



ד"ר משה שוקר

# קולחים בקרקע כבדה: חמצון-חיזור וריכוזי חמצן בבית השורשים של עצי אבוקדו

דוד ילין, משה שוקר, אמנון שורץ, חורחה טרצ'צקי /  
הפקולטה לחקלאות, רחובות  
שמואל אסולין, כפיר נרקיס / מנהל המחקר החקלאי, בית דגן  
ענת לוינגרט-אייצ'יי / שה"מ, משרד החקלאות  
נועם יחיאלי, גואל יקוטי, הדר כהן / מו"פ גליל מערבי  
מוטי פרס / מו"פ צפון  
- המחקר ממומן באמצעות קרן המדען הראשי של משרד החקלאות,  
תוכנית מס' 596-0460-11



צילום: דוד ילין

חקרים קודמים מצאו כי השקיה ממושכת בקולחים  
הובילה לפחיתה ביבול של עצי אבוקדו הנוטעים  
בקרקעות כבדות, אולם הגורם הישיר לפגיעה  
לא הוגדר. במחקר המוצג נבדקת השפעת ההשקיה בקולחים על  
משטר החמצון-חיזור וריכוזי החמצן בבית השורשים וכן על ריכוזי  
היסודות בצמחי אבוקדו מושקה בקולחים, בהשוואה לאבוקדו  
מושקה במים שפירים, בקרקע כבדה בחוות היסיונות בעכו



## מבוא

הקולחים מהווים מקור מים אמין גם בעתות מחסור, ולכן חשיבותם  
כמקור מי השקיה גדולה באזורים ארידיים (מדבריים) וסמי-ארידיים.  
השימוש במקור מים זה התפתח מאד בישראל וכיום מהווים הקו  
לחים מקור מים מרכזי לשטחי החקלאות המושקים במדינה. עם  
זאת, מחקרים רבים הראו כי השקיה ממושכת בקולחים הביאה לפי  
גיעה בקרקע. הגורמים העיקריים לגביהם דווחה פגיעה עקב השקיה  
מושכת בקולחים הם עלייה ברמת המליחות, עלייה בריכוז הבורון,  
ניתרון הקרקע, פגיעה במבנה הקרקע וביציבות התלכידים, פגיעה  
כמוליכות ההידראולית של הקרקע ופגיעה באוורור הקרקע (Levy  
et al., 2010).

בסקר ארצי, שבו נבדקו מטעים מושקים בקולחים בהשוואה למטי  
עים מושקים במים שפירים (טרצ'צקי וחוב', 2005), הסתמנה מגמת  
ירידה ביבולי הדורים וטועים בקרקעות כבדות (>15% חרסית) עם  
זמן ההשקיה בקולחים. הפגיעה בקרקעות פחות כבדות הייתה פחו  
תה ולא התבטאה בפגיעה ביבול. בעבודה אחרת שהתבצעה במטע  
אבוקדו נטוע בקרקע כבדה (>50% חרסית) (לוינגרט-אייצ'יי וחוב',  
2013; להב וחוב', 2013), נמצא כי היבול בחלקות המושקות בקו  
לחים היה נמוך בצורה משמעותית ביחס ליבול בחלקות המושקות  
במים שפירים (פחיתת יבול של 42% בן 'האס' ו-25% בן 'אטינגר').

## תקציר

נמצא קשר ברור בין הרטבת הקרקע (השקיה וגשמים) לבין שני המי  
דדים שנבדקו בבית השורשים. מידת הירידה של ערכי החמצון-חיזור  
ורכוזי החמצן הייתה גדולה יותר בקרקע המושקה בקולחים והער  
כים ירדו עד לתחום שעלול להביא להצטברות ניטריט. בין הטיפו  
לים נמצאו הבדלים בולטים בתכולת זרחן, בורון, נתון, כלוריד ומונ  
בעלים ובעצה של הגוע. בהמשך המחקר תאופיין השפעת הקולחים  
על הרכב תמיסת הקרקע, ייבחנו התהליכים הכימיים המתרחשים  
בבית השורשים ותיבחן השאלה מי מהגורמים הללו הוא הגורם הישיר  
לפגיעה בעצים עקב השקיה בקולחים בקרקעות כבדות.

בתמונה למעלה: התקנה של תחנת מדידה בחלקת האבוקדו

טבלה 1: נתוני קרקע (דגימה 30.10.12 בעומק 15 ס"מ) ומים (דגימה 24.5.12)

מי השקיה				קרקע			
מדד	יחידות	שפירים	קולחים	מדד	יחידות	שפירים	קולחים
EC	ds/m	0.76	1.6	EC	ds/m	1.12	1.20
pH		7.7	8.4	pH		7.80	8.00
COD	mg/l	-	21.5	CEC	meq/100g	51.5	52.4
BOD	mg/l	-	8.6	SP	%	88.6	89.5
N-NH <sub>4</sub>	mg/l	-	11.1	N-NH <sub>4</sub>	mg/kg	11.9	10.9
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	5.6	7.4	N-NO <sub>3</sub>	mg/kg	19.0	11.2
Total P	mg/l	-	4	P Olsen	mg/kg	63.2	56.0
Cl	mg/l	42.6	220	*K	mg/kg	161.5	142.9
B	mg/l	0.03	0.111	B	mg/l	0.04	0.10
Na	meq/l	0.8	7.5	Na	mg/l	2.05	5.97
SAR	(meq/l) <sup>1/2</sup>	0.38	3.3	SAR	(meq/l) <sup>1/2</sup>	0.95	3.31

\*אשלגן ספוח בקלות, בדיקה באמצעות CaCl<sub>2</sub>.

חר השקיה וגשמים. תכולת הרטיבות הגבוהה מגבילה את אספקת החמצן לעומק בית השורשים. נוסף על כך מספקים הקולחים חומר אורגני קל פירוק הגורם להגברת הפעילות המיקרוביאלית בקרקע. בגלל איטום הקרקע המוגבר והממושך בקרקעות החרסיתיות גורמת הפעילות המיקרוביאלית לתנאים מחזירים בקרקע. תגובות חיזור של תרכובות בתמיסת הקרקע גורמות לשינוי הרכב היסודות ההזנה בתמיסה ולהצטברות ניטריט, שהם הגורמים הישירים לפגיעה בצמים הנידונים.

ההשערה נבחנת באמצעות מעקב רציף אחר רמת החמצן ומשטר הרדוקס בסביבת השורשים של עצים מושקים בקולחים ביחס לעצים מושקים בשפירים. נתוני הרדוקס נבחנו אל מול הרכב היסודות בתמיסת הקרקע ואל מול הרכב היסודות בצמח. מחקר זה ייחודי בכך שהוא משלב בין מדדי קרקע רציפים לבין השפעותיהם על תמיסת הקרקע ועל הצמח. כל אלה יאפשרו הבנה מקיפה יותר של השפעות השקיה במי הקולחים על מטעים.

## שיטות

הניסוי מתבצע מוקיץ 2012 במטע אבוקדו בחוות הניסיונות של מו"פ צפון סמוך לעכו, על גבי קרקע גרומוסול (~60% חרסית). המטע ניטע בשנת 1996 והחלקות מושקות מאז הניטעה בהתאם לטפולים במים שפירים או בקולחים. העצים הם עצי 'האס' מורכבים על כנות מערב הודיות VC66. ההשקיה מתבצעת בטפטוף עילי, שתי שלוחות לכל שורה, טפטפות במרחק 0.5 מ' זו מזו. דישון מתבצע באמצעות מערכת ההשקיה. דישון החלקות מתבצע באופן שריכוז יסודות ההזנה יהיה דומה בשני סוגי המים. מועדי ההשקיה, כמויות המים והדישון וכן מועד תחילת ההשקיה נקבעים על ידי מדריכי שה"מ בהתאמה לחלקות מסחריות באזור. קרקע גרומוסול. הניסוי מבוצע בשלוש חלקות מכל טיפול, במתכונות של בלוקים באקראי. תחנות מדידה הוצבה בסמוך לעץ מייצג בכל אחת מחלקות הניסוי. תכונות הקרקע, מיצוי העיסה הרוויה ואיכות מי ההשקיה מוצגות בטבלה 1.

## המדדים בניסוי:

■ **פוטנציאל הרדוקס:** מדידת פוטנציאל הרדוקס מתבצעת באמצעות שתי אלקטרודות פלטינה לכל עץ. האלקטרודות מוצבות באופן קבוע בקרקע בעומק של כ-25 ס"מ ובמרחק 15-20 ס"מ מהטפטפת הראשונה צפונית לעץ המדידה. במרחק 15-20 ס"מ מכל אלקטרודת פלטינה ובעומק זה מוצבת אלקטרודת זכוכית למדידת pH. נתוני הרדוקס וה-pH נאספים בתדירות של קריאה בכל חצי שעה באמצעות אגורי נתונים.

■ **חמצן באוויר הקרקע:** כ-15 ס"מ מהטפטפת הראשונה, דרומית לכל עץ מדידה, מוצבת מערכת למדידת חמצן באוויר הקרקע (Assouline and Narkis, 2013). המערכת כוללת חיישני חמצן (KE-50, Figaro, Japan) המוצבים בעומקים שונים (10, 20, 35, 50 ס"מ).

■ **הרכב יסודות בצמח:** בתחילת עונה ובסיומה נאספו דגימות של חומר צמחי מהעצים הסמוכים לתחנות המדידה. העלים שנדגמו הם עלים בוגרים מבין עלי העונה. שבבי צמח נדגמו לאחר הסרת השיפה

בדיקות עלים העלו שהצמחים עם היכול הנמוך לא ובדלו בנייהם ברי כווי הנתרן והכלוריד. רמות הבורן והמונגן בעלי העצים שהושקו בקולחים היו גבוהות מאלו שבצעים המושקים במים שפירים, אך עדיין בטווח התקין. פוטנציאל המים בנזע בעצים המושקים בקולחים היה שלילי ביחס לזה שבשפירים על אף שפוטנציאל המים בקרקע היה פחות שלילי בטיפול הקולחים.

בכל המחקרים שצוינו לעיל נערכו בדיקות הקרקע בסוף עונת ההשקיה ולאחר גשמי החורף, ולא נמצא בהם הסבר ישיר לפגיעה בעצים. בעבודה הנוכחית נערכת בדיקה רציפה אחר רמת החמצן ואחר רמת החמצן-חיזור (רדוקס, מדד מקובל לביטוי אקטיביות האלקטרונים, מבוסס כ-pe ומוצג בדרך כלל על פי הערך pe+pH) בקרקע, במטרה להבחין בשינויים קצרי מועד שעלולים להיות בעלי השפעה ניכרת על העץ.

למשטר הרדוקס בקרקע תיתכן השפעה מכריעה על הידולים החקלאיים (Fiedler et al., 2007). בקרקע מאווררת חמצן מהווה את המחמצן החזק והנפוץ ולכן תגובת החיזור השולטת היא חיזור החמצן למים, ערך ה-pe+pH האופייני נע אז סביב 15. כאשר אספקת החמצן מוגבלת על ידי מים בחללי הקרקע וכאשר הפעילות הביולוגית עולה, מתרחשת ירידה בפוטנציאל הרדוקס בקרקע ומתבצע חיזור עוקב על פי הסדר הבא: חיזור החנוקה (NO<sub>3</sub>-) ליצירת N<sub>2</sub> (pe+pH~11.2), חיזור Mn<sup>4+</sup> ל-Mn<sup>2+</sup> (pe+pH~10.4), חיזור Fe<sup>3+</sup> ל-Fe<sup>2+</sup> (pe+pH~8.7), ובמקרים קיצוניים גם חיזור SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ל-S<sup>2-</sup> (Fiedler et al., 2007).

משטר הרדוקס והשפעתו על הרכב היסודות בתמיסת הקרקע נחקר רבות בשטחים מוצפים, בשדות אורז ובמעבדה, אך רק מעט ידוע על משטר הרדוקס בשטחים מנוקזים (Fiedler et al., 2007). לא רק זאת, אלא שהשפעת השקיה בקולחים על משטר הרדוקס והרכב היסודות בתמיסת הקרקע טרם נחקרו (Levy et al., 2010).

אנו מציעים, כי ניתרון הקרקע והירידה במוליכות ההידראולית של הקרקע בעקבות השקיה ממושכת בקולחים גורמות להאטה בקצב היקווה ולתכולת רטיבות גבוהה יותר בשכבות הקרקע העליונות לא-

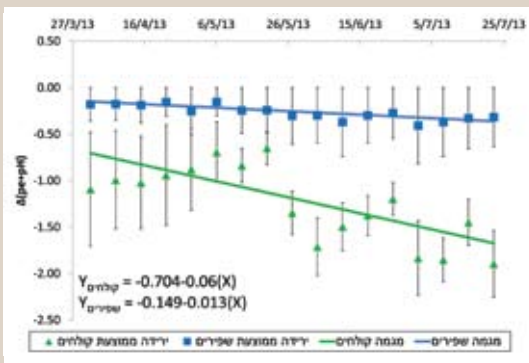
**טבלה 2:** ערכי  $pe+pH$  ממוצעים בעומק 25 ס"מ וריכוזי חמצן בעומק 20 ס"מ בעצים מושקים בקולחים ובשפירים לפני ההשקיה, והירידה בשני המ"דים לאחר ההשקיה עם סטיות תקן (בין ה-24.5.13 ל-1.6.13)

המדדים	שפירים	קולחים	* $\alpha$
$pe+pH$ ממוצע לפני השקיה	15.8±1.63	15.3±1.22	0.45
הירידה הממוצעת ב- $pe+pH$	0.15±0.14	0.80±0.65	0.0019
חמצן (%) ממוצע לפני השקיה	16.4±0.61	16.3±0.91	0.70
הירידה הממוצעת בחמצן (%)	1.05±1.64	3.63±2.73	0.03

$\alpha$  = מובהקות ההבדלים חושבה באמצעות מבחן student's-t.

את ערכי הרדוקס בעומק 25 ס"מ וריכוזי החמצן בעומק 20 ס"מ, בחלקת קולחים אחת אל מול חלקת שפירים אחת, בשבוע מתוך עונת הגשמים (א1) ובשבוע מתוך עונת ההשקיה (ב1). ערכי הרדוקס והחמצן לפני הגשמים היו יציבים סביב ערכים מחומצנים  $pe+pH \sim 15$  בשתי החלקות,  $18\% \sim O_2$  בקולחים ו- $16.5\% \sim 2\% O_2$  בשפירים. לא חר אירועי הגשם בתאריך 6.12.12 ובתאריך 8.12.12 התרחשו ירידות בערכי הרדוקס והחמצן. בקולחים ירדו הערכים ל- $pe+pH \sim 12.5$  ( $\Delta \sim 2.5$ ) ו- $14.5\% \sim O_2$  ( $\Delta \sim 3.5$ ) ובשפירים לערכים של  $pe+pH \sim 14.5$  ( $\Delta \sim 0.5$ ) ו- $11\% \sim O_2$  ( $\Delta \sim 5.5$ ). בעונת ההשקיה ערכי הרדוקס והחמצן היו יציבים לפני ההשקיה -  $pe+pH \sim 14.8$  בשני הטיפולים,  $16\% \sim O_2$  בקולחים ו- $17\% \sim O_2$  בשפירים. לאחר ההשקיות התרחשה ירידה בפוטנציאל הרדוקס והחמצן: בקולחים הייתה ירידה לערכים של  $pe+pH \sim 13$  ( $\Delta \sim 2$ ) ו- $7.8\% \sim O_2$  ( $\Delta \sim 8.2$ ), ובשפירים לערכים של  $pe+pH \sim 14.3$  ( $\Delta \sim 0.5$ ) ו- $16.9\% \sim O_2$  ( $\Delta \sim 1.1$ ). משטר הרדוקס ומשטר החמצן נבדלו בין הטיפולים. טבלה 2 מציגה את ערכי ה- $pe+pH$  וערכי החמצן הממוצעים בין ההשקיות (טרם ירידה) בשבוע מתוך עונת ההשקיה, ואת הפרש הממוצע בינם לבין ערכי המינימום באותו שבוע. ערכי החמצן והרדוקס הממוצעים לפני ההשקיה לא נבדלו בין הטיפולים, אך הירידות בערכי הרדוקס והחמצן לאחר ההשקיה היו גדולות באופן ניכר בחלקות הקולחים ביחס לשפירים. בנוסף ניתן להבחין בסטיות התקן הגדולות בערכי הרדוקס הממוצעים.

**איור 2:** הפרש בין ערך  $pe+pH$  מינימלי שבועי לערך הממוצע השבועי עי בעומק 25 ס"מ, ממוצע בחלקות קולחים אל מול שפירים, ומגמות השניו לפרק הזמן שבין ה-1.4.13 ל-1.8.13



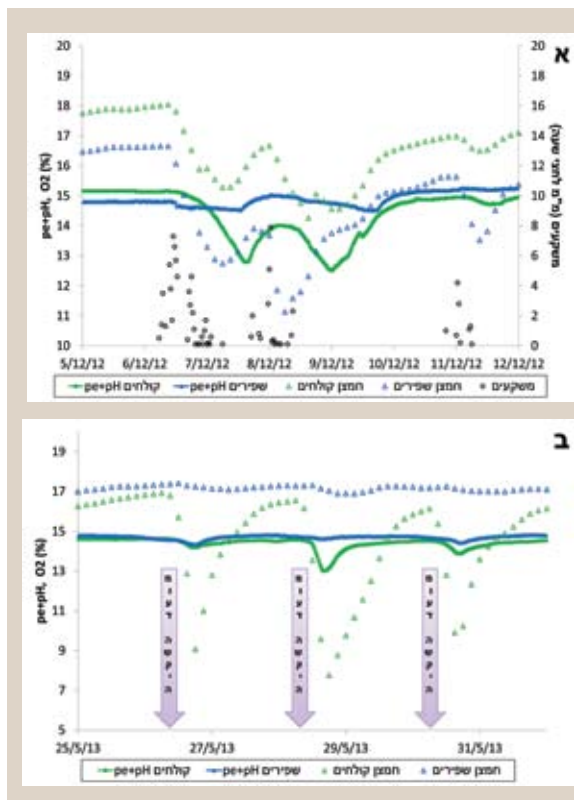
- ערך X בקווי המגמה נתון בשבועות. מובהקות מגמות השניו -  $\alpha < 0.01$ .

באמצעות קידוח לעומק של כ-3 ס"מ באמצעות מקדחה חשמלית. ריכוזי היסודות נמדדו באמצעות מכשיר ICP לאחר עיכול בחומצה חנקתית. ריכוז כלוריד נקבע באמצעות כלורידומטר.

■ **מבחנים סטטיסטיים:** הנתונים נאספו באופן הבא: עבור פרק הזמן מה-13.5.12 עד ה-13.6.12 נבחרו שני פרקי זמן של 24 שעות שבהם לא הייתה ירידה משמעותית בקריאות הרדוקס. הערך " $pe+pH$ " ממוצע" הוא ממוצע של הערכים בפרקי זמן אלה מכל החישובים שב-טיפול. באופן דומה חושב הערך "חמצן ממוצע" עבור שני פרקי זמן ללא ירידה בערך החמצן. בכל עץ מדידה חושב ערך הירידה המקסימלית מתוך נתוני 24 שעות לאחר ההשקיה. הערך "ירידה ממוצעת" הוא ממוצע הירידות המקסימליות של כלל החישובים לאחר שלושה אירועי השקיה בין אותם תאריכים. עבור פרק הזמן שבין ה-13.4.12 עד ה-13.8.12 חושבו ערכי ממוצע שבועי של רדוקס מכל חישוב, וכן נמצאו ערכי המינימום השבועיים. הערכים המוצגים הם ממוצע הפרש בין הערך הממוצע השבועי ובין הערך המינימלי באותו שבוע מתוך נתוני כלל החישובים. הנתונים מכיל החישובים נותרו באמצעות תוכנת JMP 7.0.1. נתוני גשמים: אלה נלקחו מתוך אתר המטאורולוגיה של משרד החקלאות [www.meteo.co.il](http://www.meteo.co.il), תחנת נכו.

## תוצאות

ירידות בפוטנציאל הרדוקס ובריכוז החמצן התרחשו לאחר גשמים והשקיות, הן בחלקות הקולחים והן בחלקות השפירים. איור 1 מציג



**איור 1:** ערכי  $pe+pH$  בעומק 25 ס"מ וערכי החמצן בעומק 20 ס"מ בחלקות קולחים ושפירים עם מועדי השקיה, כמויות ותזמון גשמים: א - פרק הזמן שבין 5.12.12 עד 12.12.12; ב - לפרק הזמן שבין 1.6.13 עד 25.5.13

על סביבה מחומצנת ( $pe+pH=15$ ). הירידה בשני המדדים עם הרטבת הקרקע חלה במקביל. ההתאמה הטובה בין המגמות בקריאות הרדוקס לבין מגמות השינוי בקריאות החמצן מעידה על מהימנות השיטות.

מתחילת עונת ההשקיה באפריל הייתה ירידת ערכי הרדוקס המינימליים השבועיים גדולה פי 4 בקולחים בהשוואה לשפירים. מגמה זו יכולה להיות תוצאה של עלייה ביחס ספיחת הנתרן בקרקע לא-חר שבחורף התרחשה הדחה של הנתרן (טרצ'צקי וחובי, 2005). הירידה של כלל ערכי המינימום בחלקות הקולחים הייתה בממוצע כ-0.06 יחידות  $pe+pH$  בשבוע. על פי מגמה זו צפוי כי עד סוף עונת ההשקיה, בתחילת נובמבר, ירד ממוצע ערכי ה- $pe+pH$  המינימליים בטיפול הקולחים ב-0.72 יחידות נוספות.

ממוצע ערכי הרדוקס המינימליים שנמדדו בין אפריל לאוגוסט בקולחים  $(13.62 \pm 1.5)$  היה נמוך משמעותית ( $\alpha < 0.01$ ) לעומת השפירים  $(15.5 \pm 1.7)$ . אמנם ערכים אלה גבוהים מערך הסף המקובל לקרקע "מחוזרת קלות" ( $\sim 12$ ), אך מגמת הירידה עם העונה יכולה להביא לקירוב הערכים הנמוכים לכיוון המחזור. בנוסף ראוי לציין שהשוונות בין נקודות מדידת הרדוקס הייתה גדולה למדי - סטיות תקן של כ-10% מהערך הנמדד. השוונות הגדולה יותר בקריאות הרדוקס ביחס לקריאות החמצן משקפת כנראה שונות מרחבית גדולה יותר של גורם זה. משמעות קביעה זו היא לא רק שהערכים הממוצעים משקפים סט ערכים שחלקם נמוכים במידה ניכרת מהממוצע, אלא גם שבפח בית השורשים קיימת הסתברות גבוהה יחסית למציאת נקודות בהן ערכי הרדוקס נמוכים במידה ניכרת מאלו שנמדדו בפועל.

ריכוזי הזרחן הגבוהים יותר בעלים של העצים המושקים בקולחים יכו לה להיות תוצאה של תנאים מחזרים שהובילו לשחרור זרחן שהיה ספוח לתחמוצות ברזל ומוגן בקרקע. עם זאת היינו צופים ששחרור הזרחן יהיה מלווה גם בשחרור סוגן, מה שעומד בניגוד לריכוז המוגן הנמוך יותר בעלי הקולחים. הסבר אפשרי לרמות המוגן הנמוכות בעלים יכול להיות אפקט אוטונומיסטי בין הזרחן למגן ברקמות ההובלה, כפי שדוחו בעבר עבור ברזל (Fageria, 2001).

רמות הזרחן היו גבוהות מעט בקולחים, אולם הריכוזים בעלים נמצאו כולם בטווח התקין. ריכוז הנתרן הגבוה בעצה של העצים המושקים בקולחים תואם לריכוז הכלור הגבוה בעלים של עצים אלה. ראוי לציין שההפרש הגדול בריכוז הנתרן בעצה שמוע לא התבטא כמעט בהבדלי ריכוז בעלים. ככל הנראה, יש בכך עדות למוגן עמידות של עצי האבוקדו לנתרן כפי שדוחו בעבר עבור עצי הדורים (Grieve and Walker, 1983).

ריכוז הכלוריד הגבוה שנמצא בעלי העצים המושקים בקולחים עלול להיות אחד מהגורמים לפגיעה בעצים, אולם ריכוז הכלוריד הגבוה בקולחים המשמשים להשקיה אינו מיוחד לקרקעות כבדות; העובדה שהפגיעה במטעים מושקים בקולחים ניכרת יותר בקרקעות כבדות מעידה שמגוון הפגיעה בקרקעות אלו כולל גורמים אחרים הקשורים לריכוז החמצן ולפוטנציאל הרדוקס, שירידתם המקבילה תועדה היטב בעבודה זו. עם זאת טרם מצאנו הבדלים בולטים בהרכב תמיסת הקרקע ולא ניתן עדיין לקבוע אם מרכיב כלשהו בתמיסת הקרקע הוא הגורם הישיר לפגיעה בעצים. ערכי הרדוקס שנמדדו מתאימים ליצירה והצטברות של ניטריט שפגיעתו בשורשים מתועדת

## סוף בעמוד 47

באזור 2 מוצג ממוצע הירידות השבועיות המקסימליות של ערכי הרדוקס בין שני הטיפולים בחודשים אפריל 2013 עד אוגוסט 2013. בשני הטיפולים נראתה מגמת ירידה בערכי המינימום. קצב הירידה בערכי המינימום של חלקת הקולחים היה מהיר פי 4 מזה שבשפירים, מה שהוביל להתעצמות ההבדל בין הטיפולים עם הזמן.

ריכוזי יסודות ההזנה בעלים ובעצה בדגימות לאחר עונת הגשמים היו שונים בצמחים המושקים בקולחים מאלה שבצמחים המושקים בשפירים (טבלה 3). ריכוז הזרחן היה גבוה בעלים של טיפול הקולחים בהשוואה לטיפול השפירים, ואילו ריכוז המוגן היה גבוה יותר בעלי טיפול פול השפירים. מגמה זו התקיימה גם בעצה, אך שם ההבדלים בריכוז המוגן אינם מובהקים סטטיסטית. ריכוזי הבורון והכלור היו גבוהים בצמחים המושקים בקולחים ביחס לצמחים המושקים בשפירים, אולם ריכוז הכלור בעצה לא נבדל בין שני הטיפולים. בשני הטיפולים היה ריכוז הכלור בעלים גבוה מסף הנוק המקובל (2,500 מ"ג/ק"ג חומר יבש). לעומת זאת ריכוזי הבורון בעלים היו נמוכים משמעותית מסף הרעילות (100 מ"ג/ק"ג חומר יבש). ההבדל בריכוז הבורון ניכר גם בעצה. ריכוז הנתרן בעצה של הצמחים המושקים בקולחים היה גבוה בסדר גודל מזה שבשפירים, אולם בעלים ההבדלים לא היו מובהקים ועבור שני הטיפולים הריכוזים היו נמוכים מסף הרעילות (2,500 מ"ג/ק"ג חומר יבש).

**טבלה 3:** ריכוזי יסודות בעלים ובעצה של עצים מושקים בקולחים ובשפירים (דגם ב-10.3.13)

רקמה	ריכוז (מ"ג/ק"ג חומר יבש)	B	Cl	Na	Mn	P
עלים	ממוצע שפירים	12	2801	29	159	1251
	ממוצע קולחים	14	4122	36	130	1441
	$\alpha$	0.012	0.011	0.339	0.003	0.024
עצה	ממוצע שפירים	4.47	261	12	5.73	301
	ממוצע קולחים	6.25	285	310	5.21	472
	$\alpha$	0.001>	0.476	0.013	0.372	0.005

$\alpha$  - מובהקות ההבדלים, חושבה באמצעות מבחן student's-t.

## דיון ומסקנות

בגליל המערבי נטועים כ-22,000 ד' מטעי אבוקדו, רובם בקרקעות כבדות. מי קולחים משרתים כיום אחוז נכבד משטחים אלה, והבנת הסכנות הכרוכות בשימוש בקולחים חיונית להמשך הפעילות. במחקרנו אנו מנסים להתחקות אחר המגוון בבסיס נוק שנוצפה בעבר במטעים הנוטעים בקרקע כבדה ומושקים בקולחים.

מצאנו הבדלים בין משטר הרדוקס וריכוזי החמצן בקרקעות מושקות בקולחים לבין כאלו שהושקו בשפירים. לאחר השקיה התרחשו ירידות משמעותיות יותר בפוטנציאל הרדוקס בחלקות הקולחים ( $\Delta(pe+pH)=0.8$ ) ביחס לשפירים ( $\Delta(pe+pH)=0.15$ ). אנו משערים שמגמה זו היא פועל יוצא של הירידות המשמעותיות יותר בריכוז החמצן בחלקות הקולחים ( $\Delta O_2=3.63\%$ ) ביחס לשפירים ( $\Delta O_2=1.05\%$ ). בהתאמה להשערותנו, כאשר הקרקע לא הורטבה ריכוז החמצן לא נבדל בין הטיפולים והיעיד על כך שאזור הקרקע תקין ( $O_2 \sim 16.5\%$ ), וכך גם פוטנציאל הרדוקס, שהיעיד