



מנהל המחקר החקלאי



מנהלת אפר פחם

<http://www.coal-ash.co.il>

המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה  
מרכז וולקני  
מינהל המחקר החקלאי

## שימוש באפר פחם לשיפור תכונות של קרקעות חקלאיות

דו"ח סופי

מוגש על ידי

פנחס פיין<sup>1</sup>, אורי מינגלגרין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, שי ברטל<sup>1</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, שושי סוריאנו<sup>1</sup>, ניר עצמון<sup>3</sup>, יוסי משה<sup>3</sup>, יוסי בר<sup>4</sup>

<sup>1</sup>המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי

<sup>2</sup>משקי דרום יהודה

<sup>3</sup>המכון למדעי הצמח, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי

<sup>4</sup>התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות

## **שימוש באפר פחם מרחף לשיפור תכונות של קרקעות חקלאיות**

דו"ח זה מסכם את תוצאות המחקר שהחל להתבצע בשנת 2005 וכלל ניסויי שדה בשלושה אתרים ומחקר נרחב במעבדה. בניסויים אלה נבחן השימוש באפר פחם מרחף כאמצעי לטיוב קרקעות. המחקר במעבדה התבסס על שימוש במדמה גשם ובמנהרת רוח והוא התמקד באפשרות של השימוש באפר פחם להחלשת קרומים בקרקעות לס והגדלת חדירותם למים ובהשפעת האפר על שיפור תכונות תאחיזת המים בחול. חלק זה של המחקר דווח בשלמותו ולא נחזור עליו כאן.

חלק המחקר המדווח להלן התבסס על ניסויים/תצפיות שדה בשלושה אתרים. הדו"ח להלן בנוי משלושה פרקים, פרק לכל אתר, כלהלן:

תצפית א': שיפור תאחיזת המים בקרקע חולית (אתר בני-דרום): נבחנה השפעת אפר פחם על תאחיזת המים בחול. התצפית נערכה באזור בני דרום בגידול חיטה.

תצפית ב': השפעת אפר על חידור המים בקרקע לס (אתר כתף בתרים): נבחנה יעילות אפר הפחם בהחלשת הקרום הנוצר בקרקע לס בלימנים ובשיחים, ובהעלאת חדור המים לקרקע. העבודה בוצעה בשיתוף פעולה עם הקק"ל במספר ואדיות מערבית לעומר אשר בהם נטעו עצים ממינים שונים בלימנים ושיחים.

תצפית ג': מניעת נזקי נתרון באמצעות אפר פחם בקרקע חרסית-נתרנית, בדגש של צמצום סידוק שכבת הקרקע העליונה (אתר רבדים).

### **תצפית א': שיפור תאחיזת המים בקרקע חולית (אתר בני-דרום)**

כללי: בקרבת משק בני דרום קיימים כתמי חול בלב שדות עם קרקע כבדה יותר. גודל כתם אופייני נמדד בדונמים. הופעת הכתמים משבשת את ממשק ההשקיה-דישון בשדה. מבוצעת תצפית לבדיקת האפשרות לניצול הממצא שתוספת אפר פחם מביאה לשיפור בתאחיזת המים של קרקע חולית להקטנת ההבדל בתאחיזת המים בין כתמי החול לבין הקרקעות השכנות הכבדות יותר. הצלחת הטיפול תאפשר את האחדת ממשקי ההשקיה והדישון בכל השטח.

תאור הניסוי והמעקבים: הניסוי בוצע בשטחי קיבוץ בני-דרום, בשוליים המערביים של המרזבה השנייה, מצפון-מזרח לצומת אשדוד, דרום מזרח למעבר מסילת הברזל מתחת כביש 4 (תמונה 1). בטבלה 1 שלהלן ניתנים מספרי הטיפולים (באותיות: א'-ד') ומספרי החלקות (1-20) וכן מוצגת מפת חלקות התצפית. הטיפולים כללו, היקש ללא תוספת ופיזור אפר פחם (בעומס של 10 ו-30 טון/ד') ושל במס"א (בוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם; בעומס 10 ט"ד'). החלקות היו באורך 12 מטר וברוחב של 7 מטר. פיזור האפר בוצע במפזרת מכאנית לפי משקל נפחי שנקבע בשטח בהתאם למפת השטח. הפיזור בוצע ב- 1/11/06. ב- 30/11/06 בוצע דיגום קרקע בכל חלקות הניסוי, ולאחר מכן אוריאה (2.4 ק"ג/חלקה שגודלה  $12 \times 7 = 84$  מ"ר, סך הכול כ- 13 יחידות חנקן לדונם) פוזרה ידנית בכל החלקות כמקובל באזור. חלקות הבמס"א לא דושנו כלל. דיגום נוסף של הצמחים (לא מדווח) ושל הקרקע בוצע ב- 26/1/07. החיטה נדגמה ב- 29/3/07 לפני קציר התחמיץ, ונלקחו מדגמים למעבדה. הקציר היה בחלקות מדגם באורך כ- 3 מ' וברוחב 1 מ'. מיצוי קרקע הוכנו במים (יחס 2 ל-1, לבדיקת

מוליכות חשמלית ו-pH), בדו-פחמה (זרחה, אשלגן) וב-KCl (חנקן מינרלי). מדגמי צמח יבשים עוכלו בחומצה גופריתנית לקביעת התכולה של P, N ו-K (בדיקה באוטואנלייזר), ובחומצה חנקתית לבדיקת יסודות קורט ומתכות כבדות (בדיקה ב-ICP-AES).

**טבלה 1-א':** מפת שטח הניסוי, מערך הטיפולים והחלקות בניסוי בני-דרום

חלקה	בלוק	טיפול	
2	1	א	בקורת
5	2	א	בקורת
9	3	א	בקורת
13	4	א	בקורת
17	5	א	בקורת
3	1	ב	אפר 10 טון/ד
8	2	ב	אפר 10 טון/ד
10	3	ב	אפר 10 טון/ד
16	4	ב	אפר 10 טון/ד
19	5	ב	אפר 10 טון/ד
4	1	ג	אפר 30 טון/ד
7	2	ג	אפר 30 טון/ד
11	3	ג	אפר 30 טון/ד
15	4	ג	אפר 30 טון/ד
18	5	ג	אפר 30 טון/ד
1	1	ד	במס"א 10 טון/ד
6	2	ד	במס"א 10 טון/ד
12	3	ד	במס"א 10 טון/ד
14	4	ד	במס"א 10 טון/ד
20	5	ד	במס"א 10 טון/ד

**טבלה 1-ב':** מפת הניסוי בבני-דרום: טיפולים (אותיות), מס' חלקות (מס' סידוריים) ותכולת החול בשכבה 20-40 ס"מ (מס' בכחול)

17 א	16 ב	9 א	8 ב	1 ד
44		56	80	77
18 ג	15 ג	10 ב	7 ג	2 א
50	79	66	61	84
19 ב	14 ד	11 ג	6 ד	3 ב
56	81	77	49	77
20 ד	13 א	12 ד	5 א	4 ג
63	77	79	72	70

**טבלה 1-ג':** מפת הניסוי בבני-דרום: טיפולים (אותיות), מס' חלקות (מס' סידוריים) ותכולת החול בשכבה 20-40 ס"מ (מס' בכחול)

17 א	16 ב	9 א	8 ב	1 ד
47	81	68	75	77
18 ג	15 ג	10 ב	7 ג	2 א
42	89	64	82	80
19 ב	14 ד	11 ג	6 ד	3 ב
76		67	69	90
20 ד	13 א	12 ד	5 א	4 ג
58	79	88	80	72



### תוצאות:

**מרקם הקרקע:** המרקם נקבע כשנתיים לאחר יישום האפר והבוצה. במועד זה, תכולת החול בקרקע בשכבה 0-20 ס"מ (טבלה 1-ב') ובשכבה 20-40 (טבלה 1-ג') היו דומות ולא הראו השפעה של תוספת סילט שמקורו באפר הפחם. ההשוואה הבולטת ביותר היא בין ההיקש (טיפול א') ל-30 ט"ד' אפר פחם (טיפול ג') שהיו 67% עד 71% בממוצע בכולם. בהנחה שרוב האפר ככולו הנו במקטע הסילטי, התוספת הייתה של כ-10% ממשקל שכבת הקרקע העליונה, ותכולת החול הייתה אמורה לרדת מ-70% לכ-64%. נראה כי העדר ההשפעה של האפר על המרקם הנו בטווח הטעות של שיטת המדידה (והדיגום).

**יבול חיטה ותכולת יסודות הזנה בצמחים:** יבולי החיטה לתחמיץ בכל הטיפולים בחלקה היו שונים למדי (הבדל של 1.25 ק"ג/מ' רץ, כ-33%), אולם ההבדלים לא היו מובהקים סטטיסטית (טבלה 2). בשטח ניכרה שונות גבוהה שהתבטאה ביבול גבוה יחסית בשני בבולקים המזרחיים (חלקות 13 עד 20). כמו כן, לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בתכולת יסודות ההזנה העיקריים בצמחים (טבלה 3).

**טבלה 2:** בני-דרום, יבול חיטה לתחמיץ יבול 2006/

טיפול	עומס יישום (טון/ד')	יבול חיטה לתחמיץ (ק"ג ל-3 מ' רץ)		שיעור המשקל היבש (%)	
		ממוצע	סטיית התקן	ממוצע	סטיית התקן
ביקורת	0	4.43	1.38	41.04	4.07
אפר פחם	10	3.75	0.24	41.20	2.71
אפר פחם	30	4.64	0.55	42.30	2.02
במס"א	10	5.00	2.61	42.26	2.07

**טבלה 3: בני-דרום, ריכוזי חנקן זרחן ואשלגן (מ"ג יסוד/ק"ג) בצמחי החיטה יבול 2006/7**

טיפול	עומס (ט'/ד')	חנקן		זרחן		אשלגן	
		ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת
ביקורת	0	12,956	903	2,146	188	8,504	504
אפר פחם	10	11,768	1,204	2,036	103	8,348	306
אפר פחם	30	12,674	2,033	2,031	371	9,317	1,852
במס"א	10	13,624	774	2,506	186	10,107	1,690

**השפעת הטיפולים על תמיסת הקרקע ועל זמינות יסודות ההזנה בקרקע:** בדיקות קרקע נעשו פעמיים, כחודש וכחודשיים לאחר הזיבול באפר ובבמס"א. השפעת שני התוספים על המוליכות החשמלית (EC) ועל ה-pH של תמיסת הקרקע בשכבת החריש (0-20 ס"מ) כחודש לאחר הזיבול הייתה קטנה, גם בעומס יישום אפר השווה ל-30 ט'/ד' (טבלה 4-א'). אפר הפחם והבמס"א הגדילו את ריכוז הזרחה הזמינה בקרקע באופן מובהק סטטיסטית ביחס להיקש הלא מזובל, השפעה שניכרה בדיגום הראשון אך לא בדיגום השני (טבלה 4-ב'). לעומת זאת, רק הבמס"א הגדילה באופן מובהק סטטיסטית (ומשמעותי מאד) את ריכוז החנקן הזמין בקרקע, וההשפעה נותרה גם כעבור כחודשיים למרות שטיפול זה לא קיבל את מנת הדשן החנקני (13 ק"ג N/ד').

**טבלה 4-א': קרקע בני-דרום, pH ומוליכות החשמלית בשכבה 0-20 ס"מ ב- 30/11/06**

טיפול	עומס (ט'/ד')	pH		EC dS/m	
		ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת
ביקורת		8.61	0.12	0.21	0.07
אפר פחם	10	8.65	0.08	0.22	0.03
אפר פחם	30	8.73	0.11	0.23	0.05
במס"א	10	8.45	0.14	0.31	0.11

**טבלה 4-ב': בני-דרום, ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן זמינים בקרקע (מ"ג יסוד צרוף/ק"ג) בעונת 2006/7**

טיפול	עומס (ט'/ד')	דיגום 30/11/06				דיגום 26/1/07			
		חנקן מינרלי		זרחה זמינה		חנקן מינרלי		זרחה זמינה	
		ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת
ביקורת		22 b	3	13 b	3	45 ab	9	35	19
אפר פחם	10	24 b	6	32 a	4	37 b	16	29	18
אפר פחם	30	21 b	3	45 a	11	41 b	14	39	27
במס"א	10	50 a	19	45 a	14	70 a	20	23	6

**ליסיום**

החלקה שהוקצתה לניסוי התבררה בואריאביליות מבחינת מרקם הקרקע בשכבה העליונה ובתת הקרקע. הדבר השפיע על הדירות התוצאות, ולא ניתן להסיק מסקנות חד-משמעיות לגבי השפעת תוספת אפר הפחם (או הבמס"א) על התכונות הפיסיקליות של הקרקע והעיקר על תאחיזת המים בה.. בכל מקרה, בעומס עד 30 ט'/ד' לא נמצאה השפעה כלשהי על החיטה, וטיפול הבמס"א היה יעיל מבחינת זמינות יסודות ההזנה. נחסכה בו עלות דשן היסוד (חנקן-אוריאה, אשלגן וסופר פוספט) והראש (חנקן) של כ-100 ש/ד'.

## **תצפית ב': השפעת אפר מרחף על חידור המים בלימנים ובשיחים (אתר כתף בתרים)**

נטיעות בצפון הנגב מבוצעות בשיחים ובלימנים (תמונות 2 ו-3). בשני המקרים מדובר בשיטה שבה מוגדר שטח תורם נגר ושטח קולט נגר שבו ניטעים העצים. תרומת המים מהשטח התורם מגדילה בצורה משמעותית את כמות המים שהעץ מקבל ובכך מאפשרת את הישרדותו והמשך התפתחותו. איסוף המים בלימנים הוא הן ממעלה הערוץ והן מגדותיו. שטח של לימן ממוצע הוא קרוב לדונם. קיימות שתי בעיות אופייניות לשיטת הלימנים: (1) בריחת מים עקב piping הנגרם ע"י התחתרות המים בתחתית הלימן ויציאתם מעבר לסכרון. (2) חלחול איטי של המים בקרקע הגורמת לאפשרות גלישה של עודפי המים מהלימן. הבעיה חמורה כאשר ארועי הגשם הנם תכופים. המים אף עלולים לפרוץ את הסכרון.

בהתאם לממצאי המעבדה, נבדקה ההנחה שערבוב אפר פחם מרחף בשכבה העליונה של הקרקע בלימן המצוי בקרקע לס תקטין יצירת קרום ותגביר את קצב חלחול המים. בדרך זו ישופר ממשק המים של העצים בלימן ויישמר מבנהו לאורך זמן.

### **תאור הניסוי:**

הניסוי בוצע בכתף בתרים, מערבית לעומר (תמונה 4). טופלו לימנים בערוצים שכוונם הכללי הוא מערב - מזרח, בין איזור התעשייה של עומר לבין כביש עוקף באר-שבע (תמונות 5-8). הניסוי בוצע בשני שלבים בלימנים ושיחים שנחפרו ב-2004. בסתיו 2006 טופל ערוץ אחד ("צפוני") ובו 5 לימנים, ובסתיו 2007 טופלו (כנ"ל) לימנים בערוץ נוסף ("דרומי"). כמו כן טופל לימן "הותיק", שהיה במעקב מספר שנים ולקראת חורף 2008 הוסף לו אפר פחם בשיעור 20 ט"ד'. בוצעו הטיפולים הבאים:

1. ביקורת ללא תוספת אפר
  2. ערבוב אפר הפחם ב-10 מעד 20 הס"מ העליונים של הקרקע. המינון היה 5, 10 ו-20 ט"ד' שבערבוב ל-20 ס"מ מהווים 2%, 4% ו-8% ממשקל הקרקע..
  3. טיפול מדומה בשיחים, (ב-4 חזרות באתר אחד).
- לאחר הפיזור, האפר הוחדר בקילטור באמצעות שיני כף השופל (תמונה 8). שלושה לימנים צוידו במד-רום רושם (Diver), המאפשר מעקב אחר מפלס המים וקצב חדירת המים בלימן. שני מהלימנים היו בערוץ "הצפוני", והם לימן ביקורת ללא אפר (במעלה הערוץ) ולימן עם 20 ט' אפר לדונם (במורד הזרימה ביחס לנ"ל). לימן שלישי הוא "הותיק", בו נערך מעקב בשנים קודמות. ארבעה מדי רום לא רושמים הותקנו לקראת 2008: מהם 2 בערוץ "הדרומי" (אחד בלימן מועמס באפר והשני בלימן ביקורת ללא אפר) ו-שניים בערוץ הצפוני. הלימן "הותיק" היה מצויד במד רום לא רושם.

### **תוצאות:**

א) השפעה של פיזור האפר על התשתית בלימנים לאחר החורף:  
קרומי קרקע בלימנים: תופעה בולטת שנמצאה לאחר החורף הייתה היווצרות של שכבה מפותחת של לס פלוביאטילי (לס שהובא ע"י מים ושקע מתוכם) משוכב בתשתית של חלק מהלימנים (תמונות 9 ו-10).

10). היה הבדל בולט בעובי שכבת הלס ובסידוק המשני שלו בין הטיפולים. בעוד שבלימנים ללא אפר השכבה הייתה דקה ולא היה בה כמעט כל סידוק, העובי (והסידוק) הלך וגדל עם העלייה בתכולת האפר בסדימנט. תמונות 9 ו-10 מציגות את הקרקעית של לימנים ושיחים עם תוספות של אפר בשיעור בין אפס ל-20 ט"ד', ואת השוני במבנה פני הקרקע (עד עומק כ-20 ס"מ) לאחר החורף. הריבוד של השכבה המוצגת נובע משקיעה חוזרת של הלס (depositional crust), כאשר בכל אירוע של מילוי במים נושאי סחף חלה שקיעה של הסחופת, כשהמקטעים הגסים יותר שוקעים קודם: חול לפני סילט לפני חרסית. ניתן לראות כי תופעת הריבוד והסידוק של פני הקרקע גברה עם העלייה בתכולת הלס בתשתית. בנוכחות האפר השקיעה הייתה גדולה יותר בעוד שבלימנים נטולי האפר היא הייתה פחותה. ניתן להניח, כי באגנים ללא אפר חלק גדול מהסחף נישא עם המים במורד הוואדי באירועי גשם עוקבים. הסידוק המוגבר, עשוי גם להגביר את כשר חידור המים של הלימנים באירועי גשם עתידיים. ניתן לראות כי לאחר עונת הגשמים והצטברות הסחף, האפר הופיע בתחתית עמודת הקרקע, בעיקר בטיפול בעומס היישום הגבוה יותר (תמונה 10-ד').

#### ב) רטיבות הקרקע בלימנים ושיחים:

ב-19/6/07 נערך קידוח בקרקעית של כל הלימנים לקביעה של תכולת הרטיבות. זאת מוצגת באיור 1 שלהלן. לימנים ללא תוספת ולימנים עם 8% אפר בשכבת הקרקע העליונה (10 ס"מ) נבנו ב-2 חזרות כל אחד, ולימנים עם 2% אפר ו-4% אפר בחזרה אחת. ניתן לראות מאיור 1 כי תכולת הרטיבות הייתה דומה בכל הטיפולים מתחת לשכבה של 20 ס"מ העליונים ועד לעומק הדיגום המרבי (1 מ'). שכבת הקרקע העליונה הייתה בשיווי משקל עם לחות האוויר. בלימן עם 2% אפר לא ניתן היה לקדוח לעומק גדול מ-40 ס"מ. הדמיון בתכולת המים נובע מהדמיון בכשר תאחיזת המים של תערובות הקרקע-אפר השונות.

לחות הקרקע בשיחים נמדדה ב-25/02/07 בשני שיחים בכל טיפול. הקרקע נקדחה, נלקח מדגם למעבדה, נשקל, יובש ב-105 מ"צ, ונשקל בשנית. בטבלה 5 שלהלן מוצגת תכולת המים בתשתית השיחים בטיפולים השונים כ- % ממשקל הקרקע הלחה. תכולת הלחות בקרקע מייצגת את תכולת המים בקיבול שדה, וניתן לראות כי הוספת אפר בשיעור של עד 8% לא השפיעה על תאחיזת המים של הקרקע.

#### **טבלה 5: תכולת הרטיבות בקרקע בהשפעת אפר הפחם.**

עומק הקרקע	שיח ללא אפר	שיח עם 8% אפר בקרקע
0-10	$13 \pm 6$	$13 \pm 6$
10-20	$15 \pm 7$	$14 \pm 6$

#### ג) השפעת יישום אפר בשיחים על חוזק קרום הקרקע בשיחים:

גומות הנטיעה של העצים בשיחים חופו ביריעות פלסטיק מסוג "Cool Brush Blanket" בגודל של 1X1 מטר, לשם מניעת התחממות יתר של פני הקרקע ולשם צמצום ההתאדות מפני הקרקע. היריעה

צבועה לבן כלפי מעלה ושחור כלפי מטה והיא מחוררת כדי לאפשר למים לחדור דרכה. היריעות נפרשו מייד לאחר הנטיעה בפברואר 2007, ובהיקפן נערמה סוללת קרקע שהוכנה מהקרקע שהייתה בשיח (לאחר טיפול מתאים באפר), הגומה מולאה במי-השקיה. על גבי היריעה נוצרו קרומי קרקע (תמונה 13). חוזק הקרומים לשבירה נבדק ב-19/06/07 באמצעות Pocket penetrometer CL-700 תוצרת Soil Test Inc. התוצאות מוצגות בטבלה 6 להלן:

**טבלה 6: חוזק הקרומים שנוצרו בפני הקרקע בגומות ההשקיה**

מובהקות לפי Tukey HSD	טעות תקן	ממוצע (ק"ג/סמ"ר)	מספר התצפיות	טיפול % אפר בקרקע
A	0.09	2.0	77	0
B	0.08	1.5	80	2
C	0.05	0.8	52	4
C	0.06	0.9	70	8

ניתן לראות כי הוספת אפר לקרקע בשיח בשיעור של 4% ממשקל הקרקע או יותר החלישה משמעותית (באופן מובהק סטטיסטית) את חוזק הקרומים שנוצרו בפני הקרקע.

#### ד) קצבי חלחול בלימנים: בהשפעת יישום אפר פחם מרחף:

חלק זה של הדו"ח מסכם את הממצאים מחורף 2007/8, והוא מסכם את נתוני מדי הרום הרושמים שהותקנו בלימנים עם אפר פחם מרחף ובקורת ללא אפר. רישום רום המים בלימן "הותיק" עלה בתווה מאחר שהלימן כלל לא התמלא במים לאורך כל תקופת המחקר.

באיור 2 (א'-ג') מוצגים עקומי רום המים במהלך 9 סופות גשם ותקופת ההתנקזות אחריו. הנתונים מוצגים בשני לימנים מהערוץ ה"צפוני" שטופלו בסתו 2006: לימן עם 20 ט"ד אפר פחם ולימן ביקורת ללא אפר פחם. קצב המילוי של שני הלימנים היה דומה למרות שגובה פני המים בהם היה שונה (הן בגלל כמות אספקת המים, הן בגלל הממדים השונים של הלימנים והן, אולי, בגלל גובה שונה של המגלש לשחרור עודפי מים). מהלך ההתנקזות של הלימנים במרבית תשע הסופות היה שונה. בד"כ קצב חידור המים בלימן עם אפר הפחם היה גבוה יותר מאשר בלימן ללא האפר. הדבר בלט במיוחד בסופה הגדולה הראשונה של 2008 (15/2 עד 18/2; בסופה זאת, הלימן ללא אפר לא גמר להתנקז לפני בוא הסופה הבאה) ובשתי הסופות של 2009 (איור 2-ב'). ממהלך ההתנקזות במרץ 2009 ברור שלא ההתנקזות המהירה יותר בלימן עם האפר לא הייתה בגלל העומד ההידראולי הגבוה יותר. בדצמבר 2009 ובמרץ 2010 התופעה של התנקזות מואצת בלימן עם האפר חזרה על עצמה (איור 2-ג') אולם ב-2 הסופות האחרות באותה תקופה (הסופה של סוף ינואר 2010 והסופה של ראשית פברואר 2010) לא היה הבדל בהתנקזות.



#### ה) בדיקת חידור בשיטת הטבעת הכפולה

השפעת האפר על כושר חידור המים של הקרקע בלימנים נבדקה בשיטת הטבעת הכפולה. בשיטה זאת, זוג טבעות, אחת בעלת קורט גדול (30 ס"מ) מהשנייה (23 ס"מ) מוחדרות לקרקע הנבדקת, השנייה במרכז של ההראשונה, תוך הפרה מזערית של הקרקע. חלל הטבעות מוצף במים בזהירות (תוך הימנעות מהרס מבנה הקרקע) במפלס דומה, והמפלס בטבעת הפנימית נשמר כל העת על ידי מילוי תמידי שלה באמצעות קולונת מריט מכילת. כמות המים הדרושה לקיום מפלס קבוע נמדד כתלות במשך התהליך והוא משמש לחישוב קצב החידור, עד להגעה לקצב קבוע.

מדידת חידור הקרקע למים נעשתה באגן שלא טופל באפר (ביקורת) ובאגן שטופל ב-20 מ"ק/ד'. המדידה נעשתה באפריל 2009, שלושה חורפים לאחר הטיפול באגנים. באיור 3 ניתן לראות כי חדירות הקרקע למים באגן שלא טופל היה דומה לחדירות באגן שטופל באפר או גבוהה ממנה. ניתן להניח כי ההצטברות הרבה של סחף באגן המטופל (לעיל) גרמה לאטימתו היחסית. לא בוצעו מדידות מיד לאחר ההקמה או לאחר כל אחד מהחורפים.

#### סיכום:

הוספת אפר פחם מרחף לשכבת הקרקע העליונה בשיחים ולימנים הקטינה את חוזק הקרום שנוצר על פני הקרקע לאחר הרטבה. ההקטנה המשמעותית הייתה מעומס של 10 ט"ד' ומעלה. קצב חידור המים בלימן עם 20 ט"ד' אפר פחם היה גבוה יותר מאשר בלימן ללא אפר. הדבר בלט במיוחד בסופות של השנתיים הראשונות לאחר הוספת האפר. כתוצאה מהוספת האפר, הלימן הספיק להתנקז לפני בוא הסופה הבאה, מה שלא קרה בלימן ללא אפר. כתוצאה מההתנקזות המהירה (ואולי גם העוצמה היונית הגבוהה יותר בנוכחות אפר), הסחף שקע על קרקעית הלימנים תוך הרבדה ברורה בשכבות ע"פ מרקמן. התופעה הלכה ופחתה ככל שפחת שיעור האפר בקרקע הלימן. בכך הלימן מילא את ייעודו להקטין שיעורי נגר והרבדת סחף במורד הערוץ. יש לשים לב, כי ההצטברות הרבה של סחף על קרקעית הלימנים עם אפר במשך שלוש שנים גרמה ככל הנראה לכך שקצב החידור הסופי של מים (מדידה בשיטת הטבעת הכפולה) היה נמוך יותר בלימן עם 20 ט"ד' אפר מאשר בלימן ללא אפר. ואכן, שכבת האפר המקורית בלימן זה הייתה מכוסה במעטה סחף בעובי של כ-10-20 ס"מ.

## שיפור תכונות פיסיקו-כימיות של קרקע חרסית נתרנית (רבדים)

### חומרים ושיטות

נבחרה חלקה בקרבת קיבוץ רבדים עם קרקע חרסיתית (41% חרסית, 42% חול ו-17% סילט) ובעיית ניתרון (כ-9% נתרן ספוח = ESP 9) (תמונה 8). ב-3 במרץ 2005 הוסף לקרקע אפר פחם בשיעורים שקולים ל-20 ול-80 טון לדונם ובהשוואה לביקורת ללא טיפול (טבלה 7). החלקות הלא מסומנות בטבלה 7 היו עתודה לטיפול עתידיים. החיץ הלא מטופל היה ברוחב החלקות (3 ערוגות) ושימש גם כעתודה נוספת. האפר הוצנע באמצעות מתחחת בשכבה העליונה של הקרקע (כ-15 עד 20 ס"מ עליונים) ..

טבלה 7: מפת חלקת הניסוי ביישום אפר פחם בקרקע חרסית-נתרנית ברבדים

פזור והצנעה בוצעו ב-3 במרץ 2005  
הפזור לא גרם לאבק למרות שנשבה רוח  
משקל סגולי אפר פחם = 0.97

#### טפולים

צ- צהוב - מינון אפר נמוך  
ש- שחור - מינון אפר גבוה  
ב- בקורת - שנשפך בה גם אפר  
ב"ט-בקורת - ביקורת נקייה, היא שנדגמה

כל חלקה בשטח 6\*6 מ<sup>2</sup>

טפול צהוב 0.7-0.75 טון אפר למשבצת =  
מינון של כ-20 טון לדונם.  
טפול שחור 2.8-3 טון אפר למשבצת =  
מינון של כ-80 טון לדונם.

#### מפת השטח

לפוטט אג'יט	18 ב"ט	20 צ	7	חיץ לא מטופל	6 ב"ט
	20 צ	17 צ	8 ב		80 ש
	16 ב	80 ש	9 ש		5 ש
	80 ש	15 ש	10 ב		4 ב
	14 ב	20 צ	11 צ		3 ב"ט
	20 צ	13 צ	12 ב"ט		2 ב
					80 ש
					1 ש

כעבור כשבועיים (ב-18/3/05) נזרע תירס למספוא. הגידול היה בתנאים המשקיים בהשקיה במי-קולחים ודישון יסוד בזרחן, אשלגן וחנקן, ודישון ראש משלים בחנקן. התירס נקצר ב-15 באוגוסט 2005. לקראת הקציר סומנו בכל אחת מ-12 החלקות קטעי שורה באורך 2 מטר, בקטעים אלה נספרו הצמחים, הקלחים והגבעולים נקצרו בנפרד, ונשקלו בשטח. שלושה קלחים ו-3 גבעולים מכל קטע נארוזו בנפרד בשקיות ניילון אטומות, שהועברו למרכז וולקני. המדגמים אוחסנו בקירור (כיומיים). הם נשטפו היטב במי-ברז ובמים חסרי-יונים, יובשו ב-60 מ"צ במשך שבוע, נקבע שיעור המשקל היבש, והמדגמים נטחנו לצורך בדיקות כימיות. הקרקע נדגמה בכל אחת מהחלקות ב-3 מרווחי עומק 0-20, 20-40 ו-40-90 ס"מ. הדיגום היה במרחק של כ-20 ס"מ ממיקום הטפטפת בעונה. הקרקעות יובשו בטמפ' של 35 מ"צ.

בדיקות צמח: חנקן מחוזר כללי: מדגמי צמח במשקל 0.2 גרם עוכלו בחומצה גופרתית מרוכזת רותחת, עם הוספות עתיות של מי-חמצן לחומצה (לאחר התקררותה לטמפרטורת החדר). לאחר מיהול מתאים במים חסרי יונים, נקבעו ריכוז החנקן (כאמוניום) והזרחן (כזרחן) והאשלגן בשיטות

לעיל. מדגמים של נוף הצמחים יובשו, נטחנו, עוכלו בחומצה, ונבדקו. חנקן (כאמוניום) וזרחן (בזרחה) נבדקו באוטואנלייזר תוצ' Lachat, ואשלגן נבדק בפוטומטר להבה.

סריקת יסודות כללית: דוגמאות צמח יבשות וטחונות במשקל חצי גרם עוכלו בחומצה חנקתית רותחת עד להתבהרות התמיסה, וסריקת יסודות כללית (מאקרו ומיקרו) בוצעה באמצעות ICP-AES.

בדיקות קרקע: סריקת יסודות כללית בוצעה כנ"ל בדוגמאות קרקע מהשכבה 0-20 ס"מ. מדגמי קרקע יבשה וטחונה (> 200 מיקרון) במשקל חצי גרם עוכלו בחומצה חנקתית רותחת עד להתבהרות התמיסה.

ניתוח סטטיסטי: השפעת הטיפול על מדדים שונים של נבחנה באמצעות ניתוח שונות (ANOVA) מתאים. כשערכי ה-F היו מובהקים, נקבעו הבדלים בין הטיפולים במבחן HSD לפי Tukey-Kramer ברמת מובהקות של  $p < 0.05$ .

הגידולים הבאים במחזור היו כותנה (אביב-סתיו 2006; נמדד יבול, לא נלקחו ממדגמים); חמצה (אביב 2007; נמדד יבול, נלקחו מדגמים; בקיץ העוקב צולמה הקרקע, ראה להלן); חיטה (חורף 2007/8); כותנה (2009); תירס מספוא (2010); הקרקע צולמה לאחר החריש שבוצע לקראת הסתיו).

## תוצאות

### השפעת אפר הפחם על יבול התירס:

יבול הצמחים ומרכיבי היבול (נוף, קלחים) מוצגים בטבלה 8. היבולים היו גבוהים (כ-6.5 טון/דונם), ולא היה הבדל מובהק (או אף משמעותי) בין הטיפולים. במהלך העונה היה פיגור מסוים של הצמחים בטיפול האפר במינון הגבוה, אולם ההבדלים (אם היו) נעלמו לעת הקציר.

טבלה 8: נתוני יבול צמחי התירס (ליחידת מדגם של 2 מ' שורה)

טיפול	מס צמחים	מס' קלחים	משקל הנוף (ק"ג/2 מ')	משקל הקלחים (ק"ג/2 מ')	יבול (טון/ד')
ביקורת	16 ± 2	16 ± 2	8.24 ± 0.94	4.76 ± 0.39	6.495 ± 0.587
20 ט"ד'	16 ± 2	15 ± 2	8.34 ± 1.81	4.55 ± 0.80	6.445 ± 1.256
80 ט"ד'	15 ± 2	16 ± 1	8.57 ± 0.81	4.46 ± 1.14	6.511 ± 0.755

### השפעת אפר הפחם על ריכוז היסודות בצמחי התירס:

באיורים 4א-ג' מוצגים ריכוזי היסודות בקלחים ובנוף של צמחי התירס בשלושת הטיפולים (ממוצעים וסטיות תקן של 4 החזרות). ניתן לראות, כי ריכוזי חנקן, זרחן, אשלגן, סידן, מגנזיום וגפרית (איור 4א') בכל אחד מהאברים, קלחים ונוף, היו דומים בשלושת הטיפולים. יחס הריכוזים בין הנוף לקלחים היה אופייני. מצב דומה היה בריכוזים של יסודות הקורט העיקריים, ברזל, מנגן, אבץ, נחושת, ניקל וכן בריכוז הקובלט (איור 4ב'). ריכוזי העופרת והקדמיום בנוף ובקלחים היו נמוכים מאד, והם לא הושפעו

ע"י הטיפולים (איור 4-ג'). גם ריכוזי הבורון בחלקי הצמח לא הושפעו ע"י הטיפולים. לעומת אלה, ריכוז הכרום בקלחים (אך לא בנוף) הושפע ע"י הטיפולים, והוא היה 1.6, 1.9 ו-3.1 מ"ג/ק"ג בביקורת, בטיפול ב-20 טון אפר פחם/ד', ובטיפול ב-80 טון אפר/ד', בהתאמה. הבדל מובהק (בתנאי הניסוי) היה בין העומס הגבוה לביקורת. ריכוזי הסטרונציום הושפעו בצורה דומה, בקלחים (באופן מובהק) ובמידה מועטה בנוף (איור 4-ג'). ריכוזי המוליבדן בנוף עלו באופן מובהק ובצורה דומה בהשפעת טיפולי אפר הפחם, אך הריכוזים הקלחים הושפעו במידה מועטה ולא מובהקת.

בקשר לכרום נציין, כי זהו יסוד חיוני לאדם, והמנה היומית המומלצת היא 50-200 מיקרוגרם. אולם ספיגת כרום מהמזון הינה בעייתית (בד"כ 0.5%-3% מהתכולה במזון), ועבודות רבות בוצעו נמטרה להגדיל את ריכוזי הכרום בחלקי צמח נאכלים. המנה הסבילה היא כ-1 מ"ג/ק"ג משקל גוף ליום.

#### השפעת אפר הפחם על יבול כותן:

בשנה השנייה לאחר פיזור האפר (2006) נזרעה כותנה בחלקת הניסוי ונבדקו יבולי הכותן. התוצאות מסוכמות בטבלה 9.

#### **טבלה 9: יבולי כותנה, עונת 2006.**

טיפול	מס' חזרות	יבול כותן (ג'/מ"ר)	Std Dev	מס' הלקטים (למ"ר)	Std Dev	משקל הלקט (מוצע גר')	Std Dev
Not amended	4	540	85	166	18	3.2	0.2
20 t/dunam	4	591	56	177	16	3.4	0.4
80 t/dunam	4	563	90	157	28	3.6	0.1

ההבדלים בין הממוצעים של כל אחד ממדדי היבול המפורטים בטבלה 9 אינם מובהקים סטטיסטית. אולם, נראה שלתוספת אפר של 20 טון לדונם הייתה השפעה חיובית על יבול הכותן. על כל פנים גם תוספת אפר בכמות הגבוהה של 80 טון לדונם לא פגעה ביבול.

#### השפעת אפר הפחם על יבול חמצה והרכבם הכימי של הזרעים:

בשנת 2007 גודלה בחלקות הניסוי חמצה. יבולי החימצה מסוכמים בטבלה 10. ההבדלים בין הממוצעים של יבול גרעיני החימצה בטיפול האפר השונים ובחלקות הביקורת אינם מובהקים סטטיסטית. אולם, נראה שלתוספת האפר הייתה השפעה חיובית על יבול גרעיני החימצה. לא היה הבדל מובהק בין הטיפולים גם בריכוזים בגרעינים של יסודות שונים כולל יסודות קורט ומתכות כבדות (איורים 5-א-ג').

#### **טבלה 10: יבולי חמצה, אביב 2007**

טיפול אפר	מס' חזרות	יבול כולל (קג/מטר רץ)	יבול גרעינים (קג/מטר רץ)	Std Dev
Not amended	8	0.95	0.36	0.04
20 t/dunam	4	1.15	0.39	0.05
80 t/dunam	4	1.11	0.41	0.04

השפעת אפר הפחם על ריכוז יסודות בקרקע (דיגום אוגוסט 2005):

הריכוזים בשכבה 0-20 ס"מ של הקרקע בשלושת הטיפולים מוצגים בטבלה 11, וניתן לראות כי בכל יסוד הם היו אחידים למדי, ולא נמצאו הבדלים מובהקים ביניהם. ריכוזי יסודות באפר מוצגים לשם השוואה. הריכוז של חלק מהיסודות באפר שונה מאד מריכוזם בקרקע, אולם השפעת האפר (הגדלה או הקטנה) לא ניכרה למרות העומס הגבוה.

טבלה 11: תכולה כללית של יסודות בשכבה 0-20 ס"מ בקרקע רבדים בהשפעת טיפולי אפר הפחם (4 חזרות). הדיגום היה באוגוסט 2005, כ-5 חודשים לאחר יישום האפר בקרקע (bdl – נמוך מסף הרגישות; – לא נבדק).

אפר מרחף טרי	קרקע עם ט' אפר /ד'	קרקע עם 20 ט' אפר /ד'	קרקע בקורת	יסוד (מ"ג/ק"ג)
7	-	-	-	As
188	56	51	50	B
1,465	217	259	231	Ba
59,500	66,389	72,250	63,878	Ca
0.20	bdl	bdl	bdl	Cd
18	15	14	15	Co
74	52	51	52	Cr
45	38	100	58	Cu
13,705	31,751	34,792	29,921	Fe
1,713	5,517	5,196	5,371	K
147	29	25	23	Li
10,131	9,741	10,451	9,283	Mg
274	688	719	653	Mn
3.1	-	-	-	Mo
1,048	1,410	1,174	1,250	Na
43	35	35	36	Ni
6,332	1,068	850	748	P
20	2.36	2.10	1.71	Pb
2,197	1,255	1,140	1,144	S
9	-	-	-	Se
244	258	312	279	Sr
602	662	715	658	Ti
109	71	76	68	V
39	50	48	53	Zn

השפעת האפר על הסתדקות ומבנה הקרקע:

המטרה העיקרית של תצפית זו הייתה לבחון את התאמת האפר לשמש כתוסף למניעת נזקי ניתרון. קרקעות אזור רבדים סובלות מנטיה חמורה לסידוק, ולכן נקבע כי הפחיתה בהסתדקות הקרקע תשמש כמדד עיקרי להצלחת הטיפול. השוואה ויזואלית בין החלקות נעשתה בקיץ 2007, כשנתיים וחצי לאחר פיזור האפר. ההסתדקות הקרקע בחלקות האפר הייתה קטנה מאד בהשוואה לקרקע ללא

אפר, ופחותה ב-80 ט"ד' בהשוואה ל-20 ט"ד', ותמונות 9 עד 11, בהתאמה, מציגות דוגמאות אופייניות של סידוק בחלקות אלו. לא נעשתה הערכה כמותית של ההפחתה בסידוק שכן בחלקות המכילות אפר (בעיקר באלו שטופלו בעומס האפר הגבוה) לא נמצא סידוק כלל. מבנה פני הקרקע לאחר חריש צולם בנובמבר 2010 כ-6 שנים לאחר פיזור האפר (תמונה 12). עומס האפר הגבוה עדיין ניכר בפני הקרקע וניתן לראות בבירור כי האפר גרם להקטנה של גודל האגרגטים שנוצרו לאחר תיחוח הקרקע שבוצע לאחר עונת התירס ב-2010.

#### **שיפור תכונות פיסיקו-כימיות של קרקע חרסית נתרנית: מסקנות**

אפר פחם מרחף הוסף לקרקע חרסית-נתרנית בשיעורים גבוהים: 20 ו-80 ט"ד. האפר שינה את התכונות הפיסיקליות של הקרקע בכך שהוא מנע או הקטין את הסתדקותה (נבדק כ-3 שנים לאחר ההוספה) ובכך שהוא הקטין את גודל האגרגטים שנוצרו לאחר תיחוח (נבדק כ-6 שנים לאחר ההוספה). השפעת האפר על היבולים (נבדק ב-3 השנים הראשונות: תירס, כותנה, חמצה) הייתה בהגדלה מסוימת אך לא מובהקת. האפר לא השפיע על ריכוזי יסודות בקרקע (בעיכול כללי בחומצה חנקתית מרוכזת). ההרכב הכימי של התירס בשנה הראשונה הושפע ע"י האפר בהגדלת הריכוז של שלושה יסודות: ריכוזי הכרום והסטרונציום בקלחים (80 ט"ד' מובהק סטטיסטית ביחס להיקש ללא תוספת) וריכוז המוליבדן בגבעולים (מובהק סטטיסטית בשני טיפולי האפר ביחס להיקש ללא תוספת). השינויים הללו בזמינות היסודות לא אובחנה לאחר השנה הראשונה. לאפר לא הייתה השפעה על ריכוזי יסודות הקורט הרעילים קדמיום ועופרת בקלחים או בנוף של צמחי התירס.

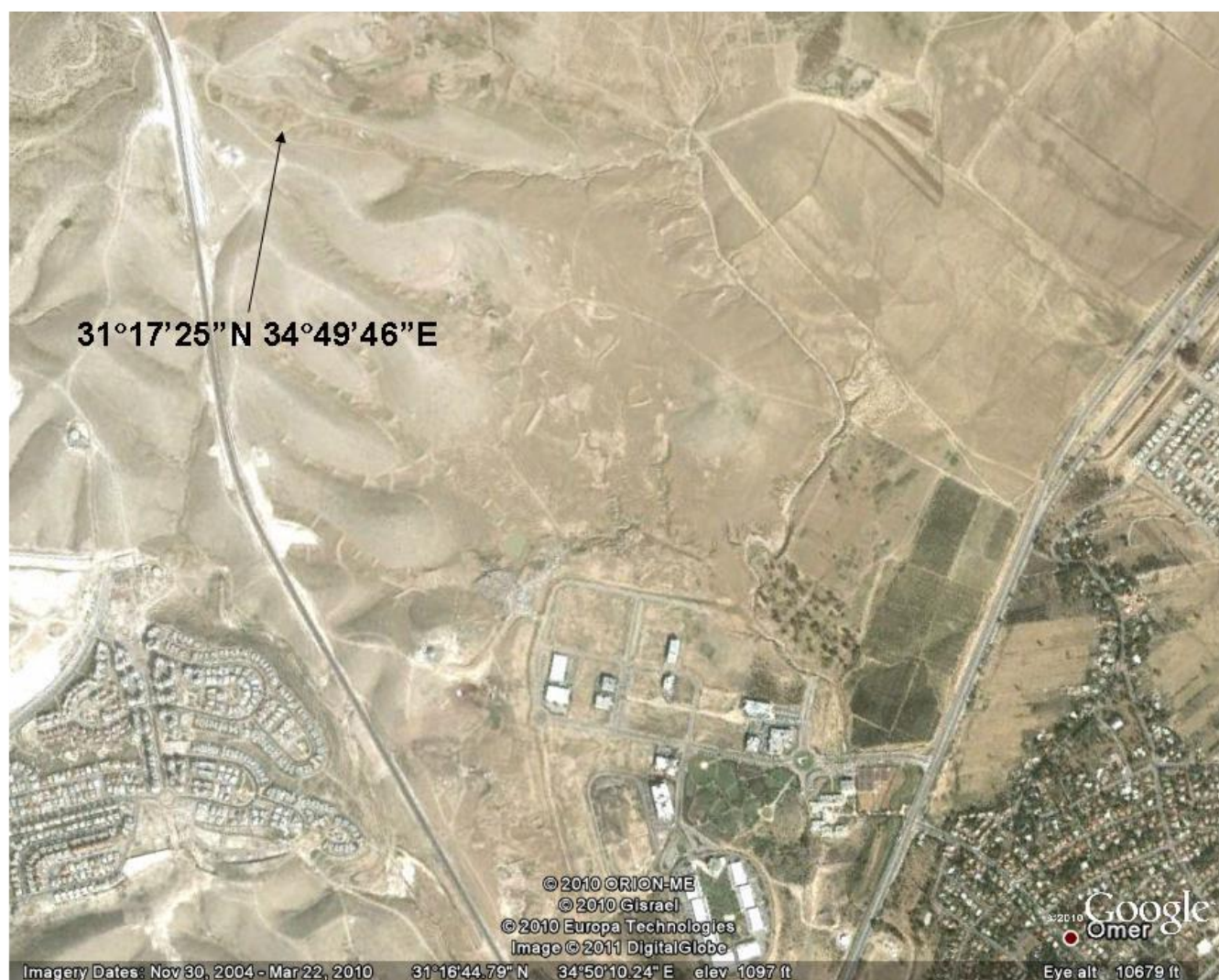
### כותרות לאירורים:

- תמונה 1: אתר הניסוי בבני-דרום
- תמונה 2: אתר הניסוי בכתף בתרים
- תמונה 3: שיחים מוכנים לנטיעה (אזור יתיר)
- תמונה 4: לימנים בכתף בתרים.
- תמונה 5: שלבים בהוספת אפר פחם מרחף ללימן (כתף בתרים).
- תמונה 6: קרקעית לימנים ושילחים, קיץ 2007.
- תמונה 7: קרקעית לימנים כתלות בעומס האפר (קיץ 2007).
- תמונה 8: אתר הניסוי ברבדים
- תמונה 9: סידוק בקרקע חרסית-נתרנית ללא תוספת אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007
- תמונה 10: סידוק קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 20 ט"ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007
- תמונה 11: סידוק קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 80 ט"ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007
- תמונה 12: אגרגטים לאחר תיחוח בקרקע חרסית-נתרנית עם תוספת של 80 ט"ד' אפר פחם מרחף וללא תוספת, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007.
- איור 1: תכולת רטיבות בקרקע מלימנים שטופלו באפר בשיעורי הוספה שונים.
- איור 2-א': רישום רום המים בלימן העמוס בפחם ובלימן הביקורת – חורף 2007/8.
- איור 2-ב': רישום רום המים בלימן העמוס בפחם ובלימן הביקורת – חורף 2008/9.
- איור 2-ג': רישום רום המים בלימן העמוס בפחם ובלימן הביקורת – חורף 2009/10.
- איור 3: המוליכות ההידראולית הרוויה בקרקע בלימן שטופל ב-20 מ"ק/ד' אפר פחם ובלימן ביקורת שלא טופל באפר. המדידה נעשתה בשיטת הטבעת הכפולה. הנתונים הם ממוצעים וטעויות תקן של 4 חזרות בכל אגן. כל ממוצע מייצג תוצאות שנתקבלו במהלך פרק זמן של 10 דקות. קווי המתאם חושבו על-פי הממוצעים.
- איור 4-א'-ג': ריכוזי יסודות עיקריים בקלחים ובנוף של צמחי תירס שגדלו בקרקע רבדים, שטופלה באפר פחם מרחף בשיעורים השקולים ל-20 ול-80 טון/ד' (ערבוב בשכבת החריש) בהשוואה להיקש ללא תוספת אפר לקרקע (קיץ 2005).
- איור 5 א-ג': ריכוזי יסודות בזרעי חמצה שגדלו בקרקע רבדים, שטופלה באפר פחם מרחף בשיעורים השקולים ל-20 ול-80 טון/ד' (ערבוב בשכבת החריש) בהשוואה להיקש ללא תוספת אפר לקרקע (אביב 2007).



תמונה 1: אתר הניסוי בבני-דרום





תמונה 2: אתר הניסוי בכתף בתרים



שיחים מוכנים לנטיעה

תמונה 3: שיחים מוכנים לנטיעה (אזור יתיר)





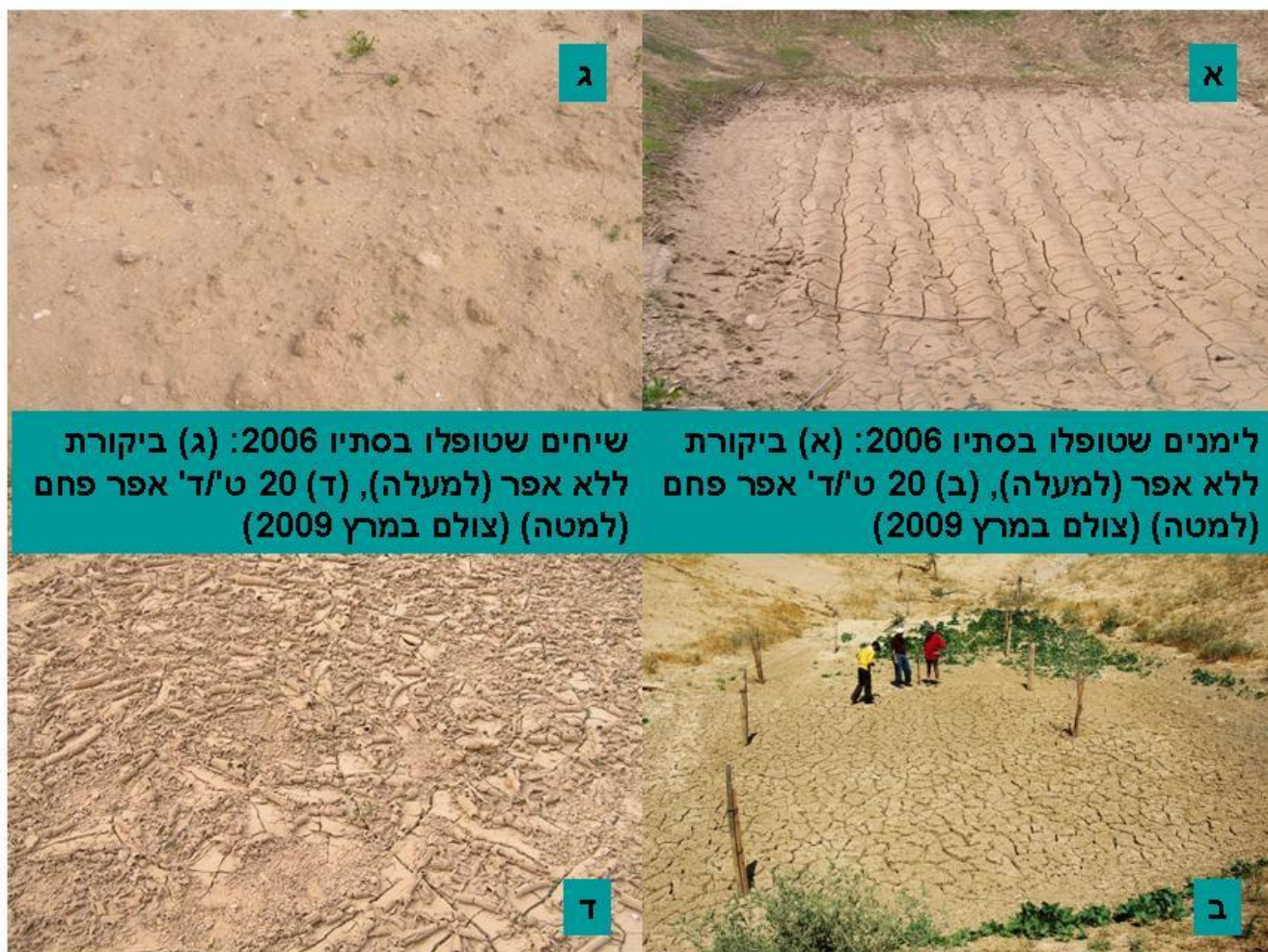
תמונה 3: לימנים לאורך ערוץ באזור גבעות גורל (סמוך לאזור התעשייה של הישוב עומר)

תמונה 4: לימנים בכתף בתרים.



תמונה 5: שלבים בהוספת אפר פחם מרחף ללימן (כתף בתרים)





תמונה 6: קרקעית לימנים ושילחים, קיץ 2007.





תמונה 7: קרקעית לימנים כתלות בעומס האפר (קיץ 2007)



תמונה 8: אתר הניסוי ברבדים





תמונה 9: קרקע חרסית-נתרנית ללא תוספת אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007





תמונה 10: קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 20 ט"ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ  
2007





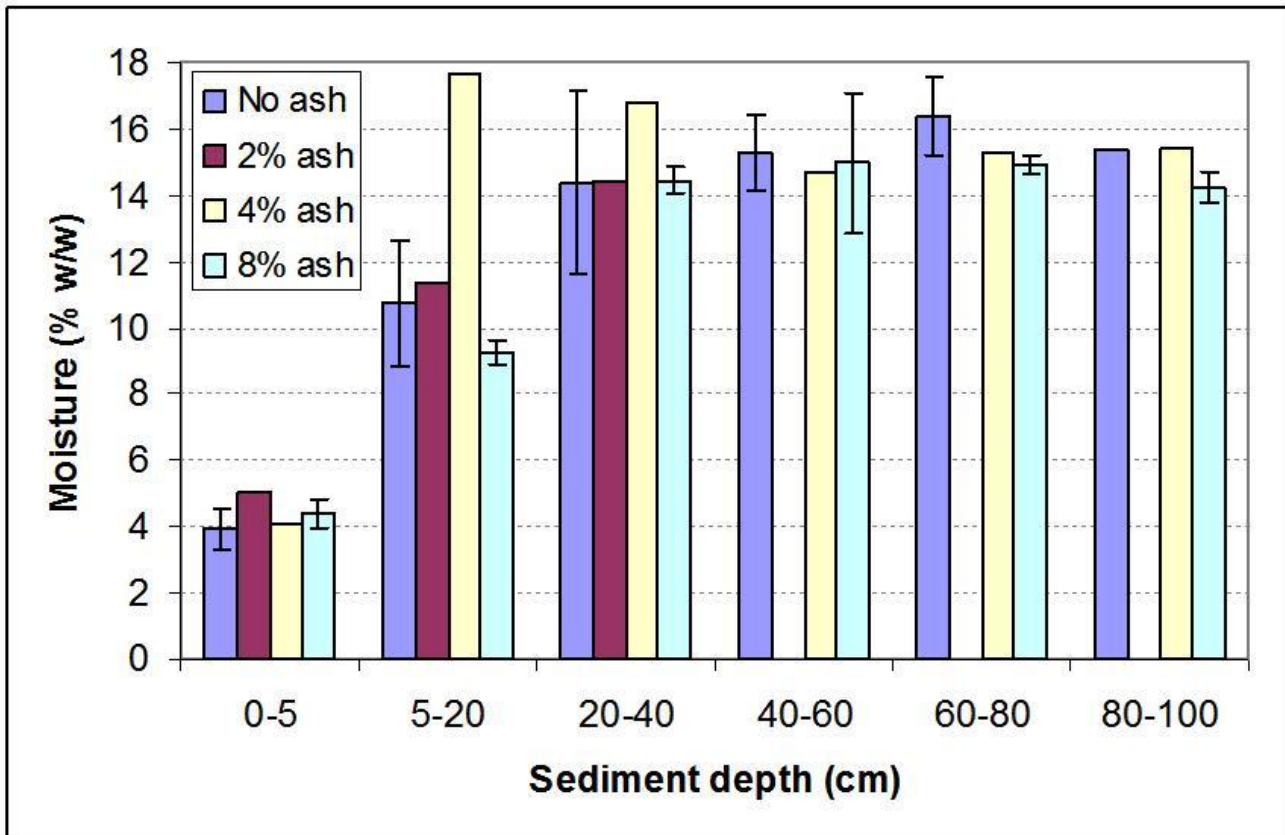
80 טון לדונם אפר פחם

תמונה 11: קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 80 ט'/ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ  
2007

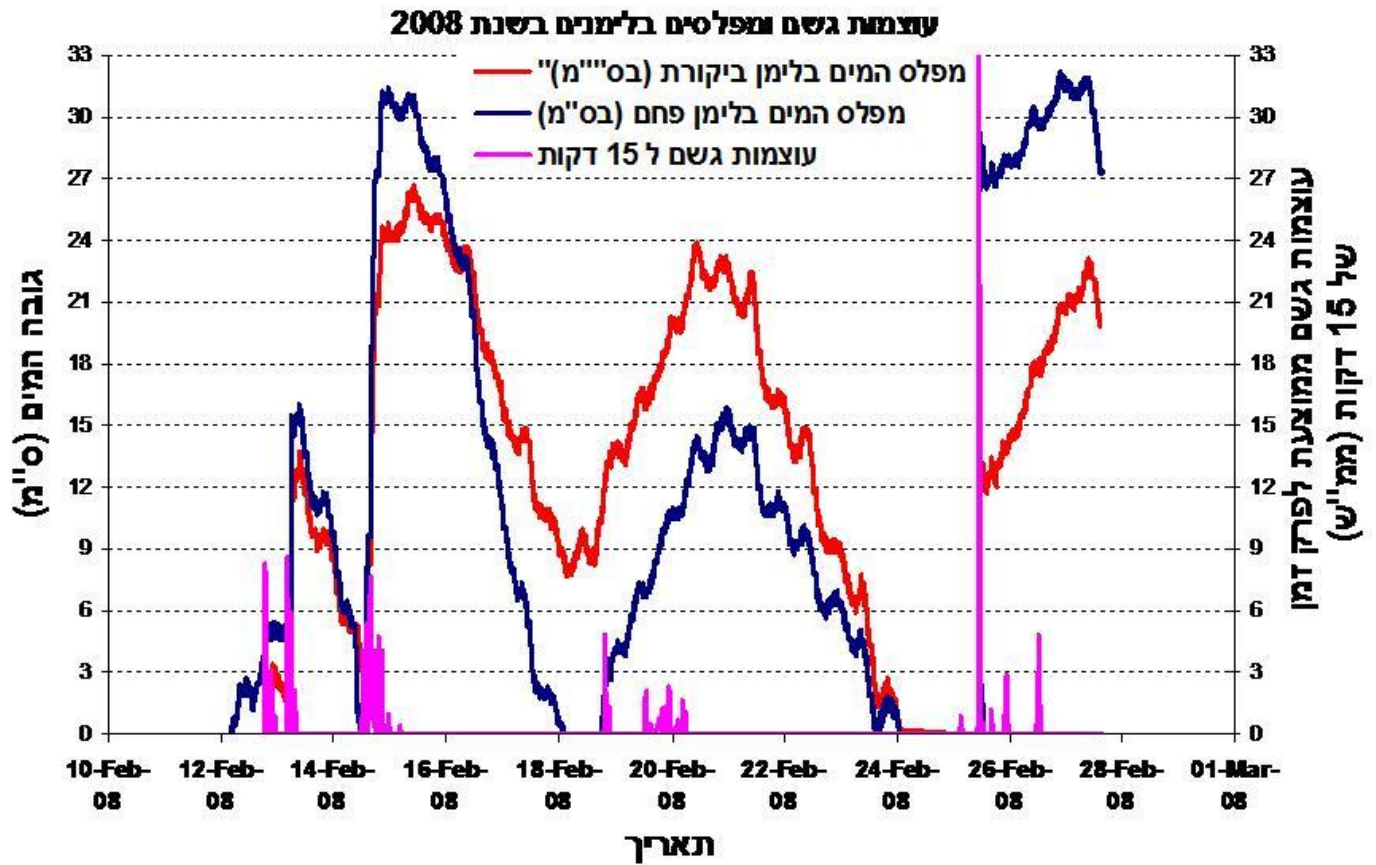




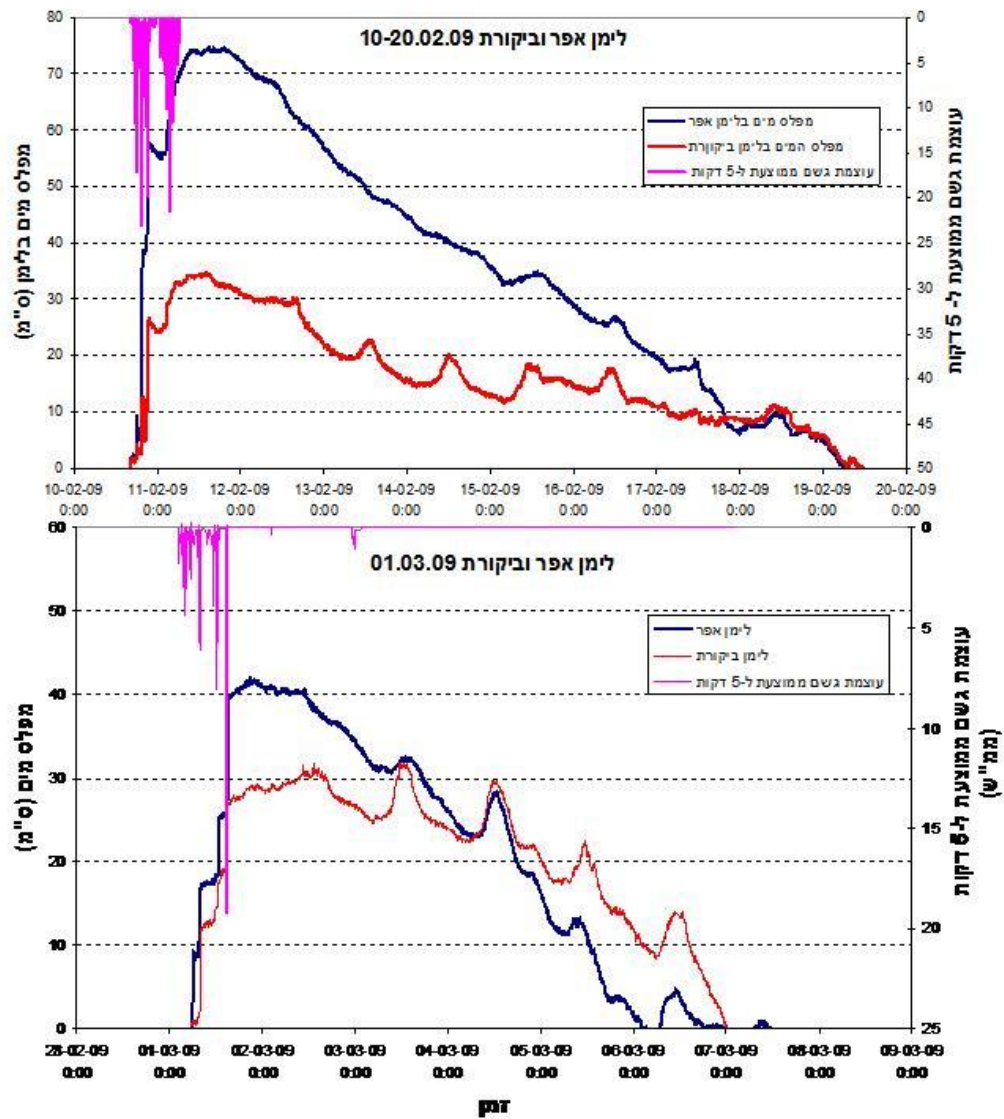
תמונה 11: קרקע חרסית-נתרנית עם תוספת של 80 ט"ד' אפר פחם מרחף וללא תוספת, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007



איור 1: תכולת רטיבות בקרקע מלימנים שטופלו באפר בשיעורי הוספה שונים.

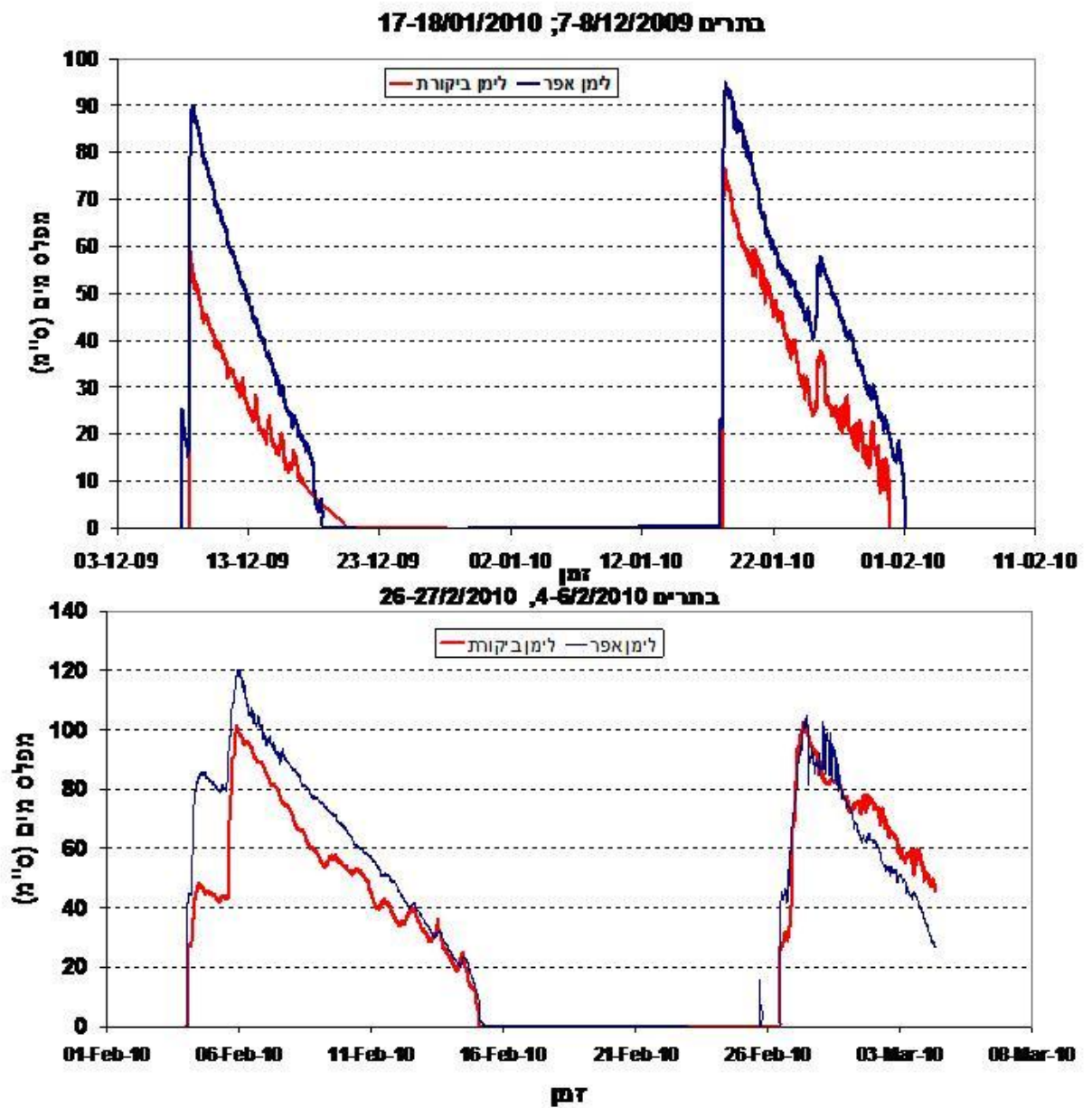


איור 2-א': רישום רום המים בלימן העמוס בפחם ובלימן הביקורת – חורף 2007/8.

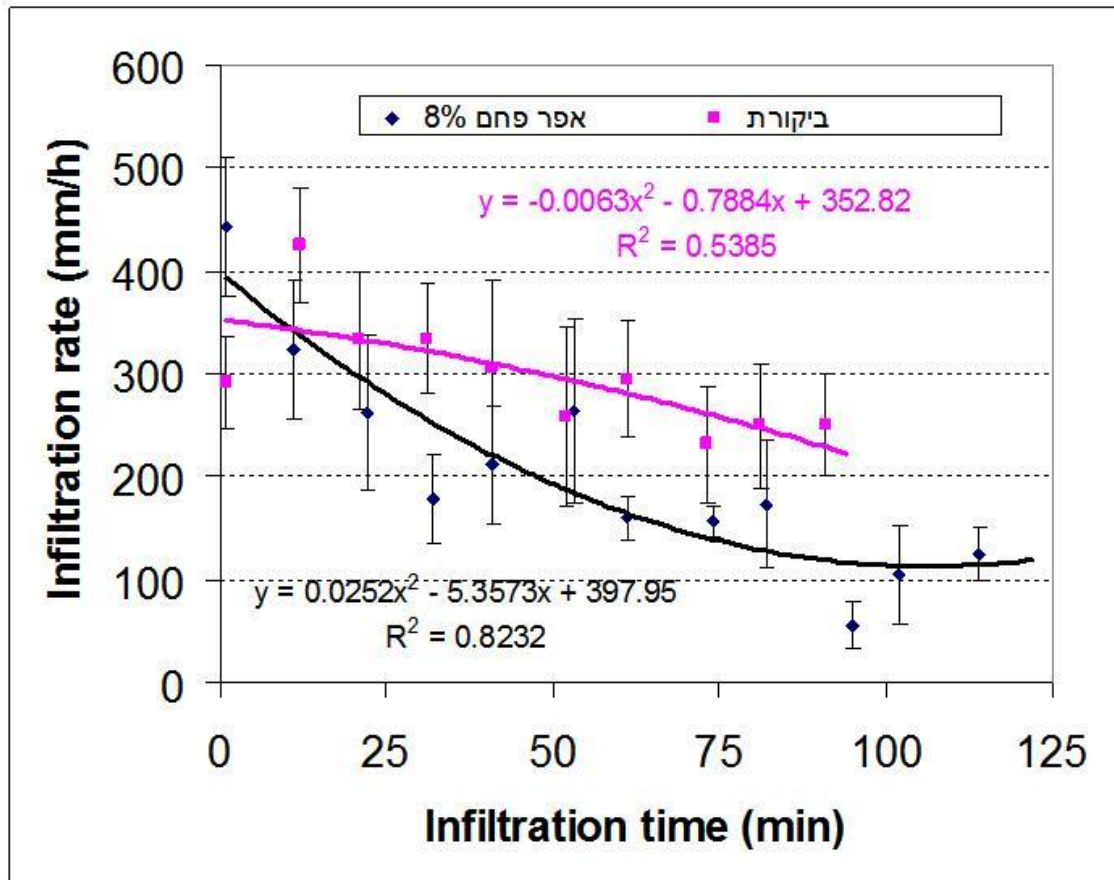


איור 2-ב': רישום רום המים בלימן העמוס בפחם ובלימן הביקורת – חורף 2008/9.





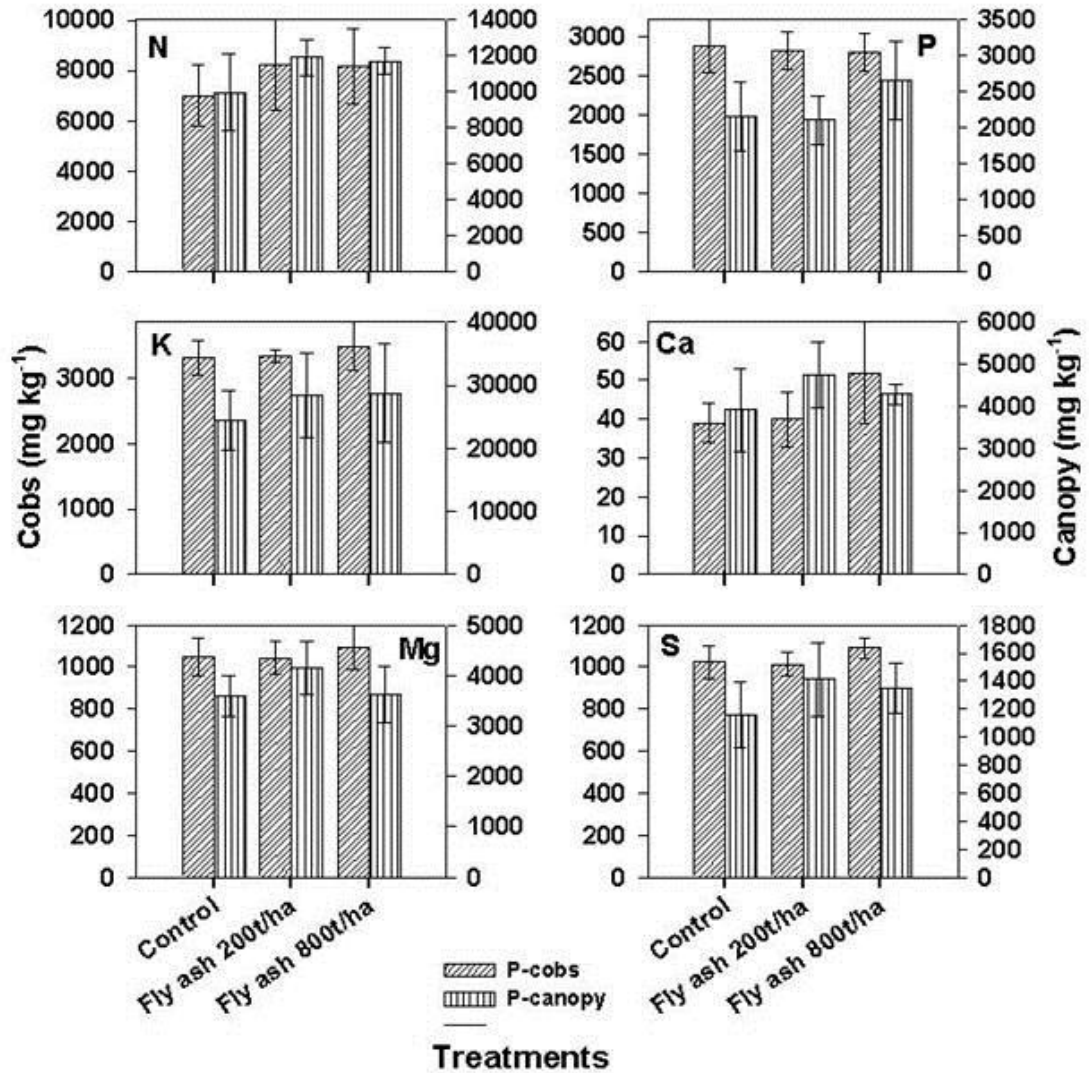
איור 2-ג': רישום רום המים בלימן העמוס בפחם ובלימן הביקורת – חורף 2009/10.



המוליכות ההידראולית הרוויה באגן שטופל ב-20 מ"ק/ד' אפר פחם ובאגן הביקורת שלא טופל באפר. המדידה נעשתה בשיטת הטבעת הכפולה. הנתונים הם ממוצעים וטעויות תקן של 4 חזרות בכל אגן. כל ממוצע מייצג תוצאות שנתקבלו במהלך פרק זמן של 10 דקות. קווי המתאם חושבו על-פי הממוצעים.

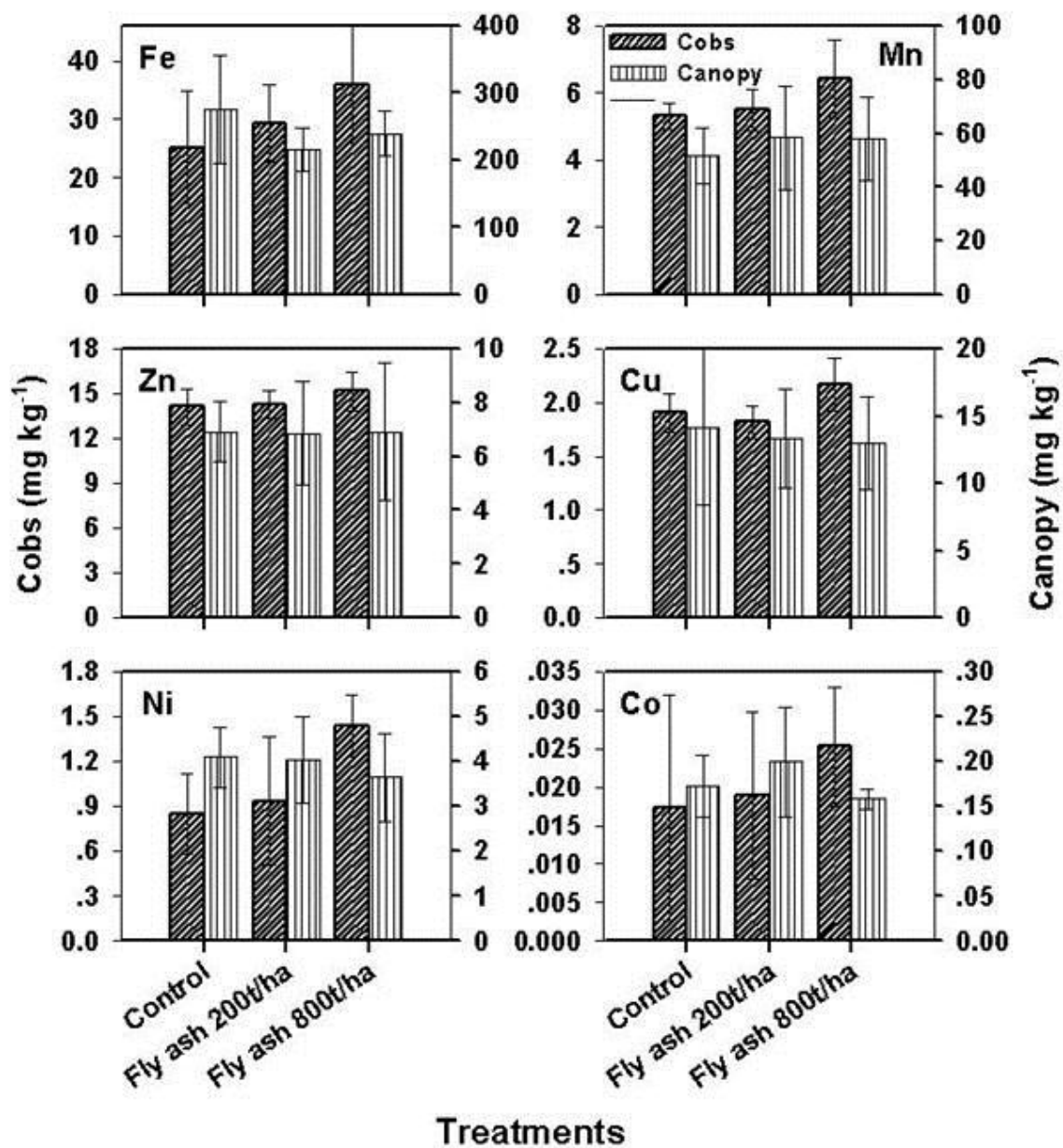


Concentration of major elements in corn plants (cobs and canopy) grown of a clayey soil heavily amended with fly ash



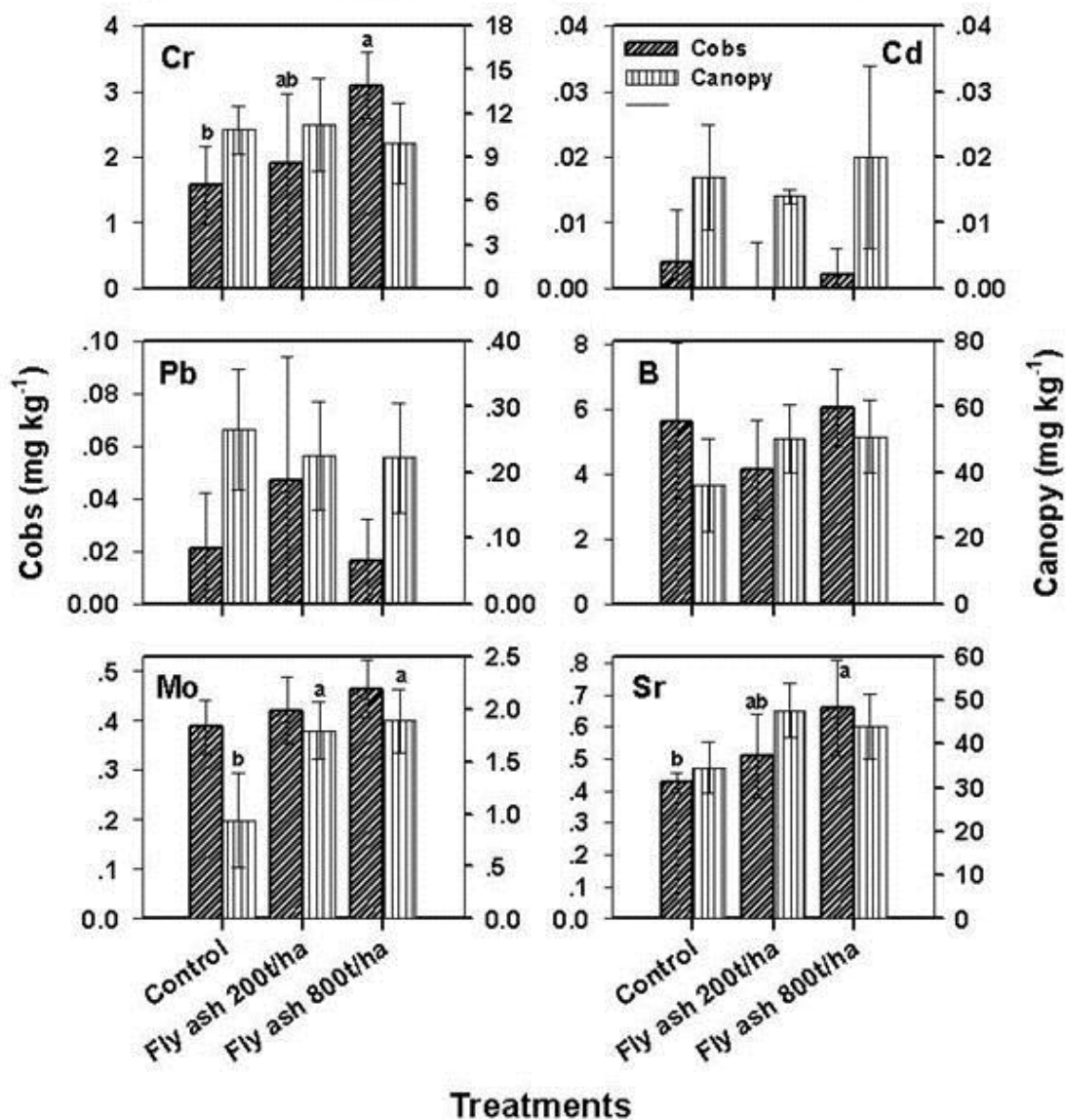
איור 4: ריכוזי יסודות בקלחים ובנוף של צמחי תירס שגדלו בקרקע רבדים, שטופלה באפר פחם מרחף בשיעורים השקולים ל-20 ול-80 טון/ד' (ערבוב בשכבת החריש) בהשוואה להיקש ללא תוספת אפר לקרקע (גידול בשנת 2005).

Concentration of trace elements in corn plants (cobs and canopy) grown of a clayey soil heavily amended with fly ash

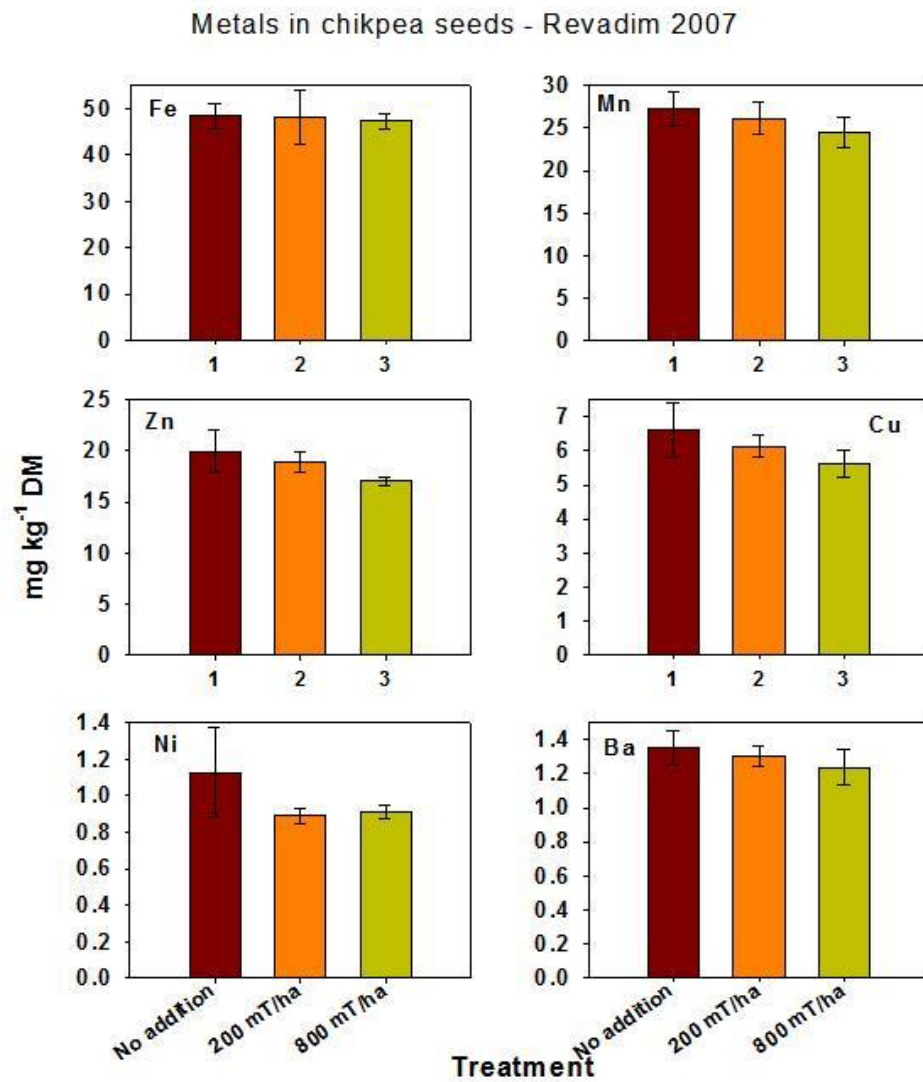


איור 4-ב': ריכוזי יסודות בקלחים ובנוף של צמחי תירס שגדלו בקרקע רבדים, שטופלה באפר פחם מרחף בשיעורים השקולים ל-20 ול-80 טון/ד' (ערבוב בשכבת החריש) בהשוואה להיקש ללא תוספת אפר לקרקע.

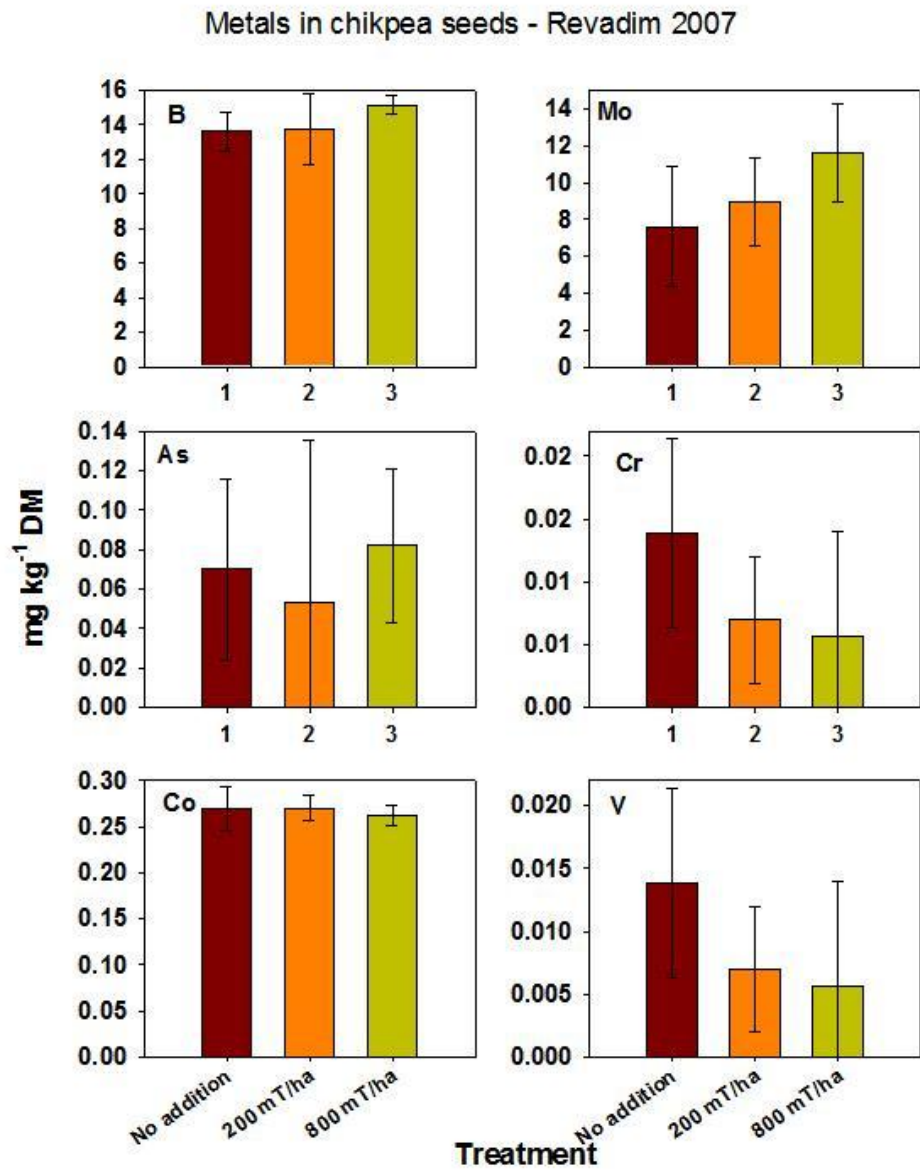
Concentration of trace elements in corn plants (cobs and canopy) grown of a clayey soil heavily amended with fly ash



איור 4-ג': ריכוזי יסודות בקלחים ובנוף של צמחי תירס שגדלו בקרקע רבדים, שטופלה באפר פחם מרחף בשיעורים השקולים ל-20 ול-80 טון/ד' (ערבוב בשכבת החריש) בהשוואה להיקש ללא תוספת אפר לקרקע.

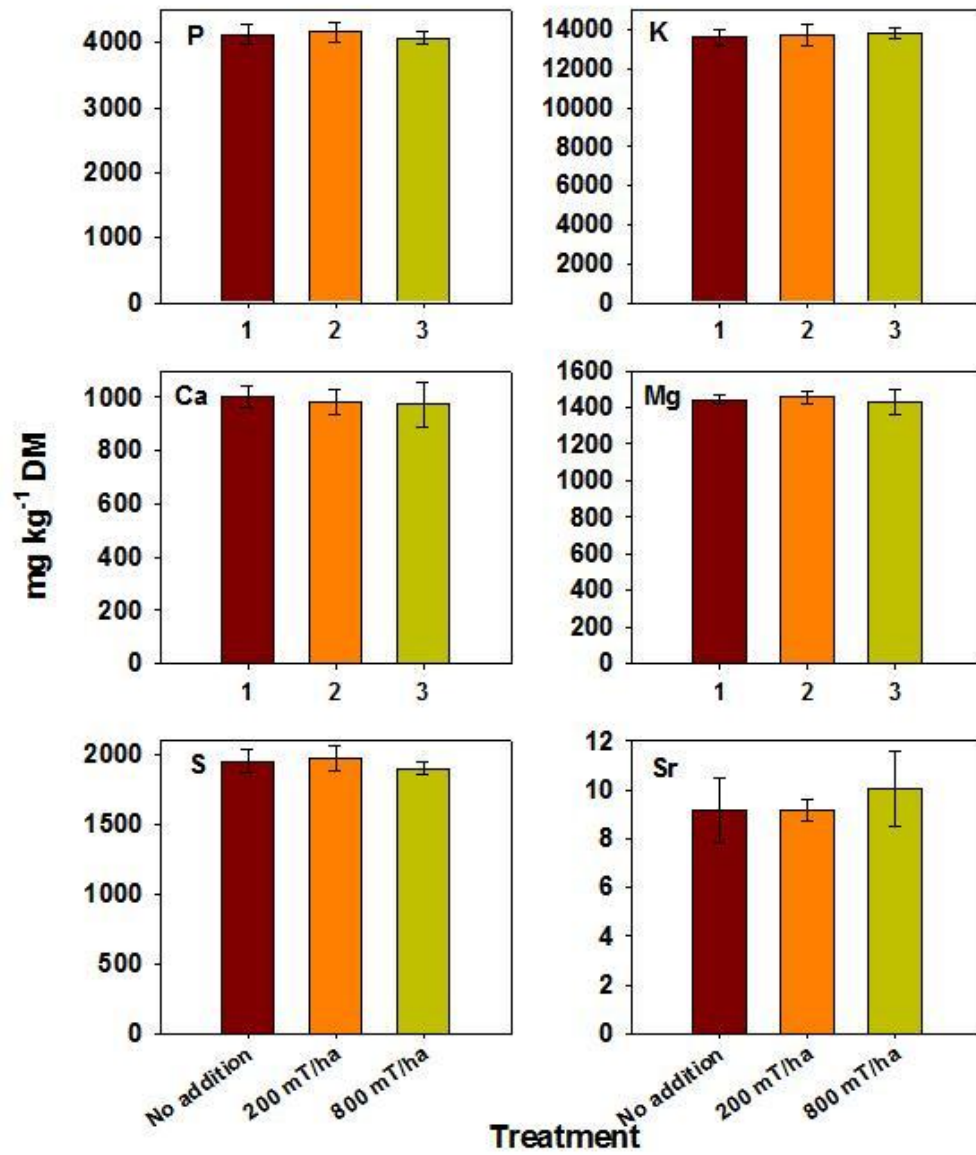


איור 5-א': ריכוזי יסודות בזרעי חמצה שגדלו בקרקע רבדים, שטופלה באפר פחם מרחף בשיעורים השקולים ל-20 ול-80 טון/ד' (ערבוב בשכבת החריש) בהשוואה להיקש ללא תוספת אפר לקרקע (אביב 2007).



איור 5-ב' (ראה לעיל)

Metals in chickpea seeds - Revadim 2007



איור 5-ג' (ראה לעיל)