

בחינת השירותים האקולוגיים של חורשות קק"ל הנטועות בגבול שטחים חקלאיים במזעור פיזורם של חומרי הדברה

אלי צעדי¹, יצחק קטרה², שלמה שריג³, שמשון שוקר¹ ויעקב קנול¹
¹מרכז מחקר גילת. המחלקה למשאבי טבע, מינהל המחקר החקלאי
²המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
³מרכז קטיף לחקר מדבריות החוף, שדות נגב
zaadye@volcani.agri.gov.il

תקציר

הפעילויות השונות בחקלאות אינטנסיבית כוללות, בין היתר, שימוש מוגבר בחומרי הדברה. אלה הם חומרים כימיים שנעשה בהם שימוש בשדה להשמדת מזיקים, כולל: חרקים, עשבים רעים, פטריות ומכרסמים. עקב פעילות זו והשימוש הנרחב בהם הפכו למזהמים של מקורות מים, אוויר וסביבה וסיכון בריאותי.

מטרת המחקר הייתה לבחון האם לרצועות חיץ וחורשות של עצים (איקליפטוסים, אורנים וחרובים), הנטועות על ידי קק"ל בסמוך לחלקות חקלאות קונבנציונליות ואינטנסיביות, השפעה על אבק שוקע ועל תנועה של חומרי הדברה. השערתנו הייתה, כי העצים בהשפעתם על תנועת הרוחות מביאים לכך שחומרי הדברה למיניהם, המוסעים על ידי חלקיקי האבק מהשדות ומהמטעים, שוקעים עם האבק לרגלי העצים הנטועים ויכולים על כן גם להימצא בקרקע שמתחתם. שיטות המחקר כללו אנליזה איכותית וכמותית של חומרי הדברה, במדרג של מרחקים בין שדות של חקלאות אינטנסיבית, שבהם היה יישום של חומרי הדברה, לבין העצים הסמוכים. במחקר נמצאו, באבק שהצטבר, 17 חומרי הדברה שונים, קוטלי חרקים, פטריות ועשבים, הן בשדות והן בשורות העצים הסמוכים, דבר המצביע על תפקוד חשוב של העצים הנטועים במזעור פיזורם של חומרי הדברה, נושא שלא נכלל עד כה במדיניות הנטיעות והייעור. מסקנתנו הייתה, כי בהיבטים ממשקיים ובייחוד במקרים שבהם השדות והמטעים קרובים לאזורים מאוכלסים, יש לשקול בחיוב את הנטיעות ככלי לצמצום כמויות האבק הנישא, בהיות חלקיקים אלה נושאים, בחלקם, חומרי הדברה ספוחים אליהם, העלולים להביא לפגיעה הן במערכות הטבעיות והן בבריאות האדם.

מילות מפתח: זליגה, רצועות חיץ, תנועת אבק, מחסומי רוח.

רקע

תהליכים מוגברים של עיור במרכז הארץ ועליית ערך הקרקעות גורמים לנדידה של שטחי גידולים חקלאיים לפריפריה. תופעה זו הביאה להתרחבות שטחי החקלאות, היוצרים פסיפס של חלקות וגידולים שונים במארג אגרו-אקולוגי עם שטחים טבעיים ויישובים חקלאיים. מטבע הדברים, הפעילויות השונות בחקלאות האינטנסיבית כוללות, בין היתר, שימוש מוגבר בחומרי הדברה (Pesticides). אלה הם חומרים כימיים, שנעשה בהם שימוש בשדה להשמדת מזיקים, כולל: חרקים, עשבים רעים, פטריות ומכרסמים. עקב הפעילות החקלאית האינטנסיבית והשימוש הנרחב בחומרי הדברה הם הפכו למזהמים של מקורות מים, אוויר וסביבה.

חומר ההדברה הסינטטי הראשון הפך לזמין בשנת 1940. השימוש בחומרי הדברה, שהלך והתרחב מכאן והלאה, הניב מחד גיסא, יתרונות גדולים בהגדלת ייצור מזון לאוכלוסיית העולם המתרבה והולכת. מאידך גיסא, שימוש בחומרי הדברה בחקלאות עלול לגרום לתופעות לא רצויות בנוגע לבריאות האדם והסביבה הטבעית. החשש מהשפעות חומרי ההדברה על הסביבה ועל בריאותו של האדם החלו לעלות בשנות ה-1960 המוקדמות (Carson, 1962). הרחבת השימוש בחומרי הדברה, שנעשתה לאורך השנים, מגבירה את פוטנציאל הסיכון. כיום מוערך, כי בכל שנה בין 2.5–3.5 מיליון טון של חומרי הדברה מיושמים על יבולים חקלאיים ברחבי העולם (Hayo & van der Werf, 1996; Alavanja, 2009).

על פי דוח מבקר המדינה לשנת 2011 נמצא, כי בישראל תחום ההדברה סובל מ"היעדר איסוף של נתונים וניתוחם לשם גיבוש מדיניות" וכי אנו לוקים בחוסר ידע לגבי הימצאותם של שאריות חומרי ההדברה שבהם נעשה שימוש בחקלאות, באוויר, במים ובקרקע (המשרד להגנת הסביבה 2012א). המידע על חשיפה סביבתית לחומרי הדברה חיוני ביותר בשל ההשלכות הסביבתיות הנובעות מחשיפה מתמשכת לחומרים אלה, לא רק לבני האדם, אלא



תמונה 1: תנועת אבק הנובעת מהפעילות החקלאית בצפון הנגב (צילום: אלי צעדי).

Photo 1: Dust drifting resulting from agricultural activities in the northern Negev (Photo: Eli Zaady).

בחומרי הדברה מסוימים ותקנות לשימוש בחומרי הדברה לשם שמירה על הסביבה (המשרד להגנת הסביבה, 2009, 2012ב). משרד החקלאות הקים מאגר ידע בנושא חומרי הדברה (אתר משרד החקלאות). בנוסף לכך, ישנן תקנות מחמירות של המשרד להגנת הסביבה (2012ב), המפרטות את ההגבלים לגבי פיזור רעלים וכימיקלים מזיקים, הן מכלי ריסוס קרקעיים והן מכלי טייס. כיום, התקנות קובעות הגבלות לשימוש רק בקרבת בתי מגורים ואין בנמצא כאלה המתייחסות לפגיעה אפשרית בשטחים הטבעיים, על כל המשתמע בכך לגבי החי והצומח.

כמות חומרי הדברה שבאה במגע ישיר עם מזיקי היעד או הנצרכת על ידם מהווה אחוז קטן מאוד מהכמות שיושמה. ברוב המחקרים נמצא, ששיעור חומרי הדברה המיושמים, אשר מגיע למזיקי היעד, נמוך מ-0.3%, כך שלמעשה 99.7% "הלכו למקום אחר" ולמעשה מזהמים את הסביבה (Pimentel, 1995). מכיוון שהשימוש בחומרי הדברה בחקלאות מוביל בהכרח לחשיפת אורגניזמים שאינם אמורים להיחשף אליו (כולל בני אדם), תופעות לוואי לא רצויות עלולות להתרחש ברמות שונות של פגיעה במינים, באוכלוסיות או אפילו בהיקפים של חברות ומערכות אקולוגיות בכללותן (Hayo & van der Werf, 1996).

חומרי הדברה המיושמים בשטח על גבי הצומח או בקרקע עשויים לעבור תהליכים שונים. הם עשויים לעבור פירוק, להתאדות לאטמוספירה, לנוע עם הנגר העילי, לחלחל למים עיליים ולמי-תהום, להיקלט על ידי צמחים או אורגניזמים בקרקע או להישאר בשכבת הקרקע העליונה. החלק שמוסע על ידי שטיפה לתמיסת הקרקע הוא בדרך כלל נמוך (Taylor &

גם למערכות האקולוגיות הסמוכות. השימוש המוגבר בחומרי הדברה מביא לפגיעה גם בייצור החקלאי. עם הגברת הפיקוח על שאריות חומרי הדברה במוצרים חקלאיים ושיפור אמצעי הבדיקה, אנו נתקלים יותר ויותר בפסילת מוצרים חקלאיים המיוצאים מהארץ על ידי רשויות הפיקוח במדינות היעד, בעיקר במדינות האיחוד האירופי, רק בשל שאריות חומרי הדברה אסורים שנמצאו בשדות שלא רוססו (European Commission website). מקור האילוח הוא, כנראה, הסעה של שאריות חומרי הדברה על ידי רוח ו/או מים. הסף של שאריות חומרי הדברה, המוגדר על ידי רשויות הפיקוח לפסילת מוצרי חקלאות המיובאים לאירופה, מחמיר והולך. בגרמניה, לדוגמה, שאריות של חומרי הדברה מסוימים, שבעבר היו נפסלים עקב ריכוזים של חלקי מיליון (ppm), נפסלים כיום בערכים של חלקי ביליון (ppb).

השימוש הנרחב בחומרי הדברה נעשה בעיקר על ידי חקלאים, אך גם על ידי גופים שונים שאינם דווקא חקלאיים, כגון: צה"ל, חברת החשמל, רכבת ישראל, נתיבי ישראל – החברה הלאומית לדרכים ורשויות מקומיות; אלה משתמשים, לדוגמה, בקוטלי העשבים לשם ניקוי צדי דרכים ושטחים פתוחים, למניעת פגיעה בגורמי תשתית שונים (ספקטור-בס ופידלמן, 2012) ובריסוסים של קוטלי חרקים של מקווי מים עומדים בעונת הקיץ כנגד יתושים.

כיום, קיימת הסכמה, שהפגיעה של חומרי הדברה בסביבה תלויה ברמת החשיפה (הפיזור והריכוז בסביבה) והתכונות הרעילות של החומר (Severn & Ballard, 1990; Emans, Beek & Linders, 1992). הבנה זו הביאה את המשרד להגנת הסביבה בישראל לפרסם מפת אזורי רגישות הידרולוגית, לשימוש

מסוימים כטובה ובמקרים אחרים כלא יעילה (Popov, Cornish & Sun, 2005). בשיטה אחרת נעשתה בניית רצועות חיץ כאלה בתוך השדות המרוססים. זו נמצאה הרבה פחות יעילה מרצועות חיץ בקצה השדות, בייחוד לגבי ההפחתה בחומרי הדברה במי הנגר העילי אשר יכולים להגיע לשדות ולואדיות סמוכים או לגופי מים כמאגרים ומי-תהום (Jaeken & Debaer, 2005).

הגורם האווירודינמי של מחסומי רוח והמחסה של גידולים בשדה בכיוון ההשפעות על גודל היבול והתשואה נחקרו היטב (Makarov, Ankilov, Koutsenogii et al., 1996; Ucar & Hall, 2001). לעומת זאת, ההיבט החשוב של אפשרות הפחתת סחף של חומרי הדברה, הנישא בחלקיקי האבק, הינו חסר ואין מתודולוגיות סטנדרטיות זמינות כרגע להערכה. לפיכך, מטרת המחקר הייתה לבחון את השירותים האקולוגיים של חורשות העצים שניטעו על ידי קרן קימת לישראל בגבול שטחים חקלאיים, כמחסומי רוח, הגורמים להפחתת תנועת האבק, אשר יכול לשאת אתו חומרי הדברה. השערתנו הייתה, כי בהיות העצים משמשים כמגיני רוחות, קיימת אפשרות שעצירת הרוחות מביאה להשקעתו של אבק מרחף, שבחלקו יכול לשאת אתו חומרי הדברה למיניהם, המוסעים משדות וממטעים של גידולים חקלאיים. חומרי הדברה אלה שוקעים עם האבק לרגלי העצים הנטועים ויכולים על כן גם להימצא בקרקע שמתחתם. בכך, מופחתת זליגתם של אלה לשטחים החקלאיים, הטבעיים והמיושבים הסמוכים.

תכנית העבודה והשיטות

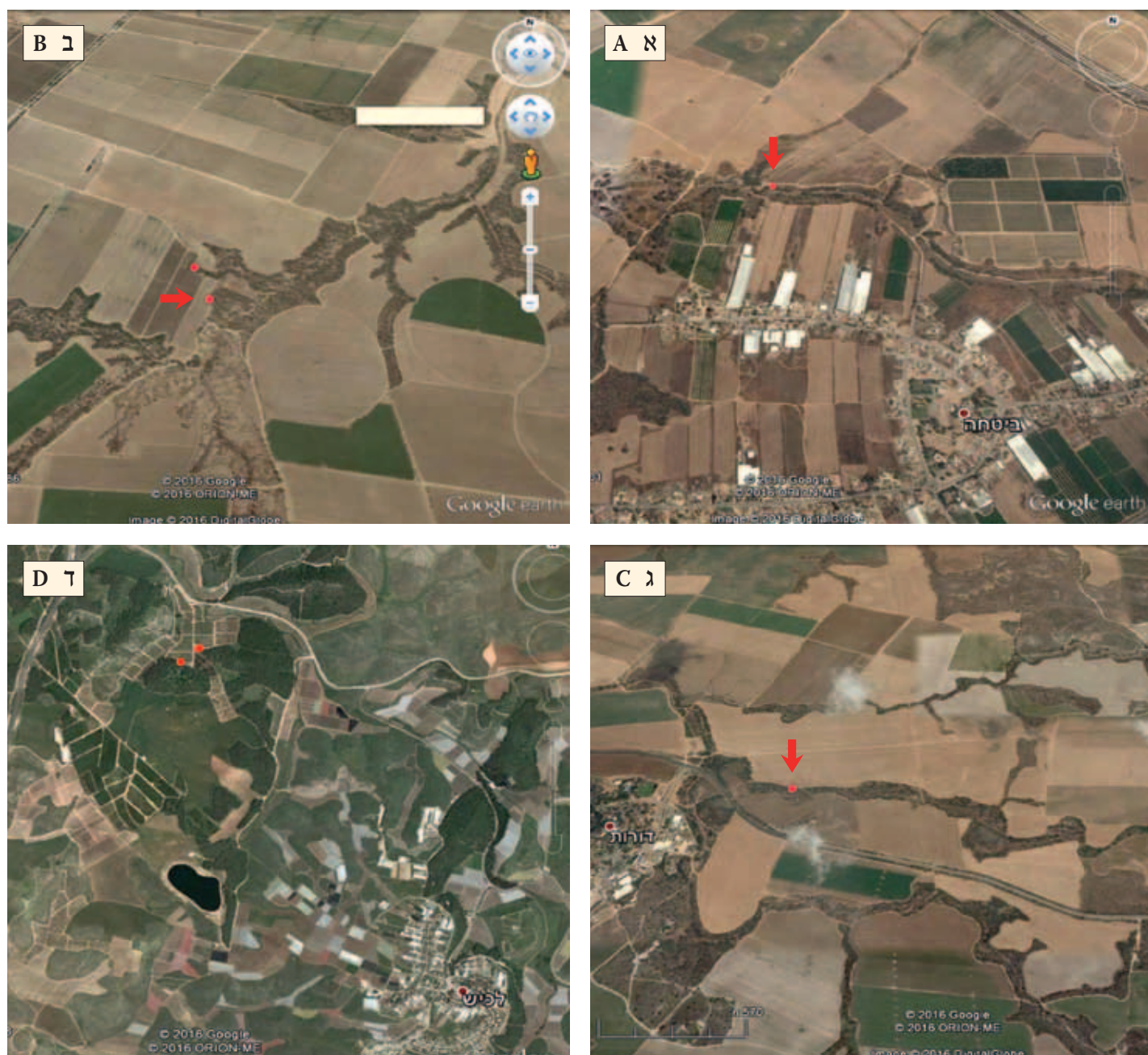
נבחרו שלושה אתרי ניסוי באזור צפון הנגב: נחל אסף (בעוטף עזה, מזרחית לקיבוץ עין השלושה), יער דורות (מזרחית לקיבוץ דורות) ויער שמריה (ליד צומת גילת ומושב בטחה), המהווים מובלעות של יער ורצועות עצים, סמי-טבעיות, בלב שדות של חקלאות גידולי שדה אינטנסיבית. השטחים נבחרו בהתאם לכיוון הרוחות הנפוץ בכל אתר, כך שהשדה החקלאי חשוף לכיוון הרוח וחגורת העצים מהווה מחסה רוח. בהמשך, מוקמו קולטי האבק באזור לכיש ויער שחריה-מלאכים, באזורי נטיעות של אורנים וחרובים הסמוכים לכרמי ענבים ולמטעי שקדים (תמונות 2א', ב', ג', ד', ה').

השיטות כללו אנליזה איכותית וכמותית של חומרי הדברה במדרג של מרחקים משדות של חקלאות אינטנסיבית. מועדי הדגימות היו רציפים לכל אורך תקופת המחקר ונבחנו התלות העונתית של אירועי גשם וכיווני הרוחות (מתוך נתוני השירות המטאורולוגי). ברוב עונות השנה כיוון הרוחות הדומיננטי באזורנו הוא הגזרה המערבית (מצפון-מערב לדרום-מזרח), הקשורה קשר ישיר למועדי הפעילות החקלאית (חריש, זריעה, טיפולים בשלבי הגידול, אסיף/קציר). המחקר בוצע בטווח זמן של 36 חודשים. בשנתיים הראשונות נבחנו חורשות וחגורת

(Spencer, 1990). לעומת זאת, הפסדי ההתאדות לאטמוספירה, שנמדדו לעתים תוך כמה ימים לאחר היישום, היו בסדר גודל של 80-90 אחוזים (Taylor & Spencer, 1990). הפיזור והנוכחות של חומרי הדברה באטמוספירה עשויים להתרחש על פני מרחקים ארוכים מאוד, כפי שמעידה הנוכחות של חומרי הדברה בערפל מעל האוקיינוס (Schomburg & Glotfelty, 1991) ובאזורי השלג הארקטי (Gregor & Gummer, 1989).

בקרע, השרידות של חומרי הדברה יכולה להיות מושפעת מכמה משתנים: (1) קצב הפירוק על ידי מיקרואורגניזמים, שמושפע מאוד מלחות הקרקע ומהטמפרטורה (Walker, 1976); (2) פירוק כימי ופוטוכימי (במקרה של פיזור על פני הקרקע); (3) ספיחה וקשירה לחלקיקי החומר האורגני והמינרלוגי של הקרקע, שמושפע מתכונות הקרקע ומהמבנה המולקולארי של חומר ההדברה; (4) קליטה על ידי שורשי הצמחים, שהיא דרך החדירה העיקרית של חומרי ההדברה לשרשרת המזון, החושפת לסכנה את האדם ואת בעלי החיים הניזונים מהם (Paterson, MacKay, Tam & Shiu, 1990); (5) התאדות משרידי הצומח ומפני הקרקע לאטמוספירה. זו מהווה רכיב חשוב למעבר של חומרי הדברה לאטמוספירה, הרבה מעבר לזה של הפירוק הכימי, תנועה בנגר העילי וחדור לתמיסת הקרקע. רכיב נוסף שלא נמדד עד כה, שיכול לבוא לידי ביטוי בהחדרת חומרי ההדברה לאטמוספירה ומשם לפגיעה בחי ובצומח, הוא היווצרות של סחף ופליטה של חלקיקים אורגניים ומינרליים מפני הקרקע לאטמוספירה, בשל סחיפת הקרקע על ידי רוחות (Taylor & Spencer, 1990; Atlas & Schauffler, 1990) (תמונה 1). החשש הזה עלה לאחר שלאונרד (Leonard, 1990) הראה, כי עד 70 אחוזים מהחומרי הדברה שיושמו או נגזרות הפירוק שלהם נמצאו קשורים לחלקיקי הקרקע. הגורמים המשפיעים במקרה הזה הם בעיקר מזג אוויר (הטמפרטורה והתפלגות גשמים, במיוחד בשבועות הראשונים לאחר יישום), שיעור היישום ועונת היישום (Arias-Estevez, Lo'pez-Periago, Marti'nez-Carballo et al., 2008).

זליגה של חומרי הדברה מהווה, כאמור, סכנה לגורמי הסביבה הטבעיים והאנתרופוגניים. רוב הטכנולוגיות שנועדו למזער את הפיזור שלהם עוסקות בצורת היישום של חומרי ההדברה, הן ישירות על הצמחים בשדה והן בריסוס מהאוויר (EPA). בניסיון למנוע את תנועת חומרי ההדברה נבדקו מספר שיטות המערבות את הצומח, על מנת להביא להפחתה ולמניעת זליגתם (Sabbagh, Munoz-Carpena & Fox, 2013); השיטה של בניית "רצועות סינון של צומח עשבוני" (Vegetative filter strips) נבדקה, בין היתר, על ידי סבאג ואחרים (Sabbagh, Munoz-Carpena & Fox, 2013), כדי לקבוע את גורמי הקלט החשובים ביותר לכימות הפחתת זליגה המונית של חומרי הדברה. היעילות של רצועות חיץ (בופר) צרות של עשבייה, הממוקמות בקצוות הנמוכים של שדות, נמצאה במקרים



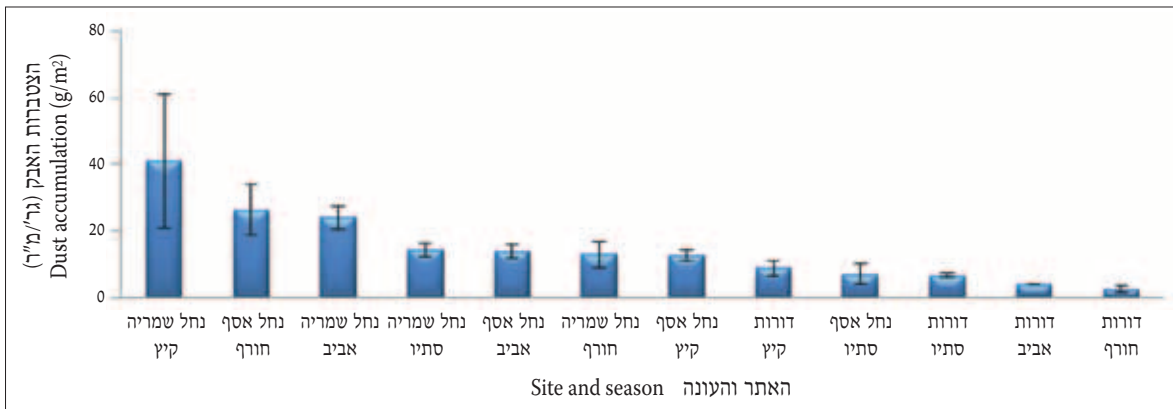
תמונה 2: מיקום הניסויים (מסומנים באדום): (א) נחל שמריה; (ב) נחל אסף; (ג) קיבוץ דורות; (ד) יער שחריה-המלאכים ולכיש (תצלומי האוויר מתוך Google Earth).
Photo 2: Location of the experimental sites (marked in red): (A) Wadi Shmaria; (B) Wadi Asaf; (C) Kibbutz Dorot; (D) Shahariya-HaMal'akhim and Lakhish Forests (aerial photos from Google Earth).

בקולטי האבק (האבק שהצטבר על העלים נאסף גם הוא). הדגימות הועברו למעבדה במרכז קטיף בשדות נגב, למעבדה במרכז מחקר גילת ולמעבדה לאנליזות פיסיקליות של אבק באוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

הזיהוי וכימות חומרי הדברה באבק התבצעו בהתאם לסוג החומר על ידי מכשור מתקדם (GC-MS: AGILENT ו-5975 LC-MS/MS: MICROMASS QUARTO-ULTIMA) במעבדת מו"פ מרכז קטיף בשדות נגב. המכשירים מאפשרים לזהות נוכחות של למעלה מ-300 תכשירי הדברה שונים,

נטיעות של איקליפטוסים ובשנה השלישית נבחנו אורנים וחרובים. מועדי הדגימות היו רציפים לכל אורך תקופת המחקר ונבחנה התלות העונתית בכל אתר. נדגמו ונאספו נתונים במיקומים הבאים: (1) מרכז שדה חקלאי המשמש כמקור אפשרי לחומרי הדברה ו/או הגבול שבין השדה החקלאי לשטח הטבעי שאינו מעובד; (2) לאחר שורת העצים הראשונה (להלן מיקום 1); (3) לאחר שורת עצים חמישית (תמונה 2).

הדוגמאות נאספו אחת לחודש וכללו: (1) דוגמאות אבק מהקולטים; (2) דוגמאות צומח עלים שנשרו מהעצים ונאספו



איור 1: ההצטברות הממוצעת של האבק בקולטים בכל אחד משלושת האתרים לפי עונות השנה (ממוצע ± שגיאת תקן, האותיות השונות מראות שונות סטטיסטית לפי מבחן Tukey, $p < 0.05$).

Figure 1: Average accumulation of dust in collectors, in each of the three sites, by season (mean ± standard error, different letters indicate statistical differences, according to Tukey's range test, $P < 0.05$).

15.94 גרם למ"ר והנמוכות ביותר היו בדורות – 4.90 גרם למ"ר. גם בניית התוצאות העונתיות נמצא, כי בנחל שמריה ובנחל אסף כמויות האבק הממוצעות היו גבוהות לעומת אתר האיטוף בדורות (איור 1). לא נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים, לגבי האבק, בין המיקום שבו ניצבו הקולטים (מרכז השדה, שורה העצים הראשונה והשורה החמישית של העצים).

כמויות האבק האופייניות לפעילות חקלאית הן גבוהות משמעותית מהכמויות ששוקעות בסופות אבק טבעיות, אפילו באזורים צחיחים (Tanner, Katra, Haim et al., 2016) (תמונה 1). בעוד שחודשי הקיץ (יוני, יולי ואוגוסט) נחשבים שקטים מבחינת הפעילות החקלאית (פרט למאחרים בקציר החיטה). בחודשיים הבאים, ספטמבר ואוקטובר, שבהם השדות עוברים עיבודי הכנה לקראת החורף, צפויה הייתה להיות עלייה יחסית בכמויות האבק המצטברות בקולטים. אולם, לא נמצאה בתקופות אלה תבנית ברורה להבדלים בכמויות האבק בין נקודות האיטוף בעונות השונות. בחמשת האתרים: נחל אסף, נחל שמריה, דורות, לכיש ויער שחריה-מלאכים לא נמצאו הבדלים מובהקים בהתפלגות גודל החלקיקים בדגימות השונות. נמצא כי הגודל המרבי של החלקיקים המתקבל הוא 100 מיקרומטר, כאשר $PM_{10}=32.03\%$, $PM_2.5=13.17\%$, $PM_1=4.9\%$ ו- $PM_{10}=32.03\%$. כלומר, שיעור ניכר מחלקיקי האבק הם בגודל המאפשר הסעה למרחק רב באטמוספירה, אף ברוחות מתונות האופייניות לצפון הנגב. תלכידים גדולים יותר נעים בקרבת פני השטח בצורה של סלציה ומקורם לרוב בשטחים סמוכים (Kok, Parteli, Michaels et al., 2012). תלכידים אלה מהווים צבר של חלקיקי אבק קטנים, והם עשויים להתפרק במהלך התנועה שלהם (או באירוע הרוח הבא) ולשחרר חומר חלקיקי מרחף (PM) נוסף אל האטמוספירה (Swet & Katra, 2016).

המורשים בישראל, במינונים של עד חלקי ביליון (ppb). האנליזה במכשיר LC-MS/MS בוצעה לפי מרטל ולאיר (Martel & Lair, 2011) על ידי מיצוי ב-acetonitrile ביחס 1:1 עם hexane. אנליזה במכשיר GC-MS נערכה לפי השיטה המקובלת להערכת שיירי חומרי הדברה לפי Multiple Reaction Monitoring (Eiserbeck, Nelson, Grice et al., 2012). כמו כן, דגימות של אבק שנאספו נבדקו למורפולוגיה שלהם להערכת גודלם באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני SEM) סורק במעבדה האיאלית באוניברסיטת בן-גוריון (EDS, Quanta 200, FEI).

בנוסף לכך, נדגמו 100 גרם של קרקע מהשדה וממיקומים 1 ו-2 בלכיש ויער שחריה-המלאכים ונבדקה בהם נוכחות של חומרי הדברה. דגימות הקרקע נבדקו בארבעה אופקים: A – שכבת החומר האורגני העליונה; B – שכבת החומר האורגני העדין עד לפני הקרקע; C – שכבת הקרקע העליונה, עומקים 0 עד 1 ס"מ ו-D – שכבת הקרקע התחתונה, עומקים 2 עד 3 ס"מ. תוצאות הצטברות האבק בקולטים נבחנו לפי ההצטברות העונתית לפי תוכנת JMP לניתוח ANOVA ובמבחני Tukey HSD post hoc.

תוצאות ודיון

מדידת האבק באתרים השונים נועדה לאמוד את כמויות האבק הנישאות באטמוספירה באזור הנגב הצפוני, שמקורן בפעילות חקלאית ולעתים בסופות אבק כלל אזוריות וכן את תפקיד האבק בתנועה של חומרי הדברה והחשיבות של נטיעות עצים בנושא.

ככלל, כמויות האבק הגבוהות ביותר שנאספו (לחודש בממוצע) היו בנחל שמריה – 22.06 גרם למ"ר, בנחל אסף –

טבלה 1: מפתח חומרי ההדברה שנמצאו בשדות החקלאיים ובחורשות הנטועות בסמוך להם, בשלוש שנות המחקר, ושימושיהם בחקלאות.
Table 1: Major pesticides found in agricultural fields and adjacent planted forests during the three years of the study, and their applications in agriculture.

חומר ההדברה Pesticide	קבוצה Group	שימוש Application
Bifenthrin	Pyrethroid	קוטל חרקים בכותנה, בירקות ובפרחים Insecticide for cotton, vegetables and flowers
Carfentrazone-ethyl	Triazolinone	קוטל עשבים רחבי-עלים בדגניים Herbicide against forbs for cereal crops
Chlorpyrifos	Organophosphate	קוטל חרקים בירקות, במטעים ובכרמים Insecticide for vegetables, orchards and vineyards
Chlorthal-dimethyl – Chlorothalonil	Organochlorine	קוטל חרקים ואקריות בהדרים, במטעים ובפרחים Insecticide against mites for citrus crops, orchards and flowers
Cyprodinil	Pyrimidine	קוטל פטריות במטעים ובכרמים Fungicide for orchards and vineyards
Diazinon	Organophosphate	קוטל חרקים ואקריות בגידולי שדה, במטעים ובפרחים Insecticide against mites for field crops, orchards and flowers
Diflufenican	Phenoxy	קוטל עשבים במטעים ובכרמים Herbicide for orchards and vineyards
Diphenylamine	Phenylaniline	קוטל פטריות במטעים ובהדרים Fungicide for citrus and other orchards
Diuron	Substituted Urea	קוטל עשבים במטעים ובגידולי שדה Herbicide for orchards and field crops
Endosulfan	Organochlorine	קוטל חרקים ואקריות במטעי נשירים Insecticide against mites for deciduous orchards
Folpet	Thiophtalimide	קוטל פטריות להדברת קימחון בכרמים ובגד"ש Fungicide for control of mildew in vineyards and field crops
Novaluron	Benzoylurea	קוטל חרקים בכותנה ובתפוחי אדמה Insecticide for cotton and potatoes
Oxyfluorfen	Diphenyl Ether	קוטל עשבים כללי במטעים, בפרחים ובגד"ש General herbicide for orchards, flowers and field crops
Penconazole	Azole	קוטל פטריות במטעים, בירקות ובפרחים Fungicide for orchards, vegetables and flowers
Pirimicarb	Carbamate	קוטל חרקים בירקות ובגידולי שדה Insecticide for vegetables and field crops
Pyrimethanil	Pyrimidine	קוטל פטריות להדברת עובשים בכרמים, בפרחים ובגד"ש Mold fungicide for vineyards, flowers and field crops
Trifloxystrobin	Strobin	קוטל פטריות להדברת קימחון במטעים ובירקות Fungicide for mildew control in orchards and vegetables

לאחר שורת העצים הראשונה והן לאחר שורת העצים החמישית (פרט לשורה הראשונה של העצים בדורות) (טבלה 2). הגידולים החקלאיים בשדות בנחל אסף היו בוטנים/תפוחי אדמה; בנחל שמריה – חיטה ותפוחי אדמה וליד קיבוץ דורות – חיטה ובמקביל תפוחי אדמה.

נמצא, כי לעצים הנטועים חשיבות רבה בהפחתת כמויות האבק ובעקבות זאת גם בעצירת הפצת חומרי ההדברה. לאורך שנות המחקר נמצאו 17 חומרי הדברה שונים (טבלה 1). בשנתיים הראשונות של המחקר נמצאו, בעונות החורף והאביב, ליד שורות העצים (איקליפטוסים) כמויות גבוהות של חומרי הדברה באבק שהגיע מהשדות החקלאיים, הן

וחרובים: ביער שחריה-המלאכים ליד מטע של שקדים, בלכיש ליד כרם ענבים ובנחל אסף ליד שדות של חיטה (תמונה 2). ביקשנו לגלות האם עצי האורנים והחרובים ממלאים תפקיד דומה לזה שקיבלנו בחורשות ובחגורות של עצי האיכליפטוסים. מהתוצאות הסתבר, כי השימוש בחומרי הדברה במטעי שקדים ובכרמים הוא ממוקד ועונתי יותר. בעוד שבנחל אסף ובשמריה נמצא תיאום בין חומרי ההדברה שנמצאו בשדה הסמוך לאלה שנמצאו ליד העצים (טבלה 2), ביערות שחריה-המלאכים ובלכיש התוצאות שהתקבלו מראות, כי לא תמיד החומרים שנמצאו בשדה תאמו את החומרים שנמצאו ליד העצים (טבלה 3). ה-Diphenylamine, שהוא קוטל פטריות במטעים ובהדרים, נמצא באביב בלכיש בקולטים בסמוך לעצי חרוב בשורה החמישית. נוכחותו יכולה להיות מוסברת בשימוש מקומי או בהגעה מפרדסים המרוחקים משם. בעונת הקיץ ביער שחריה-המלאכים מילאו עצי החרוב תפקיד בקליטת חומר ההדברה Bifenthrin, המשמש כקוטל חרקים בכותנה, בירקות ובפרחים וכן Diphenylamine, שמקורו כנראה בפעילות במטע השקדים הסמוך (טבלה 3).

לא בכל העונות נמצאו חומרי הדברה באבק שהצטבר. בדרך כלל, בסתיו לא נמצאו חומרי הדברה בשלושת האתרים (טבלה 2), גם כאשר נבדק הדבר בשנים עוקבות (שמריה, סתיו 2013 ו-2014). ניתן להניח, כי יש קשר בין העובדה שעונה זו משמשת בדרך כלל להכנת הקרקע לזריעה וקיימת היעדרות מרבית מגידולים משטחי החקלאות. בעונות החורף, האביב והקיץ הטיפולים בחומרי ההדברה מלווים את הגידולים ולכן הם באים לידי ביטוי. באזור נחל אסף נמצא, כי בעונת החורף נעשו טיפולים בעיקר נגד חרקים ואקריות בהדרים ובמטעים (כגון: Chlorothalonil, Diphenylamine, Endosulfan) וכן נגד עשבים רעים (Carfentrazone-ethyl). גם בנחל שמריה נעשה שימוש בשלושת קוטלי החרקים והאקריות בהדרים ובמטעים שצוינו וכן בקוטלי עשבים (Diuron, Carfentrazone-ethyl). באתר דורות נעשה שימוש בקוטלי חרקים ואקריות בגידולי שדה ובמטעים (Diazinon, Chlorthal-dimethyl, Endosulfan, Novaluron, Bifenthrin) אך גם בקוטלי עשבים (Diuron). בשנת המחקר השלישית הועברו קולטני האבק לאתרים חדשים המצויים ליד חגורות וחרשות של עצי אורנים

טבלה 2: סוגי חומרי ההדברה שנמצאו בשלושת האתרים בתקופה ספטמבר 2013–מאי 2014. (א) מרכז שדה חקלאי [שדה]; (ב) בשורת האיכליפטוסים הראשונה [1]; (ג) לאחר 5 שורות עצים [2]. הנתונים הם ממוצע חודשי לעונה: לעונות הסתיו (ספטמבר–נובמבר 2013), החורף (דצמבר 2013–פברואר 2014) והאביב (מרס–מאי 2014). לעתים אותו האתר מופיע פעמיים מאחר שבחלק מן הקולטים באותו האתר נמצאו מספר חומרים שונים.

Table 2: Types of pesticides that were found at the three research sites between September 2013 and May 2014; (A) Center of cultivated field [field]; (B) At the first eucalyptus row [1]; (C) After 5 rows of trees [2]. Data are monthly averages for the season: autumn (September–November 2013), winter (December 2013–February 2014) and spring (March–May 2014). Sites that appear twice indicate different types of pesticides found in the same collector.

כמות חומר ההדברה לחודש The amount of pesticide per month ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)	חומר ההדברה שנמצא The pesticide found	כמות אבק ממוצעת לחודש (גרם למ"ר) Average amount of dust per month (g/m^2)	המיקום Location	האתר והעונה The site and the season
(-)	*(-)	1.8	שדה field	נחל אסף – סתיו Wadi Asaf – Autumn
(-)	(-)	12.2	1	נחל אסף – סתיו Wadi Asaf – Autumn
(-)	(-)	7.1	2	נחל אסף – סתיו Wadi Asaf – Autumn
0.293	Chlorothalonil	48.2	שדה field	נחל אסף – חורף Wadi Asaf – Winter
0.021	Diphenylamine	8.7	1	נחל אסף – חורף Wadi Asaf – Winter
0.072	Chlorothalonil	8.7	1	נחל אסף – חורף Wadi Asaf – Winter
4.417	Chlorothalonil	33.2	2	נחל אסף – חורף Wadi Asaf – Winter

כמות חומר ההדברה לחודש The amount of pesticide per month ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)	חומר ההדברה שנמצא The pesticide found	כמות אבק ממוצעת לחודש (גרם למ"ר) Average amount of dust per month (g/m^2)	המיקום Location	האתר והעונה The site and the season
1.174	Endosulfan	33.2	2	נחל אסף – חורף Wadi Asaf – Winter
0.045	Chlorothalonil	16.4	שדה field	נחל אסף – אביב Wadi Asaf – Spring
0.064	Endosulfan	9.7	1	נחל אסף – אביב Wadi Asaf – Spring
0.465	Chlorothalonil	15.5	2	נחל אסף – אביב Wadi Asaf – Spring
(-)	(-)	7.7	שדה field	דורות – סתיו K. Dorot – Autumn
(-)	(-)	6.0	1	דורות – סתיו K. Dorot – Autumn
(-)	(-)	7.2	2	דורות – סתיו K. Dorot – Autumn
0.023	Diazinon	3.8	שדה field	דורות – חורף K. Dorot – Winter
0.004	Chlorthal–dimethyl	3.8	שדה field	דורות – חורף K. Dorot – Winter
0.388	Endosulfan	2.3	1	דורות – חורף K. Dorot – Winter
(-)	(-)	0.3	2	דורות – חורף K. Dorot – Winter
0.017	Bifenthrin	4.2	שדה field	דורות – אביב K. Dorot – Spring
0.023	Diuron	4.2	שדה field	דורות – אביב K. Dorot – Spring
0.027	Novaluron	3.6	1	דורות – אביב K. Dorot – Spring
0.008	Diuron	3.6	1	דורות – אביב K. Dorot – Spring
0.260	Chlorothalonil	3.6	1	דורות – אביב K. Dorot – Spring
0.053	Endosulfan	3.6	1	דורות – אביב K. Dorot – Spring
0.014	Novaluron	4.2	2	דורות – אביב K. Dorot – Spring
0.019	Diuron	4.2	2	דורות – אביב K. Dorot – Spring

כמות חומר ההדברה לחודש The amount of pesticide per month ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)	חומר ההדברה שנמצא The pesticide found	כמות אבק ממוצעת לחודש (גרם למ"ר) Average amount of dust per month (g/m^2)	המיקום Location	האתר והעונה The site and the season
0.465	Chlorothalonil	4.2	2	דורות – אביב K. Dorot – Spring
(-)	(-)	10.3	שדה field	נחל שמריה – סתיו Wadi Shmaria – Autumn
(-)	(-)	14.9	1	נחל שמריה – סתיו Wadi Shmaria – Autumn
(-)	(-)	17.7	2	נחל שמריה – סתיו Wadi Shmaria – Autumn
0.030	Diuron	26.8	שדה field	נחל שמריה – חורף Wadi Shmaria – Winter
(-)	(-)	4.0	1	נחל שמריה – חורף Wadi Shmaria – Winter
0.085	Chlorthal–dimethyl	11.2	2	נחל שמריה – חורף Wadi Shmaria – Winter
0.066	Diuron	11.2	2	נחל שמריה – חורף Wadi Shmaria – Winter
0.294	Chlorothalonil	11.2	2	נחל שמריה – חורף Wadi Shmaria – Winter
(-)	(-)	7.3	שדה field	נחל שמריה – אביב Wadi Shmaria – Spring
0.584	Chlorothalonil	30.4	1	נחל שמריה – אביב Wadi Shmaria – Spring
0.034	Diuron	30.4	1	נחל שמריה – אביב Wadi Shmaria – Spring
0.041	Diuron	25.4	2	נחל שמריה – אביב Wadi Shmaria – Spring
1.805	Chlorothalonil	25.4	2	נחל שמריה – אביב Wadi Shmaria – Spring
2.297	Endosulfan	25.4	2	נחל שמריה – אביב Wadi Shmaria - Spring

(-) * – נקי מחומרי הדברה.

טבלה 3: סוגי חומרי ההדברה, שנמצאו בשני האתרים: יער שחריה-המלאכים ולכיש בתקופה דצמבר 2014-אוגוסט 2015. (א) מרכז שדה חקלאי [שדה]; (ב) לאחר שורת העצים הראשונה [1]; (ג) לאחר 5 שורות עצים [2]. הנתונים הם ממוצע חודשי לעונה: עונת החורף (דצמבר 2014-פברואר 2015); האביב (מרס-מאי 2015) והקיץ (יוני-אוגוסט 2015). בנחל אסף לא נמצאו חומרי ההדברה בתקופה זו. בטבלה צוינו רק מועדים שבהם נמצאו חומרי ההדברה.

Table 3: Types of pesticides that were found at two sites: Shahariya and Lakhish forests between December 2014 and August 2015. (a) Center of cultivated field [field]; (B) After the first row of trees [1]; (C) After 5 rows of trees [2]. Data are monthly averages for the season: winter (December 2014–February 2015); spring (March–May 2015) and summer (June–August 2015). In Wadi Asaf no pesticides were found during this period. The table presents only periods when pesticides were found.

כמות חומר ההדברה לחודש The amount of pesticide per month ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)	חומר ההדברה שנמצא The pesticide found	כמות אבק ממוצעת לחודש (גרם למ"ר) Average amount of dust per month (g/m^2)	המיקום Location	האתר והעונה The site and the season
1.57	Bifenthrin	55.4	שדה ליד חרוב Field near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים – חורף Shahariya – Winter
240.93	Oxyfluorfen	58.2	שדה ליד חרוב Field near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים – אביב Shahariya – Spring
8.34	Trifloxystrobin	58.2	שדה ליד חרוב Field near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים – אביב Shahariya – Spring
3.98	Bifenthrin	22.3	שדה ליד חרוב Field near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים – קיץ Shahariya – Summer
0.73	Bifenthrin	8.2	חרוב – 1 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים – קיץ Shahariya – Summer
2.30	Diphenylamine	8.2	חרוב – 1 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים – קיץ Shahariya – Summer
16.21	Folpet	8.0	שדה ליד אורן Field near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים – קיץ Shahariya - Summer
9.60	Bifenthrin	8.0	שדה ליד אורן Field near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים – קיץ Shahariya – Summer
0.11	Diphenylamine	4.1	חרוב – 2 near <i>C. siliqua</i>	לכיש – אביב Lakhish – Spring

שבשורה החמישית (בשכבות A ו-B) שאריות של קוטל עשבים במטעים וכרמים Diflufenican וכן-Diphenylamine (טבלה 4). בלכיש נמצאו, הן בשדה (שכבה D) והן מתחת לחרובים (1 ו-2) (שכבות B ו-D), שאריות של חומרי ההדברה Pyrimethanil ו-Bifenthrin. הראשון משמש כקוטל פטריות להדברת עובשים בכרמים, בפרחים ובגד"ש והשני כקוטל חרקים בכותנה, בירקות ובפרחים. בלכיש לא נמצאו חומרי ההדברה מתחת לאורנים בשכבות שנבדקו.

בדיקות למציאת נוכחות של חומרי ההדברה נערכו בקרקע, הן בשדה והן במיקומים 1 ו-2 ביער לכיש וביער שחריה-המלאכים. בקרקע חשופים חומרי ההדברה לפירוק על ידי מגוון גדול של מפרקים (מיקרואורגניזמים) ולכן צפוי היה שלא יתגלו או יימצאו בריכוזים נמוכים, אלא אם כן היישום שלהם בוצע רק לאחרונה (Audus, 1964; Atlas & Schauffler, 1990). בעוד שבשדה ומתחת לאורנים לא נמצאו עקבות של חומרי ההדברה, נמצאו מתחת לעצי החרוב

טבלה 4: חומרי ההדברה שנמצאו בשכבות הקרקע השונות באתרים יער שחריה-המלאכים ובלכיש (נבדק ב-07/01/2015). (א) מרכז שדה חקלאי [שדה]; (ב) בשורת העצים הראשונה [1]; (ג) לאחר 5 שורות עצים [2]. (-) ללא ממצא.

Table 4: Pesticides that were found in the soil layers at two sites: Shahariya and Lakhish forests (in 07/01/2015) (a) Center of cultivated field [field]; (B) After the first row of trees [1]; (C) After 5 rows of trees [2]. (-) No findings.

כמות חומר ההדברה The amount of pesticide (µg/kg soil)	חומר ההדברה שנמצא The pesticide found	אופק הקרקע* Soil layer	המיקום Location	האתר Site
(-)	*(-)	A	שדה ליד אורן Field near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	B	שדה ליד אורן Field near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	C	שדה ליד אורן Field near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	D	שדה ליד אורן Field near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	A	שדה ליד אורן Field near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	B	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	C	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	D	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	A	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	B	אורן-2 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	C	אורן-2 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	D	אורן-2 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	A	אורן-2 near <i>P. halepensis</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	B	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	C	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	D	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
20.63	Diphenylamine	A	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest

כמות חומר ההדברה The amount of pesticide (µg/kg soil)	חומר ההדברה שנמצא The pesticide found	אופק הקרקע* Soil layer	המיקום Location	האתר Site
88.54	Diflufenican	B	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	C	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	D	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	יער שחריה-המלאכים Shahariya forest
(-)	(-)	A	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	B	חרוב-שדה Field near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	C	חרוב-שדה Field near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
240.13	Pyrimethanil	D	חרוב-שדה Field near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	A	חרוב-שדה Field near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
29.78	Bifenthrin	B	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	C	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
30.34	Bifenthrin	D	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	A	חרוב-1 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
31.5	Bifenthrin	B	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
255.1	Bifenthrin	C	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	D	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	A	חרוב-2 near <i>C. siliqua</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	B	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	C	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	D	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	לכיש Lakhish forest

כמות חומר ההדברה The amount of pesticide (µg/kg soil)	חומר ההדברה שנמצא The pesticide found	אופק הקרקע* Soil layer	המיקום Location	האתר Site
(-)	(-)	A	אורן-1 near <i>P. halepensis</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	B	אורן-2 near <i>P. halepensis</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	C	אורן-2 near <i>P. halepensis</i>	לכיש Lakhish forest
(-)	(-)	D	אורן-2 near <i>P. halepensis</i>	לכיש Lakhish forest

(-)* - נקי מחומרי הדברה.

ופליטת אבק לאטמוספירה בשטחים אלה, וניתוח מסלולי הסעה אטמוספריים. מחקרים אלה יאפשרו הבנה טובה יותר של מנגנוני הסעת אבק משטחים חקלאיים וכן של פוטנציאל זיהום וחשיפה לחומרי הדברה הנישאים באבק.

תודות

המחקר מומן על ידי ענף יער של קרן קימת לישראל. המחברים מבקשים להודות לאנשי קק"ל יצחק משה, גיל סיאקי ויהל פורת וליערנים המקומיים על הסיוע והתמיכה.

מקורות

אתר השירות המטאורולוגי <https://ims.data.gov.il/he/ims-results>, ארכיון נתונים מטאורולוגיים מתוך אתר מאגרי המידע הממשלתיים Data.gov.il.
המשרד להגנת הסביבה. (2009). מפת אזוירי רגישות הידרולוגית לשימוש בחומרי הדברה http://www.sviva.gov.il/subjects/Env/Agro-ecology/Agricultural-pesticides/Chemical-control/Documents/map_sens_agro0909_1.pdf.
המשרד להגנת הסביבה. (2012א). דו"ח ביקורת מבקר המדינה. הגנת הסביבה במרחב החקלאי. עמודים 467-510. http://www.mevaker.gov.il/he/Reports/Report_117/7a44cb07-45ac-48be-a727-35d22bde8437/7541.pdf.
המשרד להגנת הסביבה. (2012ב). חומרי הדברה לחקלאות והשפעתם על הסביבה - תקנות <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib2/Publications/P0001-P0100/p0087.pdf>.
משרד החקלאות. המאגר לחומרי הדברה. <http://www.hadbara.moag.gov.il/hadbara/>.
ספקטור-בס, ש. ופידלמן, א. (2012). השימוש בחומרי הדברה בקרבת מקורות מים בישראל. מרכז המחקר והמידע, כנסת ישראל <http://www.knesset.gov.il/mmm/data/pdf/m03011.pdf>.

סיכום ומסקנות

המחקר הנוכחי מלמד על חשיבות נטיעת עצים כחגורת ירוקות וכחורשות בשולי שדות חקלאיים בצפון הנגב ומערבו. אין מדובר רק ביעילות של עצירת האבק הנישא כתוצאה מהפעילות החקלאית, המהווה מקור משמעותי לפליטת אבק לאטמוספירה במהלך סופות טבעיות, אלא גם בהפחתת הזליגה באוויר של חומרי הדברה מהשדות המעובדים לשטחים טבעיים ומאוכלסים. מחקר זה הראה, כי חומרי ההדברה נעים גם כספוחים לחלקיקי האבק המוסע מהשדות החקלאיים ולא רק, כמקובל בספרות, כרחף. סוגי העצים הנפוצים בנטיעות באזור הם: איקליפטוסים, אורנים וחרובים. למרות צורת הנוף והעלווה של סוגי העצים השונים שנטעו וגילם השונה לא נמצא שינוי מובהק בפיזור גודל החלקיקים שנאספו בקולטים. 17 חומרי הדברה שונים, קוטלי חרקים, פטריות ועשבים, שנמצאו במחקר הנוכחי, הן בשדות והן בשורות הראשונה והחמישית של העצים, מצביעים על תפקוד חשוב של העצים, שלא נכלל עד כה במדיניות הנטיעות והיעור. לעונתיות קיימת חשיבות מאחר שהיא בדרך כלל תואמת את הפעילויות החקלאיות האופייניות לגידולי השדה, המטעים והכרמים. הפגיעה במערכות טבעיות, הסמוכות לשדות חקלאות, אינטנסיבית, עלולה להיות זמנית ו/או מצטברת ופוגעת בכל שלבי מארג המזון.

בהיבטים ממשקיים ובייחוד במקרים שבהם השדות והמטעים קרובים לאזורים מאוכלסים, יש לשקול בחיוב את הנטיעות ככלי בצמצום כמויות האבק האטמוספרי, אך בעיקר בהפחתת הזליגה של חומרי הדברה העלולים להביא לפגיעות בריאותיות משמעותיות. ראוי לציין, כי תוצאות המחקר מהוות פתח למחקרי המשך בנושאים, כגון פיזור מרחבי-עתי של אבק מרחף ואבק שוקע במרחב של שדות חקלאיים בזמן סופות רוח-אבק ספציפיות, אפיון תהליכי סחיפת הקרקע

- wind capture of pesticide aerosols by vegetation species. *Journal of Aerosol Science* 27: 67–68.
- Martel A.C. & Lair C. (2011). Validation of a highly sensitive method for the determination of neonicotinoid insecticides residues in honeybees by liquid chromatography with electrospray tandem mass spectrometry. *Int J Environ Anal Chem*, 91: 978–988.
- Paterson, S., MacKay, D., Tam, D., & Shiu, W.Y. (1990). Uptake of organic chemicals by plants: A review of processes, correlations and model. *Chemosphere*, 21: 297–331.
- Pimentel, D. (1995). Amounts of pesticides reaching target pests: Environmental impacts and ethics. *J. Agric. Environ. Ethics*, 8: 17–29.
- Popov, V.H., Cornish, P.S., & Sun, H. (2005). Vegetated biofilters: The relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural runoff. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 114: 351–359.
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., & Frede, H.G. (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground and surface water and their effectiveness: A review. *Science of the Total Environment* 384: 1–35.
- Sabbagh, G.J., Munoz-Carpena, R., & Fox, G.A. (2013). Distinct influence of filter strips on acute and chronic pesticide aquatic environmental exposure assessments across U.S. EPA scenarios. *Chemosphere* 90: 195–202.
- Schomburg, C.J. & Glotfelty, D.E. (1991). Pesticide occurrence and distribution in fog collected near Monterey, California. *Environ. Sci. Technol.*, 25: 155–160.
- Severn, D.J. & Ballard, G. (1990). Risk/benefit and regulations. In: *Pesticides in the Soil Environment* (pp. 467–491). Book Series No. 2. Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Swet N. & Katra, I. (2016). Reduction in soil aggregation in response to dust emission processes. *Geomorphology*, 268, 177–183.
- Taylor, A.W. & Spencer, W.F. (1990). Volatilization and vapor transport processes. In: *Pesticides in the Soil Environment* (pp. 213–269). Book Series No. 2. Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Tanner, S., Katra, I., Haim, A., & Zaady, E. (2016). Quantification of short-term soil loss by aeolian erosion in response to conventional and organic agricultural practices. *Soil and Tillage Research*, 155: 149–156.
- Ucar, A. & Hall, F.R. (2001). Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: A review. *Pest Management Science*, 57: 663–675.
- Walker, A. (1976). Simulation of herbicide persistence in soil. *Pestic. Sci.*, 7: 41–49.
- Alavanja, M.C.R. (2009). Pesticides use and exposure extensive worldwide. *Rev Environ Health* 24: 303–309.
- Audus, L.J. (1964). Herbicide behaviour in the soil. II Interactions with soil microorganisms. In: L.J. Audus (Ed.), *The physiology and biochemistry of herbicides* (pp.163–206). New York: Academic Press.
- Arias-Estevez, M., Lo 'pez-Periago, E., Marti 'nez-Carballo, E., Simal-Gandara, J. Mejuto J.C., & Garcia-Rio, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123: 247–26.
- Atlas, E.L. & Schauffler, S. (1990). Concentration and variation of trace organic compounds in the north pacific atmosphere. In: D.A. Kurtz (Ed.), *Long range transport of pesticides* (pp. 161–183) Lewis, Chelsea, MI.
- Carson, R.L. (1962). *Silent Spring*. Cambridge, MA: Riverside Press.
- Eiserbeck, C., Nelson, R.K., Grice, K., Curiale, J., & Reddy, C.M. (2012). Comparison of GC–MS, GC–MRM–MS, and GC×GC to characterise higher plant biomarkers in Tertiary oils and rock extracts. *Geochim Cosmochim Acta*, 87: 299–322.
- Emans, H.J.B., Beek, M.A., & Linders, J.B.H.J. (1992). *Evaluation system for pesticides (ESPE) I. Agricultural pesticides*. Rep. No. 679101004. Bilthoven, Netherlands: National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM).
- EPA – Drift Reduction Technology Program. <https://www.epa.gov/reducing-pesticide-drift/about-drift-reduction-technology-program>
- Gregor, D.J. & Gummer, W.D. (1989). Evidence of atmospheric transport and deposition of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in Canadian arctic snow. *Environ. Sci. Technol.*, 23: 561–565.
- Hayo, M.G. van der Werf. (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60: 81–96.
- Jaeken, P. & Debaer, C. (2005). Risk of water contamination by plant protection products (PPP) during pre- and post treatment operations. *Annu. Rev. Agric. Eng.* 4: 93–114.
- Kok, J. F., Parteli, E. J. R., Michaels, T. I., & Karam, D. B. (2012). *The physics of wind-blown sand and dust*. Reports on Progress in Physics, 75(10), 106901.
- Leonard, R.A. (1990). Movement of pesticides into surface waters. In: *Pesticides in the soil environment* (pp. 303–349). Book Series No. 2. Madison WI: Soil Science Society of America.
- Makarov, V.I., Ankilov, A.N., Koutsenogii, K.P., Borodulin, A.I., & Samsonov, Y.N. (1996). Efficiency of the inertial