SO<sub>x</sub> באוויר הנפלט כתוצאה משריפת דלקים, חשוב להציג את ריכוזם באוויר. בארץ קיים זה שנים מערך ניטור ארצי הבוחן מזהמי אוויר שונים בסביבה ובכללם ריכוזי גפרית דו-חמצנית (SO<sub>2</sub>). מממצאי מערך הניטור השנתיים לשנת 2008 עולה כי הריכוזים הגבוהים ביותר של גפרית דו-חמצנית נמדדים באזורים הסמוכים לתחנות הכוח הגדולות ולבתי הזיקוק בחיפה, בחדרה ובאשדוד.

התקן הישראלי לריכוזי SO<sub>2</sub> באוויר<sup>4</sup> כולל ערך שנתי מרבי, ערך יממתי מרבי וערכים חצי-שעתיים מרביים; כלומר, ערכים הנמדדים לחצי שעה בממוצע. התקן קובע כי הריכוז החצי-שעתי המרבי הנמדד בתחנות הניטור לא יעלה על **382 חל"ב**. ערך זה מכונה "ערך מוחלט" (או "תקן מוחלט"). התקן גם קובע ערך נוסף, המכונה "ערך סטטיסטי", העומד על מחצית הערך המוחלט, דהיינו **191 חל"ב**. לפי התקן אין לעבור את הערך הסטטיסטי יותר מ- 44 פעמים בשנה (0.25% מהזמן).

מנתוני המרכז לניטור אוויר (מני"א) באגף איכות אוויר של המשרד להגנת הסביבה<sup>5</sup> עולה כי בשנת 2008 לא היו חריגות מהתקנים השנתיים, היממתיים, ומן התקן החצי-שעתי המוחלט ל-SO<sub>2</sub>. ב-90

<sup>4</sup>תקנות למניעת מפגעים (איכות אוויר) התשנ"ב 1992.

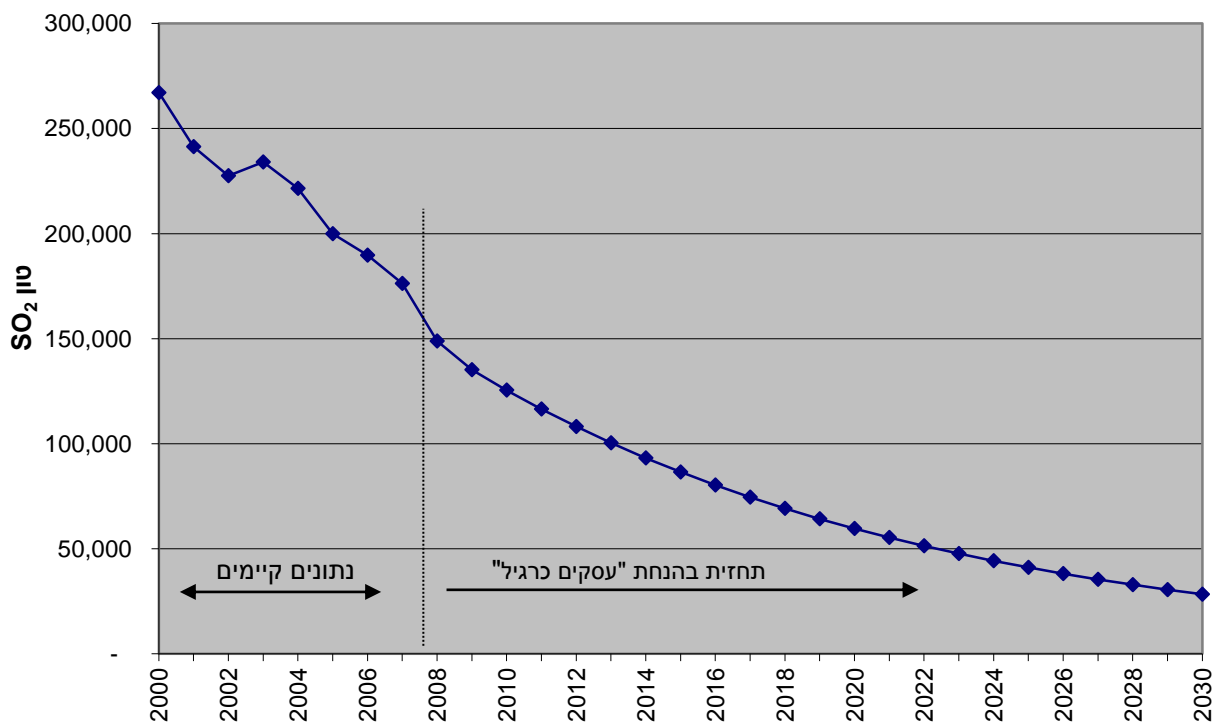
<sup>5</sup> "נתוני איכות אוויר בישראל לשנת 2008", אגף איכות אוויר - מרכז ניטור אוויר ארצי; "ניטור איכות אוויר בישראל", אגף איכות אוויר - מרכז ניטור אוויר ארצי, דוח שנתי 2008.

תחנות הניטור המודדות SO<sub>2</sub>, נמדדו בסה"כ פעמיים ערכים החורגים מהתקן הסטטיסטי: פעם אחת בתחנת פרדס חנה (הסמוכה לתחנת הכוח בחדרה) ובפעם אחת בתחנה שבאזור התעשייה באשדוד. הערכים המרביים שנמדדו בתחנות אלו היו 238 חל"ב בחדרה ו-257 חל"ב באשדוד. ההפחתה שנרשמה בפליטות גפרית דו-חמצנית בישראל משקפת עמידה בתקנים מחמירים לשימוש בדלקים דלי-גפרית ויישום טכנולוגיות למניעת זיהום אוויר.

## 2. ישראל מחר: תחזית לשנת 2030 בהנחת עסקים כרגיל<sup>6</sup>

פליטות תחמוצות הגפרית בישראל ירדו מכ-275 אלף טון לשנה בשנת 2000 לכ-167 אלף טון בשנת 2008 – ירידה ממוצעת של כ-7% לשנה. בהנחת עסקים כרגיל צפויה פליטת תחמוצות הגפרית בשנת 2030 להגיע בישראל לכ-30 אלף טון לשנה. חשוב להדגיש שבסיס הנתונים לתחזית היה קטן יחסית ועל כן יש להתיחס אליה בזהירות.

תרשים 5 מציג את המגמות הצפויות בהנחת עסקים כרגיל. יש להניח כי האצת מגמת המעבר מפחם לגז טבעי, תפחית את הפליטות באופן ניכר, אף מעבר לתחזית זו.



תרשים 5: מגמות בפליטות תחמוצות גפרית עד שנת 2030 בהנחת עסקים כרגיל

<sup>6</sup> הנחת עסקים כרגיל היא ההנחה שהמגמות שהתרחשו ב-20 השנים האחרונות ימשיכו להתקיים גם ב-20 השנים הבאות.



### 3. ישראל בהשוואה למדינות ה-OECD

#### 1.4 פליטות תחמוצות גפרית בישראל בהשוואה למדינות ה-OECD

השוואת הפליטות של תחמוצות גפרית בישראל לעומת מדינות ה-OECD, נערכה בשלושה מדדים:

- א. פליטות סך כל תחמוצות הגפרית (Total SOx emissions);
- ב. פליטות תחמוצות גפרית לנפש (SOx emissions per capita);
- ג. פליטות תחמוצות גפרית ליחידת תמ"ג (SOx emissions per GDP unit).

ההשוואה נערכה לשנים 2007-2000, שלגביהן קיימים נתונים ממדינות ה-OECD.

המדד הראשון מוצג על מנת להעריך את סדרי הגודל של פליטות תחמוצות גפרית בישראל בהשוואה למדינות אחרות. ההשוואה ה"אמיתית" נעשתה לפי מדדים של פליטות לנפש ופליטות ליחידת תמ"ג, מהן ניתן להתרשם באופן ברור יותר על מיקומה של ישראל ביחס למדינות ה-OECD מן ההיבט של מדיניות מקיימת, המציבה לעצמה יעדים של צמצום בפליטות.

#### א. פליטות סה"כ תחמוצות גפרית

בשנת 2007 הגיעה פליטת תחמוצות גפרית משריפת דלקים בישראל ל-176,246 טון. בהשוואה למדינות ה-OECD ישראל ממוקמת באמצע הסקאלה, במקום ה-16 מתוך 31 מדינות. פליטת ה-SOx בישראל מהווה כ-0.6% בלבד מסך כל פליטות ה-SOx במדינות ה-OECD. ארה"ב בולטת בתרומתה הרבה לפליטות ה-SOx, עם כ-11.6 מיליון טון, שהם כ-43% מסך כל הפליטות במדינות ה-OECD.

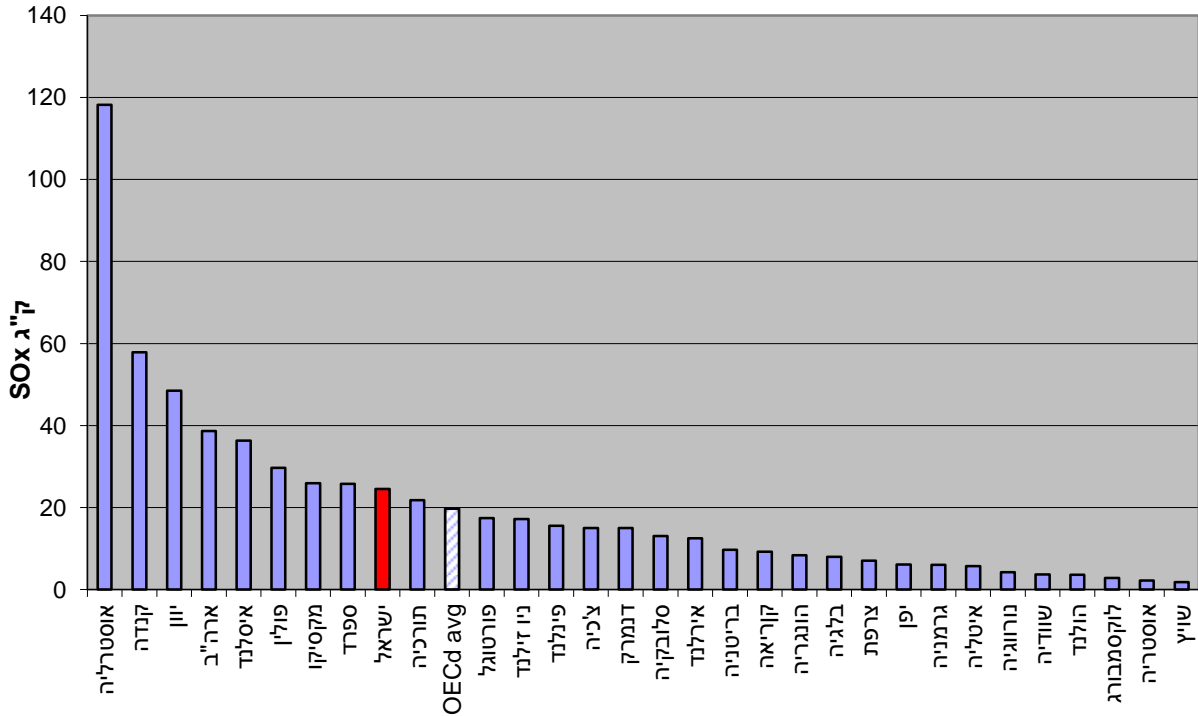
#### ב. פליטות תחמוצות גפרית לנפש

במקומות הראשונים בפליטות של תחמוצות גפרית לנפש מצויות אוסטרליה (21 מיליון נפש ב-2007), עם 118 ק"ג לנפש – שיעור הגבוה פי 2 ויותר מהמדינות הבאות אחריה – קנדה עם כ-58 ק"ג לנפש (33 מיליון נפש) ויוון עם 49 ק"ג לנפש (11 מיליון נפש) ובהפרש ניכר משאר המדינות. ממוצע הפליטות של תחמוצות גפרית לכל מדינות ה-OECD בשנת 2007 עמד על 19.7 ק"ג/נפש. פליטת תחמוצות גפרית לנפש בישראל, עמדה על 24.5 ק"ג לנפש – 24% מעל לממוצע. בהשוואה למדינות ה-OECD האחרות, ישראל ממוקמת (עם 7.2 מיליון נפש בשנת 2007) במקום התשיעי, בין ספרד (כ-45 מיליון נפש), לתורכיה (כ-70 מיליון נפש). מדינות עם מספר תושבים דומה לישראל כמו שוויץ (7.5 מיליון בשנת 2007) ואוסטריה (8.3 מיליון), תופסות את המקומות האחרונים בפליטות לנפש (תרשים 6).

ישראל פולטת אמנם מעט SOx ביחס למדינות ה-OECD, אך היא פולטת מעבר לגודלה בהשוואה למדינות אחרות.

מדינות כמו ישראל, הפולטות SOx בכמות רבה יחסית לגודלן, מדורגות גבוה יותר בפליטות לנפש ביחס לדירוגן בפליטות המוחלטות. בשנת 2007 שינתה אוסטרליה את מיקומה אך במעט (מס' 3 בסה"כ פליטות ומס' 1 בפליטות לנפש). ביוון היה השינוי ניכר יותר (דירוגה השתנה ממקום 10 בסך כל הפליטות, למקום השלישי בפליטות לנפש). איסלנד, הממוקמת חמישית בפליטות לנפש, היא מקרה קיצוני בשל אוכלוסייתה הקטנה (כ-300 אלף נפש). מנגד, מקסיקו, שאוכלוסייתה בת 106 מיליון נפש (מקום שלישי ב-OECD במספר הנפשות אחרי ארה"ב ויפן) והיתה ראשונה בדירוג סך כל הפליטות, ירדה למקום השביעי בדירוג הפליטות לנפש.

תרשים 6 מציג את הפליטות לנפש בישראל, בהשוואה למדינות ה-OECD בשנת 2007.



תרשים 6 : פליטות תחמוצות גפרית לנפש בשנת 2007

(מקור: OECD Environmental Data Compendium 2009-2010)

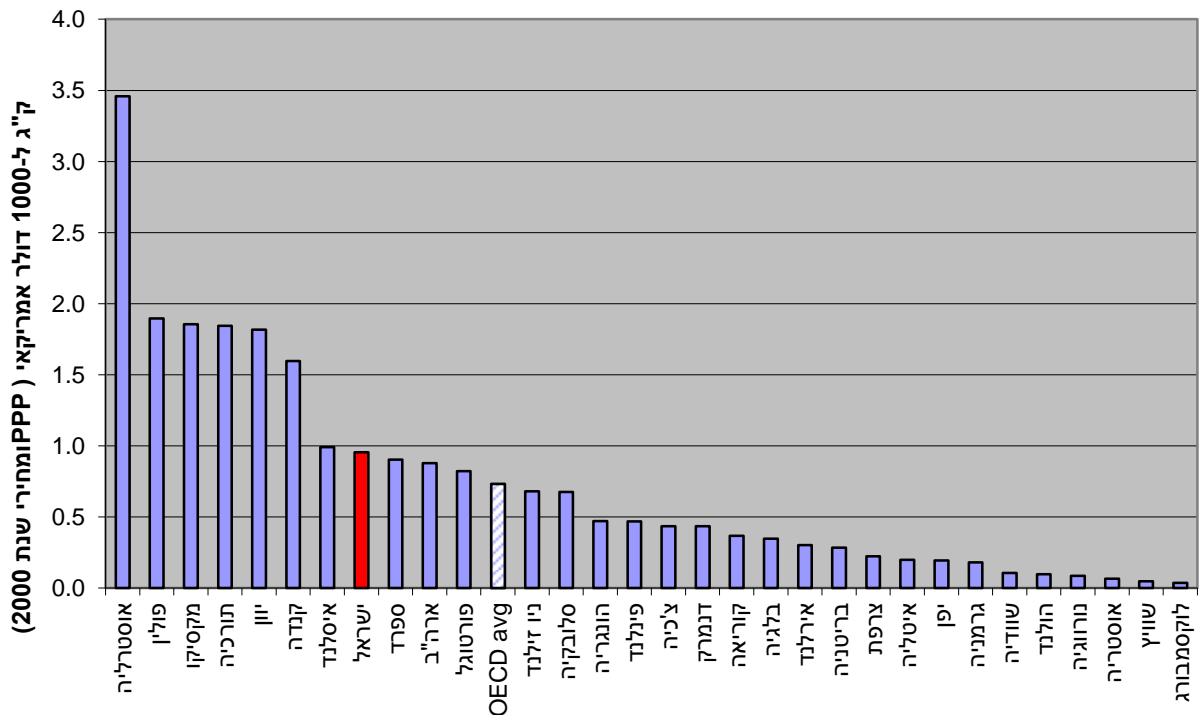
ג. פליטות תחמוצות גפרית ליחידת תמ"ג

היעילות הסביבתית של משק יצרני נמדדת, בין השאר, על פי מגמות הניתוק<sup>7</sup> (decoupling) בין פליטות ה-SOx לבין הגידול בתמ"ג. מדד זה גם מצמצם עיוותים הנובעים מהתייחסות לגודל האוכלוסייה.

פליטת SOx ליחידת תמ"ג בישראל, עמדה בשנת 2007 על 0.96 ק"ג ל-1,000 דולר (במונחי PPP ומחירי 2000), בדומה לאיסלנד (0.99 ק"ג/1000 דולר) וספרד (0.90 ק"ג ל-1000 דולר). ישראל נמצאת מעל למוצע ה-OECD העומד על 0.73 ק"ג ל-1000 דולר. שוויץ ולוקסמבורג מצויות בקצה הימני, הנמוך, עם ערכים של 0.04-0.05 ק"ג ל-1000 דולר ואילו אוסטרליה ופולין נמצאות בראש הסקאלה (בצדה השמאלי) עם ערכים של 1.9 ו-3.5 ק"ג/1000 דולר בהתאמה.

ישראל, שכאמור נמצאת במקום ה-16 בדירוג סך הפליטות, נמצאת במקום השמיני בדירוג הפליטות לתמ"ג. כל מדינה מאופיינת בדפוסי שימוש שונים באנרגיה לתעשייה ובמדיניות שונה לגבי הצעדים הננקטים לצמצום פליטות של מזהמי אוויר. לכל אלו השפעה על מיקומה של כל מדינה על הסקאלה.

תרשים 7 מציג את סך פליטות SOx ליחידת תמ"ג בישראל ובמדינות ה-OECD לשנת 2007.



תרשים 7: פליטות SOx ליחידת תמ"ג בשנת 2007: ישראל בהשוואה למדינות ה-OECD (מחירים ו-PPP לשנת 2000) (מקור: OECD Environmental Data Compendium 2009-2010)

<sup>7</sup> OECD 2002 "Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth".

### 1.5 מגמות בפליטות SOx לנפש בישראל, בהשוואה למדינות נבחרות מה-OECD

פליטת תחמוצות גפרית לנפש משריפת דלקים בישראל, ירדה בשנים 2000-2007 בעקביות ובשיעור מצטבר של כ-42%. מגמת ירידה מאפיינת כמעט את כל מדינות ה-OECD ובעיקר מדינות אירופיות. השוואת מגמות השינוי בפליטות SOx בין השנים 2000-2007, בישראל לעומת מדינות ה-OECD, מוצגת בטבלה הבאה:

טבלה : מגמות בפליטות SOx לנפש משריפת דלקים, בק"ג לנפש

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	השינוי בשנים 2007-2000
איסלנד	28	29	30	27	26	26	29	36	30.5%
יוון	46	46	47	50	50	49	48	49	6.1%
ניו זילנד	17	18	17	20	19	20	19	17	4.0%
פינלנד	16	17	17	19	16	13	16	16	-0.3%
אוסטרליה	124	135	142	141	125	124	122	118	-4.7%
יפן	7	7	7	7	7	7	6	6	-15.8%
צ'כיה	26	24	23	23	22	21	21	21	-18.3%
הולנד	4	5	4	4	4	4	4	4	-19.5%
דנמרק	5	5	5	6	5	4	5	4	-20.0%
שוויץ	2	2	2	2	2	2	2	2	-20.7%
אוסטריה	4	4	4	4	3	3	3	3	-21.1%
גרמניה	8	8	7	7	6	6	6	6	-21.3%
קנדה	74	75	72	70	72	64	62	58	-21.6%
פולין	39	41	38	36	33	32	32	30	-24.7%
שודיה	5	5	5	5	4	4	4	4	-25.9%
ארה"ב	52	51	46	46	45	45	41	39	-26.2%
בלגיה	17	16	15	15	15	14	13	12	-28.6%
ספרד	36	35	37	30	31	29	26	26	-28.8%
תורכיה	33	31	30	28	26	26	24	23	-30.5%
נורווגיה	6	6	5	5	5	5	4	4	-30.7%
צרפת	11	10	9	8	8	8	7	7	-33.3%
פורטוגל	30	29	29	19	20	20	18	17	-42.0%
<b>ישראל</b>	42	37	35	35	33	29	27	25	<b>-42.2%</b>
סלובקיה	24	24	19	20	18	17	16	13	-44.4%
בריטניה	21	19	16	16	14	11	11	10	-53.7%
איטליה	13	12	11	9	8	7	6	6	-56.6%
אירלנד	37	35	26	20	18	17	14	12	-66.2%
הונגריה	48	39	36	37	24	13	12	8	-82.4%
מקסיקו	30								-
קוריאה	10	10	10	10	9	8	9		-
לוקסמבורג	3	3	3	3	3	3	3		-

(מקור : OECD Environmental Data, Compendium 2009-2010-Air)

כאמור, מן ההיבט של כמויות הפליטות לנפש, ישראל נמצאת במרכז הסקאלה והפליטות לנפש מגיעות בה מעל לממוצע ה-OECD. אולם מבחינת המגמות בשנות ה-2000 (לפחות עד 2007), ישראל תופסת מקום גבוה בזכות הפחתה משמעותית בפליטות אלו.