נספח 1א. ניתוח תשומה תפוקה סביבתי רב אזורי: דוגמא עבור שתי כלכלות בעלות שני ענפי ייצור כל אחת

הבסיס של ניתוח תשומה תפוקה רב אזורי הוא טבלת תשומה-תפוקה עולמית (רב-אזורית). טבלה זו מפרטת את התשומות והתפוקות בכל ענף ובכל מדינה, את יחסי המסחר בין המדינות וכן את הביקוש הסופי בכל מדינה. טבלה 1 מציגה טבלת תפוקה תשומה רב אזורית עבור דוגמה ובה שתי מדינות, ובכל מדינה שני ענפי כלכלה: חקלאות ותעשייה. בדוגמה זו ענף התעשייה מייצרת דשנים וקומפוסט משאריות תוצרת חקלאית. אלו נמכרים לענף החקלאות לשם הגדלת היבול.

טבלה 1: טבלת תפוקה תשומה רב אזורית בעולם של שתי מדינות ושני ענפי כלכלה.

		מדינה ב	מדינה א		מדינה ב	מדינה ב	מדינה א	מדינה א		
סך כולל (x, מיליוני דולרים)	**שימושים סופיים סך הכול (f)**	שימושים סופיים (f_2)	שימושים סופיים (f_1)	סך שימושי ביניים (מיליוני דולרים)	תעשייה	חקלאות	תעשייה	חקלאות		
40	**20**	8	12	20	2	4	4	10	חקלאות	מדינה א
12	**4**	3	1	8	2	1	2	3	תעשייה	מדינה א
17	**7**	4	3	10	3	4	1	2	חקלאות	מדינה ב
28	**8**	6	2	20	7	3	6	4	תעשייה	מדינה ב

בטבלה 1 הודגשו שלושה מרכיבים עיקריים של ניתוח תשומה-תפוקה: מטריצת שימושי הביניים מודגשת בצבע (Transaction matrix; C), סך כול השימושים הסופיים (f) וסך כולל (x, סך שימושי הביניים יחד עם סך השימושים הסופיים).

בנוסף, נתון גם וקטור e ובו מקדמי המרה של תפוקה כלכלית (למשל: במיליוני דולרים) לפליטות גזי חממה (ביחידות שווה ערך פחמן דו-חמצני – שו"ע פד"ח) עבור כל ענף וכל מדינה. וקטור זה נתון בטבלה 2 להלן.

טבלה 2: מקדמי המרה של תפוקה כלכלית לפליטות גזי חממה, לפי ענף ומדינה.

מקדם המרה פליטות גזי חממה (e, מילוני טונות שו"ע פד"ח / מילוני דולרים)		
1.1	חקלאות	מדינה א
6.7	תעשייה	מדינה א
0.3	חקלאות	מדינה ב
3.1	תעשייה	מדינה ב

מטריצת שימושי ביניים בין אזורית – מטריצה C (Transaction Matrix)

מטריצה C מסומנת בצבע ובמסגרת בטבלה 1. במטריצה C, כל שורה מייצגת את וקטור המכירות של ענף כלכלי במדינה מסוימת לכל ענף כלכלי בכל מדינה. כל עמודה במטריצה מייצגת את וקטור הרכישות של ענף כלכלי במדינה מסוימת מכל ענף כלכלי בכל מדינה. למשל: ענף החקלאות במדינה ב' רוכש מוצרי תעשייה (דשנים) בסך של 1 מיליון דולרים ממדינה א' ובסך של 3 מיליון דולרים ממדינה ב'. מטריצה C מחולקת לארבע תת-מטריצות באופן הבא:

$$C = \begin{bmatrix} C_{ij,11} & C_{ij,12} \\ C_{ij,21} & C_{ij,22} \end{bmatrix}$$

תת המטריצות על האלכסון הראשי של מטריצה C הן טבלאות תשומה תפוקה לאומיות של מדינות א' ו-ב' בהתאמה. למשל, במטריצה $C_{ij,11}$ ניתן לראות כי ענף החקלאות במדינה א' מכר סחורות בשווי 10 מיליון דולר לגורמים בתוך הענף וסחורות בשווי 4 מיליון דולר לענף התעשייה במדינה.

תת המטריצות שאינן על האלכסון הראשי הן טבלאות המציגות את יחסי המסחר בין ענפים שונים במדינות שונות. למשך, במטריצה $C_{ij,21}$ ניתן לראות שענף החקלאות במדינה ב' מייצא למדינה א' סחורות בשווי 3 מיליון דולר. סחורות בשווי 1 מיליון דולר נמכרות לעף התעשייה במדינה א' והשאר לענף החקלאות במדינה א'.

שימושים סופיים, סך הכול (וקטור f)

שימושים סופיים כוללים, בין היתר: צריכת משקי בית, צריכת מלכ"רים וצריכה ממשלתית. מלבד אלו, השימוש הסופי כולל גם הצבר הון, קרי השקעה ושינויי מלאי[1]. בדוגמה בסיסית זו ישנה התייחסות לצריכת משקי בית בלבד. וקטור f הוא וקטור עמודה בעל ארבעה איברים (4 X 1). הוא מבטא את סך צריכת משקי הבית בשתי המדינות במיליוני דולרים מכל ענף בכל מדינה. עבור כל מדינה מייצרת (שורה) הווקטור כולל את צריכת משקי הבית של תוצרת מקומית ושל תוצרת מיובאת.

סך כולל (וקטור x)

סך כולל מחושב עבור כל ענף בכל מדינה כסכום של סך שימושי הביניים ושל סך השימושים הסופיים.

מטריצת המקדמים הישירים (מקדמי ייצור) – מטריצה A (Technical Coefficients Matrix)

מטריצה זו היא בעלת מימדים זהים למטריצה C והיא מחושבת באופן הבא: $A = C \times \hat{x}^{-1}$, כך שכל איבר במטריצה $a_{ij,rs} = {c_{ij,rs}}/{x_{j,s}}$ מייצג את התרומה היחסית של התשומה מענף i במדינה r ליחידת תפוקה בענף j במדינה s. מטריצה A מובאת בטבלה 3 להלן.

טבלה 3: מטריצת המקדמים הישירים (מטריצה A)

מדינה ב	מדינה ב	מדינה א	מדינה א		
תעשייה	חקלאות	תעשייה	חקלאות		
0.07	0.24	0.33	0.25	חקלאות	מדינה א
0.07	0.06	0.17	0.08	תעשייה	מדינה א
0.11	0.24	0.08	0.05	חקלאות	מדינה ב
0.25	0.18	0.5	0.1	תעשייה	מדינה ב

---

[1] בניתוח תשומה תפוקה של אזור בודד (Single region input output analysis) השימוש הסופי כולל גם את היצוא, אך בניתוח תשומה תפוקה רב אזורי, היצוא הוא חלק ממטריצת שימושי הביניים.

מטריצת המקדמים הכוללים (ההופכי של לאונטייף) – מטריצה L (Leontief Inverse)

מטריצה זו גם היא בעלת מימדים זהים למטריצה C היא מחושבת באופן הבא: $L = (I - A)^{-1}$, כאשר I היא מטריצת יחידה סימטרית בגודל זהה למטריצה C. כל איבר במטריצה $L_{ij,rs}$ מציג את סך התשומות הנדרשות מענף i במדינה r עבור רמה נתונה של שימוש סופי בענף j במדינה s. מטריצה L מובאת בטבלה 4 להלן.

טבלה 4: מטריצת המקדמים הכוללים (מטריצה L)

מדינה ב	מדינה ב	מדינה א	מדינה א		
תעשייה	חקלאות	תעשייה	חקלאות		
0.31	0.62	0.84	1.51	חקלאות	מדינה א
0.18	0.21	1.41	0.19	תעשייה	מדינה א
0.26	1.46	0.37	0.17	חקלאות	מדינה ב
1.56	0.58	1.14	0.37	תעשייה	מדינה ב

נספח 1ב. חישוב מטריצת פליטות גזי חממה כתוצאה מהביקוש העולמי

להלן המשוואה המלאה לחישוב מטריצה עולמית לפליטות גזי חממה.

$$GHG = \hat{e} \times L \times \hat{f}$$

תוצאות החישוב מובאות בטבלה 5 להלן.

טבלה 5: פליטות גזי חממה לפי מדינה ולפי ענף כלכלי.

סך הפליטות לפי ענף פולט	מדינה ב תעשייה	מדינה ב חקלאות	מדינה א תעשייה	מדינה א חקלאות		
44.4	2.7	4.8	3.7	33.2	**חקלאות**	**מדינה א**
82.7	9.6	9.8	37.8	25.5	**תעשייה**	**מדינה א**
5.1	0.6	3.1	0.4	1	**חקלאות**	**מדינה ב**
88.3	38.7	12.6	14.1	22.9	**תעשייה**	**מדינה ב**
220.5	51.6	30.3	56	82.6	**סך הפליטות לפי ענף ביקוש**	

התוצאות מציגות את סך הפליטות בעולם והן 220.5 מיליוני טונות שו"ע פד"ח, ומקורן של כ- 77% מתוכן בענפי תעשייה. ניכר עוד כי הפליטות בענף החקלאות של מדינה א' גבוהות פי 9 מאלו במדינה ב'. סיכום השורות כאמור, מציג את הפליטות לפי הענף והמדינה בה הן התבצעו בפועל. לעומתן, סיכום העמודות מציג את סך הפליטות הגלומות בביקוש מענף מסוים במדינה מסוימת. ניכר כי מירב הפליטות, כ-83 מיליוני טונות שו"ע פד"ח, נובעות מביקוש סחורות חקלאיות במדינה א'.

החלפת וקטור הביקוש הסופי מאפשר לחשב ולהציג את המשמעות של שינוי בצריכה לגבי פליטות גזי חממה ולגבי סך הפעילות הכלכלית במדינה מסוימת. למשל, אם נניח כי ביקוש למוצרי חקלאות במדינה א' בסך 2 מיליוני דולר הוסט לטובת יבוא מוצרים מן החי ממדינה ב'. ניתן לנסח את השינוי בביקוש הסופי באמצעות הווקטור הבא: $\Delta f = (-2 \quad 0 \quad 2 \quad 0)$. הצבת וקטור השינוי ב-$f$ בנוסחא המלאה לחישוב ניתוח תשומה-תפוקה מראה כי בסך הכול השינוי הביא לעלייה בפליטות העולמיות של כ-0.4 מיליוני טונות שו"ע פד"ח. מקור העלייה העיקרי הוא פליטות מענף התעשייה במדינה ב', אשר מספק סחורות ומוצרים לענף החקלאות במדינה.