

שולמית נוסבוים

התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור
קרקע, משרד החקלאות ופיתוח
הכפר; המחלקה לגיאוגרפיה,
אוניברסיטת חיפה

יעל חורש

החוג לניהול משאבי טבע וסביבה,
אוניברסיטת חיפה; מכון שמיר
למחקר, אוניברסיטת חיפה

אורי שפירא

מכון שמיר למחקר, אוניברסיטת
חיפה

אהד אפיק

תחום דבורים והאבקה, האגף לבעלי
חיים, ש"מ, משרד החקלאות
ופיתוח הכפר

אורה משה

התחנה לחקר הסחף, משרד
החקלאות ופיתוח הכפר

רן שאולי

DriftSense; המחלקה ללימודי
אסיה, אוניברסיטת בר-אילן

דן מלקינסון

המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת
חיפה; מכון שמיר למחקר,
אוניברסיטת חיפה

אלעזר וולק

התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור
קרקע, משרד החקלאות ופיתוח
הכפר

נועה הילל

התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור
קרקע, משרד החקלאות ופיתוח
הכפר

חיה סוד-טסלר

ניהול משאבי סביבה (אניורומנ'ר)
בע"מ

שלומי זרחין



זוג נשרים בעת חיזור. לחשיפה אקוטית קצרת-טווח לחומרים רעילים עלולה להיות השפעה מיידית – פחות מיממה מרגע החשיפה. כאשר השפעת החומר קטלנית, הוא ממית את האורגניזם הנפגע במהירות, כמו במקרים של הרעלות נשרים | צילום: דיויד רזק

אקו-טוקסיקולוגיה בחקלאות ישראל – גורל הכימיקלים בסביבה, השפעותיהם על החי והצומח ושיטות למזעור הנזק

16 בפברואר, 2023

גיליון חורף 2022 / כרך 13(4)

[סקירות](#)

על קצה המזלג

- המאמר סוקר מחקרים שעולה מהם כי חומרי הדברה שנועדו לשימוש בשטחי חקלאות זולגים אל הסביבה הטבעית ונמצאים סמוך לשדות ולמטעים – במים עיליים, בגופם של בעלי חיים ובצמחי בר, ולכן עלולים לפגוע בחלק ממרכיבי המערכת האקולוגית.
- לנוכח העדויות לפגיעה בטבע בשל זליגת החומרים, נדרשים מזעור הפגיעה על-ידי קביעת הנחיות מתאימות יותר לשימוש בחומרי הדברה וכן ניטור מקיף ותכנון יותר של הסביבה הקרובה.
- אף על פי שהתנאים הקיימים בארץ שונים לרוב מאלה הקיימים במדינות האחרות, משרד החקלאות בדרך כלל קובע את תנאי השימוש בחומרי הדברה בישראל בהתבסס על מידע רגולטורי מהעולם.
- תוצאות ניטור בתנאים המאפיינים את ישראל יספקו מידע מדויק ומבוסס יותר עבור המאסדר – משרד החקלאות, ויוכלו להוות בסיס לקבלת החלטות מבוססות מדע, שיגנו על הטבע ויצמצמו את הפגיעה בחקלאות.

אורן שלף

המחלקה למשאבי טבע, המכון
למדעי הצמח, מנהל המחקר
החקלאי – מרכז וולקני

ציטוט מומלץ

נוסבויס ש, חורש י, שפירא א
ואחרים. 2022. אקו-טוקסיקולוגיה
בחקלאות ישראל – גורל הכימיקלים
בסביבה, השפעותיהם על החי
והצומח ושיטות למזעור הנזק.
אקולוגיה וסביבה 13(4).

תקציר

אקו-טוקסיקולוגיה – השפעת רעלים על הסביבה – היא ענף מחקר חוצה תחומים שהבנתו דורשת שילוב מומחים מתחומי ידע רבים. כדי להבין את השפעתם הכוללת של כימיקלים בשימוש חקלאי (אגרו-כימיקלים) יש לחקור ולהבין את הפעולה הכימית של חומרים שונים, פיזורם במרחב והשפעותיהם המגוונות על האורגניזמים בסביבה, ויש לפתח כלים שיאפשרו לאתר את החומרים ולהעריך את השפעתם. מאמר זה סוקר מספר מחקרים עדכניים המתייחסים לנוכחות של אגרו-כימיקלים במערכת האקולוגית בישראל, להיבטים של פיזורם בשדה ובאגן ההיקוות ולהשפעתם על מכלול האורגניזמים בסביבת השדה. בניגוד להרעלה קטלנית הגורמת למוות, לא פשוט להעריך השפעה של חומרים שנמצאים בגופם של יצורים חיים ומתפקדים, שעלולה להיות תת-קטלנית מתמשכת. ממצאים מעידים על כך שאגרו-כימיקלים מתפזרים בכל הסביבה, מגיעים לכל הרמות הטروفיות, ועלולים לפגוע בבריאות החי והצומח. כלים חדשניים לשימוש בחומרי הדברה בשדה וכן ניטור ואכיפה, המבוססים על מחקר מקיף בשיטות מגוונות, יסייעו בהבנה של היקף הבעיה בישראל ויכולים להביא לשימוש יעיל יותר באגרו-כימיקלים ולהפחית את הזיהום הסביבתי.

מבוא

מאז שנות ה-60 נרשם שימוש אינטנסיבי בחומרי הדברה ודישון בחקלאות כדי להבטיח מזון לאוכלוסיית העולם הגדלה. יחד עם העלייה בשימוש בחומרים אלה הצטברו עדויות והבנה על הנזק שהם עלולים לגרום לבריאות האדם והסביבה, ולכן נעשים ניסיונות לנטר ולבקר את השימוש בחומרים כימיים בשימוש חקלאי (להלן אגרו-כימיקלים). עם זאת, לא פעם נעשה שימוש בחומרים שאינם מאושרים על פי החוק, או שימוש לא תקני בחומרים מאושרים. לא רק אגרו-כימיקלים מוצאים את דרכם לסביבה החקלאית, אלא גם חומרים רפואיים ומוצרי טיפוח^[1]. אף על פי כן, עדיין חסר בעולם ידע הנוגע לפיזור מזהמים בסביבה ולהשפעותיהם על מערכות אקולוגיות (איור 1).

איור 1. אנפית בקר, הצועדת אחרי מרססת שמדבירה עשבים במטע אבוקדו, מדגימה את התפשטות חומרי ההדברה ברמות הטרופיות צולם במצלמת מעקב במסגרת מחקר, בעמק חפר.



איור 1

אנפית בקר, הצועדת אחרי מרססת שמדבירה עשבים במטע אבוקדו, מדגימה את התפשטות חומרי ההדברה ברמות הטרופיות
צולם במצלמת מעקב במסגרת מחקר, בעמק חפר.

אקו-טוקסיקולוגיה היא ענף מחקר צעיר, הדורש התמחות בתחומי ידע רבים, ורב בו הנסתר על הידוע. הענף עוסק בגורל חומרים שעלולים לפגוע באורגניזמים ואף לגרום למותם, אף על פי שאינם אורגניזם המטרה [19,17], כלומר שהחומרים אינם מכוונים לפגוע בהם. היבטים שונים בענף כוללים קינטיקה כימית ואופן השימוש בתכשירי הדברה, גורל הכימיקלים בסביבה, ניהול סיכונים, ביולוגיה ופיזיולוגיה של המינים המושפעים ופיתוח שיטות מתקדמות ובנות-קיימא לשימוש מושכל בכימיקלים.

גור-כימיקלים מפוזרים בשדות חקלאיים באופן לא נקודתי, כך שלא ניתן לייחס את הזיהום למקור נקודתי מסוים [20]. הסעת המזהמים נעשית בעת הריסוס על-ידי פיזור רחף, אך קיימת הסעה מאוחרת יותר, התלויה בגורמים סביבתיים ובתכונות המזהמים ותוצרי הפירוק שלהם, שלעיתים שונות מהמקור [12]. הגורמים הרבים שמשפיעים על הסעת המזהמים מקשים על הערכת הפיזור המרחבי שלהם [11], ולכן יש חשיבות למחקר באקו-טוקסיקולוגיה, שיתמוך בהמלצות לאסדרה יעילה [13]. חלק נכבד מהסעת המזהמים מתרחש בסופות גשם [18], ובישראל קיימים תנאים ייחודיים לפיזור חומרי ההדברה לאחר קיץ ארוך ויבש [2]. בזמן סופות המזהמים נשטפים באגן ההיקוות ומגיעים לקרקע, לנחלים ולמי התהום, שהם תשתית למערכות אקולוגיות רגישות [24].



יִסּוֹס בַּמַּטֵּעַ / צִילוּם: אורי שפירא

כאשר חומרי רעל קוטלים אוכלוסייה של מין דגל, השפעות הרעל בולטות לעין, אך קשה להעריך השפעה מצטברת של ריכוזים נמוכים יותר או של חומרים רעילים פחות. מקובל להבחין בין: א. **חשיפה אקוטית (Acute) קצרת-טווח**, שהיא חשיפה לריכוז גבוה של חומר במשך זמן קצר. השפעתה בדרך כלל מיידית – פחות מיממה מרגע החשיפה, והיא יכולה להיות קטלנית או לא קטלנית. כאשר השפעת החומר **קטלנית** הוא ממת את האורגניזם הנפגע במהירות, כמו במקרה של הרעלות נשרים [16]. ב. **חשיפה מתמשכת (Chronic)**, שהיא חשיפה ארוכת-טווח לריכוז נמוך יחסית של חומר לאורך חודשים ואף שנים. השפעותיה מתפתחות באיטיות ויכולות להיות קטלניות או לא קטלניות. חשיפה כרונית המתאפיינת בריכוזים **תת-קטלניים (Sublethal)** פוגעת באורגניזם ומגדילה את סיכויי התמותה שלו, כיוון שתפקודו נפגע בהדרגה. בספרות דווח על חרקים שסבלו מטריפה מוגברת בעקבות שינוי בהתנהגות של שיחור מזון, ועל יונקים שהיכולות המוטוריות וזמני התגובה שלהם נפגעו בעקבות חשיפה תת-קטלנית לכימיקלים [24].

השפעה תת-קטלנית היא הדרגתית, ודווקא משום כך השלכותיה דורשות תשומת לב [29]. כדי לחקור את פער הידע הקיים באשר להשפעות התת-קטלניות של אגרו-כימיקלים על הסביבה התפתחו מספר גישות מחקריות: א. התמקדות בהשפעות הקטלניות שקל יותר לבחון באמצעות חקר מקרה; ב. התמקדות בגורל החומרים במים, בקרקע ובמרחב כולו, ללא קשר להשפעות על האורגניזמים; ג. התמקדות במינים שהם סמנים ביולוגיים (ביו-אינדיקטורים) למצב הסביבה; ד. התמקדות במין מטרייה/ מפתח/ דגל. מטרת מאמר זה היא להצביע על פערי ידע בתחום של השפעות אקו-טוקסיקולוגיות בחקלאות ולנסות ולצמצם אותם באמצעות הדגמת הגישות המחקריות שהזכרנו ויישומן בישראל. בארץ זמינים לשימוש מאות חומרי הדברה ודישון. במאמר נציג מחקרים שערכנו לאחרונה בישראל: גורל אגרו-כימיקלים במים ובקרקע בסדר גודל של השדה, פיזור אגרו-כימיקלים באגן היקוות, שימוש בפרוקי רגליים כסמנים ביולוגיים למצב הסביבה והשפעות אגרו-כימיקלים על הנשר המקראי ועל דבורת הדבש. בסיום נסקור מספר פתרונות טכנולוגיים לצמצום הזיהום.



גר עילי משדה ליד מושב רם און, הזורם ישירות לקישון | צילום: שולמית נוסבוים

גורל אגרו-כימיקלים במים ובקרקע

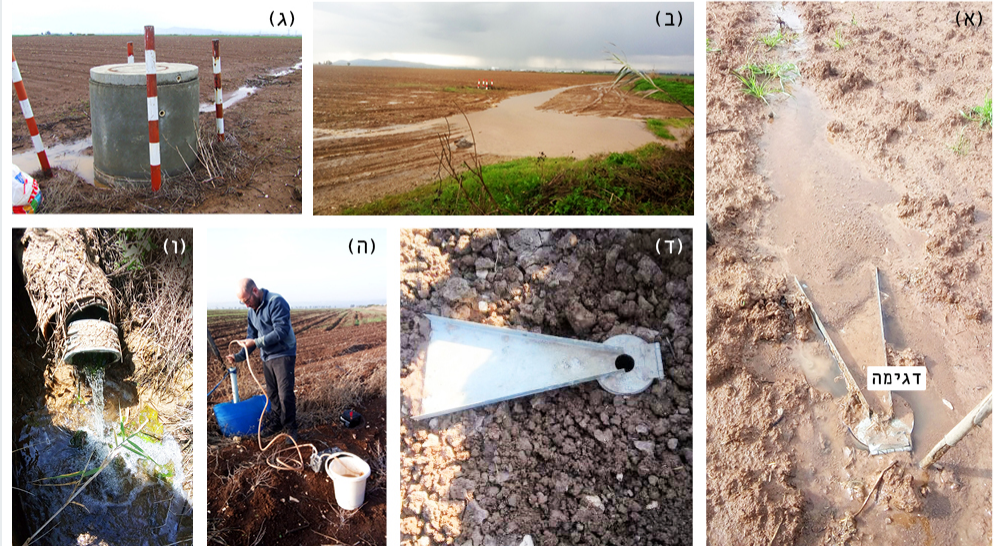
מחקר 1. הסעה של חומרי הדברה בסדר גודל של השדה – נתיבי הסעה עיקריים בשדה חקלאי

במחקר זה, שנערך בשדות חקלאיים בעמק יזרעאל בחורף 2022 כחלק ממחקר לדוקטורט של שולמית נוסבוים, נחקרה נוכחות מזהמים (חומרי הדברה ותרופות) בנתיבי ההסעה העיקריים בזמן סערה: נגר עילי, נגר תת-קרקעי והסעה למי התהום, בסדר גודל של השדה. המחקר נערך בשני שדות חקלאיים בעמק יזרעאל הסמוכים לגדות הקישון (איור 2). בשדות קיימת מערכת נקזים תת-קרקעית בעומק של 2–3 מטר, שאפשרה גישה נוחה לדגימת מים מעמודת הקרקע העליונה ושימוש בבארות תצפית (פיאזומטרים) לניטור מי התהום בעומק 5 מטר (איור 3). הדגימה נערכה בשני אירועי גשם בתחילת חורף 2021/22, ונאספו דוגמאות מים מהשדות בנקודות שונות על פני השטח: מפני השדה (בעזרת Runoff Collector Unit, המכונה RCU, מכשיר לאיסוף נגר שפיתחה ד"ר אורה משה), מתעלות הנגר, משוחות הגישה לניקוז התת-קרקעי, ממוצא צינור הניקוז התת-קרקעי (נקז) ומבארות תצפית. השדה המערבי פוצל לכותנה (הכנה לזריעה), בצל וחיטה, ואילו בשדה המזרחי נעשתה הכנה לזריעת כותנה. הגיוון בגידולים בשני השדות אפשר לבחון את השפעת הזמן שעבר מאז פיזור החומר בשדה על ריכוזו בדגימה שנאספה בסערה. כל הדוגמאות נאספו בבקבוקי זכוכית ועברו אנליזת LC/MS לזיהוי חומרי הדברה ותרופות.

החומר פוזר בחלקת הבצל כשבוע לפני הדגימה. ריכוזים גבוהים שלו נמצאו בתעלות הנגר העילי בשדה המערבי, אך במי התהום ובנגר התת-קרקעי שנדגם מהנקזים התת-קרקעיים נמצאו ריכוזים זניחים או קטנים מאוד (בהתאמה). בשדה המזרחי הריכוזים זניחים, שכן החומר לא פוזר שם כלל לאחרונה.

איור 3. דגימת נתיבי ההסעה בשדות

א. איסוף מי נגר מפני השדה באמצעות RCU (Runoff Collector Unit); ב. תעלת ניקוז נגר ראשית ומשנית; ג. שוחת גישה למערכת הניקוז התת-קרקעית; ד. RCU בשדה לפני סערה; ה. דגימה מבאר תצפית; ו. צינור המוצא של מערכת הניקוז.



איור 3

דגימת נתיבי ההסעה בשדות

א. איסוף מי נגר מפני השדה באמצעות RCU (Runoff Collector Unit); ב. תעלת ניקוז נגר ראשית ומשנית; ג. שוחת גישה למערכת הניקוז התת-קרקעית; ד. RCU בשדה לפני סערה; ה. דגימה מבאר תצפית; ו. צינור המוצא של מערכת הניקוז.

חומרי הדברה שונים נשטפו משני השדות, ללא קשר לחומרים המופיעים ברישומי החקלאים מהשנתיים האחרונות. נמצאו כ-80 תרכובות אורגניות בדגימות, וכאן בחרנו להציג שלושה קוטלי עשבים: דיפלופניקן (Diflufenican), מטולכלור (Metolachlor) ופנדימיתלין (Pendimethalin). החומר האחרון פוזר בחלקת הבצל שישה ימים לפני הדגימה, והמטולכלור פוזר כשנתיים לפני הדגימה. מעל לשנתיים לפני הדגימה אין תיעוד של שימוש בדיפלופניקן בשדה. המחקר מדגים את חשיבות התכונות הכימיות של החומרים בקביעת הפיזור המרחבי שלהם: בעוד שנוכחות חומרים מסיסים יחסית, כמו מטולכלור, גבוהה גם במי התהום ובנקזים, נוכחות חומרים מסיסים פחות, כמו דיפלופניקן, גבוהה בנגר, אך נמוכה בסדרי גודל במי התהום ובנקזים. לכן, יש לשער שתנועתם של חומרים קשי-תמס נעשית בעיקר על-ידי ספיחה לחלקיקי קרקע שנעים כסחף. נוסף על כך, דיפלופניקן הוא חומר יציב, ולכן אף על פי שלא קיים תיעוד לשימוש בו בשנתיים וחצי שקדמו למדידות, ריכוזי החומר בשטח המחקר היו גבוהים יחסית. פנדימיתלין (איור 2) פוזר בשדה כשישה ימים לפני דגימת אירוע הגשם הראשון בחלקת הבצל, ונמצא בדגימה בריכוזים גבוהים מאוד, שמעל לסף האנליזה. נמצאו ריכוזים נמוכים מאוד או זניחים במי התהום ובנקזים, גם בדגימות מאוחרות לאירוע הגשם. השוואה של מי הנקזים משני השדות מראה הבדלים בסוגים ובכמויות של חומרי הדברה, וניתן לראות שהשדה המערבי מזהם יותר. ישנם חומרים שכלל הנראה השימוש בהם נפוץ לאורך השנים ולכן נמצאו בשני השדות, אך בריכוזים גבוהים יותר בשדה המערבי. נמצא גם שריכוזי חומרי הדברה בנקזים ובמי התהום מושפעים מהגשם. השינוי ניכר תוך שעות ספורות, וחומרים מסיסים יותר מראים שטיפה בולטת יותר כלפי מי התהום. התנהגות זו מצביעה על כך שפני הקרקע הם מאגר לחלק מהאגרו-כימיקלים שנמצאו במחקר.

מחקר 2. דגימה פסיבית מרחבית להערכת ריכוז חומרי הדברה בשיטפון הראשון בעונה באגן ההיקוות של הקישון

מחקר זה, שנערך ב-19 יובלי הקישון בחורף 2021 בהובלת



של ד"ר אורה משה מהתחנה לחקר הסחף, בא לענות על פער הידע הקיים בישראל באשר לריכוז מזהמים חקלאיים ואיכות המים בסערה וכן לכמויות מצטברות של מזהמים בנחל וביובילים בזמן זרימות שיטפוניות בסדר גודל של אגן ההיקוות. השיטות שפותחו במחקר עשויות להוות בסיס לניטור אגני. דגימת מים מתבצעת לרוב באופן ידני ומספקת הצצה נקודתית לאיכות המים והמזהמים בנחל [23]. לראשונה בישראל נעשה שימוש בדוגמים פסיביים – כלי חדשני לניטור איכות המים, שמאפשר למזהמים להצטבר לאורך זמן על ממברנת פוליאטרסולפון

איסוף דגימה במוצא מערכת נקזים תת-קרקעית, שמתנקזת ישירות לנחל הקישון | צילום: מורן נוסבוים

(Polyethersulfone). השיטה מאפשרת זיהוי מזהמים גם בריכוזים שמתחת לסף הגילוי בדגימה ידנית. המחקר נערך ב-19 היובלים העיקריים באגן הקישון. החקלאות תופסת בכל אחד מהם בין 10% ל-75% מהשטח.

במהלך קיץ 2020, לקראת אירוע הגשם השיטפוני הראשון, הוקמו תחנות דגימה במורד כל אחד מ-19 היובלים העיקריים וכן ארבע תחנות נוספות לאורך הקישון עצמו. פריסת הדוגמים הפסיביים (חברת Chemcatcher) התבססה על דוגמאות ממחקרים קודמים [25, 23], אך נדרשה התאמה מיוחדת לזרימה הלא יציבה ביובילים. שני דוגמים פסיביים הותקנו בכל אחת מהתחנות לפני השיטפון הראשון בנובמבר 2020, ושהו בנחל במשך כשבועיים עד לבוא הסערה. לאחר הוצאתם נשלחו הדוגמים למעבדת אנליזות חומרים באוניברסיטת פורטסמות' באנגליה למיצוי, ולאחר מכן נשלחו לאנליזה של חומרי הדברה בצ'יה (אוניברסיטת דרום בוהמיה, צ'סקה בודיוויצה). נוסף על כך, נערכה דגימה ידנית בשיטה הקונבנציונלית בכל התחנות בתוך כארבע שעות בבוקר הסערה ברחבי כל אגן הקישון. הדוגמאות נלקחו לאנליזות נוטריינטים בשיטות סטנדרטיות (ISO/IEC 17025:2017) ולאנליזות לחומרי הדברה ולתרופות בשיטת LC/MS.

במחקר זהו וכומתו 59 חומרי הדברה ותרופות בדגימות המים הידניות, מתוכם 10 חומרים שזוהו בתחנות בכל היובלים (טבלה 1). בכל אחת מתחנות הדגימה הידנית נמצאו בממוצע 12 קוטלי עשבים, 12 קוטלי פטריות, 9 קוטלי חרקים, ובסך הכול 37 חומרי הדברה בכל דגימה. ריכוזי הדירון (Diuron), קוטל עשבים שנמצא בכל היובלים, היו גבוהים מאוד ומעבר לרף העליון של יכולת כימות הריכוז במרבית היובלים. באנליזת המיצוי של הדוגמים הפסיביים זהו 159 חומרי הדברה שונים, כפול ממספרם בדגימה הידנית. מהמחקר עולה כי כדי לשפר את איכות המים דרושות שיטות דגימה חדשות, שיתמכו בדגימה מגוונת במרחב ובזמן, וישפרו את תהליכי הניהול וקבלת ההחלטות באשר לאיכות המים באגן הקישון ובכל נחלי ישראל.

טבלה 1. מספר חומרי ההדברה שנמצאו בכל אחד מיובלי הקישון היובלים מוצגים מראש האגן למורדו.

יובל	מספר חומרי הדברה	יובל	מספר חומרי הדברה
קישון (מעלה)	34	גחר	19
זבדון	33	נהלל (נווה יער)	32
תענך	34	נהלל (מורד)	39
עוז	38	השופט	20
גלבוע	39	בית לחם	40
מאגר ברוך (כניסה)	48	יוקנעם	13
מאגר ברוך (יציאה)	46	קישון (פארק)	46
קיני	42	יגור	18
עדשים	42	יפתחאל	26
מזרע	34	ציפורי (כפר חסידים)	41
מגידו	30	נשר	22
משמר העמק	17	גדורה	34
צבי	36		

טבלה 1
מספר חומרי ההדברה שנמצאו בכל אחד מיובלי הקישון
היובלים מוצגים מראש האגן למורדו.

יומח ופרוקי רגליים כמיני בוחן למצב הסביבה

מחקר 3. שימוש במינים שהם סמנים ביולוגיים (ביו-אינדיקטורים) להערכת השפעות של חומרי הדברה על המערכת האקולוגית

מחקר זה עוסק במינים שהם סמנים ביולוגיים, כלומר שמצבם משקף את מצב החשיפה של הסביבה למזהמים. הוא התבצע בשנים 2019–2022 בשולי מטעים בדרום הגולן בקבוצת המחקר של פרופ' דן מלקינסון, כחלק מעבודת הדוקטורט של אורי שפירא. המחקר עוסק באפיון של זליגת חומרי הדברה ממקום ריסוסם בשטחים החקלאיים לסביבה הטבעית, בדיקת נוכחותם במעלה המערכת הטורפית ובחינת השפעתם על מגוון מינים של צומח ופרוקי רגליים ברמות טרופיות שונות. המחקר התבצע בשולי מטעים נשירים (שקד ואגס) בדרום רמת הגולן. במחקר נבדקו ריכוזי חומרי ההדברה בצמחייה ואצל פרוקי הרגליים בשטח המטע ובשטח הטבעי שמחוץ לו בחמישה מרחקים שונים עד 300 מטר מהמטע (מקום הריסוס). הצמחייה ופרוקי הרגליים נבדקו באמצעות אנליזות GC/MS ו-LC/MS לקביעת ריכוזי חומרי ההדברה בנקודות הדגימה השונות. נוסף על כך, נאספו נתוני עושר ומגוון של הצומח ופרוקי הרגליים בתוך המטע ובשטח הטבעי שמחוץ לו. האנליזה להימצאות חומרי הדברה בוצעה על פי רמות טרופיות ולא למינים מסוימים בנפרד, עקב מגבלות של ביומסה מינימלית הדרושה לאנליזה.

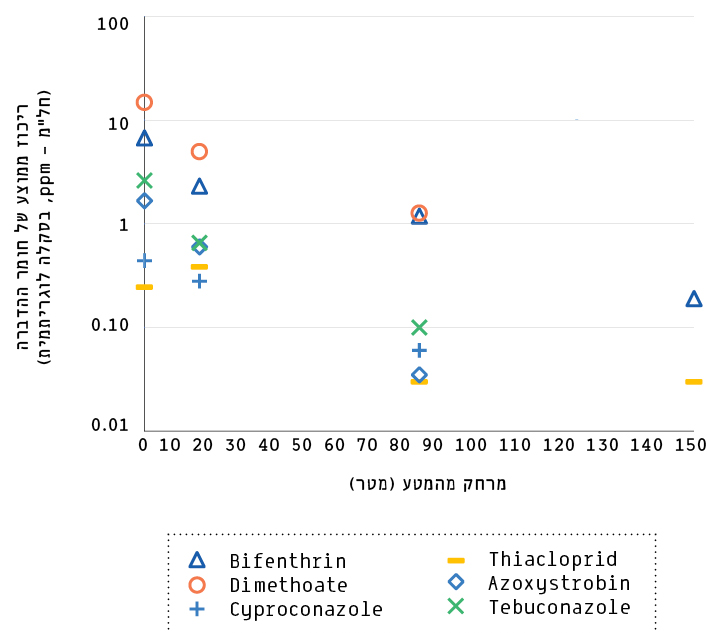
בשנת המדידה הראשונה נמצאו 11 חומרי הדברה שונים בצומח העשבוני, בעצים במטע ובשטח הטבעי שמחוץ לו. עבור שישה חומרי הדברה ירד ריכוז החומר בצומח העשבוני באופן חד (מעריכי) עם העלייה במרחק מהמטע, עם ערכי R^2 של 0.75 עד 0.95 (איור 4). ריכוזי הביפנתרין (Bifenthrin, קוטל חרקים רעיל מאוד ליונקים) בשולי המטע היו 2.35 חל"מ (חלקים למיליון, ppm), ודעכו לערכים של 0.19 חל"מ במרחק של 150 מטר מהמטע. בדומה לכך, ריכוזי התיאקלופריד (Thiacloprid, קוטל חרקים רעיל מאוד ליונקים ולציפורים) בשולי המטע היו 0.385 חל"מ, ודעכו לריכוז של 0.03 חל"מ במרחק של 150 מטר משולי המטע. שאר החומרים לא נמצאו במרחק זה. התיאקלופריד נמצא גם אצל פרוקי רגליים צמחוניים וטורפים בשטח הטבעי הצמוד למטעי נשירים במחקר המשך. מתוך חמשת חומרי ההדברה הנוותרים – שניים, שנמצאו בצומח מעוצה, הראו עלייה בריכוז עם המרחק מהמטע (פרופיקונזול [Propiconazole], קוטל פטריות רעיל מאוד ליונקים, ותיופנט-מתיל [Thiophanate-methyl], קוטל פטריות) ושלושה לא הראו מגמה עקבית (בוסקליד [Boscalid] ודיפנוקונזול [Difenoconazole], קוטלי פטריות בעלי שיוריות גבוהה, ואצטמיפריד [Acetamiprid], קוטל חרקים בעל רעילות גבוה לציפורים).

ולתועי אדמה).



חל הקישון מציף שדות חקלאיים ליד הכניסה למאגר ברוך | צילום: שולמית נוסבוים

איור 4. ריכוז חומרי הדברה שונים כתלות במרחק מהמטע בצומח עשבוני בשנת המחקר הראשונה
ציר Y מופיע בסקלה לוגריתמית.



איור 4

ריכוז חומרי הדברה שונים כתלות במרחק מהמטע בצומח עשבוני בשנת המחקר הראשונה
ציר Y מופיע בסקלה לוגריתמית.

מחקר 4. חשיפת הנשר המקראי (*Gyps fulvus*) לאגרו-כימיקלים

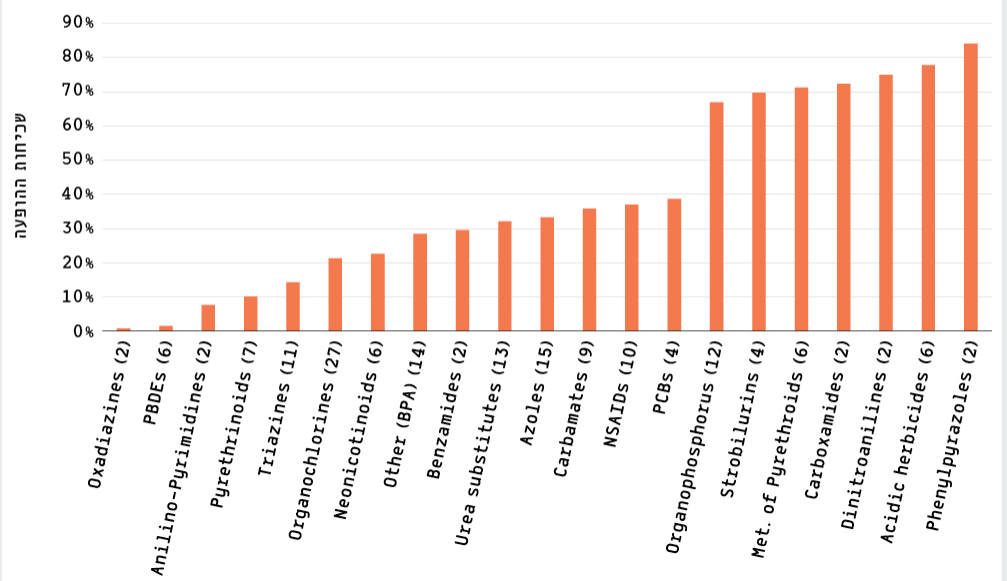
הנשר הוא אוכל פגרים, ומכסה אזורים נרחבים במהלך חיפושיו אחר מזון. תזונתו מבוססת על פגרים ממשק האדם ומחיות הבר [22]. באזורים חקלאיים בעלי החיים שהנשר ניזון מהם חשופים למזהמים סביבתיים שמקורם בפעילות האדם, כמו אגרו-כימיקלים, כך שגם הוא מושפע מהם. השינויים בבריאותו בעקבות החשיפה לחומרים הללו מעידים גם על בריאותה של הסביבה שהוא חי בה.

חשיפה תת-קטלנית של חיות בר לחומרי הדברה לאורך זמן משפיעה על מערכות גוף שונות ללא סימנים ברורים המתריעים על כך [24]. עופות דורסים הם טורפי-על ולכן משמשים במחקר כמנטרים סביבתיים [27, 21] של השפעות אגרו-כימיקלים. למשל, במחקר לאיתור אורגנוכלורידים הגורמים לדילול קליפת הביצה, התמקדו החוקרים בבז הנודד (*Falco peregrinus*) [10]. במחקרים אחרים נמצא ששאריות כספית משפיעות על מהלך הרבייה של עופות אוכלי דגים כמו שֶלֶךְ (*Pandion haliaetus*) [15], וקוטלי מכרסמים נוגדי קרישה גורמים דימום ומוות אצל הלילית המצויה (*Strix aluco*) [30].

היות שנמצא שבשנים 1998–2015 הצלחת הקינון של הנשרים בגמלא הייתה נמוכה [9], עלתה השאלה אם הם חשופים לרמות תת-קטלניות ומתמשכות של מזהמים סביבתיים באופן שעלול לשבש את מערכת הרבייה. במחקר, שהתבצע כחלק מעבודת הדוקטורט של יעל חורש במכון שמיר ובאוניברסיטת חיפה, נאספו בשנים 2012–2017 נוצות אברה שנשרו באופן טבעי, משלושה אזורים בישראל (הנגב, הגליל, הגולן) ומחמש ארצות באירופה (יוון, בולגריה, איטליה, צרפת, ספרד). באנליזה כימית של הנוצות [14, 4] בשיטת GC-MS/MS ו-LC-MS/MS נמצאו שאריות של 152 מזהמים מ-20 קבוצות כימיות, רובם חומרי הדברה, ושאריות של 10 תרופות וטרינריות מקבוצת NSAIDs – Non-Steroid Anti-Inflammatory Drugs, סך הכול 162 מזהמים מ-21 קבוצות (איור 5). מתוך 162 החומרים, 12 הם תוצרי תעשייה שאינם בשימוש חקלאי, 10 הם תרופות וטרינריות הניתנות לבקר וידועות כפוגעות בנשרים שאוכלים בקר שטופל בהן, ושלושה מסווגים כ"אחר"; שאר החומרים הם קוטלי חרקים (65), קוטלי עשבים (42) וקוטלי פטריות (30). בנוצות שנאספו בישראל נוכחות המזהמים וריכוזיהם הממוצעים היו גבוהים יותר מאלה שבארצות אירופה.

איור 5. שכיחות ההופעה של 21 קבוצות כימיות של מזהמים שנמצאו באנליזה של נוצות של נשר מקראי בשש ארצות המחקר

ליד שמות הקבוצות כתובים בסוגריים מספרי הכימיקלים שזוהו בכל קבוצה, בהתאם לרשימה שנקבעה כמתואר על-ידי Béranger ואחרים [6].



איור 5. שכיחות ההופעה של 21 קבוצות כימיות של מזהמים שנמצאו באנליזה של נוצות של נשר מקראי בשש ארצות המחקר

ליד שמות הקבוצות כתובים בסוגריים מספרי הכימיקלים שזוהו בכל קבוצה, בהתאם לרשימה שנקבעה כמתואר על-ידי Béranger ואחרים [6].

משמעות התוצאות היא שקיימת חשיפה של נשרים לחומרי הדברה באזורי שיחור המזון שלהם. מלבד האיומים הישירים על אוכלוסיית הנשרים בישראל, כמו הרעלות, התוצאות מראות שהיא מאוימת גם בדרכים פחות ניכרות לעין, שעלולות לפגוע בהצלחת הרבייה שלה ובחיוניותה. מומלץ לכלול באופן שגרתי בדיקות אקו-טוקסיקולוגיות של אגרו-כימיקלים שכיחים בעלי

פוטנציאל פגיעה ברבייה ובשרידות של הנשרים כחלק משגרה של תוכניות הניטור של מין זה. אמנם איננו מבינים עדיין את אופן הפעולה של רבים מחומרי הדברה הללו ואת דרך השפעתם ברמות תת-קטלניות, אך העובדה שהנשרים חשופים אליהם מצריכה מחקר על מלוא ההשפעה עליהם ועל סביבתם.



בי. ישראלי (נקבה) בשדה עגבניות ליד קיבוץ טירת צבי / צילום: נריה נוסכוביץ

מחקר 5. דבורת הדבש כסמן ביולוגי להערכה של מצב הסביבה

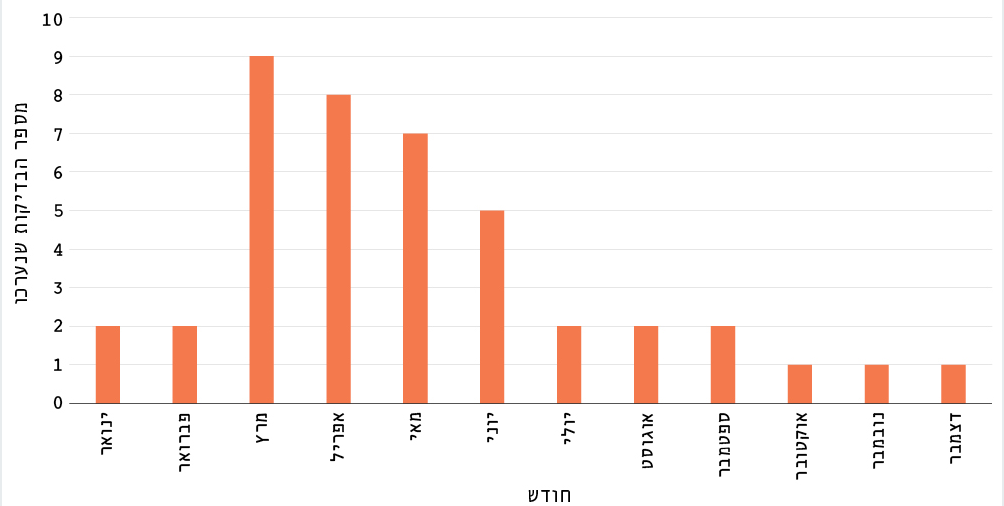
ב'בורים' בישראל חשופות לפגיעה לא מכוונת במאות כוורות בשנה בעקבות ריסוסי מזיקים בחקלאות [3]. בשל צפיפות הכוורות הגבוהה בישראל לא ניתן להרחיק את כל הכוורות מהשטח החקלאי, והדבורים נחשפות באופן תדיר לריסוסים [8] דרך רחף ריסוס המגיע ישירות לכוורת או בעקבות ריסוס מטע או שדה שיש בהם פעילות דבורים. הפגיעה מתבטאת בתמותת דבורים בפתח הכוורת (איור 6), לעיתים עד כדי חיסולה, אולם מוכרים גם סימפטומים נוספים. בשנים 2016–2021 נערך מחקר לזיהוי חומרי הדברה בדבורים מתות בכוורות ברחבי ישראל, בהובלת אהד אפיק ושלומי זרחין. במחקר נלקחו 42 דגימות של דבורים מתות במקרים של חשד לפגיעה מריסוסים מכוורות שהיו מוצבות במרחקים שונים משטחים חקלאיים, בשיטות GC/MS ו-LC/MS. נמצא שרוב אירועי התמותה מתרחשים באביב ובתחילת הקיץ, אולם הם קיימים לכל אורך השנה (איור 7). בדגימות נמצאו שאריות של יותר מ-38 חומרי הדברה, לרוב שני חומרים או יותר בדגימה. רוב החומרים היו קוטלי חרקים, אך נמצאו גם קוטלי עשבים וקוטלי פטריות. החומרים הנפוצים ביותר היו קוטלי העשבים אוקיפלואורפן (Oxyfluorfen) ודירון, שאינם נחשבים כרעילים לדבורים, והחומר אמטראז (Amitraz) המשמש להדברת אקריות בכוורת. הנפוצים מבין החומרים הרעילים לדבורים היו: אימיידכלופריד (Imidachloprid), מתיוקרב (Methiocarb), אבֶּמֶקטין (Abamectin), מתומיל (Methomyl), וביפנתרין (Bifenthrin) (טבלה 2). לא נמצאו הבדלים מהותיים בין כוורות בדרום הארץ ובצפונה.

איור 6. מראה אופייני של תמותת דבורים בפתח הכוורת בעקבות פגיעה מריסוס צילום: אהד אפיק.



איור 6
מראה אופייני של תמותת דבורים בפתח הכוורת בעקבות פגיעה מריסוס
צילום: אהד אפיק.

איור 7. התפלגות חודשית של מספר הבדיקות שנערכו לאחר תלונות של כוורנים על חשד לתמותת דבורים בעקבות ריסוסים בשנים 2016-2021



איור 7
התפלגות חודשית של מספר הבדיקות שנערכו לאחר תלונות של כוורנים על חשד לתמותת דבורים בעקבות ריסוסים בשנים 2016-2021

טבלה 2. החומרים העיקריים שנמצאו ב-42 דגימות של דבורים מתות שנאספו מפתחי כוורות

חומר פעיל	ייעוד החומר	חכשיר לדוגמה	שיעור דגימות חיוביות לחומר	הערות
Oxyfluorfen	קוטל עשבים	גול	43%	משמש גם להדברת עשבייה סביב הכוורות
Amitraz	קוטל אקריות	גלביטראז	31%	משמש להדברת אקריות בכוורת
Diuron	קוטל עשבים	דיאורקס	26%	משמש גם להדברת עשבייה סביב הכוורות
Imidacloprid	קוטל חרקים	קונפידור	17%	
Methiocarb	קוטל חרקים	מסורול	14%	יצא משימוש בשנה החולפת
Abamectin	קוטל אקריות וחרקים	ורטימק	7%	
Bifenthrin	קוטל חרקים	טלסטאר	7%	
Methomyl	קוטל חרקים	לאנט	7%	
Indoxacarb	קוטל חרקים	אוואנט	7%	
Tau-Fluvalinate	קוטל אקריות וחרקים	אפיסטן	7%	משמש להדברת אקריות בכוורת

טבלה 2

החומרים העיקריים שנמצאו ב-42 דגימות של דבורים מתות שנאספו מפתחי כוורות

הדגימות נערכו בעת חשד לאירועי חשיפה לחומרי הדברה אקוטיים וקטלניים, וכך ניתן להסביר את היחס הגבוה של קוטלי מזיקים לעומת קוטלי עשבים וקוטלי פטריות בדגימות. נוסף על חומרים בעלי רעילות גבוהה לדבורים כמו אימידַּכלופְּרִיד ומִתְיוֹקָרְב, נמצאו גם חומרים רבים שאינם נחשבים כגורמי תמותה לדבורים, אך ייתכן שהם משפיעים באופן שאינו ידוע עדיין. אפיון מקור הריסוס יכול לאפשר ללמוד כיצד להימנע מזנק בעתיד. לדוגמה, חשיפת הדבורים לחומר מִתְיוֹקָרְב מקורה לרוב בגידול אפרסק ונקטרינה. מנגד, קיימים תכשירים רבים שנעשה בהם שימוש במגוון גידולים, כך שלא תמיד ניתן לדעת מה מקור הריסוס ומהיכן רצוי להרחיק את הכוורות.

קיומם העתידי של שירותי ההאבקה שמספקות הדבורים תלוי ביכולת שיתוף הפעולה בין מגדלי הדבורים לחקלאים ובפתרונות מקיימים. ניטור כוורות מאפשר הערכה של הסיכונים העיקריים המגבילים התבססות של מאביקי בר בשטח החקלאי ובשוליו. ללא דבורים להאבקה יצטמצם מגוון מקורות המזון שניתן יהיה לגדל בארץ, וגידולים כגון אבוקדו, שקד ודלועים ייעלמו מנוף החקלאות בארצנו.



עגור אפור (*Grus grus*)



יוני בית (*Columba livia domestica*)



זוגת סלעים (Alectoris chukar)

ציפורים מוצאות את מזונן בשדות חקלאיים | צילום: מרלן נוי

פתרונות טכנולוגיים לצמצום רחף חומרי הדברה והשפעתם הסביבתית

חומרי הדברה מתפזרים בסביבה כטיפות בעת הריסוס (רחף ראשוני) או לאחריו בנידוף (רחף שניוני). הערכות זהירות ליעילות הריסוסים בחקלאות מראות שלפחות 75% מהחומר המרוסס אובד ואינו מגיע ליעדו, אך בספרות מוכרות הערכות של אובדן גדול עוד יותר ^[5]. הנזקים קצרי-הטווח של ריסוס בלתי מדויק מתבטאים בהוצאות עודפות על חומרים, על שעות מנוע ועל שעות עבודת אדם. נוסף על כך, חלק מהחומרים, כדוגמת קוטלי עשבים, משפיעים מיידית על גידולים רגישים סמוכים ופוגעים בצמח, בתנובתו ובתפקודו. ההשפעות ארוכות-הטווח על החקלאות כוללות עלייה בעמידות של מזיקים ועשבים שוטים (המכונים לעיתים עשבים רעים) – המתעצמת במקביל גם בעקבות צמצום של מגוון אמצעי ההדברה העומדים לרשות החקלאים; פגיעה במגוון הביולוגי, במאביקים ובאויבים טבעיים נחוצים נמנית גם היא עם ההשפעות ארוכות-הטווח של ריסוס שאינו מדויק. נוסף על כך, שאריות חומרים באדמה ובמים עלולות להשפיע על הגידולים בעונות עתידיות כמו גם על סביבתו של השדה.

השיטות לצמצום רחף ולשיפור בדיוק הריסוס כוללות פתרונות ותיקים, כגון שתילה של צמחיית חיץ ומגבלות אסדרה על הריסוס. בעשור האחרון עולים פתרונות חדשניים לצמצום הרחף במקור. את הפתרונות ניתן לחלק לכאלה שהם מוטי-מזיקים ולכאלה שהם מוטי-שימוש (pest-driven vs. pesticide-driven solutions): פתרונות מוטי-מזיקים כוללים מכשור מבוסס חיישנים ומצלמות, שנעזר בבינה מלאכותית ובמרכיבי תוכנה אחרים לזיהוי נקודתי של מזיקים ועשבים שוטים ולריסוס ממוקד. בפתרונות מוטי-שימוש משתמשים בחומרים פעילים בעלי השפעה סביבתית קטנה יחסית, וכוללים גם פומיות ומרססים משופרים וציוד ריסוס מתקדם כמו כלי טיס ללא טייס ורובוטים קרקעיים אוטונומיים. נעשה שימוש גם בריסוס אלקטרוסטטי ^[28], שבמהלכו טעונים טיפיות זעירות של החומר המרוסס במטען חשמלי, כך שייטיבו להיצמד לצמח – גם על גב העלה. בצורה זו מפחיתים ריסוס יתר ומונעים נגירת חומרי הדברה עודפים לאדמה מכוח הכבידה. סוג נוסף של פתרונות מוטי-שימוש מתמקד בצמצום הרחף ובשיפור כיסוי הריסוס באמצעות מידול שתוצאתו היא תזמון מיטבי של הריסוסים.

הצד המשלים לצמצום הרחף הוא הניטור. ניטור רציף עם זיהוי מדויק של החומר המרוסס עדיין אינו בנמצא, וכל בדיקה של הימצאות חומרים בשדה או ברקמת הצמח מחייבת נטילת דוגמאות וניתוח מעבדתי שעלותם בצידם. מידול חדשני יכול לסייע בנייה של סיכונים, בשיפור הניטור ובצמצום העלויות הכרוכות בו, על-ידי סימון אזורים בשדה וזמנים מועדפים לדגימה.



לפרוני מצויץ (*Galerida cristata*)



דייה מצויה (*Milvus migrans*)



עיט החורש (*Clanga pomarina*)
צילום: מרלן נוי

דיון וסיכום

בחמשת המחקרים שהוצגו בוצעו אנליזות לאיתור מזהמים כדי להעריך את מידת החשיפה של הסביבה והיצורים החיים בה לחומרים אלה. חומרי הדברה הופיעו בכמה מהמחקרים שהוצגו כאן באופן בלתי תלוי, וייתכן שהדבר קשור להרגלי השימוש של חקלאים ולמדיניות הנהוגה בארץ. לדוגמה, החומרים מטולכלור, טבוקונזול (Tebuconazole) ודירון נמצאו בארבעה מתוך חמשת המחקרים, ודיפלופניקן נמצא בשלושה מחקרים. הפיזור של חומרי הדברה בסביבה פוגע באורגניזמים בסביבה, ולעיתים אף במיני מפתח במערכות אקולוגיות, וכך פוגע ביציבות ובעמידות של המערכות הללו. הסיכון למערכות האקוויטיות, שנחשבות רגישות ביותר, עלול להיות חמור בשל פיזור מיידי של החומרים במי הנגר ובנחלים גם זמן קצר לאחר הפיזור בשדה. כאשר מדובר בחומרים מסיסים יחסית, הזיהום עלול להופיע לאחר זמן קצר גם במי התהום. שימוש בכלי ריסוס חדשניים לצד מידול וניטור משופרים עשויים להביא לתכנון מושכל של השימוש בחומרי הדברה, להפחתת הזליגה לסביבה ואף לחיסכון בתשומות מצד החקלאים. נוסף על חומרי הדברה ודשנים בחקלאות ישנם חומרים נוספים הנפלטים לסביבה, וגם להם יכולה להיות השפעה אקו-טוקסיקולוגית שעדיין רב הנסתר על הגלוי בה. החומרים הנוספים כוללים תרופות ומוצרי טיפוח וכן חומרים מתחום הבניין^[7]. המחקרים שהצגנו יכולים לשמש קריאת כיוון להעמיק ולבחון השפעות אקו-טוקסיקולוגיות בתנאים הייחודיים לישראל, בפרט כאשר המגוון הביולוגי מאיים^[26]. כדי לקבל הערכת סיכונים שלמה יותר של השפעת חומרי הדברה על הסביבה בישראל יש לערוך מחקרים הבוחנים היבטים מגוונים של הבעיה. כפי שהצענו, ההיבטים האלה כוללים את הרעילות והשפעותיה הכרוניות והאקוטיות על יצורים נבחרים בבתי הגידול בישראל. לצד זאת יש לחקור את השינויים בנוכחות החומרים בסביבה בסקאלות מרחב וזמן מגוונות על-ידי מידול וניטור השוואתי ומקיף של המים והקרקע בשטחים ובבתי גידול מייצגים, ובמקביל לבחון חלופות של שיטות וחומרים שיהיו יעילים ובעלי השפעה מזערית על הסביבה, וכן פתרונות מבוססי טבע למזעור ההשפעות. מחקר מקיף יאפשר להבין כיצד כימיקלים שזולגים לסביבה בעקבות פעילות חקלאית משפיעים על המערכת האקולוגית כולה. גישה רב-מערכתית שכזו תוכל להצביע על דרכים לצמצום ההשפעות הקטלניות והמצטברות של אגרו-כימיקלים על הסביבה הטבעית ולתמוך בשיקום מערכות אקולוגיות. לצד שיפור מבוסס מחקר של שיטות הניטור והאכיפה חשוב להשאיר כלים מגוונים בידי החקלאי כדי להמשיך להיות יצרני ורווחי. למשל, יש לאפשר לו שימוש מדויק יותר בכמויות ובחירה של החומרים ומינונם, שיטת הפיזור ותזמונו.

תודות

לתוכנית עידית לדוקטורנטים מצטיינים במדעי החברה, הפקולטה למדעי החברה ע"ש שמואל והרטה עמיר באוניברסיטת חיפה, לקתדרת חייקין לגיאואסטרטגיה ולמדען הראשי במשרד החקלאות על התמיכה במלגת דוקטורט במחקר בעמק יזרעאל; למשרד להגנת הסביבה ולרשות ניקוז ונחלים קישון לתמיכה במחקרים בעמק יזרעאל ובאגן הקישון; למשרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה על התמיכה במחקר הנשרים והמטעים הנשרים בגולן; לקרן הדוכיפת על התמיכה במחקר הנשרים; למועצה לייצור ושיווק דבש על מימון הבדיקות במחקר הדבורים.

מאמר זה הוא סיכום מחקרים שהוצגו בכנס מדעי החקלאות בישראל, אוקטובר 2021, במושב "אקו-טוקסיקולוגיה בישראל – גורל חומרי הדברה בקרקע, השפעות על הסביבה הטבעית, ושיטות למזעור הנזק". תודתנו נתונה למארגני הכנס. תודה לפרופ' אורי מינגלגרין על הערותיו לגרסה מוקדמת של הטקסט.

הלכה למעשה

ד"ר תמר ברמן, המחלקה לבריאות וסביבה, משרד הבריאות

הוועדה הבין-משרדית לתיאום השימוש בתכשירי הדברה להגנת הצומח בוחנת אם שימוש בתכשיר הדברה מהווה סיכון לבני אדם או לבעלי חיים או שהוא בעל השפעה שלילית בלתי סבירה על הסביבה. הוועדה כוללת נציגים ממשרד החקלאות, מהמשרד להגנת הסביבה, ממשרד הבריאות וממשרד העבודה. בין השאר, הוועדה בוחנת נתונים אקו-טוקסיקולוגיים, ובהם ההשפעה של חומרי הדברה על ציפורים, על דבורים ועל איכות מי התהום. בשנים האחרונות ערכה הוועדה בחינת מחודשת של עשרות חומרים פעילים ולאחריה המליצה לבטל או לצמצם את השימוש בתכשירים, בין השאר בגלל השפעות על הבריאות ועל הסביבה.

במאמר מוצגים נתונים חדשים על השפעות אקו-טוקסיקולוגיות של חומרי הדברה בתנאים המיוחדים של ישראל. חשוב שתוצאות מחקרים מסוג זה יוצגו לוועדה הבין-משרדית, כדי שיעזרו לחברי הוועדה לגבש את ההנחיות שמופיעות בתוויות של תכשירי הדברה. בעזרת התוצאות הם יוכלו, למשל, לקבוע הגבלת שימוש באזורים רגישים הידרולוגית או איסור על שימוש בשעות הפעילות של דבורים. עם זאת, כדי שתוצאות מסוג זה יוכלו לשמש בסיס למדיניות ויתרמו לניהול הסיכונים, חשוב להציג אותן בהשוואה לערכי סף אקו-טוקסיקולוגיים.

ד"ר לילא שיני-חג'-יחיא, מנהלת אגף א' (כימיה ותכשירי הדברה), השירותים להגנת הצומח ולביקורת, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

תכשירים להגנת הצומח נרשמים בהתאם לתקנות הגנת הצומח (הסדר יבוא ומכירה של תכשירים כימיים), התשנ"ה-1994. הוועדה הבין-משרדית המייצעת למנהל דנה בכל ההיבטים הבריאותיים והסביבתיים של חומרי הדברה כחלק מתהליך הרישום ובמסגרת התקנות. חומרי הדברה שנמצאים רעילים לבריאות ולסביבה אינם נרשמים ואינם מאושרים לשימוש בארץ.

במקביל לתהליך רישום תכשירי הדברה חדשים, משרד החקלאות והוועדה הבין-משרדית מבצעים הערכה מחדש לחומרי הדברה ותיקים כדי לבחון את ההשלכות הבריאותיות והסביבתיות שנובעות מהשימוש בהם לאורך השנים. במהלך דיוני ההערכה מחדש נתקלנו במספר אתגרים. האתגר העיקרי הוא פערי ידע ומחסור בנתונים סביבתיים מהארץ, כגון זיהום הקרקע והמים (כולל מי שתייה) בחומרי הדברה, ומידת ההשפעה של חומרי הדברה על פרוקי רגליים כמו דבורים וחרקים מועילים. נוסף על כך, חסרות עבודות ניטור סביבתיות של כל חומרי הדברה המורשים לשימוש בארץ. לדוגמה, משרד הבריאות מנטר שאריות חומרי הדברה במי שתייה רק עבור חומרים שנקבע עבורם תקן. עם זאת, לרוב חומרי הדברה כלל אין תקן לגבי השאריות המותרות במי שתייה. האתגר השני הוא להגדיר מי צריך להיות הגוף האחראי על ביצוע המחקרים ואיסוף הנתונים הרלוונטיים – המדינה, התעשייה או גופי המחקר? לכל גוף היתרונות והחסרונות שלו. האתגר השלישי הוא שלא לכל חומר בעל השפעה פוטנציאלית שלילית על הסביבה יש תחליף, דבר המחייב ניהול סיכונים זהיר בין התועלת החקלאית והתועלת הסביבתית.

בשל ההבדלים הסביבתיים הגדולים בין ישראל למדינות באירופה וארה"ב לא נכון לבסס את ההחלטות הסביבתיות רק על סמך הערכות הסיכונים שמבוצעות בחו"ל. משרדי הממשלה הרלוונטיים (חקלאות, סביבה ובריאות) חייבים לשלב ידעים כדי להתגבר על כל האתגרים שהוזכרו לעיל ועל אתגרים נוספים.

מקורות

1. מנדלב, א, טופז, ת, בן-ארי י וחפץ ב. 2021. חומרי הדברה, חומרים רפואיים ומוצרי טיפוח בנחלי החוף בישראל בגל השיטפון הראשון: נוכחות וריכוזים. *אקולוגיה וסביבה* **12**(3): 13–20.
2. משה, א, ישראל ל ודיין ת. 2021. אסטרגיות לשיפור ניהול נחלים ברמה אגנית. *אקולוגיה וסביבה* **12**(3): 59–66.
3. סורוקר, ו, שריג, ש, סלוצקי י ואח'. 2017. זליגת חומרי הדברה משדות חקלאיים לסביבה הטבעית והשפעתה על דבורי דבש. *אקולוגיה וסביבה* **8**(2): 16–23.
4. Appenzeller BM, Hardy EM, Grova N, et al. 2017. [Hair analysis for the biomonitoring of pesticide exposure: Comparison with blood and urine in a rat model](#). *Archives of Toxicology* **91**(8): 2813–2825.
5. Arias-Estévez M, López-Periago E, Martínez-Carballo, et al. 2008. [The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources](#). *Agriculture, Ecosystems and Environment* **123**(4): 247–260.
6. Béranger R, Hardy EM, Dexet C, et al. 2018. [Multiple pesticide analysis in hair samples of pregnant French women: Results from the ELFE national birth cohort](#). *Environment International* **120**: 43–53.
7. Bollmann UE, Minelgaite G, Schlüsener M, et al. 2016. [Leaching of Terbutryn and its photodegradation products from artificial walls under natural weather conditions](#). *Environmental Science and Technology* **50**(8): 4289–4295.
8. Bommuraj V, Chen Y, Klein H, et al. 2019. [Pesticide and trace element residues in honey and beeswax combs from Israel in association with human risk assessment and honey adulteration](#). *Food Chemistry* **299**: 1–9.
9. Choresh Y, Burg D, Trop T, et al. 2019. [Long-term griffon vulture population dynamics at Gamla Nature Reserve](#). *The Journal of Wildlife Management* **83**(1): 135–144.
10. Fernie KJ, Shutt JL, Letcher RJ, et al. 2009. [Environmentally relevant concentrations of DE-71 and HBCD alter eggshell thickness and reproductive success of American kestrels](#). *Environmental Science and Technology* **43**(6): 2124–2130.
11. Fytianos, K, Siumka A, Zachariadis GA, et al. 2002. [Assesment of the quality of the characteristics of Pinios river, Greece](#). *Water, Air, and Soil Pollution* **136**: 317–329.
12. Gassmann M, Stamm C, Olsson O, et al. 2013. [Model-based estimation of pesticides and transformation products and their export pathways in a headwater catchment](#). *Hydrology and Earth System Sciences* **17**(12): 5213–5228.
13. Halliday SJ, Skeffington RA, Bowes MJ, et al. 2014. [The water quality of the River Enborne, UK: Observations from high-frequency monitoring in a rural, lowland river](#)

- [system](#). *Water* **6**(1): 150–180.
14. Hardy EM, Duca RC, Salquebre G, and Appenzeller BM. 2015. [Multi-residue analysis of organic pollutants in hair and urine for matrices comparison](#). *Forensic Science International* **249**: 6–19.
 15. Hickey JJ and Anderson DW. 1968. [Chlorinated hydrocarbons and eggshell changes in raptorial and fish-eating birds](#). *Science* **162**(3850): 271–273.
 16. Horowitz IH, Yanco E, Nadler RV, et al. 2014. [Acute lead poisoning in a griffon vulture \(*Gyps fulvus*\) in Israel](#). *Israel Journal of Veterinary Medicine* **69**(3): 163–168
 17. Jayaraj R, Megha P, and Sreedev P. 2016. [Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment](#). *Interdisciplinary Toxicology* **9**(3-4): 90–100.
 18. Lemaire GG, Rasmussen JJ, Höss S, et al. 2022. [Land use contribution to spatiotemporal stream water and ecological quality: Implications for water resources management in peri-urban catchments](#). *Ecological Indicators* **143**: 109360.
 19. Lopez-Antia A, Ortiz-Santaliestra ME, Mougeot F, et al. 2021. [Birds feeding on tebuconazole treated seeds have reduced breeding output](#). *Environmental Pollution* **271**.
 20. Morselli M, Vitale CM, Ippolito A, et al. 2018. [Predicting pesticide fate in small cultivated mountain watersheds using the DynAPlus model: Toward improved assessment of peak exposure](#). *Science of the Total Environment* **615**: 307–318
 21. Movalli P, Krone O, Osborn D, et al. 2018. [Monitoring contaminants, emerging infectious diseases and environmental change with raptors, and links to human health](#). *Bird Study* **65**(sup1): S96–S109.
 22. Mundy PJ, Butchart D, Ledger J, et al. 1992. *The Vultures of Africa*. Randburg and Halfway House.
 23. Novic AJ, O'Brien DS, Kaserzon SL, et al. 2017. [Monitoring herbicide concentrations and loads during a flood event: A comparison of grab sampling with passive sampling](#). *Environmental Science and Technology*. **51**(7): 3880–3891
 24. Rich LN, Mcmillin S, Baker AD, et al. 2020. [Pesticides in California: Their potential impacts on wildlife resources and their use in permitted cannabis cultivation](#). *California Fish and Wildlife* **106**: 31–53.
 25. Rimayi C, Chimuka L, Gravell A, et al. 2019. [Use of the Chemcatcher® passive sampler and time-of-flight mass spectrometry to screen for emerging pollutants in rivers in Gauteng Province of South Africa](#). *Environmental Monitoring and Assessment* **191**(6): 1–20.
 26. Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. 2009. [A safe operation space for humanity](#). *Nature* **461**: 472–475.
 27. Sergio F, Newton IAN, Marchesi L, and Pedrini P. 2006. [Ecologically justified charisma:](#)

- [Preservation of top predators delivers biodiversity conservation](#). *Journal of Applied Ecology* **43**(6): 1049–1055.
28. Singh M, Ghanshyam G, Pramod KM, and Chak R. 2013. [Current status of electrostatic spraying technology for efficient crop protection](#). *AMA – Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America* **44**(2): 46–53.
29. Stanley J and Preetha G. 2016. [Pesticide toxicity to arthropod predators: Exposure, toxicity and risk assessment methodologies](#). In: Gnanadhas P and Johnson S (Eds). *Pesticide toxicity to non-target organisms*. Dordrecht: Springer.
30. Walker LA, Turk A, Long SM, et al. 2008. [Second generation anticoagulant rodenticides in tawny owls \(*Strix aluco*\) from Great Britain](#). *Science of the Total Environment* **392**(1): 93–98.

קריאה נוספת

ספר המתייחס לתכונותיהן הכימיות של תרכובות אורגניות ולהשלכותיהן על גורל התרכובות המזהמות בסביבה.

René DMI, Schwarzenbach P, and Gschwend PM. 2016. [Environmental organic chemistry](#), 3rd edition. Wiley

מאמר המתאר בהרחבה את ההשפעות של חומרי הדברה על מגוון אורגניזמים.

Rich LN, McMillan S, Darnell Baker A, and Chappell E. 2020. [Pesticides in California: Their potential impacts on wildlife resources and their use in permitted cannabis cultivation](#). *California Fish and Wildlife Journal* **106** (Cannabis Special Issue): 31–35

מאמר מקיף המתייחס למספר מפגעים סביבתיים המשפיעים לרעה על עופות ממינים שונים במגוון בתי גידול, וקורא לנקיטת צעדים להקטנת הפגיעה.

Richard F-J, Southern I, Gigauri M, et al. 2021. [Warning on nine pollutants and their effects on avian communities](#). *Global Ecology and Conservation* **32**: e01898