



**מינהל המחקר החקלאי**

# **אפר פחם תחתי לשימוש כמצע ריפוד לעופות - אספקטים סביבתיים**

דו"ח סופי

מוגש

**למינהלת אפר הפחם**

ע"י

**רמי קרן ולודמילה צחנסקי**

המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי

ספטמבר 2004

## מבוא

תנאי הסביבה בהם שרוי האפר המרחף מהווים גורם חשוב מאוד בקביעת מסיסות יסודות קורט השונים ממנו. (Fulekar and Dave (1991) בחנו את תנועת יסודות קורט Mn, Cr בעמודות אפר/קרקע ע"י שטיפה במי גשם חומציים. ריכוזי המתכות במי התשטיפ הצביעו על כך שה- pH הוא הגורם המרכזי המשפיע על השינויים בכמות היסודות הכללית והזמינה בקרקע. כמו כן, הצטברות היסודות בקרקע והתמוססותם לתשטיפ היתה תלויה בתכולת החומר האורגני, קיבול הקטיונים החליפים ותהליכי ספיחה ו/או שקיעה של אותן מתכות.

קליטת יסודות הקורט בצמחים או הגעתם למי תהום תלויה בזמינותם לצמח, בספיחתם למרכיבי הקרקע, ברטיבותה של הקרקע ובפרמטרים ההידראוליים שלה.

בורון נמצא בפיצלי הפחם בצורת בוראט ממוים (hydrousborate) מתחמצן לתחמוצת בורון ( $B_2O_3$ ) במהלך שריפת הפחם ומתרכז על שטח הפנים החיצוני של חלקיקי האפר (Dodus and Warren, 1987). מאחר ומרבית מתחמוצות הבורון נמצאות על שטח פני האפר הם חשופים למגע עם התמיסה וחלה התמוססות מידית. לעומת זאת התמוססותם של תחמוצות הכלאות בתוך חלקיקי האפר תלוי במבנה המעטפת החיצונית של החלקיק ובמידת חשיפת שטח הפנים הפנימי של האפר לתמיסה (Dodus and Warren, 1984; Elseewi et al., 1980). שיחרור בורון מאפר פחם מרחף תלוי ב- pH התמיסה השוטפת (Van der Sloot et al., 1980). מסיסות הבורון עולה עם הירידה ב- pH (Elseewi et al. 1980; Hollis et al., 1988, al., 1988). (Hollis et al., 1988) ו- (El-Mogazi et al., 1988).

אפר פחם תחתי דק, לאחר ניפוי, מיועד לשימוש כמצע ריפוד לעופות. על מנת לאפשר שימוש בחומר זה ללא חשש לזיהום הסביבה יש לבחון האם משתחררים יסודות רעילים מתערובת הרפד והתרכובות האורגניות ברמות המהוות סיכון לצמחים ולמקורות המים. כדי לבחון זאת בוצע ניסוי שטיפה בתנאי מעבדה המפורט בהמשך.

## חומרים ושיטות

הניסוי בוצע ב- 5 חדרי גידול מבוקרי טמפרטורה ואור בשטח של 6 מ"ר הנמצאים בפקולטה לחקלאות. כל חדר חולק לשני מדורים שווי שטח. במדור אחד פוזר רפד נסורת עץ (ביקורת) בעובי של 5 ס"מ ואילו במדור השני פוזר אפר פחם תחתי דק באותו עובי. אפרוחים זכרים מקו טיפוח קוב חולקו ל- 10 קבוצות שוות משקל. כל קבוצה בת 45 אפרוחים שוכנה במדור (סה"כ 10 מדורים). לאחר 40 ימי גידול הוצאו האפרוחים לבדיקות ואילו דוגמאות רפד מהמדורים השונים הוצאו ויובשו בתנור בטמפרטורה של  $60^{\circ}\text{C}$ .

התערובות שנבחנו:

1. אפר פחם תחתי דק עם זבל עופות לאחר הוצאתו מהלול.

2. נסורת עץ עם זבל עופות לאחר הוצעתו מהלול.

התערובות שנבחנו נארזו בעמודות פלסטיק ששטח החתך הפנימי שלהן הוא 21.6 סמ"ר. רפד תערובת של אפר פחם תחתי לשלשת (יבש תנור) נארז בעמודות (223 גר' לעמודה) ואילו רפד נסורת עץ מעובבת עם לשלשת (יבש תנור) נארז בעמודות לאותו נפח שבו נארזו העמודות של אפר הפחם התחתי עם הלשלשת (100 גר' לעמודה). לפיכך, צפיפות רפד אפר הפחם התחתי היתה גדולה פי 2.23 מזו של נסורת העץ. נסורת העץ שמשה כביקורת להשוואה משום שזה הרפד המקובל בגידול אפרוחים. הניסוי בוצע בשתי חזרות.

העמודות הורו במים מזוקקים ונשטפו באותם מים בשטף קבוע של 40 מ"מ לשעה באמצעות משאבה פריסטלית. התשטיפים נאספו במבחנות שהוצבו באוסף פרקציות. נפח התשטיפ במבחנה היה כ-20 מל. השטיפה במים המזוקקים באה לדמות מצב של שטיפה במי גשם.

ריכוז היסודות Cd, St, Ba, Mo, Zn, Mn ו-B בתשטיפים המשתחררים משני סוגי הרפד במהלך השטיפות נקבעו ב- ICP. ה-pH והמוליכות החשמלית של התשטיפים נקבעו במהלך השטיפה.

## תוצאות ודין

### רפד נסורת עץ

ה- pH והמוליכות החשמלית של התשטיפים כתלות בנפחם נתונים באיורים 1 ו- 2. ה- pH עלה בתחילת השטיפה ל- 9 וירד במהלכה ל- 8 והתייצב על ערך זה. המוליכות החשמלית של התשטיפים ירדה בתלילות מ- 16 dS/m ל- 5 dS/m עד לנפח תשטיפ של כ- 500 מל. אך עלתה ל- 10 dS/m בתחום שבין 500 – 800 מל. מנקודת מקסימום שהתקבל בתחום נפח תשטיפים זה חלה ירידה במוליכות החשמלית עם המשך השטיפה. עליה זו נובעת כנראה מפרוק חומר אורגני. חשוב לציין שהתשטיפים היו צלולים אך בצבע חום כהה המעיד על נוכחות תרכובות אורגניות בתשטיפים.

כמות הבורון שהתמוססה במהלך השטיפה לגרם מוצק (רפד נסורת עץ עם לשלשת) כתלות בנפח התשטיפ נתונה באיור 3. קצב התמוססות בתחילת השטיפה היה מהיר יחסית והוא התמתן כשנפח התשטיפ היה מעל 500 מל. ריכוזו בתשטיפ (איור 4) היה נמוך מ- 1 ppm כשנפח התשטיפ היה מעל 1000 מל. התוצאות מעידות שהבורון המצוי בתערובת קשור למוצקים בשני סוגי אתרים הנבדלים ביניהם בקצב שחרור הבורון לתמיסה. אתרים מהם משתחרר הבורון בקצב מהיר ואילו הסוג השני- מהם משתחרר הבורון בקצב איטי. כמות הבורון הכללית המשתחררת לתמיסה ממצע זה במהלך השטיפה היתה 2.87 mg/kg.

ריכוז היסודות אבץ, מנגן, סטרונציום ובריום נתונים באיורים 5 ו- 6, בהתאמה. חשוב לציין שריכוזי היסודות קדמיום ומולבדינום היו מתחת לרכוז הסף שניתן לקבוע ב- ICP. בעוד שריכוז האבץ בתשטיפ ירד באופן תלול עם השטיפה עד 500 מל. והמשיך לרדת לערכים נמוכים מ- 1 ppm באופן מתון, ריכוזם של יתר היסודות הראה עליה בריכוזם עם נקודת מקסימום כאשר נפח התשטיפ היה בסביבות 1000 מל. ומערך זה חלה שוב ירידה. הופעת פיק זה תואמת להופעת הפיק שהתקבל במוליכות החשמלית של התשטיפ. עובדה זו מעידה שהאתרים בהם נוכחים בורון ואבץ הם שונים מאלה של היסודות האחרים שנבדקו.

### רפד אפר פחם תחתי

ה- pH והמוליכות החשמלית של התשטיפים כתלות בנפחם נתונים באיורים 7 ו-8. ה- pH עלה בתחילת השטיפה מ- 7.7 באופן מתון ולא עבר את הערך 8.5. בניגוד לרפד נסורת עץ, המוליכות החשמלית התחילית של התשטיפים היתה נמוכה באופן משמעותי ( 5.5 dS/m ) ולערך נמוך של כ- 1 dS/m. המוליכות החשמלית התייצבה על ערך זה כשנפח התשטיפ הגיע ל- 600 מל.

תוצאות אלה מעידות שתכולת המומסים התורמים למוליכות החשמלית (בעיקר אלקטרוליטים) המצויים ברפד אפר פחם תחתי נמוכה מזו הנמצאת ברפד נסורת עץ לאחר 40 ימי גידול האפרוחים למרות העובדה שצפיפות רפד אפר הפחם התחתי היתה פי 2.23 גבוהה מזו של רפד נסורת העץ.

כמות הבורון שהתמוססה במהלך השטיפה לגרם מוצק (רפד אפר פחם תחתי עם לשלשת) כתלות בנפח התשטיפ נתונה באיור 9. קצב התמוססות הבורון היה מהיר יחסית והוא התמתן כשנפח התשטיפ היה מעל 1000 מל. ריכוזו בתשטיפ (איור 10) היה נמוך מ- 0.5 ppm כשנפח התשטיפ היה מעל 1000 מל. התוצאות מעידות שהבורון המצוי ברפד אפר פחם תחתי עם לשלשת מתמוסס באופן מתון יותר מזה שנמצא ברפד נסורת עץ עם לשלשת אך ריכוזו בתשטיפ לאחר מעבר של 1000 מל. היה נמוך יותר מהערך שנמצא ברפד נסורת עץ. שני רפדים אלה נבדלים ביניהם גם באופי האתרים בהם מצוי הבורון. בעוד שברפד נסורת עץ עם לשלשת הבורון מצוי כנראה בשני סוגי אתרים הנבדלים ביניהם בקצב שחרור הבורון לתמיסה, אופי שחרורו של הבורון מאפר הפחם התחתי לתמיסה מעיד על כך שהבורון המסיס מצוי בסוג אתר אחד. ההנחה היא שהבורון ברובו קשור לאפר הפחם התחתי. חלקו הוא בורון המצוי באופן טבעי באפר וחלקו האחר עבר מהלשלשת לאתרי הספיחה המצויים על פני חלקיקי אפר הפחם התחתי משום האפיניות הגבוהה יותר של אפר הפחם התחתי לבורון. הנחה זו צריכה להיבחן.

ריכוז היסודות אבץ, מנגן, סטרונציום ובריום נתונים באיורים 11 ו-12, בהתאמה. חשוב לציין שגם במקרה זה ריכוזי היסודות קדמיום ומולבדינום היו מתחת לריכוז הסף שניתן לקבוע ב-ICP. בעוד שריכוז האבץ בתשטיף ירד באופן תלול עם השטיפה עד 500 מל. והמשיך לרדת לערכים נמוכים מ-  $0.1 \text{ mg}$  באופן מתון, ריכוזו של המנגן ירד באופן תלול עם תחילת השטיפה ונשאר בתחום שבין 1 ל-  $2 \text{ mg}$  מעל נפח תשטיף של כ- 400 מל. מאחר שדעיכת ריכוזי היסודות בתשטיפים כשבוחנים אפר פחם תחתי בלבד היא רציפה (ראה דוחו"ת קודמים) אזי המסקנה המתקבלת היא שהעליה בריכוז המנגן מקורה מהתפרקות השלשלת במהלך השטיפה. אותה תופעה התקבלה גם עבור רפד נסורת עץ עם לשלשלת (איור 5).

בעוד שריכוזם של היסודות סטרונציום ובריום בתשטיפי רפד נסורת עץ עם לשלשלת אופינו בפיק במהלך השטיפה (איור 6) דעיכת ריכוזי יסודות אלה בתשטיפים מרפד אפר פחם תחתי היתה רציפה וחדה עד לנפח של 500 מל. והריכוזים נשארו קבועים (נמוכים מ-  $0.5 \text{ mg}$ ) בהמשך השטיפה (איור 12).

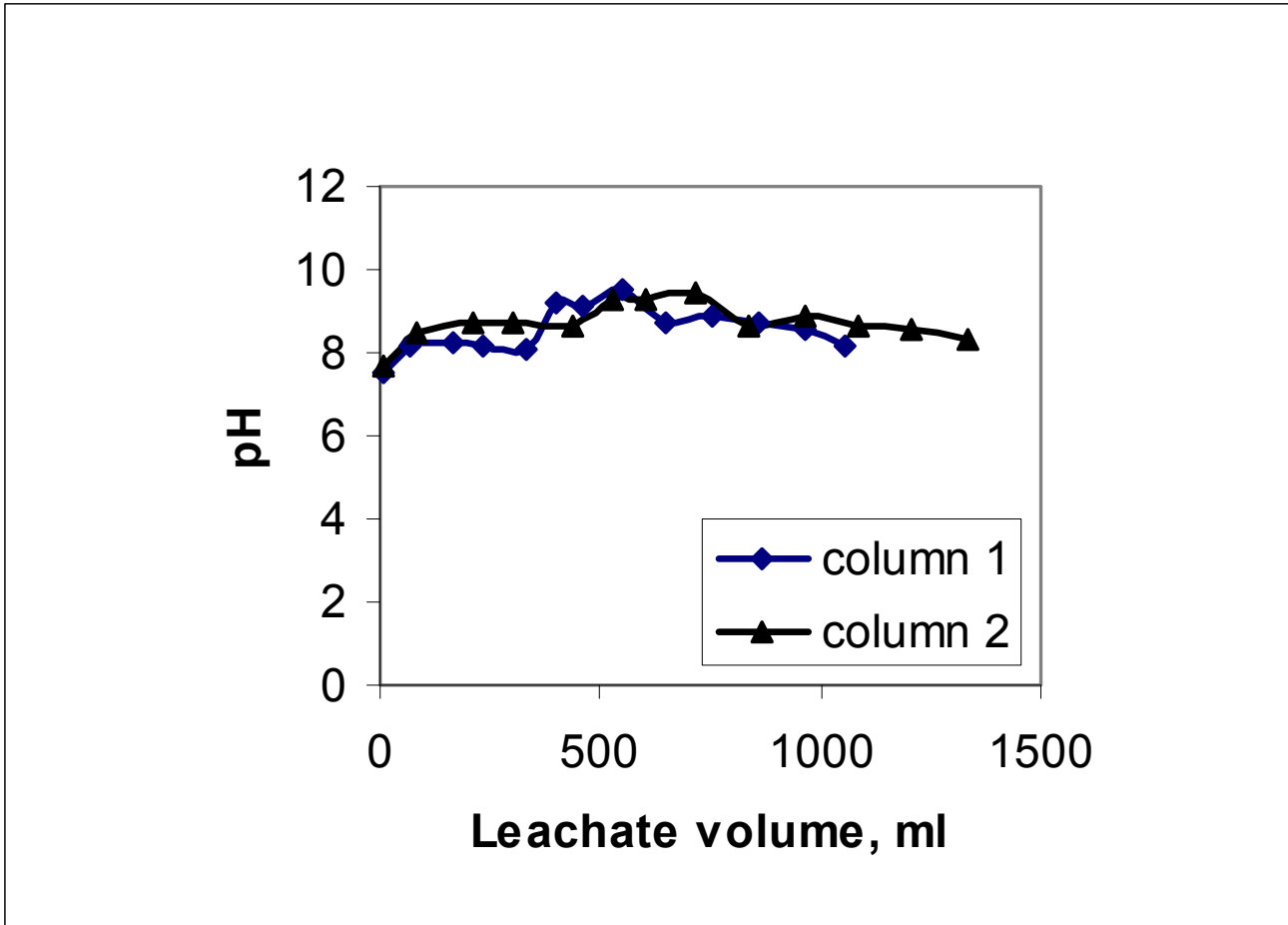
## מסקנות

1. תכולת המומסים התורמים למולכות החשמלית (בעיקר אלקטרוליטים) המצויים ברפד אפר פחם תחתי נמוכה מזו הנמצאת ברפד נסורת עץ לאחר 40 ימי גידול האפרוחים למרות העובדה שצפיפות רפד אפר הפחם התחתי היתה פי 2.23 גבוהה מזו של רפד נסורת העץ.

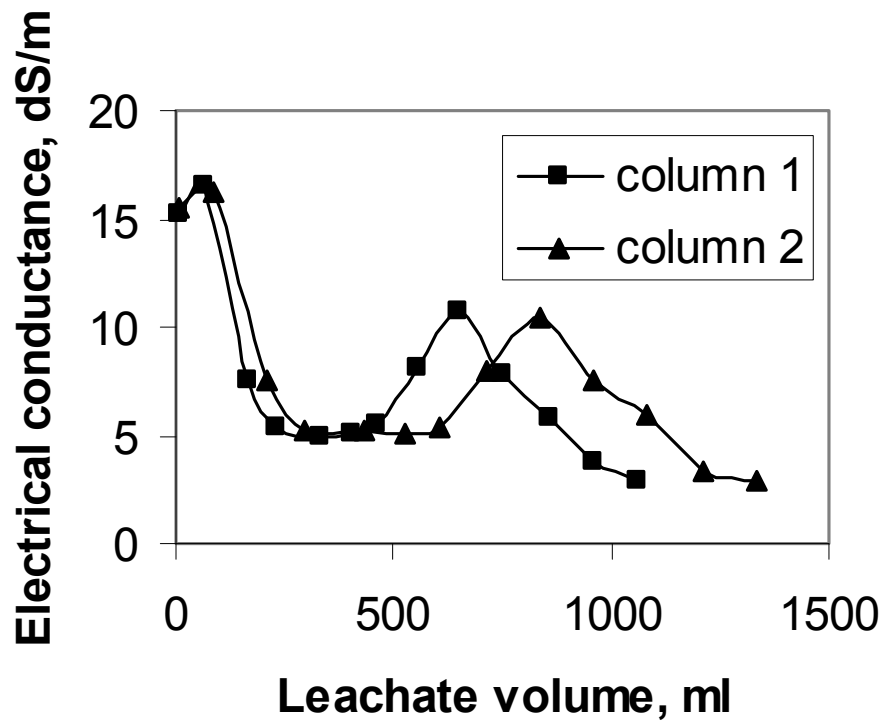
2. הבורון המצוי ברפד אפר פחם תחתי עם לשלשת מתמוסס באופן מתון יותר מזה שנמצא ברפד נסורת עץ עם לשלשת אך ריכוזו בתשטיף לאחר מעבר של 1000 מל. היה נמוך יותר מהערך שנמצא עבור רפד נסורת עץ.
3. בעוד שברפד נסורת עץ עם לשלשת הבורון מצוי כנראה בשני סוגי אתרים הנבדלים ביניהם בקצב שחרור הבורון לתמיסה, אופי שחרורו של הבורון לתמיסה מרפד אפר הפחם התחתי עם לשלשת מעיד על כך שהבורון המסיס מצוי בסוג אתר אחד.
4. כמות היסודות אבץ ומנגן המתמוססת מרפד אפר הפחם התחתי עם הלשלשת היתה נמוכה יותר מזו המתמוססת מרפד נסורת עץ עם לשלשת.
5. ריכוזי היסודות קדמיום ומולבדינום בתשטיפים של אפר הפחם התחתי עם לשלשת ושל נסורת עץ עם לשלשת היו מתחת לרכוז הסף שניתן לקבוע ב-ICP .
6. מידת זיהום הסביבה של רפד אפר פחם תחתי עם לשלשת ביסודות שנבחנו היתה קטנה מזו של רפד נסורת עץ עם לשלשת.

### רשימת ספרות

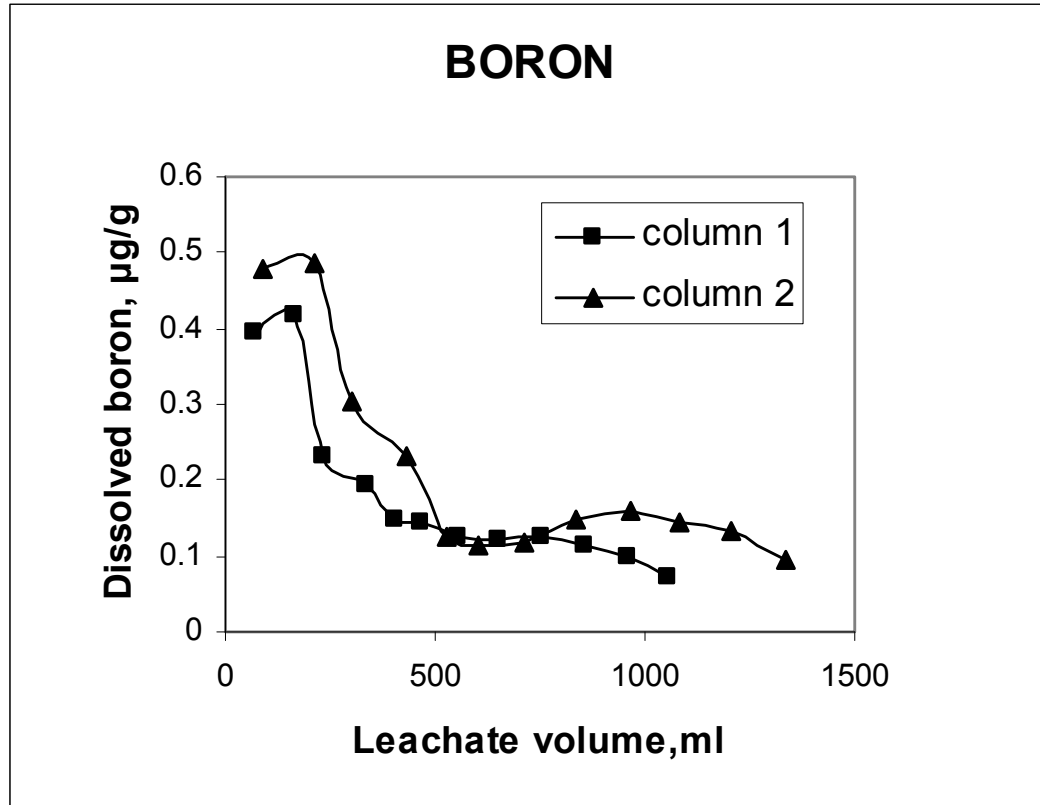
1. Dodus, M.J. and Warren, C.J. 1984. Weathering processes in relation to leachate properties of alkaline fly ash. J.Environ. Qual. 13:530-538.
2. El-Mogazi, D., D.J. Lisk and L.H. Weinstein, 1988. A review of physical, chemical and biological properties of fly ash and effects on agricultural ecosystems. Sci. Total. Enviro.,74:1-37.
3. Elsewi, A.A.,A.L.Page and S.R. Grimm, 1980. Chemical characterization of fly ash aqueous systems. J. Environ. Qual.,9(3):424-428.
4. Fulekar, H.,and J.M.Dave. 1991 . Release and behavior of Cr, Mn, Ni, and Pb, in a fly ash/soil/water environment: Column experiment. Inter. J.Environ. Studies. 38: 281-296.
5. Hollis, J.F., R. Keren and M. Gal. 1988. Boron release and sorption by fly ash as affected by pH and partical size. J. Environ. Qual. 117:181-184
6. רשף. ג. 1998. השפעת אפר פחם מרחף על זיהום קרקע ומקורות מים ביסודות קורט. עבודת גמר לקבלת תואר מוסמך. אוניברסיטה העברית, ירושלים.



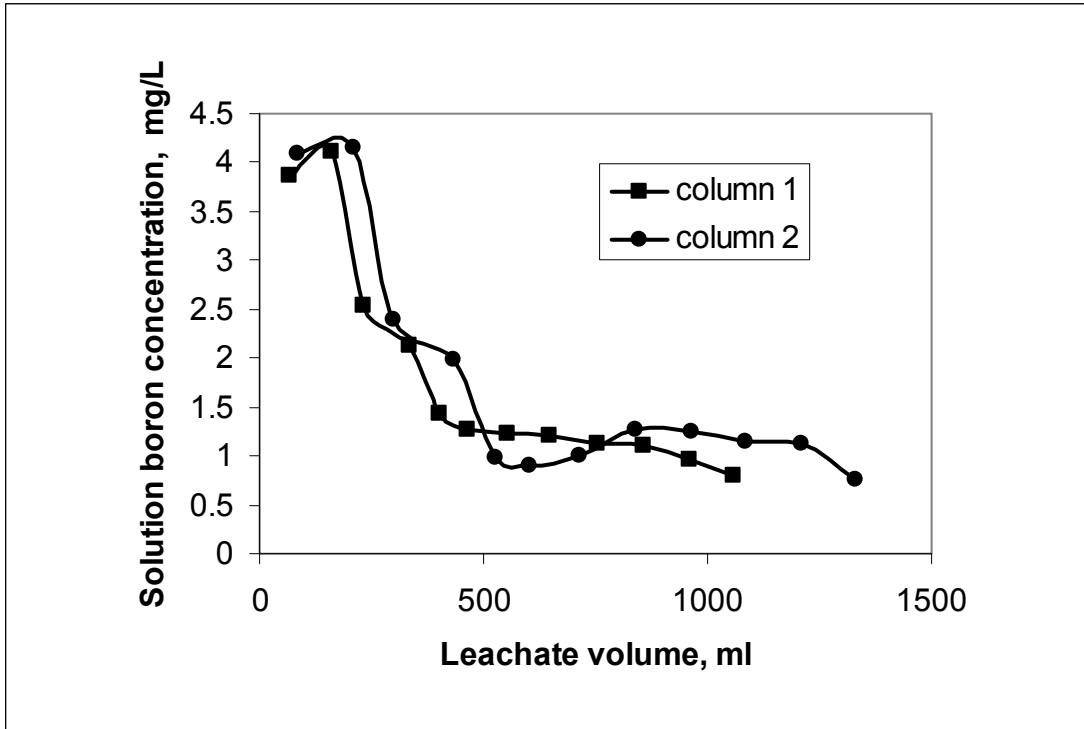
איור 1: pH תמיסת התשטיף כתלות בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד נסורת עץ עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



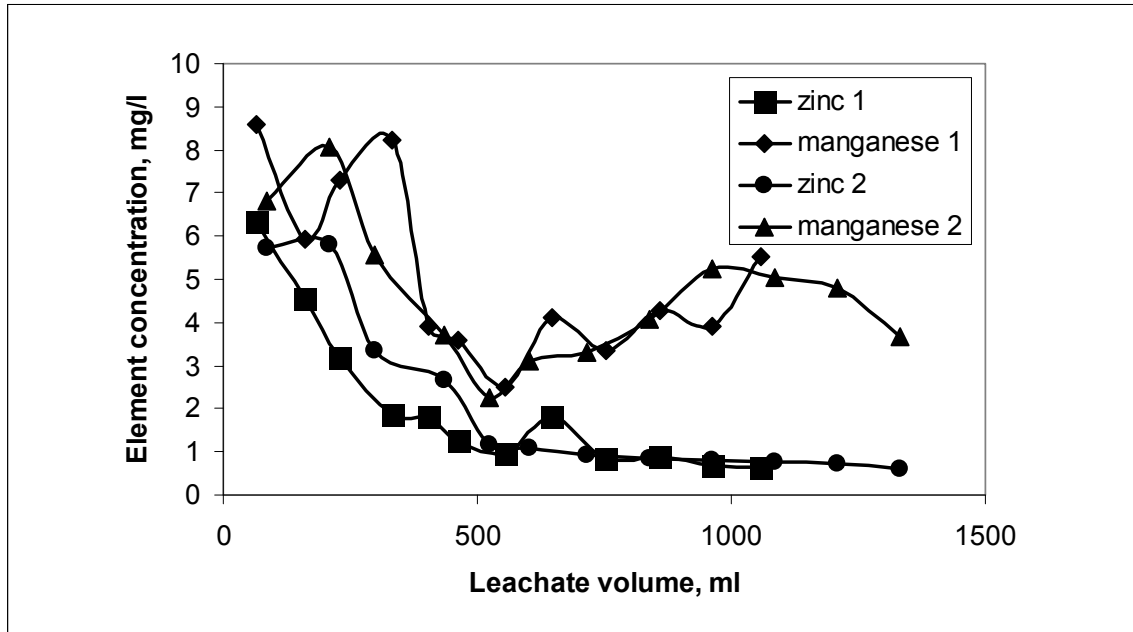
איור 2: מוליכות חשמלית של תמיסת התשטיף כתלות בנפח במעבר מים מזוקקים דרך רפד נסורת עץ עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



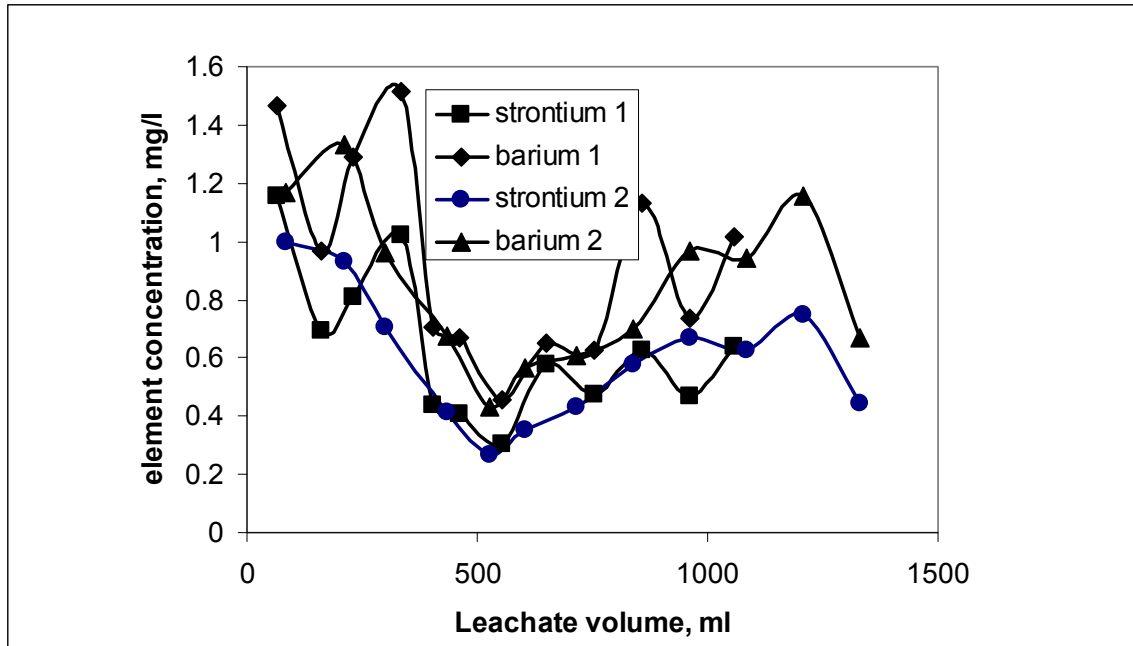
איור 3: כמות הבורון המתמוססת מהרפד במעבר מים מזוקקים  
דרך רפד נסורת עץ עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח  
של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



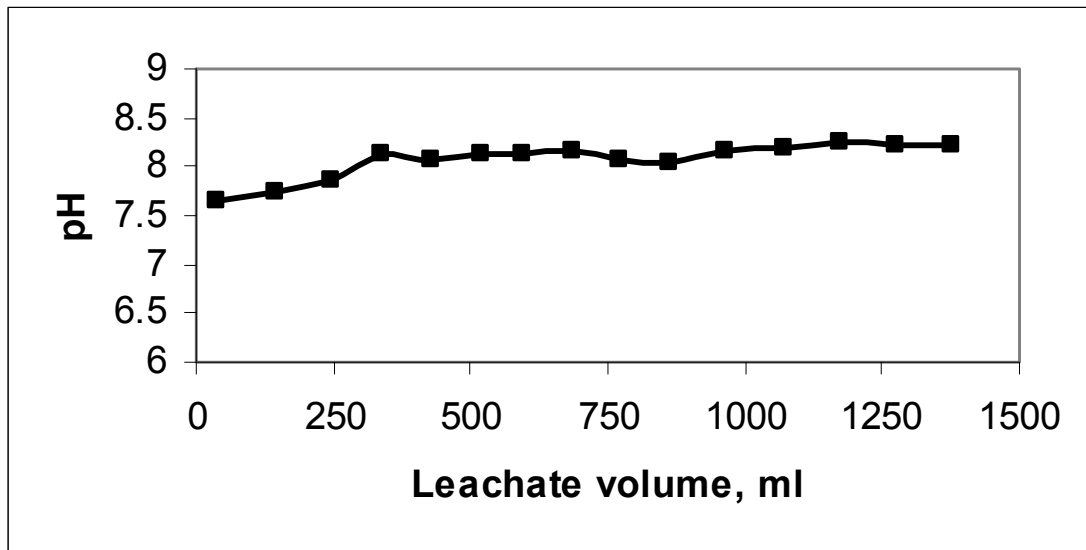
איור 4: ריכוז הבורון בתמיסת התשטיף כתלות בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד נסורת עץ עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



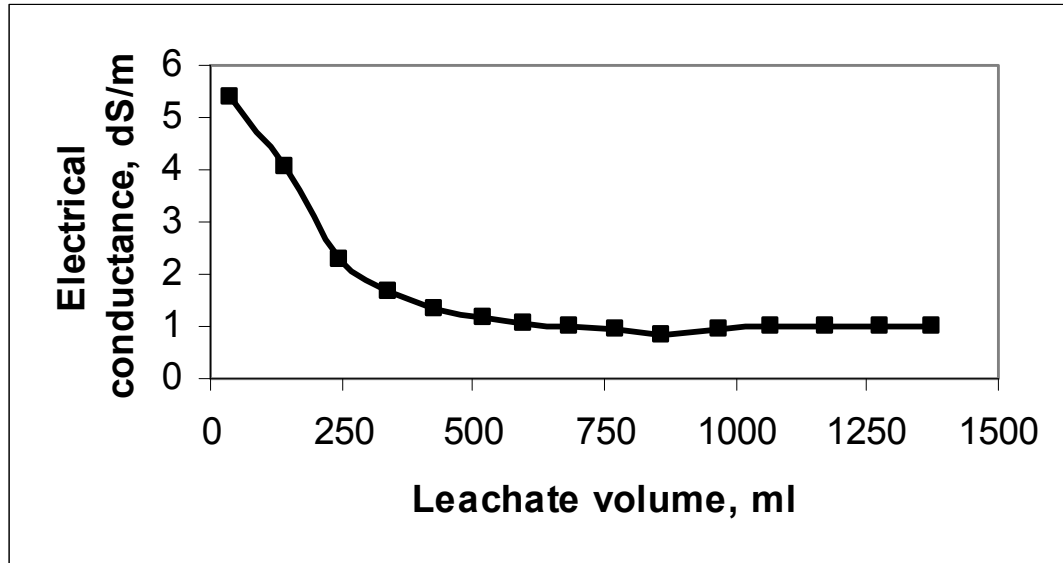
איור 5: ריכוז היסודות אבץ ומנגן בתמיסת התשטיף כתלות  
 בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד נסורת עץ עם לשלשת  
 לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



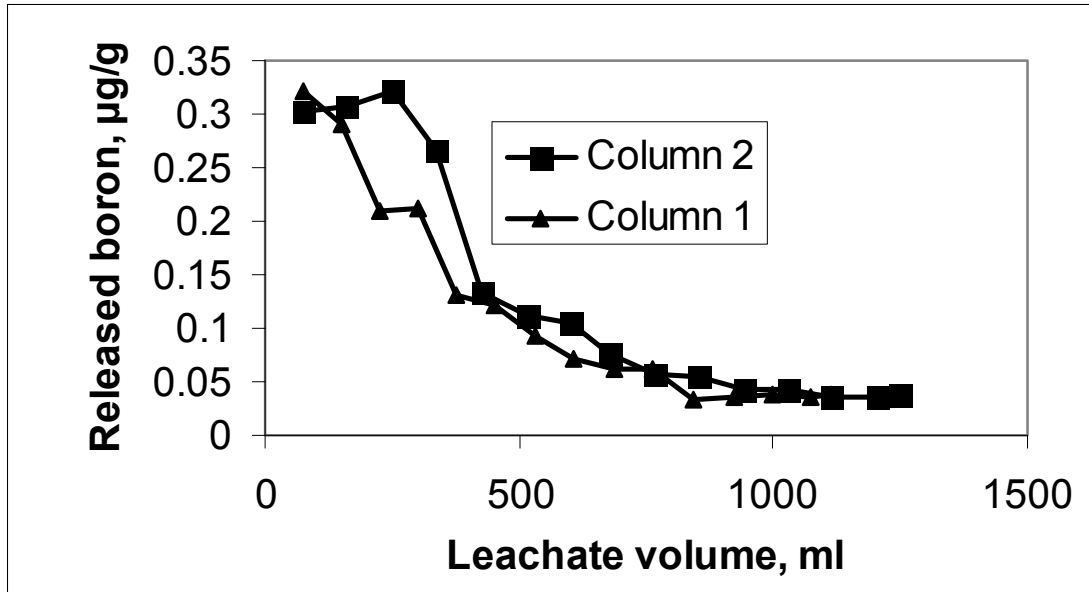
איור 6: ריכוז היסודות סטרונציום ובריום בתמיסת התשטיף  
 כתלות בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד נסורת עץ עם  
 לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של  
 40 יום.



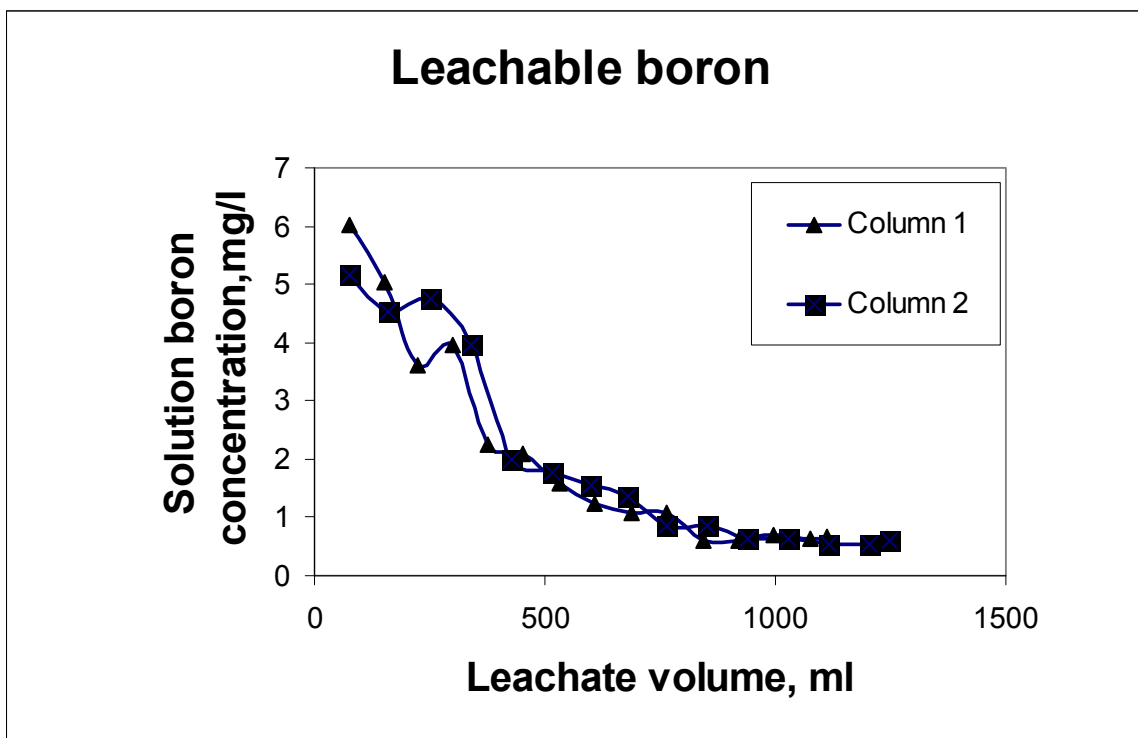
איור 7 : pH תמיסת התשטיף כתלות בנפחו במעבר מים  
מזוקקים דרך רפד אפר פחם תחתי עם לשלשת לאחר גידול 45  
אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



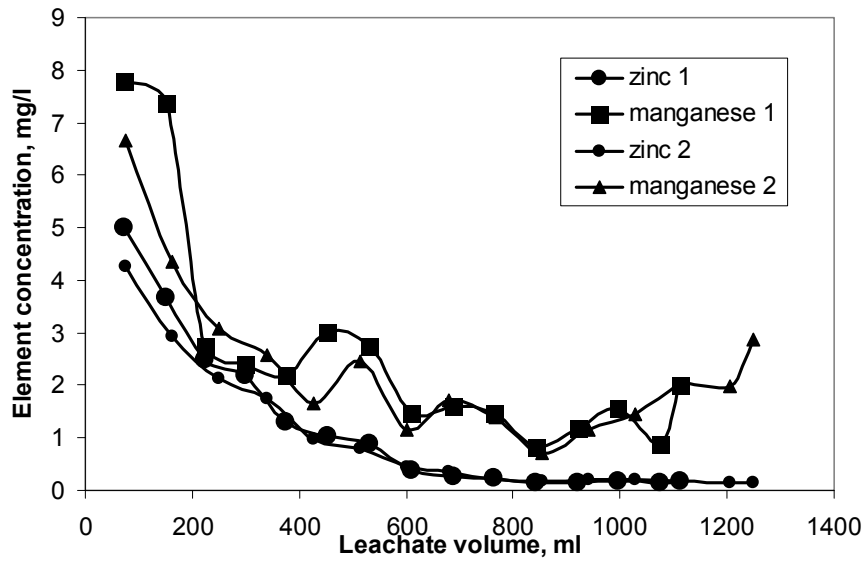
איור 8: המוליכות החשמלית של תמיסת התשטיף כתלות  
 בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד אפר פחם תחתי עם  
 לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של  
 40 יום.



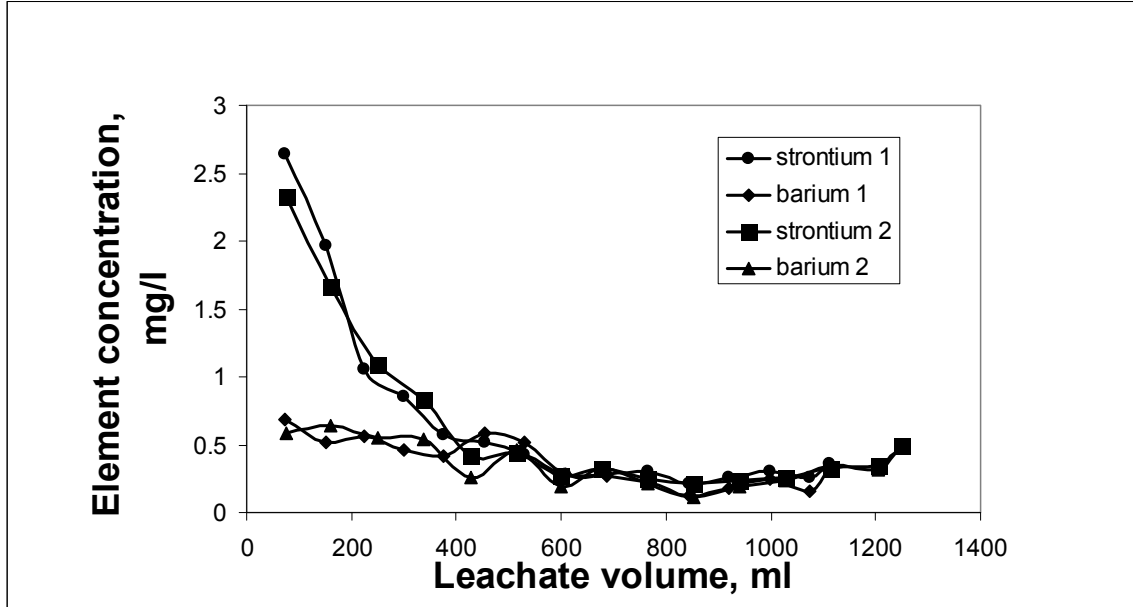
איור 9: כמות הבורון המתמוססת מהרפד לתמיסת התשטיף כתלות בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד אפר פחם תחתי עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



איור 10: ריכוז הבורון בתמיסת התשטיף כתלות בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד אפר פחם תחתי עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



איור 11: ריכוז היסודות אבץ ומנגן בתמיסת התשטיף כתלות בנפח במעבר מים מזוקקים דרך רפד אפר פחם תחתי עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.



איור 12: ריכוז היסודות סטרונציום ובריום בתמיסת התשטיף כתלות בנפחו במעבר מים מזוקקים דרך רפד אפר פחם תחתי עם לשלשת לאחר גידול 45 אפרוחים בשטח של 3 מ"ר לתקופה של 40 יום.