

18/11/2010



יישום אפר תחתי כמצע גידול קרומים ביולוגיים במערכת לטיפול בשפכים

הצעת מחקר מתוקנת לאחר הערות ועדת ההערכה

יעקב אנקר, מו"פ אזורי השומרון ובקעת הירדן,
קריית המדע אריאל, מיקוד: 40700 טלפון: 03-
9371490 פקס': 03-9765725 נייד: 054-
3394792 דוא"ל: kobia@ariel.ac.il

יישום אפר תחתי כמצע גידול קרומים ביולוגיים במערכת לטיפול בשפכים

הצעת מחקר מתוקנת לאחר הערות ועדת ההערכה

רקע

בעשור האחרון מסתמנת מגמת מדבור באזורי אקלים סוב-טרופיים וטרופיים ובכללם ישראל. תהליך זה צפוי לגרום להידלדלות מקורות המים הטבעיים באזורנו. על מנת לשמור על רמת החיים המקובלת, קיום חקלאות והמשך פיתוח אזורי יש חשיבות לפיתוח מקורות מים חלופיים. לפי סיכומי ועדת ענבר (מדינת ישראל, 2010) כמות הקולחים השנתית בישראל (עד 2010) עומדת על 525 מלמ"ק ותקן איכות קולחים מומלץ כאשר יש חשש לחלחול למי התהום הוא 10-20 (5-10 להשקיה ללא הגבלה). כמות השפכים הלא מתועלים במרחב שומרון עומדת כיום על 74 מלמ"ק (כהן וחובריו, 2009), ברמות איכות אשר נעות מ 20-30, ועד לחלק ניכר אשר אינו מטופל כלל. קולחים אלו מהווים סיכון לזיהום מאגרי מים טבעיים בכלל ולאקוה ההר בפרט. הסכנה גדלה בשל אופיו הקרסטי של אזור ההזנה, ריבוי ההעתקים בשדרת ההר והעדר כיסוי קרקע באפיקי הנחלים בהם זרימת הקולחים הנה ישירות על סלעי האקוה (גבירצמן, 2002). בעיה נוספת אשר אופיינית לאופי ההתיישבות הכפרי של אזורי יהודה, שומרון ובקעת הירדן היא נפחי ביוב קטנים אשר תיעולם למרכזים אזוריים לטיפול בשפכים אינו כלכלי.

המו"פ האזורי השומרון ובקעת הירדן בשיתוף עם המרכז האוניברסיטאי אריאל בשומרון הקימו מתחם לפיתוח שיטות לטיפול והשבה של שפכים. השיטות שיפותחו בפרויקט יאפשרו טיפול בקולחים סניטריים בקולחים תעשייתיים ובתשטיפים ממשטחים עירוניים, תעשייתיים וחלקות חקלאיות. המערכות המתוכננות פועלות במתודת עצימות נמוכה וקיימות גבוהה אשר תאפשר את הפעלתם לאורך זמן בהשקעה מינימאלית.

השבת קולחים קרוב למקום ייצורם תתרום לשיפור ושימור סביבת האדם, מניעת זיהום מי תהום ואפשרות לפיתוח ענפי חקלאות מסורתיים (גידול פרחים, גפנים, זיתים, דגים) וחדשניים (הפקת אנרגיה ירוקה). מערכות אלו מתוכננות לאחר פיתוחן להיות מיושמות במרחב השומרון ולמנוע בכך את המשך סיכון אקוה ההר. בנוסף, מערך המתקנים שייבנה ישמש לאורך זמן כמרכז ללימוד ופיתוח

טכנולוגיות טיפול בשפכים ושל תחומים נלווים. גידול מיטבי של הקרומים הביולוגיים אשר מבצעים את פעולת הטיהור בחלק מהמתקנים מצריך יישום אגרנט בעל מסיסות נמוכה ושטח פנים גדול. אפר תחתי נמצא כבעל תכונות בסיסיות אשר עשויות לסווגו כמיטבי למטרה זו, בנוסף מתברר שיש לו תקן EPA למטרה זו (EPA Ohio_04_027). אם זאת, דרושה עדיין עבודה מחקרית שתבדוק את התאמת האפר התחתי לגידול קרומים ביולוגיים ותוודא היעדר שחרור של אלמנטים מזיקים בלמהאפר עצמו. בנוסף, יש לאפיין שיטות ליישום אפר תחתי במתקנים להשבת שפכים ולקבוע מתודת פיקוח ובקרה על מנת למנוע פגיעה אפשרית בסביבה ובדייריה.

הערכת פוטנציאל יישום אפר פחם לטיפול בשפכי יו"ש

בשלב המחקר הנוכחי נראה כי מ"ק אפר תחתי בקונפיגורציה של אגן ירוק משופעל מסוגל לטפל בנפח שפכים של כ 0.25 מ"ק ליממה (צח"ב בכניסה 300 מג"ל). לפי נתון זה בוצע נבנה מודל חיזוי ליישום אפר תחתי לטיפול בשפכי יו"ש. שתי הנחות פרלימינאריות בעלות השפעה מנוגדת על תצורת האפר שיידרש, נבחרו כך שהאחת עשויה לקזז את השנייה. לפיכך, הנחנו מחד שכל נפח השפכים יטופל על ידי מתקנים המכילים אפר תחתי ומאידך יישמר יחס החלוקה בין מקורות שפכים נקודתיים ללא נקודתיים. מערך הטיפול מתוכנן למרחב הכפרי בסדר גודל ישובי למרחב העירוני בסדר גודל שכונתי. השיפועים החריפים במרחב העירוני ומחסור במערכות ניקוז עירוניות (Shahin, 2009) מאפשרים בניית מתקנים שכונתיים להשבת השפכים לטובת הציבור כנגד הסנקתם למערכת איסוף עירונית. פיזור אתרי הטיפול יקטין את העומס על מערכת הניקוז הטבעית במקרה של חוסר השבה או השבה חלקית. במישור הכפרי (חקלאי) צפוי כל נפח השפכים המטופל לחזור לשימושים חקלאיים. חלוקת אוכלוסיית האזור לאוכלוסיה כפרית כנגד אוכלוסיה עירונית (ישובים מעל ל 10,000 נפש) מראה שהעירונית גדולה בכ 30% (1,000,000 ו 1,300,000 בהתאמה), מגמת ההגירה למרחב העירוני ואיחוד יישובים כפריים לרשויות עירוניות מצויים בעליה מתמדת (PCBS, 2007).

על פי ההנחה (התיאורטית) שאפר תחתי ישמש לטיפול והשבת שפכים ברמה השכונתית והכפרית אין למעשה השפעה לאופי ההתיישבות על הדרישה לאפר תחתי במערכות הטיפול בשפכי האזור.

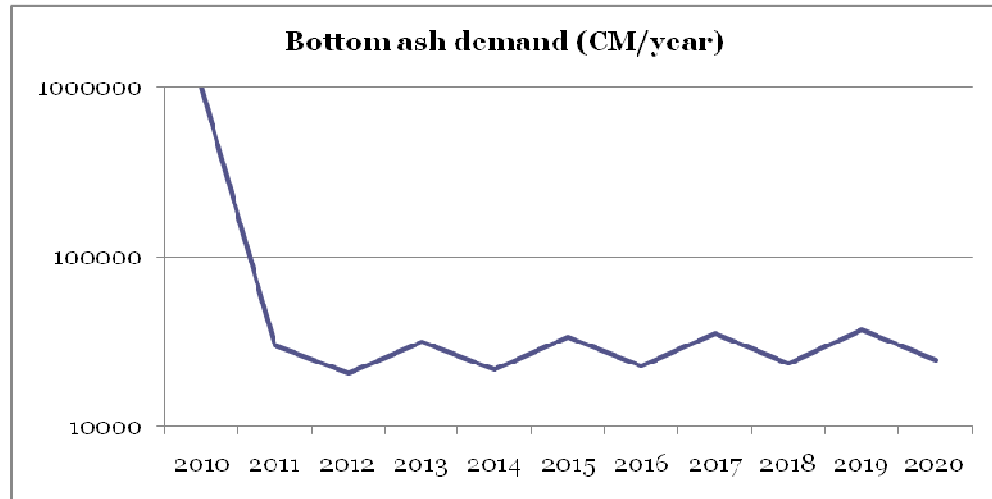
תנאים נוספים שנקבעו כחשובים למודל מוצגים בטבלה הבאה:

	Figure	Reference
Population 2010	2514845	https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/we.html
Population growth	1.02	https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/we.html
life st. improve.	1.01	https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/we.html
WW pers. Day (L)	100	Current research
WW released to nature 2008 (MCM)	74	Cohen et al 2008
WW per Pers. (MCM/year)	91.8	
WW released to infiltrated ratio	0.806172	
Effective WW Pers. (L)	80.61719	
Bottom ash (CM) per WW (1CM/day)	4	

על בסיס נתונים אלו התבצע חיזוי של משתנים שונים אשר שילובם למודל מאפשר צפי לדרישה לאפר תחתי. תוצאות המודל מוצגות להלן:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Population (head)	2514845	2565142	2616445	2668774	2722149	2776592	2832124	2888766	2946542	3005473	3065582
WW pers. (L/day)	100	101	101	102.01	102	103.02	103	104.03	104	105.04	105
WW (MCM/day)	0.251	0.259	0.264	0.272	0.278	0.286	0.292	0.301	0.306	0.316	0.322
WW(MCM/year)	91.8	94.6	96.5	99.4	101	104	106	110	112	115	117
WW required treatment (MCM/year)	73.4	75.7	77.2	79.5	81.1	83.5	85.2	87.8	89.5	92.2	94.0
Bottom ash demand (CM/year)	1005938	30379	20726	31923	21670	33541	22657	35238	23688	37018	24765

מתוך כך עולה כי על מנת לספק את הדרוש לטיפול בנפח השפכים הלא מטופלים דרושה כיום כמות של כמיליון מ"ק אפר תחתי בעיקר בגדלי אגרגט של 0.5-2 ס"מ ו 2-4 ס"מ. לנפח זה מתווספת כמות של בין 20,000 ל 30,000 מ"ק לשנה שמיועדים לפיתוח מתקנים חדשים בהתאם לגידול השנתי הצפוי בנפח השפכים (גרף 1).

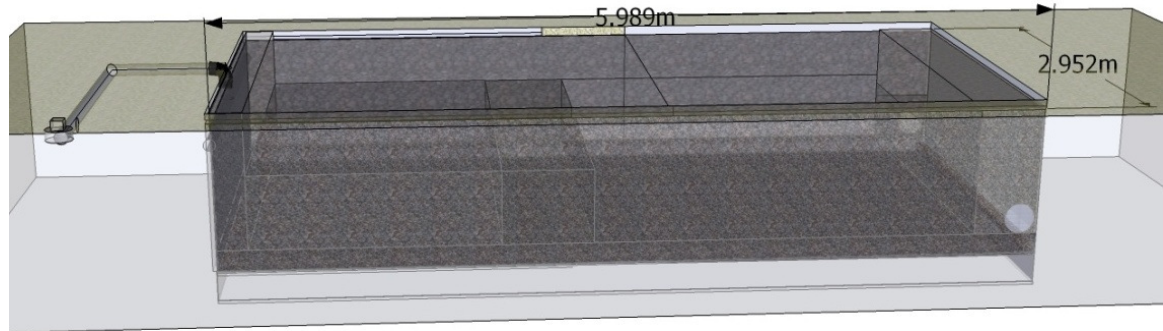


גרף 1: כמות האפר התחתית הדרושה לטיפול בשפכי יו"ש (צפי עד 2020)

תאור מתקני המחקר

אתרי הניסוי כוללים כיום שלוש בריכות שתיים ממוקמות בחלקו הצפוני של המרכז האוניברסיטאי אריאל בשומרון אשר נמצא בצידה המזרחי של העיר אריאל. מקור השפכים לבריכות אלו הוא מגורי הקמפוס האקדמאי אשר כוללים שני מבני מגורים לכ' 500 סטודנטים. נפח השפכים המיוצר כיום עומד על כ 60 מ"ק ליום עם פוטנציאל לכ 100 מ"ק ליום עם השלמת בניית הבניין השלישי. בריכה שלישית ממוקמת בשכונת קרוונים של הישוב רבבה שכוללת כ 10 מבנים, כאשר פוטנציאל השפכים הוא עד שלושה וחצי מ"ק ליממה (גודל המיכל הספטי). לאחר הוכחת ייתכנות המערכת והטכנולוגיה במתן פתרון מתאים (לתקני ועדת ענבר) לשפכים סניטאריים ואחרים; ייבנו לשם השוואת יעילות יישום אפר תחתית לטיפול בשפכים שתי בריכות נוספות בעלות מערך תפעול זהה לאגן הירוק אך במחצית מגודל המתקן הקיים. בבריכות אלו ייושם מצע גידול הקרומים הביולוגיים על חצץ קרבונטי באחת ואגרגט טוף באחרת. רמת הטיפול בכל אחת מהבריכות תיבחן ביחס לאחרות.

טל, 2010: אקוה מלאכותית משופעלת (ביו-פילטר, איור 1):



איור 1: מעל: תרשים המערכת

שמאל: צילום ביו-פילטר

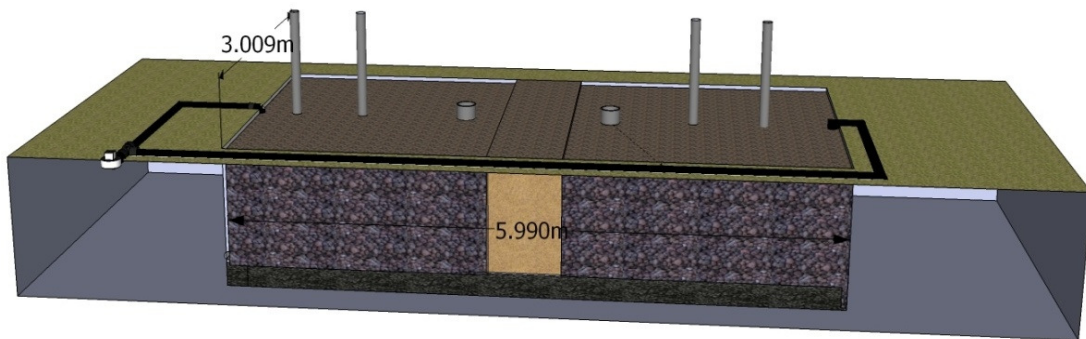


מערכת בנויה אגרגטים של אפר תחתי בשלוש פרקציות: 0-2 סמ' מסונן, 2-4 סמ' מסונן וחומר לא מנופה ולא מסונן (פורמישל וכלף, 2010). אגן הביופילטר מופרד לשני תתי אגנים על ידי מחיצת אפר תחתי לא מנופה (איור 1) כאשר בכל בריכה מרובדות שכבות אפר תחתי המשמשות כריאקטורים ביוכימיים שונים, בשכבה התחתונה מרובד אפר תחתי מסונן 2-4 סמ', השכבה מצויה מתחת למפלים ההרטבה ומשמשת כריאקטור אנוקסי אשר גם משמר את הפלורה לאורך תקופות יובש. מעל שכבה זו מרובדת שכבת הטיפול האירובי אשר בנויה מאגרגט אפר תחתי 0-2 סמ' ובינם לומשלים של אפר לא מנופה אשר מקטינים את דיפוזיית החמצן לריאקטור האנוקסי מחד ומונעים אידיו בתקופות היובש מאידך. הזרימה במתקן אופקית בין מקור ההזנה למוצא אך על ידי תכנית שאיבה ייחודית מתקיים סחרור של התמיסה גם באופן אנכי. במערך זה מספר מערכות בקטריאליות מקבילות (שטיין, 2010) משמשות כמערך טיהור ביולוגי באופן אשר מדמה למעשה את תהליך הטיהור הטבעי שעוברים שפכים או נגר, במהלך חלחול למי התהום ובזמן השהיה במאגר. שיפוע המערכת ובנייתה הפרטנית מאפשר את הגברת יעילות התהליכים ואת נפח המים המטופל.

המתקן מיועד לטפל בתשטיפים עונתיים כגון כבישים, מגרשי חנייה, גגות וגם שפכי חוות חקלאיות ובתי בד. יתרונות המערכת כוללים יישום פשוט אשר לאחריו תחזוקה מינימאלית וזמן חיים ארוך. בנוסף, עלויות אנרגיה זניחות ונקודת כשל גבוהה יחסית למערכות האחרות.

פורמישל וכלף, 2010: אגן ירוק משופעל תת קרקעי (איור 2):

טכנולוגיה מקובלת אשר תיושם כייחוס למערכות החדשניות המערכת כוללת שני אגני ביניים משוכבים באגרטים בנקבוביות גבוהה בחלקם העליון האירובי ונקבוביות בינונית לחלק התחתון האנוקסי. בעוד שהזרימה מפתחי הכניסה לפילטר היציאה הממוקם בין הריאקטורים היא אופקית סחרור התמיסה בין האגנים מוסיף רכיב זרימה אנכי. קונפיגורציה זו יוצרת מערכת של ריאקטורים אווירניים ודלי אוויר, כאשר תגבורה בצמחייה ייחודית מאפשר נטרול אלמנטים מסוימים תוך כדי פעילות בית השורשים.



איור 2: למעלה: תרשים המערכת

שמאל: צילום אגן ירוק תת קרקעי משופעל



מערכות מעין זו מופעלות במספר אתרים ברחבי הארץ באישור הגופים הממשלתיים האמונים על הנושא. במספר מחקרים (Milstein, 2010) הוכחה יעילות יישום אגנים ירוקים לטיפול בשפכים.

אגני יחוס במילוי אגרטים קונבנציונליים (חצץ קרבונטי וטוף) יבנו בשלב המחקר השני על מנת לבדוק את יעילות האפר התחתי בקונפיגורציה של אגן ירוק וביופילטר לעומת המערכות שנבדקו והוכחה יעילותן, מתאר זה יאפשר מתן מדד כמותי לאיכות יישום אפר תחתי ביחס למערכות

הקיימות. תוצאות ראשוניות של מדדי יעילות המערכת מראים כי המערכת מנחיתה את העומס הביולוגי מערך צח"ב של 300 מג"ל בכניסה אל פחות מ 10 מג"ל ביציאה מהמתקן וריכוז מוצקים מרחפים אשר נמוך אף מערך זה. ערכים אלו מתאימים ליעדי המערכת ומאפשרים שחרור למערכות ניקוז טבעיות והשבה לרוב המטרות.

אגן ירוק תת קרקעי אופקי גרביטציוני(איור 3):

האגן אשר נבנה בשכונת הקרוונים של הישוב רבבה מהווה מעין ניסיון (קהילתי) משותף של המועצה האזורית שומרון ושל המו"פ האזורי שומרון ובקעת הירדן. לשכונה הנדונה אין פתרון ביוב קיים או מתוכנן ומתוך כוונה לתת פתרון בטווח זמן בינוני עד לפיתוח תשתיות הביוב הקבועות לשכונה מיושם אגן ירוק תת קרקעי גרביטציוני. המתקן נבנה במימון מסגרת של המועצה האזורית, על ידי חברי קהילת רבבה כאשר המו"פ מבצע את בדיקות איכות הקולחים ועל עמידת תוצרי המתקן בתנאי החוק אמון תאגיד איכות הסביבה שומרון. האגן נאטם ועומד בפני מילוי באגרנטים של אפר תחתי בשלושה גדלים, תכנון ופיקוח הביצוע הינם באחריות ד"ר אבי דפני ותלמידו גלעד סלומה. בניית המערכת הסתיימה זה מכבר ובימים אלו החל ניטור המערכת.



איור 3: צילום האגן הירוק לפני המילוי באפר תחתי

מערך ותכנית המחקר

מטרת המחקר בכל אחד מהמתקנים היא בראש ובראשונה להגיע למתודות בניה והפעלה מיטביות אשר יביאו את השפכים לרמת טיפול שתאפשר השבה ללא הגבלה (מדינת ישראל, 2010). לשם כך יופעל המחקר בשני שלבים:

שלב ראשון (שנה):

לשם בחינת יעילות אפר תחתי כמצע לגידול קרומים ביולוגיים במערכות טיפול בשפכים, יבוצעו פעולות זהות בכל אחד מהמתקנים. המשתנים שנבדקים נחלקים למספר קבוצות: א. מדדי איכות שפכים ב. ניטור תרומת אלמנטים מאפר הפחם לתמיסה המימית ו ג. אפיון המיקרו-פלורה אשר מתפתחת על סובסטרט האפר התחתי. בנוסף, בוצעה בדיקת תפרוסת גודל גרגר לכל אחת

מפרקציות האפר התחתי שסופקו על מנת לחשב משתנים הנדסיים-פיזיים של המתקנים. במסגרת כל אחת מהקבוצות יבוצעו בדיקות שתוצאותיהן יאפשרו להעריך את עמידת המתקן ואפר הפחם בתקנים השונים (מדינת ישראל 2010).

א. מדדי איכות השפכים

אפיון פעולת המתקנים ומידת יעילותם לטיפול בשפכים יבוצעו לפי המתודה הבאה:

בכל נקודת זמן קבועה תידגם התמיסה בכניסה למתקנים, לאחר הטיפול במתקן ובשתי הבריכות אשר באריאל גם ממספר שלבים במהלך הטיפול במתקן. הבדיקות אשר יבוצעו במסגרת זו כוללות: צח"ב, צח"כ, ריכוז מוצקים מרחפים ובדיקות בקטריאליות (ראה טבלה).

ב. ניטור תרומת אלמנטים מאפר הפחם לתמיסה המימית.

בדיקת תרומה אפשרית של אלמנטים כימיים המאפר התחתי לתמיסה המימית תיבדק בדרך הבאה: ברזולוציה שבועית תילקח דגימת מים מהכניסה והיציאה מכל מתקן דוגמאות אלו יבדקו לכימיה כללית ומתכות כבדות אשר עשויות להשתחרר האפר התחתי, כמו כן, אחת לחצי שנה תיערך סריקה מפורטת של מיקרו אלמנטים. בדיקה זו תקבע למעשה את האלמנטים שינטרו ברזולוציה שבועית.

ג. אפיון המיקרו-פלורה אשר מתפתחת על סובסטרט האפר התחתי.

אפיון אוכלוסיות המיקרו אורגניזמים יתבסס על:

דגימה של המערכות בפיזומטרים הממוקמים באתרים פעילים שונים בריאקטור, גידול תרביות ואפיון המושבות השונות באופן ויזואלי ובמידת הצורך עם קיטים לאפיון DNA.

טבלת פירוט הבדיקות

בדיקה	מחזור דגימה {שבועות}	מספר דוגמאות
צח"ב	1	12
צח"כ	24	12
מוצקים מרחפים	1	12
חנקן אורגני	12	12
קוליפורמים	4	6
הגדרת ביו-פילם	12	10
סריקת מיקרו-אלמנטים	24	6
כימיה כללית	1	6
גרנולומטריה	חד פעמי	6

שלב שני (שלוש שנים):

לאחר הוכחת יכולת המערכות לעמוד בתקנים הדרושים, יבוצע בשלב זה מעקב אחר משתני האיכות שצוינו וזאת על מנת לוודא את הדירות איכות הטיפול לאורך זמן, ולהעריך את יעילות המערכת כתלות בעונות השנה ומשתנים אחרים שייבחנו. על מנת לבצע מבחן השוואתי של אגרגט אפר הפחם ביחס לאגרגטים קיימים יוקמו שתי בריכות ייחוס בקונפיגורציית אגן ירוק משופעל אך בגודל מוקטן (חצי מגודל האגן הקיים) אשר יכילו האחת חצץ קרבונטי והשנייה אגרגט טוף. הבריכות יידגמו במקביל לאגן הירוק עם אגרגט האפר התחתי וייבחנו לפי הפרמטרים שהוזכרו לאורך שלוש שנים האחת היחס לאחרת וביחס לתקני איכות השפכים.

סיכום הצעת הפרויקט.

במסמך זה הוצגו תיאור המתקנים שבהם מיושם אפר תחתי, סקירת ההשפעות הסביבתיות והמערך הניסויי שכולל פיתוח וניטור. המחקר מתבסס על עבודת סטודנטים אשר יציגו את תוצאותיו גם כחלק מהדרישות לקבלת תואר. כל מתקן מוגדר כפרויקט עצמאי וככזה מלווה בחוקר מהמו"פ האזורי וחוקר נוסף מהמרכז האוניברסיטאי, אשר מנחים את הסטודנטים בשלבי הפרויקט השונים. תכנון זה מבטיח לוגיקה מחקרית שבסופה דיווח מסודר של מסקנות המחקר.

תקופת המחקר נקבעה לשנה לסיום השלב הראשון ועוד שלוש שנים לנטור השוואתי של מתקני המערכת. פרקי זמן אלו נקבעו על מנת לוודא הגעה למצב יציב הן באיכות קולחים עקבית והן בהערכת שחרור אלמנטים כימיים מהתווך הגרנולרי של האפר התחתי. הצלחת סדרת מחקרים אלו ובכלל זאת פיתוח המתקנים ומתודות הפעולה יאפשרו יישום אפר תחתי למטרות נטרול מזהמים בתמיסה מימית, באזור המחקר, במישור הלאומי ומעבר לכך.

רשימת ספרות:

- גבירצמן, ח., 2002, משאבי המים בישראל. יד בן צבי, ירושלים, ישראל.
- טל, מ., 2010, יישום פילטר ביולוגי מבוסס אפר פחם תחתי לטיפול בתשטיפי מרחבים עירוניים תעשייתיים ונקז כבישים. בקשה למימון מלגות סטודנטים ממנהלת אפר פחם במסגרת מחקר "יישום אפר תחתי כמצע גידול קרומים ביולוגיים במערכת לטיפול בשפכים".
- כהן א., סבר י., ציפורי א. ופיימן ד., 2008. ניטור נחלי יהודה ושומרון: הערכת מצב על בסיס מצאי הדיגום בשנת 2007. היחידה הסביבתית, רשות הטבע והגנים.
- מדינת ישראל, 2010. תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחין וכללים לטיהור שפכים) התש"ע – 2001. רשומות, 1036-1018.
- פורמישל, ד וכלף, א., 2010, יישום אגן ירוק משופעל, מבוסס אפר פחם תחתי לטיפול בשפכים סניטאריים ותעשייתיים. בקשה למימון מלגות סטודנטים ממנהלת אפר פחם במסגרת מחקר "יישום אפר תחתי כמצע גידול קרומים ביולוגיים במערכת לטיפול בשפכים".
- שטיין, מ., 2010, יישום אפר פחם תחתי כחומר קיבוע זאוליטי עבור תהליכי ביורמדיציה של פנול על ידי החיידק *Cupriavidus basilensis*. בקשה למימון מלגות סטודנטים ממנהלת אפר פחם במסגרת מחקר "יישום אפר תחתי כמצע גידול קרומים ביולוגיים במערכת לטיפול בשפכים".
- EPA. 2007. Beneficial Use of Nontoxic Bottom Ash, Fly Ash and Spent Foundry Sand, and Other Exempt Waste. Ohio EPA Policy DSW-0400.007, 14p.
- Milstein, D., 2010 The use of constructed wetlands as a technology for attenuation and elimination of human hormones, Ph.D. Thesis, Tel Aviv University.
- PCBS Census. 2007. Palestinian Central Bureau of Statistics. p.114. (Arabic)
- Shahin, K. 2009. Runoff quantities and quality in the city of Rammallah, Ph.D. Thesis, The Hebrew University, Jerusalem.