

אדם והיסוד זרחן – היבטים סביבתיים של יחסי הגומלין

לקיימות בחינוך סמינריונית עבודה
העבודה הוגשה לד"ר מיכל יובל ומר אייל בלוך



שם הסטודנט: יבגניה פרידמן ת"ז: 304554389

שם הקורס: סמינריון בחינוך – חינוך לקיימות
ירושלים, תשע"ז, 2017 מכללה לחינוך ע"ש דוד ילין



תוכן עניינים

1	מבוא: אדם, זרחן, קיימות ואני.....
2	פרק 1: היסוד זרחן ומקומו במעגל החיים הטבעי
2	זרחן – יסוד כימי
2	חשיבות הזרחן בטבע
3	המחזור הביוגיאוכימי של זרחן
4	הזרחן כמשאב טבע.....
5	פרק 2: האדם והזרחן – שימוש לא מושכל והשלכותיו.....
5	הצורך בזרחן
10	הפקת הזרחן ודרכי שימוש בו.....
14	שימוש בלתי מושכל בזרחן.....
26	פרק 3: שימוש בזרחן – דרכים וגישות ידידותיים לסביבה ולאדם.....
26	הצעות לפתרונות
29	פרק 4: היוזמה החינוכית.....
32	דיון
36	סיכום
38	ביבליוגרפיה

מבוא: אדם, זרחן, קיימות ואני

עבודה זו עוסקת במפגש בין הצרכים של האדם, לבין המחיר שמשלם האדם והסביבה על מילוי צרכים אלו.

ללא כל צל של ספק, מזון הוא צורך הכרחי לקיומו של האדם. ייצור המזון תלוי בזמינותם של משאבים טבעיים כגון מים, אוויר, קרקע ומינרלים שבתוכה. בין משאבים אלה נמצא גם הזרחן שהינו יסוד חיוני לגידול והתפתחות של לבעלי חיים וצמחים וממלא תפקידים חשובים בגופם של יצורים חיים. אוכלוסיית העולם הולכת וגדלה ומשנה את הרגלי האכילה שלה ובשל כך גוברת הדרישה לייצור מזון וכך גם לתוצרת חקלאית. לעומת זאת, כמות המשאבים הזמינים לשימוש האדם בטבע, אינה גדלה. כדי לעמוד בדרישה ההולכת וגוברת במזון, נהוג בחקלאות להשתמש בתוספות שונות, כגון דשנים המעשירים את הקרקע ומשפרים צמיחה של גידולים. אחד המרכיבים של דשנים הוא זרחן, משאב טבע מתכלה - המצוי בטבע בכמות סופית.

במהלך הכתיבה אבחן את ההשלכות של השימוש הגובר בדשנים זרחניים בהיבט סביבתי, הן מבחינת המערכת האקולוגית והן מבחינת החברה האנושית.

במסגרת לימודי הקיימות עסקנו ביחסי אדם וסביבה, ובסוגיות של ניהול משאבים בלתי מושכל ע"י בני אדם. במקביל למדתי בקורס אחר על מחזור הזרחן, וככל שהעמקתי ללמוד על נושא הזרחן, נדהמתי לגלות עד כמה יסוד זה חיוני לכל היצורים החיים ואילו סוגיות עולות סביב השימוש בו. במהלך הכתיבה ברצוני להרחיב את הידע שלי על נושא הקיימות, וללמוד על יחסי גומלין שבין הסביבה לבין החברה האנושית וצרכיה ועל הדרך בה אנו יכולים לקיים את עצמנו, תוך התחשבות מעמיקה עם העולם שסביבנו. אתמקד בלמידה על זמינותו של משאב הזרחן לבני האדם ועל אופני השימוש שהאדם עושה בו, אסקור את הסכנות הנובעות מהתכלות משאב מוגבל זה, ואלמד האם ישנן חלופות שייצרו שיווי משקל ארוך טוב יותר וימנעו סכנות התכלות משאב זה.

בעיני לימוד על נושא הזרחן כמשאב מתכלה, הוא אחת הדרכים להנחיל ולהשריש את הערכים של גישת הקיימות בקרב התלמידים, מתוך שאיפה לחנך דור חדש של אזרחים. אזרחים אשר ביכולתם לראות את התמונה הגדולה: איך העולם שלנו פועל ולהבין את מקומו במארג החיים שעל פני כדור הארץ.

פרק 1: היסוד זרחן ומקומו במעגל החיים הטבעי

זרחן – יסוד כימי

סמל היסוד – P, מספר אטומי 15. הזרחן אינו מצוי בטבע כיסוד חופשי, אלא מופיע בתרכובות יחד עם יסודות אחרים (חמצן, סידן, פלואור, אלומיניום ועוד). לרוב, הזרחן מקושר לחמצן בצורת יוני זרחה – PO_4 . תרכובות המכילות זרחן מכונות זרחות או פוספטים.

חלק מהזרחן נמצא בקרקע, אך הרוב המכריע של מאגרי הזרחן מצוי באוקיאנוס. בתוך האוקיאנוסים אנו מוצאים את הזרחן בצורה המומסת שלו, בריכוז של 70 ppb (70 חלקי מיליארד), בצורה זו הוא זמין לשימוש של יצורים החיים (כגון פיטופלנקטון). במי ים. הצורה הנוספת היא סלעי משקע שונים כגון: גיר, פצלים, אבני חול וסלעי פוספט. הריכוז הגובה ביותר של הזרחן מצוי בסלעי פוספט ועומד על כ- 15%. מאגרי סלעי פוספט נמצאים גם ביבשה וגם באוקיאנוס, כאשר הרוב המכריע של מאגרים אלו מצוי באוקיאנוס. סלעי פוספט המצויים על היבשה הם אלו שאנו, בני האדם, כורים ומפיקים מהם את הזרחן הדרוש לנו לצרכנו. חלק מן הזרחן נמצא בצורה מסיסה גם בקרקע. בצורה זו הוא זמין ליצורים חיים (צמחים) על היבשה אך רק באופן חלקי. רוב הזרחן המצוי בקרקע נמצא בתרכובות עם חומרים אחרים וחסום בפני תהליכים ביולוגיים (סודרי, 2007).

חשיבות הזרחן בטבע

הזרחן הוא יסוד חיוני לכל היצורים החיים. אחד התפקידים החשובים של הזרחן הן אצל הצמחים והן אצל בעלי חיים הוא השתתפות של הזרחן בבניית מולקולות ATP (אדנוזין תלת-זרחתי), שמספקות את האנרגיה הדרושה לפעילות התאים של בעלי חיים וצמחים (סודרי, 2007). זרחן הוא אחד מן היסודות הדרושים לצמח כדי להתקיים ולהתפתח והוא מזרז תגובות ביוכימיות בצמח ובעל תפקיד עיקרי בלידה של אנרגיית השמש בתהליך הפוטוסינתזה.

הזרחן גם מגביר הפריה ותפוקה של הזרעים, את גידול השורשים והנביטה, את חוזק הגבעולים ואת העמידות נגד קור ויובש. הוא מזרז את הבשלת הפרי, שומר על הצמח מפני מזיקים ומחלות ומשפר את יעילות השימוש במים על ידי הצמח.

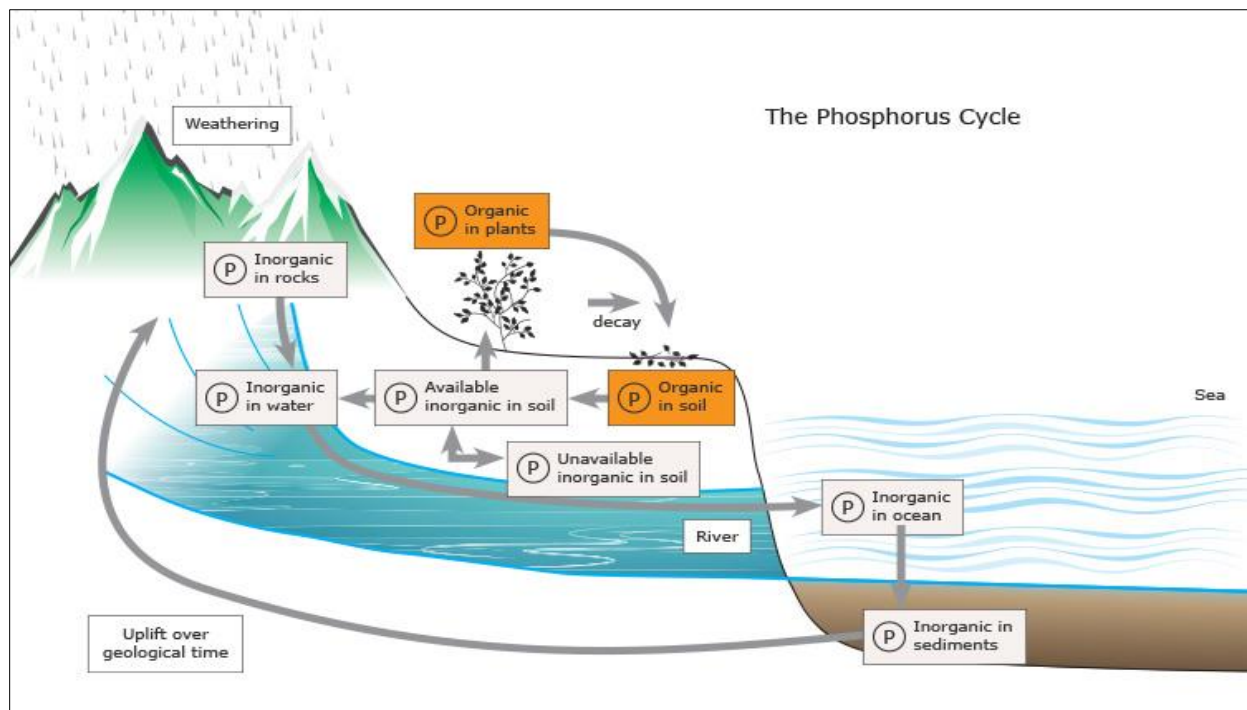
זרחן חיוני לתהליך של היווצרות התאים והרקמות אצל כל היצורים החיים, כמו כן הוא משמש כאחד המרכיבים של חומצות הגרעין הבונות את ה-DNA של כל היצורים החיים, כאשר הקשרים במבנה ה-DNA וה-RNA הינם קשרי זרחן. הזרחן משמש גם לסנתוז הורמונים ולבניית עצמות ושיניים אצל בעלי חיים (שוסטר, רידג', בל וריטה, 2003).

המחזור הביוגיאוכימי של זרחן

תרשים 1

המחזור הטבעי של הזרחן במערכות האקולוגית

Retrieved from: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/961-the-phosphorus-cycle>



לפני מיליוני שנים בגופם של יצורים חיים קדמונים שחיו באוקיאנוס היה מצוי זרחן. כאשר מתו היצורים, שקעו גופותיהם לקרקעית האוקיאנוס ומהם נוצרו סלעי משקע העשירים בזרחן – סלעי פוספט.

בעקבות תהליכים גיאולוגיים שונים מורמים מקרקעית האוקיאנוס סלעים אלו אל היבשה ומגיעים אל הקרקע.

בתהליכים של בלייה ושחיקה משתחרר הזרחן מתוך הסלעים ומתפזר בתוך האדמה. הצמחים קולטים חלק מן הזרחן בעזרת מיקרואורגניזמים ופטירות הנמצאים בתוך הקרקע. בעלי חיים צמחוניים יכולים לאכול חלק מהצמחים וחלק מבעלי חיים אלה נאכל על ידי אוכלי בשר. הזרחן חוזר לקרקע לאחר המוות ופירוק הצמח או החיה, וכן בזמן מתן הפרשות. הזרחן שלא נוצל על ידי הצמחים נשטף מהקרקע ונסחף בחזרה לים באמצעות נחלים ונהרות. חלקו נצרך על ידי בעלי חיים ימיים וחלק זעיר מהזרחן שמגיע לאוקיינוס שוב חוזר ליבשה בעקבות צריכה של דגים על ידי יצורים חיים (כגון בני אדם, ציפורים וכדו'). רוב הזרחן שוקע על קרקעית האוקיאנוס ובתהליך מאוד ארוך שוב הופך לסלע (סלעי משקע). יעברו אלפי שנים עד שסלעים אלו יעלו מעל פני המים ויחזרו אל המערכת האקולוגית היבשתית, בה יוכלו לעבור שוב תהליך של בלייה ושחרור הזרחן המצוי בסלעים אלו.

תהליך זה הוא ארוך מאוד. המעבר של זרחן בין המערכת האקולוגית הימית, למערכת האקולוגית היבשתית מתרחש במשך אלפי שנים. תהליך השחיקה של סלעי משקע העשירים בזרחן, המאפשר שחרור הזרחן למערכות אקולוגיות יבשתיות נמשך כמאות שנים. הפיכת רוב הזרחן שבקרקע לצורה שתהיה זמינה לקליטה על ידי צמחים נמשכת עשרות שנים.

חשוב לציין כי זרחן אינו מצוי באטמוספירה בצורת גז אלא רק בצורה המוצקה שלו (כגרירי אבק זעירים). בשל כך, רק כמות קטנה מאוד יכולה להגיע מהים אל היבשה (כאשר גרירי הזרחן נשאים עם הרוח מהים אל יבשה - ולא בתהליך התרוממות סלעי פוספט מקרקעית אוקיאנוס) ולכן אין ביכולתו של הזרחן, אשר הגיעה אל האוקיאנוס, לחזור בחזרה אל המחזור בכמות משמעותית, כפי שיכולים לעשות זאת יסודות אחרים, כגון פחמן דו חמצני או חנקן אשר מצויים באטמוספירה גם בצורה של גז. (שוסטר ואחרים, 2003)

הזרחן כמשאב טבע

זרחן הוא אחד ממשאבי הטבע, חומרים המצויים בטבע בהם משתמש האדם לתועלתו. חלק מחומרים אלה הם חומרים אשר מתחדשים בצורה מחזורית. קצב התחדשותם של חומרים אלו בטבע הוא מהיר ביחס לקצב הניצול שלהם על ידי בני האדם ולכן הם אינם נגמרים. חומרים אלו נקראים משאבי טבע מתחדשים.

כאשר מדובר בזרחן, התשובה לשאלה האם הוא משאב טבע מתכלה או מתחדש תלויה בנקודת מבט. אם נתייחס לזרחן כיסוד כימי בתוך מערכת האקולוגית, נגלה שהוא אינו מתכלה ונחשב למשאב טבע מתחדש. על פי חוק שימור החומר מולקולות של זרחן אינן נוצרות ואינן נהרסות. כמותו בכדור הארץ היא סופית ואינה משתנה (שוסטר ואחרים, 2003). אך אם נתבונן בו מנקודת מבט של האנושות וצרכיה, ישנה חשיבות רבה לקצב ההתחדשות של משאב טבע לעומת קצב הצריכה שלו על ידי בני האדם. הזרחן

שייך לקבוצה של חומרים אשר קצב התחדשותם איטי בהרבה בהשוואה לקצב ניצולם על ידי בני האדם. חומרים אלו נוצרים במשך פרקי זמן מאוד ארוכים – מיליוני שנים. ואנו, בני האדם, מנצלים ומשתמשים במשאבים הללו בתוך זמן קצר יחסית. קצב הניצול שלהם על ידי בני האדם מהיר בהרבה מהזמן שלוקח להם להיווצר מחדש. כך מנקודת מבטו של האדם הזרחן משאב טבע מתכלה, כאשר מדובר בטווח חיי אדם (שוסטר ואחרים, 2003).

פרק 2: האדם והזרחן – שימוש לא מושכל והשלכותיו

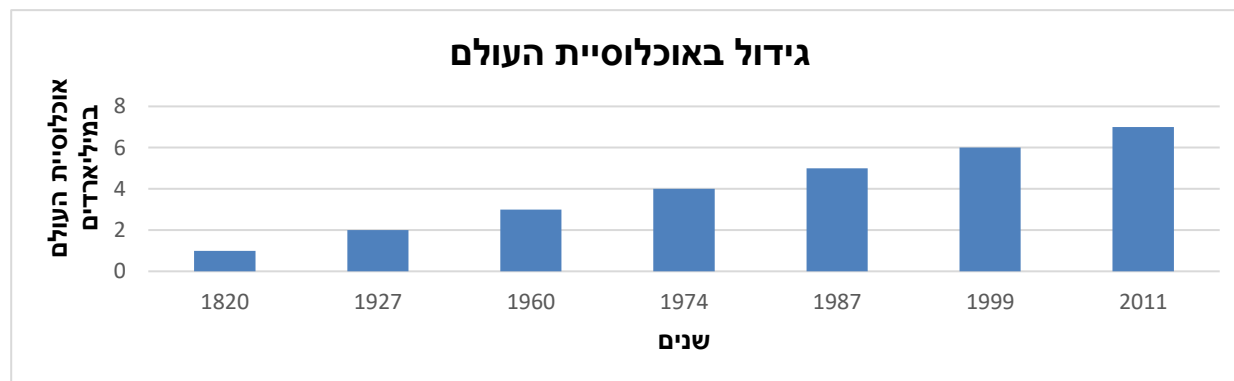
הצורך בזרחן

כדי להבין את האופן בו נעשה השימוש הלא מושכל בזרחן, עלינו להבין קודם, מדוע יש לנו הצורך בכלל להשתמש בדשנים זרחניים. שימושי האדם בזרחן רבים. הזרחן משמש אותנו לייצור חומרי הדברה, תרופות, תוספי מזון, חומרי ניקוי וחומרי נפץ אך השימוש העיקרי בזרחן המופק מסלעי פוספט הוא בתעשיית החקלאות. מ-7 ק"ג של סלעי פוספט ניתן להפיק היום כ קילוגרם 1 של זרחן. כ-90% מכל סלעי הפוספט הנכרים בעולם משמשים לייצור דשנים המעושרים בזרחן (סודרי, 2007). בדשנים זרחניים משתמים בחקלאות כדי לשפר את האיכות והכמות של היבול החקלאי. הצורך להגדיל את כמות התוצרת החקלאית מגיעה מכך שכמות האנשים החיים על פני כדור הארץ – אוכלוסיית העולם, הוכלת וגדלה. הגידול באוכלוסייה מושפע מגורמים רבים, וביניהם פיתוחים טכנולוגיים בתחומים שונים (תעשייה, חקלאות, רפואה) המורידים תמותה, משפרים את איכות החיים ומאריכים את חיי האדם (ג'וליאן, 1982)

על פי הנתונים (תרשים 2) של United Nations Population Fund – שהוא חלק מהארגון הבין-לאומי של האומות המאוחדות (האו"ם) ניתן לראות שקיימת עלייה מתמדת ודרמטית בקצב גידול אוכלוסיית העולם במאה ה-20.

תרשים 2

גידול האוכלוסייה בעולם בין השנים 1820 – 2011, על סמך הנתונים של האו"ם. (UNEFA, 2011)



החל מסוף שנות ה-60 מספר התושבים בעולם הכפיל את עצמו. פיזור האנשים החיים ברחבי העולם אינו אחיד וישנם אזורים גיאוגרפיים אשר מאוכלסים יותר וכאלו שפחות. על פי הערכות, קצב העלייה צפוי להתמתן אך הצמיחה תימשך ואוכלוסיית העולם צפויה להמשיך ולגדול, Population Reference Bureau, (2016)

בטבלה הבאה מופיעות 5 מדינות המאוכלסות ביותר בעולם לשנת 2014, כפי שהן מוצגות בנתונים המפורסמים על ידי הארגון Population Reference Bureau אשר מסתמך על דוחות של האו"ם.

טבלה 1

מספר התושבים החיים ב-5 המדינות המאוכלסות ביותר בעולם לשנת 2014.

(Population Reference Bureau, 2016)

מדינה	סין	הודו	ארצות-הברית	אינדונזיה	ברזיל
מס' התושבים במיליונים	1364	1296	318	251	203

אחד החששות שמלווים את האנושות, בעקבות גידול באוכלוסייה עולמית הוא החשש לרעב המוני, שלא יהיה מספיק אוכל לכולם.

תופעת הרעב הינה חלק בלתי נפרד מההיסטוריה האנושית וכבר בתנ"ך מתועדות תקופות רעב רבות. "ויהי רעב בארץ וירד אברם מצרימה לגור שם כי כבד הרעב בארץ" בראשית י"ב: 10.

בחברות בנות-זמנינו, ובעיקר לאחר צמיחתן של חברות השפע המערביות, החל משנות ה-50 של המאה העשרים, תופעת הרעב התמעטה במידה ניכרת. אחת הסיבות המשמעותיות לשיפור זה בעולם, ב-25 שנים אחרונות, הוא התפתחות הטכנולוגיה החקלאית ושימוש בדשנים, אשר הביאו לגידול בכמות היבולים החקלאיים ולשיפור רב באיכותם (שטסל, 2013). בכל מקום על פני כדור הארץ שבו מגדלים גידולם חקלאיים – משתמשים בדשנים. כחצי מיליארד טון דשנים מסוגים שונים (ובניהם גם דשנים זרחניים) מיושמים מדי שנה בשטחים חקלאיים ברחבי העולם (מגן, הראל ואורגיל, 2015). נכון להיום, לא קיים תחליף לזרחן בגידול התוצרת החקלאית וייצור המזון. משום כך זהו מרכיב חיוני בדשנים, ותוספת קטנה יחסית שלו תגדיל את ייצור התוצרת החקלאית בצורה משמעותית (פרבולוצקי ופולק, 2001).

תמונה 1 נלקחה מתוך חוברת פרסום של חברה ישראלית "כיל", המייצרת דשנים זרחניים. בתרשים ניתן לראות בבירור שכמות ואיכות של החיטה אשר צמחה על הקרקע שלתוכה הוסיפו דשן זרחני (מצד ימין של התמונה) גבוהים יותר, מאשר כמות ואיכות החיטה אשר צמחה על קרקע ללא תוספת דשן זרחני (הצד השמאלי של התמונה).

תמונה 1

ניסוי גידול חיטה בהודו, עם ובלי תוספת דשן זרחני לקרקע, אוחר מתוך <http://www.sdebarir.co.il/?i=0>



קרקע עם תוספת דשן זרחני

קרקע ללא תוספת דשן זרחני

למרות השימוש בדשנים זרחניים, בעיית הרעב עדיין קיימת. כפי שמוצג בטבלה 4, מאז שנת 1990 ירד השיעור של האוכלוסייה הסובלת מתת תזונה באזורים המתפתחים, אך לא נעלם כליל. יתרה מכך, לצד החברות הסובלות ממצב של תת תזונה קיצוני, מתקיימות חברות בהן האנשים סובלים מהשמנת יתר, בגלל צריכה מוגזמת של מזון (FAO, 2015). כך, למשל, מן הדוח של FAO (2015) עולה כי בין

השנים 2000 ו- 2015, חלה עליה מ- 5% ל- 6% בקרב הילדים הסובלים מהשמנת יתר בעולם. לפי מחקר אחר, אשר פורסם בשבועון הרפואי "The Lancet", אחד מכל חמישה מבוגרים יסבול מהשמנת יתר עד שנת 2025. המחקר סקר את ההבדלים במסת הגוף באוכלוסייה בין 1975 השנים עד 2015 ב- 200 מדינות ברחבי העולם. על פי המחקר, לראשונה ישנם בעולם יותר אנשים הסובלים מהשמנת יתר מאשר אנשים הנמצאים בתת משקל. מתוך הנתונים עולה כי בתוך ארבעה עשורים ההשמנה בקרב גברים שילשה את עצמה, והוכפלה בקרב נשים. ב-1975, 2.6% מאוכלוסיית העולם סבלה מהשמנת יתר וב- 2014 8.9%. אם המגמה תימשך, 18% מהגברים ו-21% מהנשים יסבלו מעודף משקל בתוך עשור (Ng et al., 2014).

למעשה, כאשר לצד האנשים הסובלים מהשמנת יתר, חיים האנשים הסובלים מרעב, נוצרת בעיה חברתית – מוסרית, מתחום הקיימות – חלוקה לא שוויונית של משאב – מזון - בין בני אדם.

חברות וארגונים שונים פועלים רבות כדי להביא לצמצום של התופעה ואכן הושגה התקדמות בעניין (טבלה 2). הנתונים מצביעים על כך שתופעת הרעב אופיינית יותר לאזורים המתפתחים בעולם. אזורים המתפתחים - אלו הם האזורים אשר איכות החיים של התושבים החיים בהם ירודה.

טבלה 2

שכיחות מוערכת של אנשים בתת תזונה ברחבי העולם, במשך 25 שנים האחרונות. המידע מוצג באחוזים. (FAO, 2015)

2014-2015	2010-2012	2005-2007	2000-2002	1990-1992	האזורים בעולם
10.8	11.8	14.3	14.9	18.6	כל העולם
12.9	14.1	17.3	18.2	23.3	אזורים מתפתחים

LDC – Least Developed Countries - זוהי רשימה של ארגון המזון העולמי, FAO, של 50 מדינות בהן רמת החיים הירודה ביותר. בין המדינות נכללות אפגניסטן, אתיופיה, סודן, תימן ועוד. FAO (2015):

להלן רשימת האזורים המתפתחים אליהן מתייחסת הטבלה (2) אפריקה – צפון אפריקה והחלק הנמצא לצדו הדרומי של מדבר סהרה, האיים הקריביים, אמריקה הלטינית, אסיה מזרחית, דרום אסיה, אסיה המערבית, אוקאניה (הכוללת בתוכה פולינזיה, מלנזיה ומיקרונזיה).

החברה שהאנשים החיים בה סובלים ממצב של תת תזונה, מוגדרת כיום כבעלת חוסר בטחון תזונתי. המושג בטחון תזונתי מתייחס למצב בו כל בני האדם באוכלוסייה מסוימת הם בעלי נגישות פיסית וכלכלית לכמות מספקת של מזון בטוח ומזין על מנת לקיים אורח חיים בריא ופעיל.

ישנם 4 תנאים בסיסיים הכרחיים לקיום של בטיחות תזונתי (FAO, 2015):

1. כמות מספקת של מזון עבור כלל בני האדם;
2. אספקה סדירה של מזון, ללא תנודות עונתיות או שנתיות;
3. נגישות למזון וקיומם של אמצעים (פיסיים וכלכליים) על מנת להשיגו;
4. איכות סבירה ובטיחות תברואתית של המזון.

במצב אידיאלי של תזונה מובטחת עולמית, כלל לא ישרור רעב בעולם. אולם בפועל, המצב רחוק מאידיאלי וקבוצות רבות בעולם סובלות מרעב. רעב הוא לרוב תוצאה של שילוב בין גורמים שונים. אסונות טבע כגון צונמי ובצורת, מלחמות ומגפות, היעדר צמיחה כלכלית, גידול אוכלוסין, ועוד. כל אלו יכולים לפגוע בביטחון התזונתי.

בשנת 1974 נערך כינוס עולמי, בעיר רומא שבאיטליה, שמטרתו הייתה לדון בחשש ההולך וגובר לגבי העתיד התזונתי של החברה. נושאים שעלו בכינוס עסקו בשאלה האם החקלאות של ימינו מסוגלת לעמוד בביקוש הגובר במזון לנוכח גידול אוכלוסין עולמי. הועלו סוגיות של ריבוי מקרים ברחבי העולם של מצבים בהם חברות שלמות היו במצב של תת תזונה, שעל פי הגדרתו זהו מצב שבו האדם אינו מקבל את כמות האנרגיה המינימלית הדרושה לקיים את גופו. בכינוס זה נטבע המונח "בטחון תזונתי" המתייחס ליכולת האדם לספק מזון לעצמו ולמשפחתו. מטרת הכינוס הייתה להעלות על סדר היום את בעיית מחסור המזון בהווה ובעתיד ולחשוב בקנה מידה עולמי על פתרונות אפשריים בכל התחומים (FAO, 2015).

נושא הביטחון התזונתי גם כיום עומד על הפרק ומעסיק רבים. ארגון המזון והחקלאות עולמי (FAO) פועל למען הבטחת קיום ביטחון תזונתי בעולם ומייצר אוסף של מדדים על מנת לאמוד את היקף הרעב בעולם. באתר הרשמי של הארגון (<http://www.fao.org>) ניתן למצוא אוסף של מדדים עדכניים על היקף הרעב בעולם. על פי מדדים אלו, נכון להיום, חיים בעולם כ-793 מיליון אנשים במצב של תת תזונה. תת תזונה מוגדרת כמצב הנמשך מעל שנה, ובו האדם אינו מסוגל להספק לעצמו מזון בכמות הנדרשת לצרכיו התזונתיים. הארגון קבע שכמות האנרגיה הדרושה לאדם לקיים את גופו היא 2.500 קלוריות ביום בממוצע. כמות זו משתנה כמובן עם הגיל ותלויה גם במינו שלה האדם ובמצבו הבריאותי. כאשר הכמות קנטה מערך זה, זהו מצב של תת תזונה. כמו כן, קיים גם מצב של תת תזונה, שבו חסרות לאדם את הכמויות הנדרשות של קבוצות המזון הבסיסיות (חלבונים, שומנים, פחמימות, ויטמינים ומלחים). זהו מצב של "רעב סמוי". תופעת הרעב הסמוי נפוצה במקומות רבים בעולם. למרות המגמה החיובית בצמצום הרעב, לא בכל מקום קיים בטחון תזונתי. במדינות רבות, הנמצאות באזורים המתפתחים, מתקיים מצב של מחסור בביטחון תזונתי ואחוז התושבים הסובלים מתת תזונה גבוה באופן יחסי למדינות המפותחות (FAO, 2015).

נתונים מתוך האתר של FAO:

- בעיית הרעב מתרכזת ברובה המכריע בארצות המתפתחות – באפריקה, באסיה ובדרום אמריקה. על פי דו"ח לשנת 2016, במדינות הכי פחות מפותחות - 26.5% מהאוכלוסייה סובלים **מרעב** (FAO, 2015).
- בשנים 2014-2015 כ-20% מאוכלוסייה עולמית סבלים **ממחסור בביטחון תזונתי** ברמה בינונית עד חמורה מאוד.
- בין השנים 2014 – 2016 -10.8% מכלל אוכלוסיית העולם סבלה מתת תזונה ולא היה ברשותה מספיק מזון כדי לנהל אורח חיים בריא.

הפקת הזרחן ודרכי שימוש בו

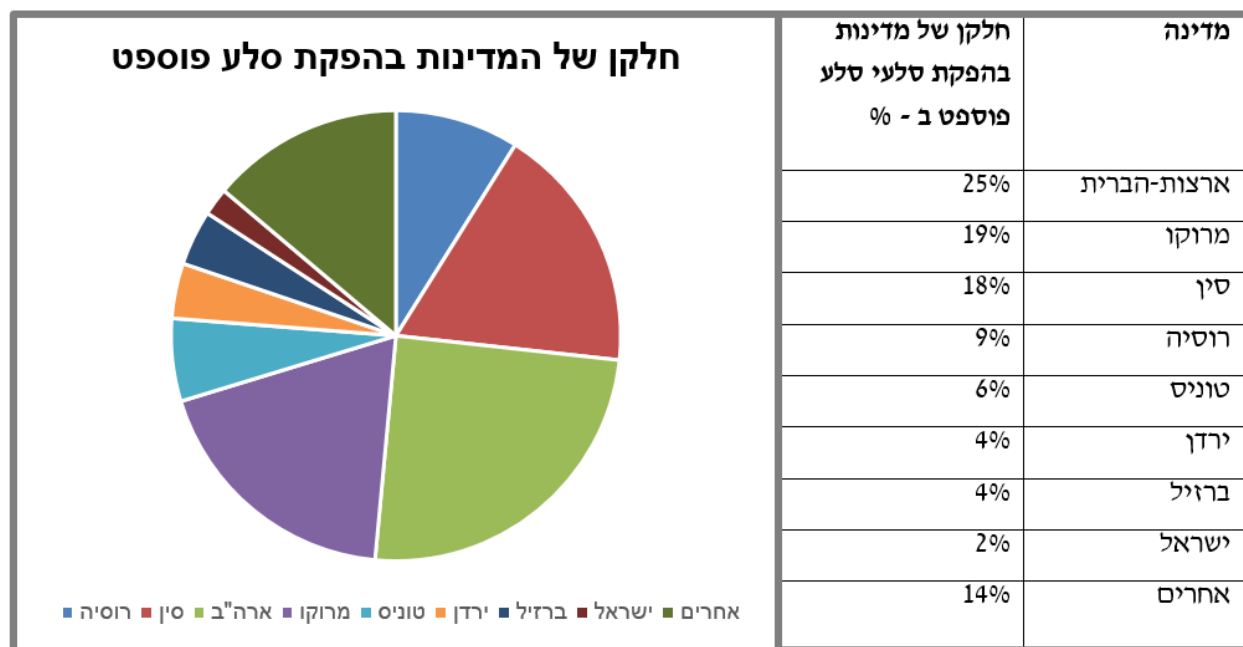
תעשיית הדשנים הכימיים המודרנית התפתחה בעקבות גילויים מדעיים על חשיבות הזרחן ומינרלים אחרים בגדילת הצמחים. הכימאי יוסטוס פון ליביג הציג בעבודתו את הקשר בין הכימיה של המינרלים לכימיה של הצמחים ופיתח דשן המכיל זרחן. באותה העת בעקבות התפתחות התעשייה, הוקמו בערים גדולות מפעלים לייצור דשנים כימיים והחלה כרייה של סלעי פוספט לצורך ייצור דשנים וחומרים אחרים. כיום רוב הכרייה של סלעי פוספט מתרחשת מעל פני הקרקע במחצבים, בכרייה פתוחה במכרות. לאחר הכרייה עוברים הסלעים תהליכים שונים שמטרתם להשביח את הסלע ולעלות בו את ריכוז הזרחן. מסלע המעושר מפיקים חומצה זרחתית, הנחשבת לשנייה בחשיבותה בעולם, מבחינת כמות וערך כלכלי. מעל ל-90% מתפוקת סלע הפוספט בעולם מיועדת לייצור חומצה זרחתית. חומצה זו היא הבסיס להפקת מרבית הדשנים החקלאיים וכן משמשת כחומר גלם למגוון מוצרים תעשייתיים. קיימים 2 סוגים של חומצה זרחתית: חומצה ירוקה וחומצה לבנה. החומצה הירוקה נצרכת בעיקר בתעשיית הדשנים לחקלאות ומשמשת ליצירת דשנים. החומצה הלבנה משמשת בתעשיות שונות רבות כולל ייצור מזון ומשקאות (סודרי, 2007).

המדינות המוצגות בטבלה (3) ותרשים (3) הן המדינות המובילות בכריית הזרחן בעולם, כאשר למעשה 60% מהתפוקה העולמית מרוכזת ב-3 מדינות בלבד: ארצות הברית, מרוקו וסין.

תרשים 3

טבלה 3

חלקן של המדינות של המדינות בתפוקה עולמית של סלע פוספט, מיוצג באחוזים. הטבלה והתרשים מתבססים נוצרו עבור עבודה זו, על סמך המידע המוצג במאמרו של דויד סודרי (סודרי, 2007)



בישראל הזרחן מופק מסלעי פוספט הנכרים באמצעות כרייה פתוחה בכמה אתרים בנגב הצפוני.

עיבוד של סלעי פוספט וייצור של חומצה זרחתית נעשה בשלושה אזורי פעילות:

1. אזורי הכרייה, שבהם נעשות הכרייה והחציבה. במהלך הכרייה יש צורך בפיצוצים בשטח פתוח בעזרת חומרי נפץ.
2. המפעלים, שבהם נעשים העיבוד וההעשרה של חומרי גלם והפיכתם למוצרי דשן ותוצרים כימיים נוספים.
3. השינוע הסעת חומרי הגלם מאזורי הכרייה למפעלים והסעת המוצרים מהמפעלים אל נמלי – היצוא, באמצעות מסילות רכבת ומסועים.

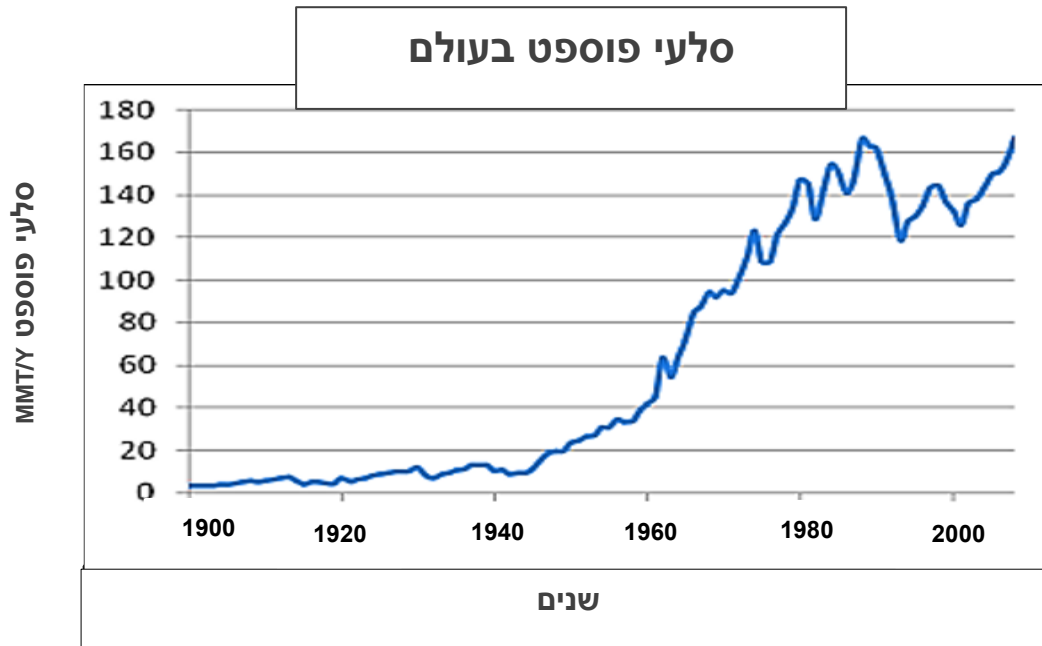
שתהליך כריית הסלעים והפקת זרחן מתוכם דורש השקעה של משאבים כספיים רבים. מאגרי סלעי פוספט שכדאי לנצל מבחינה כלכלית, עם הטכנולוגיות שיש בידנו כיום, נקראים עתודות סלעי פוספט. סלעים אלו מצויים במרבצים ברחבי העולם ואיכותם משתנה ממקום למקום. כך גם משתנה הכדאיות הכלכלית של כרייתם. ישנם מספר פרמטרים הקובעים את איכות הסלעים, כגון ריכוז החומרים האורגניים הנוספים שבסלעים, למעט הזרחן, וריכוז הזרחן עצמו בסלע. לדוגמה, תכולה גבוהה של חומר אורגני בתוך הסלע, בזמן עיבודו תגרום להופעת קצף רב – תופעה לא רצויה, אשר מפחיתה את כמות התוצר הסופי. סלע עם ריכוז גבוה של חומרים אורגניים ייחשב לסלע באיכות ירודה. לעומתו, סלע באיכות גבוהה יותר יהיה סלע בעל ריכוז גבוה של זרחן (לעומת מרכיבים אחרים). ככל שריכוז הזרחן בסלע גבוה יותר, כך עולה הכדאיות לכרות סלעים אלו. איכות העתודות הקיימות הולכת ויורדת, בשל העובדה שאנו קודם כל

כורים את הסלעים בעלי איכות גבוה יותר, בהם ריכוז הזרחן גבוה יחסית וכך נשאר יותר סלעים עם ריכוז נמוך של זרחן. כיום כ-20% בלבד מסלעי הפוספט נחשבים לעתודות סלעי פוספט. כמות העתודות משתנה משנה לשנה ותלויה בפיתוחים טכנולוגיים ומחירים. תלות זאת בא לידי ביטוי בכך שפיתוחים טכנולוגיים חדשים מקדמים הפקת זרחן ממאגרים חדשים אשר היו פחות זמינים בעבר ומאפשרים עיבוד יעיל יותר של סלעי פוספט באיכות ירודה (ריכוזי זרחן נמוכים). השפעת המחירים באה לידי ביטוי בשיקולים שמופעלים בכדאיות של השקעת משאבים כלכליים בכריית סלעי פוספט. כך לדוגמה עליה במחיר הנפט תעלה את מחיר הדלק הדרוש לתפעול המכונות לכרייה ועיבוד הסלעים והובלתם, ובכך עלולה להפוך כרייה לבלתי כדאית מבחינה כלכלית (סודרי, 2013).

במאה ה-20 חלה עלייה דרסטית בשימוש בדשן זרחני בתעשיית המזון. מאז מלחמת העולם השנייה משמשים סלעי פוספט למקור הזרחן העיקרי בתעשייה החקלאית. על פי הגרף המוצג ניתן לראות בבירור את העלייה החדה בכמות הזרחן המופק שהחלה משנות ה-40 של המאה ה-20 (Cordell & White, 2011).

תרשים 4

מייצג את העלייה בהפקת סלעי הפוספט שחלה בעולם בין השנים 1900 – 2000 הכמות מוצגת ב MMT (Milion Metric Tone) - יחידת משקל השווה ל- 1,000 מיליון טון (Cordell & White, 2011).



בשנת 2012 נכרו בעולם כ-210 מיליון טון של סלעי פוספט (Cordell & White, 2011). מגמת העלייה בשימוש בדשנים זרחניים ממשיכה גם היום, בחלק מן המדינות. מדינות המפותחות אומנם משתמשים פחות בדשנים זרחניים, אך השימוש בהם עולה במדינות המתפתחות. אחת הסיבות לכך היא שינוי בהרגלי התזונה שמתרחש בחלק מן המדינות. מדינות כמו סין והודו החלו לצרוך יותר מזון מן החי. את בעלי החיים שאותם אנו אוכלים, הם בעלי חיים צמחונים, אשר ניזונים מצמחים שונים. כך הדרישה העולה במזון מן החי מעלה גם את הדרישה לגדל יותר יבולים חקלאיים. על מנת לייצר מזונות לתפריט צמחוני, ללא מוצרי בשר, יש צורך בפחות זרחן, לעומת תזונה המבוססת על תפריט הכולל בשר, כפי שמוצג בטבלה (4) (Cordell et al, 2009).

טבלה 4

כמות הזרחן הנדרשת לייצר מזונות בתפריטים שונים – צמחוני ובשרי. הכמות המצוינת בטבלה היא בק"ג לשנה, עבור אדם אחד (Cordell et al, 2009).

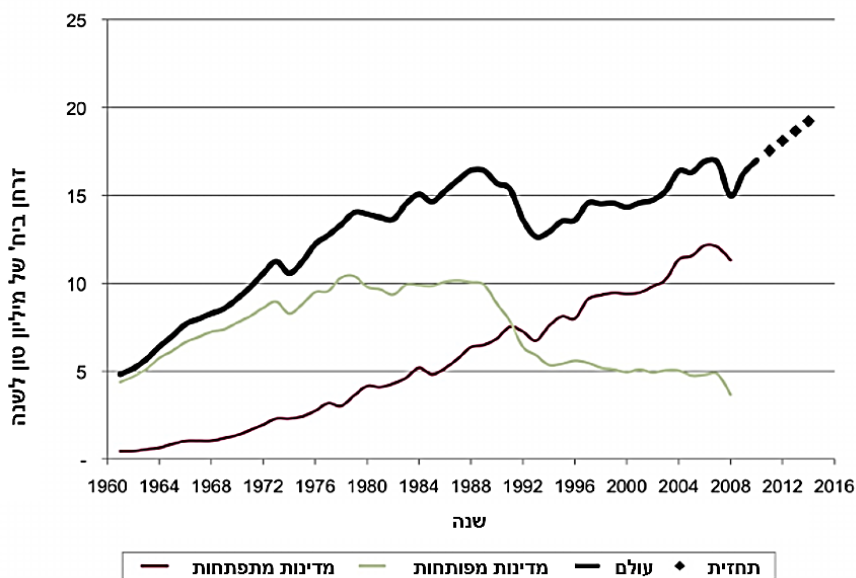
סוג צריכה	כמות הזרחן הנדרשת
תזונה מבוססת על תפריט צמחוני	0.6 ק"ג (זרחן לשנה) אשר מופקים מ-4.2 ק"ג (לשנה) של סלעי פוספט
תזונה מבוססת על תפריט בשרי	1.6 ק"ג (זרחן לשנה) אשר מופקים מ-11.8 ק"ג (לשנה) של סלעי פוספט

בתרשים (5) מוצגת העלייה בצריכת הדשן הזרחני כפי שהיא מתוארת אותה קורדל . לפי התרשים ניתן לראות שבעוד שצריכת דשנים במדינות המפותחות נמצא בירידה, הדרישה במדינות המתפתחות עולה באופן עקבי וכך גם צפויה להמשיך לעלות הדרישה בעולם לדשנים הזרחניים (Cordell & White, 2011).

תרשים 5

צריכה עולמית של דשנים זרחניים בין השנים 1961-2006 (בערכים של מיליון טון לשנה של זרחן) ותחזית להמשך מגמת העלייה של שימוש בדשנים (Cordell & White, 2011).

צריכת דשנים זרחניים בעולם



שימוש בלתי מושכל בזרחן

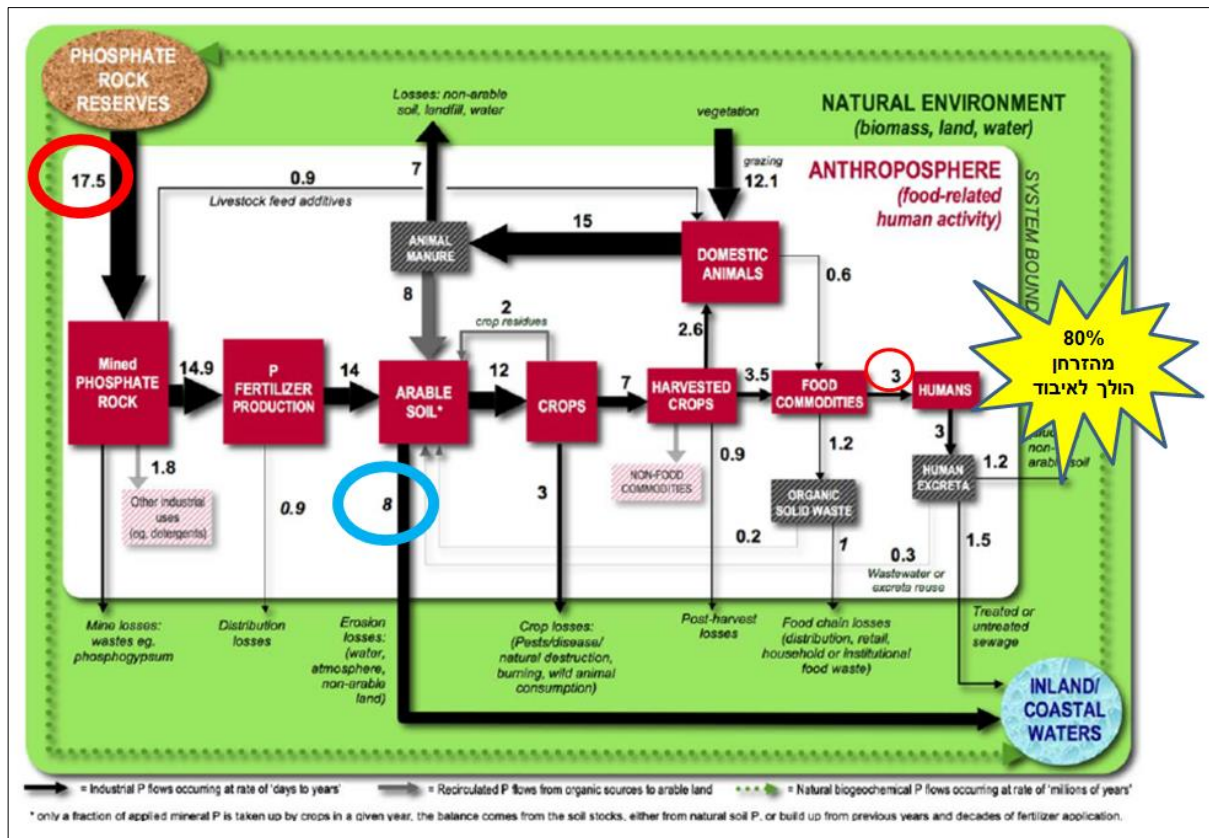
לכאורה, הצורך שלנו בשימוש בדשנים מוצדק. אך האם השימוש הזה נעשה בצורה נבונה, יעילה ומושכלת? לעיתים קרובות השימוש בדשן למטרות חקלאיות הוא מוגזם וללא התחשבות בסוג הגידולים, הקרקע והאקלים. כך, למשל, בשל השימוש המתמשך בדשנים זרחניים הקרקע במדינות אירופה וצפון אמריקה הגיעה לריויה מבחינת ריכוז הזרחן בה, ונדרשת כמות קטנה יחסית של תוספת כדי להשלים את הזרחן ש"הולך לאיבוד" עם היבול שנקצר (ואינו חוזר לקרקע לאחר שהצמחים נובלים, כפי שהיה קורה, אם היינו משאירים אותם במקום). אך לא כל החקלאים מודעים לכך, ורבים ממשיכים להשתמש בדשנים זרחניים בכמויות מוגזמות, כאשר למעשה אין בכך שום צורך. גם במדינות מתפתחות קיימת בעיה בשימוש מושכל בדשן זרחני, בשל מחסור בנגישות מידע אמין ונכון לחקלאים שחיים באזורים אלו (Cordell, Drangert & White, 2009).

החוקרת דר' דנה קורדל ממכון לקיימות האוסטרלי, אחת ממובילי המחקר הבין-לאומי בנושא משאבי טבע, מתארת במאמרה (Cordell, Drangert & White, 2009) את זרימות (מעברים) הזרחן דרך מערכת

ייצור וצריכה של מזון בעולם. אם ניבחנו את זרימת הזרחן, נראה שכמויות אדירות ממנו דולפות מן המערכת. דליפה זו משמעותה שהזרחן יוצא מן המערכת היבשתית וחוזר אל המערכת הימית במהירות ובכמות גבוהים. הזרחן שדולף מן המערכת, ונסחף אל האוקיאנוס, הופך לבלתי זמין לשימוש האדם ולמערכות אקולוגיות יבשתיות..

תרשים 6

זרימות זרחן עיקריות במערכת ייצור מזון עולמית המייצגות את שימוש בזרחן ודליפה ושיקום שלו במערכת. כמות הזרחן מיוצגת במיליוני טון לשנה (Cordel, Drangert & White, 2009).



על פי הערכות נכרים היום בעולם כ- 17.5 מיליון טון של זרחן בשנה. כ-15 מיליון טון מהזרחן שנכרה בשנה מופנים לתעשיית החקלאות ליצירת הדשנים. מתוכם כ-8 מיליון טון "דולפים" מהמערכת המזון, עוד לפני שהם מספיקים בכלל להגיע לצלחת שלנו. רק 3 מיליון טון אכן מגיעים אלינו במוצרי המזון. הדבר קורה בשל העובדה שהצמחים אינם מנצלים את כל הזרחן המוסף אל הקרקע בדשנים זרחניים, אלה כמות יחסית קטנה ממנו. כל שאר העודפים נשטפים מהקרקע ומגיעים בסופו של דבר אל האוקיאנוס. 80% מהזרחן שנכרה עוברים ממערכת היבשתית בחזרה אל האוקיאנוס תוך פרק זמן בין מספר ימים למספר שנים בודדות. זהו קצב העולה בהרבה על הקצב הטבעי של זרימת הזרחן. כמו כן, הוצאתו של זרחן

מאזור גיאוגרפי אחד והעברתו לאזור גיאוגרפי אחר מפרה את האיזון הקיים באותו המקום ויוצרת מחסור במקום אחד לעומת עודף במקום האחר. במחזור הטבעי הזרחן מהקרקע שנצרך על ידי הצמחים היה חוזר אל הקרקע, לאחר שהצמח סיים את מחזור חייו. אך כאשר אנו קוצרים את היבול, אנו מונעים את חזרתו של הזרחן אל הקרקע. הדבר מתרחש כאשר הזרחן נכרה ומועבר לשדות חקלאיים וכאשר היבול נקצר ומפונה מהשדה ומובל למפעלים לייצור מזון לכל רחבי העולם (שוסטר ואחרים, 2003).

גם הארגון העולמי FAO רואה חשיבות רבה בהתייעלות בשימוש בדשנים. במסמך שפורסם באתר הארגון (FAO, 2007), מצוין כי יש צורך לעלות את יעילות השימוש בדשן זרחני במדינות המתפתחות כדי להבטיח את בטחון התזונתי בעתיד. חוסר יעילות של שימוש בזרחן באה לידי ביטוי בדליפת הזרחן המוצגת בתרשים (6), כאשר 8 מתוך 14 מיליון טון של זרחן בדשנים אשר מוסף אל הקרקע פשוט נשטף ממנה, ולא נקלט על ידי הצמחים. משמעות הדבר שמתקיים שימוש יתר בדשנים המסמן את שימוש הלא מושכל בדשן.

השלכות לשימוש בלתי מושכל בדשנים זרחניים רבות. השפעתן באה לידי ביטוי כבר היום ופוגעת בנו ובסביבה בה אנו חיים.

אחת מהן היא הפגיעה בביטחון התזונתי בעתיד. התבוננות כללית על מאגרי הזרחן הקיימים על פני כדור הארץ תחשוף בפנינו מאות מיליארדי טונות של סלעים העשירים בזרחן. אך באופן מעשי, הזרחן שאותו אנו יכולים לכרות ולנצל להכנת דשנים, אשר יבטיחו את ביטחון התזונתי שלנו בעתיד, נמצא בסלעי פוספט על היבשה בלבד, וככל שאנו כורים יותר סלעים אלו, כמותם הולכת ויורדת. זה הופך את מאגרי סלעי הפוספט על היבשה למשאב מתכלה שעל פי הערכות מסוימות ייגמר בעתיד הלא כל כך רחוק. וכאן נוצרת בעיה. מצד אחד הצורך שלנו בדשנים זרחניים הולך וגדל, ומצד השני כמות חומר הגלם (זרחן) הולכת וקטנה. על פי הערכות אנו עלולים להישאר ללא זרחן לשימוש בתעשייה תוך עשרות עד מאות שנים. ללא תוספת זרחן לדשנים לא נוכל לגדל כמות מספקת של מזון. לנוכח העובדה שתעשיית ייצור המזון שלנו כל כך תלויה בדשנים זרחניים, במידה ויהיה מחסור במשאב זה, יכול להיווצר מצב של רעב המוני ופגיעה מאוד קשה בחברה שלנו (Cordel et al, 2009).

חשיבות רבה בסיפורו של הזרחן ישנה גם למרכיב הכלכלי. במידה ויעלו המחירים של ייצור דשן זרחני, כך יעלה גם מחיר של המזון. עלייה במחירי המזון תפגע גם היא בביטחון התזונתי בכך שתצמצם את היכולות של בני האדם להשיג מזון בכמות ואיכות ראויים. למעשה, כבר חווינו את ההשלכות של עליית מחירי המזון בטווח הקצר.

בסוף שנת 2007 ומחצית ראשונה של שנת 2008 התרחש משבר מזון העולמי – עליה מאוד חדה במחירי המזון. עליה זו נבעה מכמה גורמים ואחד הבולטים בהם היה עליה במחירי הנפט. נפט הוא חומר גלם המשמש לייצור דלק הדרוש לפעילות של מכונות. כאשר מחיר הנפט עולה, עולה גם מחיר הדלק. עלייה

במחיר הדלק מעלה את מחירו של תפעול המכונות בתעשיית החקלאות ואת עלות ההובלה של התוצרת החקלאית וייצור המזון ממנה. כך, כתוצאה מהתייקרות הנפט התרחשה התייקרות של עלויות הייצור של המזון וביניהם התייקרות בייצור של דשנים כימיים וחומרי הדברה (המכילים זרחן), בהם משתמשים בתעשיית החקלאות. וכאשר ליצרן עולה יקר יותר לייצר את המזון שלנו, אנו, הצרכנים, נאלצים לשלם יותר.

כתגובה למשבר מזון סין, אחת המדינות שבידיה 18% מהעתודות הכלכליות של סלעי פוספט בעולם, העלתה ב-135% את מחירי הייצוא של זרחן על מנת לצמצם אותו ככל האפשר ולשמור את העתודות לרשות עצמה.

בעקבות משבר המזון זינקו בעולם מחירי סלעי הפוספט והדשנים ב-80% בתוקפה של 14 חודשים בלבד, כפי שמוצג בתרשים 7. זינוק זה במחירים היה לא צפוי כלל וכלל, בקרב החקלאים בעולם וגרם לנזקים רבים. כך למשל, בהודו, אשר תעשיית החקלאות בה תלויה לחלוטין בייבוא של דשנים ממדינות אחרות, הזינוק של מחירי הדשנים הוביל למחסור בדשנים במדינה וגרם למהומות ופרעות ובעקבותם למקרי מוות בקרב חקלאים. משבר עולמי זה הביא לזינוק בחוסר ביטחון תזונתי ולמספר העצום של אנשים רעבים בעולם - יותר ממיליארד אנשים (Cordell & White, 2011).

תשרים 7

מחירי עתודות סלעי פוספט בשוק העולמי בין השנים 2006-2011, זינוק המחירים בשנת 2008 וירידה הדרגתית ב-2010 (Cordell & White, 2011)



ממד חיוני בהבנת בעיית מחסור בזרחן מונח בהבנה של נקודת זמן קריטית בה ההיצע – כמות הזרחן שנוכל להפיק, לא תוכל לעמוד בביקוש למשאב זה. במידה ונוכל לחזות נקודת זמן זו נוכל להתכונן לכך ולהימנע מבעיות כגון רעב המוני בשל מחסור בחומרי גלם (דשן) לייצור מזון.

בשנת 1949 הועלתה לראשונה על ידי קינג האברט, גאופיזיקאי אמריקאי, תאוריית שי תפוקת הנפט. תאוריה זו הציגה מודל מתמטי המנבא את התאריך שבו התפוקה (שאיבה) של נפט תהיה מרבית. נקודת התפוקה המרבית מכונה השיא. לאחר השיא מגיע השלב של ההידלדלות שבו תפוקת הנפט יורדת בקצב הולך וגובר עד שמאגר הנפט מתרוקן לחלוטין. בשנת 1956 הציג את המודל שלו ובו על פי התחזית אחד השיאים היה אמור לקרות בין בראשית שנות ה-70. ואכן, בשנת 1971 התרחש שיא תפוקת הנפט. תאוריה זו שימשה חוקרים אחרים בעבודתם בנושא התכלות של משאבי טבע שונים, כאלו שמתחדשים (כגון מים) וכאלו שלא (כגון גז טבעי, פחם, סוגי מינרלים ומתכות שונות).

נקודת המפתח בתיאוריה הוא ששיא הפקת המשאב, תתרחש הרבה לפני שהמשאב יתכלה באופן סופי. לאחר השיא, תצטמצם הפקת המשאב, עד שהוא ייגמר באופן מוחלט. דרי ואנדרסון (2007), קורדל (2009) וחוקרים נוספים משערים שאותו תרחיש עלול להתרחש גם עם סלעי פוספט. (Cordell et al, 2009)

קורדל מציגה אומדן של זמני התכלות של עתודת סלעי פוספט והתרחשות של שיא תפוקת הזרחן, כאשר הביקוש לזרחן יעלה על ההיצע, כפי שמוצג בטבלה (5) המבוסס על מחקרים של חוקרים שונים. חוקרים אלו מבססים את השערותיהם על פי הנחות יסודות שונות.

טבלה 5

הערכות המשוערות של עתודות זרחן על פי חוקרים שונים (Cordell & White, 2011).

שם החוקר	זמן התכלות משוער של העתודות	שנת התכלות משוערת	הנחת יסוד
טוויטין (1989)	61 שנים	2050	מעריך שתתרחש עליה בצריכה בסדר גודל של 3.6%
רונג' – מצגר (1995)	88 שנים	2083	מעריך שתתרחש עליה בצריכה בסדר גודל של 2.1%, על סמך נתונים של ארגונים שונים משנת 1992.
סטין (1998)	60-130 שנים	2058-2128	מתבסס על תווח של 2-3% עליה בצריכה, בנוסף לעליה "בסבירות גבוהה" של 2% עד לשנת 2020 ו-0% צמיחה לאחר מכן, במידה יבצעו מהלכים לפי

המלצות של שימוש יעיל והפחתה בשימוש של סלעי פוספט .			
מתבסס על ערכים של תפוקת סלעי פוספט מהשנים 2007-2008.	2012	93 שנים	פיקסן (2009)
מערך עליה של % 0.7 – 2 עד שנת 2050, ולאחר מכן 0% עליה.	2078-2109	69-100 שנים	סמיט ואחרים (2009)
על פי קצב השימוש של היום.	2099	90 שנים	ווקארי (2010)
על פי קצב השימוש של היום.	2310-2410	300-400 שנים	וואן קאונברג (2010)

* זמני הערכה הם לפי שנת פרסום המאמר.

קורדל מציגה את דעתה לגבי התחזיות של חלק מן החוקרים ועומדת על כך שהתחזיות שלהם לא לקחו בחשבון את כל הפרמטרים הנדרשים. כך לדוגמה ישנם חוקרים אשר טוענים שעומדים לרשותנו עוד מאות שנים. אך לדבריה של קורדל הם טועים, בכך שלא לוקחים בחשבון משתני סביבה שתוארו קודם לכן (עליה בצריכת הבשר, דלקים ביולוגיים ועוד) המעלים באופן דרסטי את הדרישה בדשנים זרחניים. קורדל מצטטת את דבריו של החוקר וואן קאונברג (2010) "אין שום סימנים ששיא תפוקת הזרחן" עלול להתרחש ב-25-20 שנים הבאות". לדבריה אמירה זו מבוססת אך ורק על הערכות המשוערות של עתודות סלעי פוספט וקצב השימוש בהם כיום ואי לכך שגויה.

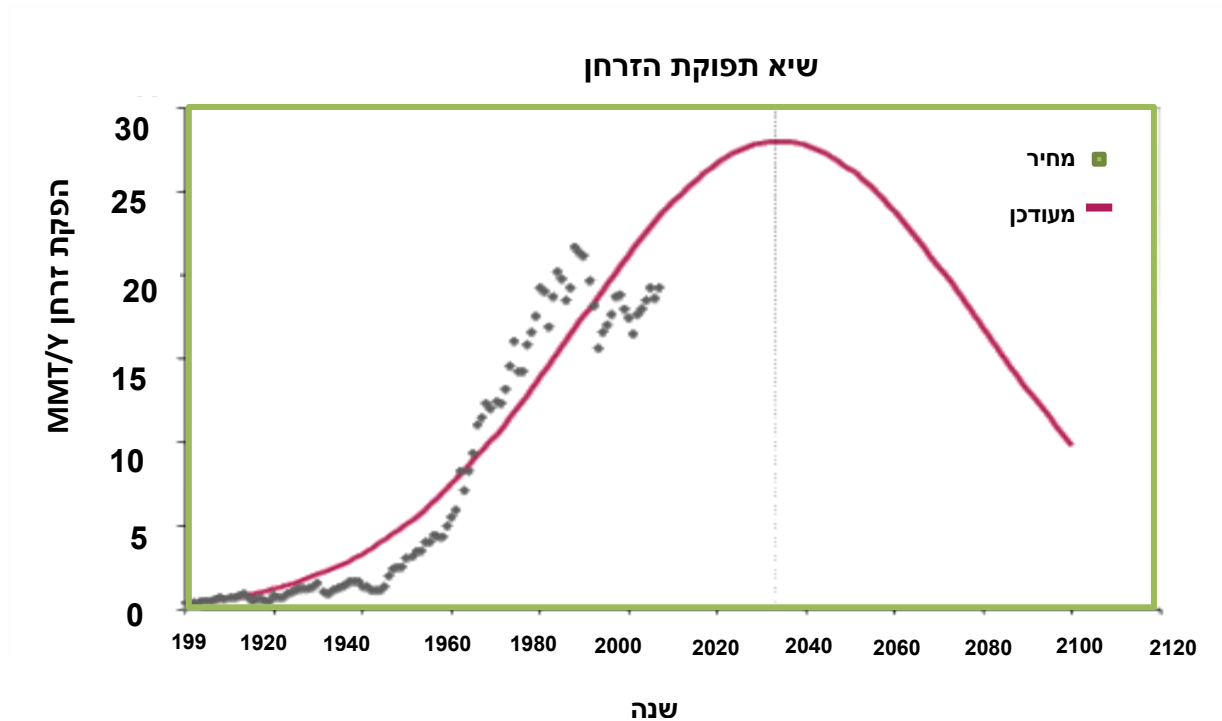
כמו כן, קורדל מציגה גם את עמדות המתנגדים לתאוריית שיא תפוקת הזרחן. המבקרים את התיאוריה טוענים שהשוק העולמי כבר ידאג בעצמו לביטחון התזונתי בזכות שיפור והתייעלות עם טכנולוגיות חדישות, אשר יאפשרו להפיק תוצרים באיכות טובה יותר מאשר בעבר.

טענה זו אינה לוקחת בחשבון את העובדה שסלעי פוספט הם משאב מתכלה, ופשוט עלולים להיגמר, לפני שנסיפיק לפתח טכנולוגיות שיאפשרו לכרות סלעים מתוך מאגרים שלא נגישים כיום, ולכן אין ביכולת להפיק תחזית אמינה בהקשר של זרחן וביטחון תזונתי. על פי התחזית של קורדל שיא הפקת הזרחן יתרחש בשנת 2033 (Cordell & White, 2011).

התרשים (8) מייצג את עקומת שיא תפוקת הזרחן ומתבסס על מידע שנאסף מתוך הסקר הגיאולוגי של ארצות הברית.

תרשים 8

עקומת שיא תפוקת הזרחן אשר צפוי להתרחש ב-2033, (Cordell & White, 2011)



להלן סיכום של הנחות היסוד שעליהן מבססת קורדל את התחזית שלה, כפי שהן מתוארות במאמרה (Cordell & White, 2011).

1. סלעי פוספט הם משאב טבע אשר מתחדש באופן טבעי במחזור הנמשך 100-10 מיליוני שנה.
2. סלעי פוספט מפוזרים בעולם בקרקע בצורה לא הומוגנית, כאשר המאגרים האיכותיים יותר ושאליהם ניתן לגשת בקלות רבה יותר, נכרים ראשונים.
3. כתוצאה מהנחות מס' 1 ו-2, לאורך הזמן תרד האיכות הממוצעת של סלעי הפוספט (תחמוצת זרחן P_2O_5) בהם ריכוז הזרחן גבוה באופן יחסי. כך נוצר מצב בו יש יותר סלעים באיכות ירודה, בהם ריכוז הזרחן נמוך יותר. הנחה זו הוכחה באופן אמפירי, בעזרת עובדות ומידע עדכני.
4. משמעות ההנחה מס' 3 היא שנדרשת כמות גדולה יותר של משאבים, הן אנרגטיים, הן כלכליים בכדי להפיק זרחן מסלעים באיכות ירודה ומאגרים קשים לגישה. בשל ירידה של איכות הסלעים יהיה צורך לכרות יותר ויותר סלעי פוספט כדי להפיק את אותה כמות של זרחן כפי שנעשה בעבר.
5. בעוד שבטווח הקרוב עלות ההפקה של זרחן יכולה לנוד – להעלות או לרדת, בהתאם לדרישה או שיפור יעילות בתהליך ההפקה, בטווח הרחוק, העלויות האנרגטיות והכלכליות רק יעלו.
6. השלכה נוספת של הפקת זרחן מסלעים באיכות ירודה היא היווצרות כמות גדולה יותר של פסולת (תוצר לוואי של תהליך ההשבחה של סלעי זרחן) ובכך תעלה את רמת הזיהום כתוצאה מתהליך זה.
7. תמיד יהיה ביקוש עולמי לזרחן.

8. מכך נובע שבנקודת זמן מסוימת העלייה השנתית של הפקת זרחן (ההיצע) תיפסק עקב מגבלות שונות (אנרגטיות, כלכליות ועוד), בעוד שהדרישה לזרחן תמשיך לעלות. הבנה של הנחות אלו חיונית על מנת שניתן יהיה להתכונן לבאות ולמנוע רעב המוני וכפי שקורדל מנסחת זאת "לתכנן נחיתה רכה" (Cordell & White, 2011). כדי להוציא לפועל חלק מן ההכנות "לנחיתה הרכה" יידרש זמן של עשרות שנים. במידה ולא ינקטו בשום צעדים כבר עכשיו, לפני שיגיע השיא הצפוי של תפוקת הזרחן, מצפה לנו "נחיתה קשה" – רעב בקנה מידה עולמי. ה"נחיתה הקשה" עלולה להתרחש באחד מן המצבים הבאים :

- עליה בצריכת אנרגיה ושימוש בחומרי גלם
- עליה במחירי הייצור, עיבוד והובלה
- עליה מתמשכת בזיהום הסביבה
- עליה במחירים בטווח קצר
- עליה בטווח הארוך במחירים לסלעי פוספט
- עליה ברמת המתח הגיאופוליטי
- ירידה בנגישות החקלאים לשוק הדשנים
- ירידה בכמות יבולים העולמית
- עליה בכמות האנשים הרעבים בעולם.

כאשר אנו בוחנים את המצב עתודות הפוספט בהקשר של קיימות וחלוקה צודקת ושוויונית של משאבים, אנו רואים שקיימת בעיה נוספת והיא המצב הגיאופוליטי, בהקשר להימצאות מאגרי עתודות הכלכליים של זרחן. כך למשל, בידי מדינה אחת, מרוקו, אשר תחת כיבושה נימצא נכון להיום החלק המערבי של מדבר סהרה, נמצאים כ-1/3 מכל העתודות הכלכליות של זרחן בעולם (אלו שבמרוקו ואלו שבסהרה המערבית). ולמרות שחלק כל כך גדול של הזרחן הזמין לאנושות מצוי ביבשת אפריקה, דווקא ביבשת זו כ-30% מכלל התושבים סובלים ממצב של תת תזונה, שיעור השימוש בדשנים בחקלאות נמוך בצורה קיצונית, ו-75% מהקרקע דלה מאוד בריכוזי הזרחן הטבעיים. כמו כן, ישנה בעתיות רבה בכך שמשאב חיוני זה מצוי בידי מספר מצומצם של גורמים, שיכולים לנצל זאת להשגת רווחים אישיים ללא התחשבות כלל בצרכי האוכלוסייה העולמית (Cordell et al, 2009).

לשימוש הלא מושכל בדשן זרחני מעלה סוגיות סביבתיות קשות. הנזקים שנגרמים לבני האדם ולמערכת האקולוגית באים בעקבות תהליכי עיבוד וכרייה של סלעי פוספט ובעקבות שימוש יתר בדשנים זרחניים המיוצרים מסלעי פוספט.

זיהום במערכת האקולוגית הימית : מקורות המים כגון אגמים, ימים ואוקיינוסים הם מערכת אקולוגית מורכבת בעלת מרכיבי סביבה ביוטיים (חיים) ואביוטיים. פעילות המערכת תלויה בשיווי משקל עדין, בין

המרכיבים. איזון זה מופר בעקבות פעילות האדם. אחד הגורמים המרכזיים של זיהום המים בעקבות פעילות בתעשיית החקלאות, ולייתר דיוק, שימוש יתר בדשנים העשירים בזרחן. עודפי הזרחן אשר נשטפים מן הקרקע של השדות החקלאיים נסחפים אל מקווי המים. זרחן, כאמור, הוא חומר תזונה עבור הצמחים. עליית כמות הזרחן במים גורמת לפריחת אצות (צמחים החיים במים) מוגברת. במצב הזה מקווה המים מתכסה בכמויות גדולות של אצות. העלייה בכמות האצות גורמת לעליה בריכוז החומר האורגני המעלה את ריכוז החיידקים המפרקים אותו. ככל שיש יותר אורגניזמים במים, כך עולה צריכת החמצן וכמות החמצן הזמין ליצורים חיים במים יורדת. המחסור בחמצן גורם לשינויים כימיים אשר מעלים את ריכוז החומרים ההופכים את המים לרעילים (כגון אמוניה וגז מתאן) לרוב יצורים החיים בהם. מקווי המים המצויים ליד אזורים בהן מתקיימת פעילות חקלאית סובלים יותר מארטופיקציה, מאשר האזורים המרוחקים מפעילות זו. לא רק פעילות חקלאית גורמת לעליה של זרחן במים. גם מי ביוב המגיעים מאזורים עירוניים עשירים ביסוד זה.

בנוסף לכך, העצות הניזונות מזרחן, פורחות בשכבות העליונות של גוף המים ומעכירות אותו. בכך הן מונעות את מעברם של קרני האור, החיוניים לתפקוד התקין של מערכת האקולוגית. תופעה זו עלולה להביא למוות כל היצורים החיים בגוף המים.

אאוטרופיקציה מתרחשת גם ללא התערבות האדם במערכת האקולוגית. באופן טבעי התהליך מתרחש בכמה שלבים, כאשר כל שלב נמשך במשך מאות שנים. משך כל התהליך הוא כ- 1000 שנה ויותר. פעילות האדם יכולה לזרז פי 100 ואפילו פי 1000 את התהליך הזה. כך מקווי המים הגדולים בעולם כמו הים הבלטי (צפון מזרח אירופה) וימת אירי (אמריקה הצפונית) עברו מספר שלבים בתהליך של אאוטרופיקציה ב-25 שנה אחרונות. הפגיעה מתרחשת הן במקווי מים המתוקים והן במלוחים, ברחבי כל העולם. במקווי המים המזוהמים עקב אאוטרופיקציה נוצרים אזורים "מתים", בהן לא יכולים לחיות יצורים חיים. כ-400 אזורים כאלה ידועים ברחבי העולם הם מהווים גורם למחלות הן לבעלי חיים והן לבני אדם. לראשונה, הצמיחה הרעילה של העצות תועדה באוסטרליה, בשנת 1878. מאז, קיימות עדויות רבות להתפשטות התופעה בכל העולם

(Frumina & Gildeeva, 2014).

היום משייכים אותה לשימוש בדשנים אשר בנוסף לזרחן מכילים גם חנקן – חומר הזנה לחיידקים הנקראים כחוליות – ציאנובקטריה. "תפרחות של ציאנובקטריה עלולות לגרום לעכירות, צבע, טעם וריח דוחה במים. מספר מינים של ציאנובקטריה מייצרים סוגים אחדים של רעלנים ובמיוחד חמורה הבעיה כאשר הפריחה מופיעה בגוף מים מתוקים המשמש כמקור למי שתיה. מספר ניכר של תפרחות כאלו, במקורות מים מתוקים, דווחו כגורמים להרעלתו של צאן, בקר וחיות בר כמו גם תחלואה של בני אדם. מחקרים על תפרחות של ציאנובקטריה בגופי מים, במקומות שונים בעולם הראו ש-25% עד 70% מתפרחות אלו היו רעילות."

(כרמלי, ש', סוקניק, א', וטלטש, ב' (ח"ת). רעלנים של ציאנובקטריה.
אוחזר מתוך <http://telem.openu.ac.il/courses/c20237/cyanotoxins-b.htm>).

כמו כן, למרות שזרחן לא מצוי באופן טבעי בצורה של גז, תרכובות שונות המכילות זרחן נפלטות אל האטמוספירה בעקבות שריפת דלקים בפעילות של מפעילים תעשייתיים. חשוב לציין שנכון להיום לא נבדקו באופן שיטתי השפעות של פליטת הזרחן בעקבות שריפת דלקים, אך קיימת השערה שזהו אחד מן הגורמים משפיעים על זיהום המים. כך אוטורופיקציה פוגעת גם ביצורים החיים בתוך המים וגם אלו ששותים אותם ומצמצמות את כמות מי השתייה בעולם.

זיהום במערכת האקולוגית היבשתית : בעיית זיהום נוספת נוצרת בעקבות תהליכי עיבוד וכרייה של סלעי הפוספט. הסיבה לכך היא ששיטת הכרייה של סלעי פוספט הנהוגה כיום בעולם היא כרייה פתוחה, המתבצעת מעל פני הקרקע במחצבים. סלעי פוספט מכילים יסודות רדיואקטיביים, אשר משתחררים לאוויר בצורת אבק בזמן תהליך הכרייה והובלת הסלעים. אם המכרה קרוב אל אוכלוסייה, עלולים כל הנמצאים באזור לנשום את החלקיקים הרדיואקטיביים. מחקרים רבים מצביעים על הקשר בין ריכוזים גבוהים של חלקיקים מרחפים ובין שכיחות גבוהה של מחלות דרכי נשימה וגידול בתמותה ממחלות לב וריאה.

בימים אלו מתקיים בישראל דיון סוער בהיבטים הסביבתיים בהקשר של זרחן. דיון זה אומנם לא מסוקר בהרחבה על ידי התקשורת, אך הדבר מעיד על חוסר חשיבותו. כריית הפוספט נעשית כיום בישראל באופן בלעדי בידי חברת "רותם-אמפרט נגב". נכון להיום קיימת תכנית הממליצה על כרייה בשה זוהר דרום – שדה בריר. לתוכנית זאת מתנגדים בחריפות תושבי האזור, בטענה שהקמת אתר כרייה סמוך למקום מגוריהם תגרום לפגיעה באיכות חייהם, בבריאותם ובמערכת האקולוגית שבסביבה.

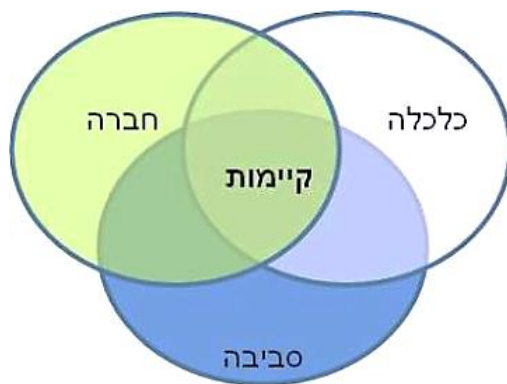
אתר שדה בריר קרוב לכמה יישובים מאוכלסים: 1.2 ק"מ מהעיר ערד, 1 ק"מ מהיישוב כסיפה, 1.1 ק"מ מהעיר המתוכננת - כסיף, 2 ק"מ מהיישוב הבדואי המתוכנן אל-פורעה. ישנה קהילה בדואית שחיה כיום בתוך שטח המכרה המוצע, ואף פועל במקום בית-ספר, אשר נמצא בשולי אתר הכרייה. הוקמה ועדה בין משרדית בכנסת, אשר בחנה את הסוגיה הזו וסוגיות נוספות בהקשר של משק הפוספטים בישראל. בשנת 2013 הגישה הועדה דו עם המלצות. בשנת 2000 ביקשה חברת "רותם אמפרט" מוועדת התכנון והבנייה המקומית בערד לאשר תחילתו של הליך תכנוני לכריית פוספטים באתר שדה בריר ולהובלתם למפעל "רותם" הסמוך. ועדת התכנון המקומית החליטה על הכנת תסקיר השפעה על הסביבה, והוא נערך על-ידי חברת "גיאופרוספקט" במימון חברת "רותם אמפרט".

"בעקבות הגשת התסקיר, פנה מנכ"ל עיריית ערד, בהתייעצות עם לשכת הבריאות המחוזית מחוז דרום, לד"ר מיכה ברחנא וד"ר יהונתן דובנוב, לשם הערכת ההשפעה הבריאותית של פעילות מכרה פוספטים על תושבי ערד. בחוות דעת שהוגשו נקבע כי הקמתו של מכרה פוספטים בשדה בריר תביא לעלייה בתחלואה ואף לעלייה בתמותה בערד, וכי "בנסיבות הקיימות אין כל אפשרות לקיים מכרה פוספטים

בקרבה שכזו לאוכלוסייה". כנגד חוות דעת אלו הוגשו באותה שנה חוות דעת נוספות, מטעם חברת "רותם אמפרט", שנקבע בהן כי אין לייחס לכרייה בשדה בריר כל השפעה על גידול בתחלואה או בתמותה". (מרכז החקר והמידע של הכנסת, 2013) מתוך המסמך שהוגש לוועדה הבין משרדית לבחינת משק הפוספטים עולה שישנה מחלוקת בין הצדדים בדבר ההשלכות הבריאותיות של הוצאת התוכנית לפועל. המאבק הגיע על לבית משפט. בתאריך 20.03.2017 בית המשפט העליון דחה את עתירת תושבי ערד נגד כריית הפוספטים. ב-04.04.17 המועצה הארצית לתכנון ובנייה אישרה את תכנית המתאר הארצית שמצביעה על בקעת ערד כעתודת הפוספט היחידה של מדינת ישראל ב-25 השנים הבאות. התוכנית הועברה לאישור הממשלה. התושבים אינם מתכוונים לוותר וממשיכים במאבקם. כאשר אנו בוחנים את סוגיית כריית סלעי פוספט בשדה בריר מנקודות מבט של קיימות, יש להתייחס לכל הפרמטרים ולא רק להיבט הסביבתי. לצורך זה אשתמש במודל של שבו הקיימות היא באזור החפיפה בין הכלכלה, החברה והסביבה, כפי שהוא מוצג בתרשים (9)

תרשים 9

מודל הקיימות : הקיימות ישנה באזור החפיפה בין הכלכלה, החברה והסביבה. אוחזר מתוך: <http://campusteva.tau.ac.il/content/teaching-resources/education-for-sustainability>



ההיבט הסביבתי של תעשיית מפעלי הפוספט כולל בתוכו זיהום אוויר, שפכים ותוצרי לוואי. ההשפעות הן ב-2 תחומים : השפעות על שטחים פתוחים והשפעות על האדם. השפעות על שטחים פתוחים : בשל אופן הכרייה אשר משתרעת על שטחים נרחבים, ישנה השפעה על שטחים פתוחים – אקולוגיה, נוף, תרבות ומורשת בנגב. השפעות על האדם : מכרות פוספטים מהווים מקורות

פוטנציאלים לגרמית מפגעי זיהום האוויר על ידי אבק הנוצר עקב פעילות הכרייה וכתוצאה מתנועת כלי הרכב במכרות ובהובלת חומר הגלם למפעלים.

באתר החברה המוקדש לנושא כרייה בשדה בריר מציגה החברה "רותם אמפרט", את התועלת מהקמת אתר הכרייה. מנגד, באתר שהוקם על ידי תושבי העיר ערד, מוצגות טענות המפריכות את הצהרות של החברה.

להלן דברי שני הצדדים, כפי שהן מופיעות באתר, המציג את עמדת המתנגדים להקמת המכרה.

טבלה 6

הטבלה מציגה את טענות שני הצדדים – התושבים המתנגדים להקמת אתר הכרייה וחברת "רותם אמפרט".

אוחזר מתוך : <http://www.nobarir.com>

הנימוקים של התושבים המתנגדים להקמת אתר כרייה	הצהרות של חברת "רותם אמפרט"
התמורה מהייצוא אינם מושקעת בישראל, אלא במדינות אחרות, לכן פוחתת ההשקעה בפיתוח הכלכלה של המדינה.	כ-95% מתוצרתה של החברה מיועדים ליצוא ובכך ייתרמו לרווחת כלכלת המדינה
בערך – 8000 משפחות שחלקן הקטן מאוד עובד ב חברת "רותם אמפרט". רוב התושבים מועסקים בחברות אחרות, אשר עלולות לסיים את פעולתן באזור אם יוקם המכרה סמוך עיר ערד.	חברת רותם מפרנסת כ-1200 משפחות באופן ישיר, ואלפי משפחות נוספות באופן עקיף. מרבית עובדי רותם, נשים וגברים, הם תושבי הנגב שעתיים הכלכלי קשור באופן הדוק במפעלי רותם ובניצול מרבצי הפוספט.
באזורים ה"משוקמים" גודל הגרגר דק ביותר, הוא נידף ברוח, לכן אין אפשרות לצומח להתפתח והשטח נותר חשוף ללא כסות.	החברה מתחייבת לשקם את האזור, כפי שהיא עושה זאת במכרות אחרים.
את התסקיר עשתה חברה שנשכרה על ידי "רותם אמפרט". כמו כן, ההנחיות לתסקיר שניתנו ע"י המשרד להגנת הסביבה היו הנחיות חסרות. חסרו בהן שני רכיבים משמעותיים ביותר: אבק נשימתי (אבק שמתיישב בריאות בשל קוטן חלקיקיו) וקרינה רדיואקטיבית. האבק הנשימתי הופך לרדיו-אקטיבי בגלל פעילות המכרה.	על פי הנחיות קפדניות של המשרד לאיכות הסביבה בוצע תסקיר השפעה על הסביבה שבחן את השפעת המכרה על סביבתו. מניתוח ממצאי התסקיר, שנבדק בידי המשרד לאיכות הסביבה ומומחים מטעמו, עולה כי לכרייה בשדה בריר לא תהיה השפעה על תושבי העיר ערד.
על פי הנחיית השר להגנת הסביבה המשרד בוחן מחדש את עמדתו וזו טרם נקבעה	המשרד לאיכות הסביבה קבע על פי ממצאי התסקיר כי: אין לו התנגדות לקידום התכנית.
סלילת כביש להובלת הפוספטים תגרום נזק אדיר ובלתי הפיך לנופי הפרא המדבריים של הנחלים.	הובלת הפוספט למפעלים תיעשה באמצעות סלילת דרך מיוחדת שתחבר את השדה דרומה למישור רותם, ללא שימוש בכבישים קיימים.
המודל הזה והאחרים המצוטטים כאן לא כוילו לתנאים מדבריים. מדידות שפורסמו בעיתונות המדעית ממכרה בתדמור (פלמירה) שבסוריה, מדבר כמו בערד, הראתה שכמויות האבק – הרדיואקטיבי – הן % 4000 - פי 40 ממה שנכתב בתסקיר.	לכרייה בשדה בריר לא תהיה השפעה על איכות האוויר בעיר ערד ובסביבותיה. הקביעה נעשתה על פי מודל אמריקני (A.P.E.) המעריך את ריכוזי האבק הצפויים כתוצאה מפעילות הכרייה. תסקיר ההשפעה על הסביבה קבע כי לא תהיה חריגה מתקני איכות האוויר בערד ובכסייפה, כתוצאה מהכרייה.
הבעיה אינה הרדון עצמו אלא תוצרי הפרוק שלו. בעיקר איזוטופ פולוניום, שהוא רדיו-אקטיבי ומתקיים שנים רבות. הסכנה היא שחלקיקים זעירים ביותר שלו ייספחו לאבק הנשימתי ויגיעו לריאות של כל מי שנושם בסביבה	בחוות הדעת שנתקבלה מאת ד"ר משה שירב, מהמכון הגיאולוגי, הנתמכת גם במחקרים שבוצעו בעולם, נקבע כי למרות שכוחות של הרדון בסלעי האזור, ריכוזו באוויר החופשי נמוך, וזאת עקב אי יכולתו להצטבר באטמוספירה.

<p>בשדה בריר עוברת דרך אדום המקראית לידו נמצאים שרידי המצודות, מתקופת מלכי יהודה, עוזה ורדום. האתרי תיירות אלו אמנם אינם נמצאים בתחום המכרה, אבל במידה ויוקם, הם יפסיקו להיות נגישים ומושכי תיירות. בהמשך נמצאים נחל וגב קינה כל אלה הם דרכים למטיילים שהמכרה יהרוס</p>	<p>החברה מטפחת את התיירות באזור.</p>
<p>המכרה יפגע במשאבים הטבעיים של ערד: האויר הנקי והנוף המדברי הפראי. באזור המיועד לכרייה פעם שדה הבולבוסים, תופעת טבע ייחודית, הם פונו לטובת דרך למשאיות הענק של הפוספטים.</p>	<p>האתר ממוקם באזור, שאינו רגיש מבחינה נופית או מבחינת משאבי טבע. לא תהיה פגיעה משמעותית במגוון המינים הבוטני והזואולוגי.</p>

חשוב לציין כי למרכיב הכלכלי ישנו פן נוסף לזה שהוצג על ידי המתנגדים להקמת המכרה - על פי נתוני משרד התמ"ת, התוצר למשק שמקורו בכריית פוספטים והתעשייה הנלוות אליה, הינו בהיקף משמעותי המגיעה לכ- 2% מהייצוא הכולל של ישראל. בשנת 2012 החלק של המדינה בהכנסות מייצוא עמד על יותר מ-4 מיליארד דולר לשנה.

פרק 3: שימוש בזרחן – דרכים וגישות ידידותיים לסביבה ולאדם

הצעות לפתרונות

למעשה אנו כבר מטלפים בסוגיה. מאז משבר המזון בשנת 2008 וזינוק במחירי הדשנים בעולם חוקרים רבים מתחומים שונים מגלים עניין רב בנושא. המחסור בזרחן עלה לשיח הציבורי והושגה הסכמה כללית במס' בתחומים רבים והכרה בכך שהבעיה בכלל קיימת. זהו צעד חיוני בהובלת השינוי בצריכת הדשנים. ללא שינוי זה יתמשו "תרחישי האימה" בהם ההשלכות של מחסור בזרחן יהיו הרסניות. המדינות המפתחות יהיו הראשונות שייפגעו, אך גם המדינות המפותחות יושפעו וביטחונם התזונתי של כל אוכלוסיית העולם עלול להיפגע באופן חמור, אם לא נעשה שינוי בהרגלי השימוש שלנו בדשנים (Cordell & White, 2011).

אין פתרון קל בסוגיית התלות שלנו בזרחן, אך כיום ישנם פתרונות חלקיים גם ברמת קבלת החלטות בנוגע למדיניות ממשלתית בניהול משק סלעי הפוספט וגם בעניין שימוש בטכנולוגיות, אשר יאפשרו להתאים

את ההיצע של דשנים זרחניים לדרישות של השוק העולמי. כאשר אנו בוחנים את הפתרונות הפחתה והתייעלות בשימוש בדשנים הם הבסיס להצלחה.

שימוש מתון בחקלאות : לעיתים קרובות השימוש בדשן למטרות חקלאיות הוא מוגזם וללא התחשבות בסוג הגידולים, הקרקע והאקלים. כך, למשל, בשל השימוש המתמשך בדשנים זרחניים הקרקע במדינות אירופה וצפון אמריקה הגיעה לרוויה מבחינת ריכוז הזרחן בה, ונדרשת כמות קטנה יחסית של תוספת כדי להשלים את הזרחן ש"הולך לאיבוד" עם היבול שנקצר (ואינו חוזר לקרקע לאחר שהצמחים נובלים, כפי שהיה קורה, אם היינו משאירים אותם במקום). במידה ונתונים אלו יילקחו בחשבון, בעת חישוב הכמות הנדרשת של דשן לגידול באזורים המוזכרים, ניתן יהיה לצמצם את כמות הדשן הנצרך.

טכנולוגיות חדשות: פיתוחים טכנולוגיים כגון שימוש בהנדסה גנטית על מנת להקטין את הצורך בזרחן של סוגי צמחים מסוימים תביא להפחתה בשימוש בדשנים זרחניים (Shetty, 2015).

שיתוף פעולה מנצח: הביולוג מוחמד חיג'רי בהרצאתו ב-TED (2013) מציג פתרון נוסף, שבזכותו ניתן יהיה להפחית את השימוש בדשנים והוא שימוש בפטרייה על מנת לייעל את ניצול הדשן הזרחני בקרקע, וכתוצאה מכך, להפחית את כמויות הדשן הנמצאות בשימוש שוטף. מדובר בפטרייה מיקרוסקופית, שחיה בסימביוזה עם שורשי הצמחים. בסימביוזה זו מתקיים לקשר דו כיווני, שמועיל לשני הצדדים שנקרא גם מיקוריזה (קשר סימביוטי בין פטרייה לשורשי הצמח). באופן רגיל, השורשים אוספים זרחן בעצמם. הם מחפשים זרחן, אולם יונקים אותו רק מאדמה שנמצאת מ"מ אחד סביבם. מעבר למרחק של מ"מ אחד, השורש לא יעיל. הוא לא מסוגל לנצל את הזרחן. לעומת זאת הפטרייה גדלה הרבה יותר מהר, והיא מסוגלת לאסוף זרחן באופן יעיל בהרבה. היא מסוגלת להגיע מעבר למ"מ האחד אליו מגיעים שהפטרייה חודרת באופן עדין מאד לשורש. היא גדלה בין תאי השורש, חודרת לתאים ויוצרת מבנה שנקרא 'מבנה ארבוסקולרי', שמאפשר את האצת השיתוף בין הצמח לפטרייה. וככל הנראה דרך מבנים אלה נוצר שיתוף הפעולה בין הפטרייה לצמח. יש כאן מצב של שמועיל לשני הצדדים: הפטרייה מספקת זרחן, והצמח מספר מזון. בעיית קליטת הזרחן מתוך האדמה נוצרת בגלל שבאופן טבעי הזרחן נספג באדמה בצורה לא מסיסה, אך הצמחים סופגים רק חומרים שנמסים במים. הפטרייה מסוגלת להמיס גם את הצורות הלא מסיסות ולאפשר לצמחים לספוג אותם. בהרצאות מציג חיג'רי ממצאים מתוך ניסויים שערך אשר מחזקים את טענותיו. בניסויים אלו הוא הצליח לקבל יבול גדול יותר (9.3 טון להקטר מול 7.5 טון), עם שימוש קטן יותר ב-50% של זרחן בדשנים, בזכות המיקוריזה. בשיטה זו בניסויים שערך, במדינות מסוימות כגון קובה, מקסיקו והודו, ירד המנון של דשנים זרחניים ל-25%, ובמקומות אחרים, לא היה צורך להוסיף בכלל זרחן, כי הפטריות הסתגלו לתנאים באזור מצאו זרחן באדמה, והובילו אותו לשורשים. השיטה תאפשר להפחית את כמות הדשן הנמצא בשימוש פי 4. מחירי גידול המזון עבור החקלאים ירדו, וגם כמות הזיהום המגיעה

למאגרי המים תפחת. כיום, השימוש במיקוריזה מתחיל לקבל תאוצה בחקלאות, בעיקר בגידול סויה, תירס, חיטה ודגנים אחרים, וחקלאים רבים מוסיפים נבגי פטריות לדשנים (Hijri, 2013).

שינוי בהרגלי התזונה : שינוי זה והפחתה בשימוש בחלבון מן החי תביא גם היא להפחתה בשימוש בדשנים. על מנת לייצר 1 ק"ג בשר, יש צורך בכ-10 ק"ג של מזון צמחי. הפחתה בצריכת הבשר תפחית משמעותית את כמות הדשן הזרחני הנדרש לגידול מזון לבעלי חיים שאנו אוכלים. בנוסף לכך מעבר לצריכה של מזון אורגני, תגרום לחקלאים להפחית עוד יותר את השימוש בדשנים כימיים (Shetty, 2015). החקור סמיל (2007) מציע מעבר ל"צמחונות חכמה" אשר יחד עם הפחתה בצריכת יתר של מזון (על סמך הנתונים על בעיית השמנת יתר ברחבי העולם) ורואה בכך את אחד הפתרונות היעילים ביותר להפחתה במשאבים כגון זרחן, מים, אנרגיה ועוד (Cordell et al, 2009)

עוברים לדישון מסוג אחר : פתרון זה מופיע בירחון לנושאי גידולי שדה מיכון והנדסה בחקלאות "ניר & תלם". עיקרו הוא בשימוש בפרש בקר בחקלאות לצורך דישון הקרקע. משקים חקלאים רבים מקיימים רפתות לצד גידולי שדה או מטעים. בעבר היה מקובל לפזר את זבל הבקר בשדות או במטעים. החל מאמצע המאה הקודמת, מגמה זו שונתה וקטנה. על פי כותבי המאמר הרפורמה ברפת ובדיקת עלות פינוי הזבל מהרפתות הביאה לחשיבה ובחינה מחודשת של יתרונות פינוי הזבל הטרי ישירות לשדות הסמוכים לרפתות

זיבול שטחים חקלאיים, ולמעשה חלופה לדשנים כימיים (מגן ואחרים, 2015).

מיחזור: את הזרחן ניתן למחזר מתוך מערך ייצור וצריכת המזון בדרכים שונות : החזרת שאריות היבול לקרקע, זיבול באמצעות קומפוסט משאריות מזון משימוש ביתי, הפקת הזרחן מצואה ושתן של בני האדם, ומתוך מי שופכין –הן מהעיר והן מהתעשייה החקלאית (הזרחן שנשטף מתוך הקרקע לאחר שימוש בדשנים).

בפקיסטן ומקומות נוספים באסיה כבר נעשה שימוש במי שופכין בחקלאות. בהודו בבתי השימוש מוצבים אסלות המפרידות בין צואה ושתן וכך מאפשרות להפיק מהם זרחן לשימוש חוזר (Cordell et al, 2009).

חינוך לקיימות: על מנת שנוכל ליישם את כל הפתרונות הנ"ל נדרש שינוי תרבותי. שינוי זה יכול לבוא בעקבות חינוך לקיימות. חינוך לקיימות הוא חינוך הנותן הזדמנות ללמוד להתפעל מאותם הדברים שאי אפשר לקנות בכסף. החינוך לקיימות צריך לפתוח אפשרויות חדשות להתפתחות והצלחה, אשר היום מזוהה עם ההצלחה בתחום הכלכלי. חינוך ערכי, תוך הבנה שכולנו חלק ממערכת שבה מתקיימת תלות הדדית ויחסי גומלין בין כל המרכיבים.

פרק 4: היוזמה החינוכית

בבית ספר בן-יהודה ע"ש סימון רוטשילד, בירושלים, שבו אני מלמדת מדעים, ישנה חורשה קטנה ומקסימה. מקום זה, לדעתי, יכול לשמש ללמידה פעילה, חוץ כיתתית וטמון בו הפוטנציאל רב ללמידה מלאה התנסויות והמחשות בנושאי לימוד רבים ובייחוד במקצוע המדעים. למידה זו תאפשר היכרות עם היצורים החיים בסביבתנו והבנת חשיבות יחסי הגומלין הקיימים בין כל מרכיבי הסביבה למידה כזו תספק אפשרויות רבות להבניית עקרונות ביולוגיים ואקולוגיים בסביבת למידה אותנטית הקרובה לעולמם של התלמידים. נכון לעכשיו חלקה זו מנוצלת באופן חלקי בלבד. הגישה אליה אינה נוחה ואף מסוכנת, ובכך מונעת מהצוות הפדגוגי להשתמש בה במשאב חינוכי.

כחלק מהיוזמה החברתית ברצוני לפתח את החלקה ולהנגישה. בימים אלו אני בונה תכנית הוראה מותאמת עבור הכיתות בהן אני מלמדת, אשר תתבסס על פעילות חוץ כיתתית בחלקה המדוברת. העיקרון המנחה בבניית תכנית ההוראה הוא הבנה של התלות ההדדית של כל מערכות החיים והידיעה שבני האדם הם חלק מהמערכת.

כך למשל אם ניקח את עץ התות, הצומח בחלקה תוך כדי למידה עליו וטיפול בו, נוכל להתייחס לנושאים רבים וביניהם, גם לנושא הזרחן, כחומר חיוני לצמיחה של העץ, המצוי בקרקע. נוכל להתבונן בשינויים המתרחשים בעץ במהלך השנה וללמוד על יחסי הגומלין שבין העץ לסביבתו, תוך שאלת שאלות: מי הם היצורים החיים אשר עץ הוא ביתם? מדוע העלים נושרים מהעץ ומה קורה להם לאחר מכן? מי ניזון מהעץ ומי מזין אותו? מה הוא החלק של האדם בסיפור של העץ?

בנוסף לחשיבות העלאת מודעות לנושא הקיימות ושמירה וטיפול של הסביבה, ישנה חשיבות רבה בהוראת מדעים בדרך חווייתית מתוך התנסות חוץ כיתתית, במיוחד עבור לומדים בעלי צרכים מיוחדים, אתה אני עובדת בבית הספר. לא פעם אני שמועת דעותיהם של אנשים אשר מפקפקים בצורך ללמד את מקצוע המדעים לתלמידים בעלי מוגבלות שכלית. "מה זה חשוב אם הם יידעו להבדיל בין פרפר לנמלה, אם הם לא יודעים לכפתר חולצה?!" אני, כמו רבים אחרים, חולקת על גישה זו.

כך נכתב במסמך של משרד החינוך, המסביר את הרציונל בהוראת מדעים ללומדים עם צרכים:

"יעדי העל של תכניות ללומדים עם צרכים מיוחדים מתמקדים בהכנת הלומדים לחיים כאזרחים פעילים ואוטונומיים, תוך הדגשת היבטים של פיתוח כישורי למידה, חשיבה, אוריינות והתמצאות, היבטים של הקניית ערכים, נורמות התנהגות והרגלים, וכן היבטים של העצמה ושל חיזוק הדימוי העצמי." (משרד החינוך, 2011).

לימודי מדעים תורמים ל פיתוח מיומנויות וכישורים אישיים כגון :

- פיתוח של מגוון מיומנויות למידה ודרכי חשיבה: לוגית, יצירתית וביקורתית, וכן פיתוח אסטרטגיות הקשורות בטיפול במידע, בחקר ובפתרון בעיות בתחומי המדע והטכנולוגיה
- טיפוח הרגלי עבודה כגון: סדר, עבודה על פי הוראות, שמירה על ניקיון, הקפדה על כללי בטיחות וכישורי עבודה בצוות. הרגלים אלה ישולבו עם פיתוח יכולות להתמודד עם קשיים בביצוע מטלות מעשיות במדע ובטכנולוגיה. פועל יוצא מכך יהיה הקניית כישורי חיים המלווה בתחושות הצלחה, העצמה, ושיפור הדימוי העצמי.
- טיפוח כישורים בתחום החושי-תנועתי, תיאום חושי-תנועתי ופיתוח תפיסת המרחב, הזמן והסביבה.
- פיתוח תובנות, כישורים, עמדות וערכים ויישומם בחיי היום-יום.
- פיתוח תחושה של שייכות לסביבה והזדהות עם טבע הארץ; פיתוח יחס חיובי לאתרי נוף, לתשתיות הפיזיות, לבעלי חיים ולצמחים; טיפוח אחריות ומעורבות, מתוך תחושה של מסוגלות ורצון להשפיע, בשמירה ובהגנה על ערכי הטבע ואיכות הסביבה.
- פיתוח יכולת שיפוט ערכית ומוסרית על פי השקפות עולם שונות ביחס לבעיות שנויות במחלוקת, כגון גידול אוכלוסין, פיתוח הסביבה ושמירתה, בריאות וקדושת החיים.
- פיתוח התייחסות לבעיות אקטואליות בחיי יום-יום, בהיבטי מדע וטכנולוגיה.
- פיתוח יחס חיובי לעולם העבודה והיצירה והתנסות בעבודה מעשית ובפתרון בעיות.
- פיתוח היכולת לתפקד בסביבה משתנה, ברמה ההכרתית, הרגשית וההתנהגותית (שפתית ומוטורית) על בסיס הבנה כלשהי של תהליכים ושל תופעות.

בתכנית זו מושם דגש על ההתנהגויות, שאפשר לראותן בתור ביטוי לעמדות ולערכים. הדגש על ההיבטים ההתנהגותיים קשור במשקל הרב שיש בתכנית ליעד ההכנה לחיים בקהילה (משרד החינוך, 2011). בהמשך, על פי התוכנית תתבצע חשיבה, תוך התייעצות עם מומחים (דר' מיכל יובל ומר אייל בלוך) כדי לבנות תכנית לטיפול ושיקום של החלקה תוך לקיחת בחשבון נתונים כגון: קרקע ותשתיות, אלמנטים קיימים, מהם המשאבים ומהן המגבלות של החלקה. התוכנית תוגש למנהלת בית הספר, אשר כבר נתנה את הסכמתה לשיתוף פעולה עתידי.

דין

הערכה

הקריטריונים להצלחתה של היוזמה:

מטרת על : שיקום החלקה והקמת גינה, תוך פרק זמן של 5 שנים, אשר תשמש כמשאב חינוכי המזמן למידה.

- א. הקמת תשתית מתאימה לגידול וטיפוח של הגינה תוך ניצול המשאבים הקיימים במקום.
- ב. הנגשת הגינה (שבילים בטוחים) לתלמידים בעלי צרכים מיוחדים.
- ג. שיקום החלקה תוך שימוש במשאבים הקיימים – הן מבחינת משאבי טבע והן מבחינת הצוות והתלמידים – שיתוף של התלמידים הן בשלבי התכנון והן בעשייה עצמה.
- ד. שימוש פעיל בחלקה לצורך לימוד והנאה.

לשימור ולשיפור

התהליך בעיצומו והיוזמה כרגע נמצאת בשלב ראשוני של פיתוח. לא ניתן בינתיים להעריך אותה, בכדי ללמוד מה יש לשפר בה ומה יש לשמר.

הקשר בין הנושא לבין הווייתו כמחנכת

בעיני לימוד על נושא הזרחן כמשאב מתכלה, הוא אחת הדרכים להנחיל ולהשריש את הערכים של גישת הקיימות בקרב התלמידים, מתוך שאיפה לחנך דור חדש של אזרחים. אזרחים אשר ביכולתם לראות את התמונה הגדולה: איך העולם שלנו פועל ולהבין את מקומנו במארג החיים שעל פני כדור הארץ. כל זאת, אל מנת להבטיח את קיומם של הדורות הבאים. שלנו ושל כל היצורים החיים.

מה הקשרים בין העבודה לבין היבטים שונים בתפיסת הקיימות והחינוך לקיימות

לנו בני האדם, ישנם צרכים רבים. חלקם, הם צרכי הקיום שלנו שבלעדיהם לא נוכל להתקיים: חמצן, מים ומזון, מקום מחיה ועוד. חלק מן הצרכים הם צרכים רגשיים, אשר לא פחות חשובים עבורנו. כדי למלא את הצרכים שלנו, אנו מנצלים את משאבי הטבע. בראשיתה של ההיסטוריה האנושית, היינו מקיימים את עצמנו ממה שהצלחנו במו ידינו לצוד, ללקט או לגדל. אך ככל שחברה האנושית התפתחה, התפתחו עמה גם כלים טכנולוגיים המאפשרים לנצל באופן יעיל ומהר יותר את המשאבים הטבעיים, ואם הזמן למדנו להפיק מהם את מוצרי הצריכה שנדרשים לנו. עם תחילתה של המהפכה התעשייתית, לפני כ-200 שנה, היה מעט מוצרי צריכה, ושפע של משאבי טבע. התקדמות טכנולוגית ומדעית הביאה אותנו למצב של עודף עצום של מוצרי צריכה, ואילו משעבי הטבע הולכים ונעלמים (אטינגר, ל', 2012). אחד מן המשאבים האלו הוא הזרחן. שהצריכה ההולכת וגדלה שלו מסכנת את עתידנו.

למעשה, כל היצורים החיים, צורכים משאבים מהסביבה. אך מה שמבדיל אותנו, בני האדם, הוא חוסר יכולת שלנו להביא לידי הסיפוק את התאוות הצריכה. החברה שלנו היא חברה צרכנית והדרך שבה היא מעצבת את חבריה היא היכולת והרצון לצרוך (באומן, ז', 2004, עמ' 118). יתרה מזאת, מדד ההצלחה בחברה שלנו, נמדד על פי יכולת הצריכה. אדם הרוצה להפגין את מעמדו הרם, ישאף להשיג עוד ועוד מוצרים, המתקדמים והחדשים ביותר, כי הרי הוא לא יכול להסתפק בפחות מכך, פן יחשבו הסובבים, שאין הוא מספיק עשיר בכדי להרשות לעצמו להחליף כל שנה את רכבו או לבנות עוד ועוד בתים ברחבי העולם. ייצר הצרכנות אינו נחלתם רק של בעלי ההון שבינו. בודדים הם אלו שיכולים לתאר לעצמם חיים ללא צריכת מוצרים. עבור רבים בחברה שלנו הצריכה מהווה תחליף לאושר, או את האושר עצמו. אנחנו מתייעלים מיום ליום ביכולת שלנו לייצר עוד ועוד מוצרים זולים הנגישים לכל אחד. וביניהם גם מוצרי המזון. אם בעבר המשפחה יכלה להתקיים אך ורק ממה שהיא הצליחה לגדל וליצור בעצמה, היום, כל מה שאנחנו צריכים זה להושיט את היד לעבר למדף, או להקליק על מקלדת, כדי למצוא את מבוקשנו. למעשה, אנו צורכים הרבה מעבר למה שאנחנו באמת צריכים, מבלי לחשוב לרגע, מהו מחיר הצריכה המופרזת הזו. הצריכה המופרזת הזו באה לידי ביטוי בבעיית ההשמנה ברחבי העולם. על פי הנתונים של NICHD - המכון לבריאות הילד והתפתחות האדם שבארצות הברית, The National Institute of Child Health and Human Development, אחת הסיבות העיקריות להשמנה הם הרגלי תזונה לקויים, כאשר גודל המנה הרבה מעבר לכמות המומלצת על ידי ארגוני בריאות. הרגלים אלו נובעים מכך שבזכות הקדמה הטכנולוגיות יש לנו גישה למזון זול ובכמויות גדולות, כאשר, במקרים רבים, אין זה מזון בריא כלל וכלל. הפרסומות אשר מעודדות אותנו לצרוך מזון זה, הפונות לרגשות שלנו וגורמות לנו להשלות את עצמנו, שבמזון נצליח למצוא את הפתרון לכל הבעיות המטרידות אותנו בחיינו, אף הן מהוות אחת הגורמים להשמנה. הפרסומות הללו מציפות אותנו, הן מבטיחות לנו ריגושים "הצי'פס הזה הכי חריף שטעמת אי פעם!!!", ונחמה "את עצובה – תוכלי שוקולד, הוא יעשה אותך מאושרת!".

(The National Institute of Child Health and Human Development (2017). *What causes obesity & overweight?* Retrieved from : <https://www.nichd.nih.gov/health/topics/obesity/conditioninfo/pages/cause.aspx>)

כדי להגדיל את כושר הצריכה, ייצרני המוצרים אינם מאפשרים לצרכן לנוח לרגע. הם מוודאים שהצרכנים יישארו תמיד ערים וערניים לכל הפיתוחים החדשים. זיגנוט באומן, סוציולוג שחקר את תרבות הצריכה הפוסט-מודרנית כתב בספרו "גלובליזציה: ההיבט האנושי", שהצרכן משלה את עצמו בכך שחושב שיש בידיו הכוח להחליט מה הוא רוצה לקנות. "יש לצרכנים כל הסיבות לחשוב שהם – ונראה שאפילו רק הם – השולטים במצב. הם השופטים, המבקרים והבוחרים. הם הרי יכולים לסרב להתחייב לכל אחת מאינספור הברירות המוצגות בפניהם. כלומר, מלבד לברירה לבחור באחת מהן, אלא שהברירה הזאת, כנראה איננה מוצעת להם." (באומן, ז', 2004, עמ' 119-123).

והמחיר אכן כבד מאוד, והוא אינו נמדד רק בכסף. להרגלי הצריכה שלנו יש השפעה מרחיקת רגל על עולמנו. למעשה, ניתן לחשב את ההשפעה הזו ולראות באופן מאוד ברור איך פעילות האדם משפיעה על הסביבה ועד כמה יכול כדור הארץ לתמוך בפעילות שלנו ולספק את צרכנו. לשיטת חישוב סביבתית זו קוראים "טביעת רגל אקולוגית". טביעת רגל אקולוגית היא מדד כמותי שמודד את כמות משאבי הטבע הנדרשים על מנת לספק את הצרכים של אוכלוסייה מסוימת, וגם את היכולת של כדור הארץ לקלוט את חומרי הפסולת המיוצרים בעקבות סיפוק הצרכים.

מדד זה לוקח בחשבון העלויות הסביבתיות של הפעילות הכלכלית: איך השימוש שלנו במשאבי הטבע להפקת המוצרים פוגע בכל מארג החיים בסביבה. פגיעה זו באה לידי ביטוי בדרכים שונות ומרובות: זיהום סביבתי, הפוגע בבריאות בני אדם ומביא להיכחדות של מינים שונים של בעלי חיים וצמחים, שינויי האקלים המשפיעים על כולנו ועוד. כפי שהוצג בפרקים הקודמים, לשימוש האדם בזרחן בדשנים ישנה השפעה רבה על גודל של טביעת הרגל האקולוגית – שימוש בלתי מושכל הגורם לזיהום סביבתי ופגיעה חמורה בבריאות האדם ובעלי חיים אחרים, הנפגעים מפעילות הכרייה באופן ישיר או מעודפי הזרחן הנסחפים למקווי מים ומזהמים אותם. וכל זה מוביל אותנו למשבר סביבתי.

כאמור, ייצור מוצרי הצריכה, וביניהם מזון, אינו נטול מחירים. את המחיר הכבד של השימוש ללא גבול ובקרה במשאבי טבע משלמים לא רק אנחנו, בני האדם, אלא כל המערכת האקולוגית של כדור הארץ וכל היצורים החיים בה. בשנת 1992 מדענים מרחבי כל העולם חתמו על העצומה המזהירה את האנושות מפני הבאות: " בני האדם והסביבה הטבעית נמצאים במגמת התנגשות. פעילות האדם גורמת לסביבה ולמשאבי הטבע לנזקים חמורים ולעתים חסרי תקנה. אם לא יבלמו, רבים ממנהגיו הקיימים מאיימים על העתיד שאנו שואפים להנחיל לחברה האנושית ועל ממלכות החי והצומח, ועשויים לשנות את החיים על פני כדור הארץ, במידה כזו שיהיה קשה לקיימם כפי שאנו מכירים אותם. שינויים מהותיים חייבים להיעשות בדחיפות, כדי להימנע ממסלול התנגשות שעליו אנו נמצאים כיום." (גבריאלי, ח"ת).

לא רק הרגלי הצריכה שלנו אשמים במצב הקיים. במאה השנים האחרונות, אוכלוסיית העולם גדלה משני מיליארד איש בשנת 1922, לכ-7 מיליארד בשנת 2011, והתוצר של המערכת הכלכלית העולמית גדל מ-1.3 טריליון דולר בשנת 1960, למעלה 60 טריליון דולר בשנת 2007. הצמיחה באוכלוסיית העולם והפעילות הכלכלית משנה את פני כדור הארץ ואת הרכב האטמוספירה, את האקלים ואת הביוספירה. היא יוצרת זיהום ומחסור במקורות מים, ניצול יתר של מדגה הידרדרות קרקעות ומידבור, אסונות טבע, קריסת מערכות אקולוגיות ועוד. כל אלו הם סימנים של המשבר הסביבתי. משבר שאנו נמצאים בו כבר היום. העולם שלנו בבעיה וטביעת הרגל שלנו, הפוגעת בנו ובכל מארג החיים על פני כדור הארץ הולכת וגדלה מיום ליום ופוגעת ביכולת שלנו להמשיך ולהתקיים. האוכלוסייה האנושית סובלת היום מבעיות רבות: מחסור במשאבים כמו מים, הנובע מקצב המהיר של שאיבת מים מהאקוופרים (מי תהום) העולה על קצב

התמלאותם מחדש, אזורי דיג רבים אשר התרוקנו לגמרי עקב ניצול יתר ואינם יכולים לספק לנו עוד דגים, שינויי האקלים הקיצוניים המביאים עימם את הבצורת והשיטפונות. כל אלו פוגעים במימוש הפוטנציאל של הקיום שלנו והתפתחות העתידית. (גבריאלי, ח"ת)

כמענה לבעיה זו התפתחה גישת הקיימות השואפת לצמצם את טביעת הרגל האקולוגית מבלי לדלדל את משאבי כדור הארץ ומבלי לגרום נזק חמור לסביבה. מושג הקיימות נוגע לכל תחומים החיים. הוא מתייחס גם לסביבה הטבעית והמשאבים הטמונים בה, וגם לפן החברתי והתרבותי של חיינו. קיימות שמה במרכז את כבוד האדם וחירותו מתוך הבנה עמוקה שכולנו חלק ממארג החיים המזין ומקיים את כל היצורים על פני כדור הארץ" (אטינגר, ל', 2012, עמ' 17).

ד"ר יעל גבריאלי, המייסדת והמנהלת של קמפוס טבע באוניברסיטת תל אביב, מגדירה במאמרה (גבריאלי, ח"ת) את הקיימות כיכולת להתקיים. "מבחינה אקולוגית, פירוש הדבר היכולת של מערכת אקולוגית להמשיך להתקיים באותה מידת גיוון ותפקוד" אחת הדוגמאות לכך היא המשך קיום של היער כולל את מערכת השינויים הטבעית; ביער, עצים מתים ועצים אחרים נובטים, צומחים ומחליפים אותם, המערכת מגיבה לאקלים, לשינויים פנימיים באוכלוסיות ועוד. אנחנו, בני האדם, שצורכים משאבים מהמערכת האקולוגית של היער, בוחנים אם אנחנו משתמים בה באופן מקיים, או במילים אחרות אם קצב כריתת העצים אינו עולה על קצב התחדשות הטבעי של היער או על קצבת הנטיעות שלנו, ובכך פוגע בקיום ובשירותים שאנחנו מקבלים ממנו.

על בסיס הגדרה זו פותחו הגדרות רבות למושג ה"קיימות" והמשותף בהן, הוא ההבנה שקיים קשר הדוק עם יחסי גומלין מורכבים בין החברה האנושית לבין הסביבה שבה אנו חיים, ושהתמודדות עם המשבר הסביבתי מחייבת אותנו לפעול ולהעלות את המודעות המוסרית שלנו. אחת הדרכים היא החינוך לקיימות, תוך הסתמכות על האקולוגיה, המדע שחוקר את המערכות האקולוגיות. תחום מדע זה מאפשר לנו להבין את התהליכים הטבעיים ואלו מעשי ידי אדם שמתרחשים על פני כדור הארץ. "בניגוד לחלק גדול מתחומי מדע אחרים, רואה האקולוגיה במטבע מערכת מורכבת מאוד ורבת משתים בה מתקיים עושר של יחסי גומלין". (גבריאלי, ח"ת)

גבריאלי מציגה במאמרה 4 עובדות מפתח הידועות לנו כיום:

1. החיים על פני כדור הארץ שינו את התנאים על פניו והכשירו אותו לקיום החיים כפי שאנחנו מכירים אותם היום: יצרו את הרכב האטמוספירה, שינו את האקלים, יצרו את פוריות הקרקע, מחזורי החומרים, פירוק הפסולת, העשירו אותו במגוון ביולוגי שמקיים כל זאת.
2. כדור הארץ הוא מערכת סגורה, בעלת גבולות ברורים ומשאבים מוגבלים.
3. כדור הארץ נמצא בשינוי מתמיד באופן טבעי. עם זאת, הפעילות האנושית יוצרת תהליכי שינוי נוספים, בעלי עוצמה בקצב רב, אשר משנים את פני העולם ללא היכר.

4. האנושות חייבת להכיר בעובדה כי הפעילויות שלה (הכלכלית, החברתית ועוד) מושתת, מסובסדת ומוגבלת על ידי הביוספירה.

עובדות אלו עוזרות לנו להבין ולהפנים עד כמה מוטעית התפיסה הרווחת בחברה שלנו, שצמיחה כלכלית היא שהדבר הטוב ביותר שיכול להיות. האקולוגיה לוקחת בחשבון שהצמיחה הזו מבוססת על משאבי טבע במערכת סגורה ובלעת מגבלות, בה הרכבים משפיעים ותלויים אחד בשני.

ובחזרה אל סיפורו של הזרחן, אשר גם לו יש חלק במשבר הסביבתי, בהיותו משאב מתכלה, שנעשה בו שימוש בלתי מושכל. ניצב בפנינו אתגר להמשיך ולקיים את החברה שלנו ולספק את הצורך שלה במזון, מבלי לחרוג מהגבולות של המערכת האקולוגית ומבלי לפגוע בה. הדבר יתאפשר במידה נצליח לשנות את התנהגותנו בעזרת הכללים הבאים :

1. מניעת פגיעה במשאבי טבע ובשירותי המערכת – נעשה שימוש מושכל בזרחן, תוך התחשבות בכל המרכיבים הן של הסביבה והן של החברה. ובזכות זה הימנעות מפגיעה באפשרות של הדורות הבאים לחיות כמונו על פני כדור הארץ.

2. שמירה על שוויון ועל חלוקה צודקת של המשאבים בין בני אדם – מתן אפשרות לכל אוכלוסיות העולם גישה אל מזון באיכות וכמות ראויים. (גבריאלי, ח"ת)

גישת הקיימות מציעה לאמץ דרך חיים שונה מזו שאנו רגילים לנהל ומזמינה אתנו לשנות את אורח חיינו. עבודה זו מעלה לסדר היום את הקונפליקט הקיים בין הצורך הקיומי שלנו בהשגת מזון, הדרך בה אנו עושים זאת והמחיר הסביבתי שכולנו משלמים גם כיום וגם זה שנשלם בעתיק הלא כל כך רחוק.

סיכום

תהליך הכתיבה של עבודה זו החל מנקודת מבט מאוד צרה, על בעיית הזרחן – כאשר המיקוד היה על הנזק למערכת האקולוגית. המחשבה שהנחתה אותי היא שכאשר מדובר בסביבה, מדובר בבעלי חיים וצמחים. אך במהלך הכתיבה למדתי רבות על מושג הקיימות והגעתי לתובנות חדשות. הבנתי שגם החברה שלנו היא חלק מהסביבה, שקיימות מתקיימת לא רק בינינו לבין הצמחים והחיות, אלא גם בין בני אדם וחלק ממנה היא החלה של ערכי של מוסריות ודאגה לאחר תוך התחשבות גם בצרכיו. למדתי על חשיבות של יוזמה חינוכית. יאנוש קורצ'אק אמר : "הדואג לימים זורע חיטים, הדואג לשנים נוטע עצים, הדואג לדורות מחנך אנשים". אם אני רוצה לשנות את פני הדברים, אתחיל כאן והיום. ביוזמה הקטנה שלי, שמטרתה לא רק ללמד ילדים מדעים, מטרתה היא לשנות את נקודת המבט שלהם ושל סביבתם על כל מה שיש סביבנו. את השינוי אני מתחילה מעצמי, מהמשפחה שלי, מהתלמידים שלי, בתקווה שעוד ועוד מעגלים סביבנו יושפעו ואט אט המציאות של היום תשתנה.

אטינגר, ל' (2012). על הקיימות. בתוך ג' בנשטיין (עורך), *קיימות: חזון, ערכים, יישום* (עמ' 17-18). ירושלים:

המשרד לאיכות הסביבה ומרכז השל.

באומן, ז' (2004). גלובליזציה : ההיבט האנושי. רעננה: הקיבוץ המאוחד, (עמ' 118-123)

גבריאלי, י (ח"ת). *מדע, תרבות וחינוך לקיימות*. אוחר מתוך :

<http://campusteva.tau.ac.il/content/teaching-resources/education-for-sustainability>

מרכז החקר והמידע של הכנסת (2013). כריית פוספטים בשדה בריר. אוחר מתוך:

<https://www.knesset.gov.il/mmm/data/pdf/m03316.pdf>

משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים (2011). לימודי מדע וטכנולוגיה

ללומדים עם צרכים מיוחדים. אוחר מתוך: <http://cms.education.gov.il/NR/rdonlyres/39427693->

[AC0A-45AE-987D-B9A397ECA0BC/135196/Mavo.pdf](http://cms.education.gov.il/NR/rdonlyres/39427693-AC0A-45AE-987D-B9A397ECA0BC/135196/Mavo.pdf)

משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים (2013). המלצות הועדה הבין משרדית לבחינת משק הפוספטים. אוחר מתוך:

<http://energy.gov.il/AboutTheOffice/SpeakerMessages/Documents/%D7%93%D7%95%D7%97%20%D7%95%D7%A2%D7%93%D7%AA%20%D7%9E%D7%A9%D7%A7%20%D7%94%D7%A4%D7%95%D7%A1%D7%A4%D7%98%D7%99%D7%9D.pdf>

סודרי, ד'. (2007). סלעי הפוספט: עבר גיאולוגי, הווה כלכלי, ועתיד לא-ברור. **גליליאו**, 103, 36-47.

אוחר מתוך www.nobarir.com

Cordell, D. & White, S. (2011). Peak Phosphorus: Clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. *Sustainability*, 3, 2027-2049. doi:10.3390/su3102027

Cordell, D., Drangert, J. O. & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007). *Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use*. Retrieved from: fao.org/docrep/fao/010/a1595e/a1595e03.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). *FAO Statistical Pocketbook World Food and Agriculture*. Retrieved from www.fao.org/3/a-i4691e.pdf

Frumina G. T. & Gildeeva, I. M. (2014). Eutrophication of Water Bodies – A Global Environmental Problem.

Ng, M., Fleming, T., Robinson, M., Thomson, B., Graetz, N., MargonoGlobal, C., ... Gakidou, E. (2014). Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, 384 , (9945) , 766 – 781. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60460-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60460-8)
Russian Journal of General Chemistry, 84, (13), 2483–2488.

Retrieved from: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=8204224d-a05d-4903-abc9-128e315a52a8%40sessionmgr4006&vid=12&hid=4109>