

אסף ענבר

בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש
פורטר, אוניברסיטת תל-אביב

מרקוס לאדו

הפקולטה למדעים, אוניברסיטת לה
קורוניה, ספרד

מרסלו שטרנברג

המחלקה לביולוגיה מולקולרית
ואקולוגיה של צמחים, אוניברסיטת
תל-אביב

מני בן-חור

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

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

ענבר א, לאדו מ, שטרנברג מ ובן-חור
מ. 2012. השפעות שרפת יער על
תכונות כימיות ופיזיקליות של קרקע
ועל תהליכי נגר וסחף. *אקולוגיה
וסביבה* 3(3): 247–255.



עץ שרוף כמעט לגמרי בהר ערקן שבכרמל, 16.4.2011 | צילום: נעמה טסלר ©

השפעות שרפת יער על תכונות כימיות ופיזיקליות של קרקע ועל תהליכי נגר וסחף

1 באוגוסט, 2012

גיליון סתיו 2012 / כרך 3(3)

[חזית המחקר](#)

על קצה המזלג

- לפי הידע המקובל, שרפות יער גורמות לחשיפת הקרקע ובמהלך סופות גשם גם לעלייה בשיעורי הנגר והסחף, שגורמים נזקים רבים.
- בוצע ניסוי מעבדה על קרקעות רנדזינה מיער ביריה שנחשפו לשרפת יער או לחימום בתנור, כולל הדמיית סופות גשם.
- המחקר סותר את הידע המקובל – בקרקע רנדזינה שנחשפת לשרפה יש דווקא עלייה ביציבות ובערכי החידור.
- שרפה אמנם עשויה לייצב את הקרקע ולהפחית נגר וסחף, אך שיעורם עלול לגדול בהשפעת שינויים אקולוגיים וקרקעיים אחרים.
- לנוכח העלייה בשכיחות שרפות יער ובשל העיסוק הציבורי והמחקרי בהן יש לממצאים אלה חשיבות מדעית ויישומית.

תקציר

שרפות יער יכולות לגרום לשינויים ביחסי גשם/נגר/סחף באזור השרפה, ועל-ידי כך לגרום לנזקים אקולוגיים, סביבתיים והנדסיים. מטרת העבודה הנוכחית הייתה לבחון את ההשפעה שיש לחשיפות שונות של קרקע רנדזינה לשרפת יער, מבחינת התכונות הכימיות והכימיות-פיזיקליות של הקרקע, המבנה שלה ותהליכי נגר וסחף בסופות גשם עוקבות. דגימות קרקע נדגמו מיער ביריה מאזור שנשרף באותה שנה (קרקע שנחשפה לשרפה ישירה), ומאזור שלא נשרף (קרקע לא שרופה). חלק מהקרקע שנדגמה מהאזור שלא נשרף חוממה ב-300 מעלות צלזיוס במשך 8 שעות בתנור (קרקע שנחשפה לחום). דגימות אלה הומטרו בשלוש סופות גשם עוקבות במדמה גשם לקביעת ערכי חידור ושיעורי סחף. מתוצאות הניסוי עולה כי בקרקע לא שרופה חלו ירידה בערכי החידור ועלייה בכמויות הסחף במהלך סופת גשם כתוצאה מהרס תלכידים, מיצירת קרום בפני הקרקע ומעלייה בשיעורי הנגר. ערכי החידור היו גבוהים יותר וכמויות הסחף היו נמוכות יותר בקרקע שנחשפה לחום ובקרקע שנחשפה לשרפה ישירה מאשר בקרקע הלא שרופה. תוצאות אלה נבעו מכך, שחשיפת הקרקע ל-300 מעלות גרמה לשינויים כימיים ומבניים בתחמוצות הברזל והאלומיניום במקטע החרסיתי בקרקע, שהעלו את יציבות התלכידים כנגד מכות טיפות הגשם וכוחות ההתפוררות (slaking) הנובעים מהרטבה מהירה של הקרקע. נוסף על כך, חשיפת הקרקע לשרפה ישירה ולחום גרמה לעלייה בריכוז האלקטרוליטים ולירידה בערך מנת ספיחת הנתרן (SAR) בתמיסת הקרקע במהלך הגשם. כתוצאה מכך, נמנע פיזור (dispersion) חלקיקי החרסית במים והתפתחות קרום מפותח, ושיעורי הנגר והסחף פחתו. אולם, תהליכים אלה פחתו עם סופות הגשם העוקבות. ניתן להסיק מהעבודה הנוכחית, ששרפת יער יכולה להגדיל את יציבות מבנה הקרקע, ועל-ידי כך להקטין את הנזק שיכול להיגרם מבחינת נגר וסחף כתוצאה משכפת החומר הצמחי וחשיפת הקרקע.

מבוא

שרפות יער הן תופעות שכיחות באגן הים התיכון. שכיחותן ועוצמתן גדלו בעשורים האחרונים [29], ואחת ההשפעות שלהן היא שינוי ביחסי גשם/נגר/סחף באזור השרפה [6, 9, 24, 25, 26, 32]. שיעורי נגר יכולים לעלות במהלך סופת גשם כתוצאה מירידה בערכי החידור הנובעת משינוי גורמים עיקריים [14]: (א) פחיתה במפל ההידראולי המניע את תנועת המים לעומק הקרקע עם הרטבתה; (ב) היווצרות קרום צפוף עם מוליכות הידראולית נמוכה בפני הקרקע [22, 4]. הקרום נוצר כתוצאה משינוי מנגנוני עיקריים [2, 4, 23]: (א) מנגנון פיזיקלי הגורם להרס מכני של התלכידים עקב מכות טיפות הגשם והרטבה מהירה שלהם. נוכחות בקרקע של חומרים מתלכידים, כגון חומר אורגני [19], תחמוצות פעילות של ברזל ואלומיניום [27] וחרסית [4, 18], מחזקת את מבנה התלכידים ועל-ידי כך קטנה השפעת מנגנון זה בהיווצרות הקרום; (ב) מנגנון כימי-פיזיקלי, הנובע מירידה בריכוז האלקטרוליטים בתמיסת הקרקע עם שטיפת הקרקע במי הגשם, הגורם לפיזור (dispersion) של חלקיקי חרסית הקרקע במים ליצירת תרחיף האוטם את הנקבובים בקרום [4].

סחף קרקע נובע מניתוק חלקיקים מגוף הקרקע עקב מכות טיפות הגשם וכוחות הגזירה של זרימת הנגר העילי, ומהסעת חלקיקים שנותקו על-ידי הנגר או כוחות ההתזה של טיפות הגשם [30,3]. מכאן, שלשכפת היער המשפיעה על יציבות מבנה הקרקע, יכולה להיות השפעה גם על הסחף.

לעוצמת השכפה, המוגדרת כמכפלה בין האנרגיה המשתחררת משכפה של חומר בעירה הנמצא ביחידת שטח לבין מהירות התפשטות השכפה [7,8], ולחומרת השכפה, שהיא מדד איכותי המשקף את התגובה של המערכת האקולוגית ביער לשכפה [7,8], יש שונות מרחבית ועתית גבוהה בזמן השכפה. לכן, אזורים שונים ביער נחשפים באופן שונה לשני מדדים אלה. ניתן לאפיין שלושה טיפוסים עיקריים של הקרקע לשכפה: (א) איים של קרקע ביער שלא נחשפו לשכפה; (ב) קרקע שנחשפה לחום מהאש ולאפר שנוצר משכפת חומר צמחי; (ג) קרקע שנחשפה לחום שנפלט מהאש, אבל לא נחשפה לאפר, מכיוון שהקרקע הייתה ללא חיפוי צמחי או נשר.

עבודות רבות נעשו בארץ על השפעת שכפת יער על הצומח, על השתקמותו, על זמינות חומרים מזינים (nutrients) ועל תכולת חומר אורגני בקרקע [15,16,17,20,29,31]. אולם מעט עבודות נעשו על השפעת השכפה על התכונות הכימיות והכימיות-פיזיקליות של הקרקע והשפעתן על מבנה הקרקע ועל תהליכי נגר וסחף. קרקע רנדזינה היא קרקע גירית, בעלת מרקם סייני ולפרקים חרסיתי, הנפוצה ביערות הארץ [1]. מטרת העבודה הנוכחית הייתה לבחון את השפעת חשיפות שונות של קרקע רנדזינה לשכפת יער על תכונות כימיות וכימיות-פיזיקליות, על המבנה שלה ועל תהליכי נגר וסחף בסופות גשם עוקבות ומבוקרות. עבודה זו אינה בוחנת את השפעת שכבת האפר מעל פני הקרקע, אלא רק את השפעת האפר שהתערבב עם חלקיקי הקרקע.

חומרים ושיטות

שטח המחקר ודגימת קרקע

שטח המחקר ממוקם ביער ביריה הכולל עצי אורן קפריסאי (*Pinus brutia*) ואורן ירושלים (*Pinus halepensis*) על גבי קרקע רנדזינה בהירה בעלת מרקם סייני חרסיתי חולי. שכפה קלה-בינונית שהתרחשה ב-21.7.2009 כילתה את הצומח העשבוני והנשר על פני הקרקע, חרכה את גזעי העצים הבוגרים עד לגובה של מספר מטרים, ושרפה כליל חלק מהעצים הצעירים.

דגימות קרקע מופרות נדגמו ב-28.10.2009 מעומק של כ-3 ס"מ מאזור שרוף ביער ומאזור לא שרוף סמוך, לאחר הסרה זהירה של שכבת האפר או הנשר מעל פני הקרקע. דגימות הקרקע יובשו ליובש אוויר, נכתשו ונופו בנפה של 4 מ"מ. חלק מהקרקע שנדגמה מהאזור שלא נשרף, נארזה בשכבה בעובי 5 ס"מ במגשים בגודל של 1 מ"ר, שחוממו בתנור ב-300 מעלות במשך 8 שעות כדי לוודא שכל שכבת הקרקע נחשפה לטמפרטורה הנתונה. קרקע זו שימשה כדוגמה לקרקע שנחשפה רק לחום, ותיקרא להלן קרקע שנחשפה לחום. הקרקע שנדגמה מאזור שלא נשרף ולא חוממה בתנור, שימשה כדוגמה לקרקע לא שרופה, ותיקרא קרקע לא שרופה. הקרקע שנדגמה מהאזור שנשרף, שימשה כדוגמה לקרקע שנחשפה לחום מהאש ולאפר שנוצר מהשכפה של החומר הצמחי, ותיקרא קרקע שנחשפה לשכפה ישירה. תכונות פיזיקליות וכימיות של הקרקעות לאחר טיפולי השכפה השונים נקבעו בשלוש חזרות בשיטות סטנדרטיות (טבלה 1).

טבלה 1. ערכים ממוצעים של תכונות כימיות ופיזיקליות של הקרקע לאחר טיפולי השכפה השונים וריכוז והרכב היונים במיצוי מימי שלהם (יחס משקלי קרקע:מים של 1:1.5)

אומיות שונות סמוך למספרים מציינות הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בין טיפולי השכפה השונים לכל מדד שנמדד.

טיפולי שכפה	אנליזה מכנית			חומר אורגני כללי [%]	תכולת גיר [%]	קק"ח [מא"ק לק"ג]	תמיסת מיצוי קרקע (יחס משקלי קרקע:מים של 1:1.5)			ערך פיזור [%]
	חרסית [%]	סילט [%]	חול [%]				ערך הגבה (pH)	מוליכות חשמלית [דציסימנס למטר]	מנת ספיחת נחרן [מא"ק לליטר]	
קרקע לא שרופה	26 a	23 b	52 a	6.5 b	61.4 b	209 b	7.31 a	0.42 b	0.14 a	12.3 a
שכפה ישירה	25 a	24 b	50 a	10.7 a	57.6 b	235 a	7.21 a	0.34 b	0.10 b	11.5 a
חשיפה לחום	17 b	36 a	47 b	4.5 c	68.4 a	149 c	7.34 a	2.26 a	0.07 c	7.7 b

[1] קק"ח - קיבול קטיונים חליפיים. מא"ק - מיליאקווילנט

טבלה 1

ערכים ממוצעים של תכונות כימיות ופיזיקליות של הקרקע לאחר טיפולי השכפה השונים וריכוז והרכב היונים במיצוי מימי שלהם (יחס משקלי קרקע:מים של 1:1.5)

אותיות שונות סמוך למספרים מציינות הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בין טיפולי השרפה השונים לכל מדד שנמדד.

ניסוי במדמה גשם

הקרקע הלא שרופה, הקרקע שנחשפה לשרפה ישירה והקרקע שנחשפה לחום נארוז בעובי של 2 ס"מ במגשים מחוררים בגודל 50X30 סמ"ר ובצפיפות גושית של 1.2, 1.1 ו-1.0 גרם לסמ"ק, בהתאמה. המגשים הוצבו בשיפוע 30% במדמה גשם [21] והומטרו בשלוש סופות עוקבות של 80 מ"מ מים מזוקקים לסופה עם עוצמת גשם של 47 מ"מ לשעה ובארבע חזרות. בין הסופות העוקבות יובשו הקרקעות במגשים ב-37 מעלות במשך 72 שעות. במהלך כל סופת גשם, נפח הנקז שחלחל דרך שכבת הקרקע נאסף בזמנים שונים מכל מגש, ונפחו נמדד לקביעת ערכי החידור. נוסף על כך, ארבעה מקטעים של מי נקז ונגר נאספו מכל מגש לאחר כל 20 מ"מ גשם במהלך שלוש סופות הגשם העוקבות, ואיכותם הכימית נקבעה. כמות הסחף נקבעה על-ידי ייבוש דגימות הנגר ב-105 מעלות ושקילת הסחופת.

יציבות תלכידים

השפעת חשיפת הקרקע לתנאי שרפה שונים על יציבות תלכידים כנגד כוחות התפוררות (slaking – כוחות הגורמים להרס תלכיד הקרקע כתוצאה מהרטבה מהירה שלהם) ופיזור נקבעה בשלושת טיפולי הקרקע השונים בשלוש חזרות בשיטה שפותחה על-ידי בן-חור ואחרים [5]. פירוט מתומצת של קביעת ערכי ההתפוררות והפיזור מובא להלן:

ערכי התפוררות נקבעו על-ידי הרטבה מהירה או אטית של תלכידים יבשים בגודל 2-4 ס"מ שנדגמו מכל קרקע, ונופו בעדינות במערכת נפות בגדלים שונים. קוטר ממוצע משוקלל (MWD) של התלכידים לאחר ההרטבה המהירה והאטית חושב לכל דגימת קרקע על פי נוסחה [1]

$$MWD = \sum_{i=1}^7 \bar{x}_i w_i \quad [1]$$

כאשר w_i הוא משקל המקטע של התלכידים בקבוצת גודל i עם ממוצע קוטר X_i .

ערך ההתפוררות (SLV) של כל דגימת קרקע חושב על פי נוסחה [2]:

$$SLV = MWD_s / MWD_f$$

כאשר MWD_s ו- MWD_f הם קוטר ממוצע משוקלל של התלכידים לאחר הרטבה אטית ומהירה, בהתאמה. $SLV=1$ מורה על חוסר השפעה של כוחות ההתפוררות בהרס התלכידים, וככל שערך ה- SLV גדל, השפעת כוחות ההתפוררות בהרס התלכידים רבה יותר.

ערך הפיזור (DV) נקבע על-ידי טלטול הקרקע במים מזוקקים, קביעת ריכוז החרסית בתרחיף על-ידי ספקטרופוטומטר, וחישוב הערך על פי נוסחה [3]

$$DV = (M_d / M_t) \times 100$$

כאשר M_d הוא משקל החרסית שהפכה לתרחיף עקב פיזור, מדגימה של 2 גרם קרקע שטולטלה במים מזוקקים, ו- M_t הוא משקל החרסית הכללית בדגימה של 2 גרם קרקע.



קרקע יער לאחר השַרְפָה הגדולה בכרמל, דצמבר 2010 | צילום: חני קריסטל ©

תוצאות ודיון

שַרְפַת יער יכולה להשפיע על ההרכב הכימי ועל מרקם הקרקע, כפי שניתן לראות בטבלה 1. תכולת החומר האורגני הכללי בקרקע שנחשפה לחום פחתה באופן מובהק ל-4.6% לעומת 6.5% בקרקע הלא שרופה (טבלה 1). ירידה זו נבעה בעיקר משַרְפַת החומר האורגני במהלך חשיפת הקרקע לטמפרטורה של 300 מעלות [7, 8, 10, 11, 12, 13, 28]. לעומת זאת, תכולת החומר האורגני בקרקע שנחשפה לשַרְפָה ישירה הייתה גבוהה באופן מובהק מאשר בקרקע הלא שרופה (טבלה 1). ככל הנראה, במהלך דגימת הקרקע שנחשפה לשַרְפָה ישירה, נוספו חלקיקי אפר, שמקורם משַרְפָה לא שלמה של החומר הצמחי והנשר, והם שגרמו לעלייה זו בתכולת החומר האורגני.

תכולות המקטע החרסיתי והחולי קטנו, ותכולת המקטע הסילטי עלתה בקרקע שנחשפה לחום לעומת הקרקע הלא שרופה (טבלה 1). הירידה בתכולת המקטע החרסיתי בקרקע שנחשפה לחום נבעה כנראה משחרור של מולקולות מים ספוחות בפני החרסית ומשינויים כימיים ומבניים בתחמוצות הברזל והאלומיניום במקטע החרסיתי כתוצאה מהחימום שלהן ב-300 מעלות [7, 11, 28]. שינויים אלה גרמו כנראה להתקרבות בין חלקיקי החרסית, לעלייה בכוחות המשיכה ביניהם ולהתלכדותם למיקרו-תלכידים בגודל מקטע סילטי שלא התפרקו במהלך קביעת ההרכב המכני של הקרקע (התפלגות מקטעי הגודל של חול, סילט וחרסית בקרקע). לעומת זאת, הירידה בתכולת החומר האורגני הכללי בקרקע שנחשפה לחום (טבלה 1) גרמה כנראה להתפרקות של מיקרו-תלכידים בגודל מקטע חול לחלקיקים קטנים יותר (מיקרו-תלכידים אלה לא התפרקו במהלך קביעת ההרכב המכני בקרקע הלא שרופה), ומכאן הירידה בתכולת מקטע החול בקרקע זו (טבלה 1). לעומת זאת, ההרכב המכני של הקרקע הלא שרופה ושל הקרקע שנחשפה לשַרְפָה ישירה היה דומה (טבלה 1). תוצאות אלה מרמזות שעוצמת השַרְפָה באזור הנלמד ביער ביריה הייתה נמוכה יחסית.

הירידה בתכולת החומר האורגני בקרקע שנחשפה לחום הייתה כנראה הגורם העיקרי לירידה המובהקת בקיבול הקטיונים החליפיים (קק"ח) של קרקע זו לעומת הקרקע הלא שרופה [7], והעלייה בתכולת החומר האורגני בקרקע שנחשפה לשַרְפָה ישירה גרמה לעלייה מובהקת בקק"ח שלה לעומת הקרקע הלא שרופה (טבלה 1). חשיפת הקרקע לחום של 300 מעלות גרמה לעלייה מובהקת בתכולת הגיר לעומת הקרקע הלא שרופה (טבלה 1). ייתכן כי עלייה זו בתכולת הגיר נבעה מעלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני והסידן בתמיסת הקרקע שנחשפה לחום כתוצאה משַרְפַת החומר האורגני ודחיקת הסידן מהקומפלקס הסופח על-ידי יוני אמון ושקיעתם כגיר.

ערכי החידור של הקרקעות בשלושת טיפולי השַרְפָה בסוף כל סופת גשם עוקבת (ערכי חידור סופיים) מובאים בטבלה 2, וערכי החידור של קרקעות אלה כתלות בכמות הגשם המצטברת של שלוש סופות הגשם העוקבות מובאים בטבלה 1. ערכי החידור

התחיליים (ערכי החידור בתחילת סופת הגשם) של הקרקע בשלושת טיפולי השקפה היו גדולים מ-47 מ"מ לשעה, והם ירדו לערכים סופיים שנעו בין 10.5 ל-39.8 מ"מ לשעה בסוף סופת הגשם הראשונה (טבלה 2). ירידה זו בערכי החידור נבעה מהרס התלכידים כתוצאה מכוחות ההרס של טיפות הגשם ומיצירת קרום בפני הקרקע עם מוליכות הידראולית נמוכה יחסית [22, 4]. בסופת הגשם הראשונה הייתה הירידה בערכי החידור מתונה יותר, וערכי החידור הסופיים היו גבוהים יותר בקרקע שנחשפה לשקפה ישירה ובקרקע שנחשפה לחום מאשר בקרקע הלא שרופה (טבלה 2). הבדלים אלה בערכי החידור הסופיים בין הקרקעות עם טיפולי השקפה השונים מורים שהשקפה וחיסום הקרקע גרמו לעלייה ביציבות מבנה הקרקע שהפחיתה את היווצרות הקרום. בקרקע הלא שרופה לא ירדו ערכי החידור הסופיים במהלך סופות הגשם העוקבות, ובקרקעות עם שני טיפולי השקפה האחרים ירדו ערכי החידור הסופיים באופן מובהק בסופות העוקבות (טבלה 2). תוצאות אלה מורות שיציבות המבנה של הקרקע שנחשפה לשקפה ישירה ושל הקרקע שנחשפה לחום פחתה בסופת הגשם השנייה והשלישית.

טבלה 2. ערכים ממוצעים של ערכי חידור סופיים וכמויות סחף כלליות בטיפולי השקפה השונים ובשלוש סופות הגשם העוקבות
אותיות קטנות שונות סמוך למספרים מציינות הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בין טיפולי השקפה השונים לכל סופת גשם.
אותיות גדולות שונות מציינות הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בין סופות הגשם העוקבות בכל טיפול שקפה.

טיפולי שקפה	ערכי חידור סופיים [מ"מ לשעה]			כמות סחף סופית כללית [גרם למ"ר]		
	סופה ראשונה	סופה שנייה	סופה שלישית	סופה ראשונה	סופה שנייה	סופה שלישית
קרקע לא שרופה	10.5 cC	14.1 cA	11.9 cB	580.0 aA	646.2 aA	585.0 aA
שקפה ישירה	18.4 bA	18.0 bB	15.0 bC	396.9 bC	506.0 bB	589.0 aA
חשיפה לחום	39.8 aA	26.6 aB	20.6 aC	68.0 cC	195.8 cB	318.8 bA

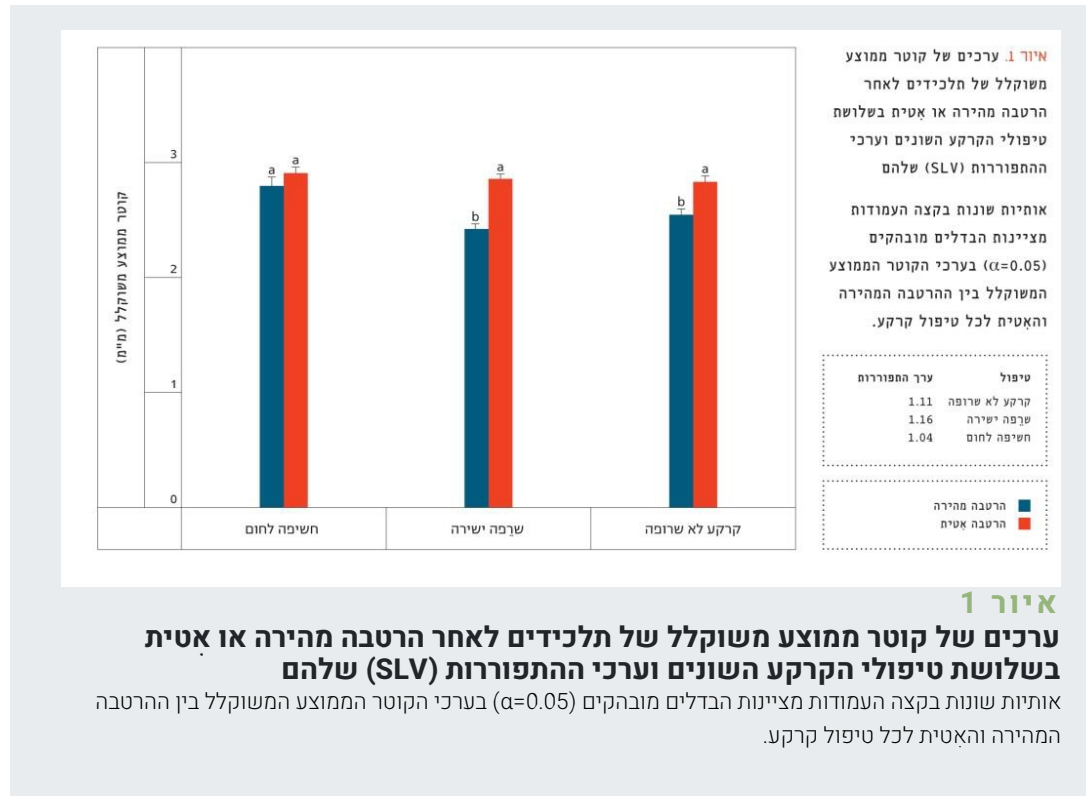
טבלה 2

ערכים ממוצעים של ערכי חידור סופיים וכמויות סחף כלליות בטיפולי השקפה השונים ובשלוש סופות הגשם העוקבות

אותיות קטנות שונות סמוך למספרים מציינות הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בין טיפולי השקפה השונים לכל סופת גשם. אותיות גדולות שונות מציינות הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בין סופות הגשם העוקבות בכל טיפול שקפה.

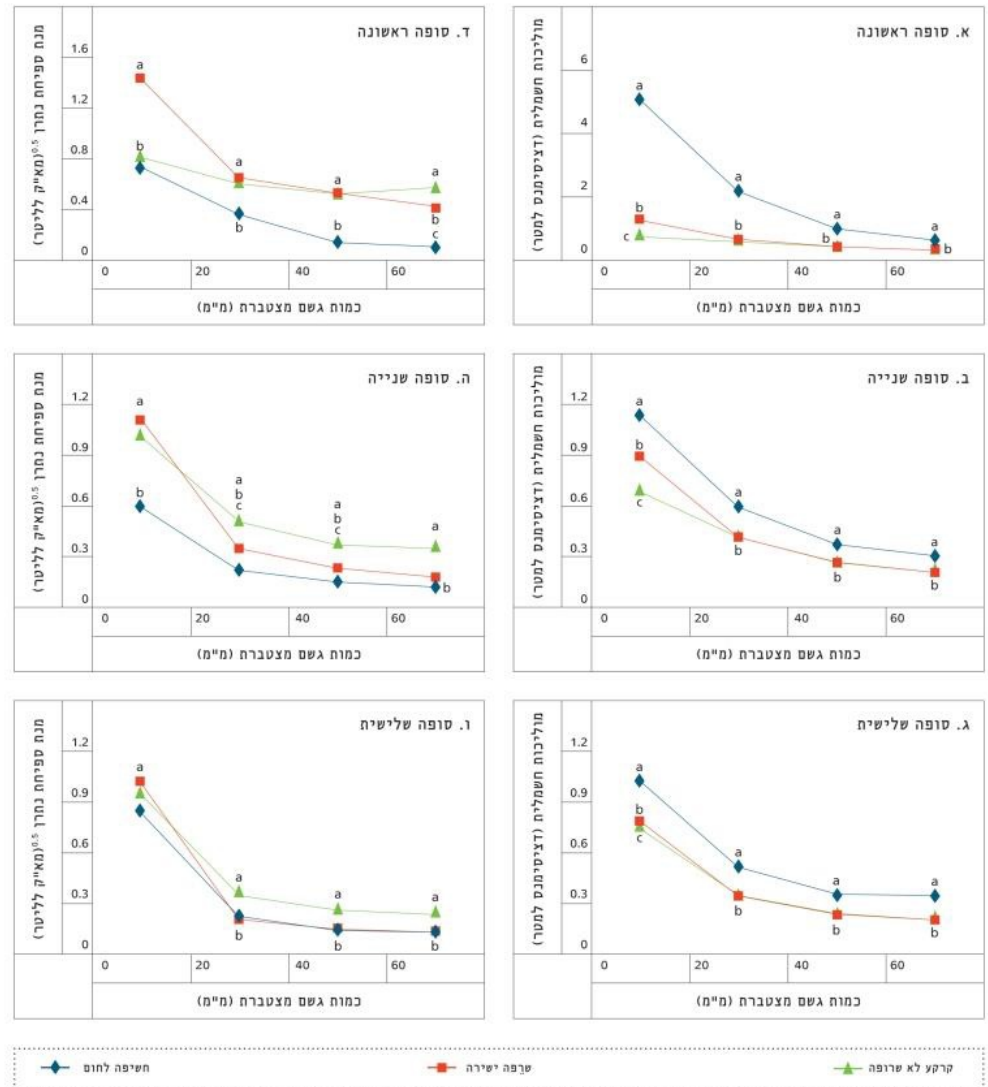
מיוות סחף כלליות לכל סופת גשם עוקבת בשלושת טיפולי השקפה מובאות בטבלה 2, וכמויות הסחף שנאספו ב-4 מקטעי גשם עוקבים בכל סופת גשם כתלות בכמות הגשם המצטברת מובאות בנספח 2. בסופת הגשם הראשונה כמויות הסחף היו הגבוהות ביותר (580 גרם למ"ר) בקרקע הלא שרופה, הנמוכות ביותר (68 גרם למ"ר) בקרקע שנחשפה לחום, ובערכי ביניים (396.9 גרם למ"ר) בקרקע שנחשפה לשקפה ישירה (טבלה 2). ההבדלים בכמויות הסחף בין טיפולי השקפה קטנו במהלך הסופות העוקבות. מכאן, שגם תוצאות אלה מורות על כך שחשיפת הקרקע לשקפה ישירה או לחום גרמו לעלייה ביציבות מבנה הקרקע, וכי יציבות זו פחתה בסופות העוקבות.

חשיפת הקרקע לשקפה ישירה או לחום יכולה להשפיע על יציבות מבנה הקרקע בשני אופנים עיקריים: (א) שינוי בהרכב הכימי והמינרלי של הקרקע המגדיל את הכוחות המלכדים בין חלקיקי הקרקע ואת היציבות הפיזיקלית של מבנה הקרקע כנגד כוחות הרס פיזיקליים חיצוניים, כגון מכות טיפות גשם והרטבה מהירה של הקרקע; (ב) שינויים כימיים-פיזיקליים (ריכוז יונים והרכבם) בתמיסת הקרקע במהלך סופת הגשם, שיכולים להשפיע על פיזור החרסית בקרקע [23, 4, 2]. ערכי MWD של התלכידים בשלושת טיפולי הקרקע, כפי שחושבו מנוסחה [1], וערכי ההתפוררות שלהם, כפי שחושבו מנוסחה [2], מובאים באיור 1. ערכי התפוררות אלה הם מדד ליציבות פיזיקלית של תלכיד הקרקע כנגד מכות טיפות הגשם והרטבה מהירה שלהם. בקרקע שנחשפה לחום, לא נמצאו הבדלים מובהקים בערכי MWD בין ההרטבה האטית והמהירה, וערך ההתפוררות היה כ-1 (איור 1). דבר זה מורה על יציבות מבנה גבוהה מבחינה פיזיקלית של קרקע זו, אף על פי שתכולת החומר האורגני הכללי בקרקע הייתה נמוכה (טבלה 1). יציבות מבנה זו של הקרקע שנחשפה לחום נבעה כנראה מהשפעת החיסום על הגדלת כוחות המשיכה בין חלקיקי הקרקע בתלכיד, כפי שהוסבר למעלה, שמנעו היווצרות של קרום מפותח, ירידה חדה בערכי החידור ועלייה בכמות הסחף בקרקע שנחשפה לחום (טבלה 2). ערכי ההתפוררות של הקרקע הלא שרופה והקרקע שנחשפה לשקפה ישירה היו דומים וגבוהים מערך 1 (איור 1). תוצאות אלה מורות שמבחינה פיזיקלית, יציבות המבנה של הקרקע שנחשפה לשקפה ישירה הייתה נמוכה יחסית, ודומה ליציבות המבנה של הקרקע הלא שרופה. זאת אף על פי שתכולת החומר האורגני הכללי בקרקע שנחשפה לשקפה הייתה גבוהה מאשר בקרקע הלא שרופה (טבלה 1). תוצאות אלה מחזקות את ההשערה שמקורו של החומר האורגני באפר בשקפה חלקית של חומר צמחי, וכי הוא אינו יוצר אינטראקציה עם חלקיקי הקרקע, ולכן השפעתו על יציבות מבנה הקרקע שולית.



גורם נוסף שיכול להסביר את ההבדלים בערכי החידור הסופיים ובכמויות הסחף בין טיפולי השכפה השונים בסופות הגשם העוקבות (טבלה 2) הוא שינויים בתכונות הכימיות-פיזיקליות של תמיסת הקרקע בטיפול השכפה ובמהלך סופות הגשם השונות. ערכי המוליכות החשמלית (EC), שמשמשת מדד לריכוז האלקטרוליטים בתמיסה, וה-SAR במי הנקז שהתקבלו מטיפול השכפה השונים כתלות בכמות הגשם המצטברת בשלוש סופות הגשם העוקבות, מובאים באיור 2. ערכים אלה של ה-EC וה-SAR במי הנקז הם מדד טוב לערכים שלהם בתמיסת הקרקע במהלך סופות הגשם. ערכי ה-EC במי הנקז בקרקע שנחשפה לחום היו גבוהים באופן מובהק מאשר בקרקע הלא שרופה ובקרקע שנחשפה לשכפה ישירה בשלוש סופות הגשם העוקבות (איורים 2א, 2ב ו-2ג). לעומת זאת, ערכי ה-SAR במי הנקז מהקרקע שנחשפה לחום היו, באופן כללי, נמוכים יותר מאשר בקרקע הלא שרופה (איורים 2ד, 2ה ו-2ו). מגמה דומה של ערכי EC ו-SAR נמצאה בתמיסת המיצי של טיפולי הקרקע השונים (טבלה 1). חימום הקרקע ל-300 מעלות גרם כנראה לעלייה במכפלת המסיסות של מינרלי הקרקע^[12], והעלייה במכפלת המסיסות של המינרלים שהכילו סידן ומגנזיום הייתה גבוהה יותר מאשר של המינרלים שהכילו נתרן, ומכאן ערכי ה-SAR הנמוכים בקרקע שנחשפה לחום (טבלה 1 ואיור 2). ערכי ה-EC הגבוהים וערכי ה-SAR הנמוכים בתמיסת הקרקע שנחשפה לחום במהלך סופות הגשם העוקבות הקטינו את הפיזור של חלקיקי החרסית בקרקע, כפי שניתן לראות מערך הפיזור הנמוך באופן מובהק בקרקע זו מאשר בקרקע עם שני טיפולי השכפה האחרים (טבלה 1). לעומת זאת, הירידה המשמעותית בערכי ה-EC בקרקע שנחשפה לחום בין סופת הגשם הראשונה (איור 2א) לסופות הגשם השנייה והשלישית (איורים 2ב ו-2ג) העלתה כנראה את פיזור החרסית בסופות עוקבות אלה, שגרם לירידה בערכי החידור הסופיים ולעלייה בכמויות הסחף בסופות אלה (טבלה 2). בקרקע שנחשפה לשכפה ישירה, היו ערכי ה-SAR במי הנקז, באופן כללי, נמוכים יותר מאשר במי הנקז של הקרקע הלא שרופה, וערכי ה-EC במי הנקז בשני טיפולי שכפה אלה היו דומים (איור 2). מגמה דומה נמצאה בתמיסת המיצי של הקרקעות (טבלה 1). ערכים אלה של SAR ו-EC גרמו לפחיתה בפיזור החרסית בקרקע שנחשפה לשכפה ישירה, שגרמה לעלייה ביציבות מבנה הקרקע ובערכי החידור הסופיים ולירידה בכמויות הסחף הכללית בקרקע זו (טבלה 2).

איור 2. ערך המוליכות החשמלית (EC) וערך מנת ספיחת הנחרן (SAR) במי הנקז שנאספו בארבעה מקטעי גשם עוקבים בכל סופה גשם בשלושת טיפולי הקרקע השונים, כחלות בכמות הגשם המצטברת
אוחיות שונות סמוך לסימן מצינון הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בערכי ה-EC וה-SAR בין טיפולי הקרקע השונים לכמות גשם נחונה ולכל סופה גשם עוקבת.



איור 2

ערך המוליכות החשמלית (EC) וערך מנת ספיחת הנחרן (SAR) במי הנקז שנאספו בארבעה מקטעי גשם עוקבים בכל סופת גשם בשלושת טיפולי הקרקע השונים, כחלות בכמות הגשם המצטברת

אוחיות שונות סמוך לסימן מצינון הבדלים מובהקים ($\alpha=0.05$) בערכי ה-EC וה-SAR בין טיפולי הקרקע השונים לכמות גשם נחונה ולכל סופת גשם עוקבת.

מסקנות

- חימום הקרקע ב-300 מעלות שינה את ההרכב הכימי והמינרלי של קרקע רנדזינה. כתוצאה מכך, כוחות המשיכה בין החלקיקים בתלכיד הקרקע ויציבות המבנה שלהם כנגד מכות טיפות הגשם וכוחות ההתפוררות עלו, ערכי החידור של הקרקע במהלך הגשם נשארו גבוהים ושיעורי הנגר והסחף פחתו.
- חשיפת הקרקע לחום ולשרפה ישירה גרמה לעלייה בריכוז האלקטרוליטים ולירידה בערכי ה-SAR בתמיסת הקרקע במהלך הגשם. כתוצאה מכך נמנעו פיזור החרסית והתפתחות קרום מפותח, ושיעורי הנגר והסחף פחתו.

- אולם גורם זה פחת עם סופות הגשם העוקבות.
- שרפה יכולה לגרום לשינויים אקולוגיים וקרקעיים רבים ביער, המשפיעים על יחסי גשם/נגר/סחף. שינויים אלה כוללים: ירידה בדידות של הצומח ביער, הגדלה בחשיפת פני הקרקע לכוחות ההרס של מכות טיפות הגשם ושינוי בתכונות הקרקע. אף על פי ששרפה בעוצמה גבוהה יכולה להוביל לעלייה ביציבות מבנה הקרקע ועל-ידי כך להפחית את שעורי הנגר והסחף ביער, עלולים שיעורים אלה לגדול לאחר שרפה כתוצאה מהשפעתם הרבה יותר של הגורמים האחרים המעלים את הנגר והסחף.

מקורות

1. רביקוביץ ש. 1981. קרקעות ישראל: התהוותן, טבען ותכונותיהן. תל-אביב: הוצאת הקיבוץ המאוחד.
2. Agassi M, Shainberg I, and Morin J. 1981. Effects of electrolyte concentration and soil sodicity on the infiltration rate and crust formation. *Soil Science Society of America Journal* **45**: 848-851
3. Ben-Hur M and Agassi M. 1997. Predicting interrill erodibility factor from measured infiltration rate. *Water Resources Research* **33**: 2409-2415
4. Ben-Hur M. 2008. Seal formation effects on soil infiltration and runoff in arid and semiarid regions under rainfall and sprinkler irrigation conditions. In: Zereini F and Jaeschke W (Eds). *Climatic changes and water resources in the Middle East and in North Africa*. New York: Springer-Verlag
5. Ben-Hur M, Yolcu G, Uysal H, et al. 2009. Soil structure changes: Aggregate size and soil texture effects on hydraulic conductivity under different saline and sodic conditions. *Australian Journal of Soil Research* **47**: 688-696
6. Ben-Hur M, Fernandez C, Sarkkola S, and Cerezal JCS. 2011. Overland flow, soil erosion and stream water quality in forest under different perturbations and climate conditions. In: Bredmeier M, Cohen S, Godbod DL, et al. (Eds). *Forest management and the water cycle. An ecosystem-based approach*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer
7. Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia* **143**: 1-10
8. DeBano LF, Neary DG, and Folliott PF. 1998. *Fire's effect on ecosystems*. New York: Wiley
9. Farley KA, Jobbagy EG, and Jackson RB. 2005. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology* **11**: 1565-1576
10. Garcia-Corona R, Benito E, de-Blas E, and Varela ME. 2003. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behavior in two North-Western Spanish soils. *International Journal of Wildland fire* **13**(2): 195-199
11. Giovannini G, Luchéis S, and Giachetti M. 1988. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science* **146**: 255-262

- Giovannini G, Luch  is S, and Giachetti M. 1990. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Science* **149**: 344-350 .12
- Gonzalez-Pereza JA, Gonzalez-Vila FJ, Almendros G, and Knicker H. 2004. The effect of fire on soil organic matter – A review. *Environment International* **30**: 855-870 .13
- Hillel D. 2004. Introduction to environmental soil physics. Amsterdam: Elsevier Academic Press .14
- Kutiel P and Naveh Z. 1987. The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. *Plant and Soil* **104**: 269-274 .15
- Kutiel P and Shaviv A. 1992. Effects of soil types, plant composition and leaching on soil nutrients following a simulated forest fire. *Forest Ecology and Mana* **53**: 329-343 .16
- Kutiel P and Inbar M. 1993. Fire impact on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation. *Catena* **20**: 129-139 .17
- Lado M and Ben-Hur M. 2004. Soil mineralogy effects on seal formation, runoff and soil loss. *Applied Clay Science*. **24**: 209-224 .18
- Lado M, Paz A, and Ben-Hur M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Science Society of America Journal* **68**: 935-942 .19
- Lavee H, Kutiel P, Segev M, and Benyamini Y. 1995. Effect of surface roughness on runoff and erosion in a Mediterranean ecosystem: The role of fire. *Geomorphology* **11**: 227-234 .20
- Morin J, Goldberg D, and Seginer I. 1967. A rainfall simulator with a rotating disc. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers **10**: 74-77 .21
- Morin J, Benyamini Y, and Michaeli A. 1981. The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile. *Journal of Hydrology* **52**: 321-335 .22
- Shainberg I and Letey J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* **52**: 1-57 .23
- Shakesby RA. 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews* **105**: 71-100 .24
- Shakesby RA, and Doerr SH. 2006. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews* **74**: 269-307 .25
- Sidle RC, Ziegler AD, Negishi JN, et al. 2006. Erosion processes in steep terrain – Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management* **224**: 199-225 .26
- Singer A. 1994. Clay mineralogy as affecting dispersivity and crust formation in Aridisols. In: Etchevers JD (Ed). *Transaction of the 15th World Congress of Soil Science*, Vol. 8a; 1994 Jul 10-16; Acapulco, Mexico. International Society of Soil Science. and Mexican Society of Soil Science .27

- Terefe T, Mariscal-Sancho I, Peregrina F, and Espejo R. 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma* **143**: 273-280. .28
- Tessler N, Wittenberg L, Malkinson D, and Greenbaum N. 2008. Fire effects and short-term changes in soil water repellency – Mt. Carmel, Israel. *Catena* **74**: 185-191. .29
- Watson DA and Laflen JM. 1986. Soil strength, slope rainfall intensity effect on interrill erosion. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **29**: 98-102. .30
- Wittenber L and Inbar M. 2009. The role of fire disturbance on runoff and erosion processes – a long-term approach, Mt. Carmel case study, Israel. *Geographical Research* **47**(1): 46-56. .31
- Zhang I, Dawes WR, and Walker GR. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* **37**: 708-710. .32

נספחים (זמינים באתר)

נספח 1. ערכי חידור של שלושת טיפולי הקרקע השונים כתלות בכמות הגשם המצטברת בשלוש סופות גשם עוקבות

[להורדה](#)

נספח 2. כמויות סחף ממוצעות, שנאספו ב-4 מקטעי גשם עוקבים בכל סופת גשם, בשלושת טיפולי הקרקע השונים, כתלות בכמות הגשם המצטברת

[להורדה](#)