נאוניקוטינואידים- סקירה והמלצות על המשך שימוש בישראל

עבודה זו בוצעה עבור רט"ג במסגרת פרוייקט צמצום הרעלות של חיות בר מחומרי הדברה חקלאיים,
בשיתוף האגודה הישראלית לאקולוגיה ומדעי הסביבה, תכנית ממשק.

מחברת: ימימה דוכין רפ, אוגוסט 2025

<u>תוכן עניינים</u>

רקע.....1
השפעה סביבתית ואקוטוקסית.....2
בתי גידול מימיים.....2
מאביקים.....3
אויבים טבעיים.....4
חולייתנים 4
בני אדם.....5
רשתות מזון.....5
רישוי ושימוש בנאוניקוטינואידים במדינות מפותחות.....6
השלכות איסור השימוש בנאוניקוטינואידים באיחוד האירופי וסקירת תחליפים 7
המלצות מדיניות לישראל.....9
סיכום 9
מקורות 12

רקע

נאוניקוטינואידים הם קבוצת חומרי הדברה כימיים שנכנסו לשימוש חקלאי החל משנות ה־90 של המאה ה־20, ובתוך שני עשורים הפכו לאמצעי ההדברה הנפוץ ביותר נגד חרקים עם נתח שוק של כשליש מהשימוש העולמי בקוטלי חרקים. הם קבוצת קוטלי החרקים הצומחת במהירות הרבה ביותר בתחום ההגנה החקלאית, כאשר הם רשומים כיום ביותר מ-120 מדינות עם שווי שוק מוערך של כ-4.75 מיליארד דולר לשנת 2018. חומרי הדברה אלו פועלים על קולטני אצטילכולין ניקוטיניים (nAChR) במערכת העצבים של החרקים, כאשר במינונים נמוכים הם גורמים לגירוי עצבי ובריכוזים גבוהים יותר לשיתוק ולמוות. המבנה הכימי של החומרים מאפשר להם להיות רעילים בהרבה כלפי חרקים מאשר כלפי יונקים וציפורים, מה שסייע להרחבת השימוש בהם. השימוש הנרחב בנאוניקוטינואידים נובע בנוסף מיעילותם הגבוהה, משך הפעולה הארוך ויכולת חדירה סיסטמית לכל רקמות הצמח[1,2].

נאוניקוטינואידים מתחלקים לחומרים הקלאסיים ולחומרי ההדברה מהדור החדש (טבלה 1). חומרי ההדברה מהדור החדש פועלים על אותו יעד עצבי כמו נאוניקוטינואידים קלאסיים אך עוצבו כך שיהיו בעלי בררנות גבוהה יותר כלפי קולטנים של חרקים מזיקים ופחות כלפי קולטנים של דבורים וחרקים מועילים אחרים. ההבדלים הללו נובעים מהבנה מעמיקה של השונות במבנה הקולטן בין מיני חרקים. נוסף על כך, חלק מהחומרים החדשים מתאפיינים בפירוק מהיר יותר בסביבה ובצמח, ובחדירות מופחתת לצוף ולאבקן – דבר היכול להפחית את הסיכון לחשיפת מאביקים ולסביבה[1–3].

לצד יתרונותיהם של נאוניקוטינואידים, החלו להצטבר עדויות לנזקים שלא זוהו בהערכות הסיכון ובשלבי האישור הרגולטורי – בראש ובראשונה פגיעה במאביקים ובהמשך השפעות רחבות על מערכות אקולוגיות. ממצאים אלו הובילו כבר ב-2013 להגבלות ואיסורים שונים באיחוד האירופי. כיום ידוע כי נאוניקוטינואידים נמצאים באוויר, בקרקע, בצמחים, במים מתוקים, אזורים חופיים, בסביבה הימית ובאורגניזמים עצמם, ויוצרים זיהום נרחב המשפיע על מערכות אקולוגיות מגוונות ורבות[4].

כיום ישנה הסכמה רחבה כי שיטות הערכת הסיכון המקובלות המתמקדות בהרעלות אקוטיות ומדדי הצטברות ביולוגיים כגון ה-BCF (bioconcentration factor) אינן משקפות את הסיכון האמיתי שמציבים הניאוניקוטינואידים[2,5]. הבעיה המרכזית היא התעלמות מתופעת הרעילות המצטברת לאורך זמן (Time-cumulative toxicity), בה חשיפה מתמשכת לריכוזים נמוכים עלולה להוביל לתמותה או פגיעות תפקודיות חמורות בשל קשירה ממושכת של החומרים לקולטנים ביולוגיים והצטברות השפעות כרוניות. כתוצאה מכך, מתקבלות הערכות חסר שאינן משקפות את הסיכון ואינן אומדות את הנזק האמיתי של ניאוניקוטינואידים כלפי מערכות אקולוגיות מימיות ויבשתיות[2,5].

השפעה סביבתית ואקוטוקסית

בתי גידול מימיים

בשל מסיסותם הגבוהה במים, ניידותם ועמידותם, נאוניקוטינואידים מזהמים בקלות סביבות מימיות דרך נגר, חלחול או רסס. לפיכך, נאוניקוטינואידים נמצאו במערכות מים מתוקים כמעט בכל יבשת בעולם, לעיתים בריכוזים החורגים מערכי הסף שנקבעו על ידי רגולציית האיחוד האירופי. ממצאים שנאספו מ־29 אתרים בחמש יבשות מצביעים על כך שמקורות מים הסמוכים לאזורים חקלאיים סובלים מרמות זיהום גבוהות, המעלות חשש משמעותי להשפעות על מערכות אקולוגיות מימיות[2]. ריכוזים אלו של נאוניקוטינואידים, הנפוצים בסביבה, עלולים לגרום להשפעות אקולוגיות רב מערכתיות מזיקות על אורגניזמים מיימיים שעלולות להתבטא בפגיעה במערכת העצבים, מערכת החיסון, פגיעה במטבוליזם, בחומר התורשתי ועוד[2].

אורגניזמים מיימיים סובלים במיוחד מאפקט הרעילות המצטברת בזמן, רעילות שגוברת עם משך החשיפה גם בריכוזים נמוכים מאוד, המובילה לעתים לקריסת מערכות אקולוגיות. לדוגמה, מיני חרקים מיימיים, שפיריות, זבובי אגם ועוד אורגניזמים הראו ערכי LC_{50} (Lethal Concentration 50, מדד לרעילות של חומר) גבוהים פי 5-700 בין בדיקות קצרות וארוכות טווח. בנוסף, מחקרים הראו כי תמותה מושהית ורגישות גבוהה

יותר לאורך זמן הובילו לקריסת אוכלוסיות של רכיכות וסרטנים בניסויי שדה. פגיעות שונות הנובעות מנאוניקוטינואידים נצפו במגוון אורגניזמים מימיים כגון חסרי חוליות, רכיכות, פרוקי רגליים מימיים, דגים ודו חיים. באופן פרטני, מחקרים מראים כי חסרי חוליות מימיים נפגעים ביכולת ההישרדות, הגדילה, הרבייה, התנועה, שיבוש התנהגותי, נזק לתאי עצב ועוד. ברכיכות תועדו פגיעות באנזימים, תהליכי רבייה, פעילות מטבולית ועוד. בפרוקי רגליים מימיים תועדו נזקים חמצוניים, פגיעה במטבוליזם ובהתנהגות. בדגים תועדו מומים מולדים, מות עוברים, עיוותים פיזיולוגיים, פגיעות במוח כבד וכליות, נזק גנטי ועוד. בדו-חיים תועדו פגיעה בשלבי גלגול, שינויים הורמונליים, שיבוש בהתפתחות הלב, ירידה בהתמצאות המרחבית, שינוי תפקוד מערכת החיסון ועוד[2,6].

מאביקים

האבקה, תהליך חיוני לשמירה על המגוון הביולוגי ועל ביטחון המזון, מתבצעת בעיקר על ידי דבורים ומאביקים אחרים ממשפחת החרקים, והיא בעלת תרומה עצומה לחקלאות העולמית[7,8]. 71 מבין 100 היבולים האחראים לכ-90% מכלל המזון לבני אדם בעולם מופרים על ידי דבורים[9,10]. בנוסף, כ-75% מכלל הגידולים תלויים במידה כלשהי במאביקים והיבול של חלק מגידולים אלו עלול לרדת בכמות של עד 90%[7]. נאוניקוטינואידים נחשבים למסוכנים יותר לחרקים מאביקים בהשוואה לחומרי הדברה אחרים, משום שהם חומרי הדברה סיסטמיים שנמצאים באופן קבוע באבקה, בצוף ובחלקים נוספים של הצמח לאורך כל תקופת הפריחה. כתוצאה מכך, קיימת חשיפה ממושכת של מאביקים גם דרך מגע וגם דרך בליעה.

רוב המחקרים מראים השפעות שליליות של חומרים אלו על מאביקים. הסתירות יכולות להיגרם מחסרונות מתודולוגיים כגון ניסוי מעבדה לעומת ניסוי שדה, מינונים ומשך חשיפה, התמקדות במינים מועטים על אף שהרגישויות משתנות בין מאביקים, ובחינת חומר פעיל יחיד במחקרים רבים שמקשים על הכללות. עוד משתנה חשוב הוא יישום שילוב חומרי הדברה או חשיפה למצבי עקה מרובים, שעלולים לגרום להתעצמות ההשפעה של החומרים על האורגניזמים. בזמן שיישום נאוניקוטינואידים בשילוב עם מחסור במזון עלול להוביל להשפעה חמורה יותר מיישום החומר לבדו, גיוון משאבי פריחה יכול לספק תמיכה משלימה ולצמצם פגיעות למרות החשיפה לחומרים. בהתאם, נמצא כי תמותת מושבות דבורים היה קטן יותר בזמן הפריחה בסביבה מרוססת באותה המידה[4].

דבורים, החיוניות למערכת האקולוגית העולמית, נפגעות משמעותית מנאוניקוטינואידים. מחקרים מרחבי העולם מצביעים על כך שנאוניקוטינואידים פוגעים בבריאותן, פוריותן ויכולת הניווט של דבורי בר ודבורי דבש ולכן מהווים איום ישיר על מאביקים החיוניים להפקת מזון. הערכות רשימות המינים האדומות הלאומיות של IUCN שנעשו עבור דבורים קובעות שכ-40% ממיני הדבורים נמצאים בסיכון הכחדה כאשר חקלאות אינטנסיבית וחומרי הדברה הן בין הסיבות המרכזיות[11]. מחקרים מראים כי הדור החדש של הנאוניקוטינואידים, יחד עם הגבלות שימוש נרחבות, עשויים להיות פחות מזיקים לדבורים- אם כי נדרשת עדיין זהירות, ניטור ואיסוף מידע ארוך טווח כדי לוודא זאת בסביבות שונות.

רוב המחקרים על מאביקים נעשו על דבורת הדבש (*Apis mellifera*). לצד מחקרים מועטים שטענו כי לא נמצאו הבדלים משמעותיים בהתפתחות בריאות או שרידות אחרי חשיפה לנאוניקוטינואידים, מרבית

המחקרים מצביעים על פגיעה ברורה הכוללת עיכוב בהתפתחות המושבה ותמותה מוגברת[4]. פגיעות נוספות הנגמרות מחומרים אלו בדבורת הדבש מתבטאות בפגיעה ברבייה, בזיכרון ולמידה, ביכולת ניווט וחזרה לכוורת, הגברת רגישות לפתוגנים, פגיעה בצריכת אבקה, והפחתה בעושר המינים כתלות בסוג הנאוניקוטינואיד וכן כתלות במין הדבורה. גם דבורי הבר נפגעות מחומרים אלו, כאשר מחקר שבחן השפעות לאורך 18 שנה הראה כי שימוש בציפוי זרעים בגידולי לפתית הוביל להכחדתן של עשרות אוכלוסיות של מיני דבורי בר. בנוסף נמצא כי דבורות בר יחידאיות הן רגישות במיוחד לחומרים אלו כאשר הסיבה עדיין אינה ידועה. בבומבוסים (*Bombus spp.*), השפעות הנאוניקוטינואידים ניכרות הן ברמת הפרט והן ברמת המושבה, ומתבטאות בירידה בקצב גידול, ירידה במספר מלכות חדשות, תמותה של מלכות, עיכוב בהקמת קינים, ירידה בפעילות איסוף המזון, פגיעה בפריון, בתעופה ובהתאוששות חורפית של המלכה. גם במיני פרפריים, תחום שבו נערכו עד כה מספר מועט של מחקרים, נראתה ירידה באוכלוסיות של מספר מיני פרפרים נפוצים באנגליה, ככל הנראה עקב השימוש בנאוניקוטינואידים[4].

אויבים טבעיים

השפעות שליליות לאחר חשיפה לנאוניקוטינואידים נצפו במגוון מינים של אויבים טבעיים כגון אקריות טורפות, פרת משה רבנו, עכבישים, תולעים, צרעות טפיליות, נמלים, צבתניים, חיפושיות, זבובים, וקהילות פרוקי הרגליים בכללותן[4].

חולייתנים

חולייתנים יבשתיים עלולים להיחשף לנאוניקוטינואידים בעיקר על ידי אכילת זרעים מטופלים, אך גם על ידי מגע עם אדמה וצמחים מרוססים ושתייה ממקורות מים מזוהמים. השפעות סב־לטאליות על חולייתנים גורמות לפגיעה בפריון, פגיעה בחומר התורשתי, פגיעות למערת העצבים ומערכת החיסון ועוד. בעוד שבעבר סברו כי ניאוניקוטינואידים מזיקים פחות לעופות בשל הזיקה הנמוכה שלהם לקולטנים בחולייתנים, כיום מצטברות עדויות לכך שעופות רגישים אליהם במידה רבה. נמצא כי זרעים מטופלים בנאוניקוטינואידים מכילים ריכוזים גבוהים במיוחד של חומרים פעילים, ולעיתים די בצריכה של זרעים בודדים כדי לגרום להרעלה חריפה בעופות קטנים. לדוגמא, נמצא כי שיעור הזיהוי של נאוניקוטינואידים בפלזמה של כמה מיני עופות שדה עלה מ-11% לפני הזריעה ל-51% אחריה. ממצאים אלה יחד עם רבים אחרים מדגישים כי תקופות הזריעה הן המסוכנות ביותר לחשיפת עופות לזרעים המטופלים, במיוחד בסתיו לעומת תחילת האביב, שכן זו גם תקופה של זמינות מזון נמוכה ועצירת נדידה של מינים מסוימים[4]. באירופה, נמצא כי עופות רבים נקטלו כתוצאה מהרעלות אקוטיות לאחר אכילת זרעים מצופים בנאוניקוטינואידים, גם אם כנראה זו אינה הסיבה העיקרית לירידה החדה במיני העופות בסביבות חקלאיות ויש תפקיד גדול יותר להשפעות הכרוניות הממושכות.

נוסף לחשיפה הישירה, עופות עלולים להיחשף לנאוניקוטינואידים גם בעקיפין כשהם ניזונים מחרקים שנחשפו לחומר. מחקרים מצביעים על כך שנאוניקוטינואידים עלולים לגרום לירידה משמעותית באוכלוסיות עופות אוכלי חרקים בשל פגיעה במקורות המזון שלהם[12,13]. בהתאם, נמצאה חשיפה נרחבת של עופות מקבוצות תזונה שונות לנאוניקוטינואידים, המדגישים חשיפה מתמשכת ורחבה של מינים רבים[4]. חוקרים הראו כי העלייה בשימוש בנאוניקוטינואידים בארצות הברית הובילה לירידה מובהקת סטטיסטית במגוון הביולוגי של

העופות[14]. פגיעות נוספות במיני ציפורים שונות הראו ירידה במשקל, ירידה במאגרי אנרגיה, ירידה בפעילות, פגיעה במערכת החיסון, ירידה בצפיפיות הזרעונים, שינויים התנהגותיים, הפרעות בתעופה והפרעות ביכולת הניווט. השפעות אלו הובילו לאובדן מאגרי אנרגיה, פגיעת הצלחת הנדידה וירידה כוללת בשרידות ארוכת הטווח. בנוסף, מספר מחקרים הראו נוכחות של ניאוניקוטינואידים בדורסים, אם כי המידע מועט[4].

מין נוסף שהוכח כי נפגע מנאוניקוטינואידים הם עטלפי חרקים, אם כי קיימים מחקרים מועטים בנושא. עטלפים שטופלו בנאוניקוטינואידים הראו פגיעה ביכולת ההתמצאות באמצעות קול (echolocation), הזיכרון המרחבי, השמע והניווט[15,16]. מאחר ומחקרים אלו דרשו המתת העטלפים לצורך הבדיקה, עלה הצורך בגישות לא פולשניות להערכת חשיפה אקוטית וכרונית. בהתאם לכך, פותחה שיטת כרומטוגרפיה נוזלית בשילוב ספקטרומטריית מסה (LC-MS/MS) לבדיקת שאריות נאוניקוטינואידים בשיער. באמצעות שיטה זאת, נמצא כי בכל שלושת המחוזות שנבדקו במדינת מיזורי (ארה"ב), זוהו לפחות שניים מתוך שלושת הנקוניקוטינואידים שנבדקו בשיער העטלפים- עדות לחשיפה סביבתית לחומרים אלו[17].

בני אדם

כפי שהוזכר, ניאוניקוטינואידים נמצאו במערכות מים מתוקים, צמחים**,** אדמה, מים, אוויר, אבק, מזון ובמגוון יצורים חיים[18]. עקב כך, חומרים אלו מעוררים חשש בנוגע להשפעותיהם על בריאות האדם. החשיפה לניאוניקוטינואידים מתרחשת בעיקר דרך צריכת מזון ומי שתייה, וכן בעקבות מגע תעסוקתי או סביבתי. מחקרים איתרו ניאוניקוטינואידים וחומרי הפירוק שלהם בשתן אנושי, חלב אם ואפילו בנוזל המוח והשדרה, מה שמצביע על חשיפה נרחבת ומתמשכת לאוכלוסייה[19–24]. חשיפה לנאוניקוטינוקידים בקרב בני אדם גורמות למגוון תסמינים בריאותיים כגון השפעה על מערכת החיסון ועל תפקוד המוח האנושי, עם קשר אפשרי למחלות הקשורות למערכת העצבים המרכזית כגון אלצהיימר ופרקינסון. בנוסף נמצאו השפעות שליליות על פוריות והתפתחות ביונקים כולל ירידה בייצור ותפקוד הזרע, ירידה בשיעורי הריון, עלייה בשיעורי מות עוברים, לידות שקטות ולידות מוקדמות, וירידה במשקל הוולדות. יותר מכך, הראו קשר מובהק בין חשיפה של האם לחומרים אלו במהלך ההריון לבין עיכוב בהתפתחות הקוגניטיבית בגיל שנתיים[19,20]. סיכונים בריאותיים רבים נוספים מקושרים לנאוניקוטינואידים, הנובעים מחשיפה אקוטית אך בעיקר מחשיפה כרונית לחומרים אלו.

רשתות מזון

ניאוניקוטינואידים משפיעים על רשתות המזון בשתי דרכים מרכזיות. ההשפעה הראשונה היא בפגיעה ישירה בצרכנים ראשוניים, מה שמוביל לירידה בשפע ובמגוון של חרקים וקבוצות רגישות אחרות. כאשר הרמות הטרופיות הנמוכות נפגעות, נוצרת שרשרת תגובות המובילה למחסור בטרף עבור יצורים ברמות הגבוהות יותר – טורפים, עופות ודגים. עדויות לכך נמצאו במערכות שונות (שדות חקלאיים, יערות ומקווי מים) שבהן ניאוניקוטינואידים דלדלו את קהילות החרקים, מה שהוביל לירידה בשפע של יצורים ברמות גבוהות יותר כמו חרקים אחרים, עופות ודגים[25]. אחד המקרים הבולטים היה שימוש בניאוניקוטינואידים באזורים של גידול אורז, שבו זיהום בנגר חקלאי הפחית מאוד את שפע הזואופלנקטון והחרקים המימיים באגם גדול, וגרם לקריסת הדיג המסחרי בכ־90%[26]. הדרך השניה בה נאוניקוטינואידים משפיעים על רשתות המזון היא באמצעות תנועה לאורך הרמות הטרופיות. חשיפה ראשונית מתרחשת כאשר צרכנים ניזונים מצמחים מטופלים או

מצמחים שלא טופלו ישירות אך זיהום בקרקע ובמים העביר אליהם את החומר. בהמשך, טורפים הניזונים מטרף שכבר נחשף סופגים בעצמם מנות רעילות. מעבר זה בין הרמות הטרופיות עלול להוביל לא רק לפגיעה ישירה בטורפים, אלא גם להתפרצויות מזיקים כתוצאה משחרור אוכלוסיותיהם מבקרה טבעית. אצל צרכנים משניים אוכלי־כל, כגון נמלים, החשיפה עשויה להיות מצטברת ולפגוע בכושר הרבייה של המושבות ולשנות את מבנה הקהילות[25].

רישוי ושימוש בנאוניקוטינואידים במדינות מפותחות

בעקבות הצטברות עדויות מדעיות, קיימת בעולם המפותח מגמה ברורה של איסור והגבלת שימוש בחומרים אלו. מידע נוסף נמצא בטבלה מספר 1.

האיחוד האירופי: ב-2013, האיחוד הטיל הגבלות נוקשות על השימוש בשלושה נאוניקוטינואידים מרכזיים (Clothianidin, Thiamethoxam ,Imidacloprid), ואסר לחלוטין את השימוש בהם בשדות פתוחים ב2018[3,27–30]. ב-2023 בית הדין האירופי פסק כי אין לאפשר אישור חירום לשימוש ב־ Clothianidin או Thiamethoxam,[31]. נכון להיום יש אישור שימוש בשני ניאוניקוטינואידים והם Acetamiprid ו-Flupyradifurone, וזאת משום שנמצאו כפחות רעילים לדבורים, בעלי פירוק מהיר יחסית וחדירה פחותה לצוף ולאבקן. יחד עם זאת, גם השימוש בהם נמצא תחת פיקוח הדוק, והם כפופים למגבלות יישום מחמירות.

קנדה: פסקה ב-2019-2021 כי שימושים רבים יבוטלו או יוגבלו משמעותית, ומקיימת פיקוח הדוק על היישום כדי להגן על בעלי חיים שאינם המטרה[32–34].

ארהב: רבים מהנאוניקוטינואידים מוגבלים לשימוש ודורשים הסמכה[35]. הוטלו הגבלות משמעותיות על השימוש בחומרים אלו תוך סקירה מדעית מקיפה שמתנהלת, עם מגמה ברורה של צמצום שימוש חקלאי וביתי, כאשר ההחלטות הסופיות צפויות להתקבל במהלך 2025[36,37].

אוסטרליה: נמצאת בעיצומו של תהליך רגולטורי והערכות מדעיות, כאשר המגמה היא הגנה על המאביקים והסביבה והגבלות שימוש נוספות[38,39].

ישראל: נאוניקוטינואידים רבים (Thiamethoxam , Dinotefuran, Thiacloprid, Imidacloprid ,Clothianidin) עברו תהליך רביזיה בשנת 2021 [40,41], אולם השימוש בהם ממשיך נכון להיום באופן שגרתי ואין צפי להגבלות או הפחתת שימוש. בהתאם, ניתן לראות נאוניקוטינואידים רבים שמתגלים בבדיקות סקרי השארית של משרד החקלאות בפרי וירק[42] (טבלה 2). בנוסף, חומרים אלו נמצאו במי נחלים לאחר אירועי שטפון, עדות לשכיחותם בסביבה[43]. בישראל קיים שימוש נרחב בניאוניקוטינואידים בעיקר כנגד חרקים מוצצים והוא נפוץ במטעי נשירים אך גם בגידולי שדה וחממה (טבלה 3). כל זאת למרות שנתוני מועצת הדבש בישראל מצביעים על כ- 60,000 כוורות המשמשות להאבקה[44], ועלולות להיפגע באופן ישיר מהשימוש בנאוניקוטינואידים. מחקר ישראלי מצא כי בדגימות דבורים נמצאו חומרי הדברה ממשפחת הנאוניקוטינואידים[45] ומקרי תמותה ופגיעה בכוורות תועדו בסמיכות לריסוסים בחומרים אלו. מאחר שבישראל לא קיימות מגבלות מספקות על השימוש בנאוניקוטינואידים, ובשל מקרי תמותה של דבורים גם כאשר הריסוס

בוצע לפי הוראות התווית, הוגשו לוועדה לרישום ורישוי חומרי הדברה בקשות לעדכון נוסח התווית ולהחמרתן. בניגוד למדינות מפותחות רבות, אין בישראל צפי לצמצום שימושים ואין מחקר מספק על הנזק האקולוגי מחומרים אלו. בנוסף, חשוב לזכור כי יש נאוניקוטינואידים מאושרים לשימוש גם בהדברה תברואית וגם בשימוש בווטרינריה בישראל, כאשר קשה לשער את היקף השימוש וההשפעה הסביבתית של שימושים נוספים אלו.

השלכות איסור השימוש בנאוניקוטינואידים באיחוד האירופי וסקירת תחליפים

איסור השימוש בנאוניקוטינואידים הוביל להשלכות משמעותיות על החקלאות, הכלכלה והסביבה באיחוד האירופי. בגידולים מרכזיים כמו קנולה וסלק סוכר נרשמה ירידה ממוצעת של כ-4% בתנובה, עם מקרים מסוימים של הפסדים שהגיעו עד 20%, יחד עם פגיעה באיכות היבול. בהיבט הכלכלי, ההפסדים השנתיים לחקלאים באירופה מוערכים ביותר מ-510 מיליון אירו, נוסף להפסד של כ-400 מיליון אירו בהכנסות השוק ועלייה של כ-120 מיליון אירו בעלויות הייצור, בעיקר עקב ריסוסים מוגברים בתכשירים כימיים חלופיים כמו פירתרואידים. לאורך שרשרת הערך כולה, ההפסד השנתי הכולל מוערך בכ-360 מיליון אירו נוספים. מהבחינה הסביבתית, הפגיעה בתנובה הביאה להמרה של מעל חצי מיליון הקטרים לשימוש חקלאי חדש שמשמעותו אובדן מגוון ביולוגי, הגברת פליטות גזי חממה וצריכת מים. בנוסף, המעבר לתכשירים חלופיים גרם לעלייה בעמידות של מזיקים, לפגיעה ביעילות הטיפול ולהכבדה נוספת על הסביבה[1,46,47].

עם זאת, מחקרים מצביעים על כך שלאחר תקופת הסתגלות, היעדר שימוש בנאוניקוטינואידים לא הוביל בהכרח לפגיעה ביבול. כלומר השפעתם של חומרים אלו תלויה בהקשר המקומי וניתנת לצמצום באמצעים ניהוליים. יותר מכך, ניתוח מקרי מבחן מעלה כי חלק ניכר מהשימוש בנאוניקוטינואידים בעולם נעשה באופן מונע ולא מבוסס על צורך אמיתי. בהתאם לכך, ניתן לצמצם את השימוש בהם משמעותית מבלי לפגוע ביבול או בביטחון היבול, וזאת באמצעות אימוץ גישות של ניהול משולב (IPM). גישות אלו כוללות ניטור שיטתי של מזיקים, טיפולים רק לאחר אבחנה, שימוש בשיטות אגרונומיות (כגון רוטציית גידולים, זנים עמידים, שיטות מכניות), פתרונות ביולוגיים (כגון טורפים טבעיים), גידולים מהונדסים, ורק במידת הצורך שימוש מבוקר בתכשירים כימיים חלופיים[48]. עם זאת, יש לציין שפתרונות אלו מוגבלים לעיתים בשל עלויות גבוהות, מורכבות ביישום, מחסור בדוגמאות מוצלחות, היעדר ביסוס מדעי מספק, וחוסר בזמינות המידע לחקלאים[1].

חלופות נוספות שנמצאות היום בפיתוח הם נקוניקוטינואידים מהדור החדש. המגבלות שהוטלו על נאוניקוטינואידים יצרו תמריץ לפיתוח תחליפים כימיים הפועלים על אותם מנגנונים עצביים של חרקים. כפי שצוין, חומרים אלו נועדו להיות בררניים יותר כלפי חרקים מזיקים ולהתאפיין בפירוק מהיר יותר בסביבה ובצמח- אם כי תכונות אלו אינן בהכרח מתקיימות בפועל. שני חומרים מסוג זה (Sulfoxaflor, Flupyradifurone) כבר אושרו בישראל כחומרים פעילים בתכשירי הגנת הצומח בשנת 2015[49,50], בעוד מולקולות רבות נוספות נמצאות כיום שלבי פיתוח. קיימים נאוניקוטינואידים נוספים מהדור החדש, לדוגמת Cycloxaprid ו-Paichongding שמאושרים לשימוש בסין ולא במדינות המערביות המפותחות. עם זאת, מאחר שחומרים אלה מבוססים על אותו מנגנון פעולה, קיים סיכון שהשפעתם

הסביבתית תהיה דומה או אף חמורה יותר מזו של הנאוניקוטינואידים מהדור הישן, ולכן נדרשת זהירות רבה בהערכתם. לדוגמה כבר ידוע כי לחומרים אלו יש רעילות כלפי דבורים וחרקים מועילים בחשיפה כרונית[1].

בנוגע לSulfoxaflor, מחקרים מראים כי מינונים תת-קטלניים ורלוונטים לשדה פוגעים במיני מאביקים שונים כגון צרעות, דבורי דבש ודבורי בומבוס ועשויים לגרום לפגיעה ביכולות הלמידה והזיכרון קצר-הטווח, פגיעה בתפקוד מוטורי ולירידה בסיכויי ההישרדות, פגיעה בצריכת מזון ומשקל גוף, בפעילות המושבות ובפגיעה ברבייה[51–53]. מצד שני, קיימים גם מאמרים הטוענים כי אין פגיעה משמעותית במאביקים והראו כי אין השפעות שליליות מובהקות על הכשירות וההישרדות של המינים כאשר החומר מיושם לפי הוראות התווית ומספר ימים מספק לפני פריחה[54,55]. לסיכום, נראה כי סולפוקספלור עשוי להוות סיכון למאביקים בתנאים מסוימים, אך בעזרת יישום מבוקר, אחראי ומפוקח הסיכון יכול להיות נמוך ולא לחרוג מהסף שנקבע בהערכות הסיכון. בבדיקה של Flupyradifurone, שהוא בין החומרים היחידים המאושרים לשימוש באיחוד האירופי בשדה פתוח, נמצאו פחות מחקרים זמינים ועיקר המחקר מתמקד בדבורים. המידע הקיים מצביע כי בדבורי דבש הסיכון גבוה מההערכות הסיכון הראשוניות, אך כן נמון עד מתון, עם הרבה אי וודאות. המין היחיד בו נמצא עד כה כי יש סכנת פגיעה משמעותית היא בדבורים יחידאיות, דבר המעלה את השאלה מה עוד איננו יודעים על מינים נוספים. קיימות כבר מדינות אירופאיות כגון צרפת שביקשו להגביל את השימוש גם בו. כיום, גם עם הערכות הסיכון החדשות, החומר נחשב לבעל סיכון נמוך או בינוני כאשר ההמלצות הקיימות היום הן לבצע ניסויים נוספים לבדיקת רעילות[56].

במחקר שפורסם בשנת 2019 נבחנו 152 מקרים של שימושים מאושרים בנאוניקוטינואידים בצרפת, שכללו 120 גידולים שונים ו-279 מיני חרקים מזיקים. החוקרים בחנו את החלופות על פי קריטריונים של יעילות, ישימות, סיכון לעמידות ויכולת יישום בשטח. מתוך כלל מקרים אלו, רק 4% הוגדרו כבלתי-ניתנים להחלפה-כלומר מקרים בהם השימוש בנאוניקוטינואידים נחשב חיוני ואי-אפשר היה למצוא תחליף. עבור 18% מהמקרים נמצאו רק חלופות כימיות, ול-7% נוספים זוהו חלופות שאינן כימיות. ברוב המכריע של המקרים (71%) נדרשה גישה משולבת הכוללת גם חלופות כימיות וגם לא כימיות. ממצאים אלו מצביעים על כך שבמרבית השימושים ניתן היה להפחית באופן משמעותי את התלות בנאוניקוטינואידים, תוך בחינה מדוקדקת של הסיכונים הכרוכים בחומרים החלופיים. בנוסף החוקרים בחנו כ-3000 מקרי בוחן, כאשר החלופה הנפוצה ביותר שנמצאה הייתה שימוש בקוטלי חרקים כימיים אחרים, בעיקר פירתרואידים אך גם זרחנים אורגניים. עם זאת, זוהו גם חלופות לא-כימיות שנמצאו יעילות וישימות, כגון הדברה ביולוגית באמצעות מיקרואורגניזמים, שימוש בפרומונים (תקשורת כימית) וציפויים פיזיים. רבות מהשיטות הללו דורשות עדיין מחקר שדה נוסף לפני שיאומצו כשגרה. בנוסף, עלו שיטות חקלאיות שנועדו לשמר את אויביהם הטבעיים של המזיקים והן מציגות פוטנציאל גבוה לא רק בהדברת מזיקים, אלא גם בהגברת התועלות האקולוגיות הכוללות של המערכות החקלאיות[57]. כמובן, שבמעבר לתחליפים כימיים צריך לבחון היטב את ההשפעות על בעלי חיים נוספים מלבד חרקים מועילים ומאביקים, כאשר לדוגמה זרחנים אורגניים המשמשים לעתים כתחליפים לנאוניקוטינואידים ידועים ברעילותם הגבוהה לחולייתנים וידועים כמהווים סיכון משמעותי לחיות הבר[58–62]. בישראל, זרחנים אורגניים מהווים את אחת הקבוצות העיקריות של הרעלות חולייתנים, וגם

פירתרואידים המהווים חלופה כימית עיקרית לנאוניקוטינואידים נמצאו בבדיקות פורנזיות במקרי הרעלה (נתונים פנימיים של רשות הטבע והגנים).

המלצות מדיניות לישראל

- האצת הליכי רישוי של חלופות ידידותיות לסביבה.
- קידום הדברה משולבת על ידי תמריצים והנגשת מידע.
- צמצום שימושים שאינם הכרחיים.
- איסור שימוש בחלק מהחומרים, ותעדוף של נאוניקוטינואידים מהדור החדש על פני הנאוניקוטינואידים מהדורות הראשונים.
- תמיכה וסובסידיות למגדלים לאמץ חלופות רעילות פחות ולהתמודד עם פגיעה אפשרית ביבול.
- עידוד מחקר ופיתוח של חלופות לא-כימיות, יחד עם סבסוד חומרים חדשים ומבטיחים.
- הדרכה והנגשת מידע לחקלאים.
- זהירות באישור חומרים חדשים המבוססים על מנגנון הפעולה של נאוניקוטינואידים.
- בחינת אפשרות למתן אישורי חירום שיתרום לאיסור שימוש.
- צמצום מתן טיפול מונע- במידת האפשר.
- עדכון תוויות חומרי ההדברה והחמרת האזהרות לשימוש בקרבת מאביקים ובסמיכות לאזורים רגישים מבחינה אקולוגית.

סיכום

השפעת הניאוניקוטינואידים נובעת מהשילוב בין היקף השימוש הרחב והחוזר בהם לבין רעילותם הישירה והמצטברת כלפי חסרי חוליות וחולייתנים כאחד. בעשורים האחרונים נעשה בהם שימוש בקנה מידה רחב, והדבר גרם להשלכות אקולוגיות משמעותיות שהיו יכולות להצטמצם באופן ניכר אילו הוגבלו התדירות והיקף השימוש. מאפייניהם מבטיחים את התפשטותם לבתי גידול שאינם המטרה, שם הופכים יתרונותיהם כחומרי הדברה לבעיה סביבתית חמורה: פגיעה באוכלוסיות חרקים, דלדול במגוון המינים ושיבוש רשתות המזון ומערכות אקולוגיות. מחקרים רבים תמימי דעים כי הערכות הסיכון המקובלות היום המשמשות את הרגולטור אינן מספקות עבור הנאוניקטינואידים ומובילות להערכות חסר שאינן אומדות את הנזק האמיתי והרחב של חומרים אלו.

שימוש בשיטות הדברה משולבת, תחליפים רעילים פחות ואימוץ טכנולוגיות חדשות עשויים להיות כרוכים בעלויות גבוהות בטווח הקצר, אך יניחו את היסודות לחקלאות יציבה ובת־קיימא בטווח הארוך, תוך שמירה על הסביבה והמגוון הביולוגי. הדיון הרגולטורי סביב השימוש בנאוניקוטינואידים משקף מגמה עולמית הולכת ומתרחבת לעבר מערכות מזון בטוחות, בריאות וסביבתיות. במסגרת אסטרטגיית "Farm to Fork" של האיחוד האירופי, מודגשת הדרישה להפחית באופן ניכר את השימוש בחומרי הדברה כימיים ואת הסיכונים הכרוכים בהם, במטרה לצמצם את הפגיעות במערכות אקולוגיות, לשמר את המגוון הביולוגי ולשפר את בריאות הציבור. בעקבות רעילותם הגבוהה של נאוניקוטינואידים לחרקים מועילים כגון מאביקים, תכונותיהם הסיסטמיות

ועמידותם בסביבה, הם נחשבים מועמדים מרכזיים לבחינה במעבר לחקלאות בת־קיימא, במטרה לצמצם בהדרגה את השימוש בהם ולעודד מעבר לחלופות ידידותיות יותר לסביבה ולבריאות הציבור.

צמצום השימוש בחומרים אלו, לצד קידום פתרונות ביולוגיים ויישום פרקטיקות של הדברה משולבת, מהווה מרכיב חיוני בעיצוב מערכות חקלאיות התואמות את יעדי ה־ Green Deal האירופי ואת המעבר לחקלאות בת־קיימא. עם זאת, לצד התועלות הסביבתיות הברורות הצפויות מהפחתת השימוש בנאוניקוטינואידים, מחקרים מצביעים גם על השלכות כלכליות ואקולוגיות אפשריות שיש להביאן בחשבון בתהליכי קבלת ההחלטות הרגולטוריות. האסטרטגיה הרצויה היא זו המשלבת התמודדות עם האתגרים הסביבתיים והבריאותיים, תוך שמירה על יכולת החקלאים לייצר מזון באופן בר קיימא וכלכלי.

טבלה 1: מאפיינים של נאוניקוטינואידים המאושרים לשימוש בישראל. לקבלת טבלת נתונים מורחבת נא לפנות למחברי המאמר (yemimaD@npa.org.il).

חומר פעיל	דור	עבר רביזיה בישראל (1)	רישום בישראל (2)	רישום ב- EU (3)	רישום ב- US (4)	אישורי חירום אחרון (5)	סכנה סביבתית (6)	סכנה אקוטוקסית (6)	התפרקות באדמה (6)	התפרקות במים (6)	Bioconcentration Factor (6)	רעילות אקוטית ליונקים (6)	רעילות אקוטית לעופות (6)	רעילות אקוטית לדבורים (6)	רעילות אקוטית לדגים (6)	רעילות אקוטית לחסרי חוליות מיימיים (6)	רעילות אקוטית לסרטנים (6)	רעילות אקוטית לאצות (6)	CLP classification (6)
Imidacloprid	ראשון	p	מאושר	נאסר	מוגבל	2024	גבוהה	גבוהה	persistent	stable	פוטנציאל נמוך	בינונית	גבוהה	גבוהה	בינונית	בינונית	גבוהה	נמוכה	H400, H410
Acetamiprid	ראשון	p	מאושר	מאושר	מוגבל	2025	בינונית	גבוהה	non-persistent	stable	סיכון נמוך	בינונית	גבוהה	בינונית	נמוכה	בינונית		נמוכה	H412
Thiacloprid	ראשון	p	מאושר	נאסר	מאושר	2021	בינונית	גבוהה	non-persistent	stable	סיכון נמוך	בינונית	גבוהה	בינונית	בינונית	בינונית	גבוהה	נמוכה	H400, H410
Clothianidin	שני	p	מאושר	נאסר	מוגבל	2023	גבוהה	גבוהה	very persistent	stable	סיכון נמוך	בינונית	בינונית	גבוהה	נמוכה	בינונית		נמוכה	H400, H410
Thiamethoxam	שני	p	מאושר	נאסר	מוגבל	2024	גבוהה	גבוהה	Moderately persistent	stable	סיכון נמוך	בינונית	בינונית	גבוהה	בינונית-נמוכ	נמוכה		נמוכה	H400, H410
Dinotefuran	שלישי	p	מאושר	נאסר	מאושר	אין	גבוהה	גבוהה	Moderately persistent	stable	סיכון נמוך	נמוכה	נמוכה	גבוהה	בינונית-נמוכ	נמוכה	בינונית	נמוכה	
Flupyradifurone	רביעי		מאושר	מאושר	מאושר	2025	גבוהה	בינונית	Moderately persistent			בינונית	בינונית	נמוכה	בינונית	בינונית		נמוכה	H400, H410, H412
Sulfoxaflor	רביעי		מאושר	מאושר	מאושר	2025	גבוהה	גבוהה	non-persistent		סיכון נמוך	בינונית	בינונית	גבוהה	נמוכה	נמוכה	בינונית	נמוכה	H400, H410

1. רביזיות בישראל (https://www.gov.il/he/pages/pesticides-revision).
2. משרד החקלאות ובטחון המזון, מאגר תכשירי הדברה להגנת הצומח (https://pesticides.moag.gov.il/#/pages/tachshirim).
3. האיחוד האירופי, רישום חומרים (https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances).
4. האיחוד האירופי, אישורי חירום (https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/ppp/screen/home).
5. ארצות הברית, רשימת חומרים מוגבלים (https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/restricted-use-products-rup-report)
6. Pesticide Properties Database (PPDB) website (https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/).

משמעות משפטי סיכון לפי תקנות CLP (Classification, Labelling and Packaging):

CLP Regulation		
H400	Very toxic to aquatic life.	אקוטי
H410	Very toxic to aquatic life with long lasting effects.	אקוטי+כרוני
H411	Toxic to aquatic life with long lasting effects.	אקוטי+כרוני
H412	Harmful to aquatic life with long lasting effects.	כרוני
H413	May cause long lasting harmful effects to aquatic life.	כרוני

טבלה מספר 2: שאריות נאוניקוטינואידים בתוצרת חקלאית מקומית לשנת 2023[42], משרד החקלאות ובטחון המזון. מספר הדגימות החקלאיות בהן התגלה החומר הפעיל, מספר הדגימות בהן התגלה שימוש לא מורשה (משמע שימוש חקלאי החורג מהתווית) בחומר הפעיל וכן דגימות בהם נמצאה חריגה מכמות השארית המותרת (MRL).

חומר פעיל	התגלה במספר דגימות	מתוכם בשימוש לא מורשה	חריגה מMRL
Imidacloprid	63	4	1
Acetamiprid	35	3	0
Thiacloprid	22	3	2
Clothianidin	19	2	0
Thiamethoxam	5	3	0
Dinotefuran	20	1	1
Flupyradifurone	0	0	0
Sulfoxaflor	4	0	0

טבלה מס 3: נתונים חקלאיים של החומרים הפעילים ממאגר תכשירי ההגנה לצומח, משרד החקלאות ובטחון המזון.

חומר פעיל	יישום	גידולים	מספר תכשירים	מספר בעלי רישיון למכירת תכשירים	ימי המתנה
Imidacloprid	ריסוס, הגמעה, מיכל חיטוי	חיטוי זרעים, דשא, גידולי שדה, ירקות, תות שדה, הדרים, גפן, פקאן, בננות ומטעים, פרחים, תבלינים	12	7	0-30
Acetamiprid	ריסוס (גם מהאוויר)	מנגו, הדרים, מטעים, פרדסים, גפן, גידולי שדה, ירקות, צמחי תבלין	11	5	3-30
Thiacloprid	ריסוס	מטעים, גפן, ירקות, גידולי שדה, תבלינים	4	3	7-120
Clothianidin	ריסוס והגמעה	אפרסק, נקטרינה, משמש, תפוח, אגס, גפן, גזר, שקד, אגוזי אדמה, פיטוספורום	2	2	3-90
Thiamethoxam	עיטוי זרעים בשיטת הבליל וריסוס	עיטוי זרעים, גידולי שדה, ירקות, מטעים, כותנה, גפן והדרים	6	3	3-120
Dinotefuran	ריסוס	מטעים, ירקות, גפן, ירקות, תבלינים	4	4	3-30
Flupyradifurone	ריסוס והגמעה	ירקות מטעים ופרחים	1	1	3-45
Sulfoxaflor	ריסוס	אפרסק, נקטרינה, הדרים, רימון, מנגו, היביסקוס, לנטנה, דלעת, תפוח, גפן, ברוקולי, כרוב, כרובית, עגבניה, פלפל, מלפפון, תות שדה, כותנה	2	1	3-75

מקורות

1. EASAC. Neonicotinoids and their substitutes in sustainable pest control. policy report 45, (2023).

2. Mandal, A. H. *et al*. Evaluating the impact of neonicotinoids on aquatic non-target species: A comprehensive review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 113, 104606 (2025).

3. Ewere, E. E., Reichelt-Brushett, A. & Benkendorff, K. Impacts of Neonicotinoids on Molluscs: What We Know and What We Need to Know. *Toxics* 9, 21 (2021).

4. Mamy, L. *et al*. Impacts of neonicotinoids on biodiversity: a critical review. *Environ Sci Pollut Res* 32, 2794–2829 (2023).

5. Sánchez-Bayo, F. & Tennekes, H. A. Time-Cumulative Toxicity of Neonicotinoids: Experimental Evidence and Implications for Environmental Risk Assessments. *IJERPH* 17, 1629 (2020).

6. Sánchez-Bayo, F. & Tennekes, H. A. Time-Cumulative Toxicity of Neonicotinoids: Experimental Evidence and Implications for Environmental Risk Assessments. *IJERPH* 17, 1629 (2020).

7. United Nations. We all depend on the survival of bees. *https://www.un.org/en/observances/bee-day*.

8. FAO. Bee-ing grateful to our pollinators. *https://www.fao.org/newsroom/story/Bee-ing-grateful-to-our-pollinators/en* (2018).

9. UN environmental progrem. #FridayFact: One in three spoonfuls of food depends on bees! *https://www.unep.org/news-and-stories/story/fridayfact-one-three-spoonfuls-food-depends-bees* (2018).

10. UN environmental progrem. #FridayFact: One in three spoonfuls of food depends on bees! *https://www.unep.org/news-and-stories/story/fridayfact-one-three-spoonfuls-food-depends-bees* (2018).

11. FAO. Global Action on Pollination Services for Sustainable Agriculture.

12. Gibbons, D., Morrissey, C. & Mineau, P. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environ Sci Pollut Res Int* 22, 103–118 (2015).

13. Hallmann, C. A., Foppen, R. P. B., Van Turnhout, C. A. M., De Kroon, H. & Jongejans, E. Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature* 511, 341–343 (2014).

14. Li, Y., Miao, R. & Khanna, M. Neonicotinoids and decline in bird biodiversity in the United States. *Nat Sustain* 3, 1027–1035 (2020).

15. Wu, C.-H., Lin, C.-L., Wang, S.-E. & Lu, C.-W. Effects of imidacloprid, a neonicotinoid insecticide, on the echolocation system of insectivorous bats. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 163, 94–101 (2020).

16. Hsiao, C.-J., Lin, C.-L., Lin, T.-Y., Wang, S.-E. & Wu, C.-H. Imidacloprid toxicity impairs spatial memory of echolocation bats through neural apoptosis in hippocampal CA1 and medial entorhinal cortex areas. *NeuroReport* 27, 462–468 (2016).

17. Hooper, S. E., Amelon, S. K. & Lin, C.-H. Development of an LC-MS/MS Method for Non-Invasive Biomonitoring of Neonicotinoid and Systemic Herbicide Pesticide Residues in Bat Hair. *Toxics* 10, 73 (2022).

18. Zhang, D. & Lu, S. Human exposure to neonicotinoids and the associated health risks: A review. *Environment International* 163, 107201 (2022).

19. Cimino, A. M., Boyles, A. L., Thayer, K. A. & Perry, M. J. Effects of Neonicotinoid Pesticide Exposure on Human Health: A Systematic Review. *Environ Health Perspect* 125, 155–162 (2017).

20. Song, S., Yue, Y., Jiang, Q., Li, C. & Zhang, H. Perspective on neonicotinoid insecticides in human exposure and risk assessment. *J. Environ. Expo. Assess.* 4, (2025).

21. Chen, Y., Meng, R., Liu, G., Yu, W. & Jin, H. Neonicotinoid pesticide residues in bottled water: a worldwide assessment of distribution and human exposure risks. *Environ. Sci.: Processes Impacts* 27, 1960–1970 (2025).

22. Thompson, D. A. *et al.* A critical review on the potential impacts of neonicotinoid insecticide use: current knowledge of environmental fate, toxicity, and implications for human health. *Environ. Sci.: Processes Impacts* 22, 1315–1346 (2020).

23. Li, A. J. *et al.* Detection of Neonicotinoid Insecticides and Their Metabolites in Human Cerebrospinal Fluid. *Environ Health Perspect* 130, (2022).

24. Huang, K. *et al.* Comparison of prenatal and postnatal exposure to neonicotinoids and their temporal trends in breast milk. *Science of The Total Environment* 950, 175386 (2024).

25. Tooker, J. F. & Pearsons, K. A. Newer characters, same story: neonicotinoid insecticides disrupt food webs through direct and indirect effects. *Current Opinion in Insect Science* 46, 50–56 (2021).

26. Yamamuro, M. *et al.* Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields. *Science* 366, 620–623 (2019).

27. European Union. Commission Implementing Regulation (EU) No 485/2013. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2013/485/oj (2013) doi:https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2013/485/oj.

28. European Union. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/785. (2018).

29. European Union. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/784. (2018).

30. European Union. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/783. (2018).

31. Court of Justice of the European Union. Pesticide Action Network Europe ASBL and Others v État belge, Case C-162/21. (2023).

32. Government of Canada. & Health Canada's Pest Management Regulatory Agency. Special Review Decisions for Clothianidin and Thiamethoxam (Aquatic Insects). (2021).

33. Government of Canada. & Health Canada's Pest Management Regulatory Agency. Health Canada announces new measures for use of neonicotinoid pesticide imidacloprid. (2021).

34. Government of Canada. & Health Canada's Pest Management Regulatory Agency. Re-evaluation Decision RVD2019-04, Thiamethoxam and Its Associated End-use Products: Pollinator Re-evaluation. (2019).

35. EPA, US. Restricted Use Products (RUP). https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/restricted-use-products-rup-report doi:https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/restricted-use-products-rup-report.

36. United States Environmental Protection Agency. EPA Actions to Protect Pollinators. https://www.epa.gov/pollinator-protection/epa-actions-protect-pollinators (2024) doi:https://www.epa.gov/pollinator-protection/epa-actions-protect-pollinators.

37. United States Environmental Protection Agency. Schedule for Review of Neonicotinoid Pesticides. https://www.epa.gov/pollinator-protection/schedule-review-neonicotinoid-pesticides (2024) doi:https://www.epa.gov/pollinator-protection/schedule-review-neonicotinoid-pesticides.

38. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. Neonicotinoids chemical review. https://www.apvma.gov.au/chemicals-and-products/chemical-review/listing/neonicotinoids (2025) doi:https://www.apvma.gov.au/chemicals-and-products/chemical-review/listing/neonicotinoids.

39. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. Neonicotinoids. https://www.apvma.gov.au/resources/chemicals-news/neonicotinoids (2023) doi:https://www.apvma.gov.au/resources/chemicals-news/neonicotinoids.

40. משרד החקלאות וביטחון המזון & השרותים להכנת הצומח ולביקורת. רביזיה נוספת בחומרי הדברה: משרד החקלאות יבצע הערכה מחודשת לכ-16% מכלל תכשירי ההדברה הנמצאים בשימוש. https://www.gov.il/he/pages/revisionpesticides (2021) doi:https://www.gov.il/he/pages/revisionpesticides.

41. https://www.gov.il/he/pages/revisionpesticides.

42. שיני-חג'-יחיא ל. סקר שאריות חומרי הדברה בתוצרת חקלאית מקומית לשנת 2023. *משרד החקלאות ופיתוח הכפר, השירותים להגנת הצומח ולביקורת* (2023).

43. מנדלב א, טופז ת, בן-ארי י וחפץ ב. חומרי הדברה, חומרים רפואיים ומוצרי טיפוח בנחלי החוף בישראל בגל השיטפון הראשון: נוכחות וריכוזים. 12(3), 13–20 (2021).

44. קידר ש. מועצת הדבש קוראת לאסור שימוש בחומרי הדברה הפוגעים בדבורים. *הפורטל לחקלאות טבע וסביבה* (2013).

45. סורוקר ו, שריג ש, סלבצקי י ואחרים. זליגת חומרי הדברה משדות חקלאיים לסביבה הטבעית והשפעתה על דבורי דבש. *אקולוגיה וסביבה* 8(2): 23-16 (2017).

46. Robin Blake. EU Neonicotinoid Ban Removes Vital Tools in Global Fight Against Pests. *AgriBusiness Global* (2018).

47. Steffen Noleppa. Banning neonicotinoids in the European Union: an ex-post assessment of economic and environmental costs. *HFFA Research* (2017).

48. Furlan, L. & Kreutzweiser, D. Alternatives to neonicotinoid insecticides for pest control: case studies in agriculture and forestry. *Environ Sci Pollut Res* 22, 135–147 (2015).

49. European Parliament and of the Council. Commission Implementing Regulation (EU) 2015/2084 of 18 November 2015 approving the active substance flupyradifurone. (2015).

50. the European Parliament and of the Council. Consolidated text: Commission Implementing Regulation (EU) 2015/1295 of 27 July 2015 approving the active substance sulfoxaflor. (2015).

51. Siviter, H., Brown, M. J. F. & Leadbeater, E. Sulfoxaflor exposure reduces bumblebee reproductive success. *Nature* 561, 109–112 (2018).

52. Corcoran, F. E. & Tibbetts, E. A. Field-realistic exposure to neonicotinoid and sulfoximine insecticides impairs visual and olfactory learning and memory in *Polistes* paper wasps. *Journal of Experimental Biology* 226, jeb246083 (2023).

53. Cheng, S. *et al.* The sulfoximine insecticide sulfoxaflor exposure reduces the survival status and disrupts the intestinal metabolism of the honeybee Apis mellifera. *Journal of Hazardous Materials* 442, 130109 (2023).

54. Solomon, K. R., Purdy, J. R., Kramer, V. J. & Giesy, J. P. Evaluating pollinator exposures to sulfoxaflor via bee-relevant matrices: a systems-level approach using semi-probabilistic methods for assessing hazards; sulfoxaflor environmental science review part IV. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* 28, 350–373 (2025).

55. Schwarz, J. M. *et al.* No evidence for impaired solitary bee fitness following pre-flowering sulfoxaflor application alone or in combination with a common fungicide in a semi-field experiment. *Environment International* 164, 107252 (2022).

56. EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR) *et al.* Statement on the active substance flupyradifurone. *EFS2* 20, (2022).

57. Jactel, H. *et al.* Alternatives to neonicotinoids. *Environment International* 129, 423–429 (2019).

58. Anglister, N. *et al.* Plasma cholinesterase activity: A benchmark for rapid detection of pesticide poisoning in an avian scavenger. *Science of The Total Environment* 877, 162903 (2023).

59. Plaza, P. I., Martínez-López, E. & Lambertucci, S. A. The perfect threat: Pesticides and vultures. *Science of The Total Environment* 687, 1207–1218 (2019).

60. Guitart, R. *et al.* Animal poisoning in Europe. Part 3: Wildlife. *The Veterinary Journal* 183, 260–265 (2010).

61. Wildlife Health Australia. Pesticide toxicity in Australian native birds. (2022).

62. Botha, C. J., Coetser, H., Labuschagne, L. & Basson, A. Confirmed organophosphorus and carbamate pesticide poisonings in South African wildlife (2009–2014). *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 86, (2015).