

# גורל סביבתי של חומרי הדברה נדיפים למחצה

שימוש בחומרי הדברה נפוץ בשטחים רבים, הן בחקלאות והן בסביבה הפנים-ביתית. עם זאת, חקר גורלם הסביבתי של חומרים אלו לוקה לעתים בחסר וחוסר הידע לגבי תוצרי הפירוק שלהם אינו מאפשר ניטור סביבתי מספק ומידע לגבי הימצאותם במקומות שונים לאחר הריסוס. מחקר שנערך בטכניון במסגרת עבודת דוקטורט מנסה לענות על כמה משאלות אלו

מיכל סגל-רוזנהיימר

מוגדרות כאזור המטרה (לדוגמה, אוכלוסיות צמחים שונות ובע"ח).

כלי חשוב בהערכה וכימות החשיפה לחומרי הדברה הוא הידע על מסלולם והתהליכים אותם הם עוברים בסביבה, אופן פירוקם ותוצרי הפירוק שלהם. מחקרים רבים נערכו על אופן הפירוק והגורל הסביבתי של חומרי הדברה בקרקע ובמים, אך מעטים מאוד המחקרים שהתבצעו על גורלם של חומרים אלו בעת הסעתם באוויר, או לאחר שיקועם על משטחים שונים והבנת האינטראקציה שלהם עם המחמצנים הקיימים באוויר או עם קרינת השמש.

חלק גדול מחומרי ההדברה הנפוצים כיום הם חומרים לא נדיפים או נדיפים למחצה. יישומם בפועל מתבצע בד"כ בשחרור לאוויר (מתוך מרסס ביתי, מרסס ע"ג טרקטור, או מטוס ריסוס), כתרובת של החומר הפעיל בתוך ממיסים אורגניים, חומרים פעילי שטח ומים. בעת הריסוס החומרים הנדיפים (ממיסים אורגניים ומים) מתנדפים לפאזה הגזית והחומר הפעיל נותר בצורת טיפות נוזליות או חלקיקים מוצקים בשל היותו בעל לחץ אדים נמוך.

חלק מהחלקיקים שוקע ב"אזור המטרה" (עלי הצמח המטופל) וחלקם ממשיך להיות מוסע באוויר ושוקע על הקרקע במרחקים שונים, במקווי מים, או על מבנים (נפוץ בארץ באזורים בהם מטעים חקלאיים ממוקמים סמוך לבתי מגורים).

חומרי הדברה נמנים על אחת מקבוצות הכימיקלים הנפוצות ביותר בשימוש; אם בריסוס פנים-ביתי כנגד מקקים, נמלים או יתושים ואם בסביבה הפתוחה - בחקלאות, בהדברת מזיקים על פירות וירקות או בריסוסים המתבצעים עונתית כנגד יתושים ומזיקים אחרים.

עם השנים גברה המודעות הסביבתית וההבנה שחומרים אלה, למרות תרומתם לשיפור התנובה החקלאית המתועשת, אינם ידידותיים ואף מסוכנים לאדם ולמערכות סביבתיות מסוגים שונים (מקווי מים, צמחיה טבעית ועוד). סוגים שונים של חומרים פותחו והפיתוח עדיין נמשך בניסיון להפחית את הנזק הסביבתי והבריאותי, אך למרות זאת חומרים רבים ורעילים עדיין נמצאים בשימוש מסיבי בישראל כדוגמת חומרי ההדברה מקבוצת האורגנו-זרחניים שנמצאים בשימוש נרחב יחסית באזור עמק החולה ובאגן ההיקוות של הכנרת.

ללא הבנה מעמיקה של התהליכים שחומרים אלו עוברים לאחר הריסוס, ובעיקר פוטנציאל הסעתם בסביבה וגורלם הכימי, קשה להעריך ולכמת את מידת הנזק שהם עלולים לגרום, הן מבחינה בריאותית לאוכלוסייה הנמצאת בקרבת אזורי הריסוס, הן מבחינת השפעה וזיהום של מקורות המים הסמוכים ואף המרוחקים מאזור הריסוס (כולל השפעה על מי תהום) והן מבחינת הנזק האקולוגי הכולל למערכות טבעיות סמוכות שאינן



מיכל סגל-רוזנהיימר

הריאקציה נבחנת באמצעות ניסוי בתא מבודד מהסביבה החיצונית, שבו ניתן לשלוט על הרכב ה"אטמוספירה" (הפאזה הגזית) שאותה "רואה" החומר. לדוגמה: תערובת של חנקן וחמצן ביחסי אוויר בנוכחות אוזון, אחוזי לחות משתנים, הוספת מנורת UV המאירה מעל תא הניסוי ומדמה את קרינת השמש) ועוד.

שיטת המעקב אחרי הריאקציה מתבצעת באמצעות חישה אינפרא-אדומה (IR). שיטת אנליזה זו אינה "הורסת" כמו שיטות מסורתיות מקובלות (איסוף על גבי פילטרים, מיצוי וכו'), וכך היא מאפשרת אנליזה נוספת בתום הניסוי של הדוגמאות לאחר הריאקציה על ידי מכשירים מתקדמים נוספים כגון מכשיר GC-MS, המאפשר לבצע הפרדה בין תערובות ומספק זיהוי מדויק של החומרים בתערובת באמצעות פירוק למסות השונות.

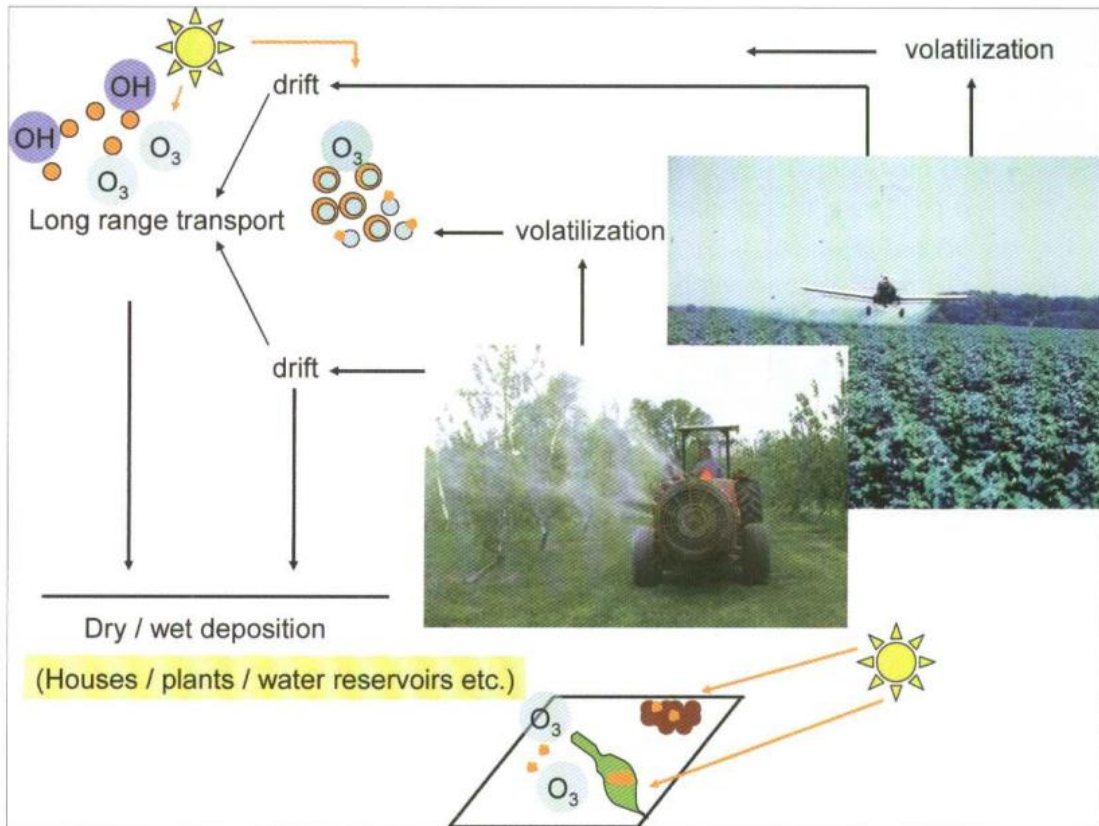
בתחום הקרינה האלקטרומגנטי הנ"ל, כמעט לכל החומרים בטבע ישנה "טביעת אצבע", המתבטאת בפסי בליעה במיקומים ייחודיים לכל קבוצה פונקציונאלית (קשרים כפולים,

היתר ממשך להיות מוסע באוויר ויכול להגיע ולשקוע גם במרחקים של עשרות ומאות קילומטרים ממקום הריסוס. גם החומר ששוקע, בד"כ כפילמים דקים, וגם החומר המוסע באוויר עוברים אינטראקציות עם המחמצנים האטמוספריים הנפוצים (אוזון ורדיקלי הידרוקסיל OH) ועם קרינת שמש קיצרת גל (UV). **איור מס' 1** מתאר את דרכי ההסעה והתגובה האפשריות של חומרים אלו באוויר, אם כחלקיקים ואם כאשר הם שוקעים על משטחים.

במסגרת עבודת הדוקטורט שלי בטכניון בפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית (בהנחיית ד"ר יעל דובובסקי וד"ר רפי לינקר), חקרתי את נושא גורל חומרי ההדברה לאחר שיקועם או בעת ההסעה באוויר, בדגש על כימות והבנה של האינטראקציות האטמוספריות עם המחמצנים הנפוצים וקרינת השמש.

הייחוד והדגש במחקר היה על השימוש בשיטות אנליזה לא-פולשניות, המאפשרות לעקוב בזמן אמת אחרי השינויים המתרחשים בחומר הנחקר כתוצאה מהאינטראקציה שלו עם תנאים השוררים בסביבה ומשפיעים עליו. במסגרת המחקר,

## עם השנים גברה ההבנה שחומרי ההדברה, למרות תרומתם לשיפור התנובה החקלאית המתועשת, אינם ידידותיים ואף מסוכנים לאדם ולמערכות סביבתיות מסוגים שונים



איור מס' 1: דרכי הסעה ותגובה באטמוספירה של חומרי הדברה נדיפים למחצה

## חישוב פשוט המתבסס על מידע של כמות חומר מרוסס בתנאים נתונים מראה, כי 10% מהחומר המרוסס "יברח" מאזור המטרה ויגיע למרחק של 20-2 ק"מ

בשתי קבוצות החומרים שנחקרו) ומועדים יותר (בעת מגע עם הקרקע לאחר ריסוס או שיקוע לאחר הסעה) לחלחל למי התהום באזורים אליהם הם מגיעים.

תוצאות אלו מצביעות על כך, שגם אם חומר ההדברה נפוץ ובעל תכונות ידועות, הנלקחות בחשבון בהערכת הסיכונים לגבי השימוש בו, לא בהכרח הדבר תקף לגבי תוצרי פירוקו. בנוסף, כאשר מתבצע מעקב וניטור סביבתי אחרי חומר ההדברה, הוא מתבצע רק לגבי החומר המקורי ולא נותן מענה לגבי תוצרי הפירוק, שעלולים להיות רעילים באותה מידה.

תוצאות ניסויי המעבדה לגבי קצב הריאקציה של החומרים הנחקרים בכל מצבי הצבירה עם מחמצנים ועם קרינת השמש, יחד עם מידע מוקדם על אופן השימוש בחומרים הללו, מהווה את הקלט למודל שינסה לתאר את הגורל הסביבתי, ביחס לאינטראקציות באטמוספירה, של החומרים הנבדקים. המודל יוכל לתת הערכה של זמן החיים ורדיוס השפעה של החומרים לאחר הריסוס, בתלות בתנאי הסביבה ולכן יוכל לשמש כבסיס להערכת סיכונים לאוכלוסייה ולאזורים טבעיים, שאינם מוגדרים בטווח ה"מטרה" של חומרי ההדברה. לדוגמה, חישוב פשוט המתבסס על מידע של כמות חומר מרוסס בתנאים נתונים (סוג מרסס, כמות חומר פעיל של 0.1 אחוז ומהירות רוח נמוכה יחסית של 2 מטר לשנייה) מראה כי 10% מהחומר המרוסס "יברח" מאזור המטרה ויגיע למרחק של 20-2 ק"מ. תוך פרק הזמן הזה, 10% מהחומר יעבור פירוק עקב תגובה עם קרינת השמש והחומר שהסביבה תיחשף אליו יכיל כבר לאחר פרק זמן קצר זה גם את חומר המוצא וגם את תוצרי הפירוק. כמובן שלאחר השיקוע, החומר ימשיך להגיב ולייצר את תוצרי הפירוק המזהמים גם הם.

בימים אלו אני מובילה מחקר נוסף יחד עם ד"ר יעל דובובסקי וד"ר יורם פינקלשטיין מביה"ח שערי צדק בירושלים (במימון הקרן לבריאות וסביבה) שמשלב מדידות של חומרי הדברה מסוג זרחנים-אורגניים ותוצרי הפירוק באוויר יחד עם מדידות של סמנים בריאותיים באוכלוסייה באזור עמק החולה, בו קיים שימוש נרחב בחומרים מסוג זה. כחלק מהמחקר נשתמש בתוצאות הכמותיות מהמחקר הקודם על מנת להעריך את כמות חומרי ההדברה ותוצרי הפירוק שלהם ברדיוסים שונים מאזור הריסוס. 💧

קבוצות כוהליות וכו') הקיימת בחומר מסוים והשילוב של פסי הבליעה ייחודי לכל חומר. שיטה זו משתמשת במקור רחב גל בתחום ה-Mid-IR (אורכי גל שבין 15-2 מיקרון) העובר דרך הדוגמה ובגלאי הקולט את השינויים הנצפים במקור כתוצאה מאינטראקציה עם החומר הנדגם. שינויים אלו מתורגמים לאותות בליעה, וכך ניתן לעקוב אחרי השתנות האות המקורי עם הזמן, כתוצאה מהתקדמות התגובה. לדוגמה, כאשר החומר המקורי מגיב והופך לתוצר, צורת אות הבליעה משתנה. כדי לאמת את ההשערות לגבי החומרים שנוצרים במהלך הניסוי, דרוש להשוות את הספקטרום שלהם עם ספקטרום של חומרים ידועים בספרות.

במסגרת העבודה נבחנו שני חומרי הדברה מקבוצות שונות, זרחנים-אורגניים ופירתוראידיים סינתטיים. הקבוצה הראשונה ידועה כרעילה ביותר ומסוכנת ליונקים והגבלות שימוש רבות הוחלו על חומרים מקבוצה זו בשנים האחרונות. הקבוצה השנייה רעילה פחות ליונקים ומשמשת לרוב כתחליף לראשונה, למרות שהיא רעילה מאוד לדגה ולדבורים. הריאקציות שנבחנו היו עם אוזון ואור שמש ונלמדו הן על חומרים שהושמו על משטחים והן על חלקיקים מרחפים של החומר שרוססו בתוך תא התגובה.

מהניסויים נמצא כי אוזון משפיע בעיקר על החומרים ממשפחת הפירתוראידיים, עם זמן מחצית חיים (פירוק של מחצית מכמות החומר ההתחלתית) של 20 ימים וכמעט ולא משפיע על קבוצת הזרחנים האורגניים. לעומת זאת, קרינת שמש נמצאה כמשפיעה ביותר על פירוק שני החומרים שנחקרו עם זמני מחצית חיים של פחות מיממה.

העובדה שחומרי המוצא עברו פירוק בסביבה לא מעודדת במיוחד מאחר ושני החומרים התפרקו לחומרים שונים שגם הם רעילים במידה שווה או אף יותר מחומר המוצא. לדוגמה, במקרה של הזרחן האורגני (מתיל-פרתיון), תוצרי הפירוק היו מתיל-פראוקסון שהוא החומר האחראי על שיבוש הפעילות העצבית שגורמת לרעילות הגבוהה של החומר ותוצרים נוספים המכונים אלקיל-פוספאט אסטרים, הידועים כרעילים. חומרים אלו נוצרים רק בעת הימצאות על השטח כפילמים או כחלקיקים ולא בתגובות בתוך מים למשל. ממצא נוסף חשוב הוא שחלק מתוצרי הפירוק הם פולריים יותר מחומרי המוצא