שטיפת מלחים מקומפוסט באמצעות טיפטוף

אביתר איתיאל - שה״מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
ריצרד פולקרסם - אונ׳ דן בוס, הולנד
אבי אושורוביץ, יובל ברזילי, רבקה אופנבך, יורם צביאלי - מו״פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר
כתובת המחבר : eviatar@arava.co.il

תקציר

עד לא מזמן, הפתרון לגידול ירקות בקרקעות החמדה בערבה היה ציפוי הקרקע בחול מיובא לגובה שכבה של 30-40 ס״מ. עקב דלדול מקורות החול באזור נוצר הצורך למצוא חלופות בהם ניתן להסתפק בכמויות מצע קטנות יותר. מצע קומפוסט הינו אחד הפתרונות הזמינים כאשר מיושם בתעלה החפורה בקרקע המקומית. לקומפוסט יתרונות ברורים בשל הרקע התזונתי העשיר המצוי בו, אך המליחות הגבוהה דורשת הדחה לפני תחילת הגידול.
בניסוי שהתבצע בתחנת יאיר בתקופה ינואר-אפריל 2013, ושמטרתו בחינת טיפולים להשגת יעילות שטיפה מרבית, שימשו מכלי פוליסטירן (קלקר) להדמיית תעלות קומפוסט במעטפת חול. שני גורמים נבחנו במערך פקטוריאלי : (1) עובי שכבת הקומפוסט : 10 , 20, ו- 30 ס״מ, (2) מספר שלוחות הטפטוף : 2, 4, ו-6 שלוחות. בנוסף, נבחן טיפול של מחסום קפילרי בתצורה של שכבת חול בעובי 3 ס״מ מעל למצע הקומפוסט. לאחר שטיפה של 400 מ״מ, טיפול המחסום הקפילרי השיג את יעילות השטיפה הגבוהה ביותר עם 20% פחות מלח בשכבת הקומפוסט, תוספת של 10 ו 50% מלח, בנקז ובשכבת החול בצדי התעלה, בהתאמה. העלאת מספר השלוחות השפיע רק בתעלה רדודה של 10 ס״מ, כאשר בכל יתר הטיפולים לא נמצאה תוספת יעילות בשטיפה. ממוצע המליחות השאריתית בקומפוסט בתום השטיפה עמד על 28%, כאשר 55% מכמות המלח התחילית התנקזו ו- 17% נדחקו לשוליים. נמצאה התאמה קווית גבוהה בתשטיף בין ערכי המוליכות וריכוזי הכלוריד. בכוונתנו להמשיך ולבחון גורמים נוספים העשויים להשפיע על יעילות הדחת המלחים.

מבוא

תנועת מומסים

מלח מהסוג של נתרן כלורי (NaCl) המומס במים, הופך יחד עם המים לתמיסה בה קיימים הצורניים היונים Na^+ ו- Cl^- בכמות מטענים שקולה. תנועת היונים בתמיסת הקרקע יכולה לנבוע משני כוחות : (1) תנועת מסה (קונבקציה) של המים והמומסים בתוכם, (2) תנועה דיפוסית בתוך תמיסת הקרקע הנובעת מהפרשי ריכוזים. משוואה המבטאת את תנועת המלח בקונבקציה :

$$J_{convection(salt)} = Q_{(water)} * c_{(salt)} \qquad [1]$$

Q הינו שטף המים (כמות ליחידת שטח, ליחידת זמן) ו c הינו ריכוז המלח בתמיסה.
כוח הדיפוסיה המניע במרחב את התנועה היונית בתיסת הקרקע לפי :

$$J_{diffusion(salt)} = D_e\left(\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z}\right) \qquad [2]$$

D_e הינו מקדם הדיפוזיה האפקטיבי בתמיסת קרקע מסוימת, ו- $\frac{\partial C}{\partial x,y,z}$ הינו מפל הריכוזים בכיוונים: X, Y, Z.

המשוואה המשותפת לשני הכוחות נקראת: קונבקציה-דיספרסיה ומתארת את שטף המלח בשלושת הממדים:

$$J_{(salt)} = qC + D_e\left[\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z}\right] \qquad [3]$$

ככל שהחלקיקים במצע אחידים יותר וחדור המים במישור ה- XY אף הוא אחיד, כך תפחת חשיבות הרכיב הדיפוזי בשטף המלח. תנועת מים מועדפת מתארת תנועה שאינה אחידה, הנובעת משונות מרחבית גבוה במוליכות ההידראולית של המצע. השקיה בטפטוף מוגדרת כאספקת מים נקודתית שאינה אחידה במישור XY, כאשר לכל טפטפת מוגדר שטח כיסוי התלוי בפיזור הטפטפות במרחב.

מחסום קפילרי

מחסום קפילרי מאופיין בשתי שכבות קרקע בעלות מרקם שונה באופן קיצוני כאשר העליונה בעלת כוחות מטריציים (אחיזת מים) גבוהים מהתחתונה כך שכל עוד הרטיבות בשכבה העליונה נמוכה מרוויה, הניגוד בתכונות ההידראוליות בשכבת הגבול מעקב את ההתנקזות ומשאיר את המים בשכבה העליונה (Kampf *et al*., 1998).

מטרת העבודה

לבחון את השפעת ציפוף הטפטפות והצבת מחסום קפילרי על יעילות הדחת המלחים בתלות בעובי שכבת הקומפוסט. יעילות ההדחה (Le) הוגדרה כערך המנורמל של רכיב המלח המודח L_f (L_f*L^3 L^{-3}) לנפח הקומפוסט ולנפח מי השטיפה:

$$Le = L_f\frac{\text{Media volume}}{\text{Water volume}} = L_f\left[\frac{M_v}{W_v}\right] \qquad [4]$$

L_f מוגדר:

$$L_f = 1 - \frac{EC_{final}}{EC_{initial}}. \qquad [5]$$

הנחת המחקר גורסת שככל שמספר שלוחות הטיפטוף יעלה כך גם יעילות ההדחה וזאת עקב חלוקת מים אחידה יותר ללא תלות בעובי שכבת הקומפוסט. בנוסף, תעלה יעילות ההדחה בהשפעת המחסום הקפילרי.

שיטות

הניסוי התבצע בתחנת יאיר בתקופה פברואר-אפריל 2013. מיכלי גידול עשויים פוליסטירן (קלקר) שימשו להדמיית תעלות קומפוסט (תרשים 1). בתחתית המיכלים הותקן צינור מאסף נקז למיכל 20 ליטר. ממדי המיכלים היו 50 רוחב על 100 אורך ו-17 ס״מ גובה. בדפנות הותקנו לוחות פוליגל על מנת לאפשר גובה של 30 ס״מ. במרכז המיכל ברוחב של 40 ס״מ (תמונה1) הונחה שכבת הקומפוסט בעומק שתאם את אחד הטיפולים: 10, 20, ו- 30 ס״מ. שכבת חול בתחתית המיכל השלימה את הגובה כאשר יושמו השכבות 10 ו- 20 ס״מ. שני גורמים כ״א בשלוש

רמות ובארבע חזרות נבדקו: (1) עובי שכבת הקומפוסט: 10, 20, 30 ס״מ, (2) מספר השלוחות על גבי שכבת הקומפוסט: 2, 4, ו-6 שלוחות. בטיפול של 2 השלוחות בעומק שכבת קומפוסט של 30 ס״מ ניבחן בנוסף טיפול בו נוספה שכבת חול בעובי של 3 ס״מ מעל לשכבת הקומפוסט. מנת ההשקיה לטיפולים השונים הייתה אחידה וניתנה בפולסים של 50 מ״מ עם מספר ימי המתנה בין הפולסים. הנקז נאסף, נשקל ונבדק למוליכות וכלוריד. לאחר שניתנו 400 מ״מ נידגם כל מצע הקומפוסט לצורך קביעת המליחות הממוצעת במיצוי 1:10. במקביל בחזרה אחת בלבד, נערך דיגום לפירוס מליחות בשני משיורים בטיפולים עם ובלי מחסום קפילרי.

חישובים

כמות המלח המודח כוללת שני ריכיבים. (1) הרכיב שהגיע לנקז- D_f , (2) וזה שנדחק למעטפת החול- S_f.

$$L_f = 1 - \frac{EC_{final}}{EC_{initial}} = D_f + S_f \quad :$$]5[

EC_{final} ו $EC_{initial}$ הינם ערכי מוליכות המיצוי (1:10) (dSm^{-1}) לפני ואחרי השטיפה. נפח המצע (Mv) ($L^3\ L^{-2}$) מחושב לפי יעילות ההדחה (L_e) הינו הערך המנורמל של השבר המודח L_f לנפח מים ומצע ($L_f * L^3\ L^{-3}$) .

נפח המצע חושב באופן הבא:

$$\text{Medial volume} = \frac{\text{media volume per 1 linear meter}}{\text{bed spacing (m)}}$$]6[

מליחות המצע נמדדה במיצוי ביחס משקלי של 1 מצע ל-10 משקל מים ומצע. כמות המלח התחילית חושבה:

$$Qsalt_{(initial)} = 9 * EC_{initial} * 6.4 * 10^{-4} = EC * 0.019 (kgkg^{-1})$$]7[

ובחישוב לפי יחידת נפח מצע:

$$Qsalt_{(initial)} = EC_{initial}\frac{0.019}{0.76} = EC_{initial} * 0.025\ kg\ l^{-1}$$

ולחישוב כמות המלח השיורית

$$Qsalt_{(final)} = \left[\frac{EC_{final}}{EC_{initial}}\right] * Qsalt_{(initial)}(kg\ l^{-1}) \qquad \textbf{[9]}$$

ולחישוב מאזן מלח כולל:

$$0 = Q_{initial} - \left[Q_{final} + Q_{drained} + Q_{side\ pushed}\right] \qquad \textbf{[10]}$$

כאשר: $Q_{initial}$ חושב לפי **[4]**, $Q_{(final)}$ חושב לפי **[5]**, $Q_{drained}$ חושב על ידי מכפלת EC_d (dSm^{-1}) ב $0.64\ (g\ l^{-1})$ ומוכפל בנפח הנקז. $Q_{side\ pushed}$ חשוב לפי **[6]**

תוצאות

יעילות ההדחה

שתי השפעות ראשיות נמצאו על יעילות ההדחה: 1. לעובי שכבת הקומפוסט נמצאה השפעה מוסיפה על יעילות ההדחה (תרשים 4 C). ככל ששכבת הקומפוסט הייתה עבה יותר כך עלתה באופן קווי יעילות ההדחה. 2. המחסום הקפילרי נמצא יעיל יותר יחסית לביקורת (תרשים 7).

לגבי השפעת צפיפות השלוחות, נמצאה השפעת גומלין עם עובי שכבת הקומפוסט. בעובי שכבה של -10 ס״מ התקבלה עלייה ביעילות ההדחה ככל שנוספו שלוחות (טבלה 2; תרשים 4C) ביתר טיפולי עובי השכבה 20, ו-30 ס״מ לא נמצאה כל השפעה עם ממוצע של 28% מליחות שיורית, 17% שנדחק לחול בצידי התעלה, ו 55% שהודחו לנקז.

הצטברות מלח בנקז במהלך ההשקיות

משקל המלח בנקז (D_f) לנפח מצע לא השופע באופן משמעותי מאף לא אחד מהטיפולים (תרשים 4A) והגיע לערך ממוצע של 13.6 ק״ג מ$^{-3}$ קומפוסט שהיוו כ~55% מכמות המלח התחילית. הכמות המודחת בנקז בהשפעת מספר השלוחות עלתה רק בשכבת הקומפוסט בעובי של 10 ס״מ ולא מעבר לכך (תרשים 4C). מידת השיפור הייתה של 12% במעבר מ-2 ל-4 ו 10% מ-4 ל-6 שלוחות(תרשים 7A).

מקור המליחות

ערכי המוליכות החשמלית בנקז נמצאו בהתאמה גבוהה לערכי ריכוז הכלוריד (תרשים 5C). כל $1\ dSm^{-1}$ נמצא שווה ל 76 ח״מ של כלוריד בתמיסה.

ניטור תהליך השטיפה באמצעות משאבי תמיסה

מוליכות התמיסה שנשאבה באמצעות משאבים תאמה את מהלך השטיפה בערכי הנקז(תרשים 6). הבדיקה התבצעה רק בטיפולי עובי שכבת קומפוסט של 30 ס״מ. אחרי 200 מ״מ השקייה כל טיפולי מספר השלוחות דמו בערכי המוליכות.

פירוס המליחות השיורית בקומפוסט בשני מישורים

השוואת פירוס המליחות בין טיפול המחסום הקפילרי לייתר הטיפולים הראה תוצאות שונות לחלוטין. במישור XY (תרשים 8 A, B) נמצאה שונות קטנה ביותר בטיפול המחסום בעוד שבטיפול הביקורת (2 שלוחות) נמצאה שונות מרחבית גבוהה. בהתאמה גם פירוס מליחות במישור YZ טיפול הביקורת (תרשים 9 A, B) הניב ריכוזים נמוכים מתחת לטפטפת ועליה במליחות עם העלייה במרחק מהטפטפת, בעוד שבטיפול המחסום הקפילרי נמצאה אחידות גבוהה בריכוזי המלח במרחק האנכי מהטפטפת. שני הטיפולים הנסופים שנדגמו 4 ו-6 שלוחות בעומק קומפוסט של 30 ס״מ לא שיפרו באופן משמעותי את השונות מסביב לטפטפת בשני המישורים (תרשימים: B , 8,9A).

תרשימים

תרשים 1. מידות וחלוקת החומרים במיכל. בממדים של 40 ס״מ קומפוסט ועוד 25ס״מ חול משני צידי תעלת הקומפוסט. עובי שכבת הקומפוסט:A. 27 ס״מ ועוד 3 ס״מ חול, B. 30 ס״מ, C -20 ס״מ, ו- D 10 ס״מ. S- חול, C- קומפוסט.

תרשים 2. A מנות מי השטיפה, כמויות מי נקז לשכבות מצע בעובי של:10, 20, ו-30 ס״מ, כולל 28 ס״מ קומפוסט ו-2 ס״מ חול מעליו. B. עובי שכבת מים, מצטברת בהליך השטיפה מנורמלת לעובי שכבת הקומפוסט. C. השקייה במ״מ.

תרשים 3. מוליכות מי הנקז בטיפולי מספר השלוחות: 2, 4, ו-6 שלוחות. A. 10 ס״מ שכבת קומפוסט. B. 20 ס״מ שכבת קומפוסט. C. 30 ס״מ שכבת קומפוסט. D, E , F הינם כמויות המלח שהודחו ל-1 קוב קומפוסט.

תרשים 4. A. משקל מלח מודח לנפח מצע קומפוסט עבור נפחי מצע של: 27, 53 ו-80 ליטר למ״ר המחושבים מעובי שכבת מצע של 10, 20 ו-30 ס״מ. ההשקיה ניתנה ב: 2, 4 ו-6 שלוחות לערוגה. B. נפח שכבת המים שהתנקזה לנפח מצע. C. יעילות ההדחה היחסית לטיפול המצטיין של המחסום הקפילרי המושקה ב-2 שלוחות.

תרשים 5. מספר השלוחות לערוגה ועובי שכבת הקומפוסט על ממוצע: A. ריכוז הכלוריד בנקז, B. המוליכות החשמלית של הנקז, ו-C. המתאם בין המוליכות החשמלית וריכוזי הכלוריד.

תרשים 6. מי משאב שהוצב בתחתית מצע הקומפוסט בעומק 30 ס״מ בטיפולים 2, 4, ו-6 שלוחות לערוגה והמחסום הקפילרי.

תרשים 7. שתי שלוחות לערוגה עם ובלי מחסום קפילרי והשפעתם על: A. מאזן המלח בסיום השטיפה, B. מוליכות החול בצידי תעלת הקומפוסט בסיום השטיפה.

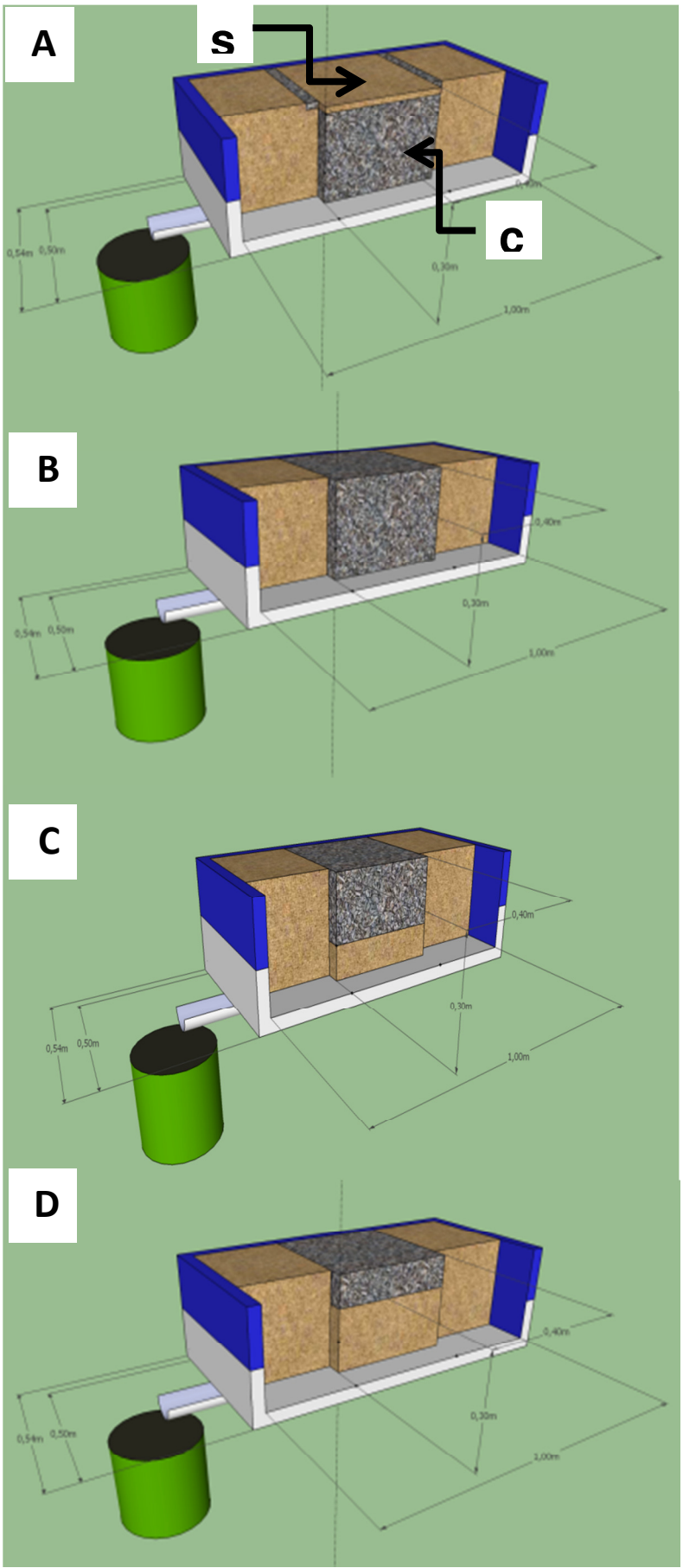
תרשים 8. פירוס מוליכות מיצוי המצע במישור האנכי: A. בביקורת-שתי שלוחות, B. במחסום הקפילרי-שתי שלוחות, C. בביקורת ארבע שלוחות, D. בביקורת שש שלוחות.

תרשים 9. פירוס מוליכות מיצוי המצע במישור האופקי: A. בביקורת-שתי שלוחות, B. במחסום הקפילרי-שתי שלוחות, C. בביקורת ארבע שלוחות, D. בביקורת שש שלוחות.

טבלאות

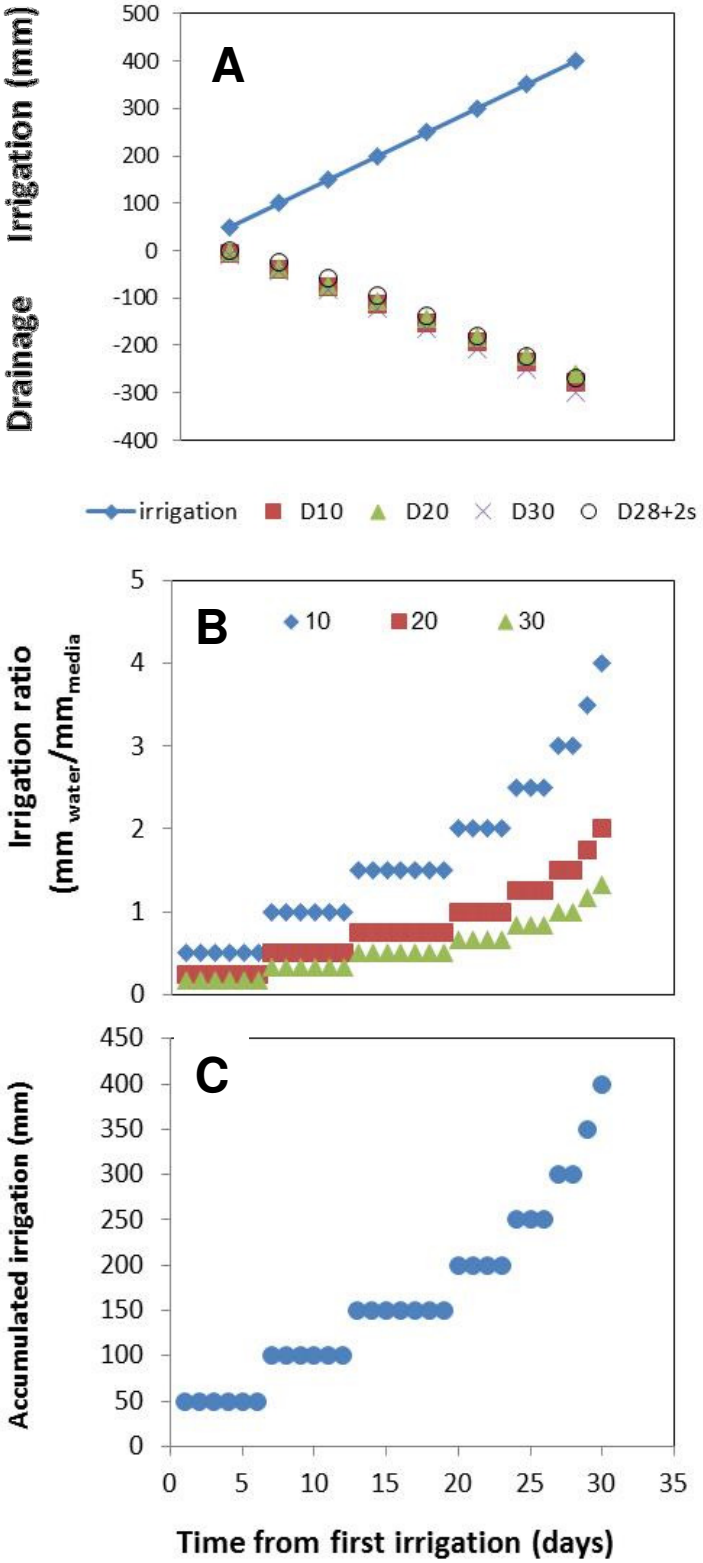
טבלה 1. מאפיינים הידראולים ופיסיקלים של המצעים.

טבלה 2. מבחן שונויות ותותאות הממוצעים עבור משתני עובי שכבת הקומפוסט ומספר השלוחות לערוגה. ערכים בהם ההסתברות לקבלת ערך F < 0.05 הינם שונים באופן מובהק. ממוצעים להם אות אנגלית שונה, ניבדלים בינם.

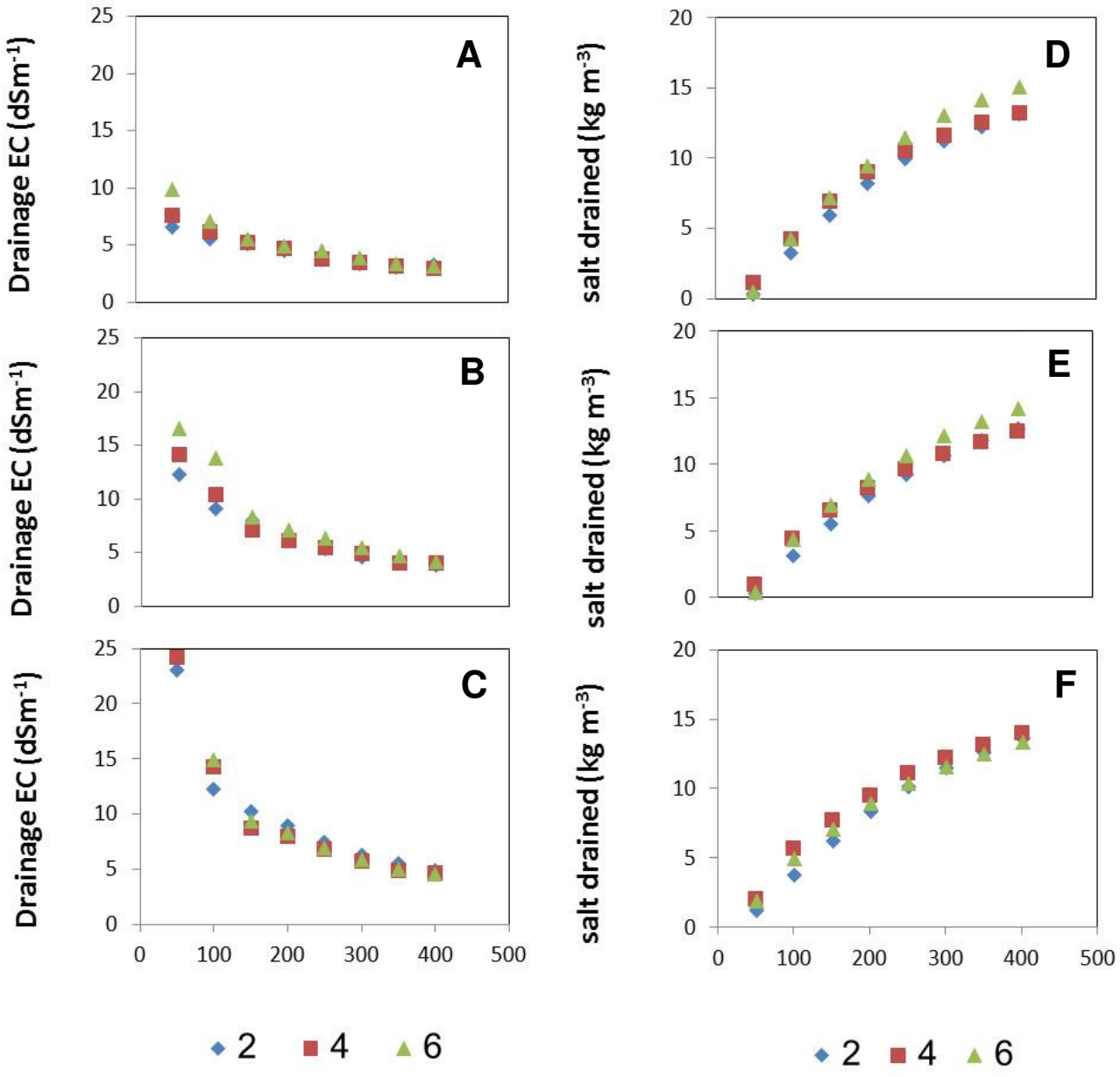


תרשים 1.

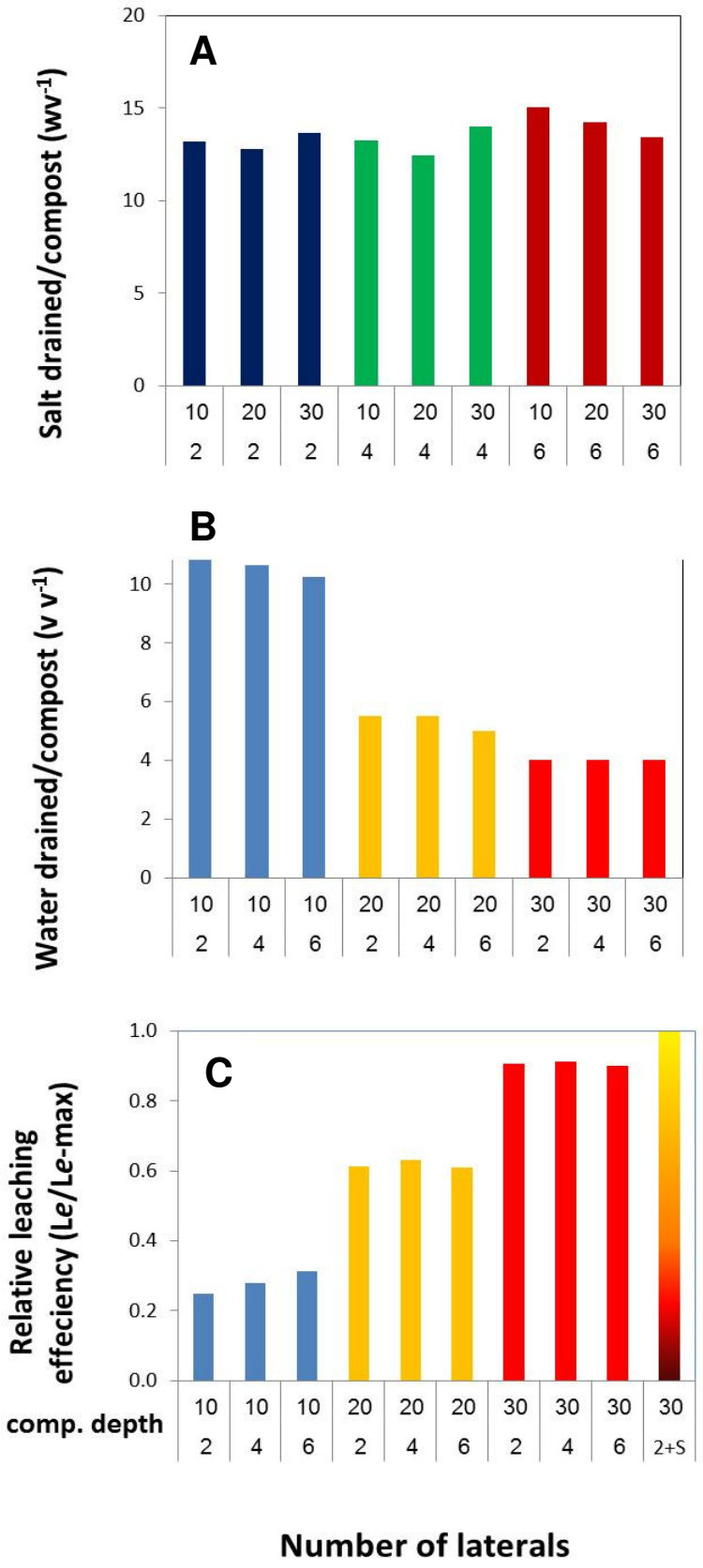
תרשים 2


A
Irrigation (mm)
Drainage
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
irrigation
D10
D20
D30
D28+2s
B
Irrigation ratio
(mm water/mm media
10
20
30
5
4
3
2
1
0
C
Accumulated irrigation (mm)
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30
35
Time from first irrigation (days)

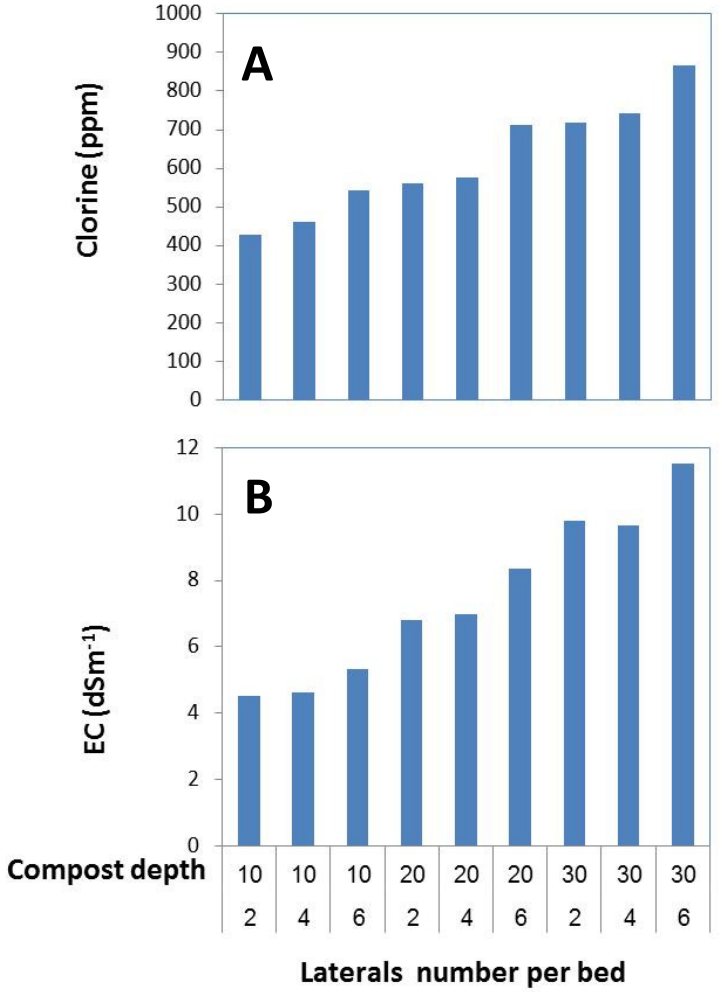
תרשים 3

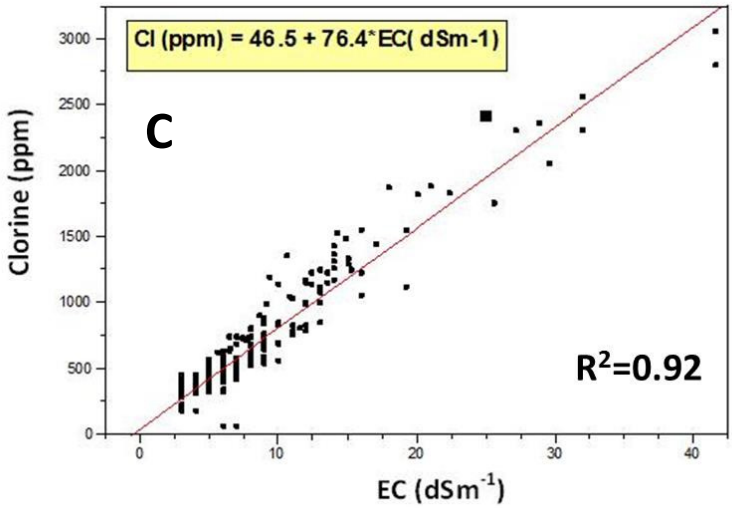

A
B
C
D
E
F
Drainage EC (dSm-1)
salt drained (kg m-3)
0
5
10
15
20
25
0
100
200
300
400
500
2
4
6

תרשים 4

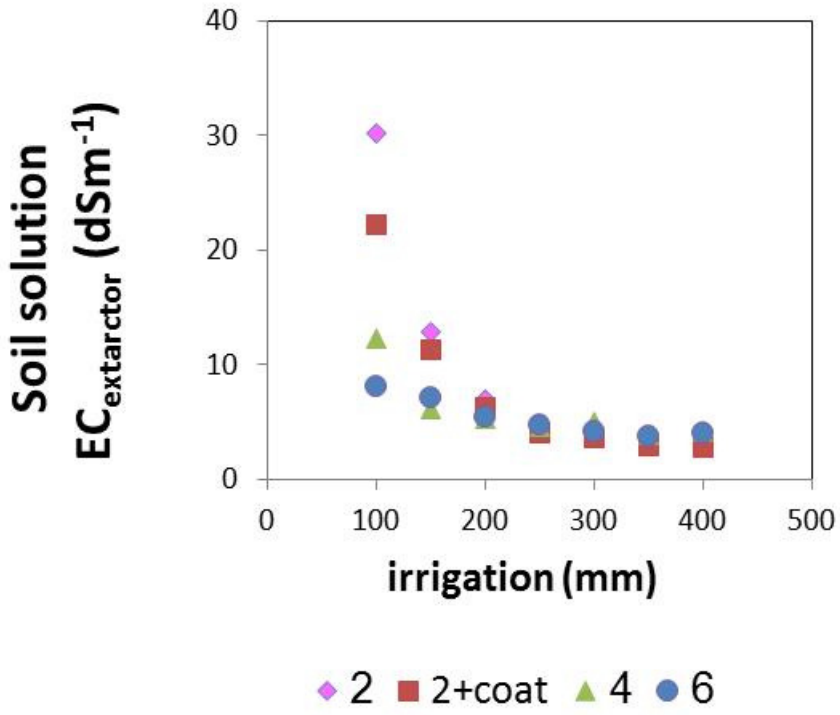

A
Salt drained/compost (wv-1)
20
15
10
5
0
10 2
20 2
30 2
10 4
20 4
30 4
10 6
20 6
30 6
B
Water drained/compost (v v-1)
10
8
6
4
2
0
10 2
10 4
10 6
20 2
20 4
20 6
30 2
30 4
30 6
C
Relative leaching effeciency (Le/Le-max)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
comp. depth
10 2
10 4
10 6
20 2
20 4
20 6
30 2
30 4
30 6
30 2+S
Number of laterals

תרשים 5

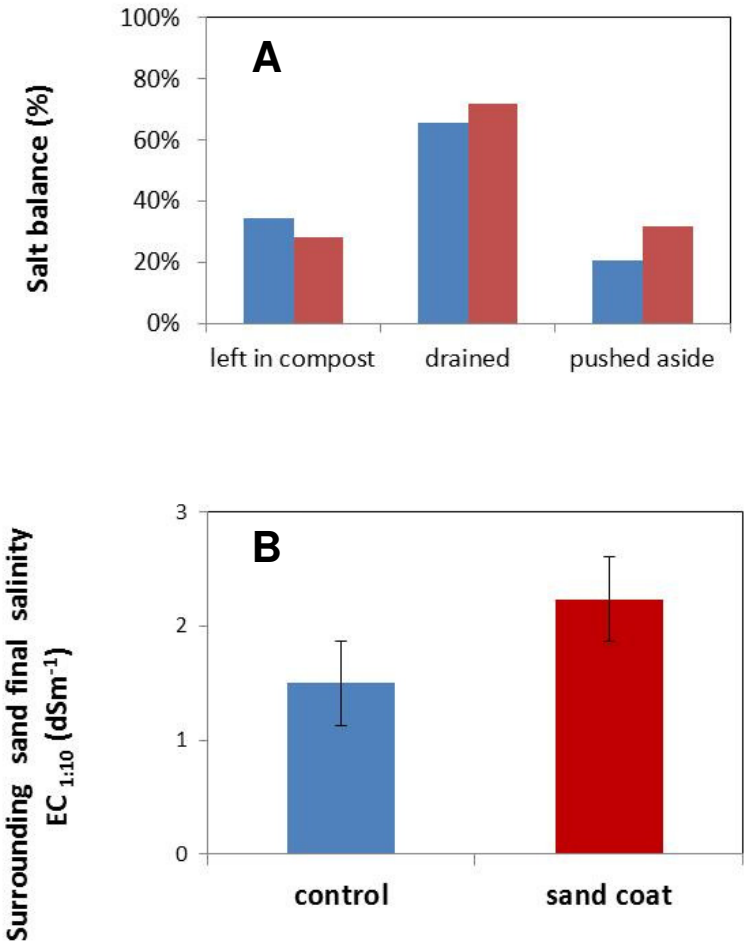

A
Clorine (ppm)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
B
EC (dSm-1)
12
10
8
6
4
2
0
Compost depth
10 2
10 4
10 6
20 2
20 4
20 6
30 2
30 4
30 6
Laterals number per bed


Cl (ppm) = 46.5 + 76.4*EC(dSm-1)
C
Clorine (ppm)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
R2=0.92
0
10
20
30
40
EC (dSm-1)

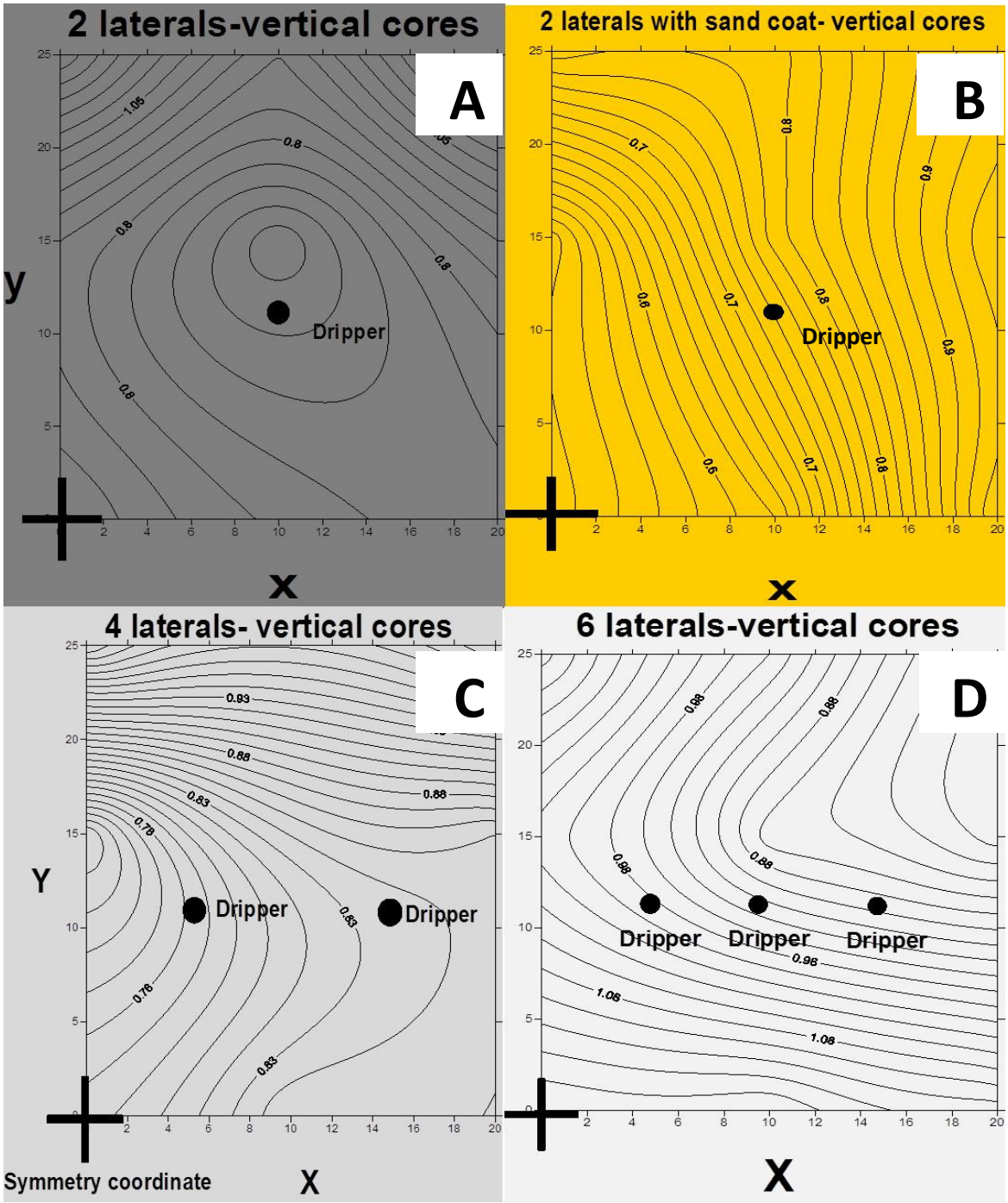
תרשים 6


Soil solution
EC extarctor (dSm-1)
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
irrigation (mm)
2
2+coat
4
6

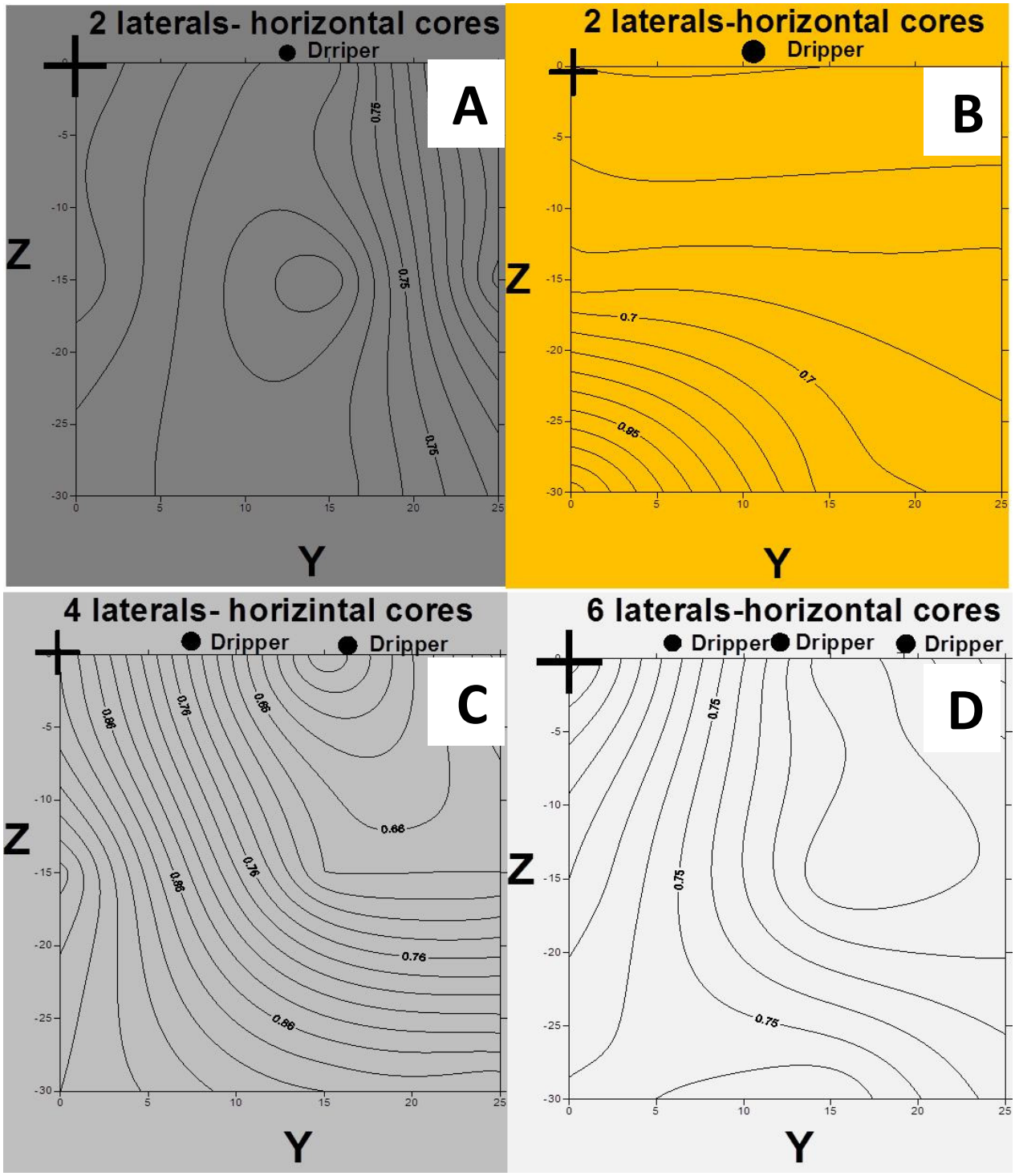
תרשים 7


A
Salt balance (%)
100%
80%
60%
40%
20%
0%
left in compost
drained
pushed aside
B
Surrounding sand final salinity
EC 1:10 (dSm-1)
3
2
1
0
control
sand coat

תרשים 8


2 laterals-vertical cores
A
Dripper
y
x
2 laterals with sand coat- vertical cores
B
Dripper
x
4 laterals- vertical cores
C
Dripper
Dripper
Y
Symmetry coordinate
X
6 laterals-vertical cores
D
Dripper
Dripper
Dripper
X

תרשים 9


2 laterals- horizontal cores
Drriper
A
Z
Y
0.75
2 laterals-horizontal cores
Dripper
B
Z
Y
0.7
0.95
4 laterals- horizintal cores
Dripper
Dripper
C
Z
Y
0.66
0.76
0.86
6 laterals-horizontal cores
Dripper
Dripper
Dripper
D
Z
Y
0.75

טבלה 1

Parameter	unit	Compost	S.D	Sand*
$CL_{initial}$	%	0.32	0.0	
EC-1:10-initial	dSm^{-1}	3.30	0.1	
EC-sat-initial	dSm^{-1}	16.43	0.7	
Bulk density	$kg\ l^{-1}$	0.76	0.0	1.56
DM	%	76	1.3	
particles>2 mm	%	70	7.0	
SP-v/v	%	232	17.3	
SP-w/w	%	200	6.5	
teta r	$m^3\ m^{-3}$	0.1		0.05
teta s	$m^3\ m^{-3}$	0.6		0.43
alfa	m^{-1}	0.24		3
n	(-)	2.3		2.68
Ks	$m\ s^{-1}$	$2.8*10^{-4}$		$4.2*10^{-6}$

* Ityel *et al*. 2011.

טבלה 2.

Variability Source	DF	EC-1:10 Prob > F	$EC_{final/initial}$ Prob > F
Laterals	2	0.02	0.01
Compost depth	2	0.00	0.00
Laterals*Comp. depth	4	0.00	0.00
Laterals* compost depth			
Laterals Num.	Comp. depth	$dS\ m^{-1}$	Relative residual salinity (-)
2	10	A -1.35	A – 0.41
4	10	AB -1.13	AB 0.34
6	10	B- 0.86	B- 0.26
2	20	B- 0.92	B – 0.28
4	20	B- 0.85	B -0.26

6	20	B- 0.93	B -0.28
2	30	B- 0.95	B – 0.29
4	30	B- 0.93	B – 0.28
6	30	B- 0.96	B -0.29

תמונות

תמונה 1. מראה כללי של אתר הניסוי.

תמונה 2. טיפול המחסום הקפילרי

תמונה 3. פריסת טיפולי השלוחות: 2,4 ו-6 שלוחות לערוגה.

תמונה 4. לקיחת מידגמי הקומפוסט בשני מישורים.

דיון

תנועת מים ומומסים

הוספה במספר השלוחות תרמה להעלאת יעילות ההדחה L_e בשכבת הקומפוסט הרדודה של 10 ס״מ ולא בשכבות עבות יותר של 20 ו-30 ס״מ (תרשים 4C). פירוס המליחות במצע בשלושה מימדים בסיום השטיפה ב-400 מ״מ הראה חוסר אחידות בריכוזי המלח בשני המישורים XY ו- YZ (תרשימים: A,C,D :8, 9) כאשר בקרבת הטפטפת ריכוז נמוך יחסית. הנחת המחקר גרסה שהעלאת מספר היציאות יעלה את יעילות ההדחה ללא קשר בעומק שכבת הקומפוסט, אך בפועל הנחה זו התממשה רק בעובי הרדוד. הסבר אפשרי להשפעת גומלין זו ניתן לקשור לרטיבות הנוצרת בשכבת הגבול התחתונה בין החול לבין שכבת הקומפוסט. מכיוון שהמולכיות ההידראולית ברוויה של החול בשני סידרי גודל נמוכה מזו שבל מצע הקומפוסט (טבלה 1), צפוי וקטור צידי משמעותי בהגיע המים לשכבת החול. כלומר התפשטות מים צידית שמרטיבה קפילרית 2-3 ס״מ משכבת הקומפוסט שמעלייה. תופעה זו אינה מושפת מעובי שכבת הקומפוסט אך ההשפעה היחסית על רטיבות השכבה תהיה גבוהה יותר ככול שהשכבה רדודה יותר. לרטיבות זו ישנה השפעה על רכיב התנועה הדיפוסי כפי שאכן נמדד בשכבת הקומפוסט הרדודה בערכי EC_{drain} גובהים יותר כאשר מספר השלוחות עלה. גם העובדה שנפח הנקז לא הושפע מעובי השכבה (תרשים 5B), מצביעה על השפעה דיפוסית על תנועת מלח בהקשר זה. פורמט המחסום הקפילרי השיג את יעילות ההדחה L_e הגבוהה ביותר כנראה עקב שיפור אחידות תנועת המים בשכבת הקומפוסט, כפי שבאה לידי ביטוי בפירוס המליחות במצע (תרשמים: A,B :8, 9). תוצאה זו מדגישה את עליונות חשיבות רכיב הקונבקצייה במשוואת ההכוחות המניעים את המלח בתהליך השטיפה.

בניסוי זה הפעלנו מנות שטיפה של 50 מ״מ בהפסקות של 4-5 ימים בין הפולסים (תרשים 2B). למרווח הזמן בין הפולסים צפויה להיות השפעה על הרכיב הדיפוסי המניע את המלח. הנחת המחקר גורסת השפעה של 20% לרכיב הדיפוסי על L_e. ככל שמרווח הזמן יפחת כך גם הרכיב הדיפוסי עד כדי איפוסו. בכוונתנו לבחון בניסוי נוסף הנחת מחקר זו.

תודות

לחברת קומפוסט אור על מימון הניסוי ותרומת הקומפוסט

למו״פ ערבה על תמיכתם בתלמיד המחקר מהולנד ועזרה בביצוע הניסוי.

ספרות

Ityel, E., Lazarovitch, N., Silberbush, M., Ben-Gal A. 2011. An artificial capillary barrier to improve root zone conditions for horticultural crops: physical effects on water content. Irr. Sci. 29, 171-180

Kampf, M., T. Holfelder, and H. Montenegro, 1998. Inspection and numerical simulations of flow processes in capillary barrier cover systems, In: Holz, K. P., W. Bechteler, S. S. Y. Wang, and M. Kawahara, Advances in Hydro-Science and Engineering, Proc. of the 3.rd Int. Conf. On Hydro-Science and -Engineering, Brandenburg University, Cottbus, Germany.