

דו"ח

הוועדה המייעצת  
לאקדמיה הלאומית  
הישראלית למדעים  
לקידום  
חקר הסובב  
בישראל

תשנ"ח / 1998

## תוכן העניינים

<a href="#"><u>3</u></a>	חברי הוועדה המייעצת לאקדמיה למדעים לקידום חקר השובב
<a href="#"><u>4</u></a>	תמצית דברים
<a href="#"><u>5</u></a>	מבוא
<a href="#"><u>6</u></a>	ממצאי הוועדה ומסקנותיה
<a href="#"><u>7</u></a>	1. מים
<a href="#"><u>10</u></a>	2. ניטור
<a href="#"><u>12</u></a>	3. פסולת מוצקה
<a href="#"><u>14</u></a>	הכימיה האנליטית במדע השובב
<a href="#"><u>16</u></a>	סיכום והמלצות
<a href="#"><u>18</u></a>	נייר עמדה של האקדמיה למדעים בנושא חקר השובב

**חברי הוועדה המייעצת לאקדמיה הלאומית הישראלית למדעים  
לקידום חקר הסובב**

פרופ' אילן חת, האוניברסיטה העברית בירושלים (יו"ר)

פרופ' יורם אבנימלך, הטכניון, חיפה

פרופ' יאיר זרמי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

פרופ' דן יקיר, מכון ויצמן למדע

פרופ' עובדיה לב, האוניברסיטה העברית בירושלים

פרופ' יצחק ערף, הטכניון, חיפה

פרופ' יוג'ין רוזנברג, אוניברסיטת תל-אביב

ד"ר יוסי סגל (רכז)

## תמצית דברים

חקר הסובב הוא תחום מחקר מן השורה הראשונה בעולם, בישראל רמת חקר הסובב אינה גבוהה והיא אף יורדת. האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים (להלן: האקדמיה), הערה לחשיבות הנושא, מינתה ועדה מייעצת שתבחן אותו ותמליץ על הדרכים לקידומו בישראל. הוועדה ממליצה שפעילות האקדמיה בעידוד חקר הסובב תתרכז בשלושה תחומים: מים, ניטור ופסולת מוצקה. כמו כן היא מציעה לדון בהקמת מרכז אנליטי לאומי. האמצעי העיקרי המוצע לקידום המחקר הוא הקמת גרעין של חוקרים צעירים מצטיינים בנושאים נבחרים אשר יפעלו לקידום.

מוצע שהאקדמיה תממן עבודתם של 3-6 בתר-דוקטורנטים מצטיינים בתחומי חקר הסובב למשך חמש שנים, מהן שנתיים במעמד בתר-דוקטורנט מהן שלוש שנים באחת האוניברסיטאות. הדבר ייעשה בתיאום עם האוניברסיטאות המעוניינות לקלוט את החוקרים הנבחרים. כמו כן מומלץ שבהקצאת מענק מחקר ראשון תיתן הקרן הלאומית למדע עדיפות לחוקרים הנבחרים עם קליטתם. במקביל תפעל האקדמיה לזימונם של חוקרים ראשוניים במעלה מחוץ לארץ ולקיום סדנאות, ימי עיון והרצאות.

## מבוא

במהלך המאה העשרים התרחשה התפתחות מהירה וחסרת תקדים במדע, ברפואה ובטכנולוגיה ועמה הלכה וגברה השפעת האדם על סביבתו, כלומר, על כדור הארץ. התפתחות זו לוותה בגידול רב של אוכלוסיית האדם בעולם ובהגברת הפעילות התעשייתית והאורבניזציה בד בבד עם שינויים הולכים וגדלים במערך כדור הארץ ובמרכיביו הגורמים להפרת שיווי המשקל האקולוגי ולפגיעה במערכות התמיכה החיוניות לחיים על פני כדור הארץ.

הגידול באוכלוסיית האדם בעולם לווה בניצול הולך וגובר – בלתי מבוקר ברובו – של אוצרות הטבע על כל מרכיביו. הדבר בא לידי ביטוי בזיהום המים, האוויר והקרקע; בהכחדה הולכת וגדלה של מיני החי והצומח; בהחדרת כימיקלים קשי פירוק, בעלי השפעה ארוכת טווח ובלתי ידועה ברובה; בשינויים באטמוספירה ובעלייה בקרינה האולטרה סגולה המגיעה לארץ; בשינויים במערכות האקולוגיות השונות במים וביבשה (חקלאות ואוצרות טבע). שינויים אלו אטיים, מצטברים וארוכי טווח וכך גם תהליך שיקום נזקיהם. התפתחותו המהירה של המדע על ענפיו השונים, אשר היטיבה עם האדם והביאה להשתלטותו על סביבתו, הותירה אפוא מאחוריה שובלים חרוכים של פגיעה במערכות הגלובליות הבסיסיות, שינוי בשיווי המשקל האקולוגי בעולם ונזק למערכות חיוניות שהאדם ניזון מהן ומתקיים עליהן.

בסוף המאה העשרים ניצבו לפני המדע אתגרים לא פחות חשובים מאלו שניצבו לפניו בתחילת המאה – שימור אוצרות כדור הארץ, שיקומם וניהול נכון ובונה שלהם למען האנושות ולמען העולם כולו.

הענף המדעי העוסק בתחום זה הוא חקר הסובב. במסגרתו מתבצעים איסוף נתונים, למידת ההשפעה של תהליכים ושינויים והבנתה ומציאת פתרונות לשיקום כדור הארץ ולשימור מרחביו. פעילות זו רב-תחומית וחובקת שטחי מדע מגוונים כמו ביולוגיה, כימיה, פיזיקה, גאולוגיה, אקולוגיה, אטמוספירה, הידרולוגיה.

בשנים האחרונות הולכת וגוברת המודעות לחשיבותו של חקר הסובב והוא כיום אחד הענפים המרכזיים בחשיבותם במדע.

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים מכירה בחשיבות הלאומית של חקר הסובב, ובינואר 1998 מינתה חוקרים מומחים במגוון של תחומים במדעי הטבע והחיים שישמשו ועדה מייעצת, שתמליץ על הדרכים לקידומו של תחום מדעי זה בישראל.

## ממצאי הוועדה ומסקנותיה

הוועדה מצאה שבישראל חקר הסובב בכללותו בנסיגה מתמשכת, ולכן חיוני הדבר שהאקדמיה תפעל לשילובו של המחקר הישראלי בנושא מרכזי וחשוב זה במסגרת המחקר העולמי ולקידומו אל חזית המדע.

בדיוניה מצאה הוועדה שכדי לקדם את הפעילות המדעית בישראל בתחום חקר הסובב יש להתמקד בבעיות מקומיות בישראל עצמה ואף להרחיב את היריעה אל בעיות האזור, להתמודד עמן ולמצוא להן פתרונות מדעיים. שהרי בלמידת המתרחש בישראל ובסביבתה יש יתרון למדענים הישראלים ויש בכך כדי להביא תרומה ממשית לקידום חקר הסובב בישראל.

כיוון שחקר הסובב הוא מדע רב-תחומי הנוגע בנושאים רבים ומגוונים, החליטה הוועדה להתמקד תחילה בשלושה נושאים, ובהמשך לבחון נושאים נוספים. אלה הנושאים ופירוטם:

### 1. מים

- א. איכות המים
- ב. מנגנונים ותהליכים המשפיעים על משק המים
- ג. פיתוח שיטות כמותיות לניתוח זורמים ומזהמים בקרקע

### 2. ניטור

- א. פיתוח גלאים חדשניים
- ב. מערכות ניטור חדשות
- ג. חישה מרחוק

### 3. פסולת מוצקה

- א. תהליכי קומפוסטציה (composting)
- ב. מחזור פסולת
- ג. פירוליזה ותהליכי בעירה

נוסף על כך הוועדה ממליצה לבחון את נושא האנליזה במסגרת מרכז אנליטי לאומי אשר יעסוק בפיתוח שיטות אנליטיות ובהכנסת מכשור מתקדם. המרכז ישמש את כלל מדעני ישראל ויתרום לקידום חקר הסובב בישראל.

## 1. מים

בעיות המים בעולם אינן נובעות ממחסור בהם אלא מחלוקה בלתי שווה של המשאבים. מקומות רבים בעולם, כמו ישראל, סובלים מכמות משקעים קטנה ולעתים בלתי סדירה. הגברת פעילותו של האדם בתחומי החקלאות, התעשייה והאורבניזציה מחמירה פי כמה בעיות אלו בעולם בכלל ובישראל בפרט. תהליכים אלו משפיעים הן על צריכת המים הן על איכותם, ועל כן ההתמודדות עם בעיות המחסור במים ואיכותם הופכת לדחופה ולקריטית. נוסף על אלו יש להביא בחשבון את ההיבט האזורי ולהתמודד עמו משתי בחינות מרכזיות: האחת – קיומה של קהילה פלסטינית אוטונומית בעלת צריכה ופעילות משלה; והאחרת – גבולות משק המים של ישראל, ובייחוד האקוויפרים, אינם תחומים על פי גבולות בין-לאומיים.

ניהול משאבי המים בישראל וניצולם כרוכים בשיקולים של צריכה והספקה. שיקולים אלו דורשים קבלת החלטות ושיתוף פעולה בתחומי החקלאות, התעשייה, האורבניזציה והבריאות, כמו גם בתחום התחיקתי. אין ספק שפיתוח מדיניות ארוכת טווח בנושא כה מורכב וחיוני ונקיטת צעדים בהתאם צריכים להתבסס על ידע והבנה מעמיקים. ישראל היא מדינה צפופת אוכלוסין המנצלת את מקורות המים שלה כמעט עד תום. המחסור במים במדינה ילך ויגדל בעתיד הנראה לעין כיוון שקצב גידול האוכלוסין בישראל הוא מן הגבוהים במדינות המפותחות, וכיוון שרמת החיים עולה בהדרגה ועמה גובר השימוש בצריכת המים הביתית. על בסיס תחזית של אוכלוסייה של כ-8 מיליון נפש בשנת 2020 צפוי ש-50% ממקורות המים הישראליים יופנו לצריכה ביתית. כלומר, לצורכי נפש ותעשייה יישארו רק כ-900 מיליון מ"ק לשנה, ומקורות המים לחקלאות יתבססו אך ורק על מי קולחין מטוהרים. כיום ישראל מטהרת כ-80% מן השפכים הביתיים, אך רק -50% 40% מהם מופנים לשימושים חקלאיים. ניצול עתודות המים ושינויים בהתפלגות צרכני המים גורמים לשינויים הדרגתיים ומורכבים במקורות המים הטבעיים של ישראל ובעיקר באקוויפרים ובגופי המים העיליים (הכנרת ונחלי ישראל). לשם הבנת שינויים אלו והתמודדות עמם נדרשת פעילות מדעית וטכנולוגית. במקביל, קיים ידע מועט לגבי שינויים אקלימיים אפשריים והשפעתם על מאזן המים באזורנו – אזור מעבר אקלימי רגיש במיוחד.

אקוויפר החוף ואקוויפר ההר של מדינת ישראל נמצאים מתחת לאזורים מיושבים בצפיפות ובקרבת אזורי תעשייה וחקלאות. יש חשש מהמלחה הדרגתית של האקוויפרים כתוצאה מניצול יתר וכתוצאה מהשימוש המתרחב במים מטוהרים לצורכי השקיה. כבר כיום כ-25% מהקידוחים של אקוויפר החוף מכילים יותר מ-45 מ"ג/ליטר חנקות. התעשייה הישראלית תורמת אף היא לזיהום מקומי של מי תהום בחומרים אורגניים סינתטיים, במתכות כבדות ובמזהמים כימיים אחרים.

אגן ההיקוות של הכנרת, המספק כ-25% מתצרוכת המים הישראלית, חשוף להשפעת פעילות חקלאית אינטנסיבית, ונוסף על כך ימת הכנרת משמשת אתר נופש פעיל. בשנים האחרונות במי הכנרת ובאגן ההיקוות שלה מתחוללים שינויים כימיים כמו ריכוז גבוה מאוד של ברום, וכן שינויים ביוטיים כמו פריחה רחבת היקף של האצה הכחולית (*Aphanizomenon ovalisporum*). הצעות המועלות לגבי שינוי מפלס הכנרת ולגבי שינוי מוצא מוביל המים הארצי גם הן עשויות להשפיע על איכות המים בכנרת, והוא הדין בשיקום ימת החולה. הבנה טובה יותר של שינויים אלו ובירור השאלה באיזו מידה באמת מתרחשים תהליכי אוטרופיקציה באגם מחייבים מחקר יסודי.

למעשה ישראל מנצלת את כל המקורות של נחלי ישראל בשביל משק המים הישראלי. במקום המים שנוצלו הוזרמו במשך שנים רבות שפכים בלתי מטוהרים אל אפיקי הנחלים. בשנים האחרונות הוחל בפעילות שיקום הדרגתית של נחלי ישראל באמצעות הזרמה מבוקרת של שפכים מטוהרים לערוצי הנחלים. חקר השינויים בביוטה ובפלורה של הנחלים ובחינת הקשר שבין שינויים אלו לאיכות הכימית והמיקרוביולוגית של מי הנחלים הם אתגר מדעי ומחקרי.

נוסף על כך, במי הניקוז בישראל יש ריכוז יוני נתרן, כלור ומתכות רעילות המתקרבת לגבול העליון המותר בשימוש בחקלאות מבחינת הפגיעה בגידולים והגורם לעלייה הדרגתית בזיהום הקרקע עד כדי הפיכתה לבלתי ראויה לחקלאות. האוכלוסייה והתעשייה כאחת הן גורמי הזיהום. גם כאן נדרשת פעולת ניטור נרחבת, ונחוץ מחקר מעמיק.

בשנים הבאות יהיה על ישראל להתבסס יותר על מקורות מים חלופיים ובכלל זה ניצול יעיל יותר של קולחין מטוהרים ומי שיטפונות, שימוש אינטנסיבי יותר במים מליחים ותהליכי התפלה מתקדמים. בזכות הפעילות האקדמית והטכנולוגית בשנים האחרונות הושגה הבנה טובה יותר, אם כי לא מספקת, של תהליכי הטיפול במי השתייה ושל הסיכונים הבריאותיים הכרוכים בתהליכים אלו.



משק המים בישראל עומד על פרשת דרכים, וכדי להבטיח את עתידו דרושה פעילות אינטנסיבית הכוללת שיתוף פעולה הדוק בין תחומי החקלאות, התעשייה, האורבניזציה והבריאות, וכן פעילות מחקרית אחרת שתוכל להתמודד בהצלחה עם דרישות העתיד ועם הבעיות שתוארו ולתת להן פתרונות הולמים.

המחקר בנושא המים בישראל נמצא בדעיכה מתמשכת. בשלושים השנים האחרונות נעשה מעט מאוד בנושא המים, למשל בתחומי ההידרולוגיה של אקוויפרים בישראל, החקלאות (מאז המצאת הטפטפות שהייתה בבחינת פריצת דרך רבת חשיבות ותרמה הן לחיסכון בצריכת מים הן לעלייה ביבול), הכימיה, המיקרוביולוגיה והטוקסולוגיה של המים ועוד. בישראל מתקיימים תנאים המקנים לה יתרון יחסי בתחום המחקר, למשל, הסביבה היבשה למחצה (סמי-ארידית) וכן הריכוז הגבוה של ברום במי הכנרת ובמוביל הארצי (ייחודי למקווי מים טובים), ריכוז הפוגע באנליזת הכלור המשמשת לבחינה בריאותית של מי השתייה ולבדיקת איכותם להשקיה.

יש לפעול לטיפול חוקרים ולקידום מחקר בסיסי ברמה גבוהה ביותר, אשר יביאו להבנת תהליכים כימיים, פיזיקליים וביולוגיים המתרחשים במערכות ההידרולוגיות; כמו כן יש לסייע לשילוב הידע בניהול משאבי המים כמו גם באיוש מקצועי מיומן של היחידות הביצועיות של תכנון המים לישראל (תה"ל) ושל חברת מקורות.

שיתוף פעולה בין גופי המחקר (המוסדות האקדמיים) לגופים המבצעים עשוי לספק פתרונות טכנולוגיים יעילים לניצול הולם של הנחלים, של האקוויפרים, של הכנרת ושל מקורות המים האחרים בישראל ולשיקומם.

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים יכולה לתרום לקידום הפעילות המחקרית בתחום משאבי המים בדרכים האלה:

1) איסוף ידע כמותי על מצב משאבי המים ואיכותם ברמה המקומית והאזורית (כגון מאזנים הידרולוגיים וכימיים; חישה מרחוק; תנועת תמיסות בקרקעות, בסלעים ובאזורי הגבול; פגיעה במערכות אקולוגיות הכוללות מים-קרקע-צמח/מיקרואורגניזמים ושיקומן);

2) לימוד תהליכים סביבתיים המשפיעים על הספקת המים ועל איכותם (כגון שינויים בשימושי קרקע, שינויים כימיים כתוצאה משימוש בדשנים ובקולחין, ראקציה וקינטיקה של פירוק מיקרוביאלי במי התהום ובמהלך טיפול במים מזוהמים);

- 3) חיזוי על בסיס מודלים ואימות על בסיס ניטור אנליטי מתקדם של שינויים במאזן הספקת המים ובאיכותם כתוצאה מפעילות האדם בחקלאות, בתעשייה ומצריכה עירונית (מודלים להתפשטות זיהומית, מודלים קינטיים לפירוק ביולוגי, מודלים לתגובות בין שפכים לקרקעות וסלעים ומודלים למאזני מים);
- 4) שיפור השיטות להמתקת מים מליחים ושילובן עם מקורות אנרגיה חלופית (סולרית וכיו"ב).

## 2. ניטור

תחום הניטור במסגרת זו מתייחס בעיקר לניטור סביבתי.

### ניטור סביבתי

ניטור סביבתי כרוך, מחד גיסא, באיסוף ברמה המקומית של נתונים הדרושים לזיהוי ולאנליזה של תהליכים סביבתיים, ומאידך גיסא, בעריכת תצפיות בקנה מידה גדול (חישה מרחוק) לצורך אבחון תופעות סביבתיות על פני שטחים גדולים.

### איסוף נתונים ברמה המקומית

יכולת הגילוי של חומרי קורט גדלה באופן אקספוננציאלי בשנים האחרונות. אם בעבר רמת הגילוי הייתה בתחום ה-ppm, הרי שכיום מגיע המכשור הסטנדרטי לתחום ה-ppb, והתפתחויות חדשות דוחקות את סף הגילוי לרמת ה-ppq. התפתחות טכנולוגית זו הביאה להתייחסות חדשה מצד הרשויות והתעשייה לבעיות סביבתיות. כבר היום משקיעה התעשייה בעולם 400 מיליארד דולר לפתרון בעיות סביבתיות ולמניעתן. הוצאה זו מבוססת על הימצאותו של ציוד חדיש ורגיש לניטור מזהמים. למרות ההתפתחות המרשימה בשיטות הגילוי האנליטיות, אין המצב בתחום פתרון הבעיות הסביבתיות משביע רצון, וזאת משלוש סיבות עיקריות:

- א. שיטות האנליזה הסטנדרטיות מבוססות על בדיקות מעבדתיות, שבמהלכן לוקחים דגימה בשדה, מעבירים אותה למעבדה, מטפלים בה ומעבדים אותה בתהליך מורכב וארוך. לעומת זאת הניטור הסביבתי דורש לעתים קרובות בדיקה *in-situ*, בזמן אמיתי, ללא הפרדות וטיפולים מקדימים.

- ב. בשיטות אנליטיות רגילות אי אפשר לטפל בגורמים מורכבים של מערכות סביבתיות, ולכן מעריכים כיום, שרוב התרכובות האורגניות אינן מתגלות בדגימות סביבתיות.
- ג. נוצר מחסור בכוח אדם מיומן בגלל פיתוחן של שיטות אנליטיות חדשות ומורכבות. בדיקה סטטיסטית של תוצאות אנליטיות במעבדות באירופה הראתה שקיימת בעיה באמינותן.

לאור האמור לעיל, יהיה נחוץ בעתיד לפתח גלאים ייעודיים צמודים ל'מערכות מומחה', שיוכלו להציע פתרונות ניטור *in-situ*, בזמן אמיתי, ללא צורך בהכנת דגימות או בהבאתן למעבדה.

הנושאים המומלצים לקידום הם:

- גלאים ביו-מולקולריים ייעודיים לגילוי תרכובות מסוימות;
- גלאים ייעודיים ספציפיים לאו דווקא מולקולריים;
- מכשור לניטור בשטח – פיתוח מכשור ושיטות לניטור *in-situ*;
- מערכות ניטור – אינטגרציה של כמה גלאים ומכשירים למערכת בקרה כוללת בזמן אמיתי – 'מערכת מומחה';
- ניטור מרחוק לאיתור מקורות זיהום נקודתיים.

#### ח י ש ה מ ר ח ו ק

נוסף לניטור סביבתי מקומי יש חשיבות לניטור אזורי כדי לבדוק התפתחות של תהליכים סביבתיים המשפיעים על שטחים גדולים. כיום הדרך היחידה לקבל מידע זה היא באמצעות חישה מרחוק – מעקב אחר תהליכים באמצעות לוויינים.

נושא החישה מרחוק צובר תאוצה בארץ ובעולם, אך מרבית העוסקים בו באים מתחומים תיאוריים, כמו גאוגרפיה, ולא ממדעי הטבע וההנדסה. כדי לחזק את הנושא בארץ באופן שיקנה לישראל יתרון מדעי בתחום זה, מומלץ ליזום הכשרה של חוקרים ממדעי הטבע וההנדסה לשימוש בשיטות של חישה מרחוק כאמצעי לחקר תהליכי הסובב.

בתחום המכשור מומלץ לקדם את פיתוחו של ציוד לניטור סביבתי מלוויינים.

### 3. פסולת מוצקה

(א) תהליכי קומפוסטציה ומחזור פסולת

הפסולת העירונית המוצקה (פע"מ) היא מרכיב עיקרי מבחינה כמותית בחומרי הפסולת המורחקים אל הסביבה. פסולת זו מצטברת בכמויות גדולות מדי יום ויוצרת מפגע סביבתי חמור. דרכי הטיפול האפשריות בפסולת הן: (1) שרפה (incineration) או שרפה תוך כדי ניצול אנרגיה (waste to energy); (2) קבורה סניטרית (landfilling); (3) מחזור (recycling).

השיטה המרכזית כיום בעולם לטיפול בפסולת היא הקבורה הסניטרית (הטמנה). עד לעשור האחרון היה יתרון שיטה זו נעוץ במחירה הזול, אולם בזמן האחרון, בשל התגברות המודעות לבעיות הסביבה ומתוך רצון להרחיק את אתרי ההטמנה ממרכזי האוכלוסייה, הפכה גם שיטת טיפול זו ליקרה. הקושי למצוא אתרים חדשים לסילוק פסולת ועלויות ההובלה הגבוהות גרמו לעלייה משמעותית במחירי ההטמנה (50-70 דולר לטון בארצות הברית).

הטיפול בפסולת במתקני שרפה תוך כדי הפקת אנרגיה הוא שיטה יעילה, אך עלויות הקמתם ותפעולם גבוהות במיוחד (כ-90 דולר לטון). הגידול בכמות הפסולת העירונית (קצב גידול של 2 אחוזים לשנה) בד בבד עם צמצום כושר הקיבול של אתרי קבורת הפסולת והעלייה במחירי ההטמנה מעודדים את תהליך המחזור של מרכיבים שונים של הפע"מ. בישראל המרכיב האורגני בפע"מ הוא 30%-50% ממשקל הפסולת (בהשוואה ל-10%-20% בלבד בארצות המערביות המתועשות). מחזור מרכיב זה עשוי להקטין באופן משמעותי את עלויות ההובלה והקבורה. שיטת הטיפול בפסולת המקובלת כיום בעולם, ואשר השימוש בה הולך ומתרחב, היא הפיכת המרכיב האורגני בפסולת העירונית המוצקה לקומפוסט ומחזורו בדרך זו – קומפוסטציה של המרכיבים האורגניים. שיטה זו מוצעת כחלופה אחת בפתרון הכולל של בעיית הפסולת, תוך כדי חיסכון ניכר בעלויות הטיפול ותוך כדי יצירת מוצר ממחזור באיכות גבוהה, היכול לשמש מרכיב חשוב בחקלאות המודרנית, ובייחוד בקרקע של אזור יבש למחצה כמו זו של ישראל שהסטרקטורה שלה דלה וענייה בחומרים אורגניים. השימוש בקומפוסט בשדות חקלאיים או במצע גידול בבתי צמיחה עשוי לתרום לשיפור מבנה הקרקע, להגדיל את פוריותה, להפחית את שיעור מחלות הצמחים ולצמצם את כריית מרבצי הכבול בעולם.

אף על פי שהקומפוסטציה היא תהליך מוכר לאדם זה אלפי שנים, דרוש מחקר מעמיק שלא בוצע עד כה על אפיון התהליך מבחינה כימית-פיזיקלית, הגדרת הטרנספורמציות המתרחשות בחומר וקביעת העיתוי המתאים להפסקת התהליך בתעשייה (מועד הגעה לבשלות). חוסר מהימנותם של המדדים הכימיים לניטור הקומפוסטציה מחזק את חשיבותם של המדדים המיקרוביאליים והביוכימיים שבעזרתם יהיה אפשר לאפיין באופן יעיל יותר את תהליך הקומפוסטציה. זיהוי הטרנספורמציות הכימיות המתרחשות בחומרים האורגניים המסיסים, הבנת הפעילות האנזימטית בתהליך הקומפוסטציה והבנת הפעילות הקשורה לתהליך יצירת ההומוס – כל אלו יתרמו להבנת מערכת הטרנספורמציות המתרחשות במהלך הקומפוסטציה ויקדמו את פיתוחם של מדדים כמותיים חדשים להערכת בשלות הקומפוסט. השגת מטרות אלו תיצור בסיס איתן לשיפור תהליכי הייצור של הקומפוסט ולקיצורם ותסייע בהתוויית דרכי השימוש המיטביות בתוצרי הקומפוסטציה. נוסף לקומפוסט ניתן לפרק פסולת ליגנוצ'ולוזית באמצעות מיקרואורגניזמים ולהשתמש בתאית הנשארת לאחר פירוק הליגנין להזנת בעלי חיים ולמצעים. כמו כן אפשר לגדל פטריות מאכל על ליגנוצ'ולוז ולשפר את פעילות המיקרואורגניזמים על ידי בידוד הגנים המתאימים ושיבוטם באמצעות פרומוטורים מתאימים.

בישראל פועלים כמה מדענים ראשוניים במעלה במקצת הנושאים בתחום הפסולת המוצקה האורבנית, אך עדיין חסר ידע רב בנושאים אחרים (כמו שרפת הפסולת המוצקה האורבנית). למדינות רבות יש עניין בפיתוח התחום וישראל יכולה לשתף פעולה עם אחדות מהן (איטליה, צרפת וספרד) כדי לקדם את המחקר המדעי ולהובילו בעולם.

נוסף לאמור לעיל, יש לבחון את המהימנות של האנליזה של מחזור החיים life cycle analysis (LCA) ושל ניתוח הסיכון (evaluation risk) שהם כיום קווים מנחים בקביעת פעולות ותהליכים בניהול סביבתי. כלים אלו מאפשרים בחינה שקולה והולמת, ועל כן הם בעלי חשיבות רבה בקביעת סדר קדימויות.

#### (ב) פירוליזה ותהליכי הכימיה האנליטית במדע הסובב

אחד האמצעים השכיחים והיעילים לטיפול בפסולת מוצקה הוא שרפתה. תהליך שרפת הפסולת המוצקה מתחלק לשתי קבוצות: שרפת פסולת רגילה ושרפת פסולת רעילה. תהליכי השרפה בשתי הקבוצות שונים אלו מאלו, אך בשני המקרים מנגנוני השרפה והפירוליזה מורכבים. יש להכיר את הנתונים ואת התנאים ההולמים לשרפה ולפירוליזה – מה אפשר לשרוף וכיצד – מאחר שריאקציות השרפת בתהליכי השרפה עלולות להוביל ליצירת תוצרים מסוכנים בעלי השפעה מזיקה לאדם ולסביבה ולפליטתם. חלק מהתהליכים אינו ידוע, ומחקר בסיסי בנושאי שרפה ופירוליזה הוא הכרחי להבנת הנושא ולקידומו.

בישראל פועלים כמה אתרי שרפה של פסולת מוצקה (וחומרי גלם): רמת חובב, חברת החשמל ותנורים ליצירת מלט, אך חסר הידע הנחוץ לטיפול הולם בפסולת. היעדר ידע בישראל בתחום הטיפול בפסולת מוצקה רעילה, למשל, יוצר מפגע בריאותי ובטיחותי שתוצאותיו עלולות להיות הרות אסון.

### **הכימיה האנליטית במדע הסובב**

הכלים האנליטיים העומדים לרשות החוקרים במדע הסובב קובעים במידה רבה את המגמות ואת תחומי המחקר 'החמים' בענף מדעי זה. כך למשל פיתוח הכרומטוגרפיה הגזית (GC) באמצע שנות השבעים שינה את פני חקר איכות המים ופיתח תחומי מחקר חדשים כמו הכימיה של חומרים אורגניים סינתטיים במים ואת חקר תוצרי הלוואי של חיטוי מים. קודם לכן היה המחקר בתחומים אלו מצומצם מאוד או שלא היה קיים כלל. חלוציות במחקר האנליטי לעתים קרובות פותחת פתח גם לחלוציות בחקר תופעות סביבתיות.

פיתוח הכימיה האנליטית בחקר הסובב אינו מתמצה בפיתוח כלים אנליטיים חדשניים וברכישתם. המחקר הסביבתי מציב לפני הכימאי האנליטי אתגרים אחדים הנובעים מהמערכת הסביבתית המורכבת והמחייבים פיתוח שיטות מיוחדות לאנליזה כימית וביולוגית סביבתית.

א. מרכיבים כימיים וביולוגיים שיש להם חשיבות מבחינה סביבתית מצויים בריכוזים זעירים. עובדה זו מחייבת הן שימוש במכשור חדשני בעל גבול דיוק גבוה למדידת ערכים נמוכים הן עיבוד שיטות אנליטיות מיוחדות לטיפול במרכיבים בריכוזים כה נמוכים ולשימורם.

ב. חומרים שיש להם חשיבות לסביבה עלולים להיות בלתי יציבים (רדיקלים חופשיים וחומרי ביניים אחרים), מצב זה מחייב לעתים מדידות בשטח ורזולוציית זמן גבוהה.

ג. המטריצות הסביבתיות הן מרובות מרכיבים ואינן מוגדרות היטב, ולכן דרוש פיתוח שיטות למיסוך הפרעות כימיות בזמן הבדיקה. ריבוי המרכיבים הכימיים והביולוגיים במערכות הסביבתיות מחייב פיתוח שיטות לשימור דוגמאות, כדי למנוע עיכול כימי וביולוגי של הדגמים בין שלב הדגימה לאנליזה, מבלי לפגוע במרכיבים שבדגם המקורי.

ד. ההטרוגניות של המערכות הסביבתיות מחייבת עיבוד קפדני של שיטת הדגימה כדי שזו תבטא מיצוע אמיתי של המצב בשטח, או לחילופין תספק רזולוציה גבוהה של פילוג המרכיבים בדגם.

ה. לעתים קרובות התופעות הסביבתיות הן עונתיות או אפיזודיות ולכן אי אפשר לחזור על בדיקות אנליטיות. עובדה זו מחייבת אמינות כימית גבוהה.

מאפיינים אלו של הכימיה האנליטית הסביבתית מחייבים מומחיות ייחודית ושימת דגש על שיטות מטרולוגיות ועל שיטות בקרה והבטחת איכות ( quality control and quality assurance).

## סיכום והמלצות

פיתוח פעילות המחקר בישראל בתחומי מדע הסובב הוא בעל חשיבות רבה גם לקידום המחקר בנושא מרכזי זה ושילובו במסגרת המחקר בעולם וגם לפיתוח מערך שיסייע בפתרון בעיות הסובב בישראל ובסביבתה. כיוון שחקר הסובב הוא תחום רחב ומגוון מאוד, הוועדה ממליצה להתמקד בנושאים הקשורים למרחב מדינת ישראל והאזור הקרוב לה, שלישראל יש בהם יתרון יחסי. התחומים שנבחרו הם: מים, ניטור ופסולת מוצקה. כמו כן יש מקום לבחון הקמתו של מרכז אנליטי לאומי אשר יספק שירותים אנליטיים ומכשור לכלל חוקרי ישראל ויתרום לקידום המחקר בתחום מדעי זה. הקמת מרכז למידע לאומי בנושא חקר הסובב תוכל להרים תרומה חשובה לקידומו, וייתכן שיהיה אפשר לשלב מרכז כזה במסגרת רחבה יותר של מערכות ממוחשבות למידע. תרומת האקדמיה לקידום חקר הסובב בישראל צריכה להתמקד בפעילות למשיכת כוחות צעירים לתחום ובהכשרתם ברמה מדעית גבוהה בחו"ל ובארץ.

### דרכי ביצוע

- הוועדה ממליצה לקדם את הפעילות המחקרית במדעי הסובב בארבעה מישורים:
1. האמצעי העיקרי לקידום הנושא הוא הקמת גרעין של חוקרים צעירים מצטיינים אשר יפתחו את המחקר בנושאים נבחרים במדעי הסובב. לשם כך יישלחו 3-6 חוקרים צעירים – בתר-דוקטורנטים מצטיינים – למקומות מובילים בחוץ לארץ לצורך למידת הנושאים האלה. עם שובם ייקלטו במוסד אקדמי ויתרמו לפיתוח התחומים שהתמחו בהם ולקידומם. לצורך זה נדרשות הפעולות הבאות:
    - 1.1 המועמדים: מועמד יכול להגיע מכל דיסציפלינה שהיא, ובלבד שיהיה מצטיין.
    - 1.2 הבטחת קליטתם של החוקרים הנבחרים במוסד אקדמי בישראל: האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים תפנה לאוניברסיטאות ותבחן איזו אוניברסיטה תהיה מוכנה לקלוט מדען נבחר מצטיין שהתמחה באחד הנושאים הנבחרים. האוניברסיטה המעוניינת תתחייב לקלוט את המדען הנבחר למשך שלוש שנות ניסיון במסלול אקדמי המוביל לקביעות, בהתאם לנהלים המקובלים בה, כאשר בתקופה זו תשלם האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים את משכורתו. לאחר שתיערך רשימת האוניברסיטאות המעוניינות, תפיץ האקדמיה בין המדענים הצעירים קול קורא אשר יפרט את הנושאים ואת התכנית.
    - 1.3 בחירת המועמדים: ועדת מומחים אשר תמנה הוועדה המייעצת לאקדמיה בנושא חקר הסובב ובאישורו של נשיא האקדמיה תבחר את החוקרים המתאימים מכלל המועמדים המצטיינים.



1.4 תמיכת האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים בחוקר הנבחר: התמיכה בחוקר הנבחר תימשך חמש שנים: שנתיים בחוץ לארץ במסגרת בתר-דוקטורט ושלוש שנים באוניברסיטה הקולטת.

בתר-דוקטורט: התמיכה בחוקר תכלול הוצאות נסיעה ודמי מחיה, כמקובל לגבי בתר-דוקטורנט ב-NIH.

אוניברסיטה: תשלום משכורת מרצה לשלוש שנים (כפי שניתן לזוכה במלגת אלון).  
1.5 מעקב: הוועדה המייעצת לאקדמיה בנושא חקר הסובב תקים ועדת מעקב ובה שלושה חברים, אשר תעקוב אחר המתרחש במהלך חמש שנות התמיכה בחוקר הנבחר ותדווח על כך לאקדמיה.

2. מענקי מחקר: יש לשקול מתן עדיפות לחוקרים הנבחרים עם שובם ארצה בהענקת מענקי מחקר (מענק מחקר ראשון) מטעם הקרן הלאומית למדע.

3. הזמנת חוקרים מחוץ לארץ ראשוניים במעלה בשטחים הנבחרים במסגרת סדנאות, סמינרים וימי עיון.

4. עריכת ימי עיון לאומיים בנושא בהשתתפות מגוון של גורמים.

הוועדה מאמינה שלאחר חמש שנות תמיכה מצד האקדמיה יהיה אפשר לקבל תמונת מצב ראשונה טובה לגבי ההתקדמות שחלה בחקר הסובב ולפעול בהתאם.

## האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

נייר עמדה בנושא

### חקר הסובב

1. חקר הסובב הוא תחום מחקר מהשורה הראשונה בעולם. רמת הפעילות המחקרית בתחום זה בישראל אינה גבוהה ואף נמצאת בירידה. האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים מכירה בחשיבות התחום המדעי הזה ובצורך לקדמו, ומשום כך מינתה ועדה מייעצת שתבחן אותו ותמליץ על הדרכים המתאימות לקידומו בישראל.
2. המועצה מודה לוועדה על עבודתה המהירה ועל הדו"ח הממצה שהגישה.
3. המועצה מקבלת את המלצות הוועדה, כפי שהן מופיעות בדו"ח.
4. בהתאם לכך, יינקטו הצעדים האלה:
  - א. האקדמיה תפנה לרקטורים של האוניברסיטאות ותודיע על כוונתה לקדם את תחום חקר הסובב. האוניברסיטאות תתבקשנה לעודד סטודנטים מצטיינים שיש להם עניין בתחום זה לצאת להשתלמות בתר-דוקטורלית במעבדות הטובות ביותר בעולם בתחום. כמו כן תצענה האקדמיה וקרן בת-שבע לממן כמה מלגות, במידה שלא יימצאו מקורות חוץ למימוןן.
  - ב. האקדמיה (פרופ' זיו ו/או פרופ' ארנון) תפנה לות"ת ולקרן בת-שבע בהצעה למצוא מקור מימון ולהקים מנגנון שיפוט הולם, שבאמצעותו תוקצנה כמה מלגות ייעודיות בחקר הסובב, בדומה למלגות אלון.
  - ג. האקדמיה תפיץ את המידע בדבר המלגות הנ"ל בארץ ומחוצה לה, ובעיקר בקרב סטודנטים שיצאו להשתלמות בתר-דוקטורלית בחקר הסובב. סטודנטים אלו יהיו המועמדים המועדפים בקבלת המלגות, אם יוכיחו רמת הישגים נאותה.
  - ד. האקדמיה (יו"ר החטיבה למדעי הטבע) תברר עם קרן בכורה אם אפשר להקצות משאבים לנושא במשך 5-7 השנים הבאות ולתת עדיפות (במענק מחקר ראשון) להצעות מחקר של מדענים צעירים שעניין חקר הסובב.