

האוניברסיטה העברית בירושלים

הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה ברחובות

המחלקה למדעי הקרקע והמים

**תכונות פיזיקליות של דוגמאות אפר פחם:  
התפלגות גודל חלקיקים, עקומי תאחיזת מים,  
תכולת מים ואוויר בתנאים משתנים של מתח מים**

דוח בדיקה

מוגש למנהלת אפר הפחם

ע"י

פרופ' יונה חן

צלה אביעד

## 1. מטרות הבדיקה

אפיון פיזיקלי של מדגמי אפר פחם תחתית מנופה למקטע גודל 0-8 מ"מ, ממקורות שנדגמו בשנת 2017 בתחנת הכוח רוטברג, כולל מדידת הפרמטרים האלה: התפלגות גודל החלקיקים, מדידת פירוס תכולת הרטיבות ותכולת האוויר במתחי מים שונים בתחום 0-100 ס"מ מים, וחישוב מדדי רטיבות כמקובל בספרות.

## 2. מהלך הבדיקה

### א. בדיקת התפלגות גודל חלקיקים

התפלגות גודל החלקיקים נקבעת על סמך ניפוי בסדרת נפות ושקילת האפר המצטבר בכל נפה. הניפוי בוצע במכשיר ניפוי רוטט (3 analysette מתוצרת חברת FRITSHC). הרטט הוא בתדירות של 3000 ויברציות לדקה, באמפליטודה של 2-3 מ"מ, למשך כ-3 דקות. תהליך הניפוי של כל דוגמה בוצע ב-4 מנות, כאשר בין אחת לשנייה פונו הנפות מחלקיקי האפר. המקטעים שהצטברו בנפות השונות, נשקלו ונמדדו נפחן ומשקלן. התוצאות מבוטאות ב-% (משקלי ונפחי) מתוך סך כל הדוגמה.

### ב. בדיקת עקום תאחיזה במתח של בין 0-100 ס"מ

הבדיקה נערכת בשיטת "עמוד המים התלוי" (ראה חוברת מצעי גידול – חן וחובריו, 2002). בשיטה זו אורזים את החומר הנבדק בכלי זכוכית שתחתיתו ממברנת זכוכית (סינר-גלס) נקבובית, שגודל נקבוביה קטן מזה אשר עלול לאבד את מימיו (להחלפה באוויר) במתח מים הגדול מ-100 ס"מ. מרוויים את המצע במים, מגיעים לשיווי משקל מים/מצע. כעבור זמן מה (מספר ימים) מורידים את הזרוע המצויה בכלים שלובים עם המצע מספר ס"מ, וממתינים לשיווי משקל. בודקים את כמות המים שהתנקזה (נפח מים אלה שווה לנפח האוויר במצע). חוזרים על פעולה זו בהתאמה למספר הצעדים (הפרש של מתח המים) הנדרש עד שמגיעים למתח המקסימלי הנבדק = 100 ס"מ.

### ג. מיצוי מימי ביחס 1:1 ובדיקת ה-pH והמוליכות החשמלית

## 3. תוצאות

בטבלה 1 מוצגים המספר הסידורי של הדוגמה וסימונה כפי שנמסרו למחברים ע"י נציגי מנהלת אפר הפחם.

טבלה מס' 1: דוגמאות אפר הפחם שנבדקו.

<u>מספר</u>	<u>שם דוגמה לפי המנהלת</u>
1	22
2	23
3	24
4	25

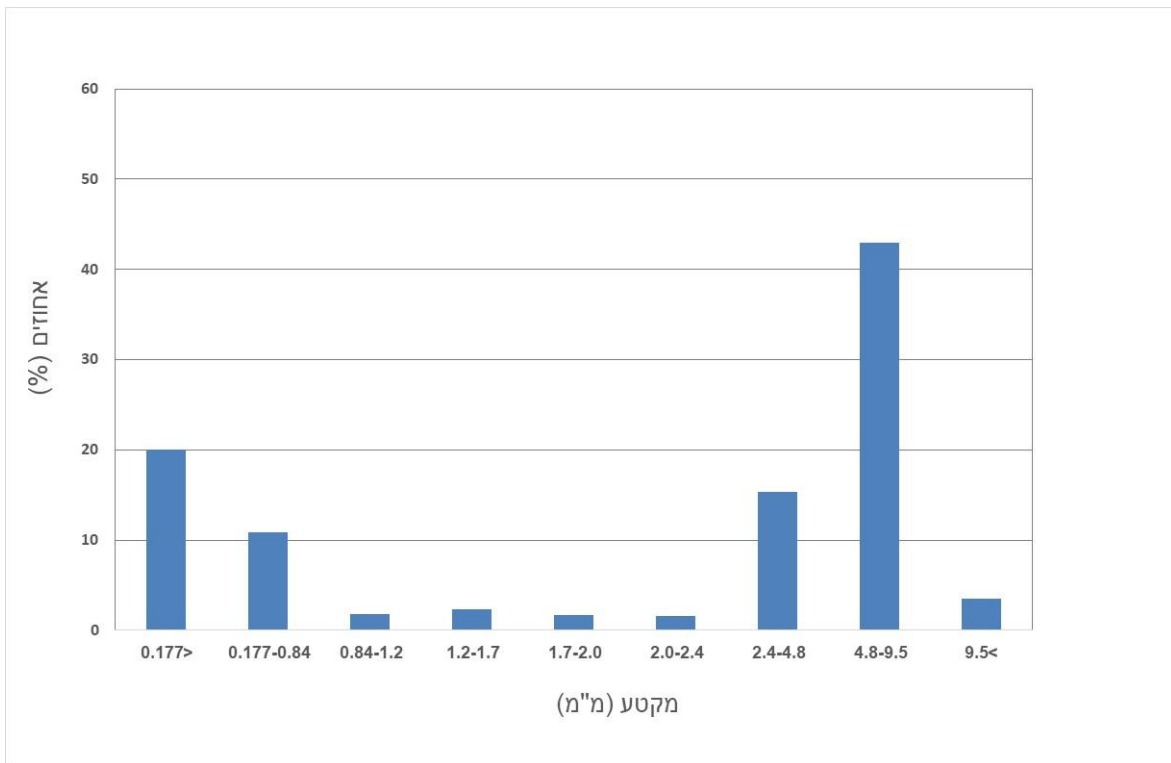
## התפלגות גודל החלקיקים

בטבלה 2 מוצגות תוצאות ניפוי החלקיקים : האחוזים ניתנים לכול אחד מטווחי גודל חלקיקים.

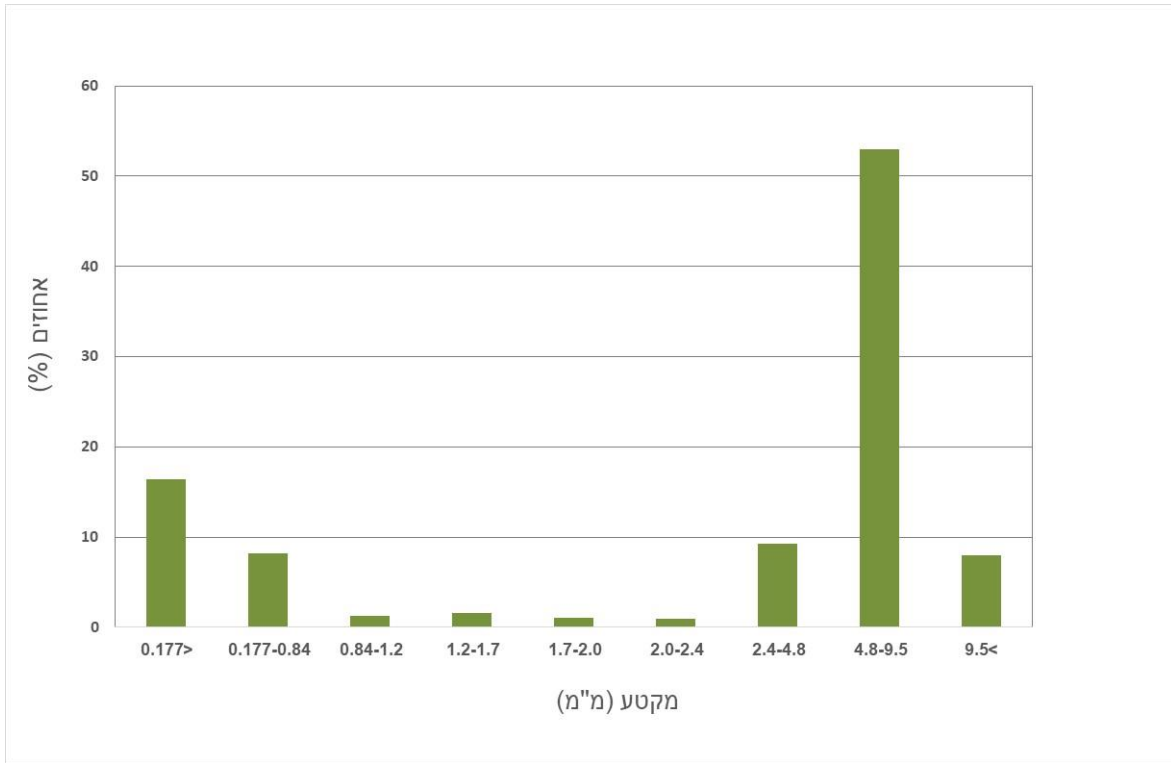
טבלה 2 – התפלגות גודל החלקיקים של דוגמאות אפר הפחם.

טווח גודל חלקיקים (מ"מ)									דוגמה
>9.5	4.8-9.5	2.4-4.8	2.0-2.4	1.7-2.0	1.2-1.7	0.84-1.2	0.177-0.84	<0.177	
(%)									
3.5	43.0	15.3	1.6	1.7	2.3	1.8	10.9	20.0	<b>22</b>
8.0	53.0	9.3	1.0	1.1	1.6	1.3	8.2	16.4	<b>23</b>
7.4	29.3	13.2	1.7	1.7	2.6	2.0	12.4	29.2	<b>24</b>
5.9	32.2	14.9	1.7	1.6	2.1	1.9	10.4	29.6	<b>25</b>

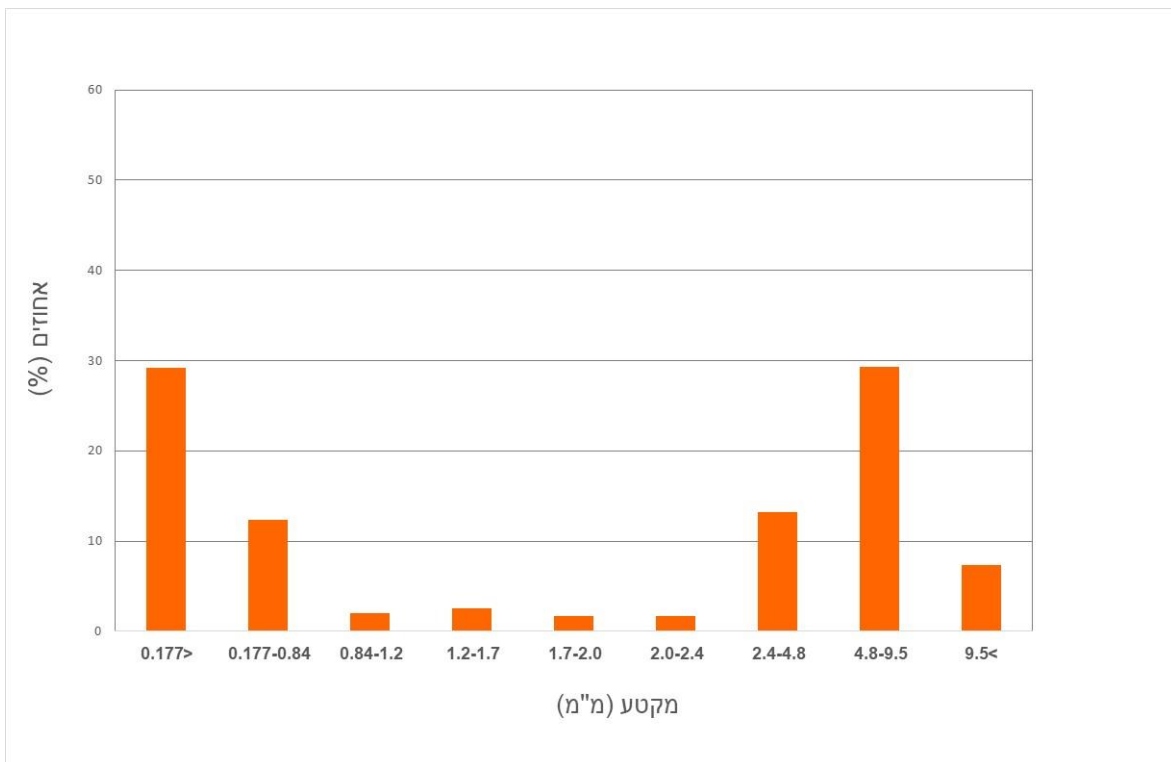
באיורים 1-4 מוצגים נתוני התפלגות גודל החלקים של דוגמאות אפר הפחם.



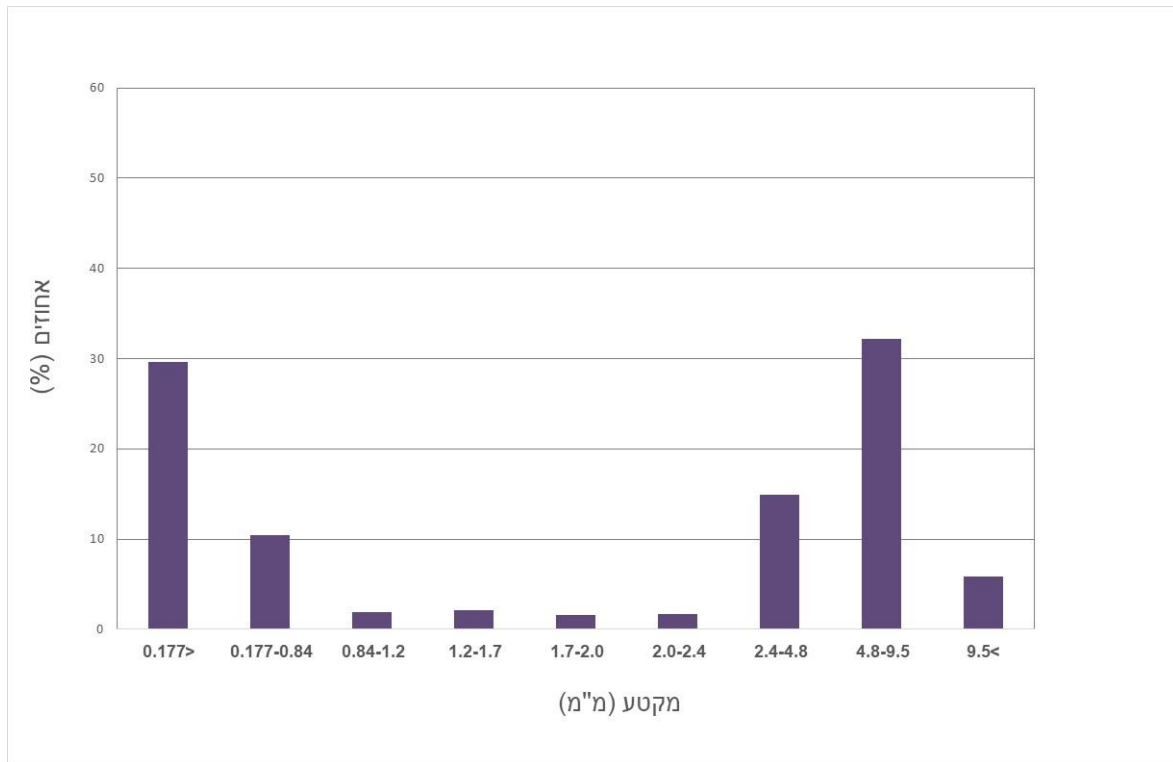
ציור 1- התפלגות גודל החלקיקים של דוגמה מס' 22 (באחוזים).



ציור 2 - התפלגות גודל החלקיקים של דוגמה מס' 23 (באחוזים).



ציור 3 - התפלגות גודל החלקיקים של דוגמה מס' 24 (באחוזים).



ציור 4- התפלגות גודל החלקיקים של דוגמה מס' 25 (באחוזים).

כפי שניתן לראות בטבלה 2 ובאיורים 1-4 אין הבדלים משמעותיים מבחינת התכונות הצפויות למצעי גידול צמחים בין ארבע הדוגמאות. המקטע הדק ביותר  $<0.177$  מ"מ, מהווה בין 16% ל-30% מכלל החומר וזו כמות גדולה מהרצוי לשימוש במצע גידול. על-כך בהכנה לשימוש במצע יידרש ניפוי נוסף והרחקת מרכיב זה או לפחות תוספת כ-20% של חומר אורגני – קומפוסט או כבול שישפרו התכונות הפיזיקליות של המצע.

#### עקום התאחיזה

הגדרות מקובלות מבוססות על חלוקת עקום התאחיזה למקטעים:

**קיבול אויר מדוד** – 0-10 ס"מ (מתח מים)

**מים זמינים בקלות** 10-50 ס"מ (מתח מים)

**מי רזרבה** 50-100 ס"מ (מתח מים)

**מים שאריתיים** – המים שנותרו במצע לאחר יצירת מתח של 100 ס"מ

**נקבוביות כללית** – סה"כ הנקבובים במצע- כפי שנמדדים לפי כמות המים במצע במתח 0

**קיבול עציץ** – כמות המים במתח 20 ס"מ

בטבלה 3 מוצגים, בכל שורה, נתוני תכולת רטיבות לכל דוגמה (בשתי חזרות לדוגמה). כל שורה מייצגת מתח מים נתון. כל אחד מהטורים מייצג דוגמה נתונה, כאמור בשתי חזרות של המדידה. ההפרש בין תכולת הרטיבות בכל אחת מהשורות, לבין הערכים הרשומים במתח מים אפס שווה לתכולת (קיבול) האוויר המתהווה במצע, בכל מתח מים. הערכים המתקבלים (בהתאמה להגדרות מקובלות- המוצגות כפי שמפורט לעיל), ניתנים בטבלה 4.

טבלה מס' 3: נפח מים נותר בכל מתח מים, כאחוז מנפח המצע (מוצגות שתי חזרות בכל מדגם) - תוצאות מדידת עקומי התאחיזה (אחוז רטיבות נפחי).

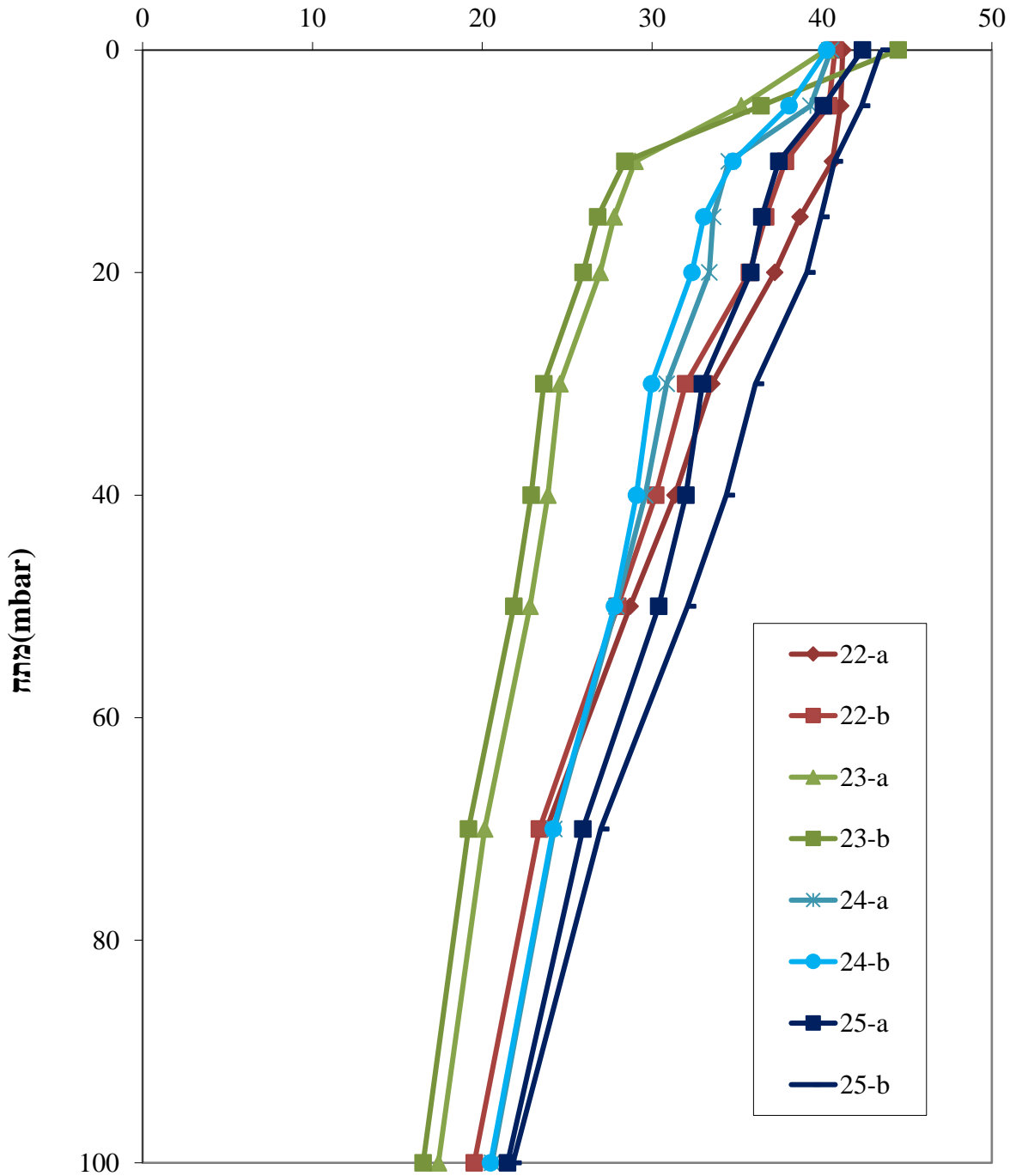
מתח (מ"ס)	22-a	22-b	23-a	23-b	24-a	24-b	25-a	25-b
0	41.2	40.8	40.2	44.5	40.5	40.3	42.4	43.5
5	41.1	40.4	35.2	36.4	39.3	38.1	40.1	42.3
10	40.6	37.8	29.0	28.4	34.5	34.8	37.5	40.7
15	38.7	36.7	27.8	26.8	33.6	33.0	36.5	39.9
20	37.2	35.7	26.9	25.9	33.4	32.3	35.8	39.1
30	33.5	32.0	24.6	23.6	30.9	30.0	33.0	36.1
40	31.3	30.2	23.9	22.9	29.6	29.1	32.0	34.4
50	28.7	28.0	22.8	21.9	27.9	27.8	30.4	32.1
70	23.8	23.4	20.1	19.2	24.2	24.2	25.9	27.0
100	19.7	19.5	17.4	16.5	20.6	20.5	21.5	21.8

טבלה מס' 4: חישובי תחומים של עקום התאחיזה (ממוצע שתי החזרות).

דוגמה מספר	22	23	24	25
קיבול עציץ (%)	36.5	26.4	32.9	37.5
קיבול אויר מדוד (%)	1.8	13.7	5.8	3.8
מים זמינים בקלות (%)	10.9	6.4	6.8	7.9
מי רזרבה (%)	8.7	5.4	7.3	9.6
מים שאריתיים (%)	19.6	17.0	20.5	21.6
נקבוביות כללית (%)	41.0	42.4	41.3	42.9
משקל נפחי (גר/סמ"ק)	0.93	0.93	0.82	0.93

עקומי התאחיזה עצמם לכל הדוגמאות והחזרות, ניתנים בציור 4. ניתן לראות מנתוני הטבלה שערכי קיבול העציץ גבוהים (26% - 38%) ודומים לערכים של קרקע בינונית מרקם, בעוד שקיבול האוויר המדוד (1.8% - 13.7%) נמוך במידה ניכרת מהרצוי (20% - 30%). הערך הגבוה יחסית לקיבול האוויר המדוד (13.7%) מתאים לאחוז הנמוך ביותר מבין הדוגמאות (16.4%) של המקטע הדק ביותר ( $0.177 < \text{מ"מ}$ ), הנותר בדוגמה לאחר הניפוי. לבעיה זו של קיבול אוויר לא מספק (בכול הדוגמאות), ניתן למצוא פתרון באמצעות תוספת חומר אורגני, כפי שנאמר לעיל.

### אחוז רטיבות נפחי



ציור 4 - עקום התאחיזה של החומרים (2 חזרות לכל מדגם).

ניתוח עיקרי המידע שמספקים עקומי התאחיזה משתקף בערכים המוצגים בטבלה מס' 3, אליהם התייחסנו תוך התייחסות לטבלה. כמובן שעקומי התאחיזה נותנים תמונה רציפה וזו אינפורמטיבית אף יותר מנתוני הטבלה. עקומי תאחיזה משופרים, דהיינו מתאימים יותר לגידול צמחים, יתקבלו ללא ספק כאשר אפר הפחם יעורבב כך שיכיל כ- 25% חומר אורגני. בטבלה 4 מוצגים נתוני ה-pH והמוליכות החשמלית במיצוי המימי של סוגי אפר הפחם שנבדקו.

טבלה מס' 4 : תוצאות בדיקות מוליכות חשמלית ( EC ) ו- pH במדגמי אפר הפחם, ביחס מיצוי 1:1 (אפר:מים).

EC	pH	דוגמה
dsim/m		
1.05	8.5	22
1.10	8.1	23
0.71	8.6	24
0.80	8.4	25

ערכי ה-pH של הדוגמאות השונות הם דומים ומצויים בתחום הבסיסי הנמוך האופייני בדרך כלל לאפר פחם תחתית . בכל המדגמים ערכי המוליכות החשמלית שנתקבלו במיצוי 1:1, נמוכים (בתחום של 0.71 עד 1.1 דסימנס/מ'), וכולם מצויים בתחום האופטימלי לגידול צמחים, כלומר אין לצפות לבעיות לצמחים הנובעות מריכוז גבוה של מלחים. על-כן ניתן לומר שלא תידרש שטיפת המצע אלא אם ריכוז המלחים שיוסף עם החומר האורגני יהיה גבוה. מצב זה יכול להיווצר אם יוסף למצע קומפוסט שמליחותו גבוהה. מבעיה זו ניתן להימנע אם ישתמש מפעל הכנת התערובות בכבול מסחרי או בקומפוסט שרמת המלחים בו נמוכה.