

## אקולוגיה תעשייתית - התפתחות התחום ויישומים רלוונטיים

ורד בלאס

הפקולטה לניהול - בית הספר למוסמכים  
במנהל עסקים ע"ש לאון רקנאטי, אוניברסיטת תל-אביב  
vblass@post.tau.ac.il

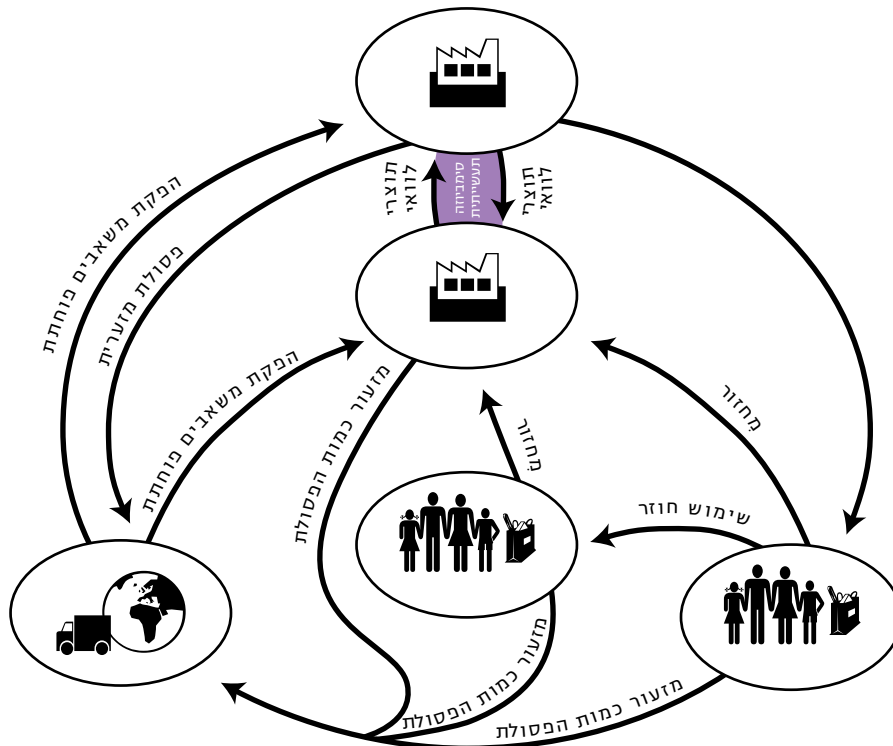
אקולוגיה תעשייתית (industrial ecology) היא תחום הבוחן באופן שיטתי את קשרי הגומלין בין זרימת חומרים ואנרגיה ברמה מקומית, אזורית וגלובלית, תוך התייחסות לתהליכים ושימוש במוצרים בראייה של ענפי תעשייה שונים ושל המשק כולו. התחום מתמקד בהבנת הפוטנציאל הקיים בתעשייה להפחית השפעות סביבתיות לאורך כל מחזור חיי המוצרים, החל בשלב כריית חומרי הגלם, דרך ייצור חומרים ורכיבים, הרכבת מוצרים סופיים, שינוע ומסחר, וכלה בניהול הפסולת בסוף מחזור החיים. צמצום ההשפעה יכול להתבטא באופנים שונים, החל בשימוש מופחת בחומרי גלם ובמשאבים מתכלים, דרך סינרגיה וניצול תוצרי לוואי של התהליכים, וכלה בהחזרת משאבים למעגל השימוש על-ידי יצירת מנגנון לכלכלה מחזורית באמצעות השמשה חוזרת ומחזור.

היבט נוסף ומרכזי בהפחתת ההשפעה קשור בשינוי דפוסי צרכנות ובקשר בין מערכות ייצור וצריכה. **איור 1** מתאר את התחום ואת הקשרים בין המערכות הנלמדות.

בשנים האחרונות מתפתח מאוד תחום האקולוגיה התעשייתית, ואף התפתחה בו תת-קבוצה המתמקדת ביישומים למדינות מתפתחות ובפיתוח בר-קיימא. ההתפתחות המשמעותית של התחום החלה בתחילת שנות ה-90. בשנת 1991 אירחה האקדמיה למדעים בארה"ב את הסימפוזיון הראשון בנושא אקולוגיה תעשייתית, וזאת בהמשך לפיתוח מונחים כגון חילוף חומרים תעשייתי (industrial metabolism) [1] ומערכת אקולוגית תעשייתית (industrial ecosystem) [2]. אך על פי שאין הגדרה אחת מוסכמת לתחום, אחת ההגדרות שהשתרשה לקוחה מתוך ההקדמה לספר The Greening of Industrial Ecosystems [5] (בתרגום חופשי):

"מחקר של זרימת חומרים ואנרגיה בפעילויות תעשייתיות וצרכניות, של השפעותיהן של זרימות אלה על הסביבה, ושל השפעותיהם של גורמים כלכליים, פוליטיים, רגולטוריים וחברתיים על זרימת המשאבים, על השימוש בהם ועל ההתמרה (טרנספורמציה) שלהם".

עם הזמן פותחו בתחום כלים ושיטות מחקר שונות הבוחנים את זמינות המשאבים ועוזרים לכמת את ההשפעה הסביבתית



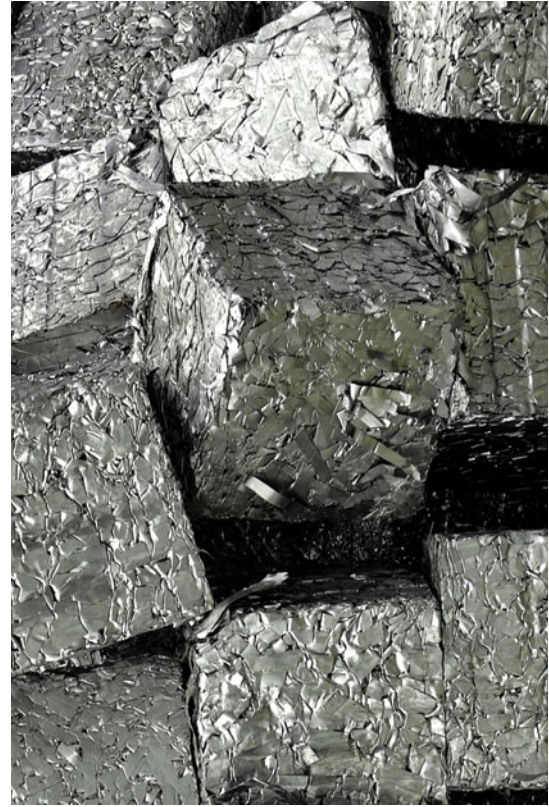
**איור 1.** תהליכים באקולוגיה תעשייתית  
מחוקר International Society for Industrial Ecology  
[5] web site

של הפעילויות השונות לאורך מחזור החיים של מוצרים. הנושאים העיקריים הנלמדים בתחום זה הם זרימת חומרים ואנרגיה, השפעות שינויים טכנולוגיים, הפחתת חומרות (dematerialism), ניהול מחזור החיים, תכנון ועיצוב מוצר בראייה סביבתית, אחריות יצרן מורחבת, סימביוזה תעשייתית ויעילות סביבתית-כלכלית [4]. שיטות המחקר המובילות בתחום כוללות ניתוח השפעות סביבתיות בראיית מחזור החיים (LCA – Life Cycle Assessment), ניתוח זרימת חומר (MFA – Material Flow Analysis) וניתוח תשומות-תפוקות (IOA – Input-Output Analysis).

ניתוח השפעות סביבתיות על בסיס גישת מחזור החיים התבסס בשנים האחרונות כמודל מוביל לכימות השפעות סביבתיות במגוון קטגוריות השפעה ולאורך מחזור החיים של מוצרים, שירותים ותהליכים. חברות, ארגונים סביבתיים ומשרדי ממשלה ברחבי העולם החלו משתמשים בגישה כדי להעריך את ההשפעות הסביבתיות של חלופות שונות ולהשוות ביניהן. חברות כמו דופונט, Levi Strauss & Co, G&P ונסטלה משתמשות בגישה לבחינת פעילויותיהן ולגיבוש אסטרטגיות סביבתיות. נוסף על כך, החלה מגמה לעידוד צריכה בת-קיימא המבוססת על הנגשת תוצאות ניתוח מחזור החיים לצרכנים באמצעות מנגנונים שונים, כדוגמת תו ירוק. צרפת מובילה כיום בתחום.

בישראל נמצא תחום האקולוגיה התעשייתית בראשית דרכו הן באקדמיה הן ביישום בתעשייה, אם כי בשנתיים האחרונות

מחזור פלדה מבוצע ללא פגיעה באיכותה, וכך נחסכים חומרי גלם אחרים, כמו עופות ברזל, פחם וסיד | באדיבות חברת ThyssenKrupp AG ©



בקצרה

כריית פחם חום (lignite) באמצעות מחפר ענק המופעל במכרות פתוחים, ב-Hambach (גרמניה) | באדיבות חברת ThyssenKrupp AG ©



### מקורות

- [1] Ayres RU. 1989. Industrial metabolism and global change. *International Social Science Journal* 121: 363–373.
- [2] Frosch RA and Gallopoulos NE. 1989. Strategies for manufacturing. *Scientific American* 261(3): 144–152.
- [3] International Society for Industrial Ecology web site. [www.is4ie.org](http://www.is4ie.org). Viewed 6 Aug 2012.
- [4] Journal of Industrial Ecology web page. [www.onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/ISSN%291530-9290/homepage/ProductInformation.html](http://www.onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/ISSN%291530-9290/homepage/ProductInformation.html). Viewed 6 Aug 2012.
- [5] White R. 1994. Preface. In: Allenby BR and Richards DJ (Eds). *The greening of industrial ecosystems*. Washington (DC): National Academy of Engineering.

הוא נעשה מוכר יותר. באקדמיה מעטים החוקרים שעוסקים בו, ונראה שדווקא התעשייה מובילה בנושא. ישנן חברות גלובליות שמיישמות חלק מהרעיונות, והסינפים המקומיים שלהן פועלים לפי גישת האקולוגיה התעשייתית, גם אם אינם מודעים לשמם המדעי של עקרונות הפעולה. מספר חברות ישראליות נמצאות בשלבים שונים של בחינת השפעות סביבתיות בעזרת שימוש בגישת מחזור החיים ובבחינת התוצאות לאורה. כמו כן, מספר רשויות מקומיות בוחנות את נושא הסימביוזה התעשייתית ושלובה בתכנון פארקים תעשייתיים. המעקב אחר זרימות החומרים העיקריים שנמצאים בשימוש בכלכלה הישראלית הוא חלקי, וישנו צורך באיסוף נתונים, במחקר וביישום בתחום במגזרים השונים של התעשייה ובמשק כולו.



גיסא מבוצרים לא אחת במגדלים הגבוהים והמכובדים שלהם, והחיבור ביניהם הופך לעתים להיות קשה ומסורבל. השיח שונה, עולם המושגים אחר, לוח הזמנים אינו מתאים ובמקרים רבים רצונם של מקבלי ההחלטות להגיע לסיכום קונקרטי וחד-משמעי ייתקל באמירות דוגמת "אין אמת אחת" מצד אנשי האקדמיה או בהגשת הצורך במספר מחקרי-תמך שיבססו טוב יותר את ממצאיהם העכשוויים.

כדי לגשר על כשלים אלה הקימה האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה בשנת 2011 את **'ממשק - תכנית יישום מדע בממשל'**. התכנית שואפת לגבש מנהיגות צעירה של בוגרי אקדמיה ולהכשירם לפעול באופן אפקטיבי במגזר הציבורי, במטרה להיטיב את קבלת ההחלטות בתחומי הסביבה ולקדם את הדו-שיח בין הקהילה המדעית ובין קובעי המדיניות הציבורית בישראל. במשך שנה עוברים עמיתי התכנית מסלול הכשרה מקיף להכרת הזירה הציבורית, מפתחים מיומנויות להנגשת מדע, ומקבלים כלים להעצמה מקצועית. בד בבד עם הלימודים משתלבים העמיתים בתפקידי ייעוץ במוקדים מרכזיים של קבלת החלטות, שיש להן השלכה על סוגיות מדעיות וסביבתיות במשרדים וברשויות ציבוריות.

מחזור א' של התכנית הסתיים ביולי השנה. תוך זמן קצר הופנם בתוך משרדי הממשלה השונים הצורך האקוטי ביועץ מדעי-סביבתי לתמיכה בתהליכי קבלת ההחלטות ועיצוב המדיניות. כך, לדוגמה, קידם ד"ר עופר שטייניץ במשרד החקלאות ופיתוח הכפר פרויקט תמיכות בחקלאות תומכת סביבה (וכיום מנהל את אגף מערכות מידע ברשות הטבע והגנים); ד"ר ענת בונשטיין ניהלה וריכזה את התחום האקדמי של תחליפי נפט במשרד ראש הממשלה (וממשיכה בתפקיד גם לאחר סיום התכנית); ד"ר דרור צוראל סיפק ידע אקולוגי נדרש לוועדות התכנון החופי במשרד

## מה בין מדע, מדיניות וסביבה

נטע ליפמן (סרבי)

האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה  
[neta@isees.org.il](mailto:neta@isees.org.il)

מסופר על דוד בן-גוריון, ראש הממשלה הראשון של מדינת ישראל, שכשנדרש לדון בסוגיית קידום המדע בישראל הכריז כי "כל פעולתנו המשקית והתרבותית לא תתואר בלי שימוש מקסימלי בכיבושי המדע", לאמור: פיתוח המדע, הנגשתו, יישומו ושימוש בו לצורכי המדינה הנבנית - בתעשייה, במשפט, בכלכלה, בחברה ובבריאות. עמדתו זו של בן-גוריון נשמעה אמנם ראשונה בשנת 1949 בציטוט המפורסם, אך היה זה הקו המוביל בהוויית משילותו; המוח היהודי צריך להוביל את עתיד המדינה לא רק בהישגים מדעיים תאורטיים אלא גם ביישומם. ההשקעות המדעיות והאקדמיות צריכות בסופו של דבר למצוא את דרכן גם לשיפור החברה והמדינה.

חלפו מספר עשורים, מאז נוסדו כאן שבע אוניברסיטאות, עשרות מכללות, מכוני מחקר ומרכזי לימוד והכשרה, ועדיין דומה כי חלק נכבד מגוף הידע המדעי העצום בכלל, ומהידע האקולוגי-סביבתי בפרט, לא מצליחים לפלס את דרכם למקבלי ההחלטות. ניתן להסביר כשל זה בשלושה מקורות חולשה מרכזיים: הראשון הוא מיעוט תקשורת בונה בין הקהילה המדעית ובין מקבלי ההחלטות; השני הוא מיעוט אפשרויות להכשרת אנשי מקצוע במחקר מכוון-בעיות ובהנגשת ידע מדעי; השלישי - חוסר כללי בהסדרים מוסדיים, שתפקידם לערוך סקירה של ידע מדעי וסינתזה של מקורות מידע ולשלב ידע זה בתהליכי גיבוש מדיניות סביבתית<sup>[1]</sup>. אנשי האקדמיה מחד גיסא וקובעי המדיניות מאידך