חוברת יום העיון של

נקודת ח"ן

2022

נקודת ח"ן
לקידום ערכי נוף וסביבה באזורים חקלאיים בישראל

ע"ש האגודה הישראלית
לאקולוגיה ולמדעי הסביבה

שירות ההדרכה והמקצוע

תוכן עניינים

פיתוח ממשק יישומי לצמצום סחף קרקע תוך שיפור המגוון הביולוגי בשטחי חקלאות של גידולי שדה 3
גיל אשל, יונתן ספנסר, מיכל אקסלרוד, ליהי ברקן, תמיר קרס, יעל ברנר, גיא רותם

פיתוח פרוטוקול לשימוש ברימות זבוב החייל השחור כפתרון סביבתי להתמודדות עם פסולת חקלאית בערבה תוך יצירת מזון להאכלה 10
גדעון וינטרס, אבירם ג'ונסון, עדו הרפז, רחל ברדו

פיתוח גישה חדשנית למניעת זיהום משאבי מים מדישון עודף בחקלאות 21
יונתן יקותיאל, עפר דהן, שלומי ארנון, יובל רותם

חרב הפיפיות של מגוון מיני חיות בר בשטחי חקלאות ובקרבתם: החקלאות בערבה כחקר מקרה 29
אורן קולודני, לירון שני, עודד קינן, שלמה קרמר, דניאל מטקלף

פיתוח ממשק יישומי לצמצום סחף קרקע תוך שיפור המגוון הביולוגי בשטחי חקלאות של גידולי שדה

גיל אשל, המעבדה לחקר חקלאות משמרת ובריאות קרקע, התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
יונתן ספנסר, מועצת הכותנה
מיכל אקסלרוד, מועצת הכותנה
ליהי ברקן, החברה להגנת הטבע
תמיר קרס, חברת Ecology-Wise
יעל ברנר, חברת Ecology-Wise
גיא רותם, חברת Ecology-Wise והמעבדה לאקולוגיה מרחבית, המחלקה למדעי החיים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

מבוא

סחיפת קרקע משטחית, עירוץ (סחיפה ערוצית) והעמקת ערוצונים בתוך השדה החקלאי הם תופעה שהולכת ומתעצמת. הסיבות לכך נובעות מתהליכי עיבוד חקלאי אינטנסיביים ומאירועי גשם קיצוניים. תופעה זו מובילה לאובדן קרקע ולירידה ביצרנות, לקשיים בעיבוד ולסתימה של ערוצי ניקוז ומאגרי מים (אשל ואגוזי, 2013; אשל ואח', 2014; אשל ואח', 2016). כל אלה דורשים משאבים גדולים מצד החקלאים ומצד רשויות הניקוז וגורמים אחרים האמונים על התפעול והתחזוקה של נחלים ומאגרי מים. הפתרונות האגרונומיים או ההנדסיים לא תמיד זמינים, ובהרבה מקרים גם יקרים מאוד ומחייבים שינויים במערך האגרונומי, ולכן דרושים פתרונות ביניים.

ממשק חקלאי אינטנסיבי מוביל גם לפגיעה במערכות אקולוגיות שכנות ולירידה במגוון המינים במרחב החקלאי (FAO, 2007). ההשפעה ההדדית בין המערכת החקלאית לטבעית הובילה מדעני סביבה ועובדים מהמגזר החקלאי להכרה כי החיבור בין הסביבה הטבעית לסביבה החקלאית חיוני לשמירתן ולתפקודן של המערכות האקולוגיות והחקלאיות כאחת (Rosenzweig, 2003a, 2003b; Schmidt et al., 2004; Robertson and Swinton, 2005; Tscharntke et al., 2005, 2012). אחד הכלים ליצירת ממשק זה הוא שמירה על משארים (כתמים) טבעיים או טבעיים למחצה בתוך המערכת החקלאית (Tscharntke et al., 2012) שיתמכו במגוון ביולוגי גם במרחב של חקלאות אינטנסיבית (Aarssen and Schamp, 2002; Benton et al., 2003; Duelli and Obrist, 2003; Wezel et al., 2009, 2014). מתוך רצון לשלב בין הצורך במציאת פתרון לבעיות ייצוב הערוצונים שחוזרים ומתחתרים בשטח החקלאי והרצון לשמור על המגוון הביולוגי, הצענו בחינה של שימוש בצומח במקטע ערוצונים שייצב את הקרקע, ושבמהלך הזמן ייצור כתם "טבעי" שיוכל למשוך אליו אורגניזמים ולהגדיל את המגוון הביולוגי שמתקיים במערכת החקלאית.

מטרת המחקר היא להבין את יעילות השימוש בצומח בערוצוני זרימה לצמצום סחף קרקע במערכות חקלאיות, וכנגזרת מכך להבין מהן העלויות התפעוליות לחקלאי הכרוכות בכך. מטרה נוספת היא להבין את היכולת של הצומח בערוצוני זרימה להוות מוקד משיכה למגוון ביולוגי (צומח ופרוקי רגליים) ולתמוך בו. שאלות המחקר: (1) האם שימוש בתערובת זרעים של דגנים וקטניות או מרבדי יבלית יכול לצמצם את סחף הקרקע בהשוואה לערוצונים ללא טיפול? (2) האם הטיפולים הללו יכולים לשרוד שנת גידולים שלמה ולהתבסס גם בשנה שלאחר מכן? (3) האם הטיפולים הללו יכולים להוות בסיס להיווצרות כתם טבעי שימשוך אליו צומח טבעי ופרוקי רגליים? (4) האם הממשקים האלה מקובלים על החקלאי, ומהן התשומות שהוא צריך להשקיע?

אזור המחקר

המחקר התבצע בשפלת יהודה הדרומית באזור קיבוץ רבדים. חלקות הניסוי מוקמו במספר ערוצונים בשטחי גד"ש צבר קמה, המאופיינים בחקלאות אינטנסיבית של כותנה, חיטה, תירס, חמניות וחִמצה. יוגב קילמן, מנהל הגד"ש, היה שותף מלא לפרויקט משלב מיפוי הערוצונים והבחירה בהם ועד לשלבי הזריעה כולל עדכונים שוטפים באשר להתבססות הצומח, והערכת התשומות החקלאיות נערכה בעזרתו.

מערך הניסוי

הניסוי כלל 10 ערוצונים במרחב שטחי הגד"ש (איור 1). בטבלה 1 מפורטים הטיפולים שבוצעו בשנת הניסוי הראשונה (2020–2021) והשנייה (2021–2022). **כל** המדידות והסקרים בוצעו **בשנה השנייה** של הפרויקט. לכן, חלקות מהשנה הראשונה למעשה מייצגות שטחים שעברו שנתיים מאז הטיפול בהם. לצורך ביקורת נלקחו שתי חלקות בשנה השנייה בשל קושי בשטח למצוא חלקות מתאימות ובעלות אופי דומה לחלקות הטיפול.

איור 1 | **חלקות טיפול בערוצונים בשטחי גד"ש צבר קמה.** סיומת 21 מציינת חלקות משנת הפיילוט, סיומת 22 מציינת חלקות מהשנה השנייה לפרויקט.

טבלה 1 | **פירוט מערך הניסוי בשתי שנות המחקר**

טיפול	שנה למחקר	מספרי החלקות
יבלית	שנה 1	2 (E21, B21)
	שנה 2	2 (D22,C22)
תערובת	שנה 1	2 (A21, F21)
	שנה 2	2 (H22,22G)
ביקורת	שנה 2	2 (J22,22I)
		סך הכול 10

סקר בוטני

כדי לבחון אם הטיפולים השונים מעודדים התבססות חברת צומח טבעית נערך באביב 2022 סקר צומח שכלל רישום מצאי המינים בכל חלקת ניסוי. על בסיס נתוני הסקר חושבו עושר מינים לחלקה והרכב החברה.

סקר פרוקי רגליים

כדי לבחון את השפעת הטיפולים על חברת פרוקי הרגליים הוצבו במהלך אביב 2022 עשר מלכודת נפילה בנפח חצי ליטר בכל ערוץ. המלכודות נותרו פתוחות 72 שעות, ולאחר מכן נלקחו פרוקי הרגליים לזיהוי במעבדה עד הרמה הטקסונומית האפשרית הנמוכה ביותר (או ה-Morphospecies).

בימות אובדן קרקע – חקר מקרה

כדי לכמת את אובדן הקרקע נבחרה חלקה שזוהתה בה התפתחות של ערוצון (Gully) במקביל לערוצון המטופל. הערוצון צולם ברזולוציה גבוהה באמצעות רחפן, ועל בסיס הצילומים האלה הופקו מפות גובה (DEM) ברזולוציות שונות. חישוב נפח הערוצון שנוצר אִפשר כימות של אובדן קרקע בסחף ונעשה על ידי שימוש בתוכנת pix4D.

הערכת יעילות הטיפולים

על פי שיחות ודיונים עם מנהל הגד"ש וכן בעקבות סיורי שטח עם אנשי מקצוע הוערכה יעילות הטיפולים השונים בצמצום ההתפתחות וההעמקה של הערוצונים. כמו כן, נשקלו יחד עם המגדל התשומות והעלויות הנדרשות כדי לבחון את יישומיות הממשקים הללו כפרקטיקה לאורך שנים ברמה הכלכלית וברמה התפעולית.

בשל חוסר הבנה מול המגדל התבצע כיסוח של הצומח בחלקות יום לפני הסקר הבוטני והזואולוגי. הסקרים נערכו לאחריו בצורה המיטבית שהתאפשרה בהתחשב בנסיבות. הסקר הבוטני בוצע יום לאחר הכיסוח, ולמרות הכיסוח ניתן היה לזהות את הצמחים בשטח בצורה טובה. סקר פרוקי הרגליים בוצע גם הוא מייד לאחר הכיסוח, כאשר הצומח עוד שכב על הקרקע, לח וירוק. לכן, התוצאות משקפות בעינינו בצורה טובה את המצאי הקיים.

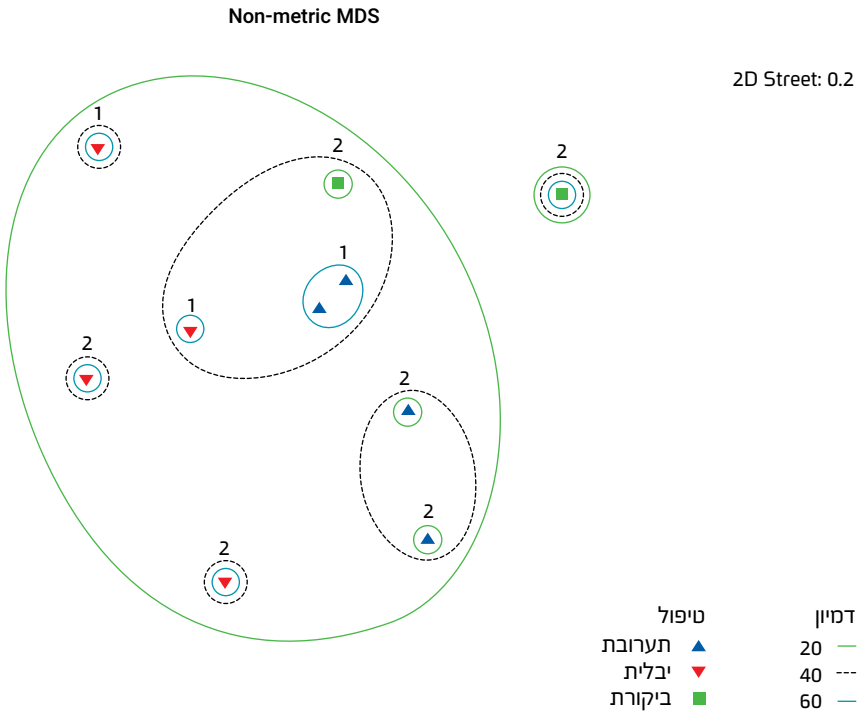
תוצאות

סקר בוטני

בסקר הבוטני נמצאו 72 מיני צמחים. 37 מינים נמצאו בחלקות התערובת, 56 מינים בחלקות היבלית ו-10 מינים בלבד בחלקות הביקורת. גם מינים פולשים נמצאו בין המינים האלה בחלקות הביקורת, היבלית והתערובת (44%, 12% ו-22%, בהתאמה). כלל המינים הם מינים שכיחים המאפיינים אזורים ים תיכוניים ושטחי חקלאות ומעזבות. בחינת עושר המינים לחלקה הצביעה על הבדל מובהק בין הטיפולים (Two-way Anova, F=4.8206, p=0.019) אך לא בין השנים. הבדל מובהק נמצא בין חלקות היבלית לחלקות הביקורת (Tukey Post-hoc, p=0.015); בחלקות היבלית מספר המינים לחלקה היה גבוה יותר מחלקות הביקורת. הבדל ניכר אך במובהקות גבולית נמצא בין חלקות התערובת לביקורת (p=0.07).

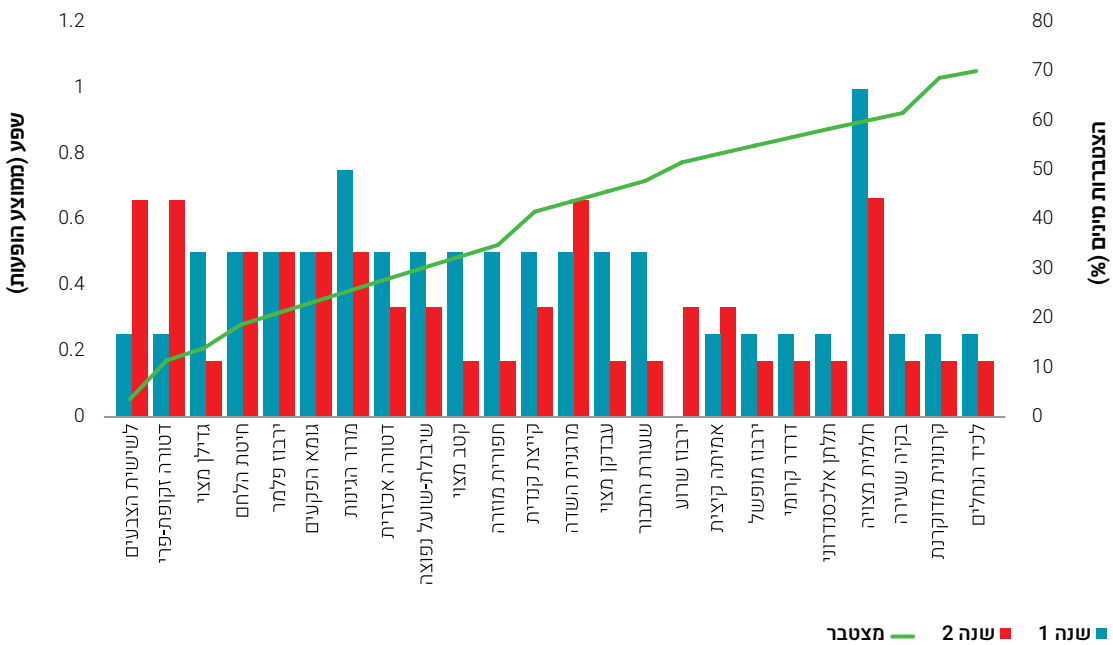
כדי לבחון את הדמיון בהרכב החברה השתמשנו במבחן nMDS שהראה כי יש הבדלים בין החלקות. במבחן PERMANOVA נמצא כי הרכב החברה בחלקות היה שונה בין השנים (p=0.02) ובאינטראקציה בין הטיפולים לשנים (p=0.006), אך לא בין הטיפולים (p=0.09); באיור 2 ניתן לראות כי כי חלקות התערובת דומות זו לזו בהרכב המינים באותה השנה אך שונות בין השנים. כלל החלקות נראות שונות זו מזו בין הטיפולים, אך לא באופן מובהק.

איור 2 | **דמיון בהרכב חברת הצומח בין חלקות הטיפול השונות בגד"ש צבר קמה.** המספרים מציינים את השנה של הפרויקט: 1 - שנה ראשונה, 2 - שנה שנייה לפרויקט.



לצורך הבנת מקור השונות בין חלקות התערובת בשנים השונות ביצענו מבחן sympar. במבחן זה מצאנו כי 35 מינים תורמים 70% להבדלים בין השנים בחלקות התערובת. כמחצית מהמינים מופיעים בתדירות גבוהה יותר בחלקות השנה הראשונה של המחקר בהשוואה לחלקות השנה השנייה (כדוגמת גדילן מצוי, מרור הגינות, שעורת התבור וחלמית מצויה). המינים לשישית הצבעים ודטורה זקופת-פרי מופיעים יותר בחלקות השנה השנייה בהשוואה לחלקות השנה הראשונה למחקר (חלקות השנה הראשונה למחקר מייצגות למעשה שטחים שעברו שנתיים מאז הטיפול בהן).

איור 3 | **שפע מינים בשתי השנים והצטברות השונות**

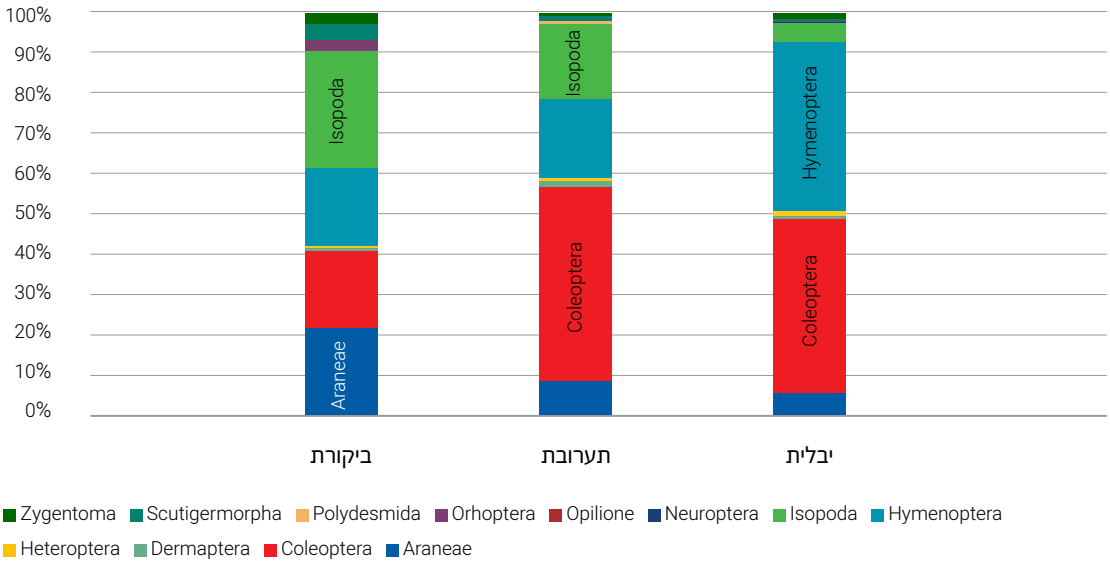


סקר פרוקי רגליים

בסך הכל נאספו 1,121 פרטים המייצגים 12 סדרות שונות ו-48 מינים (או morphospecies). הסדרה הנפוצה ביותר היא סדרת החיפושיות (Coleoptera, 43% מכלל הפרטים) ולאחריה הדבוראים (Hymenoptera, 31%). בחלקות הביקורת הסדרה הנפוצה ביותר היא Isopoda (29%), בעוד בחלקות היבלית והתערובת הסדרה הנפוצה הייתה סדרת Coleoptera (48% ו-43%, בהתאמה). סדרת Coleoptera היא העשירה ביותר בסקר זה עם 24 מינים/morphospcies שונים. כלל המינים מאפיינים מערכת ים תיכונית (איור 4). באמצעות מבחן Welch's ANOVA בחנו את ההבדלים במדדי מגוון, עושר ושפע בין החלקות. מכיוון שלא נמצאו הבדלים מובהקים בין השנים בכל המדדים (p>0.05), איחדנו את כלל הנתונים לצורך בחינת השפעת הטיפולים השונים על חברת פרוקי הרגליים. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים במגוון המינים (FWelch's ANOVA=1.21, p=0.38), בעושר המינים (FWelch's ANOVA=2.58, p=0.18) ובמספר הפרטים (Fwelch's ANOVA=1.19, p=0.41).

כדי לבחון את הדמיון בהרכב החברה ביצענו מבחן nMDS. תוצאות המבחן הראו כי הרכב החברה בחלקות היה דומה בכל החלקות. במבחן PERMANOVA נמצא כי אין הבדל מובהק בין הטיפולים (p=0.57), בין השנים (p=0.82) ובין האינטראקציה של טיפול × שנה (p=0.33).

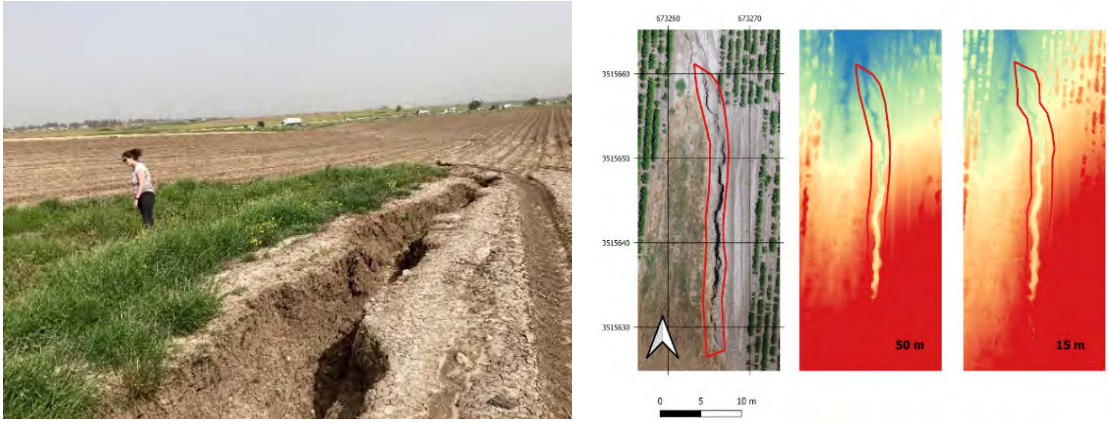
איור 4 | **התפלגות הסדרות השונות בחלקות הטיפול והביקורת**



כימות אובדן הקרקע

עקב קשיים מנהלתיים המחקר התחיל לאחר תחילת עונת הגשמים, ולכן אין לנו מדידות זמן אפס. אי לכך, חלק זה של התוצאות חלקי, ויעובה בחורף הקרוב. בכל מקרה בהחלט ניתן לומר מסיורים ומתצפיות בחלקות ומשיחות עם המגדלים כי בכל הקשור להתחתרות הערוצונים ייצוב הערוצונים בצמחייה עשבונית היה מוצלח ברוב המקרים. מתוך שמונה חלקות שעברו ייצוב צמחי בצמחייה עשבונית, רק בערוצון אחד, חלקה E21 (מרבדי יבלית, טבלה 1), נפער ערוצון לצד הערוצון המטופל ובמקביל אליו (איור 5). כדי להעריך את נפח הקרקע שנסחף בוצעו צילומי רחפן מגובה של 15 ו-50 מ' לצורך יצירת מודל גבהים ברזולוציה מרחבית של 40 מ"מ לפיקסל. לפי ניתוח מודל הגבהים מוערך כי נפח הקרקע שאבד בערוצון החדש שנוצר עומד על כ-8 מ"ק.

איור 5 | **מיפוי החריץ**. שני גבהים: 15 ו-50 מטרים, כפי שנתחמו בתוכנת QGIS. משמאל, הערוצון שנפער לצד הערוצון המטופל בחלקה E21.



בחינה תפעולית וכלכלית

על פי ראיונות שקיימנו עם המגדל ועם אנשי רשות ניקוז שורק לכיש (מידע בע"פ), שני הטיפולים ישימים ובעלי פוטנציאל להקטנת סחף הקרקע. לדברי המגדל, שימוש בצומח אכן תרם לייצוב הערוצונים והביא לחיסכון משמעותי בזמן ובכוח עבודה שהיו דרושים לעבודת מילוי וסידור של הערוצונים לקראת זריעה בכל שנה. תערובת שיבולת ובקיה היא חלופה זמינה, אך מצריכה כיסוח פעמיים בשנה (באביב ובקיץ) ואולי גם זריעה נוספת משנה לשנה במקרה שיש ירידה בצפיפות הנביטה. שתילת מרבדי יבלית דורשת תשומות ראשוניות גבוהות יותר (עלות מ"ר של יבלית היא כ-20 ₪), אך היא אפקטיבית כפי הנראה לאורך זמן.

דיון ומסקנות

בחינת חברת הצומח, עושר מיני הצומח היה גבוה יותר בחלקות היבלית בהשוואה לחלקות הביקורת. תוצאות אלה מצביעות על פוטנציאל הטיפול בכיסוי הצמחי, ובייחוד שימוש ביבלית, לתמוך בחברת צומח מקומי, להוות כתם טבעי מתפקד ולהגדיל את מגוון המינים המקומי. לא נמצא הבדל מובהק בעושר המינים בין השנים. בהתבסס על מחקרים קודמים (Ne'eman and Izhaki, 1996; Chang et al., 2019) תהליכי אכלוס וסוקצסיה אורכים מספר שנים, ולכן, ככל הנראה, אנו רק בראשית התהליך. הרכב המינים בחלקות התערובת היה שונה בין השנים. מצאנו כי מספר מינים הופיעו בתדירות גבוהה בחלקות השנה השנייה, אך בחלקות של השנה הראשונה למחקר הופיעו פחות; לשישית הצבעים ומרגנית השדה הן מיני מעזבות שניתן לראות בהם מיני חלוץ המגיעים ראשונים אל שטחים מופרים ומאכלסים אותם, אך ככל שעובר הזמן, חברת הצומח משתנה, ושכיחותם יורדת בשנה השנייה עם כניסתם של מינים נוספים. דטורה-זקופת פרי היא מין פולש המתבסס בקלות בשטחים מופרים כמו החלקות האלה. ישנם מספר מינים שמופיעים בתדירות גבוהה יותר בחלקות השנה הראשונה בהשוואה לחלקות השנה השנייה – כלומר הם מאפיינים חלקות שכבר עברו תהליך מסוים של התבססות צומח. אחוז המינים הפולשים היה גבוה יותר בחלקות הביקורת. ייתכן שמגוון המינים הגבוה יחסית בחלקות הטיפול דחק את המינים האלה ועיכב את יכולתם להתבסס בשטח, בעוד שבחלקות הביקורת התחרות הייתה נמוכה יותר, ולכן הם התבססו בהן בקלות יחסית.

בבחינת תוצאות סקר פרוקי הרגליים נמצא כי אין הבדלים מובהקים בין הטיפולים וביניהם לביקורת בכל מדדי החברה. גם הרכב החברה נמצא דומה בין כל החלקות, ואין הבדל גם בין החלקות שטופלו בשנים שונות. מתוך התוצאות האלה נראה כי לטיפולים אין השפעה על העושר, המגוון וההרכב של פרוקי הרגליים בחלקות שנבדקו. מיני פרוקי הרגליים שנמצאו חזרו על עצמם בין חלקות הטיפולים והביקורת, ולא נמצאו הבדלים מובהקים. עם זאת, ישנה מגמה (לא מובהקת) של עלייה במדדי החברה דווקא בחלקות היבלית. ייתכן שהיבלית יוצרת משטח צמחי עמיד לאורך השנה שמאפשר מסתור ואפשרויות רבייה עבור פרוקי הרגליים ותומך בקיומם. בבחינת התפלגות הסדרות ניכר כי בחלקות הטיפולים מספר החיפושיות היה גבוה יותר בהשוואה לחלקות הביקורת. ייתכן שעושר הצמחים שנמצא בחלקות האלה (כפי שמצאנו במחקר זה) תומך באוכלוסיית החיפושיות שחלק מהן ניזונות מהצמחים (אוכלי עשב) וחלק ניזונות מחרקים אחרים (טורפים) שמתקיימים ממגוון הצמחים הללו.

כידוע אובדן הקרקע בשטחי הגד"ש המגודלים באופן אינטנסיבי משמעותי מאוד, כפי שעשרות מחקרים ותצפיות הראו בעבר. כל עוד לחקלאים אין פתרונות מספקים למעבר לחקלאות משמרת בשטחי הגד"ש, ייצוב ערוצונים

בצמחייה עשבונית יכול להיות פתרון ביניים. במחקר זה הראינו כי ייצוב צמחי של הערוצונים ביבלית או בתערובת של צמחייה חד-שנתיית הצליח ברוב המקרים לצמצם התחתרות ערוצונים מסדר ראשון ואף חסך את הצורך בהסדרת השטח לקראת העונה הבאה. חשוב לציין שדרושה תשומת לב מֵרבית למניעת יצירה של נתיבי זרימה מועדפים או יצירה של נקודות כשל שבהן מתחילה התחתרות במקביל לערוצון המטופל, כפי שהתרחש בערוצון אחד מתוך השמונה שטופלו. לזריעת תערובת משמעות תפעולית גדולה יותר מהיבלית – כיסוח עונתי וזריעות חוזרות, ומנגד, ליבלית תשומות ראשוניות גבוהות יותר מאשר לזריעת תערובת.

לסיכום, השימוש בצמחייה עשבונית כטיפול בהתחתרות ערוצונים מסדר גודל ראשון בתוך השדה החקלאי נמצא יעיל ברוב המקרים, ונראה כי שני הטיפולים מהווים פתרון אפשרי לסוגיה זו, אך הם מחייבים המשך תחזוקה וכן מעקב כדי לוודא שלא נוצר נתק הידרולוגי בין השדה לערוצון המטופל שיגרום להתחתרות אחרת. בד בבד, הטיפולים מגדילים את עושר מיני הצומח ולמעשה יוצרים כתם "טבעי" במרחב חקלאי אינטנסיבי. כתם זה יכול למשוך בעלי חיים, מאביקים ואויבים טבעים, שיתרמו לשטח החקלאי הסמוך ויספקו שירותי מערכת של האבקה והדברה ביולוגית.

מקורות

אשל ג ואגוזי ר. 2013. הקרקע בשטחים המעובדים נשמטת מתחת לרגליים. *אקולוגיה וסביבה* **4**(2): 134–136.

אשל ג, אגוזי ר, גולדוווסר י, חיות א, קוז'יקרו ה, רובין ב, דר צ, קשתי י, פיין פ, אלבז ר ודיסני ד. 2014. גידולי כיסוי בתפוחי-אדמה כאמצעי לשימור קרקע, מים וסביבה. *שדה וירק* **271**: 44–50.

אשל ג, אגוזי ר ונסר א. 2016. השפעת חיפוי צמחי בפרדס ובמטע על סחיפת קרקע וחומרי הדברה לסביבה. *עלון הנוטע* **12**: 38–39.

Aarssen LW and BS Schamp. 2002. Predicting distributions of species richness and species size in regional floras: Applying the species pool hypothesis to the habitat templet model. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* **5**: 3–12.

Benton TG, Vickery JA, and Wilson JD. 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* **18**: 182–188.

Chang CC, Halpern CB, Antos JA, Avolio ML, Biswas A, Cook JE, et al. 2019. Testing conceptual models of early plant succession across a disturbance gradient. *Journal of Ecology* **107**: 517– 530.

Duelli P and Obrist MK. 2003. Regional biodiversity in an agricultural landscape: The contribution of seminatural habitat islands. *Basic and Applied Ecology* **4**: 129–138.

FAO. 2007. The state of food and agriculture paying farmers for environmental services. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Agriculture. Series No. 38.

Ne'eman G and Izhaki I. 1996. Colonization in an abandoned East Mediterranean vineyard. *Journal of Vegetation Science* **7**: 465–472.

Robertson GP and Swinton SM. 2005. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* **3**: 38–46.

Rosenzweig ML. 2003a. Reconciliation ecology and the future of species diversity. *Oryx* **37**: 194–205.

Rosenzweig ML. 2003b. Win-Win Ecology. How the Earth's Species Can Survive in the Midst of Human Enterprise. Oxford, UK: Oxford University Press.

Schmidt MH, Thies C, and Tscharntke T. 2004. Landscape context of arthropod biological control. In: Guff GM, Wratten SD, and Atieri MA (Eds). Ecological Engeneering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods, chapter 4, pp. 55–63. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria.

Tscharntke T, Klein AM, Kraus A, Steffan-Dewenter I, and Theiset C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters* **8**: 857–874.

Tscharntke T, Clough Y, Wanger TC, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, and Whitbread A. 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* **151**: 53–59.

Wezel A, Bellon S, Dore T Francis C, Vallod D, and David C. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **29**: 503–515.

Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vian J-F, Ferrer A, and Peigne J. 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **34**: 1–20.

פיתוח פרוטוקול לשימוש ברימות זבוב החייל השחור כפתרון סביבתי להתמודדות עם פסולת חקלאית בערבה תוך יצירת מזון להאכלה

גדעון וינטרס, מו"פ מדבר וים המלח
אבירם ג'ונסון, ממ"ר ממשקי חקלאות תומכת סביבה, אגרואקולוגיה, שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
עדו הרפז, המרכז ללימודי מדע חקלאות וסביבה בערבה
רחל ברדו, המרכז ללימודי מדע חקלאות וסביבה בערבה

מבוא

גידולים חקלאיים (פלפל, עגבניות, חצילים, מלון, אבטיח ותמרים) הם ענף פרנסה עיקרי בערבה - מקום ביצוע הפרויקט. מהגידולים נוצרת כמות רבה של פסולת חקלאית (פסולת צמחית ופסולת פלסטיק) שכרגע אין לה פתרון סביבתי. אחת הבעיות המרכזיות בטיפול האזורי בפסולת היא שינוע הפסולת לאתר מרכזי בערבה – המועצה משתרעת על למעלה מ-100 ק"מ. היות שכך, הטמנת הפסולת הצמחית, שרפתה, הצנעתה בשטחי הגידול ("תיחוח") ופיזורה מחוץ לשטחי הגידול במזבלה המיועדת לכך או סתם בפחי אשפה באזור, הם הדרכים העיקריות שחקלאי הערבה משתמשים בהן "לטפל" בפסולת זו. בערבה הפסולת החקלאית הרטובה גורמת למפגעים סביבתיים רבים כגון ריח, משיכת חיות בר ומשיכת זבובים מזיקים – זבוב הבית שגורם להפרעה יום-יומית לתושבי האזור, וזבוב הים התיכון שגורם נזק בלתי הפיך לחקלאות (למשל, פסילת משלוחי יצוא ירקות לחו"ל) וגובה משאבים כלכליים (למשל, פרויקט ההדברה של זבוב הים התיכון בעזרת מטוסים) וכימיים כדי למגר את המפגע. אף על פי שקיים חוק האוסר על שרפת פסולת מכל סוג, חקלאים ועובדיהם מציתים זבל אורגני בתדירות גבוהה מאוד (אחת לשבוע), דבר היוצר מפגע סביבתי (זיהום אוויר) ובריאותי (שאיפת עשן) במרחב כולו.

מקורו של זבוב החייל השחור (זח"ש, *Hermetia illucens*, black soldier fly) ביבשת אמריקה, אך בשנים האחרונות, בעקבות פעילות האדם, הוא נמצא באזורים נרחבים בעולם וגם בישראל (יונס-לוי ואח', 2017, 2018; לן, 2020). מחזור החיים של זבוב החייל השחור (להלן – הזבוב) מורכב מארבעה שלבים: ביצה, רימה, גולם וזבוב בוגר (יונס-לוי ואח', 2017, 2018; לן, 2020). הזבוב אינו מזיק לאדם, משום שאינו נמשך למזון האדם, אינו עוקץ, ואינו מעביר מחלות (ברקן, 2012, יונס-לוי ואח', 2017, 2018; לן, 2020). רוב הפרויקט המוצע מתרכז בחלק הדומיננטי במחזור חיי הזבוב, שהוא הרימה. הרימה ניזונה מפסולת אורגנית, לרבות זבל עופות, זבל חזירים ושאר פסולת צמחית (ברקן, 2012; יונס-לוי ואח', 2017, 2018). תכונת ההפרדה העצמית של הרימה הבוגרת מהקומפוסט מאפשרת לזבוב להיות כלי יעיל ונוח לפירוק פסולת אורגנית מצד אחד וליצור מקור חלופי לחלבונים המקובלים כיום המשמשים בתעשיית מזון לבעלי חיים (למשל, קמח דגים) שלייצורם מחיר סביבתי ואקולוגי גבוה מאוד (גור ואח', 2017; יונס-לוי ואח', 2017, 2018; בלומר, 2018; Shelomi, 2020). למשל, באזור הערבה רימות הזבוב יכולות לשמש מקור מזון להאכלה בענפים חקלאיים שקיימים כבר באזור, כגון דגי הנוי ועופות (בלומר, 2018; Shelomi, 2020). בצורה כזו שימוש בזבוב יכול לתרום לחקלאות מעגלית במקום לחקלאות לינארית עם תוצרי לוואי (Jonas Levi et al., 2016).

מטרות הפרויקט

מטרות הפרויקט הן פיתוח פרוטוקול לשימוש ברימות זבוב החייל השחור (black soldier fly larva; BFSL) כפתרון סביבתי להתמודדות עם פסולת חקלאית בערבה תוך יצירת מזון להאכלה (food for feed).

כחלק ממטרות המחקר נעשו במהלך השנה מספר ניסויים ובדיקות ולהלן פירוטם.

א. בחינת יעילות זבוב החייל השחור בפירוק פסולת חקלאית

שיטות

לכל ארגז ביוקומפוסטר הוכנסו 10 ק"ג פסולת חקלאית יחד עם כמויות מזעריות של ביצים (בדרך כלל כ-0.05 גרם ביצים). כמו כן, הוכנו ארגזי ביקורת עם אותה כמות פסולת חקלאית, אך ללא ביצים. הביצים בוקעות לאחר כארבעה ימים, ולכן הניסוי בעצם בודק את השפעתן של רימות הזבוב (בשל גודלן המזערי עם הבקיעה, לא ניתן לקיים את הניסוי בצורה אחרת). כל הארגזים נשקלו פעמיים בשבוע במשך שבועיים (איור 1, משקל נקי, ללא ארגז). חזרנו על הניסוי 6 פעמים (תמיד ארגזי ביקורת ללא ביצי הזבוב מול הביוקומפוסטרים עם הביצים).

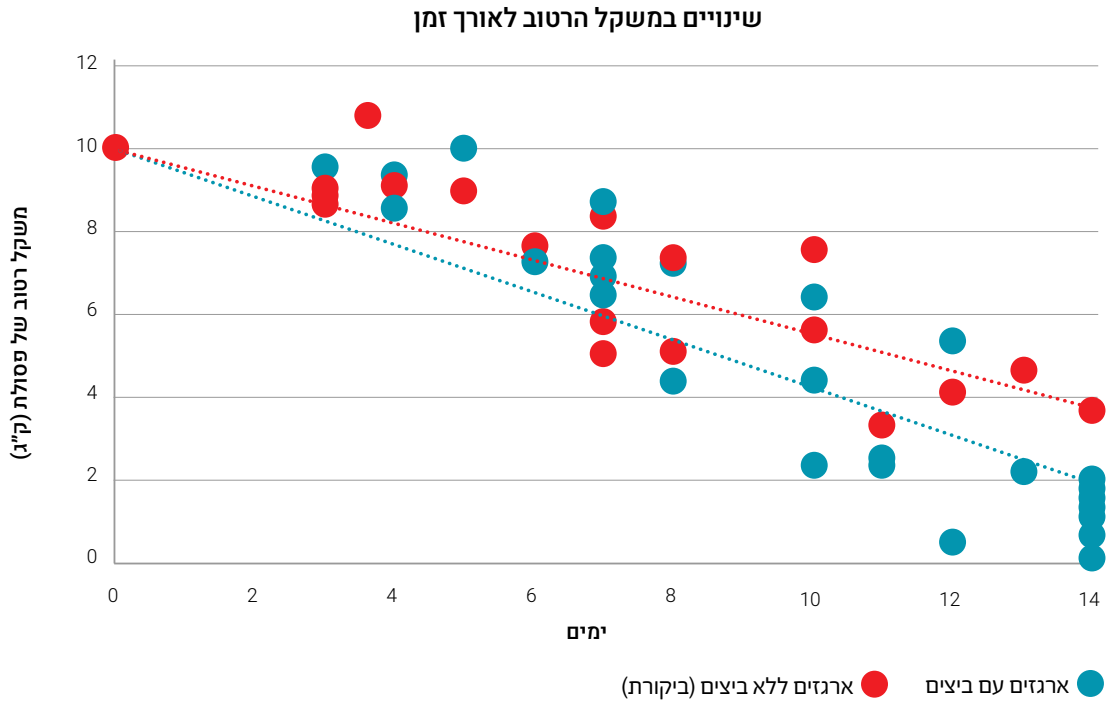
תוצאות

לאחר שבועיים כמעט לא נשארה פסולת אורגנית בארגזים עם זבוב החייל השחור (פחות מ-20% מהמשקל ההתחלתי, שהיה 10 ק"ג), ולעומת זאת בארגזי הביקורת נשארו 40% או יותר ממשקל הפסולת המקורית.

מסקנה מניסוי זה

למרות הכמות הקטנה של ביצי הזבוב (0.05 גרם ביצים), כמות הפסולת החקלאית (10 ק"ג) ירדה ב-80% ויותר בתוך פחות משבועיים.

איור 1 | **משקלם של ארגזי ביוקומפוסט עם 10 ק"ג פסולת אורגנית בזמן אפס לאורך 14 יום** עם 0.05 גרם ביצי זבוב החייל השחור (נקודות כחולות) ובלי ביצים (ארגזי ביקורת, נקודות אדומות). כל נקודה מציינת שקילה חדשה – כל ארגז ניסוי נשקל פעמיים בשבוע לאורך 14 יום – 6 חזרות לכל טיפול.



ב. מציאת המושכן (אטרקטנט) היעיל ביותר בשלב הביצים שיאפשר את הגדלת נפח העבודה של מתקן לטיפול בפסולת חקלאית

שיטות

מוֹשֶׁכָן (אטרקטנט) הוא חומר כלשהו בעל ריח שמושך את הנקבות להטיל ביצים במקום מסוים ובכך מייעל את תהליך הגידול. זבובים בוגרים גודלו באוהלי גידול עם תאורה מלאכותית קבועה (70–80 זבובים בכל אוהל). בכל אוהל זבובים השתמשנו בארבע קופסאות פלסטיק, ובכל אחת מוֹשֶׁכָן שונה: 1. פסולת אורגנית ביתית (פירות, ירקות = "קומפוסט"); 2. בננות; 3. פסולת זבובים מתים; 4. קופסת ביקורת שהייתה ריקה. החלק העליון של הקופסאות נסגר ברשת זבובים כדי לאפשר לריח ("המוֹשֶׁכָן") לצאת החוצה ולא לתת לזבובים להיכנס. מעל הקופסאות הונחו "מקלות ארטיק" מחוברים בגומייה. קופסאות המוֹשֶׁכָן עם מקלות ארטיק הוכנסו לאוהלים עם הזבובים. בכל יום נבדק המשקל של הביצים החדשות שהוטלו על משטחי ההטלה מעל לכל מוֹשֶׁכָן. הניסוי חזר על עצמו 8 פעמים, כל חזרה = אוהל עם כמות דומה של זבובים (ספירה של זבובים לפני הניסוי, כ-80 זבובים לאוהל בנפח של כ-1.5 מ"ק), שכולל את ארבעת הטיפולים (מוֹשֶׁכָנים שונים).

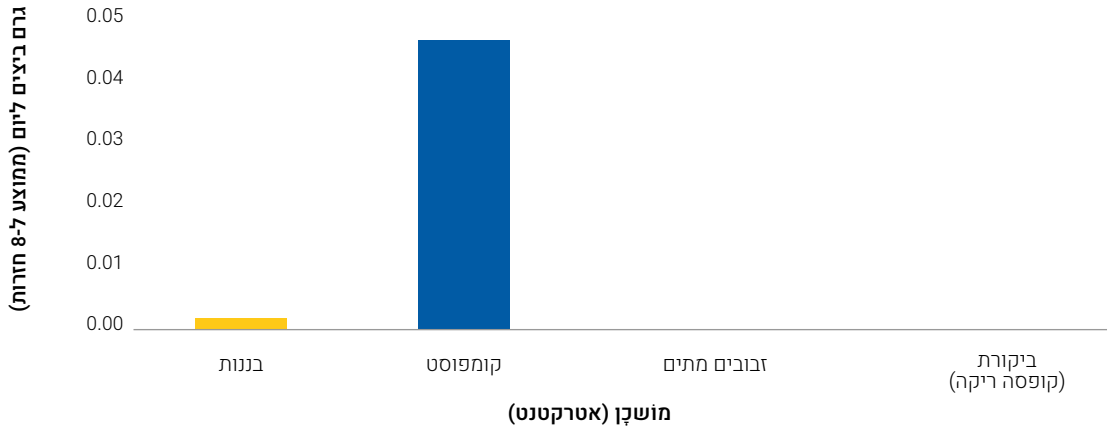
תוצאות

מצאנו הבדל גדול בין כמות הביצים שהוטלה בקופסאות המוֹשֶׁכָן "קומפוסט", אל מול הטיפולים האחרים, כגון בננות. ניתן גם לראות שמקום ההטלה של נקבות הזבוב אינו מקרי – בקופסאות המוֹשֶׁכָנים של הזבובים המתים ושל הביקורת (קופסאות ריקות) לא הוטלו כלל ביצים (איור 2).

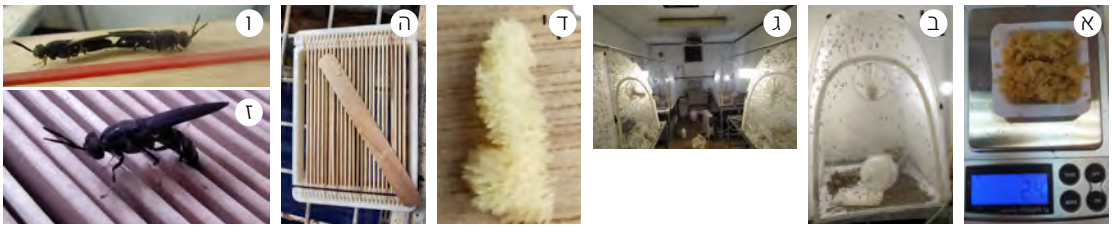
מסקנות מניסוי זה

תהליך בחירת המקום של ההטלה סלקטיבי, וקיימת העדפה ברורה למקומות שהריח בהם תואם את סוג המזון המועדף על הרימות. התוצאות האלה יעזרו להפיק את מרב התועלת מתהליך איסוף הביצים במתקן.

איור 2 | **משקל כלל הביצים שהוטלו ליום (גרם ביצים ליום).** השוואת יעילותם של מוֹשֶׁכָנים שונים למשוך נקבות של זבוב החייל השחור להטיל ביצים על מקלות הטלה מעל לבננות, מעל לפסולת אורגנית ביתית, מעל לזבובים מתים ומעל קופסה ריקה (ללא מוֹשֶׁכָן, ביקורת). כל עמודה היא ממוצע של 8 חזרות. עבודה של גיל עפרוני, תלמידת י"א.



איור 3 | **חדר רבייה שיש בו בקרה על הטמפרטורה ולחות החדר.** א - כמות הביצים שנשקלת מדי יום. ב+ג - גידול הזבובים באוהל (love tents). ד - צבר של ביצי הזבוב. ה - נקבות זבוב החייל השחור נמשכות להטיל את הביצים על מוֹשֶׁכָן (פסולת אורגנית ביתית הנמצאת מתחת למקלות הארטיק). ו - זיווג זכר ונקבה באוהל הרבייה. ז - נקבה המטילה ביצים במתקן ייעודי.



ג. השפעת הטיפול המקדים בפסולת על משקל הפסולת שנותרה ועל משקל רימות זבוב החייל השחור

שיטות

הניסוי הוכן כשבועיים מראש וכלל שלושה טיפולים: א. 3 ק"ג ירקות ופירות (חציל, פלפל, מלון) שרוסקו במרסקת גזם וחולקו לשלוש קופסאות ("ביוקומפוסטרים") של 1 ק"ג כל אחת (שלוש חזרות לכל טיפול); ב. 3 ק"ג ירקות ופירות שנחתכו ביד וחולקו לשלוש קופסאות של 1 ק"ג כל אחת (שלוש חזרות); ג. 3 ק"ג ירקות ופירות שלא עברו כל טיפול וחולקו לשלוש קופסאות של 1 ק"ג כל אחת (שלוש חזרות).

נוסף על הירקות והפירות הללו (אותם ירקות ופירות בכל הטיפולים), אל כל קופסה הוכנסו 2 גרם עלים וגבעולים של מורינגה (להעשרת המזון בחלבון), ו-0.1 גרם ביצי זבוב החייל השחור. לאחר כשבועיים, שבמהלכם בקעו הביצים, והרימות ניזונו מהקומפוסט, החומר הרטוב (שארית הירקות והפירות) הופרד מהרימות על ידי פיזור תכולת הביוקומפוסטר על רשת גדולה בחשיפה לשמש, מאחר שידוע שהרימות מעדיפות תנאי חושך ובורחות מאור, כלומר, הן בעלות פוטוטקסיס שלילי. לאחר כ-10–15 דקות הרימות ירדו לתחתית הקומפוסט כדי להימנע מהחשיפה לשמש, וכך נפלו דרך חורי הרשת לגיגית שהונחה מתחת לרשת (איור 4א).

שיטה זו הוכחה כיעילה יותר מאשר המתנה עד שהרימות יפסיקו לאכול, יהפכו לשחורות ויטפסו בעצמן מחוץ לקומפוסט (איור 4ב). בשלב השחור הזה לרימות יש גם יותר כיטין ופחות שומן וחלבון.

החומר הרטוב נאסף מכל קופסה, הועבר אל תבניות אלומיניום קטנות ונשקל. הרימות הועברו בסינון נוסף דרך נפה דקה, ונשטפו משאריות חומר רטוב. לאחר מכן נבחרו באופן אקראי עשר רימות ונשקלו לשם קבלת משקלן הרטוב (=המשקל ללא ייבוש).

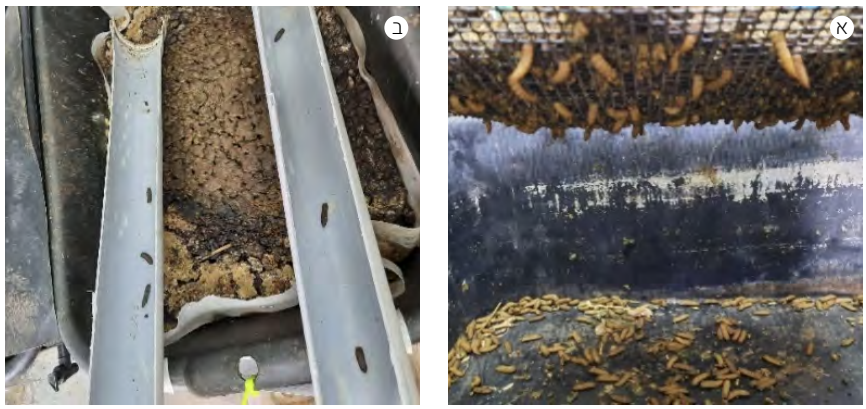
תוצאות

בניסוי שבדק את השפעת צורת הטיפול בפסולת על כמות הפסולת הנותרת מצאנו שככל שהפסולת מרוסקת יותר, נשאר ממנה בסוף הניסוי פחות חומר, כל הנראה מכיוון שכך היא זמינה יותר לרימות (איור 5א). בניסוי השני, שבדק את השפעת סוג הטיפול בפסולת על משקל הרימה הממוצע, נמצא שככל שהפסולת מרוסקת וזמינה יותר לרימות, משקל הרימה הבודדת הממוצע היה גבוה יותר (איור 5ב). בניסוי השלישי, שבדק את השפעת סוג הטיפול בפסולת על משקל כלל הרימות, נמצא כי ככל שהמזון זמין יותר לאוכלוסיית הרימות (מרוסק), יכולתן להעלות משקל תוך שבועיים גדלה (איור 5ג).

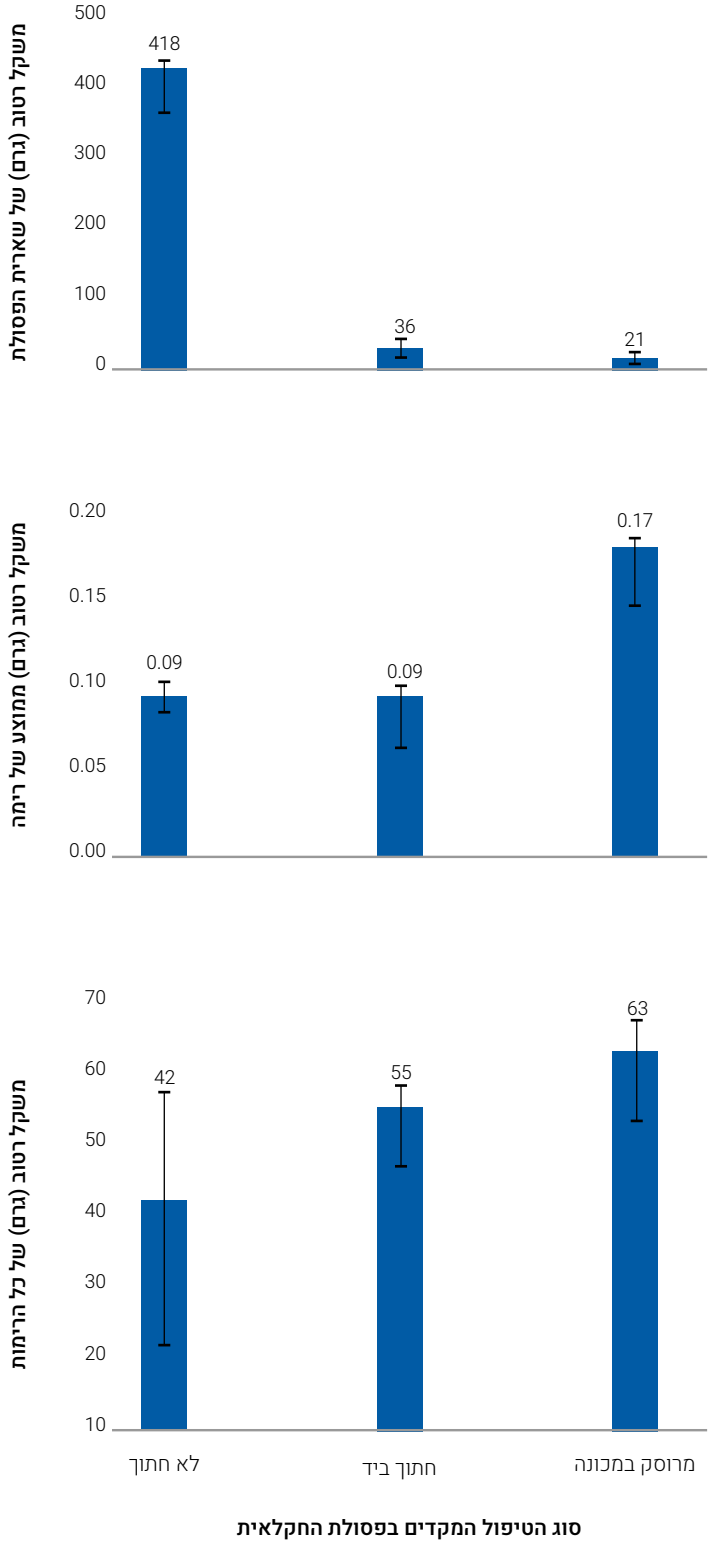
מסקנות מניסוי זה

מניסוי זה ניתן להסיק שטיפול מקדים בפסולת, כגון ריסוק, מזרז את תהליך פירוק הפסולת, וכן את הגדלת המשקל של הרימות (המשקל הממוצע והמשקל הכללי של הרימות). כלומר, בדרך זו משיגים רווח לכול. במתקן יישובי תידרש התאמה למרסקת ייעודית, אם המתקן יעבוד בשיטה זו.

איור 4 | **שיטות להפרדת רימות מהקומפוסט.** א. הפרדה של רימות לבנות על ידי רשת; ב. הפרדה על ידי יציאה עצמית של רימות בוגרות באמצעות טיפוס עצמאי מחוץ לביוקומפוסטר.



איור 5 | **השפעת הטיפול המקדים (לא חתוך, חתוך ביד או מרוסק במכונה)** על המשקל הרטוב הממוצע של הפסולת החקלאית שנותרה (א), הרימה הבודדת (ב) וסך כל הרימות (ג). כל עמודה מייצגת ממוצע של 3 חזרות.



ד. שימוש ברימות זבוב החייל השחור כמקור הזנה חלופי לדגי אמנון הנילוס (*Oreochromis niloticus*)

שיטות

ניסוי האכלת הדגים (אמנון הנילוס) נמשך 100 ימים וכלל נקבות וזכרים השוקלים בין 50 ל-200 גרם שהובאו מהתחנה הלאומית דור לחקר הדיג (משרד החקלאות, ישראל). הניסוי כלל ארבעה סוגי הזנה, ובכל טיפול שלוש חזרות (סך הכול 12 בריכות דגים): הזנה 1 – 100% הזנה מסחרית (ביקורת); הזנה 2 – 80% הזנה מסחרית + 20% רימות; הזנה 3 – 20% הזנה מסחרית + 80% רימות; הזנה 4 – 100% רימות. המזון המסחרי שנרכש מחברת רענן (www.raanan-fishfeed.com) מכיל 33% חלבון, 8% שומן ו-8% אפר, וגודל הגרגיר היה 2 מ"מ. מזון זה מותאם לגודל ולזן של הדגים. לקראת תחילת הניסוי נשקל כל דג בנפרד, ודגים בעלי משקל דומה הוכנסו לאותה בריכה, עם ממוצע משקל בהפרש של 16.1 גרם (מקסימום 25 גרם) לכל דג בבריכה. כל בריכה הכילה 8–11 דגים: 5–7 נקבות ו-2–4 זכרים, ובריכה אחת הכילה נקבות בלבד (איורים 6א ו-6ב). טמפרטורה וחמצן נמדדו מדי יום במערכות הבריכה ונעו בין 23–27 מעלות צלזיוס ו-7.5% עד 10.4% חמצן רווי. הדגים הוזנו במזון מסחרי פעמיים ביום, בבוקר ובצהריים, במשך 15 הימים הראשונים בבריכות. לאחר מכן, נחשפו הדגים לארבעת סוגי ההזנה המפורטים למעלה.

הדגים נשקלו כל שבועיים כדי לעקוב אחר גדילתם (איור 6ג). שני סוגי המזונות (מסחרי ורימות) צפו במי הבריכה (איור 6ד). 80% מתכולת המים ברימות הטריות אוזנו על ידי מתן 80% יותר רימות בהשוואה למזון מסחרי. בטיפול שכלל את שתי ההזנות, קיבלו הדגים תחילה את הרימות ולאחר 15–30 דקות נוסף המזון המסחרי.

איור 6 | **מתקן גידול הדגים והאכלתם ברימות של זבוב החייל השחור,** מו"פ ערבה, תחנת יאיר חצבה

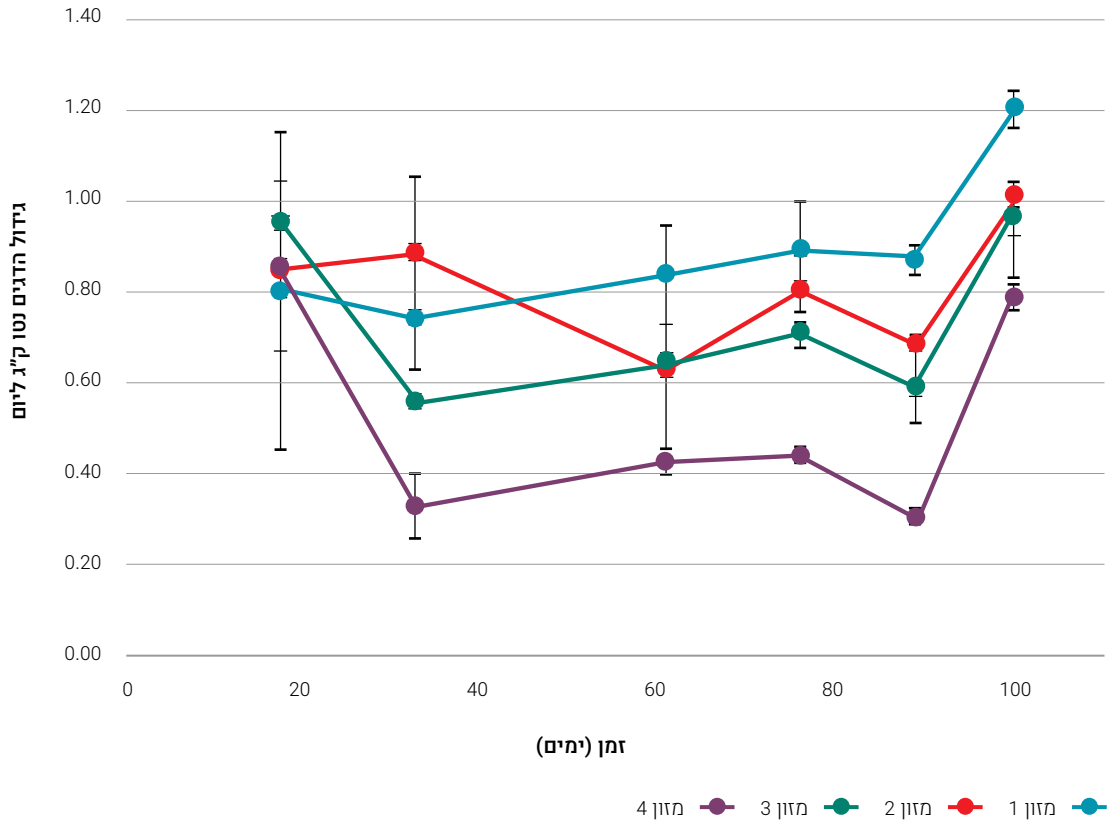
תוצאות

במהלך תקופת הניסוי נמצא שהדגים ניזונו מהר יותר מהמזון המסחרי מאשר מהרימות, אך בסוף כל יום רוב הרימות נצרכו על ידי הדגים. כמו כן, נראה שדגים קטנים יותר צורכים יותר את הרימות מאשר דגים גדולים יותר. שיעור התמותה לאורך כל הניסוי היה נמוך, ולא נצפו הבדלים בין טיפולי ההזנה השונים, כולל האכלה ברימות בלבד, מה שמעיד כי רימות זבוב החייל השחור אינן מזיקות לאמנון. ניתוח נתונים של הגידול הראה, שהדגים שמשקלם היה הגבוה ביותר, ניזונו מהטיפול של 100% מזון מסחרי. הדגים שמשקלם היה הנמוך ביותר, נמצאו בטיפול של 100% מזון רימות. כמעט ולא היה הבדל בגידול במשקל הנקי של הדגים בין שני המזונות המעורבים, אם כי שניהם הביאו לגידול נקי מעט נמוך יותר בהשוואה ל-100% הזנה מסחרית.

מסקנות

אין ספק שגידול אמנון הנילוס עם אוכל מסחרי מעובד וייעודי לדג זה, מביא לדגים עם משקל מרבי. עם זאת, התוצאות מראות שניתן להמיר לפחות 20% מהאוכל המסחרי ברימות זבוב החייל השחור ללא ירידה משמעותית במשקל הדג. יש לציין שמדדנו רק משקל, ונחוצים מדדים נוספים בעבודות המשך, כמו כמות החלבון בדג, כדי להבין לעומק את ההשפעה שיש לשימוש ברימות לתזונה על בריאות הדג ועל איכותו כמזון לבני האדם (גור ואח', 2017). יש לערוך מחקרים ארוכי טווח וייעודיים בתחום זה.

איור 7 | **השפעת סוג המזון על השינוי במשקל דגים עם הזמן (גידול בגרם דגים ליום).** מזון 1 = 100% מזון מסחרי, מזון 2 = 80% מסחרי ו-20% רימות, מזון 3 = 20% מזון מסחרי ו-80% רימות, ומזון 4 = 100 % רימות. בכל טיפול יש שלוש בריכות (חזרות).



ה. שימוש בדשן הנוזלי, שמתקבל מפירוק הפסולת על ידי הרימות, לדישון גידולי פלפל

שיטות

48 שתילי פלפל צעירים גודלו בחדרי גידול מבוקרי אקלים וחולקו לשלושה טיפולים שונים : טיפול 1 – ללא תוספת דשן, טיפול 2 – 500 מ"ל בשבוע תוספת דשן זבוב החייל השחור (דשן נוזלי מהביוקומפוסטרים של הזבוב), וטיפול 3 – 1,000 מ"ל בשבוע תוספת דשן של הזבוב. הצמחים הושקו בטפטפות של 1 או 2 ליטר לשעה. נמדדו מספר פירות ופרחים לצמח, גובה וקוטר גבעול.

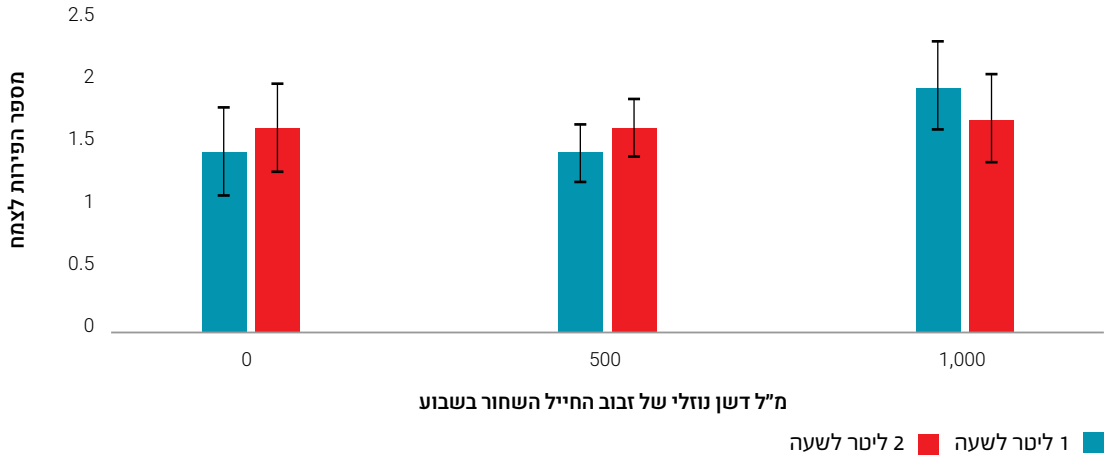
תוצאות

טרם הניסוי שלחנו דגימה של נוזל הקומפוסט למעבדות גילת לניתוח אלמנטים כימיים. ניתוח תוצאות הדגימה (איור 8) הראה שהנוזל מלוח מאוד (EC=19), אבל מכיל את כל האלמנטים הדרושים לדישון (אשלגן, מנגן, מגנזיום, אמוניה ועוד). התוצאות האלה עודדו אותנו לנסות את הדשן הנוזלי על צמחי פלפל (איור 9).

איור 8 | **תוצאות לבדיקת ריכוזי המינרלים, חומציות ומוליכות חשמלית בדשן הזבוב (דשן נוזלי מהביוקומפוסטרים של זבוב החייל השחור)**

הבדיקה	יסוד	יחידות	שיטת הבדיקה	תוצאה
pH	pH	הגבה	SM 4500H-B	6.2
מוליכות חשמל	E.C.	dS/m	SM 2510B	19.90
כלוריד	Cl	מ"ג/ל'	SM 4500-Cl B	811.0
N אמוני	N-NH4	מ"ג/ל'	SM 8038	1537.31
זרחן כללי	P	מ"ג/ל'	SM 3120B	286.500
אשלגן כללי	K	מ"ג/ל'	SM 3120B	3918.300
דו פחמה	HCO3	מ"ג/ל'	SM 2320B	10199.2
סידן	Ca	מ"ג/ל'	SM 3120B	558.600
מגנזיון	Mg	מ"ג/ל'	SM 3120B	333.400
בורון כללי	B	מ"ג/ל'	SM 3120B	3.494
ברזל	Fe	מ"ג/ל'	SM 3120B	4.038
אבץ	Zn	מ"ג/ל'	SM 3120B	0.894
מנגן	Mn	מ"ג/ל'	SM 3120B	1.166
נחושת	Cu	מ"ג/ל'	SM 3120B	0.448
גפרית	S	מ"ג/ל'	SM 3120B	132.400
מוליבדן	Mo	מ"ג/ל'	SM 3120B	0.031
SAR		יחס	Calculated in lab	2.650
N חנקתי	N-NO3	מ"ג/ל'		1.5 >
Na ICP	Na - ICP	מ"ג/ל	SM 3120B	316.500

איור 9 | **השפעת דשן נוזלי של זבוב החייל השחור על מספר הפירות בשתילי פלפל.** השתילים קיבלו השקיה של 1 או 2 ליטר לשעה, ללא דשן (0), או עם 500 או 1,000 מ"ל דשן נוזלי מהביוקומפוסטרים של זבוב החייל השחור במשך שבוע.



מסקנות

ממדידות ראשוניות (איור 9), נראה שבצמחי הפלפל, בטיפול עם דשן זבוב החייל השחור בלבד, מספר הפירות לצמח היה גבוה יותר בהשוואה לצמחים ללא דשן הזבוב כאשר ניתן ליטר אחד בהשקיית השתילים. כמו כן, מתוצאות בדיקות המעבדה שנעשו, נמצא כי רמת האשלגן בנוזל הדשן האורגני גבוה מאוד, וניתן לראות את ההשפעה של כמות האשלגן הגבוהה על כמות הפרחים בצמחי הפלפל. גם במדידות גובה הצמחים עלה כי השימוש בדשן הזבוב משפיע רבות על התפתחות הצמח. הניסוי התבצע בשיתוף פעולה עם המו"פ החקלאי ונוהל במלואו על ידם. בקבלת תוצאות הניסוי נוכחנו לגלות כי לא בוצע בניסוי חזרה עם דשן מסחרי. נתון זה חסר, ויש לבצע אותו שוב בהיקף גדול יותר.

דיון ומסקנות

במהלך השנה פעל מתקן הביוקומפוסטרים של הזבוב ותוחזק באופן יום-יומי, והיווה מוקד עניין לרבים מחקלאי האזור. במהלך תקופה זו נעשו ניסויים רבים ומגוונים בנושא. אין ספק שזבוב החייל השחור הוא העתיד לערבה בכלל ולחקלאים בפרט. יש לשקול אילו אפשרויות עומדות ברשותנו כדי לקדם ולפתח את התחום ובמקביל לשלב אותו בחיי הקהילה באזור. במהלך הפרויקט נוצרו שיתופי פעולה התחלתיים עם חקלאים מקומיים שמעוניינים לקחת את הפיילוט קדימה ולנסות להקים משק מודל אצלם. לדעתנו, יישום והרחבה של הפיילוט במשקים חקלאיים יחייבו הקמת מבנה ייעודי שירכז את הגידול של הזבוב וגם את הטיפול בפסולת. לצורך הקמת מתקן מסוג זה יש לחבור למועצה האזורית ערבה תיכונה או לגורם אחר כדי לקבל תמיכה כלכלית. כיום חקלאי שמגדל עגבניות מעביר את הפסולת לאתר יישובי בעזרת קבלן. לאחר פינוי הפסולת החקלאי אינו מודע לאופי הטיפול בפסולת באתר. אתגר נוסף באיסוף הפסולת החקלאית לטיפול על ידי הזבוב הוא הצורך בהפרדת סוגי פלסטיק למיניהם וחוטים לצורך הדליה של הפרי בשדה. מחלקת החינוך השתתפה בפרויקט ומעוניינת להמשיך בחלקים ממנו כחלק מהחשיבות למעורבות הקהילה. יש צורך בהמשך מחקר בתחום, היות שנושאים רבים עדיין לא נבדקו מספיק לעומק. טרם הספקנו לבצע היתכנות כלכלית להגדלת הפיילוט, בדיקות קרקע בהקשר של הניסוי בדשן האורגני ובדיקות בריאות בדגי המאכל בטווח הארוך. זבוב החייל השחור עשוי לספק שימושים רבים בכל מהלך חייו, ויכול לתרום רבות למעבר לחקלאות בת-קיימא. פירוק פסולת חקלאית וביתית באמצעות הזבוב ימנע שרפות יזומות ופירטיות הפוגעות בסביבה כולה, והשימוש ברימות הזבוב להזנת דגי מאכל יתרום רבות לבריאות הדגים ובסופו של דבר לאנשים הצורכים אותם למאכל. כדי לבדוק את הנתונים האלה יש לערוך מחקרים נוספים ארוכי טווח ומקיפים יותר שיעסקו למשל בבריאות הדגים (מצב הקיבה, אחוז החלבון בגוף, סימנים לשאריות פלסטיק) שניזונו מרימות שגודלו על מצע של פסולת חקלאית.

מקורות

בלומר ע. 2018. החלבון הבא הוא זבוב, *כלכליסט*, 5 בינואר.
https://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3728907,00.html

ברקן א. 2012. בקרוב אצלכם בקומפוסטר – זבוב החייל השחור. *אתר בידיים*, 8 במאי.
https://www.bayadaim.org.il

גור נ, סימון י, הורביץ א, סולווי ל, כץ ת, ברון י וביתן ע. 2017. קמח זחלי "זבוב החייל השחור" BSF כתחליף לקמח דגים במזון דגי פורל. *דיג ומדגה בישראל* **מ"ח**, 1-2017: 2054–2059.
http://aquacultureinisrael.com/he/showpub?i=2017-1

יונס-לוי ע, פיאלקו מ, שאלתיאל-הרפז ל, דנאי ע, ומרטינז ג'ג'י. 2018. זבוב החייל השחור: השפעות סביבתיות על פירוק פסולת וקבלת חומרי הזנה. בתוך: גרוסמרק צ, גורן ח, עבאסי מ וגרינברג ז (עורכים). מחקרים חדשים של הגליל, ספר שלישי. הוצאת המכללה האקדמית תל־חי. עמ' 154–169.

יונס-לוי ע, שאלתיאל-הרפז ל, מרטינז י ודנאי ע. 2017. עיבוד פסולת צמחית חקלאית בעזרת זבוב החייל השחור לקבלת קומפוסט בשל ומזון עתיר חלבונים להאכלת בע"ח. דו"ח סיום שנה שנייה, הוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות, 24 עמודים.

לן ש. 2020. הזבוב השחור שיציל את תעשיית המזון לבעלי חיים. *גלובס*, 4 באוקטובר.
www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001344269

Jonas Levi A, Shaltiel-Harpaz L, Danai O, and Martinez JJI. 2016. Decomposition of waste by black soldier fly larvae can be controlled. The International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts & Environmental Sustainability, Sitges, Spain. Poster presentation.

Shelomi N. 2020. Potential of black soldier fly production for Pacific small island developing states. *Animals* **10**(6): 1038. doi: 10.3390/ani10061038.

תוכנית העבודה

חודשי הפרויקט	תיאור התוכנית הספציפית (האחראי על חלק זה)	הישג צפוי	הישג מצוי
2–1	הקמת מתקן ביוקומפוסטר לרימות זבוב החייל השחור, רכישת מרסקת גזם, משקל רצפתי. גיוס כוח אדם ייעודי (וינטרס)	מנהרה מוצלת ומאווררת עומדת הכוללת מדפים עם כ-20–40 ביוקומפוסטרים. טכנאי / עוזר מחקר המכיר את כל הטיפולים ואת מעגל החיים של הזבוב. הפעלה שוטפת של מרסק הגזם	רכשנו עם התחלת הפרויקט מרסקת גזם (מרסקת גזם ביו 100) ומשקל רצפתי (למעקב אחר משקל הקומפוסט). הקמנו חדר ביוקומפוסטרים עם טמפרטורה מבוקרת. החדר מכיל 12 ביוקומפוסטרים, וכל אחד מהם מטפל ב-10 ק"ג פסולת חקלאית
8–3	הפעלה שוטפת של המתקן במשך חצי שנה (וינטרס) אנליזה של התאמת הרימות להאבסת בעלי חיים ואנליזה של איכות הקומפוסט (ג'ונסון)	איסוף וריסוק של לפחות 100 ק"ג פסולת חקלאית (משקל רטוב) כל שבוע. ייצור רציף של ביצים (5 גרם לשבוע) ורימות. איכות הרימות הבוגרות (אך בשלב הלבן) מתאימה כמזון לגידול דגים ובעלי כנף	הגענו למצב שמתקיימת רבייה כל יום, ואנו יכולים לאסוף למעלה מ-1 גרם ביצים כל יום. הצלחנו לטפל ב-60.5 ק"ג כל שבוע, עדיין מרחק מה מ-100 ק"ג לשבוע שנקבעו כיעד ראשוני, ורחוק מדי מ-250 ק"ג לשבוע שנקבעו כיעד סופי
8–4	ניסויים ראשוניים עם רימות זבוב החייל השחור (רימות שניזונו שבועיים מפסולת חקלאית) להאבסת דגי טילפייה (אמנון הנילוס) (וינטרס וג'ונסון)	דגי האמנון לא איבדו ממשקלם כשניזונו מרימות בוגרות (אך עדיין בשלב הלבן) ביחס למשקלם של דגים באותו גיל שניזונו ממזון דגים מסורתי	נעשה ניסיון ראשוני להאכלת דגים ברימות בהקפאה יבשה. הניסוי כלל אוכל מסחרי מעורבב עם רימות טחונות של הזבוב. ניתן לחסוך כ-80% מהאוכל המסחרי
10–3	פתיחת המתקן לתושבים ולתלמידים מהאזור (הרפז ובדרו)	לפחות 2 עבודות גמר בנושא זבוב החייל השחור – בית ספר שיטים דרכ"א (ספיר). העלאת המודעות לחקלאות מעגלית. התעניינות בהעתקת מודל המתקן למושבים הערבה. גיוס משוגעים לנושא	גיל עפרוני פרשה מעבודת הגמר. התבצע פרויקט מחקר על ידי סמינר מורים לביולוגיה (השפעת הטיפול המקדים בפסולת על משקל הפסולת הנותרת ומשקל רימות הזבוב – פרויקט מחקר של אופיר ליכט ושקד כרמל). נושא הזבוב פורסם בקהילה בשתי הרצאות פופולריות. מתקן הזבוב הוצג בביתן של המו"פ בתערוכת היום הפתוח
12–10	ניסויים משותפים עם המו"פ החקלאי בתחום הזנת הדגים באמצעות רימות הזבוב ושימוש בדשן הנוזלי שמתקבל בביוקומפוסטרים. ניתוח תוצאות כמותיות של הפרויקט (וינטרס וג'ונסון)	עריכת מספר ניסויים שיביאו תוצאות מובהקות בשימוש בזבוב כמקור הזנה חלופי לדגי מאכל. דו"ח סיכום המתאר את הפרוטוקול המוצע לטיפול בפסולת צמחית בערבה, והכנה להיתכנות כלכלית להגדלת המתקן לרמה מושבית (מתקן מרכזי במושב בערבה)	בוצעו מספר ניסויים ובדיקות שהתמקדו בשימוש ברימות הזבוב כמקור הזנה חלופי לדגי אמנון הנילוס, ובדישון עם הדשן של הביוקומפוסטרים. תוצאות הניסויים מראות כי יש מקום וחשיבות להמשך ולהגדלה של הניסוי כדי לקבל תוצאות ברורות יותר. לא הספקנו להכין תוכנית היתכנות כלכלית. קיבלנו מספר פניות מחקלאים מקומיים לפתיחת מתקן מקומי במשק שלהם

פיתוח גישה חדשנית למניעת זיהום משאבי מים מדישון עודף בחקלאות

יונתן יקותיאל, מכון צוקרברג לחקר המים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
עפר דהן, מכון צוקרברג לחקר המים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
שלומי ארנון, בית הספר להנדסת חשמל ומחשבים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
יובל רותם, מכון צוקרברג לחקר המים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

מבוא

השפעת דישון חנקני בחקלאות על משאבי מים

גידול באוכלוסיית העולם הביא בעשורים האחרונים לגידול ניכר בתפוקת המזון ביחס לשטחי הגידול. על פי ארגון המזון והחקלאות (FAO) של ארגון האומות המאוחדות (UN), בין השנים 2000 ל-2018 חל גידול של 50% בתפוקה החקלאית ביחס לגידול של 5% בלבד בשטחי הגידול (FAO, 2020). הגידול בכמות המזון המיוצר ביחס לשטח הגידול התאפשר בראש ובראשונה בשל שימוש אינטנסיבי בדשנים החיוניים לתהליך הגידול, בעיקר חנקן, אשלגן וזרחן. מכלל האלמנטים החיוניים לגידול, הדשן החנקני הוא המרכיב המרכזי והגורם המגביל לצימוח. בשנת 2018 חנקן היווה 58% מכלל הדשן שיוצר בעולם, 190 מיליון טונות (FAO, 2020).

חנקה כמזהם משאבי מים עיקרי, סיכונים אפשריים למי שתייה ולמערכות טבעיות

אספקת החנקן למרבית הצמחים מתבצעת באמצעות שתי תרכובות חנקן עיקריות – אמוניום (NH_4^+) וחנקה (ניטרט, NO_3^-). בקרקעות אווירניות, שיש בהן כמות מספקת של חמצן, אמוניום נוטה להפוך לחנקה באמצעות תהליך החִ̇נקון (ניטריפקציה), ולכן, החנקה היא למעשה מקור החנקן הנפוץ ביותר עבור יבולים חקלאיים. החנקה היא תרכובת יציבה כימית בתנאי קרקע אווירניים, מסיסה מאוד ומוסעת בקלות עם שטף המים. לפיכך, לחנקה יש פוטנציאל גבוה לחלחל אל מתחת לבית השורשים ולהגיע אל מי התהום כאשר משתמשים בה בכמויות הגבוהות מיכולות הצריכה של שורשי הצמח. ואכן, במשך העשורים האחרונים זיהום מי תהום מחנקה הוא אחד הגורמים העיקריים לפגיעה במשאבי מים בכל רחבי העולם (Orban et al., 2010; Jin et al., 2012). גם בישראל הוביל זיהום מי תהום מחנקה להתדרדרות באיכות מי התהום ולסגירת בארות שאיבה יותר מאשר כל גורם זיהום אחר (Elhanany, 2009). נמצא, כי לריכוזים גבוהים של חנקה יש מתאם גבוה לבעיות בריאותיות שונות, ובהן סרטן במערכת העיכול (Powlson, 2008) וכן תסמונת התינוק הכחול (Walton, 1951). אי לכך, הערך המרבי של חנקה המותר במי שתייה נקבע ל-50 מג"ל על פי הנחיות ארגון הבריאות העולמי (WHO). נוסף על כך, עודפי חנקה עשויים להגיע לסביבה באמצעות נגר עילי או כניקוז טבעי של מי התהום למקורות מים עיליים כנחלים ואגמים ואף לים, ולגרום לנזקים סביבתיים רבים. למשל, ריכוזים גבוהים של חנקה במערכות מים עיליים עשויים להוביל לפריחת אצות ולמחסור בחמצן הגורם לבסוף להעתרה (אֵיטרופיקציה). נוסף על נזקים ישירים למקורות המים, יש לשימוש עודף בדשנים השפעה משמעותית על שחרור גזי חממה ועל שינוי האקלים. ייצור דשן חנקני הוא תהליך עתיר אנרגיה, התורם לזיהום האוויר בפחמן דו-חמצני. לכן שימוש נרחב בחומרי דשן ברמות שאינן נדרשות מוביל לזיהום אוויר מיותר. נוסף על זיהום האוויר הנובע מתהליך הייצור של דשנים תעשייתיים, שימוש עודף בדשנים בחקלאות מוביל לשחרור חמצן דו-חנקתי (N_2O) מהקרקע לאטמוספרה, דבר שיש לו השפעה מהותית על שינוי האקלים.

שיטות לניהול משטר הדישון החקלאי

מחקרים רבים מראים כי עלייה בזמינות החנקן לצמח מובילה לגידול בכמות ובאיכות של היבול. ליחס זה ישנו ערך שיא, שמעליו תוספת של חנקן איננה משפיעה על הצמח או מביאה לגידול ביבול. יתרה מזאת, עודפי החנקן שאינם נצרכים על ידי הצמח מוסעים במי ההשקיה אל התווך הלא רווי מתחת לבית השורשים. יעילות השימוש בחנקן מכונה גם 'נְצולת החנקן', ומוגדרת כיחס בין כמות החנקן שנצרכה על ידי הצמח לבין כמות החנקן שפוזרה בקרקע. נצולת החנקן ברוב ענפי החקלאות המסחרית נחשבת לנמוכה יחסית, ונעה בטווח של 20% עד 50% (Chien, 2016), ולכן קיים בזבוז גדול של דשנים שאינם נצרכים בעת הגידול. קביעת כמות הדישון המדויקת

מהווה אתגר גדול בשל שונות גדולה מאוד בתכונות הקרקע, בתנאי הסביבה וביכולת הצריכה של הצמח כתלות בסוג היבול ובשלב הגידול. שונות גדולה זו מובילה חקלאים רבים להשתמש בכמויות עודפות של דישון. כמויות הדישון נסמכות בדרך כלל על ניסיון אישי של החקלאי או על המלצות דישון כלליות, ללא התייחסות לריכוז האמיתי של מרכיבי הדשן בקרקע. מדידה של ריכוז הדשנים בקרקע מבוססת בדרך כלל על מגוון של שיטות. הן כוללות דגימה עיתית או חד-פעמית של מי הקרקע ומדידה של ריכוז הדשן לצורך קביעת משטר הדישון. הדגימה מתבצעת לרוב באמצעות יניקת תמיסת קרקע ושליחת הדוגמה לבדיקת מעבדה או בחינתה בעזרת סט בדיקה המיועד לשדה. שיטה זו נמצאת בשימוש נרחב, אך דורשת מאמץ רב, ולכן יש קושי ליישמה בתדירות גבוהה המשקפת את השונות היומית והעונתית הגדולה של זמינות החנקן בבית השורשים. לפיכך, גם דרך זו אינה מאפשרת התאמה יעילה של משטר הדישון. כדי להתמודד עם הצורך העולמי בהגדלת ייצור מזון ובמקביל למנוע נזקים סביבתיים הכרוכים בשימוש עודף בדשנים ובזיהום מקורות מים בחנקה, יש לאמץ שיטות חדשות לניהול משטר הדישון באופן מיטבי שמונע שחרור עודפי חנקה מתחת לבית השורשים אל מי התהום.

מדידה בזמן אמת כבסיס לניהול משטר הדישון ולדיוק בו

קביעת כמות הדישון המדויקת וצמצום הזליגה של עודפי חנקה ניתנים לביצוע אם תתאפשר מדידה רציפה של ריכוז החנקה במי הקרקע. בליעה ספקטרית בתחום האולטרה-סגול (UV absorption spectroscopy) היא שיטה הידועה כיעילה במדידת ריכוזי חנקה בתמיסה. למרות זאת, יישום השיטה למדידות שדה מוגבל יחסית, ולא יעיל במיוחד. הסיבה לכך נעוצה בעובדה שמי הקרקע, בעיקר קרקע חקלאית, מכילים בדרך כלל ריכוזים גבוהים של פחמן אורגני מומס (DOC) הבולע אור בתחום אורכי גל דומה לזה של חנקה. בשל כך, הבליעה שמקורה בחומר אורגני חופפת את זו של החנקה, וגורמת למיסוך אות הבליעה הספקטרי שמקורו בחנקה. שיפור השיטה האנליטית למדידה של ריכוז חנקה במי קרקע התקבל לאחרונה תוך שימוש בשני אורכי גל בו-זמנית, האחד בעל מתאם לריכוז הפחמן האורגני המומס בלבד והאחד בעל מתאם לריכוז המשותף של החנקה והחומר האורגני (Yeshno, 2021). שימוש בבליעה בתחום של שני אורכי הגל האלה מאפשר למעשה ניכוי של השפעת הפחמן האורגני המומס והערכה מדויקת של ריכוז החנקה. עם זאת, מאחר שהרכב הפחמן האורגני המומס בכל קרקע הוא ייחודי, השיטה מיושמת באמצעות עקומות כיול ספציפיות לכל אתר (Yeshno, 2019). יישום השיטה בקרקע נמצא יעיל בקביעת ריכוז החנקה, ומתוך כך גם לקביעת מנת הדשן המדויקת הנדרשת לצימוח יעיל תוך צמצום הזליגה של עודפי החנקה מבית השורשים אל מי התהום.

המטרה העיקרית של מחקר זה היא פיתוח אלגוריתם לקביעת משטר דישון מיטבי המבוסס על מדידות רציפות של ריכוז החנקה בבית השורשים. השגת מטרה זו נסמכת על שני שלבים מרכזיים. האחת – הקמת תשתית למדידה רציפה של ריכוז החנקה בקרקע בתנאי שדה מלאים לאורך עונת גידול מלאה, והשנייה – עיבוד נתונים רציפים על הדינמיקה של השינויים בריכוז החנקה והרטיבות בפרופיל הקרקע, באופן שיאפשר דישון מיטבי ללא זליגה של חנקה אל מתחת לבית השורשים. עמידה בכל אחד מהשלבים האלה מהווה אתגר טכנולוגי ומדעי מהמעלה הראשונה, ועמידה בו תהיה חידוש ברמה עולמית. להערכתנו, השילוב של טכנולוגיה למדידה רציפה של ריכוזי חנקה במי הקרקע עם אלגוריתם המנתח באופן רציף את התכונות הכימיות וההידרולוגיות של הקרקע ומפיק מהן המלצות דישון והשקיה יומיות, יאפשר עלייה בייצור החקלאי והפחתה של נזקי זיהום מקורות מים ופגיעה במשאבי טבע.

שיטות

המחקר מבוסס על ניסוי שדה שנעשה בחממה בתחנת יאיר – מכון מחקר ופיתוח ערבה מרכזית. הניסוי צפוי להיערך במשך מספר עונות גידול (2–3). כל עונת גידול נמשכת כ-6–7 חודשים. דו"ח זה כולל נתונים מעונת הגידול הראשונה, ספטמבר 2021 – מרץ 2022. הניסוי שולב בפרויקט מחקר רחב הכולל מספר רב של חלקות למטרות ניסוי שונות ומגוונות, בביצוע חוקרים שונים. בדו"ח זה נתייחס רק לחלק הנוגע למטרות הניסוי המבוצע בפרויקט זה. המפרט הטכני של כל מערך הניסוי פורט בהרחבה בדו"ח הביניים שהוגש לנקודת ח"ן בדצמבר 2021. כאן ייכללו רק הפרטים הטכניים הנחוצים להבנת תוצאות הניסוי. הניסוי כולל שתי חלקות לגידול פלפל, וכל אחת מנוטרת באופן רציף על ידי מערכת למדידת חנקה. באחת החלקות משטר הדישון משתנה ומותאם לריכוז החנקה הנמדד בזמן אמת בקרקע, ואילו בחלקה השנייה משטר הדישון נקבע על פי פרוטוקול קבוע מראש, כזה המקובל לגידול של פלפל על ידי מומחי גידול בערבה.

המערכת למדידת חנקה כוללת מערכת אוטומטית ליניקה של מי קרקע ומדידה ספקטרית בסדרת עומקים

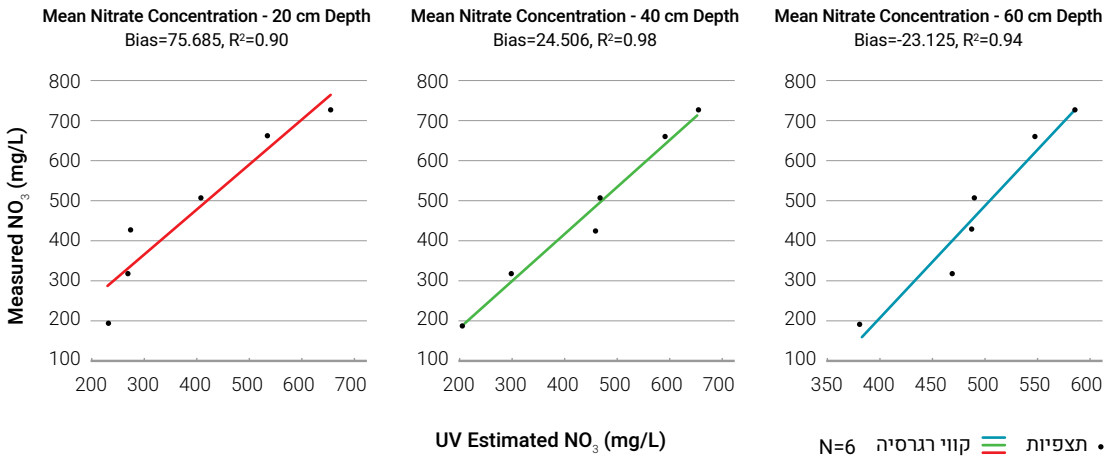
לאורך פרופיל הקרקע של שתי החלקות (20, 40 ו-60 ס"מ). המדידות מתבצעות בשלוש חזרות לכל עומק בשתי החלקות, בסך הכול 18 נקודות מדידה. מערכת המדידה מאפשרת זרימה רציפה של מי הנקבובים מהקרקע אל עבר תא אופטי שמתבצעת בו מדידה של תכונות הבליעה של התמיסה. המדידה מתבצעת בארון בקרה הכולל מנורה שמפיקה אור בתחום אולטרה-סגול וספקטרופוטומטר בתחום התואם. מולטיפלקסר רובוטי מאפשר ניתוב של מקור האור והגלאי בין תאי המדידה האופטיים באופן המאפשר מדידה של כל תא בנפרד ברמת דיוק גבוהה מאוד. הדיוק במדידה הספקטרית נבחן אל מול בדיקות מעבדה סטנדרטיות. דוגמאות מים נלקחו מכל תא במערכת בתדירות של אחת לשבועיים, ונבחנו באמצעות טכניקת כרומטוגרפיה יונית לקביעת ריכוז החנקה המדויק.

הדישון המבוקר מנוהל באופן המאפשר צמצם מרבי של זליגת חנקה אל מתחת לבית השורשים תוך שמירה על ריכוז מיטבי של רמת חנקה התואמת את דרישות הצמח. בשלב הראשון של המחקר התאמת הדישון נעשית ביחס לערך סף של ריכוז חנקה הנקבע על פי הריכוז המרבי שנדרש לגידול. ריכוזים גבוהים מהנדרש נשטפים אל מתחת לבית השורשים, כפי שמנוטר על ידי החיישן ב-60 ס"מ עומק. כדי לשמר את הריכוז בקרקע בסביבות ערך הסף התבצעו הערכות יומיות של ריכוז החנקה בפרופיל הקרקע, ובהתאם לכך נקבע משטר דישון לימים הבאים. מערכת הדישון וההשקיה הותאמה מראש לאפשר שינויים יומיים במשטר הדישון ולתזמן את מנות הדשן והמים לאורך היום. הנתונים שנאספו משלב זה של המחקר אפשרו פיתוח תשתית לאלגוריתם הדשיה שמנתח באופן רציף את נתוני הריכוז וקובע את מנות המים והדשן בתהליך רציף של קבלת החלטות.

תוצאות

השימוש במערכת ניטור חנקה המבוססת על טכנולוגיית בליעה בתחום האולטרה-סגול נמצאה כיעילה במדידת חנקה באופן רציף בתנאי שדה ובקרקע המכילה ריכוז גבוה של פחמן אורגני מומס (איור 1). השוואת נתוני הריכוז שנמדדו בבדיקות מעבדה סטנדרטיות ונתוני הריכוז שנמדדו על ידי המערכת בשדה מציגה דיוק גבוה של השיטה. כדי למדוד את מידת דיוק המערכת חושבה התאמה לינארית בין מדידות המערכת לבין מדידות המעבדה. ההתאמה נבדקה עבור כל נקודת דגימה בפני עצמה וכן עבור ממוצע הנקודות השונות המייצגות עומק זהה בפרופיל הקרקע. ערך המתאם (R^2) שהתקבל עבור ממוצע נקודות המדידה בעומקים 20, 40 ו-60 ס"מ הוא 0.9, 0.98 ו-0.94 בהתאמה.

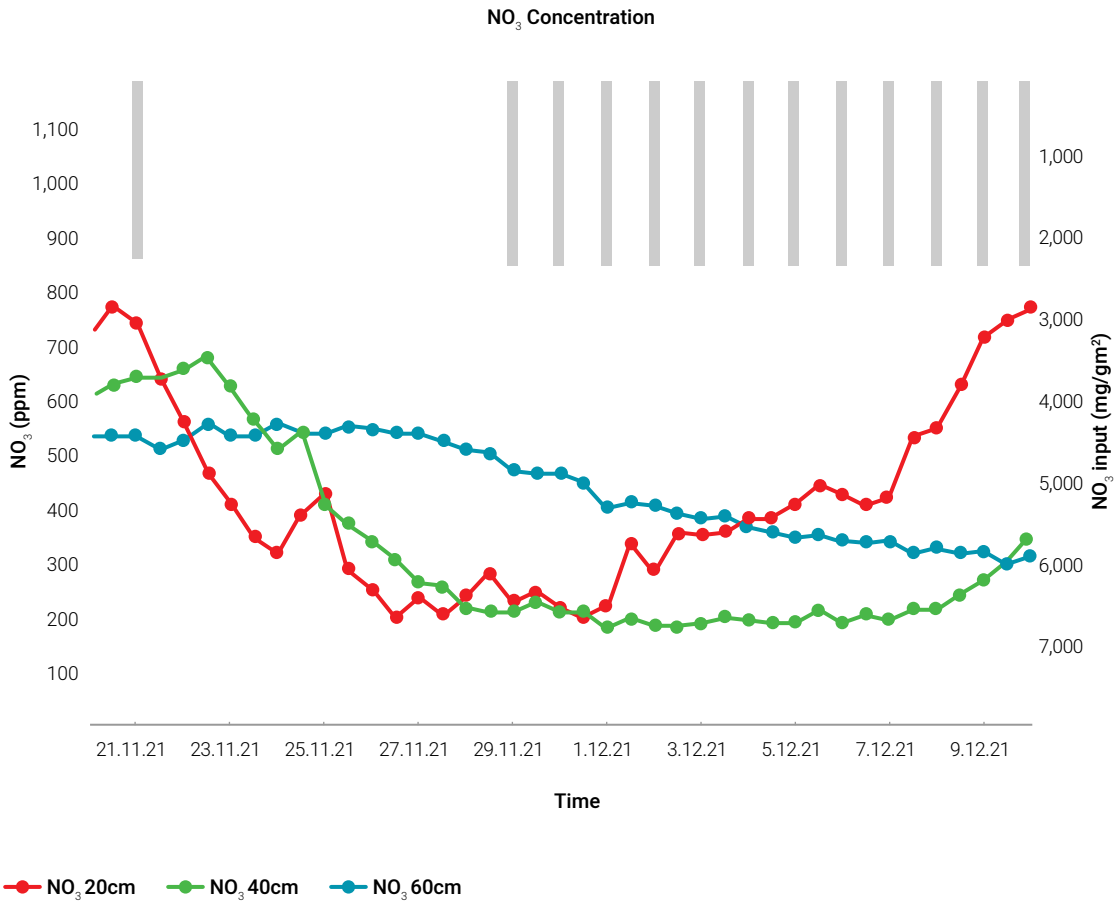
איור 1 | **תיקוף מדידות מערכת ניטור החנקה.** ריכוז חנקה מדוד באמצעות מערכת הניטור בשדה ביחס לזה של בדיקת מעבדה סטנדרטית בשלושה עומקים.



נתונים ממערכת המדידה נותחו באופן יום-יומי בתקופות מסוימות לאורך עונת הגידול, ומשטר הדישון נקבע בהתאמה (איור 2). המדד לקביעת משטר הדישון היה לצמצם את ריכוז החנקה מתחת לבית השורשים (בעומק 60 ס"מ) ואת כמות הדשן שניתנת תוך שמירה על ערך סף של 200 מ"ג לליטר חנקה בבית השורשים (עומק 20 ס"מ). ניטור הקרקע והתאמת משטר הדישון החלו בחודש נובמבר 2021, לאחר 2–3 חודשים של דישון במשטר קבוע. בשלב זה ריכוזי החנקה היו גבוהים מאוד והגיעו עד ל-700–800 מ"ג לליטר בבית השורשים, ריכוז הגבוה יותר מפי ארבעה מהריכוז שהצמח מסוגל לצרוך, ול-550 מ"ג לליטר מתחת לבית השורשים. בהתאמה לעודפי

החנקה הגבוהים האלה נקבע משטר של הרעבה, ובו לא פוזר כלל דשן, עד שריכוזי החנקה בעומק 20 ס"מ הגיעו לערך הסף. משטר זה הוביל לירידה דרמטית בריכוזי החנקה בעומק 20 ס"מ, ולאחר מרווח זמן קצר גם ב-40 ס"מ, כך שהריכוזים הגיעו אל ערך הסף לאחר 6 עד 8 ימים בהתאמה. לאחר 8 ימים של הרעבה הדשן הוחזר על פי כמות הדשן במשטר הדישון הקבוע. ריכוזי החנקה מתחת לבית השורשים ירדו בקצב מתון בהרבה והגיעו לערך מינימלי של 290 מ"ג לליטר לאחר 20 ימים מתחילת משטר ההרעבה.

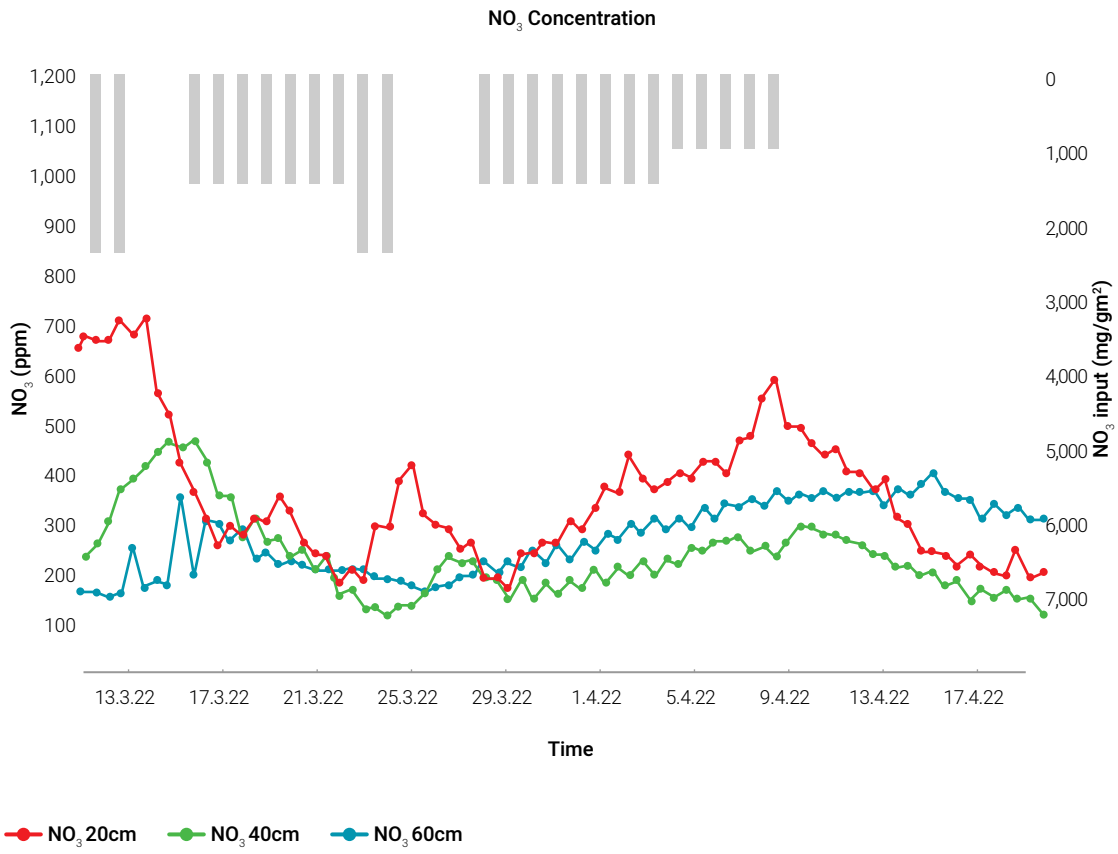
איור 2 | **ריכוזי החנקה בעומקים השונים בתקופה 1 – משטר הרעבה**



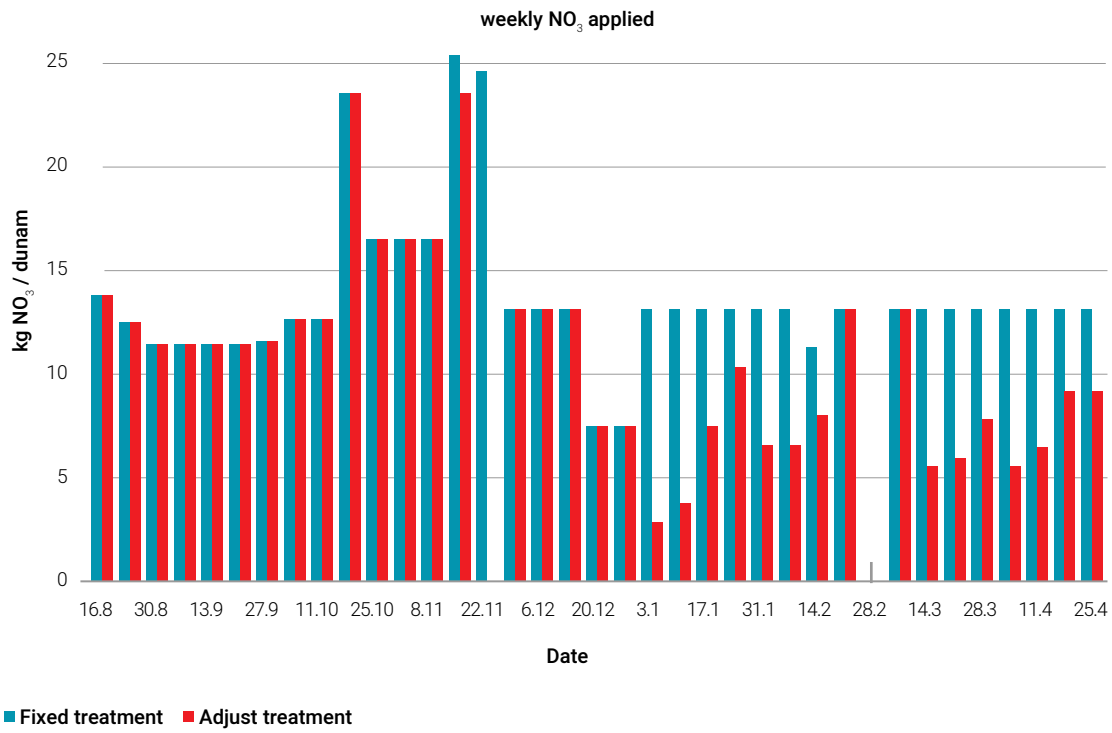
במהלך תקופה נוספת נקבע מינון הדשן באופן יום-יומי, בתחילה כדי להפחית את הריכוז בבית השורשים עד לערך הסף ולאחר מכן כדי לשמר אותו בטווח ערך זה. בכל יום נבחר אחד מתוך ארבעה משטרי דישון אפשריים – 100%, 50%, 25% או 0% בהשוואה למשטר הדישון הקבוע. משטר דישון זה נמשך 32 יום ובמהלכו כמות הדשן שפוזרה הייתה בממוצע 39% ביחס למשטר הדישון הקבוע, ולאורך כל התקופה ריכוזי החנקה בבית השורשים לא ירדו באופן משמעותי מתחת לערך הסף. התוצאות מעידות על הפוטנציאל הגבוה להפחתת כמויות הדשן שבשימוש, ולצמצום שטפי החנקה בהנחה שמשטר דישון דומה יורחב ויופעל לאורך כל עונת הגידול. יתר על כן, הפחתת כמות הדשן נעשתה באופן שמרני, וריכוזי החנקה היו בחלק מהזמן מעל ערך הסף, ולמעשה היה ניתן להפחית אף יותר את כמויות הדשן. לדוגמה, בתקופת הזמן שבין 29.03.22 ועד 09.04.22 השתמשנו רק ב-50% או ב-25% מכמות הדשן, ואף על פי כן ריכוז החנקה עלה עד ל-500 מ"ג לליטר. לפיכך, התהליך יכול להיות אף יעיל יותר ולחסוך כמויות גדולות יותר של חנקה, אם תהליך קבלת ההחלטות יבוצע באופן אוטומטי באמצעות אלגוריתם דישון.

במשך כל תקופת הניטור חסך משטר הדישון המותאם 23% מכמות הדשן החנקני במשטר הדישון הקבוע – במקום 495 ק"ג חנקה לדונם בטיפול הקבוע השתמשנו רק ב-381 ק"ג חנקה לדונם בטיפול המותאם (איור 3). כיוון שהניטור החל רק לאחר שלושה חודשים מיום השתילה, והטיפול המותאם נערך רק בתקופות מוגדרות במשך העונה, פוטנציאל החיסכון גדול ומשמעותי יותר, ועשוי היה להגיע לכ-50% (איור 4).

איור 3 | ריכוזי החנקה בעומקים השונים בתקופה 2 – קביעת כמות דשן יומית



איור 4 | כמות החנקה השבועית שניתנה במשטר הדישון המותאם והקבוע



אלגוריתם הדשיה

על פי תוצאות עונת הגידול הראשונה, מערכת ניטור החנקה הוכחה כיעילה בניהול ובייצוב של ריכוזי החנקה בבית השורשים. אף על פי כן, התאמת משטר הדישון המתבצעת באופן ידני דורשת מאמץ וזמן רב. השינויים המתרחשים בקרקע עשויים להיות מהירים מאוד, ולפיכך דורשים מעורבות יום-יומית בקביעת כמות הדשן המדויקת. יתר על כן, שיטה זו אינה מדויקת מספיק, ופעמים רבות כמות הדשן עשויה להביא לעלייה או לירידה בלתי צפויות מערך הסף ולעודף או לחוסר של חנקה, בהתאמה. לפיכך, כדי לייעל את תהליך הדישון ולהפוך אותו למדויק יותר יש צורך בניהול משטר הדישון במערכת בקרה אוטומטית.

שיטת הניהול האוטומטי של משטר הדישון יכולה להתבסס על מערכות קיימות לייעול ההשקיה ולהשגת הדיוק בה, שנמצאות בשימוש נרחב ברחבי העולם ומתבססות על שיטות שונות. השיטות להשגת דיוק בהשקיה נבדלות זו מזו ברמת המורכבות שלהן, החל משיטה קלאסית המתבססת על ערך סף בלבד ועד לשיטות מורכבות הכוללות מודל חיזוי ושימוש בבינה מלאכותית. יש יתרונות וחסרונות מובנים לרמת המורכבות של השיטה וליכולת להשתמש בה בקנה מידה נרחב. לפיכך, המטרה במחקר זה היא לפתח שיטה יעילה אך פשוטה, שניתן ליישם אותה בקלות בניסוי שתוצאותיו בנות יישום גם על ידי חקלאים שנמצאים באזורים גאוגרפיים שונים ובתנאים סביבתיים שונים, ומעבדים קרקע בעלת תכונות שונות ויבולים שונים.

מערכת בקרה פרופורציונית, אינטגרלית דיפרנציאלית (PID control system) היא מערכת בקרה שנמצאת בשימוש נרחב בתחומי תעשייה שונים ומגוונים ואף בתחומי ההשקיה המדייקת. מערכת זו יכולה להפוך את התהליך המבוקר למדויק יותר מבלי להתבסס על נתוני עבר שנאספו או להשתמש בכוח החיזוי. המערכת מחשבת באופן רציף את השגיאה – המרחק בין ערך הסף שהוגדר לבין המצב העכשווי של המערכת. הפלט של המערכת מבוסס על שלושה רכיבים – פרופורציוני, אינטגרלי ודיפרנציאלי – של ערכי השגיאה, ולכל אחד מהרכיבים תפקיד משלו ומשקל יחסי משלו הניתן לקביעה (איור 5). הממוצע המשוקלל של שלושת הרכיבים האלה אחראי לקביעת הערך הסופי היוצא מן המערכת. הרכיב הפרופורציוני הוא למעשה הרכיב הבסיסי, והוא נמצא ביחס ישר לשגיאה של המערכת. שגיאה גדולה מערך הסף תוביל לביצוע תיקון גדול יותר, ושגיאה קטנה תוביל לתיקון קטן. הרכיב האינטגרלי, שמטרתו לבצע תיקון על בסיס שגיאות העבר, סוכם אותן לערך אחד, ומטרתו למנוע מצב של שגיאה קבועה וחוזרת. הרכיב הדיפרנציאלי משקף את קצב השינוי של שגיאת המערכת ומשמש למעשה כלי המאפשר לחזות את השינוי העתידי.

להלן הניסוח המתמטי של פעולת המערכת:

(1)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_{t-t'}^{t} e(\tau)d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

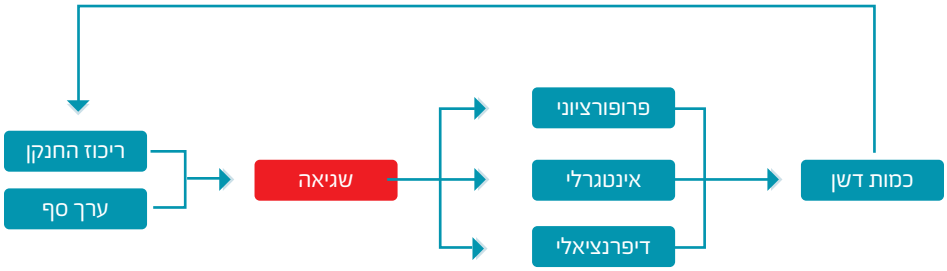
כאשר:

- u(t) הוא הפלט של המערכת
- e(t) הוא ערך השגיאה המוגדר כהפרש בין ערך הסף לערך המדוד
- K_p, K_i, K_d הם המקדמים של הרכיבים הפרופורציוני, האינטגרלי והדיפרנציאלי, בהתאמה
- t הוא הזמן
- t' הוא משך הזמן הנכלל בחישוב השגיאה ברכיב האינטגרלי

במערכת המוצעת לניסוי זה, ערך הסף לריכוז החנקה בקרקע ייקבע בהתבסס על דרישות הצמח. בשלבים מוקדמים של הגידול הערך יחושב רק עבור עומק של 20 ס"מ, בהתאם לאורך ולצפיפות הצפויים של השורשים. עם התארכות השורשים לאורך תהליך הגידול, ערך הסף יובא בחשבון גם עבור עומק של 40 ס"מ, וממוצע משוקלל יחושב עבור שני העומקים. ריכוזי החנקה ינוטרו באופן רציף ומערכת הבקרה תתאים את מינוני הדישון הנדרשים פעם או פעמיים ביום על פי שלושת רכיבי מערכת הבקרה. אנו צופים ששימוש במערכת לניטור החנקה יחד עם מערכת הבקרה המוצעת לקביעת משטר הדישון יוביל לחיסכון משמעותי ביותר בכמות הדשן שתשמש ובשטפי החנקה מתחת לבית השורשים.

השימוש במערכות הניטור לחנקה בקרקע ממשיך לעונות הקרובות בבתי רשת בערבה. בהתאם לכך, האלגוריתם שבאמצעותו מנותחים השינויים בריכוזי החנקה בקרקע לכדי התוויה של מנות ההשקיה והדישון כבר נמצא בשלבים ראשונים של פעילות. כמובן שבשלב זה, כדי להימנע מפגיעה בגידול, תוצאות האלגוריתם מנותחות באופן יום-יומי, והמערכת אינה מופעלת עדיין בצורה אוטומטית. לאחר שיושלם תהליך הכיול, המערכת תעבור לדישון אוטומטי תוך בקרה צמודה של תפקודי המערכת.

איור 5 | **תיאור סכמטי של מערכת הבקרה**



מסקנות

מערכת ניטור למדידה של ריכוז חנקה בקרקע הופעלה בניסוי שדה במהלך עונת גידול מלאה של פלפל בחממה בערבה. מדידות רציפות של ריכוז החנקה בפרופיל הקרקע בוצעו בשתי חלקות. בחלקה אחת ממשק הדישון נקבע בהתאם לממשק הגידול המקובל, ואילו בחלקה השנייה נקבע ממשק הדישון וההשקיה בהתאם לדינמיקה של השינויים בריכוז החנקה בפרופיל הקרקע. הניסוי בוצע בשני שלבים. בשלב הראשון נלמדה הדינמיקה של היחס בין משטר הדישון להשתנות ריכוז החנקה בפרופיל הקרקע, ובחלק השני נקבע משטר הדישון וההשקיה בהתאם לערכי סף של ריכוזי חנקה רצויים בבית השורשים ומתחת לו. שני שלבים אלה הכינו את התשתית לבנייה של אלגוריתם דישון והשקיה שיבוסס על מדידה רציפה של ריכוז החנקה בפרופיל הקרקע. התוצאות הראו לראשונה שניתן להשיג יבול מיטבי תוך התאמת משטר הדישון לריכוז האמיתי בקרקע. מתוך כך עולה שניתן להגיע לחיסכון של לפחות 50% מכמות הדשן וזאת תוך כדי שמירה על הריכוז המרבי הנדרש לגידול מיטבי. מעבר לכך, יישום השיטה הראה כי ניתן להגיע לגידול מיטבי תוך הקטנה משמעותית של זליגת חנקה אל מתחת לבית השורשים ולמנוע זיהום של משאבי מים. ניתוח תוצאות הניסוי יאפשר בחירת אלגוריתם מתאים שישמש להפעלה אוטומטית של מערכות ההשקיה והדישון. שלב זה יחל באוגוסט 2023. יש לציין שמערכת הניטור אגנוסטית לסוג הקרקע, הגידול או מערכות ההשקיה והדישון, מאחר שהמדידות מתבצעות על תמיסת הקרקע. היות שכך, אותה מערכת ניטור עשויה להתאים לגידולים שונים, מגידולי שדה וחממות ועד למטעים, בקרקעות חוליות או חרסיתיות. עם זאת, אלגוריתם ההשקיה והדישון יהיה חייב לעבור הסתגלות לסוג הגידול בהתאם לפרופיל צריכת החנקן ולמבנה השורשים בקרקע.

מקורות

Azad N, Behmanesh J, Rezaverdinejad V, Abbasi F, and Navabian M. 2019. Evaluation of fertigation management impacts of surface drip irrigation on reducing nitrate leaching using numerical modeling. *Environmental Science and Pollution Research* **26**: 36499–36514.

Chien SH, Teixeira LA, Cantarella H, Rehm GW, Grant CA, and Gearhart MM. 2016. Agronomic effectiveness of granular nitrogen/phosphorus fertilizers containing elemental sulfur with and without ammonium sulfate: A review. *Agronomy Journal* **108**(3): 1203–1213.

Elhanany S. 2009. Challenges in preserving the quality of water resources in Israel. In: The Jerusalem Conference for Environment and Nature, Jerusalem.

FAO. 2020. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2020. Rome. https://doi.org/10.4060/cb1329en

Jin Z, Pan Z, Jin M, Li F, Wan Y, and Gu B. 2012. Determination of nitrate contamination sources using isotopic and chemical indicators in an agricultural region in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **155**: 78–86.

Kurtzman D, Kanner B, Levy Y, Nitsan I, and Bar-Tal A. 2021. Maintaining intensive agriculture overlying aquifers using the threshold nitrate root-uptake phenomenon. *Journal of Environmental Quality* **50**(4): 979–989.

Orban P, Brouyère S, Batlle-Aguilar J, Couturier J, Goderniaux P, Leroy M, Maloszewski P, and Dassargues A. 2010. Regional transport modelling for nitrate trend assessment and forecasting in a chalk aquifer. *Journal of Contaminant Hydrology* **118**(1–2): 79–93.

Powlson DS, Addiscott TM, Benjamin N, Cassman KG, de Kok TM, van Grinsven H, L'hirondel JL, Avery AA, and Van Kessel C. 2008. When does nitrate become a risk for humans? *Journal of Environmental Quality* **37**(2): 291–295.

Yeshno E, Dahan O, Bernstain S, and Arnon S. 2021. A novel analytical approach for the simultaneous measurement of nitrate and dissolved organic carbon in soil water. *Hydrology and Earth System Sciences* **25**(4): 2159–2168.

Walton G, 1951. Survey of literature relating to infant methemoglobinemia due to nitrate-contaminated water. *American Journal of Public Health and the Nation's Health* **41**(8_Pt_1): 986–996.

חרב הפיפיות של מגוון מיני חיות בר בשטחי חקלאות ובקרבתם: החקלאות בערבה כחקר מקרה

אורן קולודני, המחלקה לאקולוגיה, אבולוציה, והתנהגות, מכון סילברמן למדעי החיים, האוניברסיטה העברית בירושלים
לירון שני, המחלקה לסוציולוגיה ואנתרופולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים
עודד קינן, מו"פ מדבר וים המלח – שלוחת ערבה תיכונה
שלמה קרמר, משרד החקלאות ופיתוח הכפר (בדימוס)
דניאל מטקלף, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

מבוא ומטרות המחקר

השפעת דישון חנקני בחקלאות על משאבי מים

בשנים האחרונות מושקע מאמץ גדול מצד רשויות ממשלתיות, חקלאים וחוקרים בפיתוח וביישום של אמצעים שונים שיגדילו את מגוון מיני חיות הבר במרחב החקלאי ובקרבתו. שיקול אחד לכך הוא צמצום החיכוך בין החקלאות לסביבה על ידי ניצול מרובה אופנים של המרחב, באופן שלצד ייעודו החקלאי ישמש גם שטח פתוח המשמר ערכי טבע, תורם למגוון המינים, ואף מהווה בית גידול למינים בסיכון. שיקול שני הוא הרצון להעלות את איכות התוצרת, למנוע פגיעה בתוצרת החקלאית ולהפחית את הפגיעה בסביבה ובצרכנים באמצעות ניצול בקרה טבעית של מזיקים על ידי טורפיהם באופן שמצמצם את הצורך בשימוש בחומרי הדברה.

מצד שני, מחקרים רבים הדגימו בשני העשורים האחרונים כי בתי גידול מלאכותיים או כאלה שעברו שינוי משמעותי בשל פעילות אנושית עלולים להוות מלכודות אקולוגיות שגובות מאוכלוסיות הבר מחיר כבד, ועלולות להגדיל את סכנת ההכחדה שלהן. יצירת מרחבים חקלאיים מזמינים עבור חיות בר עלולה להיות, אם כן, חרב פיפיות: מצד אחד, ייתכן שהשטחים יוכלו לספק בית גידול לחיות בר, דבר שהצורך בו הולך וגובר לנוכח מגמות של קיטוע אוכלוסיות, בינוי ונגיסה מתמדת בשטחי הבר לטובת חקלאות ותעשייה. מצד שני, אם המרחבים הללו יוצרים מלכודות מוות לחיות הבר, צריך דווקא לצמצם את המגע בין חיות בר לבין שטחי החקלאות כדי להגן עליהן. הדבר מצטרף לשיקולים נוספים: חלק מחיות הבר גורמות נזק לגידולים החקלאיים, ומוטב היה להרחיקן. מינים אחרים המלווים את החקלאות והופכים למינים מתפרצים או פולשים, מגיעים לבתי גידול טבעיים וגורמים בהם נזקים חמורים. למשל, מינים ים תיכוניים המתפשטים עם החקלאות אל הנגב והערבה מתחרים שם במינים מקומיים, כולל מינים בסכנת הכחדה חמורה.

כיצד, אפוא, ניתן ליישב את הסתירה בין הפרדיגמות הללו? אנו מציעים שהמתח בין התפיסות אמיתי: לשתי התפיסות אחיזה במציאות. כדי לגבש מדיניות מושכלת בשאלה אם רצוי לקרב את חיות הבר אל החקלאות או להרחיקן, יש צורך במחקר אינטגרטיבי שיביא בחשבון את מכלול השיקולים והפרספקטיבות הללו. יותר מכך, יש להניח שהתשובה תהיה מורכבת: מה שנכון עבור מין אחד אינו בהכרח נכון עבור מין אחר, ועיצוב ספציפי של השטחים החקלאיים וסביבתם יזמין כניסה של מינים מסוימים ולא של אחרים.

מחקרנו חותר להציע תשובה לשאלות הכלליות הללו מתוך התמקדות בחקר המקרה של החקלאות בערבה, באמצעות צוות מחקר בין-תחומי שכולל אקולוגים-זואולוגים, אנתרופולוג חברתי ומעצב תעשייתי/נופי שמכירים היטב את הקהילה בערבה ואת האקולוגיה במרחב, ושצברו ניסיון רב בעבודה עם חקלאים באזור בסוגיות של סביבה ושמירת טבע.

במסגרת המחקר חקרנו את השפעת עיצוב המרחב החקלאי וסביבתו המיידית על כניסה של חיות בר לשטחי החקלאות ולתוך בתי הרשת עצמם, בחנו אילו מינים נכנסים, שוחחנו עם חקלאים על אודות האתגרים הניצבים בפניהם, והצענו כמה פתרונות עיצוביים לסוגיה בולטת של קונפליקט בין החקלאים לבין חיות בר: חדירת ציפורים לבתי הרשת והחממות וגרימת נזקים בהם. המחקר התעצב בהתאם לצרכים ולהתחבטויות באשר לקשר של החקלאות לסביבה שעלו מקרב החקלאים עצמם, ומטרתו לספק מענה קונקרטי לצרכים של שמירת טבע וחקלאות שנובעים מהקשר ההדוק בין התושבים לבין סביבתם במרחב הערבה.

המחקר הורכב מארבעה צירים עיקריים:

ציר 1: ניטור פעילות חיות בר וחיות מלוות-אדם בבתי רשת כפונקציה של הסביבה המיידית של בתי הרשת: מטרת ציר זה לבדוק באמצעות מאמץ ניטור קבוע במשך עונת גידול מלאה בבתי הרשת אילו מכרסמים, עופות וזוחלים חודרים לבתי הרשת, ואם אופי המרחב שמחוץ לבית הרשת (בית רשת אחר, מטע, שטח מופר, או שטח טבעי) משפיע על הרכב המינים החודרים.

ציר 2: השפעת החקלאות על היסטוריית החיים ודפוסי השותפות אצל הזנבן הערבי על בסיס מעקב ארוך-טווח: מטרת ציר זה של המחקר לבחון את השפעת הקִרבה לחקלאות על הזנבנים באמצעות השוואה בין חלקה הצפוני של שמורת שיזף, שבה השפעה גדולה של חקלאות, לבין חלקה הדרומי, שהשפעת החקלאות בו מוגבלת.

ציר 3: אנתרופולוגיה של חקלאות וטבע: מטרת ציר זה של המחקר לאפיין את יחסם של החקלאים בחצבה אל הקשר שבין החקלאות ובעלי החיים שבתוכה ובקרבתה, ולזהות חסמים לגיוס החקלאים לטובת מהלכים פרו-סביבתיים בהקשר זה.

ציר 4: פתרונות עיצוביים לאתגרי ממשק חקלאות-טבע: מטרת ציר זה של המחקר לחקור ולהדגים כיצד ניתן לתכנן פתרונות מתחום העיצוב שייטיבו הן עם החקלאות והחקלאים הן עם בעלי החיים בערבה.

ציר 1: ניטור פעילות חיות בר בבתי רשת כפונקציה של הסביבה המיידית של בתי הרשת

ציר מחקר זה היווה את ליבת המחקר בפרויקט, ומטרתנו הייתה לאפיין את פעילותן של חיות בר בבתי רשת שונים כפונקציה של המרחב שסביבם: בתי רשת אחרים, מטעים, שטחים מופרים ושטחים טבעיים. במשך שישה חודשים בוצע ניטור ב-13 בתי רשת. כל בית רשת זכה לביקור אחת לשלושה שבועות. בכל ביקור נבחנה הימצאות של עופות באמצעות סקירה חזותית לאורך המעברים שבתוך בית הרשת, נאספו תצפיות מפֹלָטות עקבות יונקים שהונח בהן מזון כלבים כפיתיון למכרסמים (סך הכול 90 פלטות עקבות) ושמוקמו במרחקים קבועים לאורך פאות בית הרשת, ונבדקה הימצאות של זוחלים תחת מחסות שפוזרו לצורך זה במרחקים קבועים לאורך הדפנות (סך הכול 92 מחסות).

שאלה מרכזית שרצינו לבחון הייתה איזו השפעה הדדית יש לבתי הרשת ולבתי הגידול הטבעיים למחצה הסמוכים אליהם. בדקנו מצד אחד, אם הקִרבה של בתי גידול טבעיים למחצה לבתי הרשת מעמידה בסיכון את אוכלוסיית חיות הבר החיה הסמוכה בשל חדירה של פרטים אל בתי הרשת, שעלולים להוות עבורם מלכודת אקולוגית בגלל הילכדות במבנה, הרעלה או פגיעה אחרת, ומצד שני – אם הקִרבה לבתי גידול שונים משפיעה על חדירה של מזיקים לחממות (בפרט בולבולים ועכברים).

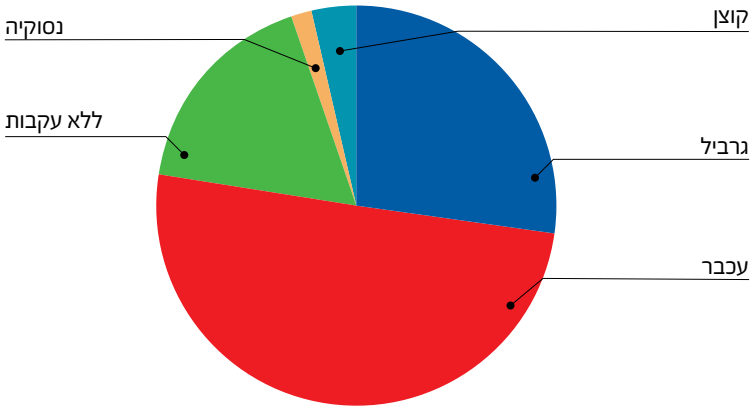
תוצאות

בסך הכול נאספו כ-870 רשומות של פעילות מכרסמים בבתי הרשת (על גבי פלטות עקבות, איור 1), כ-75 תצפיות בעופות בבתי הרשת, ורק זוחלים מועטים (בוצעו כ-700 תצפיות תחת המחסות שפוזרו, ונמצאו בסך הכול 28 זוחלים משלושה מינים). הנתונים הגולמיים ישותפו בהמשך, לטובת מחקרים עתידיים, בפלטפורמה פתוחה כגון FigShare.

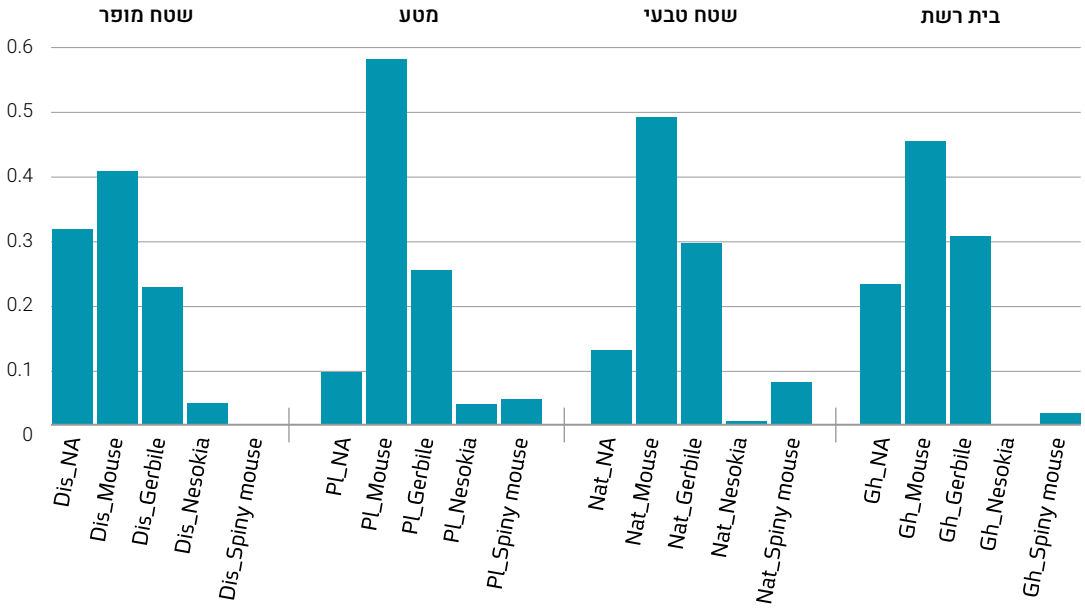
התצפיות בעופות ובזוחלים לא היו מספיקות לניתוח סטטיסטי משמעותי. להתרשמותנו, הגורמים העיקריים המשפיעים על הימצאות עופות בבית הרשת ברמה המקומית הם הגידול המצוי בו באותו זמן ומצב התחזוקה של בית הרשת, המתבטא באיכות הסגירה ובמספר החורים ברשתות שמאפשרים כניסה ויציאה של עופות.

המספר הגדול של תצפיות בפעילות מכרסמים בפלטות העקבות (שנטענו בכל ביקור בפיתיון חדש) מאפשר ניתוח משמעותי (איורים 1 ו-2). ישנם מספר מיני מכרסמים מקומיים שנצפו פעמים מועטות – קוצן ונסוקיה, וגם כמה מינים שאינם מכרסמים ושעברו על גבי הפלטות במקרה: קרפדות ומניפניות. **התצפיות בנסוקיה, חולדת בר נדירה בישראל, מעוררות עניין באופן מיוחד**. עקבות נסוקיה נמצאו בשלושה בתי רשת שונים, מספר מצומצם של פעמים, והדבר ראוי למחקר נוסף בהמשך לאור חשיבותו של מין זה בהקשר של שמירת טבע מקומית. מיני המכרסמים העיקריים שנמצאו הם עכברי בית, שידועים כמלווי אדם, וגרבילי ערבה, מין מקומי שתפוצתו בישראל מוגבלת לאזור זה. נמצא שאופי המרחב הסמוך לבית הרשת משפיע על השכיחות האבסולוטית והיחסית של המכרסמים האלה, ממצא שעשויה להיות לו חשיבות ממשקית.

איור 1 | **השכיחות היחסית של מכרסמים בבתי הרשת** לפי העקבות שנצפו במהלך המחקר על גבי כלל פלטות העקבות



איור 2 | **התפלגות מיני המכרסמים לאורך פאות שונות של בתי הרשת** בהתאם לאופי השטח הסמוך לבית הרשת לאורך אותה פאה: בית רשת נוסף (Gh=Greenhouse), שטח טבעי (Nat=Natural), שטח מופר (Dis=Disturbed), או מטע (Pl=Plantation). שמות העמודות מתארות את אופי השטח הסמוך לבית הרשת ואת מין המכרסם. סיומת _NA מציגה את שיעור הפלטות שלא נמצאו בהן עקבות.



דיון

נמצאה השפעה מובהקת בעלת גודל אפקט מוגבל של השטח הסמוך לבית הרשת על המתרחש בתוכו מבחינת השכיחות וההרכב של המכרסמים. שכיחות המכרסמים הנמוכה ביותר נמצאה בפלטות עקבות שהיו בתוך בתי הרשת בצד הסמוך לשטח מופר (במעל ל-30% מהדגימות בפלטות הללו לא נמצאו עקבות, לעומת כ-10% סמוך לשטח טבעי ולשטח מטעים, וכ-20% סמוך לבית רשת או חממה אחרת שלא נמצאו בהן עקבות). פירוש הדבר (א) כי בתי הרשת אינם מנותקים מסביבתם מבחינת פעילות מכרסמים. השטח הסמוך לבית הרשת משפיע על המתרחש בו, בהיותו מקור לחדירה של מכרסמים או בהיותו שטח המשמש את המכרסמים שבתוך בתי הרשת לשיחור מזון; (ב) מבחינה יישומית, תכנון מרחבי שיפחית את היקף המגע בין בתי רשת לבין שטחי מטעים ושטחים טבעיים, לדוגמה באמצעות יצירת חיץ של שטח מופר סביב גושים גדולים של בתי רשת, עשוי להפחית את שכיחות המכרסמים בבתי הרשת. יש להדגיש שלאור ממצאינו ההפחתה הצפויה בפעילות מכרסמים אינה גדולה – מסדר גודל של בין 10% ל-20% – ולכן יש לשקול את התועלת הצפויה מפעולה כזו ביחס למחיר הסביבתי שלה.

ממצא מעניין הוא כי לא נמצאו בבתי הרשת חולדות עצים או חולדות נורווגיות כלל, והחולדה היחידה שנמצאה בהם – פעמים ספורות בלבד – היא נסוקיה, מין מקומי מוגן שאינו נפוץ, והמידע על אודות תפוצתו בארץ כיום מועט. לממצא זה יש חשיבות להבנת אתגר המכרסמים שהחקלאים מתמודדים איתו, שכן הוא מצמצם את המזיקים בקטגוריה זו לטווח גדלים מוגבל, של מכרסמים קטני גוף.

בכל הקטגוריות עכבר הבית היה המין הנפוץ ביותר, ונמצא על גבי 40% עד 60% מהפלטות, ואחריו גרביל ערבה, שנמצא ב-20% עד 30% מהפלטות. מחד גיסא, פירוש הדבר שמרבית המכרסמים שהחקלאים מתמודדים איתם בבתי הרשת הם עכברי בית, שהחקלאות היא המאפשרת להם להתקיים בסביבה זו, ולא מינים המגיעים מהשטח הטבעי. מאידך גיסא, מרכיב חיות הבר בקרב המכרסמים – בעיקר גרבילי ערבה – משמעותי גם הוא, ומרמז שהחקלאות משפיעה על אוכלוסיית מין זה בסביבה באופן משמעותי. לממצאים אין משמעות אופרטיבית מיידית, אולם הם מספקים בסיס עובדתי חשוב להבנת אופי אוכלוסיית המכרסמים שהחקלאים מתמודדים איתה. פירוש הדבר, לדוגמה, ש**הדברה בתוך בתי הרשת אינה נטולת השפעות במה שנוגע לשמירת טבע, שכן כמחצית המכרסמים שייפגעו מהדברה כזו הם חיות בר שיש עניין בשימורן והן אף מוגנות בחוק**.

מעניין לציין כי סמוך למטעים הפער בין שני המינים היה הגדול ביותר: העכברים מגיעים בקטגוריה זו לשכיחותם הגבוהה ביותר, כ-60%, ואילו הגרבילים בשכיחות הנמוכה ביותר. קשה לקבוע ממה נובע הדבר; ייתכן שהמטעים, שהקרקע בהם לחה בשל השקיה מרובה, מספקים בית גידול מתאים במיוחד לעכברים, ושונה כל כך מהסביבה המדברית, שהגרבילים אינם מתבססים בהם. המשמעות האופרטיבית היא כי ייתכן שכדי לצמצם נזקי מכרסמים רצוי להימנע מליצור פסיפס של בתי רשת ומטעים, ולהעדיף במקום זאת רצפים של שטחי חקלאות המשתייכים לאותה קטגוריה. אפשרות זו דורשת בחינה מעמיקה יותר, שכן בקנה מידה גדול של רצף שטחים חקלאיים, שלא נבדק במחקר זה, ייתכן שישנם גורמים מתערבים נוספים הנוגעים לדינמיקה ארוכת-טווח של המכרסמים, דוגמת השפעה של קישוריות על אכלוס של בתי רשת לאחר הדברה.

כפי שהוזכר להלן, ההתמודדות עם נזקי מכרסמים משתנה בין חקלאים, אולם ההתמודדות העיקרית היא של הדברה אחת לזמן מה, בשיטות שונות (מלכודות רעל סגורות, פיזור רעל ועוד). לאורך תקופת הניטור היו מספר הרעלות בבתי הרשת שניטרנו, ואף נמצאו מספר גופות של מכרסמים – גרבילים ועכברים. הדבר מעיד על כך שבתי הרשת הם אכן מלכודת אקולוגית עבור מיני מכרסמים מקומיים, עם פוטנציאל להשפעה על האוכלוסייה הטבעית שמחוץ למרחב החקלאי, אולם המידע שבידינו אינו מספק כשלעצמו כדי להשיב לשאלה אם המרחב החקלאי הוא מבלע משמעותי עבור המינים האלה.

ציר 2: השפעת החקלאות על היסטוריית החיים ודפוסי השותפות אצל הזנבן הערבי

מאז שנת 1971 מתקיים בשמורת שיזף שבערבה מחקר ארוך-טווח הבודק את ההתנהגות והביולוגיה של הזנבן הערבי (*Argya squamiceps*), מין של ציפור מדברית החיה במסגרת חברתית של רבייה שיתופית (cooperative breeding). רבייה שיתופית מוגדרת כמערכת חברתית, שחלק מהפרטים בה דוחים את אפשרויות הרבייה שלהם כדי לסייע לפרטים אחרים שהתרבו, לגדל את צאצאיהם (Koenig et al., 1992; Cockburn, 2013). הזנבנים חיים בקבוצות בעלות היררכיה לינארית המונות 3–20 פרטים. כל הפרטים בשטח המחקר מסומנים בטבעות צבעוניות לצורכי זיהוי אינדיווידואלי, ומורגלים לנוכחות החוקרים. צוות המחקר עורך מעקב קבוע אחר כ-25 קבוצות בשטח המחקר, ואוסף מידע הקשור להתנהגות ולהיסטוריית החיים של כל זנבן מרגע בקיעתו או הגעתו לאוכלוסייה ועד למותו או היעלמותו משטח המחקר (Zahavi and Zahavi, 1997).

שטחי המחיה של קבוצות הזנבנים משתרעים בשני אזורים בשמורת שיזף, המופרדים בשטחי חקלאות (בעיקר חממות ומטעים). האזור הראשון נמצא בין היישובים עידן לחצבה, ושטחו כ-11 קמ"ר, והשטח השני נמשך ממושב חצבה ועד סמוך למושב עין יהב, ושטחו כ-29 קמ"ר. השטח הצפוני (להלן: השמורה הצפונית) מוקף בשטחי חקלאות, ואילו השטח הדרומי (להלן: השמורה הדרומית) כולל שטחים טבעיים רבים, וקבוצות הזנבנים החיות בו מושפעות פחות מהחקלאות (Keynan et al., 2015). מחקרים שנערכו לאחרונה מצביעים על השפעות תלויות צפיפות (density dependence) על אוכלוסיית הזנבנים בשטח המחקר, ומראים כי מתקיים תהליך של Allee effect (אפקט אלי – Allee, 1931) ברמת האוכלוסייה, הקבוצות והצלחת הרבייה של הפרטים בשטח המחקר (Keynan and Ridley, 2016). רצינו לבחון אם החקלאות מהווה מלכודת אקולוגית המקטינה את הכשירות (fitness) של הפרטים (Kokko and Sutherland, 2001), וקוטעת את רצף השטחים הפתוחים באופן שמקטין את הקישוריות בין השמורה הצפונית לדרומית.

לצורך בדיקת ההשערה ניתחנו את המידע שנאסף על 56 קבוצות זנבנים בין השנים 2009–2020. איגדנו את המידע על אודות כל קבוצה פעמיים בשנה – באוקטובר (לאחר תקופת הקיץ) ובאוגוסט (עם תום תקופת הרבייה). את המידע ניתחנו בעזרת מבחני ANOVA שנערכו בתוכנת SPSS. הפרמטרים שנבחנו היו צפיפות הקבוצות בשטחי המחקר (שמורה צפונית מול דרומית), מספר הזנבנים בכל קבוצה, הצלחה רבייתית קבוצתית (מנורמלת בגודל הקבוצה, כלומר per capita reproductive success), גיל כל זנבן בעת אירוע ההגירה הראשון שלו, גיל בעת הגעה למעמד בכיר (מתרבה) וגיל בעת היעלמות או מוות.

תוצאות

צפיפות הפרטים והקבוצות. השמורה הצפונית קטנה מהשמורה הדרומית, אך צפיפות הקבוצות (מספר הקבוצות לקמ"ר) וצפיפות הפרטים (מספר הפרטים לקמ"ר) גבוהות בה בצורה משמעותית ($p<0.05$, טבלה 1).

טבלה 1 | **צפיפות קבוצות ופרטים בשמורה הצפונית בהשוואה לשמורה הדרומית**

פרמטר	שמורה צפונית	שמורה דרומית
שטח השמורה (קמ"ר)	11	29
צפיפות הקבוצות (ממוצע + סטיית תקן)	0.9±0.1	0.4±0.04
צפיפות הפרטים (ממוצע + סטיית תקן)	3.2±0.7	1.6±0.4

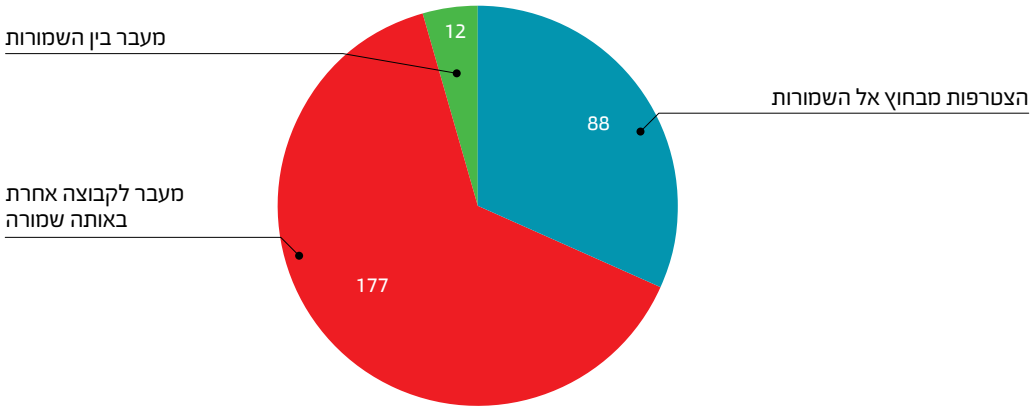
תנועת הזנבנים בתוך השטחים הנבדקים וביניהם. חילקנו את תנועת הזנבנים בין הקבוצות בשטח המחקר לשלוש קטגוריות (איור 3): (1) הגירה של זנבנים לא מטובעים לתוך שטח המחקר (שמורה צפונית ודרומית כאחת – הגעה מאזורים שאינם מופרדים על ידי שטחי חקלאות); (2). תנועה בין קבוצות בתוך השמורה הצפונית ובתוך השמורה הדרומית; (3) תנועה של זנבנים בין השמורה הצפונית לדרומית. כצפוי, עיקר התנועה התבצע בתוך כל אחד משטחי המחקר, אולם ניכר כי כל אחת מהאוכלוסיות קלטה מספר לא מבוטל של מהגרים מבחוץ. מפתיע לראות שהתנועה על ציר צפון–דרום בין שני שטחי המחקר, הדורשת חצייה של האזור החקלאי, מצומצמת מאוד ביחס לצפוי, אף על פי שרוחב האזור הוא מאות מטרים ספורים, ובשתי נקודות ספציפיות אף פחות מכך.

שטחי חקלאות נתפסים לעיתים קרובות כשטחים פתוחים שמשמשים – במקביל לתפקידם כשטח חקלאי – גם מסדרונות אקולוגיים. ניכר, לנוכח הממצא להלן, שהדבר אינו נכון ביחס ל**בתי רשת וחממות במרחב המדברי, שיוצרים מחסום משמעותי לקישוריות בין שתי אוכלוסיות ציפורים שבעבר היו חלק מאוכלוסייה רציפה**. ממצא זה מעניין ואף עשוי להפתיע, מאחר שמבחינה טכנית לא קשה לזנבן לעוף מרחק של כמה מאות מטרים, ולכאורה פתוחה בפני הזנבנים גם האופציה של עקיפת שטחי החקלאות באיגוף ממזרח או ממערב. הדבר מדגים כי בשביל להעריך את הפגיעה בקישוריות בין אוכלוסיות יש להביא בחשבון את תפיסת המרחב של בעל החיים (לדוגמה: איגוף ממזרח או ממערב יחייב מעבר שטחים חשופים מצומח, תעופה מעל החממות או ביניהן עלולה להיתפס כמסוכנת) ולא רק את המורפולוגיה וכושר התנועה שלו. לפגיעה בקישוריות בין אוכלוסיות הזנבנים עלולה להיות השפעה מזיקה בטווח הארוך עבור מין זה, ויותר מכך, ייתכן כי היא מעידה על קיטוע שחווים גם מינים אחרים. ייתכן שקיטוע כזה מתרחש בעקבות התפתחות החקלאות לא רק בחצבה אלא גם במקומות נוספים בערבה שנוצר בהם חיץ לאורך ציר מזרח–מערב.

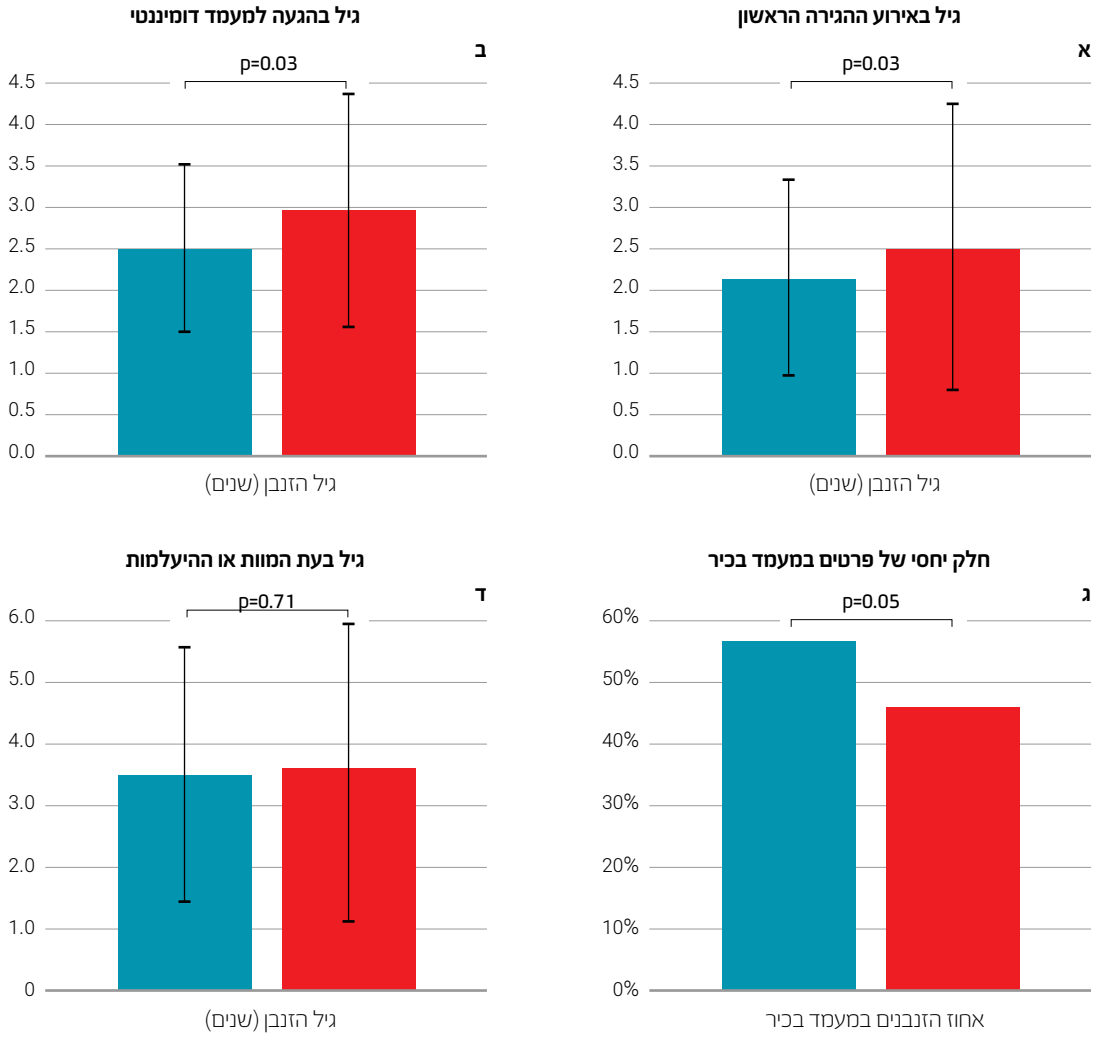
הבדלים בהצלחת הקינון. בדקנו את הצלחת הפריחה של הגוזלים בעבור כל פרט בכל אחד משטחי המחקר. החישוב בוצע על ידי חלוקת מספר הגוזלים שפרחו בכל שנה במספר הפרטים הבוגרים בקבוצה (per capita fledging success). לא נמצאו הבדלים מובהקים (Student's T test, $p>0.05$) בהצלחת הקינון של זנבנים בין השמורה הצפונית לשמורה הדרומית.

הבדלים בהיסטוריית החיים בין שטחי המחקר. פרמטרים של היסטוריית חיים (life history) נאספו בעבור כל זנבן שבקע בשטחי המחקר ושתאריך הבקיעה שלו היה ידוע – גיל הזנבן בעת אירוע ההגירה הראשון, גיל הזנבן בעת הגעתו למעמד בכיר (אם הגיע) וגיל הזנבן בעת מותו או כאשר נעלם משטח המחקר. מצאנו (איור 4) כי אף על פי שאין הבדל משמעותי בין השמורה הדרומית לצפונית במשך החיים של הזנבן (מוות או היעלמות), הזנבנים בשמורה הצפונית עוזבים את הקבוצות בגיל צעיר יותר בממוצע, והופכים לדומיננטיים בגיל צעיר יותר בממוצע. כמו כן מצאנו שהסיכוי של זנבן להגיע למעמד בכיר גבוה יותר בשמורה הצפונית מאשר בשמורה הדרומית.

איור 3 | **הגירת זנבנים בשטח המחקר.** בכחול – הגירה מבחוץ לתוך שטח המחקר כולו, באדום – בין קבוצות בתוך כל אחד משטחי המחקר, ובירוק – בין השמורה הצפונית לדרומית.



איור 4 | **הבדלים בהיסטוריית החיים בין הזנבנים בשמורה הצפונית לשמורה הדרומית.** בכחול – השמורה הצפונית, באדום – השמורה הדרומית. א) גיל הזנבן בעת אירוע ההגירה הראשון (צפונית: 133 זנבנים, דרומית: 192 זנבנים); ב) גיל הזנבן בעת הגעתו למעמד דומיננטי (צפונית: 71 זנבנים, דרומית: 79 זנבנים); ג) אחוז הזנבנים שהגיעו למעמד בכיר בשמורה הצפונית (193 זנבנים) ובדרומית (258 זנבנים); ד) גיל הזנבן בעת מותו או היעלמותו משטח המחקר (צפונית 169 זנבנים, דרומית 219 זנבנים).



דיון

השמורה הצפונית מוקפת בחקלאות ומושפעת ממנה מאוד (בשל שטחה הקטן), בעוד שהשמורה הדרומית מושפעת פחות מהחקלאות ומהווה אזור טבעי יותר בעבור קבוצות הזנבנים. נראה כי אכן, כפי ששיערנו, לחקלאות יש השפעה מובהקת על פרמטרים הקשורים להגירה ולהיסטוריית החיים של הזנבנים. הקִרבה לחקלאות בשמורה הצפונית מגדילה את מספר הטריטוריות הזמינות ומצמצמת את המגבלות האקולוגיות (ecological constraints), מה שמקטין את הצורך בשותפות ארוכת-טווח. הזנבנים בשמורה הצפונית עוזבים את הקבוצות בגיל צעיר יותר ומצליחים להגיע למעמד בכיר ולהתרבות בגיל צעיר יותר. גם הסיכוי של זנבן להפוך לבכיר גבוה יותר בשמורה הצפונית. המחקר שלנו לא מצא הבדלים משמעותיים בהצלחת הקינון בין השטח הצפוני לדרומי.

מצאנו שהחקלאות יוצרת חיץ כמעט בלתי עביר לזנבנים בין השמורה הצפונית לדרומית. נראה שכמעט ולא מתקיימת הגירה בין השמורה הצפונית לדרומית, דבר המשפיע על תנועת הזנבנים במרחב ועל היכולת שלהם לעבור בין קבוצות. לממצא זה יש חשיבות מיוחדת לאור מחקרים מהשנים האחרונות שמצאו השפעות תלויות צפיפות (Allee effects) על אוכלוסיית הזנבנים בשטח.

לסיכום, מצאנו השפעה גדולה של הקִרבה לחקלאות גם על היסטוריית החיים של הזנבנים וגם על התנועה שלהם במרחב. יש צורך לשקול תכנון של מעברים טבעיים בין שטחי חקלאות כדי למנוע קיטוע, שעלול לפגוע משמעותית באוכלוסיות של מינים מדבריים בעלי טווח תנועה קצר (dispersal) וליצור Allee effects, שעלולים להקטין ואף להכחיד אוכלוסיות מקומיות.

ציר 3 של המחקר – מחקר אנתרופולוגי-סוציולוגי

ציר זה עסק במחקר סוציולוגי לצורך ניתוח התפיסות כלפי הסביבה והטבע של תושבי האזור, בעיקר של אנשי המושב שצמוד אליו יתבצעו המחקרים האקולוגיים. המחקר החברתי בתחום הראה כי לקהילות שונות יש פרשנויות שונות לגבי מהו הטבע וכיצד ניתן לשמור אותו (שני, 2021; Eid and Haller, 2011), ולכן, מחקרים שעוסקים ביחסי חקלאות וסביבה חייבים תחילה להבין כיצד בעלי העניין השונים במרחב מבינים ותופסים את משמעותו ותפקידו של הטבע. סוגיה זו רלוונטית עוד יותר כאשר אנחנו עוסקים ביחסים שבין החקלאים לבין חיות הבר במרחב. במחקרים קודמים על הערבה נמצא כי רבים מהחקלאים אינם שותפים לניסיונות לשמירת הטבע ואינם רואים בהקטנת החיכוך בין החקלאות לסביבה ערך מרכזי (שבח ואח', 2016), בעיקר כאשר מאמץ זה מצריך השקעה כלכלית מצד החקלאי או פגיעה בפוטנציאל הכלכלי של הגידול (שני, 2021: 70–73). ידועים לנו מהעבר מקרים רבים שבהם כדי למנוע את הפגיעה של חיות הבר בחקלאות, נעשו פעולות רבות של הפחדה, הרחקה ואף הרעלה. כך, בעוד חקלאי הערבה מדווחים על אהבת הטבע ורצון לשמור על המדבר, הם לרוב מתייחסים בכך לטבע שנמצא הרחק משדות ומיישובים, ולא לבעלי החיים שבאים במגע עם החקלאות (שם: 93–95).

עם זאת, חלק מהחקלאים שפעלנו מולם ושבחממות שלהם ערכנו את המחקר גילו התעניינות רבה במחקר והביעו רצון לנסות ולשנות את פעילותם כדי לרכך את הפגיעה בחיות הבר. בראיונות עומק וכן בשיחות לא פורמליות שערכנו, חלק מהחקלאים הביעו תפיסה הרואה חשיבות בניסיון לצמצם את הפגיעה של החקלאות בבעלי החיים ונכונות "לרכך את החיכוך בין החקלאות והסביבה" כפי שאמר לנו אחד החקלאים.

מכאן, שהצורך לבצע מיפוי מעמיק יותר של יחסי החקלאים והתושבים לסביבתם הכרחי. כדי לבצע מיפוי שכזה, שיהיה מותאם למדדי אדם-מקום מקובלים בספרות, אך גם יענה על השאלות הספציפיות של מחקר זה, בוצעה סקירת ספרות נרחבת של סקרים ושאלונים שונים על יחסי קהילה-סביבה-חקלאות המובילים כיום במחקר, ומתוכם הותאם שאלון לקהילה ולמקום: השאלון משלב את הגרסה המקוצרת של מדד Nature relatedness scale (Nisbet and Zelenski, 2013 ,NR6) המשולב בשאלון המבוסס על מדד Place attachment. השאלון נבנה כך שיכיל שאלון כמותי מתוקֵף העוסק בתפיסה כללית לגבי תפיסות הקיימות וחיבור לטבע, לצד שאלות ספציפיות יותר לגבי הקשר למקום ולאזורי הניסוי הספציפיים. הסקרים הועברו בפיילוט ראשוני, ובוצעו התאמות ותיקוף. במקביל נבנה שאלון חצי מובנה, המותאם לתוצאות הראשוניות של הסקרים האקולוגיים, לצורך ראיונות העומק עם משתתפים בודדים מתוך משתתפי הסקר הכללי. שילוב בין שיטות מחקר כמותיות ואיכותיות יאפשר לנו לנתח ולאפיין את החסמים של החקלאים, המקשים עליהם להשתתף באופן פעיל בריכוך ההשפעה של החקלאות על הסביבה. בגלל קשיים לוגיסטיים בוצעו עד כה רק 10 ראיונות עומק, והמשך המחקר יתבצע במהלך סתיו 2022.

ציר 4 של המחקר – התערבות עיצובית

לנוכח הממצאים האקולוגיים המדגימים את אפקט חרב הפיפיות של בתי הרשת בערבה, הציר הרביעי של המחקר עסק בחיפוש פתרונות עיצוביים לצמצום הסכנות שבתי הרשת יוצרים עבור חיות הבר. לצורך זה נקבע קורס מרוכז בן שלושה ימים בערבה (9–11 במרץ 2021) עבור סטודנטים לתואר שני בעיצוב תעשייתי בטכניון. הקורס התמקד באופן ספציפי בבעיה של ציפורים שנתקעות בתוך בתי הרשת ולא מצליחות לצאת. תופעה זו מובילה לתסכול ולבזבוז זמן ומשאבים בקרב החקלאים, לנזקים לחקלאות ולפגיעה ותמותה בקרב הציפורים.

תוכנית הקורס כללה סיורי היכרות עם מערך החקלאות בערבה ועם האקולוגיה המקומית, מפגשים עם חקלאים, עם חוקרים ועם פקח נזקי החקלאות של רשות הטבע והגנים. לאחר מכן המשתתפים התחלקו לקבוצות עבודה, העלו רעיונות לפתרונות תוך הנחיה של צוות הקורס, ועבדו במעבדת המייקרים במו"פ ערבה לבניית אב-טיפוס להתערבויות העיצוביות שהוצעו. ביום האחרון הציגו הקבוצות את הרעיונות והדגמים שלהם (איור 5) בפני צוות הקורס וחקלאים מקהילת הערבה, וקיבלו משוב על העבודה שלהם.

פיתוח תוצרי העיצוב נעשה תוך שימוש בכלים שונים לעיצוב, למידול ולייצור ממוחשב (תוכנות גרפיקה ותלת-ממד, מדפסת תלת-ממד ומכונת חיתוך לייזר) נוסף על טכניקות ידניות של עיבוד חומרים. תהליך העיצוב הוביל לפיתוח של חמישה רעיונות שונים להוצאה של ציפורים מבתי הרשת, המתחלקים לפתרונות פסיביים (שאינם דורשים פעולה אקטיבית מצד החקלאי) ולפתרונות אקטיביים (הדורשים הפעלה מסוימת מצד החקלאי). אף על פי שהפתרונות נמצאים בשלב ראשוני מבחינת הפיתוח, הם עוררו עניין בקרב החקלאים והחוקרים, ומדגימים את הפוטנציאל שבעבודה בין-תחומית למציאת פתרונות בממשק החקלאות והאקולוגיה.

הפתרונות שהוצעו בקורס

1. Patch-Out (גלי כנעני, סתיו בוזגלו וגאיה סלמן) – פתרון פסיבי המתלבש על חורים קיימים ברשתות ומקבל השראה מאופן הטיפול הנוכחי בחורים. הרעיון משלב שיטות יצירה מסורתיות עם עיצוב פרמטרי ממוחשב והדפסה תלת-ממדית. מבנה הטלאי יוצר מנגנון יציאה חד-כיווני עשוי סבך, המאפשר יציאה החוצה מתוך החממה ללא כניסה חוזרת. המנגנון מקבל השראה ממנגנונים חד-כיווניים בטבע, ומתייחס להרגלי המחיה של הזנבנים המבלים זמן רב בתוך סבך העלים והענפים של עץ השיטה. המנגנון מוצמד לרשת סביב חור קיים לאורך טבעת הננעלת בעזרת טבעת נוספת, באופן דומה למנגנון של חישוקי רקמה. הסבכה מודפסת באופן שטוח כדי לחסוך זמן הדפסה, ומשתלבת בין שתי טבעות החיבור.

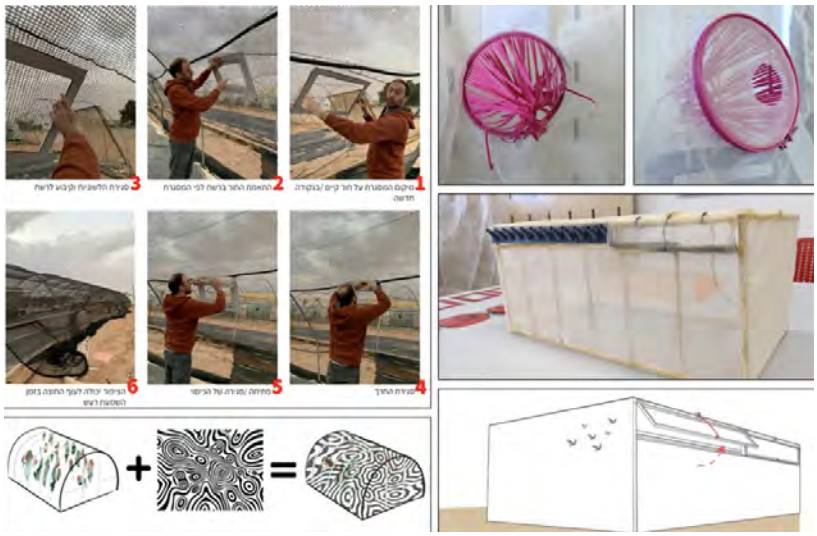
2. חממת הסוואה (דפנה קפלן, אורני בלוך וארז הוכמן) – רעיון לפתרון פסיבי המבוסס על תבנית הסוואה על גבי רשת החממה, המביאה בחשבון את אופן הראייה של הציפור ואת הצבעים והתבניות שהיא מזהה, ומטרתה "לבלבל" את הציפור ולא לאפשר לה לזהות חורים ברשת ולנצל אותם כדי להיכנס פנימה. העיקרון מתבסס על הסוואה שעשו הבריטים במלחמת העולם הראשונה כדי למנוע מהכוונים הגרמנים להתביית על האוניות שלהם. הרעיון דורש המשך פיתוח וניסוי כדי להוכיח היתכנות.

3. Bird-out passive (לילך אריק, רותם יפרח ומעיין קינסבורסקי) – רעיון נוסף למעבר חד-כיווני עבור ציפורים הבנוי בצורת משפך, ומאפשר לציפור לעבור דרכו החוצה מבית הרשת אך לא לחזור בחזרה פנימה. המעבר עשוי חומר שקוף, ומסמן לציפור את היציאה בנקודה בהירה בדופן בית הרשת. הפתרון בנוי על עיקרון דומה המשמש לבניית מלכודות ציפורים.

4. Get-Rid (דפנה קפלן, אורני בלוך וארז הוכמן) – פתרון אקטיבי המאפשר שחרור מבוקר של ציפורים מתוך החממה. הוא מורכב ממסגרת מוכנה של "חלון" עשוי פוליפרופילן, והחקלאי נועץ אותה ברשת בנקודה גבוהה יחסית או בנקודה שיש בה כבר חור. בעזרת לשוניות מובנות ניתן לקבע את המסגרת לרשת החממה עם אקדח ניטים ולהתאים במדויק את הצורה והגודל של החור והחלון עם סכין או מספריים חדים. החלון נסגר עם צמדן רב-פעמי כך שהחקלאי יכול לבחור מתי הוא רוצה לפתוח אותו ומתי להשאירו סגור. כאשר החלון פתוח הוא יוצר נקודה בהירה יותר משאר הדופן שהוא נמצא עליה, וכך יכול למשוך אליו את הציפורים. ניתן לפתוח את החלונות בזמן שמשמיעים רעש בחממה וכך הציפורים יצאו לברוח לעבר נקודת אור.

5. Bird-out active (לילך אריק, רותם יפרח ומעיין קינסבורסקי) – פתרון אקטיבי בדמות חלון ארוך וצר הממוקם בחלק העליון של בית הרשת. החלון ניתן לפתיחה באמצעות משיכה בחבל, ומשקלו העצמי גורם לו להיסגר כאשר החבל נעזב. החלון עשוי מחומרים זמינים וזולים ומבוסס על ציר ומסגרת עשויים מצינורות סטנדרטיים, שביניהם מתוחה רשת. החלון נסגר הרמטית ואינו מאפשר כניסה חזרה של בעלי חיים.

איור 5 | **תוצרי תהליך העיצוב** – מימין למעלה נגד כיוון השעון: patch-out במבט מתוך (ימין) ומחוץ (שמאל) לבית הרשת. הסבר מאויר להתקנת חלון get-rid. הדמיה של רעיון חממת ההסוואה. הדמיה של מנגנון הפתיחה של bird-out active. מודל מוקטן המדגים את bird-out passive ו-bird-out active.



מקורות

שבח צ, בלאס ו וצ'צ'יק ע. 2016. יחסי הגומלין בין מקורות המידע, העמדות הסביבתיות והבחירה בנוהג סביבתי בקרב חקלאים – חקר המקרה של מגדלי הפלפל בערבה. *חוברת יום העיון של נקודת ח"ן* **2016**: 8–14.

שני ל. 2016. פלפלים אדומים ושיטים מצהיבות: אדם וטבע במתח שבין חקלאות וסביבה בערבה (עבודה לקבלת תואר דוקטור). תל אביב: אוניברסיטת תל אביב.

Allee W. 1931. Co-operation among animals. *American Journal of Sociology* **37**(3): 386–398. http://www.jstor.org/stable/2766608

Cockburn A. 2013. Cooperative breeding in birds: Toward a richer conceptual framework. In: Sterelny K, Calcott B, Fraser B, and Joyce R (Eds). Cooperation and its evolution (pp. 223–246). MIT Press. https://researchers.anu.edu.au/publications/79708

Eid R and Haller T. 2018. Burning forests, rising power: Towards a constitutionality process in Mount Carmel Biosphere Reserve. *Human Ecology* **46**(1): 41–50.

Keynan O, Ridley AR, and Lotem A. 2015. Social foraging strategies and acquisition of novel foraging skills in cooperatively breeding Arabian babblers. *Behavioral Ecology* **26**(1): 207–214. https://doi.org/10.1093/beheco/aru181

Keynan O and Ridley AR. 2016. Component, group and demographic Allee effects in a cooperatively breeding bird species, the Arabian babbler (*Turdoides squamiceps*). *Oecologia* **182**: 153–161. https://doi.org/10.1007/s00442-016-3656-8

Koenig WD, Pitelka FA, Carmen WJ, Mumme RL, and Stanback MT. 1992. The evolution of delayed dispersal in cooperative breeders. *The Quarterly Review of Biology* **67**(2): 111–150. https://doi.org/10.1086/417552

Kokko H and Sutherland W. 2001. Ecological traps in changing environments: Ecological and evolutionary consequences of a behaviourally mediated Allee effect. *Evolutionary Ecology Research* **3**: 537–551. http://biology.anu.edu.au/hosted_sites/kokko/Publ/Allee.pdf

Nisbet EK and Zelenski JM. 2013. The NR-6: A new brief measure of nature relatedness. *Frontiers in Psychology* **4**: 813.

Zahavi A and Zahavi A. 1997. The handicap principle: A missing piece of Darwin puzzle. Oxford University Press.

רכזת פרויקט נקודת ח"ן: **הילה גיל**

עריכת לשון: **ענבר קמחי-אנגרט**

עיצוב: *Touch*

תל־אביב, נובמבר 2022

נקודת ח"ן
לקידום ערכי נוף וסביבה באזורים חקלאיים בישראל

www.nekudat-hen.org.il

האגודה הישראלית
לאקולוגיה ולמדעי הסביבה