

אורי נחשון

המחלקה לכימיה של הקרקע, הזנת
הצמח ומיקרוביולוגיה, המכון למדעי
הקרקע, המים והסביבה, מנהל
המחקר החקלאי – מרכז וולקני

רועי קציר

המחלקה לכימיה של הקרקע, הזנת
הצמח ומיקרוביולוגיה, המכון למדעי
הקרקע, המים והסביבה, מנהל
המחקר החקלאי – מרכז וולקני

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

נחשון א וקציר ר. 2017. איבוד
קרקע בצפון הנגב – השפעה של
המלחת גדות נחלים על תהליכי
בליה וסחיפה. *אקולוגיה וסביבה*
8(2): 31–40.



מישורי הלס של צפון הנגב – משאב הולך ונעלם | צילום: אורי נחשון

איבוד קרקע בצפון הנגב – השפעה של המלחת גדות נחלים על תהליכי בליה וסחיפה

1 ביוני, 2017

גיליון קיץ 2017 / כרך 8(2)

[חזית המחקר](#)

על קצה המזלג

- אף על פי שהקרקע בעולם, ובייחוד בישראל, הולכת ונעלמת, הנושא לא זוכה לתשומת הלב הראויה בישראל מצד הקהילה המדעית ומצד הציבור.
- המאמר מציג גישה חדשנית להתפתחות תהליך של בליית מלח, שמוביל לסחיפת קרקעות בצפון הנגב. הגישה תורמת להבנת הסיכונים לאבדן קרקעות באזורי מדבר.
- ייתכן שהמנגנון המתואר מתקיים באזורים נוספים בארץ שיש בהם מי תהום רדודים ומלוחים, ואם כך, הוא משמעותי להבנת תהליכי הבליה וסחיפה גם באזורים אלה.
- הבנה משופרת של תהליך סחיפת הקרקעות המתואר תאפשר יצירת מפת סיכונים – מיפוי האזורים שיש בהם פוטנציאל לאיבוד הקרקע בתהליך זה. מפה שכזו תוכל לשמש כלי תכנוני למתכננים ולמקבלי ההחלטות.

המערכת

תקציר

בליה כתוצאה מתהליכי חלחול ושפיעת מים בגדות ערוצים היא תופעה ידועה הגורמת להיווצרות צנירים (תעלות בליה) לאורך גדות נחלים באזורים גשומים. לתהליכי הבליה והסחיפה הללו חלק חשוב בעיצוב הנוף והתחתרות הנחלים. צנירים דומים נצפו גם בנחלי צפון הנגב, החוצים את מישורי הלס לכיוון מערב, אף על פי שהנחלים באזור זה יבשים רוב השנה והאזור מדברי למחצה עם כמות משקעים שנתית הקטנה מ-300 מ"מ. בתנאים הללו לא סביר ששפיעת מים מגדות הערוצים היא הגורמת להיווצרות הצנירים. מחקר זה בוחן מנגנון חלופי להסברת היווצרות הצנירים בגדות הנחלים של צפון הנגב. מוצע כי עלייה נימית של מי תהום מלוחים גורמת להצטברות מלחים בגבול העליון של אזור העלייה הנימית, והמלחים הללו גורמים לירידה בעמידות הקרקע לבליה באזורי ההצטברות שלהם. לאורך זמן – באזורים אלה מתרחשת בליה מואצת יחסית לשאר חלקי גדות הנחל ומתפתחים צנירים, שבסופו של דבר גורמים להתמוטטות גדות הנחלים ולהתחתרות הנחלים וערוצי המשנה באזור.

מבוא

הקרקע כמשאב מתכלה

בעיני רבים נתפסת הקרקע כמשאב בלתי מוגבל ובלתי פגיע, אך למעשה אין הדבר כך, ואם לא יינקטו צעדים משמעותיים לניהול נכון ובר-קיימא, ולא יוקצו משאבים למחקרים בתחום ויינקטו פעולות יזומות לשימור קרקעות כדור הארץ, צפוי כי בתוך כמה עשרות שנים נעמוד בפני משבר עולמי שלא יהיו בו מספיק שטחי קרקע בכמות ובאיכות הדרושות לאספקת המזון לאוכלוסיית העולם [10]. ב-30 השנים האחרונות נאמד שטח הקרקע המעובד לצרכים חקלאיים על פני כדור הארץ בכ-14–16 מיליון קמ"ר, ונכון להיום עומד שטח הקרקע המעובד לאדם על פחות מ-2,500 מ"ר לאדם. בהתחשב בקצב גדילת אוכלוסיית העולם צפוי כי עד שנת 2050 יהיה צורך בשטח קרקע הכפול מגודלו של כדור הארץ כדי להזין את כלל אוכלוסיית העולם ולתמוך בה, בהנחה שלא יחולו שינויים משמעותיים באופי ייצור המזון וצריכתו [18].

תהליכי איבוד קרקע

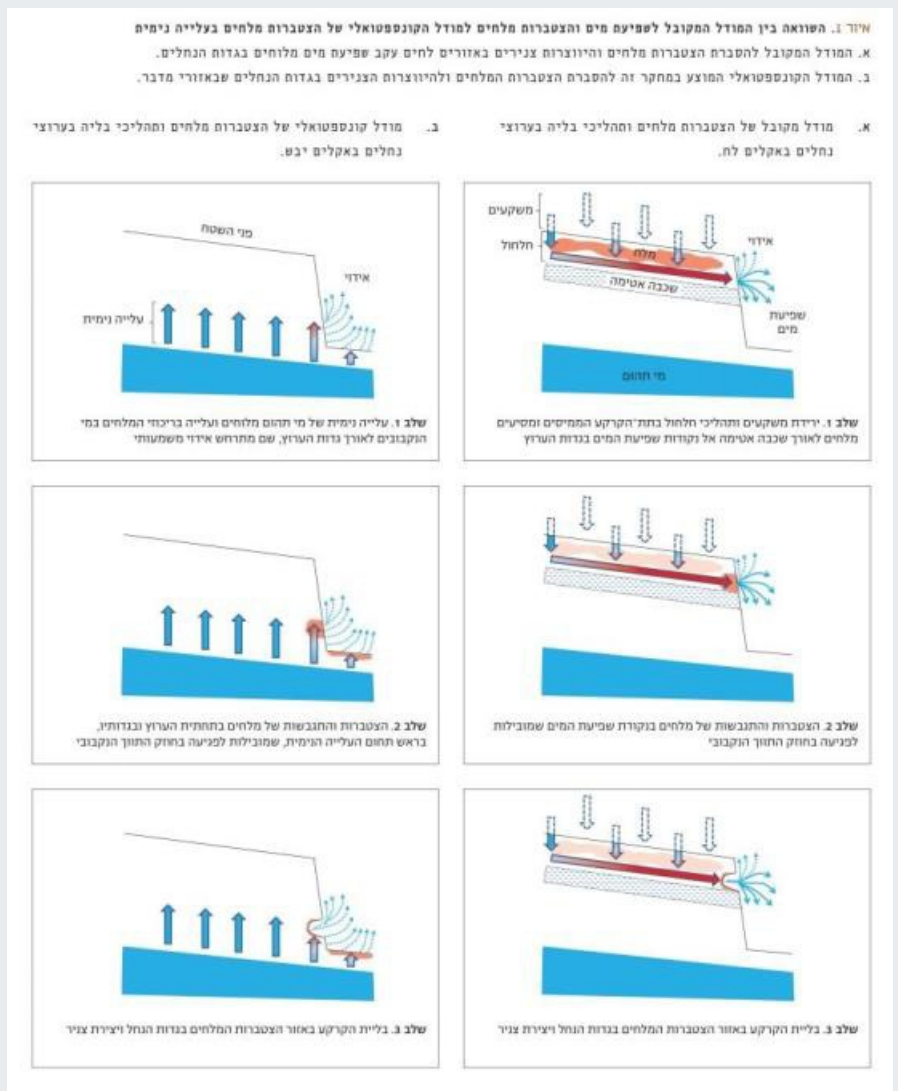
במקביל לגדילת אוכלוסיית העולם, שטח הקרקעות הניתנות לעיבוד וליצירת מזון הולך ומצטמצם עקב תהליכי עיור מואצים [10], תהליכי המלחה, וכן בליה (weathering) וסחיפת קרקעות (erosion), בעיקר בעקבות תהליכים הקשורים לנגר עילי [3]. על פי ה-UNEP (התכנית הסביבתית של האו"ם), מדי שנה אובדת קרקע בשטח של כ-20,000–50,000 קמ"ר ובמשקל של 24 מיליארד טונות בגלל תהליכים אלה [30]. מחקרים רבים בחנו את תהליכי המלחת הקרקעות [22, 23, 24, 26], הבליה [6, 12, 20] והסחיפה [19, 29] בעולם כולו, הציגו את המנגנונים הכימיים והפיזיקליים הגורמים להם, והציעו דרכים למזעור הנזקים ולשיקום הקרקעות. עם זאת, מחקרים משולבים לבחינת הקשר שבין תהליכי המלחה לבליה ולסחיפה נפוצים פחות, אם כי לא בלתי קיימים [25, 32], ועל כך נרחיב במאמר זה.



ובלי נחל גרר חוצים את מישורי הלס ומתחתרים בהם | צילום: אורי נחשון

המלחה ובלייט קרקעות

הקשרים העיקריים שבין תהליכי המלחה לבליה ולסחיפת קרקעות הנידונים בספרות קשורים לנתרון קרקעות חרסיות שתופחות כאשר הן באות במגע עם מים, תהליך שגורם לאיטום הקרקעות ולהגברת תהליכי הנגר והסחיפה [1,25]. מנגנון נוסף שנידון בספרות הוא היחלשות המבנה הפיזי של הקרקע עקב התגבשות מלחים בנקבובי הקרקע [12,14,21]. התגבשות המלחים גורמת להפעלת כוחות דחיקה בין גבישי המלח לגרגירי הקרקע, וכתוצאה מכך מתפוררת הקרקע ומתבלה. מספר מחקרים [4,5,6,12,13,14,34] הראו כי שפיעת מים מליחים מגדודת נחלים מובילה להצטברות מלחים באזורי שפיעת המים, וכתוצאה מכך נפגעות יציבות הקרקע (או הסלע) ועמידותה בפני תהליכי בליה בצורה משמעותית, דבר המוביל להאצת התחתרות הנחלים ולסחיפת קרקעות. תהליך זה, הנידון בספרות, מתייחס לאזורים לחים, שלא נדיר למצוא בהם נביעות לאורך גדות הנחלים, וכתוצאה מכך מצטברים מלחים ונוצרים צנירים (תעלות בליה) באזורי שפיעת המים המלוחים (איור 1א). בישראל, ובעיקר בנגב, רוב הנחלים הם נחלי אכזב היבשים רוב ימות השנה, ולכן לא מצופה למצוא תהליכי בליה הקשורים לשפיעה של מים מלוחים ולהצטברות מלחים בגדות הערוצים.



איור 1

השוואה בין המודל המקובל לשפיעת מים והצטברות מלחים למודל הקונספטואלי של הצטברות מלחים בעלייה נימית

א. המודל המקובל להסברת הצטברות מלחים והיווצרות צנירים באזורים לחים עקב שפיעת מים מלוחים בגדות הנחלים. ב. המודל הקונספטואלי המוצע במחקר זה להסברת הצטברות המלחים ולהיווצרות הצנירים בגדות הנחלים שבאזורי מדבר.

כליית קרקעות בצפון הנגב

פון-מערב הנגב בכלל, ואזור נחל גרר בפרט, מוגדים כאזורים בעלי דרגת סיכון גבוהה לתהליכי בליה וסחיפת קרקעות [28]. הפומטרים העיקריים המשפיעים על רמת הסיכון לסחיפת הקרקע במדרונות המעובדים והטבעיים באזור הם: (א) אופי הקרקע; (ב) שיפוע המדרון; (ג) אופי התכסית בפני הקרקע [28]. אף על פי שהמליחות משפיעה על אופי הקרקע, רוב המחקרים שעסקו בתהליכי בליה באזור צפון הנגב לא התייחסו לתהליכי המלחה ולהשפעתם על עמידות הקרקע לבליה בצורה ישירה, ובייחוד לא לגדות הערוצים שבאזור. במחקר זה יוצגו תצפיות שדה מנחל גרר ותוצאות של מדידות מעבדה שיראו כי תהליכי בליה, הקשורים להצטברות מלחים בערוצי נחלים ולהיווצרות צנירים שדומים בצורתם לאלה הנוצרים באזורי האקלים הלחים, יכולים להופיע גם באזורים מדבריים וללא שפיעה פעילה של מי מעיינות מליחים.

המודל הקונספטואלי המוצע

מחקר זה מציג ובוחן מודל חדשני להסברת היווצרות צנירים לאורך גדות נחלים יבשים. הם דומים בצורתם לצנירים הנוצרים באזורים הלחים (איור 1א), אך נגרמים כתוצאה מתהליכים אחרים בעקבות תהליכי המלחה של הקרקע. המודל גורס כי עלייה נימית (capillary) של מי תהום מליחים לאורך גדות הנחלים גורמת להצטברות מלחים בשכבה דקה בקצה אזור העלייה הנימית, וכתוצאה מכך חלה היחלשות של הקרקע באזור הצטברות המלחים ונוצרים צנירים (איור 1ב). נקודת מפתח היא ההסבר מדוע מצטבר המלח בשכבה דקה בראש תחום העלייה הנימית ולא לאורך כל גדות הנחל, מכיוון שהאידיאלי מתרחש באופן אחיד בכל שטח המגע שבין הקרקע הלחה בגדות הערוץ לאטמוספירה כמתואר באיור 1ב על כך יורחב בהמשך.



גדות החיטה של צפון הנגב ונטיעות העצים של קק"ל נועדו לרסן את תהליכי איבוד הקרקע באזור / צילום: אורי נחשון

שיטות וחומרים

אזור המחקר

זחקר זה מתבסס על תצפיות שדה מאזור נחל גרר בקטע שבין קיבוץ שובל למושב תדהר (איור 2). הקרקע באזור היא לס [7], עם אחוזים משתנים של חרסית, סילט וחול, והנוף הוא נוף חקלאי, מישורי יחסית, עם מספר ערוצים יבשים המתנקזים לנחל גרר. האזור משתפל בעדינות לכיוון מערב. גבולו המזרחי, באזור קיבוץ שובל, הוא בגובה של כ-200 מטר, וגבולו המערבי, באזור תדהר, הוא בגובה של כ-110 מטר. נחל גרר, המתנקז לנחל בשור, חוצה את שטח המחקר ממזרח למערב. חלקו המזרחי (ממזרח למשולש האדום שבאיור 2א) יבש כל השנה, למעט באירועי שיטפון בודדים, וחלקו המערבי (ממערב למשולש האדום שבאיור 2א) זורם כל השנה בזכות נביעות מים בתחתית הערוץ. מי התהום באזור מליחים [21] עם ריכוז כלור של כ-4,000 מ"מ. יוני הכלור והנתרן הם היונים העיקריים במי התהום באזור [31]. ממוצע המשקעים השנתי באזור קטן מ-300 מ"מ.



(א) תצלום אוויר של אזור המחקר; (ב) הגדלה של מרכז אזור המחקר עם מספור של הערוצים היוצאים מנחל גר שהצנירים נמצאו בהם. עיקר המדידות בוצעו בערוצים 2 ו-3.

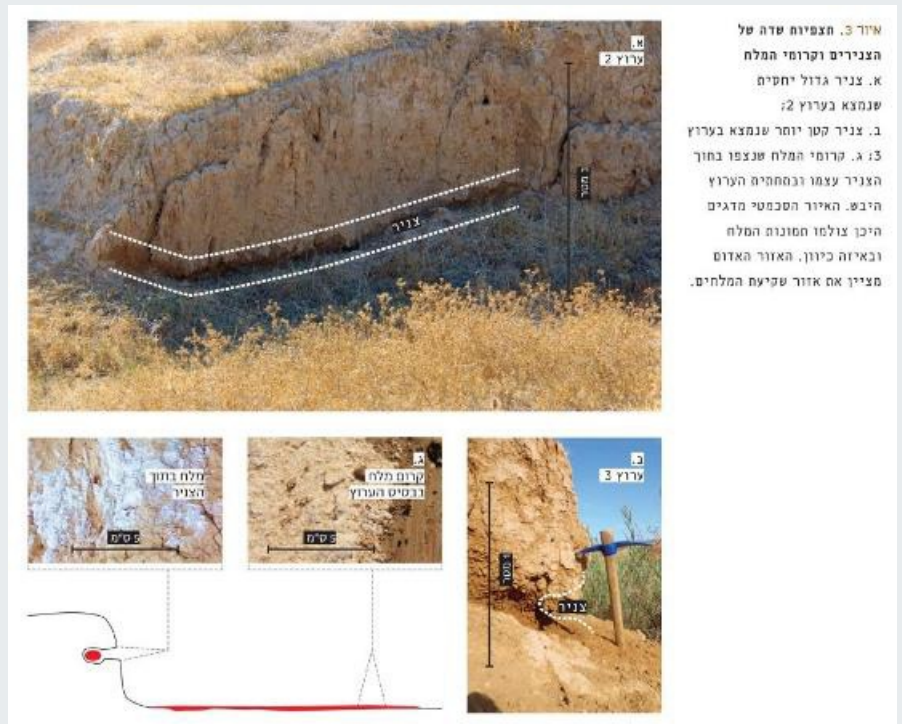
מידות השדה כללו סקרים ראשוניים למציאת אזורי בליה לאורך גדות נחל גרר ולקחת דוגמאות קרקע בלתי מופרות לאורך שני פרופילים מגדות הנחל, שנבחרו באקראי מתוך מספר רב של פרופילים לאורך גדות הערוצים שהצנירים נמצאו בהם. דוגמאות הקרקע שימשו במעבדה לכימות של תכולת הרטיבות בקרקע והצפיפות הגושית ולמידת רמת המליחות בקרקע בשיטת העיסה הרוויה, כמו גם למדידת ריכוזי היונים העיקריים בתמיסה ^[2]^[35]. נוסף על כך, מידת התנגדות הקרקע לכוחות גזירה נמדדה בעזרת מכשיר ייעודי לכך (H-4212 1, Humbolt Manufacturing Company, IL, USA). דוגמאות הקרקע נאספו מפני המצוק ומהתווך עצמו, במרחק אופקי של 10-15 ס"מ מפני המצוק באוגוסט 2015, ושימשו גם לאפיון מרקם הקרקע, במעבדה, בשיטת ההידרומטר ^[11].

במהלך החורפים של 2014-2015 ו-2015-2016 בוצעו תצפיות בשדה, בעיקר לאחר אירועי גשם חזקים, כדי לחפש נקודות שיש בהן שפיעת מים מגדות הערוצים. נוסף על כך, חזית ההרטבה, או עומק חדירת הגשם, אל תוך הקרקע נצפתה בגדות הערוצים, מכיוון שהיה ניתן להבחין בעין, לאורך מצוקי הלס, עד לאיזה עומק מתחת לפני השטח הקרקע רטובה.

נתונים ממספר קידוחים באזור המחקר, שמנטרת רשות המים לשם מדידת עומקים של מי התהום, שימשו לחישוב מפלסים באזור ולאפיון שינוי המפלסים עם הזמן. נקודות אלה כוללות באר קדומה במזרח האזור (נ"צ 174078/592621) שהמפלסים נמדדים בה משנת 1950, ועוד שתי בארות מודרניות (נ"צ 172600/587500 ו-173300/588300) ([איור 1א](#)). על בסיס מדידות המפלסים בחודש מרץ 2015 בשלוש הבארות חושב מישור מפלס מי התהום. המפלס חושב באופן מוחלט מעל פני הים, ובעבור כל נקודה במרחב חושב מרחק מפלס מי התהום מפני השטח על בסיס נתוני גובה ספרתיים של האזור (^[9] DTM).

צנירים (תעלות הבליה)

סקר הקרקע הראשוני הצביע על ריכוז גבוה של צנירים על גדות הנחל, מזרחית לנקודת חשיפת מי התהום, ובערוץ קטן נוסף המגיע לנחל גרר מצפון (איור 2). נמצאו מעל ל-15 צנירים שהופיעו בגבהים של 1–2 מטר מעל תחתית הערוץ, נמשכו לאורך מספר מטרים, והיו בעלי מפתח של כ-25 ס"מ ועומק דומה (איורים 3א, 3ב). במבט קרוב אל תוך הצנירים נמצאו גבישים וקרומי מלח לבנים בתוכם (איור 3ג). גבישי המלח לא נצפו מתחת לצנירים או מעליהם, למעט אתרים מסוימים בבסיס הערוצים שנצפו בהם קרומי מלח במקומות שלא הייתה בהם צמחייה (איור 3ד). בכל האתרים שהצנירים נצפו בהם, נתיב זרימת המים (באירועי שיטפון) היה נמוך משמעותית מגובה הצנירים, וסביר להניח כי מי השיטפון לא הגיעו לגובה זה. בחורפים של 2014–2015 ו-2015–2016 לא נראו שפיעות מים מגדות הנחלים בכלל ומאזור הצנירים בפרט, גם לא לאחר אירועי גשם חזקים במיוחד. מעבר לכך, חזית ההרטבה שנצפתה לאורך גדות הנחלים, בשתי עונות החורף שנמדדו, לא הגיעה לעומק הגדול ממטר אחד לערך ולא לגובה הצנירים.



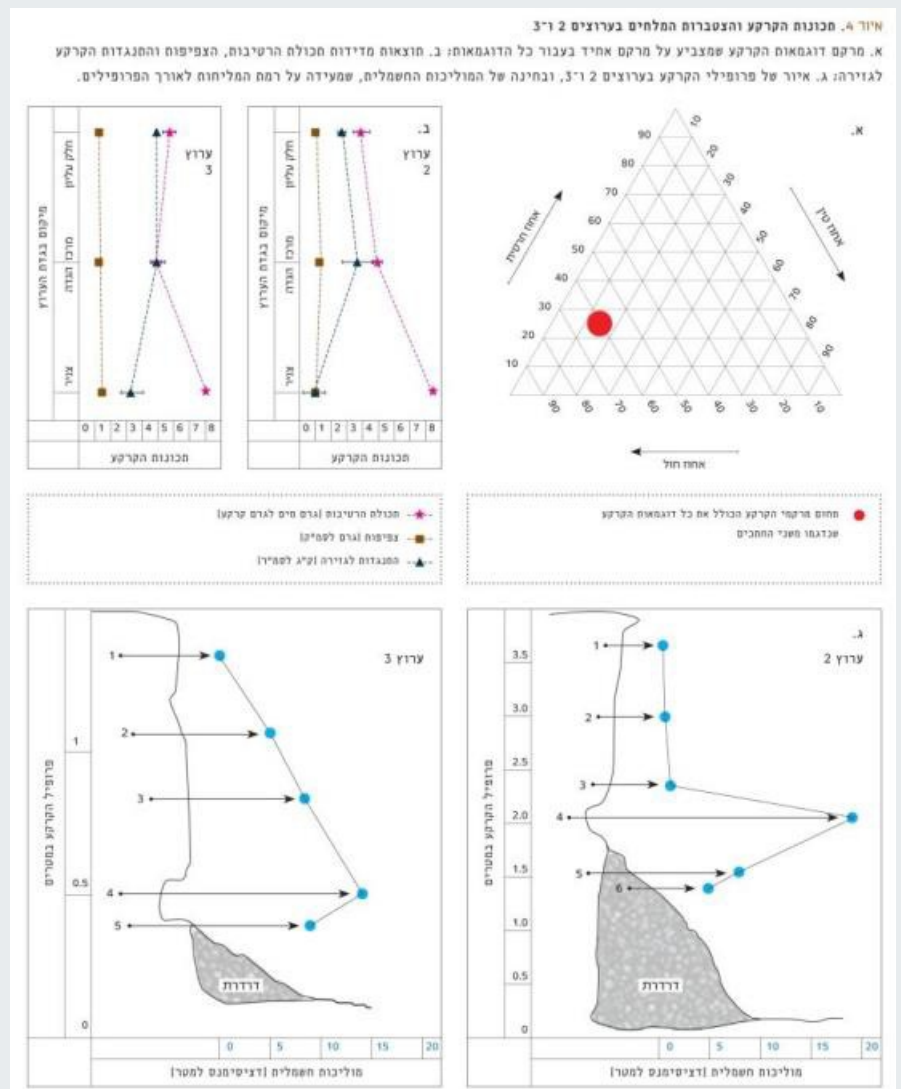
איור 3

תצפיות שדה של הצנירים וקרומי המלח

א. צניר גדול יחסית שנמצא בערוץ 2; ב. צניר קטן יותר שנמצא בערוץ 3; ג. קרומי המלח שנצפו בתוך הצניר עצמו ובתחתית הערוץ היבש. האזור הסכמטי מדגים היכן צולמו תמונות המלח ובאיזה כיוון. האזור האדום מציין את אזור שקיעת המלחים.

תכונות הקרקע

זוגמאות הקרקע שנאספו בשדה לאורך גדות הערוצים שימשו לאפיון מרקם הקרקע ותכולת הרטיבות שבה. מאיור 4 ניתן לראות שהקרקע באזור מסווגת כחרסית-טיין-חולית, ושמרקם הקרקע וצפיפותה אחידים בשני אתרי הדגימה ובעבור כל נקודות הדגימה בפרופילים השונים (איור 4). מבחינת התנגדות הקרקע לבליה, שנמדדה בשדה, אזור הצניר הוא הרגיש ביותר (איור 4) – התנגדות הקרקע לגירה בו הייתה קטנה ביותר מ-50% יחסית לחלקים העליונים של הפרופיל. אנליזות מליחות הקרקע שבוצעו במעבדה, שנבדקה בהן המוליכות החשמלית של מיצי העיסה הרוויה מדוגמאות הקרקע, הצביעו על ריכוזי מלח גבוהים מאוד בצנירים (כפי שניתן לראות באיור 4). גם ההרכב הכימי ויחסי היונים דומים ליחסים ולהרכבים הכימיים שנמדדו במי התהום ובקרומי המלח בבסיס הערוץ המרכזי – יוני הכלור והנתרן הם מעל ל-80% מכלל היונים. נתוני תכולת הרטיבות בקרקע לאורך הפרופילים שנבדקו, הראו כי תכולת הרטיבות המזערית הייתה בראש הפרופילים, והמרבית הייתה בצנירים. הקרקע שמתחת לצנירים ובתחתית הערוצים הייתה לחה גם היא. תצפיות דומות נראו גם בצנירים נוספים, מעבר לאלה המוצגים באיור 4.



איור 4

תכונות הקרקע והצטברות המלחים בערוצים 2 ו-3

א. מרקם דוגמאות הקרקע שמצביע על מרקם אחיד בעבור כל הדוגמאות; ב. תוצאות מדידות תכולת הרטיבות, הצפיפות והסגדות הקרקע לגזירה; ג. איור של פרופילי הקרקע בערוצים 2 ו-3, ובחינה של המוליכות החשמלית, שמעידה על רמת המליחות לאורך הפרופילים.

מפלס מי התהום

מדידות מפלסי מי התהום בבארות באזור ומפלס מי התהום המחושב הראו כי בחלקים נרחבים של האזור מי התהום המליחים רדודים מאוד וקרובים לפני השטח. כאמור – במרכז השטח (משולש אדום באיור 2) מי התהום נחשפים, אך מזרחית לנקודה זו, לאורך חלקים נרחבים מערזי הנחלים, עומק מי התהום הוא 0-2 מטר מתחת לבסיס הערוץ. לכל אורך הנחל, מאזור שובל עד לאזור חשיפת מי התהום, היה ניתן לראות כי הקרקע בתחתית הערוץ לחה ומכילה גבישי מלח, ולעיתים אף קרומי מלח מעל לפני השטח כמודגם באיור 3.

דיון

תצפיות השדה והאנליזות במעבדה הצביעו על קשר ברור בין הצטברות המלחים להיווצרות הצניירים ובין ריכוז המלח בקרקע

לעמידותה בפני תהליכי בליה. עובדה זו אינה מפתיעה, ומאתרים אחרים בעולם ומדיווחים רבים בספרות ברור כי הצטברות מלחים גורמת לפגיעה בעמידות הקרקע לתהליכי בליה וסחיפה. עם זאת, מנגנון הצטברות המלחים המוצע כאן שונה מזה הנידון בספרות, ומראה כי גם באזורים יבשים וללא שפיעת מים מלוחים תיתכן הצטברות מלחים על גדות הערוצים, וכי יש להתייחס גם למנגנון הזה כגורם המאיץ תהליכי בליה, סחיפה ואיבוד קרקעות.

תהליכים הידרולוגיים

תצפיות השדה שנערכו לצורך חיפוש שפיעות מים מגדות הנחלים והערכת עומק חדירת חזית ההרטבה לאחר אירועי גשם בוצעו בחורפים גשומים יחסית לממוצע האזורי ($>125\%$). אף על פי כן, לא הייתה כל עדות שהצביעה על כך שהצטברות המלחים ברצועות האופקיות הצרות לאורך גדות הנחלים יכולה להיות קשורה לתהליכי חלחול וזרימה של מי הגשם מעל לצנירים, וזאת אף על פי שזהו המנגנון העיקרי שנידון בספרות, כמתואר באיור 1א. לעומת זאת, מדידות תכולת הרטיבות בקרקע הצביעו על תכולת רטיבות גבוהה בחלקים הנמוכים של פרופילי הקרקע, בעוד החלקים העליונים של הפרופילים ומדידת מפלסי מי התהום הראו כי מי התהום המליחים קרובים יחסית לתחתית הערוצים. מהמדידות מסתמן כי מקור המים והמלחים הוא עלייה נימית של מי התהום. בחינת האפשרות של היווצרות הצנירים על-ידי התחתרות הנחל לאחור בתקופות קדומות, שבסיס הנחל היה גבוה יותר בהן, נבחנו גם היא, אך מכיוון שאינה יכולה להסביר את הצטברות המלחים בצנירים, היא נפסלה.



מטע לימונים באזור המחקר. ברקע: נטיעות קק"ל לריסון תהליכי סחף הקרקע. השקיית המטעים הכרחית, אך מצד שני, היא עלולה להעלות את מפלס מי התהום ולהוסיף מומסים ומלחים לקרקע / צילום: אורי נחשון

אופי הקרקע

זאחידות במרקם הקרקע ובתכונותיה הפיזיקליות, כפי שמודגם באיורים 4א ו-4ב, והדמיון בהרכב המלחים וביחסי היונים שבין המלחים שנדגמו בצנירים לבין ההרכב הכימי של מי התהום באזור וקרומי המלח בבסיס הערוצים, מעידים, ככל הנראה, שמקור המלחים הוא אכן עלייה נימית של מי התהום הרדודים והמלוחים ולא תהליכי שטיפה עליונה של מלחים. ידוע כי ישנם בקרקעות הלס של צפון הנגב אופקי קרקע מלוחים יחסית כתוצאה מתהליכי שטיפה קדומים שהתקיימו בתקופות לחות יותר. בדרך כלל, עובי האופקים הללו גדול מעובי שכבות המלח שנצפו במחקר הזה, והמלחים הדומיננטיים של אותם אופקים הם מלחים קשי תמס – קרבוניטים, על פי רוב [8, 16, 17]. לכן, סביר להניח כי שכבות המלח שהצנירים נוצרים בהן, אינן קשורות לתהליכים קדומים של שטיפת קרקעות.

הצטברות מלחים ברצועה צרה

כמוצק במחקר וכמודגם באיור 1, מי התהום המליחים העולים חשופים לאידוי לכל אורך גדות הנחל, ועם זאת, כפי שנצפה בשדה, המלח מצטבר כשכבה אופקית צרה יחסית בחלקים העליונים של העלייה הנימית בלבד ולא לכל אורך המחשוף. אינטואיטיבית נראה כי עובדה זו מנוגדת להנחה שמקור המים המלוחים הוא מי התהום, כי אז היינו מצפים לראות מלחים לאורך כל גדות הנחל. לאחרונה הראו מספר מחקרים [15, 21, 27] בניסוי מעבדה ובעזרת מודלים מתמטיים, כי בקירות אנכיים שמתרחשת לאורכם עלייה נימית של מים מליחים, המלחים יצטברו בחלקים העליונים של אזור העלייה הנימית. הסיבה לכך היא שבחלקים התחתונים של אזור העלייה הנימית, שתכולת הרטיבות בהם גבוהה, שילוב של קצבי דיפוזיה גבוהים יחסית של המלחים וקצב תנועת מים גבוה יחסית לקצבי האידוי מונע הגעה של ריכוז התמיסה לערכים גבוהים, שיביאו לתחילת התגבשות המלחים. אידוי מתרחש לכל אורכו של מישור המגע שבין הקרקע לאטמוספירה, וריכוז המלח בתמיסה עולה עם עליית המים. אף על פי כן, בראש אזור העלייה הנימית – שם תכולת הרטיבות נמוכה, קצבי תנועת המים שואפים לאפס ודיפוזיית המלחים מינימלית גם כן – רק שם האידוי משמעותי דיו כדי להעלות את ריכוז המלחים בתמיסה ולגרום לשקיעתם. את ההנחה הזו בדקנו גם במודלים ספרטיים של תהליכי זרימה והסעת מומסים בעבור הקרקע האופיינית לאזור המחקר (חרסית-טיין-חולית), והם הראו כי עלייה נימית והסעת מומסים לגבהים של 1–2 מטר מעל מפלס מי התהום אפשרית.

תהליכי הבליה

הקשר הברור שבין הצטברות המלחים להיווצרות הצנירים מעיד שסביר להניח שהמלחים אכן גורמים להיחלשות הקרקע, מקטינים את התנגדותה לתהליכי בליה, ומגבירים את קצב תהליכי סחיפת הקרקע באזור. הניתוח הכימי של הרכב המלחים בצנירים הצביע על המלח הליט (NaCl) כמלח העיקרי שהתגבש, ועל יוני הנתרן והכלור כיונים העיקריים בתמיסת הקרקע. הרכבה הכימי של תמיסת הקרקע יכול להצביע על שני מנגנוני בליה עיקריים באזור: תהליכי תפיחה של הקרקע בעת הרטבתה באירועי גשם עקב הימצאות יוני הנתרן בקרקע [1, 25], וגדילה של גבישי המלח בנקבובי הקרקע, שגורמים להפעלת לחץ מכני על קירות הנקבובים [12, 14, 21]. שני המנגנונים הללו פועלים בזמנים הפוכים: מנגנון התפיחה פועל בעת הרטבת הקרקע, בעוד מנגנון הפעלת הלחץ על-ידי גבישי המלח פועל בעיקר בעת התייבשותה. הבחנה זו מעניינת, מכיוון שהיא מראה כי לאורך כל השנה, גם בעונת הקיץ היבשה וגם בעונת החורף הרטובה יחסית, הימצאות המלח בקרקע מאיצה את תהליכי בליית הקרקע ואת היווצרות הצנירים.

מסקנות

תצפיות השדה והאנליזות במעבדה הצביעו על קשר ברור בין הצטברות המלחים להיווצרות הצנירים באזור המחקר בנחל גר. בחינת התהליכים ההידרולוגיים וההרכב הכימי של מי התהום והמלח בצנירים מצביעה על מי תהום רדודים ומליחים שעולים בעלייה נימית וגורמים להצטברות המלחים ברצועות צרות לאורך גדות הערוצים היבשים, כמקור המלחים. המנגנון הזה חדשני, ומוצע להתחשב בו עם המדדים האחרים שהובאו בחשבון עד כה בעת הערכת הסיכונים לבליית קרקעות ולסחיפה באזורי מדבר.

אזורים רבים בארץ מאופיינים בהימצאות מי תהום רדודים ומלוחים ובקרקעות שיוכלות להעלות את המלחים קרוב אל פני השטח בעלייה נימית. דוגמאות לאזורים אלה, מלבד צפון הנגב הנידון במחקר זה, הן אזור עמק יזרעאל, חלקים מן הערבה, חלקים ממישור החוף ועוד. אמנם חלק גדול מהאזורים הללו נמצא באזורים גשומים יחסית לצפון הנגב, אך באקלים הארץ, לאורך חודשי הקיץ החמים והיבשים, סביר להניח כי ניתן לקבל הצטברות מלחים לאורך גדות הנחלים גם באזור הלחים יותר. לכן, מוצע כאן כי המנגנונים שנידונו במחקר המוצג אינם מוגבלים רק לאזור צפון הנגב, וכי הם יכולים להיות משמעותיים מבחינת תהליכי בליה וסחיפה גם לאזורים אחרים בארץ.

נוסף על כך, באתרים רבים בעולם ובארץ, כולל באזור המחקר, מקובל לטעת עצים לייצוב קרקעות ולהקטנת תהליכי בליה וסחיפה. עיקר תפקידם של העצים הוא לייצב את הקרקע באמצעות שורשיהם. לנוכח המוצג במחקר זה ייתכן שיש מקום להתחשב גם בעומק השורשים ובקצבי צריכת המים של העצים כדי להשתמש בהם ככלי להנמכת מפלסי מי התהום וכן להקטין את הסיכון להמלחת הקרקעות.

מקורות

1. Brady NC. 1996. The nature and properties of soils. New York: Macmillan Publishing Company.
2. Corwin D and Lesch S. 2003. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture. *Agronomy Journal* 95: 455-471.
3. Doran JW. 2002. Soil health and global sustainability: Translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 88: 119-127.
4. Faulkner H. 2006. In: Boardman J and Poesen J (Eds). *Soil erosion in Europe*. Chichester (U.K.): John Wiley and Sons, Ltd.
5. Faulkner H, Alexander R, Teeuw R, and Zukowskyj P. 2004. Variations in soil dispersivity across a gully head displaying shallow sub-surface pipes, and the role of shallow pipes in rill initiation. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 1143-1160.
6. Fox GA, Chu-Agor ML (Maria) and Wilson GV. 2007. Erosion of noncohesive sediment by ground water seepage: Lysimeter experiments and stability modeling. *Soil Science Society American Journal* 71: 1822.
7. Ginzburg D and Yaalon DH. 1963. Petrology and origin of loess in the Be'er Sheva basin. *Israel Journal of Earth Sciences* 12: 68-70.
8. Gvirtzman H, Shalev E, Dahan O, and Hatzor YH. 2008. Large-scale infiltration experiments into unsaturated stratified loess sediments: Monitoring and modeling. *Journal of Hydrology* 349: 214-229.
9. Hall JK. 2008. The 25-m DTM (Digital Terrain Model) of Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* 57: 145-147.
10. Hooke R. 2012. Land transformation by humans: A review. *GSA Today* 22: 4-10.
11. Huluka G and Miller R. 2014. Particle size determination by hydrometer method. *Southern Cooperative Series Bulletin* **419**: 180-184.
12. Lamb MP, Dietrich WE, Aciego SM, et al. 2008. Formation of Box Canyon, Idaho, by megaflood: Implications for seepage erosion on Earth and Mars. *Science* 320: 1067-1070.
13. Lamb MP, Howard AD, Dietrich WE, and Perron JT. 2007. Formation of amphitheater-headed valleys by waterfall erosion after large scale slumping on Hawaii. *Geological Society of America Bulletin* 119: 805-822.
14. Lamb MP, Howard AD, Johnson J, et al. 2006. Can springs cut canyons into rock? *Journal of Geophysical Research: Planets* 111(E7).
15. Lubelli B, Van Hees RPJ, and Groot CJWP. 2004. The role of sea salts in the occurrence of different damage mechanisms and decay patterns on brick masonry. *Construction and Building Materials* 18: 119-124.
16. Magaritz M, Gvirtzman H, and Nadler A. 1988. Salt accumulation in the loessial

- sequence in the Be'er Sheva Basin, Israel. *Environmental Geology and Water Sciences* 11: 27-33.
17. Melson WG and Van Beek GW. 1992. Geology and the loessial soils, Tell Jemmeh, Israel. *Geoarchaeology* 7: 121-147.
 18. Montanarella L and Vargas R. 2012. Global governance of soil resources as a necessary condition for sustainable development. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4: 559-564.
 19. Montgomery DR and Dietrich WE. 1994. In: Kirkby MJ (Ed). *Process models and theoretical geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd.
 20. Morgan RPC, Quinton JN, Smith RE, et al. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 527-544.
 21. Nachshon U. 2016. Seepage weathering impacts on erosivity of arid stream banks: A new conceptual model. *Geomorphology* 261: 212-221.
 22. Nachshon U and Weisbrod N. 2015. Beyond the salt Crust: On combined evaporation and subflorescent salt precipitation in porous media. *Transport in Porous Media* 110: 295-310.
 23. Nachshon U, Ireson A, van der Kamp G, et al. 2014. Impacts of climate variability on wetland salinization in the North American prairies. *Hydrology and Earth System Sciences Journal* 18: 1-14.
 24. Nachshon U, Weisbrod N, Dragila MI, and Grader A. 2011. Combined evaporation and salt precipitation in homogeneous and heterogeneous porous media. *Water Resource Research* 47: 1-16.
 25. Pulice I, Cappadonia C, Scarciglia F, et al. 2012. Geomorphological, chemical and physical study of "calanchi" landforms in NW Sicily (southern Italy). *Geomorphology* 153: 219-231.
 26. Rengasamy P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany* 57: 1017-1023.
 27. Scherer GW. 2004. Stress from crystallization of salt. *Cement and Concrete Research* 34: 1613-1624.
 28. Shechef N, Halamish N, and Alexandrov Y. 2013. Soil conservation master plan for Shikma-Besor River Basin. Shikma-Besor drainage authority.
 29. Souchere V, King D, Daroussin J, et al. 1998. Effects of tillage on runoff directions: Consequences on runoff contributing area within agricultural catchments. *Journal of Hydrology* 206: 256-267.
 30. UNEP. 2007. *Global environmental outlook. Environment for development*.
 31. Vengosh A, Spivack AJ, Artzi Y, and Ayalon A. 1999. Geochemical and boron, strontium, and oxygen isotopic constraints on the origin of the salinity in groundwater.

Water Resources Research 35: 1877-1894.

32. Wellman HW and Wilson AT. 1965. Salt weathering, a neglected geological erosive agent in coastal and arid environments. Nature 205: 1097-1098.
33. Wellman HW and Wilson AT. 1968. In: Fairbridge RW (Ed). The encyclopedia of geomorphology. New York: Reinhold Book.
34. Wilson GV, Periketi RK, Fox GA, et al. 2007. Soil properties controlling seepage erosion contributions to streambank failure. Earth Surface Processes and Landforms 32: 447-459.

.35

36. Zhang H, Schroder JL, Pittman JJ, et al. 2005. Soil salinity using saturated paste and 1:1 soil to water extracts. Soil Science Society American Journal 69: 1146-1151.