

נתיב דודאי

היחידה לצמחי תבלין ובושם, מנהל
המחקר החקלאי – מרכז וולקני

דוד חיימוביץ

היחידה לצמחי תבלין ובושם, מנהל
המחקר החקלאי – מרכז וולקני

מני בן-חור

המכון למדעי הקרקע, המים
והסביבה, מנהל המחקר החקלאי –
מרכז וולקני

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

דודאי נ, חיימוביץ ד ובן-חור מ.
2011. צמח הוויטיוור ככלי לשימור
ולמינעת זיהום קרקע בישראל.
אקולוגיה וסביבה 2(3): 183–191.



צמח הוויטיוור משמר ומנקה קרקעות, אתיופיה | באדיבות Trees for the Future

צמח הוויטיוור ככלי לשימור ולמינעת זיהום קרקע בישראל

21 באוגוסט, 2011

גיליון סתיו 2011 / כרך 2(3)

[סקירות](#)

תקציר

הוויטיוור הוא עשב רב-שנתי ממשפחת הדגניים, המשמש בעיקר להפקת שמן אתרי משורשיו לתעשיות הבושם והקוסמטיקה. הוא נפוץ באזורים טרופיים וסוב-טרופיים, גדל כשיח, אינו מעכב גידולים שכנים ואינו מתרבה מזרעים, ומשום כך אין סכנה שיהפוך לעשב שוטה בשדות חקלאיים. נוף שיח הוויטיוור מתפצל לחותלות, והוא בעל קנה שורש קצר ומערכת שורשים צפופה ועמוקה שגדלה מהר יחסית, ועשויה להגיע לאורך של יותר מ-2.5 מטר. תכונות אלה הובילו מדענים בעולם לבחון בהצלחה שימוש בצמח הוויטיוור לייצוב, לשימור ולניקוי קרקעות. בשנת 1984 הובא לארץ לראשונה חומר ריבוי של צמח הוויטיוור שנשתל בחלקות ניסוי במרכז המחקר נווה-יער. בחלקות נערכו תהליך אקלום ובחינה מקיפה של גידול הצמח בתנאים השוררים בישראל. מטרת המאמר היא לסקור את העבודה שנעשתה ולהציג את פוטנציאל הצמח לשימור ולמינעת זיהום קרקע בישראל. בשנים האחרונות נבחנו בארץ מגוון יישומים של הוויטיוור לייצוב ולשימור מדרונות וגדות נחלים. בכל הניסויים והתצפיות שנערכו – הצמחים שרדו, התפתחו היטב ומנעו בהצלחה את סחף הקרקע. נוסף על כך, נערכו ניסויים לבחינת יכולתו של הוויטיוור לנקות קרקע מזוהמת בדלק. בניסוי עציצים נמצא שצמח הוויטיוור עמיד לריכוז של 5% סולר בקרקע כבדה מעמק יזרעאל. כמו כן, 5-שבועות לאחר שתילתו הקטין הצמח את ריכוז הסולר בקרקע המזוהמת לרמה נמוכה.

מבוא

הוויטיוור (*Vetiveria zizanioides*) הוא עשב רב-שנתי ([איור 1](#)) ממשפחת הדגניים, שנפוץ בעיקר באזורים טרופיים וסוב-טרופיים, כגון הודו, דרום מזרח אסיה, נפאל ופקיסטן, באזור הטרופי באפריקה ובאזורים מסוימים בדרום אמריקה ^[20]. הוויטיוור שכיח באופן טבעי באזורים שכמיות הגשם השנתיות בהם הן 1,000-2,000 מ"מ ומשטר הטמפרטורה הוא 21-45 מעלות צלזיוס ^[24]. הוא גדל כשיח ([איור 1א](#)), אינו מעכב גידולים שכנים ואינו מתרבה מזרעים, כך שאין סכנה שיתפשט כעשב שוטה בשדות חקלאיים. נוף שיח הוויטיוור מתפצל לחותלות, והוא בעל קנה שורש קצר ומערכת שורשים צפופה ועמוקה שגדלה מהר יחסית ([איור 1ב](#)). ^[27] Truong דיווח ששורש וטיוור יכול לגדול לאורך של כ-4 מטר בשנת הגידול הראשונה שלו. בניסויים שנערכו במערכות ארופוניות (מערכות גידול שהשורש חשוף בהן לאוויר) במכון לשורשים באוניברסיטת תל-אביב, נמצא שסבך ציצת השורשים של הוויטיוור הגיע לאורך של יותר מ-2.5 מטר ולקוטר של 40 ס"מ (אשל 1999, תוצאות שלא פורסמו, [איור 1ג](#)). התפתחות זו של שורש הוויטיוור מקנה לו עמידות גבוהה ליובש וכושר אחיזה גבוה בקרקע כנגד זרימות מים עיליות חזקות ^[21, 28]. נוסף על כך, הוויטיוור עמיד מאוד כנגד מזיקים, מחלות ושקפות, ושורשי הצמח מכילים ריכוזים גבוהים יחסית של שמנים אתריים. תכונות אלו של צמח הוויטיוור מאפשרות לאדם שימוש רב-תכליתי בו, כגון מניעת סחף קרקע והתמוטטות מדרונות, שיקום אזורים מופרים, ניקוי מזהמים מקרקע וממים, שימוש כחומר האבסה לבהמות והפקת בשמים משורשי הצמח. הוויטיוור מכונה "צמח קסם" (magic plant) עקב התועלת והשימושים הרבים שיש לו עבור האדם, והיכולת שלו לגדול ולשרוד בתנאים קיצוניים.

בשנת 1984 הובא לארץ לראשונה חומר ריבוי של צמח הוויטיוור על-ידי היחידה לתבלינים של מנהל המחקר החקלאי במרכז המחקר נווה-יער, והוא נשתל בחלקות ניסוי ^[3]. צמחי הוויטיוור גדלים עד היום בנווה-יער ללא יצירת זרעים או שלוחות, והם משמשים מקור לחומר ריבוי לניסויים שנערכים בצמח זה. למרות היתרונות הרבים של הוויטיוור, לא מגדלים אותו באזורים צחיחים וצחיחים למחצה כמו ישראל, עקב חוסר ידע מספק בממשק הגידול שלו בתנאים אלו. במאמר הנוכחי נסקור את המידע שהצטבר על הוויטיוור כצמח לשימור ולמניעת זיהום קרקע בישראל, ונדון בתוצאות שהתקבלו.

איור 1. צמח הוטיור

א. נוף של צמחי וטיור הגדלים בשורות במדרון. ב. מערכת שורשים של צמח הוטיור, כשנתיים לאחר שתילה בעציץ (בעקבות Dudai ועמיתיו^[17]).



איור 1

צמח הוטיור

א. נוף של צמחי וטיור הגדלים בשורות במדרון.

ב. מערכת שורשים של צמח הוטיור, כשנתיים לאחר שתילה בעציץ (בעקבות Dudai ועמיתיו^[17]).

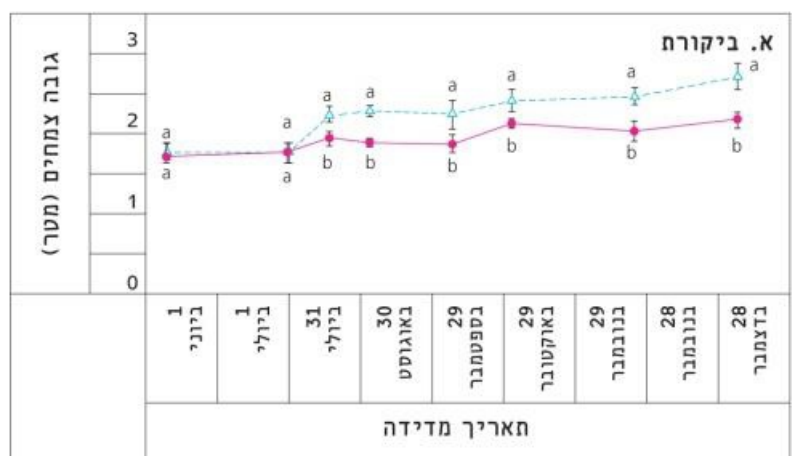
אקלום הוטיור בישראל

האקלים הימי תיכוני מאופיין בעונה גשומה קצרה (כארבעה חודשים) ובעונה ארוכה, חמה ונטולת משקעים. בתנאים אלה, הישרדות צמחי הוטיור ללא השקיה היא בעייתית, כיוון שהצמח חייב להתגבר על עונה יבשה זו. נוסף על כך, היובש הקשה מגביר את הסיכוי להתפרצות שרפות בנוף הצמח. ניתן להתגבר על בעיות אלה בעזרת קציר של נוף הצמחים בתחילת הקיץ כדי להקטין את הדיות (טרנספירציה) ואת הסיכוי לשרפה. אפשרות נוספת להתגבר על העונה היבשה היא השקיית הצמחים בקיץ. ניסוי שנערך בשטח פתוח במרכז המחקר נווה-יער כלל שני טיפולים עיקריים: גידול וטיור בהשקיה וללא השקיה כגידול בעל, ושישה טיפולי משנה של קציר ושל שקפת נוף הצמח^[3,3]. צמחי הוטיור נשתלו באפריל 2000 והושקו עד לביסוסם בסוף

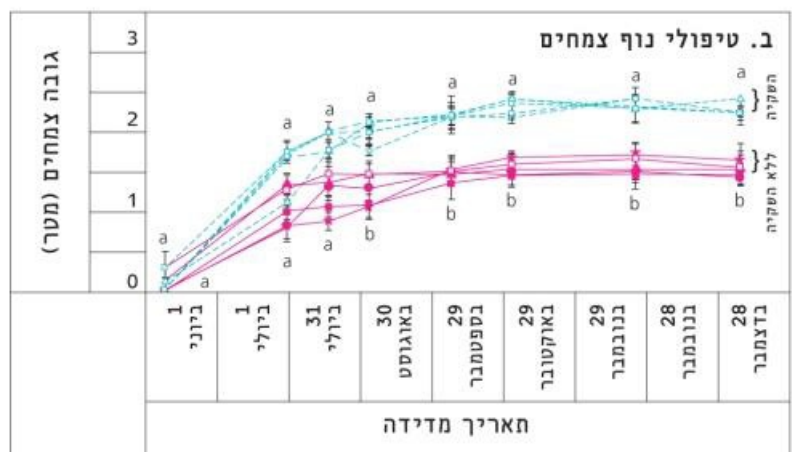
אוגוסט באותה שנה. לאחר מועד זה הושקו מחצית מן צמחים גם בחודשי הקיץ בשנים 2000 ו-2001, בעוד שלמחצית השנייה של הצמחים הופסקה ההשקיה לאחר גמר השקיית הביסוס. בצמחים המושקים והלא מושקים (שני הטיפולים הראשיים) נעשו טיפולי משנה באביב של שנת 2001, שכללו קציר של נוף הצמח בגובה 0, 5, 15 ו-30 ס"מ מעל פני הקרקע, שרפת נוף הצמח וטיפול ביקורת (צמחים שבהם הנוף לא טופל כלל). צמחי וטיוור שגודלו ללא השקיה שרדו בקיץ הישראלי, והגיעו לגובה צמחים ממוצע של 2.0 מטר כשנתיים לאחר שתילתם ([איור 2א](#)). לעומת זאת, השקיה במהלך חודשי הקיץ גרמה להתפתחות טובה יותר של צמחי הווטיוור, שהתבטאה בצימוח גבוה יותר של הצמחים ([איור 2א](#)). Dudai ועמיתיו ^[17] הסיקו שלאחר שלב הביסוס יכולים צמחי הווטיוור לשרוד ללא השקיה בקיץ באזורים הצחיחים למחצה בישראל. בתנאי השקיה לא הייתה לקציר או לשרפת נוף הצמחים השפעה על גובהם בסוף הקיץ ([איורים 2א ו-2ב](#)). לעומת זאת בתנאים ללא השקיה, גובה הצמחים שהנוף שלהם נקצר או נשרף היה נמוך יותר מהצמחים שהנוף שלהם לא טופל ([איורים 2א ו-2ב](#)). מכאן, שקציר או שרפה של נוף הצמחים לא שיפרו את הישרדות צמחי הווטיוור בתנאים ללא השקיה.

איור 2. גובה צמחי וטיזור בטיפולים השונים

מוצגים הגבהים ללא טיפול בנוף הצמחים (ביקורת) ולאחר טיפולים של שרפה וקציר הנוף בגובה 0, 5, 15 ו-30 ס"מ מפני הקרקע, בתנאי השקיה (מושקה) וללא השקיה (לא מושקה), כתלות במועד המדידה. הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן, ואותיות זהות ליד הסימנים מורות על הבדלים לא מובהקים ($\alpha = 0.05$) בין צמחים מושקים לצמחים לא מושקים (בעקבות Dudai ועמיתיו^[17]).



—●— ללא השקיה —▲— השקיה



—□— 30 —▲— 15 —●— 5 —●— 0 ★ שורף

איור 2

גובה צמחי וטיזור בטיפולים השונים

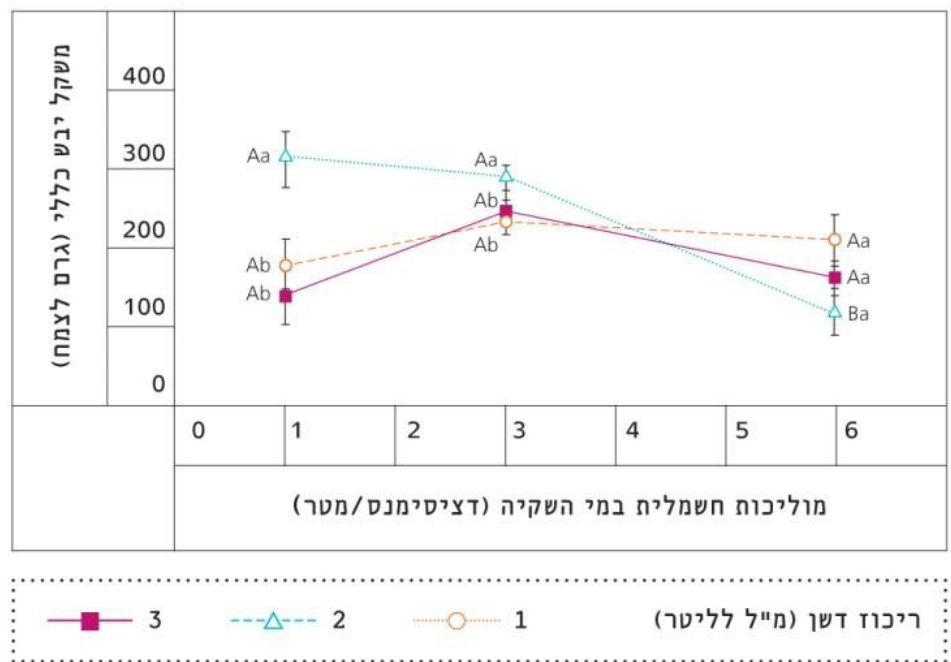
מוצגים הגבהים ללא טיפול בנוף הצמחים (ביקורת) ולאחר טיפולים של שרפה וקציר הנוף בגובה 0, 5, 15 ו-30 ס"מ מפני הקרקע, בתנאי השקיה (מושקה) וללא השקיה (לא מושקה), כתלות במועד המדידה. הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן, ואותיות זהות ליד הסימנים מורות על הבדלים לא מובהקים ($\alpha = 0.05$) בין צמחים מושקים לצמחים לא מושקים (בעקבות Dudai ועמיתיו^[17]).

לא מושקים (בעקבות Dudai ועמיתיו^[17]).

מועד שתילת צמחי הווטיוור יכול להשפיע על התפתחות הצמחים ועל מידת הישרדותם בתנאי היובש השוררים בישראל. בניסוי שבחן את גובהם של צמחי וטיוור שהושקו במהלך הקיץ נמצא כי 200 יום לאחר שתילתם, היו הצמחים שנשתלו בחודשים פברואר ומרץ הגבוהים ביותר ^[3, 17]. לעומת זאת, שתילה מוקדמת או מאוחרת יותר של הצמחים גרמה לשיעור צמיחה אטי יותר. Dudai ועמיתיו ^[17] הסיקו שבתנאים ללא השקיה, שתילת צמחי הווטיוור בחורף עשויה לאפשר ניצול של מי הגשמים להתבססות הצמחים ולגידול תחילי של השורשים שלהם, ובכך לשפר את הסיכוי של הצמחים לשרוד בעונה היבשה. לעומת זאת, בתנאים של השקיה רצוי לשתול את צמחי הווטיוור בתחילת הקיץ, כדי שהנוף ומערכת השורשים של הצמחים יתפתחו דיים ויוכלו לשמש גורמים מייצבים לשימור קרקע ולמניעת סחף במהלך גשמי החורף.

מחסור במים שפירים ובחומרי הזנה זמינים בקרקע ותנאי מליחות גבוהים הם תופעות שכיחות בישראל. לכן, יש חשיבות לבחון את השפעת יחסי הגומלין בין השקיה במים מליחים לבין דישון בגידול וטיוור. משקל יבש כללי של נוף צמחי וטיוור שגודלו בעציצים במצע אינרטי בחממה, כתלות במוליכות חשמלית (EC) במי השקיה ^[18] עבור שלוש רמות דישון שסופקו במי ההשקיה מובא באיור 3. המוליכות החשמלית היא מדד לריכוז מליחים כללי במים. רמות הדישון שנבחנו בניסוי היו של 1, 2 ו-4 מ"ל/ליטר של דשן "שפר 1" עם יחס משקלי של 5:3:8 עבור $N:P_2O_5:K_2O$, בהתאמה. התוצאות המוצגות באיור 3 מורות על יחסי גומלין בין הדישון למליחות ועל השפעתם על התפתחות צמח הווטיוור. בערכי מוליכות חשמלית (EC) של 1 ו-3 דציסימנס/מטר (dS/m), המשקל היבש של נוף הצמחים היה נמוך ברמות דישון של 1 ו-4 מ"ל/ליטר וגבוה באופן מובהק ברמת דישון של 2 מ"ל/ליטר (איור 3). בערכי מוליכות חשמלית של 6 דציסימנס/מטר לעומת זאת, היה המשקל היבש של נוף הצמחים נמוך ולא הושפע באופן מובהק מרמות הדישון השונות (איור 3). בעקבות מדידות של ההרכב המינרלי של נוף הצמחים בטיפולי הדישון והמליחות השונים והתוצאות המוצגות באיור 3, הסיקו Edelstein ועמיתיו ^[18] שרמת מליחות בערכי מוליכות חשמלית ≥ 3 דציסימנס/מטר במי ההשקיה אינה פוגעת בהתפתחות צמחי הווטיוור, וכי השינויים במשקל נוף הצמחים ברמות מליחות אלה נבעו בעיקר מרמות שונות של זרחן בדשן. במליחות זו, רמת הדישון המיטבית הייתה של 2 מ"ל/ליטר, ותכולת הזרחן בנוף הצמחים בה נעה בין 6.22 ל-6.51 מ"ג/ק"ג. ברמת דשן של 4 מ"ל/ליטר הייתה תכולת הזרחן בנוף הצמחים גדולה מ-8.66 מ"ג/ק"ג וגרמה לפגיעה בהתפתחות נוף הצמחים. Edelstein ועמיתיו ^[18] קבעו שצמח הווטיוור רגיש מאוד לעודפי זרחן, וכי ההבדל בין תכולת זרחן מיטבית או מזיקה עבורו בנוף הצמחים הוא צר מאוד. הירידה במשקל נוף הצמחים ברמת מליחות בערכי מוליכות חשמלית של 6 דציסימנס/מטר (איור 3) נבעה בעיקר מפגיעה אוסמוטית ומעלייה בתכולת יוני הכלוריד בנוף הצמחים שגרמה לנזק פיזיולוגי ברקמות הצמח ^[18].

איור 3. משקל יבש כללי של נוף צמחי וטיזור כתלות בערכי מוליכות חשמלית (EC) של מי השקיה עבור שלוש רמות דישון (1, 2 ו-4 מ"ל/ליטר) של דשן "שפר 1" הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן, ואותיות גדולות או קטנות זהות ליד הסימנים מורות על הבדלים לא מובהקים ($\alpha = 0.05$) במשקל הצמחים בין ערכי המוליכות החשמלית בכל רמת דשן ובין רמות הדשן לכל ערך מוליכות חשמלית, בהתאמה (בעקבות Edelman ועמיתיו [18]).



איור 3
משקל יבש כללי של נוף צמחי וטיזור כתלות בערכי מוליכות חשמלית (EC) של מי השקיה עבור שלוש רמות דישון (1, 2 ו-4 מ"ל/ליטר) של דשן "שפר 1"
הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן, ואותיות גדולות או קטנות זהות ליד הסימנים מורות על הבדלים לא מובהקים ($\alpha = 0.05$) במשקל הצמחים בין ערכי המוליכות החשמלית בכל רמת דשן ובין רמות הדשן לכל ערך מוליכות חשמלית, בהתאמה (בעקבות Edelman ועמיתיו [18]).

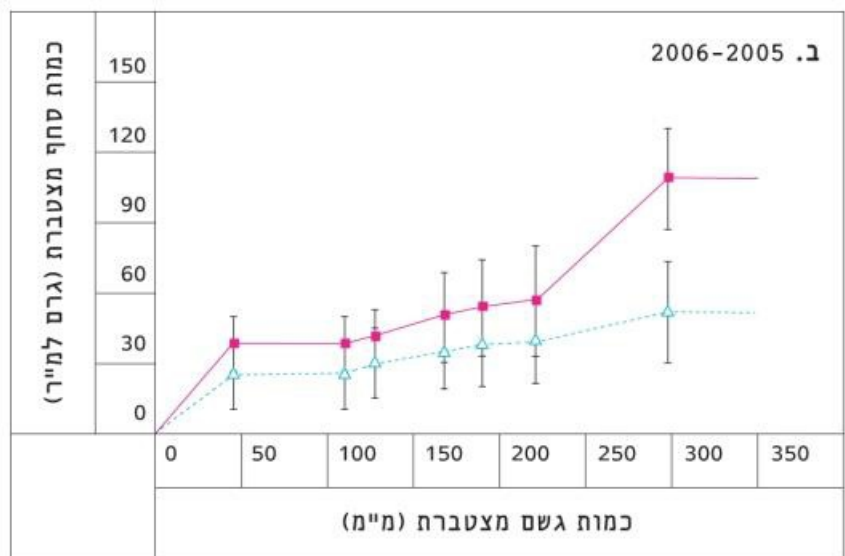
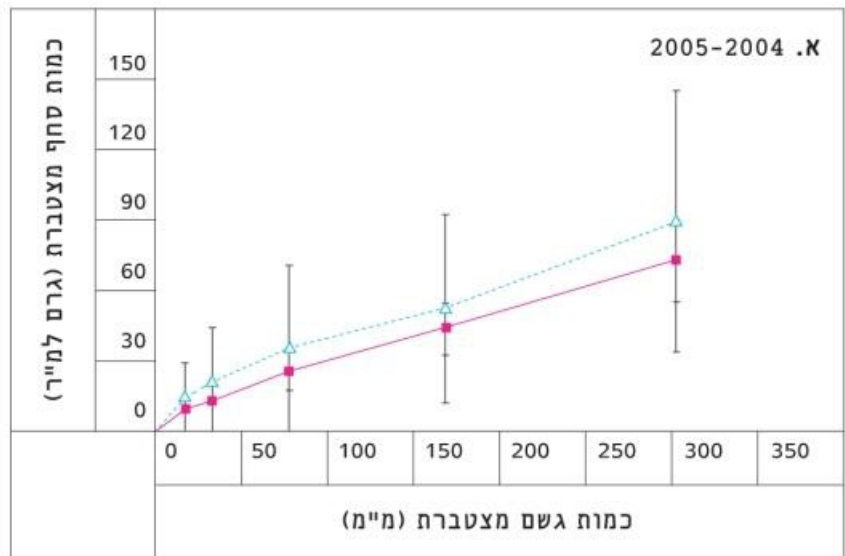
שימור קרקע

לנגר עילי ולסחף קרקע יכולות להיות השלכות הנדסיות, אגרונומיות וסביבתיות: סחף קרקע עלול לגרום לפגיעה בתשתיות קרקעיות, נגר וסחף משטחים חקלאיים גורמים לאיבוד של מים ושל קרקע פורייה מהשדה ולתנועה אופקית מוגברת של מזהמים ושל סחופת (סדימנטים) לעבר מקורות מים עיליים. את האמצעים לייצוב מדרונות ולהקטנת נגר עילי וסחף ניתן לחלק לשלושה סוגים עיקריים: (1) אמצעים מכניים הנדסיים, כגון כיסוי פני הקרקע בבטון, שימוש ברשתות, בתעלות ניקוז ובגומות בקרקע; (2) שימוש במטייבי קרקע, כגון גבס ופולימרים סינתטיים [26, 11]; (3) שימוש בצמחים כמייצבי קרקע [5]. ערכת השורשים העמוקה והחזקה של הוטיזור ותאחיזת הקרקע החזקה שלו מונעות את עקירתו בשיטפונות חזקים [27]. לכן, באזורים הרריים במזרח אסיה משתמשים בו ככלי למניעת סחף ולייצוב מדרונות. באזורים אלו שותלים שורות וטיזור צפופות

בניצב למדרון ובמרחקים הנעים בין מטרים בודדים למאות מטר בין השורות. שורות צמחים אלה משמשות כחסם ביולוגי. הן לוכדות את מרבית סחף הקרקע, אך מאפשרות את זרימת הנגר העילי במורד. היערמות הסחף לאורך שורות הוויטיוור במהלך הזמן יוצרת טרסות קרקע המקטינות את שיפוע המדרון. כתוצאה מכך, קטנה מהירות הזרימה העילית של הנגר יחד עם פחיתה בכמות הסחף הנסחפת. נוסף על כך, שורשי הוויטיוור יכולים למנוע גלישת קרקע (landslide), בכך שהם משמשים רשת תת-קרקעית שאוחזת את חלקיקי הקרקע כנגד כוחות ההחלקה.

Dudai ו-Ben-Hur^[16] בחנו את השפעת הוויטיוור במניעת סחף קרקע ממדרונות בתנאים הקיימים בישראל בניסוי שדה בסוללת עפר בבית הספר החקלאי 'כדורי' השוכן בגליל התחתון. הניסוי נערך בסוללת עפר בעלת שיפוע של $\sim 24^\circ$ שהוקמה על-ידי מילוי של קרקע כבדה המכילה 75% חרסית, 8.1% גיר ו-1.6% חומר אורגני. הסחף נמדד מחלקות נגר שהוקמו בדצמבר 2003. גודל כל חלקה היה 2×4 מ"ר, ואורכה היה במקביל לשיפוע. שני טיפולים בשלוש חזרות לטיפול נבחנו בניסוי זה: (1) ביקורת שבה הקרקע נשארה חשופה במהלך כל החורף; (2) טיפול וטיוור שבו נשתלו ב-12.12.2003 ייחורים של וטיוור בחמש שורות במרווח של 0.65 מטר בין השורות וארבעה ייחורים למטר בכל שורה. הצמחים לא הושקו ולא דושנו במהלך כל תקופת המחקר. כמות הסחף המצטברת שנאספה בחורפים 2004–2005 ו-2005–2006 כתלות בכמות הגשם המצטברת לכל חורף עבור טיפולי הביקורת (קרקע חשופה) והוויטיוור (חלקות שנשתלו בהם צמחי וטיוור) מובאת ב**איור 4**. צמחי הוויטיוור שנשתלו בחלקות הנגר התפתחו כראוי ללא השקיה ודישון. ככל הנראה, תכולת הרטיבות שנאגרה בקרקע הכבדה בחודשי החורף הספיקה לצמחי הוויטיוור כדי לשרוד בעונה היבשה. לא נמצאו הבדלים מובהקים בכמויות הסחף בין טיפולי הביקורת והוויטיוור בחורף 2004–2005 (**איור 4א**). נראה כי נוף צמחי הוויטיוור בחורף זה לא היה מפותח דיו כדי למנוע את הסחף. לעומת זאת, בחורף 2005–2006 הייתה כמות הסחף בטיפול הוויטיוור נמוכה יותר מאשר בטיפול הביקורת. בכמות גשם מצטברת מעל 220 מ"מ היו הבדלים אלו בכמויות הסחף מובהקים (**איור 4ב**). התפתחות רבה יותר של נוף צמחי הוויטיוור בשנים 2005–2006 גרמה כנראה לחיפוי טוב יותר של פני הקרקע כנגד מכות טיפות הגשם. כתוצאה מכך, תהליך ניתוק החלקיקים מפני הקרקע קטן, וכמות הסחף הכללית בטיפול זה פחתה. התפתחות נוף הוויטיוור מלווה בגדילה של חותלות סביב הצמח המקורי, ומספרן יכול להגיע לעשרות אחדות בכל צמח^[3]. התפתחות זו של החותלות הגדילה כנראה את כושר הצמח ללכוד חלקיקי סחף ולמנוע את תנועתם במורד המדרון, ובזכות זאת קטנה כמות הסחף.

איור 4. כמות סחף מצטברת בחורפים 2005-2004 ו-2006-2005 כתלות בכמות גשם מצטברת ובטיפולים - קרקע חשופה (ביקורת) וקרקע שגדל בה וטיזור (וטיזור) הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן, והתאריכים ליד הסימנים מציינים את תאריכי סופות הגשם (בעקבות Dudai ועמיתיו [16]).



איור 4

כמות סחף מצטברת בחורפים 2005-2004 ו-2006-2005 כתלות בכמות גשם מצטברת ובטיפולים - קרקע חשופה (ביקורת) וקרקע שגדל בה וטיזור (וטיזור) הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן, והתאריכים ליד הסימנים מציינים את תאריכי סופות הגשם (בעקבות Dudai ועמיתיו [16]).

יישום הוויטיוור באופן חצי מסחרי כצמח לשימור קרקע נבחן בישראל לראשונה בשני אתרים שונים: (1) ייצוב סוללת עפר במחלף הרצליה ביוזמת יהודה טולדנו מחברת רותם; (2) ייצוב גדות נחל חרוד מול קיבוץ מרחביה על-ידי עובד דרור ז"ל מרשות הניקוז ירדן דרומי. באתר במחלף הרצליה נשתלו ייחורים של וטיוור בסוללת עפר שנבנתה מקרקע חמרה. אורך הסוללה היה כ-40 מטר, גובהה כ-8 מטר ושיפוע המדרון שלה 35%~. רשת פלסטיק ייצבה את שכבת הקרקע העליונה (0-10 ס"מ) בסוללה. חלק קטן מהסוללה נשאר חשוף כטיפול ביקורת, ובחלק האחר נשתלו שתילי וטיוור במאי 2001 בשורות, במרווח של 1 מטר בין השורות ו-30 ס"מ בין הצמחים בשורה. בקיץ הושקו הצמחים בסוללה בטפטוף. צמחי הוויטיוור בסוללה גדלו והתפתחו יפה, כיסו את פני הקרקע בנוף שלהם ולא אפשרו סחף ממנה בחורף [16]. לעומת זאת, באזור הביקורת חל סחף מוגבר שגרם לחשיפת רשת ההגנה ולהתרוקנות טבעות הפלסטיק מקרקע שנסחפה לתחתית הסוללה ומשם למערכת הניקוז לאורך הכביש הסמוך לסוללה [16].

גדות נחל חרוד סובלות באופן מתמיד מהתמוטטויות של גושי עפר מהן שעלולות לגרום להפרעה בזרימת המים בנחל ולהצפות. את גדת הנחל ניתן לחלק לשני אזורים עיקריים: (1) החלק התחתון של הגדה ששיפועו 90%~, לא גדלה בו צמחייה והוא משמש כנתיב הזרימה של מי הנחל; (2) החלק העליון של הגדה ששיפועו מתון יחסית, גדלה בו צמחייה טבעית, והוא אינו משמש כנתיב זרימה של מי הנחל מלבד במקרים נדירים של הצפות. צמחי וטיוור נשתלו באפריל 2002 בחלק העליון של שתי גדות הנחל. צמחי הוויטיוור התפתחו יפה וכיסו את כל השטח העליון של גדות הנחל (איור 5א). צמחי וטיוור ייצבו את החלק התחתון של גדת הנחל ונמנו התמוטטויות של גושי קרקע מהגדה לתחתית הנחל (איור 5ב). את הייצוב יצרה מערכת השורשים העמוקה של צמחי הוויטיוור ששימשה עוגן לגדת הנחל. לעומת זאת, בחלק הגדה שלא נשתלו בו צמחי וטיוור (טיפול ביקורת) גדת הנחל לא הייתה מיוצבת, וגושי קרקע גלשו מהחלק העליון של הגדה לתחתית הנחל כפי שנראה בעיגולים הצהובים באיור 5ג. כמו כן, רוחב האפיק בקטע הנחל שבו נשתלו צמחי הוויטיוור נשאר קבוע, ובקטע שלא נשתלו בו צמחי וטיוור ניכרה התרחבות משמעותית של אפיק הנחל, שהוסדרה בעזרת ציוד מכני כבד.

איור 5. ייצוב גדות נחל חרוד

א. מבט כללי של הנחל עם צמחי וטיוור. ב. מבט של גדת הנחל התחתונה המיוצבת בצמחי וטיוור. ג. מבט של גדת הנחל התחתונה ללא ייצוב בצמחי וטיוור. גושי הקרקע המסומנים בעיגולים הלבנים הם גושים שהתמוטטו מהגדה לתחתית הנחל (בעקבות Dudai ועמיתיו [16]).



איור 5

ייצוב גדות נחל חרוד

א. מבט כללי של הנחל עם צמחי וטיוור. ב. מבט של גדת הנחל התחתונה המיוצבת בצמחי וטיוור. ג. מבט של גדת הנחל התחתונה ללא ייצוב בצמחי וטיוור. גושי הקרקע המסומנים בעיגולים הלבנים הם גושים שהתמוטטו מהגדה לתחתית הנחל (בעקבות Dudai ועמיתיו [16]).

זיהום קרקע

זיהום קרקע הוא תופעה שכיחה באזורים שונים בעולם וגם בישראל [6,1]. שימוש מוגבר של האדם בדלקי מאובנים, הפקת מתכות כבדות ממכרות, ניצול יתר של מקורות מים כולל שימוש חוזר בקולחים, התפתחות מוצאת של התעשייה, הקרבה בין השטחים החקלאיים לבין האזורים העירוניים והתעשייתיים, עלייה בזיהום האוויר ושקיעת המזהמים על פני הקרקע הם

דוגמאות לגורמים המחריפים את זיהום הקרקע והמים [7,8,10,19,22]. בישראל, בהיותה ארץ צפופה אוכלוסין הסובלת ממחסור כרוני במים, תופעות אלו של זיהום יכולות להיות משמעותיות מאוד. לדוגמה זיהום של בארות שמרון בעמק יזרעאל בסלניום כתוצאה מהטמנת פסולות מתעשייה במחצבה נטושה [25]; זיהום המאיים גם על הקרקעות בשטחי הגידול בעמק יזרעאל. ניקוי של מזהמים מקרקע וממים על-ידי צמחים מכונה phytoremediation (שיקום על-ידי צמחים), והשימוש בטכנולוגיה זו מתפשט לאחרונה באזורים שונים בעולם. בשנים האחרונות גברה ההתעניינות בעולם בוויטור כצמח לטיפול במים מזהמים, כגון שפכים, בעזרת אגנים ירוקים (שיטה המורכבת ממערך של ביצות מלאכותיות, ומיועדת לטיהור שפכים) ובשיקום קרקעות מזוהמות [12,13,15,23,29]. לדוגמה, [27] Truong מצא צמחי וטיוור עמידים מאוד לריכוזים גבוהים יחסית של מתכות כבדות באזור בית השורשים. הוא בחן גידול של צמחי וטיוור באוסטרליה בקרקעות מזוהמות בעופרת, בכספית, בניקל ובאבץ, ומצא שריכוזן של מתכות אלה בנוף הצמחים היה 2.27, 1,040 ו-643 מ"ג/ק"ג, בהתאמה. במקרה זה, ביצוע מספר קצירים של נוף צמחי הוויטור במהלך השנים יכול להקטין את ריכוז המתכות הכבדות בקרקעות המזוהמות עד כדי שיקומן. בבחינת שימוש בוויטור לניקוי קרקע משאריות נפט גולמי שנעשתה בוונצואלה לא התקבלו תוצאות חד-משמעיות, אך ניכר שהצמחים היו עמידים לריכוז גבוה של מזהמים [9].

בישראל נפוצה יותר בעיית זיהום בפחמימנים שמקורם מדלקים מעובדים ולא מנפט גולמי. מרכיבי הדלק מוגדרים כחומרים רעילים ומסרטנים שעלולים לפגוע במערכת העצבים המרכזית, במערכת החיסון ובפוריות. בישראל קיימת מערכת מסועפת של מתקני דלק הכוללת קווי הולכה כלל-ארציים באורך של כ-1,400 ק"מ, 17 חוות מכלי דלק בנפח של עשרות אלפי מ"ק לכל חווה, שני בתי זיקוק גדולים באשדוד ובחיפה, תחנות כוח, כ-1,000 תחנות דלק ציבוריות, ומכלי דלק על-קרקעיים ותת-קרקעיים בתעשייה, בחקלאות, במחנות צבא ובבתי מגורים [4]. נפח הדלק העצום הזה הוא מקור פוטנציאלי לזיהום קרקע ולאחר מכן לזיהום מי תהום בתוצרי דלק. לדוגמה, בקידוחי ניטור שנעשו ב-105 אתרים שיש בהם אחסון ושינוע של דלק, נמצאו 81 אתרים שהקרקע ומי התהום בהם מזוהמים ברמות שונות של דלק [4].

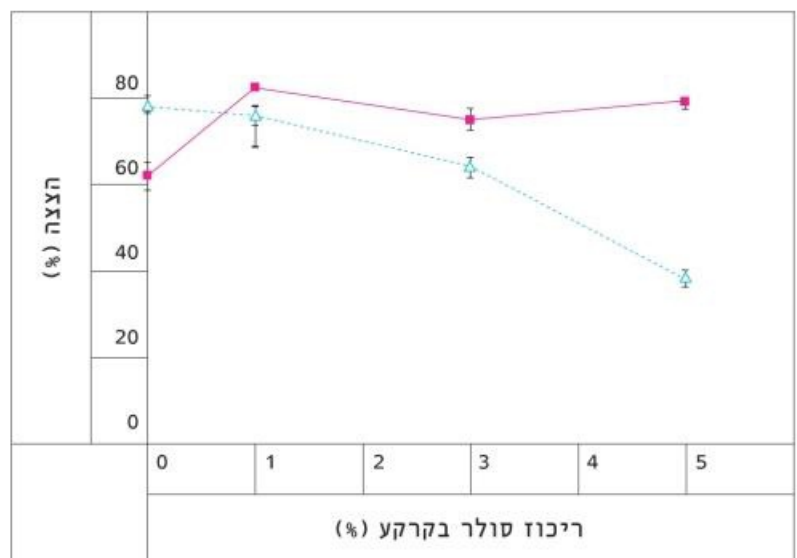
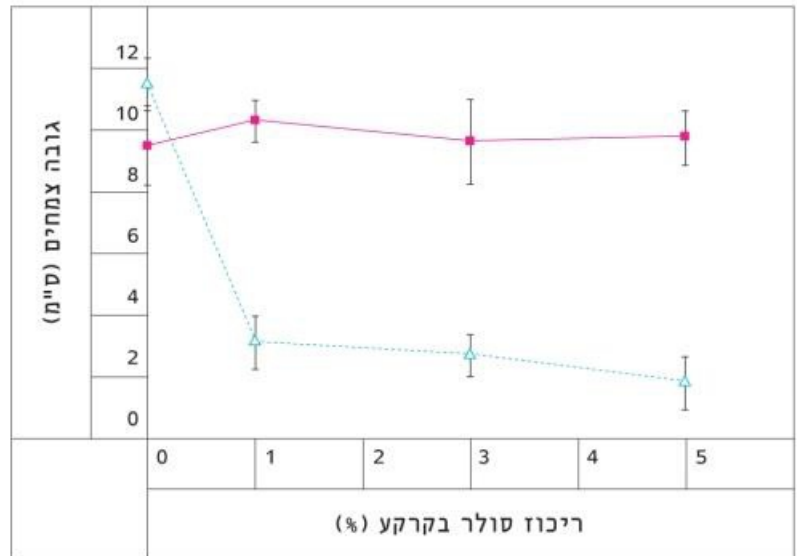
טיפול בקרקעות מזוהמות בדלק בעזרת שימוש בצמחי וטיוור נבחן בישראל לראשונה על-ידי דודאי ועמיתיו [2]. בעבודתם נבחן כושרו של צמח הוויטור להקטין את רמת הזיהום בסולר של קרקע כבדה מעמק יזרעאל. הניסוי כלל תוספת של סולר לקרקע בריכוזים של 0% (ביקורת), 1%, 3% ו-5% על בסיס משקלי, על-ידי ריסוס של קרקע מפוררת ומנופה בסולר תוך כדי ערבובה במכונת בטון. הקרקעות המטופלות נארוזו בדליים בנפח של 10 ליטר לדלי, ובכל דלי נשתל שתיל וטיוור. בחלק מהדליים לא נשתלו צמחים והם שימשו כביקורת. הדליים הושקו בטפטוף על פי הצורך, והניסוי נערך בארבע חזרות לטיפול. לאחר 35 ימי גידול של צמחי הוויטור נדגמה הקרקע מכל הדליים, ונארה במכלים של 250 סמ"ק לעציץ. במכלים אלה גודלה חיטה כמדד ביולוגי לקביעת רמת הזיהום של הקרקע בסולר. דודאי ועמיתיו מצאו שצמח הוויטור מסוגל לגדול ולפתח מערכת שורשים גם בקרקע מזוהמת בסולר בריכוז של 5% – שמונה שבועות לאחר השתילה התקבלה בכל טיפולי הזיהום עם הסולר מערכת שורשים מפותחת שמילאה את כל נפח הדלי.

אחוז ההצצה וגובה נבטי החיטה שגדלו בקרקע שזוהמה בריכוזי סולר שונים, עבור הקרקעות שגודלו או שלא גודלו בהן וטיוור כטיפול מקדים, מובאים באיור 6, על פי התוצאות שהתקבלו בעבודה זו. צמחי חיטה רגישים לנוכחות סולר בקרקע, ולכן פחיתה באחוזי ההצצה ובגובה שלהם היא מדד לנוכחות של סולר בקרקע. התוצאות המוצגות באיור 6 מצביעות על ירידה משמעותית בתכולת הסולר בקרקעות שגודלו בהן וטיוור לעומת קרקעות שלא גודלו בהן וטיוור. בעקבות תוצאות אלה, הציעו דודאי ועמיתיו [2] שהיכולת של הוויטור לשרוד ולהתפתח בקרקע שהכילה ריכוזים גבוהים של סולר, נבעה בין היתר מיכולתם של המיקרואורגניזמים הנלווים לשרוש הוויטור לפרק את הסולר ולהשתמש בו כמקור פחמן, וכתוצאה מכך חלה פחיתה בריכוזי הסולר בקרקע. בעבודה שהתפרסמה לאחרונה [14] נמצא כי לשרושי הוויטור נלווים באופן טבעי מיקרואורגניזמים בעלי יכולת לבצע חילוף חומרים (מטבוליזם) של תרכובות אורגניות שמקורן בצמח, וכך נוצרים בין היתר חומרים נדיפים המקנים לשרוש את ריחו הנעים האופייני.

איור 6. שיעור הצצה וגובה נבטי חיטה ביום השביעי לאחר

הזריעה בקרקעות מזוהמות בסולר

החיטה נזרעה בדגימות קרקע מזוהמות בריכוזים שונים של סולר לאחר שגדל בהן וטיזור במשך 5 שבועות, וכן בדגימות קרקע מזוהמות שלא גדל בהן וטיזור. הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן (בעקבות דודאי ועמיתיו 2004^[2]).



—■— אחר גידול וטיזור -△- לא גידול וטיזור

איור 6

שיעור הצצה וגובה נבטי חיטה ביום השביעי לאחר הזריעה בקרקעות מזוהמות בסולר

החיטה נזרעה בדגימות קרקע מזוהמות בריכוזים שונים של סולר

לאחר שגדל בהן וטיוור במשך 5 שבועות, וכן בדגימות קרקע מזוהמות שלא גדל בהן וטיוור. הקווים האנכיים מציינים שתי סטיות תקן (בעקבות דודאי ועמיתיו 2004^[2]).

סיכום

מהסקירה שהוצגה במאמר הנוכחי ניתן לקבוע שהוויטיוור הוא צמח בעל תועלת רבה לאדם, והוא יכול לשמש ככלי סביבתי לשימור, לייצוב ולניקוי קרקעות ממזהמים אנאורגניים כגון מתכות כבדות, וממזהמים אורגניים כגון דלקים. יכולות אלו הוכחו בניסויים בבתי צמיחה, בשדה עם סוגי קרקע שונים, ובאזורים שונים בעולם. נוסף על כך, הוצגו בסקירה זו ממצאים המראים כי צמח הוויטיוור יכול לגדול בישראל ולשרוד בעונה היבשה בה ללא השקיה, הוא לא מעכב גידולים שכנים ואינו מתפשט או מתרבה מזרעים, כך שאין חשש שיהפוך למטרד או לעשב שוטה בשדות חקלאיים.

יחד עם זאת, בישראל לא נערכו עדיין ניסויים ותצפיות בשדה בשימוש בצמח הוויטיוור לניקוי קרקע ממזהמים, אף על פי שתופעות של זיהום קרקע שכיחות למדי. על כן, יש צורך בביצוע מחקרים נוספים בתחום בישראל, ובהם: (1) בחינת יעילות הוויטיוור כצמח ניקוי באגנים ירוקים ("ביופילטר") כתחליף או כתגבור לצמחים המשמשים לכך כיום, שחלקם אגרסיביים מדי (כגון קנה) או רגישים למים מזוהמים. תוצאות ניסויי ההשקיה של הוויטיוור במים מליחים שהוצגו במאמר הנוכחי, מצביעות על היתכנות של שימוש בצמח זה באגנים ירוקים מליחים. (2) מקור זיהום נוסף של הקרקע ומי התהום הוא מי הנקז הנפלטים מחממות המופעלות בטכניקה של מצעים מנותקים. מי נקז אלה מכילים ריכוזים גבוהים יחסית של מליחים, של חומרי הזנה ולעיתים אף של חומרי הדברה, שעלולים לזהם את משאבי המים ואת המערכת האקולוגית בסביבת החממות. תצפית מקדמית שנעשתה במרכז המחקר נווה-יער הראתה מודל מוצלח של שימוש בוויטיוור לקליטת מי הנקז והמזהמים שבהם, הנפלטים מחממות. אם נמשיך את הרעיון הזה, אנו מציעים לבחון שתילה של צמחי וטיוור לקליטת המים האפורים ותכולתם באדמה במקומות שבהם הם אינם מסולקים במערכת ביוב מסודרת, כגון מחנות צבא או התיישבות ארעית של בדואים בנגב. (3) שימוש בצמח הוויטיוור לניקוי שפכים באזורי התיישבות של בדואים, יאפשר גם שימוש בנוף צמחי הוויטיוור לריפוד המכלאות של בעלי החיים, ו/או למספוא או למרעה. (4) העבודה שנערכה בישראל הראתה את עמידות צמח הוויטיוור ואת כושרו לנקות קרקעות מזוהמות בדלק, בעיה סביבתית הנפוצה כיום בארץ ובעולם. לפיכך, נראה שהצעד הבא ביישום של צמח הוויטיוור לניקוי קרקעות מזוהמות בדלקים מחייב בחינה בקנה מידה גדול יותר בשטחים מזוהמים או מועדים לזיהום בדלק. למרות התועלת הסביבתית הרבה של הוויטיוור, עדיין לא זכה צמח זה למקומו האמיתי ככלי לשימור ולניקוי קרקעות בארץ. אנו מקווים כי התוצאות שהוצגו במאמר הנוכחי בשילוב מחקרים נוספים, ובמיוחד ניסוי שדה בצמח הוויטיוור בתנאים הקיימים בישראל, יגדילו את הטמעתו כצמח משמר סביבה.



שורשי וטיור הנמכרים באגודות באי ראוניון שבאוקיינוס ההודי / צילום: © David Monniaux

הבעת תודה

העבודות הנסקרות במאמר מומנו בחלקן על ידי הקרן הקיימת לישראל וקרן CAR. השתילה בנחל חרוד נערכה ביוזמתו של עובד דרוז"ל, מרשות הניקוז ירדן דרומי, איש ביצוע רב פעלים, יהי זכרו ברוך. תודה למר יהודה טולדנו, איש חזון, שראה את הפוטנציאל של צמח הוטיור, האמין בו, והיה חלוץ בשתילות לייצוב קרקע ברחבי הארץ. חלק מהתוצאות המוצגות התקבלו בעבודות גמר צמודות ברמה של 5 יחידות לימוד במדעי החיים והחקלאות שנעשו על-ידי התלמידות דינה באדוג בהנחיית דינה גרייבר ועדן יערי בהנחיית עמוס ערב מבית הספר התיכון החקלאי הניסויי על שם כדורי. אנו מודים להנהלת בית הספר על התמיכה ועל האפשרות לבצע את המחקר בשטחם.

מקורות

1. בן-חור מ. 1999. זיהום קרקע ומי-תהום ביסודות-מיקרו עקב השקיה במי-קולחים בישראל. מחקר חקלאי בישראל, קרקע ואיכות סביבה **נכ"ל** חוברת 2: 1-55.
2. דודאי נ. אבו רומחין א, חיימוביץ ד, טמיר ה, מטמון מ, סעדי ד, פוטיבסקי א, פורת י ופישר ר. 2010. שימוש אפשרי בצמח הוטיבר (*Vetiveria zizanioides*) לניקוי זיהומי דלק בקרקע. **יבול שיא** 54: 52-54.
3. דודאי נ, פוטיבסקי א, חיימוביץ ד, ובן-חור מ. 2004. גידול צמחי וטיבר לייצוב קרקע: פיתוח ממשק גידול המתאים לתנאי הארץ. **יער** 5-6: 45-49.
4. רשף ג. 2010. סיכום פעילות אגף איכות המים לשנת 2009 בנושא מניעת זיהומי דלק. **אגמית, המים בארצנו** 185: 16-19.

- Agassi M and Ben-Hur M. 1992. Stabilizing steep slopes with soil conditioners and .5
.plants. *Soil Technology* **5**: 249-256
- Anderson A. 1992. Trace elements in agricultural soils. Fluxes, balances and .6
background values. Solan, Sweden: Swedish Environmental Protection Agency Report
.4007
- Banin A, Navrot J, Noy J, and Yoels D. 1981. Accumulation of heavy metals in arid- .7
zone soils irrigated with treated sewage effluent and their uptake by Rhodes grass.
.*Journal of Environmental Quality* **10**: 536-540
- Basta NT, Ryan JA, and Chaney RL. 2005. Trace element chemistry in residual-treated .8
soil: Key concepts and metal bioavailability. *Journal of Environmental Quality* **34**: 49-
.63
- Brandt R, Merkl N, Schultze-Kraft R, Infante C, and Broll G. 2006. Potential of vetiver .9
(*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-
contaminated soils in Venezuela. *International Journal of Phytoremediation* **8**: 273-
.284
- Ben-Hur M. 2004. Sewage water treatments and reuse in Israel. In: Zereini F and .10
Jaeschke W (Eds). Water in the Middle East and in North Africa: Resources, protection,
.and management. New York: Springer-Verlage
- Ben-Hur M. 2006. Using synthetic polymers as soil conditioners to control runoff and .11
soil loss in arid and semiarid regions – A review. *Australian Journal of Soil Research*
. **44**: 191-204
- Chen YH, Shen ZG, and Li XD. 2004. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in .12
the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Applied Geochemistry*
. **19**: 1553-1565
- Danh LT, Truong P, Mammucari R, Tran T, and Foster N. 2009. Vetiver grass, *Vetiveria* .13
zizanioides: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes.
.*International Journal of Phytoremediation* **11**: 664-691
- Del Giudice L, Massardo DR, Pontieri P, Berteà CM, Mombello D, Carata E, Tredici MS, .14
Talà A, Mucciarelli MI, Groudeva V, De Stefano M, Vigliotta G, Maffei ME, and Alifano
P. 2008. The microbial community of Vetiver root and its involvement into essential oil
.biogenesis. *Environmental Microbiology* **10**(10): 2824-2841
- Deifel KS, Kopitke PM, and Menzies NW. 2006. Growth response of various perennial .15
.grasses to increasing salinity. *Journal of Plant Nutrition* **29**: 1573-1584
- Dudai N and Ben Hur M. 2009. Using vetiver (*Vetiveria zizanioides*) as a soil .16
conservation technique under Mediterranean conditions. In: Gavardashvili G,
Brothwick A, and King L (Eds). Proceedings of the International Symposium on Floods
and Modern Methods of Control Measures. 2009 Sep 23-28; Water Management
.Institute of Georgia, Tbilisi
- Dudai N, Putievsky E, Chaimovitch D, and Ben-Hur M. 2006. Growth management of .17
vetiver (*Vetiveria zizanioides*) under Mediterranean conditions. *Journal of*

- Environmental Management* **81**(1): 63-71
- Edelstein M, Plaut Z, Dudai N, and Ben-Hur M. 2009. Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) responses to fertilization and salinity under irrigation conditions. *Journal of Environmental Management* **91**: 215-221 .18
- Feigin A, Ravina I, and Shalhevet J. 1991. Irrigation with treated sewage effluent. New York: Springer Verlag .19
- Greenfield JC. 1988. Vetiver grass (*Vetiver spp.*): The ideal plant for vegetative soil and moisture conservation. TVN Newsletter 1. Washington, DC: World Bank .20
- Hengchaovanich D and Nilaweera NS. 1998. An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization In: Chomchalow N and Henle HV (Eds). Proceedings of the first international conference on Vetiver: A miracle grass; 1996 Feb 4-8; Chiang Rai, Thailand. Bangkok Thailand: Office of the Royal Development Projects Board .21
- Jackson AP and Alloway BJ. 1992. The transfer of cadmium from agricultural soils to the human food chain. In: Adirano DC (Ed). Biogeochemistry of trace elements. London: Lewis Publishers .22
- Klomjek P and Nitorisavut S. 2005. Constructed treatment wetland: A study of eight plant species under saline conditions. *Chemosphere* **58**: 585-593 .23
- Maffei M. 2002. Introduction to the genus *Vetiveria*. In: Maffei M (Ed). *Vetiveria: The genus Vetiveria*. New York: Taylor & Francis .24
- Michelson H. 1991. Chemical (selenium) and biological contamination of Shimron wells in the southern Nazareth Mountains. *Israel Journal of Earth Science* **39**: 131-137 .25
- Shainberg I and Letey J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* **52**: 1-57 .26
- Truong P. 2002. Vetiver grass technology. In: Maffei M (Ed). *Vetiveria: The genus Vetiveria*. New York: Taylor & Francis .27
- Truong P, Baker D, and Christiansen I. 1995. Stiff grass barrier with vetiver grass – A new approach to erosion and sediment control. Proceedings of the 3rd Annual Conference on Soil and Water Management for Urban Development; 12-15 Sep 1995; Sydney, Australia .28
- Xia HP. 2004. Ecological rehabilitation and phytoremediation with four grasses in oil shale mined land. *Chemosphere* **54**: 345-353 .29