

ניהול משאבי הטבע בישראל  
ניתוח שרשרת הערך של תעשיית הפקת הפוספט  
בישראל כמקרה בוחן

זיו לאוטמן  
עמית מכון מילקן

מחקר זה לא היה יוצא לאור ללא עזרתם המסורה, המקצועית והאדיבה של אנשים רבים. תודה מיוחדת לד"ר ורד בלאס, על ההנחיה המקצועית, מלאת החזון ועל הסבלנות הרבה. תודה לכל עובדי אשכול תכנון ומדיניות במשרד להגנת הסביבה, שהוכיחו לי מהי מסירות אמתית לעבודה, ובראשם גב' גלית כהן, סמנכ"לית האשכול, על התמיכה והאמונה בי לאורך כל השנה, ומר יובל לסטר, ראש אגף מדיניות סביבתית, שללא עזרתו והכוונתו מחקר זה לא היה נושא פרי. תודותיי נתונות גם לד"ר אור גולדפרב, סמנכ"לית כלכלה וטכנולוגיה במשרד להגנת הסביבה, על ההערות הבונות ועל הסיוע בניתוח הנתונים הכלכליים; לד"ר רם אלמוג, ממונה תכנון סביבתי במשרד להגנת הסביבה; לעובדי "רותם אמפרט נגב" על כך שסייעו במתן הנתונים הנחוצים; לחמשת המומחים מן האיחוד האירופי בתחום ניהול משאבי הטבע, שהגיעו במיוחד לישראל וחלקו מניסיונם בתחום; למר גלעד ברנד, עמיתי לתוכנית, על סיועו לאורך השנה.

תודה גדולה שמורה לצוות תוכנית עמיתי מכון מילקן – פרופ' גלן יאגו על שלימד אותי את רזי עולם הכלכלה והחידושים הפיננסיים ולגב' אורלי מובשוביץ-לנדסקרונר על שתמיד הייתה שם ודאגה לכל – תודה על שנה בלתי נשכחת.

## על אודות תוכנית עמיתי מכון מילקן

תוכנית עמיתי מכון מילקן מקדמת את הצמיחה הכלכלית בישראל באמצעות התמקדות בפתרונות חדשניים, מבוססי שוק, לבעיות מתמשכות בתחומים חברתיים, כלכליים וסביבתיים. התוכנית מתמקדת באיתור פתרונות גלובליים והתאמתם למציאות הישראלית ובבניית ממשקים חיוניים המחברים בין משאבים ממשלתיים, פילנתרופיים ועסקיים, לטובת צמיחה ופיתוח לאומי בר-קיימא.

התוכנית מעניקה מלגות שנתיות לישראלים מצטיינים, בוגרי מוסדות להשכלה גבוהה בארץ ובעולם, המתמחים במוקדי קבלת ההחלטות הלאומיים ומסייעים בפיתוח פתרונות באמצעות מחקר והתמחות. היקף הפעילות של עמיתי התוכנית הוא מקסימלי – התמחות, הכשרה ומחקר במשך חמישה ימים בשבוע.

במשך שנת התמחותם עוסקים עמיתי מכון מילקן במחקר המדיניות במשרדי הממשלה וברשויות שלטוניות אחרות, ומסייעים למקבלי ההחלטות ולמעצבי המדיניות בחקר ההיבטים השונים של סוגיות כלכליות, סביבתיות וחברתיות.

בנוסף עורכים העמיתים מחקר מדיניות עצמאי, שמטרתו לזהות חסמים לתעסוקה ולצמיחה בישראל ולאתר פתרונות אפשריים. מחקרי העמיתים מתבצעים בהדרכת צוות אקדמאי ומקצועי מנוסה ותומכים במחוקקים וברגולטורים, המעצבים את המציאות הכלכלית, חברתית והסביבתית בישראל.

במהלך השנה מוענקת לעמיתים הכשרה אינטנסיבית במדיניות כלכלית, ממשל ושיטות מחקר. במסגרת מפגשי ההכשרה השבועיים, העמיתים רוכשים כלים מקצועיים לכתובת תזכירים, מצגות וניירות מדיניות, וכן כלי ניהול, שיווק ותקשורת. בנוסף, נפגשים העמיתים עם בכירים בממשל ועם אנשי אקדמיה מהשורה הראשונה בישראל ובעולם. בסמסטר הראשון, העמיתים משתתפים בקורס המתמקד בחידושים פיננסיים, במסגרת בית הספר למנהל עסקים באוניברסיטה העברית בירושלים. הקורס מקנה 3 נקודות זכות אקדמיות, ומלמד אותן פרופ' גלן יאגו, מנהל בכיר, ומייסד, המעבדות לחידושים פיננסיים<sup>™</sup> במכון מילקן.

את בוגרי התוכנית ניתן למצוא במגוון תפקידים בכירים במגזר הפרטי, כמרצים באקדמיה, במגזר הציבורי וכיועצים לשרים ולמשרדי הממשלה. ישנם בוגרים שנקלטו במשרדי הממשלה, ואחרים המשיכו ללימודים גבוהים באוניברסיטאות מובילות בישראל, ארצות הברית ובריטניה.

תוכנית עמיתי מכון מילקן היא לא פוליטית ובלתי מפלגתית, ואינה מקדמת קו פוליטי או אידאולוגי. התוכנית ממומנת על ידי קרנות פילנתרופיות מובילות בארצות הברית ובישראל ומנוהלת על ידי מכון מילקן.



**ניהול משאבי הטבע בישראל  
ניתוח שרשרת הערך של תעשיית הפקת הפוספט  
בישראל כמקרה בוחן**

**זיו לאוטמן**  
עמית מכון מילקן



# תוכן עניינים

1	תקציר מנהלים
8	1. מבוא
14	2. מטרת המחקר
14	3. שיטת המחקר
15	4. מגמות לייעול השימוש במשאבים
15	4.1 סקירת מדיניות בעולם
19	4.2 סקירת המצב בישראל
14	5. ניתוח שרשרת ערך – Value Chain Analysis
25	5.1 מיפוי שרשרת הערך
27	5.2 ניתוח נתונים ומדדים
30	5.3 איסוף נתונים עבור ניתוח שרשרת הערך
31	6. מקרה בוחן: תעשיית הפקת הפוספט
32	6.1 רקע – משאב הפוספט והתעשייה
38	6.2 מיפוי שרשרת הערך
40	6.3 תוצאות
56	7. דיון
58	8. מסקנות והמלצות
61	9. אחרית דבר
61	10. נספחים
63	11. ביבליוגרפיה

## תקציר מנהלים

משאבי הטבע מוגדרים כחומרים שהאדם שואב מן הטבע לצרכיו, ולא מייצר אותם (המשרד להגנת הסביבה, 2010). תחת הגדרה זו נכללים משאבים רבים – קבוצת המתכות (כגון אלומיניום, נחושת וזהב), האל-מתכות (כגון נתרן, סידן וזרחן), מינרלים שונים (כגון גבס, קלציט וקוורץ) ומשאבים נוספים (כגון נפט, גז ומים). את משאבים הללו השכיל האדם לנצל, עוד מימי קדם, לטובת צרכיו הבסיסיים ביותר (OECD, 2011b).

כיום המשאבים הטבעיים הם היסודות המרכזיים לפעילות הכלכלה ולרווחת האדם. עדות אחת לכך היא הגידול חסר התקדים שנצפה לאורך המאה ה-20 בצריכת כלל משאבי הטבע, לצד הגידול באוכלוסיית העולם (United Nations, 2011). רק בשלושים השנים האחרונות התרחשה עלייה של 80% בהיקפי כריית המשאבים הטבעיים, ובראייה עתידית אל 2050 מציג תרחיש 'עסקים כרגיל' עלייה של 300% בצריכת המשאבים העולמית לעומת המצב כיום, דבר שיגביר דרמטית את התחרות על מציאת המשאבים והפקתם (Dittrich et al., 2012). לצד תחזית זו, נצפות מספר מגמות עולמיות המצריכות התייחסות. **האחת**, התדלדלות ונדירות של משאבים מסוימים, המביאות להגדלת הפגיעה הסביבתית כאשר הפקת המשאב דורשת מאמץ רב יותר, וכך נוצר מעגל משוב חיובי המגדיל הן את ההתדלדלות הן את הפגיעה הסביבתית. **השנייה**, עליית מחירים עולמית המושפעת, בין היתר, ישירות מהתדלדלות המשאבים. משנת 2000 חלה עלייה של יותר מ-300% (במונחי מדד רְאלי) במחירי המשאבים העולמיים, ונראה שזהו חלק ממגמה עתידית מתמשכת (World Bank, 2011). **השלישית** נוגעת להבטחת האספקה של יסודות המוגדרים כקריטיים לתעשיות השונות, שנעשות תלויות יותר ויותר במגוון רב יותר של משאבי טבע. כך למשל, רוב מרבצי משאבים אלה מצויים בשטחה של סין, האחראית למעל ל-97% מייצורם כיום, ומטילה מגבלות על יצואם כדי להבטיח את אספקתם העתידית המקומית (Humphries, 2012). דוגמה נוספת היא התחרות בין מדינות על השליטה במאגרי משאבי טבע שיש להם פוטנציאל כלכלי גדול, דוגמת נפט וגז טבעי. מגמות אלה נצפות גם בישראל, החל בעליית מחירי האנרגיה והמים, הביקוש הגדל למינרלים למשק הבנייה והסלילה (משרד הפנים, 2010) ועד לסוגיית יצוא הגז והצורך בהבטחתו למשק הישראלי למשך העתיד הנראה. מגמה מעניינת נוספת, הנצפית בעולם, כמו גם בישראל, היא המעורבות החברתית ומהפכת המידע. מגמה זו באה לידי ביטוי בישראל עם פרוץ המחאה החברתית בקיץ 2011, ובאחרונה עם ההתנגדות הציבורית העזה לסוגיית יצוא הגז ולמסקנות 'ועדת צמח', שבמידה מסוימת הובילו לשינויים בהן.

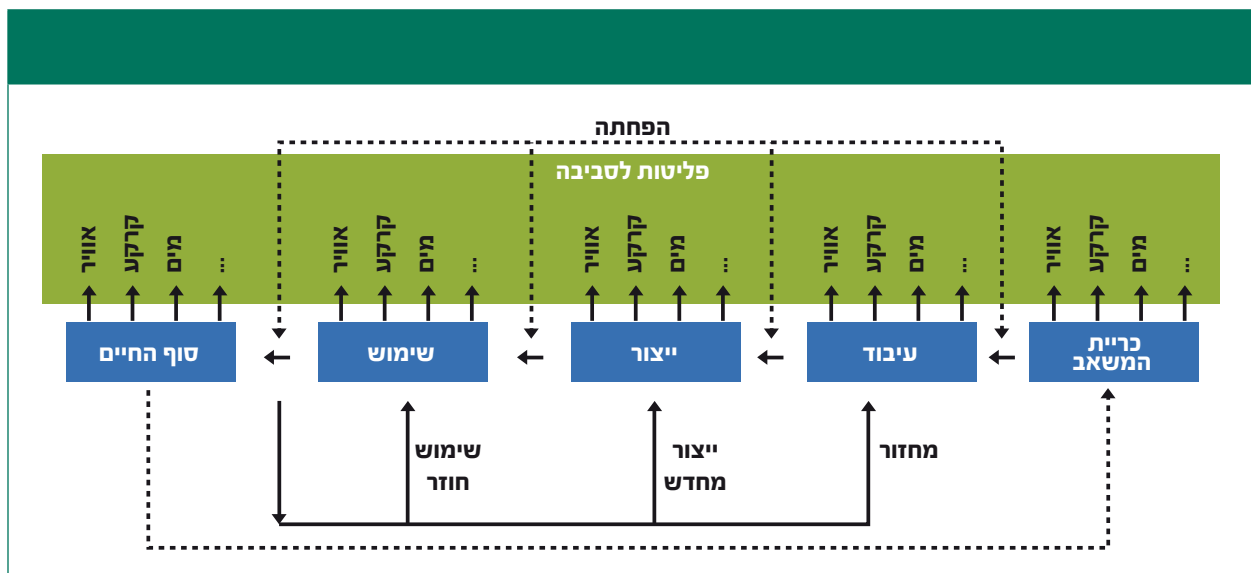
**מגמות אלה, מובילות לשאלות מהותיות, אסטרטגיות ודיפלומטיות בשאלת ניהול משאבי הטבע של מדינה כגון:**

- מה יהיו המחירים העתידיים של משאבי הטבע?
- כיצד ניתן להבטיח את אספקת משאבי הטבע וחומרי הגלם לצורך הבטחת קיומן העתידי של התעשיות השונות?
- מהם היקפי הכרייה השנתיים והיקפי היצוא שיש להתיר, שיתירו די משאבים לדורות הבאים? האם יש לשמור עתודות אסטרטגיות? מהו הערך המוסף של השימוש במשאבים אלה?

כפועל יוצא של שאלות ומגמות אלה, החלה בעשורים האחרונים להתגבש תפיסה אינטגרטיבית של ניהול משאבי הטבע של מדינה, ששמה לה דגש על ניצול יעיל ביותר של משאבי הטבע ושל החומרים המשמשים את המשק, וזאת תוך יצירת ניתוק בין הצמיחה הכלכלית לבין השימוש והפגיעה במשאבי הטבע (decoupling).

## ניהול משאבי טבע

מדינות רבות בעולם כבר החלו ליישם תוכניות אופרטיביות לניהול משאבי הטבע ולייעול השימוש במשאבים שבשטחן. רוב התוכניות הללו צמחו מתוך מדיניות ניהול פסולת, והתרחבו לטפל גם בתהליכים הראשוניים של הכרייה וההפקה וגם בניהול הצריכה ובייעול השימוש לאורך תהליכי הייצור (ראו תרשים). תוכניות אלה זכו לשמות שונים כגון: ניהול בר-קיימא של משאבים; צמיחה ירוקה; כלכלה מחזורית; ניהול חומרים מקיים או הבטחת האספקה של חומרי גלם. למרות השונות בין ההגדרות הללו, נראה כי כולן מבוססות על מספר עקרונות בסיסיים. העיקרון הראשון הוא ה-Reduce, Reuse, Recycle — 3R; בכל שלב החיים של המוצר; העיקרון השני כולל תוכניות שונות להפחתת פליטות מזהמים לסביבה; העיקרון השלישי נוגע להבטחת אספקה של משאבים מסוימים, שהוליד אסטרטגיות דיפלומטיות לחיזוק קשרי מסחר, אסטרטגיות להגבלות על יצוא משאבים ועוד.



מקור: OECD, 2011b; תרגום: מכון מילקן, 2013.

העשורים האחרונים באירופה, בדגש על העשור האחרון, כללו עשרות תוכניות ויוזמות הקשורות לניהול משאבי טבע ולייעול השימוש במשאבים. באחרונה, בשנת 2010, השיק האיחוד האירופי את תוכנית הדגל לשנת 2020 תחת הכותרת "אסטרטגיה לצמיחה חכמה, בת-קיימא וכוללת". אחת משבע תוכניות הדגל של האסטרטגיה היא "אירופה יעילה במשאבים". התוכנית שמה לה יעדים ומטרות במעבר לכלכלה יעילה במשאבים, וכוללת בתוכה את המאפיינים של עבודת העבר בתחום ניהול החומרים, צריכה בת-קיימא והבטחת אספקת המשאבים לאירופה (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

בסין, הצמיחה הכלכלית המהירה בעשורים האחרונים, לצד יעילות שימוש נמוכה במשאבים והשקעות מעטות במחזור ובטיפול בפסולת, לוו בהתדלדלות משמעותית במשאבי הטבע. כמו כן, התלוותה לתהליך גרימת זיהומים סביבתיים רבים, ועמם עלה גם היקף התחלואה של התושבים (World Bank, 2009a). כפועל יוצא מכך, אישר הקונגרס בסין בשנת 2008 הצעת חוק לקידום כלכלה מעגלית (Standing Committee, 2008), וזאת לאחר שנים של קידום המחקר בנושא ברחבי סין. המחקר כלל ניסויים לשיפור הביצועיים הסביבתיים ביותר מ-1,325 חברות תעשייתיות שונות ובמסגרתו הוקמו 256

פארקים אקו-תעשייתיים. בו-בזמן, פותחו אסטרטגיות להקמת תעשיות 'ירוקות', בוצעו הסבות טכנולוגיות לתעשיות מזהמות ולא יעילות, והוקמה רשת עבודה לשיתוף פעולה בין משרדי הממשלה השונים לטובת העניין (Dajian, 2008; OECD, 2012). כבר בשנת 2010 נראו תוצאות בשטח, כאשר התרומה מהמהלך הניבה מעל טריליון יואן לכלכלה הסינית (סדר גודל של 150 מיליארד דולר), והעסיקה מעל 20 מיליון עובדים. בין 20% ל-30% מחומרי הגלם הנדרשים לייצור של פלדה, מתכות ונייר בסין הגיעו ממשאבים מתחדשים ו-20% מחומרי הגלם לייצור צמנט הגיעו ממחזור פסולת (OECD, 2012). נוסף על כך, קידמה סין אסטרטגיה נוספת בניהול משאבי טבע; כיוון שהיא אחראית על מרבית תהליכי הייצור של יסודות קריטיים לתעשייה, הוחלט להטיל מגבלות על יצוא חומרים אלה לטובת אספקה לתעשייה המקומית. המגבלות כוללות הגבלים על הכמות המותרת ליצוא, מס יצוא ונוהלי יצוא נוספים (EUROPEAN COMMISSION, 2011a; WTO, 2013).

## המצב בישראל

בשנים האחרונות עוררה סוגיית ניהול משאבי הטבע עניין רב, הן בקרב מקבלי החלטות הן בקרב כלל הציבור בארץ. התעניינות זאת הגיעה לשיאה בעקבות גילוי מקורות הגז מול חופי ישראל ועם הקמת 'ועדת ששינסקי' ב-2010, שנועדה לבחון את המדיניות הפיסקלית בנושא משאבי הגז והנפט בישראל. ההתעניינות הציבורית אף גברה עם פרסום מסקנות 'ועדת צמח' ואישור סוגיית יצוא הגז בממשלה (יוני 2013). השיא היה עם הקמת 'ועדת ששינסקי 2' שייעודה הוגדר: "לבחינת המדיניות לגבי חלק המדינה המתקבל בעד שימוש של גורמים פרטיים במשאבי הטבע הלאומיים". נכון להיום אין בישראל תוכנית, אסטרטגיה לאומית או מדיניות כוללת כתובה בנושא ניהול משאבי הטבע או ייעול השימוש במשאבים. סביב שאלות מורכבות הנוגעות להיקפי כרייה ותמלוגים של משאבי טבע שונים ממשיות לקום ועדות מומחים אד-הוק כדוגמת 'ועדת צמח', 'ועדת משק הפוספטים' ו'ועדת ששינסקי' הראשונה והשנייה. עם זאת, לאורך השנים נעשו ניסיונות שונים לטיפול נקודתי בסוגיית הפקת המשאבים מים המלח, במשק הבנייה והסלילה ועוד. פריצת דרך בנושא התרחשה בשנת 2011, עם אישור אסטרטגיה לאומית לצמיחה ירוקה לשנים 2012–2020 על ידי הממשלה (המשרד להגנת הסביבה, 2011). למרות זאת, עדיין נראה כי האסטרטגיה מתמקדת בעיקר בצריכה ובפסולת, ופחות בסוגיות של אופן כריית המשאבים, ייעול השימוש בהם ובניהול אינטגרטיבי של משאבי טבע. אף על פי כן, אישור האסטרטגיה הוא אבן דרך ראשונה במסלול הארוך לניהול מושכל של משאבי הטבע במדינה.

## מטרת המחקר

מחקר זה נעשה כחלק מתוכנית עבודה בנושא ניהול אינטגרטיבי של משאבי הטבע בישראל. המחקר נועד לבחון כיצד מתבצע ניהול משאבי הטבע בעולם ובישראל ולהמחיש כיצד ניתן לבחון את היעילות הכלכלית-סביבתית של התעשייה, כחלק משלב הכרחי טרם קבלת החלטות הנוגעות לניהול משאבי הטבע של המדינה. כדי לבחון את הסוגיות הללו, נבחרה תעשיית כריית הפוספט בישראל, שלה גורם יחיד בישראל – חברת "רותם אמפרט נגב", כמקרה בוחן לניתוח היעילות הכלכלית-סביבתית. שאלת המחקר הייתה מהי היעילות הכלכלית-סביבתית של שרשרת הערך הבנויות על משאבי הטבע בישראל.

## שיטת המחקר

בשיטת המחקר שני חלקים מרכזיים השונים במהותם. החלק הראשון עוסק בשאלת הניהול הראוי של משאבי הטבע, וכולל: סקירת ספרות על אודות מגמות עולמיות הקשורות בשימוש במשאבי טבע ובהיבטי מסחר; סקירת המדיניות בעולם ובישראל; ניתוח סוגיות במשילות ובחינת היבטי מדיניות ציבורית. החלק השני עוסק בניתוח כלכלי-סביבתי במטרה לענות על שאלת המחקר, וכולל הסתכלות על שרשרת הפקת משאב הפוספט ובחינתה בעזרת כלי ניתוח שרשרת

הערך (Value Chain Analysis) בצורתו המורחבת, המשלב את הראייה הכלכלית-סביבתית. ראייה זו הכרחית להבנת תהליכי הייצור השונים והפוטנציאל לניהול המשאב ולייעול השימוש בו. יתרה מכך, בעת בחינת תהליכי ייצור תעשייתיים, אין זה נכון להפריד בין ההשפעות הסביבתיות ותנועת החומרים, לבין הערך המוסף שיש לתעשייה מבחינת כלכלה ותעסוקה. קביעה זו נכונה שבעתיים בתעשייה המבוססת על השימוש במשאבי טבע בתוליים, שלהם ערך רב לאדם, כדוגמת תעשיית הפוספט. במקרים רבים משקפות התרומה הישירה לכלכלה במונחי תוצר ותעסוקה וההשפעות הנובעות מכך, את חשיבות המשאב עבור האדם, התעשייה והחברה, ומאזנות את המשוואה אל מול הנזקים הסביבתיים הנגרמים מניצול המשאב. נוסף על כך, בחינת הערך המוסף הנוצר משימוש במשאבי הטבע נועדה לשרת הן את המגזר הציבורי, בעת הכרעה על אסדרה ושימוש בכלים פיננסיים, הן את המגזר הפרטי בהיבטי התייעלות ושיפור התחרותיות.

### **פערים מרכזיים במדיניות ניהול משאבי הטבע בישראל**

בשלב הראשון של המחקר מופו שלושה סוגי פערים מרכזיים במדיניות ניהול משאבי הטבע של מדינת ישראל. פערים אלה הועלו לאורך השנים בדוחות של מבקר המדינה, בוועדות ממשלתיות שונות, במסמכי מדיניות של גופים ממשלתיים ואף בתחקירים עיתונאיים. הפערים מובאים בתרשים שלהלן ומשויכים בהתאם: א. פערי אסדרה – הכוללים ענייני חקיקה וחלוקת סמכויות; ב. פערי מידע – הכוללים איסוף מידע על אודות משאבי הטבע ונתיבי תנועת החומרים במשק; ג. פערים מוסדיים – הכוללים היבטי תכנון ושיקום.



## פערים במדינות ניהול משאבי הטבע בישראל

### פערים במדינות ניהול משאבי הטבע בישראל

פערי אסדרה:	פערי מידע:	פערים מוסדיים:
<p><b>הסדרי חקיקה ומנגנוני תקבולים לא מעודכנים</b> – החקיקה המסדירה את הכרייה בישראל מבוססת על פקודה מנדטורית משנת 1925. חקיקה זו אינה מעודכנת, אף שעברה מספר תיקונים לאורך השנים. נראה כי היא אינה מתאימה לצרכים העכשוויים והעתידיים של ממשלת ישראל. כך, למשל, שיעור התקבולים בפקודה נמוך, ואחיד לכל המשאבים. חסרים מנגנונים מתבקשים, דוגמת מערכי תקבולים מתקדמים, המעודדים יעול בשימוש במשאבים, קרן לשיקום מכרות והפנמת עלויות חיצוניות.</p>	<p><b>היעדר מאגר מידע מתעדכן</b> – כיום, עבור מרבית משאבי הטבע, לא קיים מאגר מידע מסודר ואחיד שמתעדכן בכל הקשור לכמות ולאיכות של משאבי הטבע של מדינת ישראל, וכן מידע על אודות היקפי יצוא, עלויות הפקה ועוד. לעתים המדינה מקבלת מידע על אודות היקף המשאבים, איכות המשאבים, כמויות הפקה שנתיות וסך לניצול כלכלי שלהם מהחברות הכורות. חלק מהמידע שקיים מפוזר בין משרדי ממשלה שונים ובין החברות הכורות, אך אין נוהלי דיווח אחידים. נוסף על כך, פעמים רבות קיימת בעיה של שקיפות במידע.</p>	<p><b>קושי באישור תוכניות ותכנון עתידי לוקה בחסר</b> – טווח הצפי למיצוי או לכרייה כלכלית של משאבי טבע רבים הוא 20-40 השנים הקרובות, ותוכניות המתאר הארציות מתוכננות בהתאם לכך. במצב דברים זה לא ברור כלל – מה יהיה היקף משאבי הטבע שיישאר לדורות הבאים? מהי הראייה העתידית אל מעבר לשנת 2045? מהן ההשלכות הצפויות למשק כתוצאה מאיבוד מקומות העבודה וההכנסות למדינה? באותו זמן, ועדות התכנון הארציות נתקלות בקושי ובהתנגדות ציבורית עזה לאשר את תוכניות הכרייה והחציבה, לעתים קרובות כפועל יוצא מתופעת הנמבי" (NIMBY).</p>
<p><b>תופעת ריבוי שחקנים והיעדר ראייה כוללת</b> – אחריות ניהול משאבי הטבע השונים מבוזרת בין גופים שונים בממשלה. לדוגמה, משרד האנרגיה והמים אמון על הסדרת הגז והנפט, על הענקת רישיונות כרייה לתעשיית הפקת הפוספטים, למינרלים תעשייתיים שונים וכן לחומרי גלם למשק הבנייה והסלילה; רשות מקרקעי ישראל אמונה על מתן ההרשות לשטחים המיועדים לכרייה ולחציבה; רשות המים אחראית על משק המים בכללותו; מנהל התכנון במשרד הפנים אחראי על תכנון והסדרה של שטחי הכרייה והחציבה; משרד הכלכלה והמסחר אמון על ים המלח. תופעת ריבוי הגורמים אינה בהכרח בלתי רצויה, אך כאשר אין שום גורם בעל ראייה כוללת ויד מכוונת היוצר מדיניות אחידה וסדורה, גבולות הגזרה אינם ברורים, האחריות עוברת מיד ליד, והשקיפות כלפי הציבור והעקביות כלפי התעשייה נפגמות.</p>	<p><b>שיקום מפגעי עבר, הווה ועתיד</b> – לתעשיית הכרייה והחציבה יש השפעה רחבה על הנופים הייחודיים של הארץ. פעמים רבות משמעותה של הכרייה היא פגיעה הרסנית בשטח הפתוח, בנוף הארץ, במורשת, במרקם הטבעי ובמערכות אקולוגיות ייחודיות המאפיינות מרחבים אלה (לאוטמן, לסטר וקרני, 2013). כדי לענות על הביקוש הצפוי בתחום זה עד שנת 2045 יש צורך במאות אלפי דונמים של קרקע לכרייה ולחציבה. כיצד תיראה המדינה לאחר כרייה נרחבת זו, ומה יהיה היקף השטחים הפתוחים הבלתי מופרים שיוותרו? כיום, רק בנגב לבדו ישנם מעל ל-30,000 דונמים של מכרות שלא שוקמו (עמיר ואח', 2011). בכל הקשור לחציבת מחצבים למשק הבנייה והסלילה, אמנם קיימת קרן לשיקום מחצבות, אך מבקר המדינה כבר התריע בעבר על חוסר תפקודה (מבקר המדינה, 2000), ונכון להיום ישנן מאות מחצבות נטושות (מוריה וסקלי, 2009). כספי הקרן ממשיכים להיערם – 500 מיליון ₪ – וחסמים שונים מונעים ממנה לתפקד ביעילות (לאוטמן, לסטר וקרני, 2013). לעומת זאת, קרן לשיקום מכרות כלל אינה קיימת. את אזלת היד של הממשל בשיקום מפגעי ים המלח, לדוגמה, ואת חוסר ההתמודדות עם הסוגיה לאורך השנים, סיכם היטיב מבקר המדינה: "במשך השנים לא ריכז גוף אחד את נושא ים המלח בכללותו. הטיפול בו היה מפוזר בין גופים שונים ובין דרגים שונים ארציים, מחוזיים ומקומיים. בין הגופים והדרגים השונים לא היה תיאום ולא הוקם מאגר נתונים המשותף לכולם. דבר שהקשה מאוד על ניהול ים המלח כמשאב טבע, על שמירת מפלסו ועל התמודדות עם בעיות הנובעות מירידתו... משרדי הממשלה פעלו בעצלתיים ולא הכינו את התשתית שתאפשר לממשלה להחליט על מדיניות בת קיימא להמשך פיתוח האזור" (מבקר המדינה, 2009).</p>	<p><b>ריכוזיות</b> – בישראל מרוכזים עיקר הרווחים מכריית משאבי הטבע בידי קבוצה מצומצמת של חברות עסקיות, שלעיתים קרובות נהנות מפרות שרשרת הייצור והאספקה. לדוגמה, במשק הבנייה והסלילה יש 19 מפעילות של מחצבות חצץ, ש-3 מתוכן הן חברות גדולות המחזיקות ב-64% מהייצור וב-40% מן העתודות. חברות אלה נמנות עם החברות השולטות בענף ייצור הבטון ומחזיקות כ-75% מהענף (פונדק, 2013). באחרונה החל המאסדר לטפל בנושא זה. כך, לדוגמה, מצאה הוועדה הבין-משרדית לקיום התחרות בענף המלט כי "קיומו של מונופול בתחום הובלת המלט בתפוזרת "תעבורה פיזית" יוצר פוטנציאל לחסם כניסה בשני המקטעים (הובלה ושיווק) ועל כן מוצע להטיל חובת דיווח על מונופול ה"הובלה". כמו כן, מצאה הוועדה כי יש ליצור את התנאים לפתיחת שוק המלט למספר גורמים נוספים (הוועדה הבין-משרדית לקידום התחרות בענף המלט, 2013). כפי שמצאה הוועדה, בתופעת ריכוזיות שכזו קיימים פערי מידע.</p>

מקור: מכוון מילקן, 2013.

## עיקר הממצאים והמלצות

הניתוח הכלכלי-סביבתי של תעשיית הפקת הפוספט מצביע על מספר מגמות בשרשרת ערך הייצור, ומעלה קונפליקטים אפשריים בין החברה הפרטית למשק. מנגד עולות הסתייגויות הקשורות להנחות ולהערכות שנעשו לצורכי המחקר, וכן שאלות הנוגעות לסוגיית הכימות ולהערכת עלויות חיצוניות של פליטות מזהמים שונים לסביבה. מהניתוח עולה כי לא ניתן להסיק באופן חד-משמעי באיזה תת-שלב היעילות הכלכלית-סביבתית היא הגדולה ביותר או לקבוע כי תת-השלב 'כריית הפוספטים', לדוגמה, הוא הכדאי ביותר למשק, ועל כן יש לזרות כמה שיותר חומר גלם. נראה כי הפער הגדול ביותר העומד בפני קביעות מסוג זה הוא כימות העלויות החיצוניות במלואן. המסקנות וההמלצות ממקרה הבוחן נעות מהמקרה הפרטי אל הכלל, ומטפסות חזרה אל החלק הראשון של המחקר לשאלת ניהול משאבי הטבע בישראל כדלקמן:

- קיים פוטנציאל רב להפחתת עלויות חיצוניות על ידי התייעלות בתחום האנרגיה והפחתת נתח צריכת האנרגיה מחברת החשמל לישראל (להלן: חח"י). חשוב לזכור שלחברת "רותם אמפרט נגב" אין יכולת השפעה על הפליטות מייצור החשמל הארצי בחח"י, אלא רק על הייצור העצמי שלה. היות שכך, ללא שינוי מדיניות תמהיל האנרגיה לחשמל בישראל, יכולת החברה להתייעל מוגבלת.
- פליטות פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>) הן מעל 95% מפליטות הגז (מבחינת המשקל) וכ-80% מהעלויות החיצוניות הניתנות כיום לכימות כלכלי שהמשרד להגנת הסביבה מכיר בו. **לכן, קיים פוטנציאל רב להפחתת העלויות החיצוניות** על ידי הפחתת פליטות מזהם זה. נוסף על כך, עדיין אין תמחור של עלות חיצונית עבור הפוספוגבס, שהוא תוצר לוואי של תהליך הייצור, ומכיל גבס, זרחן ומזהמים שונים. הפוספוגבס לא נידון בהרחבה במחקר זה, אך משקלו הוא הגדול ביותר מבין המזהמים הנפלטים בשרשרת הערך (והוא נצבר בכמות בלתי מבוססת לאורך השנים). **אם יושתו עלויות חיצוניות של מזהם זה בעתיד, שוליות ככל שיהיו לטונה מזהם, הן יהיו נתח משמעותי ביותר בעקבות הכמויות הגדולות של החומר. יש להביא נתון זה בחשבון, ועל החברה להיערך בהתאם (בדומה לקציר המלח שמבצעים מפעלי ים המלח).**
- בתת-שלב העיבוד, שרווחי החברה בו הם הגבוהים ביותר והערך המוסף למשק הוא הגבוה ביותר, מתקבל כי היעילות הכלכלית-סביבתית נמוכה. הסיבה לכך היא התשומות הגבוהות שמצריכים התהליכים ופליטות המזהמים. כיוון שתת-שלב זה הוא קריטי לחברה, **יש למצוא את הכלים והתמריצים המתאימים (טכנולוגיים, אסדרתיים, פיננסיים וכדומה) שיובילו להפקת המרב מן היעילות הזו על ידי הפחתת העלויות הסביבתיות ותשומות התהליכים**. מכאן עולה חשיבותו הרבה של ניתוח שרשרת הערך. נתונים מסוג זה, לצד ההמלצה על הגבלת כמות סלע הפוספט המועשר המיוצא מישראל (המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013), שמשמעותה הגדלת התשומות והתפוקות של תת-שלב העיבוד, שופכים אור על הכלים ועל התמריצים המתאימים להגברת התייעלות בתת-שלב העיבוד, שלא נכללו בהמלצות הוועדה.
- לאורך המחקר הורגש היטב פער המידע; חלק מהמידע התקבל ממשרדי ממשלה שונים, חלק אחר נלקח מדוחות רבים ומגוונים, ופעמים רבות התבצעו הערכות, כיוון שהמידע לא היה ידוע או שלא ניתן היה לקבל אותו. כדי שניתן יהיה ליישם שיטת מחקר זו גם על שרשרות ערך אחרות, הבנויות על משאבי הטבע בישראל, ולשם הסדרת האסדרה (כפי שיוסבר בהמשך), **נדרשת הקמת מאגר מידע ארצי רחב**. למעשה, כל עוד אין בישראל מאגר מידע ארצי הכולל נתונים על אודות תנועת החומרים במשק ועל הבנת תהליכי הייצור וקשרי הגומלין בין התעשיות

- השוונות, לא ניתן לנהל את החומרים הזורמים במשק ולקבוע יעדים ברורים וצעדי מדיניות בנושא ניהול משאבי הטבע של המדינה וייעול השימוש במשאבים.
- מחקר זה הוא צעד ראשוני וחשוב בניתוח היעילות הכלכלית-סביבתית של שרשרות הערך הבנויות על משאבי הטבע בישראל. עם זאת, נראה כי ישנם סימני שאלה רבים בניתוח זה. **על כן, כדי להבין את מערכת יחסי הגומלין בין ההיבטים בתעשייה, בכלכלה ובסביבה הנוגעים למשאבי הטבע בישראל, וכיצד ניתן להפיק את מרב היעילות הכלכלית-סביבתית מתעשיות אלה – יש לקדם מחקרי רוחב כלל-משקיים, בשיתוף האקדמיה והמומחים בישראל.**
  - מסוגיות המדיניות ומהעקרונות שהועלו לאורך המחקר, נראה כי מדיניות לאומית לניהול משאבי טבע ולייעול השימוש במשאבים למדינת ישראל **תוכל להיקבע רק לאחר שיבוצע ניתוח, כדוגמת הניתוח המוצג במחקר זה, על כלל שרשרות הערך הבנויות על משאבי הטבע בישראל, לאחר שיובנו יחסי הגומלין בין השרשרות השונות, ותתקבל התמונה המלאה לגבי העלות והתועלת למשק משרשרות אלה.** כפי שעולה עד כה, על מדיניות שכזו לענות על שלושה עקרונות מרכזיים (לסטר, 2013): פיתוח מאגר מידע לאומי, קביעת קצב הניצול המיטבי של משאבי הטבע, פיתוח סט כלים משלימים להשגת התייעלות מרבית בשימוש במשאבי טבע והפחתת ההשפעות הסביבתיות השליליות.
  - **לסיכום, עבור ישראל, המחזיקה במשאב חשוב לאנושות כמו הפוספט, שמחירו עולה בהדרגה ועתודותיו מתדלדלות ומצויות באזורים בעייתיים, יעדי ייעול השימוש במשאבים הם חיוניים להבטחת עתיד תעשייה זו ולשימור משאב יקר זה גם לדורות הבאים.** גיבוש של מדיניות ממשלתית ואסטרטגיה לניהול קלל משאבי הטבע ולייעול השימוש במשאבים הוא כורח המציאות העולמית והלאומית, ונראה שהבשילו התנאים ליישומן בישראל.

## 1. מבוא

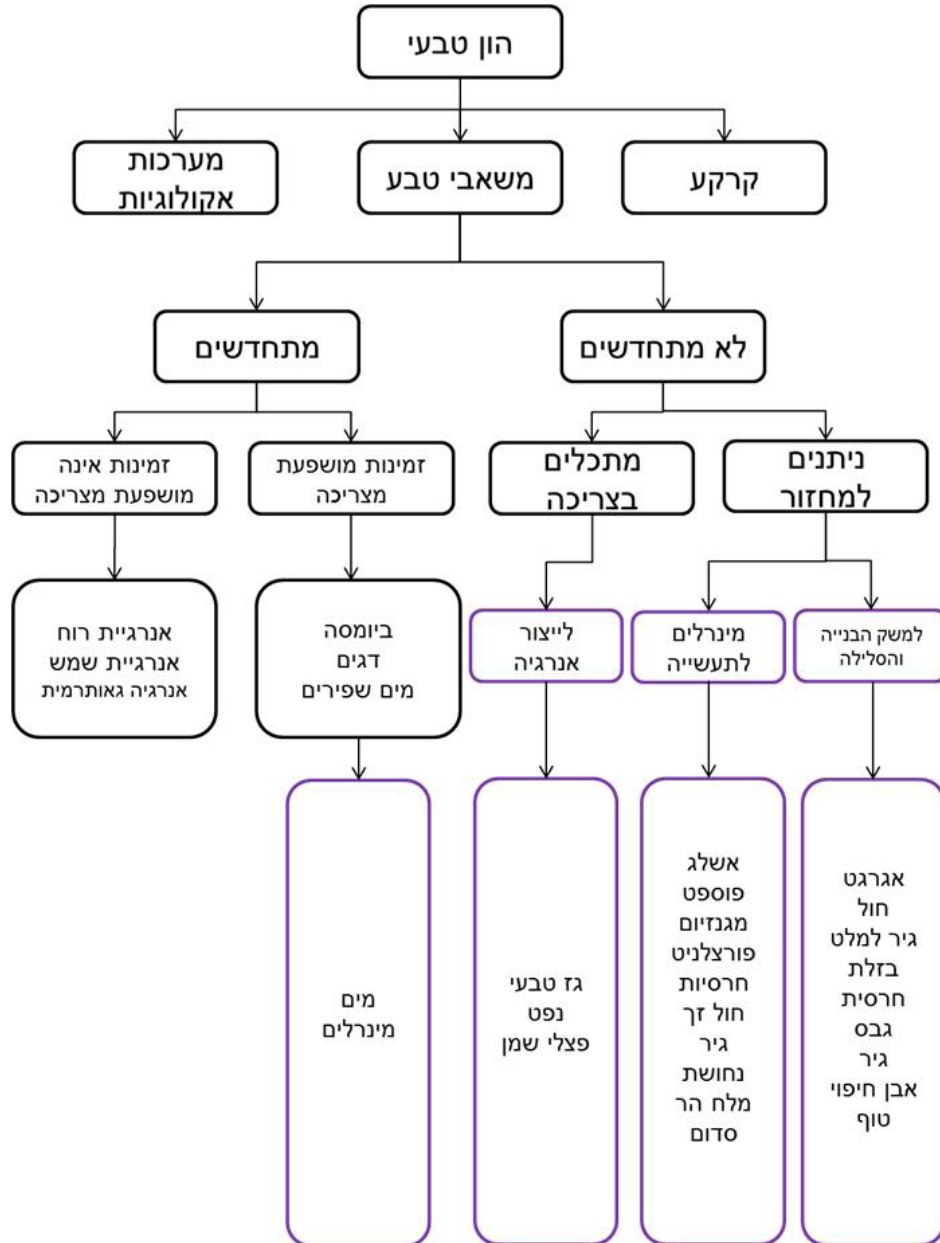
משאבי הטבע השונים הם היסודות המרכזיים לפעילות הכלכלה ולרווחת האדם. ביחד עם הקרקע והמערכות האקולוגיות הם יוצרים את ההון הטבעי של החברה האנושית, ותומכים במתן שירותים סביבתיים וחברתיים הנדרשים לפיתוח סוגי הון אחרים של האנושות, כדוגמת ההון החברתי והכלכלי (OECD, 2011b).

משחר האנושות סיפקו משאבי הטבע את חומרי הגלם הנדרשים לצרכים הבסיסיים ביותר של האדם כדוגמת מזון, מחסה, מים ותרופות; עם התפתחות האדם הפכו משאבי הטבע, תוך שימוש בתהליכי הייצור השונים, למוצרים ולשירותים התומכים באיכות החיים. כך מקורות האנרגיה מנוצלים לתעשיות, לבתים ולתחבורה; מינרלים ומתכות נכרים מקרום כדור הארץ ומשמשים מחצבים לבנייה, לסלילה ולטכנולוגיות שונות; עץ ומוצרי הנלווים נכרים מן היערות, ואילו האדמה והמים משמשים לטובת גידול מזון לאדם (OECD, 2011b).

נהוג לחלק את משאבי הטבע לשתי קטגוריות מרכזיות (תרשים 1): משאבי טבע שאינם מתחדשים ומשאבי טבע מתחדשים. את מלאי **משאבי הטבע שאינם מתחדשים** לא ניתן לייצר מחדש לאחר שנוצלו, או שהם מתחדשים במחזורי טבעיים ארוכים ביחס לחיי האדם (כדוגמת היווצרות מינרלים). לכן, מלאי משאבי הטבע שאינם מתחדשים הוא פחות או יותר סופי, ומתכלה במהלך הזמן על ידי צריכה. עם זאת, ניתן להבחין בין שתי תתי-קטגוריות במשאבי הטבע שאינם מתחדשים: אלה המתכלים בעת הצריכה (כדוגמת גז ונפט), ואלה הניתנים למחזור (כדוגמת מתכות) (OECD, 2011b).

**מלאי משאבי הטבע המתחדשים** לעומת זאת יכול להתחדש בתקופה קצרה יחסית באמצעות תהליכים מחזוריים טבעיים (כדוגמת יערות ודגים). גם כאן ניתן להבחין בין שתי תתי-קטגוריות: משאבי טבע מתחדשים שזמינותם אינה מושפעת מצריכה (דוגמת אנרגיית שמש ורוח), ואלה שזמינותם מושפעת מהיקף הצריכה (דוגמת מים שפירים ודגה). צריכתם של האחרונים מעבר לקצב ההתחדשות הטבעית שלהם תביא, בסופו של דבר, להתכלותם (OECD, 2011b). תרשים 1 מתאר את הטקסונומיה של משאבי הטבע כפי שתוארה לעיל, ומכיל דוגמאות למשאבי הטבע הבולטים של ישראל.

## תרשים 1: טקסונומיה של משאבי טבע

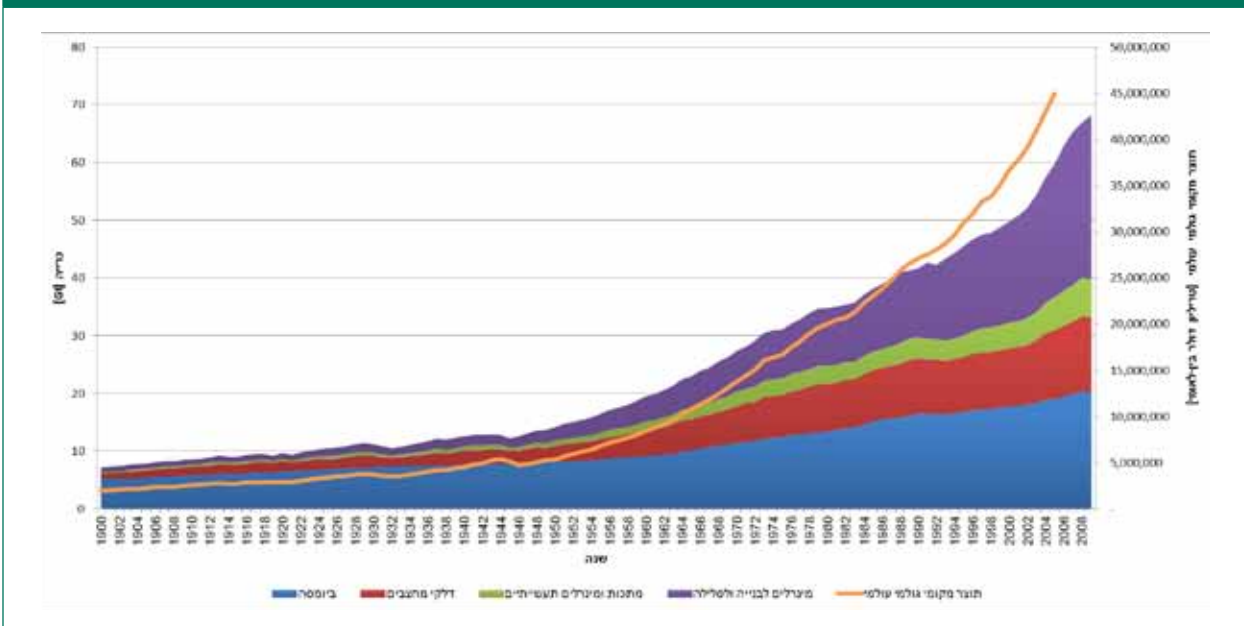


מקור: לאוטמן, לסטר וקרני, 2013.

במהלך המאה ה-20 חל שיפור חסר תקדים באיכות חיי בני האדם, ובו בזמן התרחש גידול חסר תקדים בצריכת משאבי הטבע. הקדמה הטכנולוגית, הצמיחה הכלכלית והגידול הדמוגרפי הניעו את השימוש במשאבי הטבע השונים, ולאורך המאה גדלה כריית כלל המחצבים לבנייה פי 34, כריית מינרלים (בהם מתכות) גדלה פי 27, והפקת גז ונפט גדלה פי 12

(תרשים 2) (United Nations, 2011). רק בשלושים השנים האחרונות התרחשה עלייה של 80% בהיקפי כריית המשאבים, ובראייה עתידית לעבר שנת היעד 2050 מנבא התרחיש 'עסקים כרגיל' עלייה של 300% בצריכת המשאבים העולמית לעומת המצב כיום. דבר זה יגביר דרמטית את התחרות על מציאת המשאבים והפקתם (Dittrich et al., 2012). מגמות דומות נראות היטב גם במדינת ישראל. הביקוש למוצרי כרייה וחציבה למשק הבנייה והסלילה עולה בהדרגה, ועל פי התחזיות הקיימות יגדל הביקוש עד שנת 2020 ב-194% לעומת שנת 1995 (משרד הפנים, 2010). גם במשק הפוספט נראית עלייה דומה, ועל פי התחזיות, הביקוש לפוספט עתיד לגדול בכ-3% בשנה (ביין וסלוטקי, 2011).<sup>1</sup>

## תרשים 2: היקפי הכרייה של משאבי הטבע בעולם לאורך המאה. היקפי הכרייה מובאים בג'יגה-טונות. ניתן לראות הלימה בין העלייה בתמ"ג לבין הגידול בכריית משאבי הטבע.



מקור: Krausmann et al., 2009.

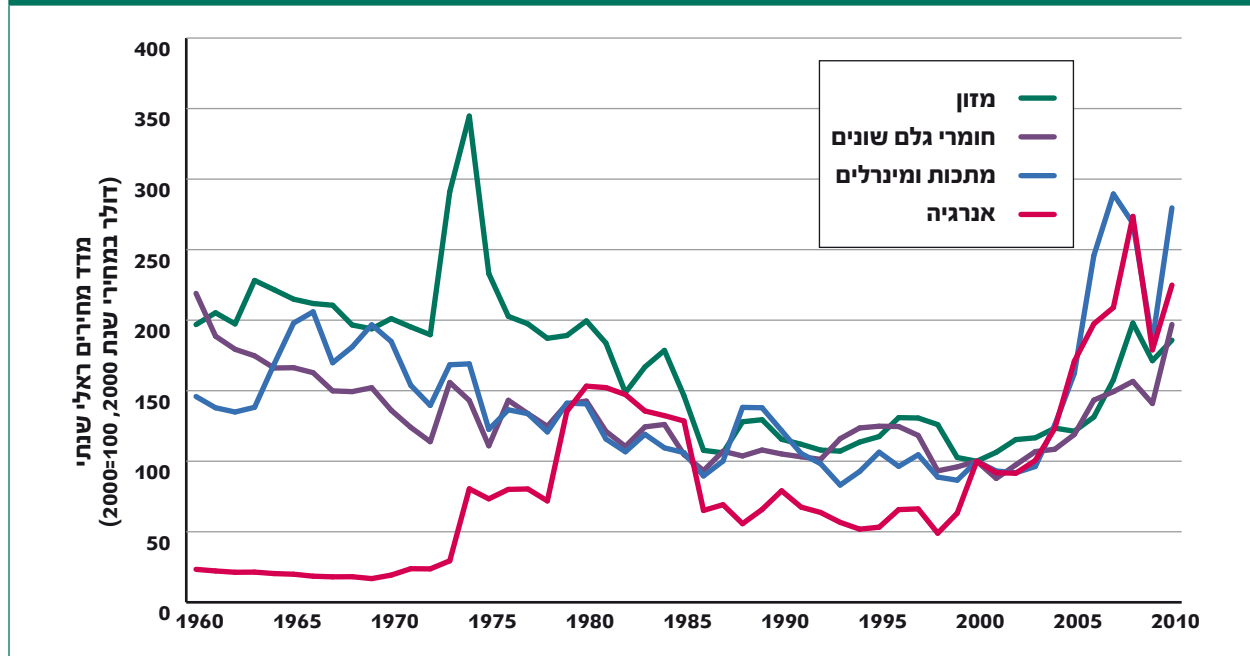
ישראל, שלא כמו מדינות כדוגמת קנדה, רוסיה וסין, היא מדינה ענייה במשאבי טבע (למרות תגליות הגז האחרונות). התעשייה הישראלית היא גורם חשוב ברמה הבין-לאומית רק במספר מצומצם מאוד של משאבי טבע ליצוא. העיקריים שבהם הם אשלג, פוספט, ברום ומגנזיום (USGS, 2012). עובדה זו היא סיבה מספקת בפני עצמה כדי לעבור לניהול בר-קיימא של משאבי הטבע בישראל ולאסטרטגיה רחבה של ניהול חומרים, הכוללת את כל החומרים המיובאים לצורכי התעשייה השונים, במיוחד בעידן השימוש במשאבים מתגבר בו. ההשלכות של השימוש הגובר במשאבי הטבע יוצרות עניין רב גם בקרב מקבלי החלטות, קובעי מדיניות וחברות. בקרב כל אלה מתחילה להתגבש אסטרטגיה לניהול משאבים, וזאת בהתאם למגמות מקומיות ועולמיות בנושא משאבים וניהולם, שעיקריהן מובאים להלן:

<sup>1</sup> סלע הפוספט (phosphate rock) הוא סלע עשיר ביסוד זרחן (P). יסוד הזרחן, על שלל תרכובותיו, משמש את האדם במגוון מוצרים ותעשיות (ראו בהרחבה פרק 6).

1. **הרס שטחים פתוחים והתנגדות ציבורית ורחבה** – השימוש הגובר במשאבי הטבע, בעולם בכלל ובישראל בפרט, גורם לפגיעה בשירותי המערכת האקולוגית החל בהרס נופי, דרך גריעת שטחים פתוחים ועד זיהום מי תהום, זיהום אוויר או הכחדת בתי גידול ומינים. במדינה קטנה כמו ישראל, שעתודות הקרקע בה מוגבלות, נדרש הליך תכנון זהיר, מושכל, רחב ובעל ראייה כוללת להקצאת מקומות כרייה וחציבה של משאבי טבע. הליכי התכנון נתקלים בהתנגדות ציבורית רחבה (נִמְבִּי – NIMBY)<sup>2</sup> ובקושי רב באישור תוכניות לכרייה ולחציבה של משאבי טבע (ראו פירוט בפרק 4.2) (לאוטמן, לסטר וקרני, 2013).
2. **התדלדלות משאבים** – השימוש המוגבר במשאבי הטבע מביא להתדלדלותם ולנדירותם של משאבים מסוימים, דבר הגורם להגדלת הפגיעה הסביבתית כאשר הפקת המשאב דורשת מאמץ רב יותר, ומשפיעה גם על מחירי המשאבים. כך נוצר מעגל משוב חיובי המביא לעליית מחירים עולמית, להגברת התפוקה ולהגדלת הפגיעה הסביבתית. דוגמה לכך היא התדלדלות מרבצי המתכות והמינרלים, כגון נחושת, עופרת כסף וזהב (World Resource Forum, 2013), שהביאה לעלייה מתמדת בעלויות ההפקה.
3. **עליית מחירים עולמית** – לאחר ירידה מתמשכת במחיר משאבי הטבע השונים, שנמשכה עד לשנת 2000 לערך, אנו עדים לעליית מחירים משמעותית במרבית משאבי הטבע, כחלק ממגמה עתידית מתמשכת (תרשים 3) (World Bank, 2011). בקשר ישיר לסעיף 2, ניתן להסביר את עיקר עליית המחירים בגורמים הבאים: הדרישה להם גוברת; עלות הפקתם גדלה משמעותית (כתוצאה מהתדלדלותם); חלק מהעתודות של משאבי הטבע מרוכזות במספר מצומצם של מדינות, שחלק מהן לא יציבות פוליטית. **נראה כי תם עידן משאבי הטבע הזולים, הנמצאים בשפע, וכי עליית המחירים והתדלדלות המשאבים משפיעות על הכלכלה הלאומית והעולמית** (EUROPEAN COMMISSION, 2011b). לדוגמה, עליית מחירי הנפט והפחם בעשור האחרון הובילה לעלייה במחירי החשמל ובמחיריהם של מאות מוצרי צריכה שונים.

<sup>2</sup> נִמְבִּי"י [=נגד מיקום בחצרי] – קיצור של המונח באנגלית NIMBY (Not In My Back Yard). המונח מתאר סירוב של תושבים שיקימו בסביבה שלהם מיזם המשפיע על הסביבה. בדרך כלל, מדובר במיזמים שייתכנו בהם מטרדי רעש, ריח וחומרים מסוכנים, אבל גם, להבדיל, מיזמים, שיש להם היבטים חברתיים, כגון: מוסדות גמילה מסמים, בתי סוהר ומעונות לטיפול באנשים עם מוגבלויות (אהרוני ואח', 2013).

תרשים 3: מדד מחירים ראלי שנתי (דולר במחירי שנת 2000, 2000 = 100) של משאבי טבע שונים משנת 1960 ועד 2010. ניתן לראות מגמת ירידה כללית עד לשנת 2000 (מלבד אנרגיה), שלאחריה עלייה חדה במחיר כלל המשאבים.



מקור: World Bank, 2011.

4. **יסודות קריטיים לתעשייה** – מגמה מעניינת עולה כאשר בוחנים את השימוש במשאבי טבע בתעשיות השונות. למשל, אם בשנת 1980 שימשו 11 יסודות עיקריים לייצור מעגלים אלקטרוניים, כיום מעל 45 יסודות משמשים בתהליך הייצור, וחלק מהם מוגדרים כיסודות קריטיים וכעפרות נדירות (Johnson et al., 2007).<sup>3,4</sup> רוב המרבצים הכלכליים של יסודות אלה נמצאים בשטחה של סין, האחראית על מעל ל-97% מייצורם כיום (Humphries, 2012). נוסף על כך, שיעור המחזור של מרבית היסודות הללו עומד על פחות מ-1% (UNEP, 2011b). עובדות אלה, בשילוב העובדה כי באחרונה החלה סין להטיל מגבלות על יצוא חלק מן היסודות הקריטיים והעפרות הנדירות, מעלות שאלות רבות באשר לעתיד התמחור של משאבי הטבע הללו, לאופי המסחר העתידי ולהבטחת האספקה של יסודות אלה לתעשיות השונות, שנעשות תלויות יותר ויותר במגוון רב של יסודות (Humphries, 2012).

<sup>3</sup> על פי האיחוד האירופי, יסודות קריטיים (Critical Minerals) מוגדרים כיסודות בעלי פוטנציאל גבוה להיות במחסור לצורכי אספקה לתעשייה ובעלי השפעה נרחבת על הכלכלה ביחס ליסודות אחרים. יסודות אלה הם: אנטימון, בריליום, קובלט, פלואוריט (מינרל), גרמניום, גרפיט (מינרל), אינדיום, מגנזיום, ניאוביום, קבוצת הפלטינה (שישה יסודות), טנטלום, טונגסטן והעפרות הנדירות (EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

<sup>4</sup> עפרות נדירות הן יסודות ששכיחותם בקרום כדור הארץ לאו דווקא נמוכה, אלא שהם מפוזרים ואינם מרוכזים דיים במרבץ אחד (כתוצאה מתכונות גאוכימיות), דבר המקשה על כרייתם ועל ההיתכנות הכלכלית להפקתם. יסודות אלה הם 15 היסודות מקבוצת הלנתנדים וכן סקנדיום ואיטריום. סין מספקת כ-97% מהצריכה העולמית של יסודות אלה (EUROPEAN COMMISSION, 2010b; Humphries, 2012).



2012). באופן דומה, קיימת מגמה של תחרות בין מדינות על השליטה במאגרים של משאבי טבע שיש להם פוטנציאל כלכלי גדול, כגון נפט וגז טבעי (דוגמת מאגרי האנרגיה מתחת לאוקיינוס הקרח הצפוני).

#### 5. מהפכת המידע ומעורבות הציבור - בשנים האחרונות אנו עדים למגמה חברתית חדשה שלא ניתן להתעלם

**ממנה** – מהפכת המידע, הרשתות החברתיות ומדיניות התקשורת החדשות, המנגישות מידע רב לציבור ומאפשרות לו להתערב ולהשפיע בסוגיות שעד כה היו ממודרות. הנגישות אף הולידה את הדרישה ההולכת וגוברת לשקיפות שלטונית מצד ממשלות. מעורבות זו באה לידי ביטוי בישראל בפרוץ המחאה החברתית בקיץ 2011 ובאחרונה עם ההתנגדות הציבורית העזה לסוגיית יצוא הגז ולמסקנות 'ועדת צמח', שבמידה מסוימת הובילו לשינויים בהן. למעשה, הציבור בישראל החל לדרוש מנבחרי מתן תשומת לב לסוגיית ניהול משאבי הטבע בכלל, ולשאלת היקף התקבולים הראוי המגיע מהן בפרט, וכן הסבר מניח את הדעת לגבי אופן השימוש בכספי התקבולים (ראו פירוט בפרק 4.2).

מן המגמות והעובדות לעיל עולות שאלות מהותיות, אסטרטגיות ודיפלומטיות הנוגעות לשאלת ניהול משאבי הטבע של המדינה:

- מה יהיו המחירים העתידיים של משאבי הטבע?
- כיצד ניתן להבטיח את אספקת משאבי הטבע וחומרי הגלם לצורך הבטחת קיומן העתידי של התעשיות השונות?
- מהם היקפי הכרייה השנתיים והיקפי היצוא של משאבים בישראל שיש להתיר, כדי שיוותרו די משאבים לדורות הבאים? האם יש לשמור עתודות אסטרטגיות? מהו הערך המוסף של השימוש במשאבים אלה?
- מהו המחיר שמשקף נכונה את עלות השימוש במשאבי הטבע? כיצד יש לקבוע עלויות חיצוניות?
- כיצד ניתן לעודד את יעול השימוש במשאבים בשלבים השונים החל בכרייה, דרך ייצור, עבור בשימוש וכלה בסוף מחזור חיים?

כיוון שמשאבי הטבע הם מרכיב בסיסי לכלכלה ולרווחת האדם ובשל הגלובליזציה והסחר במשאבים בין מדינות שונות, ישנה חשיבות מכרעת לאופן ניהול משאבי הטבע של כל מדינה, בדגש על הגברת היעילות הכלכלית-סביבתית בכל שלבי שרשרת התהליך, החל בשלב הכרייה ועד שלב סוף החיים. למעשה, תפיסת ניהול משאבי הטבע צריכה להיות אינטגרטיבית, בהסתכלות כוללת על המשק ועל תזרימי החומרים בו, ולאגד את כלל משאבי הטבע תחת מדיניות אחידה. שיפור היעילות הכלכלית-סביבתית בשימוש במשאבי הטבע הוא בסיס להשגת צמיחה ירוקה. ניתוק הצמיחה הכלכלית משימוש ופגיעה במשאבי טבע (decoupling) הוא תנאי הכרחי להשגת צמיחה זו.

ואכן, כפועל יוצא ומההבנה של כלל הנאמר מעלה, מרבית מדינות המערב, ובפרט מדינות האיחוד האירופי והמדינות החברות בארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים (OECD), חרטו על דגלן את ניהול משאבי הטבע, ייעול השימוש במשאבים וראיית מחזור החיים, כחלק מאסטרטגיות לפיתוח בר-קיימא ולהשגת צמיחה ירוקה וכלכלה מחזורית. למעשה, בשנים 2010 ו-2011 הכריזו בהתאמה, האיחוד האירופי – על היוזמה "אירופה יעילה במשאבים", וארגון ה-OECD – על "אסטרטגיה להשגת צמיחה ירוקה" במדינות החברות, שבמרכזה נושא ייעול השימוש במשאבים (EUROPEAN COMMISSION, 2011b; OECD, 2011a). גם בישראל בשנת 2011 התקבלה החלטת ממשלה על גיבוש תוכנית לאומית לצמיחה ירוקה לשנים 2012–2020 (ראו פרק 4.2) (המשרד להגנת הסביבה, 2011).

במחקר זה מוצגות מגמות עולמיות בניהול משאבי טבע וייעול השימוש במשאבים, וכן תמונת מצב הניהול של משאבי הטבע בישראל. כמו כן, מוצעת שיטה לניתוח שרשרות הערך במשק שבנויות על משאבי הטבע הקיימים, לשם המחשת הפוטנציאל הגלום בכך לצורכי ניהול משאבי הטבע של מדינה. כמקרה בוחן לניתוח כלכלי-סביבתי מסוג זה נבחרה תעשיית כריית הפוספט בישראל. לבסוף, ניתנות המלצות אופרטיביות, בהתאם למסקנות ממקרה הבוחן, כמסגרת לניהול משאבי הטבע שתעזור להביא לניתוק הצמיחה הכלכלית משימוש במשאבי הטבע ומפגיעה בהם.

## 2. מטרת המחקר

בבסיס ניהול משאבי הטבע עומד עיקרון הגורס כי כדי לדעת כיצד לנהל את משאבי הטבע יש לדעת מה יש לנהל (קוט ובניקה, 2012), ובמילים אחרות – יש צורך בנתונים כמותיים על אודות כמות משאבי הטבע ואיכותם ועל זרימת החומרים במשק. ככלל, ניתן לציין שעד לשנים האחרונות נשען ניהול משאבי הטבע ברמת המדינה בעיקר על מיפויים גאולוגיים של כמויות המשאבים ואיכותם, אך כפי שנראה בפרק 4, במדינות רבות בעולם הבינו כי יש צורך בנדבך נוסף שיספק מידע על אודות נתיבי זרימת החומרים אלה, בתוך המשק ומחוצה לו (material flow analysis). נדבך זה נועד לענות על הצורך בשימוש חוזר בחומרים, במחזור ובייעול השימוש במשאבים, ואף לבחון תועלת כלכלית מול עלויות סביבתיות של תהליכי ייצור. בישראל קיימים סקרים גאולוגיים על אודות כמויות המשאבים ואיכותם (שגב, שירב ונצר-כהן, 2004), והנושא אכן זוכה להתייחסות. מצד שני, תזרים החומרים במשק הוא נושא שכלל אינו נמצא בשיח הציבורי, ורק בשנים האחרונות החל להיחקר באקדמיה בישראל. ראיית תזרים החומרים אל המשק, בתוכו ומחוצה לו, מספקת תובנות בנושאים הבאים: ניהול החומרים במשק, יעילות השימוש במשאבים, יעילות תהליכי הייצור, הזדמנויות לתעשייה, זרימת הפסולת ותיעול פסולת של תעשייה אחת למשאב עבור תעשייה אחרת. למעשה, היא יכולה לשמש בסיס לצורך קביעת יעדי חיסכון במשאבים ולקביעת מדיניות בנושאים אלה.

המחקר נועד לבחון כיצד מתבצע ניהול משאבי הטבע בעולם ובישראל, ולהמחיש כיצד ניתן לבחון את היעילות הכלכלית-סביבתית של התעשייה בעזרת בחינת תזרים החומרים, כחלק משלב הכרחי טרם קבלת החלטות הנוגעות לניהול משאבי הטבע של המדינה. המחקר עושה שימוש בשיטת ניתוח שרשרת הערך (Value Chain Analysis). שאלת המחקר היא מה היעילות הכלכלית-סביבתית של שרשרות הערך הבנויות על משאבי הטבע בישראל. כדי לענות על שאלה זו משמשת תעשיית הפקת הפוספט בישראל כמקרה בוחן לניתוח זה, הן משום שהיא נדבך משמעותי לכלכלת ישראל כולה, ובפרט לדרום הארץ כמעסיק בולט, הן כיוון שתעשייה זו נמצאת על סדר היום הציבורי תחת שאלת ניהול משאבי הטבע של המדינה – כסוגיה כלכלית וסוגיה סביבתית כפי שמפורט בפרק 6.

## 3. שיטת המחקר

שיטת המחקר מתחלקת לשני חלקים מרכזיים שונים במהותם. החלק הראשון עוסק בשאלת הניהול הראוי של משאבי הטבע, וכולל סקירת ספרות על אודות מגמות עולמיות הקשורות לשימוש במשאבי טבע ולהיבטי מסחר, סקירת המדיניות בעולם ובישראל, ניתוח סוגיות במשילות והיבטי מדיניות ציבורית. החלק השני עוסק בניתוח כלכלי-סביבתי כדי לענות על שאלת המחקר, וכולל הסתכלות על שרשרת הפקת משאב הפוספט בישראל, ללא שרשרת המשך מחוץ לישראל, ובוחן אותה

באמצעות כלי ניתוח שרשרת הערך (Value Chain Analysis) בצורתו המורחבת, המשלב את הראייה הכלכלית-סביבתית (ראו פרק 5). ראייה זו הכרחית לצורך הבנת תהליכי הייצור השונים והפוטנציאל לניהול המשאב ולייעול השימוש בו.

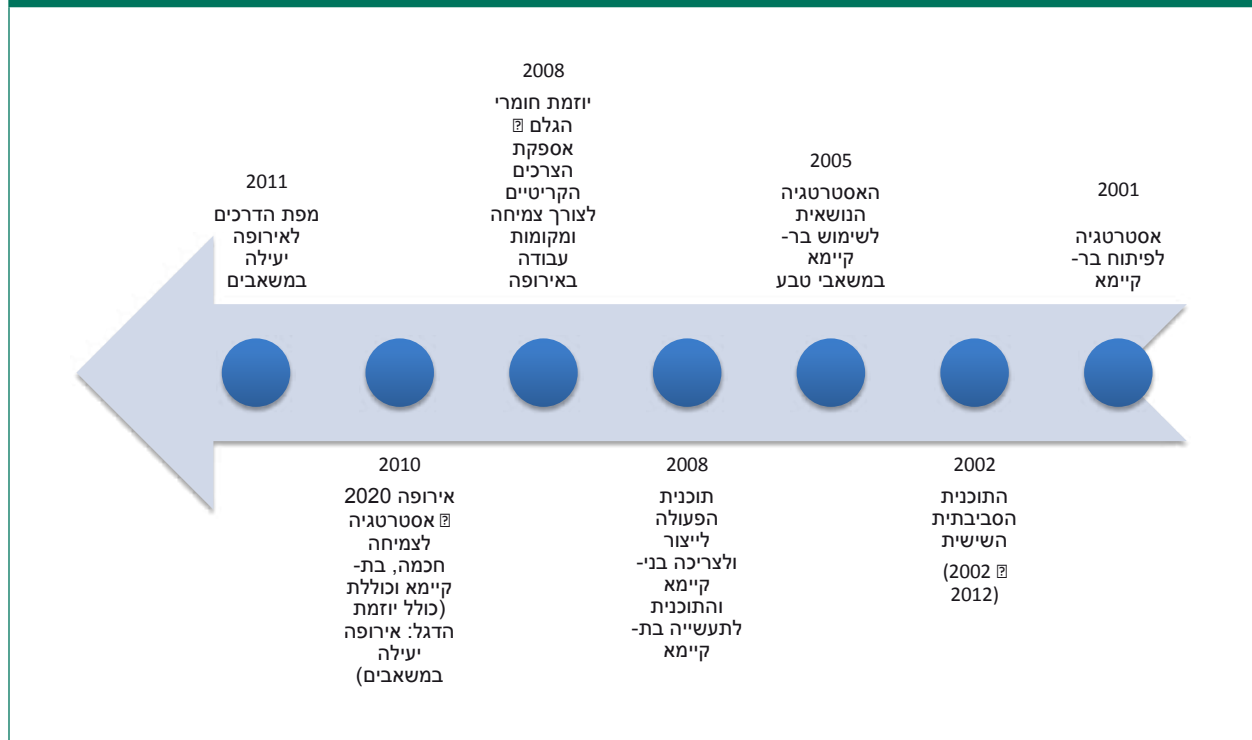
## 4. מגמות לייעול השימוש במשאבים

בפרק זה נסקרות בקצרה יוזמות לייעול השימוש במשאבים במדינות שונות בעולם בדגש על מדינות האיחוד האירופי, במטרה להבין את המתרחש בעולם ולראות אילו מגמות מסתמנות בתחום משאבי הטבע. לאחר מכן נסקר המצב בישראל, ומוצגים הפערים המרכזיים בניהול משאבי הטבע בישראל כיום.

### 4.1 סקירת מדיניות בעולם

בשנת 2010 השיק האיחוד האירופי את תוכנית הדגל האירופית לשנת 2020 תחת הכותרת "אסטרטגיה לצמיחה חכמה, בת-קיימא וכוללת" (EUROPEAN COMMISSION, 2010a). אחת משבע תוכניות הדגל של האסטרטגיה היא יוזמת "אירופה יעילה במשאבים". יוזמה זו שמה לה למטרה לתמוך במעבר לכלכלה יעילה במשאבים, בעלת מדרך פחמן נמוך, שיעילה באופן השימוש שלה בכלל משאביה. היוזמה היא תוצר של עבודה רבת שנים בנושאים כגון: צמיחה ירוקה, ניהול חומרים, יעילות השימוש במשאבים וניהול בר-קיימא של משאבים, וניתן לראות זאת בציר הזמן בתרשים 4. בשנת 2005 אימץ האיחוד האירופי אסטרטגיה נושאת לשימוש בר-קיימא במשאבי טבע (EUROPEAN COMMISSION, 2005b), וב-2008 אישר תוכנית פעולה לייצור ולצריכה בני-קיימא ומדיניות לתעשייה בת-קיימא (EUROPEAN COMMISSION, 2008a) וכן יוזמה להבטחת האספקה של חומרי גלם לאירופה (EUROPEAN COMMISSION, 2008b).

## תרשים 4: עיקר התפתחות אסדרת ניהול משאבי טבע באיחוד האירופי במהלך העשור האחרון



מקור: מכון מילקו, 2013.

יוזמות אלה, ובפרט היוזמה ל"אירופה יעילה במשאבים" נולדו ממספר תובנות מרכזיות, ובהן העובדה כי כלכלת אירופה תלויה רבות ביבוא נרחב של חומרי גלם; למעשה כאשר מסתכלים על המאזן יבוא-יצוא, אירופה היא היבואנית הגדולה ביותר של משאבי הטבע בעולם (Dittrich et al., 2012). נוסף על כך, העובדה כי אירופה מסתמכת על יבוא של חומרי גלם רבים, בהם עפרות נדירות ויסודות הקריטיים לתעשיות שונות (כדוגמת אנטימון וקובלט), שמקורם במדינות שאינן יציבות פוליטית, הייתה נדבך נוסף בצורך באסטרטגיות ליעול השימוש במשאבים ולהבטחת אספקה של מינרלים לאירופה. תובנה מרכזית נוספת נוגעת לכוחו של יעול השימוש במשאבים להביא להגדלת הצמיחה הכלכלית של אירופה, להבטחת תעסוקה וליצירת מקומות עבודה רבים נוספים. לפי מקינוזי, יעול השימוש במשאבים יכול ליצור בין 9 מיליון ל-25 מיליון מקומות עבודה ברחבי העולם (Dobbs et al., 2011). יתרה מזו, נראה כי התפיסה של ניהול משאבי הטבע ויעול השימוש במשאבים צמחה מתוך מהפכת הפסולת שהונהגה באיחוד האירופי עוד בתחילת שנות ה-80. ראוי לציון פרסום התוכנית האסטרטגית לניהול פסולת בשנת 1996, שהולידה חקיקות מרכזיות בעשור שלאחר מכן.<sup>5</sup> אסטרטגיה זו לא הצליחה להוביל להפחתת כמויות הפסולת, ולכן ב-2002 אחת מארבע המטרות המרכזיות של התוכנית התמטית השישית לאיכות הסביבה של האיחוד האירופי הייתה להבטיח ניהול בר-קיימא של משאבי טבע ופסולת (EUROPEAN COMMISSION).

<sup>5</sup> Community Strategy for Waste Management (1996) הניחה מספר עקרונות מרכזיים, כגון היררכיית זרמי הפסולת וחשיבות הזרמים השונים וכן עקרון 'המזהם משלם', וסיפקה תמריצים להפחתת עלויות המחזור (EUROPEAN COMMISSION, 2005a).

(2005a).<sup>6</sup> כך לדוגמה, במחוז פלנדרס שבבלגיה החלה מהפכת הפסולת ב-1975, והובילה להורדת אחוז הפסולת המוטמנת במחוז ל-1% ולמחזור של למעלה מ-70%. עם השנים היא התפתחה לאסטרטגיות לניהול בר-קיימא של חומרים, לניהול משאבי טבע, משק האנרגיה, הקרקעות ועוד, כחלק מאבולוציה טבעית לתפיסה מערכתית כוללת של משאבי הטבע וחומרי הגלם ובהתאם להנחיית האיחוד האירופי (Van de Velde, 2013). כמו כן, מדינות רבות באיחוד האירופי כבר החלו בצעדים להשגת היעדים שנקבעו ביוזמת "אירופה יעילה במשאבים". לדוגמה, בשנת 2010 פרסם המשרד לכלכלה ולטכנולוגיה של גרמניה אסטרטגיה להבטחת אספקה של חומרי גלם לגרמניה (German Federal Ministry of Economics and Technology [BMW], 2010). במסגרת האסטרטגיה נקבעה מסגרת לאומית לתוכנית לייעול השימוש במשאבים (ProgRes) שהציבה יעדים ברורים לייעול המדובר, לוח זמנים, סְחָנִים ועוד. בשנת 2012 התפרסם בגרמניה דוח מקיף על אודות התקדמות התוכנית לייעול השימוש במשאבים (Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety [BMU], 2012).

בד בבד עם הפעולות של האיחוד האירופי, הקים ארגון האומות המאוחדות בשנת 2007 פאנל בין-לאומי בנושא ניהול חומרים בר-קיימא (International Panel on Sustainable Resource Management). הפאנל הורכב מטובי המומחים בעולם כולו, במטרה לספק הערכה מדעית עצמאית בנושא שימוש בר-קיימא במשאבי טבע וההשפעות הסביבתיות של שימושים אלה במהלך מחזור החיים, וכן לפתח כלי מדיניות לניהול בר-קיימא של משאבי טבע (United Nations, 2013).

נוסף על כך, בשנת 2004 חתמו מדינות ה-OECD על היוזמה לשיפור המידע על אודות תזרים חומרי הגלם (Material Flow Analysis — MFA) ועל יעילות השימוש במשאבים, וב-2008 חתמו על היוזמה לפיתוח מדדים ליעילות השימוש במשאבים, על יישום מדיניות להגברת היעילות ועל הפחתת ההשפעות הסביבתיות מההפקה ומהשימוש בחומרי גלם (OECD, 2011b).

בקנדה, אוחדו בשנת 1995 משרד האנרגיה, המכרות והמשאבים ומשרד היערות, למשרד משותף בשם 'משרד המשאבים', כחלק מתפיסה של קיימות ופיתוח בר-קיימא של המשאבים הטבעיים. המשרד אחראי בין היתר על מיפוי גאולוגי של מחצבי אנרגיה ומינרלים, ייעול השימוש באנרגיה, יערות ומשאבים הקשורים למערכת האקולוגית של היערות, פיתוח מדיניות לניהול משאבי טבע ועוד (קוט ובניקה, 2012). בשנת 2011 פרסם המשרד דוח בנושא תוכניות לפיתוח בר-קיימא וסדרי עדיפויות לשנים 2011–2012. הדוח מתאר את אופן ניהול משאבי הטבע הן לפי עקרונות פיתוח בר-קיימא הן לצורכי מינוף כלכלי לרווחת המדינה. בדוח מופיעות למשל יוזמה לפיתוח וליישום של טכנולוגיות ירוקות לכריית מחצבים, יוזמה למימון מיזמים המייעלים את השימוש במשאבים תוך שמירה על עקרונות פיתוח בר-קיימא ועוד (Natural Resources Canada, 2011; Public Service Commission, 2011). למעשה, דוח זה הוא המשך ישיר לאסטרטגיה הפדרלית לפיתוח בר-קיימא של ממשלת קנדה שפרסם ב-2010 משרד הסביבה הקנדי, שמטרתה לקדם פיתוח בר-קיימא וניהול מושכל של משק משאבי הטבע בקנדה (Sustainable Development Office, 2010).

בארה"ב נראה כי ניהול משאבי טבע וייעול השימוש במשאבים מצויים עדיין בשלביהם המוקדמים. בשנת 1965 אישר הקונגרס את התוכנית לטיפול בפסולת מוצקה, שהתרכזה בעיקר בשיפור השליטה במערך פינוי הפסולת בערים ובנושאי

<sup>6</sup> [http://www.eauc.org.uk/eu\\_waste\\_strategy](http://www.eauc.org.uk/eu_waste_strategy)

הבטיחות בהטמנה.<sup>7</sup> מהר מאוד התברר כי התוכנית אינה נותנת מענה לכמויות הפסולת ההולכות וגדלות, לבעיית המקום במטמנות, וכן לטיפול הראוי בפסולת מסוכנת.

הקמת הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה ב-1970 (EPA) אפשרה איסוף וניתוח של המידע על אודות הטיפול בפסולת ברחבי ארה"ב, והניחה את התשתית לתוכנית לשימור משאבים שאושרה בקונגרס ב-1976.<sup>8</sup> לתוכנית שלושה יעדים עיקריים: הבטחת ניהול הפסולת למניעת מפגעים תברואתיים; הפחתת כמויות הפסולת; שימור אנרגיה ומשאבי טבע דרך מחזור ושימוש חוזר. מיעדים אלה עולה כי עיקר המאמץ הופנה אל שלב סוף החיים של המשאבים ולטיפול בפסולת (EPA, 2002). החל בסוף המאה ה-20 פורסמו תוכניות ואסטרטגיות המעודדות ייעול של שימוש במשאבים (תחת הכותרת של ניהול משאבים) בתעשיות השונות, שהתבססו על תמריצים כלכליים. אך גם כאן, יוזמות אלה התרכזו סביב הפחתת פסולת הייצור והעלאת אחוזי המחזור (EPA, 2001). בשנת 2002 פרסם המשרד האמריקאי להגנת הסביבה דוח שהפריד בין ניהול הפסולת לבין ניהול חומרים (EPA, 2003). הדוח הראה כי יש לבצע שינוי מחשבתי, מתפיסת ניהול הפסולת לתפיסת ניהול החומרים. בעקבות זאת, מונתה בשנת 2007 קבוצת עבודה שמטרתה שרטוט מפת הדרכים למעבר זה, וממצאיה פורסמו בדוח בשנת 2009 (EPA, 2009). הדוח הצביע על שלוש פעולות הכרחיות: (1) קידום נושא ניהול החומרים בכל שלבי החיים של משאב הטבע; (2) בניית מאגרי מידע וקידום מו"פ וכלי אסדרה לעידוד הפחתת הפגיעה במשאבי טבע; (3) קידום הנושא ברמה הלאומית על ידי דיאלוג פתוח ושיתוף ידע. ניתן לראות כי בדומה למחוז פלנדרי שבדוגמה לעיל, גם בארה"ב ישנו מעבר מתפיסת ניהול פסולת לתפיסת ניהול חומרים המסתכלת על כלל משאבי הטבע לאורך כל שרשרת הייצור, אך בעיכוב של למעלה מעשור.

נוסף על כך, בשנים 2010 ו-2011 פרסם משרד האנרגיה האמריקאי אסטרטגיה ליסודות קריטיים, המתמקדת ביסודות הקריטיים למשק האנרגיה כולו ולאנרגיות מתחדשות בפרט (U.S. Department of Energy, 2010, 2011). האסטרטגיה מכילה סקירה של מגמות עתידיות לדרישה ולאספקה של היסודות, ומכילה שורה של המלצות מדיניות, בעיקר בתחומים של איסוף מידע, פיתוח חלופות, שיפור המחזור, שימוש חוזר, ייעול השימוש ביסודות ופיתוח קשרי מסחר. כמו כן מכילה האסטרטגיה סקירה על תוכניות המחקר והפיתוח שנעשות ברחבי ארה"ב בנושא, שמתמקדות בעיקר במטרה למצוא חלופות ליסודות הקריטיים בתעשיות ובשימושים השונים (DEFRA, 2012).

בסין לוותה הצמיחה הכלכלית המהירה בעשורים האחרונים בהתדלדלות משמעותית במשאבי הטבע, לצד יעילות נמוכה של שימוש במשאבים והשקעה מעטה במחזור ובטיפול בפסולת, וגרמה זיהומים סביבתיים רבים (World Bank, 2009a). בשנת 2005 צרכה סין 15.8% מהמים השפירים בעולם, 26% מהפלדה, 25% מהאלומיניום ו-47% מהצמנט. ממשלת סין העריכה כי ב-2004 הגיעה העלות הבריאותית והסביבתית של המפגעים הסביבתיים ל-3.05% מהתמ"ג, ולמעשה הבינה כי מגמות אלה אינן יכולות להימשך (World Bank, 2009a).

כבר בסוף שנות ה-90 החלו חיפושים אחר מודלים אפשריים לפיתוח בר-קיימא, ומודל הכלכלה המעגלית צבר פופולריות בסין ונתמך על ידי מחקרים רבים בעולם (Dajian, 2008). בסופו של דבר, בשנת 2008 אישר הקונגרס הצעת חוק לקידום כלכלה מעגלית בסין (Standing Committee, 2008), וזאת לאחר שנים של קידום המחקר בנושא, ניסויים לשיפור הביצועיים הסביבתיים במעל 1,325 חברות בתעשיות שונות והקמת 256 פארקים אקו-תעשייתיים. בו בזמן, פותחו

<sup>7</sup> Solid Waste Disposal Act (SWDA), 1965

<sup>8</sup> Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), 1976

אסטרטגיות להקמת תעשיות 'ירוקות', בוצעו הסבות טכנולוגיות לתעשיות מזהמות ולא יעילות, והוקמה רשת עבודה בין משרדי הממשלה השונים לטובת העניין (Dajian, 2008; OECD, 2012).

הכלכלה המעגלית בכלל ובסין בפרט, מבוססת על עיקרון של ניתוק הצמיחה הכלכלית מפגיעה במשאבי טבע ומשימוש בהם (decoupling) ועל עקרון ה-R3 (Reduce, Reuse, Recycle) בכל שלבי מחזור החיים של המוצר. גישה זו מתמקדת בייעול השימוש במשאבים וחומרי הגלם ושואפת לסגירת המעגל הכלכלי-סביבתי. המשמעות היא מעבר מתרשים זרימה לינארי, שמתאר שימוש במשאבי הטבע למוצרים המסיימים את חייהם באתרי הטמנה כפסולת, לתרשים מעגלי, שהמוצרים בו ניתנים למחזור ולשימוש חוזר כמשאב. במסגרת החוק לכלכלה מעגלית, מקודמת בסין מדיניות שתומכת בתחום וחקיקה מתקדמת בנושא, ומפותחים סמנים וכלים אדמיניסטרטיביים נוספים (World Bank, 2009a). יש לציין כי יפן וגרמניה הן חלוצות הכלכלה המעגלית בעולם, והן יישמו מספר רב של חוקים ותוכניות אופרטיביות מתקדמות בתחום (World Bank, 2009a; United Nations, 2011).

התוצאות בשטח נראו בסין כבר בשנת 2010, כאשר התרומה לכלכלה הסינית מהמהלך הניבה מעל טריליון יואן (סדר גודל של 150 מיליארד דולר) והעסיקה מעל 20 מיליון עובדים, בין 20% ל-30% מחומרי הגלם הנדרשים לייצור של פלדה, מתכות ונייר הגיעו ממשאבים מתחדשים, ו-20% מחומרי הגלם לצמנט הגיעו ממחזור פסולת (OECD, 2012). כמו כן, כפי שהוזכר בפרק המבוא, סין אחראית למרבית מתהליכי הייצור של כלל המינרליים הקריטיים והעפרות הנדירות. אסטרטגיה נוספת בניהול משאבי טבע שהחליטה ממשלת סין ליישם היא הטלת מגבלות על יצוא חומרים אלה. המגבלות כוללות הגבלים על כמות המותרת ליצוא, מס יצוא ונוהלי יצוא נוספים (EUROPEAN COMMISSION, 2011a; WTO, 2013). לסיכום, במדינות שונות צמחה מדיניות בהתאם לנגישות למשאבי טבע. בעוד שבסין ובקנדה מטרת המדיניות לניהול משאבי טבע היא לשמור על משאבי הטבע של המדינה ולמזער את הנזק הסביבתי הנלווה לתעשייה, באירופה ובארצות הברית נועדה המדיניות להבטיח את האספקה של חומרי הגלם לתעשייה ואת ייעול השימוש במשאבים, בעיקר לשם הפחתת התלות ביבוא.

## 4.2 סקירת המצב בישראל

בזמן האחרון נמצאים משאבי הטבע, ניצולם וחלוקתם במוקד השיח הציבורי בישראל. נכון להיום אין בישראל תוכנית, אסטרטגיה לאומית או מדיניות כוללת כתובה בנושא ניהול משאבי הטבע או ייעול השימוש במשאבים. תגליות הגז ממשיות לעורר שיח נוקב בשאלת אופן ניצולו והיצוא שלו; כרייה והפקה של מינרלים בים המלח ובנגב ממשיות לעורר

מחלוקת סביבתית וכלכלית; סביב שאלות מורכבות הנוגעות להיקפי כרייה ולתמלוגים של משאבי טבע שונים ממשיכות לקום ועדות מומחים אד-הוק ('ועדת ששינסקי'<sup>9</sup>, 'ועדת 'צמח'<sup>10</sup> ו'ועדת משק הפוספט'<sup>11</sup>).

בפרק זה ראשית נסקרת בקצרה ההתפתחות המדינית בישראל בשנים האחרונות בתחום ניהול משאבי הטבע, כולל העבודה הנעשית בתוכניות המתאר הארציות. לאחר מכן נבחנים הפערים במדיניות לאורך השנים. הזיהוי מתבסס במידה רבה על המחקר שנעשה במשרד להגנת הסביבה בשנה האחרונה (2013), על דוחות מבקר המדינה ועל דוחות ומסמכי מדיניות של גופים ממשלתיים שונים.

#### 4.2.1 התפתחות המדיניות בשנים האחרונות ותוכניות המתאר הארציות

סוגיית ניהול משאבי הטבע עוררה עניין רב בשנים האחרונות, הן בקרב מקבלי החלטות הן בקרב כלל הציבור בארץ, עניין שהגיע לשיאו בעקבות גילוי מקור הגז מול חופי ישראל ועם הקמת 'ועדת ששינסקי' ב-2010 שנועדה לבחון את המדיניות הפיסקלית בנושא משאבי הגז והנפט בישראל. ההתעניינות הציבורית לא פסקה אלא אף גברה עם פרסום מסקנות 'ועדת צמח', אישור סוגיית יצוא הגז בממשלה (יוני, 2013), ואף הגיעה לשיא חדש של התעניינות ציבורית עם הקמת 'ועדת ששינסקי 2' "לבחינת המדיניות לגבי חלק המדינה המתקבל בעד שימוש של גורמים פרטיים במשאבי הטבע הלאומיים"<sup>12</sup>.

עוד בשנת 2011 אישרה הממשלה את ההצעה לגבש אסטרטגיה לאומית לצמיחה ירוקה בישראל לשנים 2012–2020, שאמורה לגבש כלים מומלצים לשימוש מושכל במשאבי הסביבה וצעדים להתייעלות ולחיסכון במשאבים. נראה כי עיקר ההתמקדות של האסטרטגיה היא בצריכה ובפסולת, ופחות באופן כריית המשאבים, בהתייעלות בשלבי שרשרת ההפקה והעיבוד ובניהול אינטגרטיבי של משאבי הטבע (המשרד להגנת הסביבה, 2011). בשנת 2010 בוצע מיזם "תחזית קיימות לישראל 2030" כמיזם משותף של המשרד להגנת הסביבה והמרכז למדיניות סביבתית במכון ירושלים לחקר ישראל. מסקנות הדוח הסופי קבעו כי יש לייצר מדיניות אינטגרטיבית עבור משאבי הטבע הסחירים של מדינת ישראל, שתתמקד, בין היתר, בייעול השימוש במשאבים אלה ובהטמעת שיקולי קיימות בכל שרשרת הפקת המשאב (המשרד להגנת הסביבה

<sup>9</sup> בתאריך 12 באפריל 2010 מינה שר האוצר דאז (ד"ר יובל שטייניץ) את הוועדה לבחינת המדיניות הפיסקלית בנושא משאבי נפט וגז. ליו"ר הוועדה מונה פרופ' איתן ששינסקי. המשימות העיקריות של הוועדה היו: לבחון את המערכת הפיסקלית הנהוגה בישראל בזמן הקמת הוועדה, להציע מדיניות עדכנית ולבחון את השלכות גילוי הגז והנפט העכשוויים והעתידיים על הכלכלה הישראלית (מסקנות הוועדה לבחינת המדיניות הפיסקלית בנושא משאבי נפט וגז בישראל, 2011).

<sup>10</sup> בתאריך 2 באוקטובר 2011 מינו ראש הממשלה ושר התשתיות הלאומיות (כיום שר האנרגיה והמים) את הוועדה הבין-משרדית לבחינת מדיניות הממשלה בנושא משק הגז הטבעי בישראל. ליו"ר הוועדה מונה מר שאול צמח, מנכ"ל משרד האנרגיה והמים. הוועדה התבקשה להמליץ לממשלת ישראל על מדיניות מיטבית במשק הגז הטבעי בישראל (דוח הוועדה הבין-משרדית לבחינת מדיניות הממשלה בנושא משק הגז הטבעי בישראל, 2012).

<sup>11</sup> בספטמבר 2012 מינה מר שאול צמח, מנכ"ל משרד האנרגיה והמים, ועדה בין-משרדית לבחינת משק הפוספט. הוועדה נתבקשה לבחון את ניצול משאב הפוספט בישראל, תוך שימת דגש על כמות פוספט שיש להתיר לכרייה, על אופן ניצול שכבות הפוספט ועל דרך השיקום המומלצת בסיום הכרייה (המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספט, 2013).

<sup>12</sup> בתאריך 17 ביוני 2013 מינה שר האוצר (יאיר לפיד) את הוועדה לבחינת המדיניות לגבי חלק המדינה המתקבל בעד השימוש של גורמים פרטיים במשאבי טבע לאומיים. ליו"ר הוועדה מונה פרופ' איתן ששינסקי. המשימות העיקריות של הוועדה הן לבחון את מכלול המערכת הפיסקלית הקיימת כיום בישראל ולהציע בה שינויים (מלבד במשאבי הגז והנפט) (הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים, 2013).



ומכון ירושלים לחקר ישראל, 2012).<sup>13</sup> בשנת 2006 נעשה ניסיון לגבש מדיניות לאומית לגבי עתיד משאב הטבע ים המלח. המשרד להגנת הסביבה בשיתוף מכון ירושלים לחקר ישראל והמכון הגאולוגי הכינו מסמך מדיניות שמטרתו "ליצור מסד נתונים אמין ומקיף של מכלול התופעות והשינויים המתרחשים בים המלח וחופיו, לנתח את משמעותם ולהמליץ על מדיניות לעתיד האזור". ב-2007 הועברה האחריות על ניהול מרחב ים המלח למשרד התיירות, ומרבית המלצות מסמך המדיניות לא יושמו (ראו פירוט בפרק 4.2) (מבקר המדינה, 2009; המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל, 2012).

בד בבד, מקודמות תוכניות מתאר ארציות למשק הבנייה והסלילה ולמינרלים תעשייתיים (תמ"א 14 ב' ו-14 ג' בהתאמה). תוכניות אלה דנות במדיניות תכנונית להפקת משאבי הטבע שונים לצורכי אספקה למשק לשנים 2040 ו-2045 (תמ"א 14 ב' ו-14 ג' בהתאמה) (משרד הפנים, 2010; לרנר, 2011). אף שצוות התכנון לתמ"א 14 ב' גיבש את מסמך המדיניות עוד בשנת 2010, נכון לכתבת שורות אלה, המסמך טרם אושר רשמית, ואילו הצוות המלווה את הכנת תמ"א 14 ג' עדיין דן במסמך המדיניות. תפקיד מסמך המדיניות הוא לאסוף את כל המידע הקיים עבור חומרי הגלם שהוא מתייחס אליהם, לאמוד תחזיות לביקושים, לאמוד היבטים סביבתיים, לגבש תפיסת תכנון ועקרונות תכנון מרכזיים, אמצעים ליישום ועוד. למעשה, מסמך המדיניות מספק כלים ואמצעים ליישום מדיניות התכנון והניהול של המשאבים, ובוחן צורך לשינויי חקיקה ותקינה, ופעולות מנהליות של רשויות המדינה, כגון: תכנון, הקצאה, ניהול ופיקוח בשלבי השימוש במשאבים (משרד הפנים, 2010). במילים אחרות, מסמך המדיניות, כשמו כן הוא – דן בסוגיות הקריטיות הנוגעות לאופן ניהול משאבי הטבע של המדינה, ולמעשה ממליץ על מדיניות לגופים האמונים על ניהול המשאבים במדינה.

## 4.2.2 פערים במדיניות ניהול משאבי הטבע בישראל

במהלך הכנת מחקר זה זוהו מספר פערים במדיניות ניהול משאבי הטבע בישראל. הפערים הם פערים שנובעים מאסדרה, והם כוללים: ענייני חקיקה וחלוקת סמכויות; פערי מידע הכוללים איסוף מידע על אודות משאבי הטבע ונתיבי זרימת החומרים במשק; פערים מוסדיים הכוללים היבטי תכנון ושיקום. פערים אלה הועלו לאורך השנים בדוחות של מבקר המדינה, בוועדות ממשלתיות שונות (כפי שצוין לעיל), במסמכי מדיניות של גופים ממשלתיים שונים ואף בתחקירים עיתונאיים. להלן עיקריהם:

1. **היעדר מאגר מידע מתעדכן** – כיום, עבור מרבית משאבי הטבע, לא קיים מאגר מידע מסודר, אחיד ועדכני בכל הקשור לכמות משאבי הטבע של מדינת ישראל ולאיכותם, ולמידע על אודות היקפי כרייה, גריעת שטחים פתוחים, היקפי יצוא, עלויות הפקה ועוד, כפי שנהוג, למשל, באיחוד האירופי או בארה"ב. סוגיה זו אף עלתה באחרונה כסוגיה מרכזית בדוח ועדת משק הפוספטים (המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013). לרוב המדינה מקבלת מידע על אודות היקף המשאבים, איכות המשאבים, כמויות הפקה שנתיות והסך לניצול הכלכלי שלהם מהחברות הכורות. חלק מהמידע שקיים, מבוזר בין משרדי ממשלה שונים ובין החברות הכורות, ואין נוהלי דיווח אחידים. נוסף על כך, פעמים רבות קיימת בעיה של שקיפות במידע. במצב דברים זה, וכאשר אין מדיניות ברורה, לא מן הנמנע שיעשה שימוש במידע האסימטרי כמנוף לחץ שלא יאפשר לממשלה להצליח בתפקידה הבסיסי כנאמן הציבור. נוסף על כך, פער בסיסי זה של היעדר נתונים או חוסר בנגישות למידע, מקשה לעתים על היכולת לגבש מדיניות ממשלתית ארוכת טווח, שניתן לגזור ממנה מדיניות תכנונית. כדי לדעת

<sup>13</sup> משאבי טבע סחירים הם מחצבים הנסחרים בשווקים הלאומיים והבין-לאומיים, כגון גז, נפט, מינרלים שונים (דוגמת אשלגן ופוספט) ועוד.

כיצד לנהל יש לדעת מה לנהל – מה כמות המשאבים במדינת ישראל, מה איכותם, מהם היקפי הכרייה, היצוא, היבוא ועוד (קוט ובניקה, 2012).

**2. הסדרי חקיקה ומנגנוני תקבולים לא מעודכנים** – החקיקה המסדירה את הכרייה בישראל מבוססת על פקודה מנדטורית משנת 1925 ('פקודת המכרות'). חקיקה זו אינה מעודכנת. אמנם היא עברה מספר תיקונים לאורך השנים, אך נראה כי אינה מתאימה לצרכים העכשוויים והעתידיים של מדינת ישראל. יתרה מזו, משרד המשפטים כבר הורה מספר פעמים בעבר לקדם תיקון לפקודת המכרות (באחרונה באוקטובר 2011), שיכלול, בין היתר, התייחסות לחלקו של הציבור באוצרות הטבע ובתקבולים. המשרד הדגיש את החשיבות לגיבוש מדיניות כוללת בעניין משאבי הטבע (משרד המשפטים, 2011). כך, למשל, נמצא ששיעור התקבולים בפקודה נמוך מאוד, וחסרים מנגנונים מתבקשים דוגמת מערכי תקבולים מתקדמים, המעודדים ייעול בשימוש במשאבים, קרן לשיקום מכרות והפנמת עלויות חיצוניות. לדוגמה, כיום נקבע שיעור התמלוגים עבור חומרי גלם למשק הבנייה הבניה והסלילה (כדוגמת אגרגט או חול) באופן לא ברור על ידי רשות מקרקעי ישראל. האסדרה היחידה המנחה את הרשות היא פקודת המכרות, הקובעת כי גובה התמלוגים לא יהיה פחות מ-2% משווי המחצב במכרה.<sup>14</sup> בשנת 2008 ערכה הרשות, באמצעות יועץ חיצוני, בחינה מחודשת של מערך התמלוגים עבור מחצבות הפטור. המלצות הדוח קבעו כי יש לעלות את שיעור התמלוגים לחצף אבן מ-2.63 ש לטונה בשנת 2009 ל-22.5 ש לטונה בשנת 2014, ועל ידי כך להביא לתוספת הכנסות של 4 מיליארד ש לקופת המדינה בטווח של עשר שנים (חקלאי, 2009). המלצות אלה לא אומצו על ידי הרשות עד היום. גם מעיני מבקר המדינה לא נעלמה סוגיה זו, ובשנים 1975, 1994 ו-2007 הוא התריע על בעיות בגביית התקבולים על ידי רשות מקרקעי ישראל ועל שיעור התקבולים הנמוך במשק הבנייה והסלילה (מבקר המדינה, 2007).

**3. תופעת ריבוי גורמים והיעדר ראייה כוללת** – אחריות ניהול משאבי הטבע השונים מבוזרת בין גופים שונים בממשלה. לדוגמה, משרד האנרגיה והמים אמון על הסדרת הגז והנפט, על הענקת רישיונות כרייה לתעשיית הפקת הפוספטים ומינרלים נוספים המשמשים את התעשיות, וכן לחומרי גלם למשק הבנייה והסלילה; רשות מקרקעי ישראל אמונה על מתן ההרשאות לשטחים המיועדים לכרייה ולחציבה; רשות המים אחראית על משק המים בכללותו; מנהל התכנון במשרד הפנים אחראי על תכנון והסדרה של שטחי הכרייה והחציבה; משרד הכלכלה והמסחר אמון על ניהול מרחב ים המלח. ריבוי הגורמים האחראים והיעדר ראייה כוללת באים לביטוי בהיבטים רבים. לדוגמה, בעבודת מנהל התכנון של משרד הפנים על תוכנית המתאר הארצית 14 ג' למינרלים לתעשייה: בעוד שהוועדה הארצית דנה בסוגיית היקפי הכרייה בתעשיית הפקת הפוספט, הוקמה ועדה לבחינת משק הפוספט במשרד האנרגיה והמים שגיבשה המלצות משלה לגבי היקפי הכרייה לתעשייה זו. דוגמה נוספת היא מערך גביית התקבולים ממשאבי הטבע – רשות מקרקעי ישראל אמונה על התקבולים ממשק הבנייה והסלילה, משרד האנרגיה והמים אמון על תקבולים מהפקת הפוספטים, ומשרד האוצר אמון על התקבולים מים המלח. ביזור סמכויות זה יצר עבודה רבה למבקר המדינה לאורך השנים, כפי שהוזכר לעיל. תופעת ריבוי הגורמים אינה בהכרח בלתי רצויה, אך כאשר אין אף גוף ששוזר את הפעולות, בעל ראייה אסטרטגית ויד מכוונת, היוצר

<sup>14</sup> החל בשנת 1994 החלה רשות מקרקעי ישראל לפרסם מכרזים לאתרי כרייה וחציבה, כחלק מחוק חובת המכרזים, כאשר התחרות היא על גובה התמלוגים שמי שניגש למכרז מתחייב לשלם למדינה. לעומת זאת, ישנן 29 מחצבות חצף ואבן שקיבלו הרשאה לכרייה לפני חוק חובת המכרזים, והן נקראות "מחצבות הפטור", והרשות קובעת את גובה התמלוגים שלהן (חקלאי, 2009).

מדיניות אחידה וסדורה, נוצר מצב שגבולות הגזרה אינם ברורים בו, האחריות עוברת מיד ליד, והשקיפות כלפי הציבור והעקביות כלפי התעשייה נפגמות.

4. **ריכוזיות** – בישראל מרוכזים עיקר הרווחים מכריית משאבי הטבע בידי קבוצה מצומצמת של חברות עסקיות, שלעיתים קרובות נהנות מִזְרוּתֵיה של שרשרת הייצור והאספקה. לדוגמה, במשק הבנייה והסלילה ישנן 19 חברות המפעילות מחצבות חצץ, מתוכן 3 חברות גדולות מחזיקות ב-64% מהייצור וב-40% מן העתודות. חברות אלה נמנות על 5 החברות השולטות בענף ייצור הבטון ומחזיקות כ-75% מהענף (פונדק, 2013). כדוגמה ניתן לבחון את פעילות חברת "שפיר" (אחת מ-3 החברות המצוינות לעיל). החברה פועלת בכל שרשרת הייצור, האספקה והביצוע (ריכוזיות אנכית). שלב הייצור: בבעלות החברה 4 מחצבות אבן, 12 מפעלי ייצור בטון, 3 מפעלים לייצור אספלט ומפעל לייצור קורות ואלמנטים טרומיים. שלב האספקה: בבעלות החברה חברת תובלה ('מרחבים') לשינוע בטון, אספלט וכדומה. שלב הביצוע: החברה מחזיקה בחברה פרטית לביצוע עבודות בתחום הבנייה, הפיתוח והתשתיות ('שפיר הנדסה אזרחית וימית'), המבצעת מיזמים עבור המגזר הציבורי והפרטי, 7 צוותי פיזור וקיצוץ האספלט המבצעים עבודות עבור החברה וקבלנים חיצוניים (שפיר, 2013). בענף המלט, חברת 'נשר' מחזיקה ב-90–85% משוק המלט, ושולטת בשוק כבר עשרות שנים. גם כאן ישנה ריכוזיות אנכית, מאחר ש'נשר' מחזיקה במחצבות הגיר למלט (חומר הגלם העיקרי), במפעלי ייצור המלט, ב-50% בעלות בחברת תעבורה, ויש לה חברת-בת בשם "תעבורה תפאורת" המחזיקה ב-83% משינוע המלט (אביטל, 2013; ועדה בין-משרדית לקידום התחרות בענף המלט, 2013; קורן, 2013). כך, לדוגמה, מצאה הוועדה הבין-משרדית לקידום התחרות בענף המלט כי "קיומו של מונופול בתחום הובלת המלט בתפאורת – 'תעבורה תפאורת' – יוצר פוטנציאל לחסם כניסה בשני המקטעים (הובלה ושיווק), ועל כן מוצע להטיל חובת דיווח על מונופול ההובלה". כמו כן, מצאה הוועדה כי יש ליצור את התנאים לפתיחת שוק המלט למספר גורמים נוספים (ועדה בין-משרדית לקידום התחרות בענף המלט, 2013).

5. **קושי באישור תוכניות ותכנון עתידי לוקה בחסר** – הצפי למיצוי או לכרייה כלכלית של משאבי טבע רבים עומד על טווח של 20–40 השנים הקרובות, שתוכניות המתאר הארציות מתוכננות על פיהן. כך, לדוגמה, עבור תעשיית הפקת הפוספט, כולל 'שדה בריר', הצפי למיצוי או לכרייה כלכלית עומד על 30 שנה (עמיר ואח', 2011; קרונלנד, 2012). עבור נחושת "תקופת הפעילות המקסימלית בניצול מלוא העתודות האפשריות כ-14 שנה" (קרונלנד, 2012). בחומרי הגלם למשק הבנייה והסלילה מסתמן מחסור במספר רב של חומרים עקב מחסור בעתודות זמינות הקרובות לאזורי הביקוש. כך, החל בשנת 2025 צפוי מחסור באגרנט לחצץ ולמצע בהיקף של למעלה מ-400 מיליון טונות באזור המרכז, והחל בשנת 2030 גם מחסור באזור הצפון בהיקף של מעל 100 מיליון טונות. חומרים נוספים הנמצאים במחסור הם בזלת, גיר למלט וטוף (משרד הפנים, 2010). במצב דברים זה, כלל לא ברור מה יהיה היקף משאבי הטבע שיישאר לדורות הבאים. מהי הראייה העתידית אל מעבר לשנת 2045? אילו השלכות צפויות למשק כתוצאה מאיבוד מקומות העבודה וההכנסות למדינה? בו בזמן, ועדות התכנון הארציות נתקלות בקושי ובהתנגדות ציבורית עזה לאשר את תוכניות הכרייה והחציבה, לעתים קרובות כפועל יוצא מתופעת הנמב"י (לאוטמן, לסטר וקרני, 2013). תמ"א 14 ב', שהעבודה עליה הסתיימה עוד בשנת 2010, עדיין לא אושרה, ועתיד תמ"א 14 ג' במתכונתה הנוכחית מוטל בספק.

6. **שיקום מפגעי עבר, הווה ועתיד** – לתעשיית הכרייה והחציבה יש השפעה רחבה על הנופים הייחודיים של הארץ. פעמים רבות משמעותה של הכרייה היא פגיעה הרסנית בשטח הפתוח, בנוף הארץ, במורשת, במרקם הטבעי ובמערכות אקולוגיות ייחודיות המאפיינות מרחבים אלה (לאוטמן, לסטר וקרני, 2013). המענה לביקוש הצפוי ל-2045 מצריך היקפי קרקע לכרייה ולחציבה בהיקף של מאות אלפי דונמים (משרד הפנים, 2010). כיצד תיראה המדינה לאחר כרייה נרחבת זו, ומה יהיה היקף השטחים הפתוחים הבלתי מופרים שייותרו? כיום, רק בנגב לבדו ישנם מעל ל-30,000 דונמים של מכרות שלא שוקמו (עמיר ואח', 2011). במסגרת מחקר זה נעשה חישוב המצביע על כך שמדי שנה נגרעים בסביבות 1,000 דונמים נוספים לטובת תעשיית הפקת הפוספט (כיום עוברים שיקום תוך כדי כרייה). בכל הקשור לחציבת מחצבים למשק הבנייה והסלילה, אמנם קיימת קרן לשיקום מחצבות, אך מבקר המדינה כבר התריע בעבר על אי-תפקודה (מבקר המדינה, 2000), ונכון להיום ישנן מאות מחצבות נטושות (מוריה וסקלי, 2009). כספי הקרן ממשיכים להצטבר לכדי 500 מיליון ₪, וחסמים שונים מונעים ממנה לתפקד ביעילות (לאוטמן, לסטר וקרני, 2013). לעומת זאת, קרן לשיקום מכרות כלל אינה קיימת. באשר לסוגיית ים המלח, מצבו "הוא תולדה של מדיניות ממשלות ירדן, סוריה וישראל, לניצול משאבי המים באגן ההיקוות והפקת מלחי הים על ידי המפעלים התעשייתיים בישראל ובירדן" (המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל, 2006). האגן הצפוני סובל מירידת מפלס שמובילה לסדרה של תופעות שליליות, ובהן שקיעות קרקע והיווצרות הבולענים, חשיפת משטחי בוץ, חתירה והעמקה מואצת של הנחלים, ערעור יציבותם של מקווי מים ואבדן מי תהום (המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל, 2006). את אזלת היד של הממשל בשיקום מפגעים אלה ובהתמודדות עם הסוגיה לאורך השנים סיכם היטב מבקר המדינה: "במשך השנים לא ריכז גוף אחד את נושא ים המלח בכללותו. הטיפול בו היה מפוזר בין גופים שונים ובין דרגים שונים – ארציים, מחוזיים ומקומיים. בין הגופים והדרגים השונים לא היה תיאום, ולא הוקם מאגר נתונים המשותף לכולם, דבר שהקשה מאוד על ניהול ים המלח כמשאב טבע, על שמירת מפלסו ועל ההתמודדות עם בעיות הנובעות מירידתו... משרדי הממשלה פעלו בעצלתיים ולא הכינו את התשתית שתאפשר לממשלה להחליט על מדיניות בת קיימא להמשך פיתוח האזור" (מבקר המדינה, 2009). אמנם במרץ 2007 החליטה הממשלה להטיל על משרד התיירות את הטיפול בכלל הסוגיות לעיל ובסוגיות נוספות, אך כשנה וחצי לאחר מכן מצא מבקר המדינה כי "הפעולות שנקט משרד התיירות לטיפול בסוגיית ירידת המפלס וסוגיית הבולענים מעטות ובלתי מספקות" (מבקר המדינה, 2009).<sup>15</sup> גם כיום, כ-6 שנים לאחר החלטת ממשלה זו, עתיד ים המלח לוט בערפל.

דוגמאות אלה מביאות לידי ביטוי רק מספר פערים בניהול משאבי הטבע בישראל, ומדגישות את הצורך המוחשי ואת החשיבות ביצירת מדיניות לאומית לניהול משאבי טבע ולייעול השימוש בהם.

## 5. ניתוח שרשרת ערך - Value Chain Analysis

שיטת ניתוח שרשרת הערך, בצורתה הקלאסית, היא כלי לתכנון ולניהול אסטרטגי וכלי לניתוח עסקי, שנועד לבחון ולהגביר את היתרון התחרותי של חברה. גְּנִיתוּחַ מפורטת שרשרת הערך של מוצר מסוים, כלומר שרשרת הייצור של המוצר בכל שלביה, החל בשלב הפקת חומרי הגלם ועד שלב שיווק המוצר ואף השימוש בו בידי הלקוח, ובמקרים הרלוונטיים – גם

<sup>15</sup> החלטה מספר 1311 של הממשלה מיום 06.03.2007.

סוף חייו. בנייתו ממופים כל קשרי הגומלין והיחסים בין השלבים; עלויות התהליכים והפעולות שעובר המוצר בדרך; הערך המוסף בכל הליך ושלב ואף מעבר החומרים והמוצרים לאורך השרשרת. עבודתו של מייקל פורטר משנת 1985 שימשה בסיס לשיטת המחקר הזו, וטבעה מסגרת עבודה ברורה ומונחים לניתוח שרשרת הערך בעיקר בצד הניהולי והעסקי (Dahlström et al., 2004; Porter, 2008). מאחורי הניתוח עומד הרעיון שמוצר יכול להיות מיוצר במספר דרכים, ולכן זיהוי הקשרים שבין שלבי הייצור השונים, ובחינה כיצד העלויות והתועלת בכל שלב משפיעות על שלבי ההמשך ומושפעות משלבים קודמים, הכרחיים לצורכי מיטוב ותיאום בדרך להגדלת היתרון התחרותי. נוסף על כך, ניתוח שרשרת הערך עוזר לחברות לקבל החלטות אסטרטגיות – כגון כיצד להרחיב את פס הייצור, היכן להשקיע כספים – וכן עוזר לזהות ספקים רלוונטיים וקונים פוטנציאליים (Dahlström et al., 2004).

עם השנים הורחבה שיטת ניתוח שרשרת הערך, וכללה בחינה של השימוש במשאבי טבע, יצירת פסולת ותוצרי לוואי לא רצויים בתהליך, יעילות נמוכה של תהליכים בייצור ועוד (Dahlström et al., 2004). למעשה, ככל שהחומרה האסדרה הסביבתית, שעיצבה מחדש את שרשרת הערך של חברות, התהדק הקשר בין הביצועים הכלכליים ליעילות הסביבתית. להפחתת פליטות סביבתיות וזיהומים ולהפקת מרב הרווחים יש אותם עקרונות בסיסיים כדוגמת הגברת היעילות, הפחתת שימוש בחומרים, הפחתת יצירת פסולת ובזבוז משאבים. כתוצאה מכך, כחלק מהרחבת שיטת ניתוח שרשרת הערך נוצרה אינטגרציה של נתונים כלכליים עם נתונים סביבתיים, וזה הניתוח שיוצג במחקר זה (להלן: ניתוח שרשרת הערך).

שילוב הנתונים הסביבתיים (צריכת אנרגיה, צריכת מים, צריכת חומרים ופליטות שונות) אל שרשרת הערך של החברה, בתוכה ומחוצה לה, מאפשר לחברה לבצע ניתוח כלכלי-סביבתי לא רק לשם שיפור היעילות בתהליכים אלא גם כדי להיערך לשינויי אסדרה, לשינויי מחירי אנרגיה, לשינויים בתהליכי הייצור והאספקה, לטיפול בסוף חיי המוצר ועוד (Dahlström et al., 2004). נוסף על כך, כיוון שהפעילות הכלכלית קשורה לשימוש במשאבים בתהליכי הכרייה, ההפקה והייצור, בצריכה ובסוף חיי המוצר, ניתוח שרשרת הערך הוא שלב הבסיס בדרך לניהול החומרים במשק בראיית מחזור חיים, המאפשר הסתכלות על תזרים החומרים במשק, על תרומתם לכלכלה ועל ניתובם המיטבי בהתאם לשרשרת הערך שהיעילות הכלכלית שלה היא הגבוהה ביותר והפגיעה הסביבתית שלה היא הקטנה ביותר.

נוסף על כך, הניתוח מאפשר להבין את יחסי הגומלין והקשרים בין תזרימי החומרים, ויש לו פוטנציאל לקשר בין חומרים ופסולת של שרשרת ערך אחת לשרשרת ערך אחרת. השלב הראשון בכל ניתוח שרשרת הערך הוא מיפוי השרשרת והבנת השלבים השונים שהניתוח עוסק בהם. השלב השני, שהמדדים המתאימים מוגדרים בו, והשלב השלישי, שהנתונים הרלוונטיים בשרשרת הערך ובתהליכים השונים נאספים בו, נעשים באותו זמן ובהתאם למטרות המחקר.

## 5.1 מיפוי שרשרת הערך

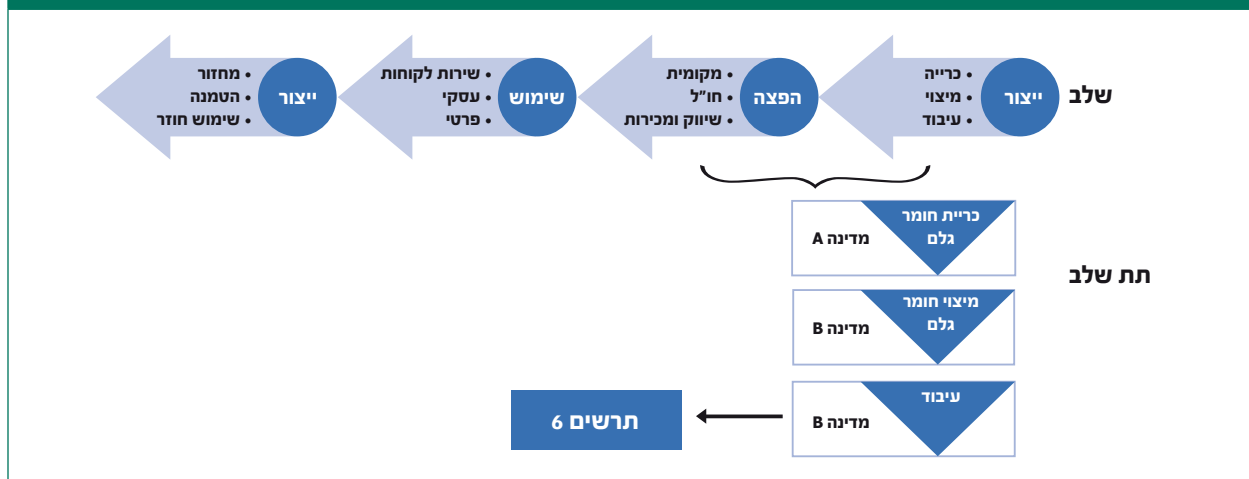
השלב הראשון של מיפוי שרשרת הערך הוא יצירת תרשים השלבים של שרשרת הייצור הספציפית. לאחר מכן יש לנתח מהו תזרים החומרים, התשומות והתפוקות אל ומחוץ לכל שלב בשרשרת הפעולות והתהליכים (שימוש באנרגיה, יצירת פסולת, פליטות לסביבה וכן הלאה). בשלב האחרון יש לנתח מהן התשומות והתפוקות הכלכליות מכל שלב. הערך הכלכלי של החומרים השונים בתהליך עולה או יורד לאורך השרשרת. בדרך כלל, ערך המוצר הסופי לכל שלב עולה ככל שמתקדמים במעלה שרשרת הערך. חישוב הרווח הכלכלי מכל תהליך ושלב בשרשרת הערך מייצג את נקודת המבט של החברה הפרטית. נוסף על כך, ניתן להסתכל גם מנקודת המבט של המשק ועל הערך המוסף בכל שלב בשרשרת הערך. כך, לדוגמה, ניתן

לנתח מהו מספר העובדים בכל תהליך ושלב ומה משכורתם הממוצעת או הערך המוסף (Added Value) לתמ"ג מכל תהליך בשרשרת הערך (Dahlström et al., 2004; Clift, Sim, and Sinclair, 2013).<sup>16</sup>

בחלק העליון של תרשים 5 ניתן לראות את מיפוי שרשרת הערך הכללי, עבור ייצור מוצר מסוים. ברמה זו ישנם 4 שלבים עיקריים: שלב הייצור, שלב ההפצה, שלב השימוש ושלב סוף החיים. לא מן הנמנע שישנם שלבים נוספים ברמה זו, וכן כל שלב יכול להתרחש בארץ אחרת או באזור אחר. נוסף על כך, כל שלב מורכב בעצמו מתתי-שלבים שונים. מספרם של תתי-שלבים אלה יכול לנוע מבודדים לעשרות. כך, לדוגמה, שלב הייצור מורכב משלב כריית חומרי הגלם, משלב מיצוי חומרי הגלם ומשלב העיבוד והפיכתם למוצר מוגמר. כל תת-שלב מורכב בעצמו מתהליכים שונים, שיכולים לנוע מבודדים לעשרות ואף למאות. גם כאן כל תת-שלב יכול להתבצע בארץ אחרת, ובמקרים מסוימים גם התהליכים שמהם הוא מורכב לא מתבצעים בהכרח באותה ארץ.

חשוב לציין שיש צורך לקבוע את גבולות שרשרת הערך שמנתחים. לעתים רק חלקים מסוימים משרשרת הערך נכללים בניתוח, בהתאם למטרות המחקר או למגבלותיו (כפי שנעשה במחקר זה, ראו פרק 6).

### תרשים 5: מיפוי כללי של שרשרת ערך. בחלק העליון ניתן לראות את שלבי שרשרת הערך ובצד ימין תחתון מפורטים תתי-השלבים בשלב הייצור



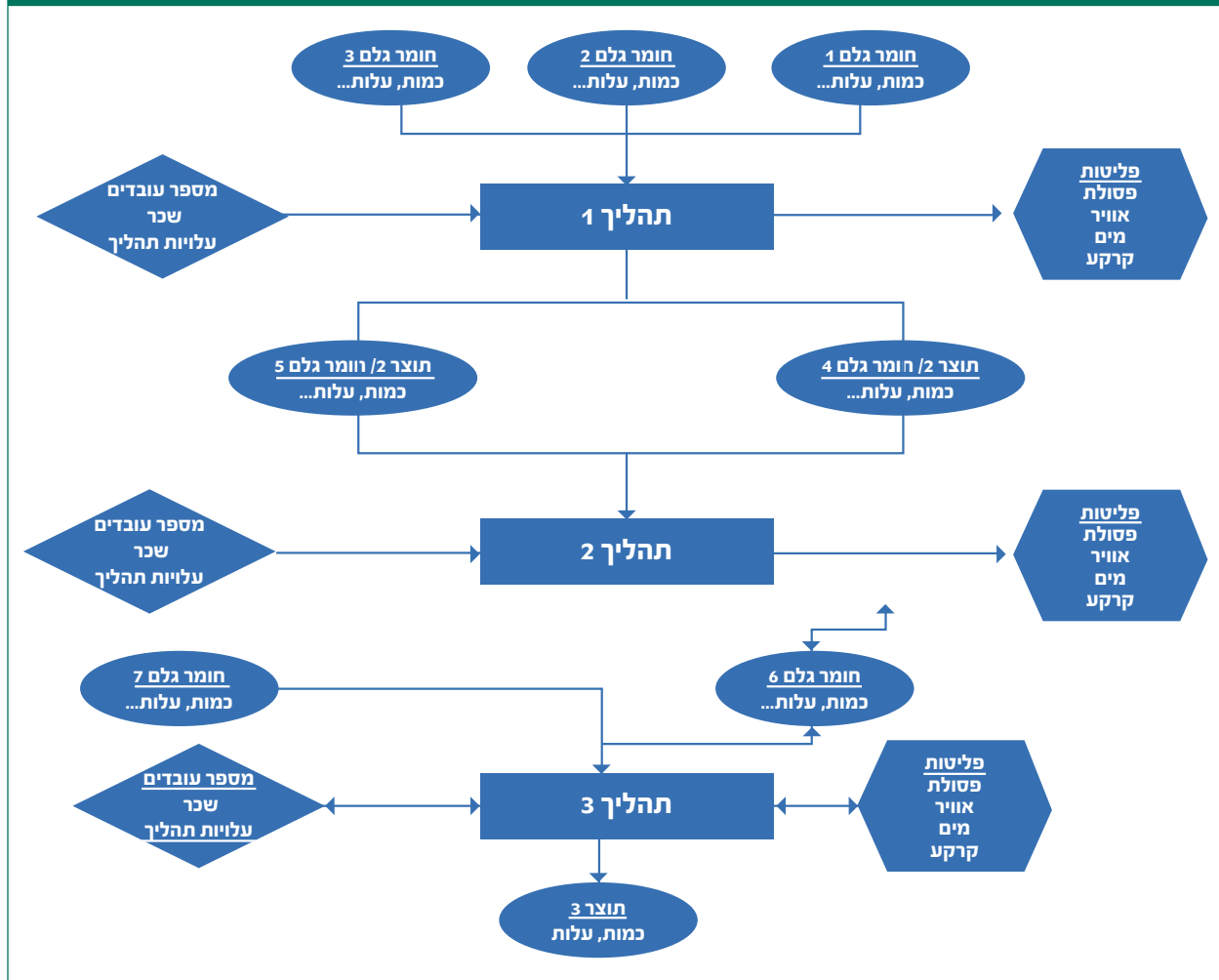
מקור: מכון מילקו, 2013.

תרשים 6 מדגים את התהליכים השונים המתרחשים בתת-שלב העיבוד. זוהי רמת הפירוט שממופים בה הגורמים הבאים: חומרי הגלם שנכנסים ויוצאים מכל תהליך (כולל כמות ועלות); פליטות (כמות ועלות חיצונית במידת האפשר); מספר העובדים בכל תהליך ושכרם; עלות התפעול וההכנסות של כל תהליך. ניתן לראות כי תת-השלב מורכב משלושה תהליכים, ובסופו של דבר, במקרה זה, התוצר הוא יחיד (תוצר 4). עם זאת, בין התהליכים ישנם קשרי גומלין רבים, לדוגמה: תוצר תהליך 1 (תוצר 1) משמש חומר גלם (חומר גלם 4) הן לתהליך 2 הן לתהליך 3. אחד מסוגי הפליטות בתהליך 2, לדוגמה מים, משמש חומר גלם (חומר גלם 6) לתהליך 3, ולתהליך 3 נוסף חומר גלם חיצוני (חומר גלם 7).

<sup>16</sup> הערך המוסף הוא מחיר המוצר כפי שהוא נמכר בשוק, בהפחתת עלויות הייצור.

מיפוי שרשרת הערך מורכב כולו מפרטי המיקרו הנראים בתרשים 6, עבור כל תתי-השלבים המרכיבים את השלבים השונים. גם בין תתי-השלבים ובין השלבים עצמם יש קשרי גומלין, מעבר חומרים ופליטות, שיש למפות ולאסוף נתונים על אודותיהם (Dahlström et al., 2004).

### תרשים 6: מיפוי שרשרת הערך ברמת המיקרו. פירוט התהליכים השונים, מיפוי חומרי הגלם, פליטות וערכים כלכליים עבור תת-שלב



מקור: מכון מילקו, 2013.

## 5.2 ניתוח נתונים ומדדים

כדי לקבוע את היעילות הכלכלית-סביבתית של תעשייה, יש להגדיר מספר מדדים שישקפו יעילות זו לאורך שרשרת הערך, ובעזרתם יתבצע ניתוח הנתונים. ניתן להגדיר שתי קטגוריות עיקריות למדדים (Dahlström et al., 2004): **מדדי יעילות השימוש במשאבים** (Resource Efficiency) ו**מדדי יצרנות השימוש במשאבים** (Resource productivity). בתרשים 7 מוצגים **מדדי יעילות השימוש במשאבים**, המבטאים יחס בין שני משתנים פיזיקליים, כדוגמת: היחס בין כמות התוצר

המתקבלת (מסת מוצר יוצאת) לכמות החומר שנכנס לתהליך מסוים (מסה נכנסת), היחס בין תשומת האנרגיה שהושקעה בתהליך (אנרגיה) לכמות התוצר המתקבלת (מסה), או היחס בין סך פליטות הפחמן הדו-חמצני בתהליך (משקל פליטות) לכמות התוצר המתקבל (מסת מוצר יוצאת). בתרשים 8 מוצגים **מדדי יצרנות השימוש במשאבים**, המבטאים בדרך כלל יחס בין משתנה כלכלי למשתנה פיזיקלי, כדוגמת: היחס בין מחיר תוצר מתקבל (מחיר) לכמות החומר שנכנס (מסה), היחס בין ערך מוסף גולמי (מחיר) לצריכת המים (מ"ק), או היחס בין הכנסות מתהליך מסוים (מחיר) לכמות הפסולת שנוצרה (מסה).<sup>17</sup> כמו כן כוללים מדדים אלה גם מדדים שהם אינדיקציה לפעילות הכלכלית, כגון מספר העובדים בכל שלב בשרשרת הערך. למעשה, מדדי יצרנות השימוש במשאבים בוחנים היבטים הן ברמת החברה (כגון הכנסות) הן היבטים ברמת המשק (כגון ערך מוסף גולמי). היבטים אלה הכרחיים לצורך קביעת היעילות הכלכלית-סביבתית בראייה כוללת. ככלל, בעת בחינת תהליכי ייצור של תעשייה אין זה נכון להפריד בין אופן התנועה של החומרים בתהליכי הייצור וההשפעות הסביבתיות הנלוות לכך, לבין הערך המוסף הכלכלי והתעסוקתי של תעשיות אלה. קביעה זו נכונה שבעתים בתעשייה המבוססת על השימוש במשאבי טבע בתוליים, שלהם ערך רב לאדם כפי שפורט בפרק המבוא. במקרים רבים משקפות התרומה הישירה לכלכלה במונחי תוצר ותעסוקה וההשפעות הנובעות מכך, את חשיבות המשאב עבור האדם, התעשייה והחברה, ומאזנות את המשוואה אל מול הנזקים הסביבתיים הנגרמים מניצול המשאב. נוסף על כך, בחינת הערך המוסף הנוצר משימוש במשאבי הטבע נועדה לשרת הן את המגזר הציבורי, בעת הכרעה על אסדרה ושימוש בכלים פיננסיים, הן את המגזר הפרטי מבחינת היבטי התיעלות ושיפור התחרותיות.

### תרשים 7: דוגמאות למדדי יעילות השימוש במשאבים (Resource Efficiency).

$$\frac{M_o}{M_i} = \text{יעילות השימוש במשאב}$$

נוסחה 2: יעילות השימוש במשאב  
 $M_o$  - כמות התוצר המתקבלת (מסה)  
 $M_i$  - כמות החומר שנכנס לתהליך (מסה)

$$\frac{W\alpha_o}{M_o} = \text{יעילות השימוש בחומרים}$$

נוסחה 4: יעילות השימוש בחומרים  
 $W\alpha_o$  - כמות הפסולת המתקבלת (מסה)  
 $M_o$  - כמות התוצר המתקבלת (מסה)

$$\frac{E_i}{M_o} = \text{יעילות השימוש באנרגיה}$$

נוסחה 1: יעילות השימוש באנרגיה  
 $E_i$  - תשומת האנרגיה שהושקעה בתהליך (אנרגיה)  
 $M_o$  - כמות התוצר המתקבלת (מסה)

$$\frac{W_i}{M_o} = \text{יעילות השימוש במים}$$

נוסחה 3: יעילות השימוש במים  
 $W_i$  - כמות המים שהושקעה בתהליך (נפח)  
 $M_o$  - כמות התוצר המתקבלת (מסה)

מקור: Dahlström et al., 2004; מכון מילקן, 2013.

<sup>17</sup> "ערך מוסף גולמי כולל את התמורה למשרות, רווח (לפני ניכוי מס הכנסה), הוצאות מימון נטו (ערך הריבית והפרשי ההצמדה ששילם העסק פחות הריבית והפרשי ההצמדה שהתקבלו על ידי העסק), פחת, תמלוגים ודמי זיכיון" (למ"ס, 2009).



## תרשים 8: דוגמאות למדדי יצרנות השימוש במשאבים (Resource Productivity).

$$\frac{Y_0}{M_0} = \text{יצרנות למשק}$$

נוסחה 6: יצרנות למשק  
 $Y_0$  - ערך מוסף גולמי (מחיר)  
 $M_0$  - כמות התוצר המתקבלת (מסה)

$$\frac{P_0}{M_0} = \text{הכנסות מהשימוש במשאב}$$

נוסחה 5: הכנסות מהשימוש במשאב  
 $P_0$  - הכנסות ממכירת התוצר המתקבל (מחיר)  
 $M_0$  - כמות התוצר המתקבלת (מסה)

$$\frac{Pt_0}{Wa_0} = \text{הכנסות לייצור הפסולת}$$

נוסחה 8: הכנסות לייצור הפסולת  
 $Pt_0$  - סך ההכנסות (מחיר)  
 $Wa_0$  - כמות הפסולת המתקבלת (מסה)

$$\frac{Y_0}{W_1} = \text{יצרנות לשימוש במים}$$

נוסחה 7: יצרנות לשימוש במים  
 $Y_0$  - ערך מוסף גולמי (מחיר)  
 $W_1$  - כמות המים שהושקעה בתהליך (נפח)

$$\frac{Y_0}{Ec_0} = \text{יצרנות לעלות סביבתית}$$

נוסחה 10: יצרנות לעלות סביבתית  
 $Y_0$  - ערך מוסף גולמי (מחיר)  
 $Ec_0$  - עלות סביבתית (מחיר)

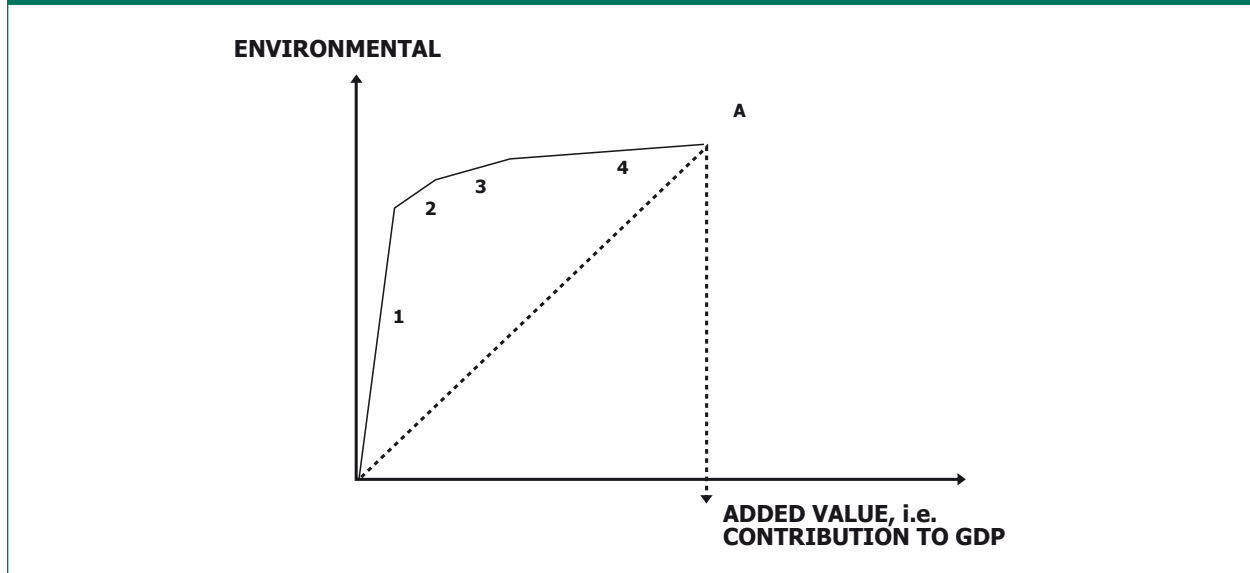
$$\frac{Y_0}{E_1} = \text{יצרנות לשימוש באנרגיה}$$

נוסחה 9: יצרנות לשימוש באנרגיה  
 $Y_0$  - ערך מוסף גולמי (מחיר)  
 $E_1$  - תשומת האנרגיה שהושקעה בתהליך (אנרגיה)

מקור: Dahlström et al., 2004; מכון מילקן, 2013.

בתרשים 9 ניתן לראות דוגמה לניתוח הכלכלי-סביבתי ברמת המשק. בתרשים מתוארת סכמת התרומה לתמ"ג לאורך שרשרת הערך – שלב הכרייה, שלב העיבוד, שלב הייצור ושלב ההפצה והמכירה – לעומת העלות הסביבתית של התהליך. תרשים זה נבנה במקור לתעשיית הטלפונים הניידים, אך נמצא מתאים למגוון רחב של תעשיות, כמו הטקסטיל, המזון ומשאבי הטבע, שעיקר הפגיעה הסביבתית בהן היא בשלב כריית חומרי הגלם או ייצורם. התרשים מתאר מצב שבו ככל שמטפסים במעלה שרשרת הערך, הערך המוסף למשק גדול יותר, והפגיעה הסביבתית מן התהליכים פוחתת.

תרשים 9: סכימת התרומה לתמ"ג לעומת העלות הסביבתית מכל שלב לאורך שרשרת הערך; 1. כרייה 2. עיבוד 3. ייצור 4. הפצה ומכירה



מקור: Clift, Sim, and Sinclair, 2013.

### 5.3 איסוף נתונים עבור ניתוח שרשרת הערך

איסוף הנתונים הוא השלב הקריטי ביותר כדי שניתן יהיה לבצע את ניתוח שרשרת הערך. עבור ניתוח שרשרת הערך דרושים נתונים רבים. חלק מהם נתונים מסחריים של החברות, חלק מהם נתונים הנמצאים בידי משרדי ממשלה שונים ורשויות המכס והמס, חלק מהם בדוחות כספיים, חלק מהם בספרות ועוד. הנחת המוצא היא שהנתונים נאספים ונמדדים על ידי הגופים השונים בעלי האינטרס העסקי והציבורי. מכאן, נדרשת שקיפות הן מצד החברות הן מצד משרדי הממשלה והחברות הממשלתיות, וכן מאגר נתונים מעודכן, אמין ונגיש לבעלי העניין.

איסוף הנתונים מתחיל בזיהוי שרשרת הערך של מוצר מסוים ומיפוייה, כפי שתואר בסעיף 5.1, החל בשלבי התהליך, דרך תתי-השלבים והתהליכים שבכל תת-שלב. התהליך הוא היחידה הבסיסית ביותר שעל אודותיה נאספים הנתונים, וניתן לאסוף נתונים רבים ומגוונים בהתאם למטרות השונות. לרוב עיקר הנתונים שנאספים הם:

1. **תזרים משאבים (תשומות)** – מיפוי סוגים, כמויות ועלויות המשאבים הנכנסים לתהליך מסוים, כולל תשומות אנרגיה ומים.
2. **תזרים משאבים (תפוקות)** – מיפוי סוגים, כמויות ועלויות תוצרי התהליכים השונים, כולל תפוקות חומרי ביניים.
3. **נתוני פליטות ופסולת (תפוקות)** – סוגים, כמויות ועלויות (אם יש נתונים לגבי עלויות חיזונית) של הפליטות לסביבה כולל: זיהום אוויר, זיהום קרקע וגריעת שטחים פתוחים, יצירת פסולת, זיהום מים, רעש, קרינה, פליטת שפכים ועוד. נתוני הפליטות כוללים פליטות ישירות, כגון פליטת פחמן דו-חמצני מייצור אנרגיה בתהליך, או

פליטות עקיפות, כגון פליטת פחמן דו-חמצני כתוצאה מצריכת אנרגיה מרשת החשמל. על כן, יש להביא בחשבון את נתוני הפליטות הרלוונטיים מייצור חשמל לאזור או למדינה.

4. **נתונים כלכליים** – מספר העובדים בכל תהליך ושכרם הממוצע, עלויות התהליכים, ערך מוסף גולמי ועוד.

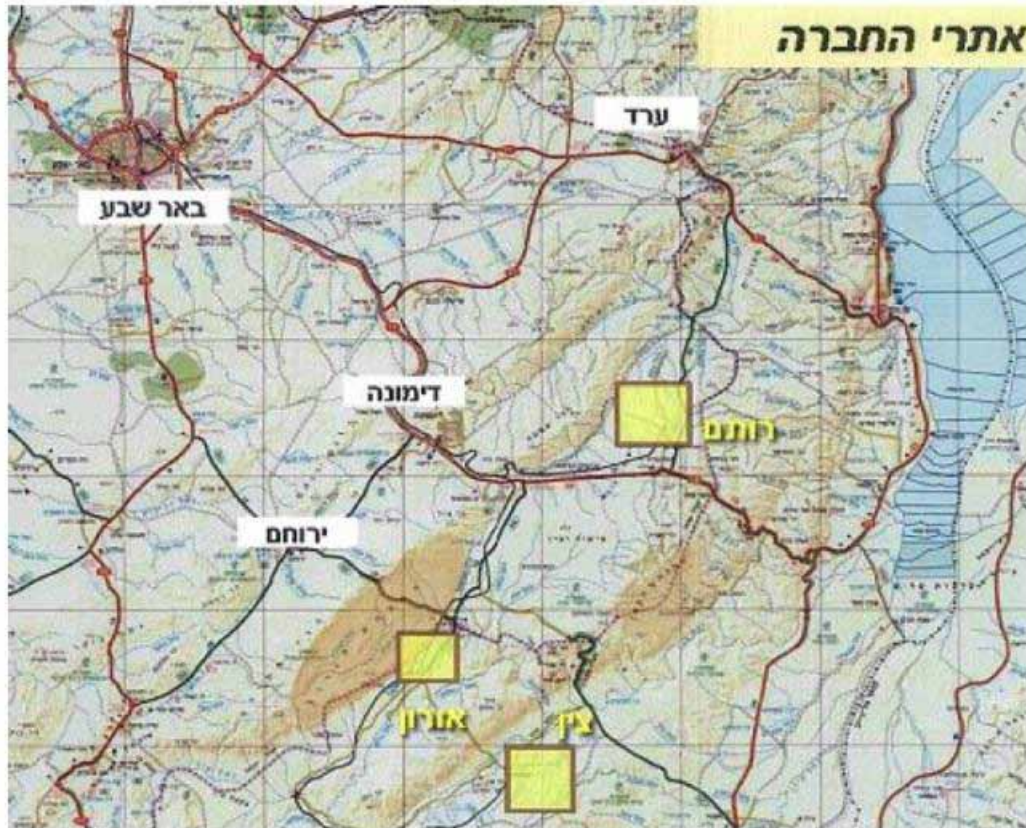
עם השלמת נתונים אלה בכל תת-שלב, נאספים הנתונים הרלוונטיים לגבי קשרי הגומלין ותזרים החומרים שבין תתי-השלבים השונים ובין השלבים השונים, וכך מתקבלת המפה המלאה של שרשרת הערך. כיוון שסוגי הנתונים וכמותם במחקר שכזה יכולים להיות משמעותיים, ישנה חשיבות רבה להתאמת הנתונים מבחינת זמנים (שנת פרסום או איסוף), ליחידות ולקוהרנטיות עם התהליכים. כך לדוגמה, עדיף שכלל הנתונים ייאספו עבור שנה מוגדרת אחת, שהיחידות שהאנרגיה נמדדת בהן יהיו אחידות (כגון: קוט"ש), ושלא יבוצעו שינויים מהותיים בתהליכי הייצור במהלך שנת איסוף הנתונים.

## 6. מקרה בוחן: תעשיית הפקת הפוספט

תעשיית הפקת הפוספט בישראל משמשת במחקר זה כמקרה בוחן לבחינת היעילות הכלכלית-סביבתית של שרשרת ערך הבנויה על משאב טבע ישראלי. בישראל ישנו גורם אחד בלבד המבצע כרייה של פוספט, והוא חברת "רותם אמפרט נגב", השייכת לקבוצת "כימיקלים לישראל". התעשייה ממוקמת בנגב בשלושה מפעלים מרכזיים: אורון, צין ומישור רותם. לכל אתר אזורי כרייה משלו (תרשים 10). חומר הגלם הראשוני שניתן לסחור בו בשווקי הסחורות הבין-לאומיים הוא סלע פוספט מועשר.<sup>18</sup> לצורך קבלת סלע פוספט מועשר עובר סלע הפוספט שנכרה תהליכי העשרה פיזיקליים וכימיים (כמפורט בפרק 6.2). לכן, בשלושת האתרים קיימים מפעלי העשרה לסלע הפוספט. נוסף על כך, המפעל באתר רותם כולל תהליכי ייצור מתקדמים (עיבוד) לצורך ייצור דשנים מורכבים וחומצה זרחתית (חומצה זרחתית 'ירוקה' לצורכי חקלאות וחומצה זרחתית 'לבנה' לצורכי תעשיית המזון) (עמיר ואח', 2011; קרונלנד, 2012).

<sup>18</sup> בסלע פוספט מועשר עומד ריכוז תחמוצות הזרחן ( $P_2O_5$ ) על כ-31%. בסלע פוספט שאינו מועשר ריכוז תחמוצות הזרחן שנכרה נע סביב 23% (בנתוני הכרייה הכלכלית בישראל נכון לכתיבת שורות אלה) (קרונלנד, 2012).

## תרשים 10: אתרי כריית הפוספט בנוג



מקור: קרונלנד, 2012.

## 6.1 רקע – משאב הפוספט והתעשייה

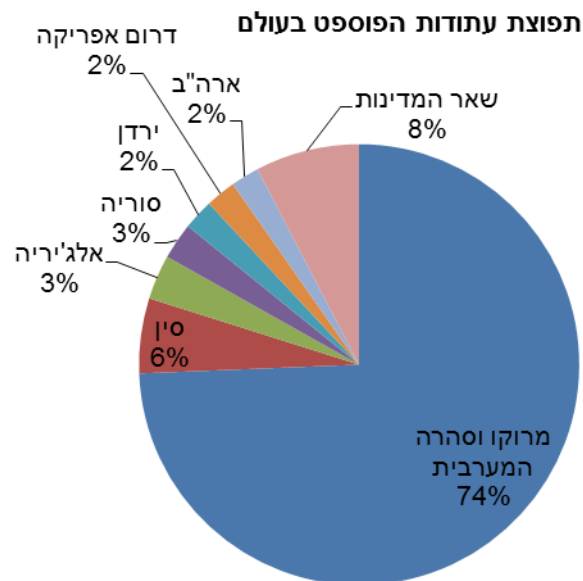
משאב הפוספט והתעשייה הנלווית לו הם מקרה בוחן מעניין, בעולם בכלל ובישראל בפרט, ממספר סיבות עיקריות:

1. הזרחן הוא משאב הכרחי שאינו מתחדש – הזרחן הוא אחד משלושת חומרי ההזנה ההכרחיים לחיים בכדור הארץ, לצד חנקן ואשלגן. ללא אספקה סדירה של יסודות אלה בכמויות גדולות יחסית, לא יכולים הצמחים להתפתח, ושרשרת המזון תחדל מלהתקיים. הזרחן משמש מרכיב מרכזי בבניית רקמות של צמחים ובבניית השלד והשיניים של בעלי החיים. כמו כן, הזרחן הוא רכיב חשוב בחומר הגנטי ובתהליכי ייצור האנרגיה אצל צמחים ואצל בעלי החיים. הצמחים צורכים את הזרחן על תרכובותיו השונות הזמינות בקרקע, ואילו בעלי החיים מקבלים אותו דרך המזונות השונים. למרות העובדה כי הזרחן הוא היסוד ה-11 בשכיחותו בקרום כדור הארץ, זמינותו לצמחים בקרקע מוגבלת ביותר עקב נטייתו להיקשר למינרלים שונים. אמנם תהליכים ביולוגיים וכימיים בקרקע מגדילים את זמינותו לצומח, אך מבחינת החקלאות המודרנית האינטנסיבית, שנדרשת לעמוד בקצב הגידול המהיר של אוכלוסיית העולם, תהליכים אלה אינם מספיקים, ונדרשת הוספה מלאכותית נרחבת של

זרחן כדשן כדי לשמור על רמות יבול גבוהות של מזון ועל פוריות הקרקע. נוסף על כך, הזרחן הוא משאב טבע שאינו מתחדש, שלא ניתן לייצרו באופן סינתטי, ושלא קיים לו שום תחליף בגידול מזון בחקלאות המודרנית האינטנסיבית. מסיבה זו קרוב ל-90% מסלע הפוספט שנכרה מיועד לייצור דשן לגידול מזון (סודרי, 2007).

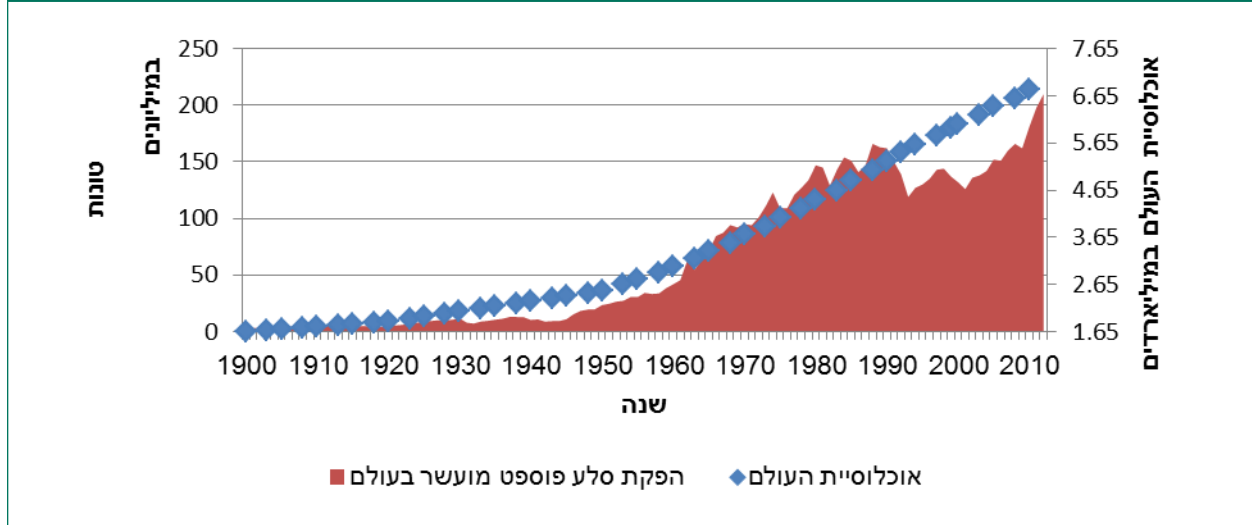
**2. עתודות מוגבלות ועליית מחירים** – בניגוד לחנקן ולאשלג המצויים בכמויות גדולות הרבה יותר (חנקן באטמוספירה ואשלג בים ובמרבצים קרקעיים מרוכזים), עתודות סלעי הפוספט העולמיות הולכות ומתמעטות, ומרביתן נמצאות בידי מדינות בלתי יציבות כדוגמת מרוקו, סהרה המערבית, סין וכן במדינות נוספות כדוגמת ארה"ב (סודרי, 2007; המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013). נכון להיום מוערכות עתודות הפוספט העומדות בתנאי הסף לניצול בכ-67 מיליארד טונות (תרשים 11), ואילו העתודות הכלכליות, בהתאם לטכנולוגיות ולמחירי השוק כיום, מוערכות בשליש מכמות זו (USGS, 2012). בקצב היקפי הכרייה העולמיים הנוכחיים (תרשים 12), ההערכות גורסות כי בתוך 50 עד 100 שנים ייגמרו עתודות הפוספט הכלכליות בעולם (Cordell, Drangert, and White, 2009). כמו כן, עם הגידול באוכלוסין, הלכה וגדלה הדרישה למזון ובעקבות זאת גם הדרישה לדשנים. כפועל יוצא מכך, עלו היקפי הכרייה העולמיים (תרשים 12), ומחירי הפוספט עלו בהתמדה בעשור האחרון, ואף הגיעו לשיא כל הזמנים בשנת 2008 (תרשים 13). אמנם המחירים ירדו בעקבות המשבר הפיננסי בשנים 2008–2009, אך נשארו גבוהים מבעבר. בישראל מוערכות עתודות הפוספט ב-1.5–2 מיליארד טונות, אך רק חלק קטן ביותר מהן נחשב כלכלי. האופק התכנוני האפשרי, הכולל את 'שדה בריר', מעריך כי בקצב הכרייה הנוכחי, שנע סביב 7 מיליון טונות בשנה, העתודות בישראל יספיקו לטווח של 30–40 השנים הבאות בלבד (סודרי, 2007; עמיר ואח', 2011; קרונלנד, 2012).

### תרשים 11: תפוצת עתודות הפוספט בעולם. נכון להיום, סך כל עתודות הפוספט העולמיות העומדות בתנאי הסף לניצול מוערכות ב-67 מיליארד טונות



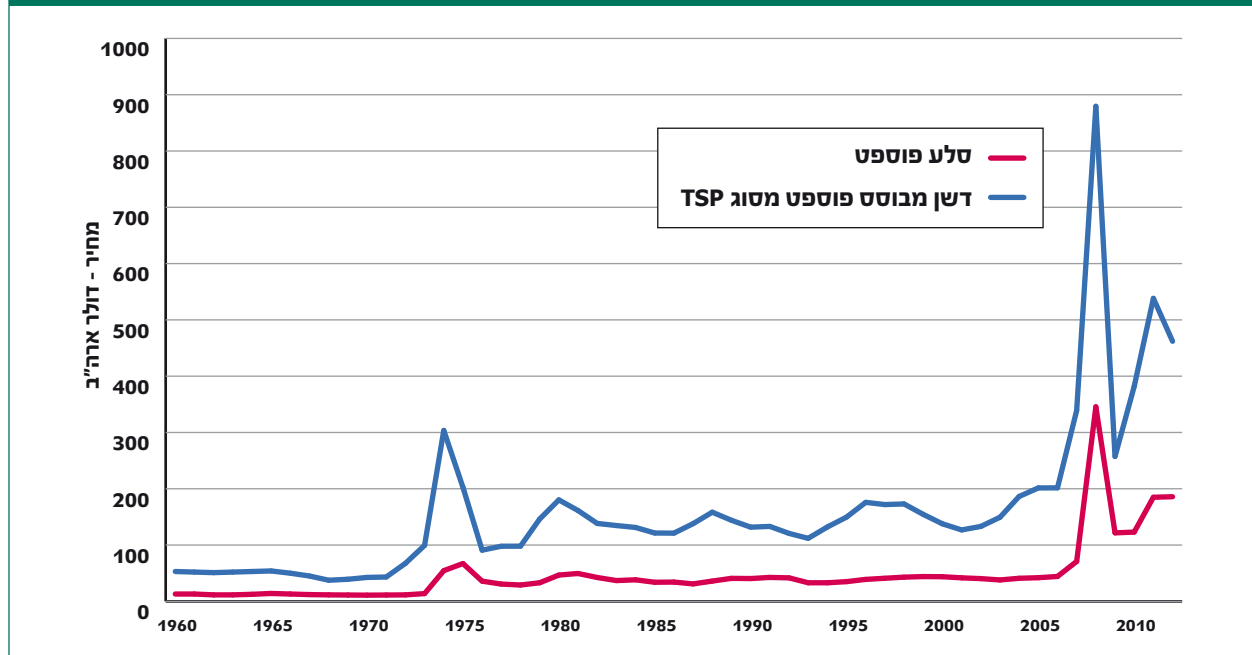
מקור: USGS, 2012.

**תרשים 12: הפקת סלע פוספט מועשר בטונות לשנה משנת 1900. ניתן לראות הלימה בין העלייה באוכלוסיית העולם לבין הפקת הפוספט**



מקור: United Nations, 1999; Kelly and Matos, 2012.

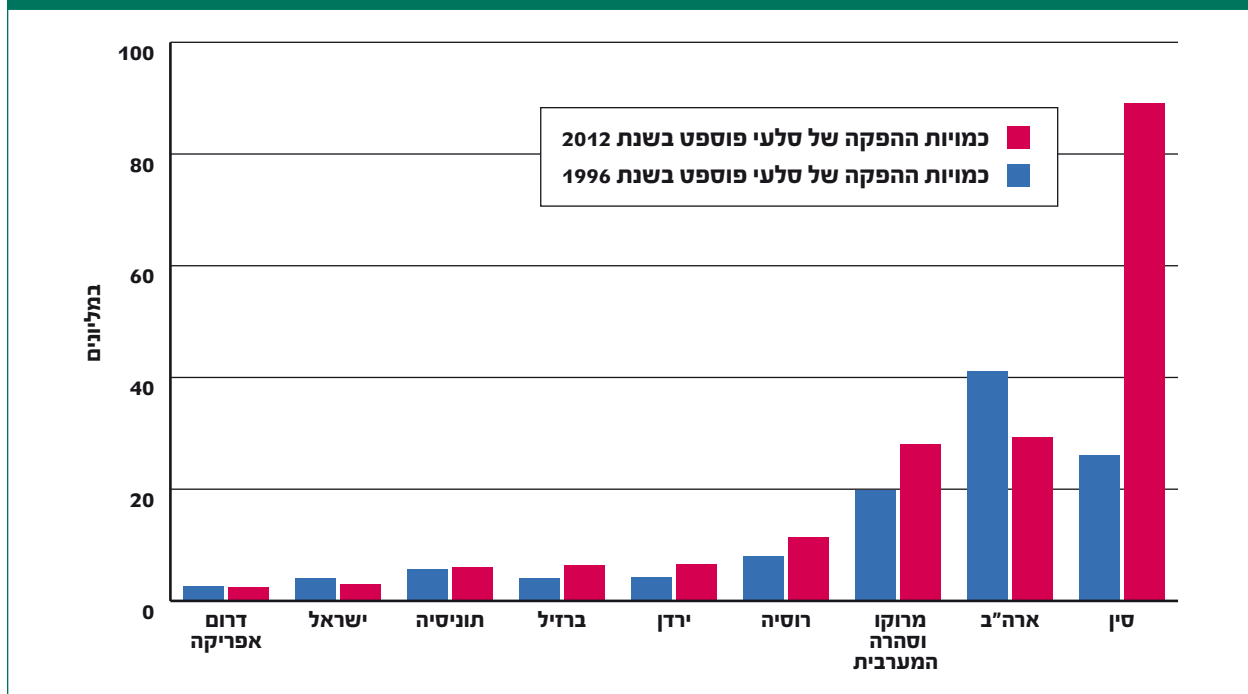
**תרשים 13: עליית מחירי סלע הפוספט ודשן מסוג TSP (Triple Super Phosphate) המיוצר מסלע הפוספט, גם בתעשייה בישראל. ניתן לראות כי בעשור האחרון החלה עליית מחירים משמעותית, שהגיעה לשיאה בשנת 2008**



מקור: World Bank, 2013.

3. **שינויים בדפוסי ההפקה והבטחת אספקה** – בד בבד עם המגמות הנראות לעיל, חלו מספר שינויים בדפוסי ההפקה העולמיים (תרשים 14) ובמסחר בסלעי הפוספט עצמם. כפי שניתן לראות בתרשים 14, ייצור סלע הפוספט בסין הוכפל פי 3 מאז 1996, ובו בזמן, כחלק מאסטרטגיה מדינית להבטחת אספקה לצריכה מקומית, החלה סין בשנים האחרונות להגביל את יצוא סלעי הפוספט (OECD, 2011b); בארה"ב ישנה מגמה של ירידה בתפוקות הייצור ועלייה ביבוא סלעי הפוספט. כיום ארה"ב היא המדינה שמייבאת את הכמות הגדולה ביותר של סלעי פוספט בעולם, מרביתם ממרוקו – שארה"ב חתמה עמה על הסכם סחר חופשי ב-2004 (OECD, 2011b; USGS, 2013a). נוסף על כך, הערכות גורסות כי עתודות הפוספט בארה"ב יספיקו ל-30 שנה נוספות (סודרי, 2007), וככל הנראה לאחריהן תשלוט מרוקו במחירי הפוספט העולמיים. מגמה מעניינת נוספת מסתמנת מהשנים 2011 ו-2012, שלא התקיים בהן יצוא של סלעי פוספט מארה"ב, אלא רק של מוצרי ההמשך כדוגמת דשנים (USGS, 2012, 2013a); ניתן לראות כי מדינות האיחוד האירופי והודו נעדרות מן התרשים, וזאת כיוון שהן נסמכות על יבוא פוספט בלבד. למעשה, מהסתכלות על תפוצת עתודות סלעי הפוספט בעולם (תרשים 11) עולה מגמה נוספת בהבטחת האספקה – מרוקו וסהרה המערבית, סין, אלג'יריה, סוריה, דרום אפריקה וירדן מחזיקות קרוב ל-90% מהעתודות. מלבד ארה"ב, אין אף מדינה החברה ב-OECD שהיא יצרנית משמעותית. נכון ל-2009 עומד כלל ייצור סלעי הפוספט בישראל, אוסטרליה, קנדה ופינלנד ביחד על 4% בלבד מהייצור העולמי (OECD, 2011b).

תרשים 14: השוואה בין כמויות ההפקה של סלעי פוספט לפי מדינה, שנת 1996 לעומת שנת 2012 (USGS, 1996, 2013b)





#### 4. **ראיית המגזר הציבורי מול הפרטי וסוגיית התמלוגים** – בראיית המשפט הישראלי, כמו במרבית מדינות העולם,

משאבי טבע הם משאבים שהבעלות עליהם ציבורית, ועל כן המדינה, כנציגת הציבור, מחזיקה במשאבי הטבע בנאמנות, ותפקידה כנאמן הוא לממש את זכויותיו של הציבור על המשאבים (ליכט, 2011). על פי עקרון הצדק החלוקתי – הזכיין העושה שימוש במשאב טבעי חב את שוויו לציבור הרחב, ותפקידה של המדינה הוא להבטיח הן את החלוקה הנכונה של התועלת המופקת מאותו המשאב בין היזם לבין הציבור הרחב הן כי נעשה שימוש מושכל במשאב. משמע, משאבי הטבע נתונים לדור הנוכחי באותה המידה שהם נתונים לדורות הבאים, ועל כן יש לא רק לשמר את המשאב, אלא גם לדאוג כי ניצול משאבי הטבע נעשה בצורה היעילה ביותר – החל בשלב הכרייה ועד לסוף מחזור החיים. אמנם עקרונות אלה חלים על כל משאבי הטבע של המדינה, אך נדמה כי בשנים האחרונות בישראל עלתה תעשיית הפקת הפוספט לכותרות סביב עקרונות אלה, ובייחוד סביב סוגיית החלוקה של התועלת המופקת (התקבולים הנמוכים יחסית שמקבלת המדינה) וסביב סוגיות השימוש המושכל במשאבי הטבע, כדוגמת שאלת פיתוח 'שדה בריר', היקפי הכרייה העתידיים ושיקום מכתות עבר (המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013).

#### 5. **השפעות סביבתיות** – לתעשיית הפקת הפוספט ישנן השפעות רבות על הסביבה בכל שלבי הייצור השונים,

בעולם כלל ובישראל בפרט. **לשלב הכרייה** יש השפעה דומיננטית בארץ על המרחב הפתוח בנגב. הפעילות משתרעת על שטחים נרחבים – עד היום נכרו במרחבי המפעלים בנגב מעל 30,000 דונם של קרקע, שמרביתה עדיין לא עברה שיקום והסדרה (עמיר ואח', 2011), ובמסגרת מחקר זה עלה כי מדי שנה נגרעים סביב 1,000 דונם נוספים. ההשפעות הסביבתיות של שלב זה רבות ומגוונות, החל בהרס בתי גידול מדבריים, בקיטוע של רצפי מעבר לבעלי חיים, ובפגיעה נופית משמעותית ובולטת לעין (תרשים 15), דרך השפעות על מערכות ניקוז וההידרולוגיה באזור כולל זיהום נחלים, ועד זיהום אוויר, פליטות אבק, רעש, פסולת ועוד (עמיר ואח', 2011). **שלב עיבוד הסלע**, הפיכתו למוצר סחיר וייצור מוצרי המשך מתקדמים מלווה בעיקר בפליטות של גזי חממה, שפכים תעשייתיים רבים והיקפי פסולת גדולים. זוהי תעשייה כימית, המשתרעת על שטחים גדולים יחסית, וכוללת מתקנים גבוהים ובעלי נוכחות חזותית גבוהה. נושא סביבתי משמעותי הוא יצירת הפוספוגבס, תוצר לוואי של תהליך העיבוד. מדי שנה נוצרים כ-3 מיליון טונות פוספוגבס שאינם בני-ניצול. חומר זה מאוחסן בשטחי מפעל 'רותם אמפרט', משתרע על שטח נרחב ביותר, מתרומם לגובה רב, ומהווה אלמנט נופי בולט במיוחד, עקב צבעו הלבן. נוסף על כך, שלב זה הוא שלב עתיר אנרגיה ומים, והמפעלים מוגדרים כמפעלים בעלי השפעה ניכרת מבחינת פליטות מזהמים בהתאם לחוק אוויר נקי (עמיר ואח', 2011). **בשלב השימוש וסוף החיים** של הפוספט משמש מרביתו דשן, ולכן הזרחן שלא נקלט על ידי הצמחים מסיים את חייו בקרקע, במי התהום או נשטף לנחלים ולמקווי מים. ריכוז הזרחן בנחלים, באגמים ובמקווי מים עלה ב-75% ב-50 השנים האחרונות. לעובדה זו השלכות סביבתיות רבות – זיהום מקווי מים, הפרת האיזון האקולוגי, איטרופיקציה ועוד (OECD, 2011b).<sup>19</sup> כאן עולה סוגיה נוספת, והיא יעילות השימוש בדשנים שלא נידונה במחקר זה, אך נידונה בהרחבה

<sup>19</sup> איטרופיקציה – eutrophication – היא "העשרה של גופי מים או קרקע בנוטריינטים מינרליים (בדרך כלל כאלה המכילים חנקן או זרחן). הנוטריינטים המוספים משנים את התנאים הכימיים, ולכן נחשבים גורם מזהם. איטרופיקציה בגופי מים מתאפיינת בכמה שלבים; בשלב הראשון חלה עלייה בצפיפות הפיטופלנקטון ובשלב השני מתהווה מחסור בחמצן. שינויים אלו גוררים את הערכת המים ותמותת בעלי החיים, ולכן איטרופיקציה גורעת מאיכות המים" (שוסטר ואח', 2009).



בספרות (UNEP, 2011a). יש לציין כי ההשפעה הסביבתית של תעשייה זו זכתה להדים רבים ולביקורת בשנים האחרונות עם סוגיית פיתוח 'שדה בריר' הקרוב לעיר ערד. סוגיה זו נידונה במסגרת תמ"א 14 ג', ומחכה להחלטת משרד הבריאות בנושא (אלמוג, 2013).

## תרשים 15: מכרה פוספטים בנגב



מקור: עמיר ואח', 2011.

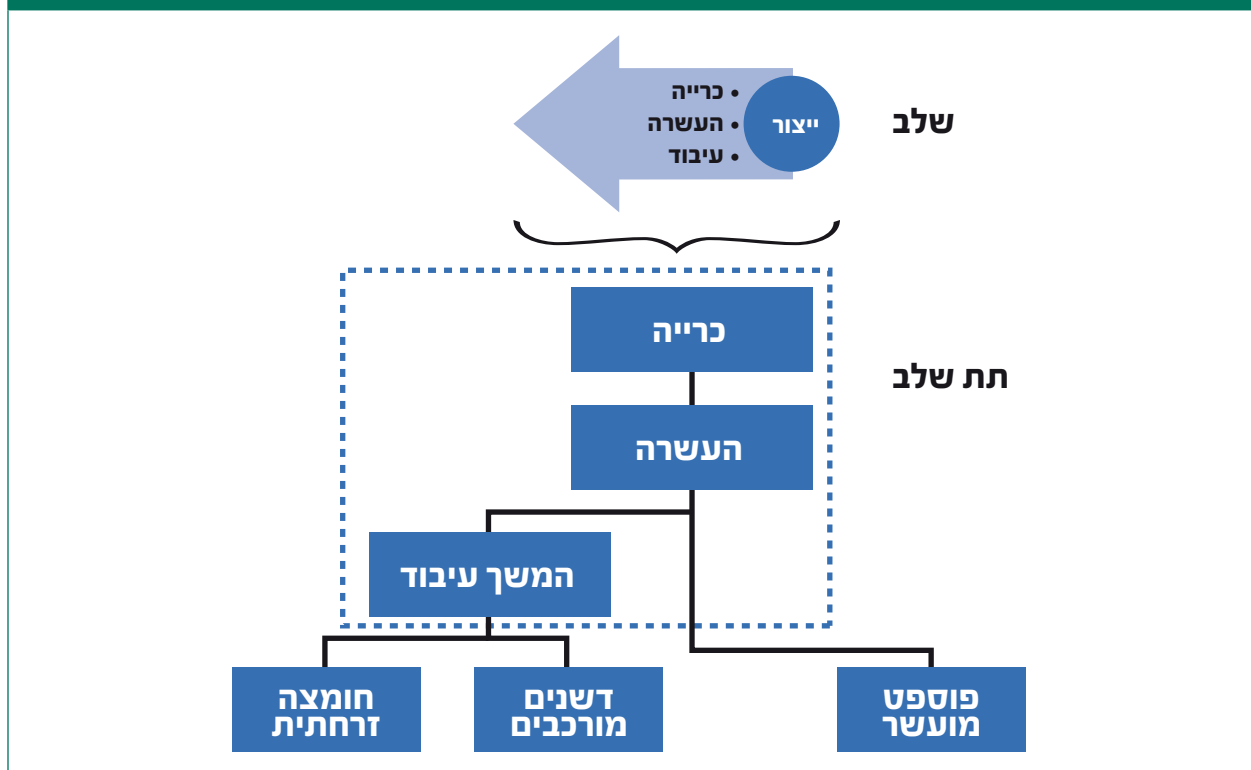
לסיכום, הדרישה לסלע פוספט ולדשנים מבוססי פוספט צפויה להמשיך ולעלות בשנים הבאות, בייחוד לאור המגמה המסתמנת בגידול האוכלוסייה – בשנת 2050 צפויה אוכלוסיית העולם להגיע ל-9 מיליארד בני אדם, ובהתאמה יגדל הייצור החקלאי ב-70% (OECD, 2011b). בהינתן העובדה כי הפוספט הוא משאב שאינו מתחדש, ההכרחי לחיים, הפחתת אבדנו בשרשרת תהליך הייצור וההפקה (אבדן המוערך ב-40%–20 סך הכול) וייעול תהליך שרשרת הייצור והצריכה יכולים להגדיל משמעותית את אורך החיים של עתודות הפוספט בעולם (OECD, 2011b).

מסיבות אלה עולה הצורך בניצול מושכל, יעיל וחסכוני של סלעי הפוספט, תוך שמירה על עתודות שכיום אינן נחשבות לכליות מסיבות שונות (ריכוזי זרחן נמוכים; ריכוזי מזהמים גבוהים; טכנולוגיות הפקה יקרות [סודרי, 2007]). יש הכרח לדאוג לחלוקת משאבים הוגנת בין הדורות, ולכך שמשאב הזרחן, החיוני לחיים, יתקיים גם בדורות הבאים. לכן, לניתוח שרשרת הערך של תהליך ייצור הפוספט ולבחנה של תזרים החומרים לתעשייה זו ושל התשומות הכלכליות הנובעות מהתהליכים השונים, יש פוטנציאל להגביר את ההתייעלות הכלכלית-סביבתית ולהוות כלי עזר בהכרעת סוגיות תכנוניות וסוגיות הנוגעות למדיניות ניהול משאבי טבע (כדוגמת סוגיית התקבולים).

## 6.2 מיפוי שרשרת הערך

מתוך כלל השלבים בשרשרת הערך של תעשיית הפקת הפוספט בישראל, מיפוי זה מתמקד בשלב הייצור עד הגעת המוצר לפתח המפעל, לפני שילוחו לחו"ל. ככלל, מיפוי שרשרת הערך כולל גם את שלב הפצת המוצר, אך עקב מורכבות השלב והמחסור בנתונים, מקרה הבוחן מתמקד רק בשלבים המפורטים כדלקמן. תרשים 16 מציג את תתי-השלבים השונים של שלב הייצור: כריית סלע הפוספט, העשרת הסלע ל-31% תחמוצות זרחן (להלן: פוספט מועשר) ושלב העיבוד שמיוצרים בו דשנים מורכבים וחומצה זרחתית (כימיקלים לישראל, 2013). בירוק נראים תוצרי התהליכים הנמכרים כסחורות בשווקים העולמיים: פוספט מועשר, דשנים מורכבים (כדוגמת TSP, MAP) וחומצה זרחתית.

**תרשים 16: שלב הייצור מתוך כלל השלבים בשרשרת הערך של תעשיית הפקת הפוספט בישראל. שלב זה כולל את תתי-השלבים כרייה, העשרה ועיבוד. בירוק מסומנים תוצרי התהליכים**



מקור: מכון מילקן, 2013.

חשוב להבהיר כי זוהי רמת הפירוט הגבוהה ביותר במחקר זה, ולא התבצע מיפוי על אודות תתי-התהליכים השונים כדוגמת תרשים 6, מפאת מורכבות התהליכים והחיסיון על מרבית הנתונים. לכן, הנתונים מוצגים לאחר הסכימה הכוללת של כל התהליכים ברמת תתי-השלבים השונים; כך, לדוגמה, עבור תת-השלב 'עיבוד' שכולל עשרות תהליכים שונים בדרך להפיכת פוספט מועשר לדשן מורכב, מפורטת צריכת המים הכוללת בתת-שלב זה ולא הצריכה לכל אחד מהתהליכים המרכיבים את תת-השלב בנפרד. נוסף על כך, מהסיבות שלעיל, מרבית הנתונים לא יוצגו בצורתם הגולמית, אלא לאחר ניתוחם בעזרת המדדים שהוגדרו. להלן תיאור תמציתי של תתי-השלבים בשלב הייצור:

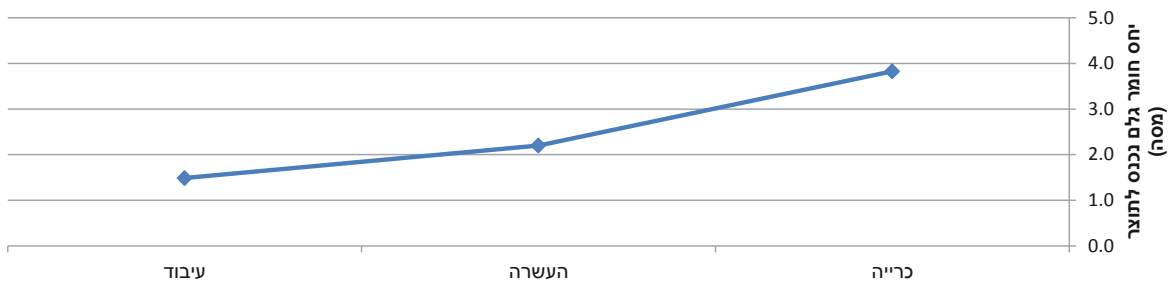
- **תת-שלב הכרייה** – במרחבי המפעלים אורון, צין ורותם מתבצעת כרייה פתוחה. שטח מכרה פעיל הוא לרוב כמה מאות דונמים (עד כ-500), וכולל מגוון רב של כלים, כמו שופל, דחפורים, מכונת קידוח, משאיות כביש ומשאיות רכינה להובלת החומר, מכלית להרטבת דרכים ועוד. במקומות מסוימים יש צורך בקידוח ובפיצוץ לשם ריסוק שכבות הסלע הקשות. העבודות במכרות מתקיימות 6 ימים בשבוע, 24 שעות ביממה. הובלת החומר הנכרה מתבצעת על ידי משאיות כביש ומשאיות רכינה מהמכרות אל המפעלים בדרכים סלולות ובדרכי עפר (עמיד ואח', 2011; קרונלנד, 2012). חשוב להבחין בין החומר הטפל (שמכיל ריכוז לא כלכלי של פוספט או לחלופין – אינו מכיל כלל פוספט) לבין העפרה (סלע הפוספט). שכבות של חומר טפל מוסרות מן הקרקע בתהליך הכרייה ואינן מועברות למפעלים, אלא נערמות בשטחי הכרייה ומשמשות כיום לשיקום המכרה. לאחר הסרת הטפל, ניתן לכרות את סלעי הפוספט. היחס טפל-עפרה יכול להגיע ל-20% פוספט ול-80% טפל במכרות, ומשתנה בין מכרה למכרה (עמיד ואח', 2011). הנתונים הרלוונטיים הבאים נאספו: כמות כריית העפרה, כמות כריית הטפל, שטח הכרייה, צריכת הסולר לכלי המכרות, צריכת האנרגיה, צריכת המים, היקף השפכים, היקף הפסולת, פליטות הפחמן הדו-חמצני ( $CO_2$ ), פליטות המתאן ( $CH_4$ ), פליטות החמצן הדו-חנקני ( $N_2O$ ), היקף המועסקים, עלות ההפקה, העלות הכלכלית של הפליטות והעלות הכלכלית של גריעת שטחים פתוחים.
- **תת-שלב ההעשרה** – כל סלעי הפוספט הנכרים, עוברים תהליכי העשרה ל-31% תחמוצות זרחן (מריכוז ממוצע של 23%). תהליך זה מתבצע בכל שלושת המפעלים. בשלב זה סלעי הפוספט עוברים תהליכים פיזיקליים-כימיים הכוללים: ניפוי, טחינה, גריסה, חימום, ציוף (פלוטציה) ייבוש ועוד (עמיד ואח', 2011). הנתונים הרלוונטיים הבאים נאספו: כמות סלע הפוספט הנכנס, כמות הסלע המועשר היוצא, כמות הסלע המועשר שנמכר, והכמות המשמשת להמשך הייצור (לתת-שלב העיבוד), צריכת האנרגיה (דלקים וחשמל), צריכת המים, היקף השפכים, היקף הפסולת, פליטות הפחמן הדו-חמצני ( $CO_2$ ), פליטות המתאן ( $CH_4$ ), פליטות החמצן הדו-חנקני ( $N_2O$ ), היקף המועסקים, עלות ההפקה, העלות הכלכלית של הפליטות, מחיר הסלע המועשר וההכנסות ממכירות של הסלע המועשר.
- **תת-שלב העיבוד** – מרבית הסלע המועשר ממשיך בשרשרת הייצור לעיבוד מתקדם (80%–70 מהסלע בדרך כלל) (כימיקלים לישראל, 2013). תהליך העיבוד הוא תהליך כימי קלסי. הוא מתבצע רק במפעל 'רותם', שסלעי הפוספט ממפעלי אורון וצין מוסעים אליו ברכבת ובמשאיות (עמיד ואח', 2011). לתהליך שותפים כימיקלים רבים, כגון חומצה גפרתית, המיובאת דרך נמל אשדוד, ותוצרי ייצור של מפעלי קבוצת 'כימיקלים לישראל' כדוגמת אשלגן וחנקן. תוצרי תת-שלב זה הם דשנים מורכבים וחומצה זרחתית (ירוקה ולבנה) (כיל דשנים, 2009). הנתונים הרלוונטיים הבאים נאספו: כמות הסלע המועשר הנכנס, כמות הדשנים המורכבים והחומצה הזרחתית היוצאים, צריכת האנרגיה (דלקים וחשמל), צריכת המים, צריכת החומצה הגפרתית, היקף השפכים, היקף הפסולת, פליטות הפחמן הדו-חמצני ( $CO_2$ ), פליטות המתאן ( $CH_4$ ), פליטות החמצן הדו-חנקני ( $N_2O$ ), היקף המועסקים, עלות ההפקה, העלות הכלכלית של הפליטות, מחיר הדשנים המורכבים והחומצה הזרחתית וההכנסות מהמכירות שלהם. חשוב להדגיש שלאורך שרשרת הייצור נאספו נתונים נוספים, כדי שניתן יהיה להפיק את המדדים כפי שמפורט בפרק 5.

## 6.3 תוצאות<sup>20</sup>

### 6.3.1 מדדי יעילות השימוש במשאבים

תרשים 17 (בהתאם לנוסחה 2) מתאר את היחס בין חומר הגלם הנכנס לתוצר בכל תת-שלב בשלב הייצור. התרשים מצביע על עלייה ביעילות השימוש במשאב במעלה שרשרת הייצור, כלומר – ככל שמתקדמים בשרשרת הייצור, חלק גדול יותר מחומר הגלם הנכנס מנוצל לטובת יצירת התוצר, ולכן היחס קטן ושואף לאחד. בתת-שלב הכרייה כולל חומר הגלם הנכנס את הסרת הטפל, שהיקפו עומד על כ-19.5 מיליון טונות (קרונלנד, 2012). כפי שנראה מתרשים 18 (בהתאם לנוסחה 4), אין הכוונה שכמות הפסולת הנוצרת לא עולה לאורך שרשרת הייצור, וזאת מכיוון שנכנסים רכיבים נוספים לתהליך. בתרשים 18 הפסולת כוללת פסולת מסוכנת ולא מסוכנת (כדוגמת שמנים וחומצות למיניהם), ואינה כוללת את הסרת הטפל. ניתן לראות כי הכמות המשמעותית של הפסולת נוצרת בשלב העיבוד, וכי תוצר הלוואי של התהליך הוא הפוספוגבס – 3 מיליון טונות בשנה (עמיר ואח', 2011).

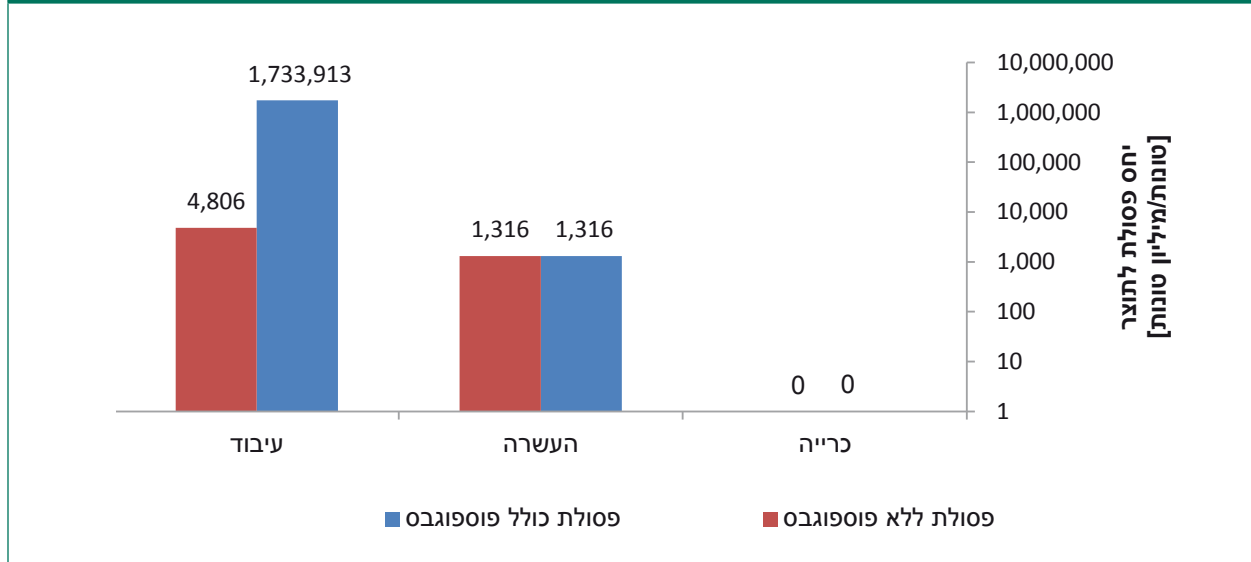
**תרשים 17: יחס בין הסלע (חומר הגלם) הנכנס לתהליך לתוצר על בסיס משקל (-). הירידה ביחס עד ל-1.5 בקירוב, מעידה על עלייה ביעילות השימוש במשאב במעלה שרשרת הייצור**



מקור נתונים: קרונלנד, 2012; כימיקלים לישראל, 2013.

<sup>20</sup> הערה כללית: מפאת החיסיון והרגישות של הנתונים, מרביתם לא מוצגים בצורתם הגולמית, אלא לאחר ניתוחם בעזרת המדדים שהוגדרו בפרק 5.

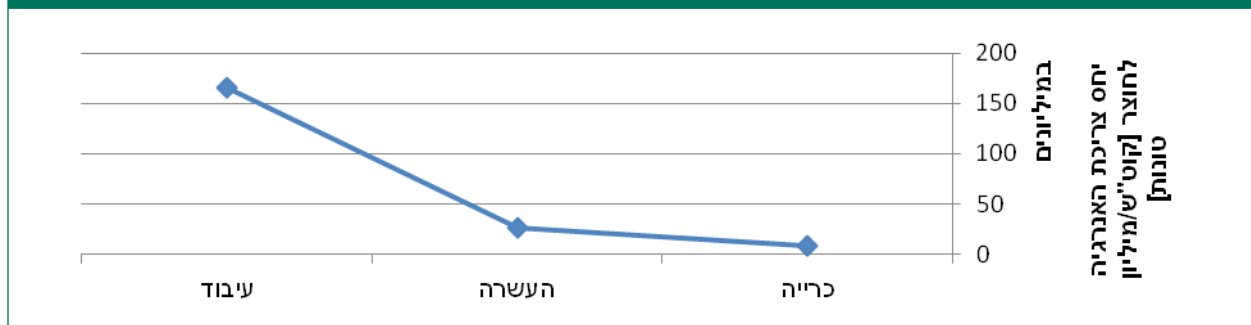
**תרשים 18: יחס בין סך הפסולת בתהליך לתוצר (טונות/מיליון טונות). ניתן לראות כי ככל שמתקדמים בשרשרת הייצור, כך כמות הפסולת גדלה. ההפרדה בין התרשימים נועדה להמחיש את כמות הפוספוגבס המשמעותית שנוצרת בשלב העיבוד (3 מיליון טונות לשנה)**



מקור: קרונלנד, 2012; המשרד להגנת הסביבה, 2013א.

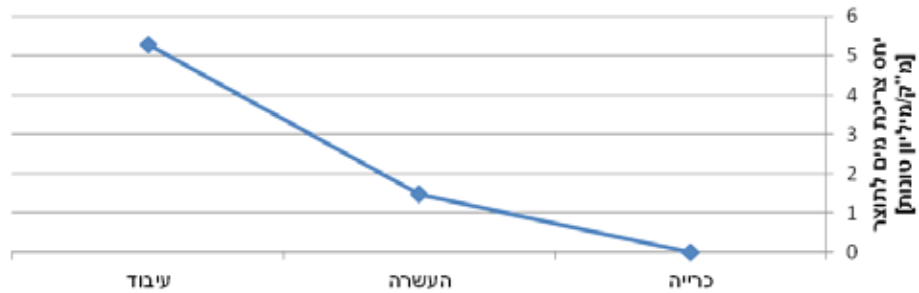
תרשימים 19 ו-20 מתארים את היחס בין צריכת האנרגיה וצריכת המים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך (יעילות השימוש באנרגיה ובמים, בהתאמה, ובהתאם לנוסחות 1 ו-3). העלייה המשמעותית ביחס נובעת לא רק מכך שהערך האבסולוטי של כמות התוצר קטן לאורך שרשרת הערך, אלא גם כי קיימת עלייה משמעותית בצריכת האנרגיה והמים לאורך השרשרת בתהליכי ההעשרה והעיבוד. תיאור זה מנוגד לתיאורים בספרות, שיעילות צריכת המשאבים בהם בדרך כלל קטנה יותר בשלבים הראשוניים של הייצור, כמו הכרייה (Clift, Sim, and Sinclair, 2013).

**תרשים 19: היחס בין צריכת האנרגיה לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הייצור (קוט"ש/מיליון טונות). ניתן לראות עלייה חדה בשימוש באנרגיה לאורך שרשרת הייצור**



מקור: קרונלנד, 2012; רותם אמפרט נגב, 2013.

תרשים 20: היחס בין צריכת המים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הייצור (מ"ק/מיליון טונות). ניתן לראות עלייה חדה בשימוש במים לאורך שרשרת הייצור. בשלב הכרייה השימוש במים זניח יחסית

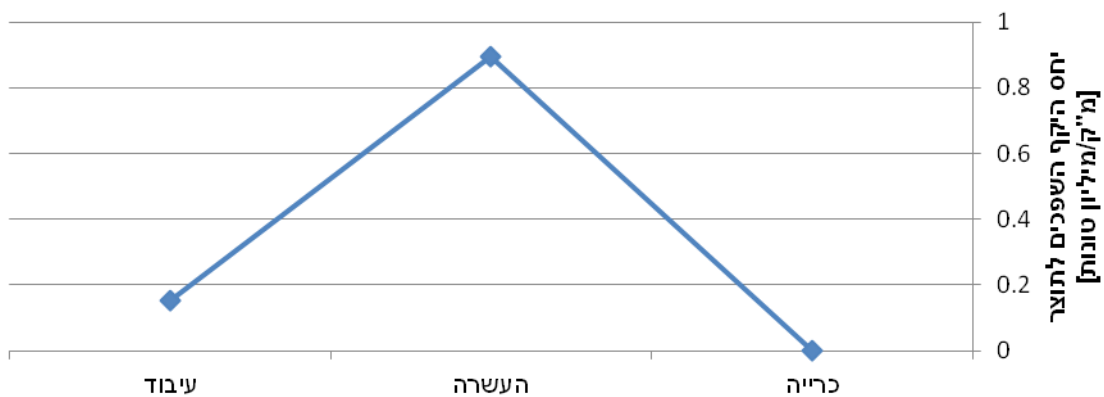


מקור: קרונלנד, 2012; רותם אמפרט נגב, 2013.

תרשים 21 מתאר את יחס היקף השפכים הנוצרים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך. בתת-שלב הכרייה היקף השפכים אפסי.

בתת-שלב ההעשרה יחס זה גדל משמעותית, ואילו בתת-שלב העיבוד הוא קטן בצורה דרסטית. בהשוואה לתרשים 20 היינו מצפים כי עם הגידול בכמות המים לאורך שרשרת הערך, תגדל גם כמות השפכים. ממצאים אלה כנראה נובעים מכך שבמפעל רותם מתרחשים הן תת-שלב ההעשרה הן תת-שלב העיבוד, וזאת בניגוד למפעלי אורון וצין שנעשית בהם רק העשרה. במפעל מתבצע שימוש חוזר במי התהליכים (כיל דשנים, 2009), וכך – למרות השימוש הגדול במים בשלב זה, צריכת המים קטנה יחסית.

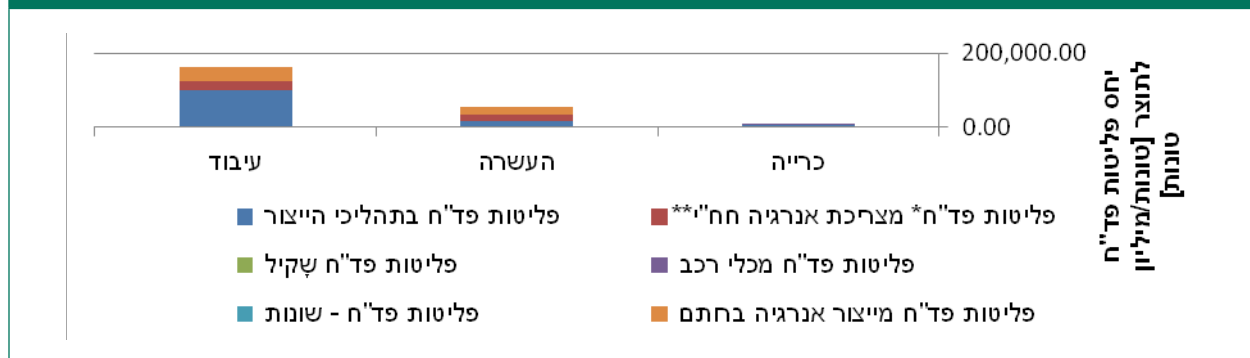
תרשים 21: יחס היקף השפכים הנוצרים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הייצור (מ"ק/מיליון טונות)



מקור: קרונלנד, 2012; כימיקלים לישראל, 2011.

תרשים 22 מתאר את יחס פליטות הפחמן הדו-חמצני (הישרות והעקיפות) לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך בהתאם למקור הפליטה. ניתן לראות כי יחס זה גדל לאורך שרשרת הערך, וכי העלייה הדרמטית ביותר מתרחשת בתת-שלב העיבוד, ותואמת את המגמה הנצפית בתרשימים 18, 19 ו-20. ככל שמתקדמים בשלבי הייצור, ניתן לראות כי תהליכי הייצור כרוכים בפליטות רבות יותר של פחמן דו-חמצני. בתת-שלב הכרייה הכוונה היא לפעולות הכרייה עצמן, המתבצעות על ידי הכלים והדחפורים למיניהם. כמו כן, ניתן לראות כי במעלה שרשרת הייצור גדל נתח פליטות הפחמן הדו-חמצני מייצור וצריכת אנרגיה, על אף שבפועל – הערך המוחלט של פליטות הפחמן הדו-חמצני בתתי-השלבים העשרה ועיבוד שווה או קטן יותר (וכך גם כמות התוצר). זאת אומרת, עבור כל טונה תוצר בשלבים המתקדמים נפלט יותר פחמן דו-חמצני.

**תרשים 22: יחס משקלי של פליטות הפחמן הדו-חמצני לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך בהתאם למקור הפליטה (טונות/מיליון טונות)**  
 פליטות פחמן דו-חמצני מכלי רכב מייצגות רכיב הסעות וכלי רכב הפועלים בשטח המפעל. פליטות פחמן דו-חמצני שקיל מייצגות פליטות של מתאן וחנקן דו-חמצני כשקיל (equivalent) לפחמן דו-חמצני פד"ח – פחמן דו-חמצני; \*\*חח" – חברת חשמל לישראל

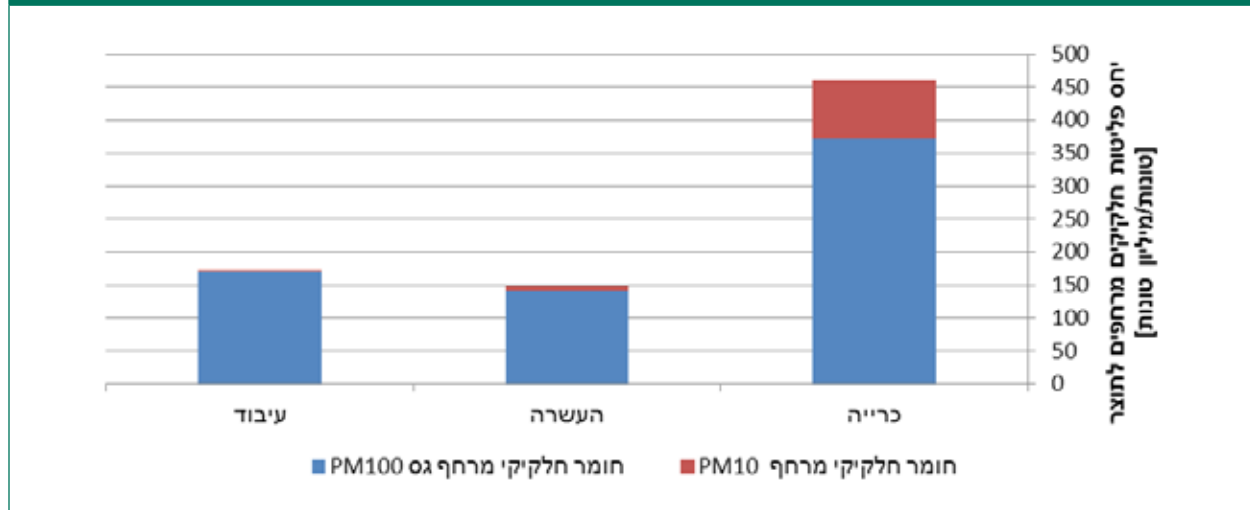


מקור: קרונלנד, 2012; המשרד להגנת הסביבה, 2013א; חברת חשמל, 2012.

לעומת העלייה בפליטות הפחמן הדו-חמצני, בתרשים 23, המתאר את יחס פליטות החומר החלקיקי המרחף (PM100) ל-PM10) לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך, ניתן לראות מגמת ירידה בפליטות החלקיקים המרחפים לאורך שרשרת הערך, עם עלייה קלה בתת-שלב העיבוד. הערך המוחלט של כמות החלקיקים הנפלטת בתת-שלב העיבוד הוא הנמוך ביותר מבין שאר תתי-השלבים, אך כיוון שהוא מחולק בתוצר, שהוא גם כן הנמוך ביותר, נצפית מגמת עלייה. כלומר, גם כאן נפלטים יותר חלקיקים לכל טונה תוצר. ממצאים אלה ניתנים להסבר: ראשית, בתת-שלב הכרייה מתרחשת פליטת חלקיקים גדולה ביותר בכל תתי-השלבים, החל בשלב נסיעת רכבי המכרות, דרך העמסת החומר הנכרה ועד הפיצוצים הנדרשים ופעולת הכרייה עצמה. לרוב, מלבד הרטבת דרכים, קשה לצמצם פליטות אלה, בייחוד בתנאי כרייה אינטנסיביים שכאלה (כפי שתואר בפרק 6), ולכן מצופה כי בשלב זה פליטת החלקיקים תהיה הגדולה ביותר. שנית, בשנים האחרונות במסגרת תוכנית אב שהתוותה חברת "רותם אמפרט נגב" בתיאום עם המשרד להגנת הסביבה, שודרגו מערכות ספיגת החלקיקים בארובות ובתהליכים השונים בתתי-השלבים העשרה ועיבוד. נוסף על כך, בתתי-השלבים העשרה ועיבוד, יחסית קל יותר לנטר ולטפל בפליטות החלקיקים, כיוון שמרביתם נפלטים דרך ארובות (לעומת תת-שלב הכרייה). שלישית, טכנולוגיות להפחתת פחמן דו-חמצני הן מורכבות יותר. לאורך שרשרת הערך פוחת מספר התהליכים שנפלטים

בהם חלקיקים, ולעומתם עולה מספר התהליכים הצורכים אנרגיה, שרפת דלקים גְדֵלה, מספר התהליכים הכימיים עולה, ועמם גוברות פליטות הפחמן דו-חמצני.

תרשים 23: יחס פליטות החומר החלקיקי המרחף לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך [טונות/מיליון טונות]. ישנה הפרדה בין חומר חלקיקי מרחף  $PM_{10}$  לבין חומר חלקיקי מרחף גס  $PM_{100}$ . בשתי קטגוריות החלקיקים ניתן להבחין בירידה משמעותית לאורך שרשרת הערך



מקור: קרונילנד, 2012; המשרד להגנת הסביבה, 2013.א.

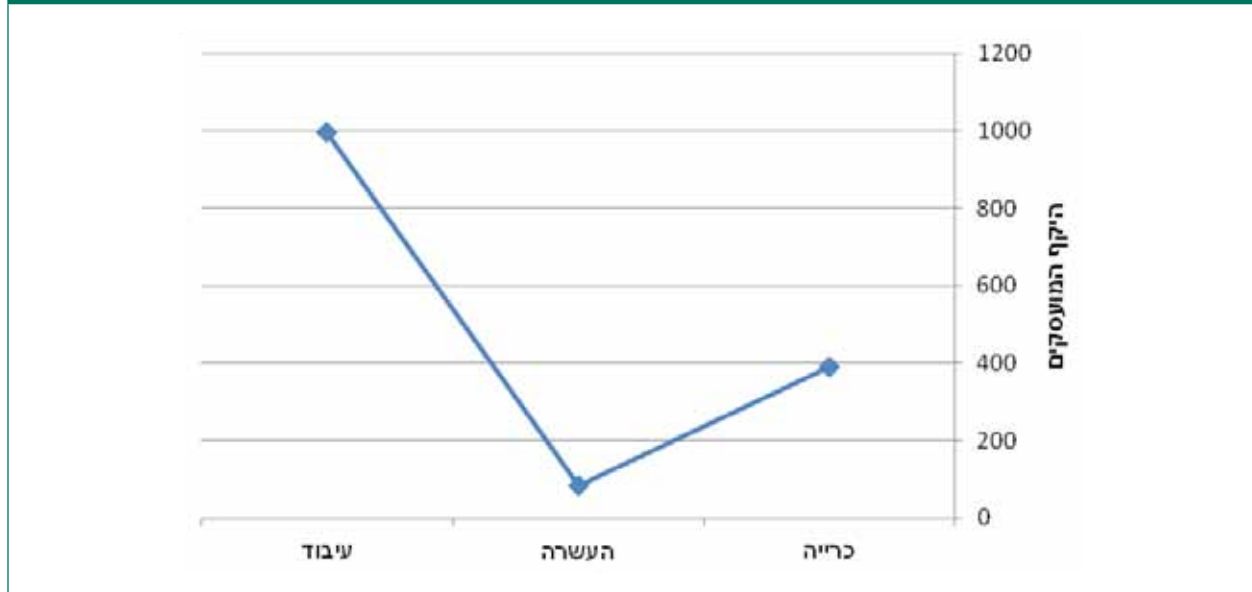
## 6.3.2 מדדי יצרנות השימוש במשאבים

### רמת החברה

תרשים 24 מתאר את היקף המועסקים בחברת "רותם אמפרט נגב" לאורך שרשרת הערך. ניתן לראות כי בתת-שלב העיבוד מועסק מספר העובדים הגדול ביותר. סך כל מספר המועסקים עומד על כ-1,470, ובתת-שלב הכרייה כולל 270 עובדי קבלן, שהם המועסקים העיקריים בשלב זה.



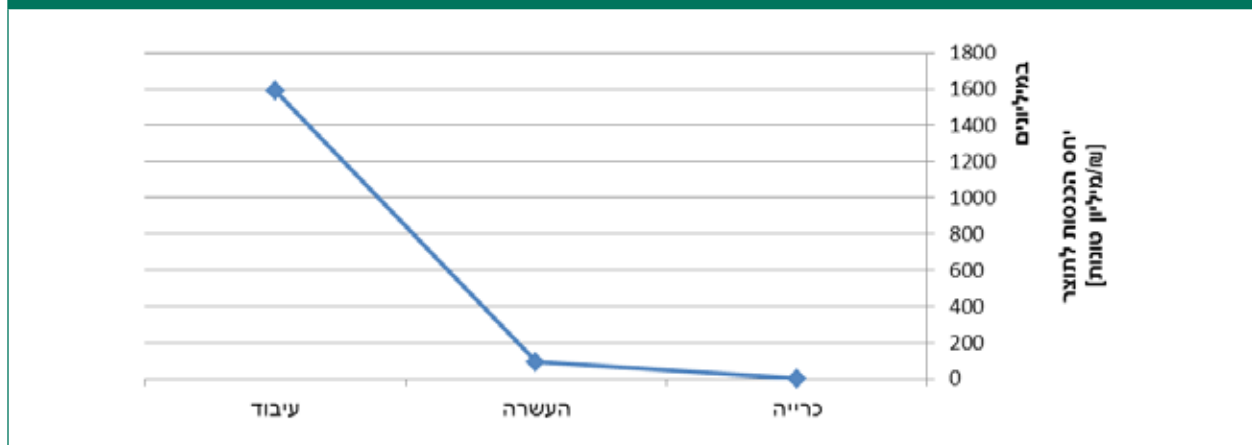
### תרשים 24: היקף המועסקים בחברת "רותם אמפרט נגב" לאורך שרשרת הערך



מקור: רותם אמפרט נגב, 2013.

תרשים 25 מתאר את יחס ההכנסות של חברת "רותם אמפרט נגב" ממכירות בשנת 2010 לכמות התוצר לאורך שרשרת הערך. בתת-שלב הכרייה כביכול אין הכנסות, כיוון שהסלע בתצורתו הגולמית אינו בעל ערך, והוא אינו נסחר בשווקים העולמיים (כפי שמוסבר בראשית הפרק). ניתן לראות את תרומתם המשמעותית של תוצרי תת-שלב העיבוד להכנסות החברה.

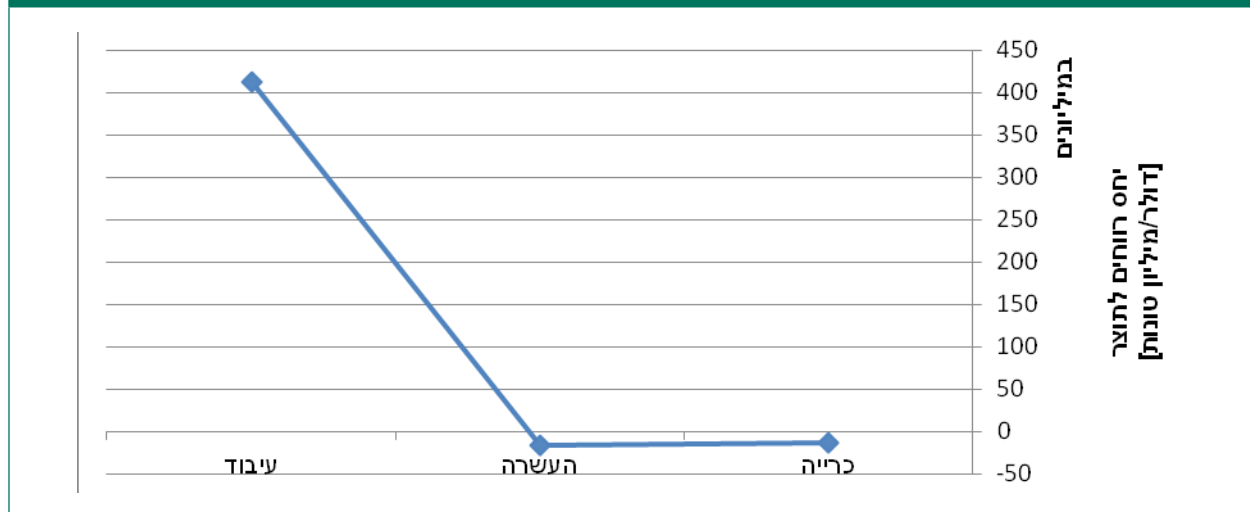
### תרשים 25: היחס בין ההכנסות ממכירות לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך (₪/מיליון טונות)



מקור: World Bank, 2009b; קרונינג, 2012; אשכול כלכלה, 2013.

תרשים 26 מתאר את יחס הרווחים לכמות התוצר לאורך שרשרת הערך. בתתי-השלבים כרייה והעשרה הרווחים הם שליליים, כלומר העלויות גבוהות מן ההכנסות. כאמור, בתת-שלב הכרייה אין הכנסה; בתת-שלב ההעשרה רק 20–30% מן הסלע המועשר נמכרים, ואילו השאר משמש לתהליכי העיבוד הנוסף, ולכן גם כאן העלויות עולות על ההכנסות. לכן, ניתן לראות כי היחס נעשה חיובי רק בתת-שלב העיבוד, וכי בתתי-השלבים כרייה והעשרה אין שינוי משמעותי. חשוב לציין שאילו היו נמכרים בתת-שלב ההעשרה למעלה מ-34% מהתוצר (בהתאם לנתוני שנת 2010), אזי כבר תת-שלב זה היה רווחי, דבר שהיה משפיע על מבנה הכנסות החברה, ובהתאם גם על ניתוח זה.

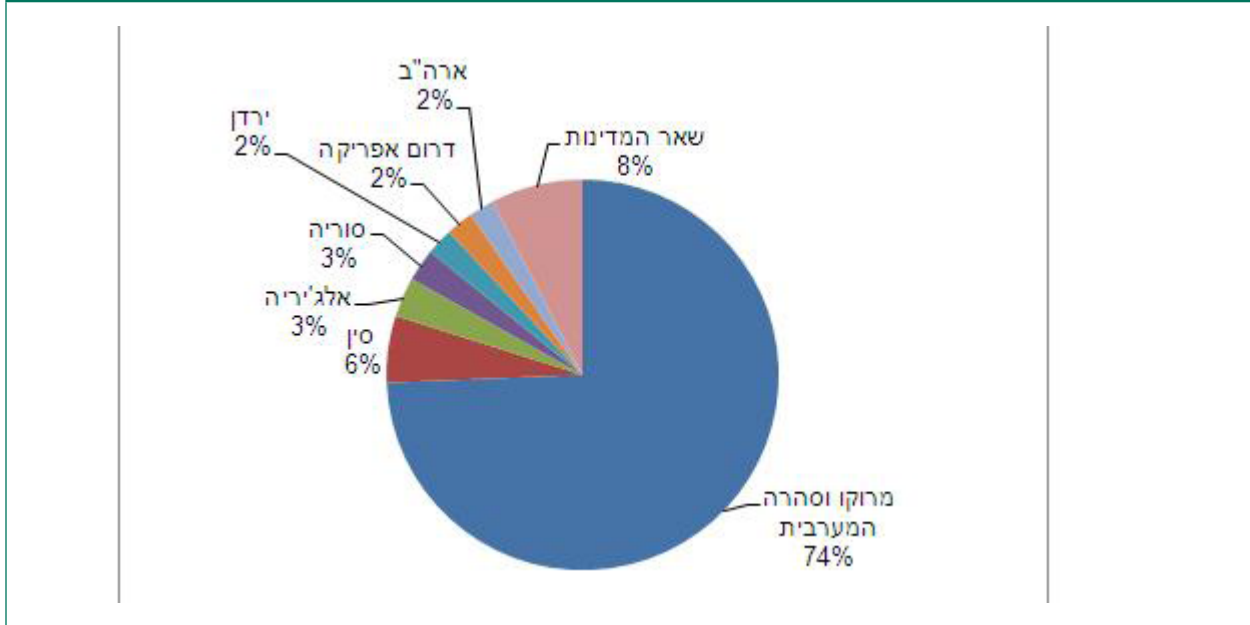
### תרשים 26: יחס רווחי החברה לכמות התוצר לאורך שרשרת הערך (דולר/מיליון טונות)



מקור: World Bank, 2009b; קרוונלנד, 2012; אשכול כלכלה, 2013.

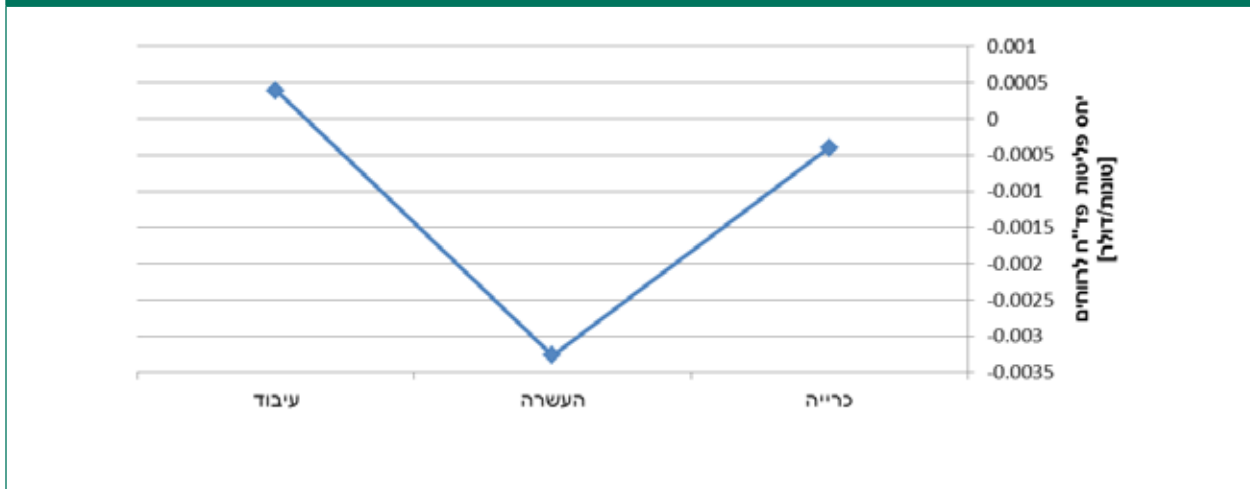
תרשימים 27 ו-28 מתארים את היחס בין צריכת האנרגיה ופליטות הפחמן דו-חמצני לרווחי החברה לאורך שרשרת הערך (בהתאמה). במבט ראשון התרשימים מטעים במקצת. כיוון שרווחי החברה שליליים בתתי-השלבים כרייה והעשרה (מהסיבות שהוסברו לעיל), מגמת הירידה הנצפית בתרשימים מייצגת למעשה עלייה ביחס (ערך מוחלט). כלומר, על כל דולר רווח, יש להשקיע יותר אנרגיה, ונפלט יותר פחמן דו-חמצני. הערך בתת-שלב העיבוד נמוך יותר מהערך בתתי-השלבים כרייה והעשרה (בערך מוחלט) בשני התרשימים, ועל כן בתת-שלב העיבוד נצפית בפועל ירידה ביחס. כלומר, על כל דולר רווח בתת-שלב העיבוד נדרשת השקעת אנרגיה קטנה יותר, ונפלט פחות פחמן דו-חמצני. תוצאה זו אינה מפתיעה, שהרי הרווחים בתת-שלב העיבוד גדולים כל כך, שעל אף העובדה ששלב זה צורך את האנרגיה הגדולה ביותר ושפליטות הפחמן הדו-חמצני בו הן הגדולות ביותר, היחס עדיין קטן.

**תרשים 27: יחס צריכת האנרגיה לרווחי החברה לאורך שרשרת הערך (קוט"ש/דולר)**



מקור: מכון מילקן, 2013.

**תרשים 28: יחס פליטות פחמן דו-חמצני לרווחי החברה לאורך שרשרת הערך (טונות/דולר)**



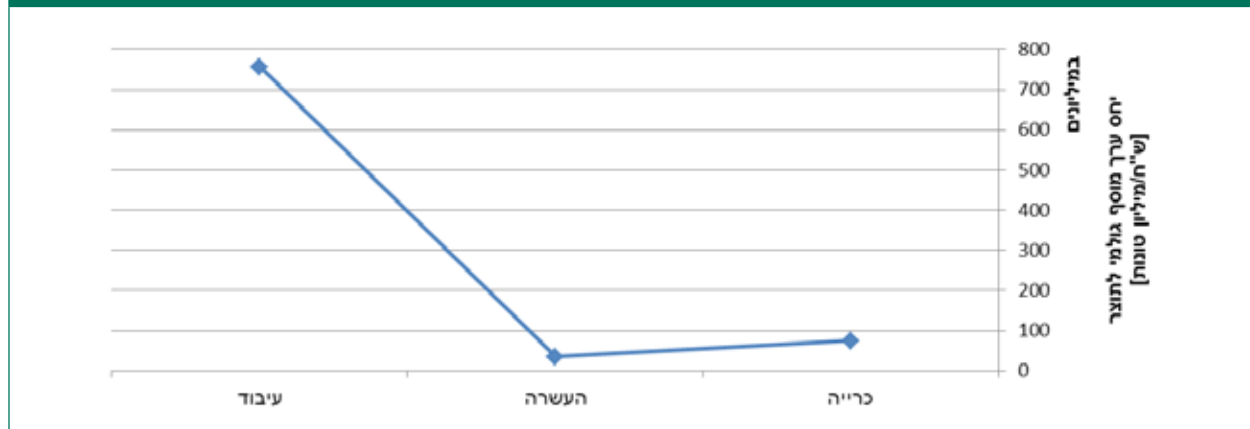
מקור: מכון מילקן, 2013.

**רמת המשק**

תרשים 29 מתאר את היצרנות עבור המשק, כלומר את היחס בין ערך מוסף גולמי (כולל את התמורה למשרות, רווח [לפני ניכוי מס הכנסה]), הוצאות מימון נטו [ערך הריבית והפרשי ההצמדה ששילם העסק פחות הריבית והפרשי ההצמדה

שנתקבלו על ידי העסק], פחת, תמלוגים ודמי זיכיון לפי הגדרת ונתוני הלמ"ס [למ"ס, 2009]) לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך (בהתאם לנוסחה 6). העמסת הערך המוסף הגולמי עבור תתי-השלבים נעשתה לפי מפתח יחס העובדים בכל תת-שלב. לכן, ניתן לראות כי היצרנות הגבוהה ביותר מתקבלת עבור תת-שלב העיבוד, ועובדה זו תואמת גם את ההכנסות הגבוהות לשלב זה בהתאם לתרשים 25. אף על פי שאין הכנסות בתת-שלב הכרייה, יש בו ערך מוסף גולמי עקב העסקת העובדים בשלב זה וכלל מעטפת העבודה הנדרשת.

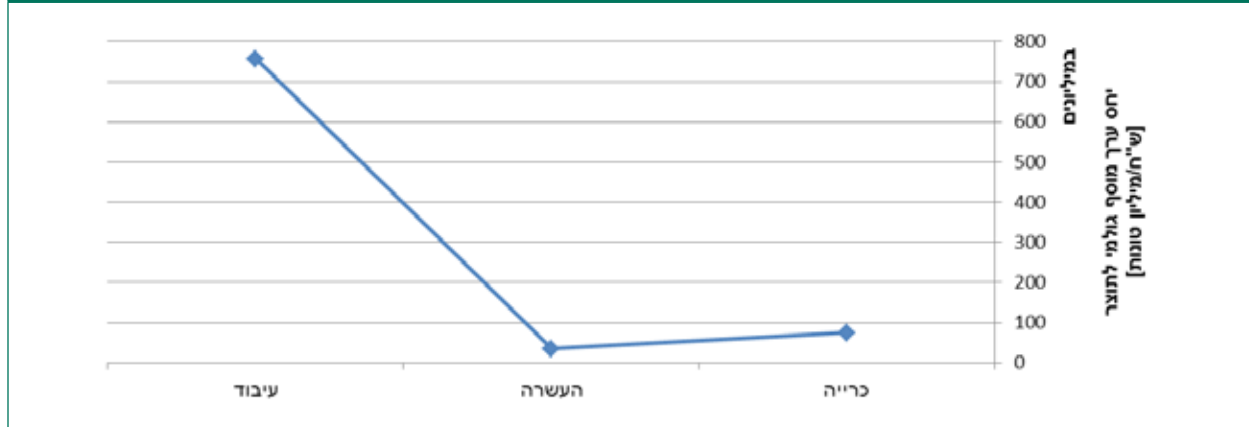
### תרשים 29: היצרנות למשק, היחס בין ערך מוסף גולמי לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך (ש"ח/מיליון טונות) (ש"ח/מיליון טונות)



מקור: קרוונלנד, 2012; למ"ס, 2009.

תרשים 30 מתאר את השימוש באנרגיה ליצרנות, כלומר את היחס בין צריכת האנרגיה לבין הערך המוסף הגולמי לאורך שרשרת הערך (בהתאם להופכי של נוסחה 9). ניתן לראות כי תתי-השלבים כרייה ועיבוד כמעט זהים, ואילו בתת-שלב ההעשרה ישנה עלייה דרסטית. זאת אומרת שעל כל ש"ח תרומה למשק בתת-שלב ההעשרה נדרשת השקעת אנרגיה גדולה בהרבה משאר תתי-השלבים. אותה תמונה מתקבלת עבור פליטות פחמן דו-חמצני ליצרנות.

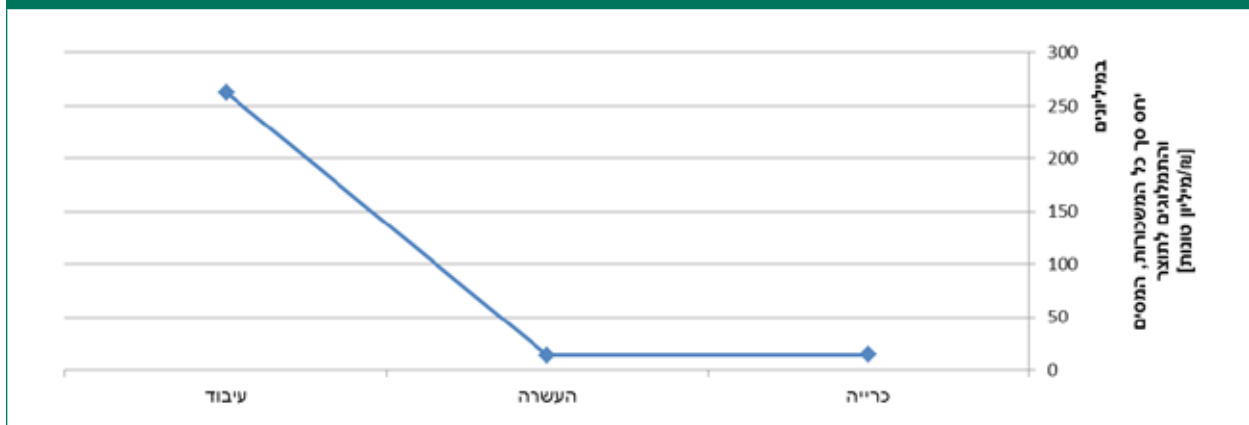
### תרשים 30: שימוש באנרגיה ליצירת: היחס בין צריכת האנרגיה לערך המוסף הגולמי לאורך שרשרת הערך (קוט"ש/ש"ם)



מקור: מכון מילקן, 2013.

משתנה נוסף המבטא את התרומה למשק של תעשייה זו הוא סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים ששולמו בכל שלב. המסים כוללים מס חברות, ארנונה ומס על הכנסות עובדים, וחולקו בין תתי-השלבים בהתאם ליחס ההכנסות בכל שלב. תרשים 31 מתאר את יחס סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך. ניתן לראות כי בין תת-שלב הכרייה לתת-שלב ההעשרה אין שינוי משמעותי, ואילו התרומה הגדולה ביותר למשק מתרחשת בתת-שלב העיבוד.

### תרשים 31: יחס סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך (ש"ם/מיליון טונות)

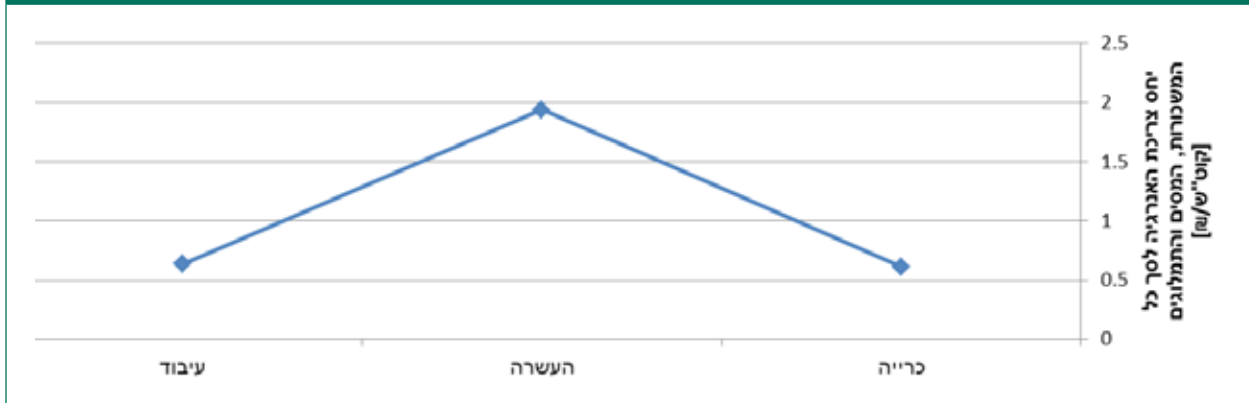


מקור: למ"ס, 2009; כימיקלים לישראל, 2012; קרונינג, 2012; רותם אמפרט נגב, 2013.

תרשים 32 מתאר את יחס צריכת האנרגיה למשתנה סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים (כפי שהוגדר לעיל) לאורך שרשרת הערך. ניתן לראות כי תתי-השלבים כרייה ועיבוד כמעט וזהים, ואילו בתת-שלב ההעשרה ישנה עלייה דרסטית.

כלומר, על כל ₪ תרומה למשק בתת-שלב ההעשרה נדרשת השקעת אנרגיה גדולה בהרבה משאר תתי-השלבים. אותה תמונה מתקבלת עבור פליטות פחמן דו-חמצני למשתנה זה.

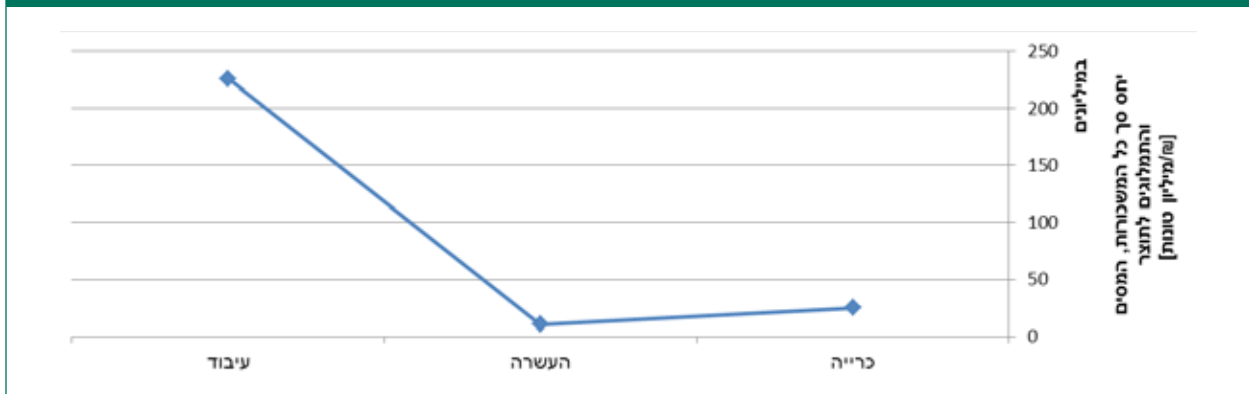
### תרשים 32: יחס צריכת האנרגיה לסך כל המשכורות, המסים והתמלוגים (בהתאם ליחס ההכנסות) לאורך שרשרת הערך (קוט"ש/₪)



מקור: מכון מילקן, 2013.

תרשימים 33 ו-34 מציגים את אותם המדדים הנראים בתרשימים 31 ו-32, בשינוי המפתח שהוגדר לעיל עבור המשתנה סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים. אם כן, בתרשימים 33 ו-34 חלוקת המסים בין תתי-השלבים מוגדרת לפי מפתח יחס העובדים לאורך שרשרת הערך (בניגוד ליחס ההכנסות בתרשימים 31 ו-32). תרשים 33 מתאר את יחס סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך. ניתן לראות כי ישנה ירידה בין תת-שלב הכרייה לתת-שלב ההעשרה, שיש בו פחות עובדים, ואילו התרומה הגדולה ביותר למשק מתרחשת בתת-שלב העיבוד. המגמה בתרשים דומה למגמה הנראית בתרשים 24.

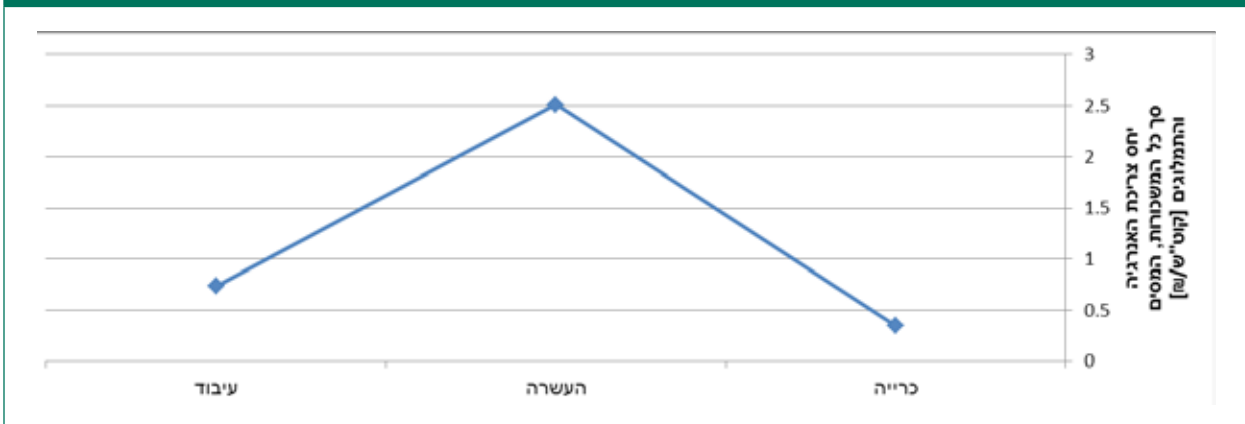
### תרשים 33: יחס סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך (₪/מיליון טונות)



מקור: מכון מילקן, 2013.

תרשים 34 מתאר את יחס צריכת האנרגיה לסך כל המשכורות, המסים והתמלוגים לאורך שרשרת הערך. תת-שלב הכרייה שומר על היחס הנמוך ביותר, בתת-שלב ההעשרה ישנה עלייה דרסטית, ולאחריה ירידה בתת-שלב העיבוד לערכים הגבוהים מעט מאלה של תת-שלב הכרייה. כלומר, על כל ₪ תרומה למשק בתת-שלב ההעשרה נדרשת השקעת אנרגיה גדולה בהרבה משאר תתי-השלבים. זוהי מגמה זהה למגמה הנראית בתרשימים 30 ו-32. כמו כן, אותה תמונה מתקבלת עבור פליטות פחמן דו-חמצני למשתנה זה.

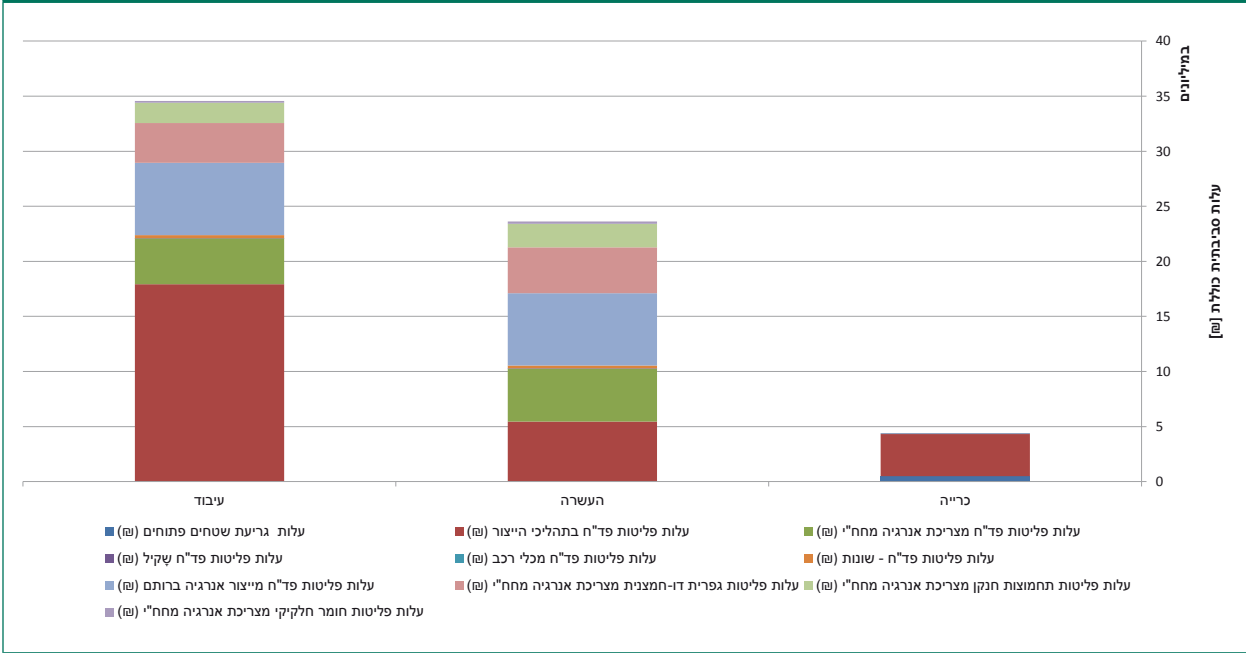
### תרשים 34: יחס סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים לצריכת האנרגיה לאורך שרשרת הערך (קוט"ש/₪)



מקור: מכון מילקן, 2013.

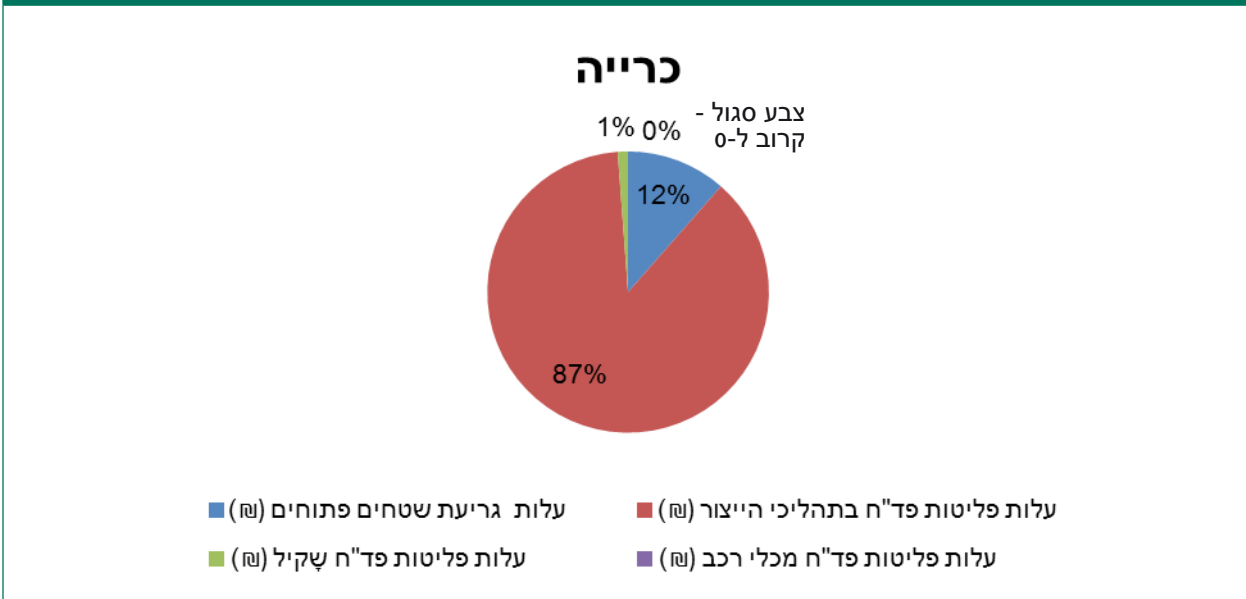
תרשים 35 מתאר את העלויות החיצוניות הסביבתיות (עלות גריעת השטחים הפתוחים, עלות פליטת מזהמים גזיים, כגון פחמן דו-חמצני, מתאן, גפרית דו-חמצנית, חלקיקים מרחפים ותחמוצות חנקן) לאורך שרשרת הערך (ראו פירוט בנספח 1). ניתן לראות כי העלויות החיצוניות גדלות לאורך שרשרת הערך, וכי בסך הכול לאורך כל שרשרת הערך מוערכות העלויות החיצוניות הסביבתיות במעל ל-62.5 מיליון ₪. תרשימים 36, 37 ו-38 מציגים את פילוח העלויות החיצוניות בכל שלב, ומשלימים את התמונה לתרשים 35. כבר בתרשים 35 ניתן לראות כי בתת-שלב הכרייה הרוב המוחלט של העלויות החיצוניות הוא עלות פליטות הפחמן הדו-חמצני בתהליכי הייצור, לעומת תת-שלב העיבוד, שם עומדות עלויות אלה על כמחצית. בתתי-השלבים העשרה ועיבוד יש לפליטות הפחמן דו-חמצני מייצור האנרגיה באתר רותם עלות. עיקר העלות הנוספת בתתי-שלבים אלה היא תוצאה של עלות הפליטות השונות בייצור החשמל בחח"י. מתרשים 37 עולה כי בתת-שלב ההעשרה העלות החיצונית מפליטות מייצור החשמל בחח"י היא כמעט 50% מהעלויות החיצוניות, ואילו ביחד עם עלות פליטות הפחמן הדו-חמצני מן הייצור באתר רותם היא למעלה מ-75% מהעלויות החיצוניות. בתרשים 38 רואים כי בתת-שלב העיבוד, סך פליטות אלה קרוב ל-50%.

**תרשים 35: העלויות החיצוניות הסביבתיות לאורך שרשרת הערך [ש]. בסך הכול מסתכמות העלויות במעל ל-62.5 מיליון ₪**



מקור: קרונלנד, 2012; המשרד להגנת הסביבה, 2013 (ראו פירוט בנספח 1).

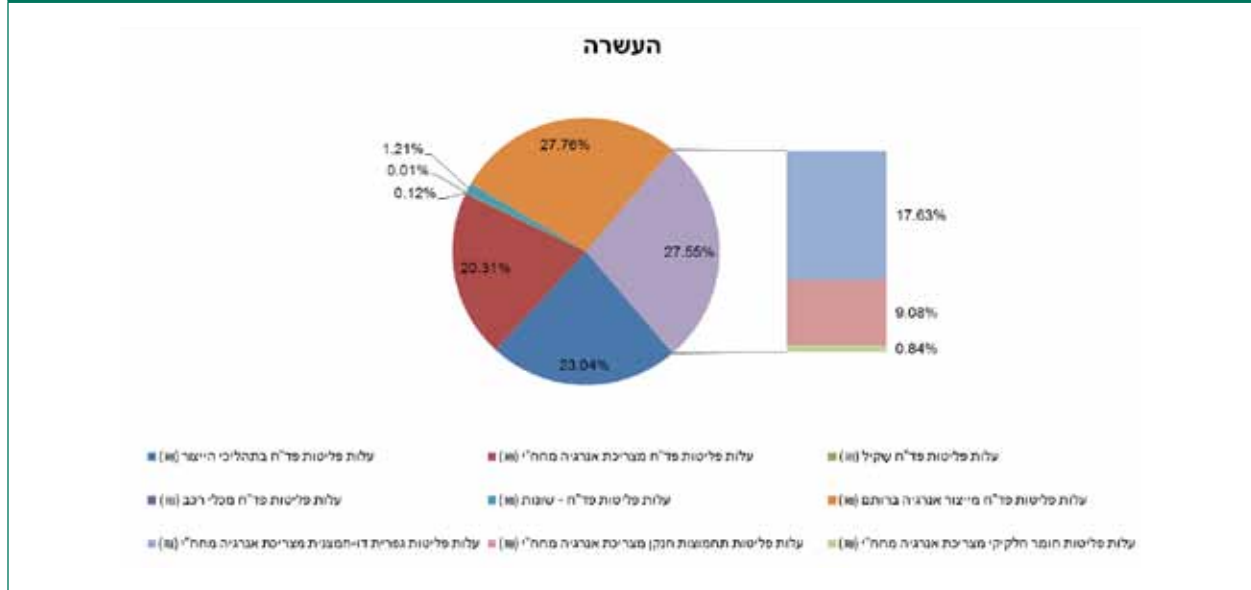
**תרשים 36: פילוח העלויות החיצוניות בשלב הכרייה (ראו פירוט בנספח 1)**



מקור: המשרד להגנת הסביבה, 2013 (ראו פירוט בנספח 1).

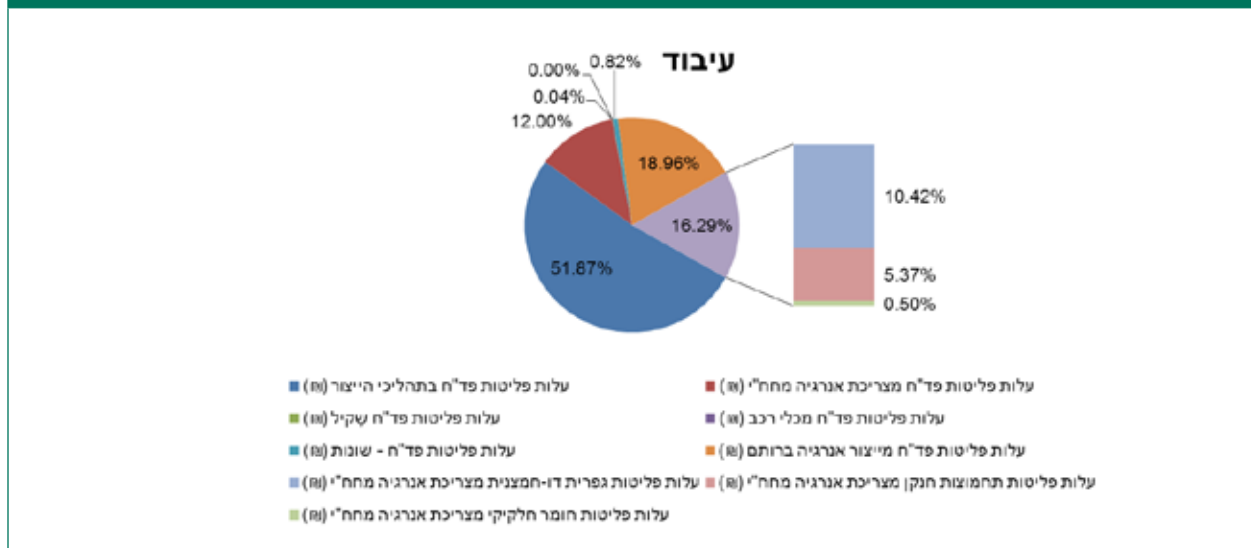


**תרשים 37: פילוח העלויות החיצוניות כשלב העשרה. בצד ימין ניתן לראות את הרכב העלויות החיצוניות מפליטות ייצור החשמל בחח"י ללא עלות הפחמן דו-חמצני (ראו פירוט בנספח 1)**



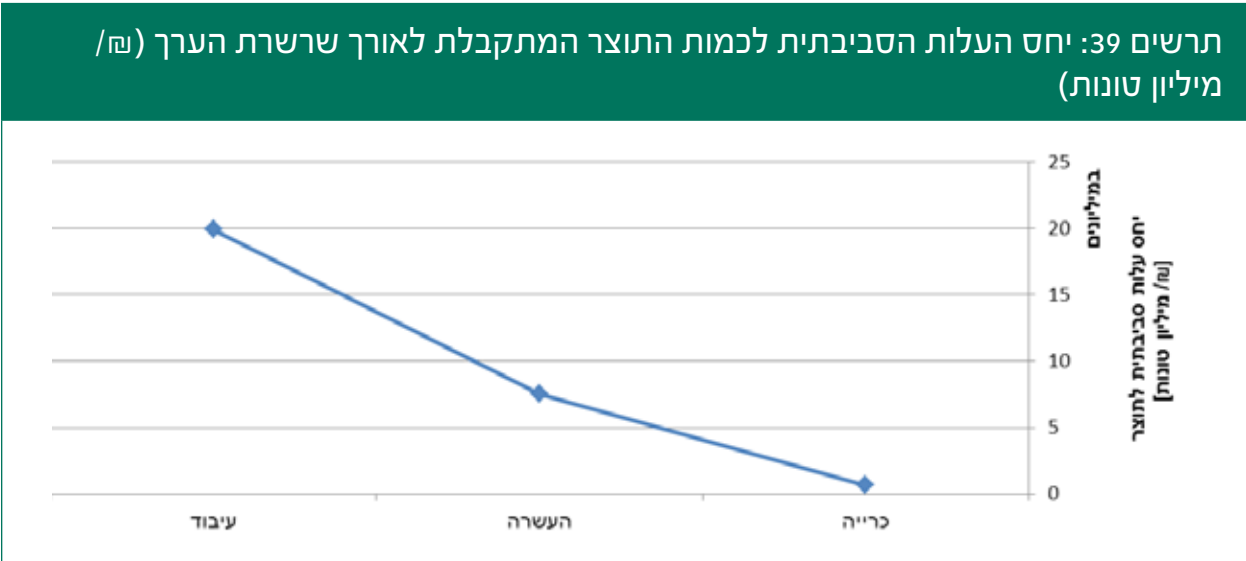
**מקור:** המשרד להגנת הסביבה, 2013 (ראו פירוט בנספח 1).

**תרשים 38: פילוח העלויות החיצוניות כשלב העיבוד. בצד ימין ניתן לראות את הרכב העלויות החיצוניות מפליטות ייצור החשמל בחח"י ללא עלות הפחמן דו-חמצני (ראו פירוט בנספח 1)**



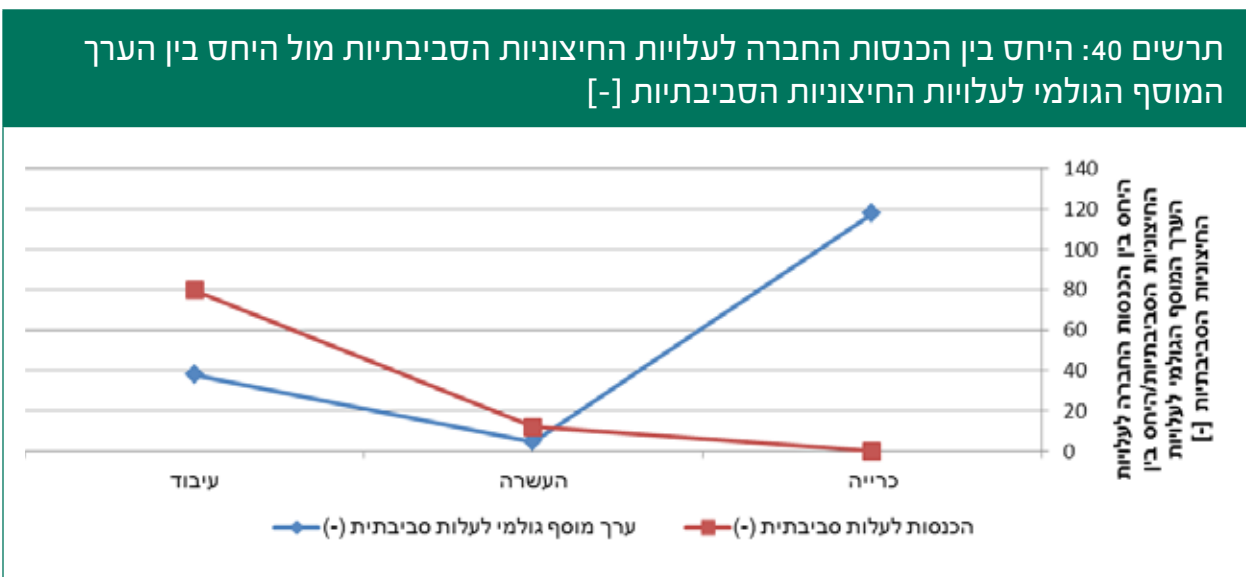
**מקור:** המשרד להגנת הסביבה, 2013 (ראו פירוט בנספח 1).

תרשים 39 מתאר את היחס בין העלות הסביבתית לכמות התוצר המתקבלת לאורך שרשרת הערך. בהתאמה למגמה הנצפית מתרשימים 35–38, העלות הסביבתית לתוצר גדלה לאורך שרשרת הערך, ובתת-שלב העיבוד היא הגדולה ביותר.



מקור: מכון מילקן, 2013.

תרשים 40 מתאר את היחס בין הכנסות החברה לעלויות החיצוניות הסביבתיות, ומנגד את היחס בין הערך המוסף הגולמי לעלויות החיצוניות הסביבתיות (בהתאם לנוסחה 10). הערך המוחלט של ההכנסות גבוה מן הערך המוסף הגולמי (מלבד בתת-שלב הכרייה). עם זאת, מצטיירת מגמה הפוכה בין היחסים כאשר יחס הערך המוסף הגולמי לעלויות החיצוניות קטן בתת-השלבים העשרה ועיבוד מערכו בתת-שלב הכרייה, וזאת לעומת יחס ההכנסות לעלות הסביבתית שגדל לאורך שרשרת הערך.

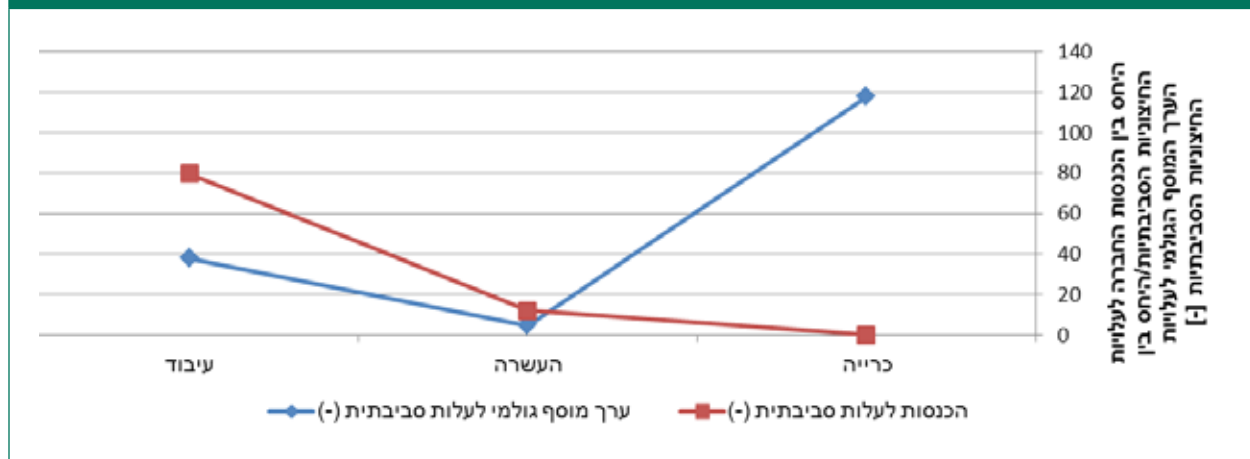


מקור: מכון מילקן, 2013.

תרשים 41 מתאר את היחס בין רווחי החברה לעלויות החיצוניות הסביבתיות, ומנגד את היחס בין הערך המוסף הגולמי לעלויות החיצוניות הסביבתיות (בהתאם לנוסחה 10). ניתן לראות מגמה הפוכה בין היחסים, כאשר יחס הערך המוסף הגולמי לעלויות החיצוניות הסביבתיות בתתי-השלב העשרה ועיבוד קטן מערכו בתת-שלב הכרייה, וזאת לעומת יחס רווחי החברה לעלויות סביבתיות שגדל לאורך שרשרת הערך, בהתאם לתרשים 40.

תרשים זה לתרשים 41 מתקבל כאשר הערך המוסף הגולמי מוחלף במשתנה סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים, הן לפי מפתח יחס הכנסות הן לפי מפתח יחס העובדים (כפי שתואר לעיל).

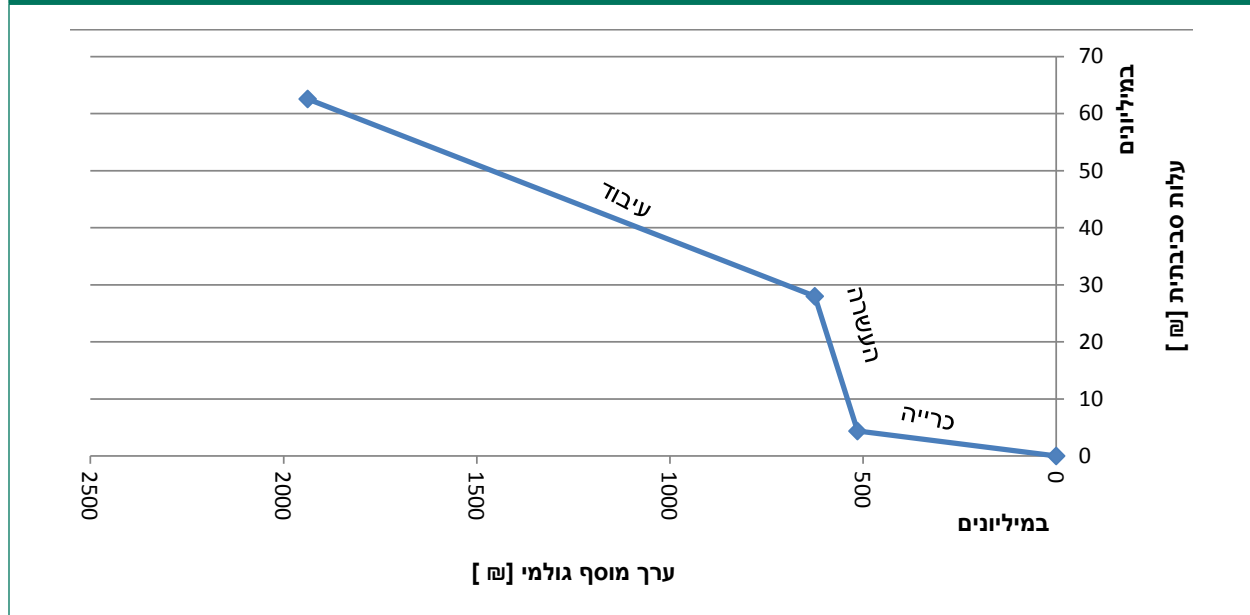
### תרשים 41: היחס בין רווחי החברה לעלויות החיצוניות הסביבתיות מול היחס בין הערך המוסף הגולמי לעלויות החיצוניות הסביבתיות (-)



מקור: מכון מילקן, 2013.

תרשים 42 מתאר את הקשר בין העלות החיצונית הסביבתית המצטברת של כל שלב אל מול הערך המוסף הגולמי המצטבר של כל שלב בשרשרת הערך, בהתאם לתרשים 9 בפרק 5. ניתן לראות כי ככל שהשיפוע בתרשים קטן יותר, כך הערך המוסף למשק לעומת העלות הסביבתית גדול יותר. כפי הנראה, תת-שלב העשרה הוא בעל הפגיעה הסביבתית הגדולה ביותר ביחס לערך המוסף למשק, ואילו תת-שלב הכרייה הוא הנמוך ביותר. אותה מגמה מתקבלת כאשר מוחלף הערך המוסף הגולמי ברווחי החברה או במשתנה יחס סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים הן לפי מפתח יחס הכנסות הן לפי מפתח יחס העובדים (כפי שתואר לעיל), וכן כאשר מוחלפת העלות הסביבתית המצטברת בצריכת אנרגיה מצטברת או בפליטות מצטברות של פחמן דו-חמצני.

## תרשים 42: הקשר בין העלות החיצונית הסביבתית המצטברת של כל שלב אל מול הערך המוסף הגולמי המצטבר של כל שלב בשרשרת הערך



מקור: מכון מילקן, 2013.

## 7. דיון

הניתוח הכלכלי-סביבתי של שרשרת הערך מורכב מניתוח של מדדי יעילות ויצרנות השימוש במשאבים בנפרד ובמקביל. הניתוח מצביע על מספר מגמות בשרשרת הערך, ומעלה קונפליקטים אפשריים בין החברה הפרטית למשק. מנגד עולות הסתייגויות הקשורות להנחות ולהערכות שנעשו לצורכי המחקר, וכן שאלות הנוגעות לסוגיית כימות והערכה של עלויות חיצוניות של פליטות מזהמים שונים לסביבה.

בעוד במדדים מסוימים נראית מגמת ייעול בשימוש במשאבים (תרשימים 17, 21 ו-23), הנובעים מאופי תהליך הייצור, מתוכניות להפחתת פליטות ועוד, ניתן לראות עלייה מובהקת בתשומות התהליכים לאורך שרשרת הערך כדוגמת צריכת אנרגיה (תרשים 19) ומים (תרשים 20), וכן בתפוקות כדוגמת פליטות פחמן דו-חמצני (תרשים 22) והיקף הפסולת שנוצרת (תרשים 18). כלומר, ככל שמתקדמים בשרשרת הערך של ייצור המוצר, נדרשים יותר אנרגיה ומים, ונפלטים יותר מזהמים לסביבה על כל טונה תוצר. משמע, ייתכן כי תת-שלב הכרייה אינו תת-השלב הבעייתי ביותר, ויש לתת דגש גם על תת-שלב העיבוד בזמן קבלת החלטות תכנון או בעת קביעת מדיניות. כפועל יוצא, העלויות הסביבתיות לאורך שרשרת הערך הולכות וגדלות (תרשימים 35 ו-39). בד בבד עם מגמות אלה עולים הכנסות החברה ורווחיה בצורה ניכרת לאורך שרשרת הערך. כלומר, על כל טונה תוצר שמיצור בתת-השלב המתקדמים, הכנסות החברה, ובהתאמה גם הרווחים, גדלים משמעותית (תרשימים 25 ו-26). למעשה, ניתן לראות שהחברה נעשית רווחית רק בתת-שלב העיבוד, עובדה הנובעת מההחלטה להפנות את מרבית הסלע המועשר לתת-שלב העיבוד (כימיקלים לישראל, 2013). נוסף על

כך, בתת-שלב העיבוד מספר העובדים הוא הגדול ביותר ומהווה מעל למחצית מכלל עובדי החברה (תרשים 24). בהתאם לכך, היצרנות למשק בתת-שלב העיבוד היא הגבוהה והמשמעותית ביותר (תרשימים 29, 31 ו-33). בנייתו זה יש לסייג כי העמסת הערך המוסף הגולמי לכל תת-שלב בשרשרת הערך נעשית בהתאם ליחס העובדים. כמו כן, גם המשתנה סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים הושפע רבות ממספר העובדים (המשכורות היו הנתח הגדול ביותר). לכן, כיוון שמספר העובדים הוא הגבוה ביותר בתת-שלב העיבוד, הערך המוסף הגולמי והמשתנה סך כל המשכורות, המסים והתמלוגים קיבלו את הערך הגבוה ביותר בהתאם. הנחה זו סבירה בהתאם להגדרות הערך המוסף הגולמי לפי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס), ונראה כי היא מתארת את המציאות מהימנה.

השפעת ההעמסה בהתאם ליחס העובדים נראית גם בתרשים 29, המראה כי בתת-שלב ההעשרה היצרנות למשק היא הנמוכה ביותר. תרשימים 30, 32 ו-34 מראים כי תת-שלב זה הוא ה"מלוכלך" ביותר, כלומר, שנדרשת השקעת אנרגיה גדולה יותר (או פליטות פחמן דו-חמצני גבוהות יותר) עבור כל ערך שמוסף למשק או רווח לחברה (תרשימים 27 ו-28). כמו כן, בתתי-השלבים כרייה ועיבוד – צריכת האנרגיה או פליטת פחמן דו-חמצני לכל ערך מוסף למשק כמעט זהה, אף על פי שבתת-שלב הכרייה אין רווחים כלל, ומספר העובדים נמוך משמעותית. ההסתייגות המרכזית מהתוצאות הללו היא שלא ניתן להתעלם מהעובדה כי תת-שלב ההעשרה הוא תת-שלב הכרחי לפני תת-שלב העיבוד, ולכן חולק נתח קטן או שווה לפחות לערך המוסף למשק ולרווחי החברה המתקבלים מתת-שלב העיבוד. ולמרות זאת, תוצאה זו עדיין מצביעה על מקום אפשרי לשיפור בביצועים הסביבתיים בתת-שלב זה. ניתן לחוש בקונפליקט המסתמן עד כה מאחר שעבור החברה הפרטית תתי-השלבים המתקדמים הם תתי-השלבים הרווחיים ביותר ותרומתם למשק היא הגדולה ביותר, ומנגד הם גוררים עמם עלויות חיצוניות גבוהות, ומצריכים משאבים גדולים יותר.

תרשימים 40, 41 ו-42 מנסים לענות על השאלה המכרעת אם כך: ביחס לעלות הסביבתית אילו תתי-שלבים תורמים את הערך המוסף הרב ביותר למשק? גם כאן נראית מגמה ברורה, כי עבור החברה, ככל שמתקדמים לאורך שרשרת הערך, על כל יחידת עלות סביבתית למשק (ש) רווחי החברה והכנסות החברה גדולים יותר. מנגד, מתקבל כי עבור המשק דווקא בשלב הראשוני של שרשרת הערך, תת-שלב הכרייה, מתקבל הערך המוסף הגדול ביותר ביחס ליחידת עלות סביבתית למשק (ש). תת-שלב ההעשרה הוא ה"מלוכלך" ביותר, ותת-שלב העיבוד נמצא בטווח שבין שניהם. כלומר, בעוד היעילות הכלכלית-סביבתית למשק גבוהה יותר בתתי-השלבים הראשונים של שרשרת הערך, מבחינת החברה, היעילות הכלכלית-סביבתית הגדולה ביותר היא בתתי-השלבים המתקדמים של השרשרת. עם זאת, שאלת כימות העלויות החיצוניות מעלה הסתייגות בנוגע לניתוח זה, ושאלה קריטית הנוגעת ליכולת לכמת עלויות חיצוניות. ייתכן שתמחור העלויות החיצוניות באופן שונה היה הופך את התוצאה על פיה. בתרשימים 35–37 ניתן לראות את העלויות החיצוניות לאורך שרשרת הערך ואת התפלגותן. בשלב הכרייה ערך הקרקע הנגרעת מדי שנה הוא 12% בלבד מהעלות הסביבתית של אותו תת-שלב. כפי הנראה, זוהי הערכת חסר. ייתכן מצב שהתמחור בו היה גבוה משמעותית, כך שהניתוח הכלכלי-סביבתי היה דומה יותר למתואר בספרות. זאת אומרת שהעלות הסביבתית הייתה הגדולה ביותר בתת-שלב הכרייה ואז קטנה לאורך שרשרת הערך, בעוד שהערך המוסף למשק גדל. כמו כן, בתרשימים 36 ו-38 ניתן להבחין בנתח היחסי הגדול של העלויות החיצוניות כתוצאה מייצור החשמל בחח"י (עלות פליטת פחמן דו-חמצני, גפרית דו-חמצנית, תחמוצות חנקן וחלקיקים מרחפים). בסך הכול נתח זה הוא כשליש מכלל העלויות החיצוניות (מעל 21 מיליון שקל), ונראה כי זהו תמחור עודף של עלות חיצונית זו, בייחוד לאור העובדה כי מרבית ייצור החשמל מתבצע באתר רותם. חשוב לציין, שבניתוח העלויות החיצוניות נכללו העלויות החיצוניות העדכניות ביותר (נספח 1), ונעשה ניסיון לכלול את המספר הרב ביותר של סוגי

עלויות אלה. למרות זאת, עלויות נוספות רבות אינן נכללות, החל בעלות השימוש במים ופליטות השפכים, דרך טיפול בסוגי הפסולת השונים (כגון הפוספוגבס, שהוא הנתח המשמעותי ביותר של הפסולת, והוא תוצר של תת-שלב העיבוד) ועד הערכת המפגע הנופי של המפעלים והנסועה בשטח.

נקודה נוספת היא שהתוצאות המתקבלות אינן תואמות במדויק את הנראה בספרות (Clift, Sim, and Sinclair, 2013), אך יש לזכור כי זהו תחום מחקר חדש יחסית, וייתכן שהתיאור בספרות אינו תואם לתעשייה מסוג זה.

## 8. מסקנות והמלצות

על בסיס הדיון וההסתיוגויות העולות ממנו, לא ניתן להסיק באופן חד-משמעי באיזה תת-שלב היעילות הכלכלית-סביבתית היא הגדולה ביותר או לקבוע כי תת-שלב הכרייה, לדוגמה, הוא הכדאי ביותר למשק ועל כן יש לכרות כמה שיותר. נראה כי הפער הגדול ביותר העומד בפני קביעות מסוג זה הוא כימות העלויות החיצוניות במלואן. סוגיה זו של כימות עלויות חיצוניות והערכה הכלכלית של מפגעים סביבתיים נמצאת בחזית המחקר העולמי, והיא סוגיה שמדינות רבות מתמודדות איתה. **למעשה, סוגיה זו מייצגת את התפר שבין הכלכלה, התעשייה והסביבה שמחקר זה מנסה להתמודד איתו.** המסקנות וההמלצות ממקרה הבוחן נעות מן המקרה הפרטי אל הכלל, ומטפסות חזרה אל החלק הראשון של המחקר, לשאלת ניהול משאבי הטבע בישראל. והרי הן:

- העובדה שהעלויות החיצוניות מצריכת אנרגיה מחח"י הן כשליש מן העלויות החיצוניות אף על פי שמרבית האנרגיה מיוצרת באתר רותם, **טומנת בחובה פוטנציאל רב** להפחתת עלויות אלה על ידי ייעול מבחינת האנרגיה והפחתת נתח צריכת האנרגיה מחח"י. חשוב לזכור שלחברת רותם אין יכולת השפעה על הפליטות מייצור החשמל הארצי בחח"י, אלא רק על הייצור העצמי שלה, ולכן כל עוד מדיניות תמהיל האנרגיה לחשמל בישראל נשארת על כנה, יכולת החברה להתייעל גם היא מוגבלת.
- פליטות פחמן דו-חמצני הן מעל ל-95% מהפליטות הגזיות (מבחינת המשקל) וכ-80% מהעלויות החיצוניות. אמנם תמחור העלויות החיצוניות אינו שלם, וכפי הנראה חלק מהמזהמים מתומחרים בחוסר או בעודף, אך עדיין נראה כי פחמן דו-חמצני יהיה נתח משמעותי מן העלויות החיצוניות גם בעתיד, **ולכן קיים פוטנציאל רב להפחתת העלויות החיצוניות** על ידי הפחתת פליטות מזהם זה. נוסף על כך, עבור הפוספוגבס, שלא נידון בהרחבה במחקר זה אך מבחינת משקלו הוא המזהם המשמעותי ביותר שנפלט בשרשרת הערך, עדיין אין תמחור של עלות חיצונית. מפעילות רבת שנים של התעשייה נצברו עשרות מיליוני טונות של מזהם זה, והן נערמות ברחבי המפעל (עמיר ואח', 2011; סיור במרחבי אתרי הכרייה ביום 21 באוגוסט 2013 – ז.ל.). **אם יושתו עלויות חיצוניות של מזהם זה בעתיד, שוליות ככל שיהיו לטונה מזהם, הן יהיו נתח משמעותי ביותר בגלל הכמויות הגדולות. יש להביא נתון זה בחשבון ועל החברה להיערך בהתאם (בדומה למקרה קציר המלח שנעשה על ידי מפעלי ים המלח).**
- בתת-שלב העיבוד, שרווחי החברה בו הגבוהים ביותר והערך המוסף למשק הוא הגבוה ביותר, מתקבל כי היעילות הכלכלית-סביבתית נמוכה, עקב התשומות הגבוהות שמצריכים התהליכים ופליטות המזהמים. כיוון שתת-שלב זה הוא קריטי לחברה, **יש למצוא את הכלים והתמריצים המתאימים (טכנולוגיים, אסדרתיים, פיננסיים וכדומה) שיובילו ליעילות המרבית על ידי הפחתה של העלויות הסביבתיות ותשומות התהליכים.**

- בפרק 4 מופה הפער על אודות מאגרי מידע זמינים ושקיפות במידע בישראל. במחקר זה פער המידע הורגש היטב; חלק מהמידע התקבל ממשרדי ממשלה שונים, חלק אחר נלקח מדוחות רבים ומגוונים, ופעמים רבות התבצעו הערכות, כיוון שהמידע לא היה ידוע או שלא ניתן היה לקבל אותו. כדי שניתן יהיה ליישם שיטת מחקר זו על שרשרות ערך אחרות הבנויות על משאבי הטבע בישראל, ולשם הסדרת האסדרה (כפי שיוסבר בהמשך), **נדרשת הקמת מאגר מידע ארצי רחב**, בהתאם למגמות בעולם. על המאגר לכלול את כל הנתונים הסביבתיים שנאספו במחקרים, כדוגמת היקפי הכרייה, יחס טפל/עפרה, גריעת שטחים פתוחים ועוד, ואף מעבר לכך. למעשה, כל עוד אין בישראל מאגר מידע ארצי הכולל נתונים על אודות זרימת החומרים במשק ועל הבנת תהליכי הייצור וקשרי הגומלין בין התעשיות השונות, לא ניתן לנהל את החומרים הזורמים במשק ולקבוע יעדים ברורים וצעדי מדיניות בנושא ניהול משאבי הטבע של המדינה וייעול השימוש במשאבים.
- מחקר זה הוא צעד ראשוני וחשוב בניתוח היעילות הכלכלית-סביבתית של שרשרות הערך הבנויות על משאבי הטבע בישראל. עם זאת, מתמונת המחקר עולה כי ישנם סימני שאלה רבים בניתוח זה. **על כן, כדי להבין את מערכת יחסי הגומלין בין התעשייה, הכלכלה והסביבה, הנוגעים למשאבי הטבע בישראל, וכיצד ניתן להפיק את מרב היעילות הכלכלית-סביבתית של תעשיות אלה – יש לקדם מחקרי רוחב כלל-משקיים, בשיתוף האקדמיה והמומחים בישראל.**
- ועדת משק הפוספטים מצאה לנכון להמליץ על הגבלת כמות הסלע המועשר (שאינו ממשיך בשרשרת הערך לתת-שלב העיבוד) המיוצא מישראל (המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013). כפי שעולה ממחקר זה, הגדלת כמות חומר הגלם בתת-שלב העיבוד תוביל לעלייה בתשומות התהליכים ובפליטות המזהמים לסביבה, ומכאן ניכרת חשיבות מחקר זה טרם קבלת החלטות הנוגעות למשאבי הטבע בישראל. כך לדוגמה, בניתוח כלכלי-סביבתי מסוג זה, המצביע על ההתייעלות הסביבתית הנדרשת בתת-שלב העיבוד, ניתן היה, לצד ההמלצה שלעיל, לכלול גם כלים מתאימים ותמריצים להגברת ההתייעלות בתת-שלב זה (כלים אלה לא נידונים עקב מגבלות הזמן וההיקף של מחקר זה).
- הקמת 'ועדת ששינסקי 2', שמטרתה בחינת המדיניות לגבי חלק המדינה המתקבל עבור השימוש של גורמים פרטיים במשאבי טבע לאומיים (שאינם גז ונפט, כיוון שנושא זה נידון והוסדר), היא הזדמנות להרחבת הדיון מעבר לתקבולים ולפיתוח מדיניות לאומית לניהול משאבי טבע ולייעול השימוש במשאבים. לא ניתן לנתק את המדיניות הפיסקלית שתקבע 'ועדת ששינסקי 2', בהתאם לסמכויותיה מכתב המינוי הנוכחי, ממדיניות ניהול משאבי הטבע וממדיניות התכנון הפיזי. ניתוק זה נראה היטב בהתנהלות המדינה בסוגיית יצוא הגז הטבעי ואופן ניהול משק הגז. 'ועדת ששינסקי' לבחינת המדיניות הפיסקלית בנושא משאבי נפט וגז בישראל דנה אך ורק בסוגיה הפיסקלית (מסקנות הוועדה לבחינת המדיניות הפיסקלית בנושא משאבי נפט וגז בישראל, 2011) ואילו 'ועדת צמח', לאחר שהסתיימה 'ועדת ששינסקי' והמלצותיה התקבלו, עסקה בשאלות של מדיניות, ובראשונה בסוגיית היצוא. הניתוק בזמן ובמרחב בין שתי ועדות אלה הוא ככל הנראה אחת מהסיבות להתנגדות הציבורית העזה למסקנות 'ועדת צמח' ולא-אימוץ מסקנות הוועדה לבסוף. כיום נתונה מרבית תשומת הלב הציבורית והממשלתית לסוגיית התקבולים, אך כפי שצוין בפרקים 1 ו-4 במחקר זה, סוגיה זו היא סוגיה אחת מיני רבות שצריכות להיפתר במסגרת יצירת מדיניות כוללת ולא בנפרד ממנה; מדיניות שתיתן מענה לפערים

- ולסוגיות שהוצגו לכל אורך המחקר. סוגיית התקבולים וסוגיות הקשורות למדיניות שלובות זו בזו, וחייבות להידון ביחד ולא בנפרד. לדוגמה, כדי לקבוע תקבולים ומחירי משאבים שלא נסחרים בשוק העולמי, כדוגמת חומרי גלם למשק הבנייה והסלילה, יש הכרח לדעת מה היקף העתודות, החלופות לכרייה, העלות השולית והעלויות החיצוניות ולגלם אותן במחיר.
- סוגיות מדיניות שכאלה צריכות להידון על ידי הממשלה, בראייה כלל-מערכתית ורחבה, והדיון צריך להיערך על כל משאבי הטבע של מדינת ישראל ולא על כל קבוצת משאבים בנפרד (בדומה להסתכלות התמ"א). על המדינה לספק מענה למספר שאלות כגון: מהם היקפי הכרייה שיש להתיר או מהם היקפי המשאבים שאנו משאירים לדורות הבאים? מהם היקפי היצוא? מהם התמלוגים הראויים ממשאבי הטבע? מהם יעדי ייעול השימוש במשאבים? רק לאחר גיבוש מדיניות שכזו יש לגזור מדיניות תכנון פיזי ארוכת טווח על ידי תוכניות מתאר ארציות. כפי שהוזכר בפרק 4, משאב הנחושת בישראל ייגמר תוך 14 שנה – האם נתון זה אינו רלוונטי לצורכי קביעת התקבולים מהכרייה? האם יש להביא נתון זה בחשבון בקביעת יעדי קרן ריבון עתידית (אם תקום)? מהי העלות הסביבתית למשק כתוצאה מכרייה זו, וכיצד ניתן להפחיתה?
  - עם קבלת עקרונות אלה והבנת המצב בישראל, נראה כי מדיניות לאומית לניהול משאבי טבע ולייעול השימוש במשאבים למדינת ישראל **תוכל להיקבע רק לאחר שיבוצע ניתוח כדוגמת הניתוח המוצג במחקר זה, על כלל שרשרות הערך הבנויות על משאבי הטבע בישראל, לאחר שיובנו יחסי הגומלין בין השרשרות השונות, ותקבל התמונה המלאה לגבי העלויות והתועלת למשק משרשרות אלה.** ממה שעולה עד כה, על מדיניות שכזו לענות על שלושה עקרונות מרכזיים (לסטר, 2013):
    - א.** פיתוח מאגר מידע לאומי בכל הקשור לכמות ולאיקות משאבי הטבע השונים הקיימים בישראל, וכן מידע על אודות היקפי כרייה ויצוא, והשלמת מידע זה על ידי פיתוח מערך בקרה על נתיבי הזרימה של משאבים וחומרי גלם תוך יצירת בסיסי הנתונים, סמנים וחשבונות לאומיים;
    - ב.** קביעת קצב הניצול המיטבי של משאבי הטבע תוך החלת כלים להפחתת ההשפעות הסביבתיות השליליות משרשרת ההפקה;
    - ג.** פיתוח כלי מדיניות כלכליים, אסדרתיים, ביצועיים ואינפורמטיביים להשגת התייעלות מרבית בשימוש במשאבי טבע תוך מתן דגש בהיבטי סחר, סביבה, חדשנות, ייצור וצריכה.
- לאחר פיתוח מדיניות שכזו ועם השלמת ניתוח שרשרות הערך הבנויות על משאבי הטבע בישראל, קרבה הדרך לתוכנית **"ישראל יעילה במשאבים"**. בדומה לתכנון הפיזי, המתרגם את המדיניות למציאות, מטרת התוכנית "ישראל יעילה במשאבים", שבאופן טבעי תיקבע על ידי המשרד להגנת הסביבה, תהיה לתרגם את העקרונות של ייעול השימוש במשאבים ובחומרים לתוכנית בעלת יעדים, אמצעים, כלים מתאימים וסמנים ברורים. אלה ישולבו בתוכניות המתאר הארציות לצד מו"פ ומרכזי ידע בנושא. לדוגמה, בתוכנית הדגל האירופית לשנת 2020 – "אסטרטגיה לצמיחה חכמה, בת-קיימא וכוללת", המכילה את תוכנית "אירופה יעילה במשאבים", הוצבו 3 יעדים למשק האנרגיה לשנת 2020: 20% ירידה בפליטות גזי החממה בהשוואה לשנת 1990, 20% התייעלות במשק האנרגיה (בהשוואה לתסריט "עסקים כרגיל") וייצור 20% מהאנרגיה בעזרת אנרגיות מתחדשות (EUROPEAN COMMISSION, 2010a). גם בישראל ניתן להציב יעדים דומים עבור משק הכרייה והחציבה ולהשיגם בטווח הקרוב.



עבור ישראל, המחזיקה במשאב חשוב לאנושות כמו הפוספט, שמחירו עולה בהדרגה ועתודותיו מתדלדלות ומצויות באזורים בעייתיים, היעדים לייעול השימוש במשאבים הם חיוניים להבטחת עתיד תעשייה זו ולשימור משאב יקר זה גם לדורות הבאים.

## 9. אחרית דבר

ניהול משאבי הטבע וייעול השימוש במשאבים נמצאים כיום גבוה בסדרי העדיפויות של מדינות רבות בעולם. ההבנה כי לא ניתן להמשיך ולכרות את משאבי הטבע באותה מגמה כבעבר מחלחלת לתודעה הציבורית העולמית. גם בישראל נמצא נושא זה בסדר היום הציבורי, מעורר מחלוקות, וועדות רבות מוקמות לקביעה ולהסדרה של היבטים שונים בניהול משאבי הטבע של ישראל. ההבנה כי כלכלה וסביבה אינן משחק סכום אפס, וכי השגת צמיחה ירוקה המנתקת את הצמיחה הכלכלית מהשימוש ומהפגיעה במשאבי טבע היא דבר אפשרי, היא אבן דרך חשובה ביצירת אסטרטגיה לאומית לניהול משאבי טבע ולייעול השימוש במשאבים בישראל ובעולם. ניתוח כלכלי-סביבתי כמו זה המוצג במחקר שלפניכם, מסובך ככל שיהיה, בעל הנחות שנויות במחלוקת והערכות גסות, הוא צעד ראשון והכרחי להבנת קשרי הגומלין בין התעשייה, הכלכלה והסביבה. מטרת המחקר היא למצוא את הדרך להפיק את מרב התרומה הכלכלית של התעשיות השונות ולמזער את הפגיעה הסביבתית הנלווית להן. גיבוש מדיניות ממשלתית ואסטרטגיה לניהול משאבי טבע ולייעול השימוש במשאבים הוא כורח המציאות העולמית והלאומית, ונראה כי הבשילו התנאים לבנייתה בישראל.

## 10. נספחים

### נספח 1 – חישוב עלויות חיצוניות

במחקר זה נעשה שימוש אך ורק בעלויות החיצוניות המוכרות על ידי המשרד להגנת הסביבה או שנקבעו על ידו. לא נעשו ניסיונות לבצע הערכת עלויות חיצוניות אחרות ממספר סיבות, העיקרית שבהן היא הקושי הנובע בהערכת עלויות אלה, כפי שעולה ממחקר זה. להלן העלויות החיצוניות שמחקר זה מתבסס עליהן:

- ד. **חישוב עלויות חיצוניות מגריעת שטחים פתוחים** – עלות דונם קרקע בשטחי כריית הפוספט בנגב היא 167 דולר (אשכול כלכלה, 2013). לכן עבור גריעת 835 דונם קרקע לשנה העלות החיצונית היא 139 אלף דולר לשנה.
- ה. **חישוב עלויות חיצוניות מפליטות פחמן דו-חמצני, מתאן וחמצן דו-חנקני (N<sub>2</sub>O) מהתהליכים במפעלים (כולל ייצור חשמל במפעלים)** – בהתאם לנתוני המשרד להגנת הסביבה עלות פליטת טונה פחמן דו-חמצני בכל חלקי הארץ היא 103 ₪ לטונה (המשרד להגנת הסביבה, 2013ב). כיוון שעבור מתאן וחמצן דו-חנקני אין עלות חיצונית המוכרת על ידי המשרד להגנת הסביבה, חושב שווה הערך של פליטה זו כפליטה של פחמן דו-חמצני על ידי הכפלת ערכי הפליטה בערכים השקילים 21 ו-310 בהתאמה (EPA, 2013).
- ו. **חישוב עלויות חיצוניות מפליטת פחמן דו-חמצני, גפרית דו-חמצנית, תחמוצות חנקן וחלקיקים מרחפים כתוצאה מייצור החשמל בחח"י** – בהתאם לנתוני הפליטה הממוצעים הנראים בטבלה 1 (חברת חשמל, 2012), חושבו סך הפליטות לכל מזהם בהתאם לצריכת החשמל. בעזרת העלויות החיצוניות מייצור חשמל המוכרות על

ידי המשרד להגנת הסביבה ושנראות בטבלה 1 (המשרד להגנת הסביבה, 2013ב), חושבו העלויות החיצוניות מכל מזהם. חשוב לציין שכיוון שבחח"י צוינו רק החלקיקים המרחפים ללא סיווג ל- $PM_{10}$  ו- $PM_{2.5}$  כפי שמסווג המשרד להגנת הסביבה, נעשה ממוצע על עלויות החיצוניות של חלקיקים אלה, ובממוצע זה נעשה שימוש עבור החלקיקים המרחפים הנפלטים מייצור חשמל בחח"י.

### טבלה מספר 1 – נתוני פליטות מזהמים לכל קוט"ש והעלות חיצונית למשק

מזהם	פליטת מזהם לכל קוט"ש [טונה/קוט"ש]	עלות חיצונית למשק מן הפליטה [ש/טונות]
גפרית דו-חמצנית ( $SO_2$ )	0.0000018	34,783.00
תחמוצות חנקן ( $NO_x$ )	0.0000016	20,144.00
חומר חלקיקי (PM)	0.00000005	59,646.50
פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ )	0.0007	103.00

מקור: חברת חשמל, 2012; המשרד להגנת הסביבה, 2013ב.

## 11. ביבליוגרפיה

- אביטל, ת'. 2012. "ועדת המלט: ליצור תנאים להקמת מפעל נוסף שאיננו נשר". כלכליסט. 26 בנובמבר.  
<http://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3588712,00.html>
- אהרוני, מ', קשת א' ושפירא נ'. 2013. מט"ח – המרכז לטכנולוגיה חינוכית.  
<http://www.humanrights.cet.ac.il/ShowItem.aspx?ItemID=d83efc24-7a83-4e92-ac2d-35484c8fd838&lang=HEB>
- אלמוג, ר'. 2013. ריאיון עם הממונה על התכנון הסביבתי – המשרד להגנת הסביבה. פגישה ב-19 באוגוסט.  
 אשכול כלכלה. 2013. המשרד להגנת הסביבה. שיחות עם בכירים באשכול. חודשים ינואר-יולי.  
 בייק, ע' וסלוטקי ד'. 2011. תמ"א/14 ג' תכנית מתאר ארצית לכרייה וחציבה של מינרלים תעשייתיים – מיון וסקירת  
 עתודות קיימות, תחזיות עתידיות, הצרכים והחוסרים החזויים ברמה הארצית.  
 הוועדה הבין-משרדית לבחינת מדיניות הממשלה בנושא משק הגז הטבעי בישראל. 2012. דוח.  
 הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים. 2013. ירושלים. המלצות.  
 ועדה בין-משרדית לקידום התחרות בענף המלט. 2013. שינויים מבניים והגברת התחרות בענף המלט. ממצאים והמלצות.  
 הוועדה לבחינת המדיניות הפיסקלית בנושא משאבי נפט וגז בישראל. 2011. מסקנות.  
 חברת החשמל לישראל. 2012. דין וחשבון סביבתי לשנת 2011.  
 חקלאי, ר'. 2009. תמלוגים עבור חומרי גלם למשק הבנייה והסלילה, ניתוח מצב קיים והמלצות למדיניות.  
 כיל דשנים. 2009. דוח אחריות תאגידית.  
 כימיקלים לישראל. 2011. דוח אחריות תאגידית.  
 כימיקלים לישראל. 2012. דוח תקופתי לשנת 2011.  
 כימיקלים לישראל. 2013. דוח תקופתי לשנת 2012.  
 לאוטמן, ז', לסטר י' וקרני א'. 2013. המשרד להגנת הסביבה: ניהול משאבי טבע והתייעלות השימוש במשאבים, נייר רקע  
 לוועדה לבחינת המדיניות לגבי חלק המדינה המתקבל בעד השימוש של גורמים פרטיים במשאבי טבע לאומיים.  
 ליכט, א'. 2011. ביצוע פרויקט הגנות ים המלח ומימונו – חוות דעת משפטית. משרד המשפטים, מחלקת ייעוץ וחקיקה.  
 לסטר, י'. 2013. סדרת ראינות עם ראש אגף מדיניות סביבתית – המשרד להגנת הסביבה. חודשים אפריל-יולי.  
 לרנר, ע'. 2011. תמ"א/14 ג' דו"ח שיתוף הציבור בשלב א' של עריכת מסמך המדיניות – מצב קיים.  
 הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2009. "סקר ענפי המשק". שנתון סטטיסטי לישראל. ירושלים.  
 מבקר המדינה. 2000. דוח שנתי 50ב. ירושלים.

- מבקר המדינה. 2007. דוח שנתי 57ב. ירושלים.
- מבקר המדינה. 2009. דוח שנתי 59ב. ירושלים.
- מוריה, י' וסקלי ד'. 2009. שיקום מחצבות בארץ ובעולם - סקירת ספרות והיבטים נבחרים. משרד המשפטים. 2011. סיכום דיון בנושא: תמלוגים בגין אוצרות טבע. 9 בינואר.
- משרד הפנים. 2010. תוכנית מתאר ארצית לכרייה וחציבה למשק הבנייה והסלילה. מדיניות תכנון וניהול למשק הכרייה והחציבה.
- המשרד להגנת הסביבה. 2010. תוכנית לאומית למגוון ביולוגי בישראל.
- המשרד להגנת הסביבה. 2011. תוכנית לאומית לצמיחה ירוקה. <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DecisionStockpileGovernment/Pages/2011/Decision3768.aspx> [נצפה ב-20 ביוני, 2013].
- המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל. 2010. מסמך מדיניות אגן ים המלח. הערכת מצב ומשמעויות לעתיד בתנאים של המשך ירידת מפלס הים. ירושלים.
- המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל. 2012. תחזית קיימות לישראל 2030.
- המשרד להגנת הסביבה. 2013א. דו"ח מרשם פליטות והעברות לסביבה (PRTR).
- המשרד להגנת הסביבה. 2013ב. עדכון ערכי העלויות החיצוניות של מזהמי האוויר וגזי חממה. דו"ח. [http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/Documents/airexternalcost/co29042013\\_1.pdf](http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/Documents/airexternalcost/co29042013_1.pdf)
- סודרי, ד'. 2007. "סלעי הפוספט - עבר גיאולוגי, הווה כלכלי ועתיד לא ברור". גליליאו 103: 36-47.
- עמיר, ד', שפירא ע', צורנמל ר', וידן ע' וקרניאל צ'. 2011. תמ"א/14ג'. היבטים סביבתיים בכריית מינרלים תעשייתיים - תמונת מצב קיים.
- פונדק, ח'. 2013. "על סדר היום: הריכוזיות בענף החצץ". כלכליסט. 27 ביוני.
- קוט, ח' ובניקה א'. 2012. מסמך מניע לתהליך בניית מדיניות לניהול אינטגרטיבי ובר קיימא של משאבי טבע סחירים בישראל. תחזית קיימות לישראל 2030.
- קורן, א'. 2013. "שוק המלט יפתח לתחרות - מונופול נשר ייפגע". הארץ. 26 ביוני.
- קרונלנד, ש'. 2012. תמ"א/14ג' סקירה התועלת כלכלית למשק מכרייה וחציבה של מינרלים תעשייתיים.
- רותם אמפרט נגב. 2013. נתונים שנמסרו על ידי החברה ביום 14 בספטמבר.
- שגב, ע', שירב (שורץ) מ' ונצר-כהן ח'. 2004. פוטנציאל חומרי הגלם המינרליים לתעשייה ולהפקת אנרגיה בישראל. דו"ח המכון הגיאולוגי.
- שוסטר, א', רידג' א', בל מ' וריטה ע'. 2009. אקולוגיה. יחידות 1-2.
- שפיר. 2013. <http://www.shapir.co.il> [נצפה ב-14 באפריל, 2013].

- Standing Committee. 2008. *Circular Economy Law of the People's Republic of China*. The 4th meeting of the Standing Committee of the 11th National People's Congress. August 29, 2008. Translation courtesy of Squire, Sandres & Dempsey, L.L.P.
- Clift, R., Sim S., and Sinclair P. 2013. "Sustainable Consumption and Production: Quality, Luxury and Supply Chain Equity". In *Treatise on Sustainability Science and Engineering*, edited by Jawahir, I.S., Sikdar S.K., and Huang Y. Netherlands: Springer: 291-309.
- Cordell, D., Drangert J.-O., and White S. 2009. "The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for Thought". *Global Environmental Change* 19 (2): 292-305.
- Dahlström, K., Ekins P., He J., Davis J., and Clift R. 2004. "Iron, Steel and Aluminium in the UK: Material Flows and Their Economic Dimensions". *London: Policy Studies Institute*.
- Dajian, Z. 2008. "Background, Pattern and Policy of China for Developing Circular Economy". *Chinese Journal of Population Resources and Environment* 6 (4): 3-8. doi: 10.1080/10042857.2008.10684889.
- Department for Environment Food and Rural Affairs (Defra). 2012. *A Review of National Resource Strategies and Research*. UK.
- Dittrich, M., Giljum S., Lutter S., and Polzin C. 2012. *Green Economies around the World? Implications of Resource Use for Development and the Environment*. Vienna.
- Dobbs, R., Oppenheim J., Manyika J., Nyquist S.S., and Roxburgh C. 2011. *Resource Revolution: Meeting the World's Energy, Materials, Food, and Water Needs*. McKinsey Global Institute.
- EPA. 2001. *From Waste to Resource Management: Reinventing Waste Contracts and Services*.
- EPA. 2002. *25 Years of Rcra: Building on Our Past to Protect Our Future*. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.
- EPA. 2003. *Beyond Rcra: Waste and Materials Management in the Year 2020*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste.
- EPA. 2009. *Sustainable Materials Management: The Road Ahead*.
- EPA. 2013. *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*. <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html#results>, [accessed: August 1, 2013].
- European Commission. 2005a. *EU Waste Policy — the Story Behind the Strategy*.
- European Commission. 2005b. *Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources*.
- European Commission. 2008a. *On the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan*.

- European Commission. 2008b. *The Raw Materials Initiative — Meeting Our Critical Needs for Growth and Jobs in Europe*.
- European Commission. 2010a. *Europe 2020, a Strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth*.
- European Commission. 2010b. *Report Lists 14 Critical Mineral Raw Materials*. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-10-263\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-10-263_en.htm), [accessed: February 21, 2013].
- European Commission. 2011a. *EU Welcomes Wto Report on China's Export Restrictions on Raw Materials*. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-11-834\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-834_en.htm), [accessed: February 21, 2013].
- European Commission. 2011b. *A Resource-Efficient Europe — Flagship Initiative under the Europe 2020 Strategy*.
- Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). 2012. *German Resource Efficiency Programme (Progress), Programme for the Sustainable Use and Conservation of Natural Resources*.
- German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). 2010. *The German Government's Raw Materials Strategy, Safeguarding a Sustainable Supply of Non-Energy Mineral Resources for Germany*.
- Humphries, M. 2012. *Rare Earth Elements: The Global Supply Chain*. USA: Congressional Research Service R41347.
- Johnson, J., Harper E.M., Lifset R., and Graedel T.E. 2007. "Dining at the Periodic Table: Metals Concentrations as They Relate to Recycling". *Environmental Science & Technology* 41 (5): 1759-1765. doi: 10.1021/es060736h.
- Kelly, T.D. and Matos G.R. 2012. *Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States*. U.S. Geological Survey Data Series 140.
- Krausmann, F., Gingrich S., Eisenmenger N., Erb K.-H., Haberl H., and Fischer-Kowalski M. 2009. "Growth in Global Materials Use, GDP and Population During the 20th Century". *Ecological Economics* 68 (10): 2696-2705. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.007>.
- Natural Resources Canada. 2011. *2011-12 Report on Plans and Priorities*.
- OECD. 2011a. *Green Growth Studies Towards Green Growth*.
- OECD. 2011b. *Material Resources, Productivity and the Environment, Draft Oecd Report*.
- OECD. 2012. *Environmental Performance Reviews, Mid-Term Progress Report: China*.
- Porter, M.E. 2008. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Public Service Commission. 2011. *8 Audit of Natural Resources Canada*.
- Sustainable Development Office. 2010. *Planning for a Sustainable Future: A Federal Sustainable Development Strategy for Canada*.

- U.S. Department of Energy. 2010. *Critical Materials Strategy*.
- U.S. Department of Energy. 2011. *Critical Materials Strategy*.
- UNEP. 2011a. UNEP Year Book 2011: *Emerging Issues in Our Global Environment*. United Nations Environment Programme.
- UNEP. 2011b. *Recycling Rates of Metals - a Status Report, a Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel*. Graedel, T.E., Allwood J., Birat J.-P., Reck B.K., F. Sibley S.F., Sonnemann G., Buchert M., and Hageluken C.
- United Nations. 1999. *The World at Six Billion*.
- United Nations. 2011. *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*. (9789280731675). United Nations Environment Programme.
- United Nations. 2013. *International Resource Panel*. <http://www.unep.org/resourcepanel/>, [accessed: April 14, 2013].
- USGS. 1996. *Mineral Commodity Summaries*.
- USGS. 2012. *Mineral Commodity Summaries 2012*.
- USGS. 2013a. *2011 Mineral Yearbook, Phosphate Rock*.
- USGS. 2013b. *Mineral Commodity Summaries*.
- Van de Velde, P. 2013. "Principals and Policies of Materials Management in Flanders (Belgium)". In *Proceeding of the TAIEX on Resource efficiency* Jerusalem, Israel.
- World Bank. 2009a. *Developing a Circular Economy in China: Highlights and Recommendations*.
- World Bank. 2009b. *Metals and Minerals Rents*.
- World Bank. 2011. *World Bank Commodity Price Data (Pink Sheet)*. <http://go.worldbank.org/4ROCCIEQ50>, [accessed: December 27, 2012].
- World Bank. 2013. *Global Economic Monitor (Gem) Commodities*. [http://databank.worldbank.org/data/views/variableselection/selectvariables.aspx?source=global-economic-monitor-\(gem\)-commodities#s\\_f](http://databank.worldbank.org/data/views/variableselection/selectvariables.aspx?source=global-economic-monitor-(gem)-commodities#s_f), [accessed: February 21, 2013].
- World Resource Forum. 2013. <http://www.worldresourcesforum.org/resource-snapshots>, [accessed: August 1, 2013].
- WTO. 2013. *China — Measures Related to the Exportation of Various Raw Materials*. [http://www.wto.org/english/tratop\\_e/dispu\\_e/cases\\_e/ds394\\_e.htm#bkmk394r](http://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds394_e.htm#bkmk394r), [accessed: April 14, 2013].

FELLOWS | MILKEN  
PROGRAM | INSTITUTE

תוכנית עמיתי מכון מילקן  
רחוב ושינגטון 4  
ירושלים, 9418704

[info@mifellows.org](mailto:info@mifellows.org)  
[www.mifellows.org](http://www.mifellows.org)