



# מדינת ישראל המשרד להגנת הסביבה



אגף איכות אוויר

אגף כלכלה ותקינה

## עלויות חיצוניות של זיהום אוויר מייצור אנרגיה ( חשמל ) בישראל

### דוח סופי

#### חברי צוות העבודה

ניר קדמי – רא"ג כלכלה, המשרד להגנת הסביבה - יו"ר  
משה בוצר – אגף התקציבים, משרד האוצר  
אבי מושל – מ"מ רא"ג איכות אוויר, המשרד להגנת הסביבה  
ד"ר יבגניה ברנשטיין – ממונה מקורות אנרגיה, המשרד להגנת הסביבה  
נחום יהושע – אגף כלכלה, המשרד להגנת הסביבה  
מיכאל ריטוב – כלכלן, פארטו הנדסה בע"מ



הצוות שכר שרותי יעוץ כלכלי מחברת פארטו הנדסה בע"מ

**ספטמבר 2008**

## תוכן עניינים

עמ'	פרק	
2		.....תקציר מנהלים
4		.....מבוא
5	1.	.....מקור הנתונים המרכזי
7	2.	.....גזי חממה (CO <sub>2</sub> )
7	2.1	.....מתודולוגיה
7	2.2	.....עלות פליטת טון CO <sub>2</sub> , על פי מקורות שונים
10	2.3	.....קביעת הערך המתאים
10	2.4	.....התאמה לתנאים הכלכליים בישראל
11	2.5	.....מנגנון לעדכון המחיר בעתיד
13	3.	.....מזהמי אוויר הפוגעים בבריאות (חלקיקים, SO <sub>2</sub> , ו-NO <sub>x</sub> )
13	3.1	.....בסיס הנתונים
17	3.2	.....התאמת מחירי הזיהום לישראל
17	3.2.1	.....אופן הערכת מחיר נזקי זיהום האוויר
18	3.2.2	.....שלב ראשון: התאמה על בסיס מחירים 'אירופיים'
26	3.2.3	.....שלב שני: התאמת הערכים לתנאים הכלכליים בישראל והמזה"ת
26	3.2.3.1	.....קביעת המחיר הכספי באיחוד האירופי
28	3.2.3.2	.....התאמת המחירים לכוח הקניה
30	3.2.3.3	.....התאמת המחירים לפערים ברמות ההכנסה
32	3.2.3.4	.....התאמת המחירים לפי התנאים הכלכליים בישראל בלבד
33	3.2.4	.....סיכום הממצאים
34	3.2.5	.....בחירת גישת ההתאמה המומלצת
34	3.3	.....מנגנון לעדכון המחירים בעתיד
36		.....מקורות
38		.....נספחים

## תקציר מנהלים

### קביעת מחירי זיהום

תכליתו של דוח זה הינה לאמוד את העלויות החיצוניות של ייצור חשמל ממקורות מסורתיים בישראל. מטרת האומדן היא לשמש לצורך קבלת החלטות וקביעת מדיניות ע"י משרדי הממשלה השונים, ולצורך שימוש בכלים תמריציים מסוגים שונים ליצרני אנרגיה (תמיכות, מיסוי, פרמיות וכו'). לצורך כך השתתפו נציגים בכירים של הרשות לשירותים ציבוריים חשמל בדיוני הוועדה המלווה את עבודת הצוות.

העבודה מציגה עבור כל אחד מהמזהמים העיקריים (חלקיקים,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ ) מחיר לטון פליטה המשקף את עלויות הזיהום (ובפרט נזקים בריאותיים ותרומה להתחממות כדור הארץ). לגבי  $CO_2$ , המחיר שנקבע כמחיר בסיס (לפני התאמה לתנאים הכלכליים בישראל) תואם הן את ההמלצות של תוכניות מחקר אקדמיות בנושא (ובפרט את אלה של תוכנית ExternE - תוכנית המחקר המובילה בעולם להערכת העלויות החיצוניות של ייצור חשמל) והן את המחיר העדכני של אשרת פליטה במסגרת מנגנון המסחר של האיחוד האירופי (EU ETS). מחיר זה הותאם לתנאים הכלכליים בישראל על ידי הכפלתו ביחס שבין התמ"ג לנפש (בדולר, מחירים שוטפים) בישראל לתמ"ג לנפש באיחוד האירופי.

לגבי יתר המזהמים ( $NO_x$ ,  $SO_2$ , חלקיקים), מחירי הבסיס (לפני התאמה לתנאים הכלכליים בישראל) חושבו מתוך ניתוח המחירים שנקבעו במסגרת תוכנית ExternE (ותוכניות המשך שלה) למדינות שונות. בפרט, זוהה קשר ברור ומובהק בין צפיפות האוכלוסין באזור המדינה לבין מחיר הפליטות שנקבע עבורה במסגרת התוכנית, ועל בסיס קשר זה הותאמו מחירים לישראל. גם עבור מזהמים אלו, ההתאמה לתנאים הכלכליים בישראל התבצעה על ידי הכפלת המחירים האירופיים ביחס שבין התמ"ג לנפש (בדולר, מחירים שוטפים) בישראל לתמ"ג לנפש באיחוד האירופי.

הטבלה הבאה מציגה את המחירים המומלצים לאימוץ:

**מחירי טון פליטה מומלצים**

אירו/טון	
4,947	$SO_2$
2,865	$NO_x$
7,061	$PM_{10}$
14.83	$CO_2$

חשוב להדגיש כי מחירים אלו מתייחסים אך ורק לפליטות מגובה רב (למעלה מ-100 מ') – פליטות המאפיינות תחנות כוח חדשות. **נזקי פליטות מגובה נמוך יותר (למשל – פליטות מכלי תחבורה) עשויים להיות גבוהים משמעותית** (לגבי חלקיקים למשל, מחיר הנזק עשוי להיות למעלה מכפול).  
**עדכון המחירים בעתיד**

להלן המלצותינו למנגנון לעדכון המחירים בעתיד :

עבור  $CO_2$ , מומלץ שהעדכון יתבסס על מחירי אשרות הפליטה במנגנון המסחר של האיחוד האירופי. כך, מנגנון העדכון יכול חישוב של המחיר הממוצע של אשורת פליטה בחודש האחרון בכל שנה (לפני ביצוע העדכון), והכפלת מחיר זה ביחס שבין התמ"ג לנפש (בדולר, מחירים שוטפים) בישראל ובאיחוד האירופי. מנגנון זה מבטא את הרצון להיצמד לחזית מאמציה של אירופה לצמצום פליטות גזי חממה, תוך התחשבות בפערים הכלכליים בין ישראל לאיחוד האירופי. כחלופות אפשריות למנגנון זה, מוצע להצמיד את המחיר למדד המחירים לצרכן, או לתמ"ג לנפש.

עבור יתר המזהמים ( $NO_x$ ,  $SO_2$ , חלקיקים), מומלץ להצמיד את מחירי הפליטה לתמ"ג לנפש (בשקלים, מחירים שוטפים), ביחס 0.85 (כלומר, לכפול את הצמיחה בתמ"ג לנפש ב-0.85 על מנת לקבל את מקדם ההצמדה). מנגנון זה מבטא גם כן את ההבנה כי המחירים הנקבעים משקפים את יכולתה של המדינה להקצות משאבים לתחום זה של צמצום זיהום האוויר, ונגזרים מתוך מצבה הכלכלי. ההכפלה ב-0.85 משקפת את התפיסה כי ככל שההכנסה במדינה תגדל, נכון יהיה להגדיל גם את ההוצאה על תחום זה, אך ביחס קטן יותר מהגידול בהכנסה (גמישות ביקוש למוצר קטנה מיחידתית). כחלופה אפשרית למנגנון זה, מוצע להצמיד את המחיר למדד המחירים לצרכן.

## מבוא

תכליתה של עבודה זו לאמוד את העלויות החיצוניות של ייצור חשמל ממקורות מסורתיים בישראל. בפרט, מטרת העבודה להציג עבור כל אחד מהמזהמים העיקריים (חלקיקים,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ ) מחיר לטון פליטה המשקף את עלויות זיהום האוויר (ובפרט נזקים בריאותיים ותרומה להתחממות כדור הארץ), לצורך שימוש במחירים אלו במגוון החלטות מדיניות. העבודה מתבססת על מחקרים שהתבצעו בחו"ל – מציאת ערכים שניתנו עבור נזקי מזהמים אלו במדינות שונות, והתאמתם לישראל. במסגרת העבודה נמצאו מחירי פליטה גם למזהמים נוספים (אמוניה, מתכות מסוכנות). התאמת מחירי זיהום לישראל עבור מזהמים אלו חורגת מתחום עבודה זו ולכן הדיון בהם איננו מופיע בגוף העבודה, ואולם הוא מסוכם בקצרה בנספח ג'.

המסמך מורכב משלושה פרקים: בפרק 1 נציג את מקור הנתונים והמידע המרכזי בו השתמשנו כבסיס לרוב חישובינו. בפרק 2 נדון בהערכת מחיר פליטות  $CO_2$ . בפרק 3 נדון בשלושת המזהמים הנתרים (מזהמי אוויר הפוגעים בבריאות) –  $SO_2$ ,  $NO_x$  וחלקיקים.

## 1. מקור הנתונים המרכזי

לצורך העבודה השתמשנו במספר רב של מקורות אשר יוצגו במהלכה במקומות הרלוונטיים, אך מקור מידע מרכזי אחד שימש אותנו במרבית חישובינו. נציג עתה מקור זה.

### תוכנית ExternE וממשיכותיה

מקור הנתונים והידע המרכזי אשר שימש אותנו בעבודה הנו תוכנית ExternE<sup>1</sup> האירופית ותוכניות ההמשך שלה, ובפרט תוכניות NEEDS ו-CASES. תוכנית ExternE (Externalities of Energy) הושקה באמצע שנות ה-90 על מנת לאמוד באופן מקיף וכולל את נזקי זיהום האוויר הנגרמים בעת ייצור חשמל. התוכנית זכתה למימון מתוכניות המו"פ של האיחוד האירופי, וכללה צוותי עבודה בכל מדינות האיחוד. תחילה גובשה המתודולוגיה המחקרית (אשר תתואר בהמשך מסמך זה) ובהמשך פורסמו דו"חות אודות יישום המתודולוגיה (וקבלת תוצאות סופיות) בכל אחת מהמדינות השונות. העדכון המתודולוגי האחרון התפרסם בשנת 2005 (רשימת פרסומים רלוונטיים לעבודה זו – ברשימת המקורות בסוף העבודה).

בהמשך קמו לתוכנית מספר תוכניות המשך, כאשר החשובות שבהן לענייננו הן תוכנית NEEDS<sup>2</sup> (New Energy Externalities Development for Sustainability) ו-CASES<sup>3</sup> (Cost Assessment for Sustainable Energy Systems). תוכנית NEEDS עוסקת בהמשך פיתוח המתודולוגיה המחקרית של ExternE. תוכנית CASES עוסקת בהערכת כלל עלויות ייצור החשמל (עלויות ישירות + עלויות חיצוניות). שתי תוכניות אלו הן תוכניות הפעילות בימים אלו ומספקות נתונים עדכניים.

הבחירה בתוכנית ExternE וממשיכותיה כמקור הנתונים המרכזי לעבודה זו נובעת ממספר שיקולים:

(1) תוכנית ExternE היא התוכנית המובילה בעולם לתחום הערכת נזקי זיהום אוויר בייצור חשמל. פרסומים אקדמיים רבים מתבססים על תוצאותיה, ואין למיטב ידיעתנו תוכנית אחרת הדומה לה מבחינת שאיפתה לתת תמונה כוללת ומפורטת אודות העלויות החיצוניות של ייצור חשמל.

(2) התוכנית מתמקדת כאמור בעלויות החיצוניות של ייצור חשמל, כלומר בדיוק בתחום בו עוסקת עבודה זו. עובדה זו נותנת לה עדיפות ברורה על פני מקורות נתונים אחרים, אשר אינם מתמקדים בתחום זה (למשל, תוכניות מחקר אשר עוסקות בזיהום אוויר באשר הוא, ללא התמקדות דווקא בזיהום האוויר הנוצר בעת ייצור חשמל).

---

<sup>1</sup> [www.externe.info](http://www.externe.info)

<sup>2</sup> [www.needs-project.org](http://www.needs-project.org)

<sup>3</sup> [www.feem-project.net/cases](http://www.feem-project.net/cases)

- 3) התוכנית מציגה תוצאות סופיות (מחיר לפליטת טון מזהם) למספר רב של מדינות (כל מדינות אירופה + מדינות נוספות שכנות, כגון מדינות צפון אפריקה). עובדה זו תקל עלינו בבואנו לנסות ולהתאים ערכים עבור ישראל.
- 4) התוכנית מציגה מסמכים מתודולוגיים רבים ומגוונים, המאפשרים לנו לגבש מתודולוגיה להתאמת הנתונים לישראל.
- 5) תוכניות ההמשך של תוכנית ExternE, המתבססות על אותם עקרונות מתודולוגיים, מאפשרות שימוש בנתונים עדכניים ביותר (הנתונים אשר ישמשו אותנו עודכנו לאחרונה במרץ 2008).

**חשוב, עם זאת, להדגיש שוב כי מקור נתונים זה לא היווה מקור מידע בלעדי, ולצורך העבודה בדקנו והשתמשנו במגוון רחב של מקורות. אלו יוצגו כאמור במהלך העבודה במקומות הרלוונטיים. בנוסף, במהלך העבודה נתקלנו במספר מקורות מעניינים אשר בסופו של דבר, עקב סיבות שונות, לא שימשו אותנו בחישובינו. על מקורות אלו ניתן לקרוא בנספח א' (אומדני עלויות חיצוניות בארה"ב), נספח ב' (תוכנת RiskPoll להערכת עלויות חיצוניות בייצור חשמל), ונספח ד' (תוכנית CAFE האירופית להערכת נזקי זיהום אוויר).**

## 2. גזי חממה (CO<sub>2</sub>)

בחינת העלויות החיצוניות הקשורות בפליטת גזי חממה שונה באופן מהותי מהערכת העלויות החיצוניות הקשורות בפליטת יתר המזהמים הנסקרים במסגרת עבודה זו. זאת מכיוון שהנזק מפליטת גזי חממה הוא גלובאלי במהותו – טון CO<sub>2</sub> הנפלט בנקודה כלשהי על פני כדור הארץ גורם אותה מידת נזק כמו טון CO<sub>2</sub> הנפלט בנקודה אחרת (וזאת בשונה, כמובן, מנזקיהם של יתר המזהמים הנסקרים במסגרת עבודה זאת, המושפעים מהמאפיינים הגיאוגרפיים/דמוגרפיים של מקום הפליטה). לפיכך, על מנת למצוא ערך המשקף את עלות פליטת טון CO<sub>2</sub> בישראל יש למצוא אילו ערכים נמצאו מתאימים לכך בעולם, ואין צורך לבצע התאמות לתנאים הגיאוגרפיים/דמוגרפיים בישראל. לעומת זאת, כן ייתכן צורך לבצע התאמה לתנאים הכלכליים בישראל, ועל כך נדון בסעיף 2.3.

### 2.1 מתודולוגיה

בספרות מוכרות שתי מתודולוגיות לקביעת מחיר לפליטת טון CO<sub>2</sub>:

- א. גזירת המחיר הכרוך בפליטת טון CO<sub>2</sub> מתוך מודלים תיאורטיים המנסים להעריך את מידת הנזק הכלכלי שתגרום התחממות כדור הארץ. מודלים אלו מתבססים על פרמטרים דמוגרפיים, כלכליים וכמובן מטאורולוגיים, ורצים על פני מאות שנים.
- ב. חישוב "עלויות המניעה" (avoidance costs) – העלויות הכרוכות בצמצום פליטת גזי חממה בהתאם ליעדים בינלאומיים שונים.

מן הבחינה התיאורטית, ברור כי הגישה הראשונה נכונה יותר, ונאמנה הרבה יותר למונח "עלות חיצונית". עם זאת, לשיטה זאת, נכון להיום, מגבלה משמעותית והיא חוסר הודאות הרב המאפיין את תוצאות המודלים (וכן תלותן של התוצאות בהנחות השונות שבבסיס המודלים). לאור זאת, תוכניות מחקר שונות העדיפו להתבסס דווקא על השיטה השנייה בניסיון לקבוע מחיר פליטה, או על שילוב של שתי השיטות.

### 2.2 עלות פליטת טון CO<sub>2</sub>, על פי מקורות שונים

דו"ח סטרן:

דו"ח סטרן<sup>4</sup> (Stern Review, 2007) נכתב עבור ממשלת בריטניה בידי קבוצת מומחים במטרה לספק חוות דעת עדכנית אודות תופעת התחממות כדור הארץ, גורמיה והצעדים שיש לנקוט על מנת

<sup>4</sup> [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm)

להתמודד עמה. הדו"ח מספק הערכת עלות סביבתית של 85 דולר לטון CO<sub>2</sub><sup>5</sup>. עם זאת, בדו"ח מוגדרת הערכה זאת כראשונית בלבד (preliminary). בנוסף, בדו"ח עצמו מצוין שערך זה גבוה משמעותית מערכים רבים המופיעים בספרות (כולל מערכים אשר נגזרו מאותם מודלים עצמם בהם נעשה שימוש לצורך כתיבת הדו"ח). בדו"ח מוסבר שפער זה הוא תוצאה של לקיחה בחשבון של כלל התוצאות האפשריות של תופעת התחממות כדור הארץ, ובכלל זה תרחישים קיצוניים אשר לעתים רבות אינם נכנסים לחישובי המודלים. עם זאת, מבקריו של הדו"ח טוענים כי אין למחיר הגבוה המוצג במסגרתו הצדקה משכנעת. לאור העובדה שבדו"ח עצמו מוגדר ערך זה כראשוני, ולאור העובדה שלמיטב ידיעתנו הערך המוצע בדו"ח טרם אומץ כערך מחייב לצורך קביעת מדיניות באף מדינה, לא ניתן לדעתנו להשתמש בו כערך מרכזי, אלא רק אולי כערך מקסימאלי אפשרי.

### **תוכנית ExternE וממשיכותיה:**

**העדכון המתודולוגי של תוכנית ExternE לשנת 2005 (Externalities of Energy, Methodology ) 2005 Update**<sup>6</sup> הציג ערך של 19 אירו לטון פליטה של CO<sub>2</sub> (במונחי אירו של שנת 2000). ערך זה נותר בעינו כערך המרכזי לעלות פליטת טון CO<sub>2</sub> גם בעדכונים המתודולוגיים ובפרסומים האחרונים של תוכניות NEEDS ו-CASES – תוכניות ההמשך של ExternE (הפרסום האחרון אשר הציג ערך זה הופיע במרץ 2008<sup>7</sup>, כלומר מדובר בערך עדכני).

### **הבסיס להערכה בתוכנית ExternE:**

מתודולוגיית ExternE יוצאת מתוך חישוב הנזק המצטבר עקב התחממות כדור הארץ, כפי שזה משתקף ממודל (Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution) FUND – מודל המביא בחשבון משתנים כלכליים, דמוגרפיים וכמובן מטאורולוגיים ואקלימיים על פני 350 שנה. כמובן שתוצאות המודל תלויות מאוד בהנחות (והחלטות ערכיות שונות), בייחוד לגבי שיעור העדפת הזמן (כיצד אנו מעריכים נזקים שיתרחשו רק בעוד עשרות שנים) והיחס לפערי הכנסות בין מדינות (האם אנו מעריכים נזקים במקומות שונים בעולם באותו אופן, או שמא אנו לוקחים בחשבון את עושרן היחסי של המדינות), כך שלמעשה טווח הערכים המתקבל מתוך המודל הוא רחב ביותר. הערך המרכזי לעלות פליטת טון CO<sub>2</sub> המתקבל מתוך המודל הוא כ-9 אירו לטון. עם זאת, ערך זה מבוסס על חישובים המביאים בחשבון רק התפתחויות אשר קישורן לתופעת התחממות כדור הארץ הוא ברור ומבוסס יחסית; כך למשל, השפעות כגון תדירות גבוהה יותר של אירועי מזג אוויר קיצוניים אינן מובאות בחשבון. לאור זאת, ב-ExternE החליטו להתייחס לערך זה כאל ערך המינימום למחיר פליטת טון CO<sub>2</sub>, ולבסס את הערך המרכזי על עלויות מניעה (avoidance costs) – העלויות הכרוכות בצמצום פליטת גזי חממה, בהתאם ליעדים בינלאומיים בתחום.

<sup>5</sup> חלק 3, פרק 13, עמ' 287.

<sup>6</sup> [www.externe.info](http://www.externe.info)

<sup>7</sup> Databases of external costs 2005-2030 for EU, updated to 31 March 2008 with new Euro/Ton estimates. Found at: [http://www.feem-project.net/cases/downloads\\_deliverables.php](http://www.feem-project.net/cases/downloads_deliverables.php)

עלויות המניעה על בסיסן חושב מחיר הפליטה הן העלויות אשר יהיה על מדינות האיחוד האירופי לשאת בהן על מנת לעמוד ביעדי אמנת קיוטו. אלו הוערכו במחקרים שונים כנעות בין 5 ל-20 אירו לטון CO<sub>2</sub>. לאור ההנחה כי בעתיד יעדי צמצום הפליטות אף יוחמרו ויחייבו עלויות מניעה גדולות יותר (ובהקשר זה מצוינת ההערכה כי היעד הרשמי של האיחוד האירופי בדבר הגבלת התחממות כדור הארץ ל-2 מעלות בלבד מעל לטמפרטורות בתקופה הטרומ-תעשייתית תחייב עלויות מניעה של כ-95 אירו לטון), הוחלט ב-ExternE להיצמד לערך העליון בטווח זה, ולפיכך לקבוע ערך מרכזי של כ-19 אירו לטון CO<sub>2</sub>. עוד מוזכר כי ערך זה קרוב מאוד לטווח הערכים שהתקבל בשוק המסחר באשרות פליטה באיחוד האירופי.

ערך זה נקוב במונחי אירו של שנת 2000. בהתאם לשינוי במדד המחירים לצרכן המשוקלל לאיחוד האירופי יש לכפול ערך זה ב-1.184 על מנת לקבל את המחיר במונחי אירו עדכני (של שנת 2007): 22.5 אירו לטון CO<sub>2</sub>.

#### מחקר עבור המשרד לאיכות הסביבה בבריטניה:

מחקר שנערך עבור המשרד לאיכות הסביבה בבריטניה ופורסם בשנת 2005 (Watkiss et al, The Social Cost of Carbon, 2005)<sup>8</sup> המליץ על ערך מרכזי של כ-15 ליש"ט לטון CO<sub>2</sub>, שהם כ-19 אירו. ערך זה הוא ערך המוצא עבור שנת 2000, כאשר על פי המלצת הדו"ח יש להעלות את הערך עם השנים, כך שעבור שנת 2010 מתקבל ערך של כ-65 ליש"ט לטון CO<sub>2</sub>, שהם כ-22 אירו. ערכים אלו התקבלו בדו"ח על בסיס בחינה רחבה של הספרות המקצועית בתחום, ומבוססים הן על מודלים של הערכת נזקים שייגרמו עקב התחממות כדור הארץ, והן על הערכות של עלויות מניעה (ככלל, אין הבדל משמעותי בין הערכים שחושבו על בסיס מודלים תיאורטיים לבין אלו שחושבו על בסיס עלויות מניעה). יצוין שכטווח ערכים מרכזי עבור שנת 2010 מציע הדו"ח מינימום של כ-11 ליש"ט לטון CO<sub>2</sub> ומקסימום של כ-44 ליש"ט לטון CO<sub>2</sub> (14-56 אירו)<sup>9</sup>.

#### השוק האירופי למסחר באשרות פליטה:

כאמצעי מרכזי לצמצום פליטת גזי חממה, מפעיל האיחוד האירופי את תוכנית EU ETS (Emissions Trading System) למסחר באשרות פליטה ל-CO<sub>2</sub>. במסגרת התוכנית, מוקצות (או נמכרות במכירות פומביות) לתחנות כוח ומפעלי תעשייה כבדה אשרות פליטה, כאשר כל אשרה (EUA) מאפשרת למחזיק בה לפלוט במהלך השנה 1 טון CO<sub>2</sub>. אשרות אלו נסחרות במסגרת שוק חופשי, כאשר מפעלים המסוגלים לצמצם את סך פליטותיהם מתחת לכמות האשרות שברשותם יכולים למכור את

<sup>8</sup> [http://socialcostofcarbon.aeat.com/files/Final%20Report\\_7.doc](http://socialcostofcarbon.aeat.com/files/Final%20Report_7.doc)

<sup>9</sup> עמ' 7-8 בתקציר המנהלים. הדו"ח הני"ל, כמו מקורות רבים נוספים, מציג את העלויות במונחים של טון פחמן (tC); על מנת להמיר טון פחמן לטון פחמן דו-חמצני יש לכפול ב-12/44.

האשרות העודפות למפעלים הרוצים (או נאלצים) לפלוט כמות CO<sub>2</sub> הגדולה מכמות האשרות שבידיהם. באופן זה, נקבע מחיר לאשרת פליטה המשקף את עלות צמצום הפליטות עד ליעדים הנקובים במסגרת התוכנית, שכן מפעל ירכוש אשרת פליטה רק אם מחירה נמוך מהעלות שבצמצום פליטותיו ב-1 טון CO<sub>2</sub> (ובשוליים כמובן שערכים אלו צפויים להשתוות). **במהלך חודש אוגוסט 2008 נע מחיר אשרת פליטה לטון CO<sub>2</sub> בטווח של בין 21 ל-25 אירו**<sup>10</sup>.

יודגש כי מחירים אלו תלויים במידה רבה במאפייני השוק הספציפיים, כאשר השוק עצמו נמצא רק בשלבי התפתחות מוקדמים יחסית. עם זאת, השוק צפוי להתפתח ולהפוך בוגר ויציב יותר כבר בעתיד הקרוב. בפרט, מוסדות האיחוד האירופי דנים כעת בהצעת החלטה שעוסקת בהמשך פיתוח מנגנון המסחר לתקופת המסחר הבאה (2013-2020; התקופה הנוכחית רצה בשנים 2008-2012)<sup>11</sup>. בהצעת ההחלטה מוצעים שיפורים שונים למנגנון הנוכחי, כאשר המטרה הכללית של ההצעה הנה להפוך את מנגנון המסחר לברור יותר, פשוט יותר, ואחיד יותר על פני כל מדינות האיחוד. בין היתר, ההצעה כוללת קביעת מכסת אשרות כוללת אחת לכל אירופה (במקום מכסה לכל מדינה, כפי שמתקיים בתקופת המסחר הנוכחית), המלצה לצמצום משמעותי של כמות האשרות המחולקות חנים והחלפת מנגנון זה במנגנונים של מכירות פומביות של אשרות, וקביעת יעדים ארוכי טווח ברורים (הגדרת מכסה כוללת לכל אחת מ-8 השנים של תקופת המסחר, וקביעת יעדים אף לשנים שלאחר מכן). כך, אימוץ הצעת ההחלטה על מכלול הצעדים שבה יבטיח שוק בוגר ומבוסס יותר. מוסדות האיחוד צפויים לקבל החלטה בנושא בשנים הקרובות (אולי אף ב-2009).

**בכל מקרה, כבר עתה בהחלט ניתן לומר כי מחיר השוק הנוכחי של אשרת פליטה, הקרוב מאוד לערך של 22.5 אירו לטון, נותן תוקף חיצוני לערך שנקבע על ידי ExternE.**

### **2.3 קביעת הערך המתאים**

כאמור, מחיר אשרת פליטה במסגרת מנגנון המסחר של האיחוד האירופי והמחיר המומלץ על ידי תוכנית ExternE קרובים ביותר, ועל כן **אנו ממליצים לאמץ את המחיר של 22.5 אירו לטון CO<sub>2</sub> כערך בסיס (לפני התאמה לתנאים הכלכליים בישראל).**

### **2.4 התאמה לתנאים הכלכליים בישראל**

לאחר שבחרנו את המחיר העולמי המתאים לפליטות CO<sub>2</sub>, יש לבחון האם יש צורך להתאים ערך זה לתנאים הכלכליים בישראל, ואם כן – כיצד יש לבצע את ההתאמה.

את ההצדקה העקרונית לביצוע ההתאמה ניתן לסכם כך: המחיר הנייל (22.5 אירו לטון) נקבע בין היתר על בסיס עלויות המניעה (העלות שבצמצום הפליטות בהתאם ליעדים בינלאומיים)

<sup>10</sup> [www.pointcarbon.com](http://www.pointcarbon.com)

<sup>11</sup> [http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/ets\\_post2012\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/ets_post2012_en.htm)

האירופאיות. כלומר, הוא משקף הן את יעדי האיחוד האירופי (במסגרת אמנת קיוטו הבינלאומית) בתחום צמצום פליטות גזי החממה, והן את מצבה הכלכלי של אירופה. לפיכך, ברור שהמחיר הרלוונטי בישראל צריך להיות שונה, שכן התנאים הכלכליים בארץ שונים.

כיצד, אם כן, יש לבצע את ההתאמה? נראה כי ההתאמה הפשוטה ביותר היא זאת המשקפת את פערי ההכנסות והמחירים בין ישראל לבין האיחוד האירופי. פערים אלו משתקפים בתוצר המקומי הגולמי לנפש, מבוטא במחירים שוטפים (בדולרים). לצורך ההתאמה השתמשנו בנתוני קרן המטבע הבינלאומית, ובפרט בנתוני שנת 2007<sup>12</sup>. בשנה זאת, היה התמ"ג לנפש בישראל \$22,475, ובאיחוד האירופי \$34,108 (התמ"ג לנפש באיחוד האירופי חושב כממוצע משוקלל של התמ"ג לנפש בכל אחת מ-27 חברות האיחוד, כאשר השקלול הוא לפי גודל האוכלוסייה<sup>13</sup>). לפיכך, היחס בין התמ"ג לנפש בישראל לבין זה שבאיחוד האירופי הוא 0.659.

כך, על מנת לקבל מחיר לפליטת 1 טון CO<sub>2</sub> יש לכפול את המחיר שנבחר (22.5 אירו), ולכפול אותו ב-0.659. כך נקבל מחיר של 14.83 אירו. זהו המחיר המומלץ לאימוץ בארץ.

## 2.5 מנגנון לעדכון המחיר בעתיד

מטרה נוספת של עבודה זו הינה להציע מנגנון לפיו יעודכנו מדי שנה מחירי הזיהום. בהקשר של מחיר CO<sub>2</sub>, אנו מציעים שהמנגנון יתבסס על מחירי אשרות פליטה במסגרת מנגנון המסחר של האיחוד האירופי, המתואר לעיל. בפרט, אנו ממליצים שתהליך העדכון יתבצע אחת לשנה, במהלך חודש דצמבר, ויכלול את השלבים הבאים:

א. חישוב המחיר הממוצע של אשרת פליטה במסגרת מנגנון המסחר האירופי במהלך החודש האחרון לפני העדכון. ישנם מספר מקורות למציאת מחיר אשרת פליטה בשוק זה; אנו מציעים להשתמש בנתוני ה-European Climate Exchange<sup>14</sup> - בורסה למסחר בחוזים עתידיים לאשרות פליטה. בפרט, אנו מציעים להשתמש במחירי החוזים העתידיים לאשרות פליטה (EUA) עבור דצמבר של השנה בה נערך העדכון (ישנן מספר סדרות של חוזים עתידיים) – חוזים אלו הם הממומשים בזמן הקרוב ביותר למועד תהליך העדכון<sup>15</sup>.

<sup>12</sup> למעשה, הנתונים עבור שנה זו הם עדיין בגדר הערכה, שכן נתונים סופיים לכל שנה מתקבלים רק זמן מה לאחר תום השנה. עם זאת, נראה כי לצורך העניין – הערכה כללית של היחס בהכנסה בין ישראל לאיחוד האירופי – אין לכך חשיבות מרובה, ועדיף להשתמש בהערכה עדכנית לגבי ההווה (או, במקרה שלנו, השנה האחרונה) מאשר בנתונים סופיים המתייחסים לשנה מוקדמת יותר.

<sup>13</sup> נתוני האוכלוסייה נלקחו גם הם מקרן המטבע הבינלאומית.

<sup>14</sup> [www.europeanclimateexchange.com](http://www.europeanclimateexchange.com)

<sup>15</sup> מועד פקיעת החוזים הוא באמצע דצמבר, כך שעל מנת לקבל ממוצע של חודש יש לבחון את מחירי החוזים החל מאמצע נובמבר.

- ב. חישוב הממוצע המשוקלל (לפי אוכלוסיה) של התמ"ג לנפש (בדולר, מחירים שוטפים) באיחוד האירופי לשנת העדכון - מתוך נתוני קרן המטבע הבינלאומית (המציגה הן נתונים עבור תמ"ג לנפש והן נתוני אוכלוסיה).
- ג. מציאת התמ"ג לנפש (בדולר, מחירים שוטפים) בישראל לשנת העדכון – מתוך נתוני קרן המטבע הבינלאומית.
- ד. חלוקת התמ"ג בנפש בישראל בזה של האיחוד האירופי, על מנת לקבל את יחס ההתאמה.
- ה. הכפלת המחיר הממוצע (סעיף א') ביחס ההתאמה (סעיף ד') על מנת לקבל את המחיר המעודכן.

זהו כאמור המנגנון המומלץ על ידינו לעדכון מחיר הפליטה של 1 טון CO<sub>2</sub>. מנגנון זה יבטיח כי ישראל תמצא בחזית המאמצים לצמצום פליטות גזי החממה, תוך התחשבות בתנאיה הכלכליים.

לצד מנגנון מומלץ זה, נציג עתה גם שתי חלופות נוספות:

חלופה 2: הצמדה למדד המחירים לצרכן. על פי חלופה זו, יש להסתפק בשמירה על המחיר הריאלי של הפליטות, באמצעות התאמה לאינפלציה. היתרון המרכזי בגישה זו הוא בפשטותה ושקיפותה. יצוין שזוהי השיטה המוצגת על ידי תוכנית CASES עבור CO<sub>2</sub> לשנים הקרובות (בעתיד הרחוק ההמלצה היא להעלות את מחיר הפליטות באופן משמעותי).

חלופה 3: הצמדה לתמ"ג לנפש (בערכים שקליים נומינליים). על פי חלופה זו, מחיר הזיהום שנקבע משקף מחד את הרצון להביא לצמצום פליטות גזי חממה לאור העלויות החיצוניות הכרוכות בכך ומאידך את יכולתה של המדינה לעמוד במחירים אלו לאור נתונייה הכלכליים. כך, במידה וההכנסה בארץ (כפי שהיא מתבטאת בתמ"ג לנפש) עולה, יש לשקלל זאת לתוך החישוב ולהעלות גם את מחירי הזיהום. ההצמדה לתמ"ג לנפש במחירים שקליים שוטפים נובעת מהצורך לוודא שבנוסף להתאמה לרמת ההכנסה, תתבצע גם התאמה לרמת המחירים.

### 3. מזהמי אוויר הפוגעים בבריאות (חלקיקים, SO<sub>2</sub> ו-NO<sub>x</sub>)

בשונה מ-CO<sub>2</sub>, אשר נזקי פליטתו הנם גלובליים במהותם, נזקי מזהמי אוויר הפוגעים בבריאות הם אזוריים, כלומר – הערכת הנזק שגורמת למשל פליטת 1 טון SO<sub>2</sub> מושפעת ממקום הפליטה, ובפרט ממאפייניו האקלימיים (זרמי אוויר, משקעים וכו') והדמוגרפיים (צפיפות ופיזור אוכלוסין). זאת אף בטרם אנו נכנסים לשאלת תמחור הנזקים – כלומר, הבדלים במחיר הטיפול הרפואיים בין מדינה למדינה, הבדלים בהערכת ערך חיי אדם וכו'. משמעות העניין הנה שהתאמת מחירים לנזקי מזהמים מורכבת הרבה יותר מקביעת מחיר לנזקי גזי חממה – למדינות שונות נקבעו מחירים השונים זה מזה באופן משמעותי, ויש צורך במציאת נוסחה שתגזור מתוך ערכים אלו מחירים מתאימים לישראל. נספח ד' מציג רקע קצר אודות שתי תוכניות מחקר להערכת נזקי זיהום האוויר (לאו דווקא מייצור חשמל) בארץ ובאירופה.

#### 3.1 בסיס הנתונים

עוד לפני שנדון לעומק בקשיים שבהתאמת ערכי נזק לישראל, נציג כאן את בסיס הנתונים בו נשתמש.

#### נתוני תוכנית ExternE:

תוכנית ExternE וממשיכותיה הוצגו בפרק 1. נדגיש שבהקשר של מזהמי אוויר הפוגעים בבריאות, יתרונותיו של מאגר מידע ונתונים זה גדולים עוד יותר (ביחס למקורות אחרים) מאשר בהקשר של גזי החממה, וזאת במיוחד לאור שני מאפיינים:

1. התוכנית מציגה תוצאות סופיות (מחיר לפליטת מזהם) למספר רב של מדינות (כל מדינות אירופה + מדינות נוספות שכנות, כגון מדינות צפון אפריקה). בהקשר של מזהמי אוויר הפוגעים בבריאות לעובדה זו חשיבות מרובה, שכן היא תאפשר לנו למצוא, כפי שנראה, משוואה המקשרת בין משתנים מסוימים לבין אומדן עלות נזקי הזיהום בכל מדינה. על בסיס משוואה זו נוכל להתאים ערכים לישראל.
2. תוכניות המשך של תוכנית ExternE, המתבססות על אותם עקרונות מתודולוגיים, מאפשרות שימוש בנתונים עדכניים ביותר. כך, הנתונים אשר יוצגו מיד ואשר ישמשו אותנו בחישובינו עודכנו לאחרונה במרץ 2008.

אם כן, טבלה 1 שבעמוד הבא מציגה את מחירי הנזק לפליטת 1 טון מזהם (עבור כל אחד ממהמי האוויר המרכזיים) במדינות השונות, כפי שאלו נלקחו מקובץ הנתונים של תוכנית CASES, המופיע בתוך המסמך שכותרתו:

WP2 Report on methodology for estimating external costs, including external costs.  
Update March 2008.<sup>16</sup>

חשוב להדגיש את הנקודות הבאות:

- 1) המחירים מתייחסים אך ורק לנזקים הבריאותיים של זיהום האוויר. הם אינם כוללים נזקים הקשורים לפגיעה ביבולים חקלאיים, בסביבה, או בחומרים ובמבנים.
- 2) המחירים מתייחסים לערכי הנזק מפליטת טון מזהם מארובה בגובה 100 מ' ומעלה.
- 3) המחירים עבור כל מדינה מייצגים ממוצע של מחירים שחושבו עבור מספר נקודות ספציפיות בתוך כל מדינה.
- 4) המחירים עבור מדינות האיחוד האירופי מבוססים על מודלים אקלימיים מפורטים, ותוך שימוש במידע מדויק אודות פיזור האוכלוסייה בשטחים הנחשפים לזיהום. השילוב בין המודלים האקלימיים לנתונים הדמוגרפיים במסגרת תוכנת המחשב EcoSense היווה את גולת הכותרת של תוכנית ExternE<sup>17</sup>. המחירים עבור יתר המדינות בטבלה מבוססים על מודלים מפורטים פחות (אך תוך התבססות על אותם עקרונות).
- 5) מחירי הזיהום המוצגים אינם מביאים בחשבון פערים כלכליים בין המדינות, כך שהחישוב הכלכלי (התאמת ערכים כספיים לתוצאות בריאותיות של זיהום אוויר) מתבסס על ערכים כספיים אחידים עבור כל המדינות. ערכים כספיים אלו (אשר בהמשך נרחיב לגבי אופן חישובם) הם הערכים המומלצים לשימוש במדינות האיחוד האירופי.
- 6) המזהם  $PPM_{CO}$  ( $PPM_{COarse}$ ) מתייחס לחלקיקים בעלי קטר גדול מ- $2.5\mu m$  אך קטן מ- $10\mu m$ .
- 7) עבור חמש מדינות צפון-אפריקה המופיעות בטבלה לא הייתה במחירים המקוריים הבחנה בין פליטות מגבהים שונים (כך שהמחירים היוו מעין ממוצע לפליטות מכל הגבהים). מצב זה הביא לכך שהמחירים עבור חלקיקים ועבור  $NO_x$  במדינות אלו היו גבוהים באופן יחסי (מזהמים אלו מסוכנים יתר כאשר הם נפטים קרוב לקרקע, בתוך האוכלוסייה). לפיכך, התאמנו למדינות אלו מחירי זיהום מפליטות מגובה גבוה (מעל 100 מ') על ידי הכפלת המחירים המקוריים ביחס שבין המחיר לפליטות מגובה גבוה לבין המחיר לפליטות כלליות (בלי הבחנת גובה) באיחוד האירופי. המחירים המופיעים בטבלה הם המחירים המתוקנים.

---

<sup>16</sup> [http://www.feem-project.net/cases/downloads\\_deliverables.php](http://www.feem-project.net/cases/downloads_deliverables.php)

<sup>17</sup> <http://ecosenseweb.ier.uni-stuttgart.de/>

טבלה 1: מחירי הנזק של המזהמים השונים על פי המתודולוגיה של תוכנית ExternE

מחיר זיהום (אירו של שנת 2000 לטון פליטה)				
SO <sub>2</sub>	PPM <sub>2.5</sub>	PPM <sub>co</sub>	NO <sub>x</sub>	
7,578	16,604	529	7,915	אוסטריה
5,396	10,099	565	2,708	אוקרינה
7,011	14,830	719	5,637	איטליה
5,131	6,294	258	2,783	אירלנד
4,980	11,884	440	3,707	אלבניה
5,407	7,411	342	1,704	אלג'יריה
3,619	4,935	161	1,276	אסטוניה
5,064	10,314	425	4,852	בולגריה
5,461	8,330	353	2,984	ביילארוס
9,056	22,254	1,637	6,422	בלגיה
5,940	13,581	762	3,223	בריטניה
8,763	24,641	1,001	7,761	גרמניה
4,167	7,916	396	3,441	דנמרק
8,669	24,307	1,601	5,820	הולנד
7,298	18,467	750	8,046	הונגריה
5,159	6,698	297	1,819	טוניס
4,833	7,742	335	1,712	יוון
1,959	2,643	90	888	לוב
9,859	21,967	908	7,601	לוקסמבורג
3,950	5,927	233	2,679	לטביה
4,566	6,913	245	3,935	ליטא
6,148	10,639	534	4,529	מולדובה
8,561	8,269	373	2,415	מרוקו
4,528	6,946	367	1,823	מלטה
7,700	25,069	1,626	1,013	מצרים
4,276	8,312	329	1,877	מקדוניה
1,403	4,032	128	2,404	נורבגיה
8,271	15,683	565	6,662	סלובניה
7,093	15,835	622	6,810	סלובקיה
4,957	7,560	328	2,035	ספרד
6,659	14,576	613	5,108	סרביה
7,364	16,630	679	4,366	פולין
3,240	4,748	220	614	פורטוגל
2,509	3,300	50	1,277	פינלנד
7,632	18,345	630	6,629	צ'כיה
7,074	18,362	697	7,328	צרפת
7,931	12,601	698	4,103	קפריסין
6,108	12,725	615	5,706	רומניה
3,659	7,128	382	1,310	רוסיה
3,241	4,306	114	2,476	שבדיה
10,732	17,972	368	13,460	שוויץ
6,054	12,707	649	3,047	תורכיה
6,277	13,791	551	4,631	EU27

אולי הדבר הבולט ביותר בטבלה 1 הוא ההבדלים הגדולים בין המדינות השונות. הטבלה הבאה מרכזת מספר נתונים סטטיסטיים :

**טבלה 2: מחירי הזיהום**  
**(אירו של שנת 2000 לטון פליטה)**

SO <sub>2</sub>	PPM <sub>2.5</sub>	PPM <sub>co</sub>	NO <sub>x</sub>	
5,929	11,893	539	4,093	<b>ממוצע</b>
6,277	13,791	551	4,631	<b>ממוצע EU27</b>
1,403 (נורבגיה)	3,300 (פינלנד)	50 (פינלנד)	614 (פורטוגל)	<b>ערך מינימאלי</b>
10,732 (שוויץ)	25,069 (מצרים)	1,637 (בלגיה)	13,460 (שוויץ)	<b>ערך מקסימאלי</b>
2,179	8,233	684	2,625	<b>סטיית תקן</b>

בשלב זה חשוב להדגיש בדיוק מה כוללים מחירים אלו, ומה הם אינם כוללים. המחירים מתייחסים רק לנזקי הבריאות הישירים והמוגדרים היטב של זיהום האוויר: ביקורי רופא, אשפוזים, אובדן ימי עבודה, התועלת השלילית הכרוכה במחלה, הערך של אובדן שנת חי אדם (המרכיב המשמעותי ביותר בחישוב). לעומת זאת, הם אינם מתייחסים לנזקים הבאים של זיהום אוויר:

- פגיעה ביבולים חקלאיים (תוכנית ExternE אמנם מציגה מחירים גם עבור נזקים אלו, אך בשל התלות הרבה של המחיר במאפייני האזור הספציפיים – אקלים וסוגי הגידולים, הוחלט כי אין כרגע אפשרות להתאים מחירים אלו לישראל).
- פגיעה בסביבה. זיהום האוויר מוצא דרכו בסופו של דבר אל הקרקע ואל הים, וכך פוגע במיני צמחים ובעלי חיים (גם לגבי סעיף זה מציגה תוכנית ExternE מחירים, אך שוב, בשל התלות במאפייני האזור הספציפיים, הוחלט שלא לנסות להתאים מחירים אלו לישראל).
- פגיעה במבנים (כני"ל).
- פגיעה בראות (visibility).
- פגיעה באיכות החיים של אנשים בריאים. נזקי הבריאות המחושבים מתייחסים רק לאנשים אשר השפעת הזיהום עליהם חצתה סף מסוים והביאה אותם לפנות לקבל טיפול רפואי (או הביאה לקיצור תוחלת החיים שלהם). אך זיהום אוויר יכול כמובן לפגוע באיכות החיים גם אם איננו מביא אדם לידי מחלה. אמנם סביר כי אילו היה מוצמד ערך כלכלי לפרמטר זה הוא היה נמוך מהערך הניתן לפרמטרים הקשורים בתחלואה, ואולם יש לזכור כי היבט זה של זיהום אוויר פוגע במספר הגדול ביותר של אנשים (למעשה, בכל האוכלוסייה הנחשפת אליו).

נקודה נוספת שיש לציין היא כי מחירי הזיהום אשר חושבו במסגרת ExternE עבור  $\text{SO}_2$  ו- $\text{NO}_x$  אינם מתייחסים להשפעתם הבריאותית הישירה של מזהמים אלו, אלא רק להשפעתם דרך מזהמים שניוניים – סולפאטים, ניטראטים, ואוזון. הסיבה לכך היא העדר הוכחות אפידמיולוגיות ברורות בדבר השפעתם הישירה של מזהמים אלה. זאת, למרות מספר מאמרים מדעיים מהשנים האחרונות המצביעים על ההשפעה השלילית הישירה של מזהמים אלו (ובפרט  $\text{SO}_2$ ), כולל בהקשר של קיצור תוחלת החיים (מחקרים אלו מוזכרים במסמכים המתודולוגיים של תוכנית ExternE עצמה)<sup>18</sup>. לנושא זה חשיבות לגבי ההתאמה לישראל, שכן בניגוד למזהמים השניוניים אשר השפעתם נפרשת ברדיוס של מאות ק"מ, פיזורם של המזהמים הראשוניים הוא במידה רבה בקרבה יחסית למקור הזיהום.

### 3.2 התאמת מחירי הזיהום לישראל

מציאת מחירים מתאימים לישראל בהסתמך על הנתונים המוצגים לעיל מורכבת משני שלבים: השלב הראשון כולל התאמת מחירים לישראל תוך התבססות על העלויות הכספיות של התוצאות הבריאותיות של הזיהום כפי שהונחו עבור האיחוד האירופי (כלומר, בהנחה שהעלויות המתאימות בארץ – ערך שנת חיי אדם, עלות ביקור רופא וכן הלאה – זהות לאלו שבאירופה); השלב השני כולל התאמת הערכים שנמצאו בשלב הראשון לאור הפערים הכלכליים בין ישראל ושכנותיה לבין מדינות אירופה (וכמובן שאפשרות אחת בהקשר זה, אשר תידון בהמשך יחד עם יתר האפשרויות, היא להחליט כי אין צורך בהתאמה על בסיס כלכלי). במילים אחרות, בשלב הראשון ננסה לקבוע את מחיר הזיהום של המזהמים השונים (במונחים של אירו לטון פליטה) בהתעלם מפערים כלכליים בין ישראל ושכנותיה לבין מדינות אירופה; בשלב השני, נבדוק האם יש צורך לבצע תיקונים למחירים שנמצאו בשלב הראשון לאור הפערים הכלכליים, ואם כן – כיצד.

על מנת להסביר נקודה זאת בצורה ברורה יותר, נתאר כעת בקצרה את השלבים הבסיסיים בתהליך קביעת מחיר נזקי המזהמים (מחיר לטון פליטה), כפי שהתבצע במסגרת תוכנית ExternE.

#### 3.2.1 אופן הערכת מחיר נזקי זיהום האוויר

המתודולוגיה של ExternE להערכת מחיר הנזק הנגרם מפליטת מזהם בנקודת פליטה מוגדרת מורכבת מארבעה שלבים בסיסיים:

א. זיהוי השטחים אשר ייחשפו לזיהום. השאלה הנשאלת בשלב זה היא לאן יגיע החומר המזהם הנפלט, או מזהמים שניוניים אשר ייווצרו כתוצאה מריאקציות כימיות בעקבות פליטת המזהם. על מנת להשיב על שאלה זו, יש לבנות מודל אקלימי המתבסס על משתנים כגון משטרי רוחות, טמפרטורות, כמויות ותדירות משקיעים ועוד, המתייחסים באופן ספציפי

<sup>18</sup> דיון מקיף בנושא ניתן למצוא במסמך תוכנית NEEDS: "A set of concentration-response functions" (Deliverable 3.7 – RS1b/WP3), ובפרט בפרקים 4 ו-6 ובנספח 3.

- למקום בו נפלט החומר המזהם. הכוונה בשלב זה להגיע לתחזית מדויקת הקובעת כי בעקבות פליטת טון חלקיקים (למשל) בנקודה X, יעלה ריכוזם באוויר בנקודה Y בשיעור Z.
- ב. זיהוי האוכלוסייה שתיחשף לזיהום. לאחר שהתברר בשלב א' אילו אזורים ייחשפו לזיהום, יש לזהות את האוכלוסייה המתגוררת באזורים אלו, כלומר להעריך כמה אנשים ייחשפו לזיהום.
- ג. שימוש בממצאים אפידמולוגיים להערכת הנזקים הבריאותיים לאוכלוסייה. הכוונה לממצאים הקושרים בין עליה בריכוז המזהם באוויר באזור בו מתגוררת אוכלוסייה בגודל מסוים לבין מספר מקרי תחלואה/תמותה מוקדמת. לדוגמה, להעריך כמה מקרים נוספים של ברונכיט כרונית ייגרמו עקב חשיפת אוכלוסייה של 100,000 איש לעלייה בשיעור X בריכוז החלקיקים באוויר. כך עבור כל מגוון התוצאות הבריאותיות האפשרויות של הזיהום, כאשר את התוצאות הבריאותיות ניתן לחלק לשלושה סוגים: תוצאות הקשורות בטיפול רפואי במקרי מחלה (ביקורים בחדר מיון, ימי אשפוז, ביקורי רופא וכו'), תוצאות הקשורות באובדן תועלת עקב תחלואה (אובדן ימי עבודה, תועלת אישית שלילית ממחלה) ותוצאות הקשורות בתמותה (אובדן שנות חיי אדם). יודגש כי שלב זה עדיין איננו כולל הערכה כספית של עלות כל אחת מהתוצאות הנ"ל, אלא רק אומדן של מספר המקרים הנוספים מכל סוג תוצאה שייגרמו עקב הזיהום.
- ד. הערכת העלות הכספית של כל אחת מהתוצאות הבריאותיות וסכימת העלויות. הכוונה כאן לתרגום הנזקים (התוצאות הבריאותיות של הזיהום) למונחים של כסף. כלומר, מתן ערך כספי לכל תוצאה בריאותית: מחיר אשפוז עקב מחלה בדרכי הנשימה - Z ש, מחיר אובדן שנת חיי אדם - W ש, וכן הלאה. לבסוף, מתבצעת סכימה של כלל העלויות ומתקבל המחיר הסופי לזיהום.

כעת, אם נחזור לבעיה העומדת בפנינו, נסביר שעל מנת להתאים מחירי זיהום לישראל בהתבסס על מחירים שנקבעו למדינות השונות, נפריד בין שלבים א'-ג' לבין שלב ד'. כלומר, ראשית נתאים לישראל מחירי זיהום על בסיס מאפיינים לא-כלכליים (שלבים א'-ג'), תוך התבססות על הערכים הכספיים שנקבעו לתוצאות הבריאותיות של הזיהום עבור מדינות האיחוד האירופי (כלומר, ניקח את הערכים האירופיים כפי שאלו חושבו במסגרת שלב ד'). לאחר מכן, נבחן האם יש צורך להשתמש בערכים כספיים שונים המותאמים לאזורנו. בפועל, וכפי שמיד נסביר, **ההתאמה הראשונה תתמקד בשלב ב' - זיהוי האוכלוסייה החשופה לזיהום**.

### 3.2.2 שלב ראשון: התאמה על בסיס מחירים 'אירופיים'

כאמור, בשלב זה ננסה להתאים לישראל מחירי זיהום אוויר (במונחים של מחיר לטון פליטה) בהתבסס על העלויות הכספיות המומלצות לשימוש על ידי תוכנית ExternE למדינות האיחוד האירופי. כלומר, נניח שערך שנת חיי אדם באזורנו זהה לערך שנת חיי אדם באיחוד האירופי, שעלות

יום אשפוז באזורנו זהה לעלות יום אשפוז באיחוד באירופי, וכן הלאה. במלים אחרות, ננסה לקבוע מחירי זיהום אשר היו 'נכונים' אילו ישראל ושכנותיה היו בעלות נתונים כלכליים הדומים לאלו שבמדינות האיחוד האירופי.

נחזור, אם כן, לטבלה 1 (עמ' 15). נדגיש שוב כי הערכים המופיעים בטבלה מבוססים כולם על אותם מודלים אפידמולוגיים וכן על אותן עלויות כספיות לתוצאות הזיהום. כלומר, ההבדלים בין המדינות משקפים הבדלים בתנאים האקלימיים (משטרי רוחות, משקיעים וכו') והדמוגרפיים (צפיפות ופיזור אוכלוסיה) ביניהן. אין באפשרותנו במסגרת עבודה זו להיכנס למודלים האקלימיים אשר שימשו לקבלת מחירי הזיהום ולהתאימם לתנאים השוררים באזור ישראל. **על כן נתמקד במשתנים הדמוגרפיים, ובפרט – בצפיפות האוכלוסייה.**

כבר ממבט חטוף בטבלה 1 ניתן לראות כי מחירי הזיהום במדינות הנמצאות באזורים צפופים גבוהים יותר מאשר מחירי הזיהום במדינות הנמצאות באזורים צפופים פחות. כך, למשל, הטבלה הבאה מציגה השוואה בין מדינות הנמצאות במרכז וצפון-מערב יבשת אירופה (גרמניה, צרפת, הולנד, בלגיה, אוסטריה ושוויץ) לבין מספר מדינות 'פריפריאליות' (פורטוגל, אירלנד, נורבגיה, שבדיה, פינלנד).

**טבלה 3: מחירי הזיהום (אירו לטון פליטה)**

SO <sub>2</sub>	PPM <sub>2.5</sub>	PPM <sub>co</sub>	NO <sub>x</sub>	
				<b>מדינות מרכז וצפון-מערב יבשת אירופה</b>
7,578	16,604	529	7,915	<b>אוסטריה</b>
9,056	22,254	1,637	6,422	<b>בלגיה</b>
8,763	24,641	1,001	7,761	<b>גרמניה</b>
8,669	24,307	1,601	5,820	<b>הולנד</b>
7,074	18,362	697	7,328	<b>צרפת</b>
10,732	17,972	368	13,460	<b>שוויץ</b>
<b>8,645</b>	<b>20,690</b>	<b>972</b>	<b>8,118</b>	<b>ממוצע:</b>
				<b>מדינות 'פריפריאליות'</b>
5,131	6,294	258	2,783	<b>אירלנד</b>
3,240	4,748	220	614	<b>פורטוגל</b>
2,509	3,300	50	1,277	<b>פינלנד</b>
1,403	4,032	128	2,404	<b>נורבגיה</b>
3,241	4,306	114	2,476	<b>שבדיה</b>
<b>3,105</b>	<b>4,536</b>	<b>154</b>	<b>1,911</b>	<b>ממוצע:</b>

המסקנה מההשוואה בטבלה 3 ברורה: במדינות הנמצאות באזורים בהם צפיפות האוכלוסין גבוהה (כמו מרכז וצפון-מערב יבשת אירופה), עלויות הזיהום גבוהות יותר. כמובן שהאינטואיציה למסקנה זו ברורה אף היא: ככל שיותר אנשים נחשפים לזיהום, כך גדלים נזקיו (ובהתאם - מחירו).

ננסה, אם כן, לבחון באופן מדויק יותר את הקשר בין מחירי הנזק של המזהמים השונים כפי שאלו חושבו במסגרת תוכנית ExternE לבין צפיפות האוכלוסין. תחילה ניסינו למצוא מתאם בין מחירי

הזיהום לבין צפיפות האוכלוסין במדינה. ואולם, בבדיקת קשר אפשרי זה נמצא מתאם נמוך ביותר, ובלתי מובהק סטטיסטית. למעשה, אין בכך בכדי להפתיע, וזאת מכמה סיבות: ראשית, משום שרדיוס החשיפה לזיהום הנפלט ממקור מסוים עשוי להגיע לכ-500 עד 1,000 ק"מ (ולעתים אף יותר), כך שהאוכלוסייה הנחשפת לזיהום איננה חופפת לאוכלוסיית המדינה בה נפלט הזיהום<sup>19</sup>. שנית, משום שבמדינות רבות האוכלוסייה מתרכזת במספר אזורים מרכזיים, ושטחים רבים הנם למעשה בלתי מיושבים ועל כן גם בלתי רלוונטיים לחישוב נזקי הזיהום (שכן גם אין בהם כמעט תחנות כוח). שלישית, משום שנתוני צפיפות האוכלוסין במדינה מתייחסים כמובן לשטח היבשתי של המדינה, ואולם, אם מדינה שוכנת לאורך חוף ים, הרי שלצורך חישוב נזקי הזיהום יש לקחת בחשבון כי הזיהום יתפזר גם מעל לשטחי הים הסמוכים (כלומר באזורים בהם לא יגרום נזק ישיר).

לאור זאת, היה ברור כי יש להגדיר משתנה צפיפות אזורי, המתייחס לצפיפות האוכלוסין ברדיוס גדול סביב אזורי היישוב המרכזיים בכל מדינה. לצורך העניין השתמשנו בטבלת האוכלוסין העולמית (Gridded Population of the World) המופיעה במאגר המידע לנתונים סוציו-אקונומיים של אוניברסיטת קולומביה בארה"ב<sup>20</sup>. הטבלה מציגה נתונים אודות סך האוכלוסייה המתגוררת בכל נקודה על פני כדור הארץ (כלומר, מציגה את אוכלוסיית כדור הארץ בחתך קווי גובה וקווי רוחב), כאשר רמת הרזולוציה בה השתמשנו הנה של 1 מעלה. בחרנו בעיר הבירה של כל מדינה כנקודת הייחוס, סביבה חישובנו את צפיפות האוכלוסין האזורית לכל מדינה. כלומר, לצורך חישובינו, אנו מתייחסים אל עיר הבירה של כל מדינה כאל מקום ייצור החשמל ופליטת המזהמים. הבחירה בעיר הבירה כנקודת הייחוס נעשתה משתי סיבות: ראשית, הרצון לקבוע קריטריון ברור, פשוט ואובייקטיבי לצורך בניית המשתנה של צפיפות אזורית. שנית, המחשבה שבמרבית המדינות, בקרבת עיר הבירה נמצאים ריכוזי אוכלוסייה משמעותיים, ועל כן סביר להניח שגם ייצור החשמל נעשה בחלקו הגדול בקרבת מקום.

בשלב הבא, עבור כל מדינה מצאנו את היקף האוכלוסייה המתגוררת ב"רדיוס" של 250 ק"מ, 500 ק"מ, 700 ק"מ, ו-1,000 ק"מ מעיר הבירה (מסיבות טכניות לא יכולנו להגדיר שטח עיגול סביב הנקודה, ועל כן למעשה בנינו ריבוע עם צלע באורך פעמיים הרדיוס המבוקש, כאשר עיר הבירה נמצאת בדיוק באמצעו של הריבוע; על כן, המלה רדיוס מופיעה כאן, ותופיע בהמשך, במירכאות). מתוך האוכלוסייה המתגוררת בשטח זה גורנו את צפיפות האוכלוסין האזורית. הטבלה הבאה, המציגה נתונים עבור מספר מדינות, תבהיר טוב יותר כיצד בנינו משתנים אלו של צפיפות אזורית:

<sup>19</sup> רדיוס החשיפה הגדול (מאות ק"מ) הוא תוצאה הן של גובה הפליטה הרב (ונוכח כי אנו מתייחסים כאן רק לפליטות מגובה של למעלה מ-100 מ') והן (בעיקר) של היווצרותם באוויר של מזהמים שניוניים (סולפאטים וניטראטים) – הללו נוצרים באוויר כתוצאה מאינטראקציות בין המזהמים הנפלטים ( $NO_x$  ו- $SO_2$ ) לבין חומרים נוספים ומתפזרים כאמור על פני שטח גדול ביותר. דיון בנושא זה ניתן למצוא במסמך המתודולוגי הראשי של תוכנית Externalities of ) ExternE (Energy – Methodology 2005 Update), פרק 5; דיון ביישום המודל התיאורטי בעת חישוב עלויות הזיהום בפועל ניתן למצוא במסמך הטכני של תוכנית NEEDS –

Description of updated and extended draft tools for the detailed site-dependent assessment of external costs" (Technical Paper n. 7.4-RS 1b).

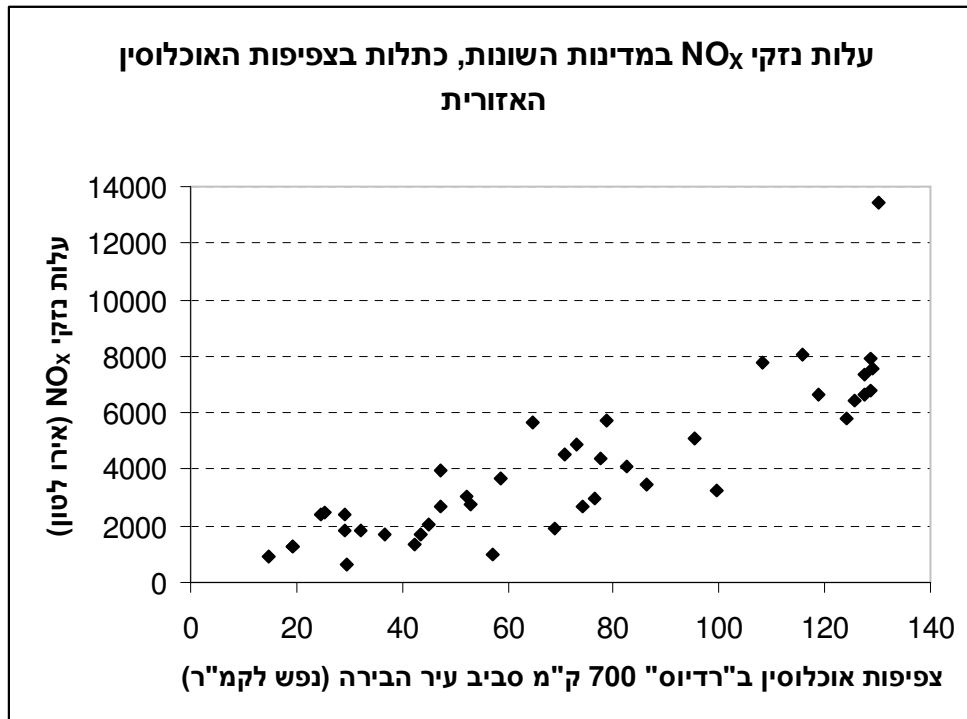
<sup>20</sup> <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/global.jsp>

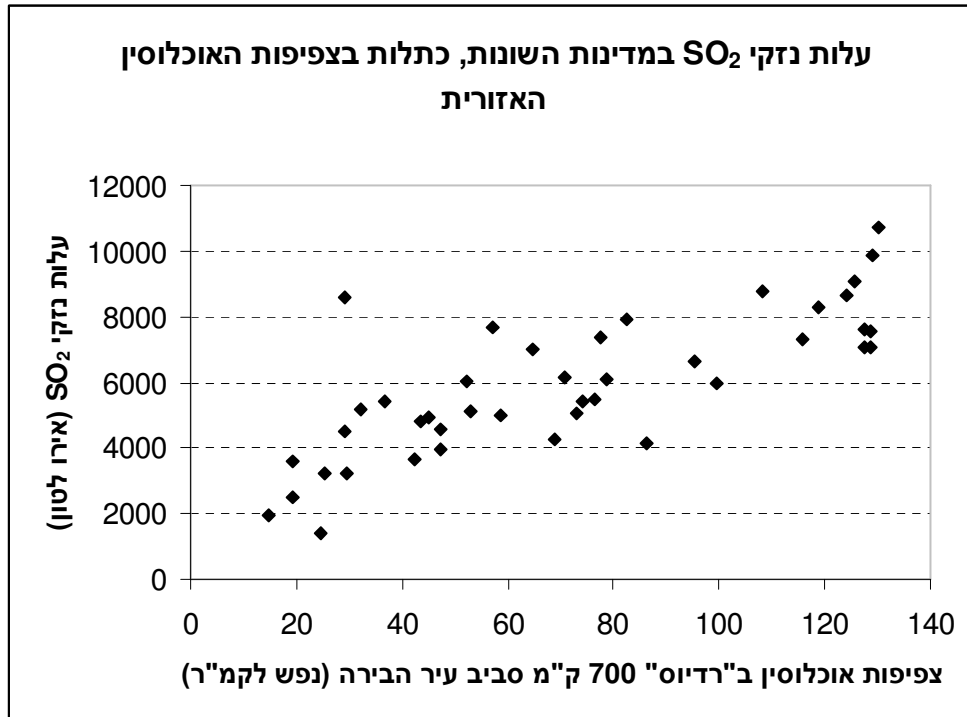
**טבלה 4: בניית משתני צפיפות אזורית**

מדינה	עיר בירה	קו גובה של עיר הבירה	קו רוחב של עיר הבירה	אוכלוסיה "ב"רדיוס" 500 ק"מ מעיר הבירה (מליון נפש)	צפיפות אוכלוסין "ב"רדיוס" 500 ק"מ מעיר הבירה (נפש לק"מ <sup>2</sup> )	אוכלוסיה "ב"רדיוס" 1,000 ק"מ מעיר הבירה (מליון נפש)	צפיפות אוכלוסין "ב"רדיוס" 1,000 ק"מ מעיר הבירה (נפש לק"מ <sup>2</sup> )
פינלנד	הלסינקי	60	25	18	18	150	38
צרפת	פריז	49	2	167	167	360	90
ספרד	מדריד	40	356	49	49	173	43
ישראל	ירושלים	32	35	96	96	219	55

\*כאמור, משתני צפיפות אזורית נבנו גם עבור "רדיוסים" של 250 ק"מ ו-700 ק"מ.

בשלב זה ניסינו לבדוק את הקשר בין משתני הצפיפות האזורית לבין מחירי נזקי הזיהום. הגרפים הבאים (עבור SO<sub>2</sub> ו-NO<sub>x</sub>) מראים קשר ברור בין המשתנים:





בשלב הבא, הרצנו רגרסיה פשוטה (משתנה מסביר בודד) על מנת לבחון את מובהקות הקשר. המשתנה המוסבר ברגרסיה היה מחיר הנזק לטון פליטה, והמשתנה המסביר היה צפיפות האוכלוסין האזורית, כמתואר למשל במשוואה:

$$NO_{x_i} = \alpha + \beta * dens500_i + \epsilon$$

כאשר  $NO_{x_i}$  מייצג את מחיר הנזק מפליטת טון  $NO_x$  במדינה  $i$ ;

$dens500_i$  מייצג את צפיפות האוכלוסין ב"רדיוס" 500 ק"מ מעיר הבירה של מדינה  $i$

רגרסיה כזאת הורצה בנפרד עבור כל אחד מהמזהמים, כאשר כמשתנה מסביר נבדקו בנפרד כל אחד ממשתני צפיפות האוכלוסין הרלוונטיים ("רדיוס" של 250 ק"מ, 500 ק"מ, 700 ק"מ ו-1,000 ק"מ). תוצאות הרגרסיות מוצגות בטבלה להלן:

**טבלה 5: תוצאות רגרסיות לבדיקת הקשר בין משתני הצפיפות האזורית לבין מחיר הזיהום**

תוצאות הרגרסיה				משתנה מסביר	משתנה מוסבר
Adj. R <sup>2</sup>	β t-stat	β	α		
0.542	7.034	22.679	3,756	צפיפות ברדיוס 250 ק"מ	SO <sub>2</sub> (מחיר לטון)
0.651	8.797	35.983	3,086	צפיפות ברדיוס 500 ק"מ	SO <sub>2</sub> (מחיר לטון)
0.603	7.958	44.647	2,720	צפיפות ברדיוס 700 ק"מ	SO <sub>2</sub> (מחיר לטון)
0.389	5.204	56.216	2,125	צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ	SO <sub>2</sub> (מחיר לטון)
0.309	4.398	21.672	2,017	צפיפות ברדיוס 250 ק"מ	NO <sub>x</sub> (מחיר לטון)
0.653	8.832	44.847	550	צפיפות ברדיוס 500 ק"מ	NO <sub>x</sub> (מחיר לטון)
0.723	10.388	60.627	-264	צפיפות ברדיוס 700 ק"מ	NO <sub>x</sub> (מחיר לטון)
0.728	10.522	94.382	-2,292	צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ	NO <sub>x</sub> (מחיר לטון)
0.703	9.912	75.135	4,694	צפיפות ברדיוס 250 ק"מ	PM <sub>2.5</sub> (מחיר לטון)
0.762	11.500	113.484	2,928	צפיפות ברדיוס 500 ק"מ	PM <sub>2.5</sub> (מחיר לטון)
0.665	9.077	136.744	2,066	צפיפות ברדיוס 700 ק"מ	PM <sub>2.5</sub> (מחיר לטון)
0.472	6.135	180.038	-288	צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ	PM <sub>2.5</sub> (מחיר לטון)
0.600	7.901	4.168	140	צפיפות ברדיוס 250 ק"מ	PM <sub>co</sub> (מחיר לטון)
0.489	6.344	5.495	105	צפיפות ברדיוס 500 ק"מ	PM <sub>co</sub> (מחיר לטון)
0.350	4.801	6.037	105	צפיפות ברדיוס 700 ק"מ	PM <sub>co</sub> (מחיר לטון)
0.169	3.053	6.734	83	צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ	PM <sub>co</sub> (מחיר לטון)

ניתן לראות שתוצאות כל הרגרסיות הנ"ל מובהקות, והקשר בין משתני הצפיפות לבין עלות נזקי המזהמים חד-משמעי. בשלב הבא בדקנו גם את מובהקות ויכולת ההסבר של רגרסיות עם ספציפיקציות אחרות. מצאנו כי רגרסיות בהן הן המשתנה המסביר והן המשתנה המוסבר נמצאים על סקאלה לוגריתמית (LN-LN) הן המספקות את יכולת ההסבר הטובה ביותר. הכוונה לרגרסיות מהצורה:

$$LN(NO_{x_i}) = \alpha + \beta * LN(dens500_i) + u$$

להלן תוצאות הרגרסיות מהסוג הנ"ל:

טבלה 6: תוצאות רגרסיות LN-LN לבדיקת הקשר בין משתני הצפיפות האזורית לבין מחיר הזיהום

תוצאות הרגרסיה				משתנה מסביר	משתנה מוסבר
Adj. R <sup>2</sup>	β t-stat	β	α		
0.631	8.440	0.433	6.757	LN(צפיפות ברדיוס 250 ק"מ)	LN(SO <sub>2</sub> )
0.708	10.017	0.529	6.409	LN(צפיפות ברדיוס 500 ק"מ)	LN(SO <sub>2</sub> )
0.616	8.170	0.551	6.344	LN(צפיפות ברדיוס 700 ק"מ)	LN(SO <sub>2</sub> )
0.323	4.534	0.588	6.175	LN(צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ)	LN(SO <sub>2</sub> )
0.387	5.183	0.561	5.694	LN(צפיפות ברדיוס 250 ק"מ)	LN(NO <sub>x</sub> )
0.618	8.209	0.811	4.721	LN(צפיפות ברדיוס 500 ק"מ)	LN(NO <sub>x</sub> )
0.700	9.842	0.960	4.150	LN(צפיפות ברדיוס 700 ק"מ)	LN(NO <sub>x</sub> )
0.787	12.346	1.472	2.007	LN(צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ)	LN(NO <sub>x</sub> )
0.763	11.528	0.639	6.498	LN(צפיפות ברדיוס 250 ק"מ)	LN(PM <sub>2.5</sub> )
0.843	14.891	0.775	6.006	LN(צפיפות ברדיוס 500 ק"מ)	LN(PM <sub>2.5</sub> )
0.779	12.065	0.832	5.814	LN(צפיפות ברדיוס 700 ק"מ)	LN(PM <sub>2.5</sub> )
0.529	6.862	1.001	5.094	LN(צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ)	LN(PM <sub>2.5</sub> )
0.672	9.228	0.768	2.769	LN(צפיפות ברדיוס 250 ק"מ)	LN(PM <sub>co</sub> )
0.697	9.768	0.903	2.297	LN(צפיפות ברדיוס 500 ק"מ)	LN(PM <sub>co</sub> )
0.623	8.291	0.953	2.137	LN(צפיפות ברדיוס 700 ק"מ)	LN(PM <sub>co</sub> )
0.329	4.598	1.022	1.828	LN(צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ)	LN(PM <sub>co</sub> )

ניתן לראות שגם תוצאות כל הרגרסיות הנ"ל מובהקות, ויכולת ההסבר של רגרסיות אלו טובה אף יותר מאשר זאת של הרגרסיות הליניאריות הפשוטות. לפיכך, הגענו למסקנה כי ניתן להשתמש בתוצאות אלו על מנת להתאים מחירי זיהום עבור ישראל. זאת, על ידי הצבת נתוני הצפיפות המתאימים לישראל במשוואות הרגרסיה. כך, למשל, התחזית למחיר נזקי הזיהום מפליטת טון NO<sub>x</sub> בישראל הנגזרת ממשנתנה הצפיפות האזורית "צפיפות ברדיוס 500 ק"מ מעיר הבירה" ניתנת על ידי הנוסחה (המקורבת):

$$LN(NO_{x,ISRAEL}) = 4.721 + 0.811 * LN(dens500_{ISRAEL}) = 4.721 + 0.811 * LN(96) = 8.423$$

$$\implies NO_{x,ISRAEL} = \exp(8.423) = 4,551$$

להלן, אם כן, התוצאות הסופיות עבור ישראל הנובעות מהצבת נתוני הצפיפות האזוריים של ישראל במשוואות הרגרסיה כפי שנמצאו עבור המזהמים השונים:

טבלה 7: הערכת מחיר לטון פליטת מזהם בישראל, ללא התייחסות לפערים כלכליים  
(במונחי אירו של שנת 2000)

ממוצע	מתוך הרגרסיה בה המשתנה המסביר הינו הלוגריתם הטבעי של:				מזהם
	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 1,000 ק"מ	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 700 ק"מ	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 500 ק"מ	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 250 ק"מ	
<sup>x</sup> 6,340	5,068	5,932	6,780	6,308	SO <sub>2</sub>
	0.323	0.616	0.708	0.631	Adj. R <sup>2</sup> ברגרסיה
<sup>a</sup> 3,672	2,697	3,768	4,551	3,941	NO <sub>x</sub>
	0.787	0.700	0.618	0.387	Adj. R <sup>2</sup> ברגרסיה
<sup>1</sup> 12,694	8,949	11,523	13,972	12,585	PM <sub>2.5</sub>
	0.529	0.779	0.843	0.763	Adj. R <sup>2</sup> ברגרסיה
<sup>7</sup> 549	372	489	613	547	PM <sub>co</sub>
	0.329	0.623	0.697	0.672	Adj. R <sup>2</sup> ברגרסיה

<sup>x</sup>הממוצע עבור SO<sub>2</sub> איננו כולל את האומדן לפי "רדיוס" 1,000 ק"מ, לאור ערך ה-R<sup>2</sup> הנמוך.  
<sup>a</sup>הממוצע עבור NO<sub>x</sub> איננו כולל את האומדן לפי "רדיוס" 250 ק"מ, לאור ערך ה-R<sup>2</sup> הנמוך.  
<sup>1</sup>הממוצע עבור PM<sub>2.5</sub> איננו כולל את האומדן לפי "רדיוס" 1,000 ק"מ, לאור ערך ה-R<sup>2</sup> הנמוך.  
<sup>7</sup>הממוצע עבור PM<sub>co</sub> איננו כולל את האומדן לפי "רדיוס" 1,000 ק"מ, לאור ערך ה-R<sup>2</sup> הנמוך.

על מנת להציג מחיר לטון עבור PM<sub>10</sub>, יש להשתמש בנוסחה המקשרת בין PM<sub>2.5</sub> ו-PM<sub>co</sub> ל-PM<sub>10</sub>, כאשר הדבר תלוי ביחס בפועל שבין סוגי הפליטות (איזה חלק מתוך כלל פליטות PM<sub>10</sub> הן בגדר PM<sub>2.5</sub>). כמובן שהדבר נקבע בכל מקרה לגופו, וקשה לדבר על יחס קבוע בהקשר זה, ואולם בספרות נהוג להשתמש בערכים הנעים בין 0.6 ל-0.95<sup>21</sup>. לצורך חישובנו נשתמש בערך 0.7.  
 כך, הקשר בין נזקי PM<sub>10</sub> ו-PM<sub>co</sub> ל-PM<sub>2.5</sub> נתונים על ידי הנוסחה:

$$PM_{10} = 0.7 * PM_{2.5} + 0.3 * PM_{co}$$

אם כן, לאחר הצבה אנו מקבלים שמחיר נזקי פליטת טון PM<sub>10</sub> הנו 9,050 אירו.

לסיום שלב זה, נמיר את הערכים במונחי אירו של שנת 2000 למונחי אירו של שנת 2007. מדד המחירים לצרכן המשוקלל למדינות האיחוד האירופי עמד בממוצע בשנת 2000 על 88.45 (שנת בסיס

<sup>21</sup> Description of updated and extended draft tools for the detailed site-dependent assessment of external costs (NEEDS Project Technical Paper, 2007).

Found at: [www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS\\_Rs1b\\_TP7.4.pdf](http://www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS_Rs1b_TP7.4.pdf)

(2005 = 104.73); בשנת 2007 הוא עמד במוצע על 104.73<sup>22</sup>. לפיכך, על מנת להמיר את המחירים הנקובים במונחי אירו של שנת 2000 יש לכפול ב-1.184 (= 104.73/88.45). התוצאות מוצגות בטבלה להלן:

**טבלה 8: המרה לאירו של שנת 2007\***

מחיר לטון (אירו של שנת 2007)	מחיר לטון (אירו של שנת 2000)	
7,507	6,340	SO <sub>2</sub>
4,348	3,672	NO <sub>x</sub>
15,030	12,694	PM <sub>2.5</sub>
10,715	9,050	PM <sub>10</sub>

\* מנקודה זאת והלאה, בכל מקום שמופיע "אירו" הכוונה לאירו של שנת 2007

### 3.2.3 שלב שני: התאמת הערכים לתנאים הכלכליים בישראל והמזרח התיכון

אם כן, אלו המחירים המומלצים לשימוש עבור ישראל, בהתעלם מפערים כלכליים בין ישראל ושכנותיה לבין מדינות האיחוד האירופי. נדון כעת בנושא זה של הפערים הכלכליים, ובדרך בה (אם בכלל) יש להביא פערים אלו לידי ביטוי בקביעת מחירי הזיהום. לצורך עניין זה, נעשה הפרדה בין שני סוגי התאמות אפשריים – התאמה לפערים בכוח הקניה בין מדינות (כלומר, התאמה שנועדה להבטיח כי המחיר הריאלי – המחיר במונחי מוצרים אחרים – הוא זהה בכל המדינות), והתאמה לפערי הכנסות. בסעיף 3.2.3.1 נביא תחילה הסבר אודות אופן קביעת המחיר הכספי של הזיהום באיחוד האירופי, ובשלושת הסעיפים שלאחר מכן נציג שלוש גישות שונות לביצוע ההתאמה. בסעיף 3.2.4 נציג השוואה בין התוצאות המתקבלות על פי כל אחת מהגישות, ובסעיף 3.2.5 – את הגישה שנבחרה כגישה המומלצת לביצוע ההתאמה.

#### 3.2.3.1 קביעת המחיר הכספי באיחוד האירופי

נדון תחילה בקצרה באופן בו הוערכו העלויות הכספיות של התוצאות הבריאותיות של הזיהום עבור מדינות האיחוד האירופי. כלומר, במה שהגדרנו קודם כשלב ד' בתהליך הערכת מחיר נזקי הזיהום. ניתן לחלק את התוצאות הרפואיות של זיהום אוויר לשני סוגים: תוצאות הקשורות בתמותה מוקדמת (אובדן שנות חיי אדם), ותוצאות הקשורות בתחלואה (הוצאות רפואיות, אובדן ימי עבודה, תועלת אישית שלילית ממחלה). עבור כל אחת מהתוצאות האפשרויות הבריאותיות חושבה במסגרת תוכנית ExternE עלות כספית.

העלות הכספית הקשורה בתמותה מוקדמת (אובדן שנות חיי אדם) נקבעה בהסתמך על מחקר רחב (שנערך באופן ספציפי לצורך זה) שבדק את המחיר שפרטים יהיו מוכנים לשלם עבור הארכת תוחלת חייהם במספר חודשים, וזאת בשיטת Contingent Valuation (שיטה בה מוצג לנבדקים תרחיש

<sup>22</sup> <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (Harmonized Indices of Consumer Prices section).

כלשהו והם נשאלים איזה סכום יהיו מוכנים לשלם על מנת שיתממש/וימנע<sup>23</sup>. המחקר התבצע במקביל ב-9 מדינות באיחוד האירופי (הכולל, לצורך העניין, גם את שווייץ), 6 מהן ממערב אירופה (צרפת, ספרד, בריטניה, דנמרק, גרמניה ושווייץ), ו-3 מהן מצטרפות חדשות לאיחוד ממזרח אירופה (צ'כיה, הונגריה ופולין). המחקר מצא ערך שנת חיי אדם של 41,000 אירו במדינות האיחוד הוותיקות ו-33,000 אירו במצטרפות החדשות (ערכים מתוקנים לפערים בכוח הקניה), כאשר ערך זה משקף כאמור את הסכומים אותם הצהירו הנבדקים שיהיו מוכנים לשלם עבור הארכת חייהם במספר חודשים (הפרטים נתבקשו להצהיר איזה סכום חודשי קבוע יהיו מוכנים לשלם למשך שארית חייהם על מנת להאריך את חייהם ב-3 או 6 חודשים; מתוך סכומים אלו, ובהסתמך על הנחות לגבי תוחלת החיים הממוצעת, חושבו ערכי שנת חיי אדם המדווחים לעיל). עם זאת, המלצת המחקר היא כי לצורך מחקרי עלות/תועלת לקביעת מדיניות באירופה יש להשתמש בערך אחיד של 40,000 אירו, הן עבור החברות הוותיקות באיחוד והן עבור המצטרפות החדשות. נספח ה' מציג דיון קצר בנושא זה של קביעת ערך חיי אדם/שנת חיי אדם.

העלויות הכספיות שנקבעו עבור התוצאות הקשורות בתחלואה מתבססות בחלקן על עלויות שוק: מחיר יום אשפוז, מחיר ביקור רופא, אובדן הכנסה למעסיק ולמועסק מאובדן יום עבודה ועוד. עם זאת, תוצאת התחלואה אשר עלותה היא הגדולה ביותר (מתוך סך העלויות הסופיות של התוצאות הקשורות בתחלואה, כלומר גם תוך התחשבות בשכיחותה ביחס לתוצאות אחרות) הנה מקרה חדש של ברוניטיס כרונית (Chronic Bronchitis), ומחירה של תוצאה זו נקבע, בדומה למחיר שנת חיי אדם, על סמך מחקרים אשר ביררו את נכונותם של פרטים לשלם כדי להימנע מלחלות במחלה על סמך מחירים אשר ביררו את נכונותם של פרטים לשלם כדי להימנע מלחלות במחלה (Willingness to Pay). כלומר, בסופו של דבר, גם הערכת העלויות הקשורות בתחלואה מתבססת במידה רבה על קביעת מחיר סובייקטיבי (כלומר, לא מחיר שוק), בהסתמך על העדפות של פרטים.

למחירים שנמצאו בסעיף הקודם (3.2.2) ניתן לבצע שני סוגי התאמות לתנאים הכלכליים בישראל וסביבתה: ההתאמה האפשרית הראשונה היא התאמת המחירים שנמצאו בסעיף הקודם לכוח הקניה המקומי; ההתאמה השנייה היא התאמה לפערי ההכנסה בין אזור ישראל והמזרח התיכון לאיחוד האירופי. סוג ההתאמה הראשון מבקש רק לדאוג לכך שהמחירים הריאליים (מחיר נזקי זיהום האוויר במונחים של מוצרים אחרים) יהיו זהים בכל מקום. סוג ההתאמה השני מתבסס למעשה על הטענה כי אנשים (ובהתאמה – מדינות) שונים יהיו מוכנים להוציא סכומים שונים עבור אותם שירותים, בתלות ברמת הכנסתם (כלומר, אדם עשיר יהיה מוכן לשלם סכום גבוה יותר מאשר אדם עני עבור אותו מוצר), ומעבר לכך – שאכן יש להתחשב בעניין זה בעת קביעת מחיר הזיהום.

הטבלה הבאה מרכזת את הנתונים בהם נשתמש לצורך חישובינו :

---

<sup>23</sup> *Final Report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution.* (NEEDS Project Delivery, 2006).  
Found at: [www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS\\_RS1b\\_D6.7.pdf](http://www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS_RS1b_D6.7.pdf)

טבלה 9: תוצר לנפש ותוצר לנפש מתוקן לכוח קניה (PPP), 2007

תוצר לנפש מתוקן לכוח קניה (PPP) (דולר בינלאומי)	תוצר לנפש (דולר אמריקני)	אוכלוסייה (מליון)	
25,799	22,475	7.2	ישראל
46,865	27,327	0.8	קפריסין
5,491	1,739	73.6	מצרים
4,886	2,795	5.7	ירדן
11,270	6,569	3.8	לבנון
23,243	15,481	24.3	סעודיה
4,488	1,946	19.4	סוריה
12,888	9,629	68.9	תורכיה
3,600	2,000	28.9	עיראק
4,886	2,795	3.5	רש"פ
<b>9,988</b>	<b>6,341</b>		<b>מזרח תיכון</b>
<b>29,816</b>	<b>34,108</b>		<b>האיחוד האירופי</b>
<b>33,323</b>	<b>40,114</b>		<b>האיחוד האירופי – חברות ותיקות</b>
<b>16,892</b>	<b>11,398</b>		<b>האיחוד האירופי – מצטרפות חדשות</b>

\* הנתונים בטבלה מבוססים על הערכות קרן המטבע הבינלאומי לשנת 2007, למעט עבור עיראק (נתוני ה-CIA World Factbook) והרשות הפלסטינית (לצורך החישוב הונחו ערכים זהים לאלו של ירדן)

עם זאת, טרם ניכנס לדיון באפשרויות לביצוע התאמה כלכלית, ראוי להציג גם אפשרות נוספת, והיא כי אין צורך בביצוע התאמה כלכלית כלל. על פי גישה זו, ישראל שואפת להיצמד בכל תחומי המדיניות אל המדינות המובילות בעולם, ועל כן במקרה זה עליה לאמץ את המחירים המומלצים לאיחוד האירופי כמות שהם. בנוסף, ראוי לציין בהקשר זה שהמחירים שנקבעו לאיחוד האירופי מומלצים לשימוש גם עבור המצטרפות החדשות לאיחוד – מדינות מזרח אירופה – בהן התמ"ג לנפש נמוך מאשר בישראל. לצד גישה זו, נציג כעת גישות נוספות.

### 3.2.3.2 התאמת המחירים לכוח הקניה

כידוע, 100 אירו בשבדיה אינם 100 אירו בישראל. כוח הקניה של 100 אירו בשבדיה נמוך במידה לא מבוטלת מכוח הקניה של 100 אירו בישראל. לאור זאת, ואף בטרם התייחסנו לשאלת פערי ההכנסה בין ישראל לשבדיה, ניתן לטעון כי לא סביר להעתיק לישראל את מחיר זיהום האוויר שנמצא על בסיס הערכים הכספיים של האיחוד האירופי, שכן פירוש הדבר יהיה שהאזרח הישראלי מוכן לשלם מחיר גבוה יותר בפועל (לוותר על יותר מוצרים אחרים) עבור צמצום הזיהום מאשר האזרח השבדי, למשל. לכן, על פי טיעון זה, יש לבצע התאמה לכוח הקניה של הכסף.

נקודה חשובה ביותר שחשוב להזכיר בהקשר זה היא העובדה שזקקי זיהום חורגים בהרבה משטח המדינה – רדיוס ה"פגיעה" של מזהמים אלו מגיע לרוב ל-1,000-500 ק"מ, ולעתים אף ליותר. כפי שראינו בסעיף הקודם, מזיהום הנפלט בישראל עלולים להיפגע אנשים בכל רחבי המזרח התיכון. לפיכך יש, על פי גישה זו, להביא בחשבון את המאפיינים הכלכליים של האזור כולו ולא רק את מאפייניה של ישראל.

נשתמש בנתונים המופיעים בטבלה 9 על מנת להתאים מחירי זיהום עבור ישראל והסביבה. המפתח לכך הוא היחס בין התוצר לנפש מתוקן לכוח הקניה לבין התוצר לנפש הרגיל. היחס בין התוצר לנפש הרגיל (במונחי דולר אמריקני) לבין התוצר לנפש המתוקן לכוח הקניה (במונחי דולר בינלאומי) באיחוד האירופי הוא 1.144; היחס המקביל במזה"ת (לצורך העניין נתייחס למדינות המזה"ת כאל מקשה אחת) הוא 0.635. לפני שנמשיך בחישוב, נבהיר באופן אינטואיטיבי מה משמעות הדבר. דולר בינלאומי מוגדר כיחידת מטבע היפותטית אשר כוח הקניה שלה זהה לכוח הקניה של דולר אמריקני בארה"ב. כלומר, בארה"ב היחס הנ"ל הינו, על פי הגדרה, 1. נחשוב כעת על דולר בינלאומי כעל סל מוצרים קטן (אותו סל שניתן לרכוש בארה"ב בדולר אמריקני אחד). אם כן, במדינה בה רמת המחירים נמוכה יותר מאשר בארה"ב, יהיה היחס קטן מ-1, שכן על מנת לקנות את אותו סל מוצרים יהיה צורך בפחות מ-1 דולר אמריקני, ועל כן מספר ה"סלים" (התוצר במונחי דולר בינלאומי) יהיה גדול יותר מהתוצר במונחי דולר אמריקני. כלומר, מהיחס הנ"ל ניתן ללמוד על רמת המחירים היחסית בכל מדינה, וכך גם על יחס המחירים בין כל שתי מדינות (או גושי מדינות).  
אם כן, אם "סל מוצרים" (כלומר, דולר בינלאומי) עולה באיחוד האירופי 1.144 דולר אמריקני, ובמזה"ת רק 0.635 דולר אמריקני, הרי שניתן להסיק מכך כי רמת המחירים באירופה גבוהה פי 1.802 ( $1.144/0.635=$ ) מאשר במזה"ת. או, במלים אחרות, שכוח הקניה של דולר אמריקני (וכל מטבע אחר) במזה"ת הוא פי 1.802 מאשר באיחוד האירופי. על כן, על מנת לקבל מחירים מתוקנים על כוח הקניה במזה"ת עבור נזקי זיהום האוויר לטון פליטה, יש לחלק את הערכים המבוססים על מחירים אירופיים ב-1.802.

הטבלה הבאה מציגה את תוצאות ההתאמה לכוח קניה:

**טבלה 11: תוצאות ההתאמה לפערים בכוח קניה**

מחיר לטון, לאחר תיקון לכוח קניה (אירו)	מחיר לטון, לפני תיקון לכוח קניה (אירו)	
4,166	7,507	SO <sub>2</sub>
2,413	4,348	NO <sub>x</sub>
8,341	15,030	PM <sub>2.5</sub>
5,946	10,715	PM <sub>10</sub>

עם זאת, חשוב להדגיש את הנקודה הבאה (הרלוונטית גם לסעיף הבא): ההתאמה לתנאים הכלכליים במזה"ת כולו מייחסת לישראל רק 3% מהנזק (בהתאם לאוכלוסייתה היחסית). זוהי כמובן הטיה משמעותית מאוד, שכן בפועל ברור שאחוז גדול הרבה יותר מהנזקים מתרחש קרוב למקום הפליטה. דבר זה נכון במיוחד עבור חלקיקים (לגביהם ניתן להעריך באופן גס כי בין 20% ל-50% מהנזק מתרכז באזור הפליטה), אך עשוי להיות נכון (גם אם במידה נמוכה יותר) לגבי SO<sub>2</sub> ו-NO<sub>x</sub>.

### 3.2.3.3 התאמת המחירים לפערים ברמות ההכנסה

שאלה נוספת עליה יש להשיב היא האם יש צורך להתייחס גם לפערי ההכנסות בין האזורים (האיחוד האירופי מחד והמזרח התיכון מאידך), ואם כן – כיצד. הטיעון המרכזי בעד ביצוע התאמה שכזאת גורס שאדם עני יותר (ובהתאמה – מדינה ענייה יותר) ירצה להוציא סכום נמוך יותר על מוצר כלשהו (ולצורך העניין – צמצום זיהום אוויר הוא מוצר) מאשר אדם עשיר יותר, ושיש לקחת עניין זה בחשבון בעת קביעת מחיר הזיהום. לעומת זאת, ישנם שני טיעונים מרכזיים נגד ביצוע התאמה שכזו בהקשר הנוכחי: הטיעון הראשון הוא עקרוני במהותו, ועל פיו – לאור העובדה שעיקר מחיר הזיהום מבוסס על הערכות הקשורות באיכות ותוחלת חיים (ערך חיי שנת אדם, הערך שבמניעת הסבל הכרוך בתחלואה), מהרגע שנקבעו ערכים עבור משתנים אלו – אין להפלות בין עשירים לעניים. הטיעון השני הוא כלכלי-טכני במהותו, ועל פיו אין בסיס מדעי אמפירי מספיק על מנת שניתן יהיה לבצע התאמות כאלה באופן אמין ומשביע רצון – כלומר, הערכים הגולמיים (אולי לאחר התיקון לכוח הקניה) הם הטובים ביותר.

את ההתאמה לפערי הכנסות (אם הוחלט כי התאמה זו רצויה), ניתן לבצע על פי שתי גישות עיקריות:

#### 1. התאמה פרופורציונאלית של המחיר (לאחר התאמה לכוח הקניה) ליחס בין רמות ההכנסה.

כלומר, לצורך ענייננו, מציאת היחס בין התוצר לנפש במונחי כוח קניה במזרח התיכון וזה שבאיחוד האירופי והכפלת מחירי הזיהום לאחר התאמה לכוח הקניה ביחס זה לצורך קבלת המחירים המתאימים למזה"ת. ניתן להגדיר גישה זו גם כגישה המניחה גמישות ביקוש ביחס להכנסה של 1 (ראה להלן).

לאותה תוצאה ניתן גם להגיע בדרך ישירה יותר: מציאת היחס בין התוצר לנפש בדולר (במחירים שוטפים; כלומר, התוצר לנפש ה"רגיל"), והכפלת מחירי הזיהום האירופיים המקוריים (ללא התאמה לכוח הקניה) ביחס זה (כלומר, ניתן לדלג על שלב התאמת המחירים לכוח הקניה).

#### 2. התאמה המתבססת על הנחת גמישות ביקוש למוצר ביחס להכנסה קטנה מ-1. גישה זו

חולקת על ההנחה שבבסיס הגישה הראשונה לפיה הנכונות של אדם (או מדינה) לשלם עבור מוצר כלשהו משתנה פרופורציונאלית ביחס להכנסה. כלומר, על פי גישה זו, ייתכן כי אדם עני יבחר להוציא חלק גדול יותר מהכנסתו עבור רכישת מוצר מסוים מאשר אדם עשיר יותר (כאשר עבור מוצרים אחרים התמונה תהיה הפוכה). נטען גם שהנחה זו (אודות גמישות ביקוש קטנה מ-1) רלוונטית במיוחד להוצאות בריאות.

נציג, אם כן, את החישובים המתאימים עבור כל אחת משתי הגישות.

#### הגישה הראשונה – התאמה פרופורציונאלית

היחס בין התוצר לנפש, מתוקן לפערים בכוח הקניה, במזה"ת ובאיחוד האירופי הוא כ-0.335. לכן, על מנת לקבל את המחירים לטון פליטה יש לכפול את הערכים שהתקבלו לאחר התאמה לכוח קניה במזה"ת ביחס זה.

דרך אחרת, ישירה יותר, לבצע את ההתאמה הפרופורציונאלית להכנסה הינה על ידי מציאת היחס בתוצר לנפש (במונחים נומינליים, כלומר, לא מתוקן לפערים בכוח הקניה) בין המזה"ת לאירופה, והכפלת המחירים האירופיים המקוריים (ללא התאמה לכוח הקניה) ביחס זה (הפערים בתוצר לנפש במונחים נומינליים למעשה כוללים את שני המרכיבים – פערים בכוח הקניה ופערים בהכנסה).

#### הגישה השנייה – הנחת גמישות ביקוש ביחס להכנסה קטנה מ-1

ההתאמה במקרה זה מתבצעת בהתאם לנוסחה (הניתנת כאן כדוגמה עבור  $NO_x$ ):

$$NO_{x,ME} = NO_{x,EU(PPP)} * (Income_{ME(PPP)} / Income_{EU(PPP)})^\beta$$

כאשר

$NO_{x,ME}$  מתייחס למחיר נזקי  $NO_x$  במזה"ת לאחר התאמה לפערים בכוח קניה וברמת הכנסה  $NO_{x,EU(PPP)}$  מתייחס למחיר נזקי  $NO_x$  באיחוד האירופי + התאמה לפערים בכוח הקניה בין האיחוד

האירופי למזה"ת (התיקון שנעשה בסעיף 3.2.3.2)

$Income_{ME(PPP)}$  מתייחס לתוצר לנפש במזה"ת ב-PPP,

$Income_{EU(PPP)}$  מתייחס לתוצר לנפש באיחוד האירופי ב-PPP.

$\beta$  מייצג את גמישות הביקוש למוצר (השקעה בבריאות ובהארכת תוחלת החיים) ביחס להכנסה.

המפתח הוא כמובן הערך של  $\beta$  (ויש לציין שניתן כמובן להכניס גם את הגישה הראשונה למסגרת הנוכחית, כאשר לוקחים  $\beta=1$ ). אנחנו נתבסס על המחקר שנערך במסגרת תוכנית NEEDS להערכת ערך שנת חיי אדם, אשר הוזכר לעיל. המחקר כאמור מצא שבחברות הותיקות באיחוד האירופי, ערך חיי שנת אדם (כפי שמשקף מנכונות פרטים לשלם עבור הארכת תוחלת החיים במספר חודשים) עמד על כ-41,000 אירו, לעומת 33,000 אירו במצטרפות החדשות (ערכים אלו הנם ערכים מתוקנים לפערים בכוח הקניה בין מדינות האיחוד). מתוך פער זה, ומתוך היחס בין רמות ההכנסה בשני חלקי האיחוד האירופי, נובע  $\beta = 0.32$ <sup>24</sup>. אנו נשתמש בערך מעט גבוה יותר –  $\beta = 0.35$ , המוזכר גם בספרות המקצועית<sup>25</sup>. יצוין גם שבאותו מחקר נעשה ניסיון לאתר ערכי  $\beta$  לרמת הפרט – כלומר, גמישות

<sup>24</sup> הערך הנ"ל חושב מתוך המשוואה:

$$(33,000/41,000) = (16,892/33,323)^\beta$$

<sup>25</sup> *Economic valuation of environmental impacts and external costs* (Markandya and Boyd, 2000).

הביקוש למוצר (הארכת תוחלת חיים) ביחס להכנסה של הפרט הבודד. הערכים שנמצאו נעים בין 0.34 ל-0.61, כאשר הערכים המבוססים ביותר קרובים ל-0.4. אם כן, על מנת להתאים את הערכים האירופיים (לאחר התאמה לכוח קניה) למזרח התיכון, יש לכפול ערכים אלו ב- $0.335^{0.35} = 0.682$ .

הטבלה הבאה מציגה את תוצאות ההתאמות לפערים ברמת ההכנסה.

**טבלה 12: מחיר טון פליטה לאחר התאמה לפערי הכנסות**

(אירו לטון)

עם תיקון לכוח קניה, עם התאמה לרמת הכנסה בהנחת גמישות הביקוש ביחס להכנסה של 0.35	עם תיקון לכוח קניה, עם התאמה פרופורציונאלית לרמת הכנסה	
2,841	1,396	SO <sub>2</sub>
1,646	809	NO <sub>x</sub>
5,688	2,796	PM <sub>2.5</sub>
4,055	1,993	PM <sub>10</sub>

חשוב להדגיש שוב כי ערך גמישות זה, 0.35, הוא רק אחד מערכים רבים בהם ניתן היה להשתמש, כולל ערכים הקרובים יותר באופן משמעותי ל-1. כך למשל, תוכנית CASES משתמשת בערך של 0.85 בעת עדכון המחירים על פני השנים (לאור העלייה ברמת הכנסה). למעשה, הערכים המשמשים אותנו בעבודה זו התבססו על התאמה זו.

לבסוף, שוב נדגיש את הבעייתיות שבחישוב ערכים על סמך ממוצע התנאים הכלכליים במזה"ת, לאור המשקל הנמוך מדי המיוחס לנוזקי הזיהום המתרחשים בישראל עצמה במסגרת חישוב זה.

**3.2.3.4 התאמת המחירים לפי התנאים הכלכליים בישראל בלבד**

על פי גישה זו, המחירים יותאמו לתנאים הכלכליים (כוח קניה ורמת הכנסה) בישראל. זאת בשונה מהגישות הקודמות, בהן ההתאמה התבצעה על בסיס ממוצעים משוקללים של הנתונים הכלכליים של ישראל ומדינות המזרח התיכון.

גישה זו מבוססת על העמדה העקרונית הבאה: ראשית, מן הבחינה התיאורטית נכון לבצע התאמה לתנאים הכלכליים במדינת היעד, שכן על מחירי הזיהום לשקף את יכולתה של המדינה להקצות משאבים לתחום זה של צמצום זיהום האוויר. שנית, אין זה סביר כי המדיניות הישראלית בנוגע למניעת זיהום אוויר תושפע בצורה עמוקה מעושרן (או עוניין) היחסי של שכנותיה. בנוסף, מכיוון שמחירי הזיהום מבוססים במידה רבה על הערכות של ערך חיי אדם וערך מניעת הסבל הכרוך במחלה, הרי שמרגע שנקבע מחיר מתאים – אין לייחס ערכים שונים לאנשים ומדינות על פי עושרם היחסי. כלומר, על פי גישה זו, ייתכן בהחלט כי אילו נערכה העבודה הנוכחית בירדן למשל, היו

כותביה בוחרים להשתמש בערכים שונים (נמוכים יותר) בהתבסס על המאפיינים הכלכליים של ירדן – אך לא ייתכן כי אנו נקבע ערכים שונים למדינות אחרות.

אם כן, נבצע התאמה הן לכוח הקניה והן לרמת ההכנסה בארץ ביחס לזו הקיימת באיחוד האירופי (על בסיס הנחת גמישות ביקוש יחידתית ביחס לתוצר, כלומר התאמה פרופורציונאלית) ונקבל שעל מנת להתאים את המחירים האירופיים לתנאים הכלכליים בישראל יש לכפול את המחירים האירופיים ב-0.659 (נזכיר שניתן להגיע ליחס זה דרך מציאת היחס בתמ"ג לנפש במונחים דולריים נומינליים בין ישראל לאיחוד האירופי, והכפלת המחירים המקוריים ביחס זה). תוצאות חישוב זה מוצגות בטבלה להלן:

**טבלה 13: מחירים מותאמים לתנאים הכלכליים בישראל**

עם תיקון לכוח קניה ולרמת הכנסה (פרופורציונאלית) – נתונים ישראליים	ללא תיקון לכוח קניה, וללא התאמה לרמת הכנסה	
4,947	7,507	SO <sub>2</sub>
2,865	4,348	NO <sub>x</sub>
9,905	15,030	PM <sub>2.5</sub>
7,061	10,715	PM <sub>10</sub>

### 3.2.4 סיכום הממצאים

הטבלה הבאה מסכמת את המחירים שנמצאו לטון פליטה, בהתאם לגישות השונות.

**טבלה 14: מחיר נזקי טון פליטה על פי הגישות השונות**

(אירו לטון)

(V) עם תיקון לכוח קניה ולרמת הכנסה (פרופורציונאלית) בישראל (= לפי יחס תמ"ג לנפש ישראל/איחוד אירופי)	(IV) עם תיקון לכוח קניה, עם התאמה לרמת הכנסה בהנחת גמישות הביקוש ביחס להכנסה של 0.35, במזה"ת	(III) עם תיקון לכוח קניה, עם התאמה פרופורציונאלית לרמת הכנסה, במזה"ת	(II) עם תיקון לכוח קניה (במזה"ת), ללא התאמה לרמת הכנסה	(I) ללא תיקון לכוח קניה, וללא התאמה לרמת הכנסה	
4,947	2,841	1,396	4,166	7,507	SO <sub>2</sub>
2,865	1,646	809	2,413	4,348	NO <sub>x</sub>
9,905	5,688	2,796	8,341	15,030	PM <sub>2.5</sub>
7,061	4,055	1,993	5,946	10,715	PM <sub>10</sub>

### 3.2.5 בחירת גישת ההתאמה המומלצת

גישת ההתאמה המומלצת על ידי עבודה זו היא זו שהוצגה בסעיף 3.2.3.4 - **התאמת המחירים לפי התנאים הכלכליים בישראל (עמ' V בטבלה 14)**. גישה זו נבחרה מתוך תפיסה כי תכלית העבודה לשרת את קובעי המדיניות בישראל, ועל כן יש להתמקד בישראל ולראות בה נקודת ייחוס. כך, התאמת ערכים לתנאים הכלכליים בארץ היא מתחייבת, שכן על מחירי הזיהום להביא בחשבון את מצבה הכלכלי של המדינה, ובפרט את יכולתה להקצות משאבים לצמצום זיהום האוויר. במקביל, אין זה סביר כי מדיניותה של ישראל בתחום צמצום זיהום האוויר תושפע מעושרן היחסי של שכנותיה, ועל כן יש להביא בחשבון לצורך החישוב את התנאים הכלכליים בישראל בלבד. לבסוף, גישת התאמה זו היא עקבית עם הגישה שנבחרה לביצוע ההתאמה הכלכלית למחיר פליטות CO<sub>2</sub>, כמתואר בפרק 2.

להלן, אם כן, המחירים המומלצים לנזקי טון פליטה על פי גישת ההתאמה הנבחרת:

**טבלה 15: המחירים הסופיים המומלצים  
(אירו לטון)**

אירו/טון	
4,947	SO <sub>2</sub>
2,865	NO <sub>x</sub>
9,905	PM <sub>2.5</sub>
7,061	PM <sub>10</sub>

חשוב להדגיש שוב כי מחירים אלו מתייחסים אך ורק לפליטות מגובה רב (למעלה מ-100 מ') – פליטות המאפיינות תחנות כוח חדשות. **נזקי פליטות מגובה נמוך יותר (למשל – פליטות מכלי תחבורה) עשויים להיות גבוהים משמעותית** (לגבי חלקיקים למשל, מחיר הנזק עשוי להיות למעלה מכפול).

### 3.3 מנגנון לעדכון המחירים בעתיד

נציג כאן שתי חלופות לביצוע עדכון המחירים בעתיד:

חלופה 1: הצמדה למדד המחירים לצרכן. על פי חלופה זו, יש להסתפק בשמירה על המחיר הריאלי של הפליטות, דרך התאמה לאינפלציה. היתרון המרכזי בגישה זו הוא בפשטותה ושקיפותה.

חלופה 2: הצמדה לתמ"ג לנפש (בערכים שקליים נומינליים). על פי חלופה זו, מחיר הזיהום שנקבע משקף את מצבה הכלכלי של המדינה ואת יכולתה להקצות משאבים לצמצום הזיהום (ויש לזכור כי המחירים האירופיים הותאמו לישראל על בסיס היחס בתמ"ג לנפש). כך, במידה וההכנסה בארץ (כפי שהיא מתבטאת בתמ"ג לנפש) עולה, יש לשקלל זאת לתוך החישוב ולהעלות גם את מחירי הזיהום. ההצמדה לתמ"ג לנפש במחירים שקליים שוטפים נובעת מהצורך לוודא שבנוסף להתאמה לרמת ההכנסה, תתבצע גם התאמה לרמת המחירים (לחלופין, ניתן להפריד בין השתיים ולבצע שתי התאמות נפרדות: הצמדה לצמיחה בתוצר הריאלי לנפש, ואחריה הצמדה לאינפלציה; התוצאה בשתי המקרים תהיה זהה). גישה זו עומדת בבסיס שיטת העדכון המוצגת על ידי תוכנית CASES עבור מזהמים אלו. מרכיב נוסף שקיים במסגרת התוכנית הוא שההצמדה איננה 1:1 לצמיחה, כי אם רק ביחס 0.85; כלומר, קצב הצמיחה מוכפל ב-0.85, על מנת לשקף את ההנחה כי גמישות הביקוש ביחס להכנסה קטנה מיחידתית (חשוב להדגיש, עם זאת, כי על פי התוכנית, הבחירה בערך 0.85 היא שרירותית למדי, ולמעשה כל ערך בין 0.7 ל-1 הוא סביר)<sup>26</sup>.

**החלופה המומלצת על ידינו היא חלופה (2), תוך אימוץ הגישה של תוכנית CASES - ההצמדה לתמ"ג לנפש (בערכים שקליים שוטפים), ביחס של 0.85.** כלומר, במידה והצמיחה בתמ"ג לנפש בשנה מסוימת הנה 2% למשל, הרי שההצמדה תהיה בגובה  $2 \times 0.85 = 1.7\%$ .

---

<sup>26</sup> שוני מסוים בין הגישה המוצגת כאן לגישה של תוכנית CASES הוא שבתוכנית CASES ההצמדה לצמיחת התמ"ג לנפש איננה מתבצעת על פי הצמיחה בפועל, כי אם בהתאם להנחות קבועות מראש לגבי הצמיחה (2% לשנה). עם זאת, הדבר נובע מאילוצי התוכנית – גיבוש מחירים למדינות רבות לשנים קדימה, וברור כי הגישה המוצגת כאן (הסתמכות על הצמיחה בפועל) נכונה יותר.

## מקורות

### בסיס הנתונים המרכזי (תוכנית CASES):

WP2 *Report on methodology for estimating external costs, including external costs.*

*Update March 2008.* CASES Project deliverable D.02.2. 2008.

Found at: [www.feem-project.net/cases/downloads\\_deliverables.php](http://www.feem-project.net/cases/downloads_deliverables.php)

### פרסומי יסוד של תוכנית ExternE:

Website: [www.externe.info](http://www.externe.info)

*ExternE Methodology 2005 Update.* Eds., Bickel, P. and Friedrich, R. 2005.

*Vol XX: National Implementation.* Prepared by CIEMAT, ES. 1991.

### מקורות בנושא התחממות כדור הארץ ומחיר פליטת CO<sub>2</sub>:

*Stern Review: The Economics of Climate Change.* Stern, N. 2007.

*The Social Costs of Carbon (SCC) Review – Methodological Approaches for Using SCC*

*Estimates in Policy Assessment – Final Report.* Watkiss, P., Anthoff, D., Downing, T., Hepburn, C., Hope, C., Hunt, A. and Tol, R. 2005.

Found at: [socialcostofcarbon.aeat.com/files/Final%20Report\\_7.doc](http://socialcostofcarbon.aeat.com/files/Final%20Report_7.doc)

Websites:

Information on EU ETS post 2012: [ec.europa.eu/environment/climat/emission/ets\\_post2012\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/ets_post2012_en.htm)

Carbon market data: [www.pointcarbon.com](http://www.pointcarbon.com)

European Climate Exchange: [www.europeanclimateexchange.com](http://www.europeanclimateexchange.com)

### מסמכים מתודולוגיים של תוכנית NEEDS:

*Description of updated and extended draft tools for the detailed site-dependent assessment of external costs.* NEEDS Project Technical Paper n 7.4 – RS1b. 2007.

Found at: [www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS\\_RS1b\\_TP7.4.pdf](http://www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS_RS1b_TP7.4.pdf)

*Final Report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution.* NEEDS Project Delivery n 6.7 – RS1b. 2006.

Found at: [www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS\\_RS1b\\_D6.7.pdf](http://www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS_RS1b_D6.7.pdf)

*A set of concentration-response functions.* NEEDS Project Deliverable 3.7 – RS1b/WP3. 2007.

Found at: [www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS\\_Rs1b\\_D3.7.pdf](http://www.needs-project.org/docs/results/RS1b/NEEDS_Rs1b_D3.7.pdf)

**נתונים כלכליים:**

International Monetary Fund: [www.imf.org](http://www.imf.org)

**נתוני אוכלוסייה:**

*Gridded Population of the World.* The Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), The Earth Institute, Columbia University. Found at: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>

**מסמכים נוספים:**

*Economic valuation of environmental impacts and external costs.* Markandya, A., Boyd, R. 2000. (in package of program documents of the RiskPoll software for estimation of environmental externalities of energy generation, developed as part of the ExternE project).

## נספח א': עלויות חיצוניות בארה"ב

במהלך שנות התשעים ותחילת שנות האלפיים התפרסמו בארה"ב מספר סקירות של האופן בו הוערכו העלויות הסביבתיות החיצוניות של ייצור חשמל במדינות השונות. הרקע לכך היו ניסיונות של רשויות רגולטוריות במספר מדינות לשלב בתוך תוכניות הפיתוח של משק החשמל גם שיקולים סביבתיים (לרוב רק למטרות תכנון, ולא לשם הכללת העלות החיצוני במחיר, או מתן פרמיות ליצרנים מזהמים פחות). כך, מחקר שהתפרסם בשנת 1995 הציג את הערכים הבאים:

### ערכי עלויות חיצוניות בארה"ב דולר של שנת 1992/טון

CO <sub>2</sub>	TSP/PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	
9	4,608	9,120	4,486	קליפורניה
24	4,400	7,200	1,700	מסצ'וסטס
9.8	1,274	850	150	מינסוטה
24	4,598	7,480	1,716	נבדה
1	333	1,897	1,437	ניו-יורק
25	3,000	3,500	0	אורגון
15	-	-	-	ויסקונסין

סקירה נוספת, משנת 2002, מציגה גם היא נתונים בנושא, המבוססים על מחקרים קודמים (כולם משנות התשעים, ובכלל זה המחקר הנזכר לעיל):

### ערכי עלויות חיצוניות בארה"ב דולר /טון

CO <sub>2</sub>	TSP/PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	
9	25,092	8,196	4664.5	קליפורניה
7.64	5,710	26,397	19,717	קליפורניה (2)
22	4,400	7,200	1,700	מסצ'וסטס
10	1273.5	854.5	300	מינסוטה
22	2,380	6,800	1,560	נבדה
-	808	196	188.5	נבדה (2)
13.6	2,380	1,640	4,060	ניו-ג'רזי
1.1	333	1,832	832	ניו-יורק
6.2	2,645	4,510	921	ניו-יורק (2)
25	3,000	3,500	-	אורגון
15	-	-	-	ויסקונסין

משתי הטבלאות ניתן לראות בבירור את חוסר האחידות הקיצוני בערכים – במדינות שונות נלקחו ערכים שונים לחלוטין, ואף בתוך אותה מדינה – שני מקורות שונים הצביעו על ערכים שונים לחלוטין. הסיבות לכך נעוצות ככל הנראה בעובדה שגופים שונים עמדו מאחרי קביעת הערכים בכל אחת מהמדינות, בעובדה שהערכים חושבו על בסיס הנחות ותפיסות שונות לחלוטין (התבססות על

חישוב עלויות חיצוניות טהורות, חישוב עלויות מניעה, חישוב עלויות מניעה עתידיות – למקרה שיוטלו מגבלות על פליטת מזהמים מסוימים), ועוד. בכל מקרה, לאור ההבדלים הגדולים בין הערכים, התברר כי לא ניתן יהיה לבסס מנגנון התאמה לישראל על ערכים אלו. ככלל, לא נראה כי בשנים האחרונות היה שינוי משמעותי במצב עניינים זה, ואותם מאמצים המתבצעים להערכת העלויות החיצוניות של ייצור חשמל ממשיכים להתנהל ברמה המקומית, בהתאם לצרכים נקודתיים.

#### מקורות:

*Electricity Generation and Environmental Externalities: Case Studies*. 1995. Energy Information Administration (IEA), US Department of Energy.  
Found at: <ftp://ftp.eia.doe.gov/pub/electricity/external.pdf>

*The Implication of Incorporating Environmental Costs in Utility Rate Setting*. 2002. Mariam, Y. Washington Utilities and Transportation Commission.  
Found at: <http://mpira.ub.uni-muenchen.de/412/>

## נספח ב': תוכנת RiskPoll

תוכנת RiskPoll פותחה במסגרת תוכנית ExternE כמוצר נלווה למוצר העיקרי של התוכנית – תוכנת EcoSense. שתי התוכנות נועדו לאפשר חישוב עלויות חיצוניות של ייצור חשמל באמצעות מודלים ממוחשבים הכוללים מידע אודות פיזור אוכלוסיה, אקלים, ריכוזי מזהמים קיימים וכו', אלא שבעוד EcoSense (אשר על תוצאותיה מתבססת במידה רבה העבודה נוכחית) היא תוכנה המבוססת על מידע מדויק ברזולוציה גבוהה (כך שהפעלתה כרוכה בעלות כספית משמעותית ובתהליך עבודה ארוך), תוכנת RiskPoll נועדה לתת מענה מהיר וזול על ידי התבססות על מספר קטן יותר של פרמטרים ברזולוציה נמוכה יותר; כמובן שהמחיר הוא בקבלת אומדנים מדויקים ומבוססים הרבה פחות. התוכנה ניתנת להורדה בחינם מאתר תוכנית ExternE.

כאמור, על מנת להפעיל את התוכנה יש להזין לתוכנה נתונים אודות פיזור האוכלוסייה באזור, נתונים אקלימיים, נתונים אפידמולוגיים ועוד. כך, ניסינו להזין נתונים לגבי ישראל והאזור על מנת לקבל אומדן לנזקי הזיהום. אלא שבמהרה הסתבר כי יש קושי רב בשימוש בתוכנה זו לצרכי העבודה הנוכחית: התוצאות המתקבלות תלויות במידה רבה (וברמת סדרי גודל) במספר פרמטרים ספציפיים הנוגעים לפיזור המזהמים באוויר ומהירות שקיעתם (מה שמכונה בתוכנה depletion velocities). פרמטרים אלו מבוססים על מגוון רחב של נתונים אקלימיים, ואינם זמינים (אף לא לאנשי מקצוע בתחום) לגבי אזורנו. בנוסף, הגענו למסקנה כי טיב התוכנה – מעין 'קופסה שחורה' המוציאה תוצאות בהתאם לנתונים המוזנים אליה – יקשה על שימושה לצורך העבודה הנוכחית. לאור זאת, הגענו למסקנה כי לא ניתן יהיה להשתמש בתוכנה.

בכל זאת, הרצנו הרצה ראשונית של התוכנה על מנת להתרשם מתוצאותיה. הזנו לצורך כך נתוני אוכלוסיה ונתוני אקלים מקורבים (את נתוני פיזור המזהמים – ה-depletion velocities- לקחנו, על פי עצת אחד ממפתחי התוכנה, מנתונים שחושבו על ידו עבור קפריסין). אלו הן התוצאות:

אירו/טון	
5,809	SO <sub>2</sub>
9,204	NO <sub>x</sub>
15,473	PM <sub>10</sub>

כאמור, מדובר בהרצה ראשונית לצורך התרשמות בלבד, ואין לייחס משמעות רבה לתוצאות אלו. בכל זאת, מעניין לראות כי ברמת סדר הגודל, תוצאות אלו דומות לאלו שהתקבלו מתוך חישובי העיקריים (לפני ההמרה ליורו של שנת 2007 ולפני התאמה לתנאים הכלכליים בישראל). בפרט,

האומדן עבור  $\text{SO}_2$  קטן כאן בכ-10% מזה שהתקבל בחישובינו, האומדן עבור  $\text{NO}_x$  גדול כאן בכ-150%, והאומדן עבור  $\text{PM}_{10}$  גדול כאן בכ-70%.

**מקורות:**

תוכנת RiskPoll, באתר Externe : [www.externe.info](http://www.externe.info) (תחת הכותרת Tools).

## נספח ג' - עלויות חיצוניות של מזהמים נוספים

תוכנית ExternE וממשיכותיה מציגות מחירי זיהום עבור פליטות של מספר מזהמים נוספים, כגון מתכות מסוכנות. עבור מרבית החומרים הללו (ובפרט מתכות מסוכנות), המחיר שניתן הוא אחיד לכל המדינות. הטבלה הבאה מציגה מחירים אלו, ובנוסף מציגה את המחירים לאחר התאמה לתנאים הכלכליים בישראל דרך הכפלת המחיר באיחוד האירופי ביחס התמ"ג לנפש בין ישראל לאיחוד האירופי:

מחיר לטון פליטה לאחר התאמה ליחס תמ"ג לנפש ישראל/איחוד אירופי (אירו לטון)	מחיר באיחוד האירופי לטון פליטה (אירו לטון)	
30,430	46,176	<b>Cd</b>
62,420	94,720	<b>As</b>
3,121	4,736	<b>Ni</b>
468,154	710,400	<b>Pb</b>
6,242,048	9,472,000	<b>Hg</b>
24,578	37,296	<b>Cr</b>
187,261	284,160	<b>Cr-VI</b>
156	237	<b>Formaldehyde</b>
28,869,472,000	43,808,000,000	<b>Dioxin</b>

\* הנתונים בטבלה מתייחסים לאירו של שנת 2007; הנתונים במקור הופיעו במונחי אירו של 2000, והומרו למספרים הנוכחיים דרך הכפלתם ב-1.184.

### אמוניה (NH<sub>3</sub>)

פרסומי התוכנית מציגים גם מחירי זיהום עבור NH<sub>3</sub> (אמוניה). מחירים אלו משתנים ממדינה למדינה, כמו המחירים עבור המזהמים שנסקרו בגוף העבודה. גם במקרה זה, ביצענו בדיקה של הקשר בין משתני הצפיפות האזוריים לבין המחירים שנקבעו לכל מדינה, על ידי הרצת רגרסיות מהצורה:

$$NH_{3,i} = \alpha + \beta * dens500_i + \epsilon$$

כאשר NH<sub>3,i</sub> מייצג את מחיר הנזק מפליטת טון NH<sub>3</sub> במדינה i;

ו-dens500<sub>i</sub> מייצג את צפיפות האוכלוסין ב"רדיוס" 500 ק"מ מעיר הבירה של מדינה i

התוצאות מוצגות בטבלה שלהלן :

**תוצאות רגרסיות לבדיקת הקשר בין משתני הצפיפות האזורית לבין מחיר הזיהום של אמוניה**

תוצאות הרגרסיה				משתנה מסביר	משתנה מוסבר
Adj. R <sup>2</sup>	β t-stat	β	α		
0.705	9.949	78.646	3,122	צפיפות ברדיוס 250 ק"מ	NH <sub>3</sub> (מחיר לטון)
0.722	10.377	115.635	1,522	צפיפות ברדיוס 500 ק"מ	NH <sub>3</sub> (מחיר לטון)
0.643	8.643	140.632	550	צפיפות ברדיוס 700 ק"מ	NH <sub>3</sub> (מחיר לטון)
0.475	6.169	188.777	-2,115	צפיפות ברדיוס 1,000 ק"מ	NH <sub>3</sub> (מחיר לטון)

ניתן לראות כי תוצאות הרגרסיות מובהקות, ויכולת ההסבר של משתני הצפיפות גבוהה. לפיכך, השתמשנו בתוצאות אלו על מנת לבנות תחזיות למחיר בישראל. התוצאות מתוארות בטבלה הבאה :

**הערכת מחיר לטון אמוניה בישראל (ללא התייחסות לפערים כלכליים בין ישראל לאירופה)**

ממוצע	מתוך הרגרסיה בה המשתנה המסביר הינו הלוגריתם הטבעי של:				מזהם
	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 1,000 ק"מ	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 700 ק"מ	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 500 ק"מ	צפיפות אוכלוסין ב"רדיוס" 250 ק"מ	
*11,354	8,221	10,452	12,622	10,987	NH <sub>3</sub>
	0.475	0.643	0.722	0.705	Adj. R <sup>2</sup> ברגרסיה

\* הממוצע איננו כולל את האומדן לפי "רדיוס" 1,000 ק"מ, לאור ערך ה-R<sup>2</sup> הנמוך.

אם כן, ממוצע התחזיות הרלוונטיות הוא 11,354.

נבצע כעת התאמה לתנאים הכלכליים בישראל דרך הכפלת המחיר הנ"ל ביחס שבין התמ"ג לנפש בישראל ובאיחוד האירופי, ונקבל :

מחיר לטון פליטה בישראל לאחר התאמה ליחס תמ"ג לנפש ישראל/האיחוד האירופי (אירו לטון)	מחיר 'אירופי' לטון פליטה בישראל (אירו לטון)	
7,482	11,354	NH <sub>3</sub>

**NMVOC**

פרסומי תוכנית ExternE מציגים מחיר גם עבור NMVOC ( Non-Methane Volatile Organic Compounds ). גם מחיר זה, בדומה למחיר הזיהום של אמוניה, שונה ממדינה למדינה. אלא שנראה

שעבור מזהמים אלה, השונות במחירים גבוהה במיוחד, כאשר עבור חלק מהמדינות המחיר הוא אף שלילי (כלומר, מבטא הערכה שלפליטת NMVOC במדינה השפעה חיובית). דבר זה נובע מחשיבות טיב האינטראקציות בין פליטות NMVOC לכימיקלים אחרים הנמצאים באוויר (כתוצאה מפליטות אחרות). לאור מורכבות זו, הוחלט שלא לנסות ולבנות במסגרת עבודה זו תחזית ספציפית לישראל של מחיר פליטת NMVOC, אלא להסתפק בהצגת המחיר הממוצע באיחוד האירופי, וכן את המחיר לאחר ההתאמה ליחס תמ"ג לנפש ישראל/האיחוד האירופי:

מחיר ממוצע באיחוד האירופי לטון פליטה (אירו לטון)	מחיר לטון פליטה לאחר התאמה ליחס תמ"ג לנפש ישראל/האיחוד האירופי (אירו לטון)	
778	513	NMVOC

\* הנתונים בטבלה מתייחסים לאירו של שנת 2007; הנתונים במקור הופיעו במונחי אירו של 2000, והומרו למספרים הנוכחיים דרך הכפלתם ב-1.184.

#### מקורות:

WP2 Report on methodology for estimating external costs, including external costs.

Update March 2008. CASES Project deliverable D.02.2. 2008.

Found at: [www.feem-project.net/cases/downloads\\_deliverables.php](http://www.feem-project.net/cases/downloads_deliverables.php)

## נספח ד': מחקרים בנושא זיהום אוויר בעולם ובארץ

### תוכנית CAFE של האיחוד האירופי

תוכנית CAFE (Clean Air For Europe) הושקה על ידי האיחוד האירופי בשנת 2001 – מטרת התוכנית לסייע בפיתוח מדיניות כוללת לטווח ארוך להתמודדות עם בעיית זיהום האוויר. התוכנית נועדה לספק הערכה כוללת ומפורטת אודות ההשפעות של זיהום האוויר, ולשמש בסיס למדיניות אופרטיבית בנושא (כגון הטלת מגבלות על פליטות של מזהמים וכו').

במסגרת התוכנית, פורסמו ב-2005 מחירי זיהום לטון פליטה לכל מדינות האיחוד. מחירים אלו דומים במהותם לאלו שפורסמו במסגרת תוכנית ExternE, עליהם מתבססת במידה רבה עבודה זו. עם זאת, הם שונים מבחינה זאת שהדגש בתוכנית CAFE איננו על מקור הפליטות, ולכן אין במסגרתה הבחנה בין זיהום ממקורות (וגבהים) שונים.

עבור כל אחד מהמזהמים  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{2.5}$ , VOC ו- $NH_3$  מוצגים 4 מחירי זיהום (במדרג עולה) אפשריים לכל מדינה, בהתאם להנחות שונות לגבי ערך (שנת) חיי אדם וכן לגבי אופן הכללת נזקי אוזון בחישובים. המחירים מתייחסים לסכנות הבריאותיות של הזיהום ולפגיעתו ביבולים חקלאיים. להלן השוואה בין המחירים של CAFE לאלו של ExternE (עבור המזהמים העומדים במרכז עבודה זו):

### מחיר פליטה ממוצע לאיחוד האירופי, על פי ExternE ו-CAFE (אירו לטון)

CAFE – גבוה	CAFE – נמוך	ExternE	
11,913	4,382	4,631	$NO_x$
16,296	5,646	6,277	$SO_2$
75,250	25,904	13,791	$PM_{2.5}$

נדון בקצרה בתוצאות ההשוואה: ניתן לראות כי הערכים הנמוכים של CAFE דומים לערכים שנלקחו במסגרת עבודה זו מתוך נתוני ExternE (למעט עבור חלקיקים); לעומת זאת, הערכים הגבוהים של CAFE גבוהים בהרבה מערכי ExternE. לגבי חלקיקים, הרקע להבדל המשמעותי בין CAFE ל-ExternE הוא שנתוני ExternE שלקחנו כאן מתייחסים אך ורק לפליטות מגובה רב (מעל 100 מ'); נתוני CAFE אינם עושים הבחנה כזו, ומכיוון שנזקיהם של חלקיקים הנפלטים בסמוך

לקרקע (למשל - מכלי רכב) גבוהים יותר – כך גם התוצאה הסופית (ממוצע של נזקי פליטות מגבהים ומקורות שונים) גבוהה יותר. ההבדלים בין המחיר הנמוך למחיר הגבוה של תוכנית CAFE נובעים במידה רבה מאופן חישוב ערך חיי אדם. כך, המחיר הנמוך מתבסס על מודל המחשב את נזקי הזיהום במונחים של אובדן שנות חיי אדם (בהנחה של 50,000 אירו ערך לשנת חיי אדם); המחיר הגבוה מתבסס על מודל המחשב את נזקי הזיהום במונחים של אובדן חיי אדם (2,000,000 אירו). השימוש במודלים השונים מניב תוצאות שונות. יצוין שהן הערך לשנת חיי אדם והן הערך לאובדן חיי אדם לקוחים מתוך פרסום קודם של תוכנית ExternE. החל מ-2005, ExternE מבססת את חישוביה אך ורק על אובדן שנות חיי אדם, כאשר ערך שנת חיי אדם מוערך ב-40,000 אירו. נתוני CAFE המופיעים כאן לוקחים בחשבון גם נזק לחקלאות, אשר איננו נכלל בערכי ExternE בהם עשינו שימוש.

ככלל (וכפי שניתן להבין מהפסקה האחרונה), בין שתי התוכניות התנהל לאורך השנים שיתוף פעולה. בהקשר זה חשוב להדגיש כי CAFE היא תוכנית הפועלת בחסות ישירה של נציבות האיחוד האירופי (במטרה לסייע למוסדות האיחוד לגבש מדיניות בתחום צמצום זיהום האוויר), ולתוצאות חישוביה השלכה ישירה על מדיניות האיחוד. כך, העובדה כי מחירי הזיהום המוצגים בפרסומיה דומים מאוד לאלו בהם עשינו אנו שימוש בעבודה זו נותנת למחירים אלו תוקף משמעותי.

#### מקורות:

אתר ניתוח עלות-תועלת של תוכנית CAFE : [www.cafe-cba.org](http://www.cafe-cba.org)

ובפרט המסמך :

*Damages per tonne emission of PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surround seas.* AEA Technology Environment. 2005.

#### זיהום אוויר בגוש דן ובאזור אשדוד, 1995-1999

בשנת 2003 התפרסם מחקר משותף לאגודת אדם, טבע ודין והמשרד להגנת הסביבה (בחסות הקרן הדו-לאומית ארה"ב-ישראל) אשר ניסה לאמוד את נזקי זיהום האוויר בשני אזורים בישראל: גוש-דן ואזור אשדוד. שני אזורים אלו נבחרו לאור רמת הזיהום הגבוהה יחסית השוררת בהם.

המחקר התבסס על מחקרים אפידמיולוגיים ממקומות אחרים בעולם אשר בדקו את הקשר בין חשיפה למזהמים שונים לתחלואה ותמותה מוקדמת. כלומר, המחקר לא ניסה בעצמו לאתר קשר בין זיהום

אוויר למקרי תחלואה/תמותה, אלא לבחון איזה אחוז ממקרי התחלואה/תמותה הקיימים בישראל ניתן לייחס לנזקי זיהום אוויר, בהסתמך על רמות זיהום האוויר הקיימות והקשר שנמצא בין רמות אלה לתחלואה/תמותה. הטבלה הבאה מציגה את התוצאות הבולטות של המחקר:

**נזקי זיהום אוויר- מקרים נוספים לשנה עקב זיהום מעשה-אדם  
(מקרים לשנה)**

אשדוד	גוש דן	
90	450-680	תמותה מוקדמת – PM <sub>2.5</sub> (חשיפה שנתית)
30	180-260	תמותה מוקדמת – PM <sub>2.5</sub> (חשיפה לטווח קצר)
10-15	70-90	תמותה מוקדמת – אוזון (חשיפה לטווח קצר)
-	600-800	אשפוז, מערכת הנשימה – PM <sub>10</sub>
75-80	290-470	אשפוז, מערכת הנשימה – PM <sub>2.5</sub>
-	970-1,220	אשפוז, לב וכלי דם – PM <sub>10</sub>
80-180	820-1,120	אשפוז, מערכת הנשימה – אוזון
60-220	820-1,080	אשפוז, מערכת הנשימה – SO <sub>2</sub>
10-60	615-980	אשפוז, דלקות במערכת הנשימה – NO <sub>2</sub>
5,750-5,640	22,440-28,620	בעיות במערכת הנשימה אצל ילדים – PM <sub>10</sub>
4,060-4,800	15,780-20,580	בעיות במערכת הנשימה אצל ילדים – PM <sub>2.5</sub>

המחקר לא ניסה להתאים ערכים כלכליים לתוצאות הרפואיות הנ"ל.

**מקור:**

*A Comparative Assessment of Air Pollution Public Health Risks in Two Israeli Metropolitan Areas, 1995-1999.* Israel Ministry of the Environment, Israel Union for Environmental Defense (Adam Tev v'Din), Tel Aviv Municipality, Ashdod-Yavne Regional Association of Towns for Environmental Protection, US EPA. 2003.

Found at:

<http://www2.dmu.dk/atmosphericenvironment/COST633/Downloads/airpollution%20israel.pdf>

## נספח ה': הערכת ערך חיי אדם (וערך שנת חיי אדם)

הצמדת ערך כלכלי לחיי אדם (או שנות חיי אדם) היא חיונית לביצוע ניתוחי עלות-תועלת עבור מגוון רחב של החלטות מדיניות (ובייחוד בתחום של צמצום זיהומים ומפגעים סביבתיים). מרבית המאמצים המחקריים בתחום מתמקדים באחד משני אפיקים מקבילים:

### א. קביעת ערך כלכלי לחיי אדם בהתאם ל"העדפה הנגלית" של פרטים בסיטואציות שוק.

מחקרים מסוג זה מנסים להצמיד ערך כלכלי לחיי אדם דרך בחינת נכונותם של פרטים לשלם בפועל עבור צמצום הסיכונים (לחיייהם) אליהם הם נחשפים. מחקרים אלה לרוב מתמקדים בשוק העבודה, ובודקים את הקשר שבין מידת הסיכון הכרוכה בעבודה מסוימת לבין השכר המשולם עבורה. ההתמקדות היא כמובן בהשוואה בין מקומות עבודה הדומים בכל מאפייניהם מלבד מאפיין הסיכון, וההנחה היא כי בעבודות המסוכנות יותר השכר יהיה גבוה יותר. מתוך הפער הזה במשכורות (המחיר המשולם עבור נכונות העובד להסתכן) מנסים המחקרים לגזור את הערך הכלכלי של חיי אדם. מחקרים אחרים, הנכללים גם הם בקטגוריה הרחבה של מחקרי "העדפה נגלית", מנתחים סיטואציות שוק נוספות בהן משולם מחיר בעבור צמצום הסיכון לחיים – למשל, רכישת אביזרי בטיחות לרכב, רכישת גלאי עשן, רכישת (או, ליתר דיוק, הימנעות מרכישת) בתים ליד אתרי פסולת מסוכנות, ועוד.

היתרון הגדול של מחקרים אלו הוא שהם מתחקים אחר עסקאות בשווקים אמיתיים – כלומר, הם בוחנים את התנהגות הפרטים בפועל, ולא רק את הצהרות הפרטים לגבי רצונותיהם. לעומת זאת, למחקרים אלו לרוב שני חסרונות מרכזיים: ראשית, הם לרוב מתבססים במידה רבה על ההנחה כי הפרטים מעריכים נכון את הסיכונים הכרוכים בהחלטותיהם. שנית (והדבר נכון במיוחד עבור אותם מחקרים המתבססים על שווקי העבודה), המחקרים מתקשים להפריד בין המחיר המשולם עבור לקיחת/צמצום הסיכון, לבין המחיר המשולם עבור היבטים אחרים של העסקה. כך למשל, במרבית המקרים קשה לאתר עבודות הזוהות בכל מאפייניהן מלבד אלמנט הסיכון, ויתכן בהחלט שהפער בשכר המשולם עבור שתי עבודות כביכול דומות איננו נובע דווקא מההבדל בסיכון ביניהן, אלא דווקא מהבדלים אחרים, אשר אינם נלקחים בחשבון במחקר.

מחקר משנת 2003 (Viscusi and Aldy) מספק סקירה מקיפה של המחקרים שנעשו בעולם בשלושים השנים האחרונות בתחום זה, בארה"ב ובמדינות נוספות. מחקרים המבוססים על שוק העבודה בארה"ב מראים ערכי חיי אדם הנעים בטווח של בין כ-1 מליון דולר ועד לכ-20 מליון דולר; מחקרים המבוססים על עסקאות-שוק אחרות בארה"ב מראים תוצאות מעט נמוכות יותר – בטווח של כ-1 מליון דולר ועד כ-5 מליון דולר. מתוך כלל המחקרים הנ"ל המחקר חישוב חציון של כ-7 מליון דולר כערך חיי אדם בארה"ב. מחקרי שווקי עבודה ממקומות אחרים בעולם (ברובם ממדינות מפותחות) נעים ברובם בטווח דומה לזה של המחקרים האמריקאיים – מכ-1 מליון דולר ועד כ-20 מליון דולר.

מחקר עדכני יותר (Kneiser et al, 2007), אשר השתמש בשיטות סטטיסטיות מתקדמות על מנת לנסות ולנטרל חלק מהבעיות שהוזכרו לעיל לגבי מחקרי שוק-עבודה, מצא ערך של בין 5.5-7.5 מליון דולר לחיי אדם בארה"ב.

ב. קביעת ערך כלכלי לחיי אדם בהתאם להעדפות מוצהרות של פרטים.

מחקרים מסוג זה מנסים לקבוע את ערך חיי אדם (או שנת חיי אדם) דרך הצגת תרחישים ושאלות שונות לפרטים המשתתפים בניסוי, אשר נועדו לבחון את מידת נכונותם של הפרטים לשלם (Willingness to Pay) עבור הארכת תוחלת החיים שלהם/צמצום סיכון כלשהו לחלות במחלה או למות בתאונה. כלומר, מחקרים אלו מתבססים על הצהרות של פרטים, ולא על מעקב אחר התנהגותם בשווקים אמיתיים. החיסרון של מחקרים אלו הוא ברור: כאמור, הם אינם מתבססים על הוצאות אמיתיות אלא רק על הצהרות של פרטים לגבי רצונותיהם. לצד זאת, למחקרים מסוג זה גם יתרון משמעותי: הם עוסקים ישירות בנושא אותו הם מתכוונים לחקור (בהקשר הנוכחי – מציאת ערך חיי אדם), ואין חשש לבלבול בין המחיר המשולם עבור הקטנת הסיכון/הארכת תוחלת החיים לבין עניינים אחרים (מצב המאפיין דווקא עסקאות בשווקי העבודה, בהם כאמור לעתים רבות קשה להפריד בין הסיכון הכרוך בעבודה מסוימת לבין מאפיינים אחרים שלה). בנוסף, במסגרת הניסוי, מנהלי הניסוי יכולים להסביר לנבדקים טוב יותר סוגיות הקשורות בטיב הסיכונים המדוברים, וכך למנוע במידה רבה הטיות הנובעות מהערכה סובייקטיבית לא נכונה של פרטים לגבי הסיכונים אליהם הם נחשפים.

ניתן לחלק מחקרים מסוג זה לשתי קבוצות: הקבוצה הראשונה כוללת מחקרים המבוססים על שיטת ה-Contingent Valuation. בשיטה זו מוצג לנבדקים תרחיש כלשהו, ולאחר מכן הם נשאלים אודות הסכום אותו יהיו מוכנים לשלם על מנת שהתרחיש יתממש/ימנע. דוגמה מובהקת למחקר מסוג זה הוא המחקר שנערך במסגרת תוכנית NEEDS להערכת ערך שנת חיי אדם, כמתואר בגוף עבודה זו. במסגרת המחקר הוצג לנבדקים תרחיש בו תופעל תוכנית לצמצום זיהום אוויר אשר תאריך את תוחלת החיים שלהם בשלושה או שישה חודשים, והם נשאלו איזה סכום יהיו מוכנים לשלם על מנת ליישם תוכנית זו.

הקבוצה השנייה כוללת מחקרים המבוססים על שיטת ה-Choice Experiments. בשיטה זו מוצגים לנבדקים מספר אפשרויות, והם נדרשים לבחור ביניהן. כל אפשרות כוללת מספר מאפיינים, כגון מידת צמצום הסיכון ועלות התוכנית. כך לדוגמה, נבדק יכול לעמוד בפני הבחירה בין תוכנית שתקטין את הסיכון למות מסרטן מסוים ב-X% בעלות Y לבין תוכנית אחרת שתקטין את הסיכון למות מאותו סוג סרטן ב-Z%, בעלות W; לצד שתי אפשרויות אלו, תעמוד לו גם האפשרות שלא "לרכוש" אף אחת משתי התוכניות. מתוך העדפות הפרטים מנסים החוקרים לגזור את המחיר אותו הם מוכנים לשלם עבור צמצום הסיכון למוות, ומתוך כך – את ערך חיי אדם (או שנת אדם). ההנחה היא העמדת הנבדקים בפני מספר אפשרויות תחשוף בצורה טובה יותר את רצונותיהם, ובמקביל תאפשר ניתוח מעמיק יותר של הגורמים בבסיס הבחירה (למשל, הבחנה בין המשקל המיוחס לצמצום הסיכון לבין זה המיוחס למחיר התוכנית).

מחקר עדכני (Krupnick, 2007) סקר למעלה מ-20 מחקרי CV ו-CE שניסו להעריך את ערך חיי אדם, בארה"ב ובמדינות מפותחות נוספות. טווח הערכים שנמצא הוא רחב למדי ונע בין 150 אלף דולר ל-12 מליון דולר; הממוצע עמד על 2.7 מליון דולר והחציון על 1.7 מליון דולר.

#### מקורות:

- Krupnick, A. 2007. Mortality-risk Valuation and Age: Stated Preference Evidence. *Review of Environmental Economics and Policy* 1(2): 261-282.
- Viscusi, K., and Aldy, J. 2003. The Value of a Statistical Life: A Critical Review of Market Estimates Throughout the World. *Journal of Risk and Uncertainty* 27(1): 5-76.
- Kneiser, T.J., Viscusi, W.K., Woock, C., Ziliak, J.P. 2007. Pinning Down the Value of Statistical Life. IZA Discussion Paper No. 3107.