

עלויות חיצוניות בכריית פוספט בישראל

אייל גלקין
עמית מכון מילקן

בהנחיית פרופסור עליזה פליישר



תודות

ברצוני להודות למנחת המחקר, פרופסור עליזה פליישר, על החשיפה לתחום המחקר, העזרה במציאת המידע, יצירת קשרי העבודה והעצות והליווי המקצועי בכתיבת העבודה.

תודה לצוות תוכנית העמיתים, לפרופסור גלן יאגו על הרעיונות המקוריים, לסטיבן זכר על העזרה ולאורלי מובשוביץ-לנדסקרונר על הליווי והדאגה במשך שנת ההתמחות. כמו כן לעמיתי התוכנית אשר ליווי אותי לאורך התוכנית.

תודה לצוות אדם טבע ודין, המתמחים והעובדים, שאירחו אותי במשך שנת ההתמחות ולימדו אותי נקודת מבט אחרת. לעו"ד דנה טבצניק על החופש המחקרי והתמיכה לאורך ההתמחות.

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 לכתיבת תזכירים, מצגות וניירות מדיניות, וכן כלי ניהול, שיווק ותקשורת. בנוסף, נפגשים העמיתים עם בכירים במשק ובממשל 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 אותנו פרופ' גלן יאגו, מנהל בכיר, ומייסד, המעבדות לחידושים פיננסיים™ 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.



עלויות חיצוניות בכריית פוספט בישראל

אייל גלקין
עמית מכון מילקן



תוכן עניינים

1 **תקציר מנהלים**

3 **מבוא**

3 פוספט

4 התפתחות השימוש בפוספט

5 פוספט בעולם

8 משאבי טבע

10 שירותי מערכת

12 **תעשייה מקומית**

12 סלע הפוספט ומאגרו

14 תעשייה מקומית

15 מדיניות

16 תכניות כרייה עתידיות

17 שדה בריר - תיאור כללי

18 כרייה

20 **השפעות סביבתיות של כריית פוספט**

21 זיהום אוויר - אבק

23 זיהום אוויר - פליטות

24 תוצר לוואי תעשייתי - פוספוגבס

24 תאונות דרכים

25 שירותי תרבות של הנוף המדברי

26 שירותי תרבות של המגוון הביולוגי

27 **חישוב העלויות החיצוניות**

29 זיהום אוויר - אבק

29 זיהום אוויר - פליטות

30 פוספוגבס

30 תאונות דרכים

31 שירותי תרבות של הנוף המדברי

32 נוף מדברי

32 שירותי תרבות המגוון הביולוגי

33 **דיון ומסקנות**

37 **ביבליוגרפיה**

תקציר מנהלים

זרחן הוא יסוד חיוני לכל צורות החיים: הוא גורם מפתח בתהליכים פיזיולוגיים וביוכימיים, בבניית רקמות בעלי החיים והצמחים ובהפעלת תהליכים מטבוליים. זהו אחד משלושת היסודות התזונתיים ההכרחיים, לצד חנקן ואשלגן, שעל הצמח להפיק מן הקרקע, ובלעדיהם לא יוכל לגדול על פני כדור הארץ ולא יהיה מזון לבעלי החיים ולאדם. סלעי הפוספט המצויים בבטן האדמה הם כמעט המקור היחיד בעולמנו לאספקת זרחן (סודרי, 2004). בעבר התבססה תוצרת חקלאית על רמות זרחן טבעיות שנמצאו בקרקע ועל חומר אורגני מקומי זמין, כגון צואה וזבל בעלי חיים. המהפכה הירוקה באמצע המאה ה-20 באה לידי ביטוי בשיפור התפוקה של גידולים חקלאיים ובהגדלת מגוון הגידולים. חלק מהמהפכה טמון בשימוש בדשני זרחן מינרלי מעובדים. מהפכה זו הצילה מיליוני אנשים מרעב, ולמעשה טכנולוגיית ייצור המזון מתבססת עליה עד היום (Cordell et al., 2009).

משנת 1960 ועד שנת 2009 גדל ייצור סלע הפוספט העולמי מכ-40 מיליון טונות לכ-160 מיליון טונות, במקביל לגידול של כ-3% בשנה בצריכת דשן הפוספט בעולם. את עיקר הגידול ב-20 השנים האחרונות מובילות המדינות המתפתחות, בהתאם לעלייה בביקוש לבשר ולמוצרי חלב, הדורשים יותר תשומות זרחן. לעומת זאת, במדינות מפותחות כמו ארצות הברית ואירופה התפתחה מודעות להשפעות הזרחן על הקרקע ועל מי התהום, ולכן הופחת השימוש בזרחן (קרונלנד, 2012). על-פי הערכות, 25% מסך הזרחן שנכרה מאז 1950 הגיע למקורות מים או הוטמן ללא שימוש חוזר. היקף כריית הזרחן בעולם גדול פי 5 מכמות הזרחן הנצרכת במזון על-ידי האדם. מכך אפשר להסיק שקיים איבוד ובזבוז רב של זרחן לאורך שרשרת הערך: כרייה, דישון, גידול, צריכה. בתפוקה השנתית הנוכחית של פוספט מועשר (145 מיליון טונות לשנה וקצב גידול שנתי של 1.5%-2.0% בממוצע), העתודות הכלכליות בעולם עשויות להספיק לשבעים עד מאה שנה בלבד, שכן סלעי הפוספט נמנים עם קבוצת משאבי הטבע שאינם מתחדשים, והמלאי שלהם בקרקע מוגבל (סודרי, 2004).

מעבר לעצם צמצום המשאבים, קיימות עלויות סביבתיות שאינן מגולמות במחיר העלות של הפקת המשאב. עלויות אלו משולמות על-ידי הציבור ומכונות "השפעות חיצוניות" (externalities) (המשרד להגנת הסביבה, 2010). העלויות החיצוניות הנופלות על הציבור בגלל תהליכי הפקת המשאב, בלי שהיצרן יישא בהן, כוללות זיהום, תחלואה, פגיעה בערכי טבע, פגיעה באתרי מורשת ונוף, ירידה בערך נדל"ן ופגיעה בתיירות. מבחינה כלכלית זהו כשל שוק הגורם לחוסר יעילות במשק, ומבחינה חברתית זהו ביטוי לחוסר הוגנות בשימוש במשאב ציבורי (המשרד להגנת הסביבה, 2013). בפועל, קשה לאמוד את שיעור ההשפעות החיצוניות השליליות, ולכן צפויות להתעורר מחלוקות. מוסכם כי ישויות כלכליות ישאו באחריות לפגיעות אלו, ושעליהן לפצות את הנפגעים על-פי עקרון "המזהם משלם" (טרואן ולאופר, 2004).

ישראל היא השביעית ברשימת המדינות המפיקות פוספטים בעולם. חלקה של ישראל בתפוקה העולמית מגיע לכשני אחוזים. סלעי הפוספט של ישראל נמצאים בעיקר בנגב הצפוני והמרכזי, והם חלק מ"חגורת הפוספט הים-תיכונית". כריית הפוספט מתנהלת כיום באופן בלעדי בידי חברת "רותם אמפרט נגב" בשלושה אתרים עיקריים: בקעת צין, אורון ומישור רותם. כמות הפוספט המופקת כיום בישראל היא כ-7 מיליון טונות של חומר כרוי לשנה, מהם מייצרים כ-3.5 מיליון טונות של פוספט מועשר (סודרי, 2004). 95% מתעשיית הפוספט המקומית מופנים לייצוא, בעבור תמלוג שנקבע בפקודת המכרות ועומד על 2% משווי סלע הפוספט. בשנת 2012 נגבו כ-4.5 מיליון דולר בתמלוגים, כאשר התוצר למשק מתעשייה זו נאמד בכמיליארד דולר. לישראל יתרון כלכלי בתחום המחצבים בשל אופן הימצאותם בטבע, סמיכות המשאבים זה

לזה וצורת הפקתם הזולה יחסית. לענף משאבי הטבע רווחיות גבוהה מהרגיל הן בשל עצם היות המשאב מצומצם והן בשל מאפייני השוק וחוסר התחרותיות שבו (הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי הטבע הלאומיים, 2014).

ההשפעה הסביבתית מכריית משאבים תלויה בהיבטים רבים: אזור הכרייה, סוג המשאב ואופן הפקתו, אופי האתר ואופן השיקום. בכל מקרה מדובר במפגע תעשייתי משמעותי שמחזיק בשטחים נרחבים למשך עשרות שנים. לכרייה פתוחה ולהקמת מפעלים באזור המדברי של צפון הנגב השפעה נופית חזקה על אגן חזותי גדול, וענני האבק העוטפים בדרך כלל את אזור המפעלים תורמים גם הם לתחושה של מרחב פעילות תעשייתי כבד. שטח המפעלים נאמד בכ-7,000 דונם שבהם מפעלים, שטחי אחסון פוספוגבס וברכות אידוי (עמיר וחובריו, 2011). עד כה נכרו במרחבי אורון, צין ורותם שטחים בהיקף של מעל 50,000 דונם, ובכל שנה נגרעים כ-1,000-2,000 דונמים נוספים לכרייה של כ-7.5 מיליון טונות של סלע פוספט ופי 3-4 חומר טפל. כמו כן, לתעשיית הפוספט תוצרי לוואי מהמפעלים השונים, המרכזי שבהם הוא הפוספוגבס שנוצר בתהליך העשרת הפוספט. הפוספוגבס הוא חומר רדיואקטיבי, וכיום אין מדיניות לטיפול בו. במפעלי רותם ישנם הררי פוספוגבס בהיקף של 50 מיליון טונות, ומדי שנה מתווספים עוד 3 מיליון טונות (המשרד להגנת הסביבה, 2013). הכרייה עצמה מלווה במפגע רעש משמעותי שנגרם מקידוחים, פיצוצים, העמסה ופריקה של חומר כרוי ותנועת כלי רכב כבדים. פעולות אלו אחראיות גם לזיהום האוויר בחלקיקים נשימים וזיהום בחומרים מסוכנים המאפיינים את כריית הפוספט. זיהום זה משפיע על בני האדם המתגוררים בסמוך לאתרי הכרייה ועל המערכת האקולוגית בכך שהם יוצרים שכבת אבק ופוגעים גם במרקם הקרקע. אתרי הכרייה והקמת המפעלים באזור מדברי פוגע במידה ניכרת ברציפות השטחים הפתוחים, החיוניים לשימור המערכות האקולוגיות המדבריות (לאוטמן, 2013). נוסף על כך, מערך ההובלה והשינוע של חומרי הגלם מצריך פריצת דרכים חדשות הפוגעות במשטרי ניקוז, קוטעות רצף אקולוגי ומעודדות כניסת מינים פולשים. פעולת המכרות משפיעה על מערכת הניקוז: הן על מי הנגר, אשר מוסטים בהתאם לשינוי הטופוגרפי ועלולים ליצור סחף בקרקעות חשופות, והן על מי התהום, אשר זוהמו בעבר ממי תשטיפים. אף שבשנים האחרונות התפתחה מודעות לחשיבות של שיקום וביצוע שיקום אקולוגי, עד היום שוקמו רק כ-35 אלף דונם (30%) מהשטחים שנכרו (צוות תכנון תמ"א 14/ג', 2012).

תרומת כריית הפוספטים לכלכלה באה לידי ביטוי בתמ"ג בישראל, אך ההשפעות השליליות שלה אינן מכומתות ולא נכנסות לחישוב זה. בעבודה זו נעשתה הערכה כלכלית של העלות השלילית של הפקת פוספט, על בסיס פירוט המפגעים הסביבתיים השונים ועל בסיס מחקרים שונים מהארץ ומהעולם בדבר הערכת שווי השירותים האקולוגיים הנפגעים והערכת השפעתם של המפגעים על חיינו. הערכות אלו נעשו על בסיס עקרון העברת ערך. נעשה סינון למחקרים שהם בעלי זיקה גבוהה לתחום, כדי שיתנו הערכה קרובה ככל האפשר למקרה הבוחן של כריית הפוספט. מסכימת העלויות השונות שהוערכו במחקר זה עולה כי העלויות החיצוניות בכריית פוספט נאמדו בכ-475 מיליון ₪ בשנה (טבלה 1). לעלויות אלו שלוש מרכיבים מרכזיים: האחד הוא שירותי תרבות של הנוף המדברי, שהוערכו על בסיס היקף השטחים המופרים במכרות ובמפעלים ומסתכמים בכ-230 מיליון ₪ בשנה. המרכיב השני הוא זיהום אוויר בחלקיקי אבק ובפליטות חומרים, הנאמד ב-143 מיליון ₪ בשנה. המרכיב השלישי הוא תאונות הדרכים, הנאמדו ב-71 מיליון ₪ בשנה. ערך זה גבוה פי 30 מהתמלוגים שנגבו בשנת 2012. גם אם ישנה סטייה מסוימת בהערכות, עדיין אפשר לראות את ההפרש העצום בין התמלוג לנזק שמשלם הציבור.

מסקנות:

- יש לקדם את הכלת העלויות החיצוניות ולייעד את הכסף למטרות מוגדרות מראש.
 - יש להקים קרן נפרדת לטיפול באירועי קיצון.
 - יש לפתח את המחקר בנגב כדי להבין את ההשפעות השונות על המערכות האקולוגיות.
 - יש להקים בסיס נתונים רחב ושקוף בין החברות, משרדי הממשלה והציבור.
 - יש לעודד ניצול מרבי של כלל המחצבים הקיימים בשטח מופר.
 - יש לחייב טיפול בכל תוצרי הלוואי של הפקת הפוספט, ובפרט הפוספוגבס.
 - יש להפריד את הקרן לשיקום מכרות פוספט מחברת הכרייה ולאכוף את העברת הכספים.
 - יש להכניס פרקים בנושא בריאות ועלות סביבתית כחלק מתסקיר הסביבה.
 - יש לבצע הערכת עלות חיצונית אחת לכמה שנים, בהתאם לחידושים טכנולוגיים ולשינויים בהעדפות הציבור.
- בהכלת העלויות החיצוניות יש תיקון של כשל שוק בסיסי, הגורם לצרכנות שאיננה יכולה להתבסס על כלל המשתנים, מתוך חוסר ביטוי לערכים השליליים הנובעים מהפקת הפוספט בישראל. קובעי המדיניות צריכים לשאוף להשיג רווחה גבוהה יותר עבור הציבור, ועל כן להתחשב בהערכות אלו כמדד לפגיעה בחלק מהציבור שאיננו נהנה מהמוצרים. המטרה בהערכת שירותי המערכת היא לקבל מושג על שוויים המוניטרי, ואין הכוונה (או היכולת) לקנות אותם.

מבוא

"The realization that human activities have a major impact on Earth's ecosystem must drive future changes in behaviour and policies.

Our ecological footprint will have to be fully internalized in business models. A new mindset should drive collaboration and innovation among governments, industries and companies to ensure that future resource constraints do not lead to greater energy, food and water insecurity."

World Economic Forum Annual Meeting 2012: Executive 4 Summary

פוספט

זרחה (P) הוא יסוד חיוני לכל צורות החיים. הוא גורם מפתח בתהליכים פיזיולוגיים וביוכימיים, בבניית רקמות בעלי החיים והצמחים ובהפעלת תהליכים מטבוליים. הזרחה הוא מרכיב חשוב של חומצות הגרעין המרכיבות את ה-DNA, של פוספוליפידים הנמצאים בממברנות התאים ושל תרכובות אורגניות אחרות. כמו כן, לזרחה תפקיד מרכזי במשק האנרגיה של התא. זרחה הוא אחד משלושת היסודות התזונתיים ההכרחיים, לצד חנקן ואשלגן, שעל הצמח להפיק מן הקרקע. בלעדיהם לא יוכל לגדול על פני כדור הארץ ולא יהיה מזון לבעלי החיים ולאדם. הזרחה הוא היסוד ה-11 בשכיחותו בקרום כדור הארץ, והוא מצוי בריכוזים נמוכים בסלעי יסוד ובסלעי משקע. סלעי הפוספט המצויים בבטן האדמה הם

כמעט המקור היחיד בעולמנו לאספקת זרחן. הם נוצרו בתקופות גיאולוגיות קדומות עקב שילוב ייחודי ונדיר של גורמים גיאולוגיים שונים. סלע הפוספט הוא אוצר טבע שאינו מתחדש ואין לו תחליף (סודרי, 2004).

התפתחות השימוש בפוספט

בעבר התבססה תוצרת חקלאית על רמות זרחן טבעיות שנמצאו בקרקע ועל חומר אורגני מקומי זמין כגון צואה וזבל בעלי חיים. באמצע המאה ה-19 החליף השימוש בחומרי זרחן ממקורות מרוחקים, החל בשימוש בגואנו (פרש ציפורים עשיר בזרחן) וכלה בסלעי פוספט, את השימוש במקורות זרחן מקומיים. באותו הזמן התפתחה מערכת השטיפה בשירותים, אשר הסיטה את שאריות הזרחן מהקרקע לגופי מים שאליהם נשפך הביוב. מסחר במזון התפתח באופן יציב עם קולוניזציה ואורבניזציה, אך כמות הנוטריינטים שהוחזרו לאדמות הגידול לא הספיקו לייצב את הכמות שהושקעה בגידולים. לקראת סוף המאה ה-19 התגבר השימוש בדשני זרחן מינרלי מעובדים באירופה. דשנים אלו הכילו ריכוזי זרחן גדולים יותר מאשר בזבל בעלי חיים, וסייעו בצמצום החסר שנוצר באדמות הגידול. המהפכה הירוקה באמצע המאה ה-20 באה לידי ביטוי בשיפור התפוקה של הגידולים החקלאיים ובהגדלת מגוון הגידולים, וחלק מהמהפכה טמון בשימוש בדשנים אלו. מהפכה זו הצילה מיליוני אנשים מרעב, ולמעשה טכנולוגיית יצור המזון מתבססת עליה עד היום. יותר מ-90% מהזרחן המופק מסלע הפוספט (משולב עם חנקן, חומצה גופרתית ואשלגן) משמש ליצירת דשנים מינרליים חיוניים אלו (Cordell et al., 2009).

לאחר חצי מאה של שימוש אינטנסיבי בדשנים כימיים הגיעו אדמות אירופה וארצות הברית לרוויה ברמות הזרחן: גידולים חקלאיים משתמשים רק ב-15-30 אחוזים מהזרחן המיושם בקרקע, והשאר מהווים עודף, בזבזו ועומס מיותר על הקרקע ועל מי התהום. במדינות מתפתחות הביקוש לדשנים עולה בקצב של 3-4 אחוזים בשנה, בייחוד באסיה. בשר ומוצרי חלב דורשים יותר תשומות זרחן וצריכתם נהייתה פופולרית מאוד בסין ובהודו בשנים האחרונות. השימוש בזרחן באירופה ובצפון אמריקה מתקדם ונעשה יעיל יותר בזכות הימנעות מדישון יתר, דישון מדויק בהתאם לרמת היבול ויישום שאריות קש ופרש בעלי חיים באדמות חקלאיות לשם מחזור הזרחן. אף שצעדים אלו חיוניים למחזור הזרחן, הם אינם מספיקים להשגת קיימות זרחן. עד 2050 יש לייצר 70% יותר זרחן כדי להצליח לייצר די מזון לאוכלוסיית העולם, ועל כן נדרשת גישה אינטגרטיבית ואפקטיבית לניהול מעגל הזרחן – גישה חדשה ומקיפה שתתייחס למחסור העתידי בזרחן ותעודד מחקר ושיתופי פעולה להפחתת זליגה, שחזור הזרחן ומחזורו (Cordell et al., 2009).

שימושים אחרים של סלעי הפוספט הם תוספי מזון לבעלי חיים ומוצרים תעשייתיים כגון אבקות כביסה, חומרי הדברה, תרופות, חומרי נפץ, גזי עצבים ועוד. בממוצע, האדם צורך בממוצע כמות יומית של 1-3 גר' זרחן. עם הגידול באוכלוסייה והדרישה למזון, עלינו להגדיל בהתמדה את כמות סלעי הפוספט הנכרים בעולם (סודרי, 2004).

התוצר הכלכלי מסלעי הפוספט הוא תחמוצת הזרחן (P_2O_5) (ת"ז). בטכנולוגיות המקובלות כיום, סלעי הפוספט הנחשבים לכלכליים הם אלה שריכוז הת"ז בהם הוא 23% לפחות. לצורך ייצור חומצות ודשנים עובר החומר הכרוי תהליכי השבחה המגדילים את תכולת תחמוצת הזרחן לכ-31% לקבלת סלע מועשר. טיב סלע הפוספט (חומר הגלם) משפיע על מידת היכולת לייצר מוצרי המשך מתקדמים בעלי ערך כלכלי גבוה (המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013). חוץ ממקרים בודדים, הסלע הנחשב במכרה חייב לעבור תהליכי השבחה בטרם יתאים לייצור החומצה. הסיבות לכך הן ריכוז זרחן נמוך בסלע הפוספט, אחוז גבוה של חומר אורגני, נוכחות גבוהה של יסודות מזיקים או קושי בשחרור המרכיב הפוספטי. הסלע המועשר משמש לייצור חומצה זרחתית (H_3PO_4), שהיא החומצה המינרלית השנייה בחשיבותה בעולם לאחר חומצה

גופריתית, הן כמותית והן כלכלית. השיטה הנפוצה ביותר לייצור חומצה זרחתית היא השיטה הרטובה, שבה עובר החומר הכרוי תהליכי השבחה שמטרתם העלאת ריכוז תחמוצת הזרחן: מרכיב הפוספט $Ca_3(PO_4)_2$ נהפך לחומצה זרחתית (H_3PO_4) וגבס ($CaSO_4$) בעקבות תגובה עם חומצה גפרתית מרוכזת (H_2SO_4). משקע הגבס הנוצר בשיטה זו, המכונה "פוספוגבס", מסולק מהחומצה הזרחתית על-ידי סינון. לשם ניצול סלעי פוספט באיכויות נחותות נוהגים לערבב אותם עם סלעים באיכות גבוהה יותר (blending). על כן, ניצול מיטבי מחייב קיום של "סל שדות" באיכויות שונות (סודרי, 2004).

פוספט בעולם

תפוצת סלעי הפוספט בעולם נרחבת למדי (תרשים 1), אך חלוקתה הגיאוגרפית אינה אחידה. 45% ממקורות הפוספט בעולם מצויים באפריקה, 25% באסיה, 15% באמריקה ו-10% במזרח התיכון.

תרשים 1: מפת תפוצה של סלעי הפוספט בעולם



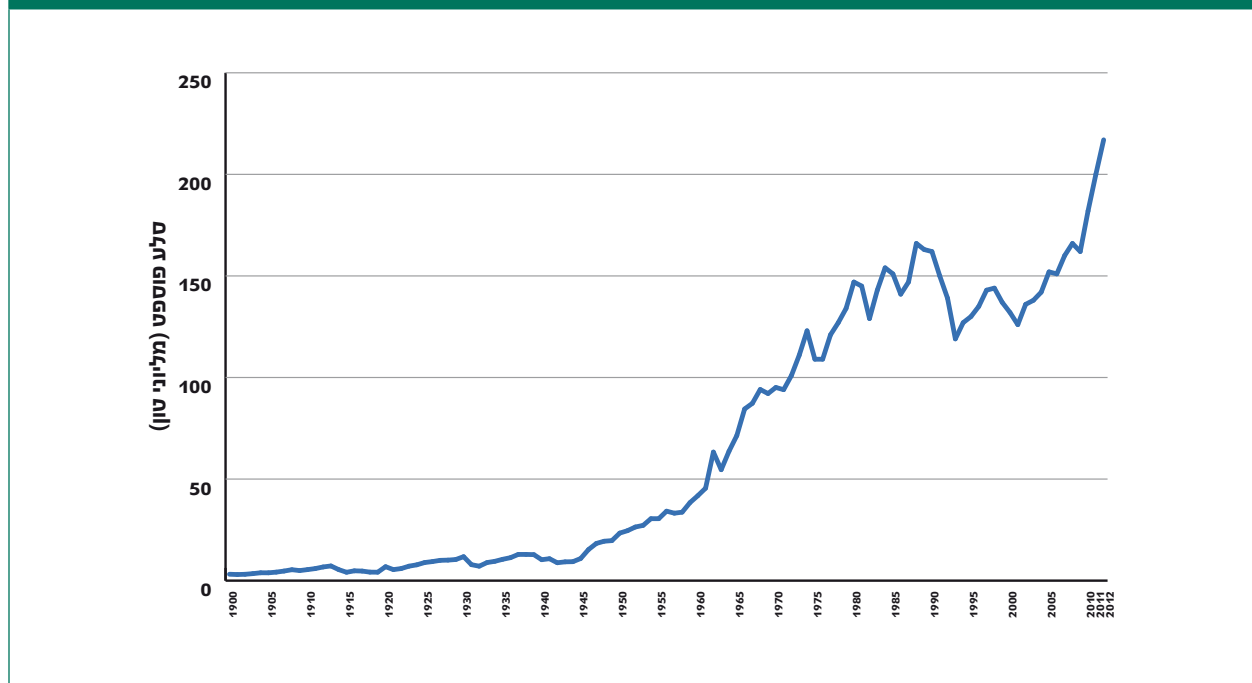
מקור: סודרי, 2004.

המדינות השולטות במאגרים אלו הן סין, ארצות הברית ומרוקו, אך סין הפסיקה את ייצוא הפוספט כדי לספק את הדרישה המקומית. לארצות הברית נותרו מאגרים לשימוש עצמי של 25 שנה, והייבוא למדינה מסתמך בעיקר על תוצרת מרוקו (Cordell et al., 2009).

משנת 1960 ועד שנת 2009 גדל ייצור סלע הפוספט העולמי מכ-40 מיליון טונות לכ-160 מיליון טונות (איור 1). משנת 1960 חל גידול של כ-3% בשנה גם בצריכת דשן הפוספט בעולם, ואת עיקר הגידול ב-20 השנים האחרונות מובילות המדינות המתפתחות (קרונלנד, 2012). מתחילת שנות השמונים ירד חלקה של ארצות הברית בתפוקת הפוספט העולמית של סלע הפוספט מ-35% ל-25%, ואילו חלקה של סין עלה במקביל מ-5% ל-18% (אך הוא משמש בעיקר לצריכה עצמית). חלקה של מרוקו (15-20 אחוזים) נותר יציב לאורך תקופה זו. הסחר העולמי בסלע פוספט ירד מתחילת שנות השמונים מ-50% מכלל התפוקה ל-25% היום. ירידה זו נובעת מהעדפתן של המדינות המפיקות לייצר ולייצא מוצרים מוגמרים כגון

חומצה זרחתית ודשנים. בדרך זו, מדינות אלה מגדילות את רווחיהן, ואילו המדינות המייבאות מוצרים מוגמרים חוסכות מעצמן מפגעים סביבתיים (טיפול בפוספוגבס). בכל שנה משונעים ברחבי העולם כ-30 מיליון טונות של סלע פוספט ודשנים, דבר המציב את הפוספט כאחד המוצרים הנסחרים ביותר בעולם. 50-60 אחוזים מהייבוא העולמי של פוספט מועשר מיועד לאירופה ולדרום אסיה, ואילו 80% מהייצוא העולמי נשלחים מצפון אפריקה, מרוסיה ומהמזרח התיכון. מרוקו היא היצואנית הראשית של פוספט מועשר בעולם, ובמידה רבה שולטת בסחר העולמי של מוצר זה. אשר לייצור הדשנים, כחצי מהם נצרכים באסיה, בעיקר בסין ובהודו. חלקה של אפריקה בצריכת הדשנים הוא 3% בלבד. בשנת 2005 הסתכמה התפוקה בעולם ב-145 מיליון טונות פוספט מועשר, ובכחצי מיליארד טונות של פוספט גולמי (סודרי, 2004).

איור 1: הפקת פוספט עולמית 1900-2012



מקור: סודרי, 2004.

בכל שנה מיוצרים 15 מיליון טונות של דשן זרחני על בסיס סלע פוספט ברחבי העולם. ההשערה היא כי סך היבול החקלאי בעולם מכיל 12 מיליון טונות זרחן, שחלקו חוזר לקרקע כחלק מהריקבון של שאריות הגידול או כהפרשות בעלי חיים, אך החזרה לקרקע איננה מאוזנת מבחינה גיאוגרפית.

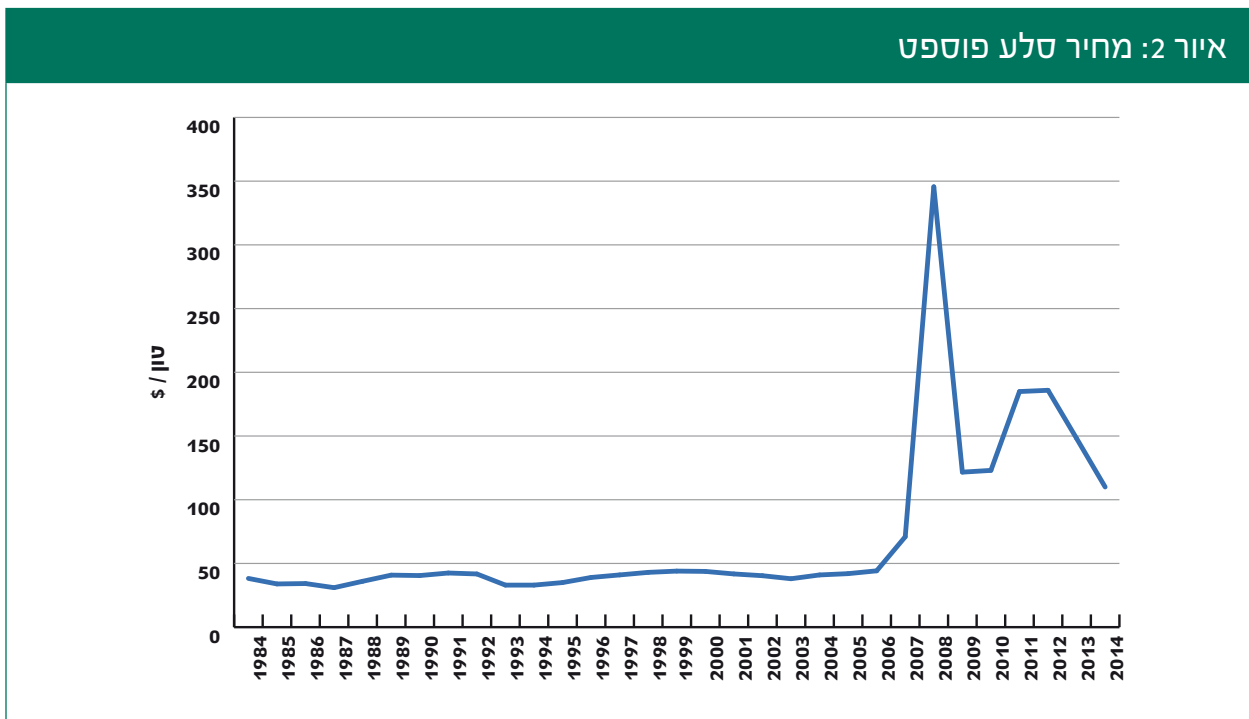
בני אדם צורכים כ-3 מיליון טונות זרחן בכל העולם, כמעט 100% מתכולת הזרחן במזון שלנו מפונה בשתן ובצואה לביוב, ובכל שנה 3 מיליון טונות זרחן נשטפים בביוב. לנוכח העובדה שמחצית מאוכלוסיית העולם מתגוררת במרכזים עירוניים, הערים הפכו למרכזים חמים לזרחן (שתן הוא המקור המשמעותי ביותר היוצא מהעיר). מכיוון שכמויות זרחן אלו לא מופנות חזרה לקרקע, הן הופכות מקור לזיהום מקורות המים שאליהם מפונה הביוב. על-פי הערכות, 25% מסך הזרחן שנכרה מאז 1950 הגיעו למקורות מים או הוטמנו ללא שימוש חוזר. רק כ-10% מהפרשות האדם ממוחזרות לשימושים

חקלאיים. נוסף על כך, היקף כריית הזרחן בעולם גדול פי 5 מכמות הזרחן שהאדם צורך במזונו. מכך אפשר להסיק שקיים איבוד ובזבוז רב של זרחן לאורך שרשרת הערך כרייה-דישון-גידול-צריכה (Cordell et al., 2009).

קשה לאמוד את עתודות הפוספט הקיימות בעולם. הסיבות לכך הן, בין היתר, מחסור בנתונים או בנתונים מעודכנים על עתודות הפוספט במדינות המפיקות, ופירוט מועט של טיב העתודות. לפיכך קיימים פערים גדולים בין האומדנים השונים של עתודות הפוספט בעולם. ניסיון להכניס מעט סדר בשאלת העתודות נעשה על-ידי Bureau of Mines של ארצות הברית, שהציע להבדיל בין שני סוגי עתודות על-פי עלויות ההפקה: "עתודות כלכליות", שאפשר להפיק מהן פוספט מועשר בעלות של עד ארבעים דולר לטונה, ו"עתודות בסיסיות", שעלות ההפקה מתוכן היא עד מאה דולר לטונה. בהתאם לכך, העתודות הכלכליות בעולם המחושבות לפי פוספט מועשר נאמדות ב- 10×18^9 טונות – שליש מאומדן העתודות הבסיסיות. בתפוקה שנתית נוכחית של פוספט מועשר של כ-145 מיליון טונות בשנה, וקצב גידול שנתי של 1.5-2 אחוזים בממוצע, העתודות הכלכליות בעולם עשויות להספיק לשבעים עד מאה שנה בלבד (סודרי, 2004).

הערכות שמרניות גורסות כי בשנת 2033 נגיע לשיא בהפקת פוספט, לאחר מיצוי כולל של 3240 מיליון טונות (משנת 1900). כאמור, סלע הפוספט איננו מתחדש והזרבות הידועות כיום יספיקו על-פי ההערכות ל-50-100 שנים בלבד. החברות הגדולות בעולם לכריית פוספט הן OPC המרוקאית ו-Hubei Xingfa Chemicals Group הסינית. לחברות אלו יתרון גודל המאפשר להן לשלוט במחירי הפוספט העולמיים. בשנתיים האחרונות, בשל הצפת השוק על-ידי החברות המרוקאיות, חלה ירדה במחירי הפוספט. בגרף מחירי סלע הפוספט אפשר לראות כי משנת 2001 החלה מגמת עלייה במחירי הפוספט, תוך תנודתיות רבה במחירים לאורך השנים (איור 2). בשנת 2008 הגיעו מחירי הפוספט לשיאם: מחיר טונה פוספט באוקטובר 2008 עמד על 414 דולר עקב משבר המזון העולמי (הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים, 2014).

איור 2: מחיר סלע פוספט



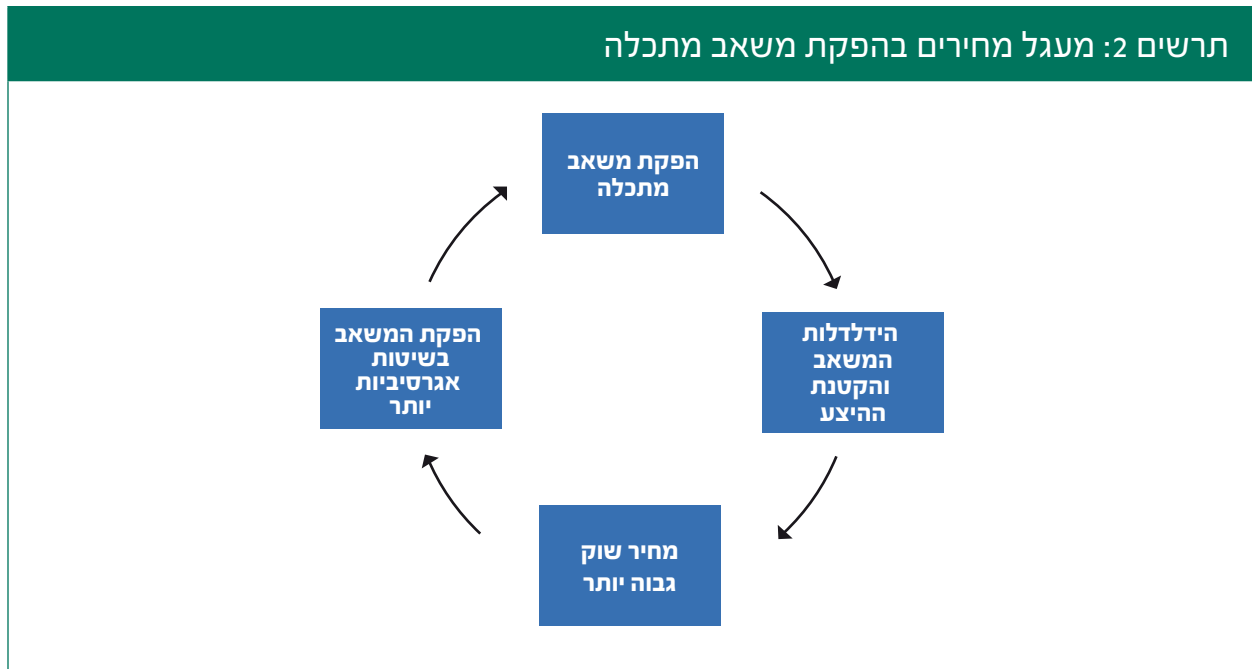
מקור: Global Economic Monitor (GEM) Commodities, 2014.

משאבי טבע

משאבי הטבע השונים הם היסודות המרכזיים לפעילות הכלכלה ולרווחת האדם. יחד 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. נהוג לחלק את משאבי הטבע לשתי קטגוריות מרכזיות: משאבי טבע מתחדשים ומשאבי טבע שאינם מתחדשים. מלאי משאבי הטבע המתחדשים יכול להתחדש בתקופה קצרה יחסית באמצעות תהליכים מחזוריים טבעיים (כדוגמת יערות ודגים). את מלאי משאבי הטבע שאינם מתחדשים אי-אפשר לייצר מחדש לאחר שנוצלו, או שהם מתחדשים במחזורים טבעיים ארוכים ביחס לחיי האדם (כדוגמת היוצרות מינרלים). יחד עם זאת, אפשר להבחין בין שתי תת-קטגוריות במשאבי הטבע שאינם מתחדשים: אלו המתכלים בעת הצריכה (כדוגמת גז ונפט) ואלו הניתנים למחזור (כדוגמת מתכות) (לאוטמן, 2013. OECD, 2011b).

הטיפול במשאבי הטבע הסחירים (גז טבעי, אשלג, ברז, מגנזיום, אגרגטים ופוספטים) נמצא בראש סדר היום בישראל. עם זאת, עדיין אין מדיניות מוסדרת ומקיפה של ניהול משאבים העולה בקנה אחד עם עקרונות של פיתוח בר-קיימא. היסודות לפיתוח בר-קיימא הם פיתוח כלכלי, חברתי, סביבתי, ממשלי ותרבותי המתבסס על צדק תוך-דורי ובין-דורי. בחינת ההתייחסות למינרלים מרכזיים בשוקי ישראל (לשימוש פנימי ולייצוא) מעלה חוסר עקביות, הן בהתייחס לזכויות הציבור בדורות הבאים, והן בהתייחס להיעדר תיאום בין שלבי הטיפול במשאבי טבע סחירים. ועדות ששינסקי וצמח בחנו את ניהול משאבי הטבע והמדיניות הפיסקלית בנושא משאבי הטבע, במטרה להבטיח את זמינות המשאבים ולהבטיח את חלקה הראוי למדינה מניצול משאבים אלו (המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל, 2012). מעבר לעצם צמצום המשאבים, קיימות עלויות סביבתיות שאינן מגולמות במחיר העלות של הפקת המשאב. עלויות אלו משולמות על-ידי הציבור ומכונות "השפעות חיצוניות" (externalities) (המשרד להגנת הסביבה, 2010). ככלל, ככל שהמשאב מידלדל, העלות הסביבתית השולית ליחידת תפוקה שלו גדלה, זאת בשל הצורך הטכנולוגי והתמריץ הכלכלי להשתמש בטכניקות הפקה אגרסיביות יותר (שטחים גדולים או רגשיים יותר, טפל רב יותר, השקעת אנרגיה רבה יותר וכו') (תרשים 2). העלויות החיצוניות הנופלות על הציבור עקב תהליכי הפקת המשאב, בלי שהיצרן יישא בהן, כוללות זיהום, יצירת תחלואה, פגיעה בערכי טבע, פגיעה באתרי מורשת ונוף, ירידה בערך נדל"ן, פגיעה בתיירות ועוד (פירוט נוסף בהמשך). מבחינה כלכלית זהו כשל שוק הגורם לאי-יעילות במשק, ומבחינה חברתית זהו ביטוי לאי-הוגנות בשימוש במשאב ציבורי (המשרד להגנת הסביבה, 2013).

תרשים 2: מעגל מחירים בהפקת משאב מתכלה



מקור: המשרד להגנת הסביבה, 2013.

מיסוי סביבתי הוא אחד האמצעים העיקריים לגרום לישויות כלכליות לתמחר (או להפנים) בפעילותן הכלכלית את ההשפעות החיצוניות השליליות שהן אחראיות להן. בפועל קשה לאמוד את שיעור ההשפעות החיצוניות השליליות, ולכן צפויות להתעורר מחלוקות. עם זאת, מוסכם שישויות כלכליות ישאו באחריות לפגיעות אלו ושעליהן לפצות את הנפגעים. ברוח זו קבעה OECD בשנת 1972 את "עקרון המזהם משלם" (Polluter Pays Principle PPP), ולפיו המגזר הפרטי, ולא המדינה, הוא שיישא בהוצאות לשם הפעלת האמצעים שהרשויות דורשות לטיפול בזיהום. היעד המרכזי של מיסוי סביבתי הוא צמצום הנזקים הנגרמים לסביבה. מטרה זו מושגת באמצעות כמה מטרות-משנה של המיסוי:

1. שינוי בדפוסי הייצור והצריכה של תהליכים ומוצרים המזיקים לסביבה – אם באמצעות מיסוי עקיף על מוצרים ואם באמצעות מיסוי ישיר על רמות הזיהום.
2. עידוד מחקר, שימוש חוזר ופיתוח של תהליכי ייצור ומוצרים "ידידותיים לסביבה", כחלופות למוצרים הקיימים.
3. שימוש בחלק מן ההכנסות לשם מימון פרויקטים סביבתיים: פיקוח על נזקים לסביבה וטיפול בהם, הסברה בנושא איכות הסביבה, מחקר ופיתוח.

כדי למסות ולהכיל את העלויות החיצוניות השונות, יש להגדיר תחילה את המפגעים והשירותים הנפגעים. יש להביא בחשבון מוצרים ציבוריים ושירותים אקולוגיים שערכם איננו יציב או איננו ידוע, ועובדה זו מקשה על היכולת להגדיר מה היא העלות החיצונית. על כן נתחיל בניסיון להגדיר מהם שירותי המערכת האקולוגית וכיצד נאמוד אותם (טרואן ולאופר, 2004)

שירותי מערכת

מערכת אקולוגית היא מערכת תפקודית של מכלול היצורים והמינים (המגוון הביולוגי) החיים ומתפקדים בסביבה מסוימת (המשרד להגנת הסביבה, 2010). שירותי מערכת מוגדרים כתועלת שאנשים מקבלים ממערכות אקולוגיות (באופן אקטיבי או פסיבי). התועלת באה לידי ביטוי במוצרים פיזיים כמו אוכל, ומוצרים לא פיזיים כמו טיהור מים ומוצרים חסרי שימוש (נכון לתקופת הזמן הנוכחית) כמו מגוון ביולוגי (Bateman et al., 2010). הספרות מתארת את הקשר בין הטבע לכלכלה בעזרת המונח שירותי מערכת, או קבלת תועלת לחברה האנושית כתוצאה מהמצב והכמות של ההון הטבעי. אפשר להגדיר ארבע קטגוריות התורמות לרווחת האדם (לפי MA 2005):

אספקה - מוצרי צריכה להתקיימות, כמו עץ, יבול ומים מתוקים.

ויסות - טיהור מים, אקלים, מניעת זיהומים ואסונות.

תרבות - הנאה, רוחניות, חינוך, אסתטיקה.

תמיכה - מרקם הקרקע, פוטוסינתזה ומעגלי נוטריינטים.

בראייה כלכלית, תזרים שירותי המערכת הוא דיבידנד שהחברה מקבלת מההון הטבעי. ב-1997 נאמד ערך שירותי המערכת האקולוגית הגלובליים ב-33 טריליון דולר בשנה. תשומת הלב למחקרי שירותי המערכת האקולוגית עלתה בעקבות פרויקטים של האו"ם, MEA ב-2005 ו-TEEB ב-2010 (Costanza et al., 2014).

שימור מאגרים של הון טבעי מאפשרים הספקה מתמשכת של שירותי מערכת עתידיים, ובכך מאפשר שמירה על רווחת האדם. המשך קבלת שירותי המערכת מחייב הבנה של תפקוד המערכות האקולוגיות. תבניות מתחום מדעי החיים הכרחיות לשם הבנת הקשר בין המגוון הביולוגי, שירותי המערכת ויכולתם להמשיך לספק את השירותים הללו. ישנן יותר ויותר עדויות לכך שמערכות אקולוגיות מצטמצמות עד לרמה המתקרבת לרמה הקריטית – הסף המאפשר המשך קבלת שירותי מערכת, ושממנו והלאה יכולה לחול הידרדרות משמעותית. לא ידוע כמה שינויים מערכת אקולוגית יכולה לספוג עד שהיא מאבדת את יכולתה להפיק את שירותי המערכת, אך ידוע כי כשעוברים את הסף, אין דרך חזרה. על כן נדרשת הגנה על בריאותן של המערכות האקולוגיות לטווח הארוך. ערך השירותים משתנה עם הזמן, על-פי כמותם ומידת עדכניותם של מחקרים חדשים, על-פי רמת התפקוד של המערכת והשינוי בהון האנושי, החברתי והממשי. התרומה המשמעותית ביותר להכרה בשירותי המערכות האקולוגיות היא ההגדרה מחדש של היחסים בין האדם לשאר הטבע. הבנת תפקידיהם של שירותי המערכת מדגישה את חשיבותם כמרכיבים בעושר הכללי, ברווחת האדם ובקיימות. בצל השינוי האקלימי שאנו חווים מתגברים האיומים על תפקוד המערכות האקולוגיות, במקביל לעלייה המתמדת בביקוש האנושי למשאבים. אי-אפשר עוד להתייחס לשירותי המערכת כמוצר חנימי או כמוצר אין סופי. יש להתחשב בערכם האמיתי לחברה ובהידלדלות ערכם עקב השימוש בהם (Groot et al., 2012).

הערכת שירותי המערכת האקולוגית אין פירושה הפרטתם או מסחורם. תיאור הערך של שירותי המערכת במונחים מוניטריים נועד להעלות את המודעות הציבורית ולשכנע את מקבלי החלטות בדבר חשיבותם. מידע על הערך הכלכלי מאפשר תכנון יעיל בחלוקת כספים למטרות שימור, שיקום וקביעת גובה הפיצוי על אובדן השירותים. הערכה כלכלית איננה פתרון בפני עצמו, אלא כלי נוסף לגיבוש תכניות פיתוח ורגולציה. ערכים אלו בדרך כלל אינם מגולמים במחיר השוק, ולכן נדרש לאמוד אותם בשיטות שונות שאינן מתבססות על ערכי השוק. במחקר שירותי מערכת יש להבחין בין מחיר

(Price) לבין ערך (Value): מחיר משקף את שווי השוק של מוצר והוא יכול להתקבל רק עבור מוצר סחיר, ואילו ערך של מוצר אפשר לחשב גם ללא שוק, על בסיס העדפות סובייקטיביות של המשתמש. הערכת שירותי המערכת ספציפית למבצע הערכה ולזמן שבו התבצעה (Bateman et al., 2010).

נהוג לסווג את השיטות להערכת תועלת או נזקים לשיטות הערכה עקיפות, שבהן מעריכים את התועלת או הנזק בעזרת מידע על מוצרים אחרים הקשורים בצורה עקיפה למוצר הסביבתי הנבחן, ולשיטות הערכה ישירות, שבהן האוכלוסייה הנפגעת או מדגם ממנה מתבקשים לציין במישרין מהו ערכו של המוצר או המפגע עבורה. כלי נוסף שבו נשתמש הוא העברת ערך (Value Transfer), אשר מסתמכת על אומדני ערך של שירותי מערכת ממקומות אחרים בעולם, ומבצעת התאמה לאומדן הערך הנדרש. שיטה זו איננה מחליפה את הצורך בהערכה מקומית בנושא, אך היא מאפשרת קבלת תמונה כללית לקביעת יעדים להמשך. אפשר ליישם שיטה זו בשלוש דרכים: העברת ערך ממוצע, התאמת ערכי המקור, וניתוח-על (ניתוח כמה תכונות מכמה מודלים). בתוך שיטת העברת ערך אפשר ליישם העברת ערך בסיסית (Basic benefit transfer): הנחת ערך יחידתי קבוע עבור יחידת שטח של מערכת אקולוגית מסוימת, והכפלה בסך השטח של המערכת לשם קבלת הערך הכולל שלה, בדומה לחישוב התל"ג (Costanza et al., 2014). שיטות מחקר מתקדמות מסוג זה דורשות בסיס מידע רחב ככל שאפשר. יש לציין כי מערכות מדבריות, שבהן עוסקת עבודה זו, אינן מקבלות את אותה תשומת הלב המחקרית, ולכן הערכות כלכליות לגבי שירותיהן כמעט שאין בנמצא.

בעבודה זו אתמקד בכריית פוספט ובהשפעותיה החיצוניות. לעבודה זו יש חשיבות מכיוון שכיום העולם מביץ שיש להתייחס לבעיית המים והאנרגיה המתפתחת כדי לאמוד את הדרישות הנובעות מהגידול באוכלוסייה. עם זאת, עדיין אין הכרה במחסור הצפוי באוצרות טבע רבים אחרים, ובהם הזרחן. יש לשנות את תפיסתנו בנוגע לזרחן בדומה לשינוי שחל בנוגע למים, וזאת כדי להימנע ממצייאות גיאוכימיקלית של מחסור בזרחן בעתיד הקרוב (כאמור, מאגרי סלע הפוספט עלולים להתכלות בתוך 50-100 שנה). הכרה והכלה של העלויות החיצוניות במחירי הזרחן תביא לצמצום הפגיעה הסביבתית המקומית של התעשייה הן על-ידי הפניית כספים לשיפור טכנולוגי והן על-ידי תיקון כשל שוק במחיר חסר עבור המוצר הסופי (Cordell et al., 2009).

שאלת המחקר

עבודה זו נעשה במקביל להתכנסות ועדת ששינסקי השנייה לבחינת חלקה של המדינה במשאבי טבע לאומיים ותפקידה בהבטחת חלקו של הציבור. נשאלת השאלה האם נכון להביא בחשבון רק את הציבור הנוכח? האם חלקה של המדינה המתקבל ממשאבי הטבע בכלל מכסה את העלויות שהציבור משלם? כדי להבטיח שימוש נאות, שקול ומאוזן, יש להביא בחשבון את השפעותיהם ארוכות הטווח של ההפקה והשימוש במשאב זה, תוך מחשבה על שימוש עתידי של הדורות הבאים. לשם כך נדרש להגדיר – מה הן העלויות החיצוניות השליליות בכריית פוספט?

מטרות

1. אפיון שירותי המערכת הנפגעים מכריית פוספט בישראל
2. אפיון המפגעים וההשלכות הישירות של הכרייה
3. חישוב כלכלי של עלות הפגיעה הנוצרת עקב כריית הפוספט בישראל

מתודולוגיה

מחקר זה נחלק לשלושה חלקים: אפיון המפגעים, שירותי המערכת והערכת עלות הפגיעה. אפיון המפגעים ושירותי המערכת נעשה על בסיס סקירת ספרות עולמית ומקומית, ועל בסיס ראיונות עומק עם מומחים בתחום. כדי לבצע הערכת עלויות נעשה שימוש בשיטת העברת ערך על בסיס מחקרים מאזורים שונים בארץ ובעולם, והתאמתם לתנאים השוררים כיום באתרי הכרייה בישראל.

תעשייה מקומית

סלע הפוספט ומאגרו

סלעי הפוספט של ישראל נמצאים בעיקר בנגב הצפוני והמרכזי והם מהווים חלק מ"חגורת הפוספט הים-תיכונית" המשתרעת מעירק ועד מרוקו ומכילה כמות עצומה של סלעי פוספט (למעלה מ-60% מכמויות הפוספט בעולם). סלעי הפוספט הנמצאים בישראל שכדאי מבחינה כלכלית לנצלם, מופיעים ביחידת הפוספוריט הבונה את חלקה העליון ביותר של תצורת מישאש (שכבות) בנגב. יחידה זו כוללת לרוב בין שתיים לשש שכבות פוספוריט בעובי 0.5 עד 1.5 מ' כל אחת, וביניהן שכבות-ביניים דלות זרחן, "טפלות", בעובי 0.5 עד 2.0 מ', הבנויות חוואר פוספטי ובולבוסי גיר (תמונה 1).

תמונה 1: חתך יחידת הפוספוריט במכרה בבקעת צין המראה את שכבות הפוספט המנוצלות



מקור: סודרי, 2004.

כמות הקלציט בסלע הפוספט וצפיפות הגרגירים קובעות במידה רבה את ריכוז הזרחן בסלע. כמות זו משתנה משכבה לשכבה ומשדה פוספט למשנהו, כפועל יוצא של עוצמת התהליכים הגיאולוגיים שפעלו על משקע הפוספט במהלך התהוותו. ריכוז הזרחן נע בין 24% ל-30% P₂O₅ במרבית שכבות הפוספוריט, ואינו עולה על 15% P₂O₅ במרבית שכבות הביניים הטפלות.

קרוב לארבעים שדות פוספט אותרו בנגב, לא כולם כלכליים, וחלקם עדיין לא נסקרו לעומקם. חלקם חשופים או מצויים קרוב לפני השטח, ואחרים קבורים בעומק של עשרות מטרים, לעתים מאה מטר ויותר מתחת לכיסוי הסלעים. העשירים שבשדות הפוספט נמצאים בנגב הצפוני-מזרחי, משדות בקעת צין, מישור רותם ובקעת ערד. שדות פוספט נוספים מצויים בבקעת אורון, במישור ימין, בשיפולים הצפוניים של אנטיקלינת רמון, לאורך הערבה הצפונית והמרכזית ובנגב המרכזי, מערבית לעין יהב. כריית הפוספט מתנהלת כיום באופן בלעדי בידי חברת "רותם אמפרט נגב" בשלושה אתרים עיקריים: בקעת צין, אורון ומישור רותם. כמות הפוספט המופקת כיום בישראל היא כ-7 מיליון טונות חומר כרוי לשנה, שמהם מייצרים כ-3.5 מיליון טונות פוספט מועשר (סודרי, 2004).

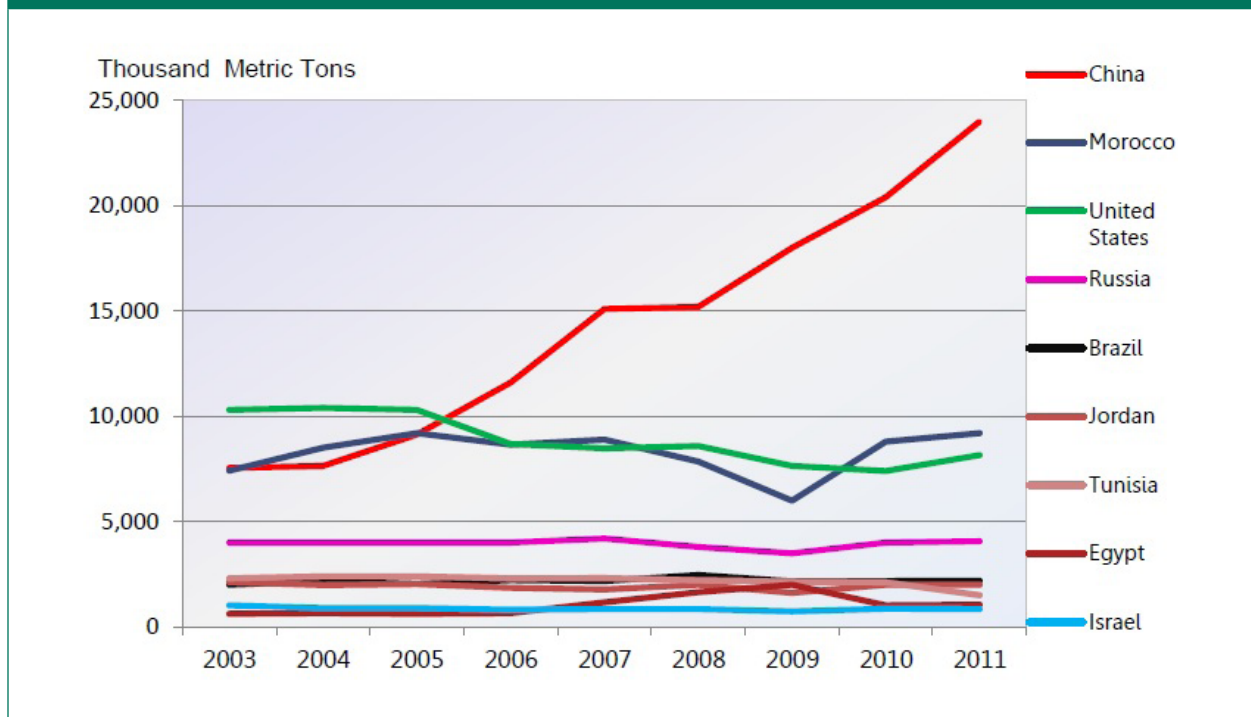
תעשייה מקומית

לחברת "רותם אמפרט נגב" מפעלים בארץ ובעולם. כ-25% מהסלע המועשר מיוצאים לתעשיות ולשימוש חקלאי בחו"ל, ומרבית הסלע המועשר משמש לתעשיית המשך בישראל. "רותם אמפרט נגב" ו"חיפה כימיקלים" הן שתי החברות העוסקות בייצור חומצה זרחתית ומוצרי המשך כגון דשנים ומלחי זרחן בישראל:

- **"רותם אמפרט נגב":** מייצרת חומצה זרחתית ירוקה ולבנה באמצעות חומצה גופרתית המיוצרת מגפרית מיובאת. כ-95% מתוצרי תעשיית המשך ב"רותם" נמכרים בשוק העולמי וכ-5% נצרכים על-ידי השוק המקומי. בתהליך הייצור נוצר תוצר לוואי בשם פוספוגבס, כפי שיתואר בהמשך.
- **"חיפה כימיקלים":** מייצרת חומצה זרחתית לבנה ודשנים מורכבים באמצעות חומצה מלחית. בתהליך של "חיפה כימיקלים" לא נוצר פוספוגבס. החברה רוכשת סלע פוספט מחברת "רותם אמפרט נגב" ולעתים מייבאת פוספט מחו"ל. כ-93% מהמוצרים של חברת "חיפה כימיקלים" מיוצאים וכ-7% נצרכים על-ידי השוק המקומי.

תשומות הזרחן בישראל עמדו בשיאן על כ-20 אלף טונות תחמוצת זרחן (P₂O₅) בשנות ה-80. עם זאת, במהלך השנים ועם התרחבות מגמת השקייט השטחים חקלאיים בקולחים, ובשל הנוכחות של זרחן אורגני בקולחים ותהליכי הצטברות של הזרחן בקרקעות, הצטמצמה תשומת הזרחן בישראל ובשנת 2010 עמדה על כ-6,000 טונות תחמוצת זרחן בלבד – כמות הקטנה משני פרומיל מייצור הזרחן הנוכחי במדינה. מגמת הצטמצמות בתשומת הזרחן בישראל בחקלאות צפויה להימשך לנוכח הגברת המודעות לנזק העלול להיגרם מעודפי זרחן בקרקע, הקטנת הזמינות של יסודות הקורט (מתכות כגון ברזל ואבץ) לצמחים ופגיעה ביבולים החקלאיים (המלצות הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013).

איור 3: הפקת פוספט בעולם לפי מדינות מובילות 2011



מקור: הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים, 2014.

ישראל היא השביעית ברשימת המדינות המפיקות פוספטים בעולם: חלקה של ישראל בתפוקה העולמית מגיע לכשני אחוזים. כמויות סלע הפוספט בישראל נאמדות ב-1.5-2 מיליארד טונות. רק חלק קטן מכמות זו נחשב כניתן לניצול כלכלי, וחלק קטן עוד יותר ניתן כיום לכרייה. הסיבות לכך הן בעיקר תכולת זרחן נמוכה בחלק משדות הפוספט, יחס טפל/עפרה גבוה, נוכחות גבוהה של חומר אורגני ויסודות מזיקים, ופוטנציאל השבחה מועט של סלע הפוספט. כמו כן משפיעים בעיות סביבתיות וייעוד אחר לשטחי הפוספט בתכניות המתאר הארציות. ישנן עתודות משוערות גדולות בעומק הקרקע שייתכן שיהיה אפשר לנצלן עם פיתוח טכנולוגיה לכרייה תת-קרקעית. כמויות הפוספט הנחשבות היום לכלליות ואפשריות לניצול (שטחים שאין עליהם מגבלה סביבתית או תכנונית) בישראל מוערכות ב-180 מיליון טונות, כאמור כ-10% מהכמות הקיימת. רובן מצויות בשטחי הזיכיון של שדות הכרייה של היום – אורון, בקעת צין ומישור רותם. בקצב הכרייה הנוכחי של כ-7 מיליון טונות סלע פוספט לשנה, עתודות אלה עשויות להספיק למעט יותר מעשרים שנה. לא ברור היום היכן תימשך כריית הפוספט כאשר עתודות אלה תאזלנה (סודרי, 2004). כפי שאפשר לראות באיור 3, פיתוח הכרייה בישראל יציב לאורך זמן, איננו מושפע מהביקוש העולמי, ולמעשה מהווה חלק קטן מאוד ממנו אף ש-95% מהכרייה מופנית לשוק העולמי. אם כך, למעשה מדינת ישראל מייצאת את משאביה במחיר הפגיעה הסביבתית המקומית והפגיעה ברווחת החיים של תושביה (הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים, 2014).

מדיניות

פקודת המכרות מגדירה מחצבים "כל החומרים בעלי ערך כלכלי שהם חלק מקליפת האדמה או שמוצאם הטבעי הוא מקליפת האדמה, לרבות שמן מינרלי, חימר, אספלט וגז טבעי, ולמעט מחצבי תמיסה או כבול... או החומרים שהוגדרו במונח 'מחצבה'". על-פי הפקודה, המפקח על המכרות אמון על הטיפול בבקשות ובמתן האישורים עבור היתרי חיפוש, היתרי חקירה, רישיונות חיפוש ותעודות תגלית, הנדרשים עבור מחצבים. כמו כן, על היזם מוטלות כל דרישות התיאום והתכנון הנגזרות מפעולותיו (אתר משרד התשתיות הלאומיות האנרגיה והמים).

בין חברת "רותם אמפרט נגב" ובין רשות הטבע והגנים (רט"ג) יש מערכת של הסכמות המניחה את התשתית לשיתופי פעולה וליצירת מנגנוני הידברות ושיח. הסדרים אלו נולדו מתוקף התכנון הסטטוטורי שמאפשר כרייה בתנאים מסוימים בתוך שמורות טבע וכן מתוקף הסמכות של רט"ג לערכי טבע מוגנים, המחייבים תיאומים שונים בפעילות השוטפת שמבצעת חברת רותם בתחומי שמורות ומחוצה להם.

תנאי הכרייה וההגבלות בתחום שמורות טבע שהוגדרו במסגרת הסכם '87 הם:

- א. הכרייה תתבצע בהתאם לתכנית המאושרת ולאחר הכנת תכנית כרייה ושיקום מפורטת.
- ב. בהכנת תכניות הכרייה והשיקום ייקח חלק אדריכל נוף. התכניות יאושרו על-ידי רשות שמורות הטבע.
- ג. שיקום במהלך הכרייה ובסיומה יבוצע בפיקוח של אדריכל הנוף אשר ימומן על-ידי הקרן לשיקום מכרות של חברת הפוספטים.

כמו כן נקבע כי לא תתבצע שפיכה של חומר בערוצי הנחלים העיקריים ובגדותיהם. בנוגע לסקרים גיאולוגיים לאיתור מרבצי פוספט הוחלט כי הם ייערכו אך ורק באזורים שהוגדרו לכך ויתבצעו באישור, בתיאום ובפיקוח של רשות שמורות הטבע. בשנת 2000 נחתם הסכם נוסף בין שני הגופים בנוגע להחלפת שטחים בבקעת צין. במסגרת ההסכם הוחלט כי רט"ג תאפשר לחברת רותם לבצע כרייה בשטחים הנמצאים בתחומי שמורת הטבע מכתשים עין יהב ובאתרים הסמוכים לה. לשטחים אלו לא ייעשה שינוי ייעוד לכרייה וחציבה. הכרייה תתבצע בהתאם להיתר מרט"ג על-פי חוק גנים לאומיים, שמורות טבע, אתרים לאומיים ואתרי הנצחה, התשנ"ח (1998), ולפי תכניות כרייה מפורטות שיתואמו יחד עם רט"ג. כמו כן, חברת רותם תכין תכניות מפורטות לשיקום שיתואמו ויאשרו על-ידי רט"ג (עמיר וחובריו, 2011). הקרן לשיקום מכרות הפוספטים היא קרן ייחודית שמטרתה לתכנן ולבצע פעולות הסדרה ושיקום במכרות הפוספטים בנגב לאחר גמר הכרייה בהם. הנהלת הקרן כוללת 9 חברים (נציגי משרדי ממשלה, ממ"י והחברה המפיקה), והמקור הכספי לפעילותה הוא נגזרת של כמות הפוספט המופק.

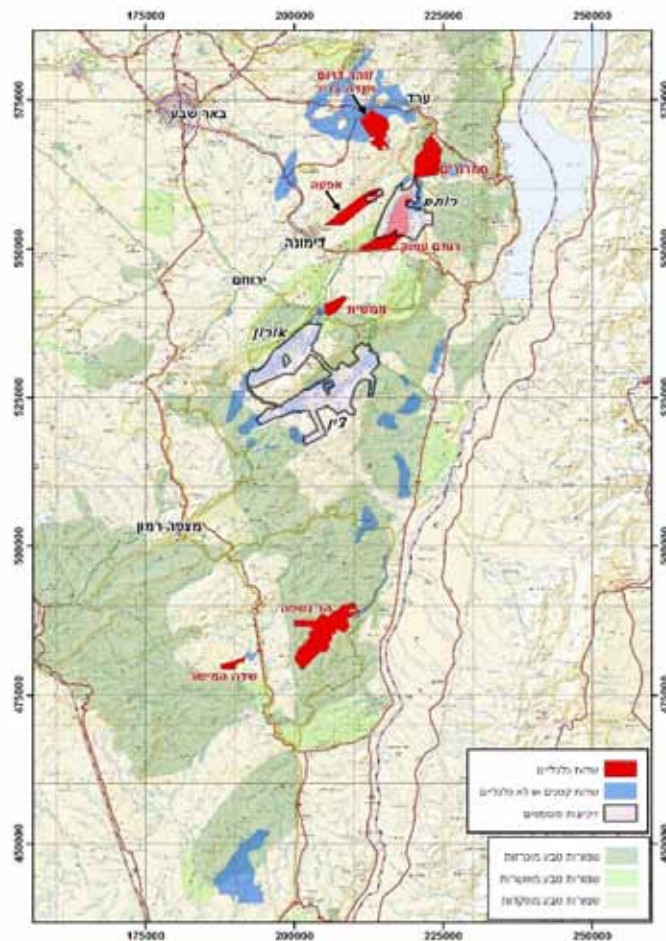
95% מהמחצבים המופקים בישראל מיוצאים, וחלה עליהם חובת תשלום תמלוגים למדינה תמורת השימוש בהם. היקף התמלוגים שהמדינה גובה על כריית סלע פוספט, על-פי פקודת המכרות, עומד על 2% משווי הפוספט. עקב מחלוקת שנתגלעה בין המדינה לחברת "רותם אמפרט נגב" אשר לאופן שבו מחושבים התמלוגים, נקבע בהסכם גישור (2010) שהתשלום יעמוד על 2% מהמכפלה של הערך הבסיסי לטונה סלע פוספט גולמי (שנקבע בתחנת הבדיקה האחרונה, ומעודכן על-ידי הצמדתו למחיר הבינלאומי), במספר הטונות של פוספט גולמי שנכרה במהלך אותה שנה. לפי תחשיב זה, התמלוג הממוצע לשנת 2012 עלה ל-73.45 סנט לטונה סלע פוספט גולמי כרוי, ועל-פי תחשיב זה נגבו \$ 4,569,501 כתמלוגים (הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013).

תכניות כרייה עתידיות

תמ"א 14 ג', תכנית מתאר ארצית לכרייה וחציבה של מינרלים תעשייתיים, מקודמת בשנים האחרונות במנהל התכנון במשרד הפנים. התכנית באה לעגן סטטוטורית את השטחים המיועדים לכריית מינרלים תעשייתיים עד לשנת היעד 2045. על-פי תמ"א 14 ג', עתודות הפוספט בשטחי הזיכיון של חברת "רותם אמפרט נגב" עומדות על כ-50 מיליון טונות פוספט דל אורגני, והן צפויות להסתיים בהדרגה, בשדות השונים, החל באמצע העשור הנוכחי. מחוץ לשלושת אזורי הכרייה הנוכחיים אותרו וסומנו שדות פוספט נוספים בשולי הערבה הצפונית, אך רק שניים מהם מהווים עתודה ראויה לכריית פוספט (תרשים 4):

1. **הר נשפה ומישר בנגב המרכזי** – עשרה ק"מ מערבית לעין יהב מצוי פוספט מטיב בינוני בכמויות הנאמדות ב-300 מיליון טונות. מרבץ זה מצוי כולו בשמורת טבע, שמורת עשור, והכרייה בתוכו אינה אפשרית. ישנה התנגדות של המשרד להגנת הסביבה והגופים הירוקים לכרייה בהר נשפה בשל רגישות סביבתית גבוהה. נוסף על כך אזור זה מרוחק מאד מהמפעלים הקיימים, והפקת פוספט בו תחייב הקמת מערכת מפעלים חדשה.
2. **שדה זוהר דרום בבקעת ערד** – מרבץ המכיל פוספט איכותי בכמויות גדולות מאוד, קרוב לחצי מיליארד טונות, אשר אפשר לאשר לכמה יזמים כדי לעודד את התחרות. מרבית שטחי הפוספט שבבקעת ערד אינם ניתנים לכרייה עקב קרבתם לעיר ערד. שטח מוגבל הנמצא בשוליים הדרומיים של מרבץ זה – שדה בריר – ניתן כנראה לכרייה מאחר שהוא נמצא במרחק-מה מהעיר, אך טרם נמצא פתרון ליישובים הכפריים המצויים בתחומו. ההתנגדות לכרייה היא של תושבים מקומיים, בטענה שהכרייה תזיק לבריאות תושבי האזור. מכיוון שהדיון על אתר הכרייה העתידי התמקד בשנים האחרונות בשדה בריר, בחרנו להתמקד בו ובהשלכות הצפויות של הקמתו כחלק ממערך כריית הפוספט בישראל (סודרי, 2004. הועדה בין משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013).

תרשים 4: מפת עתודות פוספט, ערים ושמורות הטבע המוכרזות



מקור: סודרי, 2004.

שדה בריר - תיאור כללי

שדה בריר הוא המתחם הדרומי של שדה זהר, הצפוני שבמרבצי הפוספטים בנגב. האתר נמצא כ-3 ק"מ מהעיר ערד ומשתרע על שטח של כ-13 אלף דונמים. השדה נמצא במרחק של 3-4 ק"מ מריכוזי יישובים (ערד - 3.5 ק"מ, כסיפה - 2 ק"מ, שדה תעופה נבטים - 3.5 ק"מ, העיר החדשה המתוכננת כסיף - 2.5 ק"מ, היישוב הבדואי המתוכנן אל-פורעה - 1 ק"מ, ופזורה קיימת היושבת היום בתוך שטח השדה המוצע), ובמרחק של כ-18 ק"מ ממכרה רותם. המרבץ אינו נכלל בשמורת טבע, והסוגיות הסביבתיות הקשורות בפיתוח המכרה עוסקות בשאלה האם כריית פוספט באתר תסב נזק לתושבי האזור.

שדה בריר הוא אחד מעתודות הפוספטים הגדולות בנגב, ויש בו על-פי הערכות כ-65 מיליון טונות פוספט איכותי, המתאים לייצור חומצות. בשדה בריר עתודות פוספט עם תכולת תחמוצת זרחתית של כ-26% וכיסוי טפל בעובי ממוצע של כ-25 מטר (עמיר, 2011).

כרייה

גורמים רבים מגבילים את הכרייה הכלכלית של סלע הפוספט, ובראשם גורמי כרייה הנדסיים המביאים בחשבון את עומק שכבות הפוספט, יחס טפל-עופרה, מרחקי השינוע בין שדה הפוספט למפעלים, ריכוז תחמוצת הזרחן בשכבה, ריכוז החומר האורגני וגורמים סביבתיים שונים. בטכנולוגיות הקיימות כיום, תעשיית הפוספט מסוגלת לנצל רק חלק מעתודות הפוספט, אולם עם הזמן הטכנולוגיה מתפתחת ומאפשרת ניצול של חומר גלם באיכות נמוכה שסווג בעבר כלא כלכלי.

בהתאם למפורט בתמ"א 14/ג, תהליך ייצור הפוספט נחלק לשלושה אזורי פעילות:

- א. אזורי כרייה** - השטחים שבהם מתבצעת הכרייה ובהם הפעילות היא חציבה וכרייה בלבד.
- ב. המפעלים** - בהם מתבצע תהליך העיבוד וההעשרה של חומר הגלם והפיכתו למוצרי הדשן והחומצות.
- ג. שינוע** - הסעת חומרי הגלם והמוצרים. דרכים, מסילות רכבת ומסועים המשמשים להעברת חומרי הגלם מאזורי הכרייה למפעלים, ומהמפעלים אל נמלי הייצוא.

חלוקת הפעילות המובחנת בין אזורי הכרייה והמפעלים היא בעלת משמעות סביבתית רבה. ככל שהמכרות קרובים לאזור המפעלים, טביעת הרגל הסביבתית קטנה יותר. סלע הפוספט מעובד למוצרי דשן ולחומצות זרחתיות בשלושה מפעלים: אורון, צין ורותם. המפעלים הוקמו במקור בקרבה מיידית לאזורי הכרייה, במטרה לחסוך בהובלה של חומרי גלם למרחקים הגדולים מ-10-15 ק"מ. בין המפעלים מחבר קו רכבת המאפשר להוביל ביעילות יחסית כמויות גדולות של חומרי גלם. בקו הרכבת משונעים מוצרי הדשן השונים לייצוא דרך נמל אשדוד.

פיתוח שדה כרייה מתחיל במיפוי גיאולוגי. אחר כך מתבצעים סקרים מקדימים הכוללים קידוחי דגימה לצורך הכרת המודל הגיאולוגי, בדיקת איכות הפוספט והתאמתו להפקה מסחרית. נעשה תיאום עם רשות הטבע והגנים בנוגע למיקום הקידוחים ותוואי הדרכים. שטח מכרה פוספטים פעיל הוא לרוב כמה מאות דונמים (עד כ-500 דונם). אתר כזה יהיה מחולק לשלושה אזורי עבודה מרכזיים שווים בשטחם: אזור הסרת טפל, אזור כריית פוספט ואזור החזרת טפל ושיקום.

- **הסרת שכבת קרקע עליונה** - השלב הראשון בפעולת הכרייה הוא הסרה של שכבת הקרקע העליונה (עד 100 ס"מ). שכבת הקרקע מאוחסנת בשטח נפרד ומוחזרת למקומה בסוף תהליך השיקום. במרבית שטחי החציבה בעבר לא הופרדה שכבת הקרקע העליונה משכבות הטפל. בשיקום שטחי חציבה ישנים, וגם בשטחים שהוסדרו או שוקמו, חסרה שכבת הקרקע העליונה, והדבר משפיע על איכות השיקום וקצב השיקום האקולוגי והנופי של שטחים אלו.

- **הסרת טפל** - במכרות הפוספטים מתקיים יחס משתנה בין שכבות טפל לעפרה. באופן כללי, שכבות הפוספט צרות יחסית (כמה מטרים) והן מכוסות ונמצאות בין שכבות טפל בעומק משתנה, שעוביו בדרך כלל כמה עשרות מטרים. במכרות השכחים שעומקם עד 30 מטר, היחס טפל/עפרה יכול להגיע ל-20% פוספט ו-80% טפל. חומרי

- הטפל מועברים במשאיות למקום שפיכה מוגדר. במקרים רבים כיום נהוג לבצע את הכרייה בשלבים, כך שחומר הטפל של הבור הנוכחי משמש למילוי הבור הקודם לו.
- **כריית הפוספט** - שיטה זו אופיינית במכרות אורון, צין ורותם. מדובר בכרייה פתוחה הנעשית בשיטת Strip Mine לכרייה של חומר שנמצא קרוב יחסית לפני השטח. העבודה נעשית ברצועות ארוכות: בכל פעם פותחים רצועה, מסירים את שכבת הטפל ולאחר מכן כורים את הפוספט. בתום הכרייה ברצועה פותחים את זו שלצדה, וכך מתקדמים לאורך השדה כולו. הטכנולוגיה שבה משתמשים היא של חריש באמצעות דחפור, ובמקומות מסוימים יש צורך בקידוח ובפיצוץ. את הפוספט הכרוי מעמיסים על גבי משאיות המובילות אותו אל המפעלים. לעתים, כאשר המרבץ רחוק מהמפעל, החומר הכרוי מובל למגרסה ניידת ומשם באמצעות מסוע למפעל.
 - **שינוע** - הובלת הטפל למקום האחסון הזמני או הסופי והובלת הפוספט למפעלים מתבצעת על-ידי משאיות כביש (עד 60 טונות) או משאיות רכינה של מכרות, בעלות 6 גלגלים ומשקל של עד 300 טונות. ההובלה מתבצעת:
 - א. בדרכים סלולות, שהן הדרכים העיקריות לקישור בין אתרי הכרייה והמפעלים. דרכים אלו מורטבות במי תמלחת מדי תקופה כדי להקטין את פליטות האבק.
 - ב. דרכי עפר - בתוך אזורי העבודה, דרכים אלו מורטבות על-ידי מכליות כביש.
 - **הסדרה ושיקום** - לאחר השלמת כריית הפוספט מתבצעות פעולות הסדרה ושיקום, ובסיומן השטח עתיד לשנות את ייעודו מאזור כרייה וחציבה לאזור בעל ייעוד אחר. ניצול פוספטים המצויים בשטחים המיועדים לפיתוח היא דרך יעילה למיצוי עתודות בלי להרחיב את היקף השטחים המופרים. הסדרת המכרה בסיום הכרייה מכשירה את השטח לייעודו העתידי. הייעוד העתידי קובע את אופן ההסדרה ושיקום השטח. בשינוי ייעוד לשטח פתוח, או שמורת טבע, נדרשת רמה גבוהה של שיקום נופי ואקולוגי. בעוד בייעודים אחרים כמו הקמת אתרי סילוק פסולת (לדוגמה אסמ"ר אפעה) מנצלים את בורות הכרייה לטובת הטמנת פסולת, בשינוי ייעוד למטרה זו משאירים את בורות הכרייה העמוקים במצבם. פעולות השיקום הן מרכיב דומיננטי בהיבט הסביבתי, הנופי והאקולוגי של אזורי הכרייה. באופן עקרוני אפשר להבחין בשתי תקופות/גישות מרכזיות בנושא שיקום אזורי הכרייה:
 - ג. **שטחי כרייה "ישנים"** - מרבית אזורי הכרייה שנכרו מאז שנות החמישים ועד לעשור האחרון. שטחים אלו נכרו בתכניות חציבה שלא כללו שיקום בו-זמני במקביל להתקדמות הכרייה. בשטחים אלו שכבות הטפל הוערמו בערמות, וחלקן הושארו בתוך בורות כרייה ישנים. חלק מהשטחים עברו הסדרה ושיקום ברמות שונות, אך מרביתם עדיין לא טופלו. שטחים אלו מטופלים במסגרת "הקרן לשיקום פוספטים" בתהליך שיקום איטי וארוך. בעשור האחרון, עקב הסקת מסקנות משיקום אתרי כריית פוספטים, הוכרה חשיבותה של שכבת הקרקע העליונה, נושאת הזרעים והמינרלים, בהחזרת השטח למצב נופי ואקולוגי תקין. החזרת שכבה זו בתום התהליך מאפשרת לשמר את האבניות ולשחזר את הטקסטורה וגוון הקרקע בפני השטח.
 - ד. **שטחי כרייה "חדשים"** - בעשור האחרון ננקטה גישה חדשה, ולפיה השיקום מתוכנן ומבוצע במשולב עם תכנית הכרייה. במהלך הכרייה, גובה ערמות הטפל מוגבל לפי הטופוגרפיה של האזור. עם התקדמות הכרייה ולפי שלבים שנקבעים בתכנית, חומר הטפל מוחזר אל תוך בור הכרייה ועובר הסדרה טופוגרפית הכוללת מיתון מדרונות על-ידי החלקה. שכבת הקרקע העליונה ('טופ-סויל' top-soil) מוחזרת ומפוזרת לכיסוי השטח,

ולאחר מכן מתבצעות עבודות שיקום סופיות. החזרת קרקע עליונה לפני השטח תורמת לשיקום אקולוגי בשל הימצאות בנק זרעים ויכולת יצירת קרומים ביולוגיים. כיום נעשים מאמצים בשיקום הסופי להשגת שיפועים וטקסטורות (חספוס של פני השטח) לשם השגת מרקם "טבעי" שיאפשר במשך הזמן השתקמות אקולוגית של השטח ואכלוסו בצומח ובחי (הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013).

פעילות באתר הכרייה כוללת תנועת כלי רכב רבה: מעמיסים, משאיות, משאיות רכינה, דחפורים, מכליות, מחפרים ומכונות קידוח. במכרות נעשה שימוש בפיצוץ לריסוק שכבות סלע קשות כמה פעמים בשבוע. העבודה במכרה רציפה, 24 שעות, 6 ימים בשבוע, והעבודה מלווה ברעש, באבק, בתאורה ובתנועת כלי רכב רבים. כמו כן, באתר הכרייה יש סדנת טיפולים, תדלוק, חנייה, מגורים ומשרדים שאינם מוסדרים בהיתרי בנייה (עמיר וחובריו, 2011).

על-פי רוב הכרייה היא "סלקטיבית": ניצול שכבות הפוספט לבדן. רק במצבים מיוחדים הכרייה היא של חתך רציף – ניצול שכבות הפוספט יחד עם שכבות הביניים הטפלות דלות הזרחן (סודרי, 2004). בחלק משדות הפוספטים הנכרים כיום ישנן שכבות המצויות מעל לשכבת הפוספט ומכילות חומרי גלם תעשייתיים נוספים כמו חול, פורצלניט ופצלי שמן. היתר הכרייה שקיבלה חברת "רותם אמפרט נגב" מעניק לה זכות בלעדית אך ורק להפקת הפוספט, והחברה נדרשת שלא לפגוע באוצרות טבע או בחומרים אחרים בשטח הזיכיון. כיום, כאשר רשות מקרקעי ישראל מוציאה מכרזים לניצול של חומרי הגלם הנוספים בשטחי הכרייה, הדבר מוגבל למחצבים אשר יש ביקוש רציף עבורם (בעיקר חול) (הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013).

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 פיזיקו-כימיים הכוללים ניפוי, טחינה, גריסה, חימום, הצפה (פלוטציה), ייבוש ועוד. מרבית הסלע המועשר ממשיך בשרשרת הייצור לעיבוד מתקדם (80-70 אחוזים מהסלע בדרך כלל). תהליך העיבוד מתבצע במפעל רותם בלבד, אליו מוסעים סלעי הפוספט ממפעלי אורון וצין (ברכבת ומשאיות), והוא תהליך כימי קלאסי. לתהליך שותפים כימיקלים רבים, כגון חומצה גופרתית, 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). תוצר לוואי משמעותי מתהליך זה הוא הפוספוגבס, אשר נערם בשולי המפעל ברותם (לאוטמן, 2013).

השפעות סביבתיות של כריית פוספט

בדומה לתעשיית מפעלי ים המלח, גם תעשיית הפוספטים תורמת רבות לכלכלה בישראל ומהווה מקור תעסוקה חשוב באזור הנגב. יחד עם זאת, תעשייה זו מביאה עמה השפעות שליליות על הסביבה (הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים, 2014). תרומת כריית הפוספטים לכלכלה באה לידי ביטוי בתמ"ג בישראל, אך ההשפעות השליליות שלה אינן מכוונות ואינן נכנסות לחישוב זה. בחלק זה של העבודה אפרט את ההשפעות הללו, ובהמשך העבודה אחשב את ערכם המוניטרי.

השפעה סביבתית של כריית משאבים תלויה בהיבטים רבים: אזור הכרייה, סוג המשאב ואופן הפקתו, אופי האתר ואופן השיקום. כרייה פתוחה והקמת מפעלים באזור המדברי של צפון הנגב הן בעלות השפעה נופית חזקה על אגן חזותי גדול. ענני האבק העוטפים בדרך כלל את אזור המפעלים תורמים גם הם לתחושה של מרחב פעילות תעשייתית. מפעלי

הפוספטים באורון, צין ורותם משתרעים על שטחים גדולים יחסית, וכוללים מתקנים גבוהים ובעלי נוכחות חזותית בולטת. שטח המפעלים נאמד ב-7,000 דונם, בהם מפעלים, שטחי אחסון פוספוגבס וברכות אידוי. כמו כן, תהליך הכרייה של סלעי הפוספט משתרע על שטחים גדולים ומושפע מהתנאים הגיאולוגיים: לרוב שכבות הפוספט נמצאות מתחת לשכבות סלע אחרות: קונגלומרט, חוואר, פורצלניט ופצלי שמן, וחציבתם כרוכה בהסרה של שכבות טפל רחבות (עמיר וחובריו, 2011). עד כה נכרו במרחבי אורון, צין ורותם שטחים בהיקף של מעל 50,000 דונם, ומדי שנה נגרעים 1,000-2,000 דונמים נוספים לכרייה של כ-7.5 מיליון טונות סלע פוספט בשנה ופי 3-4 חומר טפל (המשרד להגנת הסביבה, 2013). הכרייה עצמה מלווה במפגע רעש משמעותי שנגרם מקידוחים, מפיצוצים, מהעמסה ופריקה של חומר כרוי ומתנועת כלי רכב כבדים. פעולות אלו אחראיות גם לזיהום האוויר בחלקיקים נשימים וזיהום בחומרים מסוכנים, המאפיינים את כריית הפוספט. זיהום זה משפיע על בני אדם המתגוררים בסמוך לאתרי הכרייה ועל המערכת האקולוגית בכך שהוא יוצר שכבת אבק ופוגע גם במרקם הקרקע. למעשה אתרי הכרייה והקמת המפעלים באזור מדברי פוגעים פגיעה קשה ברציפות השטחים הפתוחים, רציפות החיונית לשימור המערכות האקולוגיות המדבריות (לאוטמן, 2013). נוסף על כך, מערך ההובלה והשינוע של חומרי הגלם מצריך פריצת דרכים חדשות הפוגעות במשטרי ניקוז, קוטעות רצף אקולוגי ומעודדות כניסת מינים פולשים. פעולות המכרות משפיעה על מערכת הניקוז: הן על מי הנגר, אשר מוסטים בהתאם לשינוי הטופוגרפי ועלולים ליצור סחף בקרקעות חשופות, והן על מי התהום, אשר זוהמו בעבר ממי תשטיפים. אף שבשנים האחרונות התפתחה מודעות לחשיבות השיקום והביצוע של שיקום אקולוגי, עד היום שוקמו רק כ-35,000 דונם (30%) מהשטחים שנכרו, 15,000 דונם עברו הסדרה חלקית בלבד וכ-28,000 דונם לא עברו שיקום כלל (צוות תכנון תמ"א 14/ג', 2012). למעשה, שיקום מכרות פוספטים נעשה בניהול של רותם אמפרט על-פי הסדר עם רט"ג. לקרן אין מעמד סטטוטורי כלשהו, ובקצב הנוכחי לא יושלם שיקום מכרות פוספט מהעבר בתקופת הזיכיון הנוכחי (המשרד להגנת הסביבה, 2013). יתרה מזאת, מבדיקת משרד מבקר המדינה לשנת 2012 עולה כי עדיין לא הועבר סכום כלשהו לקרן לשיקום מכרות, והחברה מחזיקה את הכספים ברשותה (מבקר המדינה, 2013).

רשימת המפגעים הנגרמים מכרייה ועיבוד הפוספט ארוכה ומגוונת. להלן נדון בהשפעותיה המרכזיות ובהמשך ננתח את העלות הכלכלית של המפגעים שקיימת עבורם הערכה כלכלית במספרים. רשימת המפגעים המלאה והמפורטת ניתנת לעיון בהתאם להפניות רשימת הספרות.

ההיבטים הסביבתיים באתרי כרייה וחציבה של פוספטים נחלקים לשני תחומים מרכזיים:

1. מפגעים הקשורים בפליטות לסביבה ובריאות האדם

זיהום אוויר- אבק

זיהום האוויר בישראל הוא אחד המפגעים הסביבתיים החמורים ביותר המשפיעים על בריאות הציבור ועל איכות חיינו וסביבתנו. מחקרים מדעיים מראים כי זיהום אוויר הוא גורם ישיר למחלות באזורים רבים בארץ, בהן סרטן ריאות ואסטמה, ואף למוות. זיהום אוויר נגרם ממקורות רבים ומגוונים, בהם תחבורה, תחנות כוח, מפעלי תעשייה ומקורות טבעיים. עם הגידול באוכלוסייה ועם העלייה ברמת החיים בארץ, צפוי כי מקורות הפליטה יגדילו עוד יותר את השפעתם על איכות האוויר (המשרד להגנת הסביבה, 2012).

מחצבות פוספטים הן מקורות פוטנציאליים לגרימת מפגעי זיהום אוויר באבק, עקב פעולת הכרייה ותנועת כלי רכב באתרי החציבה ומחוצה להם. מקורות מרכזיים לפליטות אבק הם פיצוץ, חציבה וכרייה, העמסה ופריקה, הובלת חומרים באמצעות משאיות בדרכי עפר ודרכים סלולות, שינוע חומרים באמצעות מסוע (לא קיים כיום, מהווה אמצעי להפחתת המפגע), גריסה וניפוי באתר, וסחיפה (פליטת אבק כתוצאה מבלית הרוח, הגורמת להפרת פני השטח ולהסרת קרום הקרקע). מפגע זה מתווסף לרמות האבק הטבעיות בארץ, שהן גבוהות בהשוואה לתקנים בעולם. הסיבות לרמות גבוהות אלו של אבק הן האקלים המדברי וקיומן של סופות אבק טבעיות שמקורן במדבריות צפון אפריקה וערב (עמיר וחובריו, 2011).

ריכוזי האבק הגבוהים בשדה בריר מחייבים טיפול קפדני במקורות הפליטה האנתרופוגניים, אשר תורמים לעליית ריכוזי חלקיקים בסביבה, והשקעת מאמץ בצמצום הפליטה ממקורות אלו למינימום האפשרי.

מבחינה בריאותית, המדד לחשיפה לזיהום אוויר הוא ריכוז החלקיקים הנשימים (2.5PM, 10PM). אין סף בטוח בחשיפה. סקרים אפידמיולוגיים רבים מראים כי חשיפה נשימתית קצרת מועד ל-2.5PM עלולה לגרום, בתוך כמה שעות ועד ימים אחדים, לעלייה בתמותה על רקע קרדיו-וסקולרי ונשימתית. חשיפה נשימתית ארוכת טווח ל-2.5PM מעלה את הסיכון לתמותה ולתחלואה לרמה גבוהה יותר מזו של חשיפה קצרת טווח. חשיפה זו מתבטאת, מעבר להשפעה הישירה על מערכת החיסון, גם בהאצה של תופעות בריאותיות נוספות (סרטן הריאות ועוד) (המשרד להגנת הסביבה, 2012).

התכנית לשדה בריר, תסקיר ההשפעה על הסביבה שנערך לו וחוות הדעת שנכתבו בנושא יכולים להוות תשתית להערכת הפוטנציאל לזיהום אוויר ולהבנת המשמעויות הכלליות הנוגעות לשריון העתודות בתמ"א 14 ג'.

החשש לסיכון בריאותי כתוצאה מעלייה בריכוזי האבק החלקיקי משתקף בחוות הדעת השונות המתייחסות לתכנית שדה בריר ולהשפעתן החזויה על תושבי ערד והסביבה, הן בנוגע לרמת החשיפה של התושבים והן בנוגע לנוכחות מזהמים אחרים באוויר. מלבד גודל החלקיקים, קיימים מרכיבים כימיים מסוימים הנכללים או מתווספים לחלקיקים ואשר השפעתם על הבריאות מזיקה אף יותר. בין מרכיבים אלו נמנים אוזון, רדון ויסודות רדיואקטיביים נוספים שעלולים להשתחרר עם כריית הפוספט, כמו אורניום 238, אשר בחשיפה ממושכת עלולים לגרום לסרטן.

נכון להיום אין בישראל פרוטוקול מסודר להערכת סיכונים בריאותיים במסגרת תהליכי התכנון. חוות הדעת שהתקבלו בנושא הכרייה בשדה בריר מתבססות על תסקיר השפעה על הסביבה שבוצע בשנת 2001 ע"י חברת "גיאופרוספקט" עבור חברת "רותם אמפרט נגב בע"מ". ממצאי התסקיר הצביעו על הכדאיות בהכשרת שדה בריר כשטח כריית פוספט, ומדדי הזיהום וההשפעה על הסביבה לא חרגו מהתקן (עמיר וחובריו, 2011). המשרד להגנת הסביבה קיבל תסקיר זה, והוא הפך להיות מקור הנתונים לחישוב ההשפעות הבריאותיות הצפויות על תושבי ערד, אל פורעה והסביבה.

בתחילת שנת 2014 ביצע פרופסור סאמט, רופא מומחה לאפידמיולוגיה, עבודה מקיפה עבור משרד הבריאות במטרה לאפיין את ההשפעות הפוטנציאליות על הבריאות של כרייה בשדה בריר. חוות הדעת מצאה ראיות המרמזות על קשרים סיבתיים בין חלקיקי 10PM ו-2.5PM ובין השפעות לטווח קצר על המערכת הקרדיו-וסקולרית, על דרכי הנשימה ועל תמותה כללית. על בסיס נתוני התסקיר, צפויה בערד עלייה שנתית ממוצעת של 0.2 מיקרון למטר קוב חלקיקי אבק בגודל 2.5PM מיקרון. פרופסור סאמט הסתמך על עלייה בסיכון של 3.3% לתמותה הכללית על כל עלייה של 10 מיקרוגרם לקוב. למעשה, תוספת הסיכון לתמותה בעיר ערד עקב הכרייה היא 6.6 תושבים ל-10,000 תושבים לשנה ($0.033 * 0.2 / 10 = 0.00066$), כלומר פחות מפטירה אחת בשנה. עם זאת, השפעה זו גדולה פי 6.6 מהסך השנתי המינימלי ביותר המקובל בעולם המערבי. בכסייפה ובכסיף חישוב זה מגיע לתוספת סיכון לתמותה של 3.3 תושבים ל-10,000

תושבים בשנה. בדואים בפזורה היושבים באזור המיועד לכרייה, צפויים להיחשף לעלייה משמעותית של 10.9 מיקרוגרם לקוב, אשר מתורגמת לעלייה בסיכון לתמותה של מעל 3% לשנה. באזור בית ספר אל פורעה מדובר בעלייה של 3.8 מיקרוגרם לקוב, ועלייה בסיכון לתמותה של 1.25% לשנה. כמו כן, פרופסור סאמט מתאר עלייה בסיכון לתמותה שתבוא לידי ביטוי בעלייה של 9% בתמותה ממחלות לבביות-נשימתיות, עלייה של 15% בתמותה ממחלות לב איסכמיות, ושל 11% בתמותה מסרטן ריאות. עוד מוסיף פרופ' סאמט כי על-פי דו"ח ארגון הבריאות העולמי, חשיפה קצרת טווח וארוכת טווח לזיהום שמקורו בחלקיקי 2.5PM נמצאה קשורה למחלות לב ונשימה, כלי דם, מחלות נשימה בילדים ואף השפעה על לידות. על השפעות ארוכות טווח אין די נתונים לביצוע תחזית למקרה שדה בריר (Samet, 2014).

חוות דעת עצמאית של ד"ר כסליו, פיזיקאי, שנכתבה בשנת 2008 מצאה שהעלייה בתוספת הנפטרים תהיה 21 בשנה, בהנחה שכל התושבים מתגוררים במרחק 3.5 ק"מ מהמכרה. הנחה זו בעייתית מכיוון שרק השכונות הקיצוניות של העיר נמצאות במרחק זה, ולכן לא נוכל להשתמש בה. ד"ר ברחנא וד"ר דובנוב, רופאים מומחים בבריאות הציבור, מצאו בחוות דעת עבור עיריית ערד בשנת 2008 שצפויה עליית ריכוז חלקיקי 2.5PM ברמה של 2.5 µg/m³, ועלייה של 4.25% בתמותה השנתית בערד – תוספת של 7 נפטרים בשנה. ד"ר אריק קרסנטי, רופא ומומחה בבריאות הציבור, כתב בשנת 2008 התייחסות עבור המשרד להגנת הסביבה, ובה הסביר שהפעלת מתקן בשדה בריר תגרום להרעה מסוימת במצב הבריאותי של התושבים באזור. עם זאת, הוא העריך שהעלייה הצפויה בתמותה היא זניחה: פחות מנפטר אחד בשנה (בדומה להערכות פרופסור סאמט), ושלמעשה לא יהיה אפשר לקשר בין התמותה ובין פעילות המכרה. טענה זו מגדירה סף השפעה גבוה שאליה יש להתייחס. בהמשך המחקר נבצע הערכות כלכליות על בסיס חוות דעת שמצאו השפעה משמעותית יותר מאשר נפטר אחד בשנה.

אמנם ד"ר ברחנא, ד"ר דובנוב וד"ר קרסנטי אינם מסכימים על רמת החשיפה (שניתנת למדידה בדרכים שונות, ועל כן סובייקטיבית) והשפעתה על התמותה, אך הם מסכימים שלכרייה תהיה השפעה על התחלואה, ובעיקר על תחלואת ילדים, הן עקב חשיפה לחלקיקים נשימים והן מקרינה רדיואקטיבית, שאליה ילדים רגישים יותר. מכיוון שברוב חוות הדעת אין נתונים בדבר רמת ההשפעה על תחלואה או רמת ההשפעה של חלקיקים רדיואקטיביים, נתמקד בחישוב ההשפעה של חלקיקים נשימים על התמותה בעיר ערד. יש להביא בחשבון את סובייקטיביות בחירת המודלים לניבוי תנועת המפגע, ואת הפרמטרים שמכניסים למודלים אלו לחישוב רמת החשיפה והשפעותיה.

זיהום אוויר - פליטות

תהליך העיבוד והייצור של מוצרי הדשן והחומצות מסלעי הפוספט צורך משאבי אנרגיה ומים בהיקף גדול. תהליכי ייצור והעשרה של פוספט כוללים גריסה, חימום וייבוש. בתהליכים אלו נפלטים מזהמי אוויר וחלקיקים. עד לשנת 2006 היו המפעלים באורון, צין ורותם אחראים לכ-55% מסך פליטות החלקיקים ממקורות תעשייתיים בארץ. סגירת "תנור הבזק", ששימש לקליית פוספט גבה אורגני במפעל צין בשנת 2006, הביא לידי הפחתה משמעותית בשריפת הדלקים ובפליטת החלקיקים. ועדיין, מתקני ייבוש הפוספט בשלושת המפעלים צורכים כ-30 אלף טונות מזוט בשנה, וצריכת החשמל השנתית של כלל המפעלים מגיעה ל-350 מיליון קוט"ש בשנה. מפעלי הפוספטים מוגדרים כמפעלים בעלי השפעה ניכרת מבחינת פליטות מזהמים לאוויר לפי חוק אוויר נקי שאושר בשנת 2010 בהתאם לדירקטיבה האירופית.

בשנים האחרונות השקיעה חברת רותם באמצעים טכנולוגיים לשיפור פליטות מזהמים מארובות המתקנים (פליטות מוקדיות) וכאמור סגרה את "תנור הבזק" במפעל צין, שהיה אחראי לרוב פליטות האבק ממפעלי החברה. צעדים אלו הביאו לידי שיפור ניכר ברמת הפליטות לאוויר. מזהמי האוויר המרכזיים שנפלטים מארובות המפעלים הם: חלקיקים, NOX, SOX, חומצה הידרופלואורית HP, חומצות מלח HCl ואיזואמיל אלכוהול (במפעל רותם) (עמיר וחובריו, 2011).

תוצר לוואי תעשייתי - פוספוגבס

בתהליך הרטוב להפקת חומצה זרחתית באמצעות חומצה גפרתית נוצר פוספוגבס. מבחינה כמותית, פוספוגבס הוא התוצר העיקרי של התהליך, משום שיחס התוצרים הוא 3.5-5 טונות של פוספוגבס לטונה חומצה זרחתית. הפוספוגבס נושא מזהמים רבים שמקורם בחומר הגלם, והוא מכיל על פי רוב שאריות של כ-1% מרכיבים שונים שמקורם בפוספט כמו פלואור ורדיום. נוכחותם של מזהמים אלו מונעת את מרבית השימושים האפשריים בגבס, שהוא משאב במחסור בישראל (הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013). אחת הסכנות הגדולות בערמות ה-PG היא שחרור ראדון מהערמה כחלק מהמרכיבים הרדיואקטיביים שהפוספוגבס מכיל. באתר Huelva בספרד, כ-100 מיליון טונות פוספוגבס פולטים קרינת גמא בכמות הגדולה פי 5 עד פי 38 מהמקסימום התקני. בבדיקה בכרתים נמצאה קרינה מסוכנת מהטמנה במכלי פלסטיק בים. מרכיבים מומסים יכולים להשתקע בקרקעות סמוכות או להיות מועברים למים אשר יגיעו לבסוף ליצורים חיים. בהודו בחנו את התשטיפים מערמות הפוספוגבס וגילו שאריות רדיום שחורגות מהתקן המקומי, בחלחול מי גשם המדידות חרגו פי חמישה מהתקן. ניסיונות רבים נעשו להשתמש בפוספוגבס בתעשיית הגבס לייצור טיח, ובתעשיית הבטון במקום גבס, אך בארצות הברית נאסר להשתמש בפוספוגבס כחומר גלם ב-1990, ובאירופה ב-1992. לאחר מכן הותר השימוש, אך תחת מגבלות וחסימים שיצרו קושי כלכלי ופוליטי לפתח את המוצרים, מעבר למגבלות המדעיות והתעשייתיות (H. Tayibi et al., 2009).

כמויות הפוספוגבס השנתיות המיוצרות בישראל נאמדות ב-3 מיליון טונות. עד היום נערמו בשולי המפעלים ברותם הררי גבס בגובה רב, המתפרסים על שטח של כ-3000 דונם ובמשקל של כ-50 מיליון טונות. בורות כרייה לא משוקמים שיועדו בתכניות לסילוק עודפי הפוספוגבס יכולים לתת מענה הטמנה לטווח הקצר, אך לטווח הבינוני והארוך מדובר בהיקפים אדירים של פסולת תעשייתית שנדרש למצוא לה פתרון סביבתי אחר מאשר סילוק והטמנה (המשרד להגנת הסביבה **, 2013).

תאונות דרכים

מפעלי הפוספטים ברותם, אורון וצין מקושרים ביניהם, ומהם אל נמל אשדוד, בקו רכבת. מהשיקול הסביבתי הובלה ברכבת עדיפה על פני תנועת משאיות בכבישים. ואולם, חלק מהשינוע, בעיקר לנמל אילת, נעשה במשאיות. תנועה זו גורמת להכבדה על הכבישים מבחינת עומס, תאונות דרכים ובלאי הכבישים (המשרד להגנת הסביבה **, 2013). כחלק מהערכת חלופות שנעשתה במסגרת תמ"א 14 ג', נבחנו היבטים כלכליים הקשורים בעלויות הכרייה, ההובלה, העיבוד והעלויות החיצוניות (שהוגדרו כמספר ההרוגים והפצועים בתאונות דרכים). עלויות ההובלה והעלויות החיצוניות חושבו לפי תוספת העלות ולא לפי המצב הקיים. ככל שאתרי הכרייה החדשים קרובים יותר לאתרים הקיימים, כך פוחתת הנסיעה בכבישים, ובהתאם גם מספר ההרוגים והפצועים. כל אחת מן החלופות קובעת אתר מרכזי אחר לכרייה עתידית: שדה בריר או בערבה. אמנם במקרה זה שדה בריר הוא חלופה כדאית יותר מכמה סיבות, בין היתר מכיוון שצפויים בו פחות נפגעים

בכבישים, אך לצורך הערכת העלויות החיצוניות ניקח את הערכת שדה בריד מכיוון שמרבית העבודה עוסקת בהשפעות החיצוניות באזור צפון הנגב. הצפי לתוספת נפגעים הוא 125.6, 63.5 פצועים קשה ו-10.7 הרגים (תמ"א 14/ג', 2013).

2. השפעות על שירותי המערכת

שירות תרבות של הנוף המדברי

כריית הפוספטים יוצרת שינוי דרסטי של השטחים שבהם היא נעשית, ובכך משפיעה הן על אתרי הכרייה עצמם, אשר נהרסים כליל, והן על רדיוס גדול של מרחב הצופה אל שטח הכרייה (האגן היוזואלי). מכיוון שחלק ניכר מכריית הפוספטים נעשית בשטחי קערם נמוכים ורחבים, בין הקמרים של הנגב (באורון ובצין), השפעתם הנופית מכסה שטחים נרחבים. בנוף מדברי זה, המרכיב הדומיננטי הוא המסלע הטבעי והקרקע שהתפתחה מעליו. כרייה פוגעת באופן בלתי הפיך במרקם הנופי על-ידי שינוי המבנה הפיזי של השטח ועל-ידי הסרה של שכבת הקרקע/הסלע העליונה. כך נוצר נוף חדש: הן במבנה שלו והן במרקם ובצבעוניות. שיטת ההפקה של הפוספטים, בכרייה פתוחה, תוך כדי הסרה של הטפל ועירומו באתר, יוצרת נוף חדש בעל שני מרכיבים: בורות הכרייה וערמות הטפל. השפעות נופיות משמעותיות יש גם לפעילות שוליים של הכרייה, כגון פריצת דרכים וביצוע סקרים, וכן לפעילות המפעלים. כריית הפוספטים, בהיקפים העצומים של השטח הנכרה ובפסיפס האקראי הענק של שטחים שונים, יוצרת מראה לא טבעי ולא אסתטי: אזורים המצויים בשלבים שונים של כרייה, ערמות טפל ושיקום ושטחים בלתי מופרים. ה"פסיפס" הזה מתקיים לאורך פרקי זמן ארוכים – עשרות רבות של שנים. מקרה אחד של עידום חומר הוא הר הגבס הצמוד למפעל ברותם. להר הגבס מופע השונה בתכלית מן המופע של ערימות הטפל, הגוון הבהיר-בוהק שלו ניכר היטב על רקע קשת הגוונים של השטח, הנעים בין קרם-צהבהב לחומים. גם צורתו, גובהו הרב והשיפועים התלולים, מגדילה את נוכחותו הנופית. הכלת שטח הפוספוגבס בחישוב העלויות הסביבתיות של הנוף איננו מהווה כפל רישום על העלות לטיפול בחומר, מכיוון שעלות הטיפול מתארת את העלויות החיצוניות של הטמנתו, של המתקנים שיש לפתח כדי שלא יזהם את מי התהום, ושל עידוד מציאת פתרונות מחזור לחומר. הערכת השפעתו על הנוף באה לתאר את המפגע הזמני שקיים היום באתר רותם. אלמנטים נופיים נוספים שהם תופעת לוואי של תהליכי העיבוד במפעלים הם מאגרי האיזוי של מי התשטיפים של הפוספט. הנוכחות הנופית של המאגרים היא בעיקר מרחוק, מתצפיות רחוקות ומכבישים. המאגרים יוצרים ניגוד חזק הן לשטח הבלתי מופר והן לשטחי הכרייה. נדירותם של מים במדבר מעצימה את המשמעות שהמתבונן מייחס לנוכחות המאגרים. תכנון המאגרים, כמו גם תכנון מתקני המפעל, עירום הגבס וכיו"ב, נעשה מהיבט הנדסי בלבד, ללא הפעלת שיקולים סביבתיים, ויזואליים ואקולוגיים. לדרכים בשטחי הכרייה ובסביבתם משמעות נופית גדולה. דרכים בסביבה מדברית נצפות למרחוק, הן מגובה הדרך והן מנקודות תצפית. ההשפעה הנופית של דרכים גדולה דווקא מחוץ לריכוז של שטחי חציבה, המופרים ממילא. הדרך, הבולטת בשינוי הגוון והמרקם על פני השטח הטבעיים, פוגמת ברציפות השטח ה"שלם" מבחינה ויזואלית ופוגעת בתחושה של "ארץ בראשית". ההפרה שיוצרת דרך אמנם מצומצמת בהיקף שטחה, אך משמעותית ביותר באופן שבו היא חוצה כקו את המרחב הנצפה (עמיר וחוברי, 2011).

לכריית הפוספטים יש השפעה גם על אתרים, מכלולי נוף תרבות ומורשת, ופגיעה זו יכולה לבוא לידי ביטוי בשני רבדים: האחד, פגיעה ישירה באתרי עתיקות שנמצאים בשטח מרבצי עתודות פוספטים, והשני – פגיעה במכלול נוף תרבות מורשת. עלות הפגיעה הישירה עומדת ביחס ישר לחשיבות האתרי הארכיאולוגי. אתרים בעלי חשיבות לשימור מוגנים

על-ידי חוק העתיקות, וסביר שלא ייפגעו, אך פעולת הכרייה עלולה להפר את סביבת האתר ולהשפיע על חוויית הביקור והחזות של האתרים עצמם. מכלול נוף התרבות המשמעותי ביותר במרחב מרביצי הפוספטים בנגב הוא מרחב דרכי הבשמים, המשתרע מנחל צין בצפון ועד לרמות עומר בדרום, מהערבה ועד לרמת עבדת-מכתש רמון. דרך הבשמים בישראל הוכרזה כאתר מורשת עולם על-ידי אונסק"ו. שדות כרייה במרחב הסמוך לדרך הבשמים, והנמצאים באגן הוויזואלי שלה, עלולים לפגוע בתדמית התיירותית של הדרך ואתריה, להשפיע על חוויית הטיול לאורך הדרך העתיקה, ומכאן על תשתיות התיירות המדברית הנשענות על מרחבי הטיול שלאורך דרכי הבשמים ו"ארץ המכתשים".

למרות החשיבות הרבה של ערכי התרבות המוזכרים, אין עבודות הערכת שווי עבור שירותים אלו במדבר, עובדה זו מעלה קושי בהערכת הנזק הכלכלי שגורמת הכרייה בקרבם. כמו כן, אין אפשרות להעריך את השטח הנפגע ברמה הוויזואלית באגן התצפית. על כן ניאלץ לבצע הערכת-חסר לפגיעה זו, נתייחס רק לשטח המופר (חציבה ומפעלים) להערכת העלויות החיצוניות – שטח של כ-60 אלף דונם (המשרד להגנת הסביבה **, 2013).

שירות תרבות של המגוון הביולוגי

יציבותן של מערכות אקולוגיות מדבריות נגזרת משלושה פרמטרים עיקריים: גודל, רציפות ומגוון בתי הגידול. שלוש פרמטרים אלו מבטאים את היכולת של מערכות ביולוגיות שלמות להתקיים לאורך זמן. העלות האקולוגית מתבטאת בהרס של שטחים נרחבים ובתי גידול רבים, שיש לו בעל השפעה רבה ביותר על הכחדה של מינים ועל אובדן המגוון הביולוגי על פני כדור הארץ.

ההשפעה הישירה: כריית פוספט והתשתיות הנלוות לה משנות סדרי עולם. מדובר בהיקף גדול של שטחים שנפגעים, כולל החי והצומח שבהם ובסביבתם. בגלל הרס השטחים נוצרים מחסומים וקיטוע של אזורים, שינויים בטופוגרפיה, פגיעה ברצף השטחים הפתוחים ובמסדרונות מעבר אקולוגיים חיוניים, שינויים בהרכב הקרקע והמבנה שלה, פגיעה בקרום הקרקע, שינוי משטר מי הנגר והזרימה בערוצים, פגיעה בכורש הנשיאה של השטח ובשירותי המערכת שהוא מספק. השפעה עקיפה: המערכת האקולוגית המדברית מאופיינת במרחבים פתוחים גדולים ובמיעוט משקעים. בגלל מאפיינים אלו, המערכת המדברית רגישה למפגעים ובעלת יכול שיקום נמוכה. לכן, נוסף על ההשפעות באזור הכרייה עצמו ישנה השפעה ניכרת על המערכת האקולוגית על שלל מרכיביה, במרחק ניכר ממוקד הפעילות. השפעות אלו כוללות זיהום ערוצי נחלים ומי תהום, כפי שקרה בנחל צין, השפעות על קרום הקרקע עקב הצטברות שכבת אבק, מפגעי אור ורעש הנגרמים מהעבודה הרצופה במכרות ומעבודת המפעלים, וכן ריכוז פסולת באתרי הכרייה ובדרכי הגישה. השפעות שוליים רבות באות לידי ביטוי גם במרחק של קילומטרים רבים ממוקד הפרעה עצמו (עמיר וחוברין, 2011).

ד"ר אסף צוער, אקולוג מחוז הדרום ברשות הטבע והגנים מסביר כי מבחינה אקולוגית, אזור מדברי מאופיין בפרודוקטיביות נמוכה בשל כמות מים מעטה. כמות המים היא גורם מגביל, ופירוש הדבר שיש צורך במרחב גדול יותר לקיום פרט במערכת זו בהשוואה למערכות אקולוגיות אחרות. מערכות מדבריות מאופיינות במגוון מינים נמוך יותר ובקצב גידול איטי יותר, ובהתאם לכך גם יכולת השיקום נמוכה יותר. גם בנושא זה אין די עבודות כלכליות אשר מאפשרות הסקה על העלות הסביבתית של המפגע, ולכן נתמקד במקרה בוחן יחיד שיתאר את ערך התרבות המתקבל מהמגוון הביולוגי. לפני תחילת הכרייה בשדה חתרורים, במצוקי נחל חימר, הייתה מושבה מוכרת של נשרים. ידוע כי מושבה זו הייתה קיימת שם משנות ה-70. בסקר מקיף שנעשה באפריל 2003 לאיתור קינוני דורסים היא הוגדרה כאחת מהמושבות הגדולות

ביותר שאותרו, באותה שנה נמצאו כ-15 קנים. מתצפיות בנחל חימר לאחר תחילת הכרייה, בשנים 2004-2005, עולה כי ישנה ירידה דרסטית בפעילות הנשרים במקום, והם נמנעים מלקנן שם (ספריאל, 2005). מ-2004 ועד היום לא נצפו קינוני נשרים במצוקי נחל חימר. ישנן מעט עדויות ללינה של נשרים באזור, והיא מעטה מאוד ואקראית בלבד. על-פי מיקום קני הנשרים בנחל חימר לפני הכרייה, אפשר להניח שמדובר ברדיוס השפעה של כמה ק"מ. הקן המרוחק ביותר מאזור הכרייה היה במרחק אווירי של כ-6 ק"מ. כמו במקרים אחרים, היעלמותם של מינים מקומיים עקב הפרעה או שינוי תנאי בית הגידול הם פתח להיכנסותם של מינים זרים (המשרד להגנת הסביבה **, 2013).

כיום "כימיקלים לישראל" מממנת פרויקט רב-שנתי בשיתוף פעולה עם רשות הטבע והגנים, פרויקט שבזכותו עלה במידה ניכרת מספרם של הנשרים ושל דורסים אחרים במדבר הנגב. הפרויקט כולל חלוקת מזון איכותי ונקי מרעלים לנשרים ולרחמים; ניטור אוכלוסיית הנשרים והרחמים; וכן חינוך והסברה לשימור העופות הדורסים (אתר כימיקלים לישראל).

חישוב העלויות החיצוניות

פרק זה מהווה את ליבת העבודה, ובו ארכז את ההערכה הכלכלית של ההשפעות החיצוניות השליליות בשל כריית פוספט בצפון הנגב (טבלה 1). בפרקים הקודמים פורט הצורך בכריית פוספט, פורטו ההשפעות הסביבתיות הרבות שטמונות בתהליך זה, ונדונה המשמעות של התעלמות מהעלויות הסביבתיות הללו. בפרק זה נבצע הערכה כלכלית על בסיס פירוט הפרקים הקודמים ועל בסיס מחקרים שונים מהארץ ומהעולם בנוגע להערכת שווי השירותים האקולוגיים הנפגעים והערכת השפעת המפגעים על חיינו. הערכות אלו נעשו על בסיס עקרון העברת ערך, נעשה סינון למחקרים בעלי זיקה גבוהה לתחום, כדי לקבל הערכה קרובה ככל האפשר למקרה הבוחן של כריית פוספט. מיעוט המחקרים הרלוונטיים לתחום השפעות הכרייה וההשפעות הסביבתיות במערכת המדברית ניכר מאוד, ומדגיש את הצורך בקידום המחקר המדעי בתחום. מחקר זה נחוץ לשם בניית בסיס ידע שיאפשר ביצוע עבודות מסוג זה על בסיס תקופתי לבחינת ההשפעות והעלויות המשתנות. ברצוני לציין כי מכיוון שהסתמכנו על עבודות שנעשו במקומות שונים ובזמנים שונים, יש להתייחס לאומדנים אלו בזהירות. עיקר תרומתם הוא במתן אינדיקציה למפגעים השונים ולערכם הכלכלי.

חישובי הצמדה נעשו בעזרת אתר הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. המרות מטבע חוץ נעשו בעזרת אתר בנק ישראל, המרות מטבע והצמדה נעשו בהתאם לשנת פרסום המאמרים עד לחודש אוגוסט 2014. ערכים שפורסמו לאחרונה לא עברו הצמדה. טבלה 1 מרכזת את המפגעים שנמצאה להם הערכת שווי, הערך שנמצא לפי מחקרים שונים וסך העלות כפי שחושבה. בהמשך הפרק נסביר בקצרה על העלויות שנמצאו במחקרים השונים.

טבלה 1: הערכת ההשפעות השליליות על צפון הנגב, שנת 2014:

מפגע	פירוט	היקף	עלות במקור	ערכים	מטבע במקור	עלות (שנת 2014)	סה"כ (שנת 2014)
זיהום אוויר - אבק	הרוגים (שנה)	7.0	11174280	(ש \ הרוג)	שנת 2011	115,631,87.92	80,942,315
זיהום אוויר - פליטות	עלות חיצונית לפליטות מזהמות בהפקת פוספט (מיליון טונות)	7.5	62,000,000	(ש \ 7.5 מ"ט)	שנת 2013	62,304,518.66	62,304,518
זיהום	פוספוגבס (טונות\שנה)	3,000,000	1.5	(יורו \ טון)	יורו 2012	7.665	22,995,000
זיהום	פוספוגבס (דונם\שנה)	225	0.49	(יורו \ מ"ר)	יורו 2011	2.54	571,500
ת.דרכים	הרוג (שנה)	10.7	4000000	(ש \ הרוג)	(2003	4889817.32	52,321,045
ת.דרכים	פצוע קשה (שנה)	63.5	50000	(דולר \ פצוע)	\$ 2003	268939.95	17,077,686
ת.דרכים	פצוע קל (שנה)	125.6	12000	(דולר \ פצוע)	\$ 2003	14669.45	1,842,483
שירותי תרבות של הנוף המדברי	עלויות חיצוניות של קרקע - מדבר	60000	3806	(ש \ דונם)	שנת 2013	3824.69	229,481,400
נוף מדברי	מודל מחירים הדונים במעלה אדומים (דירות צמודות סף מדבר)	2613	162,124	(ש \ דירה)	שנת 2013	162,124	8,472,589
שירותי תרבות של המגוון הביולוגי	אתר קינון ושימור נשרים בנחל חתרורים	1	14,800,000	(ש \ אתרים)	שנת 2003	18,289,760.15	18,289,760
סה"כ							475,894,238

זיהום אוויר – אבק

זיהום האבק בקרבה לאזורים מאוכלסים הוא מפגע בריאותי משמעותי, נוסף על היותו מפגע סביבתי. עובדה זו עלולה להשפיע מאוד על קבלת ההחלטות בבחירת שטחי הכרייה העתידיים של ישראל. את העלות הציבורית של מפגע זה נעריך על-פי מסמך עבודה להכנת תכנית לאומית למניעה וצמצום של זיהום האוויר בישראל, שהוציא המשרד להגנת הסביבה בשנת 2012. במסמך זה ניתן ערך סטטיסטי לחיי אדם בישראל. מתן הערך הכלכלי מסתמך על שיטות כגון אמידת ערך החיים הסטטיסטי (VSL), אומדן ערך שנת חיים (VOLY), הערכת הנכונות לשלם (Willingness to Pay) עבור הפחתת השפעה, מחירי טיפול, אובדן ימי עבודה וכו'. מרבית המחקרים מתמקדים בהשפעות חלקיקים ואוזוןמזהמים המביאים לידי מרבית הפגיעה בבריאות. כפי שפורט בפרק הקודם, מחקרים מצביעים על הקשר הסטטיסטי הברור שבין ריכוז גבוה של חלקיקים ובין עלייה בשיעורי התמותה, הן כתוצאה מחשיפה ממושכת (כרונית) והן כתוצאה מחשיפה קצרה (אקוטית) לריכוזים גבוהים. תמותה אקוטית אופיינית לקבוצות אוכלוסייה רגישות, קשישים, חולים וילדים. תמותה מחשיפה ממושכת צפויה לפגוע בכל קבוצות האוכלוסייה.

כימות ערך הסיכון הסטטיסטי לאובדן חיי אדם (VSL) מטרתו להעריך מה המחיר שהפרט מוכן לשלם תמורת הורדת הסיכון למות. החישוב המלא משקלל את ממוצע ההעדפות כפול מספר התושבים כפול משך הזמן שהם מוכנים לשלם. על בסיס נתוני ה-OECD ובשימוש בטכניקת העברת ערך (benefit transfer) מ-846 הערכות קיימות מכל העולם, אפשר להסביר את ערך הסיכון הסטטיסטי של חיי אדם בישראל ברמת מובהקות גבוהה. חוקר ה-OECD ניל אקסל בראטן קבע כי הערך הסטטיסטי בישראל עומד על 11,174,280 ₪ בשנת 2012. קביעה זו אומצה על-ידי המשרד להגנת הסביבה. בהתאם להסבר על חוות הדעת השונות שניתנו על הכרייה בשדה בריר, ניקח את הערך שעליו הצביעו ד"ר ברחנא וד"ר דובנוב – כשבעה נפטרים נוספים בשנה. נכפיל את עלות חיי האדם בישראל, מוצמדת למדד, ונכפיל בשבע. התוצאה המתקבלת היא שהעלות השנתית מגיעה ל-80,942,315.44 ₪ (טבלה 1) (המשרד להגנת הסביבה, 2012. ברחנא ודובנוב, 2008).

עלות זו משקפת רק חלק מעלות ההשפעה של זיהום האוויר הצפוי בערד. ממסמך העבודה עולה כי סך העלות של רכיבי מקרה אשפוז, הכולל את עלות האשפוז, אובדן ימי העבודה והרווחה הוא 8,998 ₪ במחלקה הקרדיוסקולרית, ו-8,946 ₪ במחלקת נשימה (לא צמוד). אירוע אסטמה בילדים גורר עלויות ישירות ועלויות עוגמת נפש המגיעות ל-280 ₪ ליום. מכיוון שלא מצאנו את נתוני התחלואה מהימנים מספיק, לא הכנסנו אותם לחישובי העלות, אך אין המשמעות שאפשר להתעלם מהם. יש להביא בחשבון כי הערכות אלו הן הערכות-חסר, ומהוות את הבסיס להמשך המחקר בתחום, לשם קבלת תמונה מהימנה יותר.

זיהום אוויר – פליטות

תהליך הפקת הפוספט מחולק לשלושה שלבים, ולכל אחד מהם השפעות שונות על הסביבה. עיקר ההשפעות שנבחנו בעבודה זו נוגעות לשלב הכרייה. זיו לאוטמן ביצע ניתוח של העלויות מכל שרשרת הערך בהפקת פוספט על כל שלביה, בדגש על כמות פליטות של מזהמים גזיים כגון פד"ח, מתאן, גופרית דו-חמצנית, חלקיקים מרחפים ותחמוצות חנקן. העלויות החיצוניות גדלות לאורך שרשרת עיבוד סלע הפוספט, החל בעלות פליטות נמוכה בשלב הכרייה, ועד לשלב ההעשרה והעיבוד, הדורשים שימוש בכמויות אנרגיה גבוהות. חישובי העלות החיצונית נעשו לפי הגדרות המשרד להגנת הסביבה ולפי מרשם הפליטות של המפעלים. נמצא כי עבור שנת פעילות מלאה של חברת "רותם אמפרט", שבה נכרו 7.5

מיליון טונות סלע פוספט, העלויות החיצוניות הסביבתיות מוערכות ביותר מ-62 מיליון ₪, במונחי 2013. הערך הנוכחי עומד על 62.3 מיליון ₪, כפי שמתואר בטבלה מס' 1. לאוטמן מזכיר במחקרו כי מדובר בהערכת-חסר, מכיוון שעבור חלק מהמזהמים אין עלות חיצונית מוכרת במשרד להגנת הסביבה ומכיוון שלא הובאו בחשבון השפעות נוספות בתחשיב, כמו כמויות המים והשפכים בשרשרת הערך (לאוטמן, 2013).

פוספוגבס

כאמור, מדובר במזהם משמעותי ביותר בתעשיית הפוספט ובכלל. עם זאת, נכון להיום אין כל התייחסות לנושא הפוספוגבס ואין מדיניות טיפול בו. על-פי סקר השוואתי של הכנסות מפוספטים במדינות זרות שערכה הועדה הבין-משרדים לבחינת משק הפוספטים, עולה כי ההתייחסות לפוספוגבס במדינות אחרות מחמירה ביותר. מדינות מסוימות מטפלות בו כבחומר מסוכן, ועלות הטיפול בו גבוהה בהתאם. במדינת פלורידה, בארצות הברית, לדוגמה, נדרש לשלם דמי רישום שנתיים בסך 75 אלף דולר לחמש שנים כפיקדון על השימוש באתר, ורק עם שיקום האתר וסגירת ערמת הפוספוגבס מוחזרים דמי הפיקדון. במדינות מערב ארצות הברית נעשה ניתוח איתנות פיננסית להערכת יכולה של חברה לשקם את האתר שברשותה. בספר המסים של רומניה נמצא כי פוספוגבס מוגדר כתוצר לוואי תעשייתי, ועלות האחסנה שלו היא 0.05-0.93 אירו למ"ר בשנה (אין פירוט בנוגע לעלות כל חומר לוואי בנפרד). אם נשליך מעלויות האחסנה הממוצעות ברומניה על הערמה הקיימת באתר רותם (0.49 אירו למ"ר לשנה כפול 3,000 דונם), נמצא שעלות האחסנה של הפוספוגבס הקיים בישראל נאמדת בכ-7.5 מיליון ₪ בשנה. בבלגיה מטמינים את הפוספוגבס בעלות של 1.5 אירו לטונה. אם נבצע את אותו החישוב עבור 50 מיליון טונות פוספוגבס, נמצא שעלות הטמנת המפגע הקיים מגיעה לכ-383 מיליון ₪. הערכות אלו הן על-פי המס האירופי, ולא נעשתה התאמה לישראל או לעלויות ההטמנה בישראל. עלויות הטיפול בערמה הקיימת הן גבוהות מאוד, ודורשות טיפול ברמת המדיניות בדומה להסכם קציר המלח בתעשיות ים המלח. על כן נבצע את החישוב לעלות הטיפול עבור 3 מיליון טונות בלבד, כמות הפוספוגבס הנוצר בשנה. בהנחה שעלות ההטמנה מתארת את העלות הסביבתית של הטיפול בפוספוגבס, נסיק שהעלות השנתית נאמדת בכ-23 מיליון ₪ (טבלה 1). הערכות אלו כמובן אינן מביאות בחשבון את העלות הנדרשת להובלה ולטיפול שוטף בערמות למניעת זיהומי קרקע ותשטיפים, ולכן מוגדרות הערכות-חסר (הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013).

תאונות דרכים

פתיחת אתרי כרייה נוספים מחייבת שימוש בכבישים ובצירי תנועה קיימים ואף פתיחת צירים חדשים. כפי שפורט בפרק הקודם, העלאת כמות לא מבוטלת של רכבי עובדים, כלים הנדסיים ומשאיות כבדות על כבישי ישראל מעלה את הסיכוי לתאונות דרכים. על בסיס מחקרים בתחום התחבורה נעשה חישוב לכימות העלות החיצונית של הנפגעים בתאונות אלו, הן מצד הפרט והן מצד המדינה, הנושאת בעלויות רבות בכל תאונה. לפי ד"ר ויקטוריה גיטלמן ופרופסור שלום הקרט מהטכניון, קיימות שתי שיטות עיקריות להערכת כלכלית של אובדן חיי האדם בהקשר של תאונות דרכים: שיטת הנכונות לשלם (willingness-to-pay) - הרעיון של שיטה זו הוא שאנשים אינם מוכנים לסחור בחייהם, אך הם מוכנים להשקיע כסף בהקטנת הסיכון להיפגע. הכללת ערכי סיכון אלו בקבוצה גדולה של אנשים מספקת את ערך הנכונות לשלם למניעת מוות סטטיסטי אחד, או במילים אחרות, את העלות (Value of life) האנושית של החיים.

שיטת ההון האנושי (human capital) - בשיטה זו, החלק העיקרי של עלות ההרוג הוא הערך הנוכחי המהווה של התפוקה העתידית (או הכנסתו) של הקורבן, שירד לטמיון עקב מותו בטרם עת. לערך זה מוסיפים עלויות אחרות כמו נזק, עלויות משטרה, עלויות רפואיות וכו'. במדינות מסוימות מוסיפים גם ערך שרירותי עבור "צער, כאב וסבל" של קרובי משפחתו וחבריו של ההרוג.

בחישוב ערך אובדן חיי אדם הובאו בחשבון שלושה מרכיבי:

1. ערך אובדן התפוקה.
2. עלויות ישירות (בעיקר ערך הנזק לרכוש, טיפול רפואי והוצאות אדמיניסטרטיביות).
3. אובדן איכות החיים (ערך כלכלי של "צער, כאב וסבל" המתלווים למוות, או ערך החיים עצמם נוסף על הערך המתקשר לתפוקה או לצריכה).

לפי מחקר זה, עלות של הרוג מתאונת דרכים נאמדת בכ-4 מיליון ₪. עלות פצוע קשה היא 10% מהעלויות האנושיות המשוערות, ונאמדת בכ-50 אלף דולר. עלות פצוע קל נאמדת בכ-0.5%-0.1% מעלות הרוג בתאונת דרכים, בממוצע כ-12 אלף ₪ (ערכים אלו במונחי 2003). לאחר הצמדה למדד והשלכת הרכיבים על היקף התאונות הצפויות עקב פיתוח אתר הכרייה בשדה בריר, התקבלו העלויות החיצוניות לכרייה. כפי שמתואר בטבלה 1, עלות 10.7 הרוגים, 63.5 פצועים קשה ו-125.6 פצועים קל נאמדת בכ-71 מיליון ₪ בשנה (במונחי 2014) (ויקטוריה גיטלמן ושלום הקרט, 2003. תמ"א 14/ג', 2013).

שירותי תרבות של הנוף המדברי

ההידרדרות במצב המערכות האקולוגיות מעוררת חשש שבעתיד הן לא תוכלנה לספק את שירותיהן ברמה סבירה, אם בכלל. אובדן שירותי המערכת לא יכול להיחשב אובדן של מוצר "חינמי", ולכן נדרש להיעשות חישוב אמיתי של שווי ערכים אלו. בעבודתו של פרופ' ניר בקר נבחנה התועלת משימור שטחים פתוחים על בסיס מחקרים רבים שנעשו בעולם. מחקרים אלו מהווים בסיס להבנת התועלת בסוגים שונים של שירותים אקולוגיים אשר השטח הפתוח מספק. סוג הניתוח במחקר היה "העברת תועלות" (Benefit Transfer). פרט למשתנים מסבירים של סוג הביומסה והשירות נאספו נתונים גיאוגרפיים וסוציו-דמוגרפיים אשר אפשרו להסיק מן התוצאה על מדינת ישראל.

בסיווג השירותים האקולוגיים עבור המערכת המדברית נמצאה התאמה בין הספרות המדעית וחוות דעת מומחים בנוגע לחמישה שירותים: חומרי גלם, ערך אסתטי, נופש, תרבות והשראה רוחנית. קביעה זו מהווה את הבסיס לחישובי העלות בהמשך. במחקר זה עלות השימור לא כוללת את שירות חומרי הגלם, מכיוון שהפוספט עצמו הוא החומר גלם במקרה זה. בהגדרת השירותים המתקבלים לא מובאת בחשבון מידת רגישותם באזורים השונים. הספרות המדעית על המערכת המדברית דלה מאוד, לכן החישוב נעשה על בסיס הערך הממוצע המערכות האקולוגיות. ממוצע הערכים המוניטריים לשירותי המערכת המדבריים הוא 3806 ₪ לדונם לשנה. על בסיס הערכה זו נחשב את הערך המוניטרי של הפרת שטחי הכרייה והמפעלים כפי שהוזכרו בפרק הקודם. על כן, כפי שמופיע בטבלה 1, 60 אלף דונם כפול הערך המוניטרי לשירותי מדבר הם 230 מיליון ₪ בשנה. הערכה זו אינה מביאה בחשבון אתרים שעברו שיקום אקולוגי או שינוי ייעוד (מכיוון שהזכרנו שאין הרבה כאלה), וכמו כן אינה מחשבת את הנזק הנופי המתקבל משטח גדול בהרבה, כפי שהוזכר בפרק הקודם (ניר בקר, 2013. המשרד להגנת הסביבה **, 2013).

נוף מדברי

כדי להעריך את ההשפעה של פגיעה נופית באגן חזותי כה משמעותי כמו בקעת ערד, אורון וצין, פנינו לבחינת השווי של הנוף המדברי. בחישוב לא נוכל לכמת את ערכו של דונם מדבר, אלא את ערכו של הנוף המדברי בכללותו, בניגוד להערכה הקודמת עבור שימור שטחים פתוחים, שהוחלה רק על שטחי הכרייה והמפעלים. לכן אין מדובר בהערכה כפולה אלא בהערכה משלימה לערך המדבר. בבדיקה אמפירית של השפעת סוגי נוף שונים על שוויין של דירות מגורים, שנעשתה עבור אגף שומת מקרקעין בשנת 2006, נמצא כי ערך הנוף המדברי במעלה אדומים (מדבר יהודה) שווה ל-12.8% מערך הדירה הממוצעת בדירות שנמצאות בקו ראשון למדבר. במעלה אדומים 7800 משקי בית (למ"ס), ומחיר דירה ממוצעת לשנת 2013 הוא 1,266,592 ₪ (משרד הבינוי והשיכון). לפי המדגם במאמר נמצא כי 33.5% מהדירות במעלה אדומים נמצאות בקו ראשון למדבר. הערך המתקבל מהכפלת הערכים והיוון לפי 2% לאינסוף היה 8.5 מיליון ₪ (טבלה 1). ערך זה ספציפי למעלה אדומים, ומהווה בסיס להמשך חישובים בעתיד, שיעשו על יישובים בצמידות לאתרי הכרייה, ולמחקרים שיש לבצע באזור המדבר בכלל (אודיש ופליישמן, 2006. מפקד האוכלוסין, 2008. משרד הבינוי והשיכון, 2014).

שירות תרבות המגוון הביולוגי

לא נמצאו מחקרים רלוונטיים על שימור המגוון הביולוגי בכל הקשור לכריית הפוספט או בנגב הצפוני, זאת אף שידוע שחברת "רותם אמפרט" משקיעה זמן וכסף רבים בפרויקטים שונים לשיקום הסביבה, מפעילה תכנית להאכלה ולניטור אוכלוסיית הנשרים, מבצעת שיקום אקולוגי באתריה בליווי צמוד של רשות הטבע והגנים ומשקיעה מאמצים להפחית את הזיהום שנגרם. לא נמצא פרסום על סך הכספים שהושקעו בפרויקטים השונים. נתון זה היה יכול להראות מה העלות האמיתית המושקעת חזרה בטבע, ומה התועלות של השקעה זו. עד שיפורסמו נתונים אלו ננסה להעריך את שירותי התרבות שאנו מפיקים מן הטבע והמגוון הביולוגי על בסיס עבודה שביצעו פרופ' ניר בקר ויעל חורש על הערכת התועלת הכלכלית מצפייה בנשרים. הערכה זו נעשתה בשמורת גמלא ברמת הגולן ובשמורת החי-בר בכרמל בשתי שיטות: שיטת עלות ההגעה (TCM) ושיטת ההערכה המותנית (CVM). כפי שפורט בפרק הקודם, בשנת 2011 נספרו רק 13 קנים בצפון הארץ, לפי רשות הטבע והגנים, בהם גם גמלא והחי-בר (אוהד הצופה, יולי 2012). בנחל חימר נצפו בשנת 2003 15 קני נשרים, אתר קינון גדול יותר מבגמלא ובחי-בר יחדיו. על כן נשליך מההערכה הכלכלית שנעשתה על ידי פרופ' ניר בקר וחובריו בשנת 2004 על הנכונות לשלם עבור ביקור באתר ושימור אוכלוסיית הנשרים באתרים אלו. לפי הערכה זו, הנכונות לשלם היא 10.9 מיליון ₪ בקרב מבקרי גמלא, ו-3.9 מיליון ₪ בקרב מבקרי החי-בר. יחד אפשר להעריך את ערך הביקור השימור של אוכלוסיית הנשרים בנחל חימר ב-18.29 מיליון ₪ (במונחי 2014).

לא נמצאו נתוני העלויות של הפרויקט, ולכן נשתמש בהערכות המוכנות לשלם כדי להעריך את הפגיעה בשירותי התרבות של המגוון הביולוגי בנגב עקב פעולת הכרייה (ניר בקר וחובריו, 2004. המשרד להגנת הסביבה **, 2013).

דיון ומסקנות

דיון

לישראל יתרון כלכלי בתחום המחצבים בשל אופן הימצאותם בטבע. צורת הפקתם של חלק ממשאבי הטבע בישראל זולה יחסית, ודורשת השקעות ראשוניות ומתמשכות נמוכות יותר בהשוואה לאלו הקיימות בעולם, ולפיכך מעניקה יתרון תחרותי. יתרון נוסף הוא הימצאות המשאבים בסמיכות זה לזה.

לענף משאבי הטבע בכלל והפוספט בפרט מאפיינים של רווחיות גבוהה, בשל היות המשאב מצומצם ובשל מאפייני השוק וחוסר-התחרותיות שבו. עם זאת, הענף מאופיין ברמת סיכון גבוהה ובצורך בהשקעות בהיקפי ענק לאורך שנים ארוכות. 95% מהמחצבים המופקים בישראל מיוצאים, וחלה עליהם חובת תשלום תמלוג למדינה תמורת השימוש בהם (הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים, 2014). היקף התמלוג שהמדינה גובה על כריית סלע פוספט, על-פי פקודת המכרות, עומד על 2% משווי הפוספט. לפי תחשיב זה, התמלוג הממוצע לשנת 2012 עלה ל-73.45 סנט לטונה סלע פוספט גולמי כרוי. על-פי תחשיב זה נגבו 4,569,501 דולר כתמלוגים.

על-פי נתוני משרד התמ"ת, היקף התוצר למשק שמקורו בכריית פוספטים והתעשייה הנלווית אליו, הוא היקף משמעותי המגיע לכ-2% מהייצוא הכולל של ישראל, כמיליארד דולר בשנה. למדינה יש הכנסות מפוספטים הנחלקות למקורות שונים: תמלוגים, מס חברות, מע"מ, דמי הרשאה לשימוש בקרקע, ארנונה ומס הכנסה (הוועדה הבין-משרדית לבחינת משק הפוספטים, 2013). למרות עדכון שיטת הגבייה וגובה התמלוג מינה שר האוצר ביוני 2013 את הוועדה לבחינת המדיניות לגבי חלק המדינה המתקבל בעד השימוש של גורמים פרטיים במשאבי טבע לאומיים להסדרת המערכת הפיסקאלית על כלל משאבי הטבע המצויים בשטחה של ישראל. במסגרת כתב המינוי של הוועדה נכתב כך: "יש להבטיח כי חלק המדינה המתקבל בעד השימוש במשאבי הטבע הלאומיים ישקף את המגיע לציבור בשל השימוש במשאבים אלו".

ההנחה היא שהציבור משלם את העלות הסביבתית בהפקת הפוספט בישראל, ולא מקבל את הפיצוי הראוי. ההשפעות החיצוניות בהפקת פוספט בצפון הנגב בישראל רבות ומגוונות, הן ברמת המפגעים כמו אבק ותאונות הדרכים, והן ברמת הפגיעה במערכות אקולוגיות ובשירותים שהן מספקות, כמו מגוון ביולוגי ונוף בראשית. מדובר במפגע תעשייתי משמעותי שמחזיק בשטחים נרחבים למשך עשרות שנים.

במחקר זה נעשה ניסיון לאמוד את ערכן הכלכלי של ההשפעות החיצוניות הללו על בסיס מחקרים משלימים המתארים את עלותם או את עלותם של מוצרים דומים להם מהארץ ומהעולם. מסכימת העלויות השונות שהוערכו במחקר זה עולה כי העלויות החיצוניות בכריית פוספט נאמדות בכ-475 מיליון ₪ בשנה (טבלה 1). המרכיבים המרכזיים הם שירותי תרבות של הנוף המדברי, שהוערכו על בסיס היקף השטחים המופרים במכרות ובמפעלים ומסתכמים בכ-230 מיליון ₪ בשנה; המרכיב השני הוא זיהום אוויר בחלקיקי אבק ובפליטות חומרים, הנאמד בכ-143 מיליון ₪ בשנה; המרכיב השלישי הוא תאונות הדרכים, הנאמדות בסך של 71 מיליון ₪ בשנה. ערך זה גבוה פי 30 מהתמלוגים שנגבו בשנת 2012. גם אם ישנה סטייה מסוימת בהערכות, הדבר עדיין מעיד על חוסר הרלוונטיות של התמלוג בהשוואה לנזק הנגרם, שהציבור משלם את מחירו. אף שהעלויות החיצוניות במחקר גבוהות, ההערכות הנוגעות להן הן עדיין הערכות-חסר, וזאת מכמה סיבות:

- העלויות שחושבו במחקר זה אינן מכסות את מרבית ההשפעות הסביבתיות בכריית פוספט.
- במחקר זה לא חושבו העלויות של מקרי קיצון אשר עלולים לקרות וכבר קרו בעבר, כמו מקרה זיהום נחל צין. עלויות הניהול, הטיפול והשיקום של מקרה קיצון גבוהות מאוד.
- ההערכות שנעשו במחקר זה בסיסיות, ולא בכולן היקף התופעה נאמד באופן מלא. לדוגמה, האגן החזותי של המכרות והמפעלים באורון ובצין לא ניתן להערכה, ולכן נעשה שימוש בערכים ידועים של גודל האתר עצמו בלבד. הערכת שווי הנוף המדברי השליכה מהנוף המדברי במעלה אדומים על הנוף המדברי בכלל, ומכיוון שנדרש לבחון את מודל הדירות ושווי הנוף המדברי על פני כל הערים החולשות על נוף מדברי, מדובר בהערכת-חסר.
- חלק גדול מהחישובים שנעשו התחשבו אך ורק בהשפעות חדשות על המערכת, בהם הערכות זיהום האוויר באבק ומספר תאונות הדרכים – שני מרכיבים חשובים מאוד בעלות הכוללת, המתארים למעשה רק את תוספת העלות למצב הקיים. גם היום ישנן תאונות דרכים הנגרמות בשל עומס המשאיות על הכבישים, וזאת טרם פתיחת המכרה בשדה בריר. תאונות אלו לא הובאו בחשבון העלויות במחקר זה.
- תחשיבי העלות החיצונית של תוצר הלוואי פוספוגבס מהווים הערכה לעלות הטיפול בכמות השנתית הנוצרת. אין התייחסות לנזק הסביבתי שעלול להיגרם מתשטיפים ומאבק שעלולים לשאת חומרים רדיואקטיביים. כמו כן, לא הוכנסו עלויות הטיפול המשוערות לערמה הקיימת במפעל רותם, הנאמדת ב-383 מיליון ₪. כיום אין כל טיפול בערמה, פרט להסדרה אסתטית, ונדרשת התערבות מדינית לשם פינוי המפגע באופן בטוח.
- במחקר אין חישוב עבור התחלואה ממפגעי זיהום האוויר. מכיוון שלא נמצאו ערכים מובהקים מספיק בנוגע להיקף החשיפה ורמת התחלואה הצפויה (בייחוד בעיר כמו ערד, המהווה מוקד לתיירות רפואית עבור חולי אסתמה ובעיות נשימה), לא חושבו ערכים אלו, אך הם בוודאי אינם זניחים.

בנושא זה כתב מבקר המדינה:

”הניהול והאסדרה של השימוש במשאבי הטבע בידי המדינה ראוי שיתבצעו גם לאור עקרונות של קיימות (Sustainability), שיביאו בחשבון את ההכרח לשמר את משאבי הטבע תוך התחשבות בהיבטים אקולוגיים וכלכליים, וכן את הצורך בתמחור התמלוגים הנגבים בהתאם לערך השוק ההוגן. הפנמת העלויות החיצוניות תשנה מן היסוד את האופן בו מחושבים תקבולי המדינה ממשאבי הטבע, התוספת הכספית המדוברת צריכה לשמש להפחתת התלות שנוצרה במשאב, להתייעלות סביבתית בכל הנוגע להפקתו ולשיקום מפגעים ואוכלוסיות שניזוקו בעבר.”

מסקנות:

- יש לקדם את הכללת העלויות החיצוניות, אם כחלק מהתגמול ואם בהקמת קרן נפרדת. בכל מקרה, יש להטיל אותן על החברה המבצעת ולייעד את הכסף למטרות מוגדרות מראש.
- יש להתייחס לאפשרות של זליגת חומרים מסוכנים למי התהום ולנחלים כאל מקרה קיצון, ולהקים קרן נפרדת שתוכל לתת מענה באירוע מסוג זה.
- יש לפתח את המחקר האקולוגי בנגב, הן באזורים המזהמים לשם קבלת תמונת מצב, והן באופן נרחב יותר, כדי להבין את ההשפעות בין מערכות אקולוגיות.

- יש להקים בסיס נתונים רחב ושקוף בין החברות, משרדי הממשלה והציבור, שעל-פיו יהיה אפשר לבצע מחקרים רבים ומדויקים יותר.
- יש לעודד ניצול מרבי של כלל המחצבים הקיימים בשטח מופר.
- יש לחייב טיפול בכל תוצרי הלוואי של הפקת הפוספט, ובפרט הפוספוגבס.
- יש להשקיע את מרב המאמצים בטיפול בערמות הפוספוגבס שנוצר עד כה.
- יש להפריד את הקרן לשיקום מכרות פוספט מחברת הכרייה, ולאנוף את העברת הכספים.
- יש להכניס פרק תסקיר בריאות כחלק מתסקיר הסביבה על-פי מודלים ופרמטרים של משרד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה.
- יש לחייב התייחסות לעלות הסביבתית בתסקירי סביבה.
- יש לבצע הערכות עלות חיצונית אחת לכמה שנים, בהתאם לשינויים הטכנולוגיים ולשינויים בהעדפות הציבור.
- חלוקת המשאבים היום עדיין מונעת מכוחות הביקוש, ללא התייחסות לייעול השימוש במשאבי הטבע (המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל, 2012). נדרשת עבודה אינטגרטיבית לשם תיקון שוק הביקוש וההיצע למשאב. היצרנים/ספקים אינם משנים את תפיסתם וממשיכים לחפש אחר מאגרים חדשים בעלות מינימלית, רק כאשר המחירים יעלו מאגרים באיכות נמוכה יהיו כלכליים ויהוו מקור נוסף. על כן יש להשפיע על הביקושים ולהפחית את הפגיעה הסביבתית. ישנם פתרונות אופרטיביים זמינים כבר היום (Cordell et al., 2009):
- אפשר לשחזר זרחן ממוצרי מזון ומערכות צריכה ולהשתמש בזרחן זה כדשן, לפני או אחרי עיבוד: פחת ושאריות מגידולים חקלאיים, קומפוסט משאריות מזון, שאריות מזון קמעוניים ומתהליכי ייצור, צואת אדם וחיות. שאריות אלו בעלות שיעור פוספט נמוך ועל כן בעלי מבנה שונה. לאחרונה הצליחו לסנן פוספט ממי שפכים על בסיס המבנה הקריסטלי של Struvite. כדי להצליח בתהליך שחזור החומר באופן שאינו מסכן את האנשים והסביבה, יש לדאוג לתכנון אזורי ועירוני שיבטיח טיפול בתנאים מתאימים, לא לערבב בין סוגי הזרמים השונים ולוודא שהמוצר באיכות גבוהה ואין בו חשש בריאותי לשימוש. בשוודיה, למשל, הוחלפו האסלות בשתי עיירות, ובהן השתן נאסף ומפוזר כדשן.
- בצד הביקושים יש לעודד שימוש בדשנים ממקור ממוחזר/משוחרר, ולפתח את תחום החקלאות המדייקת, המאפשרת הפחתה של כמות החומר המגיע למי תהום והעודפים הנשארים בקרקע. יש גם מי שתומכים בשימוש בתרכיב מיקרוביאלי להגברת הזמינות של זרחן מהקרקע. כחלק מהתפיסה האינטגרטיבית יש להביא בחשבון את דרישת הלקוחות הסופיים. כדי להפחית את השימוש בזרחן, יש לחנך לצריכה מודעת של ירקות שדורשים פחות זרחן.
- יש לשאוף לצמצום הבזבוז בשלבי השימוש השונים:
 - צמצום הפסדים חקלאיים – אלה מוערכים ב-8 מיליון טונות זרחן
 - צמצום הפסדים בסחורות מזון – אלה מוערכים ב-2 מיליון טונות זרחן

- מחזור מקורות זרחן מתחדשים – אלה מוערכים ב-15 מיליון טונות בזבל בעלי חיים, 3 מיליון טונות בהפרשות אדם ו-1.2 מיליון טונות בשאריות מזון
- מנגנונים יצירתיים - מחקרים ממרכזי ערים העלו כי מעבר לתפריט צמחוני יכול להפחית ביקוש לדשנים בשיעור של 20-45 אחוזים.

בהכלת העלויות החיצוניות יש תיקון של כשל שוק בסיסי, הגורם לצרכנות לא מושכלת שמקורה באי-מתן ביטוי לערכים השלילים הנובעים מהפקת הפוספט בישראל. על קובעי מדיניות לשאוף לרווחה גבוהה יותר עבור הציבור, ולהביא בחשבון הערכות אלו כמדד לפגיעה בחלק מהציבור שאיננו נהנה מהמוצרים. המטרה בהערכת שירותי המערכת הינה קבלת מושג על שוויו המוניטרי, אין הכוונה (או היכולת) לקנות אותו.

ביבליוגרפיה

- אודיש, י' ולריסה, פ'. 2006. השפעת הנוף על שוויון של דירות מגורים, משרד המשפטים.
- בקר, נ', ענבר, מ', בהט, ע' ויעל, ח'. 2004. ניתוח עלות תועלת של יעילות השימוש בתחנות האכלה לנשרים, כדרך לאישוש אוכלוסייתם ולפיתוח מרכיב תיירות סביבתית. דוח סופי למשרד להגנת הסביבה.
- בקר, נ'. 2013. התועלות הכלכליות של שירותי המערכת האקולוגית לפי ייעודי קרקע לשימושים אלטרנטיביים.
- ברחנא, מ' ויהונתן, ד'. 2008. עדכון חוות הדעת בעניין שדה בריר, השלמות והתייחסות לחוו"ד נגדיות. לעיריית ערד.
- גיאופרוספקט. 2001. תסקיר השפעה על הסביבה – אתר לכריית פוספט – שדה בריר. רותם אמפרט נגב בע"מ.
- גיטלמן, ו' ושולם, ה'. 2003. הערכת מרכיבים בעלות תאונות הדרכים בישראל. המכון לחקר התחבורה.
- הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים. 2014. טיטות מסקנות הוועדה להערות הציבור המלצות הוועדה הבין משרדית לבחינת משק הפוספטים. 2013. ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2008. מפקד האוכלוסין, מעלה אדומים.
- המשרד להגנת הסביבה ומכון ירושלים לחקר ישראל. 2012. תחזית קיימות לישראל. 2030.
- המשרד להגנת הסביבה**. 2013. השפעות סביבתיות בהפקת משאבי טבע בכרייה וחציבה. מוגש לוועדת ששינסקי ב'.
- המשרד להגנת הסביבה*. 2013. החצנות סביבתיות של כרייה וחציבה והשימוש בכלים פיסקאליים להפנמתן ולהשגת התייעלות. הצגה בפני הוועדה לקביעת חלק המדינה במשאבי טבע לאומיים.
- המשרד להגנת הסביבה. 2012. מסמך עבודה להכנת תוכנית לאומית למניעה וצמצום של זיהום האוויר בישראל.
- המשרד להגנת הסביבה. 2010. תוכנית לאומית למגוון ביולוגי בישראל.
- טרואן, י' וגיל, ל'. 2004. מיסוי סביבתי: סקירה השוואתית, מרכז מחקר ומידע.
- כסליו, ח'. 2008. אומדן כמות חלקיקים מורחפים בהפעלת מכרה שדה בריר.
- לאוטמן, ז'. 2013. ניהול משאבי הטבע בישראל, מכון מילקן ישראל.
- מבקר המדינה. 2013. דו"ח שנתי 64א. ירושלים.
- משרד הבינוי והשיכון. 2014. לוח יישוב 1: מחירי דירות חדשות ויד שניה.
- סודרי, ד'. 2007. סלעי הפוספט - עבר גיאולוגי, הווה כלכלי ועתיד לא ברור. גליליאו: 36
- עמיר, ד' וחובריו, 2011. היבטים סביבתיים בכריית מינרלים תעשייתיים תמונת המצב הקיים. תמ"א 14/ג'.
- צוות תכנון תמ"א 14/ג'. 2012. סיכום וניתוח מצב קיים כרקע למסמך המדיניות. תמ"א 14/ג'.
- קרונלנד, ש'. 2012. סקירה התועלת הכלכלית למשק מכרייה וחציבה של מינרלים תעשייתיים. תמ"א 14/ג'.

- קרסנטי, א'. 2008. התייחסות לחוות דעת של משרד הבריאות על הקמת מכרת פוספטים בשדה בריר. עבור המשרד להגנת הסביבה.
- תמ"א 14/ג'. 2013. מדיניות תכנון וניהול למשק הכרייה והחציבה של המינרלים התעשייתיים - טיוטא לדיון.
- Batman, I. J. et al., 2010. *Economic Analysis for Ecosystem Service Assessments*
- Cordell, D., Drangert, J.O., and White. S. 2009. "The story of phosphorus: Global food security and food for thought," *Global Environmental Change* 19, 292—305.
- Costanza, R. et al., 2014. "Changes in the global value of ecosystem services", *Global Environmental Change*, 26, 152—158.
- De Groot, R. et al., 2012. "Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units", *Ecosystem Services* 1, 50—61.
- OECD. 2011b. *Material Resources, Productivity and the Environment*, Draft Oecd Report.
- Samet, J. M. 2014. *Human Health Considerations Related to the Siting and Operation of an Open-Pit Phosphate Mine at Sdeh Barrir*.
- Tayibi, H. et al., 2009. *Environmental impact and management of phosphogypsum*
- TEEB. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.

אתרי אינטרנט:

- <http://databank.worldbank.org/>
- <http://energy.gov.il/Subjects/Mining/Pages/GxmsMniMiningUnit.aspx>
- <http://www.boi.org.il/he/Markets/ExchangeRates/Pages/Default.aspx>
- http://www.cbs.gov.il/reader/prices_db/Machshevon_1_H.html
- <http://www.icl-group.co.il>
- <http://www.mof.gov.il/Pages/NatureResourcesCommittee.aspx>

ראיונות:

- ד"ר אסף צוער, אקולוג מחוז דרום, רשות הטבע והגנים, אפריל 2014.
- פרופסור חיים קיגל, אקולוג, האוניברסיטה העברית, מרץ 2014.
- פרופסור נדב דוידוביץ, מומחה לבריאות הציבור, אוניברסיטת בן גוריון, אפריל 2014.

FELLOWS | MILKEN
PROGRAM | INSTITUTE

תוכנית עמיתי מכון מילקן
רחוב ושינגטון 4
ירושלים, 9418704

info@mifellows.org
www.mifellows.org